

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ÇEŞİTLİ MİKROORGANİZMALAR İÇİN
UV-C İNAKTİVASYON DOZLARININ FLORESAN VE LED
IŞIK KAYNAKLARI İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enes TOPRAK

Enstitü Anabilim Dalı : BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Halil ARSLAN

Ocak 2020

**T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ÇEŞİTLİ MİKROORGANİZMALAR İÇİN
UV-C İNAKTİVASYON DOZLARININ FLORESAN VE LED
IŞIK KAYNAKLARI İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Enes TOPRAK

Enstitü Anabilim Dalı : BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Halil ARSLAN

Ocak 2020

T.C.
SAKARYA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

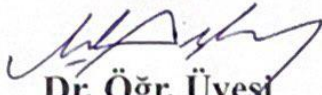
ÇEŞİTLİ MİKROORGANİZMALAR İÇİN
UV-C İNAKTİVASYON DOZLARININ FLORESAN VE LED
IŞIK KAYNAKLARI İLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

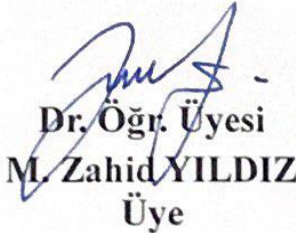
Enes TOPRAK

Enstitü Anabilim Dalı : BİYOMEDİKAL MÜHENDİSLİĞİ

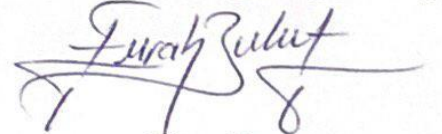
Bu tez 20/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.



Dr. Öğr. Üyesi
Halil ARSLAN
Jüri Başkanı



Dr. Öğr. Üyesi
M. Zahid YILDIZ
Üye



Doç. Dr.
Emrah BULUT
Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.


Enes TOPRAK
20/01/2020

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Dr.Öğr. Üyesi Halil ARSLAN'a, görüş ve önerileri ile çalışmaya katkıda bulunan sayın hocam Öğr. Gör. Ali Furkan KAMANLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Sakarya Üniversitesi Biyoloji Bölümü Dr.Öğr. Üyesi Kenan TUNÇ'a ve mikrobiyoloji laboratuvarında deneylerimde yardımcı olan Biyolog Alican Bahadır SEMERCİ'ye teşekkür ederim.

Süreç boyunca direkt ve dolaylı olarak çalışmalarına katkı sağlayan, aynı kaderi paylaştığımız laboratuvar arkadaşlarım Ebru AKSOY, Büşra GÜNOĞLU, Bahar PEHLİVANÖZ ve Şerife ÇELİKBAŞ'a teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmanın maddi açıdan yükünü üstlenen, tüm çalışmalarımnda manevi desteğini her zaman hissettiğim başta babam Ayhan TOPRAK'a ve tüm aileme minnetlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

BEYAN	
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
TABLolar LİSTESİ	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
ÖZET	vii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
GENEL BİLGİLER	4
2.1. Mikrobiyoloji ve Mikroorganizmalar.....	4
2.1.1. Kontaminasyon ve dekontaminasyon	5
2.1.2. Besiyeri ve ekim yapma	6
2.2. Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon	7
2.2.1. Sterilizasyon yöntemleri	9
2.3. Ultraviyole Işık Kaynakları	11
2.4. UV Işığın Mikroorganizmaya Etki Mekanizması	12
2.5. UV ile Yapılmış İnaktivasyon Çalışmaları	14

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM	19
3.1. Deney Düzenekleri	20
3.1.1. DBC düzeneği	20
3.1.2. LED düzeneği	23
3.2. Bakteri Kültürlerinin Hazırlanması	25
3.3. <i>In Vitro</i> Koşullarda UV-C Uygulaması	26
3.3.1. DBC ile UV-C uygulaması	26
3.3.2. LED ile UV-C uygulaması	27
3.4. Koloni Sayımı	27

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI	29
4.1. DBC’li Düzenekle İnaktivasyon Düzeyleri	29
4.2. LED’li Düzenekle İnaktivasyon Düzeyleri	33

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ	36
KAYNAKLAR	41
ÖZGEÇMİŞ	48

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CFU	: Koloni oluşturan birim
<i>C. albicans</i>	: <i>Candida albicans</i>
<i>C. auris</i>	: <i>Candida auris</i>
cm	: Santimetre
DBC	: Düşük basınçlı civa
<i>E. coli</i>	: <i>Escherichia coli</i>
LED	: Light emitted diode
log	: Logaritma
MPM	: Orta basınçlı civa
m	: Metre
mL	: Mili litre
mJ	: Mili Joule
mW	: Mili Watt
s	: Saniye
<i>S.epidermidis</i>	: <i>Staphylococcus epidermidis</i>
<i>S.aureus</i>	: <i>Staphylococcus aureus</i>
TSB	: Tyriptic Soy Broth
UV	: Ultraviyole
UV-C	: Ultraviyole-C (200-280nm)
°C	: Celsius ölçeği

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1 : Bazı plastik malzemelerde ısı sterilizasyon uygulanabilirliği	10
Tablo 2.2 : UV kaynakları ve temel özellikleri	12
Tablo 2.3 : Mikroorganizmaların inaktivasyonu için gereken en düşük ve en yüksek UV dozlar	14
Tablo 2.4 : Çeşitli ambalaj malzemelerinin UV-C geçirgenliği	15
Tablo 2.5 : Hastane ortamındaki çeşitli mikroorganizmalar için yapılmış olan yüzey sterilizasyon uygulamaları	16
Tablo 2.6 : Farklı sıvı ortamlardaki mikroorganizmalar için yapılmış olan sterilizasyon uygulamaları	17
Tablo 2.7 : Farklı gıdalar üzerindeki mikroorganizmalar için yapılmış olan UV uygulamaları	18
Tablo 3.1 : LED ve DBC ile uygulanan dozlar ve süreleri	26
Tablo 4.1 : DBC lamba düzeneğiyle uygulanan doza göre canlılık oranları	30
Tablo 4.2 : LED düzeneğiyle uygulanan doza göre canlılık oranları	34

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1	: Başlıca sterilizasyon yöntemleri	8
Şekil 2.2	: Sterilizasyon ve dezenfeksiyon	9
Şekil 2.3	: UV detaylandırılmış elektromanyetik spektrum dağılımı	11
Şekil 2.4	: UV'nin DNA sarmalı üzerindeki etkisi	13
Şekil 3.1	: İzlenilen çalışma süreci	19
Şekil 3.2	: Işın kaynaklarının spektrum dağılımları	20
Şekil 3.3	: DBC lambalı deney düzeneğinin tasarımı	21
Şekil 3.4	: DBC düzeneğin elektriksel şeması	21
Şekil 3.5	: DBC lambalı deney düzeneği	22
Şekil 3.6	: DBC lambaların zamana bağlı üzerinden geçen akım şiddeti	22
Şekil 3.7	: LED'li deney düzeneği tasarımı	23
Şekil 3.8	: LED düzeneğin elektriksel şeması	23
Şekil 3.9	: LED'li deney düzeneği	24
Şekil 3.10	: LED'lerin zamana bağlı üzerinden geçen akım şiddeti	24
Şekil 3.11	: Mikroorganizmaların ekimi ve eldesi	25
Şekil 3.12	: DBC ile petriye UV ışık uygulaması	27
Şekil 3.13	: LED ile petriye UV ışık uygulaması	27
Şekil 3.14	: Petri üzerinde sayıma hazır koloniler	28
Şekil 4.1	: DBC'li düzenekte farklı optik dozlar uygulanmış petrilerdeki koloniler	30
Şekil 4.2	: DBC ile uygulanan doza göre <i>E. coli</i> 'nin canlılık oranı.....	31
Şekil 4.3	: DBC ile uygulanan doza göre <i>S. epidermidis</i> 'in canlılık oranı	32
Şekil 4.4	: DBC ile uygulanan doza göre <i>C. albicans</i> 'in canlılık oranı	32
Şekil 4.5	: LED'li düzenekte farklı optik dozlar uygulanmış petrilerdeki koloniler	33
Şekil 4.6	: LED ile uygulanan doza göre <i>E. coli</i> 'nin canlılık oranı	34
Şekil 4.7	: LED ile uygulanan doza göre <i>S. epidermidis</i> 'in canlılık oranı	35
Şekil 4.8	: LED ile uygulanan doza göre <i>C. albicans</i> 'in canlılık oranı	35
Şekil 5.1	: DBC lamba ile yapılan deneylerde, optik dozun bir fonksiyonu olarak mikroorganizmaların canlılık oranları	38
Şekil 5.2	: LED ile yapılan deneylerde, optik dozun bir fonksiyonu olarak mikroorganizmaların canlılık oranları	39

ÇEŞİTLİ MİKROORGANİZMALAR İÇİN UV-C İNKTİVASYON DOZLARININ FLORESAN VE LED IŞIK KAYNAKLARI İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Sterilizasyon yaşam alanları ve laboratuvarlarda hayati öneme sahip bir işlemdir. Pek çok kontaminasyon oluşturan sebep bulunmakla birlikte her birisi için farklı sterilizasyon tekniği geliştirilmiş ve her geçen gün yeni yöntemler keşfedilmektedir.

Bu çalışmada, yüzeylerde ve havada kontaminasyona sebep olan bazı mikroorganizmaların UV-C ışık ile inaktivasyonu incelenmiştir. Geleneksel ve yeni nesil ışık kaynakları kullanılarak farklı türlerden olan *Escherichia coli*, *Staphylococcus epidermidis* ve *Candida albicans* üzerinde çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, floresan ve LED ışık kaynakları ile farklı iki deney düzeneği oluşturulmuştur. Katı besi yeri üzerine yayma yöntemiyle ekimi yapılan her mikroorganizma için belirli dozlarda UV-C ışık uygulanmış ve inaktivasyon oranları belirlenmiştir. Geleneksel floresan ışık kaynaklarıyla yapılan deneyde *E. coli* 2 mJ/cm², *S. epidermidis* 2.65 mJ/cm² ve *C. albicans* 3.32 mJ/cm² optik doz ile tamamen inaktif olmuştur. Yeni nesil LED ışıklarıyla oluşturulan düzenekte ise 0.72 mJ/cm² doz *E. coli*'yi tümüyle inaktif ederken, *S. epidermidis*'i %99.7 ve *C. albicans*'ı %98.3 oranında inaktif ettiği görülmüştür.

Sonuç olarak, bu çalışmada geleneksel ve yeni nesil UV-C ışık kaynaklarıyla yapılan deneylerde mikroorganizma türlerine göre inaktivasyon için gereken optik dozlar belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların, yüzey ve hava sterilizasyonu için geliştirilebilecek yeni cihazlar için ön bilgi niteliğinde olması sebebiyle, faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: UV ışık, sterilizasyon, inaktivasyon, antimikrobiyel aktivite

DETERMINATION OF UV-C INACTIVATION DOSES FOR VARIOUS MICROORGANISMS BY USING FLUORESCENT LAMP AND LED

SUMMARY

Sterilization is an important process for not only laboratories but also the areas where people live. Since there are many reasons for the contamination, different sterilization techniques have been developed for each and new methods are being discovered day by day.

In this thesis, UV-C inactivation of some microorganisms causing contamination on surfaces and in the air was studied. *Escherichia coli*, *Staphylococcus epidermidis* and *Candida albicans* which have different species, were studied by using traditional and new generation light sources. For this purpose, two different experimental set-up were prepared with fluorescent lamp and LED. Different doses of UV-C light were applied for each microorganisms and inactivation rates were determined. In the experiment with conventional fluorescent light sources, *E. coli* was completely inactivated with an optical dose of 2 mJ/cm², *S. epidermidis* 2.65 mJ/cm² and *C. albicans* 3.32 mJ/cm². In the experiment performed by using UV-C LED, the optical dose of 0.72 mJ/cm² was completely inactive of *E. coli*, while *S. epidermidis* was inhibited by 99.7% and *C. albicans* by 98.3%.

In conclusion, the optical dose required for the inactivation were determined for different types of microorganisms by using conventional and new generation UV-C light sources. The results obtained in this study are expected to provide important information for new devices that can be produced for surface and air sterilization.

Key words: UV light, sterilization, inactivation, antimicrobial activity

1. GİRİŞ

Hastane ortamları, mikrobiyolojik çalışmaların yapıldığı ortamlar, gıda ve medikal sektörü, ilaç üretim tesisleri ve steril çalışılan tüm laboratuvarlarda sterilizasyon işlemi uygulanmak zorundadır. Laboratuvar çalışmalarında kullanılan ekipmanların steril olmasının yanında temas edilen yüzeylerin ve ortam havasının da aseptik olması önemlidir. Çalışma alanının ve çalışmada kullanılan ekipmanların uygun şekilde steril edilmesi işlemin ilerleyen aşamalarını da etkilemektedir. Bu sebeple çalışma alanlarındaki steril ortamın sürekliliğinin sağlanması ve korunması gerekmektedir [1].

Her zaman steril ortam sağlamak mümkün olmamaktadır. Kullanılan ekipmanlardan, yüzeylerden ve ortamın havasından kontaminasyon oluşabilmektedir. Kontaminasyona sebep olan mikroorganizma, hava akımı yoluyla steril olmasını istediğimiz ortama ulaşabildiği gibi, çalışanların temas ettiği yüzeyler ve ekipmanların bulunduğu yerlere, bulaşabilmektedir. Çalışma ortamının yakın çevresindeki hava ve yüzeylerde bulunan mikroorganizmalar kimyasal yöntemlerle uzaklaştırılmaya çalışılsa bile uygulandığı alanda sınırlı kaldığından geniş çaplı sterilizasyon için yeterli olmamaktadır. Çalışma alanındaki kötü koşullar, yapılan çalışmaları etkilemekle birlikte ekonomik olarak ve zaman açısından kayıplara sebep olmaktadır [2].

Sterilizasyonun çalışanlara ve diğer yapılan işlemlere zararlı etkisi olmadan sadece mikroorganizmalara yönelik olması şarttır. Bu nedenle mikrobiyoloji laboratuvarındaki çalışmaların ve çalışanların sağlığı için risk oluşturan tüm mikroorganizmaların bilinmesi ve bunlara karşı geniş çaplı uygulanabilir bir yöntemin kullanılması gerekmektedir. Sterilizasyon yöntemlerinin laboratuvarlarda tüm yüzeylere uygulanabilirliği açısından ışın yöntemi öne çıkmaktadır. Işın yöntemi diğer yöntemlerin aksine herhangi kalıntıya sebebiyet vermeyen hızlı ve kullanışlı bir yöntemdir. Kısa sürelerde etkili olan ışın yöntemi kendi içerisinde yüksek enerjili ve düşük enerjili olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Yüksek enerjili olarak ifade edilen X-ışınları çok küçük dalga boylarına sahip olup mutasyona sebebiyet verdiği için

kullanımı devlet kontrolünde gerçekleşmektedir. X ışınlarına göre daha düşük enerjili olan ultraviyole (UV) ışık daha büyük dalga boylarında olup, hedef ortama nüfuz etme oranları daha azdır. UV ışık da kendi içerisinde kısımlara ayrılmaktadır. Ultraviyole ışık mikroorganizmaların DNA'sını parçalayarak çoğalmalarını durdurur böylece sterilizasyonu sağlar. Bununla birlikte insan üzerinde aşırı dozlarda uygulanmadığı sürece zararlı etkisi bulunmamaktadır. Yüzeyle ve havada bulunan mikroorganizmaların tümüne bu yöntemle etki edilerek ortam sterilizasyonu sağlanabilmektedir [3].

Günümüzde UV ışıklar gıdaların raf ömrünü uzatmak amacıyla üretim tesisleri ve lojistik aşamalarda uygulanmaktadır. İlaç ve tıbbi malzemelerin üretimi esnasında ve üretim sonrası paketlenme işlemi sürecinde oluşabilecek kontaminasyonun önüne geçmek amacıyla ultraviyole ışın kullanılmaktadır. Dünya çapında yaygın olarak içme suyu sterilizasyonu için uygulanan bu yöntem bakteri ve mantarların hızlı çoğaldığı süt, bira, şarap ve meyve suları gibi sıvı gıdalardaki istenmeyen mikroorganizmalara karşı da kullanılmaktadır [4].

Her alanda yaygınlaşması beklenen söz konusu sterilizasyon teknikleri, şimdilik sadece özel amaçlı laboratuvarlarla sınırlanmış olup kullanım oranı oldukça azdır. Sanayi tesisleri ve laboratuvarlarda uygulanan sterilizasyon, kimyasal ve ısıl yöntemlerle sağlanmaktadır. Türkiye'de de ultraviyole ışık ile sterilizasyon genellikle içme suyunun ve ameliyathanelerin temizliğinde kullanılmaktadır. Hastanedeki mikrobiyoloji ve biyokimya laboratuvarları, bitki doku kültürü laboratuvarları ve özel amaçlı laboratuvarlarda gerçekleştirilen birçok çalışmada yeterli sterilizasyon önlemi alınmadığı için kontaminasyonlar oluşmaktadır. Dolayısıyla bu sorunların önüne geçilmesi önem teşkil etmektedir. Bu hedef doğrultusunda ortamdaki mikroorganizmalara yönelik sterilizasyon yöntemlerinin araştırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, çeşitli mikroorganizmalar üzerinde geleneksel ve yeni nesil ışın kaynaklarıyla ultraviyole ışığın etkin inaktivasyon dozu incelenmiştir. Bu amaçla, düşük basınçlı civa lambası (DBC) ve ışık yayan diyot (LED) kullanılarak, mikroorganizmalar üzerine farklı UV ışın dozları uygulanmış ve laboratuvarlarda kullanılabilecek bir sterilizasyon cihazı için ön çalışmalar yapılmıştır. DBC ve LED ışık kaynağı ile gram negatif *Escherichia coli*, gram pozitif *Staphylococcus epidermidis* ve fungi türü olan

Candida albicans üzerine farklı UV dozlar uygulanmış ve etkileri incelenmiştir. Yüzeydeki mikroorganizmaların inaktif olması için gerekli UV dozları her iki ışık kaynağıyla belirlenmiştir.



