



**UV-C Işığa Maruz Bırakılan
Yumurta Sarısı Karotenoidleri ve Yağ Asitlerinin
Degradasyon Kinetiğinin Belirlenmesi**

Program Kodu: 3001

Proje No: 115O983

**Proje Yürütücüsü
Prof. Dr. Yusuf YILMAZ**

**Danışman
Doç. Dr. Oğuz GÜRSOY**

**Bursiyer
Damla BAYANA**

OCAK 2017
BURDUR

ÖNSÖZ

Elzem aminoasitleri içermesi, kolay ulaşılabilir olması ve gıda ürünleri içerisinde farklı fonksiyonel özellikleri için kullanılması dolayısıyla önemli oranda tüketilen yumurtanın muhafazası için alternatif pek çok yöntem bulunmaktadır. Özellikle de doğrudan kullanılmaya hazır formdaki sıvı yumurta ürünleri gıda sanayisinde hem güvenli hem de kullanımı kolay olduğu için önemli oranda tercih edilmektedir. Bu hazır formdaki yumurta ürünlerine olan talebin artması ile ısıtma işlemlere alternatif, daha güvenli ve besin değerini mümkün olduğunca korumaya yönelik uygulamalar/yöntemler geliştirilmektedir.

Sıvı yumurta ürünlerinin hijyenik koşullarda, kontrollü şartlar altında, ve pastörize edilerek piyasaya sunulması gerekmektedir. Fakat ısıya duyarlı yumurta ürünleri 56.6°C'nin üzerinde koagüle olmaya başladığı için bundan daha düşük sıcaklık derecelerinde pastörize edilmeleri gerekir. Isıtma işlemi uygulaması, etkili bir muhafaza yöntemi olmasına rağmen, kaliteyi olumsuz etkiler ve firmaların yatırım maliyetini yükseltir (Ünlütürk ve ark., 2007). Bu projede, sıvı yumurta ürünlerinin ultraviyole (UV-C) ışın ile dezenfeksiyon işlemi, ısıtma işlemine alternatif olarak önerilmektedir.

UV-C ışığa maruz bırakılan sıvı yumurta beyazı (LEW), bütün yumurta (LWE) ve yumurta sarısı (LEY) gibi ürünlerde inaktivasyon etkisinin olduğu literatür bilgisi mevcut olup UV-C ışık uygulaması ile pastörizasyon işlemi diğer ürünlere (LEW ve LWE) göre sıvı yumurta sarısında zordur. Yüksek besin değeri sebebiyle mikrobiyal gelişimi yüksek oranda mümkün kıldığı gibi yoğun yapısı sebebiyle UV-C ışık ışınlarının ürüne penetrasyonu oldukça güç olmaktadır. Bu güçlüğü üstesinden gelebilmek amacıyla bir sistem tasarlanmış ve bu TÜBİTAK projesi kapsamında kurulumu gerçekleştirilmiştir. Kurulan sürekli pastörizasyon sistemi kullanarak değişik testler uygulanmıştır. Bu amaçla *Salmonella* inoküle edilmiş yumurta sarısı üzerine sabit UV-C ışık dozu farklı sürelerde uygulanarak mikrobiyolojik analizler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tespit edilen UV-C ışık uygulama sürelerinde renk, kuru madde, karotenoid (lutein, zeaksantin ve kantaksantin) içeriği ve yağ asidi profili analizleri gerçekleştirilmiştir.

Bu araştırma projesi Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Konseyi (TÜBİTAK) tarafından 115O983 numaralı proje ile desteklenmiş ve Burdur, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	5
2.1. Yumurtanın Yapısı.....	5
2.1.1. Fiziksel Yapı.....	5
2.1.2. Kimyasal Yapı.....	7
2.1.2.1. Karotenoidler.....	7
2.1.2.2. Yağ Asitleri.....	11
2.2. Yumurtanın Besin Değeri.....	11
2.3. Yumurta Saklama Koşulları ve Raf Ömrüne Etkisi.....	11
2.4. Yumurta Muhafazasında Kullanılan Alternatif Metotlar.....	13
3. ULTRAVİYOLE IŞIK UYGULAMASI.....	14
3.1. Ultraviyole Işık Kaynakları.....	14
3.2. Ultraviyole Işık ile Mikrobiyal İnaktivasyon.....	16
3.3. Ultraviyole Işığın Gıda Endüstrisindeki Uygulamaları.....	17
3.4. Ultraviyole Işığın Yumurta ve Ürünleri Üzerindeki Uygulamaları.....	20
4. GEREÇ ve YÖNTEM.....	22
4.1. Örneklerin Temini, Hazırlanması ve Muhafazası.....	22
4.2. UV-C Işık Uygulaması.....	22
4.3. Mikrobiyolojik Analizler.....	23
4.3.1. Mikrobiyoloji Denemelerinde Kültürün Aktifleştirilmesi.....	23
4.3.2. UV-C Işık Uygulaması Sonundaki Mikrobiyolojik Analizler.....	24
4.3.3. UV-C Işığın <i>Salmonella typhimurium</i> Üzerine Etkisi.....	24
4.4. Kimyasal ve Fiziksel Analizler.....	25
4.4.1. Ekstraksiyon İşlemi.....	25
4.4.2. Lutein, Zeaksantin ve Kantaksantin Analizleri.....	26
4.4.3. Yağ Asidi Kompozisyonunun Belirlenmesi.....	26
4.4.4. Renk Ölçümü.....	26
4.4.5. Toplam Kuru Madde Analizi.....	27
4.5. Degradasyon Kinetiği Hesaplamaları.....	28
4.6. İstatistiksel Analizler.....	28
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	30
5.1. Mikrobiyolojik Analizlere Ait Sonuçlar.....	30
5.2. Lutein, Zeaksantin ve Kantaksantin Analizlerine Ait Bulgular.....	32
5.3. Yumurta Sarılarının Yağ Asidi Kompozisyonuna Ait Bulgular.....	35
5.4. Yumurta Sarılarının Renk Değerlerine Ait Bulgular.....	37
5.5. Yumurta Sarısı Karotenoidlerine Ait Degradasyon Kinetiği Bulguları.....	39
5.6. Yumurta Sarısı Liyofilizatlarında Yağ Asidi Kompozisyonu Degradasyon Kinetiği Bulguları.....	44
5.7. Yumurta Sarısı Liyofilize Renk Değerlerinin Değişim Kinetiği.....	46
6. SONUÇ.....	49
KAYNAKLAR.....	51

ŞEKİL DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Yumurtanın fiziksel yapısı.....	5
Şekil 2.2. Lutein (A) ve zeaksantin (B) kimyasal yapıları.....	9
Şekil 2.3. Kantaksantin kimyasal yapısı.....	10
Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum.....	14
Şekil 3.2. Bir UV lambanın bölümleri (Koutchma vd., 2009).....	15
Şekil 3.3. UV ışığın DNA üzerine etkisi.....	16
Şekil 4.1. Tasarlanan UV reaktörün iç yapısı (ürün sadece merkezdeki kuvars boru içinde akmaktadır.).....	23
Şekil 4.2. Toz haldeki yumurta sarısı örneklerinde renk ölçümü.....	27
Şekil 4.3. Yaş yumurta örneklerde nem analizi, A: Nem analizörüne örneğin yerleştirilmesi, B: Nem tayini sırasında analizörün görüntüsü.....	27
Şekil 5.1. Luteinin kantitatif tayininde kullanılan kalibrasyon grafiği.....	33
Şekil 5.2. Zeaksantin kantitatif tayininde kullanılan kalibrasyon grafiği.....	33
Şekil 5.3. Kantaksantin kantitatif tayininde kullanılan kalibrasyon grafiği.....	34
Şekil 5.4. Lutein, zeaksantin ve kantaksantin içeren standarda ait kromatogram.....	34
Şekil 5.5. Yumurta sarısına ait örnek kromatogram.....	34
Şekil 5.6. Yağ asidi metil esterlerinden (FAME) oluşan standart karışıma ait kromatogram. .	36
Şekil 5.7. Liyofilize yumurta sarısına ait örnek GC kromatogramı.....	37
Şekil 5.8. UV-C ışık uygulamasının yumurta sarılarının lutein içeriği üzerine degradasyon etkisi.....	39
Şekil 5.9. UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarında lutein degradasyonuna ait birinci ve ikinci derece parçalanma reaksiyonları.....	40
Şekil 5.10. UV-C ışık uygulamasının yumurta sarılarının zeaksantin içeriği üzerine degradasyon etkisi.....	41
Şekil 5.11. UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarında zeaksantin degradasyonuna ait birinci ve ikinci derece parçalanma reaksiyonları.....	41
Şekil 5.12. UV-C ışık uygulamasının yumurta sarılarının kantaksantin içeriği üzerine degradasyon etkisi.....	42
Şekil 5.13. UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarında kantaksantin degradasyonuna ait birinci ve ikinci derece parçalanma reaksiyonları.....	43
Şekil 5.14. UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarında yağ asidi kompozisyonu (SFA: Doymuş Yağ Asidi/MUFA: Tekli Doymamış Yağ Asidi/PUFA: Çoklu Doymamış Yağ Asidi) degradasyonu.....	44
Şekil 5.15. UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarında, sıvı ve liyofilize toz örneklerinin renk değerleri üzerine etkileri; CIELAB L* (A), a* (B), b* (C) değerleri.....	47

TABLO DÜZENİ

Tablo 2.1. Yumurtanın kimyasal bileşimi (Zeidler, 2002).....	7
Tablo 2.2. Yumurta kısımlarının besin değeri (Zeidler, 2002).....	7
Tablo 2.3. Yumurta akı, yumurta sarısı ve bütün yumurta kompozisyonu (Souci vd., 2008; USDA, 2015b).....	12
Tablo 3.1. Farklı mikroorganizmaların 254 nm dalga boyundaki UV ışık ışınlarına maruz kaldıktan sonra %90 inaktivasyonu için gereken dozlar (J/m^2) ve k (hız sabiti- m^2/J).....	17
Tablo 5.1. <i>Salmonella typhimurium</i> 'la (10mL) inoküle edilmiş yumurta sarısı (120mL) karışımın buz banyosu entegre edilmiş UV-C ışık sisteminde (130mL/dakika akış hızında) muamele edilmesi sırasında mikrobiyal yük ve sıcaklıktaki değişimler.....	30
Tablo 5.2. <i>Salmonella typhimurium</i> 'la (10mL) inoküle edilmiş yumurta sarısı (120mL) karışımın buz banyosu entegre edilmiş UV-C ışık sisteminde (43.3mL/dakika akış hızında) muamele edilmesi sırasında mikrobiyal yükteki değişimler.....	31
Tablo 5.3. <i>Salmonella typhimurium</i> 'la (10mL) inoküle edilmiş yumurta sarısı (120mL) karışımın buz banyosu entegre edilmiş UV-C ışık sisteminde (130mL/dakika akış hızında) muamele edilmesi sırasında mikrobiyal yükteki değişimler.....	31
Tablo 5.4. <i>Salmonella typhimurium</i> 'la (10mL) inoküle edilmiş yumurta sarısı (120mL) karışımın buz banyosu entegre edilmiş UV-C ışık sisteminde muamele edilmenin (130mL/dakika hızda) mikrobiyal yük üzerine etkisi.....	31
Tablo 5.5. UV-C ışık işlem süresinin yumurta sarısında bulunan lutein, zeaksantin ve kantaksantin karotenoidleri üzerine etkisi.....	32
Tablo 5.6. Lutein, zeaksantin ve kantaksantin belirlenmesinde kullanılan alıkonma süreleri ve dedeksiyon limiti (LOD) değerleri.....	32
Tablo 5.7. UV-C ışık işlem süresinin yumurta sarılarının yağ asidi kompozisyonu üzerine etkisi.....	35
Tablo 5.8. UV-C ışık işlem süresinin yumurta sarısındaki doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış yağ asidi kompozisyonu üzerine etkisi.....	36
Tablo 5.9. UV-C ışık uygulama süresinin sıvı yumurta sarılarının renk değerleri (CIE Lab) üzerine etkisi.....	37
Tablo 5.10. UV-C ışık uygulama süresinin liyofilize toz yumurta sarılarının renk değerleri (CIE Lab) üzerine etkisi.....	38
Tablo 5.11. UV-C ışığa maruz bırakılan yumurta sarılarında lutein, zeaksantin ve kantaksantin degradasyonunun reaksiyon derecesinin belirlenmesinde kullanılan parametrelere ait bulgular.....	43

ÖZET

Gıda ürünlerinde UV-C ışık uygulaması mikrobiyal inaktivasyon amacıyla ısı işlemlere alternatif olarak geliştirilmiştir. Ancak bu uygulaması yumurta sarılarında özellikle de karotenoid ve yağ asitlerinde degradasyona yol açabilmektedir. Proje kapsamında kurulumu gerçekleştirilen reaktörde, *Salmonella typhimurium* suşu inoküle edilen yumurta sarıları farklı sürelerde (0, 5, 30, 60, 90 ve 120 dakika) UV-C ışığa maruz bırakılarak mikrobiyal inaktivasyon gerçekleştirilmiştir. 120 dakikalık UV-C ışık işlemi yumurta sarılarında *S.typhimurium* inaktivasyonunu 1,71 logaritmik birim düşürebilmiştir ($p<0,05$). Yumurta sarısındaki karotenoidlerden lutein, zeaksantin ve kantakasantin ile yağ asitleri kompozisyonu üzerine UV-C ışık uygulama süresinin etkisi de belirlenmiştir. 120 dakika UV-C ışık uygulanan yumurta sarılarında lutein içeriği 232,10µg/g kuru madde (km) değerinden 148,66µg/g'a, zeaksantin ise 49,77µg/g km değerinden 33,40µg/g'a düşmüştür ($p<0,05$). UV-C ışığın yumurta sarılarının yağ asidi kompozisyonu üzerine etkisi, yağ asitlerini doymuş (SFA), tekli doymamış (MUFA) ve çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) şeklinde gruplandırılarak yapılmıştır. UV-C ışık uygulanmamış örnekte SFA oranı %42,51 iken 120 dakikalık uygulama sonunda yaklaşık %42,29'a düşmüş; %30,38 olan MUFA ile %25,39 olan PUFA değerleri 120 dakika sonunda sırasıyla %31,12 ve %25,46 olarak belirlenmiştir. Ancak, tüm örnekler için yağ asidi kompozisyonundaki değişiklikler istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). UV-C ışık uygulamasının liyofilize tozların a* renk değeri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemsiz ($p>0,05$) olmuştur. Ancak, sarı rengi ifade eden b* değeri üzerine 90 dakikaya kadar olan UV-C ışık uygulaması önemsiz olurken ($p>0,05$), 120 dakikalık uygulama b* değerinde azalmaya ($p<0,05$) neden olmuştur. Sonuç olarak, mikrobiyal inaktivasyon amaçlı kullanılabilen UV-C ışık uygulamasının, yumurta sarısı karotenoidleri üzerine süreye bağlı olarak degradasyon etkisi vardır. UV-C ışık uygulaması, yumurta sarılarının PUFA içeriğini azaltsa da istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur. UV-C ışık uygulamasının sıvı ve liyofilize toz örneklerinin renkleri üzerine etkisi de istatistiksel anlamda önemsiz olmuştur. İleride yapılacak çalışmalarda, UV-C ışık uygulaması sırasında mikrobiyal inaktivasyon çalışmalarının yanında UV-C ışığın gıdanın besin öğeleri (karotenoidler ve yağ asitleri gibi) üzerine etkisinin eş zamanlı araştırılması faydalı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yumurta Sarısı, UV-C, Ultraviyole Işık, *Salmonella typhimurium*, Yağ Asidi, Karotenoid

ABSTRACT

UV-C light treatment (UV-CLT) is used as an alternative to heat treatment for microbial inactivation; however, degradation of egg yolk constituents, especially carotenoids and fatty acids may occur. In this study, microbial inactivation of egg yolks inoculated with *Salmonella typhimurium* strain was carried out by the UV-CLT at different times (0, 5, 30, 60, 90 and 120 minutes) in a reactor constructed. The 120-min treatment decreased *S.typhimurium* inactivation by 1.71 logarithmic units ($p<0.05$). UV-CLT effect on the composition of fatty acids and the contents of carotenoids such as lutein, zeaxanthin and canthaxantin was determined at the UV-C doses required for microbial inactivation. The lutein content of egg yolks treated with UV-C light for 120 minutes decreased from 232,10 $\mu\text{g/g}$ dry basis (db) to 148,66 $\mu\text{g/g}$ and zeaxanthin decreased from 49,77 $\mu\text{g/g}$ to 33,40 $\mu\text{g/g}$ ($p<0,05$). UV-CLT effect on the fatty acid composition of egg yolks was determined by grouping the fatty acids into saturated (SFA), monounsaturated (MUFA) and polyunsaturated fatty acids (PUFA). In the untreated samples, the SFA content was 42.51%, whereas it decreased to 42.29% after 120 min treatment, and PUFA content of 30,38% and MUFA content of 25,39% were determined as 31,12% and 25,46% after 120 minutes, respectively. However, changes in fatty acid composition were statistically insignificant ($p>0.05$). UV-CLT effect on a^* value of lyophilized powders was also statistically insignificant just like the effect of UV-CLT up to 90 minutes on b^* value ($p>0.05$) but 120-minute-UV-CLT caused a decrease in b^* value ($p<0.05$). In conclusion, UV-CLT has degradation effect on egg yolk carotenoids depending on dose. Reduction of PUFA composition of egg yolks and changes in color values of liquid and lyophilized powders by UV-CLT were statistically insignificant. In future studies, it would be beneficial to investigate UV-CLT effect on nutrient contents of foods to be processed, simultaneously with microbial inactivation studies.

Key words: Egg yolk, UV-C, Ultraviolet Light, *Salmonella typhimurium*, Fatty Acid, Carotenoid

1. GİRİŞ

İnsan beslenmesi ve ülke ekonomisi açısından önemli bir gıda olan yumurtanın besleyici değeri yüksektir (Yüceer, 2007). Yumurta yalnız başına veya diğer gıdalarla birlikte yaygın olarak tüketilmekte olup, içerdiği elzem aminoasitler ve hayati öneme sahip vitamin ve mineraller sayesinde biyolojik değerliliği yüksek, beslenme fizyolojisinde büyük öneme sahip bir gıdadır (Algan, 2007). Bileşiminde tüm temel aminoasitler ve tavuğun beslenmesi ve yaşının bir fonksiyonu olarak değişebilen konsantrasyonlarda retinol, tokoferol, riboflavin, pantotenik asit ve hatta askorbik asit de dahil olmak üzere pek çok vitamin ve mineralleri de içerir. Doğal olarak D vitamini içeren çok az gıda maddesinden biri olması da ayrıca önemlidir (Souza, 2012).

Beslenme, insanlığın en temel ihtiyacıdır ve Dünya nüfusunun hızla artması, ekonomik yetersizlik beslenme sorunlarını derinleştirmektedir. Yumurta, hayvansal protein ihtiyacının karşılanmasında, ekonomik ve tam protein kaynağı olması nedeniyle önemli bir rol oynamaktadır. Tek başına tüketilebildiği gibi birçok ürünün işlenmesi sırasında aroma ve renk vermesi, jelleştirme, emülsifiye etme, nem tutma, kabartma, köpüklendirme, kristalleşmeyi önleme gibi birçok özelliği nedeniyle katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır (Tayar, 2005; Alakır, 2006). Yumurta ve yumurta ürünleri gıda endüstrisinde (Erol, 1994; Froning, 1998) çoğunlukla pasta, makarna, mayonez, salata sosları, şekerleme ürünlerinde; yumuşatma, lezzet-renk katma, koyulaştırma, nemini tutma ve besinsel değerini artırma gibi istenilen işlevlerin sağlanması amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır (Atılğan, 2007).

Yumurta besin değeri yüksek bir ürün olmasının yanında, mikrobiyal gelişim için çok iyi bir ortam teşkil eder (ICMSF, 2005). Yumurta ürününün muhafazası için pastörizasyon, soğutma, dondurma ve koruyucu madde ilavesi gibi çok farklı uygulamalar vardır. Düzgün koşullarda muhafaza edilmemesi halinde de bazı sağlık sorunlarına neden olabilir (ICMSF, 2005). Yumurta ile ilgili en önemli halk sağlığı sorunlarından birisi *Salmonella* spp. türlerinin neden olduğu Salmonellozis hastalığıdır (Souza, 2012). Yumurta kabuğu, potansiyel kirlenme kaynağı olduğu için, sıvı yumurta ürünlerinde ilk mikroflora kabuklu yumurtaya özgü mikrofloraya benzer bakterilerden oluşmaktadır (ICMSF, 2005). Yumurta bozulmasıyla ilgili yaygın suşlar; *Acinetobacter* spp., *Proteus* spp., *Aeromonas* spp., *Alcaligenes* spp., *Escherichia* spp., *Micrococcus* spp., *Serratia* spp., *Enterobacter* spp., *Flavobacterium* spp.'den oluşur. Asıl patojenler *Salmonella* spp., *Staphylococcus* spp., *Campylobacter jejuni*, *Listeria monocytogenes* ve *Yersinia enterocolitica*'dır (Ricke vd., 2001; Souza, 2012). *Salmonella* spp. türleri ise en yakından ilgili olan patojen mikroorganizma grubunu oluşturmaktadır. *Salmonella enteritica* serovar Enteritidis tavuklarda klinik belirtiler göstermez ve kabuklu yumurtada çıplak gözle gözlenemez (Souza, 2012). *Salmonella*'nın diğer pek çok türleri gibi *Salmonella enteritidis*, tavuğun bağırsak yolunda yaşayabilir ve dışkı teması ile



yumurtaya bulaşabilir (Souza, 2012). Tavuğun ovaryumunun kontamine olmuş ve *Salmonella enteritidis*'in kabuk oluşmadan önce kabuklu yumurtaya geçmiş olması mümkündür (CDC, 2015). Kontamine yumurtalar soğuk zincirde kırılma olması durumunda önemli ölçüde bakteri gelişimi için potansiyel teşkil ederler ve bu durum da yumurtayı çiğ veya az pişmiş olarak tüketen kişiler için ciddi bir sağlık riski yaratabilir (Souza, 2012).

Yumurta kabuğu 20-30 mikron kalınlığında proteinden yapılmış su geçirmeyen bir tabaka ile kaplıdır (Gast, 2005; Heperkan ve Gökler, 2012). Kabuktaki gözenek sayısı yaklaşık 7500 olup koşullara bağlı olarak gözenek büyüklüğü artar ve yüzeydeki mikroorganizmaların yumurtanın içerisine girmesini engelleyemez (Forsythe ve Hayes, 1998; Zeidler, 2002; Heperkan ve Gökler, 2012). Normal koşullarda yumurtanın mikroorganizmalar ile bulaşması kabuğun kırılması sırasında veya kabuk yüzeyindeki çatlaklardan organizmaların nüfuz etmesi ile olmaktadır (Heperkan, 1998; Heperkan ve Gökler, 2012). Ortamdaki nem miktarı arttıkça gözenek büyüklüğü de artar (Frazier ve Westhoff, 1998; Heperkan ve Gökler, 2012). Kabuğun altında bakterilerin yumurtanın içine girmesini belirli süre geciktiren iki tabaka daha bulunmaktadır. Ancak bu tabakalar küfler için bariyer görevi görmezler (Forsythe ve Hayes, 1998; Heperkan ve Gökler, 2012).

Dış zar, yapı ve içerik bakımından mikrobiyal bariyer olarak önemli bir role sahip değildir. Ancak iç zar, protein lifleri sayesinde porları kapatır ve içerdiği lizozom, bakterilerin gelişmesini önler (Wang ve Slavik, 1998; Heperkan ve Gökler, 2012). Yumurta akında (albümin), mikrobiyal gelişimi önleyen antimikrobiyal ajanlar bulunmaktadır; örneğin ovotransferrin (koalbumin), Gram pozitif ve Gram negatif bakterilere karşı en etkili antimikrobiyal ajanlardan birisidir. Ancak bu antimikrobiyal maddelerin etkinliğinde, başka bir ifade ile mikroorganizma gelişmesinin önlenmesinde etkili olduğu unutulmamalıdır (Forsythe ve Hayes, 1998; Heperkan ve Gökler, 2012). Yumurta sarısı ise besin maddeleri içeriği bakımından zengin olmasına rağmen antimikrobiyal ajan içermediğinden mikroorganizmalar burada kolaylıkla gelişebilmektedir (Forsythe ve Hayes, 1998; Wank ve Slavik, 1998; Heperkan ve Gökler, 2012).

Sonuç olarak mikroorganizmaların gelişebilmesi için uygun olan bir ortam teşkil eden yumurtaların muhafazası için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bunlardan bazıları yumurtanın yıkanması, kabuklu yumurta pastörizasyonu, hızlı soğutma, basınçlı hava ile soğutma, kriyojenik soğutma ve yumurtanın yağlanması şeklindedir (Heperkan ve Gökler, 2012). Tüm bu işlemlerin yanı sıra daha yaygın olarak pastörizasyon işlemi uygulanmaktadır. Kabuk kırma ve ayırma işlemlerinden sonra pastörizasyon işlemi uygulanıp sıvı yumurta elde edilmektedir (Heperkan ve Gökler, 2012). Sıvı yumurta ürünlerinde pastörizasyon patojen mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi için temel prosestir. Sıvı yumurta ürünleri için en uygun olarak kullanılan pastörizasyon metotları genellikle plakalı veya tüp ısı değiştiricilerde belli zaman aralıklarında uygulanan ısı sonucu mikroorganizmaların inaktive olduğu termal



işlemlerdir. Sıcaklık/zaman kombinasyonları yumurta akı için; 56,6°C/3,5 dakika, yumurta sarısı için; 61,1 °C/3,5 dakika, tüm yumurta için 60°C/3,5 dakika olarak USDA tarafından öngörülmüştür (USDA-ARS, 1969; Stadelman ve Cotteril, 1990; Muriana, 1997; Souza, 2012). Ancak yine de *Bacillus* spp. ve *Micrococcus* spp. gibi sıcaklığa dayanıklı mikroorganizmalar; 3,5 dakika 61,1°C sıcaklık uygulamasına rağmen hayatta kalabilirler ve sıvı yumurta ürünleri dondurulmuş olsa bile bozulabilir (Souza, 2012). Ayrıca pastörizasyon işleminde uygulanan sıcaklık, yumurta proteinlerinin oksidasyonunda sülfhidril içeriğinde değişikliklere ve özellikle de ovalbumin ve livetinin yayılmasına yol açsa da yumurta proteinlerinin fonksiyonel özelliklerinin değişimiyle sonuçlanarak sonrasında koagülasyona sebep olur (Van der Plancken vd., 2003; Van der Plancken vd., 2004; Van der Plancken vd., 2006; Souza, 2012). Dolayısıyla ısı pastörizasyonlar, köpürme ve emülsifiye olma özelliklerini değiştirebilir ve dolayısıyla yumurta ürünlerinin kalitelerini ve fonksiyonel özelliklerini olumsuz yönde değiştirebilirler (Souza, 2012). Özellikle de bilinen pastörizasyon uygulamasından sonra yumurta akı daha bulanık gözükür, daha viskoz ve daha uzun çırpma süresi gerektirir (Souza, 2012). Bu değişiklikler, yumurta ürünlerinin tüketiciler tarafından satın alınma oranını azaltabilir (Souza ve Fernandez, 2012).

