






## Gıda Sanayisinde Ultraviyole Işığın Yüzey Uygulamaları

Nurcan Koca , Turkuaz Ecem Saatli , Müge Urgu 

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

*Geliş Tarihi (Received): 21.11.2017, Kabul Tarihi (Accepted): 14.03.2018*

*✉ Yazışmalardan Sorumlu Yazar (Corresponding author): nurcan.koca@ege.edu.tr (N. Koca)*

 0232 311 30 29  0232 342 75 92

### ÖZ

Gıda sektöründe, ısıtma işlem uygulanamayan ya da ısıtma işlem uygulanmış ancak sonrasında bulaşma olmuş gıdaların yüzey dekontaminasyonu her zaman önemini korumuştur. Ultraviyole (UV) ışık; ısıtma işlem alternatifi olarak yüzeylerde rahatlıkla kullanılabilen umut verici mikrobiyal dekontaminasyon yöntemidir. Son yıllarda, düşük yatırım maliyeti, kolay uygulanabilmesi ve pozitif tüketici imajı gibi çeşitli avantajları sebebiyle UV ışın uygulaması gıda endüstrisinde gittikçe yaygınlaşmaktadır. Gıdaların ve gıdalla temas eden ekipmanların yüzey dezenfeksiyonu ile ambalaj dekontaminasyonu başta olmak üzere çeşitli yüzey uygulamalarında kullanılabilir. Bu amaçla, hedefe yönelik olarak kesikli ya da sürekli sistem çalışan UV kabinleri dizayn edilmektedir. Bu sistemlerin kullanımında, yüzey dezenfeksiyonunu etkileyen faktörlerin bilinmesi ve mikrobiyal inaktivasyon yanısıra kalite değişimlerinin de göz önünde bulundurulması oldukça önemlidir. Bu derlemede, UV ışık uygulamasının inaktivasyon mekanizması ve kullanılan ışık kaynakları hakkında genel bilgiler verilmekle birlikte, UV ışığın gıda ve gıda ile temas eden ekipman yüzeyleri ile ambalajların yüzey uygulamalarında kullanım olanakları ve etkileri ile ilgili detaylı bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, UV ışığın yüzey uygulamalarındaki avantajları, uygulamanın etkinliğini sınırlandıran faktörler ile yasal düzenlemeler de ele alınmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Ultraviyole ışık, Yüzey uygulama, Gıda, Isıtma olmayan işlem

### Surface Applications of Ultraviolet Light in Food Industry

#### ABSTRACT

In food industry, surface decontamination of foods that cannot be heat treated or contaminated after heat treatment is of great importance. Ultraviolet (UV) light is a promising technology for microbial decontamination and can be used as an alternative to heat treatments for surfaces. In recent years, UV light application has become widespread because of its low maintenance cost, easy to use and positive consumer image. It can be used for surface decontamination of foods, equipments in contact with foods and packaging materials. For this purpose, batch or continuous UV disinfection units can be designed for specific uses. Factors influencing surface disinfection and microbial inactivation and, quality changes with the use of UV light systems need to be considered. In this study, potential applications of UV light on food surfaces, equipments in contact with foods and packaging materials besides inactivation mechanisms and light sources are reviewed. Advantages of this technology, factors influencing the efficacy of UV light and legal aspects are also presented.

**Keywords:** Ultraviolet light, Surface application, Food, Non-thermal process

## GİRİŞ

Günümüzde tüketicilerde artan bilinçle birlikte, mikrobiyolojik açıdan güvenilir gıdaları tercih etmeleri, "güvenli gıda" kavramının önemini daha da arttırmıştır. Gıda güvenliğini sağlamak amacıyla yaygın olarak gıdalara ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Ancak, her gıda ısıtma işlemi uygulamasına uygun değildir. Ayrıca, gıdaların üretiminde ısıtma işlemi uygulansa dahi, açıkta gerçekleştirilen ve uzun süren üretim aşamalarında özellikle yüzey bulaşmaları önemli bir sorundur. Gıdalarda mikrobiyal gelişim ve kimyasal değişimler öncelikle gıda yüzeyinde oluşur. Mikroorganizmaların başlıca gıda yüzeyinde bulunması yanı sıra, enzimatik aktiviteler, oksidasyon ve dehidrasyon gibi reaksiyonlar çoğunlukla gıda yüzeyinden başlar ve gıdada renk,

doku, lezzet ve besinsel değişimlere neden olur. Gıda yüzeyine gerek mikrobiyolojik ve kimyasal kontaminantların bulaşmasını önlemek gerekse yok etmek gıda sektöründe her zaman önemini korumuştur. Bu nedenle, Tablo 1'de [1] görüleceği gibi gıda yüzeyindeki mikroorganizmaları kontrol altına almak ya da yok etmek amacıyla farklı etki mekanizmalarına sahip birçok yüzey uygulaması kullanılmaktadır. Son yıllarda, gıda endüstrisinde geleneksel işleme tekniklerine kıyasla genellikle daha düşük sıcaklıklarda yürütülen ısıtma olmayan teknolojilerin uygulaması önem kazanmıştır. Bu uygulamalardan ultraviyole (UV) ışık, gıda yüzeylerindeki mikroorganizmaların kimyasal madde kullanılmadan veya ısıtma işlemi uygulanmadan kısa sürede inaktive edilmesi için potansiyel bir yöntemdir.

Tablo 1. Başlıca gıda yüzey uygulamaları ve etki mekanizmaları [1]

Yüzey İşlemi	Etki Mekanizması
Yıkama, hava üfleme	Yüzeyden kontaminantların uzaklaştırılması
Ambalajlama, yenilebilir filmler	Ortamdan gıda yüzeyinin izolasyonu
Modifiye atmosferde ambalajlama ve aktif ambalajlama	Gıda yüzeyi ile temasta olan atmosferin redoks potansiyeli ve bileşiminin modifikasyonu
Haşlama ve pişirme	Gıda yüzeyinin nem, yapı ve kimyasal kompozisyonunun modifikasyonu
Kürleme, biyokoruma	Gıda yüzey mikroflorasının modifikasyonu
Bazı maddelere veya antimikrobiyal içeren çözeltilere daldırma veya batırma	Gıda yüzeyinin kompozisyonunun modifikasyonu
Ağartma, yüzey pastörizasyonu ve infrared ısıtma	Selüler biopolimer modifikasyonu
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> veya klorür içeren sulu çözeltilerle yıkama, ileri oksidasyon prosesleri, UV ışık, vurgulu UV ışık	Gıda yüzeyinin redoks potansiyelinin modifikasyonu

UV ışık güneşten gelen elektromanyetik radyasyon enerjisinin bir türüdür. Işık yelpazesinde görünür ışıktan kısa, X ışınından uzun dalga boyuna sahiptir. Dalga boyuna göre; uzak-UV (10-200 nm) ve yakın-UV (200-400 nm) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Yakın-UV ise; UV-A (uzun UV, siyah ışık; 315-400 nm), UV-B (orta UV, 280-315 nm), UV-C (kısa UV, germisidal UV; 200-280 nm) olarak sınıflandırılmaktadır [2]. UV-C ışık, kısa dalga boyu ve yüksek enerjisi nedeniyle bakteri, virüs, protozoa, maya, küf gibi mikroorganizmalara karşı germisidal (öldürücü) etkiye sahiptir. Mikroorganizmaların spor formlarında ise, vejetatif formlara göre daha yüksek dozlarda UV ışık uygulamasıyla germisidal etki sağlanabilmektedir. UV-C ışığının en yüksek germisidal etkisi 250-260 nm arasında görülmekte ve özellikle 253.7 nm dalga boyunun DNA tarafından etkin şekilde absorbe edilen dalga boyu olduğu bilinmektedir [3]. UV-C ışık, mikroorganizmaların DNA'sı tarafından absorbe edilmekte ve bunun sonucunda aynı DNA zinciri üzerinde komşu pirimidin nükleotid bazlarının (timin ve sitozin) arasında kimyasal kovalent bağlar oluşturarak pirimidin dimerleri meydana getirmektedir. Böylece DNA transkripsiyonu ve replikasyonu engellenerek hücre fonksiyonları tehlikeye girmekte ve hücre ölümü gerçekleşmektedir [4-6].

UV-C ışık, gıdaların muhafazası amacıyla ilk olarak 1930'lu yıllarda ışınlatma yöntemi olarak kullanılmaya başlamıştır [4]. Gün geçtikçe kullanımı artan UV ışık uygulaması, gıda endüstrisi açısından birçok olumlu

özellığe sahiptir. Gıda endüstrisinde kimyasalların kullanımına alternatif olarak gösterilebilen UV ışık kullanımı kimyasal kalıntı bırakmamaktadır. UV ışınlatma yöntemi geleneksel yöntemlere göre daha düşük sıcaklık derecelerinde uygulandığı için gıdada oluşabilecek kalite kayıpları, yüksek derecedeki sıcaklıklardan kaynaklanan duyu kusurları ve besin değerindeki kayıplar en alt seviyelere inmektedir. Birçok avantajına rağmen düşük penetrasyon gücü, gıda endüstrisinde bazı ürünlerde kullanım alanını kısıtlamaktadır. Ancak, yüzey uygulamalarında, özellikle gıdanın şekillenmesi sonrasında oluşan yüzey mikrobiyal bulaşmalarının yok edilmesinde, ambalaj ve ekipman dezenfeksiyonunda başarılı bir şekilde kullanılabilir. Dolayısıyla, hem işletmede hijyen gereklilikleri için hem de gıda yüzeylerindeki mikroorganizmaların kimyasal madde kullanılmadan veya ısıtma işlemi uygulanmadan kısa sürede inaktive edilmesi için potansiyel bir yöntem olarak yüzey uygulamaları arasında yerini almıştır.

