

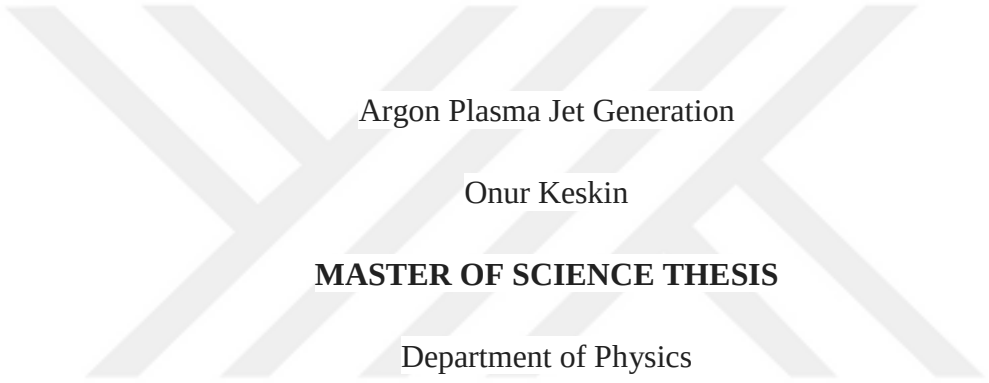
Argon Plazma Jet Üretimi

Onur Keskin

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fizik Anabilim Dalı

Mayıs 2017



Argon Plasma Jet Generation

Onur Keskin

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Physics

May 2017

Argon Plazma Jet Üretimi

Onur Keskin

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca

Fizik Anabilim Dalı

Yüksek Enerji ve Plazma Bilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. Tamer Akan

“[Bu tez ESOGÜ-BAP tarafından “2013-326” no’lu proje çerçevesinde desteklenmiştir]”

Mayıs 2017

ONAY

Fizik Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Onur Keskin' in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Argon Plazma Jet Üretimi” başlıklı bu çalışma jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek oy birliği ile kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Tamer Akan

İkinci Danışman : —

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. Tamer Akan

Üye : Prof. Dr. Ferhunde Atay

Üye : Yrd. Doç. Dr. Oğuz Ertuğrul

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih vesayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Hürriyet ERŞAHAN

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre, Prof. Dr. Tamer Akan danışmanlığında hazırlamış olduğum “Argon Plazma Jet Üretimi” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezimin özgün bir çalışma olduğunu; tez çalışmamın tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; tezimde verdiğim bilgileri, verileri akademik ve bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olarak elde ettiğimi; tez çalışmamda yararlandığım eserlerin tümüne atıf yaptığımı ve kaynak gösterdiğimi ve bilgi, belge ve sonuçları bilimsel etik ilke ve kurallara göre sunduğumu beyan ederim. 31/05/2017

Onur Keskin

İmza

ÖZET

Bu çalışmada argon gazı plazma jet üretimi incelenmiştir. On farklı elektrot düzenlenişinde on farklı argon plazma jet üretimi gerçekleştirilmiştir. Argon gazı plazma jet üretimi için farklı kalınlıklarda pyrex ve borosilikat cam boru ve bakır borular kullanılmıştır. Argon gazı gönderilmesi için kullanılan bu boruların içine ve dışına farklı anot ve katot elektrotları yerleştirilmiştir. Bakır boru kullanılan plazma jet sistemlerinde bakır boru, anot elektrodu olarak da kullanılmıştır. Üretilen argon plazma jet sistemleri mika tutturucuya monte edilmiştir. On farklı tasarımdaki plazma jet sistemlerine argon gazı gönderildikten sonra elektrotlara 18 kV ve 15 kHz alternatif akım güç kaynağı ile elektrik voltajı uygulanmıştır. 0,5 cm ile 7 cm arasında değişen uzunluklarda argon gazı plazma jetleri üretilmiştir. İğne elektrot kullanılan plazma jet sisteminde ve ince pyrex cam boru üzerine çift bakır elektrodu kullanılarak üretilen plazma jet sisteminde argon gazının farklı akış hızlarında, plazma jet uzunluğunun değişimi incelenmiştir. Bakır boru üzerine çoklu iğne elektrot yerleştirilerek üretilen plazma jet sistemi tamamıyla orijinaldir. Çoklu borosilikat cam boru kullanılarak tek güç kaynağı ve tek gaz akışı ile çok sayıda plazma jet üretilenmiştir. Bu şekilde tek güç kaynağı ile çok sayıda jeti aynı bölgede üreterek, geniş alanlarda plazma jet uygulaması için yöntem denenmiştir. Cam ve bakır yüzey üzerine argon plazma jet uygulayarak yüzeylerde adhezyon tutunmasının arttırıldığı gösterilmiştir. Argon plazma jet uzun süre kağıt üzerine uygulanarak da yüzey üzerine ısı etkisi aktarmadığı gösterilmiştir. İğne elektrot argon plazma jeti kendi elim üzerine 15 dakikadan fazla bir süre uyguladığımda gözle görülür bir fiziksel zarar meydana gelmediği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Soğuk Plazma Jet, Atmosferik basınç plazma jet, post-deşarj, Argon, Soğuk plazma yüzey uygulama.