Globalleşen dünyamızda gıda endüstrisinde meydana gelen gelişmeler ışığında tüketici beklentileri de artmaktadır (Tülek ve Filizay, 2006). Mikrobiyal açıdan ise daha güvenli, raf ömrü uzun, albenisi yüksek, daha kaliteli ve organik olan, katkı maddeleri içermeyen gıdalar tercih edilmektedir. Günümüzde kaliteyi korumak ve raf ömrünü uzatmak amacı ile ürünlere ısı işlemler uygulanmaktadır. Yumurta proteinlerinin düşük ısı kararlılığı, kısa raf ömrü ve tüketicinin minimal işlenmiş ürünleri tercih etmesi ve koruyucu içermeyen ürünler, ürün kalitesini riske atmayan ısı olmayan alternatif pastörizasyon teknolojilerinin araştırılmasını önemli kılıyor. Alternatif teknolojiler, yumurta endüstrisinde sadece güvenilir yumurta üretimi için değil aynı zamanda şu anki sıcaklık limitlerinin üstesinden gelmede de yararlı olacaktır (Souza ve Fernandez, 2012).

Yumurta ve yumurta ürünleri gıda endüstrisinde (Erol, 1994; Froning, 1998) çoğunlukla pasta, makarna, mayonez, salata soslari, şekerleme ürünlerinde; yumuşatma, lezzet-renk katma, koyulaştırma, nemini tutma ve besinsel değerini artırma gibi istenilen işlevlerin sağlanması amacıyla yaygın olarak kullanılırlar (Algan, 2007). Yumurta gerek bütün halde veya sarısı ve akı olarak, unlu mamuller, makarna ürünleri, bebek mamaları, dondurma, salata soslari ve mayonez gibi birçok gıda sanayi ürününün formülasyonunda yer almaktadır. Taze yumurta kullanan gıda işleme tesislerinde, üretim sırasında yüzlerce yumurtanın kırılması için harcanan zaman, bu yumurtaların kabuklarının oluşturduğu atıklar ve kabuklu yumurtanın depolanması için ayrılması zorunlu olan geniş alan gereksinimi, işletme açısından önemli problemler oluşturmaktadır. Birçok ülkede taze yumurta, gerek gıda sanayisinde gerekse evlerde kullanılmak üzere pastörizasyon, kurutma ve dondurma



teknikleriyle işlenerek tüketiciye ulaşmaktadır. Yumurtanın endüstriyel olarak işlenmesi standart dışı küçük, kabukları lekeli yumurtaların da kullanılabilmesini sağlamaktadır (Serdarođlu ve Deniz, 2002).

Isıl olmayan teknolojiler ısıl işlemlere alternatif geçerli bir seçenek olarak gıda işlemede uygulanmaktadır. Bu teknolojiler; atımlı elektrik alan, ultraviyole (UV) ışık uygulamaları, minimal ısıl uygulamalar ve kesikli veya sürekli yüksek basınç uygulamalarını içerir. Bu alternatif teknolojiler kullanılarak, ısıl işlemlerin dezavantajları olmaksızın, gıdaları tehlikeli mikroorganizmalar ve enzimlerden arınmış olarak üretmek mümkün olabilir. Gıda dezenfeksiyonu için yaygın olarak kullanılan uygulamalardan bir tanesi olan UV ışık uygulamasının kullanımı besin değerinin düşmesi ve istenmeyen görünümle yanlış ilişkilendirilmektedir, bu ancak çok yüksek UV dozları kullanıldığında gerçekleşebilir (Guerrero-Beltrán ve Barbosa-Cánovas, 2004).

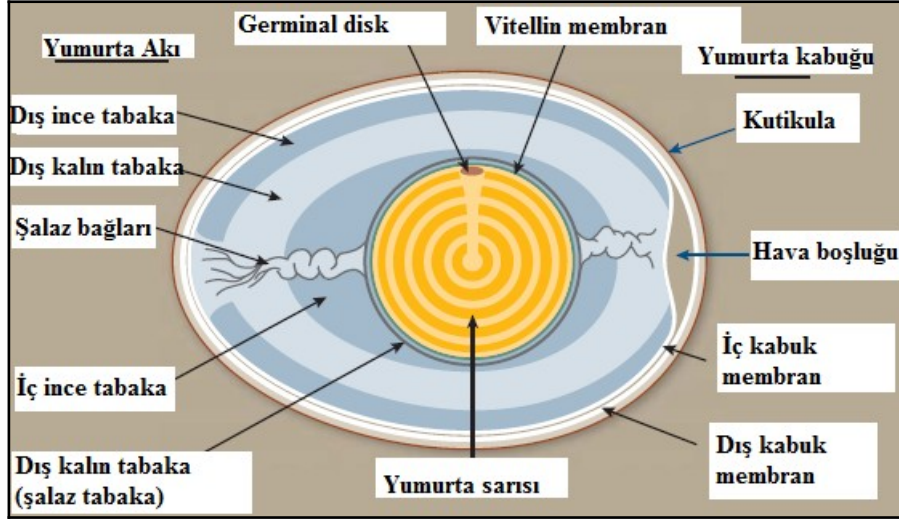
Bu proje kapsamında, taze yumurtalardan elde edilmiş yumurta sarıları UV-C ışığa farklı sürelerde UV-C ışığa, tasarlanan reaktörde maruz bırakılmış ve örneklerin mikrobiyal inaktivasyonu ile karotenoid (lutein, zeaksantin ve kantaksantin) içerikleri ve yağ asidi kompozisyonları belirlenmiştir. UV-C ışık muamelesi sonrasında yumurta sarıları liyofilize edilmiş ve elde edilen yumurta tozlarının renk değerlerindeki değişim ise kolorimetre ile takip edilmiştir. İstatistiksel açıdan önemli bulunan degradasyonlar için ise, parçalanma reaksiyonlarının kinetikleri ortaya koyulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Yumurtanın Yapısı

2.1.1. Fiziksel Yapı

Yumurtanın fiziksel yapısı yumurta sarısı, yumurta akı, kabuk zarı ve kabuk olmak üzere 4 kısma ayrılmıştır. Şekil 2.1'de bir yumurtanın yapısı verilmiştir.



Şekil 2.1. Yumurtanın fiziksel yapısı (Anonim, 2013)

Yumurta sarısı, akının içerisinde taze yumurtanın ortasına yerleşmiştir ve yumurtanın %31'ini oluşturur (USDA, 2000). Vitellin membranının çoğunluğu proteinden oluşur ve sarı kısma şeklini verir (USDA, 2000). Yumurta sarısının rengini başlıca karotenoidler olmak üzere ksantofiller ve oksikarotenoidler etkilemektedir (Şamlı vd., 2005). Bu da tavuğun beslenmesi ile doğrudan ilgilidir. Yumurta sarısının rengi yumurta kalitesini ve besin değerini etkilemez. Yumurta sarısının içerisindeki temel bileşenler proteinler ve yağlardır. Neredeyse yumurtada bulunan tüm yağlar, vitaminler ve mineraller yumurta sarısında bulunur (Souza, 2012). Yumurta sarısı %48,7 su, %32,6 yağ, %16,6 protein, %1 karbonhidrat ve %1,1 minerallerden oluşmaktadır (Roberts vd., 1997).

Yumurta sarısının beslenmedeki önemi içermiş olduğu yüksek biyolojik değerli protein yanında yapısındaki elzem yağ asitleri ve yağda çözünen A, D, E ve K vitaminleri ile mineral bileşiminden ileri gelmektedir. Yumurta sarısındaki proteinler lipitlerle bağlanmış olarak lipoprotein (lipovitellin, lipovitelinin, livetin), bir kısmı da fosfoprotein (fosfovitin) şeklinde bulunur (Yüceer, 2007).

Yumurta sarısı, gıda endüstrisinde çok önemli bir bileşendir çünkü yağ ve su fazları arasındaki ara yüzey gerilimini azaltma gücüne sahiptir ve temelde emülsifiyer olarak kullanılır (Telis-Romero vd., 2006). Bu bakımdan çeşitli mayonez, salata sosları ve keklerin hazırlanmasında kullanılır. Aynı zamanda iyi bir stabilizatördür. Bu sebeple de yumurta



sarisından dondurma yapımında buz kristallerinin oluşumunu önlemek amacıyla zaman zaman yararlanılmaktadır (Kuntz, 1998).

Albumin olarak da bilinen yumurta akı, yumurta sıvı ağırlığının çoğunu teşkil eder ve toplam yumurta ağırlığının %58'ine karşılık gelir (USDA, 2000). Yumurta akı %88 sudan oluşur, yağ oranı düşük fakat proteince zengindir (Souza, 2012). Yumurta akı proteinleri ısı işlemleriyle (yaklaşık 63°C) denatüre olur. Denatürasyon sonucu ak kısım donuk ve katı bir görünüm alır (Tekinşen ve Çelik, 1995). Yumurta beyazı dıştan içe doğru dört tabakadan oluşur. Bunlar kabuk altı zarlarının hemen altında yer alan dış sulu beyaz, viskoz veya koyu beyaz, iç sulu beyaz ve sarıya yakın bulunan iç koyu beyaz veya şalaz tabakasıdır. Bu tabakaların yumurta beyazındaki oranları ortalama olarak sırasıyla %23,3, 57,3, 16,8 ve 2,7'dir (Burley ve Vadehra, 1989). Yine yumurta akının fonksiyonel ve antimikrobiyal özelliklerinden çoğunlukla ovalbumin, ovotransferrin, avidin, lizozim, konalbumin ve ovomukoid sorumludur (Souza, 2012). Lizozim, Gram pozitif mikroorganizmaların hücre zarını eriterek; konalbumin demir ve bakırla; avidin biyotinle birleşerek mikroorganizmaların demir, bakır ve biyotini kullanamayacakları bileşiklere dönüştürerek; ovomukoid tripsini inhibe ederek mikroorganizmaların inaktivasyonuna yol açar (Clay vd., 1993). Yumurta akı çalkalandığında köpürür ve hacmi 6-8 kat artar. Yumurta köpükleri sufleler, kremalar, kabarık omletler ve pandispanya ve kek gibi birkaç yiyeceğin yapımı için önem arz eder (Foegeding vd., 2006).

Yumurta akını kuşatan içeride ve dışarıda olmak üzere iki adet zar mevcuttur (Alakır, 2007). İç kısımda bulunan zar yumurta akını çepeçevre sarmaktadır. Dış zar ise, içteki zara oranla üç kat daha kalındır (Akbay, 1985). Fibrin ve musin gibi protein liflerinden oluşan membranlar etkili birer bakteriyel filtre olarak düşünülür (Banwart, 1989). Dolayısıyla da bakterilerin yumurta içerisine nüfuz etmesini büyük oranda engeller (Alakır, 2007).

Yumurta kabuğu, yumurtayı dış etkenlerden korur ve tavuğun uterusunda, kabuk altı zarları üzerinde kalsiyum karbonat birikmesiyle oluşur (Akbay, 1985). Yumurtanın yaklaşık %11'ini oluşturan 3 tabakanın birleşimidir. İçteki (mememsi) tabaka hücre zarının dışını çevreler. Süngerimsi tabaka aynı zamanda kutikula porları yüzey ve iç tabaka ile bağlantı kurar. Yumurta normalde hava hücresine sahip değildir. Hava hücresi, yumurtayı soğutmak içindir, genellikle yumurtanın geniş ucunda bulunur ve kabuk membranları arasında gelişir. Hava hücresi, kabuk ve kabuğun içeriği arasındaki etkileşimin farklı oranlarının sonucunda biçimlenir (USDA, 2000). Bu gözenekler 6000-8000 civarındadır (Algan, 2007). Bu gözenekler kabuk içeriği ile dış atmosfer arasında su buharı ve gaz geçişini sağlar (Koelkebeck, 1999).

2.1.2. Kimyasal Yapı

Doğal tavuk yumurtası 3 ana kısımdan oluşur; yaklaşık %11'i kabuk, %31'i yumurta sarısı ve %58'i yumurta akıdır (Souza, 2012). Yumurtanın kimyasal bileşimi Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Yumurtanın kimyasal bileşimi (Zeidler, 2002)

Yumurta Kısımı	Su (%)	Protein (%)	Yağ (%)	Kül (%)
Bütün (kabuklu)	65,5	11,8	11,0	11,7
Bütün (kabuksuz)	74,5	12,4	11,5	0,94

Bütün yumurta, yumurta akı ve sarısının besin değeri ile ilgili veriler ise Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Yumurta kısımlarının besin değeri (Zeidler, 2002)

Yumurta Kısımı (60 g/adet)	Su (%)	Protein (%)	Yağ (%)	Karbonhidrat (%)	Enerji (kcal)
Yumurta akı	88,0	9,7-10,6	0,03	0,4-0,9	19
Yumurta sarısı	48,2	15,7-16,6	31,8-35,5	0,2-1,0	65
Bütün yumurta	75,5	12,8-13,4	10,5-11,8	0,3-1,0	84

2.1.2.1. Karotenoidler

Hem bitkilerde hem de hayvanlarda bulunan, doğal pigmentler olarak karotenoidler benzersizdir. Hayvanlar, temel 40 karbon yapısını yapamazlar fakat hidrokarbon halkalarında ve zincirinde değişiklik yapma yeteneğine sahiptirler (Francis, 1999). Karotenoidler, genel olarak yağda çözünen bitkisel ve hayvansal ürünlere sarıdan kırmızıya kadar renk veren ve doğada çok farklı tonu bulunan bitkisel maddelerdir (Alakır, 2007). Karotenoidler, isimlerini ilk kez izole edildikleri havucun latince isminden (*Daucus carota L.*) almışlardır (Çalıklı, 2003). Yalnızca bitkilerce sentezlenebilen karotenoidler, hayvansal dokulara ancak yemler ve besleme aracılığı ile geçerler ve hayvansal dokuda modifiye edilerek depo edilirler. Özellikle yumurta sarısının rengi bu şekildeki karotenoidlerden oluşmaktadır. Yeşil yapraklı bitkilerin bileşiminde de karotenoidler bulunur ancak klorofille maskelenmiş haldedirler (Alakır, 2007).

Karotenoidler, birbiri ardına dizilmiş izoprenoid birimlerinden oluşmuştur. Karotenoidlerin genel yapısı beş karbonlu sekiz izoprenoid birimi şeklindedir. Molekülün merkezinden sonra diziliş sırası ters şekildedir, simetrik bir görünüm söz konusudur (Ötleş ve Atlı, 1997). Karotenoidler suda çözünmezler, bitkisel yağlarda az çözünürler, alifatik ve aromatik hidrokarbonlarda orta derecede çözünürler ve kloroform gibi klorlanmış hidrokarbonlarda oldukça iyi çözünürler (Tee, 1992). Karotenoid grubu maddeler, ışık ve oksijene karşı çok duyarlıdır ancak yüksek sıcaklıklarda stabildirler. Söz konusu ortamda, oksijen ve ışık bulunmaması halinde ürünün pişirilmesi ve haşlanması halinde bozulmazlar



(Alakır, 2007). Karotenoidlerin oksidatif bozulmaları ozonolisis olayı ile gerçekleşir, çift bağın oksidatif olarak kopması söz konusudur (Tee, 1992).

Karotenoidlerin renk özellikleri yapılarındaki konjuge çift bağlardan kaynaklanmaktadır. Karotenoidler belirli bir renk oluşumu için en az yedi konjuge çift bağ içermelidir. Konjuge bağ sayısı arttıkça renk yoğunluğu da artmaktadır. Aynı sayıda çift bağ içeren karotenoidler, siklizasyon nedeniyle farklı renk tonlarında bulunabilmektedir (Türkcan ve Ökmen, 2012). Moleküldeki konjuge çift bağların sayısı arttıkça, majör absorpsiyon bantları, daha uzun dalga boylu bölgeye kayar ve renk tonu (hue) daha kırmızılaşır. Karotenoidler bitkilerde fotosentez için elzemdir, ışığı soğurur ve yıkıcı ışık oksidasyonlarına karşı koruyucu görev yapar. Oksijenli ortamda fotosentezin karotenoid olmadan gerçekleşmesi imkânsızdır. Bitkiler, CO₂ ve sudan organik madde sentezi için enerji kaynağı olarak ışığa gereksinim duyarlar. Karotenoidler, bitkide klorofillerin ışık spektrumu kullanılabilirliğini arttırmaları (Alakır, 2007).

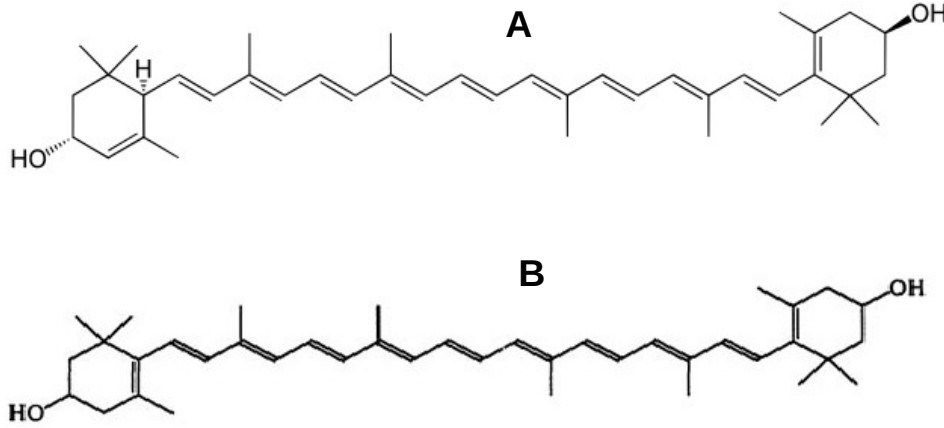
Karotenoidler tekli oksijen yakalayıcı ve antioksidan olarak oldukça etkilidir (Türkcan ve Ökmen, 2012). Antioksidanlar DNA moleküllerine zarar veren ve kansere yol açan serbest oksijen radikallerini nötralize etmektedirler. Bunun yanında kardiyovasküler rahatsızlıklara karşı koruyucu etki sağlamakta, Güneş'in zararlı ışınlarına karşı savaşmakta, Alzheimer ve diğer yaşlılıktan kaynaklanan hastalıkları engellemektedirler. Tüm bu sayılanlar ve burada sayılmayan diğer yararlarından dolayı antioksidanlar insan sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır (Kasnak ve Palamutoğlu, 2015). Karotenoidler de oksidatif dejenerasyon proseslerinden sorumlu serbest radikallerin oluşumunu önlerler. Serbest radikalleri savma yeteneği, bir karotenoid molekülündeki konjuge çift bağların sayısının bir ölçütüdür yani çift bağ sayısının artışı ile artar (Alakır, 2007). Yapılan çalışmalar, pek çok gıdada bulunan β-karoten, likopen, lutein, α-karoten, kriptoksantin ve zeaksantin gibi belli başlı karotenoidlerin oluşumunu tamamlayıp depolandığı organlarda antikarsinojen olarak etkili olduklarını göstermektedir (Gerster, 1993; Le Marchan vd., 1993).

Yapısında karotenoid bulunduran başlıca gıda maddeleri ise; balık, kabuklular, yumurta, süt ürünleri, yeşil sebzeler, kök sebzeler, meyveler ve tahıllardır. Bu çalışmada incelenen yumurta sarısındaki karotenoidler; yumurtaya, tavuklar renk maddelerini organizmalarında sentezleyemediklerinden, beslendikleri yemden organizmalarına aldıkları renk maddelerini (lutein, zeaksantin, kantaksantin, kriptoksantin, ekinenon, violaksantin, neoksantin) içeren karotenoidleri bünyelerine almaları ve yumurta sarısına aktarmalarıyla oluşur. Bu tavuklardan elde edilen yumurta sarılarının rengi ise yemlerindeki renk maddelerinin miktarına bağlıdır ve renk maddelerinin de %10-14 kadarı yumurta sarısına geçebilmektedir (Alakır, 2007).

Yumurta sarısının mevcut rengine luteinin tek başına katkısı, yaklaşık %70 civarındadır ve yumurta sarısının etkin renk bileşeni luteindir. Luteini takiben diğer önemli

renk bileşenin zeaksantindir. Lutein ve zeaksantinin yanı sıra, yumurta sarısının rengine etkili olan diğer bileşenler; karoten, kantaksantin, kriptoksantin ve kapsantin olmaktadır. (Alakır, 2007).

Lutein ve stereo izomeri olan zeaksantin, karotenoidlerin ksantofil familyasının üyeleridirler ve benzer kimyasal yapılarından dolayı birlikte incelenmektedirler. Şekil 2.2'de iki molekülün kimyasal yapıları verilmiştir.



Şekil 2.2. Lutein (A) ve zeaksantinin (B) kimyasal yapıları

Lutein ve zeaksantinin kimyasal yapısındaki moleküler düzen farklılığından dolayı bazı fiziksel özellikleri farklı olmaktadır. Lutein ester, *trans*-lutein olarak da bilinen ve $C_{40}H_{56}O_2$ kapalı formülüne sahip luteinin molekül ağırlığı 568,871 g/mol'dür. Kristal formda bulunan lutein, kırmızı-turuncu renge sahiptir. Organik çözücüler ile yağda çözünmesine rağmen lipofilik bir molekül olması nedeniyle suda çözünmez (Alakır, 2007).

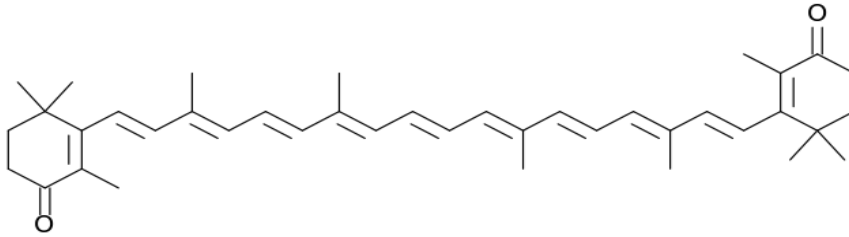
Zeaksantin retinada bulunan iki karotenoidten biridir. Molekül formülü $C_{40}H_{56}O_2$ ve molekül ağırlığı 568,88 g/mol olan turuncu-kırmızı renkte suda çözünmeyen bir bileşiktir. Her iki karotenoidin de ağ tabakayı koruyucu etkisi olmasına rağmen zeaksantinin kimyasal yapısı onun luteine göre daha iyi antioksidan özellik göstermesini sağlar. Zeaksantinin kimyasal yapısını teşkil eden konjuge çift bağlar, yüksek derecede etkili singlet oksijen yakalayıcıdır ve zeaksantin, luteine göre içerdiği ekstra çifte bağdan dolayı *in vitro* koşullarda yüksek antioksidan özelliklidir (Alakır, 2007).

Sarı renkli karotenoidler olan lutein ve zeaksantin sarının tamamlayıcı rengi olan UV mavi ışığı absorplamaktadır. Spektrumda görünür bölgede yer alan yüksek enerjili olan ışınların tümü potansiyel olarak ağ tabakaya ulaşmaktadır ve zarar vermektedir. Bu nedenle duyarlı çubuk koni hücrelerine ulaşmadan önce, lutein ve zeaksantinin bulunduğu kısımdan geçerler. Retinanın hassas bir merkezi olan maküla adı verilen görme işlevinden sorumlu bu kısımda lutein yoğun olarak bulunur. Hayatımız boyunca makülaya uğrayan ışınlar makülaya

yavaş ancak geri dönüşü olmayan hasar bırakırlar. Lutein, yaşa bağlı gözde gelişen maküler dejenerasyon riskini önemli ölçüde azaltmaktadır (Alakır, 2007).

Lutein ve zeaksantin kimyasal yapıları nedeniyle lipid zarlarını oksidasyonun zararlarına karşı korurlar. Lutein ve zeaksantin ikisinin de genellikle iyi kolesterol (HDL) moleküllerini taşıdıkları bilinmektedir. Luteinin deri, kalp, göz, bağışıklık problemleri diyabet ve çeşitli kanser tipi risklerini azalttığı bilinmektedir. Ayrıca Tip II diyabet hastalığına karşı koruyucu etkisi olduğu rapor edilmektedir. Kronik hepatit C ve alkole bağlı karaciğer rahatsızlıklarından kaynaklanan oksidatif stres ajanlarını önleyici etkisi belirlenmiştir. Lutein ve zeaksantin, zararlı çevresel etkilere (UV vb.) bedensel hücreleri koruyucu, bağışıklık sistemi için olumlu etkileri olan bileşenlerdir. Lutein/zeaksantin alımı ile bazı kanser türlerinin (göğüs, kolon, yemek borusu) riskinin azalması konusunda pozitif ilişki söz konusudur. Lutein alımı ile iskemik kalp çarpıntısı riskinde azalma rapor edilmiştir (Alakır, 2007).