## UV-C IŞIK UYGULAMASININ İNKTİVASYON MEKANİZMASI

Mikroorganizmalar üzerindeki inaktive etki; ultraviyole ışığın aynı DNA sarmalında bitişik timin ve sitozin pirimidinleri arasında kovalent bağlar oluşturarak pirimidin dimerleri oluşturması temeline dayanmaktadır. Bu durum sonucu dimerler mikroorganizmaları mutasyona uğratarak, çoğalmasını engelleyerek inaktive

etmektedir [2]. Bu durum, klonojenik ölüm olarak adlandırılan nükleik asitlerin transkripsiyonu ve replikasyonunun engellenmesine yol açmaktadır [5, 6]. Ancak, mikroorganizmaların tamir mekanizmaları sayesinde DNA hasarını onarabilirler. DNA onarımlarında yüksek UV ışık dozlarına maruz kalan DNA'nın hasar durumunun çok olmasından dolayı onarımın mümkün olmadığı görülmüştür [7]. Doğal ortamda güneşten gelen ultraviyole ışık varlığı nedeniyle, bakterilerde ve diğer mikroorganizmalarda doğal savunma mekanizmaları gelişmiş durumdadır. Böylece UV-C ile inaktive edilmiş mikroorganizmalar, fotoreaktivasyon ile hasarı tersine çevirebildikleri için mikroorganizmaların aktiviteye tekrar kavuşması mümkün olabilmektedir [8, 9]. Bazı mikroorganizmalarda ise ışığa gereksinim duymayan karanlık onarım mekanizması denilen bir onarım sistemi bulunmaktadır. Sistem, timin dimerleri taşıyan kısa DNA zincirlerinin kesilip atılması prensibiyle çalışmaktadır ve bu süreç kısa sürede gerçekleşirse onarım etkin olabilmektedir [7].

Fotoreaktivasyon ve karanlık onarım mekanizmalarının etkinlikleri, mikroorganizmaların ve hasara sebep olan UV ışık dozlarının farklılıklarına göre değişmektedir. Bu anlamda çalışmaların çoğu, *Escherichia coli* suşları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalarda, fotoreaktivasyonun, karanlık onarımına göre daha fazla rol oynadığı vurgulanmıştır. Ayrıca, kullanılan lamba türü de onarımda rol oynamaktadır. Nitekim orta basınçlı (MP) cıvalı UV ışık lambalarının kullanımının, düşük basınçlı (LP) cıvalı UV ışık lambalarının kullanıma kıyasla karanlık onarımında daha önemli rol oynadığı belirtilmiştir [10]. Bu nedenle, mikroorganizmaların fotoreaktivasyonu ve karanlık onarımı, özellikle en çok kullanılan iki UV ışık lambası olan LP ve MP cıvalı UV ışık lambaları için incelenmesi gereken bir konu haline gelmiştir.

## UV YÜZEY UYGULAMALARININ MİKROBİYAL İNAKTİVASYON VERİMLİLİĞİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Yüzey uygulamalarının etkinliği birçok faktöre bağlı olarak değişmektedir. Başlıca faktörler aşağıda özetlenmiştir:

- UV ışık kaynağı ve uygulama dozu
- Yüzeydeki mikrobiyal çeşitlilik ve sayı, hedef mikroorganizmanın UV ışığa hassasiyeti
- UV uygulanacak yüzeyin fiziksel özellikleri (kirlilik, pürüzlülük, renk, opaklık vb.)
- Gıdanın bileşimi (yağ vb.)
- Ambalaj materyalinin UV ışık geçirgenliği (ambalajlı gıda uygulamalarında)

UV-C ışınımına dayalı bir dezenfeksiyon yönteminin etkinliğinde en önemli faktör kullanılan dozdur. Doz; UV ışığın şiddeti ve ışınlama süresinin çarpımı ile hesaplanır (1).

$$\text{UV doz (J/m}^2\text{)} = \text{UV şiddeti (W/m}^2\text{)} \times \text{Etki süresi (s)} \quad (1)$$

Kısa sürelerde yüksek şiddet veya uzun sürelerde düşük şiddet uygulaması pratik olarak uygulanabilmektedir ve tam olarak aynı olmasa da benzer inaktivasyon etkilerine sahiptir. Ultraviyole ışığın şiddetini ölçmek için genellikle radyometre, fotometre veya spektrometre kullanılmaktadır. Ayrıca, UV ışık kaynağı olarak kullanılan lambanın türü, konumu, sayısı ve elde edilen enerji mikrobiyal inaktivasyon açısından önemlidir.

Hedef mikroorganizmanın UV ışığa duyarlılığı UV ışık dozunun seçiminde önemli bir parametredir. Mikroorganizmaların hücre yapıları, morfolojik, fizyolojik özellikleri, v.b. UV ışığa karşı hassasiyetlerini belirlemektedir. Birbirleriyle kıyaslandıklarında daha basit yapıdaki mikroorganizmaların UV ışık tarafından daha kolay bir şekilde inaktive edildiği bilinmektedir. Bu nedenle, genel olarak sporlu mikroorganizmalar ve gram pozitif bakteriler UV ışığa gram negatiflerden daha dirençlidir. Maya ve küfler ise genetik malzemelerinde daha az pirimidin bazının bulunması ve hücre zarlarının farklı yapıda olması gibi nedenlerden dolayı bakterilere göre UV ışığa daha dirençli olmaktadır. En yüksek dirençliliğe sahip mikroorganizmalar ise virüslerdir [2]. UV-C ışığın mikroorganizmalar üzerindeki etkisi türden türe farklılık gösterebilir ve aynı türler arasında bile, suşa, büyüme ortamına, kültür evresine, mikroorganizmaların yoğunluğuna, diğer karakteristik özelliklere, gıdanın türüne ve bileşimine bağlı olarak farklı etkiler oluşabilmektedir [11]. Bu etkiler çerçevesinde, çeşitli mikroorganizmaların inaktivasyonu için farklı UV dozları gerekmektedir. Algler, vejetatif bakteriler, sporlu bakteriler, küfler, virüsler ve mayalar gibi bazı mikroorganizma gruplarına dair UV-C ışığa karşı en dirençli ve en zayıf mikroorganizma türlerinin minimal inhibisyon dozları Tablo 2'de [12] gösterilmektedir. Belirtilen UV dozları uygulandığında hedef mikroorganizmanın tamamını inhibe etmek mümkün olmaktadır. UV-C ile mikrobiyal indirgeme oranı, uzun süre düşük şiddet veya kısa süre yüksek şiddet uygulandığında elde edilebilmektedir [13, 14]. Suşlar dahil olmak üzere çok çeşitli organizmalara bağlı olarak, dezenfeksiyon için gereken doz seviyeleri her bir gıda ürünü için gereken nihai etkiye göre değişebilmektedir [12]. Mikroorganizmanın duyarlılığının yanı sıra bulaşma seviyesi de inaktivasyon derecesini etkilemektedir. Ayrıca, UV ışık uygulanacak gıda örneğinin işlem sırasında direkt olarak UV lamba altına konumlandırılması veya lamba ile yüzey arasındaki mesafe olması ya da direkt gelmesi mikroorganizmaların inhibisyon oranını etkilemektedir.

UV ışık uygulamasının etkinliğini hedef mikroorganizmanın özelliğinin yanı sıra uygulanan yüzeye ilişkin özellikler de etkilemektedir. UV ışık uygulanacak yüzeye ilişkin renk, kirlilik, pürüzlülük gibi faktörler UV ışığın etkinliği değiştirmektedir. Pürüzsüz yüzeylere yapılan uygulamanın, pürüzlü yüzeylere yapılan uygulamaya kıyasla daha etkili olduğu bilinmektedir. Çünkü pürüzlülük ve kirlilik gölge etkisi yaratarak UV ışığın mikroorganizmaya doğrudan erişimini engellemektedir [15]. Bu nedenle gıda yüzeyine uygulanacak UV ışık uygulamalarında, önce katı gıda maddelerinin yıkama vb. gibi yöntemlerle, sıvı gıda

maddelerinin ise çeşitli filtreler kullanılarak kirliliklerinden olabildiğince arındırılması önemlidir. Yüzeyle ilişkin bir diğer faktör ise renktir. UV uygulanacak yüzeyin renginin koyu veya açık olmasına göre ışığın absorblanma miktarı etkilenmektedir. Koyu renkli gıdalarda ışığın absorpsiyonunun yüksek olması, mikrobiyal inaktivasyon için gereken enerjinin azalmasına sebep olmaktadır [1].

Hedef gıdanın bileşimi UV ışığının gıdaya nüfuz edebilmesi ve mikrobiyal inaktivasyon etkinliğini yüksek seviyede gösterebilmesi için önemlidir. Çözünmüş

katılar, asılı kalan parçacıklar, organik çözenler, makromoleküller özellikle proteinler ve yağ globülleri, gıdadaki mikroorganizmalara gölge etkisi yaratarak ışığın nüfuz etmesini ve dolayısıyla etkinliğini sınırlamaktadırlar [1, 12, 16]. UV ışınlanmanın en büyük avantajı, gıda bileşenlerinde meydana getirdiği değişikliklerin az olmasıdır. Fakat yine de gıdaların duyuşsal özelliklerini ve bazı bileşenlerin işlevsel özelliklerini değiştiren bazı sonuçlar meydana gelmektedir. Işığın yaratabileceği bu değişiklikler de artan ışın dozu ile birlikte artabilmektedir.

Tablo 2. Bazı mikroorganizma gruplarına ait farklı türlerin inhibisyonu için gereken düşük ve yüksek UV ışık dozları (254 nm) [12]

Mikroorganizma grubu	Tür	Düşük doz (J/m <sup>2</sup> )	Tür	Yüksek doz (J/m <sup>2</sup> )
Algler	<i>Chlorella vulgaris</i>	220	Mavi yeşil algler	4200
Vejetatif bakteriler	<i>Bacillus megatherium</i>	25	<i>Sarcina lutea</i>	264
Sporlu bakteriler	<i>Bacillus subtilis</i>	220	<i>Bacillus anthracis</i>	462
Küfler	<i>Oospora lactis</i>	110	<i>Aspergillus niger</i>	3300
Virüsler	Adenovirüs tip 3	45	Tütün mozaik virüsü	4400
Mayalar	Bira mayası	66	<i>Saccharomyces</i> sp.	176

Ambalajlama öncesinde kutular, şişeler, kartonlar, kapaklar, folyolar ve filmler gibi ambalajlama malzemelerinin yüzeylerine uygun UV ışık dozları uygulanarak mikroorganizmalar azaltılabilmekte veya yok edilebilmektedir. Paketli gıdaların yüzeylerine UV ışık uygulanmasında ise, ambalaj malzemesinin ışık geçirim miktarı inaktivasyon için kritik bir faktördür. Gıda endüstrisinde ambalaj malzemesi olarak, polietilen tereftalat (PET), polivinilklorür (PVC), polipropilen (PP) ve polietilen (PE) gibi plastik malzemeler

kullanılmaktadır. Bu materyallerin kolay bulunabilme, düşük maliyet, şeffaflık, termal yapışkanlık ve oksijen, karbondioksit, anhidrit ve aromatik bileşiklere karşı iyi bir bariyer olmaları gibi birçok avantajları vardır [17]. Farklı yapılar, kalınlıklar ve ambalaj materyallerinin çeşitli özellikleri nedeniyle, ambalaj materyallerinin UV ışık geçirgenlikleri farklıdır (Tablo 3) [1]. Bu ambalaj materyallerindeki geçirgenlik farklılıkları paketlenmiş gıdaya UV ışık ile muamele edildiğinde, bu geçirgenlik daha da önem kazanmaktadır.

