

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKSEL DEŞARJ İLE İYONİZASYONUN
STERİLİZASYON ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Duygu ÇEMİŞKEZEK

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKSEL DEŞARJ İLE İYONİZASYONUN
STERİLİZASYON ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Duygu ÇEMİŞKEZEK

(506121006)

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Kimya Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Melek TÜTER

TEMMUZ 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 506121006 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Duygu ÇEMİŞKEZEK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ELEKTRİKSEL DEŞARJ İLE İYONİZASYONUN STERİLİZASYON ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Melek TÜTER**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Güldem ÜSTÜN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Sevil YÜCEL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **05 Mayıs 2014**

Savunma Tarihi : **18 Temmuz 2014**

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmalarımı titizlikle yönlendiren, bana her zaman destek olan tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Melek TÜTER' e teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimi yürüttüğüm Arçelik A.Ş. Araştırma ve Geliştirme Merkezi'nde çalışmama imkan sağlayan yöneticilerim Sn. Cem KURAL, Sn. Dr. Faruk BAYRAKTAR ve Sn. Zehra ÜLGER' e teşekkür ederim.

Birlikte çalıştığımız bir yıl süresince tüm öğrettikleri, yönlendirmeleri, desteği ve anlayışı için Sn. Burcu TUTKAK' a teşekkür ederim.

Gerek tezimde, gerekse diğer çalışmalarımda dostluğunu, güler yüzünü ve yardımını asla esirgemeyen Sn. Pervin SAYGIN' a teşekkür ederim.

Tüm çalışmamda ilgisi ve bilgisiyle her zaman yanımda olan Sn. Sezgi YIKILMAZÇINAR' a teşekkür ederim.

Birlikte geçirdiğimiz bir yıl içinde bana çok şey öğreten, deneysel çalışmalarına en az benim kadar özen gösteren Hijyen Laboratuvarı' ndaki çalışma arkadaşlarım Sn. Yasemin ÖZKAN, Sn. Emine Füsün DUMAN ve Sn. Gizemnur YILDIZ' a tüm emekleri ve dostlukları için teşekkür ederim.

Test düzeneğimin hazırlanmasındaki emeği ve özeni için Sn. Murat ELGÜN' e teşekkür ederim.

Arçelik A.Ş.' deki çalışma hayatıma değer katan, en güzel anları beraber paylaştığımız tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Eğitimim için yaptıkları tüm yardımlar için anne ve babama teşekkür ederim.

Temmuz 2014

Duygu ÇEMİŞKEZEK

Kimya Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	v
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xv
SUMMARY	xvii
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. TEORİK ÇALIŞMA.....	3
2.1 İyonizasyon	3
2.1.1 İyonizasyon yöntemleri.....	4
2.1.2 İyonizasyon sonucu açığa çıkan bileşenler	7
2.1.3 İyonizasyonun sterilizasyon etkisi	8
2.1.4 İyonizasyona etki eden parametreler.....	12
2.1.4.1 Tasarımsal parametreler.....	14
2.1.4.2 Çalışma koşullarına bağlı parametreler	18
2.2 İyonizasyon Uygulamaları	20
2.2.1 Hava temizleme uygulamaları.....	20
2.2.2 Sıvı temizleme uygulamaları.....	21
2.2.3 Yüzey temizleme uygulamaları.....	24
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	27
3.1 Malzeme ve Yöntem	27
3.1.1 Mikroorganizmalar ve test numunelerinin hazırlanması.....	28
3.1.1.1 Mikroorganizmaların hazırlanması.....	28
3.1.1.2 Numunelerin hazırlanması.....	29
3.1.2 Numunelerin analizi	29
3.1.3 İyonizasyon yöntemi ekipmanları	32
3.2 Test Düzenekleri ve Test Parametreleri	33
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	35
4.1 Tekstil Şeridi Testlerinde Mikroorganizma İnaktivasyonu	35

4.2 Su Testlerinde Mikroorganizma İnaktivasyonu	40
5. VARGILAR VE ÖNERİLER	45
6. KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ	53

KISALTMALAR

AC	: Alternating current (alternatif akım)
ATCC	: American Type Culture Collection
CD	: Korona deşarjı
CFU	: Colony forming unit (kob: koloni oluşturan birim)
DBD	: Dielektrik bariyer deşarjı
DC	: Direct current (doğru akım)
DNA	: Deoksiribonükleik asit
eV	: elektronvolt
FTS	: Fizyolojik tuzlu su
mS/cm	: mili Siemens/ cm
NHİ	: Negatif hava iyonu
nm	: Nanometre
Pa	: Pascal
PTFE	: Politetrafloroetilen
PVC	: Polivinil klorür
PET	: Polietilen tereftalat
SEM	: Scanning electron microscope
UV	: Ultraviyole
V	: Volt

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 : Akım tiplerinin delinme gerilimiyle ilişkisi.	18
Çizelge 3.1 : Mikroorganizmaların inkübasyon koşulları	31
Çizelge 3.2 : Kullanılan iyon üreteçleri ve özellikleri.	33

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 : Maddenin hal değişimi ve enerjiyle ilişkisi [Url-1].	3
Şekil 2.2 : Dielektrik bariyer deşarjının oluşumu.	5
Şekil 2.3 : Dielektrik bariyerli ilk ozon jeneratörü (Foest, 2006).	6
Şekil 2.4 : Korona deşarjının oluşumu [Url-2].	6
Şekil 2.5 : DBD sonucu oluşan plazmada UV emisyonu (Laroussi, 2004).	9
Şekil 2.6 : <i>C. freundii</i> mikroorganizmasının hücresel deformasyonu (Schlüter, 2014).	10
Şekil 2.7 : <i>S. aureus</i> mikroorganizmasının hücresel deformasyonu (Zhang, 2010).	11
Şekil 2.8 : <i>E. coli</i> mikroorganizmasının hücresel deformasyonu (Choi, 2006).	11
Şekil 2.9 : Kuru havanın Paschen eğrisi [Url-3].	13
Şekil 2.10 : Farklı gazların Paschen eğrileri (Lieberman, 2005).	14
Şekil 3.1 : Seyreltme işlemi (Halkman, 2005).	30
Şekil 3.2 : Dökme plak yöntemi (Halkman, 2005).	30
Şekil 3.3 : Yayma plak yöntemi (Halkman, 2005).	31
Şekil 3.4 : Mikroorganizmaların sayımı.	32
Şekil 3.5 : İyon üreteçleri.	33
Şekil 3.6 : Test düzeneği ve numunelerin yerleşimi.	34
Şekil 3.7 : Test düzeneğinin önden görünüşü.	34
Şekil 4.1 : Referans koşulda <i>E. coli</i> ve <i>S. aureus</i> inaktivasyonu.	35
Şekil 4.2 : Trump (-/+) iyon üreteciyle <i>E. coli</i> inaktivasyonu.	36
Şekil 4.3 : Trump (-/+) iyon üreteciyle <i>S. aureus</i> inaktivasyonu.	37
Şekil 4.4 : Trump (-) iyon üreteciyle <i>E. coli</i> inaktivasyonu.	38
Şekil 4.5 : Trump (-) iyon üreteciyle <i>S. aureus</i> inaktivasyonu.	38
Şekil 4.6 : Fufong (-) iyon üreteciyle <i>E. coli</i> inaktivasyonu.	39
Şekil 4.7 : Fufong (-) iyon üreteciyle <i>S. aureus</i> inaktivasyonu.	39
Şekil 4.8 : Referans koşulda <i>E. coli</i> ve <i>S. aureus</i> inaktivasyonu.	40
Şekil 4.9 : Trump (-/+) iyon üreteciyle <i>E. coli</i> inaktivasyonu.	41
Şekil 4.10 : Trump (-/+) iyon üreteciyle <i>S. aureus</i> inaktivasyonu.	42
Şekil 4.11 : Trump (-) iyon üreteciyle <i>E. coli</i> inaktivasyonu.	42
Şekil 4.12 : Trump (-) iyon üreteciyle <i>S. aureus</i> inaktivasyonu.	43

Şekil 4.13 : Fufong (-) iyon üreticiyle <i>E. coli</i> inaktivasyonu.....	44
Şekil 4.14 : Fufong (-) iyon üreticiyle <i>S. aureus</i> inaktivasyonu.	44

ELEKTRİKSEL DEŞARJ İLE İYONİZASYONUN STERİLİZASYON ETKİNLİĞİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Yüksek gerilime maruz kalan gazın iyonlaşması sonucunda; içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötr atom veya molekül gibi farklı özellikteki bileşenleri içeren bir iyonlaşmış gaz karışımı oluşmaktadır. Bu oluşan karışım “plazma” olarak adlandırılmakta ve kendine has özellikleri nedeniyle maddenin dördüncü hali olarak kabul görmektedir. Üretilen plazma; hava, sıvı ve yüzey gibi ortamların temizlenmesi ve sterilizasyonunda kullanılabilmektedir. Oda sıcaklığında ve atmosferik basınçta çalışabilmesi, kimyasal ve toksik madde kullanımı gerektirmemesi, kısa sürelerde yüksek mikrobiyal indirgeme sağlayabilmesi, steril edilecek malzemeye zarar vermemesi gibi nedenlerle iyonizasyon uygulamaları geleneksel yöntemlere iyi bir alternatif olabilmektedir.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, iyon üreteçlerinin sıvı ve yüzey ortamlarındaki sterilizasyon etkinliğinin belirlenmesi için etkili parametrelerin uygulama süresi, numune-üreteç arası uzaklık ve hava akımı olabileceği öngörülmüştür.

Bu tez çalışmasında, üç farklı ticari iyon üreticinin sterilizasyon etkinliği incelenmiştir. Çalışma, 20 L hacimli kapaklı plastik kutuda, oda sıcaklığında, fanın kapalı ve açık olduğu koşullarda, Trump marka negatif iyon üretici, Trump marka pozitif/negatif iyon üretici ve Fufong marka negatif iyon üretici kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bahsedilen üreteçler yüksek gerilime maruz kalan havanın iyonlaşmasına yol açan “elektrikseldeşarj” prensibiyle çalışmaktadır.

Bu bağlamda, tekstil şeridi ve suya inoküle edilen *S. aureus* ve *E. coli* mikroorganizmalarının zamana bağlı indirgeme seviyeleri ölçülmüş ve indirgeme seviyelerini etkileyen parametreler belirlenmiştir. Numunelerin biri iyon üretecine olabilecek en yakın (14 cm) diğeri ise en uzak (24 cm) mesafeye yerleştirilmiştir. Böylece üreteç ile numune arasındaki uzaklığın sterilizasyona etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, 6 ve 12 saatlik uygulamalar sonucunda numunelerin mikrobiyolojik analizleri gerçekleştirilmiştir.

Numune-üreteç arası uzaklığın ve fan ile oluşturulan hava akımının etkisinin incelendiği deneysel çalışmayla ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Su ile gerçekleştirilen testler göz önüne alındığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Referans testlerin sonucunda, *S. aureus* ve *E. coli* mikroorganizmalarının seviyesinde 12 saat boyunca belirgin bir fark oluşmadığı belirlenmiştir.

İyon üreteçleriyle gerçekleştirilen testlerde, iyon üreteçlerinin *S. aureus* ve *E. coli* mikroorganizmalarının inaktivasyonu üzerinde belirgin etkisi tespit edilememiştir. Dolayısıyla hava akımının ve numune-üreteç arası uzaklığın etkisi de ölçülememiştir. Bu durumun, hava ortamında bulunan aktif parçacıkların su ortamına ulaşarak karışarak sıvının tamamına ulaşmasının zorluğundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Parçacıkların sıvı ortamlarla temasını artırmak için su numunelerinin yüzey alanını artırmanın ve benzer şekilde parçacıkların su içinde homojen dağılımını sağlamak için Korachi (2012)'nin çalışmalarında görüldüğü gibi bir karıştırıcı kullanmanın faydalı olabileceği öngörülmüştür.

Tekstil şeridi ile gerçekleştirilen testler göz önüne alındığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Gerçekleştirilen referans testlerde, *S. aureus* mikroorganizmasının seviyesinde fanın açık ve kapalı olduğu koşullarda 12 saat boyunca belirgin bir fark oluşmadığı görülmüştür. Fanın kapalı olduğu koşuldaysa *E. coli* seviyesinde yaklaşık 2 log cfu/tekstil şeridi kadar bir artış olmuşken, bu artış fanın çalıştırılmasıyla düşürülmüş ve *E. coli* gelişimi engellenmiştir. Sonuç olarak referans testlerinin sonucunda tekstil üzerine inoküle edilen *E. coli*'nin fanın çalıştırılması sonucu oluşan hava akımından etkilendiği ve üreme etkinliğinin azaldığı tespit edilmiştir.

İyon üreteçleriyle gerçekleştirilen testlerde, fanın açık olduğu durumda numune-üreteç arası uzaklığın etkisi belirlenememiştir. Bu durumda fanla oluşturulan hava akımının üreteçten çıkan iyonların tüm test kabı içerisinde homojen olarak dağıtılabilmesi konusunda başarılı olduğu söylenebilir.

Fanın kapalı olduğu testlerde ise her iyon üretici için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu durumun üreticinin tasarimsal parametrelerinden ve her üreticinin iyon/ozon üretim kapasitesinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Trump firmasının pozitif/negatif iyon üreticiyle belirgin mikrobiyal inaktivasyon sağlanamadığı, Fufong firmasının iyon üreticiyle “uzak” ve “yakın” koşullarda da yüksek inaktivasyon seviyelerine ulaşıldığı görülmüştür. Trump firmasının negatif iyon üreticiyle yapılan deneylerde ise, üreticinin yakınındaki numuneler üzerinde daha yüksek ve hızlı mikrobiyal indirgeme sağlandığı ölçülmüştür. Bu durumun üretilen iyonların numuneye ulaşmaya kadar geçen sürede ortamda bulunan diğer parçacıklarla çarpışarak etkinliğini kaybetmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

İyon üreteçlerinin farklı özellikteki mikroorganizmalar üzerindeki etkisi incelendiğinde; tüm iyon üreteçleriyle yapılan testlerde *E. coli*'nin *S. aureus*'a göre daha kolay ve hızlı inaktive edilebildiği ve Fufong marka iyon üreticinin *E. coli*'yi uzaklaştırmada en hızlı ve etkili üreteç olduğu tespit edilmiştir.

DETERMINING THE STERILIZATION EFFICIENCY OF IONIZATION BY ELECTRICAL DISCHARGE

SUMMARY

As a result of ionization of the gas which exposed to high voltage; an ionized gas mixture that contain compounds with different characteristics such as ions, electrons, excited atoms, photons and neutral atoms or molecules is formed. This resulting mixture is called as "plasma" and due to its unique features it is considered as the fourth state of matter.

Under plasma exposure, bacterial cells can be inactivated by one of four known factors or by a synergistic combination of these. These factors are the heat, UV radiation, charged particles, and reactive neutral species. The extent of the influence of each factor depends on the plasma operating parameters such as power and gas mixture and flow rate. Heat and UV do not play a significant direct role in the sterilization process by low temperature air plasmas.

In high-pressure non-equilibrium plasma discharges, reactive species are generated through various collisional pathways, such as electron impact excitation and dissociation. Reactive species play an important role in all plasma–surface interactions. Air plasmas are excellent sources of reactive oxygen species and reactive nitrogen species; such as atomic oxygen (O), ozone (O₃), hydroxyl (OH), NO, NO₂, etc.

The reactive species mentioned above have direct impact on the cells of microorganisms, and especially on their outermost membranes. These membranes are made of lipid bilayers, an important component of which is unsaturated fatty acids. The unsaturated fatty acids give the membrane a gel-like nature. This allows the transport of the biochemical by-products across the membrane. Since unsaturated fatty acids are susceptible to attacks by hydroxyl radical (OH), the presence of this radical can therefore compromise the function of the membrane lipids whose role is to act as a barrier against the transport of ions and polar compounds in and out of the cells. Imbedded in the lipid bilayer are protein molecules which also control the passage of various compounds. Proteins are basically linear chains of amino acids. Amino acids are also susceptible to oxidation when placed in the radical-rich environment of the plasma. Therefore, the reactive species generated by air plasmas are expected to greatly compromise the integrity of the cells of microorganisms, leading to their eventual destruction.

The inactivation of harmful microorganisms such as bacteria can be achieved by chemical and/or physical means, such as heat, chemical solutions and gases, and

radiation. Most of the conventional sterilization techniques are associated with damage to the material or medium supporting the microorganisms. However, in cases where it is imperative not to damage the materials to be sterilized, conventional methods are either not suitable at all or offer very impractical and/or tedious and time consuming solutions. This situation led to the development of new techniques that are at least as effective as established ones, but with added superior characteristics such as short processing times, non-toxicity, and medium preservation. Amongst these new methods, ionization applications may be a good alternative against conventional methods because it is possible to operate at room temperature and atmospheric pressure, they do not require additional use of chemical and toxic substances and do not damage the contaminated material and also can provide efficient microbial reduction in short time. Formed plasma; may be used for cleaning and sterilization of environments such as air, liquids and surfaces.

In consequence of literature research, it was predicted that; exposing time, distance between the sample and generator and air flow might be the most effective parameters for determining the sterilization efficiency of ion generators on liquid and surface medias.

In this master thesis, sterilization efficiency of three commercial ion generators were investigated. This experimental study was operated in the plastic box, which has a volume of 20 Liters, at room temperature, under the condition in which both the fan is on and off and with the three different ion generators which are Trump Company's positive / negative ion generator, Trump Company's negative ion generator and Fufong Company's negative ion generator. Mentioned generators operate according to the principle of "electrical discharge" causing ionization of air which exposed to high voltage.

In this regard, time dependent microbial reductions of *S. aureus* and *E. coli* microorganisms inoculated on water and textile samples were measured and parameters which affect the level of reduction were determined. Samples were placed in a distance of 14 cm (close sample) and 24 cm (far sample). Therefore, it is aimed to determine the effect of sample-generator distance on sterilization. For this purpose, samples' microbiological analyses were performed after 6 and 12 hours experimental period.

Results achieved by experimental studies which investigated the effect of the distance between the sample and generator and the air flow generated by the fan were summarized below:

At the end of tests carried out with water, the following results were obtained:

As a result of the reference tests, no significant difference was measured on the initial counts of *S. aureus* and *E. coli* microorganisms after 12 hours.

In tests carried out with ion generators, no significant effect of ion generators on inactivation of *S. aureus* and *E. coli* microorganisms were detected. Therefore, effect of the air flow and the distance between the sample-generator could not be measured. The result is thought to be originating from the difficulty of achieving the active particles in air to the water environment, mixing and reaching the whole liquid. It is predicted to be helpful to increase contact of particles with the liquid medium by increasing the surface area of the water sample and similarly by providing a homogeneous distribution of particles in water using a mixer, as shown in Korachi (2012)'s work.

At the end of tests carried out with textile, the following results were obtained:

As a result of the reference tests, no significant difference was measured on the initial counts of *S. aureus* after 12 hours under conditions in which both the fan is on and off. Under the condition in which the fan is “off” the level of *E. coli* was risen up to approximately 2 log cfu / textile strip. This increase was reduced and *E. coli*’s growth was inhibited by actuation of the fan. Finally, it was determined from the reference test results that; *E. coli* which was inoculated on textile surface was affected by air flow as a result of operating the fan and its growth efficiency was reduced.

In tests carried out with ion generators; in the case where the fan is turned on, the effect of distance between sample-generator could not be determined. So, it can be said that the air flow generated by the fan is successful on homogeneously dispersing the ions produced by generator in the entire test container.

In tests where the fan is closed; for each ion generator different results were obtained. This might be because of the generators’ design parameters and the differences of ion / ozone production capacities of each generator.

A significant microbial inactivation cannot be achieved by using Trump Company's positive / negative ion generator, whereas high inactivation levels were reached both on “far” and “close” conditions, by using Fufong Company's negative ion generator. In the experiments performed with Trump Company’s negative ion generator, higher and faster microbial reduction was defined on samples close to the generator. In this case, it is thought to results of colliding produced ions with other particles found in the environment in the time until reaches to sample and losing their effectiveness’s.

As a result of examining effect of ion generators’ on microorganisms with different properties; considering the tests performed with all ion generators, easier and faster microbial inactivation of *E. coli* is achieved compared with *S. aureus*. Fufong Company's negative ion generator was found to be the most rapid and efficient generator compared with other two generators.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

İyonlaşmış gaz anlamına gelen ve kendine has özellikleri nedeniyle maddenin dördüncü hali olarak kabul gören plazma, evrenin büyük kısmını oluşturmalarının yanında çeşitli kullanım amaçlarıyla yapay olarak da üretilmektedir. Kesme, kaynaklama gibi işlemler için ısı plazma üreten sistemler; yüzey modifikasyonu, temizleme ve sterilizasyon gibi işlemler için de soğuk plazma üreten sistemler tercih edilmektedir. Kullanım amacına göre farklı elektriksel deşarj tipleriyle, vakum altında veya atmosferik basınçta iyonizasyon için tasarlanmış çok çeşitli sistemler bulunmaktadır.

İyon üreteçleri basitçe, elektrotlar tarafından uygulanan yüksek gerilime maruz kalan gazın delinme geriliminin (*breakdown voltage*, V_B) aşılp gazın iyonlarına ayrıştırılması ve iletken hale getirilmesi prensibine göre çalışmaktadır. Bu iyonizasyon sonucunda, içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötr atom veya molekül gibi farklı özellikteki bileşenleri içeren bir iyonlaşmış gaz karışımı oluşmaktadır. Oluşan bu karışım içerisinde yüklü parçacıklar olmasına rağmen dış ortama karşı nötrdür, yani plazma içerisindeki pozitif ve negatif yüklerin sayıları eşittir. Bu durum literatürde nötre yakın anlamına gelen “*quasi-notr*” terimi ile ifade edilmektedir (Karadeniz, 1990).

Isı veya kimyasal maddeden yararlanılan geleneksel sterilizasyon yöntemlerinin çoğu sterilizasyon işlemi sırasında mikroorganizmanın bulunduğu malzemeye veya ortama zarar vermektedir. Bu durum hem en az geleneksel yöntemler kadar etkili hem de toksik olmayan, malzemeye zarar vermeyen ve çevreci olan alternatif yöntemlere ihtiyacı artırmaktadır. Oda sıcaklığında ve atmosferik basınçta çalışılabilmesi, kimyasal ve toksik madde kullanımı gerektirmemesi, kısa sürelerde yüksek mikrobiyal indirgeme sağlayabilmesi, steril edilecek malzemeye zarar vermemesi gibi nedenlerle iyonizasyon uygulamaları geleneksel yöntemlere iyi bir alternatif olabilmektedir (Laroussi, 2004).

Bu tez çalışmasında, elektriksel deşarj yöntemleri, iyonizasyon sonucu açığa çıkan bileşenler ve elektriksel deşarj ile iyonizasyonun hava, sıvı ve yüzey ortamlarındaki

temizleme ve sterilizasyon etkinliği araştırılmıştır. Yüksek gerilime maruz kalan havanın elektriksel deşarj ile iyonizasyonu prensibine göre çalışan farklı ticari iyon üreteçlerinin sıvı ve yüzey ortamlarındaki sterilizasyon etkinliğinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda, sıvı ve yüzey numunelerine inoküle edilen *Staphylococcus aureus* ve *Escherichia coli* mikroorganizmalarının zamana bağlı mikrobiyal indirgeme seviyeleri ölçölmesi ve indirgeme seviyelerine etki eden parametrelerin belirlenmesi planlanmıştır.