2. GENEL BİLGİLER

2.1. Mikrobiyoloji ve Mikroorganizmalar

Mikroorganizmalar; virüsler, tek hücreliler (protistalar, arkeler, bakteriler, bazı mantarlar ve bazı klorofitler) ve basit çok hücreliler (daha büyük mantarlar, klorofitler) olarak kendi içinde bölünebilen ve mikroskop kullanılmadan görünemeyecek kadar küçük farklı organizma gruplarıdır [5]. Mikrobiyoloji, mikroorganizmaların özelliklerini, daha gelişmiş canlılarla ve kendi aralarındaki ilişkilerini inceleyen bir bilim dalıdır [6]. Mikroorganizmalar deri, boğaz, burun gibi vücudumuzun çeşitli bölgelerinde yer alabildiği gibi soluduğumuz hava, kullandığımız eşyalar, toprak ve su gibi tüm dış ortamlarda da bulunmaktadır.

Mikrobiyoloji çok geniş bir bilim dalı olup, tıbbi mikrobiyoloji, tarım mikrobiyolojisi, toprak mikrobiyolojisi, su mikrobiyolojisi, endüstriyel mikrobiyoloji ve uzay mikrobiyolojisi gibi birçok alt alanlara sahiptir. Mikrobiyoloji biliminin alt dallarından olan genel mikrobiyoloji: mikroorganizmaların sınıflandırılması, çevresi ve doğa ile olan etkileşimleri, insan ve hayvanlar üzerindeki etkileri ve doğadaki durumlara karşı gösterdikleri direnç mekanizmasını incelemektedir [6]. Bu sayede genel mikrobiyoloji sterilizasyon yöntemlerinin geliştirilmesine de olanak sağlamaktadır. Aynı zamanda, tüm mikrobiyoloji çalışmalarında; sterilizasyon, ortam, bakteri ekimi ve örnek alma ve boyanması, uygun sayım yönteminin belirlenmesi, önemli rol oynamaktadır [7].

Hava da bulunan toz parçacıkları, bitki tozları, pamuk lifleri, yün gibi partiküller mikroorganizmalar için yaşam alanı sağlamaktadır [8]. Hastalık yapıcı birçok mikroorganizma insanların sürekli etkileşim halinde oldukları havada bulunmakta olup, aynı zamanda öksürme ve konuşma sırasında insanda bulunan birçok patojen havaya karışmaktadır. Bu sayede, mikroorganizmalar birçok canlıya hızlı bir şekilde yayılabileceği gibi havadaki hastalık etmenlerinin sterilizasyonu-dezenfeksiyonu büyük önem arz etmektedir [9]. Ayrıca gıda işletmeleri, hastane ortamları ve aseptik

çalışılması gereken ortamlarda hava kaynaklı mikrobiyal kontaminasyon riski yüksektir [10].

Tozun yapısına bağlı olarak mikroorganizmalar taşındıkları alanda canlılığını sürdürmekte hatta çoğalabilmektedir. Havadan kaynaklı mikrobiyal kontaminasyonların genel sebebi bakteriyal ve fungal etkenlerden kaynaklanmaktadır. Fungal etkenlerden küf sporlarının havadaki kontaminasyon içerisinde önemli yeri vardır [11]. Küfler ve mayalar özellikle rutubetli açık ve kapalı ortamlarda hızlı çoğalmaktadır.

Kapalı ortamlardaki havada mikroorganizma miktarı, insan sayısı ve yapılan faaliyetlere göre sürekli artmaktadır. Bunun sonucunda insanların patojenleri bünyesine alması kaçınılmaz olmaktadır. Aynı zamanda mikrobiyoloji çalışmalarının yapıldığı laboratuvar ortamlarında havada bulunan mikroorganizmalar, çalışmaların seyrini değiştirebilir ve istenmeyen etkiler oluşturabilir [9, 12]. Laboratuvar ve endüstrilerde yapılan işlemlerde kontaminasyonun önlenmesi ve çalışanların sağlığının korunması için havanın sterilizasyonu önem taşımaktadır [13, 14].

Çoğu yüzeyle etkileşim halinde olmasından dolayı eller, mikroorganizmalar için taşınım mekanizması görevi gördüğü gibi birçok mikroorganizmayı sürekli halde üzerinde bulundurmaktadır. Enterik patojen bakteri ve virüsler insanlar arasında eller aracılığıyla bulaşabilmektedir. Örneğin *S. aureus* bakterisi ellere bulaştıktan sonra ve derinin alt tabakalarında kıl köklerinde ve gözeneklerde çoğalıp ellerin yıkanması durumunda dahi uzaklaştırma mümkün olmayabilmektedir [15]. Çocuklara hizmet sağlayan gündüz bakım evlerinde düşük dozlardaki inokulumda kolonize olabilen (*Giardia*, *Cryptosporidium*, *Shigella*) veya kolaylıkla yayılım gösterebilen (*Adenovirus*, *Astrovirus*, *Rotavirus*) mikroorganizmalar insandan insana bulaşmaktadır [16]. Hastane ortamında uygulanan temel işlemlerde hastalardan temas yoluyla sağlık çalışanlarına *Staphylococcus aureus*, basiller, enterokoklar veya *Clostridium difficile* vb. mikroorganizmalar bulaşabilmektedir [17, 18].

2.1.1. Kontaminasyon ve dekontaminasyon

Kontaminasyon bir malzeme, yapı veya besi yerinin istenilmeyen madde, atık veya mikroorganizmaların bulaşması yoluyla kirlenmesine denir. Başka bir deyişle istenilmeyen mikroorganizmalarca ortamda gelişme gösteren yapıya kontamine, bu

olaya da kontaminasyon denir. İstenilen alan başlangıçta temiz olsa dahi, uygulama sonrasına ortamda kontaminasyon gerçekleşebilir. Kontaminasyon ortamdan kaynaklı olabildiği gibi personel, kullanılan ekipman ve su kaynaklı olabilir. Patojen mikroorganizmaların oluşturduğu kontaminasyon, ekonomik olarak kayıplara sebebiyet verdiği gibi ortamda çalışanlar için büyük risk oluşturmaktadır. Mikrobiyoloji laboratuvarlarındaki uygulamalar esnasında enfeksiyonların önlenmesi için çalışanların iş birliği ve aktif katılımı da önemlidir [19, 20].

Dekontaminasyon, doğal çevre, laboratuvar ortamı veya herhangi çalışma ortamında bulunan ve istenmeyen etki gösteren bir maddenin, sterilizasyon ve dezenfeksiyon yöntemlerinden herhangi birisinin uygulanarak ortamdaki enfeksiyon etkeninden arındırma işlemine denir. Dekontaminasyon için uygulanan çeşitli sterilizasyon yöntemleri bulunmaktadır. Isıl yöntemler, kimyasal yöntemler, filtrasyon yöntemi ve ışınlama yöntemleri bu yöntemlerden bazıları olup, teknoloji ile beraber yöntemler çeşitlenmekte ve gelişmektedir. Otomasyon sistemlerinin gelişmesi ile laboratuvarlarda kullanımının artması ile birlikte kontaminasyon riski azaltmıştır [19, 21].

2.1.2. Besiyeri ve ekim yapma

Besiyeri, mikroorganizmaların üretilmesi, saf kültürlerin sağlanması, canlılığın sürdürülebilirliği, metabolik ve biyolojik ürünlerin elde edilmesi ve makroskobik morfoloji incelenmesi için çoğaltma işlemine gerekli koşulların sağlandığı ortama denir. Besiyeri içerisinde mikroorganizmaya uygun ve gelişimini sağlayan organik maddeler, inorganik maddeler, gerekli diğer faktörler ve su bulunur. Her mikroorganizmanın ihtiyaç duyduğu koşullar farklılıklar göstermektedir. Bu sebeple laboratuvar ortamında farklı maddelerden oluşan, mikroorganizmaya uygun besiyerleri oluşturulmaktadır [22, 23]. Kullanılacak olan besiyerleri, amaç ve duruma göre sıvı ve katı formda olabilmektedir. Katı besiyerleri Agar, sıvı besi yerleri ise Broth olarak adlandırılmaktadır. Doğal, ayırıcı, seçici, sentetik, zenginleştirilmiş ve kompleks besiyerleri bulunmaktadır [24].

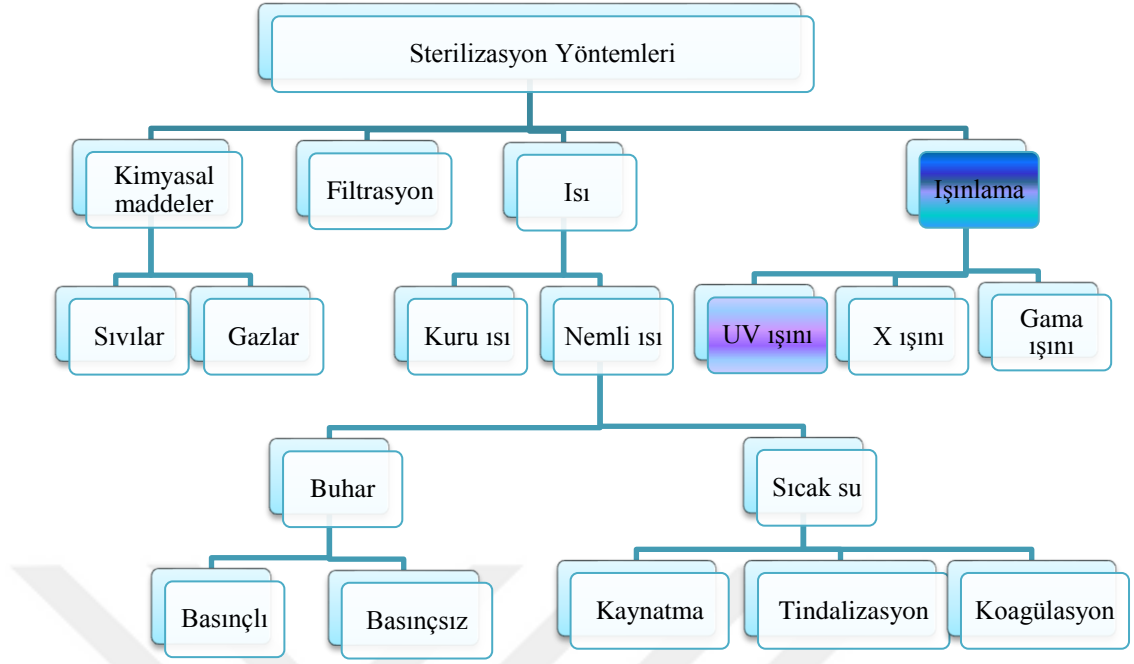
Mikroorganizmaların tanımlanabilmesi ve özelliklerinin belirlenebilmesi için farklı besi yerleri gerekmektedir. Besi yerlerine bakterilerin uygun şekilde aktarılmasına inokülasyon veya ekim yapma denilmektedir. Çeşitli ekim yöntemleri olmakla birlikte,

başlıcaları dökme, yayma ve damlatma yöntemidir. Bu yöntemlere ek olarak çizme plak yöntemi daha çok mikroorganizmaları seyreltmek ya da pasajlama amacıyla kullanılmaktadır [25]. Agara yapılan ekim sonrasında her bakteri olduğu yerde hızlı şekilde çoğalarak koloni oluşturmakta ve bu kolonilerden yola çıkılarak özellikleri hakkında fikir elde edilebilmektedir [26].

2.2. Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon

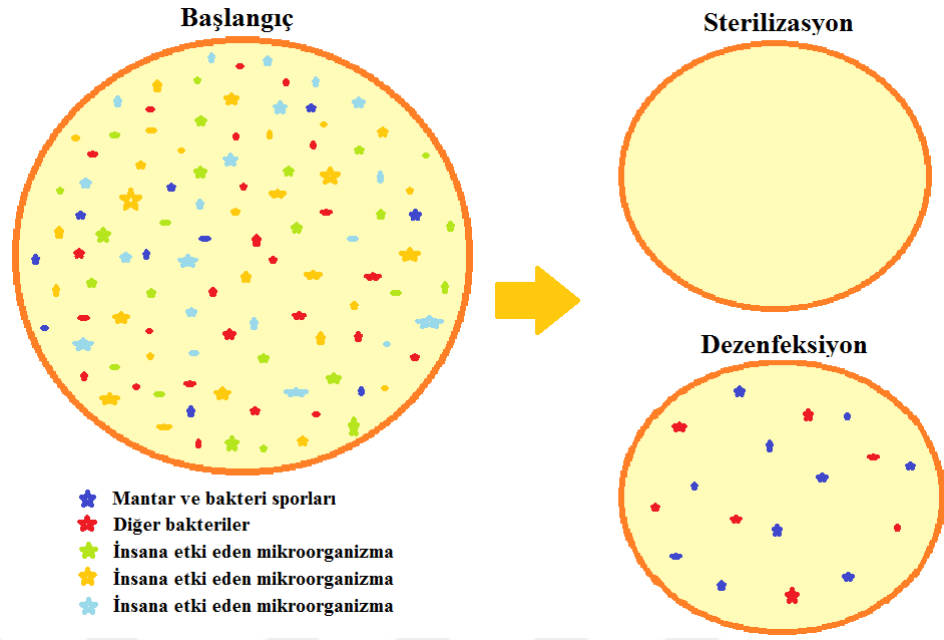
Sterilizasyon bir ortam üstündeki veya içindeki mevcut tüm mikroorganizmaların etkisiz hale getirilmesi, öldürülmesi veya ortamdan uzaklaştırılmasıdır. Sterilizasyon işlemleri günümüzde gıda, sağlık, ilaç, medikal sektörü başta olmak üzere pek çok alanda karşımıza çıkmaktadır [27, 28].

Mikrobiyoloji çalışmalarında önceliğe sahip sterilizasyon işlemi, laboratuvarda kullanılan ekipman, alet, hava ve besi yerlerinin tüm mikroorganizmalardan arındırılmasını kapsamaktadır. Yaygın olarak kullanılan çeşitli sterilizasyon yöntemleri Şekil 2.1’de şematik olarak gösterilmiştir. Sterilizasyonu sağlanmış, steril, ortam veya nesnenin bu özelliğini sürdürebilmesi için dışarıdan gelecek etkilere karşı kapalı olması yani yalıtılması gerekmektedir [29, 30]. Laboratuvar ortamlarında vejetatif ve dayanıklı spor formları vardır. Dayanıklı sporların sterilizasyonunu sağlamak biraz daha zor olmakla beraber, sterilizasyon tüm spor formlarını etkisiz hale getirmeyi hedeflemektedir [22, 31].



Şekil 2.1 : Başlıca sterilizasyon yöntemleri [23].

Cansız maddelerde bulunan ve insan vücudundaki hastalık yapıcı özelliğe sahip olan patojen mikroorganizmaların öldürülmesi, ortamdan uzaklaştırılmasına dezenfeksiyon denir. Sterilizasyondan farklı olarak, dezenfeksiyon işlemi mikroorganizmanın hastalık yapıcı etki değerine göre yüksek düzeyde veya düşük düzeyde dezenfeksiyon olarak ayrılabilir. Dezenfeksiyon işlemi içinde ısı, filtreleme gibi fiziksel yöntemlerin yanı sıra dezenfektan adı verilen kimyasalların kullanıldığı yöntemler de bulunmaktadır. Dezenfeksiyonunda başarı oranı ortamın temizliği, mikrobik ajanların bulaşma yolu, mikroorganizma yoğunluğu, ortamın fiziksel koşulları ile dezenfektanların yoğunluğu ve etki süresine bağlıdır.



Şekil 2.2 : Sterilizasyon ve dezenfeksiyon.

Dezenfeksiyon ve sterilizasyon yöntemleri etki edilmek istenilen ortamdaki mikroorganizmalar ve amaç doğrultusunda birbirinden ayrılmaktadır. Dezenfeksiyon insanda patojen etki gösteren mikroorganizmaları hedef alırken, sterilizasyon mikroorganizma ayırt etmeksizin ortamdaki tüm mikroorganizmaların öldürülmesini amaçlamaktadır (Şekil 2.2). Dezenfeksiyonu sağlanmış ortam için steril demek mümkün değilken, sterilizasyonu sağlanmış ortam için dezenfekte olmuş denilebilir [1].

2.2.1. Sterilizasyon yöntemleri

Birçok alanda uygulanan sterilizasyon, uygulama alanına uygunluğuna göre farklı yöntemler barındırmaktadır. Bu yöntemlere örnek olarak; ısı, filtrasyon, ultrasonik titreşimler, santifügasyon ve ışın gibi fiziksel yöntemler ve ayrıca dezenfektanlar, kemoterapötikler ve boyalarla yapılan kimyasal işlemler olarak gösterilebilir.

Fiziksel yöntemlerden en yaygın olan ısı işlemler mikroorganizmanın oksidasyon ve yakılarak yok edilmesidir. Bu işlem sırasında alevden geçirmek, alev içerisinde tutmak, kuru sıcak havada yüzdürmek, basınçlı ve basınçsız buhar tanklarında bekletme işlemlerinden en az biri uygulanmaktadır. Bu yöntemin uygulanmasında kullanılan en temel cihaz otoklavdır. Belirli sıcaklıklar veya basınçlara ayarlanarak mikroorganizmaların enzim ve yapılarını bozup ortamdaki tüm canlılık faaliyetlerini

sona erdirmektedir [32]. Otoklav gibi yüksek sıcaklık ve basınçta çalışan cihazlar her tür malzemenin sterilizasyonuna uygun değildir. Çeşitli plastik malzemelerin otoklavda sterilizasyona uygunluk durumları Tablo 2.1’de belirtilmiştir.

Tablo 2.1 : Bazı plastik malzemelerde ısı sterilizasyonunun uygulanabilirliği [1].

Malzeme ve kodu	Otoklav ile sterilizasyona uygunluğu
Polyethylene terephthalate -PET	Uygun
High-density polyethylene -HDPE	Uygun değil
Polyvinyl chloride -PVC	İşlenmesine bağlı
Low-density polyethylene - LDPE	Uygun değil
Polypropylene-PP	Uygun
Polystyrene -PS	Uygun değil

Kimyasal yöntemlerle sterilizasyon işlemleri aslında dezenfektanların yoğun miktarda kullanılmasıyla sağlanır. Dezenfektanların başında her laboratuvarında kullanılan alkoller gelmektedir. Özellikle etil alkol her laboratuvarında kullanılmakla birlikte, mikroorganizmaların yapısındaki proteinlerin denatürasyonu sonrasında fonksiyonlarının bozulmasını sağlamaktadır [1].