Tablo 3. Bazı plastik ambalaj malzemelerinin UV-C ışık geçirgenliği [1]

Plastik materyal	Kalınlık (µm)	UV-C ışık geçirgenliği (%)
OPP/PE	60	0
PET/PE	52	0
Polyester	26	0
OPP/PP	35	0
PP/PP	50	64
BG	25	67
PA/PE	40	80
OPP	40	83

OPP: Gerdirilmiş polipropilen, PE: Polietilen, PET: Polietilentereftalat, CPP: Cast polipropilen, PP: Polipropilen, BG: Bone guard torbalar, PA: Poliamid

## UV IŞIK KAYNAKLARI VE YÜZEY UYGULAMA EKİPMANLARI

UV ışığın doğal kaynağı güneş olmakla birlikte yapay olarak da oluşturulması mümkündür. Ticari anlamda, ultraviyole ışınlar UV lambalar tarafından üretilmektedir. Gıda endüstrisinde UV ışık kaynağı olarak genellikle düşük basınçlı (LP), düşük basınçlı-yüksek çıkışlı (LPHO) ve orta basınçlı (MP) lambalar kullanılmaktadır. Lambalar, çeşitli özelliklerine göre gruplandırılmaktadırlar ve çalışmalarında içerisinde bulunan civanın oluşturduğu buhar basıncına göre isimlendirilmektedirler [2]. Ayrıca, vurgulu ışık (flash/pulsed lamps), eksimer, mikrodalga tahrikli (microwave driven lamps) ve LED (light emitting diodes) gibi lambalar da UV ışık uygulamalarında kullanılan

diğer lamba çeşitlerindedir [11]. Düşük basınçlı civalı lambalar germisidal dalga boyu olan 254 nm dalga boyunda UV-C ışık yaymakta olup, gıdaların UV ışık uygulamalarında kullanılmaktadır [6, 18]. Orta basınçlı civalı lambalar ise belli spektral alanda farklı dalga boylarında ışık yaydıkları için polikromatik özellik gösterirler. Bu lambalar 200-300 nm dalga boyları aralığında etkinlik göstermektedirler [5]. Vurgulu ışık (Pulsed UV) teknolojisinde kullanılan lambalar, xenon lambalar olarak adlandırılırlar. Bu lambalar 180-1100 nm aralığında geniş bir spektruma sahiptirler. Mikroorganizmayı yüksek enerji atımlarına maruz bırakıp ısınıp parçalanmasına sebep olarak inaktivasyonu sağlarlar [7]. Eksimer lambalarda ise; He, Ne, Ar, Kr, Xe gibi çeşitli gazlar kullanılarak istenilen dalga boyunda ışık yayılımı sağlamak mümkündür.

Eksimer lambalarla çok düşük yüzey sıcaklıklarında bile çalışabilmektedir, bu sayede sıvı gıdalarda tortu oluşumu problemi önlenmektedir [18]. Gıda işletmelerinde ortama civa yayımı nedeniyle civa içermeyen lambaların geliştirilmesi ve validasyonu çalışmaları hız kazanmıştır.

UV ışık uygulamaları, katılar veya sıvılar için farklı ekipman kullanımıyla gerçekleştirilmektedir. Sıvı gıdalar için, akışkan tiplerine göre tasarlanan reaktörler kullanılırken; katı gıdalar için UV kabin tasarımları mevcuttur. İstenilen etkinliği elde etmek için uygun sayıda, uygun konumda lamba kullanımı ve uygun ebatta UV cihazı tasarlanarak absorbe edilecek enerjiyi maksimum seviyeye yükseltmek önemlidir.

Reaktörler; sıvı gıdalara UV ışık uygulamaları için kullanılan cihazlardır. Reaktör içerisinde UV lambalar bulunur ve her bir UV lamba, sıvı ile doğrudan temasın önlenmesi için koruyucu bir kuvars tüp içerisine konumlandırılır. UV reaktörden akan sıvı, lambalardan çıkan UV ışınına maruz bırakılır. Böylece sıvıdaki mikroorganizmalar etkisiz hale getirilir. UV reaktörlerin seçiminde, hedef sıvının fiziksel, kimyasal ve mikrobiyolojik özellikleri ile reaktörden geçen sıvı miktarı en önemli parametrelerdir. Bu bağlamda, uygulanacak UV dozu, sıvının ve hedef mikroorganizmanın özelliklerine göre belirlenmelidir. Buna ek olarak, dezenfeksiyon verimliliğini artırmak için, sıvıdaki tortu ve bulanıklık gibi parametreler hassas filtreler ile alınmalıdır. UV reaktördeki sıvı akış modeli, ışınlanmış alanın bazı bölgelerinde mikroorganizmaların konum ve kalış sürelerindeki farklılıklardan dolayı toplam UV dozunda da önemli etkiye sahiptir [11]. Mikroorganizmaların inaktivasyonu, sürekli akış UV reaktörlerinde türbülanslı akış kullanarak artmaktadır [19, 20].

Yüzey uygulamalarında, daha çok uygulanacak yüzey sayısına bağlı olarak UV kabin dizaynı yapılmakta ve farklı uygulama yöntemleri kullanılmaktadır [1]. Katı gıdanın sadece tek bir yüzeyini UV ışığa maruz bırakmak için, gıda bir desteğe yerleştirilmektedir. Üst ve alt yüzeye aynı anda uygulama yapılması için, gıda bir film üzerine konulmakta veya uygulama sırasında ters çevrilmektedir. Gıdanın yan yüzeylerini ışığa maruz bırakmak için ise, kabinin yan yüzeylerine de lambalar yerleştirilmelidir. Gıdanın tüm yüzeyleri aynı anda UV ışığa maruz bırakılacaksa, üst, yan ve alt yüzeye lambaları yerleştirmek ve gıdayı bir film üzerine koymak gerekir. Örneğin; set tip yoğurt için sadece üst yüzeyi UV ışığa maruz bırakmak yeterlidir, ancak birçok peynir çeşidi ve meyveler için tüm yüzeyler UV ışığa maruz bırakılmalıdır. Bu durumda uygulama şekli ve parametreleri hedef gıdaya göre değişiklik göstermektedir.

Katı gıdalara UV ışık uygulamaları sabit bir kabin içinde uygulanabildiği gibi, bu işlemi sürekli bir sistemle de gerçekleştirmek mümkündür. Bu tip hareketli uygulamalarda UV işlemine tabi tutulacak materyal konveyör yardımıyla ilerletilir ve tünel içerisindeki UV lambalardan yayılan enerjiye maruz kalarak işlem gerçekleştirilir. Tünel genişliği, yüksekliği, konveyör hızı, kullanılacak lamba sayısı ve yerleşimi hedef materyale

göre şekillenmektedir. Sanayide bu tarz uygulamaların kullanımı oldukça pratiktir. Özellikle, paketlemenin hemen öncesine böyle bir sistemin yerleştirilmesi ve uygulama sonrasında bulaşma olmaksızın paketlemenin gerçekleştirilmesi birçok yüzey bozulmasına çözüm getirebilecektir.

## GIDA SANAYİNDE UV-C IŞIK UYGULAMA ALANLARI

UV-C ışığın gıda endüstrisinde uygulama alanları oldukça çeşitlidir. Bu uygulamalar; üretim alanlarında havanın mikrobiyal inaktivasyonunun sağlanmasından, işletmede kullanılan suyun dezenfeksiyonu, sıvı gıdaların mikrobiyal inaktivasyonu, paketleme malzemelerinin ve gıdaların yüzey uygulamalarına kadar geniş yelpazede yer almaktadır. Gıda sanayinde uygulama alanları; hava, sıvı ve yüzey uygulamaları olarak ele alınmış ve hava ve sıvı uygulamaları konusunda çok kısa bilgi verildikten sonra yüzey uygulamaları detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

UV-C ışık uygulamaları ile üretim alanında havada bulunan mikroorganizmaların inhibisyonu sağlanmaktadır. Bu işlemin etkinliği odanın hacmine ve UV lambanın gücüne bağlı olarak değişmektedir. Uygulamaya dair en eski örnek, 1930'lu yıllardan beri Amerika Birleşik Devletleri'ndeki hastanelerde hava kaynaklı hastalıkların önlenmesi için 254 nm dalga boyunda ve 0.25 W/m<sup>2</sup> dozunda UV ışık üreten lambaların kullanılmasıdır [3]. İşyerlerinde UV ışığın kullanılması, canlı kalan tüm mikroorganizmaların öldürülmesiyle havanın sterilizasyonunun sağlanması için önerilen bir metottur [21]. Örneğin; soğuk hava depoları içerisindeki havanın mikrobiyolojik kalitesi bir hava sterilizasyon ünitesi kullanılarak iyileştirilebilmektedir. Ayrıca, aynı teknik yumurta kuluçka kabinlerinde de verimli olmaktadır [22]. Bu amaçla, UV ışık kaynağı olarak genellikle düşük basınç civa buharlı lambalar kullanılmaktadır.

