

UV-C Işınları ile Antibakteriyel Koku Giderimi: Ayakkabı Dolabı Tasarımı

Antibacterial Odor Removal with UV-C Rays: Shoe Cabinet Design

Erdoğan Özel¹ , Murat KARAKAYA² 

¹Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye

²Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van, Türkiye

(erdoganozel@yyu.edu.tr, mkap797@gmail.com)

Received: Mar.19, 2025

Accepted: Apr.25, 2025

Published: Jun.1, 2025

Özetçe— UV-C ışınları, elektromanyetik spektrumun 100-280 nanometre (nm) dalga boyu aralığında yer alan özel bir ultraviyole ışın türü olarak tanımlanmaktadır. Bu ışınların, bakteri ve mantarların DNA ve RNA yapılarını, bozarak onları etkisiz hale getirme yeteneğine sahip olduğu bilinmektedir. (Güler ve Özer, 2017). UV-C ışınlarının bu etkisi kullanılarak insan derisinde bulunan ve özellikle ayakkabıların kötü kokmasına sebep olan *S. epidermidis* bakterisinin UV-C ışınlarına maruz bırakılıp gelişim süreci incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında, iki adet 15W gücünde UV-C lambasının *S. epidermidis* bakterisinin farklı sürelerle UV-C ışınına maruz bırakılmasının bakteri gelişimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda UV-C ışınının etkinliği değerlendirilmiştir. Deney gruplarında, UV-C maruziyet süresinin bakteriyel gelişim üzerindeki etkisi kademeli olarak gözlemlenmiştir. 1. grup (1 dakika UV-C maruziyeti), 2. grup (5 dakika UV-C maruziyeti) ve 3. grup (10 dakika UV-C maruziyeti) incelendiğinde, bakteri gelişiminin tamamen engellenmediği ancak artan UV-C süresiyle birlikte koloni yoğunluğunun azaldığı belirlenmiştir. 10 dakikalık maruziyet süresi, bakteri gelişiminde belirgin bir azalmaya yol açsa da, hala üreme gözlemlenmiştir. 4. grup ise 30 dakika süreyle UV-C ışınına maruz bırakılan bakterileri içermekte olup, bu grupta herhangi bir bakteri gelişimi gözlenmemiştir. Bu bulgu, 30 dakikalık UV-C ışını maruziyetinin *Staphylococcus epidermidis* üzerinde tam anlamıyla bakteriyel inhibisyon sağladığını göstermektedir. Bu süre zarfında bakterilerin üremesinin tamamen engellendiği belirlenmiş ve UV-C ışığının etkin bir sterilizasyon yöntemi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır. Bu yöntemin, sadece ayakkabı kokusunu gidermekle kalmayıp, genel sağlık ve hijyen koşullarını iyileştiren bir çözüm sunması ve literatüre yeni bir kaynak olması hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: UV, UV-C ışınları, Bakteri, Virüs, Fungal, Sterilizasyon, Dezenfeksiyon, Ayakkabı dolabı, *Staphylococcus epidermidis*, antibakteriyel etki, ayakkabı sterilizasyonu, halk sağlığı.

Abstract— UV-C rays are defined as a special type of ultraviolet radiation within the 100-280 nanometer (nm) wavelength range of the electromagnetic spectrum. These rays are known for their ability to disrupt the DNA and RNA structures of bacteria and fungi, rendering them inactive (Güler & Özer, 2017). Utilizing this effect, the study examines the impact of UV-C exposure on the growth process of *Staphylococcus epidermidis*, a bacterium commonly found on human skin and known to cause unpleasant shoe odors. As part of this study, two 15W UV-C lamps were used to expose *S. epidermidis* to UV-C radiation for different durations to assess its effect on bacterial growth. The results were analyzed to determine the effectiveness of UV-C radiation. The experimental groups were subjected to varying UV-C exposure times, and bacterial development was gradually observed. In the first group (1-minute exposure), the second group (5-minute exposure), and the third group (10-minute exposure), bacterial growth was not completely inhibited, but an increase in UV-C exposure time led to a reduction in colony density. While the 10-minute exposure significantly reduced bacterial growth, some bacterial proliferation was still observed. The fourth group, exposed to UV-C radiation for 30 minutes, showed no bacterial growth. This finding demonstrates that 30 minutes of UV-C exposure completely inhibited *Staphylococcus epidermidis*. The study concludes that UV-C light is an effective sterilization method. This method is expected to not only eliminate shoe odor but also contribute to improved hygiene and public health while providing a valuable addition to the scientific literature.

Keywords: UV, UV-C radiation, Bacteria, Virus, Fungal, Sterilization, Disinfection, Shoe cabinet, *Staphylococcus epidermidis*, Antibacterial effect, Shoe sterilization, Public health.

1. Giriş

Ayakkabı kokusu hem sosyal hem de kişisel düzeyde yaygın bir sorundur ve genellikle ayakkabıların içinde gelişen bakteri, mantar ve diğer mikroorganizmaların varlığıyla ilişkilidir. (Park ve ark. 2006). Bu mikroorganizmalar, ter ve dökülen cilt hücreleri gibi ayakkabı ortamında bulunan organik maddeleri metabolize ederek hoş olmayan kokulara neden olan çeşitli uçucu organik bileşikler (VOC'ler) üretirler. Ayakkabılar sadece koku sorununa yol açmakla kalmaz, aynı zamanda özellikle sağlık hizmetleri gibi belirli ortamlarda ayak enfeksiyonlarına ve diğer sağlık sorunlarına neden olan patojenlerin bulaşması için bir vektör görevi görebilirler. (Torres Teran ve ark. 2022). Ayakkabı kokusunun yaygınlığı ve patojen bulaşma potansiyeli, etkili ve uygun sanitasyon ve sterilizasyon yöntemlerine olan ihtiyacı ortaya çıkarmaktadır. Sterilizasyon, mikroorganizmaların eradikasyonu veya proliferasyonlarının inhibe edilmesi amacıyla uygulanan temel bir prosedür olup, sağlık, gıda, konaklama ve tekstil endüstrilerinde kritik bir rol oynamaktadır. Geleneksel sterilizasyon yöntemleri, çoğunlukla kimyasal dezenfektanlar, termal işlemler ve buhar bazlı tekniklere dayanmakla birlikte, bu yaklaşımlar çevresel sürdürülebilirlik açısından çeşitli olumsuzluklar içermekte ve bazı mikroorganizma türlerine karşı yetersiz kalabilmektedir. Son yıllarda, ultraviyole-C (UV-C) ışınlarının mikrobiyal dekontaminasyon süreçlerinde etkinliği giderek daha fazla araştırılmakta ve bu yöntemin hem etkin hem de ekolojik açıdan sürdürülebilir bir alternatif olduğu gösterilmektedir. Ayakkabılarda yaygın olarak bulunan mikroorganizmalar arasında *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli* ve çeşitli Gram-pozitif bakteri türleri bulunur. Ayak enfeksiyonlarına neden olabilen ve ayakkabılarda yaşayabilen *Trichophyton rubrum*, *Trichophyton mentagrophytes*, *Epidermophyton floccosum* ve *Candida albicans* gibi mantar türleri de yaygındır. (Park ve ark. 2006). Ayakkabı kokusu öncelikle mikroorganizmaların metabolik aktivitesi sonucu üretilen uçucu organik bileşiklerden (VOC'ler) kaynaklanır. (Ultralight, 2021). Ayakkabı kokusuyla ilişkili temel VOC'ler arasında kısa zincirli yağ asitleri (örneğin, izovalerik asit, bütirik asit, propiyonik asit, asetik asit), kükürt bileşikler (tiyoller, merkaptanlar), aldehitler, ketonlar ve alkoller bulunur. (UVC inc). *Staphylococcus epidermidis* ve *Bacillus* türleri gibi bakteriler, ter bileşenlerini (örneğin, lösin) metabolize ederek izovalerik asit gibi kokulu VOC'ler üretirler. (Lee ve ark. 2016). Yapılan araştırmalar sonucunda mikroorganizmaların beslenmeleri sonucu yan ürünler üreterek kötü kokulara ve bulaşıcı hastalıklara sebep olmaktadır.