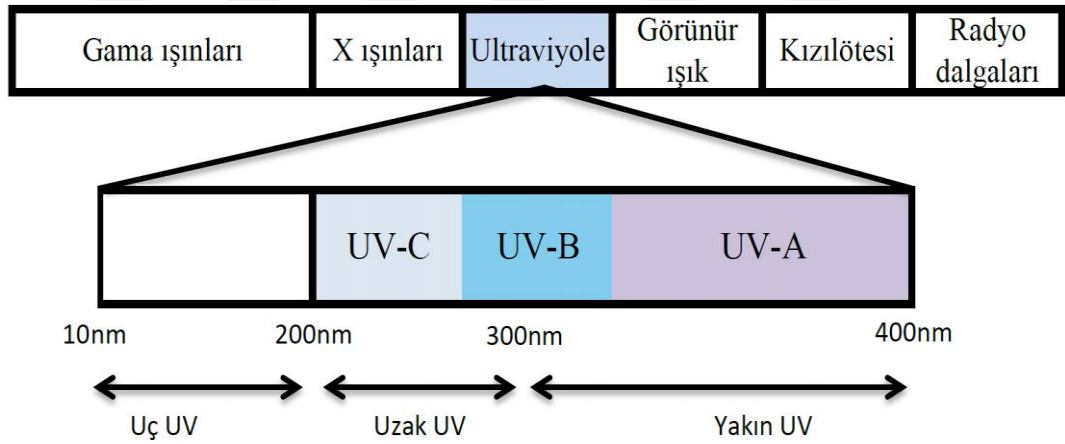
Fiziksel sterilizasyon mekanik sistemler yardımıyla farklı fizik yasalarından yararlanılarak ya da sürekli seyreltme ile sağlanmaktadır. Bu işlemlerden bazıları santifügasyon, filtrasyon ve ultrasonik titreşimlerdir. Eski ve yaygın bir yöntem olan filtrasyon işleminde, istenilmeyen mikroorganizmaların öldürülmesi gerçekleşmez ancak ortamdan uzaklaştırılır. Farklı boyutlardaki gözeneklere sahip filtreler yardımıyla sağlanan bu işlem ısı yöntemler uygulanmadığında kullanılmakla birlikte mikroorganizmaları öldürmediği için gerçek bir biyosidal sayılmamaktadır [1].

Fiziksel yöntemlerdeki en temiz ve artık madde oluşturmayan ışınlama yöntemi kendi içerisinde iyonize etkiye sahip ve iyonize etkisi olmayan olarak iki gruba ayrılmaktadır. İyonize eden ışınlar mutasyona sebep olduklarından dolayı sadece kısa süreli olarak hastalıkların teşhis amacıyla kullanılmaktadır. Devlet kontrolü altında özel kurumlarca

sterilizasyon amacıyla da kullanılmaktadır. İyonize eden ışınlar gama ışınları ve X ışınlarıdır. İyonize etkisi olmayan ışınlar mutasyon etkisi olmayıp birçok yerde sterilizasyon amaçlı kullanılabilir. Bu ışınlar da mikrodalga ışınları ve ultraviyole ışınlar olarak söylenebilir [33-36].

2.3. Ultraviyole Işık Kaynakları

Ultraviyole (UV) ışık, pek çok alanda istenmeyen mikroorganizmaları inaktif etmek amacıyla kullanılmakta olup [37], elektromanyetik spektrumda görünür ışık (360-700 nm) ile X ışını (0.01-10 nm) arasında yer almaktadır (Şekil 2.3). 10-400 nm dalga boyu genişliğe sahiptir. Kendi içerisinde 4 kısma ayrılmıştır. Dalga boyuna göre sırasıyla uç UV (10-200 nm), UV-C (200-280 nm), UV-B (280-315 nm) ve UV-A (315-400 nm) olarak sıralanmaktadır [38]. Kısa dalga boyu ve yüksek enerjiye sahip olan bu ışınlar birçok patojen üzerinde inaktif edici etkiye sahiptir. Bu sebeple kimyasal ve ısıl işlemlerin uygulanmadığı veya risk oluşturduğu durumlar için ikame potansiyeline sahiptir [39].



Şekil 2.3 : UV detaylandırılmış elektromanyetik spektrum dağılımı [39].

UV ışık kaynağı olarak kullanılan bazı lambalar ve genel özellikleri Tablo 2.2’de verilmiştir. Bu lambalardan en yaygın kullanıma sahip olanı, kolay ulaşılabilen ve 254 nm’de sabit bir çıkışı olan düşük basınçlı civa (DBC) lambalarıdır. Yarı iletken teknolojisinin gelişmesi ile birlikte, bu kaynaklara ışık yayan diyot (LED)’de eklenmiştir.

Tablo 2.2 : UV kaynakları ve temel özellikleri [40].

UV ışın kaynağı	Elektrik verimi (%)	UV verimliliği (%)	UV güç yoğunluğu (W/cm ²)	Lamba yüzey sıcaklığı (°C)	Kullanım ömrü (ay)	Çıkış spektrumu
Düşük basınç civa	50	38	0.01	40	18-24	Monokromatik 253.7 nm
Orta basınç civa	15-30	12	-	400-1000	0.5	Polikromatik (200-300 nm)
Zenon	15-20	17	30000	-	1	-
Eksimer	%35	%40	-	ortam sıcaklığı	>6	Tek renkli ayarlanabilir

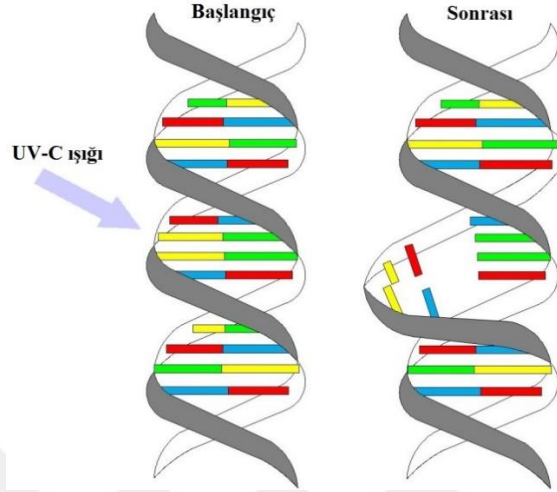
DBC lambaları, yaygın bilinen ismiyle floresan lambalar, istenilen ışık rengi-dalga boyuna göre içerisi gazla doldurulmuş deşarj tüpleridir. İç yüzeyi fosforla kaplanan ve genellikle kuvars camdan oluşan kaynaklarda, içerisinden geçen elektrik akımı sayesinde uyarılmış hale geçen gaz atomları temel hale dönerken ışımaya yaparlar. Pek çok dalgaboyunda yapılan bu ışımalar arasında 254 nm dalga boyunun da bulunması sebebiyle sterilizasyon yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Floresan kaynakları gibi pek çok noktada çıkış vermenin aksine, tek dalgaboyunca çıkış veren LED'ler, ilk olarak trafik ışıklarında kullanılmaya başlamış, sonrasında ev ve sokak aydınlatmaları başta olmak üzere pek çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Sağlık alanında da kullanıma sahip olan LED'lere örnek olarak cilt hastalıklarında ve yeni doğan bebeklerin bekletildiği küvezlerde tedavi amacıyla kullanılan UV LED'ler gösterilebilir.

2.4. UV Işığın Mikroorganizmaya Etki Mekanizması

Ultraviyole ışığın en çok inaktivasyon sağlayan kısmı enerjisi en yüksek olan UV-C kısmıdır. UV-C ışık, DNA moleküllerindeki bağ yapılarına hasar verecek kadar yüksek enerjiye sahiptir (Şekil 2.4). Bu sayede, genetik bilgi aktarımının ve çoğalmanın

sağlandığı alanda tahribat oluşarak mikroorganizmanın çoğalması engellenmektedir. DNA sarmalındaki özellikle Timin bağlarına etki eden ışınlar, bu alanda kalıcı parçalanmaya, timinlerin kendi aralarında dimerler oluşturmasına ve mutasyonlara sebep olur [38, 41, 42].



Şekil 2.4 : UV ışığın DNA sarmalı üzerindeki etkisi [43].

Bununla birlikte, güneşten gelen düşük miktardaki doğal UV ışınlarına direnç göstermeye başlayan mikroorganizmalar, tekrardan aktif olacak bağışıklığı geliştirebilmektedir. Ayrıca DNA'nın kendini onarım mekanizması ufak tahribatları düzeltebilmektedir. Bu sebeple, mikroorganizmada DNA hasarının oluşabilmesi ve hücre ölümü gerçekleşmesi için belirli bir dozun üzerinde ışığa maruz kalması gerekir [44].

Uygulanan UV ışığın birim yüzey alanında soğurulan enerji miktarı optik doz olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir deyişle, optik doz (H_o), ışık kaynağının gücü ve vermiş olduğu ışık yoğunluğu ile etki süresine bağlıdır. Burada mesafeye göre yoğunluk faktörü değişeceği için, mesafe de değişken olarak alınabilmektedir. Optik doz, Denklem 2.1 ile hesaplanır ve birimi J/m^2 'dir.

$$H_o = \int_t E_o \cdot dt \quad (2.1)$$

Bu eşitlikteki E_o ise ışık şiddeti olup, ışık kaynağının optik gücünün (Q) uygulanan alanın büyüklüğüne (S) oranı olarak tanımlanır. Denklem 2.2 ile ifade edilen ışık şiddetinin birimi W/m^2 'dir.

$$E_o = Q/S \quad (2.2)$$

Hedef mikroorganizma ile ışık kaynağı arasında bulunan ve ışığın enerjisinin bir kısmını soğuran bazı maddeler bulunabilir. Doz hesabının doğru yapılabilmesi için, bu maddelerin uygulanan ışığa gösterdiği geçirgenliği belirlenmesi gerekir.

2.5. UV ile Yapılmış İnaktivasyon Çalışmaları

UV ışık kullanılarak yapılan inaktivasyon çalışmalarında etki edilmek istenilen mikroorganizmanın türü, suşu ve kültürü önem arz etmektedir [38]. Ayrıca UV uygulanacak alanın fiziksel özellikleri, içerisinde bulunduğu kabın geçirgenlik miktarı, maddenin bileşimleri, uygulanacak doz miktarı ve hedef mikroorganizmanın UV ışığına hassasiyeti inaktivasyonu etkileyen başlıca sebeplerdendir [45-47]. Bu sebeple çalışmalarda etki edilmek istenilen maddeler benzerlik gösterse de diğer değişkenlerden dolayı gerekli dozlar değişiklik gösterebilmektedir.

İnaktif edilmek istenilen mikroorganizmanın UV ışığına duyarlılığı uygulanacak doz açısından önemli bir parametredir. Mikroorganizmalar yapısal olarak değişikliklere sahip olduklarından dolayı UV'ye karşı dirençleri de farklıdır. İstisnalar bulunsada genel olarak UV ışığına karşı dayanım mikroorganizmalar arasında çoktan aza doğru; virüs, mantar ve bakteriler olarak sıralanabilmektedir. Bakterilerin de kendi arasında gram pozitif olanların gram negatif olanlara göre UV ışığına karşı daha dirençli oldukları bilinmektedir. Mikroorganizmaların UV'ye karşı dayanımları Tablo 2.3'te gösterilmiştir [48].

Tablo 2.3 : Mikroorganizmaların inaktivasyonu için gerekli en düşük ve en yüksek UV dozlar.

Organizma	Mikroorganizma	Düşük doz (J/m ²)	Mikroorganizma	Yüksek doz (J/m ²)
Mayalar	<i>Brewer'in mayası</i>	66	<i>Saccharomyces sp.</i>	176
Bakteri(vegetatif)	<i>Bacillus megatherium</i>	25	<i>Sarcina lutea</i>	264
Bakteri(spor)	<i>Bacillus subtilis</i>	220	<i>Bacillus anthracis</i>	462
Küfler	<i>Oospora lactis</i>	110	<i>Aspergillus niger</i>	3300
Alg	<i>Chlorella vulgaris</i>	220	Mavi yeşil alg	4200
Virüsler	<i>Adeno virüs tip III</i>	45	Tütün mozaik	4400

Steril edilecek ürün bir kap veya ambalaj içerisinde ise inaktivasyon için gerekli doz miktarı değişmektedir. Cam malzemelerin UV geçirgenlikleri oldukça küçük olup, plastik malzemelerin ise yapısına göre değişmektedir. Tablo 2.4'te bazı ambalaj malzemelerin UV geçirgenlik miktarları verilmiştir [49].

Tablo 2.4 : Çeşitli ambalaj malzemelerinin UV-C geçirgenliği (OPP: Oriente polipropilen, PE: Polietilen, PET: Polietilentereftalat, CPP: Cast polipropilen, PP: Polipropilen, BG: Bone guard, PA: Poliamid) [49].

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

Yüzey ve hava sterilizasyonu için UV-C yöntemi hastane ortamlarında ve laboratuvarlarda havada serbest dolaşan mikroorganizmaların inaktivasyonu için kullanılmaktadır. Bu amaçla uzun yıllardır hastanelerde UV ışık kaynağı olarak DBC lambalar kullanılmaktadır [50]. Hastane ortamlarında bulunan farklı mikroorganizmalarla yapılan deneysel çalışmalara ait sonuçlar Tablo 2.5'te verilmiştir.

Tablo 2.5 : Hastane ortamındaki çeşitli mikroorganizmalar için yapılmış olan yüzey sterilizasyon uygulamaları.

Mikroorganizma	Uygulanan doz	İnaktivasyon miktarı	İncelenen ürün	Referans
Vankomisin Dirençli Enterokoklar	15.54 mW/cm ² 45 saniyede	100%	koyun kanlı besiyerinde	[51]
Metisilin Dirençli <i>Stafilokok Aureus</i>	1 mWs/cm ² 15 dakikada	4.1 log	bir oda yüzeyinde	[52]
<i>Clostridium Difficile</i> ve Metisilin Dirençli <i>Stafilokok Aureus</i>	22 mWs/cm ² 45 dakika	>2-3 log	hastane odası yüzeyinde	[53]
Metisilin Dirençli <i>Stafilokok Aureus</i>	22 mWs/cm ² 49 dakika	>4 log	ameliyathane ortamında	[54]
Metisilin Dirençli <i>Stafilokok Aureus</i>	1 mW/cm ² 15 dakikada	>4 log	ameliyathane ve yoğun bakım odalarındaki metal yüzeylerde	[55]

Sıvı olarak tüketilen ve ısı yöntemlerinin mümkün olmadığı ürünlerin sterilizasyonu için UV ışığın kullanımı oldukça etkili bir alternatif yöntemdir. Ev, fabrika ve endüstriyel su ve süt üzerinde yoğunlaşan çalışmalarda yüksek UV dozları kullanılmaktadır [56]. Su ve süt üzerinde bulunan çeşitli mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerine UV ışık ile yapılan çeşitli deneysel çalışmaların bulguları Tablo 2.6’da verilmiştir.

Tablo 2.6 : Farklı sıvı ortamlardaki mikroorganizmalar için yapılmış olan sterilizasyon uygulamaları.

Mikroorganizma	Uygulanan doz	İnaktivasyon miktarı	İncelenen ürün	Referans
<i>Escherichia coli</i>	54 J/cm ² (365 nm)	>3.1 log	Su üzerinde	[57]
<i>Escherichia coli</i>	9 mJ/cm ² (255 nm)	2.7 log	Mikroorganizma üzerinde	[58]
<i>Escherichia coli</i>	20 mJ/cm ² (265 nm)	3.4 log	Su üzerinde	[59]
<i>Escherichia coli</i>	54 J/cm ² (365 nm)	3.9 log	Su üzerinde	[60]
<i>Bacillus subtilis</i>	40 mJ/cm ² (269 nm)	5.9 log	Su üzerinde	[61]
<i>Sitomegalovirüs</i>	114 mJ/cm ² (254 nm)	>%99	Süt üzerinde	[62]
<i>Escherichia coli</i>	14.9 J/cm ² (xenon)	3.4 log	Süt üzerinde	[63]

Sterilizasyon uygulamalarında kullanılan UV-C yöntemi, gıdalarda derinlere nüfuz edememesinden dolayı yüzeydeki mikrobiyal kontrolü sağlama ve gıdaların raf ömrü uzatma amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır [44].

Tablo 2.7 : Farklı gıdalar üzerindeki mikroorganizmalar üzerinde yapılmış olan UV uygulamaları.