Sıvılar üzerindeki UV-C ışık uygulamaları genel olarak; işletme alanı ve gıdaların yıkanmasında kullanılan suyun dezenfeksiyonunun sağlanması ve sıvı gıdalar üzerinde UV-C ışık uygulamalarıdır. UV-C işlemi, sudaki çok çeşitli mikroorganizmaları yok etmek için en basit ve çevre dostu yöntemlerden biridir. Kanalizasyon atığı, içme suları, yüzme havuzu sularının dezenfeksiyonu gibi kullanım alanları da mevcuttur ve suyun organik içeriğinin düşük seviyelere indirilmesinde UV ışık ve ozon kombinasyonu güçlü bir oksitleyici etkiye sahiptir [23]. Suyun dezenfeksiyonunda; suyun kimyasal ve mikrobiyolojik özelliği, ışık geçirgenliği, UV ışık temas süresi, kullanılan suyun debisi gibi parametreler önemlidir. Ultraviyole ışık ile dezenfeksiyonun tam olarak gerçekleşebilmesi için su içerisinde bulunan tortu, bulanıklık gibi parametrelerin hassas filtreler ile sudan uzaklaştırılmış olması gerekmektedir.

UV-C ışığın sıvılar ya da sıvı gıdalar üzerindeki penetrasyon etkisi; sıvının ışığı absorbe edebilmesine, sıvıdaki çözünür katı madde miktarına ve sıvıdaki süspanse madde miktarına bağlıdır. Çözünbilir katı madde miktarı arttıkça sıvı içerisindeki UV-C ışığın

penetrasyon şiddeti azalmaktadır [24]. Su ile karşılaştırıldığında, sıvı gıdaların çeşitli optik ve fiziksel özellikleri ve farklı kimyasal kompozisyonları UV-C ışığın geçirgenliğini, doz aktarımını sonuç olarak mikrobiyal inaktivasyonu etkilemektedir. Özellikle taze meyve suları ve gazlı içecekler gibi sıvı gıdaların yapısında bulunan renk bileşenleri ve çözünmüş maddelerin varlığı UV-C ışığın madde içine geçişini engellemekte ve uygulamanın etkinliğini azaltmaktadır. Bu durum da mikrobiyal inaktivasyonun azalmasına sebep olabilmektedir. Buna rağmen, UV-C ışık; renk, lezzet, koku veya pH'da önemli bir değişikliğe neden olmadığından dolayı, yapılan çalışmalar UV ışınlama teknolojisinin çeşitli sıvı gıdaların (meyve suları, içecekler, süt, sıvı yumurta, şeker şurupları gibi) pastörizasyonunda geçerli bir yöntem olduğunu göstermektedir [11].

UV-C ışık sıvıların derinliklerine kadar penetre olamadığı için, daha çok gıdaların yüzeylerinde etkilidir [15]. Ayrıca, sistemin sürekli hale getirilebilmesi ve üretim hatlarına monte edilebilmesi de UV-C'nin yüzey uygulamalarında kullanımı için oldukça avantajlı bir durumdur. Bu nedenle, gıda sanayinde UV-C ışık yüzey uygulamaları gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır.

### UV-C Işığın Yüzey Uygulamaları

Gıdaların yüzeyine mikroorganizmalar, üretim sırasında ortam havasından, üretim alanından, kullanılan ekipman ve ambalajdan ve personelden kolaylıkla bulaşabilmektedir. Öncelikle üretim sırasında gıdaların yüzeyine bulaşmanın önlenmesi üzerinde durulması ve yine de bulaşma söz konusu ise gıdanın kalite özelliklerini olumsuz etkilemeyen ve sağlık açısından da risk teşkil etmeyen yöntemler kullanılması gereklidir. Genel olarak, gıda sanayinde gıdalla temas eden yüzeyler, gıda ambalajları ve katı gıda yüzeyleri UV-C ışık işleminin başlıca yüzey uygulama alanlarıdır. UV ışık, hava ve sıvı uygulamalarında birçok yapı tarafından güçlü bir şekilde emildiği halde katı nesnelere yani yüzey uygulamalarında uygulanan tabakanın ötesine ya geçememekte ya da çok az nüfuz edebilmektedir. Dolayısıyla, yüzey sterilizasyonu için daha sıkça kullanılmaktadır [14].

### Gıdalla Temas Eden Yüzeylerin Dezenfeksiyonu

Taşıyıcı bantlarda, ekipmanlarda, saklama ve hazırlık alanlarında mikrobiyal inaktivasyonu sağlamak için, UV-C ışık ile dezenfeksiyon sistemleri kullanılmaktadır. Bu uygulamanın başarısı, materyal yüzeyinin temiz olmasına yani UV ışığı absorbe edip bakterileri koruyacak bir kirliliğin olmamasına bağlıdır. Yüzey dezenfeksiyonunda UV ışık etkisinin belirlenmesine dair bir çalışmada; paslanmaz çelik yüzey üzerine *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* Typhimurium, ve *Escherichia coli* O157:H7 hücreleri aşılınıp 250  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  ve 500  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  UV ışık uygulanmıştır. Paslanmaz çelik yüzey üzerinde, *L. monocytogenes* ve *Salmonella* Typhimurium UV ışığa daha dirençli iken *E. coli* O157:H7, 3 dakika boyunca 500  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  doz UV ışığa maruz bırakıldığında tamamen inaktive (6.19 log

azalma) edilebilmiştir [25]. Sommers ve ark. [31] tarafından yapılan paslanmaz çelik yüzeylere UV-C ışık uygulamasında ise yüzeylere,  $10^6$  kob/mL *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus* ve *Listeria monocytogenes* mikroorganizmaları inoküle edilmiş ve 0.40  $\text{J}/\text{cm}^2$  doz UV-C ışık uygulamasıyla yüzeylerde mikrobiyal yükün sıfırlandığı sonuçlara ulaşılmıştır.

### Gıda Ambalajlarının Dezenfeksiyonu

Gıda endüstrisinde ambalaj dezenfeksiyonunda UV-C ışığın kullanımı yaygınlaşmaktadır. Gıda ambalajlarına yapılan UV-C ışık uygulamalarında gıdalar, ambalajlı olarak UV-C ışığa maruz kalabilmelerinin yanı sıra yalnızca ambalaj materyali de dolundan ya da kapak kapatmadan önce UV-C işleminden geçirilebilmektedir. Örneğin; aseptik olarak doldurulan UHT süt ürünlerinin üretimi sırasında HDPE (Yüksek Yoğunluklu Polietilen) şişelere, kartonlara veya alüminyum folyo kapaklara uygulanabilmektedir [3]. Bir çalışmada, aseptik şekilde yoğurt dolumu işlemi sırasında, tüm ambalaj materyallerine, plastik kaplara ve alüminyum folyo kapaklara 100-200  $\text{mW}/\text{cm}^2$  dozunda UV ışık uygulaması yapılmış ve bu kaplarla paketlenmiş meyveli yoğurdun raf ömrünün 2 hafta kadar uzatılabildiği belirtilmiştir [26].

Paketlenmiş gıda UV ışık ile muamele edildiğinde, ambalajın UV-C ışık geçirgenliği gıda yüzeyinde mikrobiyal inaktivasyon etkinliği için en kritik parametredir. Geçirgenlik düzeyinin artmasına bağlı olarak gıda yüzeyinde inhibisyon etkinliği artacaktır. Ha ve ark. [17] tarafından yapılan çalışmada, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* Typhimurium ve *Listeria monocytogenes* inoküle edilmiş ve farklı filmlerle (PET, PVC, PP ve PE) paketlenmiş dilim peynirlerde UV-C ışığın inaktivasyon üzerine etkileri araştırılmıştır. Çalışmada değerlendirilen her üç mikroorganizma için de geçerli olacak şekilde, PET ve PVC ile kıyaslandığında, PP ve PE filmlerin kullanımının patojen mikroorganizma sayısını önemli ölçüde düşürdüğü tespit edilmiştir. Çalışmada süt endüstrisinde patojen kontrolü amacıyla UV-C uygulamasıyla birlikte PP veya PE film ile paketlemenin kullanılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

### Gıdalarda UV-C Işık Yüzey Uygulamaları

Gıda yüzeyi mikroorganizma bulaşması için ilk lokasyondur. Enzimatik aktiviteler, oksidasyon ve dehidrasyon gibi değişiklikler genellikle gıda yüzeyinden başlamakta ve gıdaların kalitesinde istenmeyen durumlara neden olmaktadır. Gıda yüzeyindeki mikroorganizmaları yok etmek ya da kontrol altına almak amacıyla birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerden biri olan UV-C ışığın gıda yüzeylerinde kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Son yıllarda taze (sebze, meyve, et vb.), dondurulmuş (sebze, meyve, et, deniz ürünleri, fırıncılık ürünleri vb.), pişirilmiş ve soğukta saklanan (süt ürünleri gibi) gıdaların yüzey uygulamalarında kullanılabilmesi için UV üniteleri geliştirilmektedir. Gıdalarda UV ışık yüzey uygulama çalışmaları incelendiğinde, yaygın olarak meyve ve sebze yüzeyleri üzerinde yapılan çalışmalarla karşılaşılmaktadır. Daha az sayıda olmakla birlikte, farklı ürün gruplarında

çalışmalar yapılmaktadır. Çalışmalar genellikle mikrobiyal flora üzerinde yoğunlaşmaktadır. Ancak, UV yüzey uygulamalarının gıda kalitesi (oksidasyon, vitamin kayıpları, enzim aktiviteleri, raf ömrü, duyu özellikler) üzerine etkilerini ortaya koyan çalışmalar da mevcuttur.

### Gıdalarda UV-C Işık Yüzey Uygulamasının Mikrobiyal İnaktivasyon Üzerine Etkileri

Ultraviyole ışığın mikrobiyal inaktivasyon üzerindeki etkinliği; kullanılan ultraviyole lambanın dalga boyu ve şiddeti, hedef mikroorganizmanın özellikleri ve içinde bulunduğu gelişim evresi ve gıda materyalinin özelliklerine bağlı olarak değişim göstermektedir [2]. Bu nedenle, her gıda için hedef mikroorganizmalara yönelik olarak çalışmaların yapılması oldukça önemlidir. Tablo 4'te UV-C ışık ile mikrobiyal inaktivasyon uygulamalarında farklı gıda türleri ve farklı mikroorganizmalar ile yapılmış bazı çalışmalarda elde edilen mikrobiyal inaktivasyon sonuçları verilmiştir.