UV-C radyasyonu, özellikle 200-280 nm aralığında, mikroorganizmaların nükleik asitleri (DNA ve RNA) tarafından emilir ve 262-265 nm civarında zirve bir germisidal dalga boyuna sahiptir. Bu emilim, DNA replikasyonunu ve transkripsiyonunu bozan pirimidin dimerleşmesi sürecinde DNA veya RNA'ya zarar verir. Germisidal aktivite için etkili dalga boyları 200-280 nm UV-C aralığını kapsar. (Khan ve ark. 2022). Düşük basınçlı cıva lambaları tarafından yaygın olarak yayılan 254 nm dalga boyu, kanıtlanmış germisidal etkinliği nedeniyle önemlidir. (Terra Universal. 2023) Cıva buharlı lambaların bu özelliği ve maliyetlerinin diğer lambalara göre daha düşük olması cıva buharlı lambaların dezenfeksiyon alanında önemli bir araç haline getirmektedir. Cıva uharlı lambalar özellikle 254 nm civarında maksimum bakterisidal etkiye sahiptir. UV-C ışınının patojenler üzerinde öldürücü bir etki gösterdiği bilinmektedir. Yapılan bir çalışmada, in vitro ve ex vivo koşullarda UV-C ışınının mantar konsantrasyonunda belirgin bir azalmaya neden olduğu gösterilmiştir. (Kodan ve ark. 2019). UV-C ışınları mikroorganizmaların nükleik asit yapısını bozarak hücrel replikasyonu engeller ve böylece patojenlerin inaktivasyonuna neden olur. UV-C ışınlarının bakteriyel, viral ve fungal kontaminasyonu önemli ölçüde azaltabileceği ve dezenfeksiyon süreçlerinde kritik bir rol oynadığı belirtilmektedir. (Güler ve Özer, 2017; Ramos ve ark., 2020). Başka bir çalışmada, UV-C ışınları, mikroorganizmaların DNA'sını hasar vererek onların büyümesini ve çoğalmasını engelleyen kısa dalga boylu elektromanyetik ışınlardır. (Perinçek ve ark. 2007). Ayrıca, 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. (Toprak, 2020). Yapılan araştırmalarda UV-C dozuna bağlı olarak sterilizasyon süreci değişmiştir ve daha yüksek dozlar genellikle daha büyük azalmalar sağlanmıştır, 8 saniyelik bir UV-C işlemiyle *E. coli*, *E. faecalis*, *S. aureus* ve *C. difficile* için değişen log azalmaları göstermektedir. (Rashid ve ark. 2017, Torres Teran ve ark.2022). Bu araştırmalar gösteriyor ki UV-C ışınları dezenfeksiyon alanında diğer kimyasal yöntemlere göre daha etkili, daha çevreci ve uzun vadede insan sağlığına faydalı olduğu görülmüştür. Ayrıca çevreye bir atığı olmadığı için de çevre dostu bir teknolojidir, astım ve solunum yolu hastalıkları olan bireyler için, kimyasal (parfüm, deodorant, vb.) içermeyen bu yöntem, solunum sağlığına zarar vermeyen doğal bir alternatif sunmaktadır. Yapılan başka bir çalışmada COVID-19 pandemisi sırasında, UV-C ışınlaması SARS-CoV-2 virüsünün inaktivasyonunda etkili bir yöntem olarak öne çıkmıştır. Yapılan sistematik derlemeler, farklı UV-C

dalga boyları ve dozlarının kullanıldığı çalışmalarda, virüsün %90 ila %100 oranında inaktive edildiğini göstermektedir. (Görny ve ark. 2024).

Bu çalışmanın temel amacı ayakkabılarda kötü kokulara sebep mikroorganizmalardan *S. epidermidis* bakterisinin UV-C ışınları ile yok eden sterilizasyon dolabı tasarlamak ve UV-C ışınlarının, ayakkabılarda kötü kokulara sebep bu mikroorganizma üzerindeki öldürücü etkisi araştırılmıştır. UV-C ışınlarının *S. epidermidis* üzerindeki öldürücü etkisi kullanarak ayakkabı dolabının sterilizasyonu sağlamayı hedeflenmiştir ayrıca bu çalışma, UV-C ışınlarının *S. epidermidis* bakterisi üzerindeki etkisini deneysel olarak analiz ederek, bu yöntemin yüksek hijyen gerektiren sektörlerde potansiyel uygulamalarını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular, sağlık hizmetleri, gıda güvenliği ve tekstil sterilizasyonu gibi alanlarda UV-C tabanlı yöntemlerin geniş ölçekli kullanımı için bilimsel bir temel oluşturmayı hedeflemektedir. Bu çalışma akademik literatüre ve yapılan deneylere dayanarak, antibakteriyel ve koku giderici amaçlarla UV-C ışınlaması kullanan bir ayakkabı dolabının bilimsel temelini, tasarım hususlarını, güvenlik yönlerini ve fizibilitesini araştırmaktır. Bu çalışma UV-C ışınlarının, insan ayaklarında bulunan ve özellikle terde çoğalan kötü kokulara sebep olan *S. Epidermidis* bakterisi üzerindeki etkisini araştırmıştır, bu alanda ve yapılacak yeni araştırmalar için kaynak olmayı hedeflemektedir.

2. Materyal Metot

2.1. Materyal

Elektrik Elektronik devre kontrolü için ve Laboratuvar analizi için kullanılan malzemeler **Tablo 1**'de gösterilmiştir.

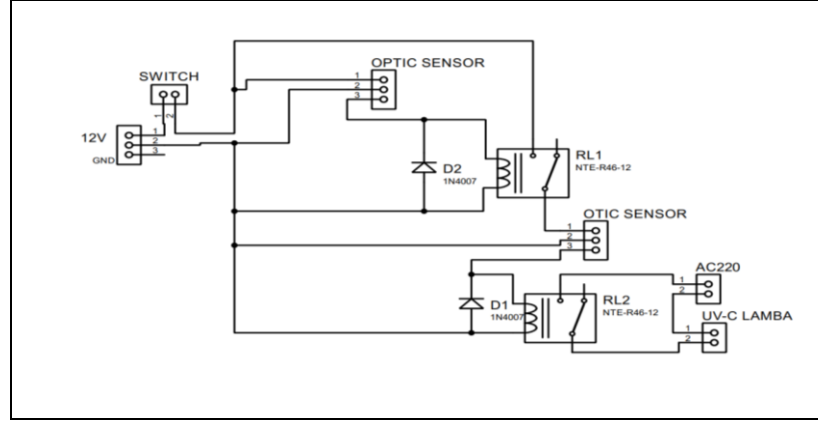
Tablo 1. Bu çalışma kapsamında kullanılan araç ve gereçler.

Elektrik ve Elektronik devre kontrollü için malzeme listesi	Laboratuvar Analizi için Malzeme Listesi
• Sentalam • Menteşeler • Buz Cam • Vida ve Çivi • 3 adet ikili klemens • 3 adet üç girişli klemens • 2 adet 1N4007 • 1 adet Cata 220V-12V, 30W Transformatör • 2 adet Philips 15W UV-C Lamba • 2 adet Motorobit Push Buton • 4 adet Neodyum Mıknatıs • 2 adet Lambado Optik Sensör • 2 adet Siemens 2A Sigorta • 2 adet Entes 12V Röle • 10 adet PCB Transfer Kâğıdı • 1 adet 5cmx5cm Bakır Plaket • 1 litre Hidrojen Peroksit • 1 litre Hidroklorik Asit • Fırısı Multimetre • Öznur Kablo • İzletiş Pense • Entes Kablo kanalı • Eldiven • Maske	• Oxoid (Thermo Fisher Scientific) marka Müller-Hinton Agar (MHA) tozu • Millipore Milli-Q (Merck Millipore) marka Saf su • IKA marka Manyetik karıştırıcı • Tuttnauer marka Otoklav (sterilizasyon için) • Sarsted marka Steril petri kapları • ATCC 12228 kodlu <i>Staphylococcus epidermidis</i> bakterisi (saf kültür) • NuAire (Thermo Fisher Scientific) marka Laminar akış kabini (steril çalışma ortamı sağlamak için) • Sigma-Aldrich marka Dezenfektan (laminar akış kabini temizliği için) • Thermo Fisher Scientific marka Öze (bakteri ekimi için) • Eppendorf marka Pipet uçları (steril) • Puritan marka Steril pamuklu çubuk (bakteri süspansiyonu almak için) • Sarstedt marka Petri kapları (bakteri ekimi için) • Steril kapalı kabin (UV-C ışını uygulaması için) • İnkübatör (37°C'de 24 saat inkübasyon için) • Olympus Mikroskop (bakteri kültürünün mikroskopik incelemesi için) • Mettler Toledo Hassas terazi (MHA tozunun tartılması için) • BD marka Steril aletler (ekim işlemi için)

Bu çalışmada kullanılan elektronik kontrol kartı Proteus uygulamasında tasarlandı, kullanılan elemanlar ve devre **Şekil 1**'de gösterilmiştir.