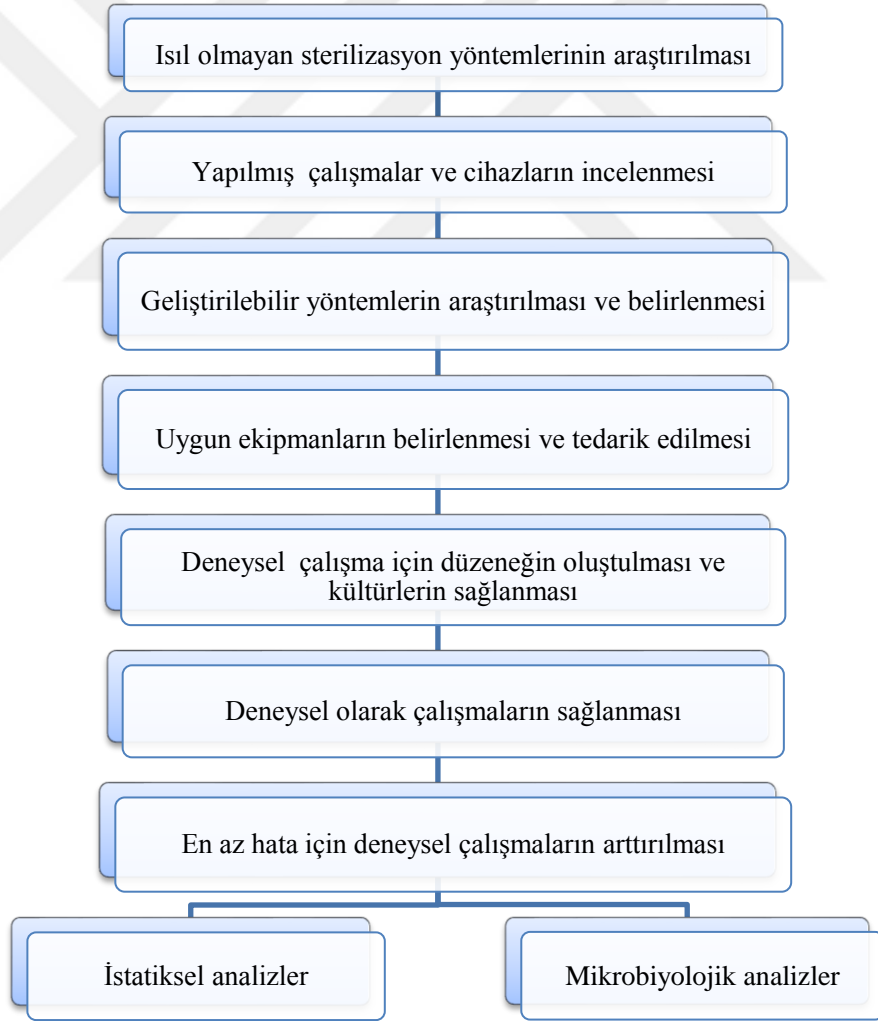
Mikroorganizma	Uygulanan doz	İnaktivasyon miktarı	İncelenen ürün	Çalışma
<i>Penicillium expansum</i>	3.3 kJ/m ²	2.8 log	Ahududu üzerinde	[64]
<i>E. coli</i> O157:H7	11.9 kJ/m ²	2.9 log	Elma üzerinde	[65]
<i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i>	2.59 J/m ²	5 log	Elma suyu üzerinde	[66]
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> KE162	1720 mJ/cm ²	3.9-4.3 log	Mandalina-portakal suyu üzerinde	[67]
<i>Escherichia coli</i> K-12	9.92 J/cm ²	5.34 log	Beyaz üzüm suyu üzerinde	[68]
<i>Salmonella enteritidis</i>	9.22 J/cm ²	5.3 log	Yumurta beyazı ve sarısı üzerinde	[69]

Sterilizasyon yöntemlerinin avantajlarının yanında oluşturduğu istenmeyen durumlarda mevcuttur. Özellikle gıdalar üzerinde oluşan olumsuz etkilerinden dolayı yüksek oranlarda ışık uygulanmamaktadır. Yağ içeren gıdalarda oksidasyon sebebiyle lezzetinde değişimler uygulanan UV'nin dozuyla doğru orantılı şekilde artmaktadır [70, 71].

Gıdalar üzerinde yapılan çalışmalarda antioksidan madde miktarı, vitamin kayıpları, koku ve tat gibi duyuşal değişikliklerin yanı sıra renk ve dokusal değişimler olumsuz sonuçlar oluşturabilmektedir [72, 73]. Bu sebeple mikrobiyal kontrolün sağlandığı ve inaktivasyon için uygulanan UV ışığın dozunun amaca uygun olarak, titizlikle belirlenmesi gerekmektedir. Farklı gıdalar üzerindeki mikroorganizmaların UV-C inaktivasyonu üzerine yapılan bazı deneysel çalışmaların sonuçları Tablo 2.7'de verilmiştir.

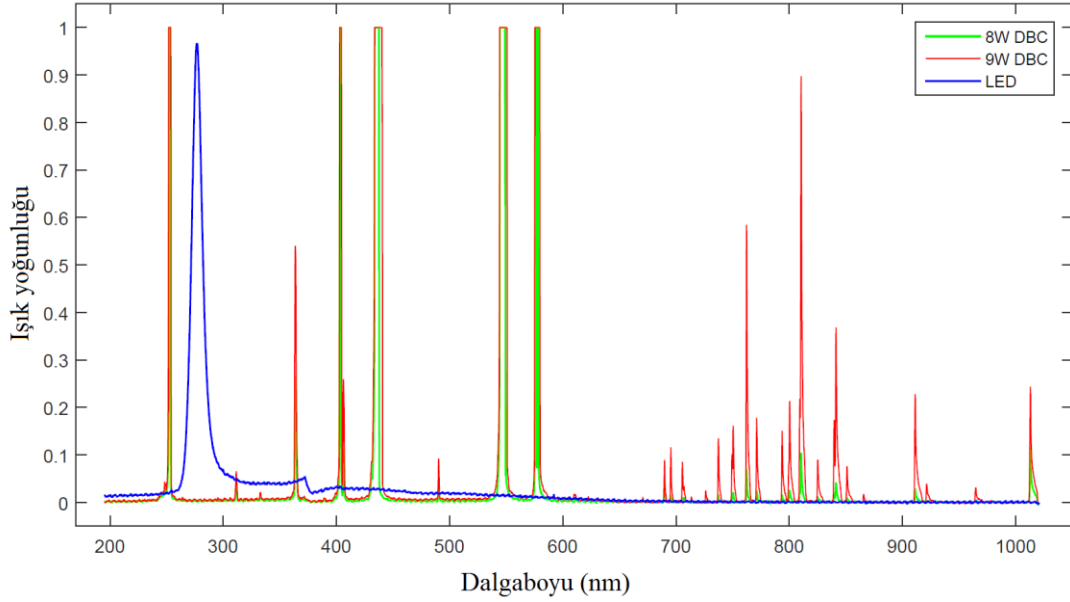
3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, UV sterilizasyon yöntemlerinin yeni teknoloji ile geliştirilebilir yönlerinin detaylı bir şekilde araştırılıp ortaya konması amaçlanmıştır. Oluşturulan yeni deneysel tasarım ile yüzeylerde ve havadaki aseptik ortamın sağlanması için gerekli ışık dozunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca deneyler farklı ışık kaynaklarıyla tekrar edilerek, farklı kaynakların kullanımının etkilerinin ortaya konması da çalışmanın amaçlarından birisidir. Çalışmaya ait akış şeması Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 : İzlenen çalışma süreci.

Bu çalışmada mikroorganizma olarak Sakarya Üniversitesi Biyoloji bölümü Mikrobiyoloji araştırma laboratuvarı mikroorganizma kültür koleksiyonundan sağlanan *Escherichia coli* ATCC 25922, *Staphylococcus epidermidis* ATCC12228 ve *Candida albicans* ATCC1029 suşları kullanılmıştır.



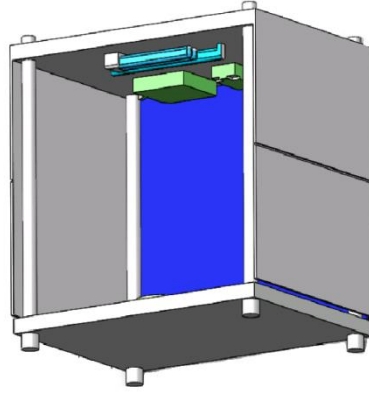
Şekil 3.2 : Işık kaynaklarının spektrum dağılımları (Yeşil 8W, kırmızı 9W, mavi LED).

UV Işık kaynakları olarak; düşük basınç civa lambalar için Puritec HNS S 9W G23, Puritec HNS 8W G5 G5 (Osram, Almanya) ve LED için Prolight PBSG – 1FLA-C (ProLight OPTO, Çin) kullanılmıştır. Işık kaynaklarına ait devre ve elektronik ekipmanlar Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Biyomedikal laboratuvarında birleştirilmiş ve devre besleyici olarak özel akım devresi ihtiyacı TTi EL302RT üçlü çıkış veren güç kaynağı ile sağlanmıştır. Kullanılan ışık kaynaklarına ait dalga boyu spektrumları Şekil 3.2’de verilmiştir.

3.1. Deney Düzenekleri

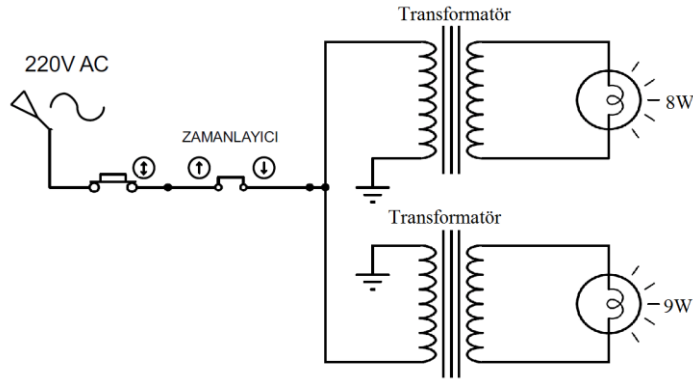
3.1.1. DBC düzeneği

Düzenekte, petri kabının yerleştirileceği kısım ile ışık kaynakları arasındaki mesafeni ayarlanabilir olması önemli olduğu için buna uygun bir tasarım geliştirilmiştir. Geliştirilen tasarıma ait, Solidworks 2018 programı ile yapılan çizim Şekil 3.3’te verilmiştir.



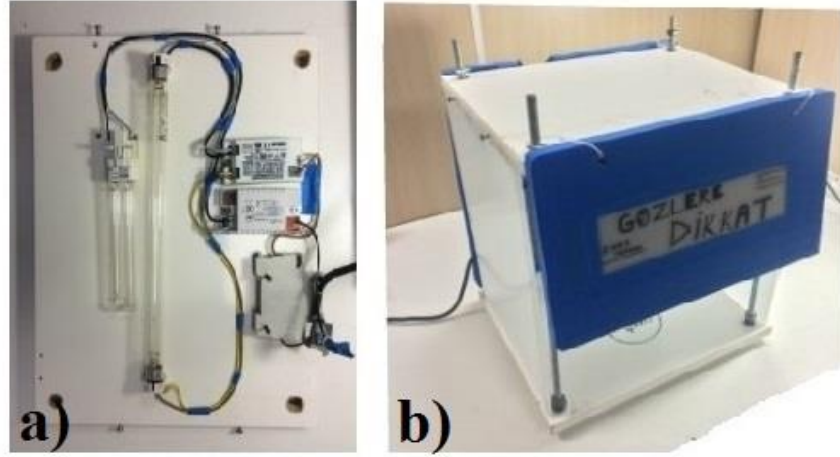
Şekil 3.3 : DBC lambalı deney düzeneği tasarımı

Deney düzeneği kurulmadan önce, DBC lamba için sürücü devresi tasarlanmıştır. Proteus 8.0 programı ile hazırlanmış olan sürücü devre tasarımı Şekil 3.4'te verilmiştir.



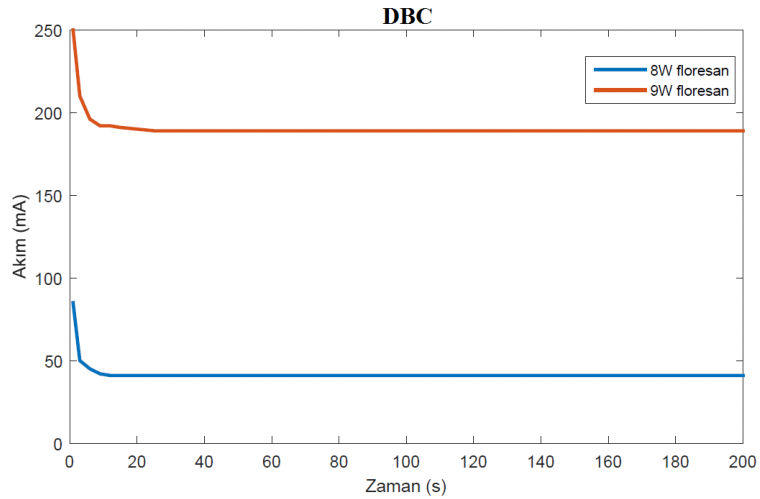
Şekil 3.4 : DBC düzeneğin elektriksel şeması

Işığın düzgün yayılımı için 8W ve 9W floresan kaynakları düzeneğin üst kısmına birbirine uygun aralıklarla yerleştirilmiştir. 8W floresan çift sonlu olduğu için 2 tane bağlantı ayağı floresan boyuna göre tavana sabitlenmiş, 9W lamba için ise G23 tipindeki bağlantı ayağı tavana sabitlenmiştir. Floresanların beslemeleri için gereken elektrik enerjisi dönüşümü için transformatör kullanılmıştır. Sabitlenen ayaklardan transformatörlerdeki uygun besleme noktalarına kablo yardımıyla bağlantı sağlanmıştır. Anahtarlama elemanı için transformatörler sigorta aracılığıyla 220 V güç kaynağı bağlantısı yapılmıştır. Oluşturulan düzeneğin aşamaları ve son hali Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5 : DBC lambalı deney düzeneği (a. iç bağlantılar, b. genel görünüm)

Işık kaynaklarının yaydıkları ışık şiddeti, üzerinden geçen akıma bağlı olup akımda meydana gelecek bir değişiklik ışık şiddetinde ve dolayısıyla optik dozda farklılığa sebep olabilmektedir. Bu sebeple, tüm petri kaplarına uygulanan ışık dozunun istenilen değerde olması için lambaların kullanmış oldukları akımlar belirli süreler boyunca ölçülmüştür. Düzenek çalışırken DBC lambalarının üzerinden geçen akım şiddetlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 3.6'da verilmiştir.

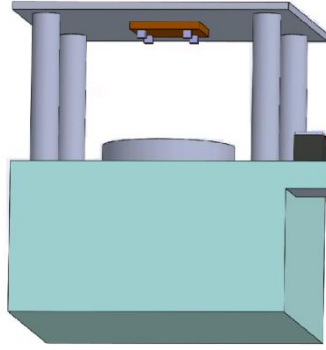


Şekil 3.6 : DBC lambaların zamana bağlı üzerinden geçen akım şiddeti

Devre çalıştırılmaya başladığı ilk anlarda akımda değişimler görülmekle birlikte belirli bir süre sonunda lambalar üzerinden geçen akım şiddetlerinin kararlı bir hal aldıkları görülmektedir. Bu yüzden petrilere UV ışık uygulaması öncesinde akım değerlerinin kararlı seviyelere ulaşması için, örnekler yerleştirilmeden yeterince süre çalıştırılmıştır.

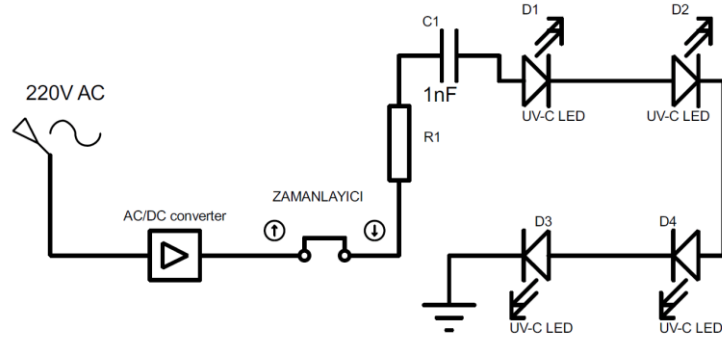
3.1.2. LED düzeneği

LED ile yapılacak deneyler için özgün bir tasarım yapılmış olup, tasarıma ait Solidworks çizimleri Şekil 3.7’de verilmiştir. Elektronik devre tasarımında ışıkların büyük çoğunluğunun eşit şekilde petriye düşmesi için uygun tasarım yapılmıştır. 120°’lik açıyla çıkış veren LED’lerden 8 cm mesafeden en az kayıp ile petriye ışık uygulanacak şekilde tasarım yapılmıştır.



Şekil 3.7 : LED’li deney düzeneği tasarımı.

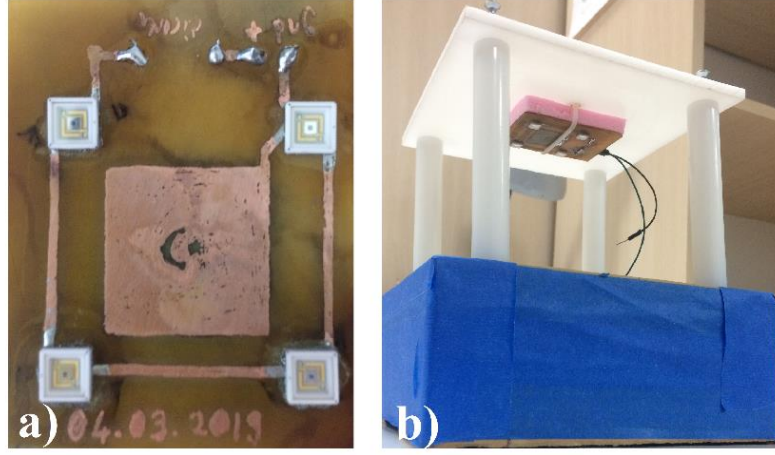
LED ile yapılacak olan deney düzeneğinin elektronik bağlantıları Proteus 8.0 programı ile tasarlanmış (Şekil 3.8) ve ön kontroller yapılmıştır.



Şekil 3.8 : LED düzeneğin elektriksel şeması

1W gücündeki 4 LED’le hazır devre kurmak ve besleme yapmak için gerekli elektronik hesaplamalar yapıp, kullanılacak elemanlar belirlenerek gerçekleştirilmiştir. Uygun devre Proteus 8.0 programında çizilmiş ve Şekil 3.9a’daki gibi basılmıştır. Bağlantıları kontrol edildikten sonra devre elemanları yerlerine sabitlenmiştir. Hedef noktaya iletilen

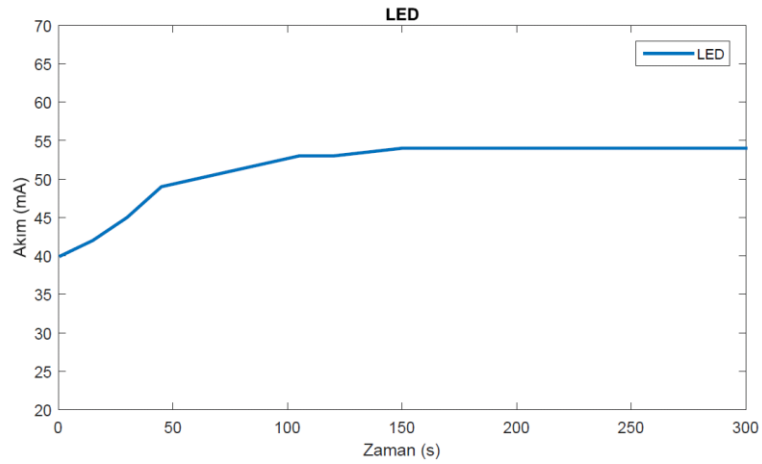
ışık şiddetinin maksimum olabilmesi için LED'ler 30 mm kenara sahip karenin köşelerine yerleştirilmiştir.