UV ışık yüzey uygulamaları çoğunlukla yüzey bozulmanın yaygın olduğu et ürünleri ve meyve-sebzeler üzerine yapılmıştır. Daha az sayıda olmak üzere süt ürünlerinde (peynir ve yoğurt) çalışmalar mevcuttur. Et ürünlerinde yapılan yüzey UV çalışmaları daha çok patojenlerin inaktivasyonu üzerine yoğunlaşmıştır [25, 27-29]. Meyve-sebze yüzey UV uygulamalarında ise patojenlerin yanısıra küf inaktivasyonu üzerine de çalışılmıştır [30-32]. Örneğin; domates üzerine yapılan UV-C ışık yüzey uygulamasında çürümeye sebep olan mikroorganizmaların UV-C ışık müdahalesi sonucu çürüme oluşumunu ne oranda etkileyebilecekleri araştırılmıştır. Çalışmada domates yüzeylerine 1.3 – 40 kJ/m<sup>2</sup> aralığındaki dozlarda UV-C ışık uygulanmış ve siyah küf (*Alternaria alternata*), gri küf (*Botrytis cinerea*) ve *Rhizopus stolonifer* mikroorganizmalarının sebep olacağı çürüme oranlarının sırasıyla %14, 44 ve 58 oranlarına düşürülmeleri sağlanmıştır [33].

Süt ürünlerinde ise sınırlı sayıda yapılan çalışmada küf inaktivasyonu üzerine çalışılmıştır. Özellikle peynirde üretim sonrası havadan küf bulaşması önemli bir sorundur. UV ışık uygulamanın kalite üzerinde olası olumsuz etkileri göz ardı edilmeksizin, belirlenen uygun dozlarda peynirde küf inaktivasyonunun gerçekleştirilebileceği ve ambalajlama makinesinin önüne kurulan bir UV ışık ünitesinin bu sorunun çözümüne önemli bir katkı sağlayacağı uygulanmıştır [34]. Ayrıca peynirde plastik ambalaj uygulamasının yaygın olması dolayısıyla UV ışık geçirgenliği olan ambalaj materyallerinin kullanımı ile ambalajlama sonrasında UV ışık uygulaması da küf sorununun çözümü anlamında ümit vaat etmektedir. Nitekim, Can ve ark. [35] tarafından ambalajlanmış ve ambalajlanmamış sert peynirlere inoküle edilen *P. roqueforti* ve *L. monocytogenes* mikroorganizmalarının inaktivasyonu için pulsed UV ışığının etkinliği araştırılmıştır. Ambalajlanmış ve ambalajlanmamış peynirler UV ışık kaynağına 5, 8 ve 13 cm mesafelerde 60 saniyeye kadar işleme tabi tutulmuştur. *P. roqueforti* için, 5 cm'de 40 saniyeden sonra maksimum azalma ambalajlanmamış peynirde 1.32 log ve ambalajlanmış

peynirde 1.24 log olarak belirlenmiştir. Aynı koşullar altında, *L. monocytogenes* sayısında azalma paketlenmiş ve paketlenmemiş peynirlerde yaklaşık 2.9 ve 2.8 log olmuştur. Genel olarak, bu sonuçlar darbeli UV ışığın sert peynirlerin yüzeyinde *P. roqueforti* ve *L. monocytogenes*'i inaktive edebileceğini göstermiştir. Ayrıca, laboratuvarımızda yapmakta olduğumuz çalışmada, doğal olarak kontamine edilmiş kaymaklı ve kaymaksız yoğurtta kesikli UV sterilizatörü kullanılarak UV ışığın küf inaktivasyonu ele alınmıştır. Bu amaçla, kaymaklı ve kaymaksız yoğurt yüzeylerine 0.321-19.26 kJ/m<sup>2</sup> dozlarında UV ışık uygulanmış ve 1-3 log arasında inaktivasyon sağlanmıştır.

### UV IŞIK YÜZEY UYGULAMASININ GIDALARIN KALİTE ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLERİ

İçerdiği bileşenlerin çeşitliliği açısından gıda yapısının karmaşıklığına bağlı olarak, UV ışık gıdanın özelliklerini etkileyebilmektedir. Her ne kadar UV ışınlamanın en büyük avantajının gıda kalitesinde yarattığı olumsuz etkilerin diğer yöntemlere göre daha az olduğu dillendirilse de, artan UV ışık dozu ile birlikte bu değişimler de artmaktadır. UV ışık uygulamasında amaç mikroorganizmaların inaktivasyonudur. Ancak, uygulamada ürün kalitesini korumak da önemlidir. Bu nedenle çalışmalar hem mikrobiyal inaktivasyon hem de kalite değişimlerini dikkate alacak şekilde planlanmalıdır. Aynı zamanda, aynı ürün grubunda yer alan farklı gıdalar için farklı sonuçlar elde edilebilmektedir. Bu çerçevede yapılan çalışmalar ışığında öneriler getirilmelidir.

UV ışık uygulaması, gıdalarda daha çok yağ ve protein oksidasyonu ile yüksek moleküllü karbonhidratların küçük birimler haline gelmesi ile gıdalarda değişimlere neden olabilmektedir. UV ışınlama yağların oksidasyon sürecini başlatır ve bu da istenmeyen lezzet oluşumuna neden olur. Doymamış yağlar doymuş yağlardan daha kolay oksitlenirler, ancak UV ışık işlemi vakum altında veya azot atmosferinde gerçekleştirilirse oksidasyon yavaşlatılabilmektedir [45]. Yağlı sıvı gıdalarda UV doz artışı ile birlikte oksidasyon değerlerinin de arttığı bildirilmiştir [46, 47]. Ancak, yüzey uygulamalarında yağ oksidasyonuna yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır. Park ve Ha [27] tarafından taze tavuk göğsü örneklerinin yüzeylerine çeşitli dozlarda (60–3600 mWs/cm<sup>2</sup>) 260 nm dalga boyunda UV-C ışık uygulanmıştır. TBARs değerlerinin uygulanan UV-C dozu arttıkça kademeli olarak arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, en düşük dozda (60 mWs/cm<sup>2</sup>) UV-C ile radyasyona maruz bırakılan ve UV-C ışık uygulanmayan tavuk göğsü örneklerinde istatistiksel olarak anlamlı fark ( $P>0.05$ ) olmadığı belirlenmiştir. Spesifik olarak, 2400 ve 3600 mWs/cm<sup>2</sup> dozlarında UV-C ışık uygulanmış tavuk göğsü örneklerinin TBARs değerlerinin kontrol grubuna kıyasla 1.63 ve 2.44 kat arttığı görülmüştür. Benzer şekilde, kırmızı et yüzeyine 0.21, 0.63, 1.05, 1.68 J/cm<sup>2</sup> dozlarında 1, 3, 5 ve 8 dakika sürelerinde UV-C ışık uygulanmış ve 1 ve 3 dakikalık uygulamalarda kontrol örneklerine göre yağ oksidasyonu açısından önemli bir değişiklik bulunmazken, uygulama dozunun artırılmasıyla oksidasyon ürünlerinde kayda değer bir

artış elde edilmiştir. Bu nedenle 5 dakikalık ve özellikle 8 dakikalık uygulamaların oksidasyon açısından olumsuz sonuçlar doğuracağı söylenmiştir [48]. Kaşar peynirinde yapılan bir çalışmada ise 0.321, 0.963, 1.926 ve 9.630

kJ/m<sup>2</sup> dozlarında UV-C ışık uygulamasının TBARs değerlerini artırdığı ve dozun artmasıyla birlikte oksidasyon düzeyinin arttığı görülmüştür.

Tablo 4. UV-C ışığın mikrobiyal inaktivasyona etkisine dair bazı çalışmalar

Et Ürünleri	UV uygulaması (doz)	Uygulamanın Hedefi	Sonuç (log azalma)	Kaynak
Tavuk göğsü	60–3600 mWs/cm <sup>2</sup>	Hepatit-A (HAV) MNV-1	1.17 1.23	[27]
Sosis	0.5–4 J/cm <sup>2</sup>	<i>Salmonella</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	1.56-2.19 1.27-1.97 1.5-2.14	[29]
Domuz pirzolası	0.5–4 J/cm <sup>2</sup>	<i>Salmonella</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	0.43-0.56 0.5-0.61 0.58-0.65	[29]
Çiğ tavuk	9.630 kJ/m <sup>2</sup>	<i>Listeria monocytogenes</i>	2	[28]
Tavuk eti	500 mW/cm <sup>2</sup>	<i>Listeria monocytogenes</i> <i>Salmonella</i> Typhimurium <i>E. coli</i> O157:H7	(derili / derisiz) 0.48 / 0.46 1.02 / 0.36 1.28 / 0.93	[25]
Tavuk göğsü filetosu	1.5 kJ/m <sup>2</sup>	Toplam aerobik bakteri sayımı	2	[36]
<b>Meyve- Sebzeler</b>				
Portakal	7.92 kJ/m <sup>2</sup>	<i>Penicillium digitatum</i> <i>Penicillium italicum</i>	5.3 3.9	[32]
Çilek	12-72 kJ/m <sup>2</sup>	<i>Escherichia coli</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Salmonella</i> Enteritidis <i>Listeria innocua</i>	1 1 1.4 1.1-1.3	[37]
Kayısı	0–13.26 kJ/m <sup>2</sup>	<i>Escherichia coli</i> O157:H7 <i>Salmonella</i>	2.2 2.5	[38]
Mantar	0.45–3.15 kJ/m <sup>2</sup>	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	0.67– 1.13	[39]
Domates	0.5-4 J/cm <sup>2</sup>	<i>Salmonella</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	3.08-3.82 3.13-3.63 2.59-3.60	[29]
Jalapeno biberi	0.5-4 J/cm <sup>2</sup>	<i>Salmonella</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	3.02-3.79 3.09-3.73 3.11-3.72	[29]
Ispanak	2.4-24 kJ/m <sup>2</sup>	<i>Listeria monocytogenes</i> <i>Salmonella</i> <i>Pseudomonas marginalis</i>	1.5-2.2 0.7-1.6 1.1-1.9	[40]
Marul	2.37 kJ/m <sup>2</sup>	Laktik asit bakterileri	1.7	[41]
Marul	24 mW/cm <sup>2</sup>	<i>Salmonella</i> <i>E. coli</i> O157:H7	2.65 2.79	[42]
Domates	24 mW/cm <sup>2</sup>	<i>Salmonella</i>	2.19	[42]
<b>Süt ürünleri</b>				
Kaşar peyniri	0.321-9.630 kJ/m <sup>2</sup>	Küf-maya sayımı	2-3	[34]
Fiordilatte peyniri	0.1-6.0 kJ/m <sup>2</sup>	<i>Pseudomonas</i> spp. Enterobacteriaceae	1-2 1-2	[43]
Çedar dilimleri	3.04 mW/cm <sup>2</sup>	<i>Escherichia coli</i> O157:H7 <i>Salmonella</i> Typhimurium <i>Listeria monocytogenes</i>	3.45 3.57 3.16	[17]
Çedar dilimleri	Darbeleri UV ışık sistemi	<i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922 <i>Listeria innocua</i>	3.74 5.41 3.37	[44]
Sert peynir	1.02 - 12.29 J/cm <sup>2</sup> Darbeleri UV ışık sistemi Yükseklikler: 5, 8 ve 13 cm Uygulama süreleri: 5-60 s	<i>Penicillium roqueforti</i> <i>Listeria monocytogenes</i>	1.32 (5 cm, 40s) 3.08 (5 cm, 40s)	[35]