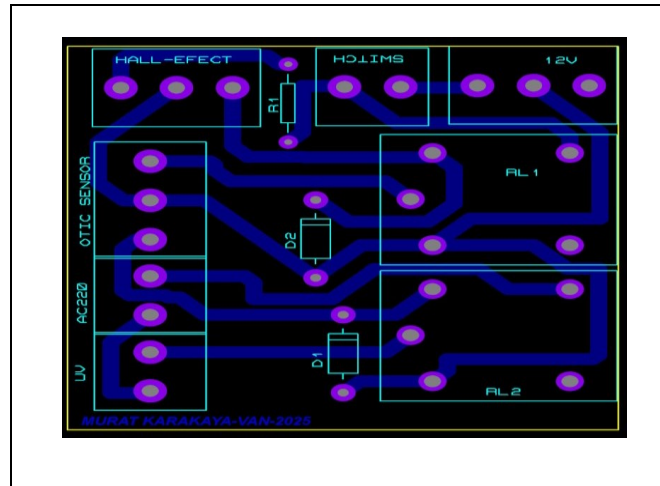
Proteus uygulamasında kullanılan elemanlar

- 2 adet 1N4007 Diyot
- 2 adet TBLOCK-I2 Klemens
- 3 adet TBLOCK-I3 Klemens
- 2 adet NTE-R46-12 Röle



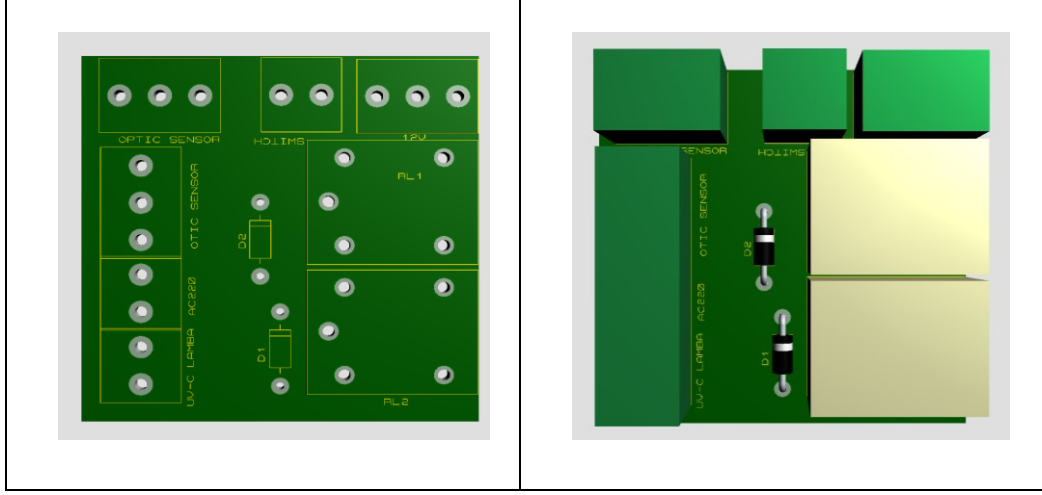
Şekil 1. Devrenin Proteus uygulamasında şematik çizimi.

Bu çalışmada kullanılan elektronik devre kartı 5cmx5cm boyutunda Proteus uygulamasında tasarlandı ve **Şekil 2**'de verilmiştir.



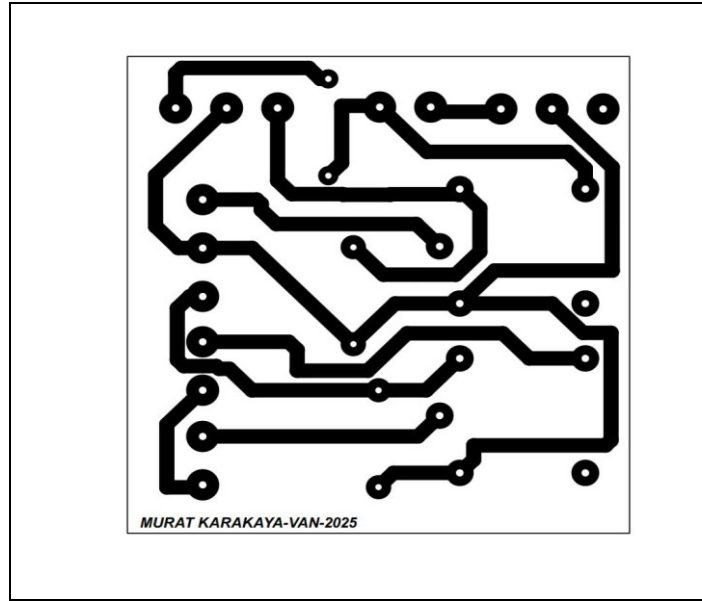
Şekil 2. Devrenin Proteus uygulamasında PCB tasarımı.

Devrenin PCB tasarımı ve 3D görünümü **Şekil 3**'te verilmiştir.



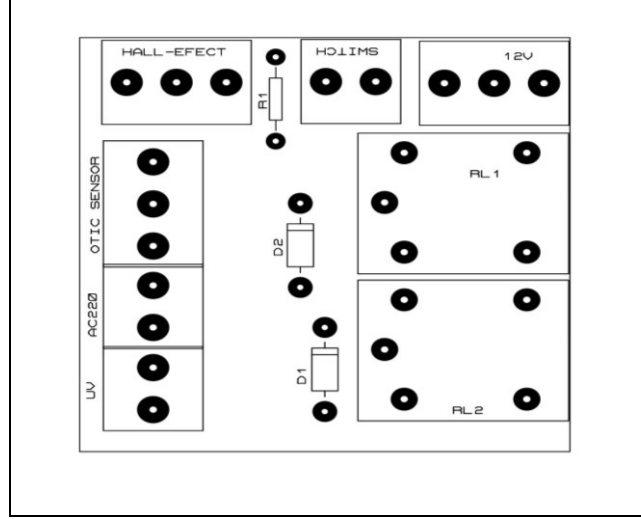
Şekil 3. Devrenin PCB tasarımı ve 3D görünümü.

Devrenin Pdf formatında bakır yollarının aktarılması **Şekil 4**'de verilmiştir.



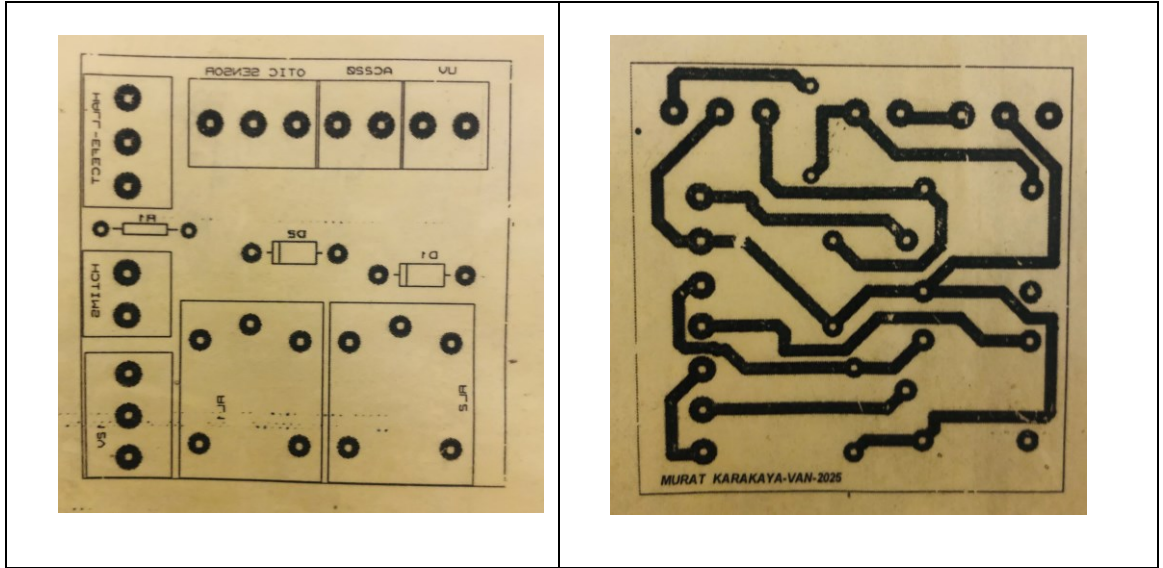
Şekil 4. Devrenin Proteus uygulamasında bakır yollarının aktarılması.

Devrenin üst kısmı ve elemanlarının bulunduğu kısmının Pdf dosyasına aktarımı **Şekil 5**'de verilmiştir.