2. TEORİK ÇALIŞMA

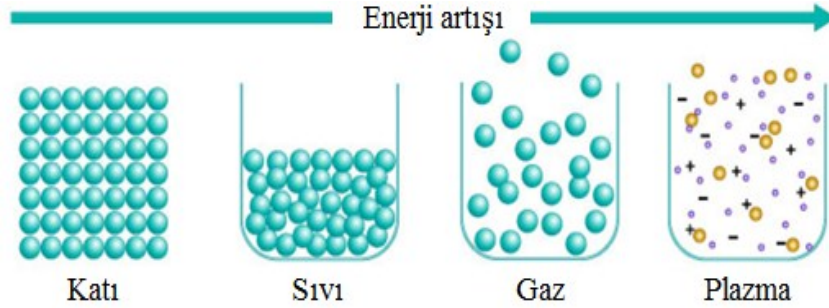
2.1 İyonizasyon

Maddenin kendine özgü özellikleri bulunan katı, sıvı, gaz ve plazma hali olmak üzere dört hali vardır. Bu haller arasındaki temel fark sahip oldukları enerjidir. Maddenin herhangi bir konumundaki (hal) enerjisi değiştirilerek madde diğer bir konuma geçirilebilir. Örneğin, katı haldeki bir maddeye belirli, o maddeye özel bir enerji vermek suretiyle sırasıyla sıvı, gaz ve plazma haline geçmek mümkündür. Bu işlemin tersi yapılarak, yani verilen bu enerjileri geri alarak tekrar plazma halinden gaz, sıvı ve katı hale geçmek mümkündür.

$\text{Katı} + E_1 \rightarrow \text{Sıvı}$ (Ergitme)

$\text{Sıvı} + E_2 \rightarrow \text{Gaz}$ (Buharlaştırma)

$\text{Gaz} + E_3 \rightarrow \text{Plazma}$ (İyonize etme)



Şekil 2.1 : Maddenin hal değişimi ve enerjiyle ilişkisi [Url-1].

Şekil 2.1’ de görüldüğü gibi bu hallerden en küçük enerji konumunda olan katı ve en büyük enerji konumunda olanı da plazma halidir. Plazma yakın bir geçmişe sahiptir. Plazmanın kendine has özellikleri oluşu onun maddenin "dördüncü hali" adını almasına neden olmuştur (Karadeniz, 1990).

Evrendeki yıldızlar ve yıldızlar arasındaki görünür maddelerin çoğu plazma halindedir. Astroplazmalar haricinde, insanların çeşitli amaçlarla ürettiği yapay plazmalar da vardır. Laboratuvar plazmaları adı verilen bu yapay plazmalar; yüksek sıcaklık/ füzyon plazmaları ve düşük sıcaklık/ gaz deşarjları olmak üzere iki ana grup

altında toplanabilir. Bu sınıflandırma, plazmanın ısı dengede olup olmamasına göre belirlenir.

Isıl denge, plazma içindeki tüm parçacıkların (elektronlar, iyonlar ve nötr parçacıklar) aynı sıcaklıkta olduğu anlamına gelir, astrop plazmalar ve füzyon plazmaları bu gruba girer. Isıl dengede plazma oluşumu için 4000 K (kolay iyonlaşan elementler, örneğin Sezyum) ile 20000 K (zor iyonlaşan elementler, örneğin Helyum) arasında değişen yüksek sıcaklıklar gerekir. Bu tip plazmalar kesme, kaynaklama ve spreyleme gibi ısının gerekli olduğu uygulamalar için kullanılır (Bogaerts, 2002).

Isıl dengede olmayan plazmalarda elektronların sıcaklığı iyonlara ve nötr parçacıklara oranla çok daha yüksektir. Elektronlar, oldukça küçük kütleleri nedeniyle yüksek gerilim sonucu oluşan elektromanyetik alanın etkisiyle hız kazanır ve çokça çarpışma yaparak yüksek enerjilere ulaşırlar. Oluşan bu plazmada düşük kütleli elektronların sıcaklığı 10.000–250.000 K (1–20 eV) arasındayken geriye kalan yüksek kütleli parçacıklar oda sıcaklığına yakındır (Morent, 2011). Bu tip plazmalar genellikle temizlemeden yüzey işlemeye kadar ısının gerekli olmadığı veya malzemeye zarar verdiği için istenmediği pek çok uygulamada tercih edilir.

2.1.1 İyonizasyon yöntemleri

Bir atoma iyonizasyon enerjisinden daha büyük bir enerji verilirse atom iyonize olur. Bu işlem bir gaz kütlesi için gerçekleştirilirse plazma elde edilmiş olur. Gerekli olan enerjiyi gaz kütlesine mekanik, ısı, ışın manyetik ve elektrik enerjisi şeklinde vermek mümkündür. Buna göre iyonizasyon yöntemleri pratikte şu şekilde sınıflandırılabilir:

- a. Isı enerjisiyle
- b. Mekanik enerjiyle
- c. Işınla
- d. Elektrik enerjisiyle

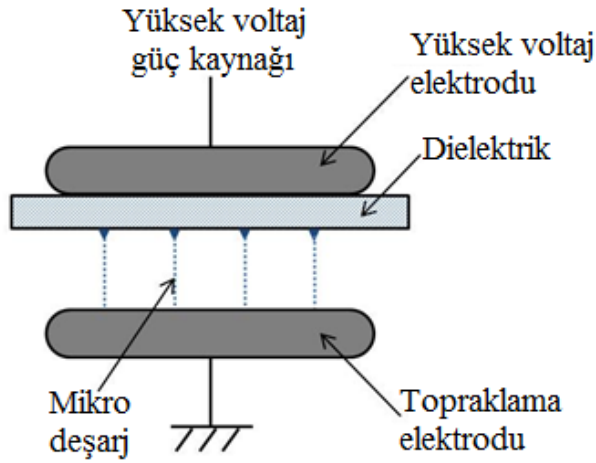
Bu çalışmada, bu yöntemlerden pratikte en çok kullanılanı ve önemli olanı olan elektrik enerjisi ile iyonizasyon üzerinde durulacaktır. Gaz kütlesine enerji bir elektrik deşarjı ile verilir. Bu nedenle plazmanın mekanizmasını kavrayabilmek için, bir elektrik deşarjının mekanizmasını bilmek gerekmektedir. (Karadeniz, 1990).

a. Ark deşarjı

Bir gaz, yüksek gerilime maruz kaldığında delinme gerilimini aşarak iyonlaşır, normalde yalıtkan olan gaz iletken hale geçer ve sonucunda ark oluşur. Ark deşarjı oluşumu için gerekli olan yüksek akım ve gerilim malzemeye zarar verir. Ark oluşumu istenmeyen bir durumdur, tehlikelidir ve ek güvenlik tedbirleri gerektirir. Bu nedenle; ark oluşumunu önlemek için aynı prensiple çalışan dielektrik bariyer deşarjı tercih edilmektedir.

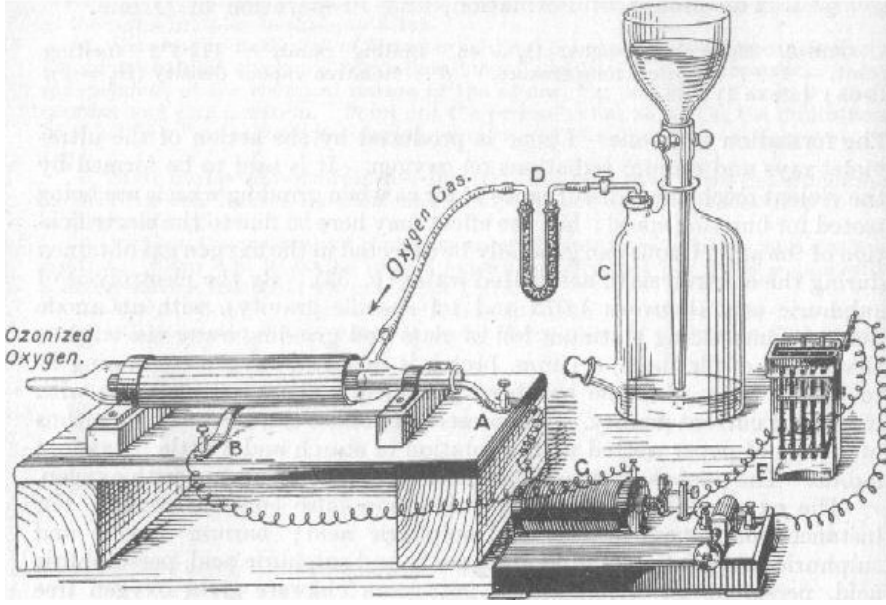
b. Dielektrik bariyer deşarjı

Dielektrik bariyer deşarjı (DBD) atmosferik basınca yakın koşullarda (0.1- 1 atm), 1-100 kV' luk AC gerilimlerde ve birkaç Hz' ten MHz' e kadar değişen frekans aralığında elde edilebilir. İki iletken elektrot arasına yerleştirilen bir dielektrik malzeme (cam, kuvars, seramik malzemeler, polimerler vb.) ile elektrotlar arasında bir direnç meydana getirilerek elektrik akımının geçişi engellenir. Böylece ark yerine nano saniyeler süren mikro deşarjlar oluşur, bu nedenle bu deşarj "sessiz deşarj" (*silent discharge*) olarak adlandırılır (Bogaerts, 2002). Bu deşarjın oluşumu Şekil 2.2' de verilmiştir.



Şekil 2.2 : Dielektrik bariyer deşarjının oluşumu.

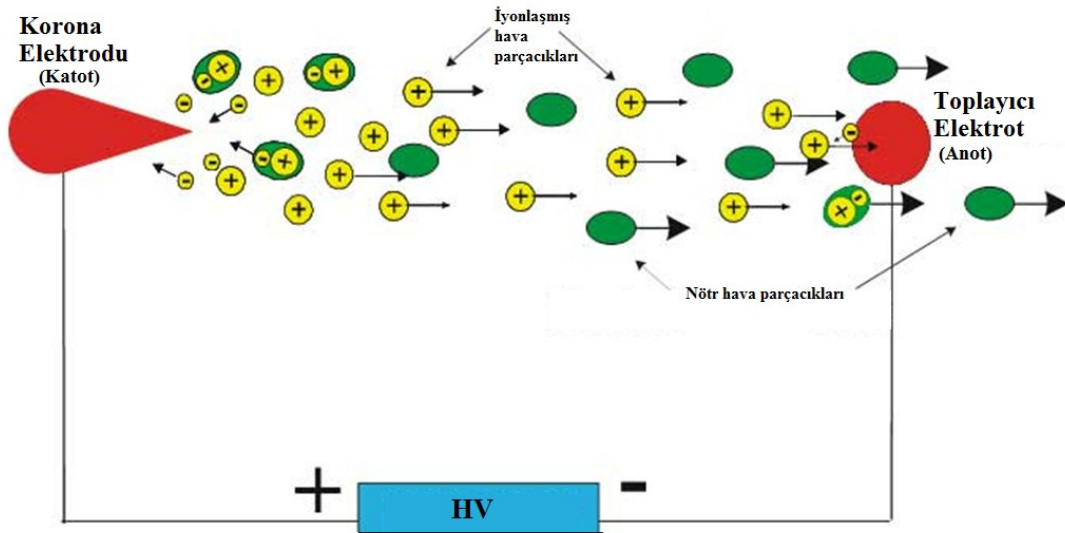
Dielektrik bariyer deşarjı 1850'lerden itibaren ozon üretimi için kullanılan popüler bir deşarj tipidir. 1857' de Siemens tarafından tasarlanan dielektrik bariyerli ilk ozon jeneratörü Şekil 2.3' de görülmektedir (Foest, 2006).



Şekil 2.3 : Dielektrik bariyerli ilk ozon jeneratörü (Foest, 2006).

c. Korona deşarjı

Korona (*Corona*) deşarjı (CD); atmosferik basınçta, ark oluşumuna yetmeyecek seviyedeki yüksek gerilimlerde, elektrik alan şiddetinin yüksek olduğu bölgelerde, örneğin iletkenlerin sivri uçlarında ve kablolarda oluşur. Sivri uç şeklinde tasarlanan katot (Korona elektrotu) yüksek gerilim kaynağına bağlanır ve burada iyonlaşma oluşur (Moreau, 2008). Pek çok ticari iyon üretici bu şekilde tasarlanır. Şekil 2.4' te Korona deşarjının oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.4 : Korona deşarjının oluşumu [Url-2].

2.1.2 İyonizasyon sonucu açığa çıkan bileşenler

İyonlaşmış gaz anlamına gelen plazma; pozitif ve negatif ve negatif iyonların, elektronların, temel ve uyarılmış haldeki nötr parçacıkların birleşiminden oluşur. İyonlaşma derecesi % 100 (tamamen iyonlaşmış gazlar) ile çok düşük değerler (kısmi iyonlaşmış gazlar, $10^{-4} - 10^{-6}$) arasında değişebilir (Bogaerts, 2002). Plazma içerisinde bulunan farklı özellikteki bu bileşenler aşağıda özetlenmiştir:

Nötr atom ve molekül: İçerdiği pozitif yüklerin sayısının, negatif yüklerin sayısına eşit olan atom ve moleküllerdir. Nötr bir moleküle, o elemente özel bir ayrışma enerjisinden (E_d) daha büyük bir enerji verilirse, bu molekül atomlarına ayrışır, bu olaya ayrışma (*dissociation*) denir. Bu olayı azot molekülü için yazarsak,

$N_2 + E_d \rightarrow N + N \rightarrow 2N$ şeklinde olur.

İyon: İçerdiği pozitif yük sayısı, negatif yük sayısından büyük olan atomlardır. Nötr bir atoma, o elemente özel bir iyonizasyon enerjisinden (E) daha büyük bir enerji verildiği zaman, bu atom en az bir elektronunu (negatif yükünü) kaybeder ve iyon haline geçer, yani iyonize olur. Bu olaya iyonizasyon denir. Atom bir elektron kaybederse bir, n elektron kaybederse n katlı iyonizasyon ortaya çıkar. Bir atomdan ilk elektronu çıkarmak için gerekli enerji, daha sonraki çıkarılacak elektronlar için gerekli enerjiden daha küçüktür.

Elementlerin ayrışma ve iyonizasyon enerjileri elektronvolt (eV) ile ölçülür. 1 eV, bir elektronun bir voltluk mesafeyi (yolu) katettiğinde yaptığı iş olup, değeri $1.60.10^{19}$ Ws' dir.

Elektron: Atomunun negatif yükü olup, değeri $e = 1.6.10^{19}$ Coulomb' dur.

Foton: Enerji yüklü ışın parçacığıdır. Işın enerjisi taşıyıcısıdır.

Uyarılmış Atom: Üzerine iyonizasyon enerjisinden daha küçük bir enerji almış, elektron kaybetmemiş atomdur. Bu atoma o elementin iyonizasyon enerjisinden daha küçük bir enerji verilirse, bu atomun çevresindeki elektronlar atomu terk etmeyip, bunlardan bir veya birkaçı yörünge değiştirir. Yani bir üst enerji seviyesine geçer ve uyarılmış atom olur (Karadeniz, 1990).

2.1.3 İyonizasyonun sterilizasyon etkisi

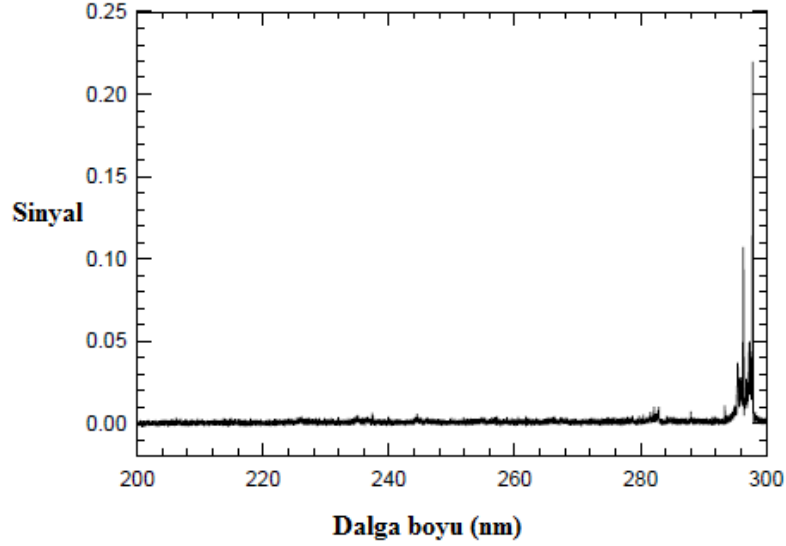
Geleneksel sterilizasyon yöntemlerinin çoğu sterilizasyon işlemi sırasında mikroorganizmanın bulunduğu malzemeye veya ortama zarar vermektedir. Malzeme ve ortamın hassas olduğu veya zarar görmesinin istenmediği durumlarda bu metotlar yetersiz kalmakta veya uygulamak çok uzun süre almaktadır. Bu durum hem en az geleneksel yöntemler kadar etkili hem de toksik olmayan ve malzemeye zarar vermeyen alternatif yöntemlere ihtiyacı artırmaktadır. Yüksek sıcaklık ve kimyasal madde kullanımı gerektirmemeleri nedeniyle iyonizasyon uygulamaları geleneksel yöntemlere iyi bir alternatif olabilmektedir (Laroussi, 2004).

Plazma uygulamasına maruz kalan bakteri hücresi bir veya birden fazla faktörün kombinasyonu ile inaktive edilir. Atmosferik basınçta gerçekleşen bir plazma uygulaması için bu faktörler ısı, Ultraviyole (UV) ışını, yüklü ve nötr parçacıklar olarak sayılabilir.

Uzun süredir bilindiği gibi ısınn canlı hücreler üzerinde hasar yaratma etkisi vardır. Yüksek sıcaklık mikroorganizmaların protein ve enzimlerinin dönüşümsüz bozunmasına yol açmaktadır ve bu nedenle ısıya dayalı sterilizasyon yöntemleri malzemenin korunmasının gerekmediği durumlarda ticari olarak da sıklıkla tercih edilmektedir (Kayser, 2002). Plazma sıcaklığı üretilen plazmanın çeşidine göre oldukça değişkendir. Örneğin, Laroussi' nin (2004) dielektrik bariyer deşarjıyla (DBD) atmosferik koşullarda ürettiği plazmada iyonize olmuş gazın sıcaklığının oda sıcaklığına yakın olduğu, üreteç gücünün arttırılmasıyla dahi çok büyük sıcaklık değişiminin olmadığı vurgulanmıştır. Akitsu (2006) ise dielektrik bariyer deşarj ile ürettiği plazmanın sıcaklığının deşarj gücü ile doğru orantılı olduğunu deneysel olarak ispatlamış, medikal cihaz sterilizasyonunu amaçladığı çalışmasında 65-134 °C arasındaki sıcaklıklara ulaşmıştır.

İnsanlık tarihinin başlarından beri güneş ışığının hijyen etkisinin olduğu bilinmektedir. Bu durum güneş ışığı spektrumunda UV ışınının da bulunmasından kaynaklanmaktadır. UV ışını DNA zincirindeki timin bazının dimerizasyonuna neden olarak bakterilerin çoğalmasını önlemektedir. 220–280 nm dalga boyları arası ve birkaç mWs/cm² lik güçlerin mikrobiyal inaktivasyon için en etkili değerler olduğu bilinmektedir. Schlüter (2014) oksijenli argon plazması üreten kalem tipi plazma jeti ile yaptığı çalışmalarda DNA hasarı için en etkili değer olan 254 nm

civarında bir UV emisyonu ölçemediğini bildirmiştir. Benzer şekilde Laroussi (2004) tarafından 200–300 nm arasında güç ölçümleri alındığı ve 285 nm’ nin altında belirgin bir UV emisyonu görülmediği bilgisi paylaşılmıştır. Laroussi’ nin ölçümü Şekil 2.5’ de görülmektedir.



Şekil 2.5 : DBD sonucu oluşan plazmada UV emisyonu (Laroussi, 2004).

Vakum altında üretilmemiş plazma deşarjlarında yüksek parçacık yoğunluğu nedeniyle çok miktarda çarpışma olur, elektron uyarılması veya koparılması sonucu çeşitli reaktif parçacıklar üretilir ve bu reaktif parçacıklar plazma-yüzey etkileşimlerinde rol alır. Havadan elde edilen plazmalar; atomik oksijen, ozon, hidroksil ve azot oksitler gibi reaktif oksijen parçacıkları ve reaktif azot parçacıkları için çok iyi bir kaynaktır (Laroussi, 2004). H^+ , H_3O^+ , O^+ , N^+ , CO_4^- , O^- , OH^- , H_2O^- ve O_2^- oluşan başlıca birincil iyonlardır. Negatif birincil iyonların % 95' ini en kararlı olan O_2^- iyonu oluşturur (Kampmann, 2009). Deşarj sonucunda havadaki su molekülleri de çeşitli aktif parçacıklara dönüşür. Suların sterilizasyonunda ve istenmeyen organik bileşenlerin giderilmesinde en etkili olan parçacıklar hidroksil radikali, atomik oksijen, ozon ve hidrojen peroksittir. Oksidasyon potansiyeline göre sınıflandırıldığında en güçlü olan parçacık hidroksil radikalidir (2.8 V), onu sırasıyla atomik oksijen (2.42 V), ozon (2.07 V) ve hidrojen peroksit (1.78) takip etmektedir (Fridman, 2007).

Yukarıda bahsedilen reaktif parçacıklar mikroorganizmaların doymamış yağ asitli çift sıra lipidlerden oluşan en dış membranlarına etki ederler. Doymamış yağ asitleri

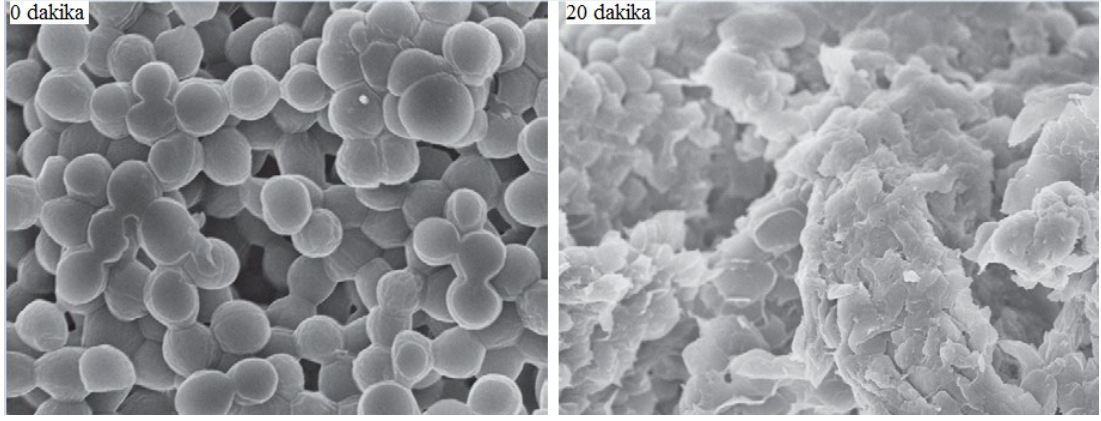
membrana jel kıvamı verirler ve böylece biyokimyasal ürünlerin membran içinde taşınması sağlanır. Doymamış yağ asitleri hidroksil radikallerine hassastır, bu radikalin varlığında hücre içindeki taşıma hareketleri durur. Hücre zarındaki amino asitler ise plazmanın radikalce zengin ortamında oksidasyona uğrarlar. (Laroussi, 2004). Bunlara ek olarak, reaktif parçacıkların hücre zarına direk bombardımanı (“etching”) sonucunda hücre dokularında bozulma görülür. Bazı yüklü parçacıklar ise mikroorganizmanın hücre zarına adsorplanır ve hücre zarından atom koparak karbondioksit gibi uçucu organik bileşikler oluştururlar. Yüklü parçacıkların hücre zarına bombardımanı sonucunda hücre zarının kimyasal bağlarında kırılma, erozyon ve bozulma gerçekleşir ve reaktif parçacıklar hücre zarında oluşan boşluklardan hücre içine dağılır (Thompson, 2012).