SUMMARY

In this thesis, argon plasma jet generation are investigated. Ten different argon plasma jet productions are carried out in the regulations of ten different electrodes. Pyrex and borosilicate glass tubes and copper pipes are used in different thicknesses for argon gas plasma jet generation. Different anode and cathode electrodes are placed in and out of these tubes used to emit the argon gas. Electrical voltage is applied to the regulations of ten different electrodes with 18 kV and 15 kHz alternating current power supply after the argon gas is transmitted. Argon gas plasma jets are produced in lengths ranging from 0.5 cm to 7 cm. The variation of the plasma jet length at different flow rates of argon gas are investigated in the plasma jet system using needle electrode and the plasma jet system using double copper electrode on fine pyrex glass tube. The plasma jet system produced by placing a multi-needle electrode on copper pipe is completely original. Using multiple borosilicate glass tubes, a large number of plasma jets can be produced with one power source and one gas flow. In this way, a method for plasma jet application in a large area has been tried by producing a large number of jets in the same region with a single power source. Argon plasma jet on glass and copper surface has been shown to increase adhesion on the surfaces. It has been shown that argon plasma jet does not transfer heat on the surface by applying it on paper for a long time. It has been observed that the needle electrode does not show any visible physical damage when I apply argon plasma jet for more than 15 minutes on my hand skin.

Keywords: Cold Plasma Jet, Atmospheric pressure plasma jet, post-discharge, Argon, Cold plasma surface treatment.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam sürecinde bilgi ve tecrübesini benden esirgemeyen, iş hayatı ve tez çalışmamı aynı anda idame ettirirken karşılaşılabileceğim olası zorlukları yaşamamam için elinden geleni yapan, sadece akademik başarılarını değil hayata bakış açısını ve ileri görüşlülüğünü de örnek aldığım danışmanım, değerli hocam Prof. Dr. Tamer Akan' a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sürecinde bana her türlü desteği sağlayan Arş. Gör. Erkan İlik' e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Hayatın her alanında olduğu gibi bu süreçte de arkamda olan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezde ESOGÜ-BAP bünyesindeki “2013-326” no' lu projeden yararlanılmıştır.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vi
SUMMARY	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	6
3. PLAZMA JET VE UYGULAMALARI	9
3.1. Plazma Jet Fiziği ve Üretimi	9
3.2. Plazma Jet Uygulamaları	12
3.2.1. Plazma jet.....	12
3.2.2. Plazma jet sterilizasyon	16
3.2.3. Plazma jet diş tedavisi.....	19
3.2.4. Plazma jet yüzey temizleme	21
3.2.5. Plazma jet yüzey aktifleştirme.....	22
3.2.6. Plazma jet kaplama	23
3.2.7. Plazma jet polimer	23
3.2.8. Plazma jet tekstil	24
3.2.9. Plazma jet kimya	25
4. MATERTAL VE YÖNTEM	28
5. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
5.1. İğne elektrot Argon Plazma Jet Üretimi	37
5.2. Çift elektrot Argon Plazma Jet Üretimi	38
5.3. Tek elektrot Argon Plazma Jet Üretimi	42
5.4. Metal Boru Elektrot Argon Plazma Jet Üretimi	44
5.5. Argon Plazma Jet ile Yüzey Üzerine Uygulama	46
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	48