Şekil 5. Devrenin Proteus uygulamasında üst kısmı ve elemanlarının bulunduğu katman.

Proteusta oluşturulan elektronik kontrol devresi ilk önce transfer kağıdına aktarıldı ve ütü ile bakır plakete aktarımı yapıldı. **Şekil 6**'da verilmiştir.



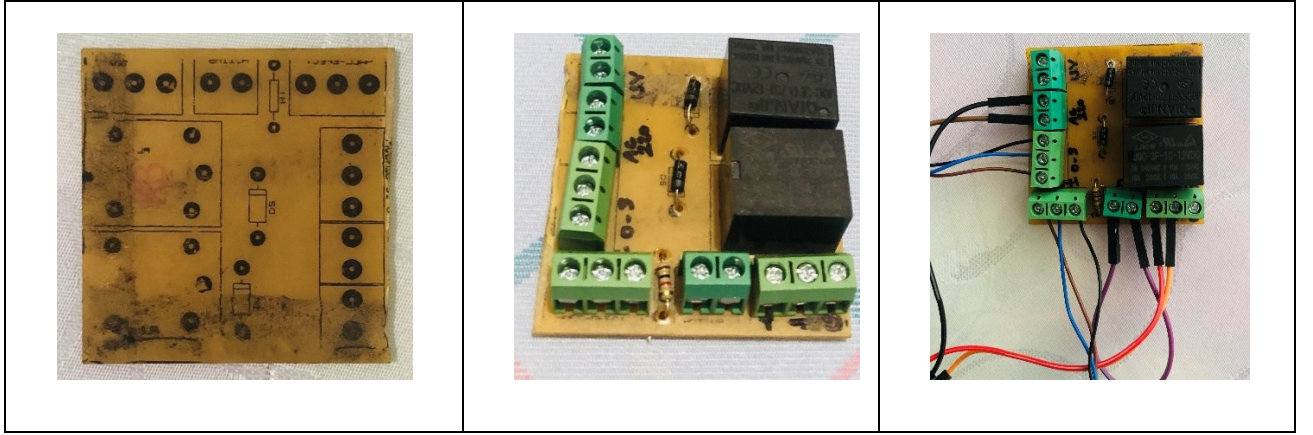
Şekil 6. Devrenin bakır yollarının ve üst katmanının transfer kağıdına aktarımı.

Aktarma işleminden sonra Tuz ruhu ve Hidrojen Peroksit karışımı hazırlandı, bakır plaket karışımın içine atılarak belli bir süre bekletildi, çözünme işleminden sonra plaket su ile yıkandı. Uygulanan işlemler **Şekil 7**'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Kimyasal karışımın hazırlanışı ve bakır plakette yolların çıkarılması.

Bu işlemlerden sonra plakette elemanların üst katmana elemanların şekilleri ve bacak izlerinin bulunduğu kısım bakır plakete transfer kâğıdı ile aktarıldı. Daha sonra uygun matkap ucu ile bacak izlerinin delimi yapıldı. Delme işlemlerinden sonra elemanlar bakır plakette üzerine yerleştirildi ve lehimleme işlemleri yapıldı. Kısa devre ve eleman testleri yapıldıktan sonra sensörler bağlanıp tekrardan test edildi. Yapılan işlemlerin görselleri **Şekil 8**'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Eleman izlerinin aktarımı, devre montajının yapılması ve bağlantılarının yapılması.

Dolabın kapaklarının kapandığı zaman çalışması için iki adet push buton montajı yapıldı ve test edildi. Lambalar uygun açılış ile raflara montajı yapıldı yapılan işlemlerin görselleri **Şekil 9**'da verilmiştir.



Şekil 9. Buton ve Lamba montajı.

2.2. Metot

UV-C ışınları, dalga boyu aralığı yaklaşık 200–280 nm olan elektromanyetik radyasyon türüdür. Bu spektrum bölgesindeki ışınım, mikroorganizmaların DNA ve RNA yapılarında doğrudan fotokimyasal değişikliklere neden olur. UV-C ışını, DNA'daki timin bazlarının çift bağ oluşturarak siklobütan pirimidin dimerleri (CPD) oluşumuna yol açar. Bu dimerler, DNA replikasyonunu ve transkripsiyonu bozarak hücresel onarım mekanizmalarının yetersiz kalması sonucunda mikrobiyal inaktivasyona neden olur. (Korkmaz ve Tiryaki Gündüz 2018). Bu temel etki mekanizması hem bakteri hem de virüslerin inaktivasyonunda gözlemlenir ve UV-C'nin dezenfeksiyon teknolojilerinde yaygın kullanılmasının bilimsel temelini oluşturur. UV-C ışınlaması, bakteriler, virüsler ve mantarlar dahil olmak üzere çeşitli mikroorganizmaların inaktivasyonunda etkilidir. 254 nm dalga boyunda çalışan düşük basınçlı cıva lambaları ve UV-C LED'ler, bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüzey dezenfeksiyonunda, UV-C ışığının etkinliği, yüzeyin malzemesi ve yapısına bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Örneğin, cam ve plastik yüzeylerde mikroorganizmaların hayatta kalma oranı daha yüksek olabilir. (Gorny ve ark 2024).

Bu çalışmada elektronik elemanların beslemesi 12 V'tur, bu değeri sağlamak için 220V-12V transformatör kullanıldı. Devrenin kontrolünü otomatik sağlamak için iki adet optik sensör kullanıldı, birinci optik sensör kapı kapandığı zaman devreye enerji verecektir, ikinci optik sensör ise dolabın önünden herhangi bir şey durduğu veya geçtiği zaman devredeki enerjiyi kesecektir. Ayrıca kapının kapanması ile birlikte birbirine seri bağlı tek yönlü butonlar devreye enerjiyi sağlayacaktır. Devre enerjilendikten sonra zaman rölesi 30 dakika çalışıp devreyi kapatacaktır bu çalışma prensibi kapalı döngü şeklinde devam edecektir.

2.3. Laboratuvar analizi

1. Besiyeri hazırlama

- a. Gerekli malzemeler:
 - MHA tozu
 - Saf (distile) su
 - Sterilizasyon için otoklav torbası veya benzeri kap
- b. Ekipmanlar:
 - Hassas terazi (ölçüm doğruluğu için)
 - Manyetik karıştırıcı ve karıştırma çubuğu
 - Otoklav
 - Aseptik koşullarda kullanılacak steril petri kapları
 - Soğutma için uygun ortam (oda sıcaklığı ve buzdolabı)
- c. MHA Tozunun Tartılması ve Su ile Karıştırılması:

- Tartım işlemi, hassas terazide yapıldı. Bu işlem, tarifte belirtilen miktarda MHA tozunun doğru ölçümlendiğinden emin olunmasını sağlar.
- Tartılan MHA tozu, uygun hacimde saf su ile titizlikle karıştırıldı.

d. Homojen Çözünüm Elde Edilmesi:

- Karışım, manyetik karıştırıcı kullanılarak ısıtıldı.
- Isıtma sırasında, karışım sürekli ve eşit şekilde karıştırılarak MHA tozunun tamamen çözünmesi sağlandı.
- Bu aşamada, çözelti homojen hale gelene kadar ısıtma ve karıştırma işlemi sürdürüldü.

e. Sterilizasyon İşlemi:

- Çözünürlüğü tam olarak sağlanan besiyeri, otoklav kaplarına aktarıldı.
- Sterilizasyon, 121°C sıcaklıkta 15 dakika süreyle gerçekleştirildi.
- Bu işlem, ortamın mikrobiyal yükten arındırılmasını ve deneysel kontaminasyon riskinin minimize edilmesini sağladı.

f. Soğuma Aşaması:

- Sterilizasyon işlemi sonrasında, besiyerinin sıcaklığı kontrollü bir şekilde yaklaşık 45-50°C'ye düşene kadar bekletildi.
- Bu aşama ile besiyerinin dökme işlemi esnasında istilaya karşı aseptik koşulların korunabilmesi sağlandı.

g. Aseptik Dökme İşlemi:

- Soğuyan besiyeri, aseptik koşullar altında steril petri kaplarına dikkatlice döküldü.

h. Katılaşma ve Son İşlemler:

- Dökme işlemi tamamlandıktan sonra, petri kaplarında bulunan besiyeri oda sıcaklığında bekletilerek katılaşması sağlandı.
- Katılaşan besiyerleri, uzun süreli kullanım ve saklama amacıyla ters çevrilerek buzdolabında uygun koşullarda muhafaza edildi.
- Bu uygulama ile besiyerinin yüzeyine kondenzasyonun ya da diğer dış etkenlerin zarar vermesinin önüne geçildi.