Bu durum yapılan duyu analizlerle de desteklenerek duyu kalitede olumsuz sonuçlar oluştuğu belirtilmiştir [34]. Laboratuvarımızda sürdürmekte olduğumuz benzer çalışmada yoğurt örneklerine kesikli UV sistemi ile 0.321-19.26 kJ/m<sup>2</sup> doz aralığında UV ışık uygulanmıştır. Kaymaklı yoğurtlarda kaymaksız yoğurtlara göre yağ oksidasyonunun daha yüksek olduğu ve artan dozla birlikte oksidasyon değerlerinin de arttığı tespit edilmiştir. Duyusal olarak özellikle kaymaklı yoğurtlarda doz artışıyla birlikte panelistler tarafından tütsülenmiş tavuk tüyü kokusu olarak ifade bir kusur dile getirilmiştir.

Yağlı ürünlerde yağ oksidasyonu önemli olmakla birlikte, protein oksidasyonu da önemlidir. Kükürt içeren amino asitlere sahip proteinlere UV ışık uygulamasıyla, amino asitlerde hafif bir bozulma meydana gelmekte ve hoş olmayan tat oluşumu gerçekleşmektedir [49]. Oksidasyonun ilk aşaması radikallerin oluşumudur. Oksidasyonlar sonrasında gelişen spesifik aroma bileşenleri ne tür bir oksidasyonun meydana geldiğinin tespitini sağlamaktadır. Dimetil disülfid oluşumu, protein oksidasyonunun ve daha spesifik olarak metiyonin bozunumunun bir göstergesidir [50]. Hekzanal varlığı ise, trigliseridler veya fosfolipitlerdeki linoleik asidin oksidasyonu için bir belirteç olarak kabul edilmektedir [51, 52].

Westermann ve ark. [53] krem peynir (%26 yağ, %7 protein) ve az yağlı krem peynirlerin (%17 yağ, %11 protein) üzerine 253.7 nm dalga boyunda UV-C ışık uygulaması sonrası ürünleri analiz etmişlerdir. Protein oksidasyonu ürünü olan dimetil disülfid ve yağ oksidasyonu ürünleri olan hekzanal ve 2-butanon konsantrasyonlarının tespitiyle UV-C ışığın etkisini belirlemişlerdir. Az yağlı krem peynirin yüksek seviyeli radikal konsantrasyonuna sahip olması, proteinlerin peynirdeki oksidatif değişikliklerde etkili olduğunu göstermiştir. Bu duruma göre, protein oksidasyonunun önemi, yağ içeriği düşüğünde ortaya çıkmaktadır [49].

Riboflavin ve klorofil parçalanma ürünleri fotosensitizer olarak görev yaparak radikallerin ve diğer reaktif ürünlerin oluşumunu teşvik edebilirler. Dolayısıyla yağ ve protein oksidasyon ürünlerinin oluşumu gerçekleşip sonuçta kötü lezete sebep olabilirler [53]. Et ürünlerinde protein oksidasyonu metiyonin, sistein, lisin, treonin ve arjinin gibi aminoasitler okside olup proteinlerin biyolojik değerini, sindirilebilirliğini ve besleyici değerini azaltmaktadır [54].

Enzimlerin aktivitesi normal ışınım dozlarından fazla etkilenmemekte, ancak enzimlerin devam eden etkinlikleri özellikle meyve ve sebzelerin raf ömrünü sınırlamaktadır. Manzocco ve Nicoli [1] tarafından enzim aktiviteleri üzerine yapılan bir çalışmada, bütün halde ve dilimlenmiş elma üzerine 4 kJ/m<sup>2</sup> dozunda UV ışık uygulanmıştır. Polifenoloksidaz ve pektat liyaz aktiviteleri incelendiğinde bütün haldeki elmalarda enzim aktivitelerinde bir değişim olmadığı, fakat dilimlenmiş elmaların enzim aktivitelerinde %60'ın üzerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Çin brokolisine 1.8, 3.6, 5.4 ve 7.2 kJ/m<sup>2</sup> dozlarında uygulanan UV-C ışık, peroksidaz (POD) ve süperoksit dismutaz (SOD) özellikle

antioksidan enzimlerin aktivitesindeki azalmayı geciktirmiştir [55].

Ayrıca UV-C ışık genellikle meyve ve sebzelerin antioksidan madde kapasitelerine ve vitamin içeriklerine de etki etmektedir. Dolayısıyla bu yüzey uygulamalarıyla kalitede oluşan değişiklikler önemli duruma gelmektedir. Ananas, muz ve guava meyvelerine 10, 20 ve 30 dakika boyunca UV-C ışık uygulanmıştır. Sonucunda muz ve guavanın toplam fenol ve flavonoid içeriği artmış, ananasta önemli bir değişiklik olmamıştır. Flavanoid içeriğinin ise 10 dakikalık uygulamadan sonra arttığı tespit edilmiştir. Meyvelerin C vitamini içeriklerinin ise azaldığı belirtilmiştir [56]. Yeşil sebzelerde ise UV ışık yüzey uygulamaları ile antioksidan maddelerin ( $\alpha$ -tokoferol,  $\beta$ -karoten) düzeyleri artırılmıştır [57].

UV ışınlama, yüksek molekül ağırlıklı karbonhidratları daha küçük birimler haline getirebilir. Bu işlem, meyve ve sebzelerin hücre duvarındaki yapıların parçalanması sonucu yumuşama oluşumundan sorumludur [45]. Liu ve ark. [33] tarafından yapılan bir çalışmada, domateslere 0-20 kJ/m<sup>2</sup> aralığındaki çeşitli dozlarda UV-C ışık uygulanmış ve sonucunda domatesin uzun süre UV-C radyasyona maruz bırakılmasının domates meyvesinin olgunlaşma ve yaşlanma süreçlerini hızlandırdığı bildirilmiştir.

Esansiyel amino asitler, esansiyel yağ asitleri ve mineraller gibi bileşenler pratik ışınlama koşullarından etkilenmemektedirler, ancak bazı vitaminler, örneğin C vitamini ve B<sub>1</sub> vitamini kısmen kayıplara uğramaktadır. Kayıpların haricinde süte UV ışık uygulaması ilk kez 1900'lü yılların ortalarında D vitamini zenginleştirme amacıyla kullanılmıştır. Raşitizm ile ilgili araştırmalarda bulunan Steenbock ve Black [58] raşitik sıçanları ultraviyole ışık uygulanmış gıdalar ile beslemişlerdir. Sıçanlarda büyüme durumu ve kalsiyum ile ilgili değerlerde artış elde etmişlerdir. Bulgular yayınladıktan kısa süre sonra, Hess ve Weinstock [59] da benzer sonuçlar elde etmiştir. Pamuk tohumu yağı, keten tohumu yağı, buğday tohumu ve marullar ultraviyole ışınlaması ile güçlü antiraşitik ajanlar olarak kullanılmışlar ve zamanla bu çalışmalar hızlanmıştır. Mantarlarda D vitamini artırılmasına yönelik Mau ve ark. [60] tarafından yapılan çalışmada, öncelikle mantarların D<sub>2</sub> vitamini provitamini olan ergostrolü yüksek miktarda içerdiği vurgulanmış ve UV ışık uygulaması ile ergostrolün D<sub>2</sub> vitaminine dönüşümü araştırılmıştır. Çalışmada, taze kültür mantarlarına 0.2 mW/cm<sup>2</sup> şiddetinde, 0.5, 1 ve 2 saat süreyle 12°C'de UV-C ışık uygulanmıştır. UV uygulanmamış mantar örneğine kıyasla 0.5, 1 ve 2 saat UV-C ışık uygulamaları sonucunda, D<sub>2</sub> vitamini içerikleri sırasıyla %104, 173 ve 232 oranlarında artmıştır.

UV ışığın kullanımı sadece mikrobiyal inaktivasyon için değil, aynı zamanda yeni ürünlerin geliştirilmesi için de düşünülmelidir. UV ışık uygulanan pastörize edilmiş inek sütü Avrupa Komisyonu tarafından piyasada yeni gıda olarak nitelendirilmiştir. Pastörize sütlerin UV ışık işleminden geçirilmesinin, 7-dehidrokolesterolün D<sub>3</sub> vitaminine dönüştürülmesiyle D<sub>3</sub> vitamini (kolekalsiferol)

konsantrasyonlarında bir artışa neden olduğu bildirilmektedir [61].

Kimyasal olarak etkileri dışında UV ışık gıdaların renklerinde de değişimlere sebep olabilmektedir. Bu durum genellikle gözle görülecek farklılıklar oluşturmaya da ölçümlerle belirlenebildiği durumlar oluşabilmektedir. Meyve sularında UV ışık uygulamasıyla renk değişikliklerinin meydana gelmesi daha fazla karşılaşılmış bir durumdur [62, 63]. Vurgulu UV ışık uygulamasının da peynir örneklerinde renk değerlerini değiştirdiği ifade edilmiştir [35]. Buna karşın, kaşar peynirine UV uygulamanın yüksek dozlarında a\* ve b\* değerlerinde hafif artış olmasına karşın, duyuşal olarak bu tespit edilememiştir [34]. Wallner-Pendleton ve ark. [64] *Salmonella* Typhimurium sayısını azaltmak için (%61 azalma) tavuk karkaslarına UV ışık (825.6-864.0 W/m<sup>2</sup> dozları) uygulamışlar ve karkas renginin olumsuz bir şekilde etkilenmediğine dikkat çekmişlerdir. Aynı şekilde, Lacivita ve ark. [43] tarafından Fiordilatte peynirlerine UV-C ışık uygulanması sonucunda örneklerin renk, tekstür ve yüzey görünüş özelliklerinde UV-C ışığın değişim yaratmadığı belirlenmiştir.