Şekil 3.9 : LED'li deney düzeneği.

Dış iskeleti oluşturan Polietilen malzemeler birleştirilmiş ve yapılan devre tavan kısmına eklenmiştir, ve düzenek bir platform üzerine yerleştirilmiştir. Oluşturulan düzeneğin son hali Şekil 3.9 (b)'de verilmiştir.

Düzenek çalışırken LED'lerin üzerlerinden geçen akım şiddetlerinin zamana bağlı değişimleri Şekil 3.10'da verilmiştir. DBC lambalı düzenekte olduğu gibi LED düzeneğinde de devredeki akımın kararlı bir hal alması için belirli bir sürenin geçmesi gerektiği görülmektedir. Bu sebeple, bu düzenek de örnekler yerleştirilmeden önce bir süre çalıştırılarak akımın kararlı değere ulaşması sağlanmıştır.

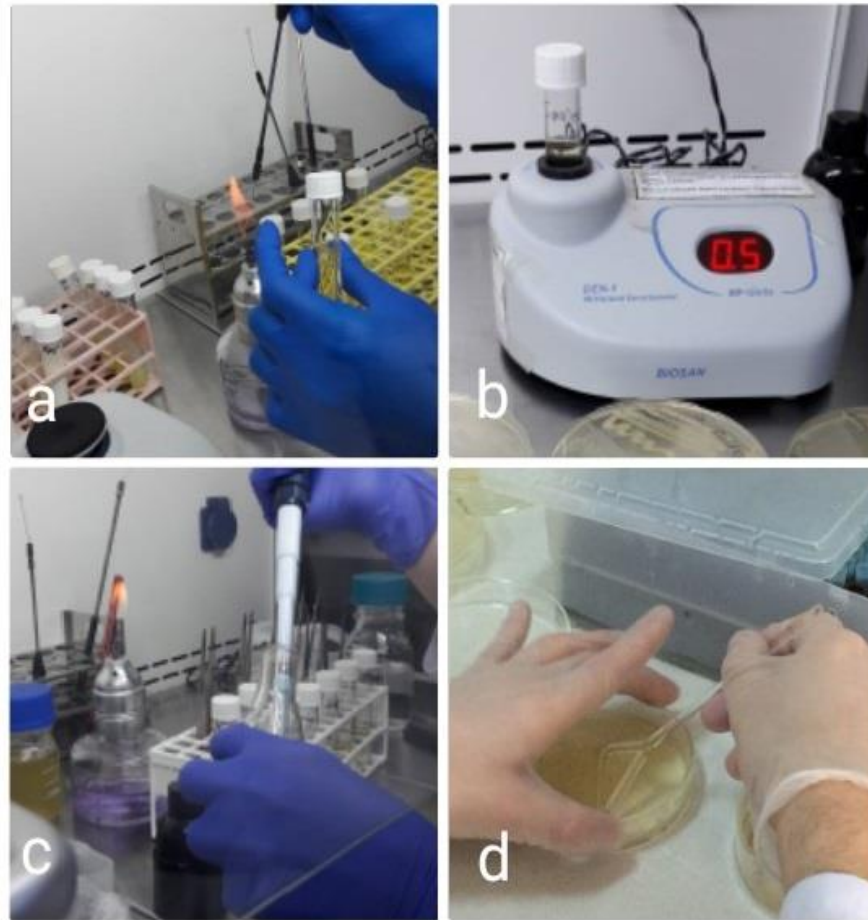


Şekil 3.10 : LED'lerin zamana bağlı üzerinden geçen akım şiddeti

3.2. Bakteri Kùltürlerini Hazırlanması

Triptik Soy Broth besiyerine inokule edilen mikroorganizma suşları 24 saat boyunca 37°C de inkübe edildi. Hazırlanan suşlardan densitomer (BİOSAN DEN-1) cihazıyla ortalama 0.5 McFarland (10^8 CFU/mL) yoğunluğuna ayarlanan süspansiyonlardan dilüsyon serileri hazırlanmıştır ($10^8:10^3$ CFU/mL).

10^3 CFU/mL yoğunluğundaki mikroorganizma suşlarında 0.1 mL alınarak petrilere drigalski özesi yardımıyla yayma ekim yapılmıştır. *E. coli* ve *S. epidermidis* için Nutriend Agar, *Candida albicans* için Sabouraud Agar kullanılmıştır. Mikroorganizmaların ekimi için geçirilen aşamalar Şekil 3.11’de verilmiştir. Analiz için 0-300 koloniye sahip plakalar incelenmiş ve tüm deney grupları 3 paralel olarak çalışılmıştır.



Şekil 3.11 : Mikroorganizmaların ekimi ve eldesi (**a.** Mikroorganizma suşlarının aktifleştirilmesi **b.** 0.5 McFarland bakteri yoğunluğunun ayarlanması **c.** Bakteri süspansiyonundan 0.1 mL petriye inokule edilmesi **d.** Drigalski özesiyle yayma ekimi gerçekleştirilmesi).

3.3. *In Vitro* Koşullarda UV-C Uygulaması

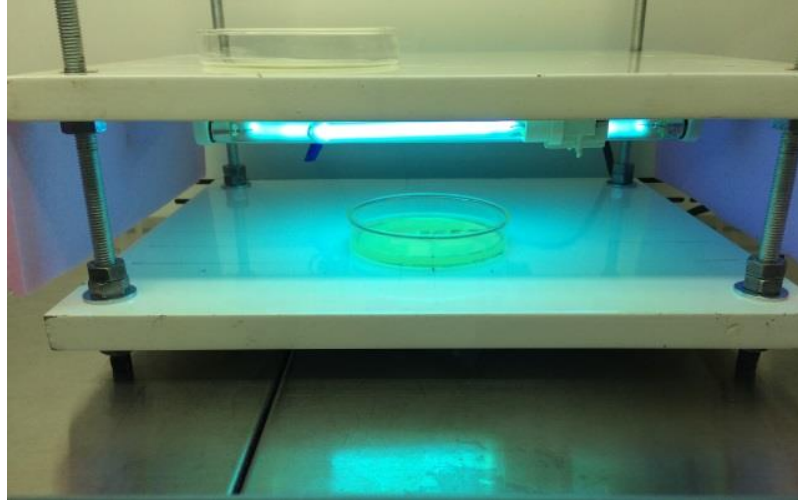
Işın uygulamaları steril kabin içerisinde gerçekleştirilmiştir. Aseptik ortamın sağlanması için deney düzenekleri kabin içerisine girmeden önce etil alkol ile steril hale getirilmiştir. Elektriksel besleme cihazları kabin dışında tutulmuş ve kablolar yardımıyla içeriye elektriksel besleme sağlanmıştır. Mikroorganizma ekimi yapılan petri kabin içerisinde 15-20 dakika bekletilerek mikroorganizmaların yerleşmesi sağlanmıştır. Her işlem steril şartlara uygun şekilde, kontaminasyona sebep olan etmenler göz önüne alınıp uygulanmıştır. UV-C uygulanan petri kabin olarak inkübatöre aktarılmıştır. İnaktivasyon doz düzeyleri yapılan ön denemelerden sonra saptanmış ve uygun doz aralıkları belirlenmiştir.

Tablo 3.1 : LED ve DBC ile uygulanan dozlar ve süreleri.

DBC		LED	
süre (s)	doz (mJ/cm ²)	süre (s)	doz (mJ/cm ²)
3	0.40	15	0.09
6	0.80	30	0.18
9	1.2	45	0.27
12	1.59	60	0.36
15	1.99	75	0.45
20	2.66	90	0.54
25	3.32	105	0.63
30	3.98	120	0.72

3.3.1. DBC ile UV-C uygulaması

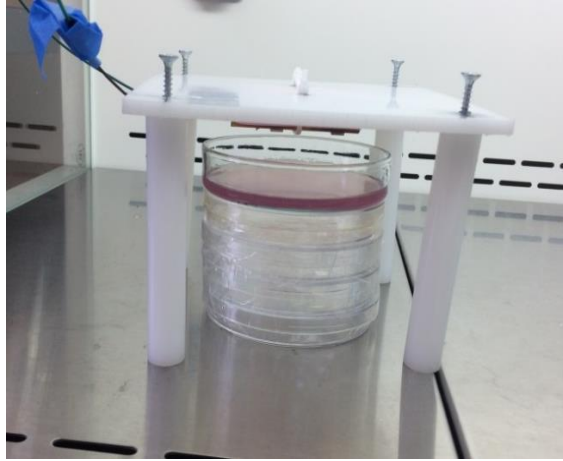
Floresan kaynakları ile oluşturulan düzenekte petri kaplarının işlem esnasındaki yerleri önceden belirlenmiştir. Mikroorganizma ekimi gerçekleştirilen petri kabin hedef noktasına koyulmasının ardından uygulama öncesinde petri kabin kapakları açılmış ve 0-3.98 mJ/cm² doz aralığında ışık petri kabin verilmiştir (Şekil 3.12). Deneyde uygulanan optik dozlar ve karşılık gelen süreler Tablo 3.1’de verilmiştir. UV uygulamasının ardından petri kabin kapakları kapatılarak inkübatöre konulmuştur.



Şekil 3.12 : DBC ile petriye UV ışık uygulaması.

3.3.2. LED ile UV-C uygulaması

Petriler platformdaki uygun yerde işleme hazır hale geldikten sonra kapak açılmış ve 0-0.72 mJ/cm² doz aralığında ışık uygulanmıştır (Şekil 3.13). İşlemler sonrasında petrilerin kapakları kapatılıp inkübatöre aktarılmıştır. Deney esnasında uygulanan optik dozlar ve ilgili uygulama süreleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

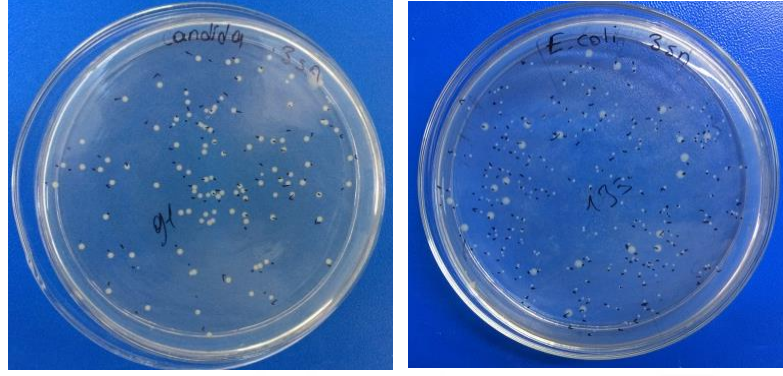


Şekil 3.13 : LED ile petriye UV ışık uygulaması.

3.4. Koloni Sayımı

UV uygulamalarından sonra *E. coli* ve *S. epidermidis* 24 saat süreyle 37°C’de, *C. albicans* ise 48 saat süreyle 30±2°C’de inkübe edilmiştir. Kolonilerin oluşması için yeterli süre beklenmesinin ardından kontrol kapları ile UV uygulanmış tüm petriler

steril kabin içerisine alınmaktadır. Tüm petrilerdeki koloni sayımları kısa süre içerisinde hızlı şekilde gözle yapılmıştır. Besiyeri ile mikroorganizma kolonilerinin rengi ayırt edilebilir şekilde olduğu için bu yöntem en az hata ile sağlanabilmiştir (şekil 3.14).



şekil 3.14 : Petri üzerinde sayıma hazır koloniler.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

UV ışığın mikroorganizmalar üzerindeki etkileri, mikroorganizmalar arasındaki yapısal farklılıklara ve etki etmesi beklenen makromoleküllerin hücre kompozisyonundaki bulunduğu yere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada farklı türdeki *E. coli*, *S. epidermidis* ve *C. albicans*'ın katı besiyeri üzerine ekimi yapılarak DBC ve LED kaynaklar kullanılarak UV ışığı uygulanmış ve mikroorganizmaların inaktivasyon düzeyleri araştırılmıştır.

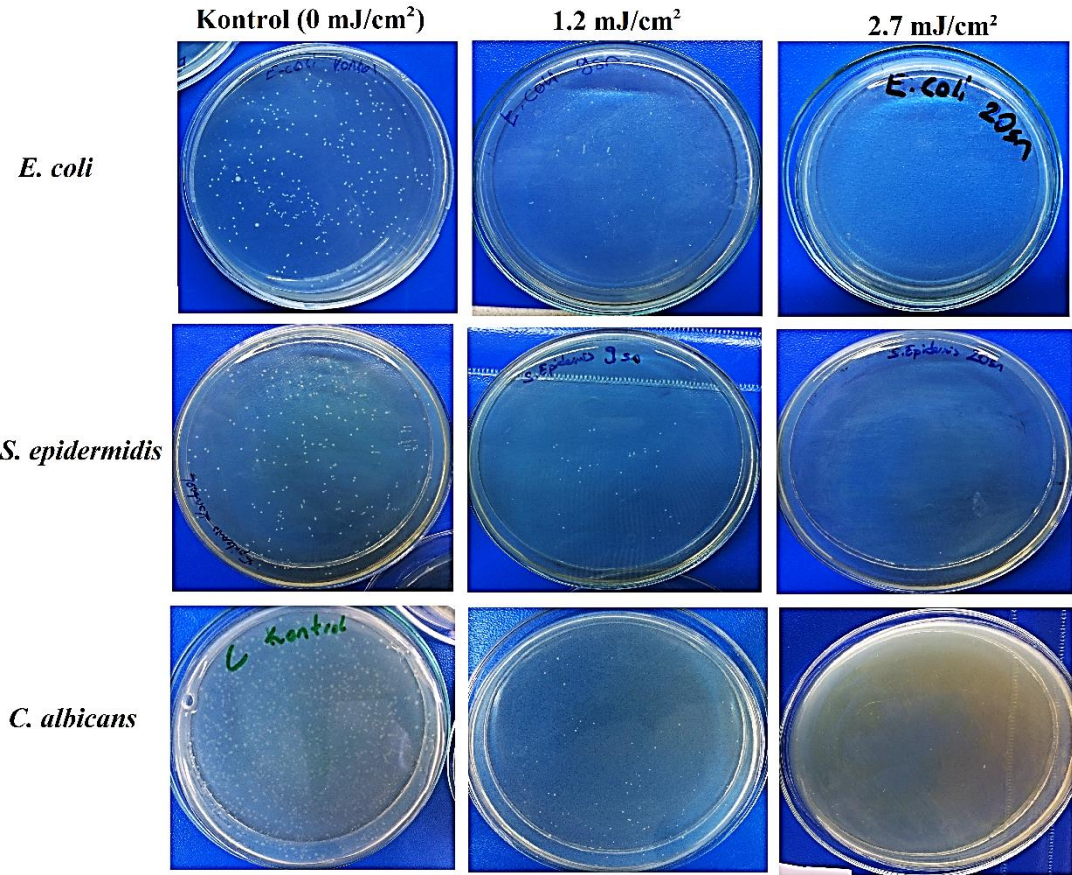
4.1. DBC'li Düzenekle İnaktivasyon Düzeyleri

DBC kullanılarak oluşturulan düzenekte, her mikroorganizma türü için 4 mJ/cm² değerine kadar 8 farklı doz uygulanmıştır. Her bir dozun ardından canlılığını sürdüren mikroorganizma sayıları belirlenmiştir. *E. coli*, *S. epidermidis* ve *C. albicans* bulunan petrilere 1.2 mJ/cm² ve 2.7 mJ/cm² dozlar uygulandığında kontrol grubuna kıyasla meydana gelen koloni değişimleri görsel olarak Şekil 4.1'de verilmiştir.

Kontrol grubundaki yaşayan koloni sayısı (S_o) ve UV ışık uygulanmış olan petrileredeki koloni sayısı (S_t) kullanılarak her bir deney grubundaki petrilere için canlılık oranları ($\Delta_{\%}$) belirlenmiştir. Bu bağlamda canlılık oranı;

$$\Delta_{\%} = 100 - \left(\frac{S_t}{S_o} \times 100 \right) \quad (4.1)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır.



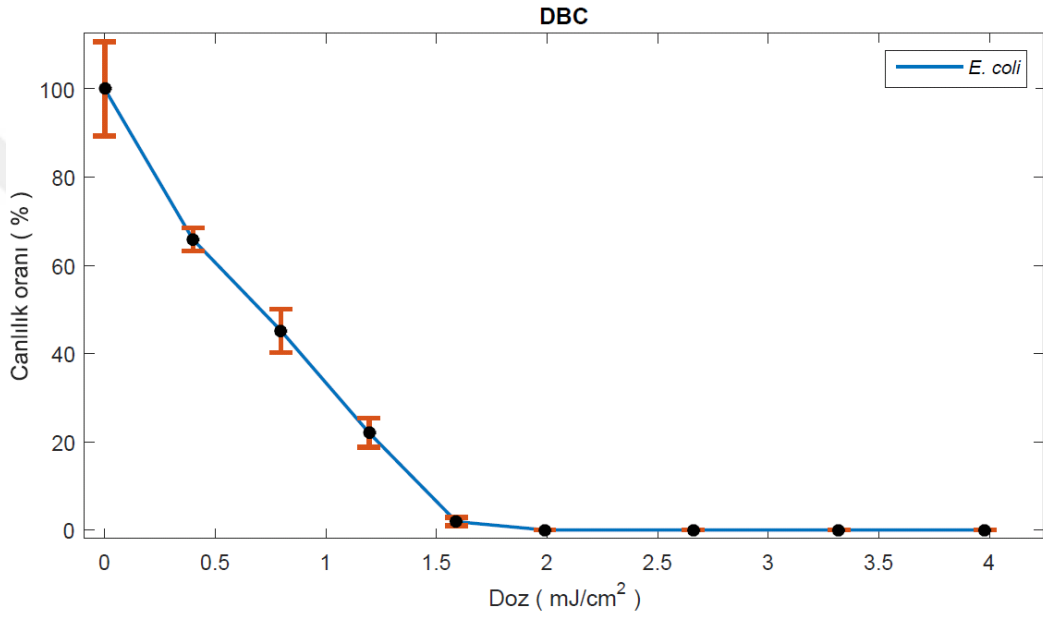
Şekil 4.1 : DBC'li düzenekte farklı optik dozlar uygulanmış petrilerdeki koloniler.