Besi yeri hazırlaması ve yukarıda yapılan işlemler özetlemek gerekirse, Müller-Hinton Agar (MHA) besiyerinin hazırlanması için gerekli malzemeler temin edildi. MHA tozu, hassas terazide tartıldı ve uygun hacimde saf su ile karıştırıldı. Homojen bir karışım elde edilene kadar manyetik karıştırıcı üzerinde ısıtılarak çözünme sağlandı. Tamamen çözünen besiyeri, 121°C'de 15 dakika süreyle otoklavda steril edildi. Sterilizasyon işlemi tamamlandıktan sonra, besiyerinin sıcaklığının yaklaşık 45-50°C'ye düşmesi için bir süre bekletildi. Daha sonra, steril petri kaplarına aseptik koşullar altında dikkatlice dökme işlemi gerçekleştirildi ve katılaşması için oda sıcaklığında bekletildi. Katılaşan besiyerleri, uygun saklama koşullarında muhafaza edilmek üzere ters çevrilerek buzdolabına yerleştirildi.

2. Bakteri ekimi

MHA besiyerine Staphylococcus epidermidis bakterisinin ekimi için öncelikle gerekli malzemeler hazırlandı. Kullanılacak bakteri suşunun saf kültür olup olmadığı mikroskopik ve makroskopik incelemelerle doğrulandı. Ekim işlemi öncesinde, besiyerlerinin oda sıcaklığına adapte olması için 1 saat bekletildi. Steril çalışmayı sağlamak amacıyla laminar akış kabini çalıştırıldı ve kabin içi uygun dezenfektan ile temizlendi. Kullanılacak aletler, özellikle ekim işlemi için gerekli olan öze ve pipet uçları, steril edildi. S. epidermidis içeren stok kültürden bir loop (öze) yardımıyla alınan bakteri, tekrar MHA'da geliştirildi. Ekim işlemi için steril pamuklu çubuk kullanılarak bakteri süspansiyonu alındı ve besiyeri yüzeyine eşit dağılım sağlanacak şekilde 3 yönlü ekim yapıldı. Öncelikle, petri kabının yüzeyine bir yönde sürme işlemi gerçekleştirildi; ardından, 60° açıyla döndürülerek ikinci ve üçüncü yönde sürme işlemi tekrarlandı. Ekim tamamlandıktan sonra petri kapları kapatıldı ve ters çevrilerek inkübasyona alındı. İnkübasyon, 37°C'de 24 saat süreyle gerçekleştirildi. İnkübasyon süresi sonunda, bakteri üremesi makroskopik olarak değerlendirildi. Kontaminasyon olup olmadığı negatif boş besiyeri ile kontrol edildi. **Şekil 10'**da Petri kaplarına bakteri ekimi işlemi gösterilmiştir. **Şekil 12'**de 37°C'de 24 saat süreyle İnkübasyon işlemi gösterilmiştir.



Şekil 10. Petri kaplarına bakteri ekimi işlemi.

3. Deneme Düzeni

Deney, *S. epidermidis* bakterisinin UV-C ışınına maruz kalma süresine bağlı olarak üreme durumu üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla düzenlendi. Çalışmada beş deney grubu ve bir negatif kontrol grubu oluşturuldu. Tüm işlemler aseptik koşullar altında gerçekleştirildi ve bakterinin homojen dağılımı sağlandı. **Şekil 11** ve **Şekil 12**'de deney grupları, UV-C ışınlarına maruz kalma süreleri ve inkübasyon sıcaklığı verilmiştir.

Grup	Bakteri Ekimi	UV Maruziyet Süresi (dk)	İnkübasyon (37°C, 24 saat)
Kontrol Grubu	Evet	0	Evet
1. Grup (1 dk UV)	Evet	1	Evet
2. Grup (5 dk UV)	Evet	5	Evet
3. Grup (10 dk UV)	Evet	10	Evet
4. Grup (30 dk UV)	Evet	30	Evet
Negatif Kontrol Grubu	Hayır	0	Evet

Şekil 11. Deney grupları, UV-C ışınlarına maruz kalma süreleri ve inkübasyon sıcaklığı.



Şekil 12. 37°C'de 24 saat süreyle İnkübasyon işlemi.

Deneme düzeninde oluşturulan gruplar aşağıdaki şekilde planlanmıştır,

Kontrol Grubu: Kontrol grubu, UV-C ışınına maruz bırakılmadan bakterinin doğal üreme yeteneğini gözlemlemek amacıyla oluşturuldu. Öncelikle *S. epidermidis*'in saf kültüründen tek bir koloni seçildi ve steril besiyeri üzerine ekim yapıldı. Ekimi takiben besiyeri, 37°C'de 24 saat süreyle inkübasyona bırakıldı.

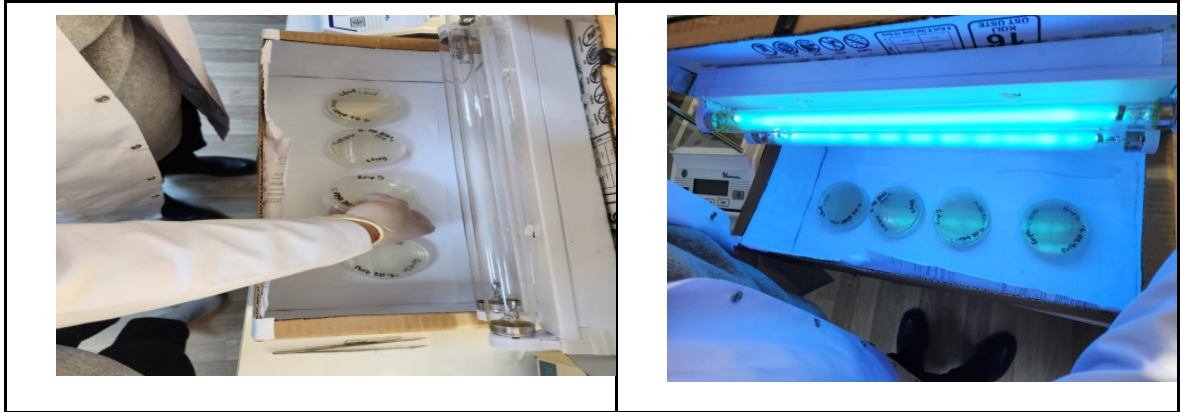
1. Deney Grubu (1 Dakika UV-C Işını): Bu grupta, saf kültürden izole edilen tek bir *Staphylococcus epidermidis* kolonisi, taze besiyeri üzerine ekildi. Ekimi takiben besiyeri, steril kapalı bir kabin içerisine yerleştirildi. Kabin içinde bulunan iki adet 15 Watt gücündeki UV-C lambası, bakterinin bulunduğu yüzeye doğrudan temas edecek şekilde konumlandırıldı ve 1 dakika boyunca UV-C ışınına maruz bırakıldı. Bu sürenin sonunda petri kabı, inkübasyon için 37°C sıcaklıkta 24 saat süreyle bekletildi.

2. Deney Grubu (5 Dakika UV-C Işını): Bu grupta, ilk grupta uygulanan prosedür izlenerek tek bir bakteri kolonisi besiyerine ekildi. Ekim sonrası, steril kapalı kabin içerisine yerleştirilerek 2 adet 15 Watt UV-C ışınına 5 dakika süreyle maruz bırakıldı. UV-C uygulamasının ardından besiyeri, 37°C'de 24 saat boyunca inkübe edildi.

3. Deney Grubu (10 Dakika UV-C Işını): Bu grupta, benzer şekilde tek bir bakteri kolonisi besiyerine aktarıldı. Ekim işleminden sonra kapalı kabin içerisinde 10 dakika süreyle 2 adet 15 Watt UV-C ışınına maruz bırakıldı. Uygulamanın ardından besiyeri, 37°C'de 24 saat süreyle inkübasyona bırakıldı.