Kantaksantin (Şekil 2.3) koyu turuncu-kırmızı renkli olan, gıdalarda katkı maddesi olarak kullanılan aynı zamanda antioksidan ve antibiyotik özelliği de olan ve E 161g koduyla bilinen karotenoid sınıfı bir renk maddesidir. Ticari olarak üretimi yapılmakta ve satılmaktadır. Kantaksantin derinin altında yağ tabakada biriktiğinden güneşte bronzlaşma nedenlerinden biridir. Kapalı formülü $C_{40}H_{52}O_2$ olan kantaksantin, beta, beta-karoten 4,4-dion (β , β -karoten 4,4-dion) olarak da bilinir.



Şekil 2.3. Kantaksantin kimyasal yapısı

Kantaksantin de diğer karotenoidler gibi yalnızca bitkiler tarafından sentezlenirler ve meyveler ile çiçeklerin parlak renklerinin nedenleridirler. Hayvanlar, karotenoidleri bitkilerden alır ve depo ederler, balıklar ise fitoplanktonları tüketerek kantaksantin ve astaksantini alırlar. Bakterilerde, çeşitli kabuklularda, sazan balığında ve çeşitli balık türlerinde (Salmon trout vb.) bulunmaktadır. Ayrıca kabuklularda ve alabalık yağında da astaksantin ve kantaksantin mevcuttur (Alakır, 2007).

Kantaksantin yem katkı maddesi ve direkt gıda katkı maddesi olarak tüketiminin yanı sıra; ilaç katkı maddesi olarak eczacılıkta ve cildi renklendirici ürün olarak kozmetik sanayiinde (fondöten, krem vb.) ve çeşitli kozmetik ürünlerde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Kantaksantin karaciğer yapısına yararlı olduğu, vücuttaki yağ peroksidasyonunu önlediği ve dolayısıyla da kan peroksitlerinin düzeyini azalttığı



bildirilmektedir. Yüksek antioksidan etkiye sahip olmalarıyla birlikte diğer antioksidan özellikteki vitaminlerin etkilerine sinerji de bulunmaktadırlar. Serbest radikalleri sönmölemeleri, bağışıklık sisteminde olumlu etkilere sahip olmaları ve bazı kanser türlerinde etkili sonuç verdikleri için gıdalara takviye olarak kullanılması önemlidir (Alakır, 2007).

2.1.2.2. Yağ Asitleri

Yumurta sarısı, doymamış yağ asitlerinin (linoleik ve oleik) ve yağda çözünen vitaminlerin kaynağıdır ve folik asit, pantotenik asit ve çinkoya ilaveten A, D, E ve K vitaminlerini içerir (Souza, 2012). Yumurtanın kompozisyonu; tavuğun genetiği, beslenmesi ve yaşı ile değışkenlik gösterebilir; yumurta sarısı yağlarının büyük bir kısmı triaçilgliseroller (%66) bunu takiben fosfolipitler (%30) ve kolesterolden (%5) oluşur (Fredrikson vd., 2005).

2.2. Yumurtanın Besin Değeri

Yumurtanın besin değeri yüksek bir gıda olup tek bir büyük boy yumurta (50 g) farklı vitamin ve minerallerin yanında 6,3 g protein, 5,3 g yağ (tekli ve çoklu doymamış) ve 72 kcal içermektedir (USDA, 2015a). Yumurtanın bileşimindeki besin öğelerinin kompozisyonu Tablo 2.3'te gösterilmiştir. Yumurta çok iyi bir selenyum ve kolin kaynağı olup iyi bir B₁₂ vitamini, fosfor ve riboflavin kaynağı sayılır. Yumurta, mevcut olan en yüksek proteinli gıdalardan biri olarak görülür ve diğer gıdalar içinde protein kalitesini kıyaslamak için referans olarak alınır. Yumurtada bulunan protein %94'lük biyolojik değeriyle beraber yüksek oranda sindirilebilir; karşılaştırılmış değerler, süt için %84,5, balık için %76 ve biftek için %74,3'tür (Souza, 2012).

2.3. Yumurta Saklama Koşulları ve Raf Ömrüne Etkisi

Yumurtaların raf ömrü depolandıkları sıcaklık ve biçimlere bağılı olarak birkaç saat, haftalardan birkaç ay ve yıllara kadar çıkabilir. Yumurtalar kabukları dolayısıyla mükemmel bir kalite muhafazasına sahiptirler; yumurtanın çeşidi (kahverengi, organik vs.) raf ömrünü etkilemez. Yumurta kartonunda muhafaza edildiğinde ve düzgün bir şekilde dondurulduğunda çatlağı olmayan temiz yumurtalar önemli ölçüde kalite kaybı olmadan 4-5 haftaya kadar muhafaza edilebileceklerdir. Sıkıca kapalı kaptaki suyla kaplı bütün pişmemiş yumurta sarıları 2 güne kadar dondurulabilir. Çok pişmiş yumurta sarıları sıkıca kapalı bir kapta iyice suyu alındığında, iyi depolandığında ve iyi dondurulduğunda 4-5 güne kadar muhafaza edilebilirler. Kabuklu iyi pişmiş yumurtalar düzgün bir şekilde soğutulduğunda 1 haftaya kadar muhafaza edilebilirler (Souza, 2012). Yumurta doğal ambalajı olan nadir besinlerden biridir; bununla beraber toplanması ve tüketimi arasındaki süreç içinde elverişli şartlarda muhafaza edilmediği taktirde kalitesinde önemli kayıplar meydana gelir. Uygun olmayan şartlarda tutulan yumurtalarda zamanla, biyolojik, kimyasal ve fiziksel değışiklikler



meydana gelmektedir. Bu nedenle yumurtaların dayanma süresini uzatmaya yönelik muhafaza yöntemleri önem kazanmıştır (Algan, 2007).

Tablo 2.3. Yumurta akı, yumurta sarısı ve bütün yumurta kompozisyonu (Souci vd., 2008; USDA, 2015b)

Bileşenler (100g'da)	Yumurta Akı	Bütün Yumurta	Yumurta Sarısı
Enerji değeri (kcal)	52	143	322
Su (g)	87,3	74,7	50
Protein (g)	11,1	12,5	16,1
Karbonhidrat (g)	0,70	0,70	0,30
Glikoz (mg)	410	340	210
Yağ (g)	0,03	11,4	31,9
Kolesterol (mg)	-	396	1260
Fosfolipitler (g)	-	3,51	10,30
Mineraller (g)	0,70	0,94	1,70
Sodyum (mg)	170	144	51
Potasyum (mg)	254	147	108
Magnezyum (mg)	12	11	16
Kalsiyum (mg)	11	51	140
Manganez (mg)	40	71	125
Demir (mg)	0,2	1,8	7,2
Çinko (mg)	0,02	1,3	3,8
Fosfor (mg)	21	210	590
Klorür (mg)	-	180	180
Florür (µg)	-	110	30
Vitaminler (µg)			
A vitamini	-	276	914
Karotenoidler	-	13	29
β-Karoten	-	13	29
D vitamini	-	2,9	5,6
Tokoferoller	-	2,3	6,5
K vitamini	-	8,9	-
B2 vitamini	320	408	400
Nikotinamid	90	83	65
Pantotenik asit	0,14	1,6	3,7
B6 vitamini	12	77	300
Biotin	7,0	25	53
Folik asit	9,2	67	167
B12 vitamini	0,1	1,9	2,0
C vitamini	300	-	-
Yağ Asitleri (mg)			
Palmitik asit	-	2580	6897
Stearik asit	-	723	2010
Palmitoleik asit	-	442	1173
Oleik asit	-	4280	11700
Linoleik asit	-	1160	3750

Yumurtalar tüketim şekillerine ve sürelerine bağlı olarak farklı şekillerde muhafaza edilebilirler (toz, dondurulmuş, sıvı gibi). Bu muhafaza şekilleri genel olarak soğukta muhafaza, yüksek ısı ile muhafaza (pastörizasyon, termostabilizasyon, sterilizasyon), kurutma ile (yumurta tozu gibi), dondurarak, koruyucu madde kullanımı ve ışınlamayla olmaktadır (Algan, 2007). Bu yöntemler arasında en sık kullanılan yöntem, yüksek ısıyla muhafaza olup bilinen anlamda pastörizasyondur. Sıcaklık, sülfidril içeriğinde değişikliğe yol açan yumurta proteinlerinin oksidasyonuna yol açar ve yumurta proteinlerinin fonksiyonel



özelliklerini değişmesine sonrasında da koagölasyona neden olur (Souza, 2012). Dolayısıyla sıcaklık uygulanarak yapılan pastörizasyon köpürme ve emülsifiye olma özelliklerine etki ederek yumurta ürünlerinin kalitelerini ve fonksiyonel özelliklerini azaltabilir (Souza, 2012). Bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması amacıyla ve yüksek kalitede gıda ürünlerine karşı artan tüketici taleplerinden dolayı “ısılmayan yollarla” muhafaza önem kazanmıştır (Açu vd., 2014).

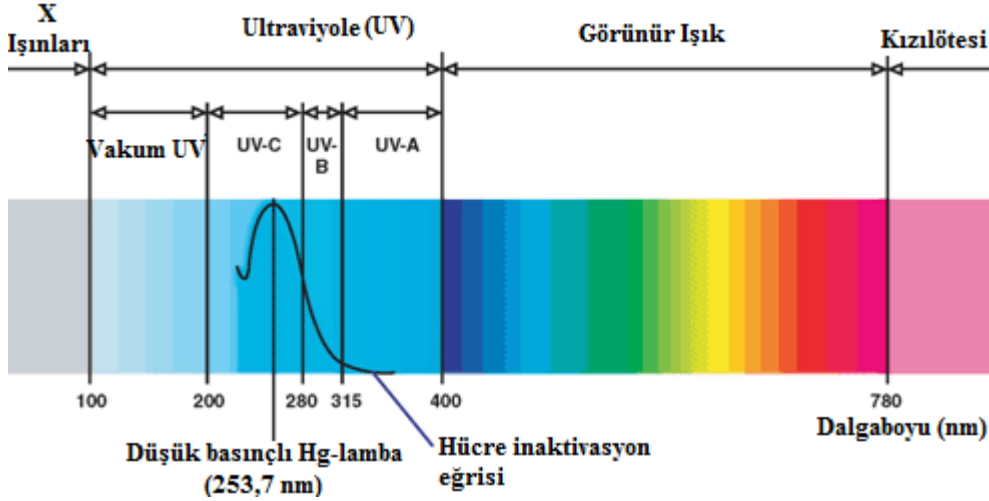
2.4. Yumurta Muhafazasında Kullanılan Alternatif Metotlar

Alternatif pastörizasyon metotlarında ısı kullanımı veya ısının diğer tekniklerle kombinasyonu yoktur ve son 20 yılda gelişme göstermiştir; ışınlama, biyokoruma, atımlı elektriksel alan, yüksek hidrostatik basınç atımı ve ultra yüksek basınç homojenizasyonu, yüksek hidrostatik basınç ile yüksek ultrason işleminin kombinasyonu, hidrojen peroksit uygulaması ve pH ayarlı pastörizasyon bu metotlar arasındadır (Souza, 2012). Bütün bu metotlar, *Salmonell spp*, *Listeria monocytogenes*, *E.coli* O157:H7 veya *Bacillus cereus* gibi patojenlerin inaktive edilmesine odaklanmıştır (Souza, 2012). Ve bunların çoğu koagölasyon oluşumu ve proteinlerin denatürasyonu yoluyla sıvı yumurta ürünlerinin yapılarında önemli değişikliklere yol açmaktadır (Souza, 2012).

Bütün bu kısıtlamalara karşılık UV-C ışık uygulaması, mikrobiyolojik olarak güvenliği sağlamak ve uzun raf ömrüne sahip gıda üretimi için alternatif bir işlem olabilir (Souza, 2012). UV-C ışık uygulaması sadece ısının zararlı etkilerini ortadan kaldırmakla kalmaz, aynı zamanda ek işleme gerek duyulmaz ve yöntem zaten berrak meyve suları ile gıda yüzeyleri için Amerikan Gıda ve İlaç İdaresi (US-FDA) tarafından onaylanmıştır (Souza, 2012).

3. ULTRAVİYOLE IŞIK UYGULAMASI

Işık, uzayda yolculuk yapan çeşitli elektromanyetik dalga spektrumunun yalnızca bir kısmıdır. Elektromanyetik spektrum bir metre veya daha fazla dalga boyunun yukarıdaki radyo dalgaları ile aşağıdaki 1 nm'den daha az olan X-ışınları aralığındaki bir skalayı kapsar (Koutchma vd., 2009). Elektromanyetik radyasyon; gama ışınları, X-ışınları, ultraviyole (UV) ışınları, görünür ışık, infrared ışınlar, mikrodalgalar ve radyo dalgalarından oluşur (Şekil 3.1) (Özkütük, 2007). UV radyasyonun keşfi Güneş ışığına maruz kaldığında kararar gümüş tuzlarının gözlemlenmesi ile ilgili olmuştur. Alman fizikçi Johann Wilhelm Ritter 1801'de, görünür bölge spektrumunun sonundaki gözle görülemeyen morötesi ışınların, mor ışığın kendisinden daha hızlı bir şekilde gümüş klorürle ıslatılmış kâğıdı karartmasıyla etkileyici bir gözlem yapmıştır. Kimyasal reaktiviteyi vurgulamak ve görünür bölge spektrumunun sonundaki diğer "sıcak ışıklardan" ayırmak için bu ışınları "oksitleyici ışınlar" olarak adlandırmıştır (Beeson ve Mayer, 2008).



Şekil 3.1. Elektromanyetik spektrum

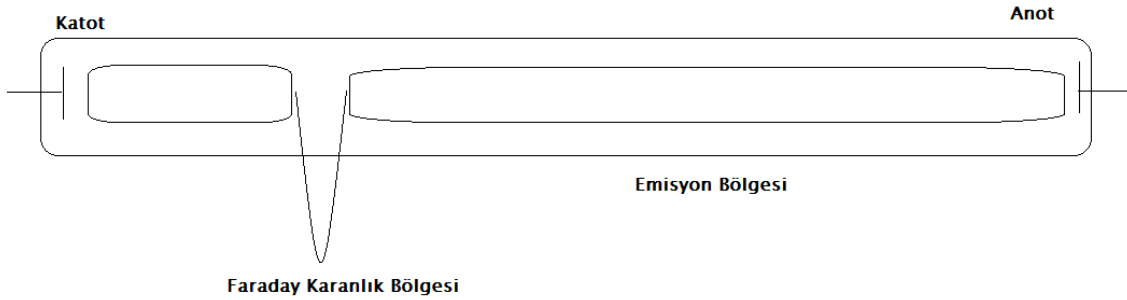
Genellikle UV işleme için dalga boyu 100 nm ile 400 nm aralığındadır. Bu aralık alt bölümlere ayrılmıştır; UV-A (315-400 nm) çoğunlukla insan cildinde bronzlaşma olarak adlandırılan değişikliklerden sorumludur, UV-B (280-315 nm) cilt yanıklarına sebep olur ve sonunda cilt kanserine yol açar, UV-C (200-280 nm) aralığına ölümcül aralık da denir, çünkü bakterileri ve virüsleri etkili bir biçimde inaktive eder (Koutchma vd., 2009).

3.1. Ultraviyole Işık Kaynakları

Doğada UV ışık ışınlarının kaynağı Güneş'tir (Aydın, 2009). Güneş, dalga boylarının geniş bir yelpazesindeki radyasyonu yayar ancak ultraviyole radyasyonun bazı yoğunluklarının yeryüzüne ulaşması önemli ölçüde, atmosfer tarafından yapılan emilim ve saçılım aracılığıyla azaltılmasına bağlıdır (Bintsis vd., 2000). UV-C ışık ışınları atmosferin üst ve orta tabakalarında ozon ve moleküler oksijen tarafından emilir fakat UV-B de benzer

şekilde azaltılırken bazı UV-B ışık ışınları yeryüzüne ulaşır. Buna rağmen UV-A ışık ışınları çok az etkilenir, yani karasal ortam aslında 290 ve 400 nm aralığındaki ultraviyole radyasyona maruz kalır (Bintsis vd., 2000). Dolayısıyla dezenfektan etkisi güçlü olan UV-C ışık ışınları (200-280nm) yeryüzüne ulaşmamaktadır ve zaten ulaşması halinde de dünyada insan dahil hiçbir canlının yaşaması mümkün olamazdı (Aydın, 2009).

UV-C ışık ışınlarının yapay kaynağı olarak genellikle lambalar kullanılır; lambalar (Şekil 3.2) UV-C iletimine izin veren cam veya kuvarstan yapılabilir. Sıradan pencere camları 350 nm'nin üzerindeki ışığın %90'ını geçirir fakat 300 nm'nin aşağısındaki ışığın % 90'ından fazlasını engeller (Souza, 2012). Bu lambalar 2 noktada ultraviyole ışık yayarlar; ampuldeki civa yayınının pik yaptığı 253.7 nm ve 185 nm noktalarında. Üretilen UV ışığın %73'ü 253.7 nm'de iken sadece %19'u 185 nm'dedir ve %8'lik kısım 313, 365, 405, 436 ve 546 nm'deki bir seride üretilir. Mikrop öldürücü (germisidal) lambalarda 185 nm dalga boyunu önlemek için bir katkılı kuvars (cam) kullanılır (Lucas, 2003; Souza, 2012).



Şekil 3.2. Bir UV lambanın bölümleri (Koutchma vd., 2009)

Bu lambalarda, cam bir tüp içindeki düşük basınçlı civa buharı içinden akan elektrik akımı sayesinde UV-C ışık üretilir (Özkütük, 2007). Dayanıklı kuvarstan imal cam tüp şeklindeki UV lambanın içinde özel inert bir gaz ve katı formda civa mevcuttur. Lambanın her iki ucunda elektrotlar bulunur ve enerji kaynakları ile beslenir. Öncelikle inert gaz ısıtılır, civanın buharlaşması ve iyonlaşarak tüp içerisine dağılması sağlanır. Ardından elektrotlar elektron yaymaya başlar. İki elektrot arasındaki potansiyel fark ile elektronlar tüp içinde bir elektrottan diğerine hareket etmeye başlar. Elektronlar civa iyonları ile çarpışarak enerji seviyelerini yükseltir. Civa iyonları aldıkları enerjiyi germisidal dalga boyu olan 253,7 nm'de UV-C ışık ışınları yayarak deşarj ederler (Aydın, 2009). Fotonlar kaynaklarından çıktıktan sonra (eğer önlerinde hiçbir engel yoksa) düz doğrultuda ve hiç sapmadan yayılırlar. Herhangi bir cisme çarpınca da cismin şeffaf olup olmamasına göre soğrulur, yansır, saçılır veya kırılırlar. Mikroorganizmaların inaktive edilmesi (dekontaminasyon) uygulamalarında, absorbe edilen ışığın yoğunluğu hedef bakteri popülasyonu için önemlidir ve Beer-Lambert Kanunu'na (Denklem 1) göre hesaplanır (Morowitz, 1950).

$$\frac{I_1}{I_0} = 10^{-\alpha_{10} d} = 10^{-A}$$

I_0 = madde yüzeyine düşen ışığın yoğunluğu (W/cm^2)
 I_1 = madde içerisinde d cm uzunluğa kadar nüfuz eden ışığın yoğunluğu (W/cm^2)
 α_{10} = maddenin logaritmik absorpsiyon katsayısı (cm^{-1})
A= maddenin herhangi bir dalga boyundaki logaritmik absorpsiyon değeri ($A=\log_{10}(I_0/I_1)$)

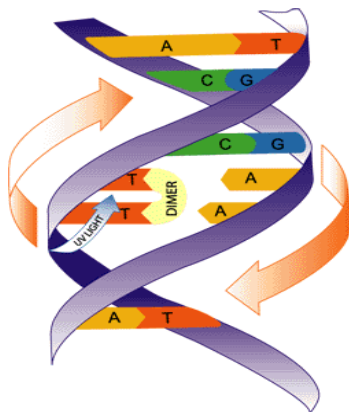
Denklem (1)

UV-C lambalar gelişmiş teknolojileri, yüksek verimlilikleri, uzun kullanım ömürleri ve uygun boyutlarda olmaları nedeniyle UV uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Baysal ve İçier, 2012).

3.2. Ultraviyole Işık ile Mikrobiyal İnaktivasyon

Ultraviyole ışığın en büyük antimikrobiyal etkinliği 250-260 nm (253,7 nm) dalga boyu bölgesindedir (Özkütük, 2007). 253,7 nm dalga boyu en verimli germisidal etkiye sahiptir çünkü fotonlar, bu spesifik dalga boyunda mikroorganizmaların deoksiribonükleik/ribonükleik asitleri (DNA/RNA) tarafından en verimli düzeyde emilirler (Koutchma vd., 2009). DNA veya RNA uzun zincirli polimerler olup nükleotid kombinasyonundan meydana gelmektedir. DNA, pürin (adenin ve guanin) ve pirimidin (timin ve sitozin) nükleotidlerinden oluşur. RNA ise pürin (adenin ve guanin) ve pirimidin (urasil ve sitozin) nükleotidlerinden meydana gelir (Baysal ve İçier, 2012).

HücreSEL DNA ve RNA'larca absorbe edilen ultraviyole ışık ışınları, bitişik timin bazları arasında kimyasal kovalent bağları oluşturarak timin dimerleri meydana getirir (Şekil 3.3). Ortaya çıkan timin dimerleri (T-T DIMER) hücreSEL ultraviyole hasarının başlıca mekanizmasını oluşturur. Hücre bölünmesi öncesi kromozom replikasyonu bozulur; genlerin transkripsiyonu ve ekspresyonu yapılamaz (Özkütük, 2007).



Şekil 3.3. UV ışığın DNA üzerine etkisi

Ultraviyole radyasyonun bu direkt antimikrobiyal etkileri dışında, ortamda ozon (O₃) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) gibi serbest radikaller oluşturarak indirekt etkisinin de olduğu belirtilmektedir. Mikrobiyal inaktivasyonun sağlanması için gıdanın en az 0,04 J/cm² enerjiye maruz kalması gerekmektedir (Özkütük, 2007). Literatürde bazı mikroorganizmaların inaktivasyonu için uygulanması gereken dozlar mevcuttur (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Farklı mikroorganizmaların 254 nm dalga boyundaki UV ışık ışınlarına maruz kaldıktan sonra %90 inaktivasyonu için gereken dozlar (J/m²) ve k (hız sabiti-m²/J) (Philips (2006)'dan uyarlanmıştır)

Mikroorganizma	Doz (J/m ²)	Hız sabiti, k (m ² /J)
<i>Escherichia coli</i>	30	0,077
<i>Salmonella enteritidis</i>	40	0,058
<i>Salmonella paratyphi</i>	32	0,072
<i>Salmonella typhimurium</i>	80	0,029
<i>Sarcina lutea</i>	197	0,012
<i>Staphylococcus albus</i>	18,4	0,126
<i>Saphylococcus aureus</i>	26	0,086
<i>Yersinia enterocolitica</i>	11	0,209
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	60	0,038
<i>Rhizopus nigricans</i>	1110	0,002
Rotavirüs	81	0,028
<i>Cryptosporidium parvum</i>	25	0,092
Mavi yeşil alg	3000	0,0008

3.3. Ultraviyole Işığın Gıda Endüstrisindeki Uygulamaları

Ultraviyole ışık kullanımı ile ilgili çalışmalarda, ya tezgah üzerine hizalanan ışın aparatları ya da sürekli akış reaktörleri kullanılarak, germisidal dalga boyundaki UV-C ışığın etkisi araştırılmıştır (Somner vd., 1998; Souza vd., 2012). Bu çalışmaların çoğunda içme ve atık su örnekleri kullanılmış ve çalışma koşullarında mikrobiyal inaktivasyonun başarılması benzer dozlarla sıvı gıdalardaki başarıdan oldukça iyi bulunmuştur. UV-C ışık uygulaması aynı zamanda gıda endüstrisinde; et ve sebze işlemindeki havanın sanitasyonunda, kırmızı etteki patojen mikroorganizmaların azaltılmasında, kümes hayvanları ve balığın işlenmesinde (Souza, 2012) ve ambalaj materyalinin dekontaminasyonunda da kullanılmaktadır (Bintsis vd., 2000; Souza, 2012). UV-C ışık ayrıca, ekmeklere, kabuklu yumurtalara tüm ve hasat edilmiş meyve ve sebzelere ve toz ürünlere de uygulanabilir (Koutchma vd., 2007). İşlem ekipmanları, tıbbi cihazlar ve diğer pek çok yüzey de UV ışık ile sterilize edilir (Souza, 2012).

UV-C ışık, gıda endüstrisinde farklı amaçlar için kullanılmaktadır (Koutchma vd., 2009). UV-C ışığın en yaygın uygulaması hava, yüzey ve suyun dezenfeksiyonu içindir. UV-C ışık dezenfeksiyonu aynı zamanda ticari işyerleri (tatil yerleri, oteller, restoranlar), enstitüler (hastaneler, okullar, bakımevleri, balık üreme yerleri, laboratuvarlar) ve endüstrilerin (gıda ambalaj, bira, şişe, kozmetik) sanitasyonu için kullanılan bir prosedürdür (Guerrero-Beltran



ve Barbosa-Canovas, 2004). UV-C ışık ışınlarının dezenfektan etkisini su arıtımında kullanmaya yönelik çalışmalar 19. yy sonlarına dayanmakla birlikte dünyanın ilk UV su dezenfeksiyon sistemi 1910 yılında Marsilya-Fransa'daki arıtma tesisinde devreye girmiş ve 1950'li yıllardan itibaren de UV ışık ışınları ile suların dezenfeksiyonu hızla yaygınlaşmıştır (Aydın, 2009). İlk olarak suların işlenmesinde kullanıldıktan sonra meyve suyu işlemede de kullanılmaya başlanmıştır. Çalışmalardaki ilerlemeler; 1999'da, taze meyve suyu ürünlerinin termal pastörizasyonuna alternatif bir işlem olarak UV-C ışığın Amerikan Gıda ve İlaç İdaresi (US-FDA) tarafından onaylanmasıyla sonuçlanmıştır (Souza, 2012). Meyve sularının yanı sıra sıvı şekerlere, salamurlara, farmasötiklere, yağlama yağlarına ve yarı geçirgen veya geçirgen bileşenlere veya gıdalara da uygulanan UV-C ışık uygulaması, bu geniş yelpazedeki ürünlerin mikrobiyal kontaminasyon seviyelerini azaltmak için kullanım potansiyeli olan bir yöntemdir (Souza, 2012).