Havanın iyonlaşması sonucunda iyonların yanı sıra ozon molekülü de oluşur. Ozon güçlü bir oksitleyicidir ve antimikrobiyal aktivitesi vardır. Ozon mikroorganizmaların yaşamsal önemi büyük olan sülfhidril gruplar, enzim amino asitleri, peptitler ve proteinler gibi hücre bileşenlerine etki ederek onları inaktive eder. Süperoksit iyonundan bile daha güçlü antimikrobiyal aktivitesi vardır ve bakterilerin hücre yüzeylerine etki ederek onları inaktive eder (Kampmann, 2009). Böylece, plazmada bulunan reaktif parçacıklar hücre zarlarına etki ederek mikroorganizmaları tahrip ederler. Schlüter (2014)’ in oksijenli argon ile beslenen kalem tipi plazma jeti ile inaktive ettiği *Citrobacter freundii* mikroorganizmasındaki zamana bağlı hücresel deformasyonunun SEM fotoğrafları Şekil 2.6’ te görülmektedir.

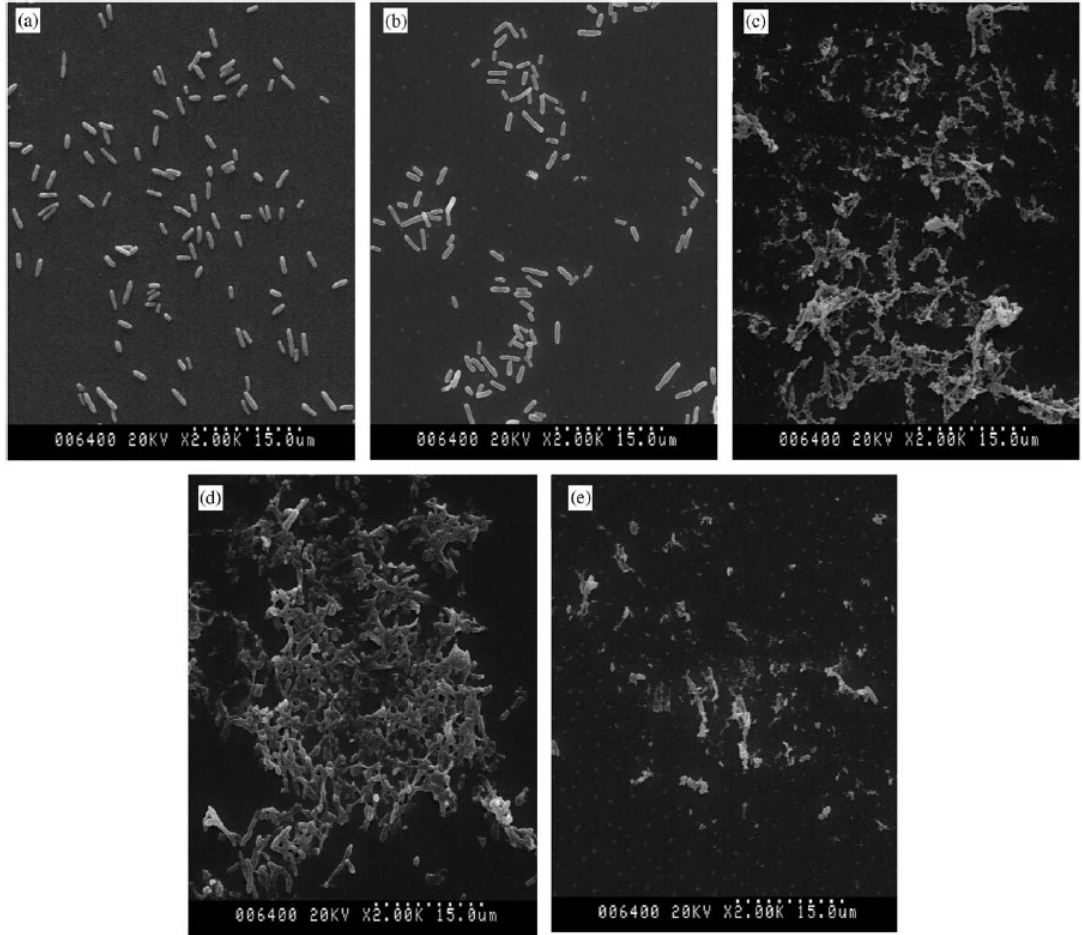


Şekil 2.6 : *C. freundii* mikroorganizmasının hücresel deformasyonu (Schlüter, 2014).

Benzer bir çalışmada ise, atmosferik basınçta hava plazması üreten bir plazma jetinin dışılıkta sterilizasyon amaçlı kullanılabilirliği araştırılmış ve *S. aureus* mikroorganizmasının 20 dakikalık plazma uygulaması öncesi ve sonrası SEM fotoğrafları Şekil 2.7’ te verilmiştir (Zhang, 2010).



Şekil 2.7 : *S. aureus* mikroorganizmasının hücresel deformasyonu (Zhang, 2010).
Dielektrik bariyer deşarjıyla oluşturulan hava plazmasının (a) 0 s, (b) 10 s, (c) 30 s, (d) 50 s, ve (e) 70 s. lik uygulamaları sonunda *E. coli* mikroorganizmasında oluşan hücresel hasar Şekil 2.8’ te görülmektedir (Choi, 2006).



Şekil 2.8 : *E. coli* mikroorganizmasının hücresel deformasyonu (Choi, 2006).

2.1.4 İyonizasyona etki eden parametreler

Elektriksel deşarj ile iyonizasyona etki eden parametreleri anlayabilmek için öncelikle elektriksel deşarjı tanımlamak gerekir. Bir gaza dielektrik özelliğini kaybetmesine yetecek kadar elektrik alan uygulandığında, yani gazın o koşullardaki delinme gerilimi (V_B) aşıldığında, o gaz yalıtkanlık özelliğini kalıcı veya geçici olarak kaybederek iyonlarına ayrışır ve iletken hale geçer. Bu olaya “gazların elektriksel deşarjı” denir (Tommasini, 2009).

Gazların farklı basınç koşullarındaki delinme gerilimleri ilk olarak 1889 yılında F. Paschen tarafından çalışılmıştır. Bu çalışmalar sonunda delinme gerilimin (V_B), elektrotlar arası uzaklık (d) ve gaz basıncının (p) bir fonksiyonu olarak tanımlayan “Paschen eğrisi” tanımlanmıştır (Paschen, 1889).

Her gaz için farklı bir eğri olmakla birlikte tüm Paschen eğrilerinin ortak özelliği iç bükey olmaları ve optimum bir “ $p.d$ ” değerine karşılık minimum bir V_B değerini göstermeleridir. Minimum noktanın her iki tarafında delinme gerilimi artmaktadır, çünkü düşük basınçlarda iyonizasyon için gaz parçacıklarının yoğunluğu yeterli değildir. Yüksek basınçlarda ise çarpışma frekansı yüksektir, bu nedenle çarpışmalar arasındaki yolda parçacıklar iyonizasyon için gerekli olan enerjiye ulaşamazlar.

Delinme geriliminin basınç ve elektrotlar arası uzaklığın bir fonksiyonu olduğu gösteren “Paschen eşitliği” deneysel çalışmaların sonucunda ortaya çıkmıştır (Barankova, 2010). Bu eşitlik aşağıda verilmiştir (2.1).

$$V_B = \frac{B p d}{\ln\left(\frac{A}{\ln\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right)}\right) + \ln p d} \quad (2.1)$$

Denklemdaki sembollerin açıklamaları ve birimleri aşağıda verilmiştir:

V_B : Delinme gerilimi (V/m)

p : Gaz basıncı (Pa)

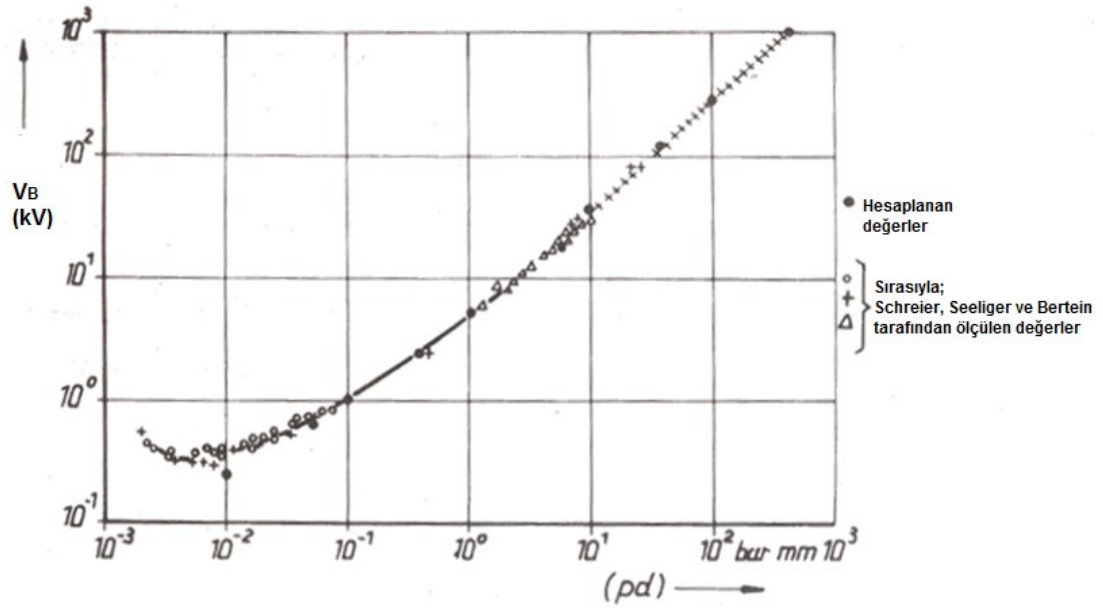
d : Elektrotlar arası uzaklık (m)

γ : İkincil elektron emisyon katsayısı

A ve B : ampirik sabitler

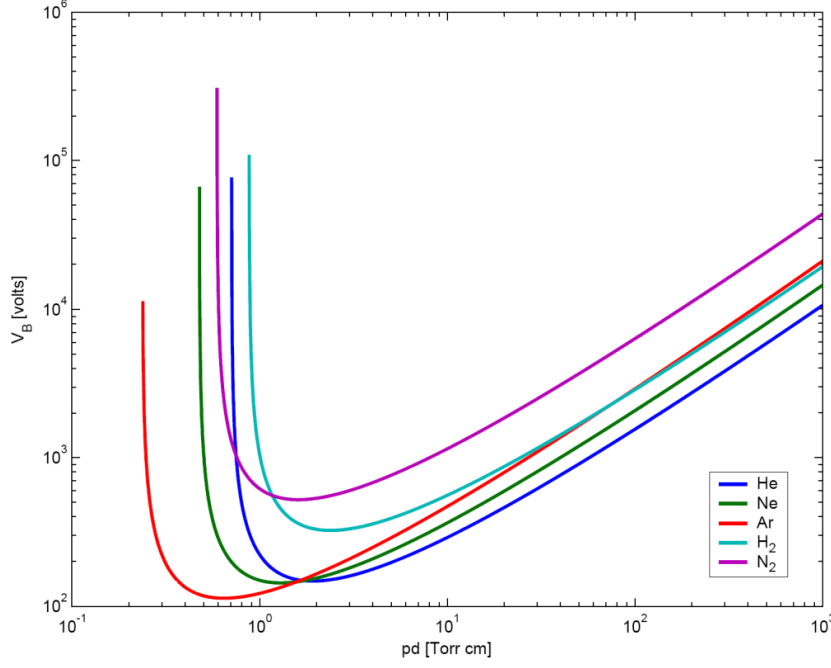
Eşitlikteki A ve B , gazın cinsine göre değişen sabitlerdir.

Oda sıcaklığındaki kuru hava için, $A=15 \text{ cm}^{-1} \text{ Torr}^{-1}$, $B=365 \text{ V cm}^{-1} \text{ Torr}^{-1}$ ve $\gamma=10^{-2}$ (Cu elektrot kabulü) olarak tanımlanabilir. Atmosferik basınçta ($0.1 \text{ MPa}=760 \text{ Torr}$) ve elektrotlar arası uzaklığın (d) 1 cm olduğu durumda, DC için delinme gerilimi $V_B \approx 35.5 \text{ kV}$ olarak hesaplanır. Aynı koşullarda basıncın 1 Torr (133 Pa) olduğu durumda ise delinme gerilimi $V_B \approx 310 \text{ V}$ olarak hesaplanır (Barankova, 2010). Şekil 2.9’ da 20°C ’ deki kuru havanın Paschen eğrisi görülmektedir. Yukarıda hesaplanan V_B değerleri gerekli birim dönüşümleri yapılarak verilen grafikten de okunabilir.



Şekil 2.9 : Kuru havanın Paschen eğrisi [Url-3].

Her gaz için farklı bir delinme gerilimi değeri vardır, bu değer ne kadar küçükse o gazı iyonlaştırmak için gereken enerji o kadar azdır. Tek atomlu olan soygazlar ve elektronegatif gazlar en küçük delinme gerilimine sahiptir. Periyodik cetvelde aşağıdan yukarıya ve soldan sağa gidildikçe iyonizasyon kolaylaşır. Bu nedenle en düşük delinme gerilimine sahip element Helyum’ dur (Berger, 2003). Farklı gazların Paschen eğrileri Şekil 2.10’ de verilmiştir.



Şekil 2.10 : Farklı gazların Paschen eğrileri (Lieberman, 2005).

Son yıllarda elektriksel deşarjla iyonizasyonun pek çok alanda hız kazanan uygulamaları nedeniyle gerek deşarja etki eden tasarımsal parametrelerin belirlenmesiyle daha etkili üreteçlerin tasarımı, gerekse çalışma koşullarına bağlı parametrelerin optimizasyonu en kısa sürede en iyi sonuç alınması hakkında pek çok bilimsel çalışma yayınlanmıştır. Elektriksel deşarj ile iyonizasyona etki eden önemli parametrelere aşağıda değinilmiştir.

2.1.4.1 Tasarımsal parametreler

Elektriksel deşarj ile iyon üreten bir sistemin tasarımı yapılırken dikkate alınacak başlıca hususlar aşağıda özetlenmiştir.

- Kullanım amacı

Yapay olarak üretilen laboratuvar plazmaları kullanım amaçlarına göre ısı dengede olan ve ısı dengede olmayan olmak üzere iki ana grupta toplanırlar. Kesme, kaynaklama ve spreyleme gibi ısıнын gerekli olduğu uygulamalar için yüksek sıcaklıktaki ısı plazmaları kullanılırken; temizleme, sterilizasyon, yüzey işleme gibi uygulamalar için ise oda sıcaklığına yakın olan ısı dengede olmayan plazmalar tercih edilir (Bogaerts, 2002).

- Basınç

Plazmanın en önemli karakteristik özelliklerinde biri gaz basıncıdır. Sabit bir sıcaklıkta o gazın basıncı, gaz parçacıklarının toplam yoğunluğunu, dolayısıyla

parçacıklar arasındaki çarpışma olasılığını ve çarpışma frekansını belirler. Gaz basıncı arttıkça çarpışma frekansı da artar (Barankova, 2010). Yüksek parçacık yoğunluğu nedeniyle parçacıkların serbest yol uzunlukları deşarj uzunluğundan oldukça kısadır bu nedenle meydana gelen çok sayıda elastik olmayan çarpışma sonucunda parçacıklar arasında kütle ve enerji transferi oluşur.

Plazma haline getirilen gazın basıncına göre plazmalar üç gruba ayrılır:

- a) Düşük basınç plazmaları $P < 1,3 \cdot 10^2 \text{ Pa}$
- b) Orta basınç plazmaları $1,3 \cdot 10^2 \text{ Pa} < P < 1,33 \cdot 10^4 \text{ Pa}$
- c) Yüksek basınç plazmaları $P > 1,33 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ (Karadeniz, 1990)

Atmosferik basınçta (yüksek basınç plazmaları) ve vakum altında (düşük - orta basınç plazmaları) çalışan sistemlerin avantaj, dezavantaj ve birbiriyle olan karşılaştırmaları aşağıda özetlenmiştir:

Düşük - orta basınçta iyonizasyon;

- Düşük basınçta plazma üreten sistemlerde, vakum dolayısıyla ortamdaki parçacık yoğunluğu azalmakta, bu nedenle parçacıklar birbirleriyle çarpışmadan uzun mesafeler kat edebilmektedir (Tommasini, 2009). Böylece plazma ile üretilen parçacıkların tüm vakum ortamında iletilmesiyle uzak noktalarda bile temizleme ve sterilizasyon etkisi sağlanabilmektedir.
- Vakum altında plazma üretiminde; uygulanan vakumun seviyesine göre farklı gerilim değerlerine ihtiyaç duyulmakla birlikte genel olarak aynı koşullarda atmosferik basınca göre daha düşük delinme gerilimi değerine ihtiyaç duyduğu Paschen Kanunu ile açıklanabilir ve Şekil 2.9' dan da görülebilir.
- Daha düşük gerilimlerde çalışılabilmesi nedeniyle, düşük basınç sistemlerinde kullanılan güç kaynakları daha ekonomiktir ve uygulama daha güvenlidir.
- Bu tip sistemlerin tasarımı için vakum ekipmanlarına ihtiyaç olması nedeniyle maliyet dezavantajı ve beyaz eşyaya uygulanabilirlik kısıtları bulunmaktadır.

Yüksek basınçta iyonizasyon;

- Atmosferik basınç ortamında plazma üreten sistemlerde, ortamda bulunan parçacık yoğunluğu yüksek olmaktadır. Üreteçten çıkan plazma içerisindeki

parçacıklar; havadaki moleküller (oksijen/azot gibi bileşenler ve mikroorganizma/koku gibi kirleticiler) ile çarpışmaktadır. Bu çarpışma sonucunda üretilen aktif parçacıklar kirliliğe neden olan molekülleri inaktive ederken aynı zamanda birbirleriyle yaptıkları elastik olmayan çarpışmalar sonucunda etkinliklerini de kaybetmektedir. Bu nedenle, plazma içerisinde bulunan aktif parçacıklar, vakum sistemlerinin aksine, ancak kısa mesafelerde etki gösterebilmektedir.

- Atmosferik basınç altında plazma üretilmesi için vakum sistemlerine göre çok daha yüksek gerilim değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır.
- Yüksek gerilim ihtiyacına bağlı olarak; uygulama sırasında güvenlik riskleri oluşabilmekte ve ek güvenlik sistemlerine ihtiyaç duyulabilmektedir.
- Diğer taraftan, vakum pompası ihtiyacı olmaması maliyet ve uygulanabilirlik açısından avantaj teşkil etmektedir.

Düşük basınçta plazma üreten sistemlerle çalışabilmek için pahalı vakum ekipmanlarına ve vakum pompasına ihtiyaç duyulması nedeniyle, atmosferik basınçta üretilen ve ısı dengede olmayan soğuk plazmalara olan ilgi her geçen gün artmaktadır (Barankova, 2010).

- Elektromanyetik alan

Elektromanyetik alan içerisindeki bir yüklü parçacığa etkiyen kuvvet Lorentz Kanunu ile açıklanır. Lorentz Kuvveti aşağıdaki denklemde verilmiştir (2.2).

$$\vec{F} = q (\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.2)$$

Denklemdeki sembollerin açıklamaları ve birimleri aşağıda verilmiştir:

F: Kuvvet (Newton)

E: Elektrik alan (V/m)

B: Manyetik alan (Tesla)

q: Parçacığın elektriksel yükü (Coulomb)

v: Parçacığın hızı (m/s)

Bu denklemde “q.E” elektrik alanının yüklü parçacığa etki ettirdiği kuvvet olup, bu kuvvetin oluşması yüklü parçacığın hareketli olmasını gerektirmez. Bu kuvvet yüklü parçacıkların anot - katot doğrultusunda hareketini (enerjisini), dolayısıyla plazma akış hızını meydana getirir. “q(V x B)” ise, B indüksiyonuna sahip bir manyetik alan

içerisindeki V hızına sahip bir q yüküne etkiyen kuvvet olup, Lorentz Kuvveti olarak bilinir. Lorentz Kuvveti hız yönüne diktir. Bu nedenle elektrik alanının aksine manyetik alan, yüklü parçacığın enerjisine ve hızının büyüklüğüne etki etmez. Sadece yüklü parçacığın hızının yönünü değiştirir (Karadeniz, 1990). Elektromanyetik alanın etkisiyle plazmayı hızlandırmak, ısıtmak, yönlendirmek ve sıkıştırmak mümkündür (Bogaerts, 2002).

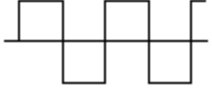
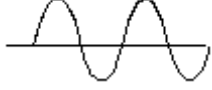
- Akım ve frekans

İyonizasyon çalışmalarında elektrotlara doğru akım (DC), alternatif akım (AC) ve kare dalga olmak üzere üç farklı formda gerilim uygulanır. Benzer şekilde üreteç tasarımında seçilen frekans sıfırdan başlayıp mikrodalga bandına kadar değişebilir. DC ile beslenen sistemlerdedeşarj elektrotlar arasında oluşan sabit elektrik alan sonucu oluşur. Yüksek basınçlarda çarpışma frekansları nedeniyle parçacıklar arasında hızlı bir enerji alışverişi olur ve plazma ısıl dengeye ulaşır. Bu nedenle basit bir DC sistemiyle ısıl dengede olmayan soğuk plazma üretmek neredeyse imkansızdır. Gaz delinmesi kısa sürede kıvılcıma ve sonrasında yüksek akımlı sıcak arka dönüşür.

Gazlar aynı zamanda yeterli yüksek gerilime sahip elektromanyetik alanların titreşme etkisiyle de iyonlaşabilirler. Elektronların ve iyonların kütleleri arasındaki belirgin farktan dolayı, elektromanyetik alan yüksek frekanslarda sadece elektronlara etki edebilir. Bu sistemlerde elektronlara güç yüksek frekans ile “pompalama” şeklinde verilir ve böylece yüksek basınçlarda da ısıl dengede olmayan soğuk plazma üretilebilir.

DC sistemlerdeki gazın delinme prensipleri basit sadeleştirmelerle AC sistemler için de geçerlidir. Genel olarak aynı koşullarda AC sistemler için daha düşük delinme gerilimlerine ihtiyaç duyulur. Benzer şekilde frekans arttıkça delinme gerilimi de düşer fakat bunun kritik bir değeri vardır (Barankova, 2010). Akım tiplerinin dalga formları ve delinme gerilimiyle ilişkisi Çizelge 2.1’ de verilmiştir.

Çizelge 2.1 : Akım tiplerinin delinme gerilimiyle ilişkisi.