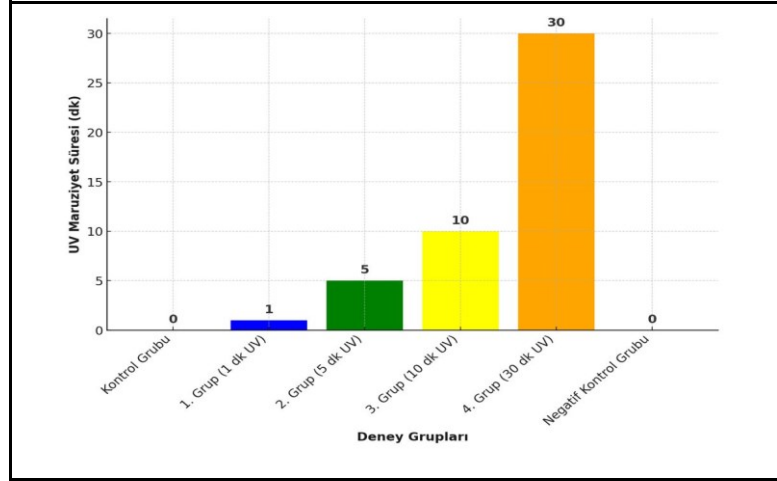
4. Deney Grubu (30 Dakika UV-C Işını): Bu deney grubunda, tek bir bakteri kolonisi besiyerine ekildi. Aynı prosedür izlenerek kapalı kabin içerisine yerleştirildi ve 30 dakika boyunca 2 adet 15 Watt UV-C ışınına doğrudan maruz bırakıldı. Maruziyetin ardından petri kabı, 37°C'de 24 saat süreyle inkübasyona alındı.

Negatif Kontrol Grubu: Negatif kontrol grubu, UV-C ışınına maruz bırakılmadan ve herhangi bir bakteri ekimi yapılmadan oluşturuldu. Bu grupta, steril besiyeri herhangi bir bakteri inokülasyonu yapılmadan 37°C'de 24 saat boyunca inkübasyona bırakıldı. Bu sayede, ortamın herhangi bir dış kontaminasyona uğrayıp uğramadığı gözlemlendi. **Şekil 13'**te UV-C ışını deney düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 13. UV-C ışını deney düzeneği.

Deneme düzeninde UV-C maruziyet sürelerine göre deney grupları gösteren grafik **Şekil 14'**te verilmiştir.



Şekil 14. UV-C maruziyet sürelerine göre deney grupları.

4. Deney Sonuçlar ve Bulgular

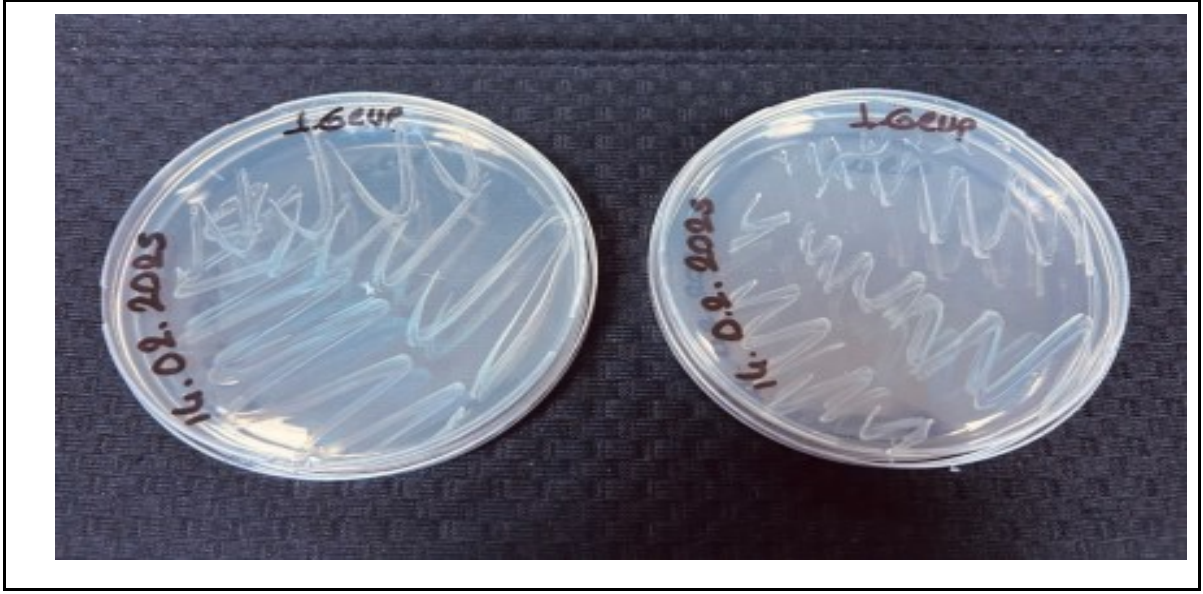
Deney sonunda, her bir deney grubunda gerçekleştirilen inkübasyon sürecinin ardından bakteri gelişimi değerlendirilmiş ve UV-C ışınına maruziyetin *S. epidermidis* üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Kontrol Grubu: Kontrol grubunda, UV-C ışınına maruz bırakılmaksızın doğrudan ekimi yapılan bakteriler, 37°C’de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon süresi sonunda petri kabında belirgin bakteri kolonilerinin geliştiği gözlenmiştir. Bu durum, uygulanan besiyerinin ve kültür koşullarının bakteriyel üreme için elverişli olduğunu ve herhangi bir inhibisyon faktörünün bulunmadığını göstermektedir. Şekil 15’te Kontrol grubu bakteri gelişimi verilmiştir.



Şekil 15. Kontrol grubu bakteri gelişimi.

1. Grup (1 Dakika UV-C Işını): Bu grupta, *S. epidermidis* bakterisi ekim işlemini takiben kapalı kabin içerisindeki iki adet 15 Watt UV-C ışığına 1 dakika süreyle doğrudan maruz bırakılmıştır. UV-C maruziyetinin ardından inkübasyona alınan besiyerinde, kontrol grubuna benzer şekilde bakteri üremesi gözlenmiştir. Bu bulgu, kısa süreli UV-C ışını maruziyetinin bakteriyel gelişim üzerinde belirgin bir inhibe edici etkiye sahip olmadığını ortaya koymaktadır. Şekil 16’da 1.grup(1 dakika UV-C maruziyeti) bakteri gelişimi verilmiştir.



Şekil 16. 1.grup (1 dakika UV-C maruziyeti) bakteri gelişimi.

2. Grup (5 Dakika UV-C Işını): Bu grupta, 5 dakika boyunca UV-C ışınına maruz bırakılan bakterilerin gelişimi değerlendirildiğinde, petri kabında belirgin bakteri kolonilerinin oluştuğu gözlenmiştir. Ancak, kontrol grubuna kıyasla bakteri yoğunluğunda kısmi bir azalma tespit edilmiştir. Bu sonuç, 5 dakikalık UV-C maruziyetinin bakteriyel gelişimi tamamen engellemediğini ancak üreme kapasitesinde kısmi bir inhibisyona neden olabileceğini düşündürmektedir. Şekil 17’de 2.grup (5 dakika UV-C maruziyeti) bakteri gelişimi verilmiştir.



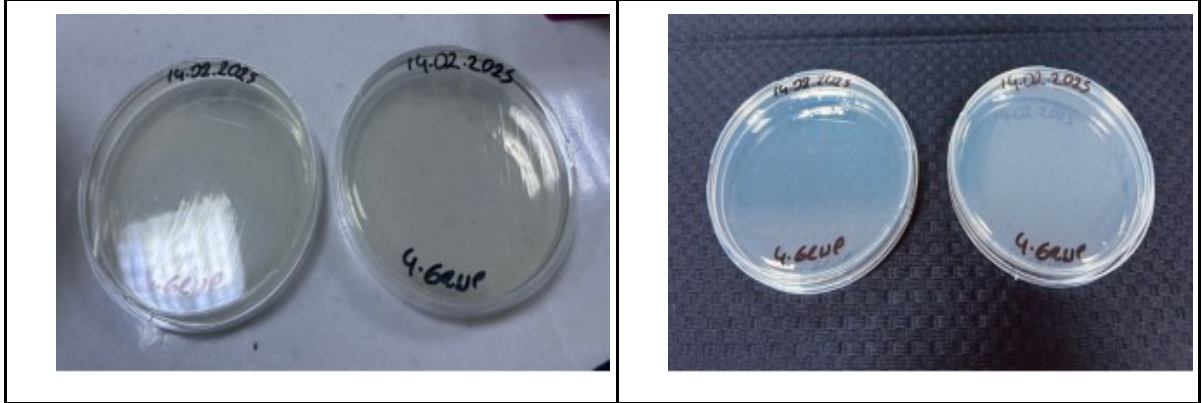
Şekil 17. 2.grup (5 dakika UV-C maruziyeti) bakteri gelişimi.