İÇİNDEKİLER (devam)**Sayfa**

KAYNAKLAR DİZİNİ	50
-------------------------------	-----------



ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Farklı plazma jet üretim teknikleri	10
3.2. Plazma jetin zaman içinde yayılımı	12
3.3. (a) Atmosferik basınç soğuk akan plazma jet, (b) Atmosferik basınç çoklu soğuk akan plazma jet, (c) Atmosferik basınç büyük hacim soğuk akan plazma jet	13
3.4. Soğuk plazmalar ile yara-yanık tedavisi	14
3.5. Soğuk plazmalar ile (a) cilt yenileme, (b) cilt leke temizleme	15
3.6. (a) Vücut içinde soğuk plazma uygulaması, (b) Kanın pıhtılaştırılması ve kan akışının durdurulması	15
3.7. MRSA bakteri hücreleri üzerine plazmaların etkisi: (a) Plazma uygulanmamış bakteri (kontrol), (b) 1 saniye, (c) 2 saniye, (d) 3 saniye, (e) 4 saniye, (f) 5 saniye soğuk plazma ortamına maruz kalan MRSA bakterilerinin elektron mikroskobu görüntüleri	17
3.8. (a) Petri kabında Escherichia coli bakterilerinin 30 saniye ve 120 saniye sonra lokal olarak yok edilmesi, (b) el ile dokunulabilecek kadar soğuk plazma jet.....	17
3.9. Bir atmosferik basınç soğuk plazma jeti olan “Plazma Needle” uygulaması	20
3.10. Petek desenli bir panel üzerinde yüzey temizleme işlemi	21
3.11. Plazma ile yapılan yüzey aktivasyonu (a) plazma uygulanmış yüzey, (b) plazma uygulanmamış yüzey	22
3.12. Ar plazması ile O ₂ / HMDSO karışımının silisyum yüzey üzerine kaplanması (a) ince film, (b) ince filmin SEM görünümü	23
3.13. Uygulanan güce bağlı (a) 90 W, (b) 100 W, (c) 110 W olarak polimer yapı üzerine ağsı fiber katmanlarının oluşturulması	24
3.14. Plazma jet tekstil uygulaması	25
3.15. (a) 90 W, (b) 100 W, (c) 110 W’ da gerçekleştirilen TiO ₂ nanotozlarının üretimi	26
4.1. Argon plazma jet üretimi için kullanılan güç kaynağı.....	28
4.2. Argon plazma jet üretimi için kullanılan güç kaynağının devre tasarımı	28
4.3. Güç kaynağının frekans - çıkış gerilimi değişimi	29
4.4. Çıkış Gerilimi / 1000 V için kullanılan güç kaynağının osiloskop çıktısı	30
4.5. İğne elektrot argon plazma jet üretim tasarımı	31
4.6. Flowmetre	31
4.7. Çift elektrot argon plazma jet üretim tasarımı	32

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.8. Çoklu argon plazma jet üretim tasarımı	33
4.9. Tek elektrot argon plazma jet üretim tasarımı	34
4.10. Metal boru elektrot argon plazma jet üretim tasarımı	35
4.11. Bakır boru – çoklu sivri elektrot argon plazma jet üretim tasarımı	36
5.1. İğne elektrot atmosferik basınç argon plazma jet	37
5.2. İğne elektrot ile üretilen argon plazma jetin farklı gaz akış hızlarında değişimi	38
5.3. Çift elektrot atmosferik basınç argon plazma jet	39
5.4. Çift elektrot ile üretilen argon plazma jetin farklı gaz akış hızlarında fotoğrafı	40
5.5. Çift elektrot borosilikat cam tüp ile üretilen argon plazma jetin farklı gaz akış hızlarında değişimi	41
5.6. Çift elektrot ile çoklu jet sistemi	42
5.7. Tek elektrot ile seramik boru argon plazma jet üretimi	43
5.8. Tek elektrot ile kalın pyrex cam boru argon plazma jet üretimi	43
5.9. Metal boru – toprak elektrot argon plazma jet üretimi	44
5.10. Metal boru – dış elektrot Argon Plazma Jet üretimi	45
5.11. Bakır boru – çoklu tungsten elektrot ile argon plazma jet üretimi	45
5.12. Argon plazma jet ile cam yüzey üzerine uygulama	46
5.13. Argon plazma jet ile bakır yüzey üzerine uygulama	46
5.14. Argon plazma jetin (a) kağıt üzerine uygulanması, (b) el üzerine uygulanması	47

ÇİZELGELER DİZİNİ**Çizelge****Sayfa**

4.1. Güç kaynağının teknik bilgileri	29
--	----



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

n	Plazma yoğunluğu
α_i	İyonlaşma derecesi
T_p	Plazma sıcaklığı
T_g	Plazması üretilen gazın sıcaklığı
T_e	Elektron sıcaklığı
T_u	Uyarılmış atomların sıcaklığı
T_i	İyonların sıcaklığı
T_a	Ayrışmış atom sıcaklığı
T_f	Foton sıcaklığı
l_D	Debye uzunluğu