UV-C ışık aynı zamanda bir gıdanın yüzeyine de uygulanabilir. Örneğin, şekerin ince bir katmanındaki *Bacillus stearothermophilus* veya etin yüzeyindeki *Pseudomonas* spp. gibi gıdanın bozulmasına yol açan mikroorganizmaların kontrol edilmesi için kullanılır (Bintsis vd., 2000). UV-C ışık uygulaması, pişirme sonrası kontaminasyonu minimize etmek için kısmen pişmiş ambalajlı bageetlerin raf ömrünü uzatmak için kullanılmıştır (Doulia vd., 2000). Lyon vd. (2007), çığ broyler göğüs filetolarında pişmemiş ürünlerdeki *Listeria monocytogenes* yükünü azaltma potansiyelini değerlendirmek için UV-C ışık ($1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2 - 5$ dakika) ile çalışıldığını bildirdiler. Kemiksiz ve derisiz göğüs filetoları işlemden 5 dakika önce *L.monocytogenes*'in 4 farklı suşu ile inoküle edilmiş ve UV-C uygulamasından sonra, göğüs filetoları 4°C'de 24 saat depolanmıştır. İşlem uygulanmayan kontrol grubu ile karşılaştırıldığında UV-C ışık uygulanmış göğüs filetolarında 4 suşu ile yaşayabilen *L.monocytogenes*'te 2 log'luk azalma gözlenmiştir.

UV-C ışığın etkisi, taze kesilmiş karpuz ve kavunun mikrobiyal popülasyonu ve kalitesi üzerine ve elmaların, kivilerin, limonların, nektarinlerin, portakalların, şeftalilerin, armutların, ahududuların ve üzümün yüzey dezenfeksiyonu için değerlendirilmiştir. Fonseca ve Rushing'in (2006) bildirdiği sonuçlar, $4.1 \text{ kJ}/\text{m}^2$ UV-C ışığa maruz kalan paketli karpuz küplerinin suyunda fire olmadan, renk ve bütün görsel kalitesi etkilenmeden mikrobiyal popülasyonunda 1 log'dan daha fazla bir azalma olduğunu göstermiştir (Souza, 2012).

Wright vd. (2000), elma suyundaki *E.coli* O157:H7'yi azaltmak için UV-C ışığın etkinliğini incelemişlerdir. Çalışmaları için bir CIDER-10uv (IdeaL.horizons, Poultney, VT) modeli olan üniteyi 9.4 'ten $61 \text{ J}/\text{m}^2$ 'ye kadar olan aralıkta dozaj sağlamak için kullanmışlardır. Bu ünite, ince bir film şeklinde pompalanan elma suyunun geçtiği seri bağlı 10 tek UV kabini içermektedir. UV-C uygulamaları ortalama 3.81 log gibi bir azalma ile patojen sayısını önemli ölçüde azaltmıştır.



Geveke (2005), UV-C ışık geçirgen özellikteki Chemflour boru bobini ile çevrelenmiş tek lambalı UV-C ışık aparatı ile elma suyunu işlemiştir. *Esherichia coli* K12 ve *L.innocua* elma suyunun inokülasyonu için kullanılmıştır. *E.coli* K12 popülasyonu; 15W'lık LMP lambasından gelen UV-C ışığa 19 saniye maruz kaldıktan sonra 3.4 log azalmıştır. *L.innocua* popülasyonu UV-C ışığa daha dirençli bulunmuş ve 58 s ışığa maruz kaldıktan sonra 2.5 log azalma olmuştur. Hanes vd. (2002), bir CiderSure 3500A cihazı kullanarak taze elma suyundaki *Cryptosporidium parvum* ookistlerinin inaktivasyonunu tespit etmişlerdir. Harrington ve Hills (1968), 14.32 mJ/cm²'de 1.2 saniyeden 1.9 saniyeye kadar işlenen meyve sularında, 106 mL⁻¹'den 23 ookist mL⁻¹ olarak belirlenen en alt limitin altına başarılı bir şekilde azaltma sağlamıştır.

Müller vd. (2011), Dean Vortex teknolojisine dayalı laboratuvar ölçekli UV-C işlem cihazının bulanık meyve sularında bozulma yapan mikroorganizmaları inaktive etmek için olabilirliğini test ettiler. 5 ve 6 log'luk azalma, sırasıyla 1.9 ve 7.7 kJ.L⁻¹'de doğal bulanık elma suyundaki *Lactobacillus plantarum* (BFE 5092) ve *E.coli* DH5α üzerinde sağlandı. 9.6 kJ.L⁻¹'lik bir uygulama ile *Saccharomyces cerevisiae* DSM 70478 ve *Alicyclobacillus acidoterrestris* DSM 2498' de 4 log'luk inaktivasyon sağlamıştır. Giderek artan akış hızı ve dolayısıyla daha da yükselen Dean sayısı (eğrisel kanallarda eğrilikten kaynaklanan akışla ilgili boyutsuz bir sayı) UV-C işleminin etkinliğini net bir biçimde geliştirmiştir. Böylece, kan portakal suyundaki *L.plantarum*'un inaktivasyonunu 7.7 kJ.L⁻¹'de Dean sayısını 32'den 256'ya kadar arttırarak yaklaşık 2.5 log'luk azalma ile geliştirebilmiştir.

Guerrero ve Barbosa Canovas (2005), elma suyunda UV-C ışık ile *Saccharomyces cerevisiae*, *E.coli* ve *L.innocua*'nın inaktivasyonu üzerine çalışmışlardır. Atlantik UV Co.'dan alınan iki adet halka şeklinde tek lambalı reaktörler 25W'lık bir LMP lamba kullanılarak seri bağlanmıştır. Elma suyu sisteme yeniden sirküle edilmiş, sadece laminar akışta gösterilen Re sayıları denemeler boyunca elde edilmiştir. 30 dakikalık UV-C ışık uygulamasından sonra *S.cerevisiae*, *E.coli* ve *L.innocua* için sırasıyla 1.34, 4.29 ve 5.10 log'luk azalma bildirilmiştir. Bu çalışmada 450 kJ.m⁻²'lik UV-C ışık dozu kullanılmıştır.

Canovas (2006), UV-C ışığı ile mango nektarını işlemiş ve yukarıda bahsedilen UV reaktörünü kullanarak *S.cerevisiae* ve polifenoloksidazın inaktivasyonunu incelemiştir. En fazla logaritmik azalma, 30 dakikalık işlem uygulamasından sonra sağlanmış ve buna ek olarak, mango nektarlarının raf ömrünün 20 güne kadar uzadığı rapor edilmiştir. Matak vd. (2005), CiderSure 3500 UV cihazının kullanımı ile 15.8-1.6 kJ/cm kümültatif UV-C dozuna maruz kalmasıyla keçi sütündeki *L.monocytogenes* sayısında 5 log'dan daha fazla bir azalma kaydetmişlerdir.

Reinemann vd. (2006), UV-C ışıkla, sadece düşük bir azalma gösteren spor formları ve en büyük azalmayı gösteren koliformlar ile çiğ inek sütündeki toplam bakteri sayısında 3 log'luk bir azalma sağladığını bildirmiştir. Tam ve yarım yağlı süt ile Middlebrook 7H9 sıvı



besiyerindeki *Mycobacterium avium* subsp. *Paratuberculosis*'in UV-C ışık ile inaktivasyonu UV-C ışık geçirgen bir akış borusuyla çevrelenmiş 4 UV-C lambadan oluşan bir laboratuvar ölçekli birimi kullanarak Altic vd. (2007) tarafından incelenmiştir. UV-C ışık işlemlerinin, Middlebrook 7H9 sıvı besiyerinde bulunandan (her 1000 mJ/mL'de 2.5'ten 3.3 log'a kadar azalma) sütte bulunan *M. avium* subsp. *Paratuberculosis*'in (her 1000 mJ/mL'de 0.5'ten 1 log'a kadar azalma) öldürülmesinin daha az etkili olduğu belirlenmiştir.

3.4. Ultraviyole Işığın Yumurta ve Ürünleri Üzerindeki Uygulamaları

Yumurtalar üzerine yapılan çalışmalarda, araştırmalar daha çok kabuğun sanitasyonuna odaklanmış (Sommers vd., 2010; Souza, 2012) olup, son yıllardaki çalışmalar da sıvı yumurta ürünlerinin özellikle de sıvı yumurta akının inaktivasyonu üzerine yoğunlaşmıştır (Ünlütürk vd., 2008; Ünlütürk vd., 2010; Souza, 2012). Sıvı yumurta ürünleri üzerine UV-C uygulaması 1964'te başlamıştır. Ijichi vd. (1964), dakikada 100 mL sıvı yumurta akı besleyen sistemde UV-C ışık uyguladıklarında, *Salmonella typhimurium* ve *Salmonella seftenberg* sayısının 6-7 log azaldığını bulunmuştur.

Ünlütürk vd. (2008), hedef mikroorganizma ve *E.coli* (ATCC 8739) kullanarak sıvı yumurta ürünleri için UV-C ışığın etkinliğini araştırmışlardır. Bu amaçla, uygulanan UV yoğunluğu ve maruz kalma süresinin sıvı gıdaya etkisi, sıvı yumurta sarısı (LEY), sıvı yumurta akı (LEW) ve sıvı bütün yumurta (LWE) olarak adlandırılan 3 sıvı yumurta ürünündeki *E.coli* (ATCC 8739) inaktivasyonu için ürünler UV-C ışığa maruz bırakılmıştır. Örneklere UV-C ışık uygulaması; Bolton ve Linden (2003)'ün tarif ettiği gibi bir paralel ışın demeti yayan cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Bu cihaz, 254 nm dalga boyunda en yüksek ışımaya yapan bir adet LMP lambadan oluşmaktadır. UV-C ışık ışınları bir petri kabı ile aynı boyutta olan bir düz siyah boyalı tüp/boru ile koşullandırılmıştır. Örnekler koşullandırılmış UV-C ışık ışınlarının direkt olarak altında 6 cm çaplı petri kaplarının içinde ve uygulama boyunca örnekler sürekli karıştırılmıştır. Elde edilen maksimum inaktivasyon LEY'de 0,675 log; LWE'de 0,316 log olmuştur. Diğer yandan *E.coli* (ATCC 8739)'de 2 log azalma LEW için sağlanmıştır. UV-C ışığın LWE ve LEY için uygun inaktivasyon işlemi olamayabileceği sonucuna varılmıştır.

Ngadi vd. (2006), elma suyu (pH 3.5) ve yumurta akı (pH 9.1) gibi UV-geçiren ürünlerde *E.coli* O157:H7 inaktivasyonuna pH, gıda ortamının derinliği ve UV-ışık dozunun etkilediğini bildirmiştir. Ortam derinliği 1, 3.5 ve 10 mm iken uygulanan UV dozu 0'dan 6,5 mW.dakika.cm⁻²'ye kadar olan aralıktadır. Ortam pH'sı *E.coli* O157:H7 inaktivasyonunu etkilememiştir çünkü benzer inaktivasyon özellikleri hem elma suyunda hem de yumurta akında gözlenmiştir. Sıvı derinliği ve UV dozu sırasıyla 1 mm ve 6,5 mW.dakika.cm⁻² iken 5 log'tan fazla bir azalma olduğunu gözlemişlerdir. İşlem görmüş elma suyu ve yumurta akının



dış görünüşlerinde (oda sıcaklığında (25°C) 4 hafta boyunca depolandığında) ve renklerinde herhangi bir değişiklik olmadığını göstermiştir.

Geveke (2008), UV-C ışık geçirgen boru ve bir silikon bant ile çevrili LMP bir lamba ile sürekli bir işlem kullanmanın LEW'deki *E.coli* K12 (ATCC 23716) için etkili bir işlem olduğunu bildirmiştir. Bu çalışmada; *E.coli* popülasyonunda, 50°C'de 160 s UV-C ışığa maruz kaldıktan sonra 4,3 log'luk azalma olduğu görülmüştür. Yumurta güvenliğinin gelişmesine ve ispat edilmiş UV-C ışık inaktivasyon etkinliğine acilen ihtiyaç duyulmasına rağmen yumurtalara UV-C işlem uygulaması henüz ticari olarak uygulamaya konulamamıştır (Souza, 2012).

4. GEREÇ ve YÖNTEM

4.1. Örneklerin Temini, Hazırlanması ve Muhafazası

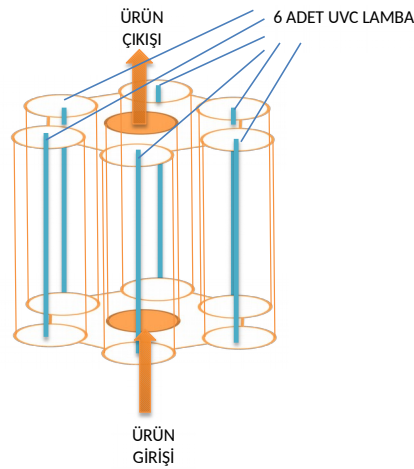
Yumurtalar, Afyonkarahisar ilinde yumurta üreticisi olan ve ulusal marketlere ürün satışını gerçekleştiren bir firmadan temin edilmiştir. Çalışmada ortalama 55-61 g ağırlığındaki taze yumurtalar kullanılmıştır. Yumurtalar soğuk zincirde laboratuvara taşınmış ve işlemler öncesinde 10 günden fazla olmayacak şekilde +4°C sıcaklıkta depolanmıştır. Deneyin yapılacağı gün yumurtalar, soğuk zincirden çıkarılıp ortam sıcaklığı yaklaşık 20°C olan bir laboratuvara alınmıştır.

4.2. UV-C Işık Uygulaması

Homojen hale getirilmiş yumurta sarılarına UV-C ışık uygulaması tasarlanan ve bu proje kapsamında kurulumu gerçekleştirilen sürekli akış UV reaktör sistemi (Şekil 1) ile gerçekleştirilmiştir. Sürekli Akış UV Reaktör Sistemi; pompa, rezervuar, UV reaktör ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Sisteme rezervuardan giren örnekler UV reaktörden pompa (peristaltik) yardımıyla sistemi 5mm iç çaplı kuvars bir boru içerisinde dolaşmış ve döngü sayısı ile akış hızı değiştirilerek UV-C ışığa maruz kalma süresi ayarlanmıştır. Kuvars boru etrafına 6 adet UV-C lamba hegzagonal şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 4.1). Proje kapsamında yapılan ön denemelerde *Salmonella typhimurium* bakterisinin inaktivasyon dozlarını karşılayacak döngü sayısı sistem içerisine giren örnekten belirli sürelerde numune alınıp klasik kültürel yöntemlerle analiz edilmiştir. Laboratuvarımızda bulunan radyometre (HD 2302.0, Delta Ohm Srl, Roma, İtalya) ve bu cihaza özel UV-C prob vasıtasıyla ışık yoğunluğu ölçülmüştür. Kuvars kılıfları bulunmayan 6 adet UV-C lamba ile 1 dakika süre boyunca uygulanan UV-C ışık dozu 177.12 J/m² olarak tespit edilmiştir. Literatürde *Salmonella typhimurium* patojenin 1 log'luk azalması için gerekli UV-C ışık dozu 80 J/m² olarak rapor edilmektedir (Souza, 2012). İçerisinden yumurta sarısı akan kuvars borunun (r=2.5 mm, UV-C ışığa maruz kalan uzunluk=450 mm) iç hacmi 8.83 cm³ olarak hesaplanmıştır. Dakikada 10mL hızda yapılan denemelerde, yumurta sarılarının UV-C ışığa maruziyet süresi 50 saniye olarak gözlenmiştir. Teorik maruziyet süresi de 53 saniye olarak hesaplanmıştır. Bu durumda 130mL hacmindeki yumurta sarısı sistemden 130mL/dakika hızda geçirildiğinde, her bir dakika her yumurta sarısı sistemden bir kez geçmiş olacak ve yukarıda belirtilen UV-C ışık dozuna maruz kalacaktır. Bu hesaplamalarda yumurta sarılarının UV-C ışık geçirgenliği hesaba katılmamış olup, 80 J/m² değeri ışık geçirgenliği olan ürünler için geçerlidir. Teorik olarak, uygulanması planlanan doz 2 log azalma için yeterli görünmektedir. Ancak uygulamadaki farklılıkların belirlenmesi için, ara raporda detayları verilen mikrobiyolojik çalışmalara ait ön denemeler, bu hesaplamalar göz önünde bulundurularak yapılmıştır. Mikrobiyolojik analizler için tasarlanan denemelerde, yumurta kabukları %70'lik etil alkol-su karışımı sprey edilerek steril hale getirilmiş ve mümkün olduğunda aseptik şartlarda yumurta

içeriği toplanarak steril beherlerde biriktirilmiştir. Diğer denemelerde ise, kabuk sterilizasyonu yapılmamıştır. Şalaz bağlarının kopmasıyla (yumurta sarısı ayırıcısı yardımıyla) yumurta fazları ayrılmış ve yumurta sarısı karışımı basit bir el çırpıcısı ile homojen hale getirilmiştir. Karıştırma işlemi çok hızlı olmayacak şekilde 2 dakika boyunca gerçekleştirilirken karışımın köpürerek hava kabarcığı oluşmasının önüne geçilmesi amaçlanmıştır. UV-C ışık sürekli akış sistemi kullanılarak yumurta sarısı karışımları UV-C ışığa maruz bırakılmıştır.

İnaktivasyon süreleri tespit edildiğinde işlem tekrarlanmış ancak bu kez Salmonella suşu inoküle edilmemiştir. Yumurta sarıları tespit edilen sürelerde UV-C ışığa maruz bırakılmıştır. UV-C ışık uygulama işlemi bittikten sonra örnekler 48 saat süreyle freeze-drier ünitesinde (BW-10B, Shanghai Bluewave Industry Co. Ltd., Şanghay, Çin) liyofilize edilmiş ve -20°C'de saklanmıştır. Liyofilize toz örnekleri ertesi gün ekstraksiyon işlemine maruz bırakılmış ve elde edilen ekstraktlarda lutein, zeaksantin ve kantaksantin ile yağ asidi kompozisyonu analizleri gerçekleştirilmek üzere Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne teslim edilmiştir.



Şekil 4.1. Tasarlanan UV reaktörün iç yapısı (ürün sadece merkezdeki kuvars boru içinde akmaktadır.)

4.3. Mikrobiyolojik Analizler

4.3.1. Mikrobiyoloji Denemelerinde Kültürün Aktifleştirilmesi

Liyofilize *Salmonella Typhimurium* (Suş No: RSKK 11020)'un aktifleştirilmesi için suş Eppendorf tüpüne alınmış ve önceden hazırlanan Tryptic Soy Broth'tan (TSB) 1 mL üzerine eklenmiştir. 18-24 saat 37°C sıcaklıkta inkübasyona bırakılmıştır. Gelişmeye bırakılan Eppendorf tüpündeki suş, 23 saat sonunda inkübatörden alınmış ve içerisine 10 mL TSB bulunan cam tüpe yerleştirilmiştir. 18-24 saat 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır.



İnkübasyona bırakılan kültürden alınarak, önceden petrilere dökülerek hazırlanmış olan Tryptic Soy Agar (TSA) üzerine steril öze yardımı sürme ekim yapılmıştır. İçerisinde TSA bulunan 3 adet petriye ekim yapıldıktan sonra 18-24 saat 37°C sıcaklıkta inkübasyona bırakılmıştır. Gelişme gözlenen petrilere tek düşen koloniler, içerisinde 1 mL TSA bulunan 4 adet Eppendorf tüpüne alınmıştır. 18-24 saat 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır. İçerisinde kültür gelişen petrilere +4°C'ye kaldırılmıştır. İnkübasyon süresi sona erdiğinde Eppendorf tüpleri +4°C'ye kaldırılmıştır. 4 adet cam tüp içerisine 5 mL TSA koyulmuş ve üzerine önceden gelişmeye bırakılan ve +4°C'ye kaldırılmış olan Eppendorf tüplerindeki kültürden 300 µL eklenmiştir. 18-24 saat 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır. 4 adet cam tüp içerisine 10 mL TSA koyulmuş ve üzerine önceki gün gelişmeye bırakılan kültürden 300 µL eklenmiştir. 18-24 saat 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır.

İnkübasyon sonunda içerisinde en fazla gelişme gözlenen cam tüp seçilerek sadece TSA referans alınarak spektrofotometrede optik yoğunluk (OD) ölçümü yapılmıştır. Ölçüm sonucu OD değerinin yaklaşık 1 olduğu görülmüştür. Olması gereken değer aralığı 0.7-1.0 olduğu için elde edilen değer kabul edilmiştir. 8 adet boş cam tüpe 9 mL peptonlu su eklenmiştir. İnkübasyon sonunda içerisinde en fazla gelişme gözlenen cam tüpten 1 mL kültür alınarak pepton su bulunan tüplerden ilkinde alınmıştır. Bu şekilde (-1, -2, -3, -4, -5, -6, -7, -8) 2 paralelli olarak seyreltme yapılmıştır. Sonrasında seyreltme yapılan tüplerden 1'er mL alınarak petrilere aktarılmıştır. Üzerlerine de TSA'dan dökülerek dökme ekim yapılmıştır. 18-24 saat 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonunda sağlıklı bir gelişme gözlenmiş ve herhangi bir bulaşma olmadığı saptanmıştır.

4.3.2. UV-C Işık Uygulaması Sonundaki Mikrobiyolojik Analizler

UV-C ışık ışınlarına maruz kalan (0, 5, 30, 60, 90, 120 dakika) yumurta sarılarından 1'er mL alınarak ekimler gerçekleştirilmiştir. Dökme ekim yöntemi uygulanmıştır. 9 mL peptonlu su bulunan tüplere 1'er mL yumurta sarısı örneği eklenmiş ve seyreltme yapılmıştır. Seyreltmelerden -5 ve -7 arasında yapılanlardan petrilere dökme ekim (TSA) yapılmıştır. 18-24 saat 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Sonrasında sayım yapılarak değerlendirilmiştir.

4.3.3. UV-C Işığın *Salmonella typhimurium* Üzerine Etkisi

Salmonella typhimurium bakterisinin patojen olması göz önüne alındığında, UV-C ışığının antimikrobiyal etkisinin belirlenmesi için ayrı bir çalışma yapılmıştır. Çalışmanın bu aşamasında, *S.typhimurium* inoküle edilmiş homojen yumurta sarıları Şekil 4.1'deki sistemde UV-C ışığa maruz bırakılmış ve elde edilecek numuneler üzerinde mikrobiyolojik analizler gerçekleştirilmiştir. Mikrobiyolojik analizler, Ünlütürk vd.'nin (2007) belirttikleri gibi klasik kültürel yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Çalışmalarda kullanılan *S. typhimurium* Refik Saydam Hıfzıssıhha Enstitüsü'nden liyofilize kültür formunda temin edilmiştir. Çalışmalar



esnasında, -80°C liyofilize tüplerde saklanan kültürler, nutrient broth içerisine inoküle edildikten sonra 18-24 saat süresince 37°C'de inkübasyona bırakılmıştır. Yumurta sarısı örnekleri, kültür ile inoküle edilmiştir. Çoğaltma ve sayım işlemi için, uygun seyreltmeler 0.1% peptonlu su ve tryptic soy agar içeren petriyelerle gerçekleştirilmiştir. Detaylar aşağıda sunulmuştur. Yumurta sarısı karışımındaki mikrobiyal yük belirlenmesi amacıyla inokülasyon öncesinde de ekim yapılmıştır. Tüm petriyeler 37°C'de 24 saat boyunca inkübe edildikten sonra oluşan koloniler sayılmıştır.

4.4. Kimyasal ve Fiziksel Analizler

4.4.1. Ekstraksiyon İşlemi

Yumurta sarılarındaki yağ asidi kompozisyonu ve karotenoid (lutein, zeaksantin ve kantaksantin) analizleri için toz haldeki liyofilize yumurta sarısı örnekleri kullanılmıştır. Her bir örnekten 2'şer gram hassas terazide (HR-250AZ, A&D Company, Ltd., Cakarta, Endonezya) tartıldıktan sonra üzerine 10 mL kloroform/metanol (2:1) (v/v) karışımı eklenmiştir. Tüp karıştırıcıda 1 dakika karıştırma sonrasında 3 dakika ultrasonik su banyosunda ve tekrar 1 dakika tüp karıştırıcıda karıştırılmıştır. Bu işlemlerden sonra soğutmalı bir santrifüj (NF 800R, Nüve, Ankara) yardımıyla karışım 10 dakika boyunca 10°C sıcaklıkta 9418 g (RCF) hızda santrifüj edilmiştir. Ekstraksiyon işleminden sonra santrifüjden alınan örneklerin üzerindeki üst fazdan (süpernatant) 200 µL alınmıştır. Üzerine 1 mL metanolik HCl eklenmiştir (Bligh vd., 1959) ve bu şekilde 70°C'de 2 saat bekletilmiştir. Bu sürenin sonunda üzerine 1 mL hekzan enjekte edilerek karıştırılmış ve son olarak hekzan ile muamele edilen örnekler dönel evaporatörde (HL/HB G3, Heidolph Instruments, Schwabach, Almanya) evapore edilmiştir.

Yumurta sarılarındaki lutein, zeaksantin ve kantaksantin kromatografik analizi için UV-C uygulamasından sonra liyofilize edilen yumurta sarıları kullanılmıştır. Ekstraksiyon işlemi (Breithaupt, 2004) için 0,75 g örnek tartıldıktan sonra üzerine hacmen bire bir oranlarında karıştırılmış metil alkol/etil asetat/petrol eteri karışımından 6 mL ilave edilmiştir. Vorteks cihazı (VM-10, Daihan, Güney Kore) ile 15-20 saniye karıştırıldıktan sonra karışım 15 dakika ultrasonikasyon cihazında muamele edildi. İyice karışabilmesi için orbital çalkalayıcı cihazına (SHO-1D, Daihan, Güney Kore) yerleştirilmiş ve bir gece boyunca burada karışması sağlanmıştır. Karıştırma işlemi sona erdikten sonra üst fazlar evaporatör balonlarına alınmış ve dönel evaporatör ünitesinde uçucu fazlar uzaklaştırılmıştır.