3. Grup (10 Dakika UV-C Işını): 10 dakika boyunca UV-C ışınına maruz bırakılan bakterilerin üreme durumu değerlendirildiğinde, besiyeri yüzeyinde gözle görülür bakteri kolonilerinin geliştiği belirlenmiştir. Ancak, bakteri yoğunluğunun 1. ve 2. gruplara kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu bulgu, UV-C maruziyet süresi arttıkça bakteriyel gelişimin giderek baskılandığını göstermektedir. **Şekil 18'**de 3.grup (10 dakika UV-C maruziyeti) bakteri gelişimi verilmiştir.



Şekil 18. 3.grup (10 dakika UV-C maruziyeti) bakteri gelişimi.

4. Grup (30 Dakika UV-C Işını): 30 dakika süreyle UV-C ışınına maruz bırakılan bakterilerin üreme durumu incelendiğinde, petri kabında herhangi bir bakteri gelişiminin olmadığı tespit edilmiştir. Bu bulgu, uzun süreli UV-C maruziyetinin *S. epidermidis* üzerinde baskılayıcı bir etki oluşturduğunu ve bu süre sonunda bakteriyel üremenin tamamen engellendiğini göstermektedir. **Şekil 20'**de 4.grup (30 dakika UV-C maruziyeti) bakteri gelişimi verilmiştir.



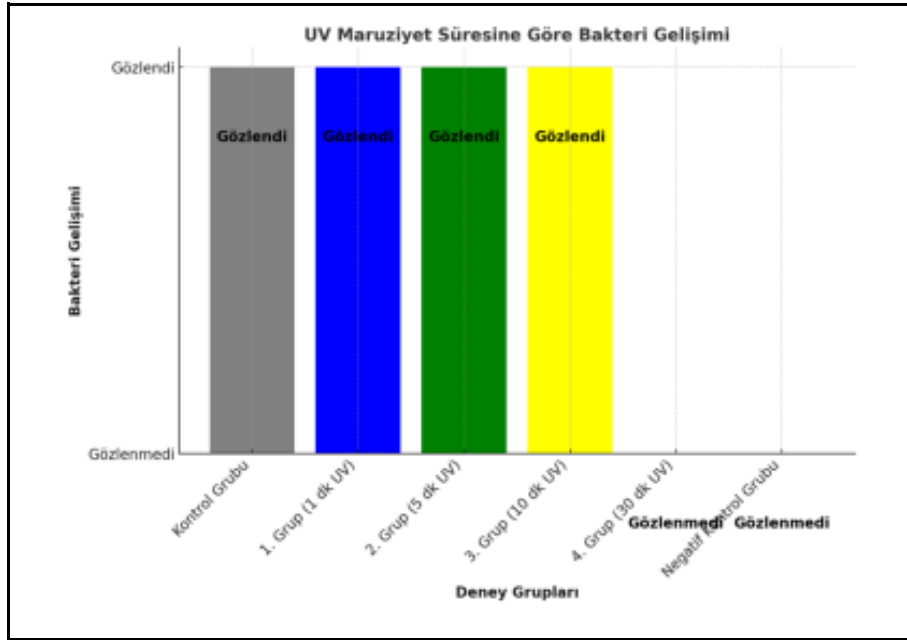
Şekil 20. 4.grup (30 dakika UV-C maruziyeti) bakteri gelişimi.

Negatif Kontrol Grubu: Negatif kontrol grubu, herhangi bir bakteri inokülasyonu yapılmaksızın, yalnızca steril besiyerinin 37°C'de 24 saat boyunca inkübasyona bırakılmasıyla oluşturulmuştur. İnkübasyon süresi sonunda, petri kabında herhangi bir bakteri gelişiminin olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum, deney sırasında dış kontaminasyonun meydana gelmediğini ve çalışma ortamının sterilite koşullarına uygun olarak yürütüldüğünü doğrulamaktadır. **Şekil 21'**de Negatif kontrol grubu bakteri gelişimi verilmiştir.

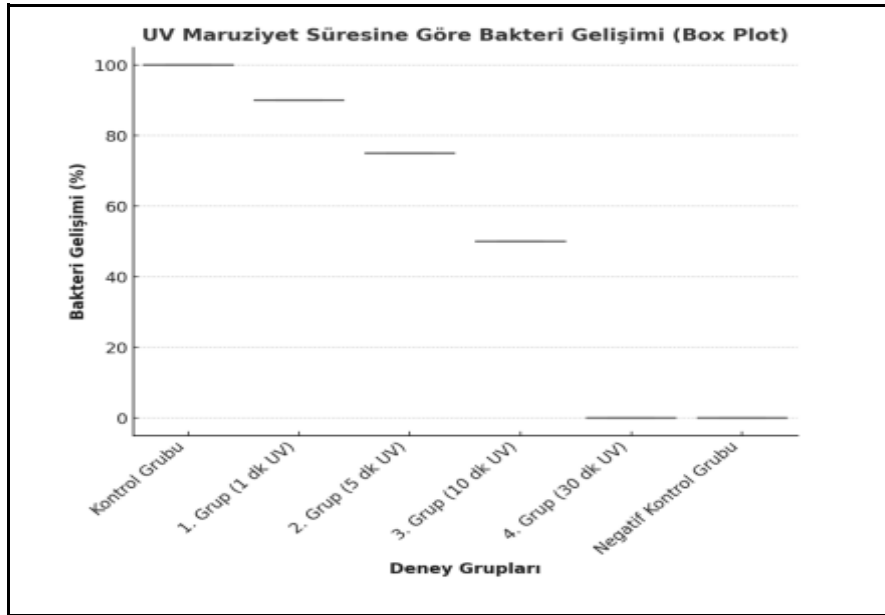


Şekil 21. Negatif kontrol grubu bakteri gelişimi.

Yapılan çalışmalar sonucunda, UV-C maruziyetinin (1, 5 ve 10 dakika) bakteriyel gelişimi tamamen inhibe etmediği, ancak 30 dakikalık maruziyet süresinin *S. epidermidis* üremesini tamamen durdurduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, UV-C ışınının bakteriyel üreme üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik önemli bulgular sunmaktadır. **Şekil 22** ve **Şekil 23**'de belirli süreli UV-C ışınlarının *S. epidermidis* bakterisi üzerindeki etkisi grafikler ile gösterilmiştir.



Şekil 22. UV-C ışınlarının *S. epidermidis* bakterisi üzerindeki gelişim etkisi.



Şekil 23. UV-C ışınlarının *S. epidermidis* bakterisi üzerindeki gelişim etkisi.

5.Sonuç

Bu çalışma kapsamında, *S. epidermidis* bakterisinin farklı sürelerle UV-C ışınına maruz bırakılmasının bakteri gelişimi üzerindeki etkisi incelenmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda UV-C ışınının etkinliği değerlendirilmiştir.

Deney sonuçlarına göre, **kontrol grubunda** herhangi bir UV-C maruziyeti olmaksızın bakteri ekimi gerçekleştirildiğinde, 24 saatlik inkübasyon süresinin sonunda belirgin bakteri kolonileri gözlemlenmiştir. Bu durum, kullanılan besiyerinin ve kültür koşullarının bakterinin üremesi için uygun olduğunu ve dış etkenlerle baskılanmadığını göstermektedir. **Negatif kontrol grubunda** ise herhangi bir bakteri ekimi yapılmaksızın besiyeri 24 saat inkübasyona bırakılmış, deney sonunda bakteri üremesi gözlenmemiştir. Bu sonuç, çalışmada dış kontaminasyonun meydana gelmediğini ve deney ortamının sterilite koşullarına uygun olduğunu doğrulamaktadır.

Deney gruplarında, UV-C maruziyet süresinin bakteriyel gelişim üzerindeki etkisi kademeli olarak gözlemlenmiştir. **1. grup** (1 dakika UV-C maruziyeti), **2. grup** (5 dakika UV-C maruziyeti) ve **3. grup** (10 dakika UV-C maruziyeti) incelendiğinde, bakteri gelişiminin tamamen engellenmediği ancak artan UV-C süresiyle birlikte koloni yoğunluğunun azaldığı belirlenmiştir. 10 dakikalık maruziyet süresi, bakteri gelişiminde belirgin bir azalmaya yol açsa da, hala üreme gözlemlenmiştir.