Akım tipi	Sinyal	Delinme gerilimi (V_B)
DC		Yüksek
DC- Kare dalga		Daha düşük
AC		Daha düşük

2.1.4.2 Çalışma koşullarına bağlı parametreler

- Numunenin üretece uzaklığı

Özellikle atmosferik basınçta çalışıldığında, iyon üretecinden çıkan aktif parçacıkların havadaki diğer moleküllerle çarpışarak zamanla bozunup etkinliğini kaybettiği ve temizlenecek ortamın tamamına ulaşamadığı bilinen bir durumdur. Bu durumun etkisini belirlemek için numune ile üreteç arası mesafenin etkisiyle ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Chen tarafından yapılan çalışmada üretilen oksijen plazmasının numune-üreteç arası uzaklıkla olan ilişkisi incelenmiştir. Üreteçten 0-80 cm uzaklıklardan alınan ölçümlerle o noktadaki iyon ve radikal miktarları belirlenmiştir. Plazma kaynağı ile numune yüzeyi arası uzaklık arttıkça iyonların çok hızlı bir şekilde azaldığı, 30 cm' den itibaren ortamda kayda değer bir iyon derişimi söz konusu olmadığı bildirilmiştir. Oksijen radikallerinin ise daha yavaş bir azalma gösterdiği saptanmıştır. Bu durumun radikallerin ortalama yaşam süresinin daha uzun olmasından kaynaklandığı bildirilmiştir. Aynı çalışmada, medikal PTFE polimer fim üzerine inoküle edilen *E. coli*' nin oksijen plazmasıyla inaktivasyonu da incelenmiş, 60 saniyelik uygulama sonunda 0 cm ile 80 cm uzakta bulunan numunelerin indirgeme seviyeleri arasında yaklaşık 1 log cfu/ şerit kadar fark olduğu belirtilmiştir (Chen, 2008).

Bir diğer çalışmada ise atmosferik basınçta çalışan ve havadan plazma üreten bir plazma jetiyle *S. aureus* ve *E. faecalis* inoküle edilmiş agarlı petrilerin sterilizasyonu amaçlanmış, jet nozülü ile petri arasındaki uzaklığın 1 cm ve 3 cm olduğu durumlarda testler gerçekleştirilmiştir. Bu koşullarda uzaklığın belirgin etkisinin

saptanamadığı fakat *E. faecalis*' in 3 cm uzaklıktan daha uzun sürede inaktive edilebildiği belirtilmiştir (Zhang, 2010).

- Gazın bileşimi

Plazma oluşumunda kullanılan besleme gazının bileşimi önemli bir parametredir. Delinme gerilimlerinin düşük olması nedeniyle He ve Ar gibi soygazlar plazma çalışmalarında sıklıkla tercih edilirken kullanım kolaylığı nedeniyle sterilizasyon çalışmalarında hava ve oksitleme gücü yüksek serbest radikallerin oluşumunu sağlamak için de H₂O ve O₂ içeren karışımlar sıklıkla tercih edilmektedir.

Dobrynin tarafından yapılan bir çalışmada Korona deşarjıyla plazma üreten bir sisteme farklı gaz karışımları beslenerek oluşturulan iyonların ve besleme gazındaki nemin inaktivasyona etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda besleme gazı olarak kuru oksijen, kuru hava, N₂/H₂O, Ar/H₂O ve He kullanıldığı durumlarda mikrobiyal indirgeme gerçekleşmediği, etkili bir indirgeme sağlamak için ise oksijen ve suyu birlikte içeren karışımların tercih edilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Dobrynin, 2011).

Nem miktarının etkisinin araştırıldığı bir diğer çalışmada da benzer şekilde nem artışıyla inaktivasyon etkinliğinin arttığı bildirilmiştir. Besleme gazındaki bağıl nemin %35 ve % 65 olduğu durumda 90 dakika sonunda yumurta kabuğundaki *S. enteritidis* mikroorganizması üzerinde sırasıyla 2.5 ve 4.5 log cfu/ yüzey kadar indirgeme sağlanmıştır. Nemin inaktivasyon üzerindeki belirgin etkisinin, su moleküllerinin hidroksil radikallerine dönüşerek nükleik asit ve proteinlerde oksidatif hasara yol açmasından kaynaklandığı vurgulanmıştır (Ragni, 2010).

- Ortam pH' ı

Mikrobiyal inaktivasyona etki eden bir diğer parametre de ortamın pH' ıdır. Asiditenin artışıyla mikroorganizmanın plazma uygulamasına karşı gösterdiği direncin azaldığı farklı araştırmacılar tarafından paylaşılmıştır. Hayvansal atık suyun plazma ile inaktivasyonunun amaçlandığı bir çalışmada; atık suda distile suya göre daha kolay inaktivasyon sağlandığı, bu durumun atık su içinde bulunan yağ asitleri ve proteinlerin plazma uygulaması sonrasında nitrik asit ve karbonik aside dönüşerek atık suyun pH' ını düşürmesinden kaynaklanabileceği ifade edilmiştir (Rowan, 2007).

2.2 İyonizasyon Uygulamaları

İki elektrot arasında oluşan elektrik alan değeri, ortamın delinme gerilimi değerini aştığında ortamdaki gaz iyonlaşarak plazmaya dönüşür (Fridman, 2007). Plazma uygulamaları; sıvı ve gaz fazdaki atıkların arıtılmasında etkili olan özel bir ileri oksidasyon prosesi olarak değerlendirilebilir ve hızlı reaksiyon süreleri, çözücü ve katalizör kullanımı gerektirmemeleri gibi pek çok ekonomik nedenle yüzeylerin, sıvıların ve gazların temizlenmesinin amaçlandığı endüstriyel proseslerde yer alırlar (Brisset, 2007).

2.2.1 Hava temizleme uygulamaları

İyonizasyon yönteminin prensibi havadaki bir molekülünün son yörüngesinden bir elektron koparmak ve nötr moleküllere tutunmasını sağlamak olarak tanımlanabilir. İyonlar havadaki kirleticilerin, aerosollerin ve mikroorganizmaların etrafını sararak onları pozitif veya negatif yükle yüklerler. Böylece hava kirleticileri oksidasyona uğrar, iyonlar ise mikroorganizmalara etki ederek hücre zarlarındaki fosfolipidlerin hidrolizine neden olurlar. Havadaki bakterileri azaltmak için çokça tercih edilen iyonizasyon seçici olmayan bir temizleme yöntemidir; böylece toz parçacıkları, çeşitli mikroorganizmalar, polen ve koku molekülleri gibi pek çok hava kirleticileri için de kullanılabilir. (Kampmann, 2009).

Atmosferik basınçta korona deşarjı ile havadan plazma üreten bir sistemin toluen giderme üzerine etkinliğinin araştırıldığı çalışmada en etkili toluen oksitleyici bileşenlerin hidroksil radikali ve atomik oksijen olduğu ifade edilmiştir. Toluen giderme mekanizmasının havadaki bağıl nemden etkilendiği, bağıl nemi % 50 olan havaya göre % 26 olan havada toluen gidermenin daha iyi olduğu belirtilmiştir (Dewulf, 2007).

Buzdolabında bulunan ticari bir iyonizerin sterilizasyon etkinliğinin incelendiği çalışmada havadaki negatif hava iyonu (NH^-) miktarı $1.2-3.7 \cdot 10^6 \text{ NH}^- \text{ cm}^3$, havadaki ozon miktarı ise 11-19 ppb O_3 olarak ölçülmüştür. Başlangıç mikroorganizma yoğunluğu 2.5 log cfu/ mL olan numunelerin 2.5 saat sonunda tamamen inaktive edildiği bildirilmiştir. Havalandırma özelliği bulunan dinamik buzdolaplarında, havalandırması olmayan statik buzdolaplarına göre daha fazla sterilizasyon etkisi gözlemlendiği ve buzdolabındaki hava akışının iyonizasyon ile sterilizasyona olumlu etkisi olduğu vurgulanmıştır (Kampmann, 2009).

Gazların elektriksel deşarjıyla iyonizasyon prensibiyle çalışan çeşitli iyon üreteçleri hava temizleme uygulamalarında ticari olarak da yaygın olarak tercih edilmektedir. Sadece bu amaçla üretilen hava temizleme cihazları olduğu gibi; artan müşteri istekleri nedeniyle klima, buzdolabı, elektrikli süpürge, davlumbaz gibi pek çok beyaz eşya ve küçük ev aletine de iyon üretici eklenerek koku giderme, mikroorganizma gelişimi engelleme, hava tazeleme, is ve toz giderme gibi ek fonksiyon kazandırılmaktadır. Tek bir basit bir üreteçten oluşan sistemler olduğu gibi filtre, aktif karbon, fotokataliz, UV gibi hava temizleme yöntemlerinin bir arada kullanıldığı hibrit sistemler de yaygın olarak tercih edilmektedir. Beyaz eşya üreticilerinin iyon üreteçleriyle ürünlerine ek fonksiyon kazandırmak amacıyla aldıkları patent örnekleri aşağıda verilmiştir.

2004 yılında LG' nin aldığı patentte, elektrikli süpürge motor koruma filtresine yerleştirilen bir plazma üretecinin havadaki tozların, mikroorganizmaların ve koku moleküllerinin uzaklaştırılması amacıyla kullanılabileceği belirtilmiştir (Lim, 2004).

LG tarafından 2007 yılında alınan patentte, plazma üreteci ve fotokatalizin bir arada kullanıldığı hibrit bir sistemle kötü kokuları ve mikroorganizma gelişmesini engelleme amacıyla buzdolabı hava kanalında kullanımı tariflenmiştir (Yeon, 2007).

2013 yılında Samsung tarafından yapılan patent başvurusunda, mikroorganizma inaktivasyonu sağlama ve koku giderme amacıyla kullanılmak üzere dielektik bariyer deşarjıyla plazma üreten sistemin detaylı tasarımı tariflenmiştir (Yukika, 2013).

Falmec firması tarafından 2013 yılında yapılan patent başvurusunda, çeşitli filtreler, aktif karbon ve iyon üretecinin birlikte bulunduğu hibrit bir sistemin davlumbazda hava temizleme ve koku giderme amacıyla kullanılabileceği belirtilmiştir (Danilo, 2013).

2.2.2 Sıvı temizleme uygulamaları

Sulu bir çözeltiye plazma uygulandığında, plazmadaki aktif parçacıklar ve sıvı-gaz ara yüzeyindeki çözünmüş moleküller arasında pek çok reaksiyon gerçekleşir. Çözeltide gerçekleşen bu reaksiyonlar değişimi yapılan proton, elektron ve ligand parçacıklarının tipine göre sırasıyla asit-baz, oksidasyon-redüksiyon ve kompleks oluşum reaksiyonu olarak sınıflandırılır. Radikal içeren reaksiyonlar ise elektron değişim reaksiyonlarının özel bir tipi olarak düşünülebilir ve organik bileşenlerin bozunmasında gerçekleşen yer değiştirme veya katılma reaksiyonlarında görülür.

Nemli hava plazmasına maruz kalan sulu çözeltilerde gerçekleşen ana reaksiyonların pH düşürme ve oksidasyon etkisi vardır. Bu reaksiyonlar OH ve NO radikallerinin oluşumunun direk sonucu olarak yorumlanırlar. Plazmada bulunan başlıca reaktif parçacıklar spektrometrik çalışmalarla tanımlanmış ve sayılmıştır. Deşarj sonucu oluşan kısa ömürlü parçacıklar besleme gazındaki O₂, N₂ ve H₂O molekülleriyle etkileşir ve ·O₂H, H₂O₂, NO_x ve türevleri gibi oksijen/ azot içerikli çeşitli parçacıklara dönüşür. Bu parçacıklar besleme gazı ile çözelti yüzeyine taşınır ve sıvı-gaz ara yüzeyindeki çözünmüş moleküllerle etkileşirler. Deşarjdaki elektron akışı ile su buharı molekülleri arasındaki etkileşimler sonucunda ·OH gibi radikaller oluşur. ·OH radikali ve türevi H₂O₂ bileşiği çok güçlü birer oksidasyon ajanıdır ve organik bileşenlerin oksidasyon reaksiyonlarında görev alır (Brisset, 2007).

Bahsedilen oksidasyon mekanizmasıyla sıvı temizlemeye yönelik literatürden alınmış çalışmalar aşağıda verilmiştir:

Korachi ve arkadaşlarının 2010 yılında Korona deşarjı ile üretilen atmosferik basınçta hava plazmasının sulu çözelti içinde bulunan *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmalarına etkisini incelediği çalışmada, plazma uygulanmasıyla hem suda hem de *E. coli* çözeltisinde hızlı bir pH düşüşü olduğu, çözeltinin pH'ı 0. dakikada 7.5 iken 20 dakika sonunda 1.2' ye düştüğü, saf sudaki pH düşüşünün ise çözeltiden daha hızlı olduğu belirlenmiştir. Bu durumun oluşan radikallerin mikroorganizmayla etkileşime girerek bozunmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Benzer şekilde 20 dakika plazma uygulaması sonunda başlangıçta yaklaşık sıfır olan çözelti iletkenliğinin 3000 mS/cm değerine yükseldiği bildirilmiştir. *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmalarının yağ asidi bileşimlerinin incelendiği çalışmada plazma üretimi sonucunda açığa çıkan hidroksil radikallerinin mikroorganizmaların hücre zarlarındaki doymamış yağ asitlerine etki ettiği ve lipid peroksidasyonuna yol açtığı fakat bu hasarın hücrenin inaktivasyonuna yetecek düzeyde olmadığı ifade edilmiştir.

Schlüter' in (2014) yaptığı çalışmada elma suyunda bulunan Gram (-) *Citrobacter freundii* mikroorganizmasının oksijenli argon plazması üreten kalem tipi plazma jeti ile inaktivasyonu incelenmiş, Oksijen konsantrasyonunun % 0 olduğu durumda mikrobiyal indirgeme yokken % 0.1 olduğu durumda 8 dakikada 4.4 log cfu/mL ' lik indirgeme olduğu ve argon gazı içindeki oksijen miktarı arttıkça inaktivasyonun arttığı belirlenmiştir. Bu durumun besleme gazı içindeki oksijen moleküllerinin atomik oksijen radikallerine dönüşmesinden kaynaklanabileceği bildirilmiştir.

Korachi ve arkadaşlarının 2012 yılında yaptığı çalışmada Korona deşarjı ile üretilen atmosferik basınçta hava plazmasının içerisine *E. coli* inoküle edilmiş farklı yağ oranlarındaki süt numunelerine etkisi incelenmiş, çalışma sonunda sütteki yağ bileşiminin mikrobiyal inaktivasyona etkisinin olmadığı, plazma uygulaması sonunda sütte belirgin pH ve renk değişimi oluşmadığı görülmüştür. Başlangıç derişimi 7.78 log cfu/ mL olan çözeltiye 20 dakika plazma uygulanması sonucunda çözeltinin mikroorganizma seviyesinin 3.63 log cfu/ mL' ye indirildiği belirtilmiştir. Plazma uygulaması sonrasında mikrobiyal gelişimin gözlemlenmesi için numuneler uygulama sonrası altı hafta boyunca saklanmış, 9 dakika plazma uygulanan numunelerin başlangıç konsantrasyonunun 4.18 log cfu/ mL olduğu ve altı gün sonunda mikroorganizma olmadığı, 20 dakika plazma uygulanan numunelerin başlangıç konsantrasyonunun 3.63 log cfu/ mL olduğu ve 1 gün sonunda mikroorganizma olmadığı görülmüştür.

Brisset ve arkadaşlarının 2007 yılında atmosferik basınçta üretilen nemli hava plazmasının bira sanayii atık suyunun arıtılması amacıyla kullanılabilirliğini incelediği çalışmada, deşarj sonucunda NO ve ·OH radikallerinin oluştuğu ve 10 dakikalık plazma uygulaması sonrasında atık suyun renginin ve bulanıklığının önemli ölçüde giderilebildiği, başlangıçta alkali olan atık suyun nötralize edilebildiği, biyokimyasal oksijen ihtiyacının % 96 ile %70 oranları arasında azaltılabildiği belirtilmiştir.

Süzülmüş domates suyu içine koyulan *tomato peroxidase* enziminin dielektrik bariyer deşarjı ile üretilen atmosferik basınçta hava plazmasıyla inaktivasyonunun incelendiği çalışmada, gerilimin ve sürenin kalıntı aktivitesine etkisi incelenmiş, gerilim artışının olumlu yönde fakat az etkisinin olduğu, asıl etkili parametrenin süre olduğu belirtilmiştir. Tüm gerilimlerde 2 dakikada yeterli azalma (% 20' nin altında) sağlandığı, 5. dakika sonunda ise 0' a ulaştığı bildirilmiştir (Cullen, 2013).

İyonizasyon teknolojisinin hava ve yüzey ortamlarında temizlemeden statik elektrik gidermeye kadar pek çok farklı amaçla kullanım alanı bulmasına ve ticari olarak pazarda yer edinmesine karşın, sıvı ortamına uygulanmasıyla ilgili literatürde yayınlanan makaleler ve yapılan patent başvuruları oldukça sınırlıdır. Beyaz eşya üreticileri tarafından sıvıya iyon teknolojisinin uygulanmasıyla ilgili kayda değer tek patent başvurusu, iyonizasyon teknolojisini pek çok üründe kullanan LG tarafından 2004 yılında yapılmıştır. Bu başvuruda, çamaşır makinesinde dielektrik

bariyer deşarjıyla üretilen plazmanın püskürtülen suya uygulanmasıyla yıkama ve durulama performansını iyileştirilebileceği ve kullanılan su miktarının azaltılabileceği bildirilmiştir (Kyung-Chul, 2004).

2.2.3 Yüzey temizleme uygulamaları

Farklı *Salmonella* türlerinin mikrobiyal indirgeme çalışmalarının incelendiği derlemede şu vargılar paylaşılmıştır: Mikrobiyal yük arttıkça biyokütlenin alt katmanlarına aktif parçacıklar ulaşmamakta, bu parçacıklar üst katmandaki cansız biyokütle tarafından sönmelenmektedir. Cansız yüzeylerde indirgeme daha kolay, mikroorganizmaların derinlere inebileceği kıvrımlı yüzeylerde indirgeme daha zor ve bu nedenlerle gıda yüzeylerinde indirgeme daha zordur. Örneğin yumurta yüzeyinin oldukça zor indirgeme sağlanabilen bir yüzey olduğu ve yaklaşık bir saat sonunda indirgeme sağlanabildiği bildirilmiştir (Thompson, 2012).

Argon-oksijen karışımından soğuk atmosferik plazma üreten kalem tipi plazma jetinin tavuk etine ve derisine inoküle edilen *Listeria innocua* mikroorganizması üzerine etkinliğinin incelendiği çalışmada gerilim ve oksijen konsantrasyonu arttıkça mikrobiyal indirgemenin arttığı ifade edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün etkisinin de incelendiği çalışmada, mikroorganizmaların yüzeyden dokunun derinlerine indiği durumlarla indirgemenin zorlaştığı, bu çalışmada belirlenen optimum koşullarda deride 8 dakikada 1 log cfu/ g, ette 4 dakikada 3 log cfu/ g mikrobiyal indirgeme sağlandığı ve bu indirgemenin literatürdeki en yüksek indirgeme olduğu paylaşılmıştır (Shama, 2011).

Başka bir çalışmada ise, *Listeria innocua* mikroorganizması inoküle edilmiş yenilmeye hazır et dilimleri sızdırmaz polietilen ambalaj içerisine koyulmuş ve dielektrik bariyer deşarjıyla soğuk atmosferik plazma üreten bir sistemin bu numuneler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Genel olarak tüm çalışmada 2, 5, 10, 20, 60 saniye koşullarında çalışıldığı ve 0.8 ± 0.4 ile 1.6 ± 0.5 log cfu/g arasında indirgeme sağlandığı, besleme gazında % 30 oksijen bulunduğu durumda ette kırmızılık kaybı olduğu, oksijen miktarı % 0' a çekildiği durumda ise renk kaybı olmadığı belirtilmiştir. Yüksek güç uygulandığında oluşan parçacıkların aktive edilmiş polimer ambalaj yüzeyi ile reaksiyona girerek bozunduğu ve inaktivasyonun azaldığı, bu nedenle çalışılan ortamda plazmanın etki edebileceği diğer aktif yüzeylerin ve ortamdaki kirleticilerin de önem kazandığı vurgulanmıştır (Rod, 2012).

Kare dalga DC gerilimi ile beslenen ve DBD ile atmosferik basınç altında havadan plazma üreten bir sistemin sterilizasyon etkisinin araştırıldığı çalışmada, kare dalga DC gerilim ile beslenen sistemlerin AC gerilim ile beslenen sistemlere göre daha yüksek enerjili iyon ürettiği ve sterilizasyon için etkili olduğu bilgisi paylaşılmıştır. Bu çalışmada agarsız petriye koyulan *E. coli* mikroorganizmasını 70 saniyede % 99.99 oranında uzaklaştırdığı bildirilmiştir (Choi, 2005).

Akan ve arkadaşları tarafından 2006 yılında tasarlanan ve DBD ile atmosferik basınçta plazma üreten sistemde kare dalga DC gerilimi tercih edilmiş ve besleme gazı olarak teknik oksijen kullanılmıştır. Oluşturulan oksijen plazması, bir akış yaratılarak *S. aureus* inoküle edilmiş petri numunelerinin üzerinden geçirildiği ve 3 dakikalık uygulama sonrasında etkili sterilizasyon sağlandığı ifade edilmiştir.

Kostov ve arkadaşlarının 2010 yılında DBD ile atmosferik basınç altında havadan plazma ürettiği sistemin etkinliği iki elektrot arasına yerleştirilen agarlı petri yüzeyinde incelenmiştir. Başlangıç konsantrasyonu 4 log cfu/ mL olan *E. coli* ve *S. aureus* numunelerinin 5 dakika sonunda 3 log cfu/ mL, 20 dakika sonundaysa 4 log cfu/ mL indirgendiği belirtilmiştir.

Benzer bir çalışmada DBD ile atmosferik basınçta üretilen hava plazmasının PTFE, PVC ve PET' ten üretilen medikal polimer filmler üzerine inoküle edilen *E. coli* üzerindeki etkisi incelenmiş ve 5 dakikada % 99.999 indirgeme sağlanmıştır. Bu çalışmada ayrıca kontak açısı ölçümleri de yapılmış, ıslanabilirliği düşük malzemelerde mikroorganizmalı çözelti daha az yayılacağı için alt katmandaki mikroorganizmaların korunduğu, bu nedenle inaktivasyon için daha uzun süre gerektiği vurgulanmıştır (Miao, 2011).

Bir diğer çalışmada atmosferik basınçta *glow* deşarjıyla helyum-oksijen karışımından plazma üreten bir sistemin sporlu ve sporsuz mikroorganizmalar üzerindeki sterilizasyon etkinliği karşılaştırılmış, 6 log cfu/ mL' lik mikrobiyal indirgeme için geçmesi gereken süre bazında değerlendirildiğinde sporlu mikroorganizmaların daha zor inaktive edildiği ifade edilmiştir (Akitsu, 2004).

DBD ile atmosferik basınçta üretilen hava plazmasının buzdolabının tüm hacminde ve buzdolabı içinde kapalı bir kaptaki agarlı petrilerde mikrobiyal indirgeme etkinliğinin araştırıldığı çalışmada, çalışılan hacim küçüldükçe ve üreteç- numune arası uzaklık kısaldıkça mikrobiyal inaktivasyon hızının ve dolayısıyla indirgeme

seviyesinin arttığı paylaşılmıştır. Aynı koşullarda 60 saniyede elma yüzeyinde 10-100000 ppb miktarlarındaki *paraoxon* adlı pestisit ise % 83.7- % 99.9 oranında giderildiği bildirilmiştir (Park, 2013).

Kampmann ve arkadaşlarının 2009 yılında buzdolabı sebzeliğine yerleştirilen ticari bir iyonizerin sterilizasyon etkisini araştırdığı çalışmada plastik, cam ve agarlı petri yüzeylerinde *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus brevis* ve *Pseudomonas fluorescens* mikroorganizmalarıyla testler gerçekleştirilmiştir. 3 gün sonunda yüzeylerde mikroorganizma çeşidine göre değişen yaklaşık 1-2 log cfu/ mL mikrobiyal indirgeme olmuş, yüzeyler karşılaştırıldığında camda en fazla indirgeme, plastikte daha az indirgeme olduğu, agarda indirgeme olmadığı bildirilmiştir.