4.4.2. Lutein, Zeaksantin ve Kantaksantin Analizleri

Uygulanan işlemler sonunda elde edilen örneklerde lutein, zeaksantin ve kantaksantin konsantrasyonlarının belirlenmesine HPLC cihazı (Prominence, Shimadzu Corp., Kyoto, Japonya) kullanılmıştır. Pik tanımlamak amacıyla LC Solution programı kullanılmıştır. Analiz Breithaupt'un (2004) belirttiği şekilde gerçekleştirilmiştir. Ters faz HPLC çalışma kolonu (YMC-C30, YMC Europe GMBH, Schermbeck, Almanya) (250x4,6 mm i.d., S-5µm) ve fotodiyot array (DAD) dedektör kullanılmıştır. UV dedeksiyon 460 nm'de yapılmıştır. Kolon sıcaklığı 27°C, enjeksiyon hacmi 10 µL olup akış hızı ise 1 mL/dakikaya ayarlanmıştır.

4.4.3. Yağ Asidi Kompozisyonunun Belirlenmesi

Uygulanan işlemler sonunda evapore edilen örnekler tartılarak viallere alınmıştır. Gaz kromatografi/kütle spektroskopisi (GC-MS) cihazı (Agilent 5975 C Agilent 7890A GC-Agilent 7697A headspace sampler- Teledyne Tekmar Atomx, Agilent Technologies, Kaliforniya, ABD) yağ asidi kompozisyonunu belirlemek amacıyla kullanılmıştır. Pik tanımlamak amacıyla MSDCHEM yazılım programı kullanılmıştır. Zıt faz analitik kolonu (CP-Sil 88 for FAME, Agilent Technologies, ABD) (100m*0,25mm*0,20) yağ asitlerinin ayrıştırılması için kullanılmıştır.

Analizlerde kullanılan saf kimyasallardan kantaksantin standardı Sigma-Aldrich (Missouri, ABD), lutein ve zeaksantin standartları ise Extrasynthese (Genay, Fransa) firmalarından temin edilmiştir. Kullanılan diğer kimyasallar (BHT, hekzan, n-heptan, etil asetat, petrol eteri ve metil tersiyer butil eter) Sigma-Aldrich (Missouri, ABD) firmasından satın alınmıştır.

4.4.4. Renk Ölçümü

Toz hale getirilen yumurta sarısı örneklerinde renk ölçümlerinde CIE L*a*b* (Commission International de L'Eclairage/Uluslararası İlüminasyon Komisyonu) sistemi kullanılmıştır. Ölçüm için, renk ölçüm cihazı firması (Chromameter CR-400/410, Konica Minolta Holdings Inc., Marunouchimarka, Tokyo, Japonya) tarafından sağlanan renk ölçüm kabına toz örnekten yaklaşık olarak 1 gram tartılmış ve üzeri kapatılmıştır. Üzeri beyaz kağıtla kapatılan örnek kabının altından direkt ölçüm yapılmıştır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Toz haldeki yumurta sarısı örneklerinde renk ölçümü

4.4.5. Toplam Kuru Madde Analizi

Yaş yumurta sarısı örneklerinin nem ve kuru madde tayini elektronik hızlı nem analizörü (Moisture Analyser DBS, Kern-Sohn GmbH, Balingen, Almanya) ile yapılmıştır. Yaklaşık 1-2 gram arasında tartılan yumurta sarılarına, nem analizörü üretici firma tarafından mayonez için önerilen program (138°C'de 10 dakika) uygulanmış ve sonuçlar yüzde kuru madde olarak kayıt altına alınmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. Yaş yumurta örneklerde nem analizi, A: Nem analizörüne örneğin yerleştirilmesi, B: Nem tayini sırasında analizörün görüntüsü

4.5. Degradasyon Kinetiği Hesaplamaları

UV-C ışığa maruz bırakılmış yumurta sarılarındaki karotenoidlerin degradasyon derecelerinin tespit edilmesinde sıfırıncı, birinci ve ikinci derece kinetikler için sırasıyla Denklemler 2, 3 ve 4 kullanılmıştır.

$$C = C_0 - k_0 \cdot t \quad \text{Denklem 2}$$

$$C = C_0 \cdot \exp(-k_1 \cdot t) \quad \text{Denklem 3}$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_0} + k_2 \cdot t \quad \text{Denklem 4}$$

Burada C, karotenoidin t anındaki konsantrasyonunu, C₀ başlangıçtaki (sabit) konsantrasyonu, t dakika olarak UV-C ışık uygulama süresini, k₀, k₁ ve k₂ reaksiyon hız sabitlerini ifade etmektedir.

DeneySEL verilerin reaksiyon derecesine ait modele uygunluğunu test etmek için determinasyon katsayısı (R²), ki-kare (χ²) (Denklem 5) ve ortalama hatanın karesinin karekökü (root mean square error (RMSE)) (Denklem 6) kullanılmıştır.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (AA_{\text{exp},i} - AA_{\text{pre},i})^2}{N - n} \quad \text{Denklem 5}$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (AA_{\text{pre},i} - AA_{\text{exp},i})^2 \right]^{1/2} \quad \text{Denklem 6}$$

burada AA_{exp,i} ve AA_{pre,i} sırasıyla yumurta sarılarındaki karotenoid içeriklerine ait deneysel ve tahmini değerleri, N gözlem sayısını ve n ise sabitlerin sayısını ifade etmektedir.

Yarılanma ömrü (t_{1/2}) karotenoidin başlangıçtaki değerinin %50'sini kaybetmek için gerekli olan süreyi ifade eder ve sıfırıncı, birinci ve ikinci derece reaksiyonlar için sırasıyla Denklem 7, 8 ve 9'dan hesaplanmaktadır.

$$t_{1/2} = \frac{C_0}{2 \times k_0} \quad \text{Denklem 7}$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k_1} \quad \text{Denklem 8}$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{C_0 \times k_2} \quad \text{Denklem 9}$$

4.6. İstatistiksel Analizler

Elde edilen veriler the SAS System for Windows 9.0 (SAS Institute Inc., Carry, Kuzey Karolina, ABD) istatistik paket programında, varyans analizi ile (PROC GLM) UV-C ışık uygulama süresinin yumurta sarısındaki yağ asidi kompozisyonu, sıvı ve liyofilize toz



örneklerin renk değerleri ile karotenoidlerden lutein, zeaksantin ve kantaksantin üzerine etkisine bakılmıştır. Ortalamaların karşılaştırılmasında kullanılan harfler Arnold M. Saxton (2000) tarafından geliştirilen bir makro (PDGLM800) ile elde edilmiştir.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Denemelerden elde edilen bulgular dört bölümde sunulmuştur. Reaktörde UV-C ışık uygulamasına maruz kalan yumurta sarılarından farklı sürelerde alınan sıvı örnekler üzerinde yapılan mikrobiyolojik analizlerden elde edilen sonuçlar Bölüm 5.1'de, mikrobiyolojik inaktivasyonun önemli bulunduğu sürelerde tekrarlanan UV-C ışık uygulama işleminden alınan sıvı örnekler liyofilize edilmiş ve bu liyofilizatlar üzerinde süreye bağlı lutein, zeaksantin ve kantaksantin içeriklerindeki değişimler Bölüm 5.2'de, yağ asidi kompozisyonundaki değişim Bölüm 5.3'te ve renk değişimi bulguları Bölüm 5.4'te yer almaktadır. Bölüm 5.5'te ise, UV-C ışığa maruz bırakılan yumurta sarılarındaki karotenoidlere ait degradasyon kinetiği çalışmalarına ait bulgular sunulmuştur.

Çalışmada kullanılan yumurta sarılarının (karışım) kuru madde içeriği 53.82 ± 0.04 olarak belirlenmiştir.

5.1. Mikrobiyolojik Analizlere Ait Sonuçlar

Çalışmanın bu aşamasında, yumurta sarısı karışımına saf kültür ilave edilmiş ve buz banyosu entegre edilmiş sistemde inoküle edilmiş yumurta sarısı UV-C ışığa 120 dakika boyunca maruz bırakılmıştır. Tablo 5.1'de belirtilen sürelerde yumurta sarısı karışımı sistemden çekilerek mikrobiyal sayım yapılmıştır. Beşinci dakikada alınan numunede bakteriyel yük 6.95 log cfu/mL iken 120 dakikalık UV-C ışık muamelesi sonunda bu yük 5.60'a düşmüştür.

Tablo 5.1. *Salmonella typhimurium*'la (10mL) inoküle edilmiş yumurta sarısı (120mL) karışımın buz banyosu entegre edilmiş UV-C ışık sisteminde (130mL/dakika akış hızında) muamele edilmesi sırasında mikrobiyal yük ve sıcaklıktaki değişimler

Süre (min)	Mikrobiyal Yük (cfu/mL)	Sıcaklık (°C)
0	-	-
5	9×10^6	-
16	-	21.9
30	1.5×10^6	22.0
35	-	17.9
60	1×10^6	16.0
90	3×10^5	17.0
120	4×10^5	17.6

UV-C ışığa maruz kalma süresinin arttırılması amacıyla akış hızı 43.3mL/dakikaya düşürülerek yeni bir deneme yapılmış olup, deneme sonuçları Tablo 5.2'de verilmiştir. Bu akış hızında UV-C ışığa maruziyet süresi artmış ancak arzu edilen mikrobiyal inaktivasyona ulaşılamamıştır. Başlangıçtaki 8.11 log cfu/mL olan değer 0.73 birim düşmüştür. Bu nedenle mikrobiyal inaktivasyon çalışmasının gerçek denemelerini önceki koşullarda yapma kararı alınmıştır.

Tablo 5.2. *Salmonella typhimurium*'la (10mL) inoküle edilmiş yumurta sarısı (120mL) karışımın buz banyosu entegre edilmiş UV-C ışık sisteminde (43.3mL/dakika akış hızında) muamele edilmesi sırasında mikrobiyal yükteki değişimler

Süre (min)	Mikrobiyal Yük (cfu/mL)
0	1.3x10 ⁸
5	9.0x10 ⁷
30	9.5x10 ⁷
60	5.5x10 ⁷
90	3.8x10 ⁷
120	2.4x10 ⁷

Mikrobiyal inaktivasyon amaçlı ön denemelerden alınan sonuçlara göre, 120mL yumurta sarısı karışımı 10mL kültür ile karıştırılarak elde edilen karışımı 130mL/dakika akış hızında UV-C ışığa maruz bırakılmış ve 0, 5, 30, 60, 90 ve 120. dakikalarda sistemden örnekler çekilerek UV-V ışığın mikrobiyal yük üzerine etkisi incelenmiştir. Sıcaklığın kontrol altına alındığı ve buz banyosu entegreli olan bu aşamadaki deneme, üç tekerrür halinde üç farklı günde yapılmış ve sonuçlar Tablo 5.3'te sunulmuştur.

Tablo 5.3. *Salmonella typhimurium*'la (10mL) inoküle edilmiş yumurta sarısı (120mL) karışımın buz banyosu entegre edilmiş UV-C ışık sisteminde (130mL/dakika akış hızında) muamele edilmesi sırasında mikrobiyal yükteki değişimler

Süre(min)	Mikrobiyal Yük (kob/mL)		
	1. Tekerrür	2. Tekerrür	3. Tekerrür
0	-	1.3x10 ⁸	1.5x10 ⁸
5	1.2x10 ⁸	1.1x10 ⁸	1.7x10 ⁸
30	1.3x10 ⁷	5.5x10 ⁷	4.2x10 ⁷
60	1.1x10 ⁷	2.0x10 ⁷	1.1x10 ⁷
90	5.0x10 ⁶	4.0x10 ⁶	1.2x10 ⁶
120	2.5x10 ⁶	3.0x10 ⁶	1.0x10 ⁶

Verilerin istatistiksel analiz sonuçları ise Tablo 5.4'te özetlenmektedir.

Tablo 5.4. *Salmonella typhimurium*'la (10mL) inoküle edilmiş yumurta sarısı (120mL) karışımın buz banyosu entegre edilmiş UV-C ışık sisteminde muamele edilmenin (130mL/dakika hızda) mikrobiyal yük üzerine etkisi

Süre (min)	Mikrobiyal Yük (log kob/mL)
	Ortalama ± Standart Sapma*
0	8.126±0.058 a
5	8.127±0.102 a
30	7.491±0.299 b
60	7.099±0.166 c
90	6.779±0.270 d
120	6.413±0.222 e

* Aynı sütun içerisinde farklı harfler ortalamaların istatistiksel açıdan farklı olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Çalışma sonuçlarına göre, 120 dakika gibi uzun bir UV-C ışık işlemi yumurta sarılarında *S.typhimurium* inaktivasyonunu sadece 1.71 logaritmik birim düşürebilmiştir. Bu azalış istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur (p<0.05). Bu sebeple, UV-C ışığın yumurta

sarısi karotenoidleri, yağ asidi kompozisyonu ve rengi üzerine etkilerinin incelenmesinde bu sürelerin kullanılmasına karar verilmiştir.

5.2. Lutein, Zeaksantin ve Kantaksantin Analizlerine Ait Bulgular

UV-C ışığın yumurta sarısının temel karotenoidleri olan lutein, zeaksantin ve kantaksantin üzerine etkisi Tablo 5.5'te verilmektedir. UV-C ışık uygulama süresi arttıkça yumurta sarısında bulunan her üç karotenoid konsantrasyonunda azalma olmuştur. İki saatlik UV-C ışık uygulaması lutein konsantrasyonunda %36'lık bir kayba neden olurken, bu kayıp zeaksantin ve kantaksantinde sırasıyla %32.9 ve %65 olmuştur.

Tablo 5.5. UV-C ışık işlem süresinin yumurta sarısında bulunan lutein, zeaksantin ve kantaksantin karotenoidleri üzerine etkisi

Süre (min)	Lutein (µg/g km)	Zeaksantin (µg/g km)	Kantaksantin (µg/g km)
	Ortalama ± Standart Sapma*		
0	232.10±16.15 a	49.77±1.20 a	11.05±1.02 a
15	214.08±8.01 b	47.80±1.70 a	10.41±1.20 a
30	195.59±4.86 c	47.74±1.58 a	9.06±0.69 a
60	193.84±3.98 c	46.82±1.66 a	6.44±1.48 b
75	161.98±8.20 d	35.78±2.17 b	5.81±1.58 bc
90	150.85±4.27 d	35.10±2.65 b	5.37±1.84 bc
120	148.66±5.19 d	33.40±3.37 b	3.87±1.60 c

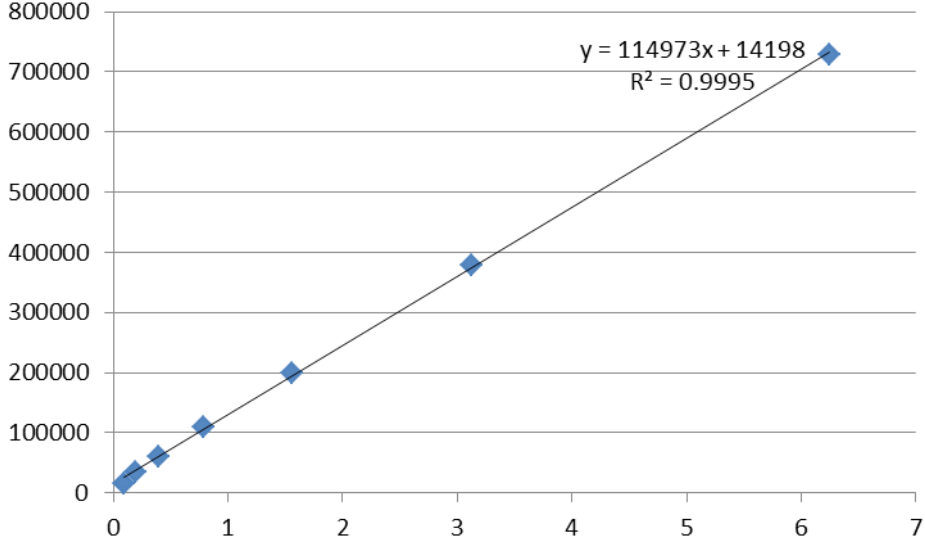
* Aynı sütun içerisinde farklı harfler ortalamaların istatistiksel açıdan farklı olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Bu bileşenlerin HPLC ile belirlenmesinde kullanılan alıkonma süreleri ve LOD değerleri Tablo 5.6'da verilmektedir.

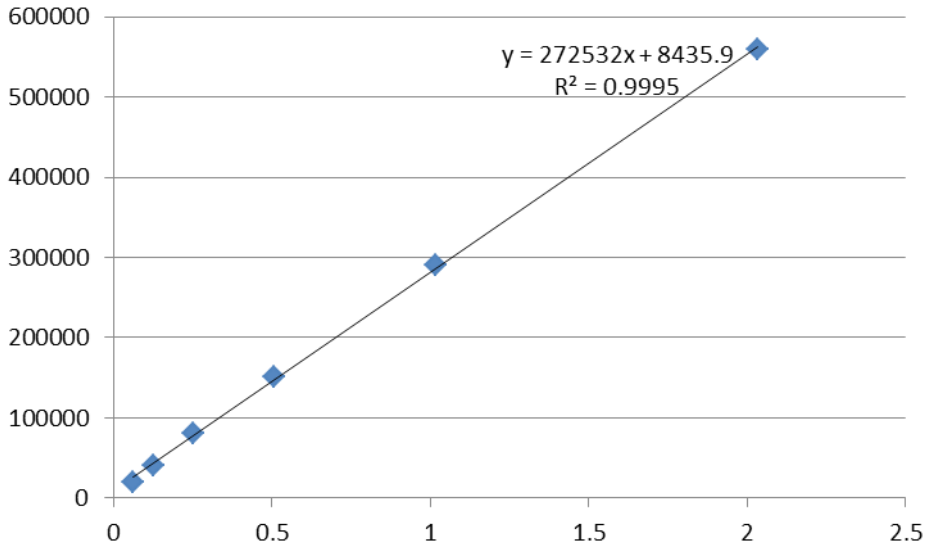
Tablo 5.6. Lutein, zeaksantin ve kantaksantin belirlenmesinde kullanılan alıkonma süreleri ve dedeksiyon limiti (LOD) değerleri.

Bileşen	Alıkonma süresi (Rt) (min)	A (nm)	LOD (ppm)
Lutein	19.9	460	0.03
Zeaksantin	20.8	460	0.02
Kantaksantin	21.7	460	0.03

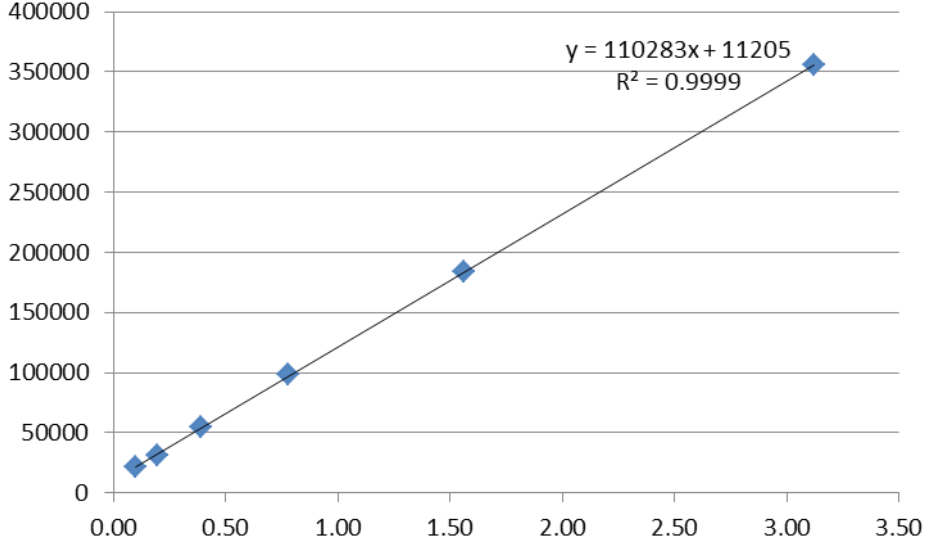
UV-C ışık işlemine maruz bırakılan yumurta sarılarının lutein, zeaksantin ve kantaksantin konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılan kalibrasyon grafikleri Şekil 5.1, 5.2. ve 5.3.'te verilmektedir.



Şekil 5.1. Luteinin kantitatif tayininde kullanılan kalibrasyon grafiği

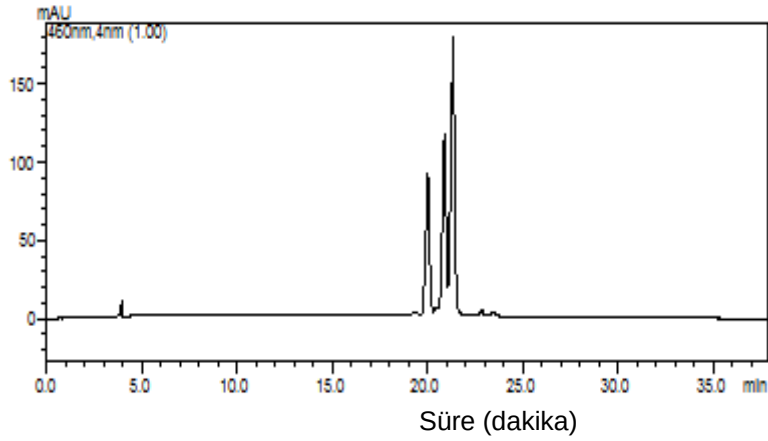


Şekil 5.2. Zeaxantin kantitatif tayininde kullanılan kalibrasyon grafiği

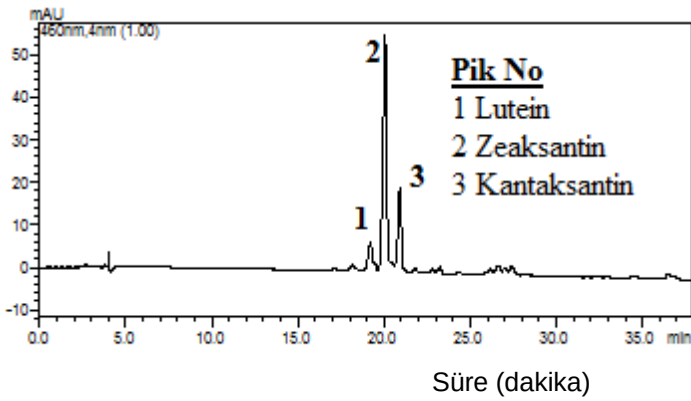


Şekil 5.3. Kantaksantin kantitatif tayininde kullanılan kalibrasyon grafiği

Lutein, zeaksantin ve kantaksantin standart karışımının kromatogramı Şekil 5.4'te, örneğe ait kromatogram ise Şekil 5.5'te sunulmaktadır.



Şekil 5.4. Lutein, zeaksantin ve kantaksantin içeren standarda ait kromatogram



Şekil 5.5. Yumurta sarısına ait örnek kromatogram

Souza (2012) sürekli bir sistem kullanarak yaptığı çalışmada bütün yumurta ve yumurta sarısı üzerine UV-C ışığın etkisini incelemiş ve 0-120 kJ/L'ye kadar uygulanan dozların mikrobiyal inaktivasyon için yeterli olduğunu, en yüksek dozun sıvı yumurta sarılarında lutein içeriğini yaklaşık 8,5 µg/g seviyesinden 3 µg/g'a düşürdüğünü rapor etmiştir. Yaklaşık 8,3 µg/g olan zeaksantin içeriğinin ise 4 µg/g'a kadar azalabildiği görülmüştür. Yazar, UV-C ışığın yüksek oksidasyon etkisinin, pastörizasyon için gerekli dozlarda her iki antioksidan kaybından da sorumlu olduğu bildirmiştir.

5.3. Yumurta Sarılarının Yağ Asidi Kompozisyonuna Ait Bulgular

UV-C ışık işlemine maruz bırakılmış yumurta sarılarının yağ asidi kompozisyonları (n=3) Tablo 5.7'de verilmiştir. Sonuçları netleştirmek amacıyla, yağ asitleri doymuş, tekli doymamış ve çoklu doymamış şeklinde sınıflandırılmış ve bulgular Tablo 5.8'de sunulmuştur.