DBC lamba düzeneği ile uygulanan tüm UV dozların ardından belirlenen mikroorganizmaların canlılık oranları Tablo 4.1'de verilmiştir. Koloni sayılamayan petriler NA olarak belirtilmiştir.

Tablo 4.1 : DBC lamba düzeneğiyle uygulanan doza göre canlılık oranları

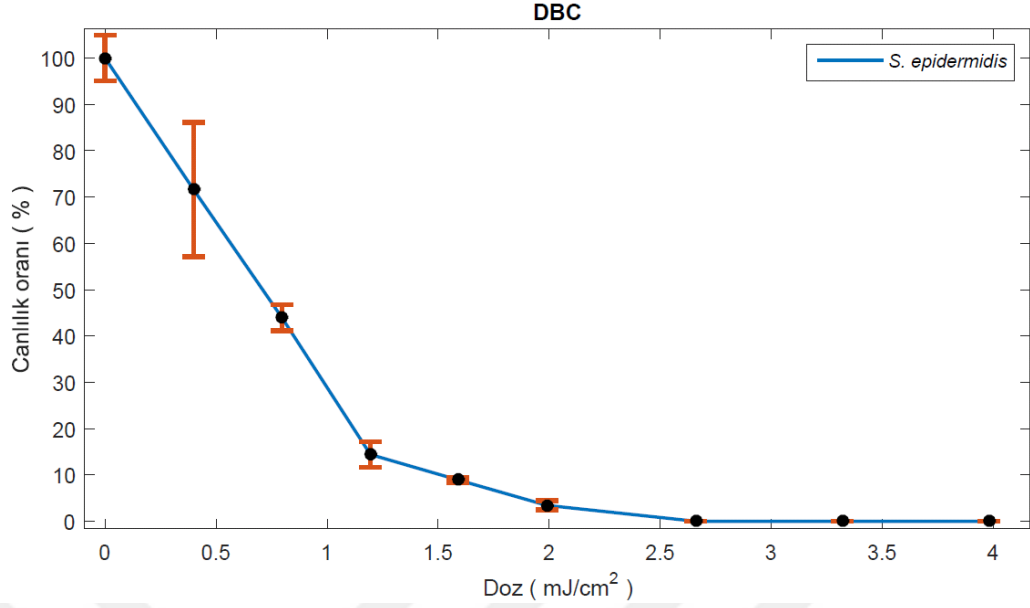
Uygulama süresi (s)	UV-C doz (mJ/cm ²)	DBC					
		<i>C. albicans</i>		<i>E. coli</i>		<i>S. epidermidis</i>	
		Canlılık (%)	S.S. (+/-)	Canlılık (%)	S.S. (+/-)	Canlılık (%)	S.S. (+/-)
0	0	100	2.0	100	10.7	100	4.9
3	0.4	50.3	3.5	65.9	2.6	71.6	14.5
6	0.8	25.7	3.4	45.2	4.9	43.9	2.8
9	1.2	16.4	0.3	22.0	3.3	14.4	2.7
12	1.6	12.3	0.2	1.9	0.9	8.9	0.5
15	2.0	5.8	1.9	0	NA	3.4	1
20	2.7	0.4	0.4	0	NA	0	NA
25	3.3	0	NA	0	NA	0	NA
30	4.0	0	NA	0	NA	0	NA

Gram negatif *E. coli* literatürdeki verilere göre UV ile kolay inaktif olan mikroorganizmalardan birisidir [58]. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar bu literatür bilgisiyle uyumlu olup, *E. coli*'nin düşük basınçlı civa kaynağı ile çok hızlı şekilde inaktif olduğu görülmüştür. Düşük basınçlı civa lambalarının vermiş olduğu 1.59 mJ/cm² UV-C dozla %98.12 inaktivasyon sağlanmış, 1.99 mJ/cm² ve daha yüksek dozlarda UV ışın kullanıldığında ise mikroorganizmaların %100'ünün inhibe olduğu gözlemlenmiştir. Uygulanan UV dozuna bağlı olarak *E. coli*'nin canlılık oranları değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir.



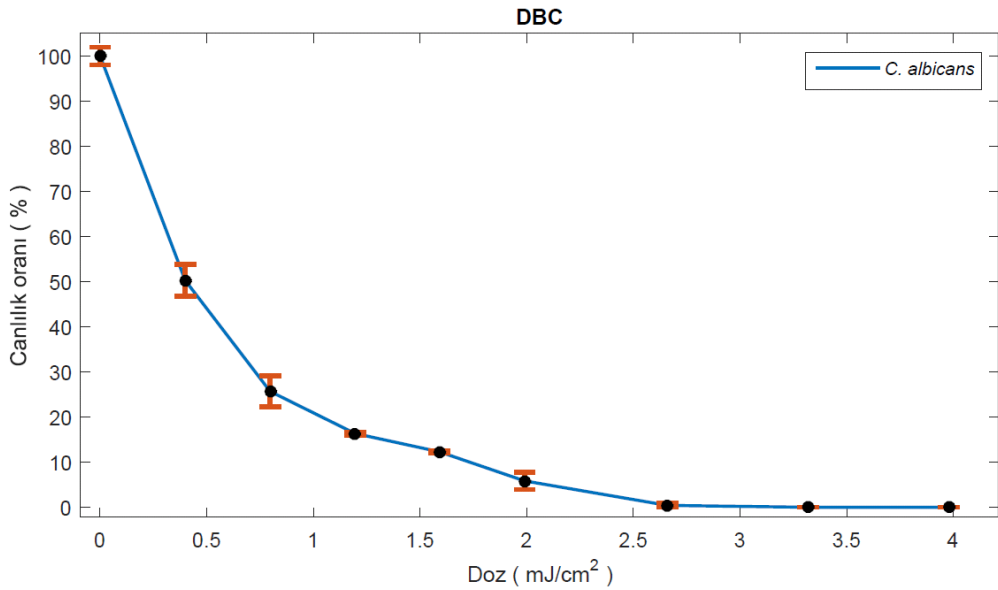
Şekil 4.2 : DBC ile uygulanan doza göre *E. coli*'nin canlılık oranı.

Gram pozitif *S. epidermidis*, cilt üzerinde ve hastane ortamında bulunan ve protez cihazlarıyla ilişkili enfeksiyonda sıkça karşılaşılan bakteriler arasında olup, bu bakteri için petriyelerde bulunan koloni sayılarının optik doza bağlı değişimi yüzdesel olarak Şekil 4.3'te verilmiştir [74]. 2 mJ/cm² doza sahip UV ışığı *S. epidermidis* buluna petri kabına uygulandığında bakterilerin %96.56 inaktivasyon sağladığı görülmüştür. Uygulanan 2.66 mJ/cm² doz ile tamamen inaktivasyon sağladığı görülmüş olup, 2.66 mJ/cm² UV ışığından daha yüksek dozlarda da her hangi bir koloni gelişimi gözlenmemiştir.



Şekil 4.3 : DBC ile uygulanan doza göre *S.epidermidis*'in canlılık oranı

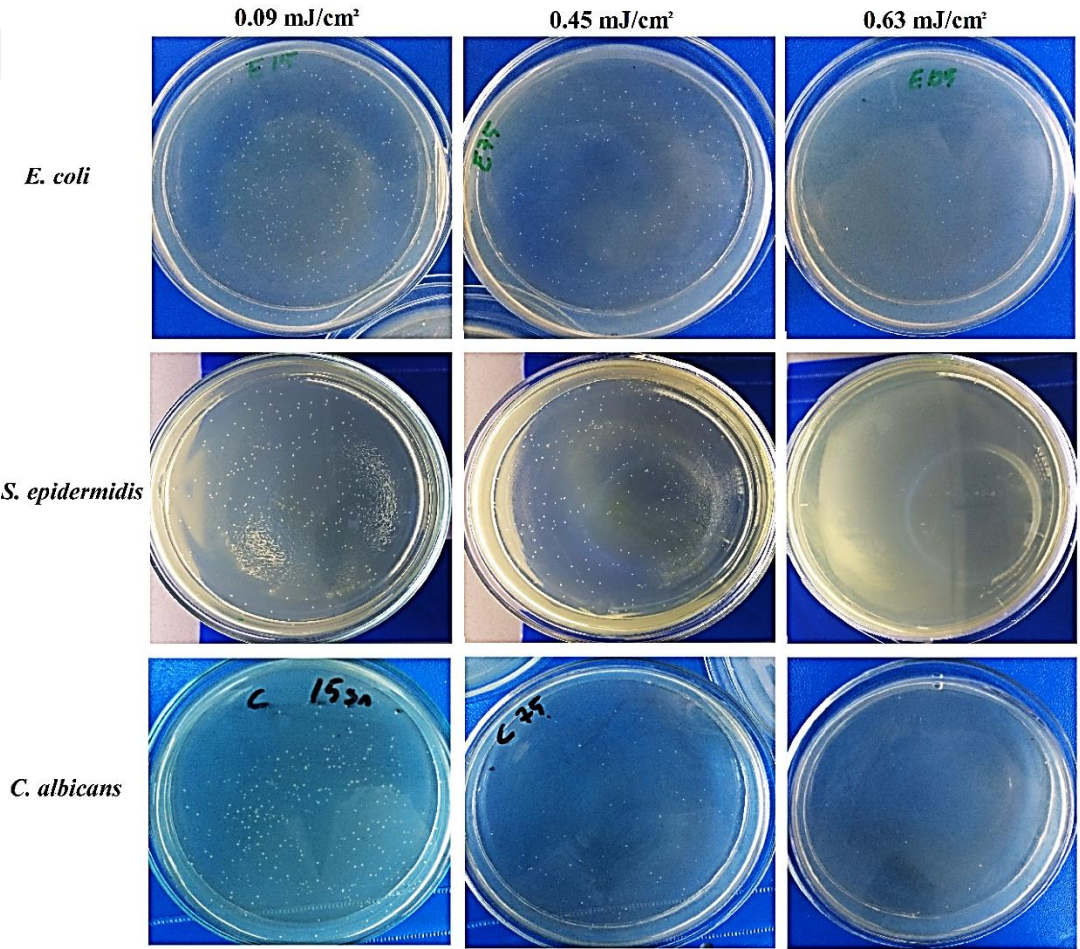
Bir maya mantarı türü olan *C. albicans* üzerinde DBC lamba ile yapılan inaktivasyon uygulaması sonucunda petrielerde bulunan kolonilerin canlılık oranları optik dozun bir fonksiyonu olarak Şekil 4.4'te verilmiştir. *C. albicans* üzerinde 2.66 mJ/cm² UV dozunun %99.59 inktivasyon sağladığı, uygulanan 3.32 mJ/cm² dozun ise petrilerdeki *C. albicans*'ı tümüyle inaktif ettiği görülmüştür. Daha yüksek değerlerde UV uygulanmış petrielerde de *C. albicans* gelişimi gözlenmemiştir.



Şekil 4.4 : DBC ile uygulanan doza göre *C. albicans*'ın canlılık oranı

4.2. LED'li Düzenekle İnaktivasyon Düzeyleri

UV-C dalgaboyu aralığında optik çıkışı olan LED'lerin üretimi veya kullanımı pek yaygın olmayıp, bu çalışmada kullanılan LED'ler 278 nm dalga boyuna sahiptir. DBC lambaya kıyasla ışık şiddeti daha düşük olduğundan, istenilen optik dozu elde edebilmek için uygulama sürelerinin daha uzun olması gerekmiştir. Örnek olarak 0.09, 0.45 ve 0.63 mJ/cm² doz uygulanmış petriplerdeki *E. coli*, *S. epidermidis* ve *C. albicans* kolonilerindeki canlılık durumu, Şekil 4.5'te verilmiştir. Deneylede uygulanan tüm UV dozların sonrasında mikroorganizmalar için belirlenen canlılık oranları Tablo 4.2'de verilmiştir.

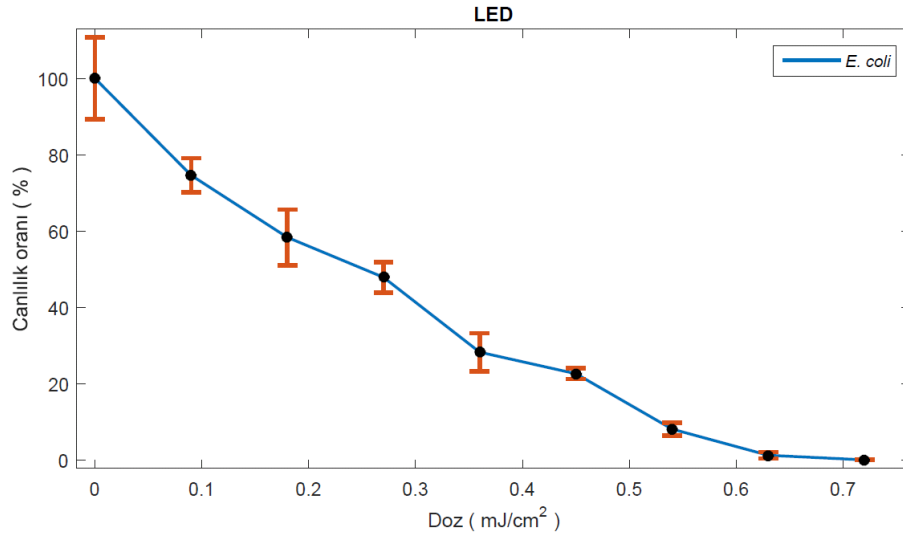


Şekil 4.5 : LED'li düzenekte farklı optik dozlar uygulanmış petriplerdeki koloniler.

Tablo 4.2 : LED düzeneğiyle uygulanan doza göre canlılık oranları.

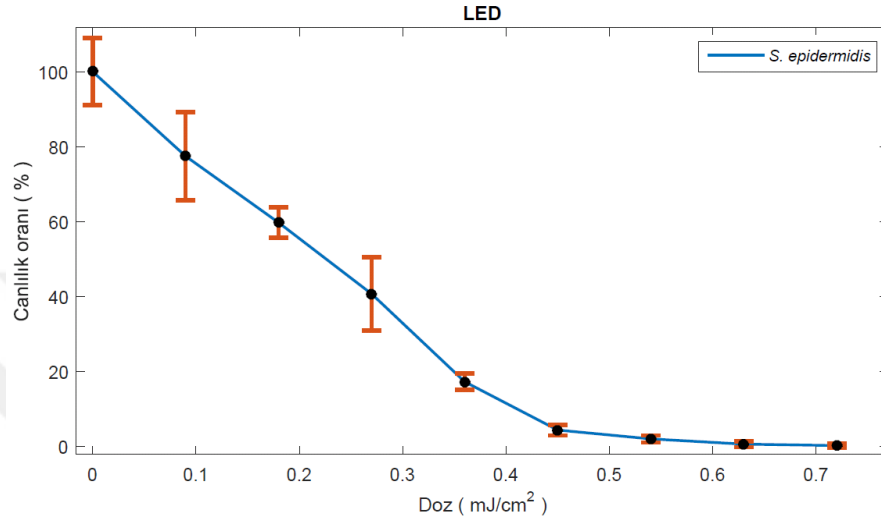
LED							
Uygulama süresi (s)	UV-C doz (mJ/cm ²)	<i>C. albicans</i>		<i>E. coli</i>		<i>S. epidermidis</i>	
		Canlılık (%)	S.S. (+/-)	Canlılık (%)	S.S. (+/-)	Canlılık (%)	S.S. (+/-)
0	0	100	5.3	100	10.7	100	9.0
15	0.09	60.9	9.4	74.6	4.5	77.4	11.8
30	0.18	48.5	9.2	58.3	7.3	59.7	4.1
45	0.27	40.6	0.9	47.8	4.0	40.6	9.7
60	0.36	21.3	0.5	28.2	5.0	17.2	2.2
75	0.45	13.1	5.1	22.6	1.4	4.3	1.4
90	0.54	4.0	1.1	8.1	1.7	1.9	0.9
105	0.63	2.6	0.9	1.2	0.8	0.5	0.8
120	0.72	1.8	0.4	0	0	0.2	0.5

Düşük basınç civa kaynağı ile hızlı şekilde inaktif olan *E. coli* üzerine UV-C LED ile ışık uygulandığında, 0.27 mJ/cm² dozun ardından %50'nin üzerinde inaktivasyon sağlanırken 0.63 mJ/cm² doz uygulaması sonrasında sadece %1.2 oranında canlılık gözlenmiştir. Uygulanan 0.72 mJ/cm² UV-C ışığın *E. coli*'nin tümü üzerinde inaktivasyon sağladığı görülmüştür. 0.72 mJ/cm² optik dozundan daha yüksek değerler için *E. coli* ekimi yapılmış petrielerde herhangi bir canlılık faaliyeti görülmemiştir. Uygulanan optik doz ile petrielerde bulunan yaşayan *E. coli* oranı arasındaki ilişki Şekil 4.6'da verilmiştir.



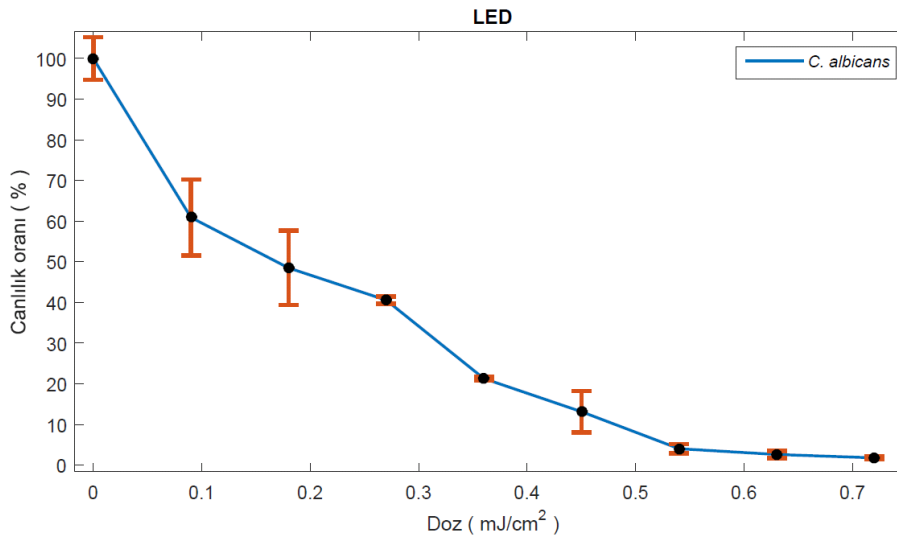
Şekil 4.6 : LED ile uygulanan doza göre *E. coli*'nin canlılık oranı.