Dünyanın önde gelen beyaz eşya üreticileri, iyon üreteçlerinin temizleme, sterilizasyon, statik elektrik giderme gibi amaçlarla beyaz eşyaların nemli ve kuru iç yüzeylerinde kullanımına dair kayda değer sayıda patent başvurusunda bulunmuştur. Farklı beyaz eşya ve küçük ev aletinde iyonizasyon teknolojisinin uygulanmasına dair örnekler aşağıda verilmiştir.

2011 yılında Elektrolux tarafından alınan patentte, dielektrik bariyer deşarjıyla üretilen plazmanın tekstildeki organik lekelerin çıkarılması için kullanılabileceği el tipi portatif bir cihaz tariflenmiştir (Fabbro, 2011).

Son 15 yılda plazma üreteçlerinin fırınlarda kullanımıyla ilgili pek çok patent başvurusu bulunan LG firmasının 2011 yılında aldığı bir patentte dielektrik bariyer deşarjıyla plazma üreten bir sistemle fırın iç yüzeyindeki gıda kalıntılarının temizlenmesi tariflenmiştir (Bo, 2011).

İyon teknolojisine pek çok üründe farklı amaçlarla yer veren Sharp firması tarafından 2013 yılında yapılan patent başvurusunda, pozitif ve negatif iyon üreten bir sistemle saçtaki statik elektriklenmenin giderilebileceği ve saça nem sağlanabileceği belirtilmiştir (Anonim, 2013).

BSH firması tarafından 2014 yılında alınan patentte, dielektrik bariyer deşarjıyla plazma üreten bir sistemin; deterjan çekmecesini, su deposu ve yoğuşma tankı gibi nemli bölgelerin yüzeylerinde biyofilm oluşumunu önleyerek hijyen sağlama ve koku giderme amacıyla çamaşır makinesi, bulaşık makinesi, yıkayıcı-kurutucu ve kurutucularda kullanımı tariflenmiştir (Eglmeier, 2014).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, yüksek gerilime maruz kalan havanın elektriksel deşarj ile iyonizasyonu prensibine göre çalışan farklı ticari iyon üreteçlerinin farklı numunelerdeki sterilizasyon etkinliği incelenmiştir. Bu amaçla, tekstil yüzeyi ve sıvı numunelerine inoküle edilen *S. aureus* ve *E. coli* mikroorganizmalarının zamana bağlı mikrobiyal indirgeme seviyeleri ölçülmüştür.

Gram negatif düzgün çomak şekilli bir bakteri olan *E. coli*'nin doğal yaşama ortamı insan ve hayvan bağırsaklarıdır. Bu nedenle *E. coli* su ve besinlerdeki fekal kirlenmenin göstergesidir ve insanlardaki bakteri enfeksiyonlarının en sık rastlanan etkenidir. *S. aureus* üzüm salkımı şeklinde kümeler oluşturan Gram pozitif bir bakteridir. Hareketsizdir ve spor oluşturmaz. Hastane enfeksiyonlarının en önemli etkenidir, insan cildinde ve gıda yüzeylerinde bulunur ve gıda zehirlenmelerine yol açar (Kayser, 2002).

3.1 Malzeme ve Yöntem

Elektriksel deşarj ile iyonizasyonun farklı uygulama ortamları üzerindeki sterilizasyon etkinliğinin belirlenmesi amacıyla yapılan mikrobiyoloji çalışmalarında standart ATCC mikroorganizma suşları, mikroorganizmalara spesifik besiyerleri, steril petri, pipet, öze gibi tek kullanımlık sarf malzemelerine ek olarak otoklavlanabilir cam malzemeler (beher, şişe, tüp vb.) kullanılmıştır. Ayrıca IKA Vortex Genius 3 vorteks karıştırıcı, Mc Farland skalasına göre optik yoğunluk ölçme prensibiyle bir çözeltideki bakteri konsantrasyonunu belirleyen Densimat cihazı, tekstil şeritlerinin ekstraksiyonu için Seward marka Stomacher cihazı, mikroorganizma inkübasyonları için Memmert marka etüvler, mikroorganizma sayımları için Gerber Instruments koloni sayacı cihazlarından yararlanılmıştır. Mikrobiyolojik analizler bek alevi yanında, biyogüvenlik kabinde gerçekleştirilmiştir. İyonizasyon çalışmalarında ise Trump ve Fufong marka iyon üreteçleri, Nidec marka eksenel fanlar ve GW Instek marka DC güç kaynağı

kullanılmıştır. Testler kapaklı plastik kutuda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ozon ölçümleri için 2B marka 106-L model ozon ölçüm cihazından yararlanılmıştır.

3.1.1 Mikroorganizmalar ve test numunelerinin hazırlanması

3.1.1.1 Mikroorganizmaların hazırlanması

E. coli (ATCC 25922) ve *S. aureus* (ATCC 6538) mikroorganizmaları ticari olarak temin edilmiştir ve liyofilize haldeki mikroorganizma suşları, mikroorganizma stok kültürleri hazırlığına kadar +4 °C’de muhafaza edilmiştir.

Stok kültür hazırlanması: +4 °C’de saklanan liyofilize bakteri suşları alınarak seçici besiyerlerine klasik mikroorganizma analiz yöntemleri ile ekim yapılmıştır. Bakteri kültürleri 37°C’de 24 saat inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon işleminden sonra kültürler steril bir çözelti içinde bulunan boncuklara inokule edilerek 1 gün süresince 37 °C’ de inkübasyona bırakılmıştır. İnkübasyon sonrası steril tüpler içerisindeki çözelti çekilerek, içinde bakterilerle inokule edilmiş boncukların bulunduğu vidalı kapaklı tüpler -20 °C’ de taze kültür hazırlamak için saklanmıştır.

Taze bakteri kültürünün hazırlanması: Test için taze bakteri kültürleri -20 °C’ deki stok kültürden çıkarılmış ve kültür ortam koşullarına alıştıktan sonra seçici besiyerlerine steril öze ile boncuk sürülerek geçişi yapılmıştır. Bu geçişin ardından inokulasyonun yapıldığı besiyeri bakteriler için 37 °C’ de 18 saat inkübe edilmiştir.

Tekstil testlerinde kullanılan bakteri süspansiyonunun hazırlanması: *E. coli* ve *S. aureus* bakterilerinin her biri için Densimat cihazında 2 mL fizyolojik tuzlu su (FTS) içinde optik yoğunluk değeri 3 olacak şekilde okunmuştur. Bu süspansiyondan 1 mL alınıp 9 mL FTS içerisine aktararak 1/10 oranında seyreltilmiş ve her bir bakteri için 10 mL süspansiyon elde edilmiştir.

Su testlerinde kullanılan bakteri süspansiyonunun hazırlanması: *E. coli* ve *S. aureus* bakterilerinin her biri için Densimat cihazında 10 mL fizyolojik tuzlu su (FTS) içinde optik yoğunluk değeri 3 olacak şekilde okunmuş ve her bir bakteri için 10 mL süspansiyon elde edilmiştir.

Besiyerlerinin hazırlanması: Mikroorganizmaların inkübasyonları için kullanılan seçici besiyerleri ticari olarak temin edilmiştir. *E. coli* için Rapid *E. coli* 2 Agar (Biorad) ve *S. aureus* için Baird Parker Agar (Merck) besiyerleri kullanılmıştır.

3.1.1.2 Numunelerin hazırlanması

Hazırlanan iki bakteri süspansiyonu evsel koşulu temsil etmesi amacıyla steril bir cam şişe içerisinde karıştırılmış ve bu süspansiyon ile testler gerçekleştirilmiştir.

Tekstil şeritlerinin hazırlanması: Densimat cihazında hazırlanıp seyreltilen bakteri süspansiyonlarının her birinden 10 mL alınıp aynı oranda steril saf su ile karıştırılmış ve böylece 1/2 oranında seyreltilmiştir. Her tekstil şeridine pipet ile bu karışımdan 2 mL dikkatlice damlatılarak homojen şekilde inoküle edilmiştir. Bu çalışmada % 100 pamuktan dokuma kumaşlar kullanılmıştır.

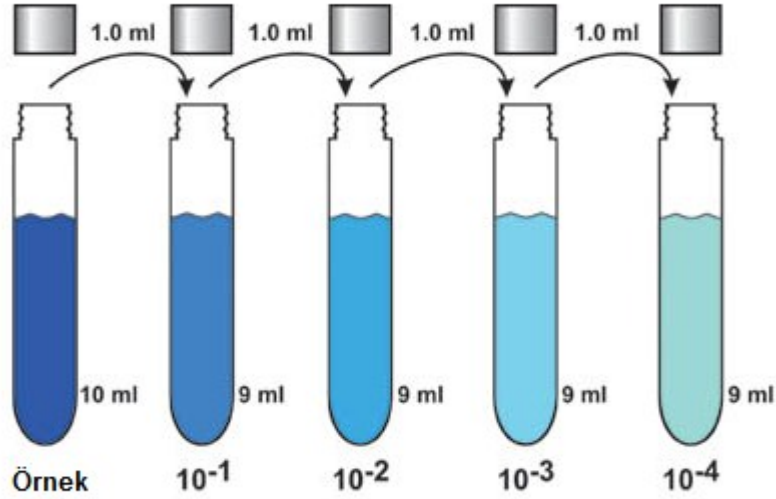
Beherlerin hazırlanması: Densimat cihazında hazırlanan bakteri süspansiyonlarına 180 mL steril saf su ile eklenmiş ve böylece 1/10 oranında seyreltilmiş bir süspansiyon elde edilmiştir. Deney düzeneğine yerleştirilecek beherlerin her birine bu süspansiyondan 50 mL koyulmuştur.

3.1.2 Numunelerin analizi

Deneyisel çalışmaların numuneleri klasik mikrobiyolojik analiz yöntemleriyle değerlendirilmiştir.

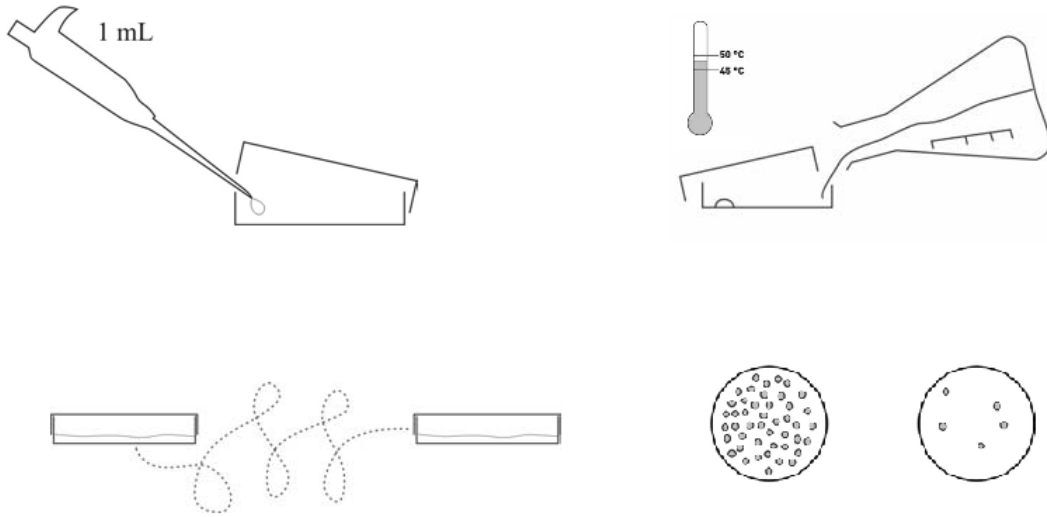
Her bir tekstil şeridi steril plastik poşete koyulup üzerine 27 mL FTS eklenerek 90 saniye boyunca Stomacher cihazında ekstrakte edilmiştir. Ekstrakte edilen sıvı numuneden 1 mL örnek alınıp yeterli seyreltmeler yapılarak seçici besiyerlerine ekim yapılmış ve mikroorganizma gelişimi için yeterli sürede etüvde bekletildikten sonra sayımı gerçekleştirilmiştir.

Seyreltme (Dilüsyon) İşlemi: İlk seyrelti (10^{-1}) yapıldıktan sonra 10^{-2} ve 10^{-3} seyreltilere yine aynı seyreltme çözeltisi (FTS) ile devam edilmiştir. Bu seyreltmeler steril 1 mL' lik pipet kullanılarak standart şekilde yapılmıştır. Bu amaçla erlenden 1 mL alınıp, 9 mL seyreltme sıvısına aktarılıp tüp karıştırıcıda karıştırılmıştır. Bu şekilde 10^{-2} seyrelti elde edilmiştir. Buradan bir başka steril pipet ile 1 mL alınıp diğer tüpe aktarılmış ve yine mekanik tüp karıştırıcıda karıştırılmıştır. Bu tüp ise 10^{-3} seyrelti olmuştur. (Halkman, 2005). İşlem bu şekilde yeterli seyreltmeye gelene kadar devam ettirilmiştir. Seyreltme işlemi Şekil 3.1' de görülmektedir.



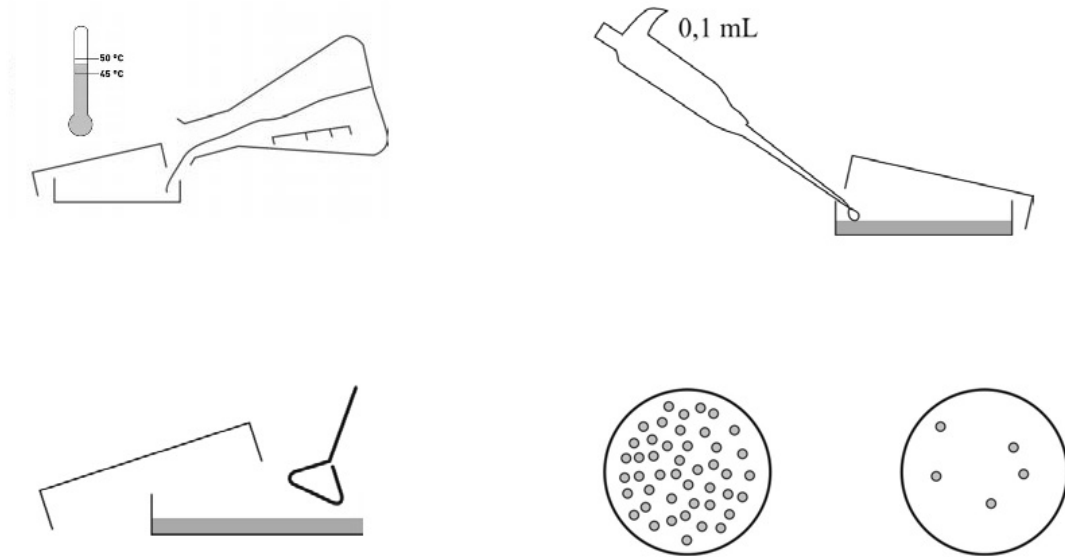
Şekil 3.1 : Seyreltme işlemi (Halkman, 2005).

Ekim işlemi: Dökme plak yönteminde, steril Petri kutusuna analizi yapılacak sıvı doğrudan ya da uygun seyreltisinden 1 mL aktarılıp, üzerine donma sıcaklığının biraz üzerinde (yaklaşık 45 °C) agarlı besiyeri dökülerek uygun şekilde karıştırılmıştır. Agar donunca Petri kutusu inkübasyona bırakılmıştır. Dökme plak yönteminin uygulama aşamaları Şekil 3.2' de görülmektedir.



Şekil 3.2 : Dökme plak yöntemi (Halkman, 2005).

Yayma plak yönteminde ise, Petri kutusuna önce agarlı besiyeri dökülmüş, katılaştıktan sonra sıvı doğrudan ya da uygun seyreltisinden 0,1 mL aktarılıp, "Drigalski spatülü" olarak adlandırılan cam çubuk ile besiyerinin tüm yüzeyine homojen bir dağılım gösterecek şekilde yayılmıştır (Halkman, 2005). Yayma plak yönteminin uygulaması Şekil 3.3' te verilmiştir.



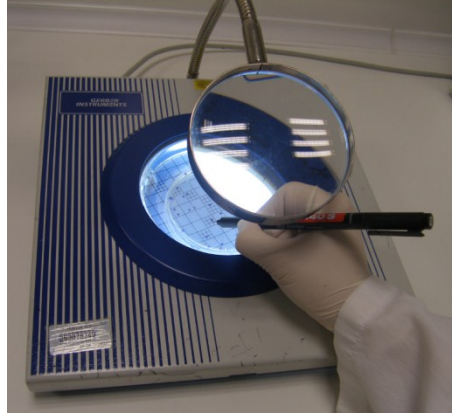
Şekil 3.3 : Yayma plak yöntemi (Halkman, 2005).

İnkübasyon işlemi: İnkübasyon işleminin süresi ve sıcaklık koşulu her mikroorganizma için farklıdır. Bu çalışmada kullanılan mikroorganizmaların inkübasyonu için gerekli süre ve sıcaklık değerleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1 : Mikroorganizmaların inkübasyon koşulları

Mikroorganizma adı	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)
<i>E. coli</i>	37	24
<i>S. aureus</i>	37	48

Koloni sayısının hesaplanması: Katı besiyeri kullanılarak yapılan sayımın prensibi "her canlı hücrenin belirli bir inkübasyon sonunda 1 adet koloni oluşturması"dır. Bununla birlikte, canlı olduğu halde hasar görmüş ve gelişip koloni oluşturamayacak canlı hücreler de bulunabilir. Bu nedenle sayım sonuçları "sadece koloni oluşturabilenlerin" sayıldığını göstermek üzere "koloni oluşturan birim; kob (colony forming unit; cfu)" olarak verilmektedir. Uygun petri kabının seçiminde 15–300 arasındaki koloni sayımları dikkate alınmaktadır. Farklı kaynaklarda 15–250, 25–250 vb. gibi farklı sınırlara da rastlanmaktadır. Ayrıca sayımı yapılacak mikroorganizmaya göre bu değer değişebilmektedir (Halkman, 2005). Koloni sayım cihazı ile bir petride bulunan mikroorganizma kolonilerinin sayımı Şekil 3.4’ te verilmiştir.



Şekil 3.4 : Mikroorganizmaların sayımı.

Sayım sonucunun değerlendirilmesi: Sayım sonucu değerlendirilirken, petrideki mikroorganizma sayısı, seyreltme faktörü (1/seyreltme oranı) ve petri kutusuna ekim yapılan miktar (mL) formüle yerleştirilir. Sayım sonuçları canlı mikroorganizma sayımlarını verir.

Mikroorganizma sayısı (cfu)= $a*b/c$

a= Petrideki mikroorganizma sayısı (adet)

b= Seyreltme faktörü

c= Petri kutusuna ekilen miktar (mL)

Ekim yapılan en düşük seyreltide bile koloni gelişmesi görülmezse sayının 0 olarak verilmesi hatalı olur. Bu gibi sonuçlar ancak 1 mL ya da 1 gram numunenin doğrudan ekim yapılması halinde verilebilir. Petri kutularında koloni gelişmesi olmazsa, aşağıdaki formüle göre hesaplanan değer analiz sonucu olarak verilir (Halkman, 2005).

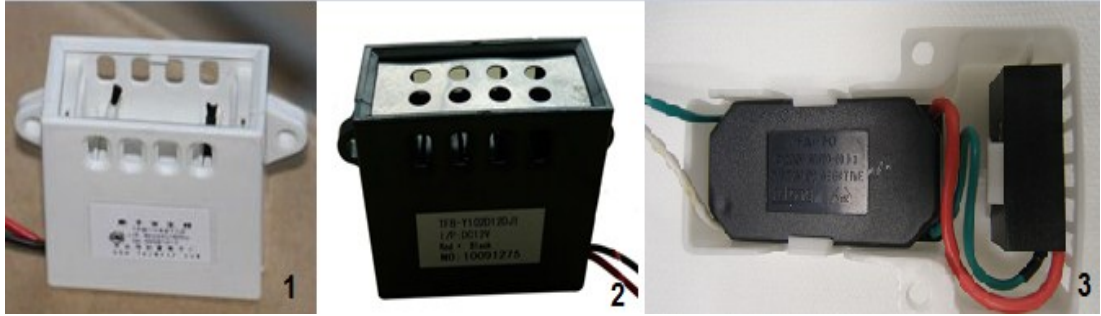
Sayı: $< \{1 / [(seyreltme\ faktörü) \times (petri\ kutusuna\ pipetlenen\ hacim)]\}$

3.1.3 İyonizasyon yöntemi ekipmanları

Yüksek gerilime maruz kalan havanın iyonlaşması prensibiyle çalışan ticari iyon üreteçlerinin tekstil yüzeyi ve suya inoküle edilen mikroorganizmalar üzerindeki inaktivasyon etkinliğinin ölçülmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda kullanılan üç farklı ticari iyon üreteci ve özellikleri Çizelge 3.2’ de verilmiştir. Ozon üretim kapasiteleri 2B marka 106-L model ozon ölçüm cihazıyla, iyon üreteci 3 saat boyunca çalıştırıldıktan sonra ölçülmüştür.

Çizelge 3.2 : Kullanılan iyon üreteçleri ve özellikleri.

Numara	Marka	Özellik	Ozon üretim kapasitesi (ppb)
1	Trump	(+/-) iyon üreteci	120 ppb
2	Trump	(-) iyon üreteci	700 ppb
3	Fufong	(-) iyon üreteci	3500 ppb



Şekil 3.5 : İyon üreteçleri.

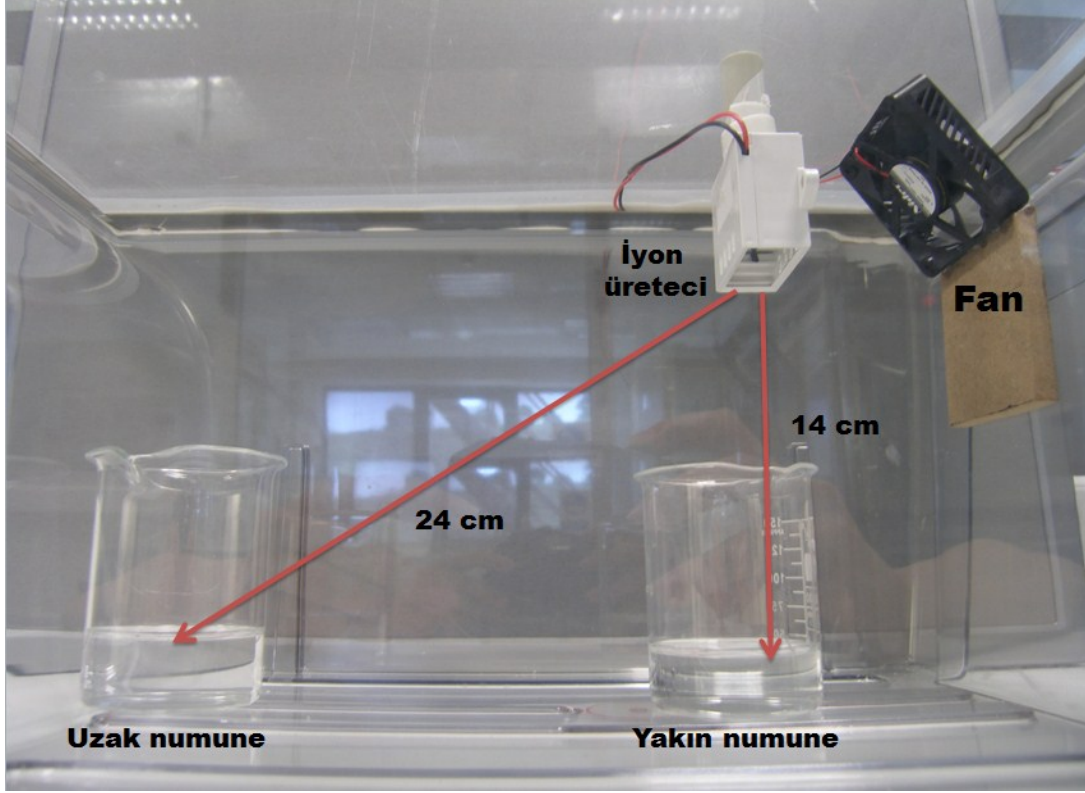
Şekil 3.5’ te görülen üç farklı tipteki iyon üretecinin inaktivasyon etkinliğinin ölçülmesi amacıyla gerçekleştirilen testlerde hava akışını sağlamak için Nidec marka aksenal fan kullanılmıştır. Bu fana GW Instek marka DC güç kaynağı ile 6 volt’ luk gerilim beslenmiş ve düşük debili bir hava akışı elde edilmiştir. Tüm testler yüksek gerilim tehlikesi nedeniyle yalıtkan özellikteki plastik kutuda gerçekleştirilmiştir.