Tablo 5.7. UV-C ışık işlem süresinin yumurta sarılarının yağ asidi kompozisyonu üzerine etkisi

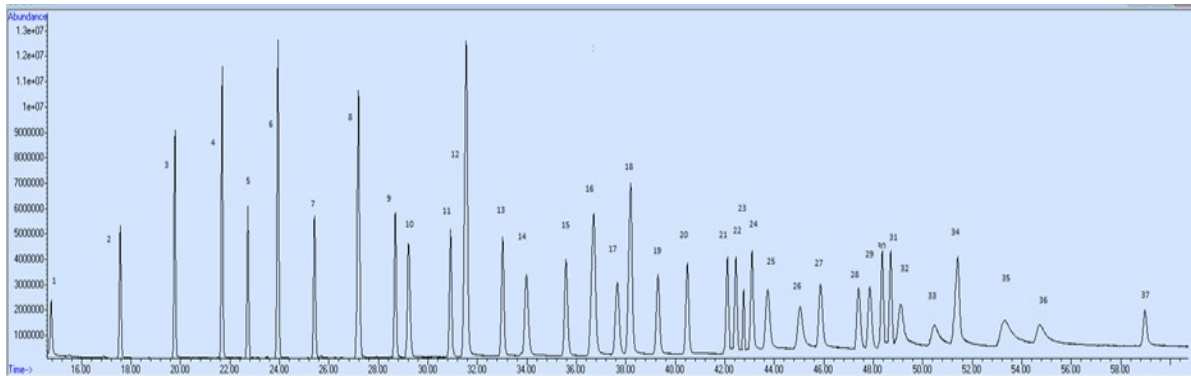
Bileşen (%)	UV-C Işık Uygulama Süresi (min)						
	0	15	30	60	75	90	120
Miristik asit Metil Esteri (C14:0)(17.6)	0.173	0.175	0.174	0.178	0.179	0.177	0.181
7-Hekzadekenoik asit ME (18,6)	0.021	0.026	0.021	0.022	0.024	0.028	0.021
Pentadekanoik asit ME (20,5)	0.063	0.066	0.065	0.067	0.068	0.071	0.068
Palmitik asit ME (C16:0) (25.0)	26.979	26.901	27.027	27.154	27.369	26.977	27.205
Palmitoleik asit ME (C16:1) (26.0)	1.315	1.322	1.296	1.336	1.324	1.411	1.376
Hekzadekenoik asit 15 metil ME (27.2)	0.025	0.012	0.017	0.022	0.027	0.049	0.027
Hekzadekenoik asit 14 metil ME (27.9)	0.061	0.068	0.042	0.052	0.040	0.069	0.043
Heptadekanoik asit ME (C17:0) (29.3)	0.181	0.226	0.197	0.198	0.198	0.159	0.198
11-hekzadekenoik asit ME (30.1)	0.143	0.102	0.091	0.091	0.097	0.061	0.113
Stearik asit ME (C18:0) (33.6)	14.920	14.689	14.814	14.860	15.001	14.579	14.529
Oleik asit ME (C18:1n9c) (34.2)	28.712	28.462	28.314	28.661	28.576	28.677	29.012
Linoleik asit ME (C18:2n6c) (35.6)	16.523	16.475	16.688	16.320	16.282	16.709	16.824
γ-Linolenik asit ME (C18:3n6) (37.6)	0.241	0.303	0.258	0.274	0.253	0.210	0.254
Eikosanoik asit ME (40.4)	0.016	0.051	0.029	0.041	0.034	0.057	0.039
cis-11-Eikosenoik asit ME (C20:1n9) (41,1)	0.187	0.207	0.215	0.149	0.173	0.139	0.222
α-Linolenik asit ME (C18:3n3) (41.6)	0.018	0.025	0.023	0.029	0.041	0.046	0.016
11,14-Eikosadienoik asit ME (C20:2) (42.8)	0.210	0.277	0.213	0.236	0.241	0.206	0.295
5,8,11 Eikosatrienoik asit ME (43.0)	-	-	0.048	0.031	0.161	-	-
cis-11,14-Eikosadienoik asit ME (C20:2) (43.7)	0.245	0.286	0.303	0.295	0.290	0.280	0.288
Heneikosanoik asit ME (C21:0) (43.3)	0.195	0.150	0.139	0.146	0.145	0.142	0.114
Araşidonik asit ME (C20:4n6) (44.6)	5.012	5.015	5.164	4.785	4.763	5.001	4.945
4,7,10,13,16,19 Dokosaheksanoik asit ME (52.7)	3.351	3.247	3.414	3.186	3.107	3.277	3.134
Nervonik asit ME (C24:1n9)(50.7)	0.200	0.177	0.124	0.131	0.139	0.216	0.114

Tablo 5.8. UV-C ışık işlem süresinin yumurta sarısındaki doymuş (SFA), tekli doymamış (MUFA) ve çoklu doymamış yağ asidi (PUFA) kompozisyonu üzerine etkisi

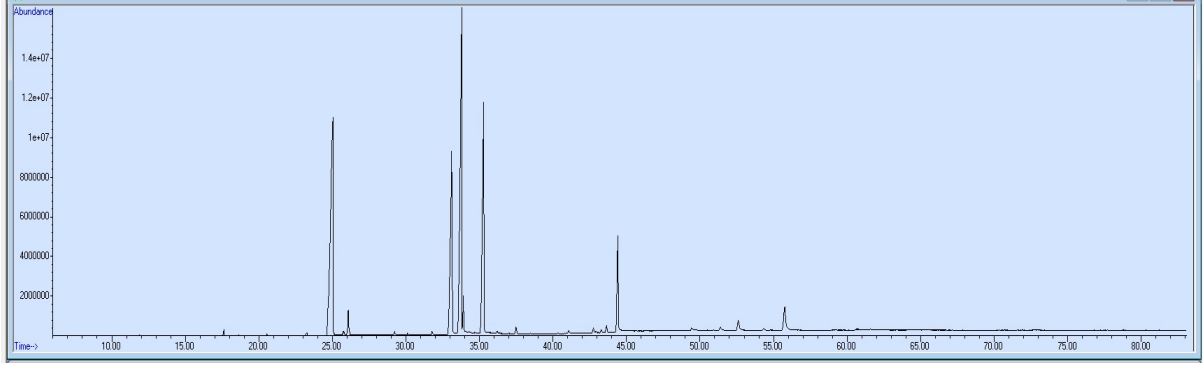
UV-C Işığa Maruz Kalma Süresi (min)	Ortalama (%)*		
	SFA	MUFA	PUFA
0	42.51a	30.78a	25.39a
15	42.21a	30.55a	25.35a
30	42.42a	30.30a	25.90a
60	42.60a	30.58a	24.92a
75	42.96a	30.54a	24.90a
90	42.10a	30.73a	25.52a
120	42.29a	31.12a	25.46a

* Aynı sütun içerisinde farklı harfler ortalamaların istatistiksel açıdan farklı olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Şekil 5.6'da liyofilize yumurta sarısı ekstraktlarının yağ asidi kompozisyonunun belirlenmesi için standart yağ asidi metil ester karışımına ait, Şekil 5.7'de ise numuneye ait GC-MS kromatogramı verilmiştir. Üç kategoride değerlendirilen (SFA, MUFA ve PUFA) yağ asidi kompozisyonu göz önüne alındığında, UV-C ışığa maruz bırakılan yumurta sarılarındaki yağ asidi kompozisyonunun parçalanmasına ait reaksiyonun derecesinin sıfır, bir veya ikinci dereceden olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 5.6. Yağ asidi metil esterlerinden (FAME) oluşan standart karışıma ait kromatogram (1: metil bütirat, 2: metil hekzonat, 3: metil oktanoat, 4:metil dekanat, 5: metil undekanoat, 6: metil laurat, 7: metil tridekanoat, 8: metil tetradekanoat, 9: miristoleik asit metil esteri, 10: metil pentadekanoat, 11: cis-10-pentadekenoik asit metil esteri, 12: metil palmitat, 13: metil palmitoleat, 14: metil heptadekanoat, 15: cis-10-heptadekenoik asit metil esteri, 16: metil oktadekanoat, 17: trans-9-elaidik asit metil esteri, 18: cis-9-oleik asit metil esteri, 19: linolelaidic asit metil esteri, 20: metil linoleat, 21: metil araşidat, 22: gamma-linolenic asit metil esteri, 23: metil cis-11-eikosanat, 24: metil linolenat, 25: metil heneikosanat, 26: cis-11,14-eikosadienoik asit metil esteri, 27: metil dokosanoat, 28: cis-8,11,14-eikosatrienoik asit metil esteri, 29: metil erukat, 30: cis-11,14,17-eikosatrienoik asit metil esteri, 31: metil trikosoat, 32: metil cis-5,8,11,14-eikosatetraenoik, 33: cis-13,16-dokosadienoik aist metil ester, 34: metil lignoserat, 35: metil cis-5,8,11,14,17-eikosapentaenoat, 36: metil nervonat, 37: all cis-4,7,10,13,16,19-dokosaheksaeonat)



Şekil 5.7. Liyofilize yumurta sarısına ait örnek GC kromatogramı

Monteiro vd. (2017) farklı UV-C ışık dozlarının (103 ve 305 mJ/cm²) Nil tilapia balık filetolarının pH, lipid ve protein oksidasyonu, yağ asitleri (FA) kompozisyonu ve biyojen aminleri (BA) üzerine etkilerini araştırmışlardır. 11 gün boyunca 4±1°C'de depolama süresince UV-C ışık muamelesi, protein oksidasyonunu doza bağımlı bir şekilde arttırmış ve BA oluşumunu geciktirmiştir. Lipid oksidasyonu, UV-C ışık uygulamasından etkilenmemiştir. Düşük bir UV-C ışık dozu ile muamele edilen filetolar, kontrol örneklerine göre daha fazla toplam çoklu doymamış yağlı asit (PUFA) içermişlerdir.

5.4. Yumurta Sarılarının Renk Değerlerine Ait Bulgular

UV-C ışık uygulama süresinin sıvı yumurta sarısı ve liyofilize toz yumurta sarısı renk değerleri üzerine etkisi sırasıyla Tablo 5.9 ve 5.10'da verilmektedir.

Tablo 5.9. UV-C ışık uygulama süresinin sıvı yumurta sarılarının renk değerleri (CIE Lab) üzerine etkisi

Süre (min)	Sıvı Yumurta Sarısı Renk Değerleri		
	Ortalama ± Standart Sapma*		
	L*	a*	b*
0	53.87±0.97 a	0.69±0.19 a	47.81±0.70 a
15	54.87±0.35 a	0.39±0.38 a	48.01±0.47 a
30	54.84±0.57 a	0.38±0.59 a	47.62±0.61 a
60	54.68±0.10 a	0.27±0.10 a	46.86±0.62 a
75	55.06±0.52 a	0.89±0.17 a	48.03±0.61 a
90	55.04±0.34 a	0.53±0.38 a	47.31±0.12 a
120	54.78±0.47 a	0.40±0.17 a	47.04±0.54 a

* Aynı sütun içerisinde farklı harfler ortalamaların istatistiksel açıdan farklı olduğunu göstermektedir (p<0.05).

Tablo 5.10. UV-C ışık uygulama süresinin liyofilize toz yumurta sarılarının renk değerleri (CIE Lab) üzerine etkisi

Süre (min)	Liyofilize Tozlara Ait Renk Değerleri		
	Ortalama \pm Standart Sapma*		
	L*	a*	b*
0	82.73 \pm 0.79 bc	2.62 \pm 0.78 a	49.11 \pm 2.33 a
15	81.74 \pm 0.28 bc	3.46 \pm 0.45 a	50.93 \pm 0.47 a
30	81.77 \pm 0.87 bc	2.32 \pm 0.91 a	48.31 \pm 0.47 a
60	83.89 \pm 2.32 ab	2.62 \pm 0.80 a	46.46 \pm 5.05 a
75	82.13 \pm 0.82 bc	2.45 \pm 0.77 a	48.08 \pm 2.45 a
90	81.61 \pm 1.05 c	2.63 \pm 0.33 a	48.55 \pm 0.54 a
120	85.06 \pm 0.72 a	1.50 \pm 0.77 a	41.57 \pm 3.31 b

* Aynı sütun içerisinde farklı harfler ortalamaların istatistiksel açıdan farklı olduğunu göstermektedir (p<0.05).

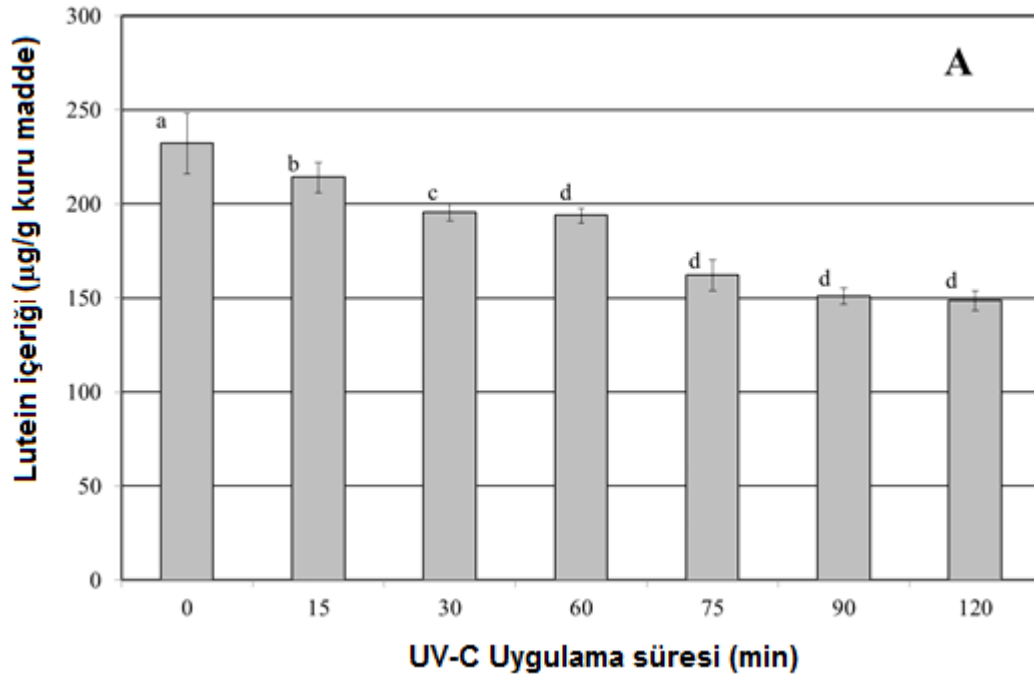
Renk değerleri arasında L* değeri, aydınlık; a* değeri, kırmızı ve yeşilliği; b* değeri ise sarı ve maviliği ifade eder. UV-C ışık uygulamasının sıvı yumurta sarılarının renk değerleri (L*, a* ve b*) üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır (p>0.05) (Tablo 5.9). Benzer şekilde UV-C ışık uygulamasının yumurta sarılarının liyofilize tozlarının a* renk değeri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemsiz (p>0.05) olmuştur. Ancak, sarı rengi ifade eden b* değeri üzerine 90 dakikaya kadar olan UV-C ışık uygulaması önemsiz olurken (p>0.05), 120 dakikalık uygulama b* değerinde azalmaya (p<0.05) neden olmuştur (Tablo 5.10). 120 dakikalık UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarının liyofilize tozlarının L* renk değeri (85.06) diğerlerinden yüksek bulunmuştur (p<0.05). UV-C ışığa maruz bırakılan yumurta sarılarındaki renk değişimine ait reaksiyonun derecesinin sıfır, bir veya ikinci dereceden olmadığı belirlenmiştir.

Ngadi vd. (2003) elma suyu (pH 3.5) ve yumurta beyazı (pH 9.1) gibi UV-C ışık geçirgenliği sınırlı olan ürünlerdeki Escherichia coli O157:H7'nin inaktivasyonu üzerine pH, ortamı derinliği (1, 3.5, 5 ve 10 mm) ve UV-C ışık dozunun (0-6.5 mW.min/cm²) etkisini araştırmıştır. Ortamın pH değeri, mikrobiyal inaktivasyonu etkilemezken, ortam derinliğinin azaltılması mikrobiyal inaktivasyonu arttırmıştır. Sıvı derinliği ve UV-C ışık dozu sırasıyla 1 mm ve 6.5 mW.min/cm² olduğunda, E.coli O157:H7 sayısında 5 log redüksiyon elde edilmiştir. Yazarlar, elma suyunda 4 haftalık depolama periyodunda herhangi bir renk değişikliği göstermediğini rapor etmişlerdir. Sıvı yumurta için ise, 4 hafta depolama süresince renk değişikliği gözlenmemiştir. Çalışmada, her iki ürün teneke kutu, karton ambalaj, ışık emici cam/plastik gibi ışık geçirmez ortamda saklandığında, uygulanan UV-C ışık dozunun bu ürünlerin renk kararlılığı üzerinde çok az etkisi olduğu rapor edilmiştir. Sıvı yumurta sarılarının renklerine dair benzer sonuçlar bu projede de görülmüştür.

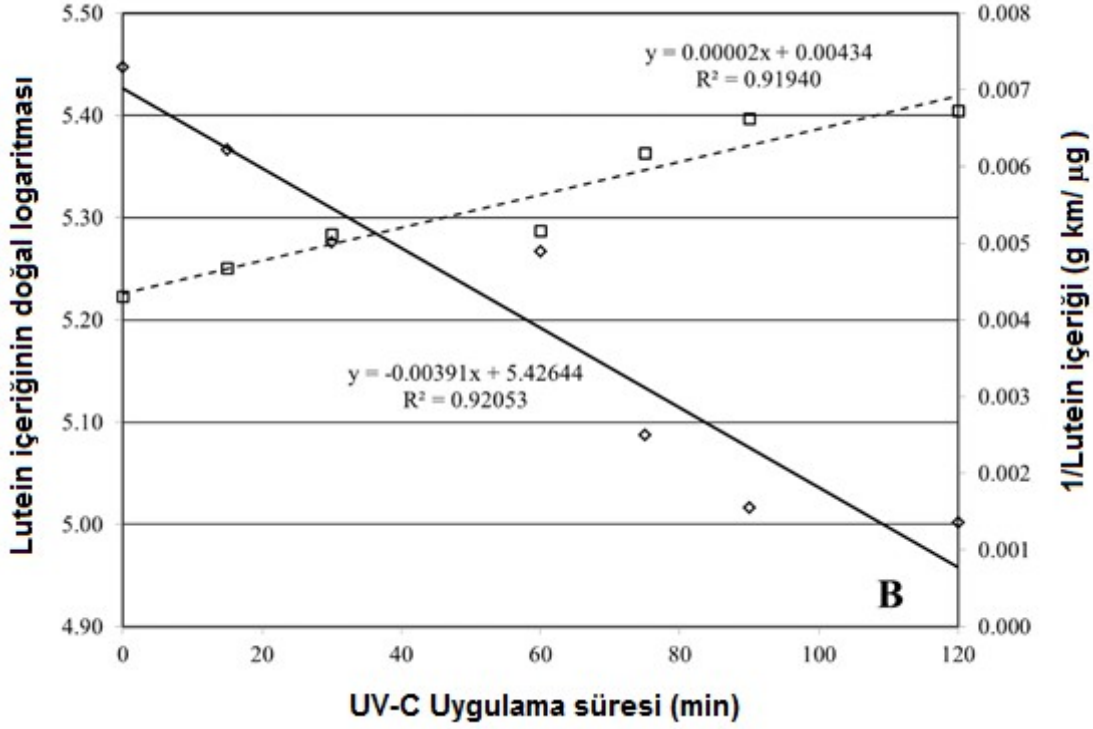
Monteiro vd. (2017) farklı UV-C ışık dozlarının (103 ve 305 mJ/cm²) Nil tilapia balık filetolarının renk parametreleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. 11 gün boyunca 4±1°C'de depolama süresince UV-C ışık muamelesi, a* değerlerini doza bağımlı bir şekilde arttırmış ancak L* değerleri, UV-C ışık uygulamasından etkilenmemiştir.

5.5. Yumurta Sarısı Karotenidlerine Ait Degradasyon Kinetiği Bulguları

Tasarlanan reaktör içerisinde UV-C ışığa maruz bırakılan yumurta sarılarından tespit edilen sürelerde alınan örnek liyofilizatlarında gerçekleştirilen karotenoid analizleri sonuçlarına göre lutein degradasyonu Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Lutein içeriği bakımından, UV-C ışık uygulamasına maruz kalmamış örneklerle kıyaslandığında ilk 60 dakika uygulamaya maruz kalan örneklerde önemli bir azalma bulunmuş, ancak 75, 90 ve 120 dakika UV-C ışık uygulamasına maruz kalan örneklerde istatistiksel anlamda önemli bir değişiklik görülmemiştir. Bu sonuçlar üzerinde kinetik modelleme çalışıldığında Şekil 5.9'dan elde edilen regresyon grafiklerinde 1. ve 2. dereceden kinetik modellemelerde R² değerleri sırasıyla 0,92053 ve 0,91940 olarak bulunmuştur.

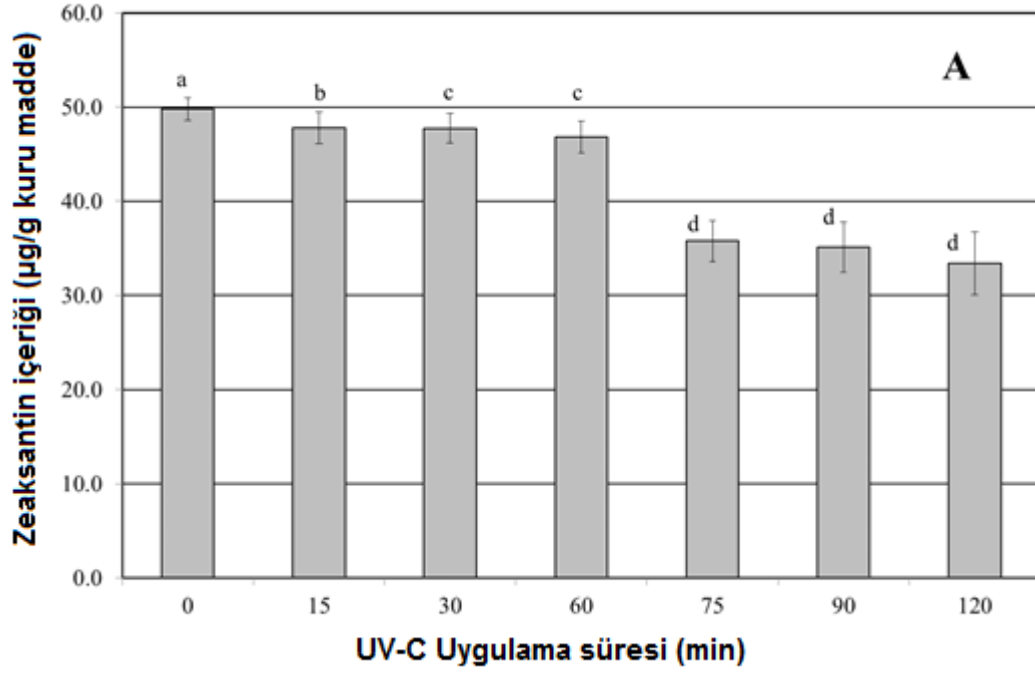


Şekil 5.8. UV-C ışık uygulamasının yumurta sarılarının lutein içeriği üzerine degradasyon etkisi (Şekil üzerindeki farklı harfler ortalamaların $\alpha=0,05$ seviyesinde istatistiksel açıdan farklı olduğunu göstermektedir.)

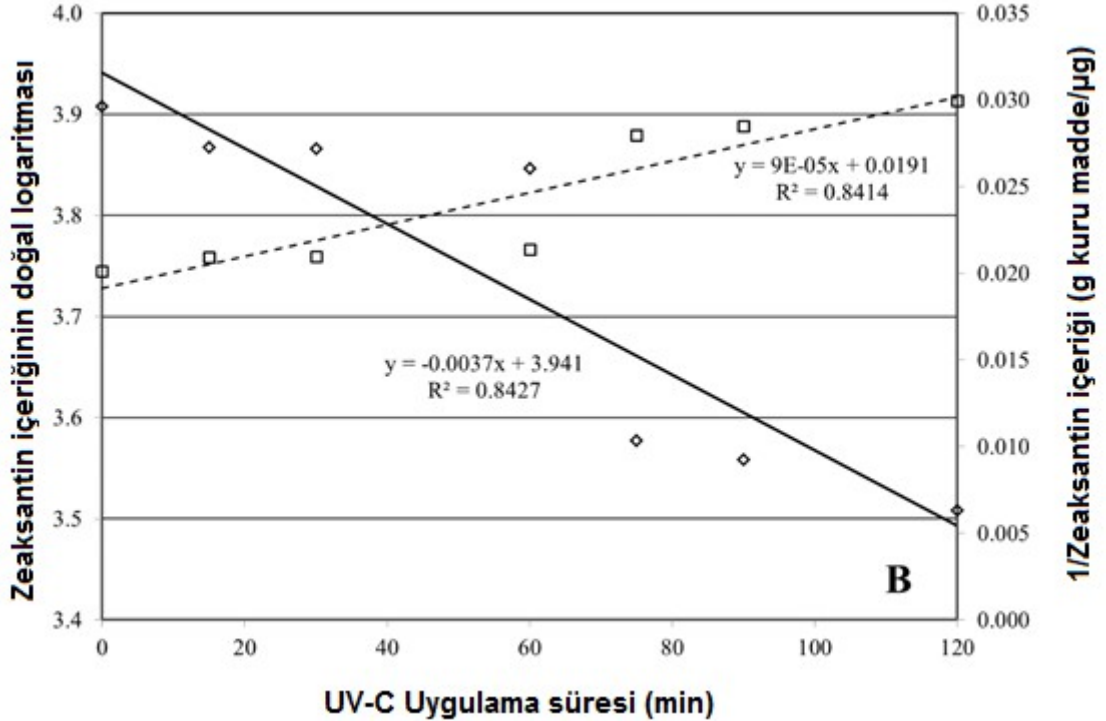


Şekil 5.9. UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarında lutein degradasyonuna ait birinci ve ikinci derece parçalanma reaksiyonları

Karotenoid analizleri sonuçları içerisinde, UV-C ışığa maruz bırakılan yumurta sarısındaki zeaksantin degradasyonu Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Zeaksantin içeriği bakımından, UV-C ışık uygulamasına maruz kalmamış örneklerle kıyaslandığında 15. ve 30. dakikalık uygulamalar ile meydana gelen azalmalar istatistiksel anlamda önemli bulunan bir fark yaratmakla birlikte 60 dakikalık uygulamanın, 30 dakikalık uygulamaya göre istatistiksel anlamda bir fark yaratmadığı görülmüştür. Ancak 75, 90 ve 120 dakikalık uygulamaların 30 ve 60 dakika UV-C ışık uygulamasına maruz kalan örnekler ile kıyaslandığında zeaksantin miktarındaki azalma istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Bu sonuçlar üzerinde kinetik modelleme çalışıldığında Şekil 5.11'de elde edilen regresyon grafiklerinde 1. ve 2. dereceden kinetik modellemelerde R^2 değerleri sırasıyla 0,8427 ve 0,8414 olarak bulunmuştur.