4. grup ise 30 dakika süreyle UV-C ışınına maruz bırakılan bakterileri içermekte olup, bu grupta herhangi bir bakteri gelişimi gözlenmemiştir. Bu bulgu, 30 dakikalık UV-C ışını maruziyetinin *Staphylococcus epidermidis* üzerinde tam anlamıyla bakteriyel inhibisyon sağladığını göstermektedir. Bu süre zarfında bakterilerin üremesinin tamamen engellendiği belirlenmiş ve UV-C ışığının etkin bir sterilizasyon yöntemi olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Tüm bu bulgular ışığında, UV-C ışını ile sterilizasyon sağlamak amacıyla kapalı kabin içerisinde en az 30 dakika süreyle maruziyet sağlanmasının gerektiği belirlenmiştir. Daha kısa süreli maruziyetlerin (1, 5 ve 10 dakika) bakteriyel gelişimi tamamen önlemediği, yalnızca üremeyi kısmen baskıladığı görülmüştür. Bu nedenle, kısa süreli UV-C kullanımı sterilizasyon amacıyla yetersiz kalmakta ve yüzeylerde tam anlamıyla mikrobiyal arındırma sağlanamamaktadır.

Sonuç olarak, UV-C ışınının kapalı bir kabin içerisinde en az 30 dakika süreyle uygulanması, bakteri gelişimini tamamen engellemek için etkili bir yöntem olarak değerlendirilmektedir. Bu sürenin altında kalan UV-C maruziyetleri sterilizasyon için yetersiz olup, özellikle laboratuvar ortamlarında veya tıbbi ekipman sterilizasyonunda bu sürenin dikkate alınması gerekmektedir. Çalışmanın sonuçları, UV-C ışığının uygun süre ve koşullarda kullanıldığında güçlü bir dezenfeksiyon aracı olabileceğini ve özellikle 30 dakika veya daha uzun süreli UV-C maruziyetinin güvenli sterilizasyon için en uygun yöntem olduğunu ortaya koymaktadır.

Kaynaklar

- Astrid, F., Zatorska, B., Van den Nest, M., Ebner, J., Presterl, E., & Diab-Elschahawi, M. (2021). The use of a UV-C disinfection robot in the routine cleaning process: A field study in an academic hospital. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*, 10(1), 84. <https://doi.org/10.1186/s13756-021-00945-4>
- Badham, J. (2020). UV-C lights the way. *The Current*. University of California, Santa Barbara. Retrieved from <https://news.ucsb.edu/2020/019949/uv-lights-way>
- Bose, B. K. (2002). *Modern power electronics and AC drives*. Prentice Hall.
- Brenner, D. (2022). New type of ultraviolet light makes indoor air as safe as outdoors. Columbia University Irving Medical Center. Retrieved from www.cuimc.columbia.edu
- Çil, E. (2006). UV-C ışın stresinin sera şartlarında yetiştirilen fasulye (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Atlanta) üzerinde bazı morfolojik ve fizyolojik etkilerinin araştırılması. [Yüksek lisans tezi].
- Erickson, R. W., & Maksimovic, D. (2007). *Fundamentals of power electronics*. Springer.
- Fernandez, S. (2020). The power of light. *The Current*. Retrieved from news.ucsb.edu
- Güler, M., & Özer, M. (2017). Ultraviyole ışınlarının mikroorganizmalar üzerindeki etkisi. *Journal of Health Sciences*, 2(2), 12-18.
- Kassakian, J. G., Schlecht, M. F., & Verghese, G. C. (1991). *Principles of power electronics*. Addison-Wesley.
- Karagöz, B., & Ersoy, İ. (2019). Ultraviyole ışınlarının mikrobiyolojik dezenfeksiyondaki yeri. *Journal of Applied Biological Sciences*, 13(1), 26-32.
- 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.
- Kodan, G., & Tınaksız, İ. (2020). Tırnak mantarı enfeksiyonu (Onikomikoz) ve topikal tedavide yararlanımı artırma yöntemleri. *Journal of Literature Pharmacy Sciences*.
- Koutchma, T. (2009). Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food and Bioprocess Technology*, 2(2), 138-155.
- Lado, B. H., & Yousef, A. E. (2002). Alternative food-preservation technologies: Efficacy and mechanisms. *Microbes and Infection*, 4(4), 433-440.
- Lopes, S. J., de Souza Sant'Ana, A., & Freire, L. (2023). Non-thermal emerging processing technologies: Mitigation of microorganisms and mycotoxins and sensory and nutritional properties maintenance in clean label fruit juices. *Food Research International*, 112727.
- McClane, B. A., & Mietzner, T. A. (1999). *Microbial pathogenesis*. Wiley-Blackwell.
- Mohan, N., Undeland, T. M., & Robbins, W. P. (2003). *Power electronics: Converters, applications, and design*. John Wiley & Sons.
- Perinçek, S. D., Duran, K., Körlü, A. E., & Bahtiyari, M. İ. (2007). Ultraviyole teknolojisi. *Textile and Apparel*, 17(4), 219-223.
- Ramos, C. C. R., Roque, J. L. A., Sarmiento, D. B., Suarez, L. E. G., Sunio, J. T. P., Tabungar, K. I. B., Tengco, G. S. C., Rio, P. C., & Hilario, A. L. (2020). Use of ultraviolet-C in environmental sterilization in hospitals: A systematic review on efficacy and safety. *International Journal of Health Sciences*, 14(6), 52-65.
- Rashid, M. H. (2016). *Power electronics: Circuits, devices & applications*. Pearson.
- Ray, C. G., & Ryan, K. J. (2004). *Sherris medical microbiology: An introduction to infectious diseases*. McGraw-Hill.
- 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.
- Toprak, E. (2020). Çeşitli mikroorganizmalar için UV-C inaktivasyonu dozlarının floresan ve LED ışık kaynakları ile belirlenmesi. [Yüksek lisans tezi].
- Zoroğlu, A. (2019). Kapalı yüzme havuzu sularının dezenfeksiyonunda kullanılan venturi ozon sisteminin toksikolojik açıdan incelenmesi. [Yüksek lisans tezi].
- Park, S.H. & Shin, D.H. & Choi, J.s & Kim, K.H.. (2006). Effective sterilization method of the bacteria-inducing offensive odor of shoes. *Korean Journal of Dermatology*. 44. 554-560.
- Torres Teran, Maria & Bennett, Christina & Osborne, Andrew & Cadnum, Jennifer & Wilson, Brigid & Donskey, Curtis. (2022). Effectiveness of ultraviolet-C light treatment of shoes in reducing the transfer of pathogens into patient rooms by shoes of healthcare personnel. *Infection Control & Hospital Epidemiology*. 44. 1-4. 10.1017/ice.2022.242.
- Khan, M., McDonald, M., Mundada, K. ve Willcox, M. (2022). Ultraviyole Radyasyonların Koronavirüs, Bakteri, Mantar, Mantar Sporları ve Biyofilme Karşı Etkinliği. *Hijyen*, 2 (3), 120-131. <https://doi.org/10.3390/hygiene2030010>

- Terra Universal. (2023). UVC vs Far-UVC: Analysis of Safety, Applications, and Microbial Effectiveness, <https://www.terrauniversal.com/blog/UVC-vs-far-uv-c-safety-applications-microbial-effectiveness-germicidal-lights>
- Ultralight. (2021). The science of your smelly base layer. https://www.reddit.com/r/Ultralight/comments/kpyk7f/the_science_of_your_smelly_base_layer/
- Lee, Sam-Cheol & Jang, Yong-Seok. (2016). Design of a shoe rack for effective sterilization and deodorization of the shoes contaminated by various bacteria. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society. 17. 199-206. 10.5762/KAIS.2016.17.6.199.
- Uvc cleaning systems. Root Cause of Odor When Using UVC Disinfection, https://www.uvccleaningsystems.com/cm/dpl/downloads/articles/16/Root_Cause_of_UVC_Odor.pdf
- Rashid T, Poblete K, Amadio J, Hasan I, Begum K, Alam MJ, Garey KW. Evaluation of a shoe sole UVC device to reduce pathogen colonization on floors, surfaces and patients. J Hosp Infect. 2018 Jan;98(1):96-101. doi: 10.1016/j.jhin.2017.10.011. Epub 2017 Oct 21. PMID: 29066141.
- Korkmaz, A., & Tiryaki Gündüz, G. (2018). Meyve ve Sebzelerde UV-C Işık Uygulamaları ile Küf İnhibisyonu. *Akademik Gıda*, 16(4), 458–469. DOI: 10.24323/akademik-gida.505539
- Górny, R. L., Gołofit-Szymczak, M., Pawlak, A., Łhaneniczek-Wałczyk, A., Cyprowski, M., Stobbica-Kupiec, A. ... Kowalska, J. (2024). Farklı yüzey yapılı malzemeler üzerinde mikroorganizmaların inaktive edilmesinde UV-C radyasyonunun etkinliği. *Ann Agric Environ Med*.31, 31(2), 287-293. <https://doi.org/10.26444/aaem/1189695>