3.2 Test Düzenekleri ve Test Parametreleri

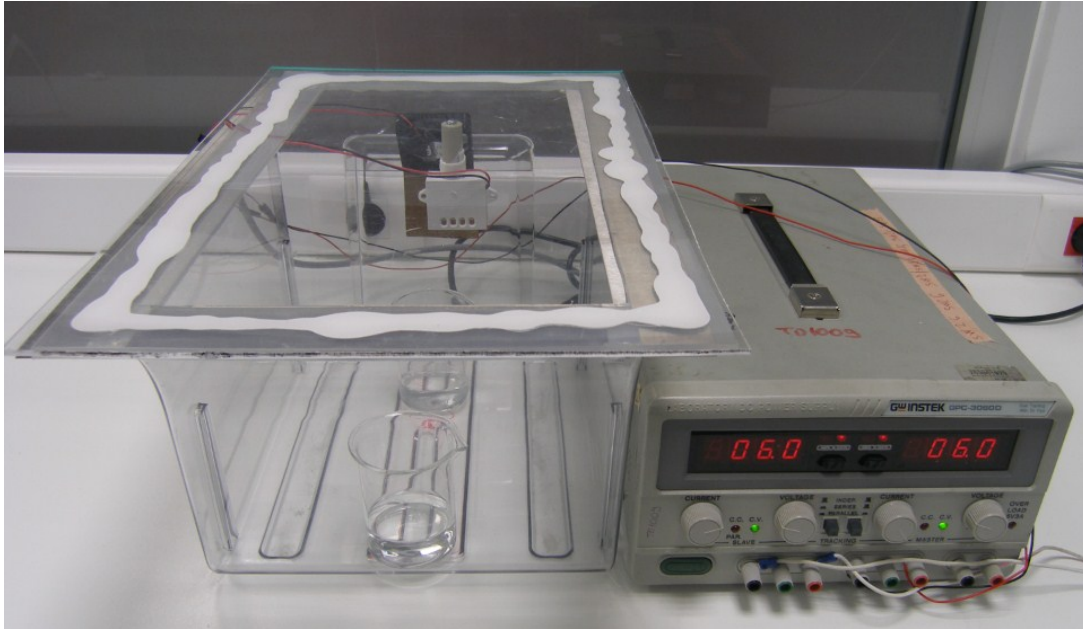
Havanın elektriksel deşarjıyla iyonizasyonu prensibiyle çalışan iyon üreteçlerinin mikroorganizma inoküle edilmiş tekstil ve su numuneleri üzerindeki zamana bağlı sterilizasyon etkinliğini belirlemek için gerçekleştirilen deneysel çalışmaların yöntemi bu bölümde detaylı anlatılmıştır.

Bu çalışma 20 L hacimli kapaklı plastik kutuda, oda sıcaklığında, fanın kapalı ve açık olduğu koşullarda Trump ve Fufong marka üç farklı iyon üreteci kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Fan kutunun ön duvarına, iyon üreteci ise fan ise kutunun kapağına monte edilmiştir. Böylece iyon üretecinin oluşturulan hava kanalının içinde kalması sağlanmıştır. Numuneler ise biri iyon üretecine olabilecek en yakın (14 cm) diğeri ise en uzak (24 cm) mesafeye yerleştirilmiştir. Böylece üreteç ile numune arasındaki uzaklığın sterilizasyona etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu yerleşim

Şekil 3.6’ da detaylandırılmıştır. Test düzeneğinin önden görünüşü ve DC güç kaynağı ise Şekil 3.7’ da verilmiştir.



Şekil 3.6 : Test düzeneği ve numunelerin yerleşimi.



Şekil 3.7 : Test düzeneğinin önden görünüşü.

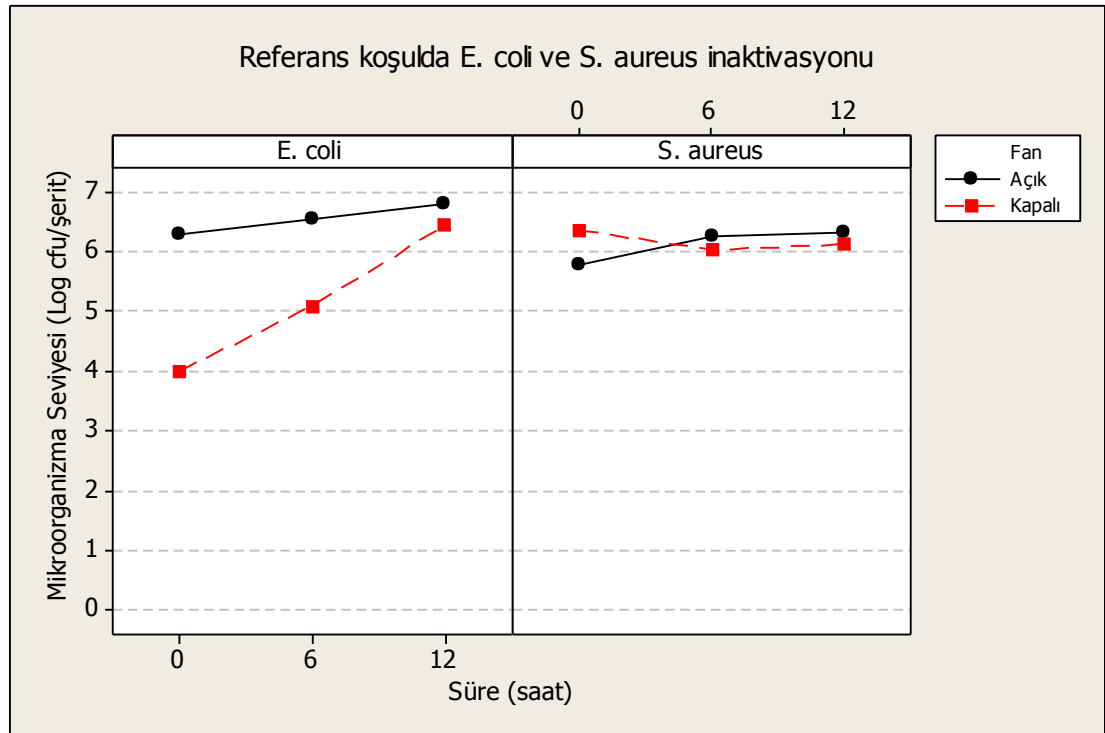
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde yüksek gerilime maruz kalan havanın elektriksel deşarj prensibiyle çalışan iyon üreteçlerinin, kontrollü mikroorganizma inoküle edilmiş tekstil ve su numuneleri üzerindeki zamana bağlı inaktivasyon etkinliğinin incelendiği testlerin ve referans testlerinin sonuçları paylaşılmıştır.

4.1 Tekstil Şeridi Testlerinde Mikroorganizma İnaktivasyonu

Trump ve Fufong marka iyon üreteçlerinin tekstil şeritlerine inoküle edilen *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmaları üzerindeki inaktivasyon etkinliğinin sonuçları bu bölümde verilmiştir.

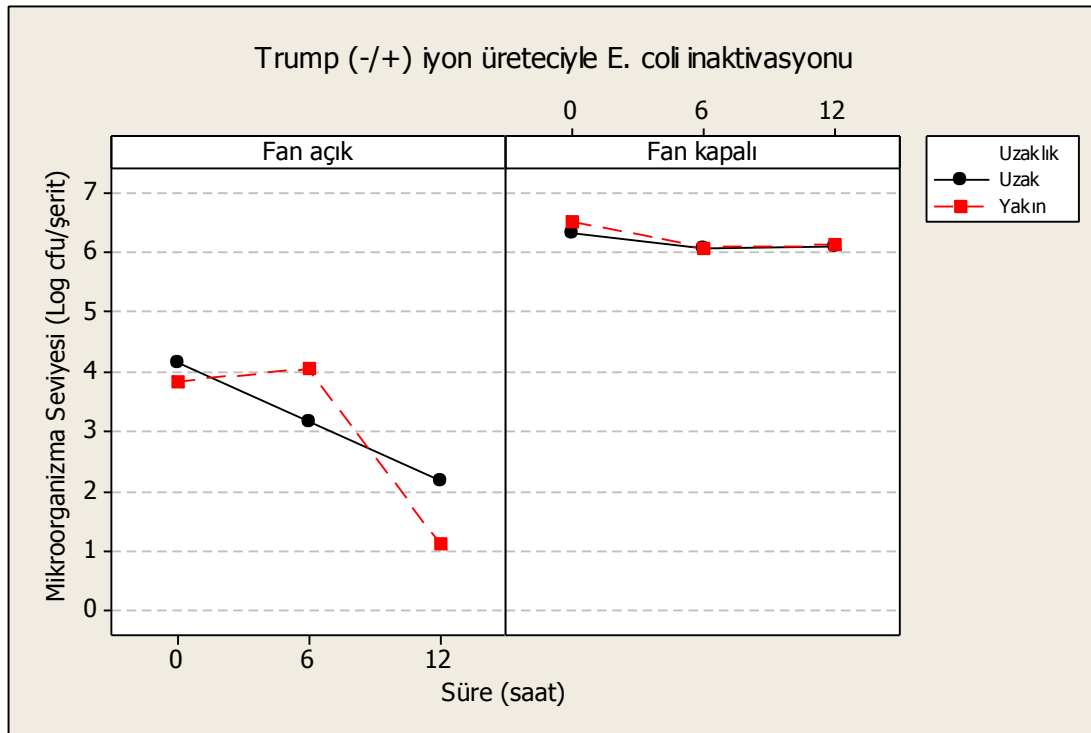
Tekstil şeridine inoküle edilen mikroorganizmaların iyonizasyona maruz kalmadıkları durumda test ortamındaki zamana bağlı gelişim seviyelerini belirlemek için, fanın çalıştığı ve çalışmadığı koşullarda gerçekleştirilen testler referans testleri olarak kabul edilmiştir. Bu testlerin sonuçları Şekil 4.1’ de verilmiştir.



Şekil 4.1 : Referans koşulda *E. coli* ve *S. aureus* inaktivasyonu.

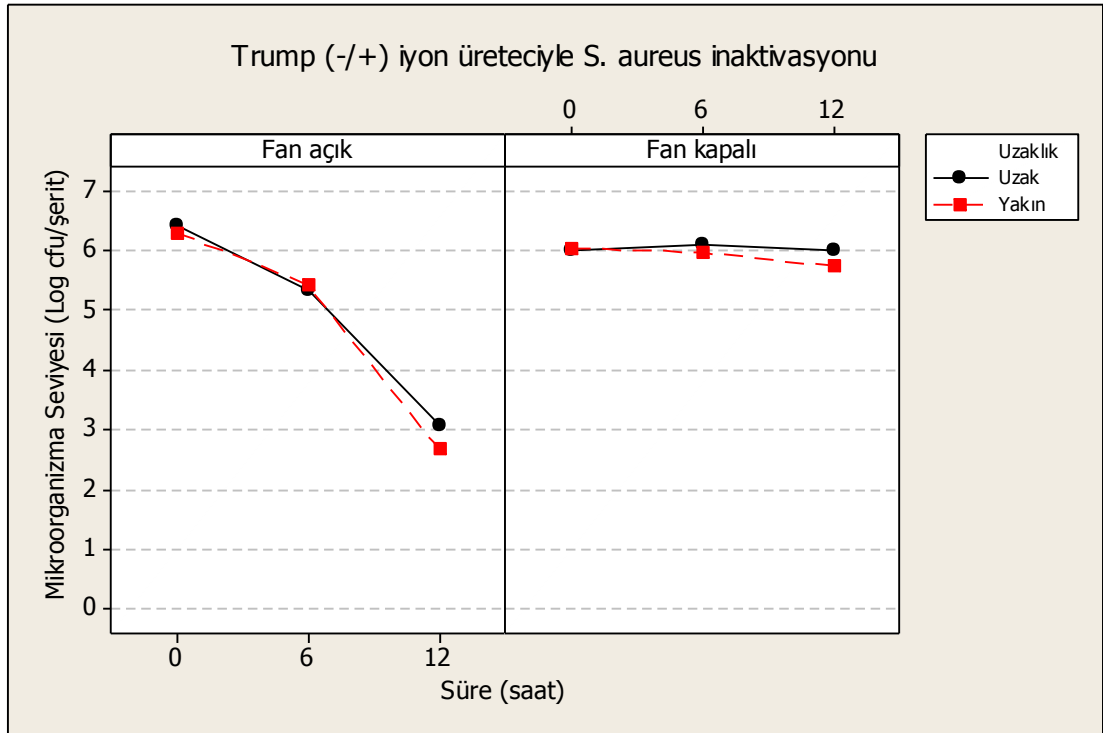
Şekildeki grafikler incelendiğinde, *S. aureus* mikroorganizmasının seviyesinde fanın açık ve kapalı olduğu koşullarda 12 saat boyunca belirgin bir fark oluşmadığı görülmüştür. Fanın kapalı olduğu koşulda *E. coli* seviyesinde ise yaklaşık 2 log cfu/ tekstil şeridi kadar bir artış olmuşken, bu artış fanın çalıştırılmasıyla düşürülmüştür. Bu durumda *E. coli*' nin fanın çalıştırılması sonucu oluşan hava akımından olumsuz etkilendiği söylenebilir.

Fanın çalıştığı ve çalışmadığı durumlarda Trump marka negatif/ pozitif iyon üreticinin *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmaları üzerindeki inaktivasyon etkinliklerinin sonuçları sırasıyla Şekil 4.2 ve Şekil 4.3' te verilmiştir.



Şekil 4.2 : Trump (-/+) iyon üreticisiyle *E. coli* inaktivasyonu.

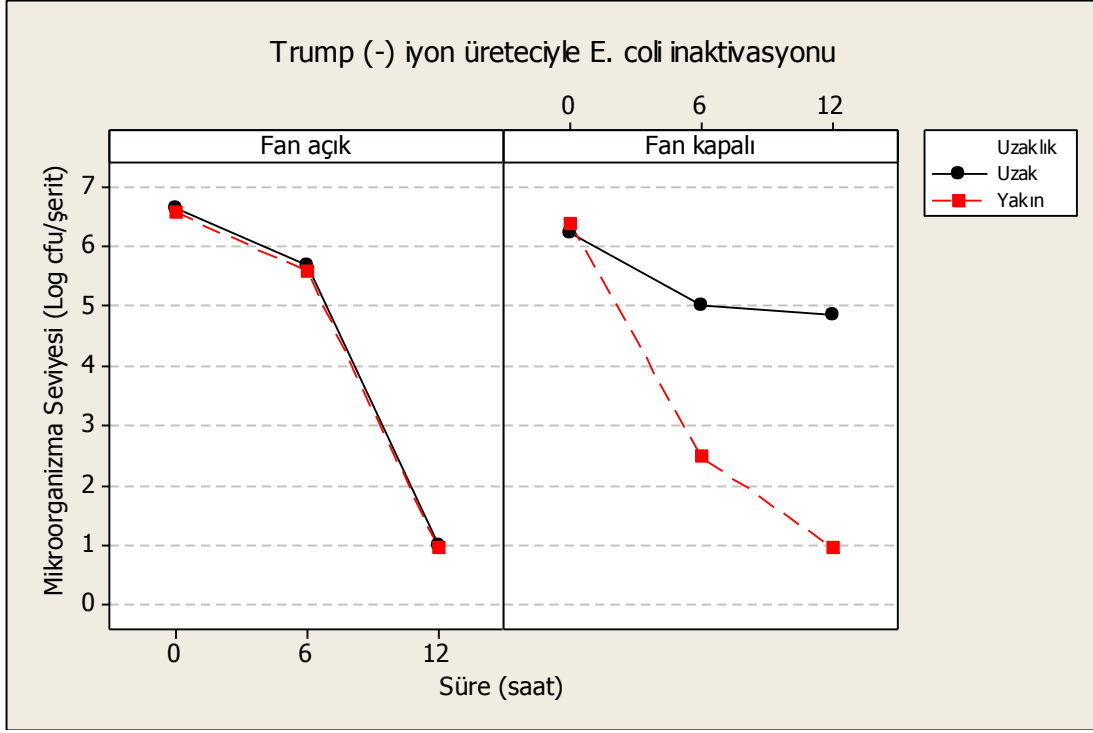
Fanın kapalı olduğu testlerde *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmalarının seviyelerinde bir değişiklik gözlemlenmemiştir. Fanın açık olduğu testlerde *S. aureus* üzerinde yaklaşık 3 log cfu/ mL, *E. coli* üzerinde ise yaklaşık 2 log cfu/ mL mikrobiyal indirgeme sağlanmıştır. Genel olarak bu üreticinin mevcut çalışma koşullarında, tekstil üzerine inoküle edilen *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmalarının inaktivasyonunda yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Fakat çalışma parametrelerinin optimizasyonu ile indirgeme seviyelerinin artırılacağı öngörülmüştür.



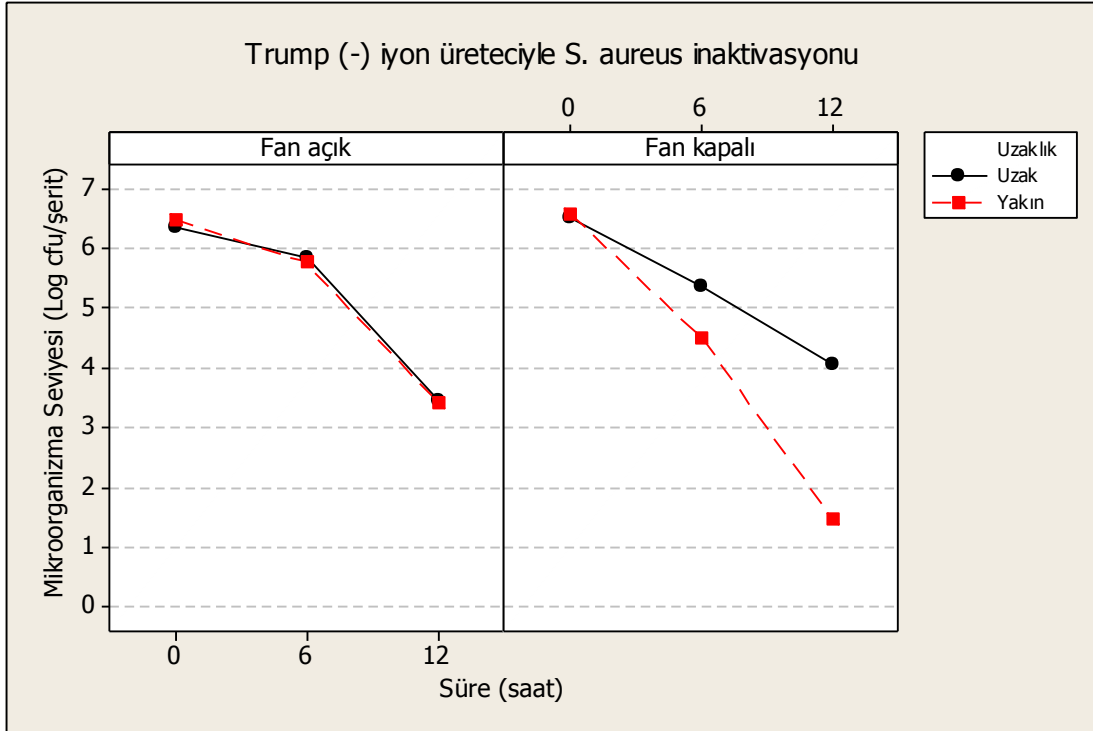
Şekil 4.3 : Trump (-/+) iyon üreticiyle *S. aureus* inaktivasyonu.

Fanın çalıştığı ve çalışmadığı durumlarda Trump marka negatif iyon üreticinin *E. coli* mikroorganizması üzerindeki uzaklaştırma etkinliği Şekil 4.4' te, *S. aureus* mikroorganizması üzerindeki uzaklaştırma etkinliği ise Şekil 4.5 'te paylaşılmıştır.

Şekildeki grafiklerde de görüldüğü gibi; *E. coli* ve *S. aureus* için fanın açık olduğu testlerde üretece yakın ve uzak olan numunelerde aynı sonuçlar elde edilmiştir, fanın kapalı olduğu testlerde ise uzaklığın etkisi ortaya çıkmış ve üretece yakın olan numunelerde daha yüksek inaktivasyon sağlanmıştır. Fanın açık olduğu koşulda tüm numunelerde, fanın kapalı olduğu koşulda ise üretece yakın olan numunelerde 12 saat sonunda *E. coli* mikroorganizmasında mevcut test yöntemiyle ölçülebilen minimum değere kadar indirgeme gerçekleştirilmiştir. *S. aureus* mikroorganizması için ise fan kapalı olduğu koşulda üretece yakın numunelerde en iyi indirgeme sağlanmıştır.



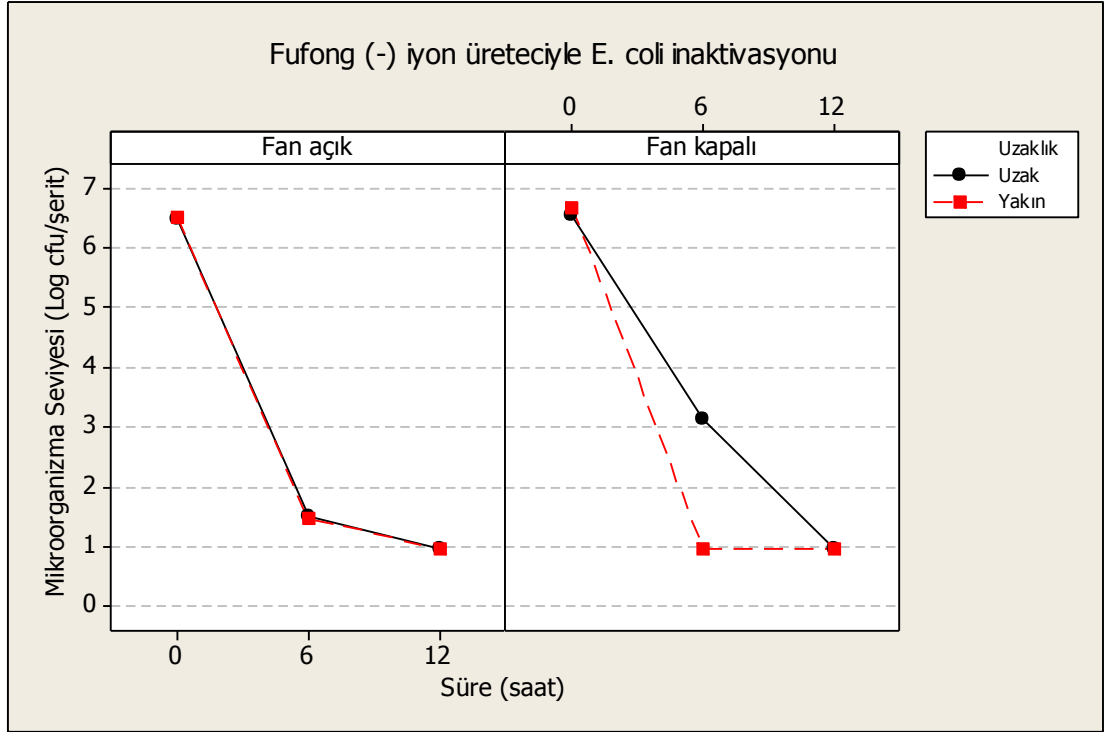
Şekil 4.4 : Trump (-) iyon üreticiyle *E. coli* inaktivasyonu.