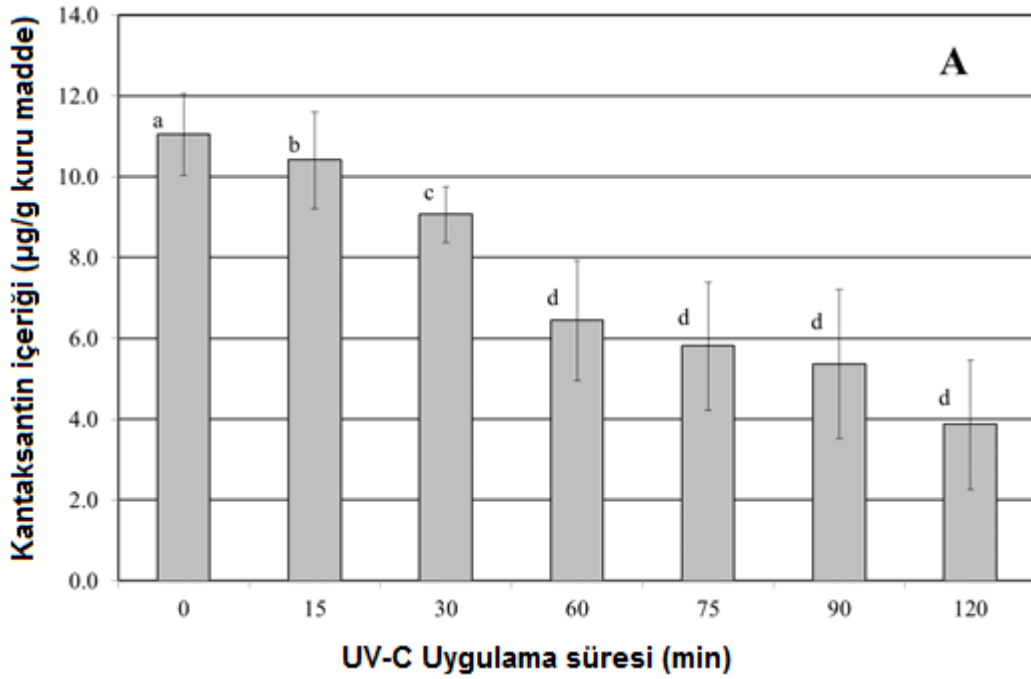


Şekil 5.10. UV-C ışık uygulamasının yumurta sarılarının zeaxantin içeriği üzerine degradasyon etkisi (Şekil üzerindeki farklı harfler ortalamaların $\alpha=0,05$ seviyesinde istatistiksel açıdan farklı olduğunu göstermektedir.)

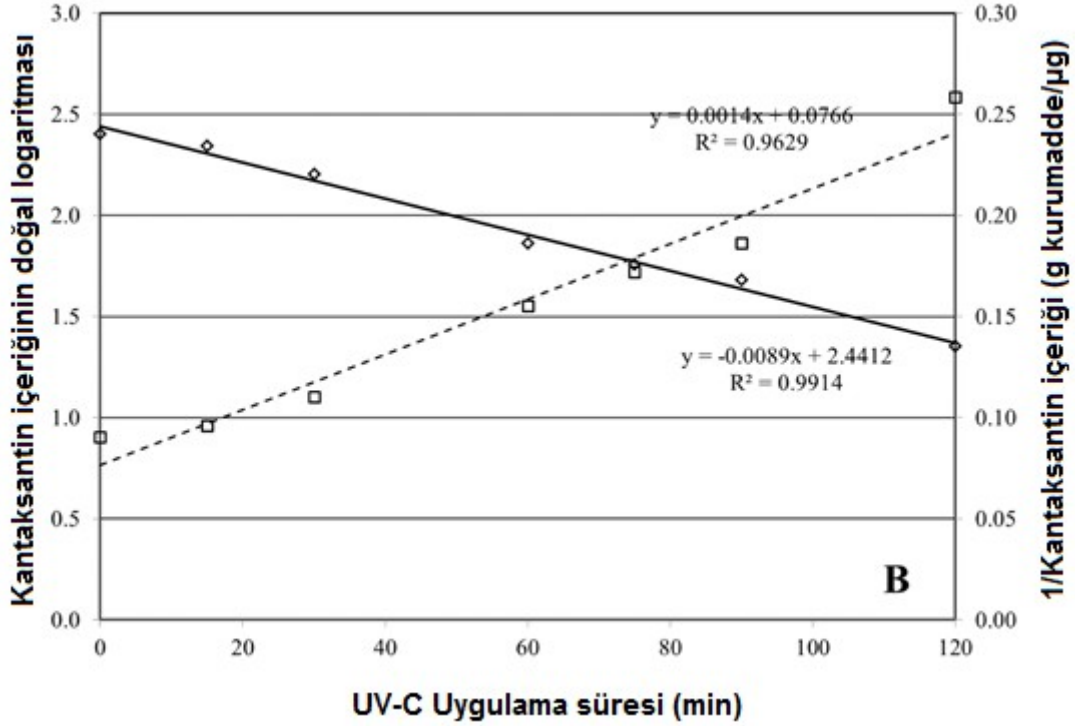


Şekil 5.11. UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarında zeaxanthin degradasyonuna ait birinci ve ikinci derece parçalanma reaksiyonları

Karotenoid analiz sonuçlarına göre UV-C ışığa maruz bırakılan yumurta sarısındaki kantaksantin degradasyonu Şekil 5.12'de gösterilmiştir. Kantaksantin içeriği bakımından, UV-C ışık uygulamasına maruz kalmamış örneklerle kıyaslandığında 15. ve 30. dakikalık uygulamalar ile meydana gelen azalmalar istatistiksel anlamda önemli bulunan bir fark yaratmakla birlikte 60 dakikalık uygulama ile de istatistiksel anlamda önemli bir azalma görülmüştür. Ancak 75, 90 ve 120 dakikalık uygulamalarda meydana gelen azalmanın 60 dakika UV-C ışık uygulamasına maruz kalan örnekler ile kıyaslandığında kantaksantin miktarındaki azalma istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Bu sonuçlar üzerinde kinetik modelleme çalışıldığında Şekil 5.13'te elde edilen regresyon grafiklerinde 1. ve 2. dereceden kinetik modellemelerde R^2 değerleri sırasıyla 0,9914 ve 0,9629 olarak bulunmuştur.



Şekil 5.12. UV-C ışık uygulamasının yumurta sarılarının kantaksantin içeriği üzerine degradasyon etkisi (Şekil üzerindeki farklı harfler ortalamaların $\alpha=0,05$ seviyesinde istatistiksel açıdan farklı olduğunu göstermektedir.)



Şekil 5.13. UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarında kantaksantin degradasyonuna ait birinci ve ikinci derece parçalanma reaksiyonları

Yumurta sarısındaki lutein, zeaksantin ve kantaksantin degradasyonlarına ait reaksiyonlarının derecelerinin belirlenmesinde kullanılan kinetik parametreler Tablo 5.11'de özetlenmektedir. Ki-kare ve RMSE değerleri göz önüne alındığında her üç karotenoid için parçalanma reaksiyonunun ikinci derece olduğu görülmektedir. Yarılanma süreleri ($t_{1/2}$) karşılaştırıldığında ise, kantaksantin UV-C ışığa en hassas karotenoid olduğu; diğer iki karotenoidin benzer hassasiyette fakat kantaksantine göre daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 5.11. UV-C ışığa maruz bırakılan yumurta sarılarında lutein, zeaksantin ve kantaksantin degradasyonunun reaksiyon derecesinin belirlenmesinde kullanılan parametrelere ait bulgular

Reaksiyon Derecesi	Parametre				
	Hız sabiti, k	R ²	RMSE	Ki-kare	t _{1/2} , h
Lutein					
0	0.71879	0.91625	36.78667	495.54427	2.61
1	0.99610	0.92053	0.18167	0.01325	2.96
2	0.00002	0.91940	0.00090	0.00000	3.36
Zeaksantin					
0	0.15336	0.84460	6.70576	16.04214	2.77
1	0.99627	0.84268	0.16256	0.00965	3.09
2	0.00009	0.8413	0.00395	0.00001	3.47



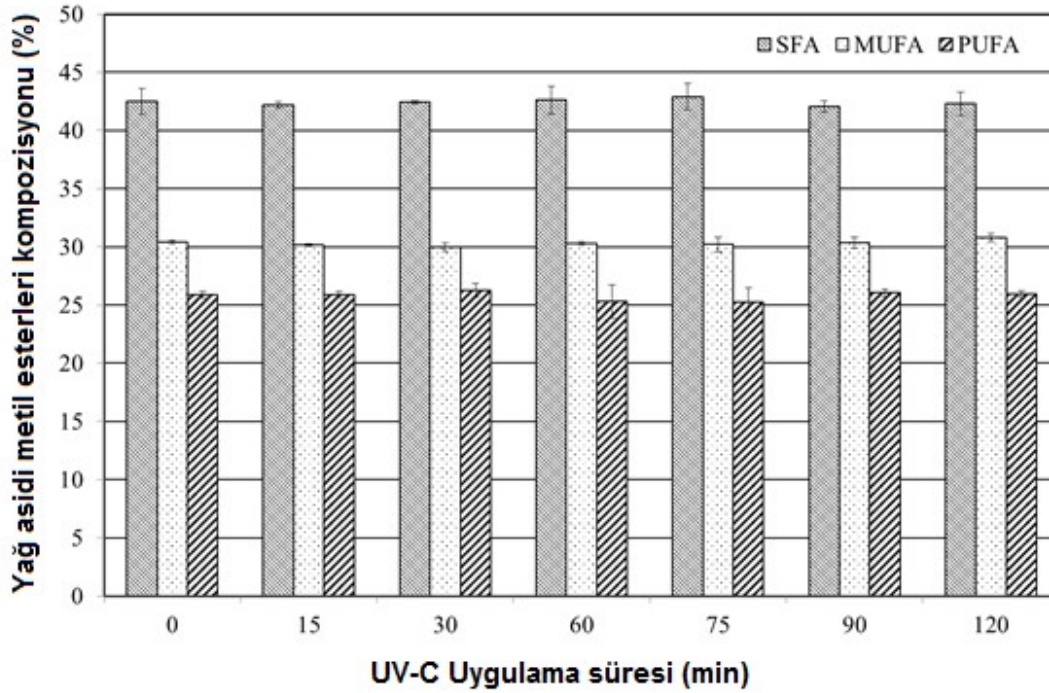
5

Kantaksantin

0	0.06291	0.9754 5	2.98810	4.69795	1.45
1	0.99111	0.9913 7	0.38618	0.07484	1.29
2	0.00137	0.9628 7	0.06268	0.00142	0.93

5.6. Yumurta Sarısı Liyofilizatlarında Yağ Asidi Kompozisyonu Degradasyon Kinetiği Bulguları

UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarında ışık süresinin yağ asidi kompozisyonu (SFA/MUFA/PUFA) üzerine etkisi Şekil 5.14'te verilmiştir. UV-C ışığa maruz bırakılan yumurta sarılarındaki yağ asidi kompozisyonuyla ilgili degradasyona ait reaksiyonun derecesinin sıfır, bir veya ikinci dereceden olmadığı belirlenmiştir.



Şekil 5.14. UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarında yağ asidi kompozisyonu degradasyonu (SFA: Doymuş Yağ Asidi / MUFA: Tekli Doymamış Yağ Asidi / PUFA: Çoklu Doymamış Yağ Asidi)

Ultraviyole ışığın yağ asitleri üzerine etkisinin incelendiği çalışmalar daha çok UV-A ve UV-B (290-700 nm) ışık bandında yoğunlaşmış olup, UV-C (254 nm) dalga boyunda yapılan çalışmalara rastlanamamıştır (Koutchma, 2009). Noaman (2007), *Synechococcus leopoliensis*'ten izole edilen 4 mutant üzerine UV-B ışığı 5, 10, 15 ve 20 dakika uygulayarak yağ asidi içeriklerini incelemiştir. Bulgular, bütün yağ asitlerinin (SFA, MUFA ve PUFA) 5 dakikalık UV-B ışık uygulamasından sonra azaldığını göstermiştir. UV-B ışık uygulama süresi arttıkça da yağ asitlerindeki azalmanın devam ettiğini bildirmişlerdir. Taze yumurtalarda (50 g), doymuş yağ asitleri %6,252; MUFA %7,316; PUFA %3,822 olarak bildirilmiştir (USDA, 2015b).

Souza vd. (2013) yaptıkları bir çalışmada, gıdanın kimyasal bileşenlerinin çoğunun UV-C ışığı emmesi, kimyasal değişikliklere ve kalite değişikliklerine neden olabileceğini



belirtmiş ve sıvı yumurta ürünlerinin UV-C ile muamele edilmesinin, bağırsak epitel hücreleri üzerindeki lipid, protein oksidasyonları ve potansiyel sitolojik ve genotoksik etkileri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Dean Flow reaktörü ile donatılmış bir UV-C işlem ünitesi kullanılarak yumurta akı, sarısı ve sıvı bütün yumurtayı UV-C ışığa (254 nm, hacimsel dozlar 0 ila 115619 J/L arasında) maruz bırakmışlardır. Yüksek dozlarda UV-C ışık muamelesi (32181 J/L'den, ilgili mikroorganizmaların 5 log inaktive edilmesi için gerekli olanın yaklaşık 2 katı kadar), yumurta sarısında yüksek derecede lipid oksidasyonu ve sıvı bütün yumurtalarda ise hafif etki gösterdiğini bulmuşlardır. Bu etkiler artmış peroksit değerleri ile teyit edilse bile, sonuçların istatistiksel açıdan önemli olmadığı rapor edilmiştir. Bununla birlikte, yumurta ürünlerinde bu UV-C ışık ile indüklenen oksidatif modifikasyonlar, bağırsak Caco-2 hücrelerinde siroz veya genotoksik (DNA sicim kırılmaları) etki artışına neden olmadığı çalışma bulguları arasında belirtilmiştir.

Doğal olarak elde edilen doymuş ve doymamış yağ asitleri görünür bölge ve ultraviyole bölgesine yakın alanlardaki ışık ışınlarını absorbe etmezler. Ancak yapılarında birden fazla çift bağ bulunan yağ asitleri KOH ile ısıtıldıklarında bunların içerisinde konjuge halde çifte bağları bulunan izomerleri meydana gelir. Bu çeşit izomerler 230-260 nm dalga uzunluğundaki ışık ışınlarını absorbe edebilirler. Işık, sıcaklık ve oksijen; doymamış yağ asitlerini içeren yağlarda otooksidasyona yol açabilirler (Bingöl, 1976).

Doğrudan yumurta ve ürünleri ile ilgili olmasa da literatürde son yıllarda gıda bileşenleri üzerine UV-C ışık uygulamasının etkilerinin yer aldığı çalışmalar bulunmaktadır. Islam vd. (2016) yaptıkları bir çalışmada, UV-C radyasyonunun elma suyunun polifenolik içeriği ve in vitro toplam antioksidan aktivitesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Elma suyuna 0 ila 240 mJ/cm arasındaki UV ışık uygulanmış ve ilgili ticari dezenfeksiyon dozlarındaki elma suları içindeki UV-C radyasyonunun, klorojenik asit, floridzin ve epikateşin konsantrasyonlarında belirgin azalmaya neden olduğunu göstermişlerdir ($p < 0.05$). Meydana gelen değişiklikler polifenoller için, 240 mJ/cm'de floridzin (% 50 düşüş) hariç nispeten küçük olup, epikateşin konsantrasyonu önemli ölçüde azalmıştır ($p < 0.05$). Bununla birlikte çalışmada UV-C maruziyeti 240 mJ/cm'ye yükseltilirken kateşin konsantrasyonunda artış rapor edilmiştir.

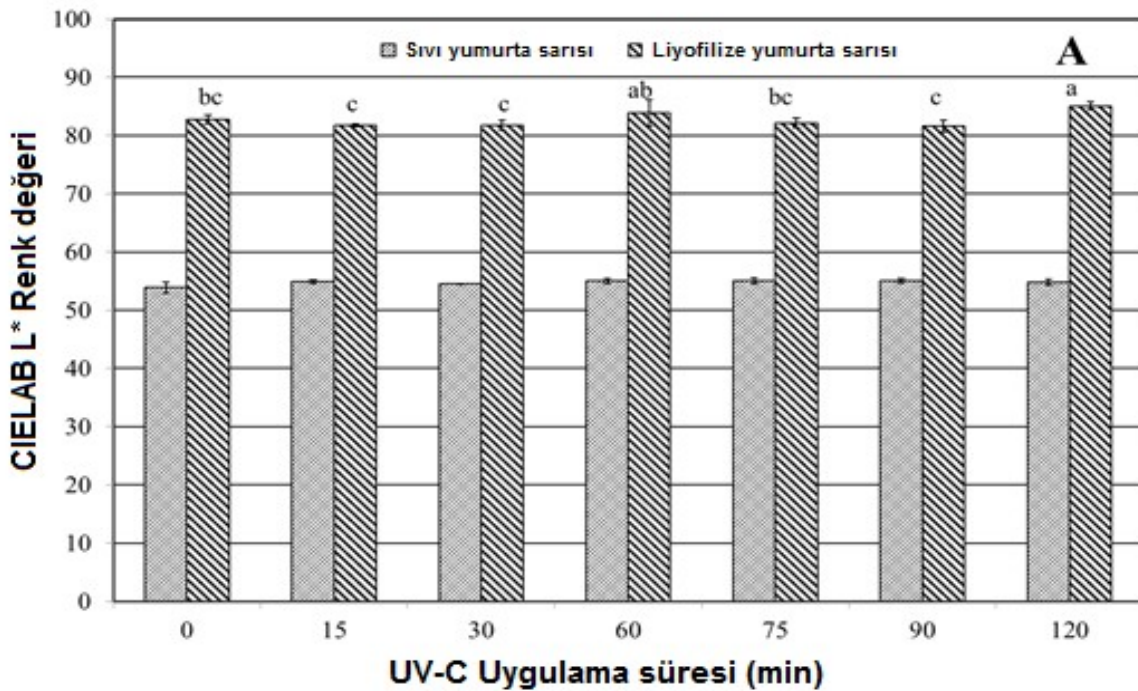
Bandla vd. (2012) çiğ inek sütünü 16822 mJ/cm²'lik kümülatif UV-C dozu ile 17 s bekleme süresi için 713'lük Reynolds sayısı (Re) ile bir sürekli akışlı sarmal tüp UV reaktörde işlemden geçirmiştir. Bu şartlarda sütte, standart petri sayımında 2.3 log'luk azalma sağlanmıştır. İşlemden hemen sonra ve depolamada malondialdehit ile diğer reaktif maddeler (MORS) içeriği arasında işlenmiş ve taze süt arasında fark yok iken, UV-C ışık ile işlenmiş çiğ sütte lipid oksidasyon ürünleri içeriği, taze veya kontrol örneğine göre anlamlı derecede yüksek belirlenmiştir.

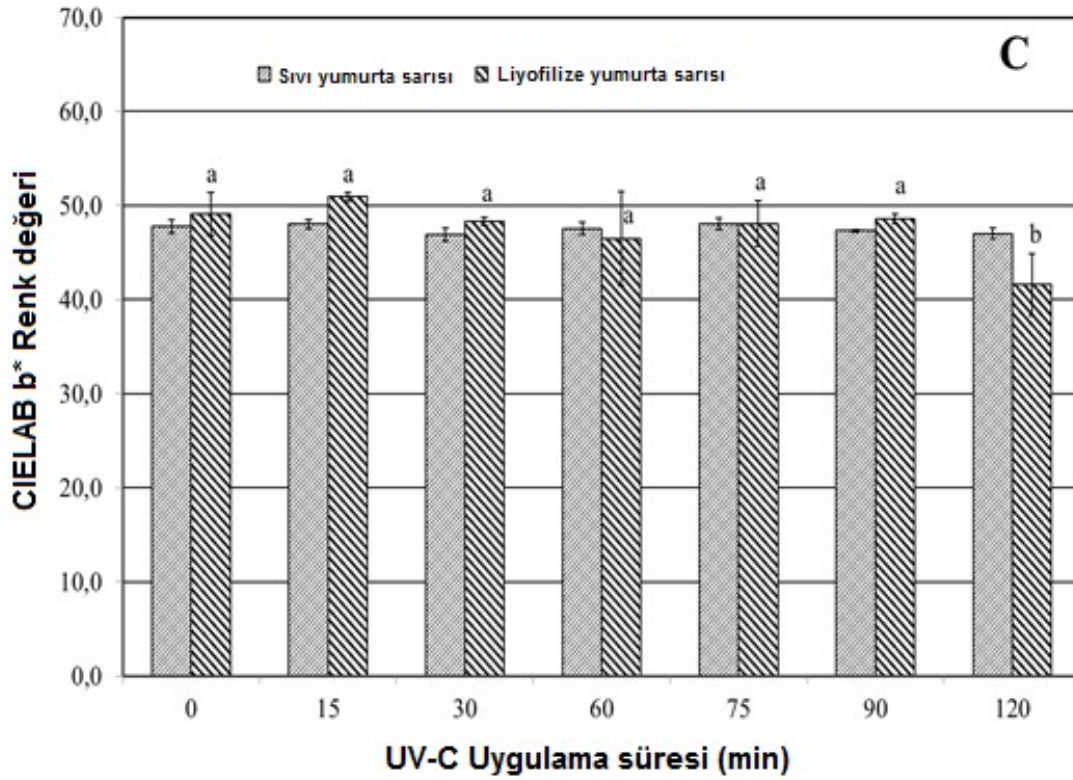
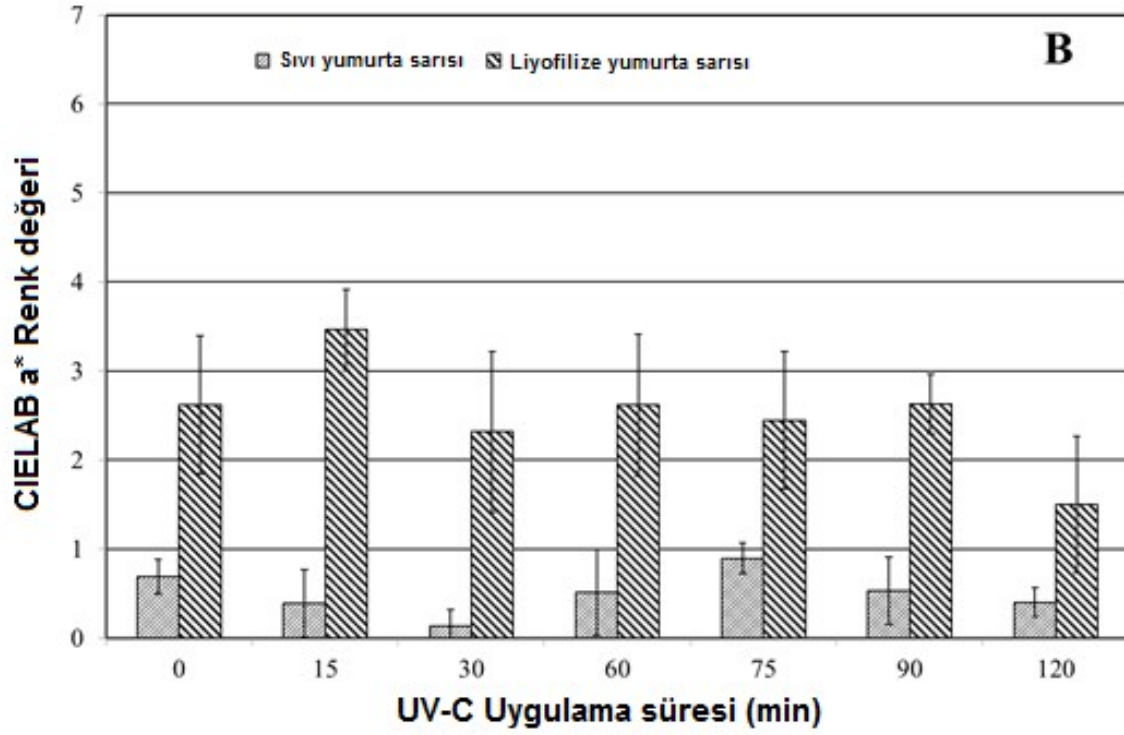
5.7. Yumurta Sarısı Liyofilize Renk Değerlerinin Değişim Kinetiği

UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarında, sıvı ve liyofilize toz örneklerinde renk değerlerinin (L^* , a^* , b^*) değişimlerine ait grafikler Şekil 5.15'de (A, B ve C) verilmiştir. UV-C ışığa maruz bırakılan yumurta sarılarındaki renk değişimine ait reaksiyonun derecesinin sıfır, bir veya ikinci dereceden olmadığı belirlenmiştir.

Gıda maddelerinin rengi tüketici tercihi açısından önemlidir. Yumurta kalitesinin tüketici tarafından değerlendirilmesinde yumurta sarısı önem teşkil etmektedir. Yumurtacı tavuklarda beslenme, yaş ve genetik faktörler yumurta sarısının rengi üzerinde etkili olmaktadır ve tüketici tarafından iyi görünümlü albenisi olan yumurta sarısı rengi önemli olmaktadır. Bu renk de genellikle altın renginden portakal rengine kadar olan aralıktadır. Çalışmanın sonunda, zamana bağlı olarak uygulanan UV-C ışığın; $L^*a^*b^*$ parametreleri üzerinde yol açtığı değişiklikler için elde edilen bulgular üzerinde yapılan istatistiksel analizler yumurta sarısı rengi üzerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığını göstermiştir.

Souza (2012), sıvı yumurta sarılarının UV-C ışık ışınlarına maruz bırakarak gerçekleştirdiği çalışmada renk değerlerini incelemiştir. CIELAB renk skalasının kullanıldığı çalışmada, sıvı yumurta sarıları üzerine 0,591 ile 9,219 J/cm² dozlarında UV-C ışık uygulamıştır. Bulgular L^* renk parametre değeri için 60,89-54,88, a^* renk parametre değeri için 20,21-22,97 ve b^* renk parametre değeri için 47,86-50,98 bulunmuştur. Ancak yapılan istatistiksel analizler, renk parametrelerinde doza bağlı olarak UV-C ışık uygulamasının meydana getirdiği değişimlerin önemli olmadığını göstermiştir. Benzer bulgular statik bir sistemin kullanıldığı bir çalışmada (Bayana, 2015) da tespit edilmiştir.





Şekil 5.15. UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarında, sıvı ve liyofilize toz örneklerinin renk değerleri (\pm standart sapma) üzerine etkileri; CIELAB L* (A), a* (B), b* (C) değerleri (Şekil üzerindeki farklı harfler ortalamaların $\alpha=0,05$ seviyesinde istatistiksel açıdan farklı olduğunu göstermektedir.)