UV ışığın bütün katı gıdaların yüzey uygulamalarında kullanılması mümkündür. Herhangi bir gıda için başarılı sonuç alınıp alınamayacağı tamamen gıdanın özelliklerine, UV sistemine ve hedefe bağlıdır. Aynı gıda grubu içinde farklı renklere ve farklı yüzey özelliklerine sahip benzer gıdalarda bile farklı sonuçlar almak olasıdır. Dolayısıyla, sektörde UV uygulama öncesinde her bir gıda için çalışmaların yapılarak gerekliliklerin ortaya koyulması zorunludur.

## YASAL DÜZENLEMELER

Amerikan Gıda ve İlaç İdaresi, Sağlık ve İnsan Hizmetleri Birimi; UV radyasyonun gıdalarda yüzey mikroorganizmalarının kontrolü, üretimde kullanılan suyun sterilizasyonu ve meyve sularında insan kaynaklı patojenlerin ve diğer mikroorganizmaların azaltılması amacıyla Kod 21CFR179.39'de tanımlanan spesifik şartlar altında onaylamıştır [65]. Ayrıca, bu koşulların 253.7 nm'de %90 yayılım veren düşük basınçlı cıvalı lambalar kullanımında geçerli olduğunu bildirilmiştir.

Avrupa Birliği'nde ise UV ışık bir irradyasyon/ışınlama olarak kabul edilmiştir. İrradyasyon uygulaması sınırlı olmakla birlikte birçok Avrupa ülkesinde izin verilmiştir [2]. Avrupa Birliği Komisyonu'na göre, irradyasyon eğer teknolojik olarak gerekli ise, sağlık riski teşkil etmiyor ve tüketiciye yarar sağlıyorsa, hijyen ve sağlık ile iyi üretim ya da iyi tarım uygulamalarının yerine geçmemesi koşuluyla kabul edilir [66]. Ancak, ışına maruz bırakılan gıda veya gıda bileşenleri mutlaka etiketinde belirtilmelidir. Örneğin; pastörize sütün UV işleme tabi tutulması ile D vitamini artırılan süt, yeni bir ürün (novel) olarak kabul edilmekte ve "UV uygulanmış süt" ve "UV işlemi sonucunda oluşan D vitamini içerir" şeklinde etiketlenmektedir [61]. Benzer olarak, UV ışık uygulanmış ekmeğin de yeni bir ürün olarak Avrupa Komisyonu tarafından markette satışı kabul edilmiştir. Ürün etiketinde "UV işlemi sonucu oluşan D vitamini içerir" ibaresinin bulunması zorunluluğu getirilmiştir [67].

Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (EFSA), UV işleminin Avrupa Komisyonu tarafından öngörülen koşullarda uygulanması durumunda, her iki ürünün de güvenli olduğunu bildirmiştir [63, 69]

Türkiye'deki yasal düzenlemeler incelendiğinde ise, Gıda İşinlama Yönetmeliği'nin [70] 1999 yılında yayınlandığı, 2002 ve 2003 yıllarında değişikliğe uğradığı görülmektedir. Söz konusu yönetmelikte UV ışık uygulamasına dair bir bilgi yer almamaktadır. Avrupa Birliği Komisyonu'nda olduğu gibi Gıda İşinlama Yönetmeliği'nde de işinlamanın teknolojik gereklilik içermesi, sağlık riski teşkil etmemesi, tüketici menfaatlerine uygun olması, iyi üretim veya tarım uygulamalarının ya da iyi hijyen uygulamalarının yerini almaması gerekliliği vurgulanmıştır.

## SONUÇ

UV ışık uygulaması, gıda sanayisinde mikrobiyal yükün azaltılması amacıyla kullanılan etkili bir yöntem olmakla birlikte, düşük yatırım maliyeti, kimyasal alternatifi olması nedeniyle pozitif tüketici imajı ile kolay kullanım avantajlarıyla gün geçtikçe kullanımı yaygınlaşmaktadır. Gıda sanayisinde gıda ve gıdalla temas eden taşıyıcı bantlar, ekipman, saklama ve hazırlık alanları ile gıda ambalajlarının dezenfeksiyonunda UV ışık uygulaması etkili olmaktadır. Ancak, UV ışığın düşük penetrasyon kapasitesi nedeniyle gıdalarda kullanımı sınırlanmaktadır ve özellikle katı gıdalarda ışınların derine penetre olamaması nedeniyle yüzey uygulaması olarak kullanımı daha başarılı olmaktadır. Bu durumda gıdalarda mikroorganizmaların ulaşabileceği başlıca lokasyon olan gıda yüzeyinin dekontaminasyonunda UV ışık teknolojisi kullanılabilir. UV ışık uygulamasıyla çeşitli et, meyve ve sebzeler ile süt ürünlerinin yüzeylerindeki mikrobiyal yükün azaltılması sağlanmaktadır. Ancak bu teknolojiyle mikrobiyal yükün azaltılması hedef alınırken ışığın gıda kalitesi üzerine etkileri de göz önünde bulundurularak hem mikrobiyal inaktivasyonun sağlandığı hem de kalitenin en az değişime uğradığı optimum uygulama koşulları belirlenmelidir. Ayrıca, gıda ve mikroorganizma çeşitliliğine bağlı olarak UV ışık etkinliği önemli seviyelerde değişebilmektedir. Dolayısıyla, UV ışığın verimliliğini etkileyen faktörler göz ardı edilmeksizin uygulamalar gerçekleştirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- [1] Manzocco, L., Nicoli, M.C., 2015. Surface Processing: Existing and Potential Applications of Ultraviolet Light. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 55(4): 469-484.
- [2] Koutchma, T., Forney, L.J., Moraru, C.I., 2009. Ultraviolet light in food technology: principles and applications. CRC Press, Taylor & Francis Group. Boca Raton, FL.
- [3] 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: 637-645.

- [4] Keyser, M., Müller, I.A., Cilliers, F.P., Nel, W., Gouws, P.A., 2008. Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 9: 348–354.
- [5] Özkütük, N., 2007. Ultraviyole Lambalarının Kullanımı. 5. Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi. Nisan 4-8, 2007, Antalya, Türkiye, DAS Kongre Kitabı 2007, 490-496p.
- [6] Tran, M.T.T., Farid M., 2004. Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5: 495–502.
- [7] Artes, F., Allende, A., 2005. Processing lines and alternative preservation techniques to prolong the shelf-life of minimally fresh processed leafy vegetables. *European Journal of Horticultural Science* 70(5): 231–245.
- [8] 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(3): 209-215.
- [9] Gomez-Lopez, V.M., Ragaert, P., Debevere, J., Devlieghere, F., 2007. Pulsed light for food decontamination: a review. *Trends in Food Science & Technology* 18: 464-473.
- [10] Jagger, J., 1967. Introduction to research in ultraviolet photobiology. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, NJ.
- [11] Harm, W., 1980. Biological effects of ultraviolet radiation. Cambridge University Press, Cambridge, MA.
- [12] Quek, P.H., Hu, J., 2008. Indicators for photoreactivation and dark repair studies following ultraviolet disinfection. *The Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 35: 533-541.
- [13] Koutchma, T., 2009. Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology* 2: 138-155.
- [14] Guerrero-Beltran, J.A., Barbosa-Canovas, G.V., 2004. Review: Advantages and limitations on processing foods by UV light. *Food Science and Technology International* 10(3): 137-147.
- [15] Bachmann, R., 1975. Sterilization by intense ultraviolet radiation. *The Brown Boveri Review* 62: 206-209.
- [16] Morgan, R., 1989. UV "green" light disinfection. *Dairy Industries International* 54(11): 33-35.
- [17] Shama, G., 1999. Ultraviolet light. In: Encyclopedia of Food Microbiology-3, Edited by Robinson, R.K., Batt, C., & Patel, P. London: Academic Press, 2208-2214p.
- [18] Milly, P.J., Toledo, R.T., Chen, J., Kazem, B., 2007. Hydrodynamic cavitation to improve bulk fluid to surface mass transfer in a nonimmersed ultraviolet system for minimal processing of opaque and transparent fluid foods. *Journal of Food Science* 72(9): M407–M413.
- [19] Ha, J.W., Back, K.H., Kim, Y.H., Kang, D.H., 2016. Efficacy of UV-C irradiation for inactivation of food-borne pathogens on sliced cheese packaged with different types and thicknesses of plastic films. *Food Microbiology* 57: 172-177.
- [20] Koutchma, T., 2008. UV light for processing foods. Ozone: *Science and Engineering* 30(1): 93-98.
- [21] Koutchma, T., Keller, S., Chirtel, S., Parisi, B., 2004. Ultraviolet disinfection of juice products in laminar and turbulent flow reactors. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 5: 179-189.
- [22] Franz, C.M.A.P., Specht, I., Cho, G.S., Graef, V., Stahl, M.P., 2009. UV-C inactivation of microorganisms in naturally cloudy apple juice using novel inactivation equipment based on Dean vortex technology. *Food Control* 20: 1103-1107.
- [23] Shah, P.B., Shah, U.S., Siripurapu, S.C.B., 1994. Ultraviolet irradiation and laminar air flow systems for clean air in dairy plants. *Indian Dairyman* 46: 757-759.
- [24] Bailey, J.S., Buhr, R.J., Cox, N.A., Berrang, M.E., 1996. Effect of hatching cabinet sanitation treatments on Salmonella cross-contamination and hatchability of broiler eggs. *Poultry Science* 75:191-196.
- [25] World Health Organization, 1994. Ultraviolet radiation. Environmental Health Criteria 160, Vammala.
- [26] Guerrero-Beltran, J.A., Barbosa-Canovas, G.V., 2005. Reduction of *Saccharomyces cerevisiae*, *Escherichia coli* and *Listeria innocua* in apple juice by Ultraviolet Light. *Journal of Food Process Engineering* 28: 437-452.
- [27] Kim, T., Silva, T., Chen, T., 2002. Effects of UV irradiation on selected pathogens in peptone water and on stainless steel and chicken meat. *Journal of Food Protection* 65: 1142–1145.
- [28] Tamime, A.Y., Robinson, R.K., 1999. Yogurt Science and Technology, (2nd edn). Woodhead Publishers, Cambridge.
- [29] Park, S.Y., Ha, S.D., 2015. Ultraviolet-C radiation on the fresh chicken breast: Inactivation of major foodborne viruses and changes in physicochemical and sensory qualities of product. *Food and Bioprocess Technology* 8: 895–906.
- [30] Lyon, S.A., Fletcher, D.L., Berrang, M.E., 2007. Germicidal ultraviolet light to lower numbers of *Listeria monocytogenes* on broiler breast fillets. *Poultry Science* 86: 964-967.
- [31] Sommers, C.H., Sites, J.E., Musgrove, M., 2010. Ultraviolet light (254 nm) inactivation of pathogens on foods and stainless steel surfaces. *Journal of Food Safety* 30(2): 470-479.
- [32] Tawema, P., Han, J., Vu, K.D., Salmieri, S., 2016. Antimicrobial effects of combined UV-C or gamma radiation with natural antimicrobial formulations against *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157: H7, and total yeasts/molds in fresh cut cauliflower. *Food Science and Technology* 65: 451-456.
- [33] George, D.S., Razali, Z., Santhirasegaram, V., Somasundram, C., 2015. Effects of ultraviolet light (UV-C) and heat treatment on the quality of fresh-cut chokanan mango and josephine pineapple. *Journal of Food Science* 80(2): 426–434.
- [34] Gündüz, G.T., Pazır, F., 2013. Inactivation of *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum* under