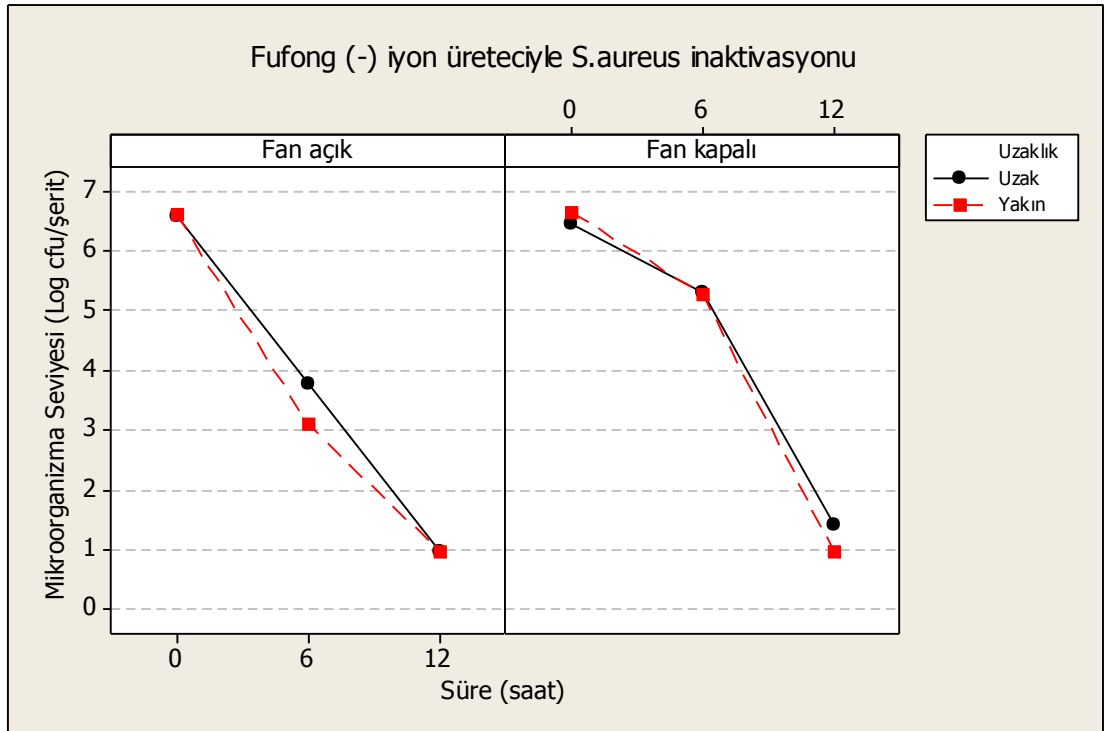
Şekil 4.5 : Trump (-) iyon üreticiyle *S. aureus* inaktivasyonu.

Son olarak, fanın çalıştığı ve çalışmadığı durumlarda Fufong marka negatif iyon üreticinin *E. coli* mikroorganizması üzerindeki inaktivasyon etkinliği Şekil 4.6' da, *S.*

aureus mikroorganizması üzerindeki inaktivasyon etkinliği ise Şekil 4.7’ de paylaşılmıştır.



Şekil 4.6 : Fufong (-) iyon üreticiyle *E. coli* inaktivasyonu.



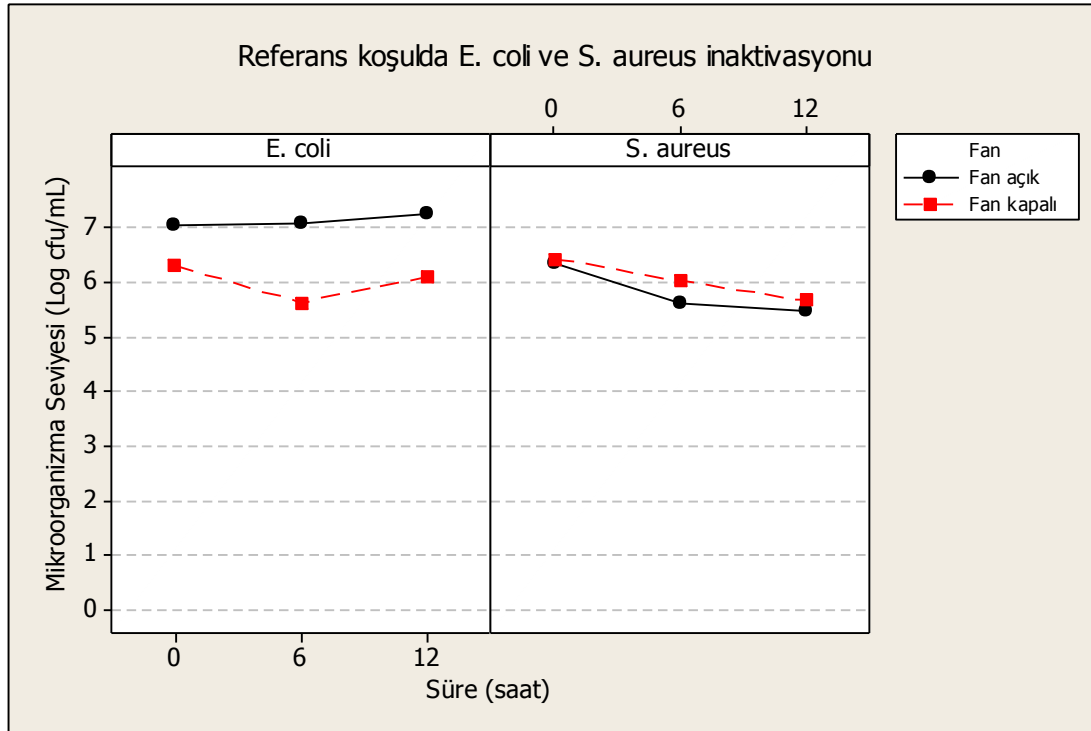
Şekil 4.7 : Fufong (-) iyon üreticiyle *S. aureus* inaktivasyonu.

Şekildeki grafikte görüldüğü gibi 12 saat sonunda fanın açık ve kapalı olduğu, numunelerin üretece uzak ve yakın olduğu tüm koşulların sonuçlarının mevcut test yöntemiyle ölçülebilen en düşük mikroorganizma seviyesine ulaştığı belirlenmiştir. Bu iyon üreticinin özellikle *E. coli* mikroorganizmasının inaktivasyonu üzerinde çok güçlü bir etkisi olduğu, 6 saat sonunda bile yüksek indirgeme sağladığı tespit edilmiştir.

4.2 Su Testlerinde Mikroorganizma İnaktivasyonu

Saf suya inoküle edilen *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmaların inaktivasyonunun sağlanması için Trump ve Fufong firmalarının iyon üreteçleriyle gerçekleştirilen testlerin sonuçları aşağıda paylaşılmıştır.

Mikroorganizmaların iyonizasyona maruz kalmadığı durumdaki gelişim seviyelerini belirlemek için, fanın çalıştığı ve çalışmadığı koşullarda testler gerçekleştirilmiş ve bunlar ortam koşulunda mikroorganizma gelişimi için referans testleri olarak kabul edilmiştir. Referans testlerinin sonuçları Şekil 4.8’ de verilmiştir.

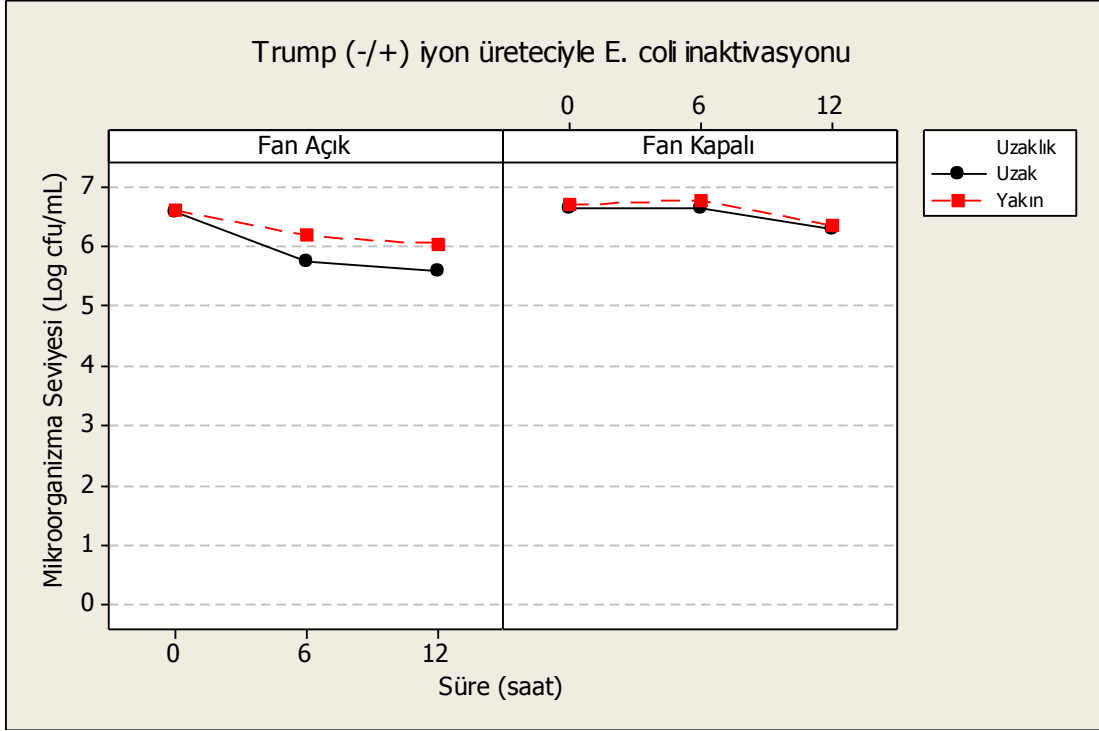


Şekil 4.8 : Referans koşulda *E. coli* ve *S. aureus* inaktivasyonu.

Şekildeki grafikler incelendiğinde, *E. coli* mikroorganizmasının seviyesinde fanın açık ve kapalı olduğu koşullarda 12 saat boyunca belirgin bir fark oluşmadığı, *S.*

aureus mikroorganizmasının seviyesinde ise 12 saat sonunda 1 log cfu/ mL kadar bir azalma olduğu görülmektedir.

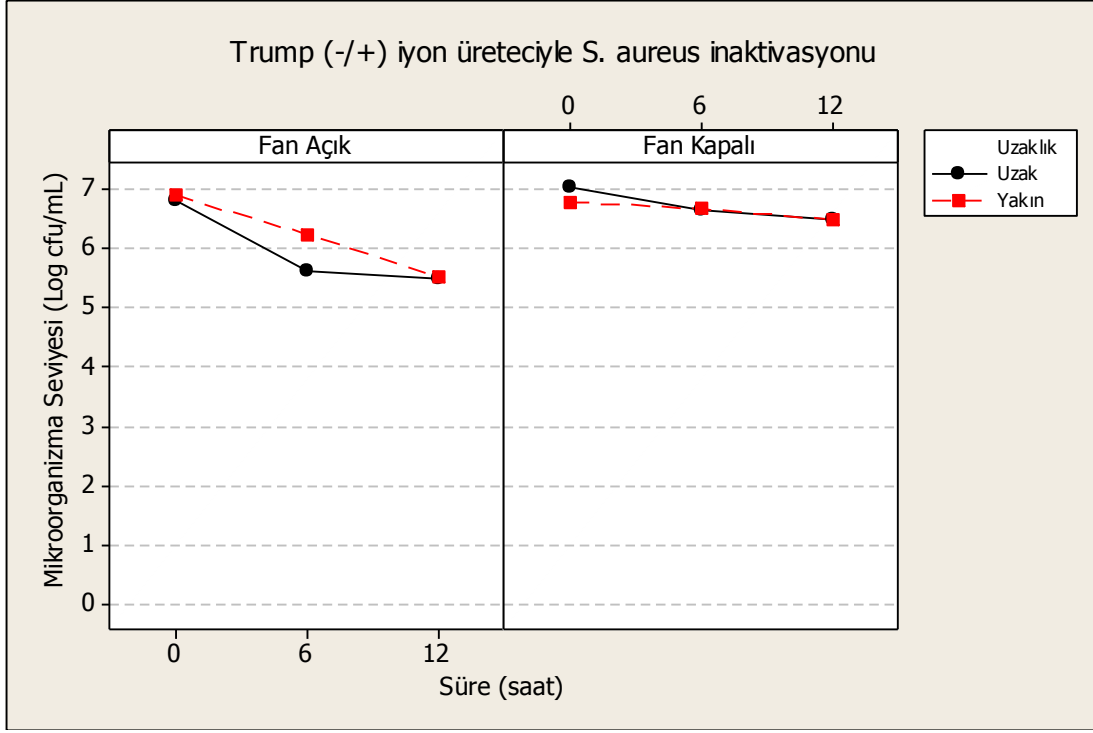
Fanın çalıştığı ve çalışmadığı durumlarda Trump marka negatif/ pozitif iyon üreticinin *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizması üzerindeki inaktivasyon etkinliklerinin sonuçları sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’ da verilmiştir.



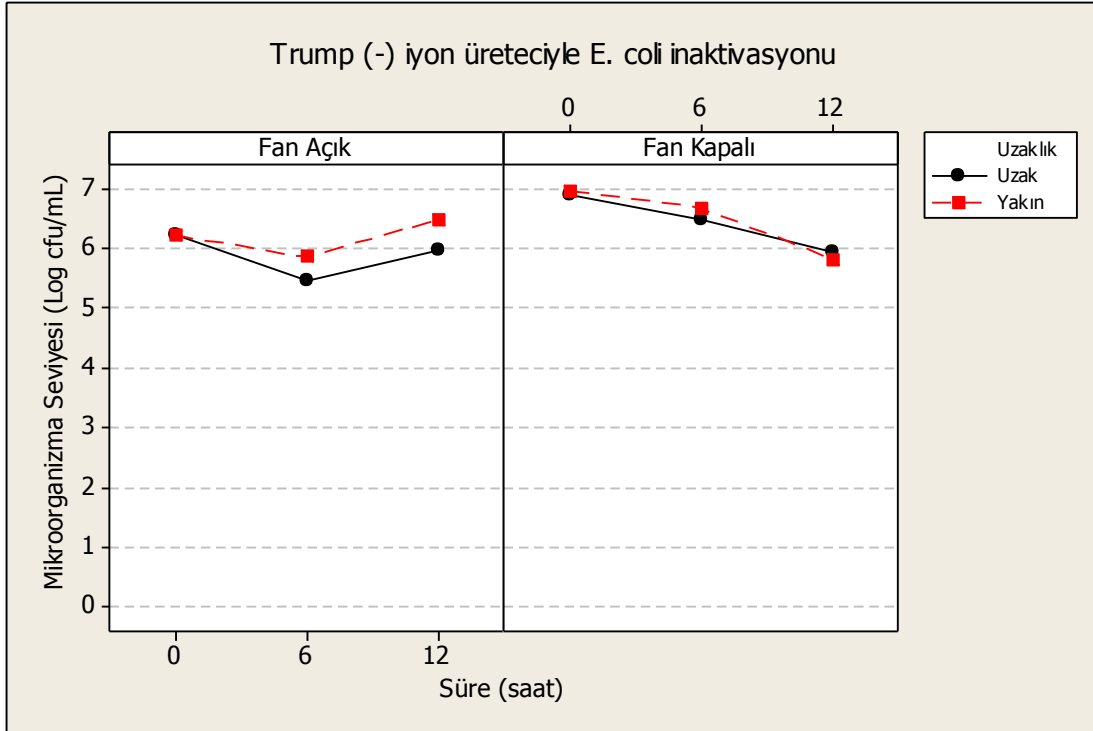
Şekil 4.9 : Trump (-/+) iyon üreticiyle *E. coli* inaktivasyonu.

Fanın açık ve kapalı olduğu testlerde *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmalarının seviyelerinde 12 saat sonunda en fazla 1 log cfu/ mL kadar bir fark ölçülebilmektedir. Genel olarak bu üreticinin mevcut çalışma koşullarında, suya inoküle edilen *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmalarının inaktivasyonunda yetersiz kaldığı söylenebilir.

Fanın çalıştığı ve çalışmadığı durumlarda Trump marka negatif iyon üreticinin *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmaları üzerindeki inaktivasyon etkinliği sırasıyla Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’ de paylaşılmıştır.



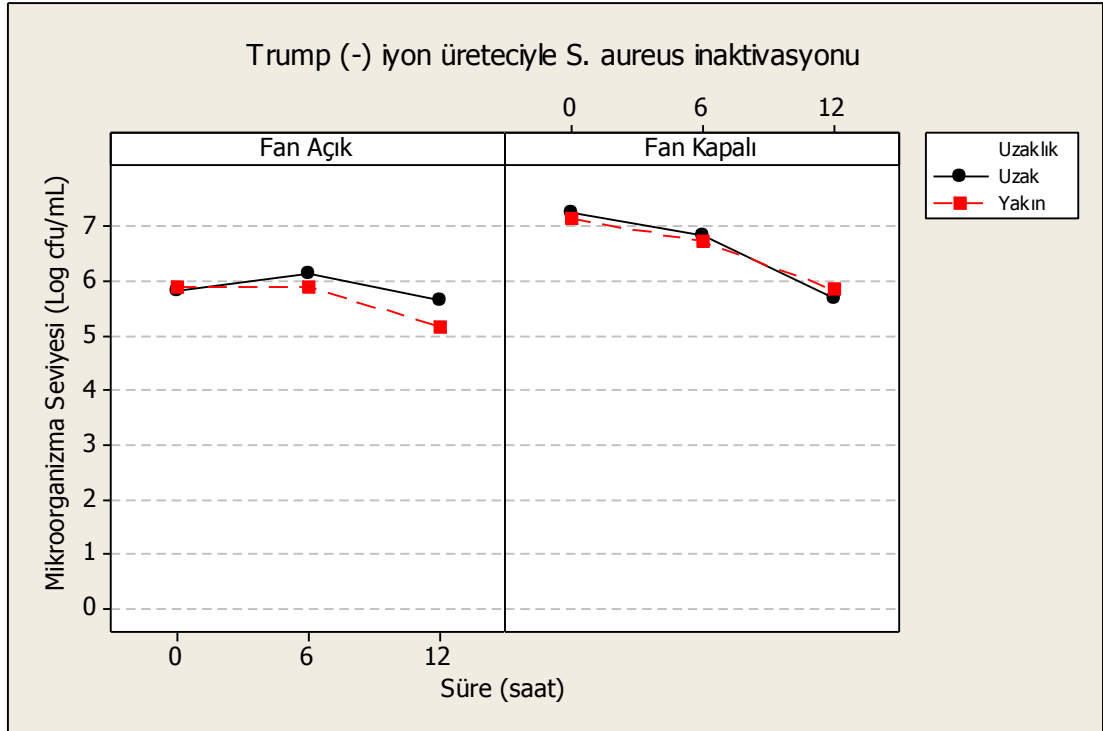
Şekil 4.10 : Trump (-/+) iyon üreticiyle *S. aureus* inaktivasyonu.



Şekil 4.11 : Trump (-) iyon üreticiyle *E. coli* inaktivasyonu.

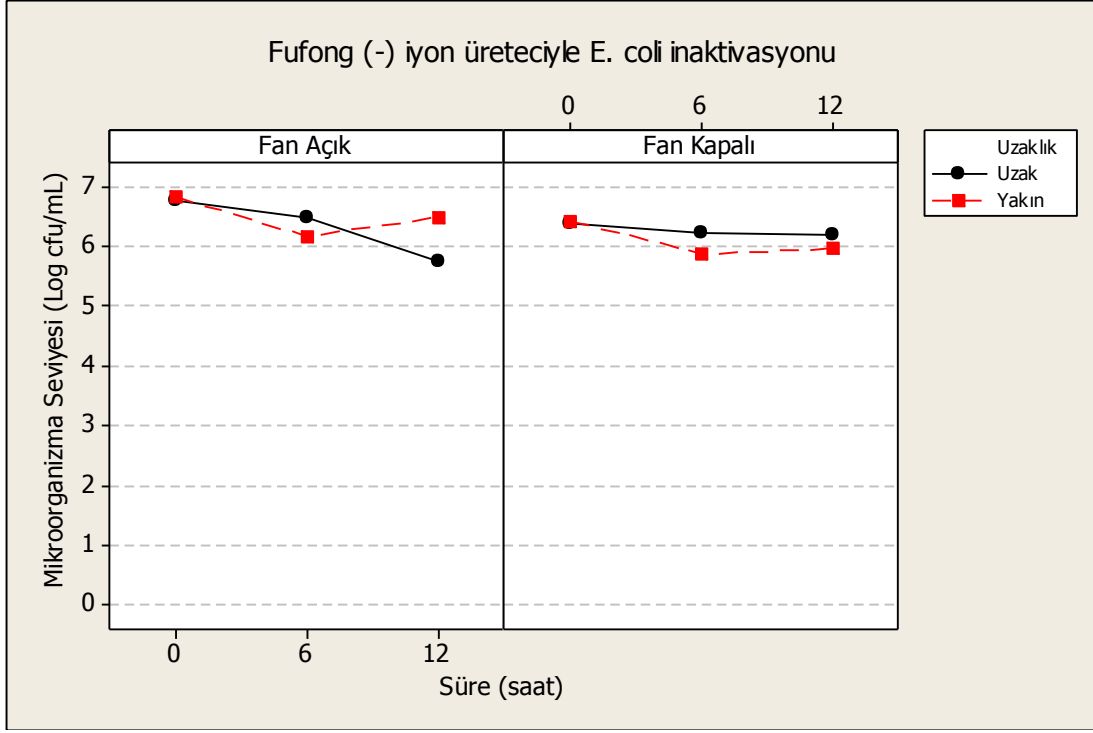
Tüm koşullardaki test sonuçları incelendiğinde, *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmalarının seviyelerinde 12 saat sonunda en fazla 1 log cfu/ mL kadar

bir azalma sağlanabildiği görülmektedir. Genel olarak bu üreteç mevcut çalışma koşullarında, suya inoküle edilen *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmalarının inaktivasyonu için yeterli değildir.