Ünlütürk ve Atilgan (2015) taze sıkılmış bulanık beyaz üzüm sularını (FSWGJ) şerit halinde akış esnasında UV-C ışıkla muamele etmiş ve örneklerde açıklık/koyuluk (L^*), kırmızılık (a^*) ve sarılık değerleri (b^*) kullanılarak hesaplanan kahverengileşme indeksinin (B_i) kontrol örneklerle kıyaslandığında daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. 27,74 olan L^* değeri, muamele sonrasında 26,48'e düşmüştür. Literatürde UV-C ışığın meyve sularının renk parametreleri üzerine farklı sonuçlar rapor edilse de (Guerrero-Beltran ve Barbosa-Canovas, 2005; Ibarz vd., 2005) UV-C ışığın, temas süresine bağlı olarak meyve suyu pigmentlerinde foto-bozunuma neden olabileceği bildirilmektedir (Ünlütürk ve Atilgan, 2015). UV-C ışığının birçok meyve ve sebze de istenmeyen yüzey kahverengileşmesine de neden olabileceği bilinmektedir (Gomez vd., 2010). Bununla birlikte, Manzocco vd. (2016) UV-C ışık uygulanmış ananas parçalarının depolanma sırasında kırmızılık ve sarılık değerlerinde önemli bir değişim gözlememiş, ancak kontrol örneklerde 10 günden daha uzun süre depolandığında açıklık/koyuluk indeksi olarak bilinen L^* değerinde önemli ölçüde azalma görülmüştür. UV-C ışıkla işlenmiş ananas parçalarında ise, L^* değerinde hafif bir düşüş gözlenmiştir.

6. SONUÇ

Yumurta sarısı, elzem lipit ve protein bileşenlerini dengeli olarak içeren sağlıklı bir gıda olmasının yanı sıra gıda teknolojisinde katılma, köpürme, emülsifikasyon ile gıdanın renk ve lezzetine katkısı gibi birçok fonksiyonel özelliği nedeniyle de önemlidir (Alakır, 2007; Souza, 2012). Yumurtanın kalitesi üzerine depolama şartları önemli ölçüde etkilidir. Uzun süreli depolama için çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bunlardan en geleneksel ve sık kullanılanı pastörizasyondur. Pastörizasyon sırasında ısıl işlem, koagülasyon, köpürme ve emülsifikasyon gibi proteinlerle ilişkilendirilen fonksiyonel özellikler etkilenir (Souza, 2012). Bu yüzden çeşitli alternatif yöntemler geliştirilmiştir ve yumurta ve ürünleri üzerinde uygulanmaktadır.

Gerçekleştirilen bu proje kapsamında, alternatif pastörizasyon metodlarından biri olan UV-C ışık uygulamasının yumurta sarılarında mikrobiyal inaktivasyon gerçekleştirirken karotenoid (lutein, zeaksantin ve kantaksantin) içeriği, yağ asidi kompozisyonu ve renk üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Tasarlanan UV-C reaktör içerisinde UV-C ışığa maruz bırakılan yumurta sarılarından belirli sürelerde örnek alınmış ve liyofilize edildikten sonra UV-C ışığa maruz kalma sürelerine göre, karotenoidlerden lutein, zeaksantin ve kantaksantin içeriği ($\mu\text{g/g}$), yağ asidi kompozisyonu (%) ve CIE $L^*a^*b^*$ yöntemi ile renk değerlerindeki değişimler incelenmiştir.

Çalışma sonuçlarına göre, 120 dakika gibi uzun bir UV-C ışık işlemi yumurta sarılarında *S.typhimurium* inaktivasyonunu sadece 1.71 logaritmik birim düşürebilmiştir. Bu azalış istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p<0,05$). UV-C ışık uygulama süresinin, yumurta sarısının temel karotenoidleri olan lutein, zeaksantin ve kantaksantin üzerine degradasyon etkisi istatistiksel anlamda önemli bulunmuştur ($p<0,05$). UV-C ışık uygulama süresi arttıkça yumurta sarısında bulunan her üç karotenoid konsantrasyonunda azalma olmuştur. İki saatlik UV-C ışık uygulaması lutein konsantrasyonunda %36,0 oranında bir kayba neden olurken, bu kayıp zeaksantin ve kantaksantinde sırasıyla %32,9 ve %65,0 olmuştur.

UV-C ışık uygulamasının sıvı yumurta sarılarının renk değerleri (CIE L^* , a^* ve b^*) üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Benzer şekilde UV-C ışık uygulamasının yumurta sarılarının liyofilize tozlarının a^* renk değeri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemsiz ($p>0,05$) olmuştur. Ancak, sarı rengi ifade eden b^* değeri üzerine 90 dakikaya kadar olan UV-C ışık uygulaması önemsiz olurken ($p>0,05$), 120 dakikalık uygulama b^* değerinde azalmaya ($p<0,05$) neden olmuştur. 120 dakikalık UV-C ışık uygulanmış yumurta sarılarının liyofilize tozlarının L^* renk değeri (85.06) diğerlerinden yüksek bulunmuştur ($p<0,05$).

Çoklu doymamış yağ asitleri oksidasyona karşı oldukça hassas bileşiklerdir. Yumurta sarılarının yağ asidi kompozisyonu üzerine UV-C ışık uygulama süresinin etkisi, yağ asitlerini doymuş (SFA), tekli doymamış (MUFA) ve çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) şeklinde gruplandırılarak araştırılmış ve PUFA kompozisyonunun UV-C ışık uygulamasıyla azalabildiği, MUFA ve doymuş yağ asidi kompozisyonunun ise arttığı tespit edilmiştir. Ancak bu, istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). MUFA'ların artmasının nedenleri arasında PUFA'ların okside olmasıyla MUFA'lara dönüşebileceği sayılabilir (Spikes, 1981).

Sonuç olarak, mikrobiyal inaktivasyon amacıyla yaygın olarak kullanılan UV-C ışık uygulamasının yumurta sarılarının bazı besin öğeleri (özellikle karotenoidler) üzerine olumsuz etkisinin olduğu bu çalışmayla belirlenmiştir. Bu nedenle UV-C ışık dozunun yumurta sarılarının lutein ve zeaksantin gibi karotenoidleri üzerine degradasyon etkisinin de yapılan araştırmalara dahil edilmesi önemli olacaktır. Bunun yanında mikrobiyal inaktivasyon amaçlı yumurta sarılarına UV-C ışık uygulaması sonrasında lipit oksidasyonunun depolama boyunca ayrıca takip edilmesi faydalı olacaktır. Tasarlanan sistem, üzerinde bazı iyileştirmeler/geliştirmeler yapıldığında pilot ölçekli veya endüstriye yönelik daha büyük çaplı sistemlere temel oluşturabilecek potansiyele sahiptir. Bu sayede, endüstride kullanılan ısı pastörizasyon sistemleri yerine yatırım maliyeti daha düşük alternatif bir sistem olarak kullanımı da mümkün olabilecektir.

KAYNAKLAR

Açu, M., Yerlikaya, O., Kınık, Ö. 2014. "Gıdalarda ısı olmayan yeni teknikler ve mikroorganizmalar üzerine etkileri", Gıda ve Yem Bilimi-Teknolojisi Dergisi, 14, 23-35.

Alakır, İ. 2006. Yumurta Sarısında Lutein, Zeaksantin, Kantaksantin, Ksantofillerin Saptanması ve Hunter L a b Renk Parametreleri ile İlişkiler: Isıl İşlemlerin Etkilerinin Belirlenmesi Üzerine Araştırmalar, Yüksek Lisans Tezi, Manisa: Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Algan, Ö. 2007. Pastörize Sıvı Yumurtaların Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

Atılğan, M. R., 2007. Disinfection of Liquid Egg Products By Using UV Light, Master Thesis, İzmir: İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

Aydın, K., 2009. Sayfa 989-1004. Ultraviyole Işınları ile Suların Dezenfeksiyonu. İzmir: IX. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi Bildiriler Kitabı.

Bandla, S., Choudhary, R., Watson, D.G., Haddock, J. 2012. "Impact of UV-C processing of raw cow milk treated in a continuous flow coiled tube ultraviolet reactor", Agric Eng Int: CIGR Journal, 14(2), 86-93.

Banwart, G. J. ,1989. Sayfa 195. Foodborne agents causing illness. Basic Food Microbiology (2nd ed), New York: Chapman and Hall.

Bayana, D. 2015. Yumurta Sarısı Karotenoidleri ve Yağ Asidi Kompozisyonu Üzerine Ultraviyole Işığın Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Burdur: Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı.

Beeson, S., Mayer, J., 2008. Sayfa 196. Patterns of light chasing the spectrum from Aristotle to LEDs. New York: Springer.

Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E., Robinson, R. K. 2000. "Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry- a critical review", Journal of the Science of Food and Agriculture, 80(6), 637-645.

Bolton, J.R., Linden, K.G. 2003. "Standardization of methods for fluence UV dose determination in bench-scale UV experiments", Journal of Environmental Engineering, 129, 209-215.

Breithaupt, D. 2004. "Analytical, nutritional and clinical methods simultaneous HPLC determination of carotenoids used as food coloring additives: Applicability of accelerated solvent extraction", *Food Chemistry*, 86, 449-456.

CDC. Centers for Disease Control and Prevention. <http://www.cdc.gov/> (Son Erişim Tarihi: 06.05.2015)

Çalıklı, A., 2003. Kayısı ve Vişne Suyu Üretimindeki Atıkların Değerlendirilmesi, Bilimsel Araştırma Projesi, Ankara: Ankara Üniversitesi Fen Bilimsel Araştırma Projeleri.

Doulia, D., Katsinis, G., Mouglin, B., 2000. "Prolongation of the microbial shelf life of wrapped part baked baguettes", International Journal of Food Properties, 3(3), 447-457.

Erol, M., 1994. Ankara'da Satılan Yumurtaların Salmonella Yönünden Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.



Fonseca, J.M., Rushing, J.W. 2006. "Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon", *Postharvest Biol. Technol.*, 40, 256–261.

Forsythe, S., Hayes, P. 1998. *Food Hygiene, Microbiology and HACCP*. New York: Springer.

Francis, F. 1999. *Wiley Encyclopedia of Food Science and Technology*, Second Edition, New York: Wiley.

Frazier, W., Westhoff, D. 1998. *Food Microbiology*, (Fourth Edition). London: McGraw-Hill College.

Froning, G. 1998. *Poultry and Avian Research Resources: Living Stock Populations*. <http://animalscience.ucdavis.edu/avian/psym983.pdf> (Son Erişim Tarihi: 05.10.2015).

Gast, R., 2005. "Bacterial infection of eggs", *Food Safety Control in the Poultry Industry*, 1-12.

Geveke, D.J. 2005. "UV inactivation of bacteria in apple cider", *Journal of Food Protection* (8), 1739-1742.

Geveke, D.J. 2008. "UV inactivation of *E. coli* in liquid egg white", *Food and Bioprocess Technology*, 1(2), 201–206.

Guerrero-Beltran, J. A., Barbosa-Canovas, G. 2004. "Advantages and limitations on processing foods by UV light", *Food Science and Technology International*, 10(3), 137-147.

Gomez, P.L., Alzamora, S.M., Castro, M.a., Salvatori, D.M. 2010. "Effect of ultraviolet-C light dose on quality of cut-apple: microorganism, color and compression behavior", *Journal of Food Engineering*, 98, 60-70.

Hanes, D.E., Worobo, R.W., Orlandi, P.A., Burr, D.H., Miliotis, M.D., Robl, M.G., 2002. "Inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts in fresh apple cider by UV irradiation", *Applied and Environmental Microbiology*, 68, 4168–4172.

Harrington, W.O., Hills, C.H. 1968. "Reduction of the microbial population of apple cider by ultraviolet irradiation", *Food Technology*, 22, 117–120.

Heperkan, D. 1998. "Yumurta ve yumurta ürünlerinde mikrobiyal bulaşmalar ve kontrol altına alınması", *Gıda ve Teknoloji*, 72-77.

Heperkan, D., Gökler, O., 2012. Kabuklu yumurtada patojen riskleri ve muhafaza yöntemleri. <http://www.dunyagida.com.tr/haber.php?nid=661> (Son Erişim Tarihi: 08.07.2015)

Hy-Line International, 2013. *The Science of Egg Quality*. <http://www.hyline.com/asp/resourcelibrary/downloads.aspx> (Son Erişim Tarihi: 06.08.2015)

ICMSF, 2005. Sayfa 597-632. *International Commission on Microbiological Specifications for Foods. Microorganisms in Foods 6: Microbial Ecology of Food Commodities*. New York: Springer.

Ijichi, K., Hammerle, O., Lineweaver, H., Kline, L. 1964. "Effects of ultraviolet irradiation of egg liquids on Salmonella destruction and performance quality with emphasis on egg white", *Food Technology*, 10, 1628.

Islam, M.S., Patras, A., Pokharel, B., Wu, Y., Vergne, M.J., Shade, L., Xiao, H. & Sasges, M. 2016. "UV-C irradiation as an alternative disinfection technique: Study of its



effect on polyphenols and antioxidant activity of apple juice”, Innovative Food Science and Emerging Technologies, doi: 10.1016/j.ifset.2016.02.009 (in press).

Kasnak, C., Palamutoğlu, R. 2015. “Doğal antioksidanların sınıflandırılması ve insan sağlığına etkileri”, Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi, 226-234.

Koutchma, N., Forney, J., & Moraru, I. 2009. *Ultraviolet Light in Food Technology Principles and Applications*. CRC Press, USA, 296 s.

Koutchma, T. 2009. “Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods”, Food Bioprocess Technology, 138-155.

Lucas, J., 2003. Sayfa 590. Integrating MAP with new germicidal techniques. Novel food packaging techniques. Florida: CRC Press, Boca Ratón.

Lyon, S.A., Fletcher, D.L., Berrang, M.E. 2007. “Germicidal ultraviolet light to lower numbers of *Listeria monocytogenes* on broiler breast fillets”, Poultry Sci., 86(5), 964-967.

Matak, K.E., Sumner S.S., Duncan S.E., Hovingh E., Worobo R.W., Hackney C.R., ve Pierson M.D. 1997. “Effects of ultraviolet irradiation on chemical and sensory properties of goat milk”, Journal of Dairy Science, 90(7), 3178-3186.

Manzocco, L., Plazzotta, S., Maifreni, M., Calligaris, S., Anese, M., Nicoli, M.C. 2016. “Impact of UV-C light on storage quality of fresh-cut pineapple in two different packages”, LWT - Food Science and Technology, 65, 1138-1143.

Monteiro, M.L.G., Marsico, E.T., Canto, A.C.V. da C.S., Costa-Lima, B.R.C. da, Costa, M.P. da, Viana, F.M., Silva, T.J.P. da, Conte-Junior, C.A. 2017. “Impact of UV-C light on the fatty acid profile and oxidative stability of Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) fillets”, Journal of Food Science, doi: 10.1111/1750-3841.13685 (in press).

Morowitz, H.J. 1950. “Absorption effects in volume irradiation of microorganisms”, Science, 111, 229–230.

Muriana, P.M. 1997. “Effect of pH and hydrogen peroxide on heat inactivation of Salmonella and Listeria in egg white”, Food Microbiology, 14, 11-19.

Müller, A., Stahl, M., Graef, V., Franz, C.M.A.P., Huch, M. 2011. “UVC treatment of juices to inactivate microorganisms using Dean vortex technology”, Journal of Food Engineering, 107, 268–275.

Ngadi, M., Smith, J.P., Cayouette, B. 2003. “Kinetics of ultraviolet light inactivation of Escherichia coli O157:H7 in liquid foods”, Journal of the Science of Food and Agriculture, 83, 1551–1555.

Ötleş, S., Atlı, Y. 1997. “Karotenoidlerin İnsan Sağlığı Açısından Önemi”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3(1), 249-254.

Özkütük, N., 2007. Ultraviyole Lambalarının Kullanımı. 5. Ulusal Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon Kongresi, Antalya, 490-496.

PGO. 2011. Selected Float Glass, Transmission. http://www.pgoonline.com/intl/katalog/curves/whitefl_kurve.html (Son Erişim Tarihi: 10.09.2015)

Philips, 2006. Ultraviolet Purification Application Information, The Netherlands.



Reinemann, D., Gouws, P., Cilliers, T., Houck, K., Bishop, J. 2006. New methods for UV treatment of milk for improved food safety and product quality, Portland: ASABE Annual International Meeting, Oregon.

Ricke, S., Birkjoud, S., Gast, R. 2001. Sayfa 473-482. Eggs and egg products, Compendium of methods for the microbiological examination of foods, Washington: American Public Health Association.

Serdarođlu, M., Deniz, E., 2002. "Sıvı yumurtaların dondurulması ve dondurma nedeniyle oluşan kalite problemleri", Hayvansal Üretim, 55-63.

Sommers, C.H., Sites, J.E., Musgrove, M. 2010. "Ultraviolet light (254nm) inactivation of pathogens on foods and stainless steel surfaces", Journal of Food Safety, 30, 470–479.

Souci, S., Fachmann, W., Kraut, H. 2008. Food Composition and Nutrition Tables. Stuttgart: MedPharm Scientific Publishers, Almanya.

Souza, P. M., 2012. Study of short-wave ultraviolet treatments (UV-C) as a non thermal preservation process for liquid egg products, Master Thesis. Valencia: Universitat Politecnica De Valencia, İspanya.

Souza, P.M., Briviba, K., Müller, A., Fernández, A., Stahl, M. 2013. "Cyto-genotoxic and oxidative effects of a continuous UV-C treatment of liquid egg products", Food Chemistry 138, 1682–1688.

Souza, P. M., Fernandez, A. 2011. "Effects of UV-C on physicochemical quality attributes and *Salmonella enteritidis*" Food Control, 1385-1392.

Spikes, J. 1981. "Photodegradation of foods and beverages", Photochemical and Photobiological Reviews, 6, 39-81.

Stadelman, W., Cotteril, O. 1990. Egg Science and Technology. New York: Haworth Press.

Şamlı, H., Şenköylü, N., Akyürek, H., Ağma, A. 2005. "Doğal pigmentlerin yaşlı tavuklarda yumurta sarısına etkileri", Tekirdađ Ziraat Fakóltesi Dergisi, 281-286.

Tayar, M. 2005. Yumurta Hijyeni. <http://mtayar.uludag.edu.tr/yumurtahijyeni.htm> (Erişim Tarihi: 10.08.2016)

Tee, E.S. 1992. "Carotenoids and retinoids in human nutrition", Food Science and Nutrition, 31(1/2), 103-163.

Telis-Romero, J., Thomas, C.E.P., Bernardi, M., Telis, V.R.N., Gabas, A.L. 2006. "Rheological properties and fluid dynamics of egg yolk" Journal of Food Engineering, 74, 191-197.

Tülek, Y., Filizay, G. 2006. "Gıda Endüstrisinde Kullanılan Yüksek Hidrostatik Basınç Sistemleri", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 225-231.

Türkcan, O., Ökmen, G. 2012. "Mikrobiyal karotenoidler" Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi, 5(1), 115-122.

USDA, 2015a. <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/118?fgcd=&manu=&facet=&format=&count=&max=35&offset=&sort=&qlookup=hard+boiled> (Son Erişim Tarihi: 10.11.2015).



USDA, 2015b. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, National Nutrient Database for Standard Reference Release 28, <http://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/114?manu=&fgcd> (Son Erişim Tarihi: 10.11.2015).

USDA-ARS, 1969. Egg Pasteurization Manual. Agricultural Research Service, U.S. Department of Agriculture, 54s.

Ünlütürk, S., 2012. "Ultraviyole (Mor Ötesi) Işınlama" Gıda Mühendisliğinde Isıl Olmayan Teknolojiler, 219-248.

Ünlütürk, S., Atılğan, M. 2015. "Microbial safety and shelf life of UV-C treated freshly squeezed white grape juice", *Journal of Food Science* 80(8), M1831-1841.

Ünlütürk, S., Atılğan, M., Baysal, A., Tarı, C. 2008. "Use of UV-C radiation as a non-thermal process for liquid egg products (LEP)", *Journal of Food Engineering*, 85, 561–568.

Ünlütürk, S., Tarı, C., Korel, F. 2007. Sıvı Yumurta Ürünlerinin Ultraviyole (UV) Işık İle Dezenfeksiyonu. Ankara: TÜBİTAK.

Üren, A., 1999. "Üç boyutlu renk ölçme yöntemleri" *Gıda*, 24(3), 193-200.

Van der Plancken, I., Van Remoortere M., Van Loey, A., Hendrickx, M.E.G. 2003. "Heat-induced changes in the susceptibility of egg white proteins to enzymatic hydrolysis: A kinetic study", *J. Agric. Food Chem.*, 51, 3819–3823.

Van der Plancken, I., Delattre, M., Van Loey, A., Hendrickx, M.E.G. 2004. "Kinetics study on the changes in the susceptibility of egg white proteins to enzymatic hydrolysis induced by heat and high hydrostatic pressure pretreatment", *J. Agric. Food Chem.*, 52, 5621–5626.

Van der Plancken, I., Van Loey, A., Hendrickx, M.E.G. 2006. "Effect of heat-treatment on the physico-chemical properties of egg white proteins: A kinetic study", *J. Food Eng.*, 75, 316–326.

Wang, H., Slavik, M. 1998. "Bacterial penetration into eggs washed with various chemicals and stored at different temperatures and times", *Journal of Food Protection*, 61, 276-279.

Water Treatment Guide, (2007). http://www.watertreatmentguide.com/ultraviolet_systems.htm (Son Erişim Tarihi: 08.01.2015).

Wright, J.R., Sumner, S.S., Hackney, C.R., Pierson, M.D. Zoetcklein, B.W. 2000. Efficacy of ultraviolet light for rreducing *Escherichia coli* O157:H7 in unpasteurized apple cider", *Journal of Food Protection*, 63: 563-567.

Yüceer, M. 2007. Kolesterolü Azaltılmış Yumurta Sarısı Üretimi ve Düşük Kolesterolü Mayonez Üretiminde Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Zeidler, G. 2002. Sayfa 1143. Processing and Packaging Shell Eggs. Commercial Chicken Meat and Egg Production. Stuttgart: Kluwer Academic Publishers.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Yürütücüsü:	Prof. Dr. YUSUF YILMAZ
Proje No:	115O983
Proje Başlığı:	UV-C Işığa Maruz Bırakılan Yumurta Sarısı Karotenoidleri ve Yağ Asitlerinin Degradasyon Kinetiğinin Belirlenmesi
Proje Türü:	3001 - Başlangıç AR-GE
Proje Süresi:	15
Araştırmacılar:	
Danışmanlar:	OĞUZ GÜRSOY
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi:	MEHMET AKİF ERSOY Ü. MÜHENDİSLİK MİMARLIK F. GIDA MÜHENDİSLİĞİ B.
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri:	01/10/2015 - 01/01/2017
Onaylanan Bütçe:	96975.0
Harcanan Bütçe:	59900.0
Öz:	<p>Gıda ürünlerinde UV-C ışık uygulaması mikrobiyal inaktivasyon amacıyla ısıtma işlemlere alternatif olarak geliştirilmiştir. Ancak bu uygulaması yumurta sarılarında özellikle de karotenoid ve yağ asitlerinde degradasyona yol açabilmektedir. Proje kapsamında kurulumu gerçekleştirilen reaktörde, Salmonella typhimurium suşu inoküle edilen yumurta sarıları farklı sürelerde (0, 5, 30, 60, 90 ve 120 dakika) UV-C ışığı maruz bırakılarak mikrobiyal inaktivasyon gerçekleştirilmiştir. 120 dakikalık UV-C ışık işlemi yumurta sarılarında S.typhimurium inaktivasyonunu 1,71 logaritmik birim düşürebilmiştir (p 0,05). Yumurta sarısındaki karotenoidlerden lutein, zeaxantin ve kantakasantin ile yağ asitleri kompozisyonu üzerine UV-C ışık uygulama süresinin etkisi de belirlenmiştir. 120 dakika UV-C ışık uygulanan yumurta sarılarında lutein içeriği 232,10µg/g kuru madde (km) değerinden 148,66µg/g'a, zeaxantin ise 49,77µg/g km değerinden 33,40µg/g'a düşmüştür (p 0,05). UV-C ışığın yumurta sarılarının yağ asidi kompozisyonu üzerine etkisi, yağ asitlerini doymuş (SFA), tekli doymamış (MUFA) ve çoklu doymamış yağ asitleri (PUFA) şeklinde gruplandırılarak yapılmıştır. UV-C ışık uygulanmamış örnekte SFA oranı %42,51 iken 120 dakikalık uygulama sonunda yaklaşık %42,29'a düşmüştür; %30,38 olan MUFA ile %25,39 olan PUFA değerleri 120 dakika sonunda sırasıyla %31,12 ve %25,46 olarak belirlenmiştir. Ancak, tüm örnekler için yağ asidi kompozisyonundaki değişiklikler istatistiksel anlamda önemli bulunmamıştır (p 0,05). UV-C ışık uygulamasının liyofilize tozların a* renk değeri üzerine etkisi istatistiksel açıdan önemsiz (p 0,05) olmuştur. Ancak, sarı rengi ifade eden b* değeri üzerine 90 dakikaya kadar olan UV-C ışık uygulaması önemsiz olurken (p 0,05), 120 dakikalık uygulama b* değerinde azalmaya (p 0,05) neden olmuştur. Sonuç olarak, mikrobiyal inaktivasyon amaçlı kullanılabilen UV-C ışık uygulamasının, yumurta sarısı karotenoidleri üzerine süreye bağlı olarak degradasyon etkisi vardır. UV-C ışık uygulaması, yumurta sarılarının PUFA içeriğini azaltsa da istatistiksel anlamda önemsiz bulunmuştur. UV-C ışık uygulamasının sıvı ve liyofilize toz örneklerinin renkleri üzerine etkisi de istatistiksel anlamda önemsiz olmuştur. İleride yapılacak çalışmalarda, UV-C ışık uygulaması sırasında mikrobiyal inaktivasyon çalışmalarının yanında UV-C ışığın gıdanın besin öğeleri (karotenoidler ve yağ asitleri gibi) üzerine etkisinin eş zamanlı araştırılması faydalı olacaktır.</p>
Anahtar Kelimeler:	Yumurta Sarısı, UV-C, Ultraviyole Işık, Salmonella typhimurium, Yağ Asidi, Karotenoid
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu Mu?:	Hayır