- in vitro and in vivo conditions by using UV-C light. *Journal of Food Protection* 76(10): 1761-1766.
- [35] Liu, J., Stevens, C., Khan, V.A., Lu, J.Y., Wilson, C.L., Adeyeye, O., Kabwe, M.K., Pusey, P.L., Chalutz, E., Sultana, T., Droby, S., 1993. Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. *Journal of Food Protection* 56: 868-872.
- [36] Şik, S, Urgu, M, Koca, N., 2017. The effect of UV light on the mould inactivation and the quality of fresh kashar cheese. *Innovations in Food Science and Technology*, May 10-12, 2017; Munich, Germany.
- [37] Can, F.O., Demirci, A., Puri, V.M., Gourama, H., 2014. Decontamination of hard cheeses by pulsed UV light. *Journal of Food Protection* 77(10): 1723-1731.
- [38] Stermer, R., Lasater-Smith, M., Brasington, C., 1987. Ultraviolet radiation-an effective bactericide for fresh meat. *Journal of Food Protection* 50: 108-111.
- [39] Birmpa, A., Sfika, V., Vantarakis, A., 2013. Ultraviolet light and Ultrasound as non-thermal treatments for the inactivation of microorganisms in fresh ready-to-eat foods. *International Journal of Food Microbiology* 167(1): 96-102.
- [40] Yun, J., Yan, R., Fan, X., Gurtler, J., Phillips, J., 2013. Fate of *E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp. and potential surrogate bacteria on apricot fruit, following exposure to UV-C light. *International Journal of Food Microbiology* 166(3): 356-363.
- [41] Guan, W., Fan, X., Yan, R., 2012. Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157: H7, microbial loads, and quality of button mushrooms. *Postharvest Biology and Technology* 64(1): 119-125.
- [42] Escalona, V.H., Aguayo, E., Martinez-Hernandez, G.B., Artes, F., 2010. UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach. *Postharvest Biology and Technology* 56(3): 223-231.
- [43] Allende, A., McEvoy, J.L., Luo, Y., Artes, F., Wang, C.Y., 2006. Effectiveness of twosided UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed "Red Oak Leaf" lettuce. *Food Microbiology* 23(3): 241-249.
- [44] Yaun, B.R., Sumner, S.S., Eifert, J.D., Marcy, J.E., 2004. Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. *International Journal of Food Microbiology* 90(1): 1-8.
- [45] Lacivita, V., Conte, A., Manzocco, L., Plazzotta, S., Zambrini, V.A., Del Nobile, M.A., Nicoli, M.C., 2016. Surface UV-C light treatments to prolong the shelf-life of Fiordilatte cheese. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 36: 150-155.
- [46] Proulx, J., Hsu, L.C., Miller, B.M., Sullivan, G., Paradis, K., Moraru, C.I., 2015. Pulsed-light inactivation of pathogenic and spoilage bacteria on cheese surface. *Journal of Dairy Science* 98: 5890-5898.
- [47] Kilcast, D., 1994. Effect of irradiation on vitamins. *Food Chemistry* 49: 157-164.
- [48] Matak, K.E., Sumner, S.S., Duncan, S.E., Hovingh, E., Worobo, R.W., Hackney, C.R., Pierson, M.D., 2007. Effects of ultraviolet irradiation on chemical and sensory properties of goat milk. *Journal of Dairy Science* 90(7): 3178-3186.
- [49] Bandla, S., Choudhary, R., Watson, D.G., Haddock, J., 2012. UV-C treatment of soymilk in coiled tube UV reactors for inactivation of *Escherichia coli* W1485 and *Bacillus cereus* endospores. *LWT - Food Science and Technology* 46(1): 71-76.
- [50] Turan, O.Y., Met, A., Belbez, E., Pektaş, S., Şahin-Yeşilçubuk, N., Fıratlıgil-Durmuş, E., 2015. Investigating the effects of (UV-C) light on qualitative properties of beef in prototype household-type refrigerators. The 5th Food Safety Congress, May 7-8, 2015, İstanbul, Turkey.
- [51] Andersen, L.T., Lund, M.N., Glyager, R., Jensen, S.B., Mortensen, G., Skibsted, L.H., 2006. Light-induced deterioration of reduced-fat cream cheese. Relative importance of protein and lipid oxidation. *Milchwissenschaft* 62(2): 162-165.
- [52] Jung, M.Y., Yoon, S.H., Lee, H.O., Min, D.B., 1998. Singlet oxygen and ascorbic acid effects on dimethyl disulfide and off-flavor in skim milk exposed to light. *Journal of Food Science* 63(3): 408-412.
- [53] Pan, X.Q., Ushio, H., Ohshima, T., 2005. Comparison of volatile compounds formed by autoxidation and photosensitized oxidation of cod liver oil in emulsion systems. *Fisheries Science* 71(3): 639-647.
- [54] Yang, S.O., Lee, J.M., Lee, J.C., Lee, J.H., 2007. Effects of riboflavin-photosensitization on the formation of volatiles in linoleic acid model systems with sodium azide or D2O. *Food Chemistry* 105(4): 1375-1381.
- [55] Westermann, S., Brüggemann, D.A., Olsen, K., Skibsted, L.H., 2009. Light-induced formation of free radicals in cream cheese. *Food Chemistry* 116: 974-981.
- [56] Ergezer, H., Gökçe, R., Hozer, Ş., Akcan, T., 2016. Et ve ürünlerinde protein oksidasyonu: etki mekanizması, tespit yöntemleri ve etkileri. *Akademik Gıda* 14(1): 54-60.
- [57] Chairat, B., Nutthachai, P., Varit, S., 2013. Effect of UV-C treatment on chlorophyll degradation, antioxidant enzyme activities and senescence in Chinese kale (*Brassica oleracea* var. alboglabra). *International Food Research Journal* 20(2): 623-628.
- [58] Alothman, M., Bhat, R., Karim, A.A., 2009. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10: 512-516.
- [59] Higashio, H., Ippoushi, H., Ito, H., Azuma, K., 1999. Induction of an oxidative defense system against UV-stress and application to improve quality of green vegetables. In *International Symposium on Vegetable Quality of Fresh and Fermented Vegetables*, Edited by Lee, J.M., Gross, K.S., Watada, A.E., Lee, S.K. *Acta Horticulture* 483.
- [60] Steenbock, H., Black, A., 1924. Fat-soluble vitamins: the induction of growth promoting and

- calcifying properties in a ration by exposure to ultra-violet light. *The Journal of Biological Chemistry* 61: 405–422.
- [61] Hess, A.F., Weinstock, M., 1924. Antirachitic properties imparted to inert fluids and to green vegetables by ultraviolet radiation. *The Journal of Biological Chemistry* 62: 301-313.
- [62] Mau, J-L., Chen, P.R., Yang, J-H., 1998. Ultraviolet irradiation increased vitamin D2 content in edible mushrooms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46: 5269-5272.
- [63] EU, 2016. Commission Implementing Decision (EU) 2016/1189 of 19 July 2016 authorising the placing on the market of UV-treated milk as a novel food under Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council.
- [64] Ibarz, A., Pagan, J., Panades, R., Garza, S., 2005. Photochemical destruction of color compounds in fruit juices. *Journal of Food Engineering* 69: 155-160.
- [65] Falguera, V., Pagan, J., Ibarz, A., 2011. Effect of UV irradiation on enzymatic activities and physicochemical properties of apple juices from different varieties. *LWT-Food Science and Technology* 44: 115-119.
- [66] Wallner-Pendleton, E.A., Sumner, S.S., Froning, G.W., Stetson, L.E., 1994. The use of ultraviolet radiation to reduce Salmonella and psychrotrophic bacterial contamination on poultry carcasses. *Poultry Science* 73(8): 1327-1333.
- [67] US Food and Drug Administration, 2016. Ultraviolet radiation for the processing and treatment of food. Code of Federal Regulations 21 (Part 179.39). Washington, DC.
- [68] European Communities, 1999. European Directive 1999/2/EC of the European Parliament and of the Council of 22 February 1999 on the approximation of the laws of the Member States concerning foods and food ingredients treated with ionising radiation, Official Journal of European Communities.
- [69] EU, 2016. Commission Implementing Decision (EU) 2016/398 of 16 March 2016 authorising the placing on the market of UV-treated bread as a novel food under Regulation (EC) No 258/97 of the European Parliament and of the Council.
- [70] Anonim, 1999. Gıda İşinlama Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete 06.11.1999 Tarih 23868 sayı. Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, Ankara.
-