Petrilere ekimi yapılan *S. epidermidis* için 0.27 mJ/cm^2 UV ışık dozu ile %59 oranında inaktivasyon gözlenmiş olup bu oranın, 0.72 mJ/cm^2 UV-C optik dozu ile %99.84 mertebesinde olduğu görülmüştür. UV-C LED ile *S. epidermidis* üzerinde yapılan deneyler sonucunda uygulanan optik doz ile petrilere bulunan canlılık oranları arasındaki ilişki Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 : LED ile uygulanan doza göre *S. epidermidis*'in canlılık oranı.

UV LED ile *C. albicans* üzerinde yapılan çalışmada, 0.18 mJ/cm^2 optik doz ile %50 inaktivasyon sağlanmıştır. Uygulanan deney dozlarından 0.72 mJ/cm^2 doz uygulandığında ise bu oran %98.2 dolaylarında olmuştur. Petrilere görülen canlılık oranlarının uygulanan optik doza bağlı değişim grafiği Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 : LED ile uygulanan doza göre *C. albicans*'in canlılık oranı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

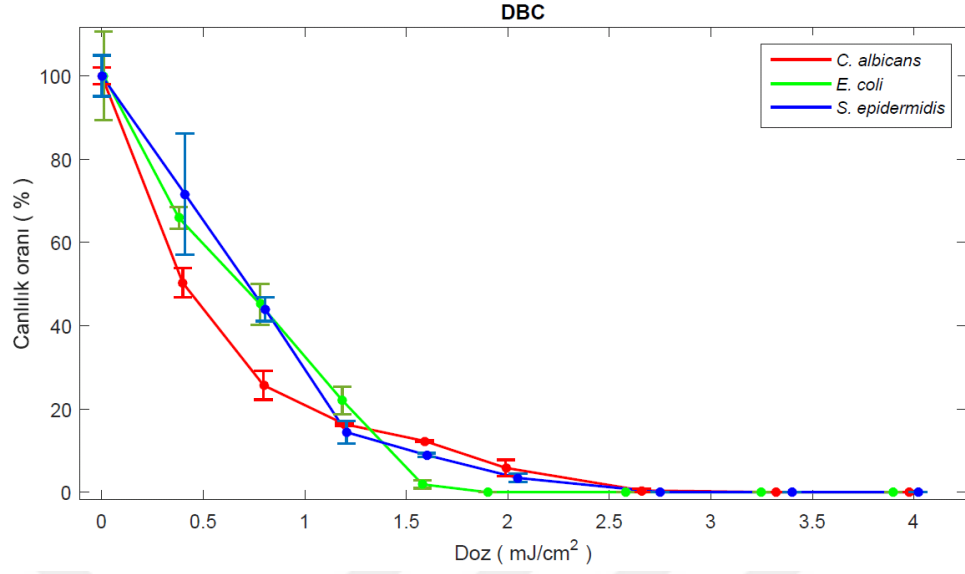
Bu çalışmada, mikroorganizma ekimi yapılmış katı besiyeri yüzeyine doğrudan UV ışık uygulaması yapılmıştır. Bu sebeple uygulanan doz hesaplanırken, havanın etkisi haricinde (hava %99.8 geçirgenliğe sahiptir) başka bir etki dikkate alınmamıştır. Gabriel ve diğ. yaptıkları çalışmada ışık ile inaktif edilmek istenilen mikroorganizma arasındaki maddelerin yoğunluğunun UV nin etkinliğini yüksek miktarda etkilediğini belirtmişlerdir [75]. Bu çalışmada herhangi absorbans madde olmadığı mikroorganizmaların UV yöntemiyle inaktivasyonu için gerekli doz miktarının gerçek değerini verdiği düşünülmektedir. Deney süreleri ve optik dozlar ön denemelerden yola çıkılarak belirlenmiş, DBC düzeneğiyle 0-3.98 mJ/cm², LED ile 0-0.72 mJ/cm² doz aralıklarının *E. coli*, *S. epidermidis*, *C. albicans* üzerindeki inaktivasyon oranları tespit edilmiştir.

DBC düzeneği ile yapılan çalışmada *E. coli* için inaktivasyonun yaklaşık 2 mJ/cm² doz UV ışık uygulanarak sağlandığı görülmüştür. Yuan ve diğ. *E. coli* ve *Salmonella* üzerinde yaptıkları çalışmada 1.5-30 mW/cm² arasında farklı UVC dozları uygulamış ve *E. coli*'nin 5 log azalması için en az 8.4 mJ/cm² doz uygulanması gerektiğini belirtmişlerdir [76]. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde UV inaktivasyon deneylerinin genellikle sıvı ve parçacıklı ortam içerisindeki mikroorganizmalar üzerinde yapıldığı görülmüştür. Kollu ve diğ. yaptıkları çalışmada içme suyu ve atık su üzerine UV dezenfeksiyonun etkisini incelemiş, sonucunda *E. coli* için 20 mJ/cm² lik doz ile parçacık boyutuna göre 3.8-5 log azalma sağladıklarını belirtmişlerdir [77]. Adhikari ve diğ. katı meyveler üzerinde yaptıkları çalışmada yüzeydeki *E. coli* miktarının 2.9 log azaltılması için 28 mJ/cm² den yüksek UV doz uygulanması gerektiğini ileri sürmüşlerdir [78]. Hedef ortamın soğurma katsayısı UV ışığının etkinliğini en çok etkileyen faktördür [75, 79]. Bu yüzden aynı UV dozu farklı ortamlarda bulunan aynı tür mikroorganizma üzerindeki farklı inaktivasyon etkisine sahip olabilmektedir. Buna bağlı olarak, bu çalışmada belirtilen belirli oranda inaktivasyon için gerekli UV optik

doz değerlerinin literatürdeki değerlerden küçük olmasının, katı besiyeri kullanımından ve besiyeri ile ışık kaynağı arasında ışığı soğurabilecek harici etkenlerin (kapak vs.) minimize edilmesinden kaynaklandığı düşünölmektedir.

S. epidermidis üzerinde yapılan çalışmada DBC lamba ile yaklaşık 2.65 mJ/cm² lik optik dozun, mikroorganizmanın tümüyle inaktivasyonu için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan gıda kaynaklı patojenlerden *S. aureus* üzerinde yapılan bir çalışmada bakteri oranını 5.3 log azalma için 23.7 mJ/cm² doz gerektiği bildirilmiştir [80]. Chang ve diğ. patojenik çeşitli mikroorganizmalar üzerinde yaptıkları UV inaktivasyon deneylerinde *S. aureus*'un 3 log azalması için yaklaşık 7 mJ/cm² 'lik optik gücün gerekli olduğunu belirtmişlerdir [81]. Tavuk eti yüzeyindeki mikroorganizmaların inaktivasyonu üzerine çalışma yapan Sommers ve diğ. *S. saprophyticus*'un inaktivasyonu için 14.9-18.5 mJ/cm² optik güce ihtiyaç olduğunu belirtilmişlerdir [82]. Farklı besinler üzerindeki UV çalışmalarında uygulanan dozlar incelendiğinde, düşük UV dozlarında inaktivasyon sağlanması için hedef mikroorganizma ile ışık kaynağı arasında bulunan absorans maddelerin azaltılması gerektiği görölmektedir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, *C. albicans*'ın UV uygulaması karşısında, bakterilere göre daha dirençli olduğunu ve en az 3.32 mJ/cm² ile tamamen inaktif edildiğini göstermiştir. Yanıklarda oluşan mantar enfeksiyonları üzerinde yapılan bir çalışmada yüzeyde bulunan *C. albicans*'ların 3.02 log azalma göstermeleri için 19.2 mJ/cm² UV doz uygulanması gerektiği bildirilmiştir [83]. Menetrez ve diğ. vejetatif bakteri ve mantarların yüzey kontaminasyonuna UV doz etkisini incelemiş ve *C. albicans* kolonisinin canlılık oranında %98 kadarlık bir azalma için 17.5 mJ/cm² doz uygulanması gerektiğini ileri sürmüşlerdir [84]. Bu çalışmada incelenen mikroorganizmalar üzerinde DBC lamba ile yapılan deney sonuçları, karşılaştırmanın daha rahat yapılabilmesi için Şekil 5.1'de bir arada verilmiştir.



Şekil 5.1 : DBC lamba ile yapılan deneylerde, optik dozun bir fonksiyonu olarak mikroorganizmaların canlılık oranları.

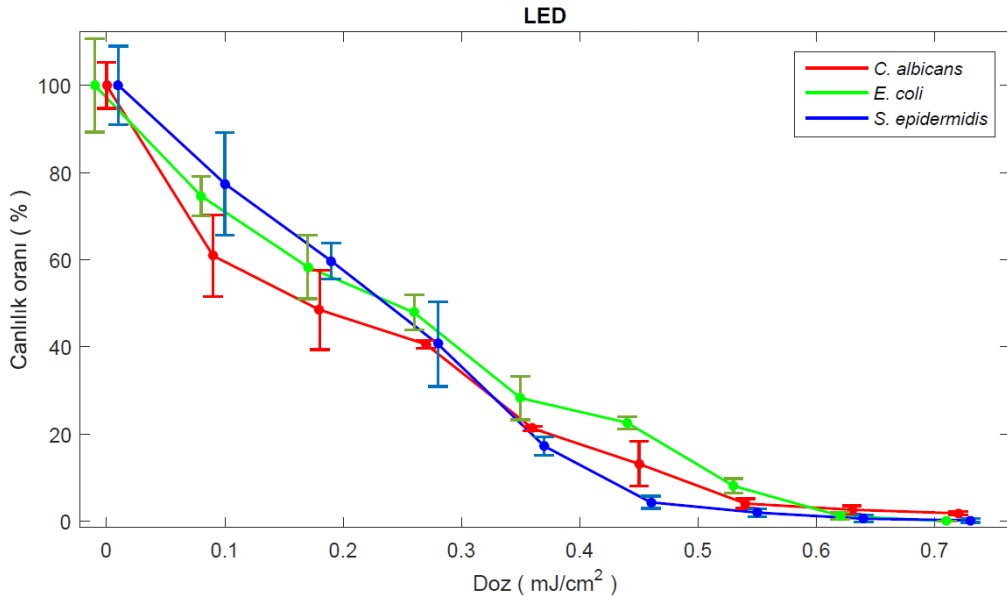
Yapılan literatür incelemeleri sonucunda LED ile mikroorganizma inaktivasyonu üzerine yeterli çalışma olmadığı görülmüştür. Henüz gelişmekte olan UV-C LED'lerle geleneksel yöntemler arasındaki farkın tam olarak belirlenmesi için yapılan çalışmaların artırılması gerekmektedir.

Bu çalışmada, *E. coli* için UV-C LED ile yapılan uygulama sonucunda 0.72 mJ/cm² doz ile tümüyle inaktivasyon sağlanmıştır. Nyangaresi ve diğ. yapmış oldukları çalışmada farklı dalga boylarında UV-C LED'ler kullanmışlar ve 254 nm'den 280 nm dalga boyuna gidildikçe gerekli ışık doz miktarının arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca su içerisinde bulunan *E. coli*'nin 3 log azaltılması için en az 8.78 mJ/cm² optik güç gerektiğini bildirmişlerdir [86]. Beck ve diğ. suda bulunan *E. coli*'nin yaklaşık 3.4 log azalması için LED ile 12 mJ/cm² doz gerekli olduğunu belirtmişlerdir [86]. Kim ve diğ. farklı dalga boyları ile yaptıkları çalışmada farklı optik yoğunluklar uygulamış 3 mJ/cm² optik yoğunlukta 4-5 log miktarda azalma olduğunu gözlemlediklerini bildirmiştir [87]. Geleneksel DBC lambalarına kıyasla UV-C LED'ler aynı miktardaki mikroorganizma inaktivasyon seviyesine çok düşük optik dozlar ile ulaştığı görülmüştür [88].

Çalışmamızda petri yüzeyindeki *S. epidermidis* için 0.72 mJ/cm² doz uygulanmasıyla %99.84 oranında inaktivasyon sağlanmıştır. Shoults ve diğ. atık sudaki çeşitli

Staphylococcus türlerinin inaktivasyonu üzerine yaptıkları çalışmanın sonucunda *S. epidermidis*'te 4 log inaktivasyon sağlamak için 17 mJ/cm^2 optik dozun gerekli olduğunu belirtmişlerdir [89]. Kuda ve diğ. yumurta sarısı ve akının uygulandığı gıdalar üzerindeki UV inaktivasyona olan etkisini incelemişlerdir. 0.16 mW/cm^2 optik güç ile 10 dakikalık ışık uygulaması sonucunda *S. aureus* bakterisinin 8 log azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca üzerinde yumurta akı olan kısmın %15 ve yumurta sarısı kalıntısı olan kısmın ise %30 oranında UV inaktivasyonu engelleyerek 6.5 log değerlerine kadar azalttığını bildirmiştir [90].

Bakterilere göre mantarların daha kompleks yapıda olması inaktivasyon için gerekli UV dozunu arttırmaktadır. Literatürde, çok fazla çalışma yapılmamış olan bir bakteri türü olan *C. albicans* kolonisine bu çalışma kapsamında 0.72 mJ/cm^2 UV-C optik doz uygulanmış ve %98.23 oranında inaktivasyon sağlanmıştır. UV-C LED cihazıyla çalışma yapan de Groot ve diğ. farklı sürelerin ve aralıkların *C. auris* üzerindeki inaktivasyon ilişkisini incelemişlerdir. Suşlara göre değişen değerler olmakla birlikte aralığın artmasının veya sürenin azalmasının inaktivasyon oranını azalttığını belirtmişlerdir [91].



Şekil 5.2 : LED ile yapılan deneylerde, optik dozun bir fonksiyonu olarak mikroorganizmaların canlılık oranları.

S. epidermidis, *E. coli* ve *C. albicans* kolonilerine UV LED ile uygulanan optik dozların sonrasındaki canlılık oranları Şekil 5.2'de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Li ve diğ. yaptıkları çalışmada UV floresan ile UV LED karşılaştırmış ve inaktivasyon için çalışmamıza benzer şekilde floresan ile daha yüksek doz gerekli olduğunu belirtmektedir [92]. Bunun sebebi Şekil 3.1’de gösterildiği gibi DBC lambanın birçok dalga boyunda, diğer bir deyişle inaktivasyon etkisi olmayan dalga boylarında da optik çıkışa sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak, tüm optik çıkışı inaktivasyona sebep olabilecek dalga boyunda olan UV LED ile, DBC’ye kıyasla çok daha düşük doz ile inaktivasyon sağlanabilmektedir.

Ayrıca mantarların UV ışınlarına daha dirençli olduğu literatürde bildirilmiştir. Bu çalışmada, her iki ışık kaynağı ile yapılan deneylerde de *C. albicans*’ın daha dayanıklı olduğu, tümüyle inaktivasyonu için daha yüksek UV dozu gerektiği görülmüştür. UV dezenfeksiyonun bakteri ve mantar üzerinde çalışmasını yapan Wen ve diğ. aynı dozda mantarların bakterilere göre benzer şekilde daha dirençli olduğunu belirtmişlerdir [93]. Sonuçlar incelendiğinde Kim ve diğ. yaptıkları çalışmaya benzer şekilde mikroorganizmalar, *E. coli* < *S. epidermidis* < *C. albicans* olacak şekilde UV’ye dayanıklılık göstermektedir [87].

Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde, literatürdeki mikroorganizmaların dayanımlarına göre benzer sonuçlar sağlanmıştır. Yüzey ve havada yoğun olarak bulunan mikroorganizmaların konu edildiği bu çalışmada sürekli temas halinde bulunduğumuz bu mikroorganizmaların inaktif edilmesi için gerekli ışık doz miktarı belirlenmiştir. Geleneksel DBC ışık kaynakları ile LED kullanılması durumunda inaktivasyon için gereken doz farklılıkları incelenmiş ve gösterilmiştir. LED’in inaktif edici etkisi gösterilmiş, LED kaynağının daha düşük dozlarla sterilizasyon sağladığı kanıtlanmıştır. Literatürde yapılan gıda ve sıvı üstündeki çalışmalardan farklı olarak yüzey dozları belirlenmiştir. Literatürde eksik olan LED ile yüzeydeki inaktivasyon için gerekli dozlara ek olarak ilk defa UV LED ile *C. albicans* üzerinde inaktivasyon dozu hakkında olan ilk veriler sağlanmıştır. Çalışmanın, ileride DBC kaynaklarının yerini alacak LED teknolojisi ile yapılacak olan sterilizasyon cihazlarına dayanak oluşturabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Özyılmaz, Ü. (2015). Fitopatoloji Labotaruvarında Sterilizasyon ve Dezenfeksiyon Yöntemleri. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12(1), 129-138.
- [2] Özyurt, M. (1999). Hastanelerde Temizlik, Dezenfeksiyon, Sterilizasyon ve Tıbbi Atıkların Yok Edilmesi. *Hastane İnfeksiyonları Dergisi*, 3: 175-183
- [3] Koca, N., Saatli, T. E., & Urgu, M. (2018). Gıda Sanayisinde Ultraviyole Işığın Yüzey Uygulamaları. *Akademik Gıda*, 16(1), 88-100.
- [4] Korkmaz, A., & Gündüz, G. T. (2018). Meyve ve Sebzelerde UV-C Işık Uygulamaları ile Küf İnhibisyonu. *Akademik Gıda*, 16(4), 458-469.
- [5] Baker, S., Griffiths C. & Nicklin, J. (2011). *Mikrobiyoloji* (Baykan, M. Çev.) 4. basım, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- [6] Akşit, F., Akgün, Y., & Kiraz N., (1996). *Mikrobiyoloji*, Eskişehir, Anadolu Üniversitesi Yayınları No: 490
- [7] Başaran, A. (2017). *Tıbbi Biyoloji*, İstanbul: Hipokrat Kitapevi
- [8] Çöl, BG., & Aksu, H. (2007). The effective factors on microbial load of air in food plant and air sampling techniques. *Journal of Istanbul Veterinary Sciences*, (2), 24-47.
- [9] Atlas, R. M., & Bartha, R. (1987). *Microbial Ecology: Fundamentals and Applications*. The Benjamim. *Cummings Publ.*, Menlo Park.
- [10] Kalafatoğlu, H. (1995). Gıda Endüstrisinde Mikrobiyal Kaynaklı Kontaminasyonlar ve Önlenmeleri. *GIDA*, 20(3).
- [11] Fiedler, K., Schütz, E., & Geh, S. (2001). Detection of microbial volatile organic compounds (MVOCs) produced by moulds on various materials. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 204(2-3), 111-121.
- [12] Çobanoğlu, N., & Kiper, N. (2006). Bina içi solunan havada tehlikeler. *Çocuk sağlığı ve hastalıkları dergisi*, 49(1), 71-75.
- [13] Fischer, G., & Dott, W. (2003). Relevance of airborne fungi and their secondary metabolites for environmental, occupational and indoor hygiene. *Archives of Microbiology*, 179(2), 75-82.
- [14] Curtis, L., Lieberman, A., Stark, M., Rea, W., & Vetter, M. (2004). Adverse health effects of indoor molds. *Journal of Nutritional & Environmental Medicine*, 14(3), 261-274.