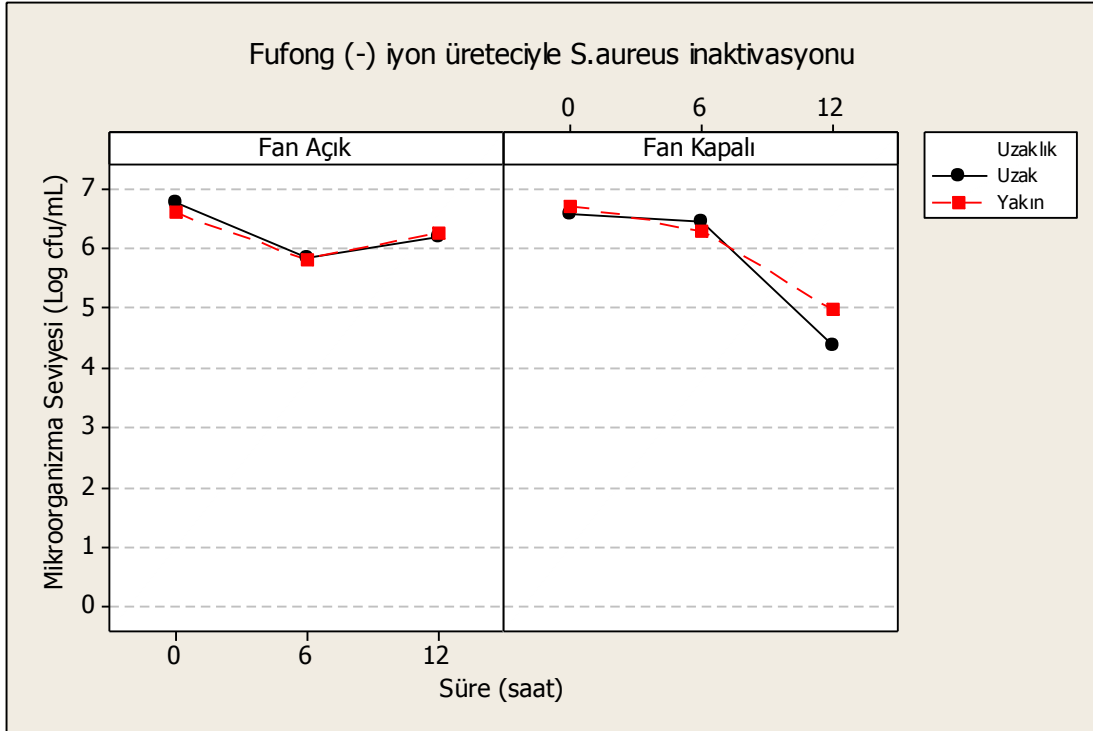


Şekil 4.12 : Trump (-) iyon üreteciyle *S. aureus* inaktivasyonu.

Son olarak, fanın çalıştığı ve çalışmadığı durumlarda Fufong marka negatif iyon üreticinin *E. coli* ve *S. aureus* mikroorganizmaları üzerindeki inaktivasyon etkinliği sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’ te paylaşılmıştır. Tüm koşullarda gerçekleştirilen testlerde *E. coli* mikroorganizmasının seviyelerinde belirgin bir fark ölçülemediği şekilden görülmektedir. Sadece fanın kapalı olduğu koşuldaki numunelerde ise 12 saat sonunda *S. aureus* mikroorganizmasının yaklaşık 2 log cfu/ mL kadar inaktive edilebildiği belirlenmiştir. Genel olarak bu üreticinin mevcut çalışma koşullarında, suya inoküle edilen *E. coli* mikroorganizmasının inaktivasyonu için yeterli olmadığı saptanmıştır. *S. aureus* için yeterli indirgemenin sağlanabilmesi amacıyla ise çalışma parametrelerinin optimizasyonunun faydalı olabileceği öngörülmektedir.



Şekil 4.13 : Fufong (-) iyon üreticiyle *E. coli* inaktivasyonu.



Şekil 4.14 : Fufong (-) iyon üreticiyle *S. aureus* inaktivasyonu.

5. VARGILAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, elektriksel deşarj ile iyonizasyon prensibiyle çalışan iyon üreteçlerinin farklı uygulama ortamlarındaki sterilizasyon etkinliğinin belirlenmesi amacıyla literatür araştırması yapılmış ve sonrasında deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Literatür araştırmalarından edinilen bilgiler, deneysel çalışmalarla varılan sonuçlar ve bu sonuçların iyileştirilmesi için önerilebilecek çalışmalara bu bölümde yer verilmiştir.

Literatür araştırmalarından derlenen bilgiler aşağıda özetlenmiştir:

Gazların iyonlaştırılması için en çok tercih edilen yöntem elektriksel deşarjdır. Bu yöntem gazın yüksek gerilime maruz bırakılıp iyonlaştırılması prensibine dayanmaktadır ve bu deşarja ortamın basıncı, seçilen gazın bileşimi, üretecin tasarımı gibi parametreler etki etmektedir.

Gaz deşarjı sonucunda içerisinde iyon, elektron, uyarılmış atom, foton ve nötr atom veya molekül gibi farklı özellikteki bileşenleri içeren bir iyonlaşmış gaz karışımı oluşmakta ve bu karışım “plazma” olarak adlandırılmaktadır. Üretilen plazma; hava, sıvı ve yüzey gibi ortamların temizlenmesi ve sterilizasyonunda kullanılabilmektedir.

İyonizasyon ile sterilizasyon teknolojisi ile yayınlanan makaleler incelendiğinde; gerek ekipmanlarının pahalılığı gerekse uygulama kısıtları nedeniyle vakum altında iyonizasyonun yerini atmosferik basınçtaki çalışmalara bıraktığı belirlenmiştir. Benzer şekilde uygulama kolaylığı nedeniyle besleme gazı olarak en çok tercih edilen gaz havadır, çünkü içerisindeki oksijen ve su moleküllerinin farklı kombinasyonlarıyla süperoksit, hidroksil radikalleri gibi oksidasyon özelliği yüksek parçacıklar üretilmekte ve böylece etkili sterilizasyon sağlanabilmektedir. Bu yöntem ile en iyi sonuç, üreteçten çıkan parçacıkların temizlenecek ortama en etkin şekilde ulaşabilmesiyle mümkün olmaktadır, bu nedenle kısa mesafelerde ve pürüzsüz yüzeylerde daha belirgin etki gösterebilmektedir.

İyon üreteçleri temizleme, sterilizasyon, koku giderme, statik elektriklenmeyi önleme, amacıyla ticari olarak da yaygın olarak tercih edilmektedir. Klima, buzdolabı,

elektrikli süpürge, davlumbaz, saç kurutma makinesi gibi pek çok beyaz eşya ve küçük ev aletine iyon üretici eklenerek ürünlere ek fonksiyon kazandırılmaktadır. Dünyanın önde gelen pek çok beyaz eşya üreticisinin ürünlerinde iyon üretici kullanımına yönelik kayda değer sayıda patent başvurusu bulunmaktadır.

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, iyon üreteçlerinin su ve tekstil yüzeyindeki sterilizasyon etkisinin belirlenmesi için etkili parametrelerin uygulama süresi, numune-üreteç arası uzaklık ve hava akımı olabileceği öngörülmüştür. Bu bağlamda, tekstil şeridi ve suya inoküle edilen *S. aureus* ve *E. coli* mikroorganizmalarının zamana bağlı indirgeme seviyelerine numune-üreteç arası uzaklığın ve fan ile oluşturulan hava akımının etkisinin incelendiği deneysel çalışmanın sonucunda ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Su ile gerçekleştirilen testler göz önüne alındığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Referans testlerin sonucunda, *S. aureus* ve *E. coli* mikroorganizmalarının seviyesinde 12 saat boyunca belirgin bir fark oluşmadığı belirlenmiştir.

İyon üreteçleriyle gerçekleştirilen testlerde, iyon üreteçlerinin *S. aureus* ve *E. coli* mikroorganizmalarının inaktivasyonu üzerinde belirgin etkisi tespit edilememiştir. Dolayısıyla hava akımının ve numune-üreteç arası uzaklığın etkisi de ölçülememiştir. Bu durumun, hava ortamında bulunan aktif parçacıkların su ortamına ulaşarak karışarak sıvının tamamına ulaşmasının zorluğundan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Parçacıkların sıvı ortamla temasını artırmak için su numunelerinin yüzey alanını artırmanın ve benzer şekilde parçacıkların su içinde homojen dağılımını sağlamak için Korachi (2012)' nin çalışmasında görüldüğü gibi bir karıştırıcı kullanmanın faydalı olabileceği öngörülmüştür.

Tekstil şeridi ile gerçekleştirilen testler göz önüne alındığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Gerçekleştirilen referans testlerde, *S. aureus* mikroorganizmasının seviyesinde fanın açık ve kapalı olduğu koşullarda 12 saat boyunca belirgin bir fark oluşmadığı görülmüştür. Fanın kapalı olduğu koşuldaysa *E. coli* seviyesinde yaklaşık 2 log cfu/ tekstil şeridi kadar bir artış olmuşken, bu artış fanın çalıştırılmasıyla düşürülmüş ve *E. coli* gelişimi engellenmiştir. Sonuç olarak referans testlerinin sonucunda tekstil üzerine inoküle edilen *E. coli*' nin fanın çalıştırılması sonucu oluşan hava akımından etkilendiği ve üreme etkinliğinin azaldığı tespit edilmiştir.

Fanın açık olduğu testlerde numune-üreteç arası uzaklığın etkisi belirlenememiştir, bu durumda fanla oluşturulan hava akımının üreteçten çıkan iyonların tüm test kabı içerisinde homojen olarak dağıtılabilmesi konusunda başarılı olduğu söylenebilir.

Fanın kapalı olduğu testlerde ise her iyon üretici için farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bu durumun üretcin tasarımsal parametrelerinden ve her üretcin iyon/ ozon üretim kapasitesinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Trump firmasının pozitif/negatif iyon üreticiyle belirgin mikrobiyal inaktivasyon sağlanamadığı, Fufong firmasının iyon üreticiyle iki koşulda da yüksek inaktivasyon seviyelerine ulaşıldığı görülmüştür. Trump negatif iyon üreticiyle yapılan deneylerde ise, üretilen iyonların üretcin yakınındaki numuneler üzerinde daha yüksek ve hızlı mikrobiyal indirgeme sağladığı ölçülmüştür. Bu durumun üretilen iyonların numuneye ulaşınca kadar geçen sürede ortamda bulunan diğer parçacıklarla çarpışarak bozunup etkinliğini kaybetmesinden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

İyon üreteçlerinin farklı özellikteki mikroorganizmalar üzerindeki etkisi incelendiğinde; tüm iyon üreçleriyle yapılan testlerde *E. coli*' nin *S. aureus*' a göre daha kolay ve hızlı inaktive edilebildiği ve Fufong marka iyon üretcinin *E. coli*' yi uzaklaştırmada en hızlı ve etkili üreteç olduğu tespit edilmiştir.

Elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde;

Mikrobiyal indirgemenin zamanla doğru orantılı olduğu ve en iyi indirgemenin ise 12 saat koşulda olduğu belirlenmiştir. Fanla yaratılan hava akımının ve numune üreteç arası uzaklığın da indirgemeye etkisinin olduğu belirlenmiştir. Testlerde kullanılan üç farklı iyon üretici için farklı mikrobiyal inaktivasyon sonuçları elde edilmiştir.

Üreteçten çıkan aktif parçacıkların kirli ortamlarla daha kolay temas edebildiği durumlarda daha etkili temizleme sağlanabileceği tespit edilmiştir. Benzer şekilde tekstilde sterilizasyon etkinliğini artırmak için üretilen parçacıkların tekstil yapısının içine nüfuz ettirilmesi gerektiği Morent (2008) tarafından bildirilmiştir. Hava ortamında üretilen parçacıkların gerekli akış yönlendirme tasarımlarıyla hava temizleme uygulamalarında kullanımıyla daha hızlı ve etkili sonuçlar elde edilebileceği öngörülmektedir. Bu amaçla, iyon üreteçlerinin havadaki koku bileşenleri, mikroorganizma sporları, is ve toz gibi küçük parçacıkları temizlemede etkili olabileceği düşünülmektedir.

Elektriksel deşarj ile iyonizasyon yönteminin beyaz eşyalarda çeşitli amaçlarla kullanımında bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Yüksek gerilim ile çalışan bu üreteçlerin beyaz eşya içerisindeki yerleşimine dikkat edilmeli ve gerekli güvenlik önemleri alınmalıdır. Benzer şekilde üreteçte yan ürün olarak üretilen ozon gazı derişiminin insan sağlığına zarar verecek düzeylere çıkmaması için üreticinin detaylı elektriksel ve yerleşim tasarımı yapılmalıdır.

Günümüzde sıklıkla tercih edilen geleneksel sterilizasyon yöntemleri genellikle ısı veya kimyasal madde kullanımını gerektirmekte ve malzemeye zarar verebilmektedir. Oda sıcaklığında ve atmosferik basınçta iyon üreterek sterilizasyon sağlamayı amaçlayan iyonizasyon sistemleri ise toksik olmaması, malzemeye zarar vermemesi ve çevreci olması gibi sebeplerle gıda, medikal gibi ısı ve kimyasalla temasın istenmediği uygulamalarda iyi bir alternatif olabilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akan, T., Ekem, N., Akgun, Y., Kiremitci, A., Pat, S. ve Musa G.** (2006). Sterilization of *Staphylococcus aureus* by atmospheric pressure pulsed plasma, *Surface & Coatings Technology*, 201, 993–997.
- Akitsu, T., Ohkawa, H., Tsuji, M., Kimura, H. ve Kogoma, M.** (2005). Plasma sterilization using glow discharge at atmospheric pressure, *Surface & Coatings Technology*, 193, 29–34.
- Akitsu, T., Ohkawa, H., Tsuji, M., Kimura, H., Kogoma, M. ve Fukushima, K.** (2006). Pulse-modulated, high-frequency plasma sterilization at atmospheric-pressure, *Surface & Coatings Technology*, 200, 5829–5835.
- Anonim.** (2013). Hair care device, *European Patent Office*, No: JP2013102826 tarih: 30.05.2013.
- Barankova, H. ve Bardos, L.** (2010). Cold atmospheric plasma: Sources, processes, and applications, *Thin Solid Films*, 518, 6705–6713.
- Berger, L., I.** (2003). Dielectric Strength Of Insulating Materials. CRC Handbook of Chemistry and Physics, (84. Baskı) (Sf. 15-34).
- Bo, S., C., Woo, L., Y., Kyeong, K., Y., Seog, J., Y. ve Kyung, K., D.** (2011). Cooking apparatus with plasma cleaning, *European Patent Office*, No: US7878185 tarih: 01.02.2011.
- Bogaerts, A., Neyts, E., Gijbels, R. ve Mullen, J.** (2002). Gas discharge plasmas and their applications, *Spectrochimica Acta*, Part B, 57, 609–658.
- Brisset, J., Doubla, A., Laminsi, S., Nzali, S., Njoyim, E. ve Kamsu-Kom, J.** (2007). Organic pollutants abatement and biodecontamination of brewery effluents by a non-thermal quenched plasma at atmospheric pressure, *Chemosphere*, 69, 332–337.
- Chen, J., Liu, H. Yang, L. ve Zhou, Y.** (2008). Long-distance oxygen plasma sterilization: Effects and mechanisms, *Applied Surface Science*, 254, 1815–1821.
- Choi, J., Han, I., Baik, H., Lee, M., Han, D., Park, J., Lee, I., Song, K. ve Lim Y.** (2006). Analysis of sterilization effect by pulsed dielectric barrier discharge, *Journal of Electrostatics*, 64, 17–22.
- Cullen, P.J., Pankaj, S.K. ve Misra, N.N.** (2013). Kinetics of tomato peroxidase inactivation by atmospheric pressure cold plasma based on dielectric barrier discharge, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19, 153–157.
- Danilo, P.** (2013). Hood filter, *European Patent Office*, No: EP2664857 tarih: 20.11.2013.

- Dewulf, J., Van Durme, J., Sysmans, W., Leys, C. ve Van Langenhove, H.** (2007). Abatement and degradation pathways of toluene in indoor air by positive corona discharge, *Chemosphere*, 68, 1821–1829.
- Dobrynin, D., Friedman, G., Fridman, A. ve Starikovskiy, A.** (2011). Inactivation of bacteria using dc corona discharge: role of ions and humidity, *New Journal of Physics* 13, 103033.
- Eglmeier, H., Hanau, A. ve Schaub, H.** (2014). Domestic appliance having a plasma generator and method for the operation thereof, *European Patent Office*, No: EP2557981 tarih: 02.04.2014.
- Fabbro, E. ve Aleksandrov, S.** (2011). Device of fabric cleaning, *European Patent Office*, No: RU2430205 tarih: 27.09.2011.
- Foest, R., Schmidt, M. ve Becker, K.** (2006). Microplasmas, an emerging field of low-temperature plasma science and technology, *International Journal of Mass Spectrometry*, 248, 87–102.
- Fridman, A., Gutsol, A. ve Cho, Y.I.** (2007). Non-Thermal Atmospheric Pressure Plasma, *Advances In Heat Transfer*.
- Halkman, A. K.** (2005). Gıda Mikrobiyolojisi Uygulamaları, Başak Matbaacılık Ltd. Şti., Ankara.
- Kampmann, Y., Klingshirn, A., Kloft, K. ve Kreyenschmidt, J.** (2009). The application of ionizers in domestic refrigerators for reduction in airborne and surface bacteria, *Journal of Applied Microbiology*.
- Karadeniz, S.** (1990). Plazma Tekniği, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.
- Kayser, F.H., Bienz, K. A., Eckert, J. ve Zinkernagel, R. M.** (2002). Tıbbi Mikrobiyoloji, 9. baskı, Nobel Tıp Kitabevi, İstanbul.
- Klauson, D., Preis, S. ve Gregor, A.** (2013). Potential of electric discharge plasma methods in abatement of volatile organic compounds originating from the food industry, *Journal of Environmental Management*, 114, 125–138.
- Korachi, M., Gurol, C., Ekinci, F.Y. ve Aslan N.** (2012). Low Temperature Plasma for decontamination of E. coli in milk, *International Journal of Food Microbiology*, 157, 1–5.
- Korachi, M., Gurol, C. ve Aslan, N.** (2010). Atmospheric plasma discharge sterilization effects on whole cell fatty acid profiles of Escherichia coli and Staphylococcus aureus, *Journal of Electrostatics*, 68, 508–512.
- Kostov, K.G., Rocha, V., Koga-Ito, C.Y., Matos, B.M., Algatti, M.A., Honda R.Y., Kayama, M.E. ve Mota, R.P.** (2010). Bacterial sterilization by a dielectric barrier discharge (DBD) in air, *Surface & Coatings Technology*, 204, 2954–2959.
- Kyung-Chul, W., Jin-Woong, K., Soo-Young, O., Si-Moon, J. ve Na-Eun, K.** (2004). Washing machine, *European Patent Office*, No: EP1469119 tarih: 20.10.2004.
- Laroussi, M. ve Leipold, F.** (2004). Evaluation of the roles of reactive species, heat, and UV radiation in the inactivation of bacterial cells by air plasmas at

- atmospheric pressure, *International Journal of Mass Spectrometry*, 233, 81–86.
- Lieberman, M., A. ve Lichtenberg, A., J.** (2005). Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, 2. Baskı, Wiley, New Jersey.
- Lim, G., S.** (2004). Plasma sterilizing and deodorizing apparatus installed in rear end of dust bag of vacuum cleaner for sterilizing, deodorizing and collecting dust, *European Patent Office*, No: KR100439682 tarih: 28.10.2004.
- Miao, H. ve Yun G.** (2011). The sterilization of Escherichia coli by dielectric-barrier discharge plasma at atmospheric pressure, *Applied Surface Science*, 257, 7065–7070.
- Morent, R., Geyter, N., D., Verschuren, J., Clerck, K., D., Kiekens, P. ve Leys, C.** (2008). Non-thermal plasma treatment of textiles, *Surface & Coatings Technology*, 202 3427–3449.
- Morent, R., Vandenbroucke, A., M., Geyter, N., D. ve Leys, C.** (2011). Non-thermal plasmas for non-catalytic and catalytic VOC abatement, *Journal of Hazardous Materials*, 195, 30–54.
- Moreau, M., Orange, N ve Feuilloy, M.G.J.** (2008). Non-thermal plasma technologies: New tools for bio-decontamination, *Biotechnology Advances*, 26, 610–617.
- Park, T. J., Heo, N. S., Lee, M. K., Kim, G. W., Lee, S. J. ve Park, J. Y.** (2014). Microbial inactivation and pesticide removal by remote exposure of atmospheric air plasma in confined environments, *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 117, 81-85.
- Paschen, F.** (1889). Ueber die zum Funkenübergang in Luft, Wasserstoff und Kohlensäure bei verschiedenen Drucken erforderliche Potentialdifferenz, *Annalen der Physik*, 273, (5): 69–75.
- Ragni, L., Berardinelli, A., Vannini, L., Montanari, C., Sirri, F. ve Guerzoni, M., E.** (2010). Non-thermal atmospheric gas plasma device for surface decontamination of Shell eggs, *Journal of Food Engineering*, 100, 125–132.
- Rød, S. K., Hansen, F., Leipold, F. ve Knøchel, S.** (2012). Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality, *Food Microbiology*, 30, 233-238.
- Rowan, N., J., Espie, S., Harrower, J., Anderson, J., G., Marsili, L. ve MacGregor, S., J.** (2007). Pulsed-plasma gas-discharge inactivation of microbial pathogens in chilled poultry wash water, *Journal of Food Protection*, 70 (12), 2805–2810.
- Schlüter, O., Surowsky, B., Fröhling, A., Gottschalka, N. ve Knorr, D.** (2014). Impact of cold plasma on *Citrobacter freundii* in apple juice: Inactivation kinetics and mechanisms, *International Journal of Food Microbiology*, 174, 63–71.
- Shama, G., Noriega, E., Laca, A., Díaz, M. ve Kong M.** (2011). Cold atmospheric gas plasma disinfection of chicken meat and chicken skin

contaminated with *Listeria innocua*, *Food Microbiology*, 28, 1293-1300.

Thompson, A. ve Fernández, A. (2012). The inactivation of *Salmonella* by cold atmospheric plasma treatment, *Food Research International*, 45, 678–684.

Tommasini, D. (2009). Dielectric Insulation & High Voltage Issues, CERN, Bruges, Belçika, 16-25 Haziran, Alındığı tarih: 09.06.2014, adres: <http://cas.web.cern.ch/cas/Belgium-2009/Lectures/PDFs/Tommasini.pdf>

Yeon, S.S. (2007). Device for removing the odor in refrigerator, *European Patent Office*, No: KR100789816 tarih: 31.12.2007.

Yukika, Y., Makoto, M. Kazutoshi, T., Yoshitaka, T. ve Nobutake, H. (2013). Plasma generating device, *European Patent Office*, No: WO2013077396 tarih: 30.05.2013.

Zhang, J., Tian, Y., Sun, P., Wu, H., Bai, N., Wang, R., Zhu, W. ve Liu, F. (2010). Inactivation of *Staphylococcus aureus* and *Enterococcus faecalis* by a direct current, cold atmospheric-pressure air plasma microjet *Journal of Biomedical Research*, 24(4), 264-269.

Url-1<<http://www.intechopen.com/books/eco-friendly-textile-dyeing-and-finishing/the-use-of-new-technologies-in-dyeing-of-proteinous-fibers>>, alındığı tarih: 02.05.2014.

Url-2<<http://thefutureofthings.com/3057-ionic-wind-chillin-the-pc/>>, alındığı tarih: 02.05.2014.

Url-3<<http://nptel.iitk.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/HighVoltageEngg/lecture6/slide2.htm>>, alındığı tarih: 02.05.2014.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad :Duygu ÇEMİŞKEZEK

Doğum Yeri ve Tarihi : Akhisar/ 24.02.1988

E-Posta :duygucemiskezek@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** :2011, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya- Metalürji Fakültesi/ Kimya Mühendisliği