- [15] Ünlütürk, A., & Turantaş, F. (2003). *Gıda Mikrobiyolojisi* (3.basım). İzmir: Mengi Tan Basımevi, 100-104.
- [16] Görenek, L., Yıldırım, Ş. T., Dizer, U., Saraçlı, MA., Beker, CM., Kılbacak, I., Doğanç, L. & Pahsa A. (2003). Cryptococcus albidus meninjitisi, *Türk Klinik Mikrobiyoloji ve İnfeksiyon Hastalıkları Kongresi*, İstanbul: (11), 290
- [17] Gencer, S. (2008). Hastane enfeksiyonlarının önlenmesi ve kontrolün olmazsa olmazı: El Yıkama. *İÜ Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Sürekli Tıp Eğitimi Etkinlikleri, Hastane Enfeksiyonları: Korunma Ve Kontrol Sempozyum Dizisi*, (60), 71-78.
- [18] Doğukan, M., Yaztürk, Ş., Dilek, A. R., Korkmaz, E., Yakupoğulları, Y., & Yılmaz, M. (2007). Hastane kapı kolu ve musluklarının patojen bakteriyel kontaminasyon yönünden incelenmesi. *FÜ Sağ Bil Derg*, 21(5), 201-2.
- [19] Url-1 <http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Dekon_taminasyon.pdf> , erişim tarihi 23.12.2019.
- [20] Emori, T. G., & Gaynes, R. P. (1993). An overview of nosocomial infections, including the role of the microbiology laboratory. *Clinical microbiology reviews*, 6(4), 428-442.
- [21] Lee, H. C., & Harris, H. A. (2011). *Physical evidence in forensic science*. Lawyers & Judges Publishing Company.
- [22] Temiz, A. (1996). *Genel Mikrobiyoloji Uygulama Teknikleri*. Hatipoglu Yayinlari, Yükseköğretim Dizisi: 29. Hatipoglu Basirn ve Yeyim San. Tic. Ltd. Sti.,64, 274.
- [23] Akman, M. (1976). Gülmezoğlu E. *Tıbbi Mikrobiyoloji II. Baskı*, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara, 374-376.
- [24] Özçelik, S. (2011). *Genel Mikrobiyoloji Uygulama Kılavuzu*, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayınları (2), Isparta.
- [25] Url2- <www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Kat%C4%B1%20Besiyerine%20Ekim.pdf> erişim tarihi: 23.12.2019.
- [26] Gürgün, V., & Halkman, A. (1990). Mikrobiyolojide Sayım yöntemleri, *Gıda Teknolojisi Derneği*, Basım&Grafik, Ankara: s. 146,7(2).
- [27] McClane, B. A., & Mietzner, T. A. (1999). *Microbial pathogenesis*. Wiley-Blackwell, Oxford, 1-8893-2527-9.
- [28] Ray, C. G., & Ryan, K. J. (2004). *Sherris medical microbiology: an introduction to infectious diseases*. McGraw-Hill, United States of America, 978-0-87553-190-8.
- [29] Chirife, J., del Pilar Buera, M., & Labuza, T. P. (1996). Water activity, water glass dynamics, and the control of microbiological growth in foods. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*, 36(5), 465-513.
- [30] Liman, V. (2005). *Gama radyasyonuyla sterilizasyonun bazı sefalosporinler üzerinde etkisinin araştırılması*. (Doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [31] Çolak, Ş. (2003). *Işınlama ile bazı ilaç ve ilaç hammaddelerinde oluşan arastürünlerin özelliklerinin incelenmesi*. (Doktora tezi). Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [32] Karadağ, A.(2005). Otoklav ile sterilizasyon. 4. *Ulusal Sterilizasyon Dezenfeksiyon Kongresi*.
- [33] Gençoğlu, O. (2009). *Nano teknolojik hava sterilizasyon ünitesi geliştirilmesi*. (Yüksek lisans tezi). Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- [34] Shin, J. K., & Pyun, Y. R. (1997). Inactivation of *Lactobacillus plantarum* by pulsed-microwave irradiation. *Journal of food science*, 62(1), 163-166.
- [35] Datta, AK., & Davidson, P. M. (2000). Microwave and radio frequency processing. *Journal of food science*, 65, 32-41.
- [36] Moisan, M., Barbeau, J., Crevier, M. C., Pelletier, J., Philip, N., & Saoudi, B. (2002). Plasma sterilization. Methods and mechanisms. *Pure and applied chemistry*, 74(3), 349-358.
- [37] Tran, M. T. T., & Farid, M. (2004). Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(4), 495-502.
- [38] Koutchma, T. (2009). Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology*, 2(2), 138-155.
- [39] 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 & Emerging Technologies*, 9(3), 348-354.
- [40] Plewa, M. J., Wagner, E. D., Metz, D. H., Kashinkunti, R., Jamriska, K. J., & Meyer, M. (2012). Differential toxicity of drinking water disinfected with combinations of ultraviolet radiation and chlorine. *Environmental science & technology*, 46(14), 7811-7817.
- [41] Lado, B. H., & Yousef, A. E. (2002). Alternative food-preservation technologies: efficacy and mechanisms. *Microbes and infection*, 4(4), 433-440.
- [42] Sharma, R. R., & Demirci, A. (2003). Inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 on inoculated alfalfa seeds with pulsed ultraviolet light and response surface modeling. *Journal of Food Science*, 68(4), 1448-1453.
- [43] Url-3 < <https://blog.cleanslateuv.com/2018/11/the-power-of-uv-light-explained/>> erişim tarihi: 23.12.2019
- [44] Shama, G., Robinson, R., Batt, C. & Patel, P. (1999). *Ultraviolet light*, Encyclopedia of Food Microbiology-3. Londra: Academic Press.
- [45] Falguera, V., Pagán, 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(1), 115-119.
- [46] Koca, N., Saatli, T. E., & Uргу, M. (2018). Gıda Sanayisinde Ultraviyole Işığın Yüzey Uygulamaları. *Akademik Gıda*, 16(1), 88-100.

- [47] Morgan, R. (1989). UV light disinfection. *Dairy Industries International*, United Kingdom, 54(11):33-35.
- [48] Guerrero-Beltrán, J. A., & Barbosa-Cánovas, G. V. (2004). Advantages and limitations on processing foods by UV light. *Food science and technology international*, 10(3), 137-147.
- [49] 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.
- [50] 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.
- [51] Conner-Kerr, T. A., Sullivan, P. K., Gaillard, J., Franklin, M. E., & Jones, R. M. (1998). The effects of ultraviolet radiation on antibiotic-resistant bacteria in vitro. *Ostomy/wound management*, 44(10), 50-56.
- [52] Rutala, W. A., Gergen, M. F., Tande, B. M., & Weber, D. J. (2014). Room decontamination using an ultraviolet-C device with short ultraviolet exposure time. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 35(8), 1070-1072.
- [53] Nerandzic, M. M., Cadnum, J. L., Pultz, M. J., & Donskey, C. J. (2010). Evaluation of an automated ultraviolet radiation device for decontamination of *Clostridium difficile* and other healthcare-associated pathogens in hospital rooms. *BMC infectious diseases*, 10(1), 197.
- [54] Mahida, N., Vaughan, N., & Boswell, T. (2013). First UK evaluation of an automated ultraviolet-C room decontamination device (Tru-D™). *Journal of Hospital Infection*, 84(4), 332-335.
- [55] Boyce, J. M., Farrel, P. A., Towle, D., Fekieta, R., & Aniskiewicz, M. (2016). Impact of room location on UV-C irradiance and UV-C dosage and antimicrobial effect delivered by a mobile UV-C light device. *Infection control & hospital epidemiology*, 37(6), 667-672.
- [56] Hijnen, W. A. M., Beerendonk, E. F., & Medema, G. J. (2006). Inactivation credit of UV radiation for viruses, bacteria and protozoan (oo) cysts in water: a review. *Water research*, 40(1), 3-22.
- [57] Mori, M., Hamamoto, A., Takahashi, A., Nakano, M., Wakikawa, N., Tachibana, S., ... & Kinouchi, Y. (2007). Development of a new water sterilization device with a 365 nm UV-LED. *Medical & biological engineering & computing*, 45(12), 1237-1241.
- [58] Bowker, C., Sain, A., Shatalov, M., & Ducoste, J. (2011). Microbial UV fluence-response assessment using a novel UV-LED collimated beam system. *Water research*, 45(5).
- [59] Chatterley, C., & Linden, K. (2010). Demonstration and evaluation of germicidal UV-LEDs for point-of-use water disinfection. *Journal of water and health*, 8(3), 479-486.

- [60] Hamamoto, A., Mori, M., Takahashi, A., Nakano, M., Wakikawa, N., Akutagawa, M., ... & Kinouchi, Y. (2007). New water disinfection system using UVA light-emitting diodes. *Journal of applied microbiology*, 103(6), 2291-2298.
- [61] Würtele, M. A., Kolbe, T., Lipsz, M., Külberg, A., Weyers, M., Kneissl, M., & Jekel, M. (2011). Application of GaN-based ultraviolet-C light emitting diodes–UV LEDs–for water disinfection. *Water research*, 45(3), 1481-1489.
- [62] Lloyd, M. L., Hod, N., Jayaraman, J., Marchant, E. A., Christen, L., Chiang, P., ... & Simmer, K. (2016). Inactivation of cytomegalovirus in breast milk using ultraviolet-C irradiation: opportunities for a new treatment option in breast milk banking. *PLoS One*, 11(8), e0161116.
- [63] Miller, B. M., Sauer, A., & Moraru, C. I. (2012). Inactivation of *Escherichia coli* in milk and concentrated milk using pulsed-light treatment. *Journal of dairy science*, 95(10), 5597-5603.
- [64] Syamaladevi, R. M., Adhikari, A., Lupien, S. L., Dugan, F., Bhunia, K., Dhingra, A., & Sablani, S. S. (2015). Ultraviolet-C light inactivation of *Penicillium expansum* on fruit surfaces. *Food Control*, 50, 297-303.
- [65] Adhikari, A., Syamaladevi, R. M., Killinger, K., & Sablani, S. S. (2015). Ultraviolet-C light inactivation of *Escherichia coli* O157: H7 and *Listeria monocytogenes* on organic fruit surfaces. *International journal of food microbiology*, 210, 136-142.
- [66] Tremarin, A., Brandão, T. R., & Silva, C. L. (2017). Inactivation kinetics of *Alicyclobacillus acidoterrestris* in apple juice submitted to ultraviolet radiation. *Food Control*, 73, 18-23.
- [67] Fenoglio, D., Ferrario, M., Schenk, M., & Guerrero, S. (2019). UV-C light inactivation of single and composite microbial populations in tangerine-orange juice blend. Evaluation of some physicochemical parameters. *Food and Bioproducts Processing*, 117, 149-159.
- [68] Unluturk, S., & Atilgan, M. R. (2015). Microbial safety and shelf life of UV-C treated freshly squeezed white grape juice. *Journal of food science*, 80(8), M1831-M1841.
- [69] De Souza, P. M., & Fernández, A. (2011). Effects of UV-C on physicochemical quality attributes and *Salmonella enteritidis* inactivation in liquid egg products. *Food Control*, 22(8), 1385-1392.
- [70] 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.
- [71] Şık, 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*, 10-12.
- [72] 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.

- [73] Alothman, M., Bhat, R., & Karim, AA. (2009). UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative food science & emerging Technologies*, 10(4), 512-516.
- [74] Lowy, F. D., & Hammer, S. M. (1983). Staphylococcus epidermidis infections. *Annals of Internal Medicine*, 99(6), 834-839.
- [75] Gabriel, A. A., & Nakano, H. (2009). Inactivation of Salmonella, E. coli and Listeria monocytogenes in phosphate-buffered saline and apple juice by ultraviolet and heat treatments. *Food control*, 20(4), 443-446.
- [76] Yaun, B. R., Sumner, S. S., Eifert, J. D., & Marcy, J. E. (2003). Response of Salmonella and Escherichia coli O157: H7 to UV energy. *Journal of Food Protection*, 66(6), 1071-1073.
- [77] Kollu, K., & Örmeci, B. (2012). Effect of particles and bioflocculation on ultraviolet disinfection of Escherichia coli. *Water research*, 46(3), 750-760.
- [78] Adhikari, A., Syamaladevi, R. M., Killinger, K., & Sablani, S. S. (2015). Ultraviolet-C light inactivation of Escherichia coli O157: H7 and Listeria monocytogenes on organic fruit surfaces. *International journal of food microbiology*, 210, 136-142.
- [79] Murakami, E. G., Jackson, L., Madsen, K., & Schickedanz, B. (2006). Factors affecting the ultraviolet inactivation of Escherichia coli K12 in apple juice and a model system. *Journal of food process engineering*, 29(1), 53-71.
- [80] Yoo, S., Ghafoor, K., Kim, S., Sun, Y. W., Kim, J. U., Yang, K., ... & Park, J. (2015). Inactivation of pathogenic bacteria inoculated onto a Bacto™ agar model surface using TiO₂-UVC photocatalysis, UVC and chlorine treatments. *Journal of applied microbiology*, 119(3), 688-696.
- [81] Chang, J. C., Ossoff, S. F., Lobe, D. C., Dorfman, M. H., Dumais, C. M., Qualls, R. G., & Johnson, J. D. (1985). UV inactivation of pathogenic and indicator microorganisms. *Appl. Environ. Microbiol.*, 49(6), 1361-1365.
- [82] Sommers, C., Sheen, S., Scullen, O. J., & Mackay, W. (2017). Inactivation of Staphylococcus saprophyticus in chicken meat and purge using thermal processing, high pressure processing, gamma radiation, and ultraviolet light (254 nm). *Food control*, 75, 78-82.
- [83] Dai, T., Kharkwal, G. B., Zhao, J., Denis, T. G. S., Wu, Q., Xia, Y., ... & Hamblin, M. R. (2011). Ultraviolet-C light for treatment of Candida albicans burn infection in mice. *Photochemistry and photobiology*, 87(2), 342-349.
- [84] Menetrez, M. Y., Foarde, K. K., Dean, T. R., & Betancourt, D. A. (2010). The effectiveness of UV irradiation on vegetative bacteria and fungi surface contamination. *Chemical Engineering Journal*, 157(2-3), 443-450.
- [85] Nyangaresi, P. O., Qin, Y., Chen, G., Zhang, B., Lu, Y., & Shen, L. (2018). Effects of single and combined UV-LEDs on inactivation and subsequent reactivation of E. coli in water disinfection. *Water research*, 147, 331-341.

- [86] Beck, S. E., Ryu, H., Boczek, L. A., Cashdollar, J. L., Jeanis, K. M., Rosenblum, J. S., ... & Linden, K. G. (2017). Evaluating UV-C LED disinfection performance and investigating potential dual-wavelength synergy. *Water research*, 109, 207-216.
- [87] Kim, S. J., Kim, D. K., & Kang, D. H. (2016). Using UVC light-emitting diodes at wavelengths of 266 to 279 nanometers to inactivate foodborne pathogens and pasteurize sliced cheese. *Appl. Environ. Microbiol.*, 82(1), 11-17.
- [88] Kim, D. K., Kim, S. J., & Kang, D. H. (2017). Bactericidal effect of 266 to 279 nm wavelength UVC-LEDs for inactivation of Gram positive and Gram negative foodborne pathogenic bacteria and yeasts. *Food research international*, 97, 280-287.
- [89] Shoults, D. C., & Ashbolt, N. J. (2018). Total staphylococci as performance surrogate for greywater treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(33), 32894-32900.
- [90] Kuda, T., Iwase, T., Chaturongkasumrit, Y., Takahashi, H., Koyanagi, T., & Kimura, B. (2012). Resistances to UV-C irradiation of Salmonella Typhimurium and Staphylococcus aureus in wet and dried suspensions on surface with egg residues. *Food control*, 23(2), 485-490.
- [91] de Groot, T., Chowdhary, A., Meis, J. F., & Voss, A. (2019). Killing of Candida auris by UV-C: Importance of exposure time and distance. *Mycoses*, 62(5), 408-412.
- [92] Li, G. Q., Wang, W. L., Huo, Z. Y., Lu, Y., & Hu, H. Y. (2017). Comparison of UV-LED and low pressure UV for water disinfection: Photoreactivation and dark repair of Escherichia coli. *Water research*, 126, 134-143.
- [93] Wen, G., Deng, X., Wan, Q., Xu, X., & Huang, T. (2019). Photoreactivation of fungal spores in water following UV disinfection and their control using UV-based advanced oxidation processes. *Water research*, 148, 1-9.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Enes TOPRAK
Doğum Tarihi ve Yeri : 1993/Sakarya
E-posta : enestoprak.tr@gmail.com



ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2019, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2015-2016 yılları arasında Kocaeli Üniversitesi Proses Kontrol Laboratuvarı'nda kontrol kumanda sistemleri ve endüstriyel otomasyon ekipmanları üzerine çalıştı.
- 2017-2019 yılları arasında Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Biyomedikal Laboratuvarları'nda Işık – mikroorganizma etkileşimi üzerine çalıştı.