Açıklama

Kısaltmalar

Açıklama

AC	Alternatif akım
Ar	Argon
BH	Biyolojik hücre
cm	santimetre
CVD	Kimyasal buhar biriktirme
DBD	Dielektrik bariyer deşarj
DC	Doğru akım
HMDSO	Hekzametildisiloksan
HRTEM	Yüksek çözünürlüklü geçirimli elektron mikroskobu
K	Kelvin
kHz	Kilohertz
kV	kilo volt
Lt/dak	dakikada geçen litre
MRSA	Metisiline dirençli Staphylococcus aureus
MW	Mikrodalga
Nm	Nanometre

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

Kısaltmalar

Açıklama

O ₂	Oksijen
PECVD	Plazma destekli kimyasal buhar biriktirme
PU	Poli ürethan
PVC	Poli vinil klorür
PVD	Fiziksel buhar biriktirme
RF	Radyofrekans
s	Saniye
SAED	Seçilmiş alan elektron kırınımı
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
Si	Silisyum
TEM	Geçirimli elektron mikroskobu
TiO ₂	Titanyum dioksit
UV	Ultraviyole
V	Volt
V_B	Breakdown (Ateşlenme) voltajı
V_l	Plazma frekansı / Langmuir frekansı
W	Watt

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Plazma; maddenin katı, sıvı ve gaz hali gibi maddenin bir halidir. Büyük patlamadan birkaç saniye sonra evrende var olmuştur ve hala evrenimizin %99' u plazma halindedir. Evrende, yüksek basınç ve yüksek enerji için gerekli koşulların sağlandığı bölgelerde kolayca oluşmuştur. Yıldızlar hala çok sıcak plazmalardır. Bununla birlikte yıldızlar ve galaksiler arasını oluşturan bulutsular da, düşük yoğunlukta da olsa büyük miktarda plazmalardır.

Dünyamızın hemen atmosferinde de bolca plazma görülmektedir. Van Allen kuşakları, kutup ışıkları, iyonosfer ve şimşek dünyamıza yakın doğal olarak bulunan plazmalara örnektir. Bununla birlikte içinde bulunduğumuz havanın da çok düşük yoğunlukta plazma olduğu söylenebilir. Güneşten ve uzaydan gelen yüksek enerjili parçacıklar nefes alıp verdiğimiz havayı kısmen iyonize etmektedir.

Plazma üretmek için maddenin diğer hallerine enerji vermek yeterlidir. Bir katı maddeyi ısıtarak eritip daha da ısıtarak gaz haline getirdikten sonra daha fazla ısıtarak iyonize etmek ve plazma üretmek mümkündür. Bununla birlikte maddeye ısı enerjisi gibi başka enerjiler verilerek de “iyonlaşmış gaz” ya da “plazma” üretilir. Her iyonlaşmış gaz, plazma olarak nitelenmez. Üretilen plazmanın boyutları ile debye uzunluğu (λ_D), debye küresi içindeki parçacık sayısı ve gaz içinde üretilen iyonize parçacıkların çarpışma frekansları ile çarpışma süresi arasındaki ilişkiye göre iyonlaşmış gaz, plazma olarak tanımlanmaktadır. Basitçe içerisinde pozitif ve negatif iyonların bulunduğu ortam “plazma” olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte plazma içinde nötr atom ya da moleküller, uyarılmış atom ya da moleküller, elektronlar, fotonlar, radikal parçacıklar gibi farklı türde parçacıklar bulunur. Bu parçacıklar özellikle iyonlar, debye uzunluğu olarak adlandırılan plazma içindeki dar bölgelerde, yük yoğunluğu farklılıkları içerirken plazma boyutları yaklaşık olarak nötr kalmaktadır. Plazma bu nötralityi ambipolar difüzyon ile sağlamaktadır. Plazma içindeki yükler arasındaki güçlü Coulomb kuvvetleri nedeniyle plazma, ambipolar difüzyon ilkelerine uyarken kolektif davranışlar içerisinde kalır. İyonlaşma derecesi (α_i), plazma yoğunluğu (n), plazma sıcaklığı (T_p), plazma frekansı (ν_L), Debye uzunluğu gibi parametreler plazmaların özelliklerini belirler (Akan, 2003, 2005).

Laboratuvar koşullarında plazma üretmek için kullanılan en kolay yöntem; iki metal elektrot arasına yerleştirilen bir gaz içinden elektrik akımı geçirilmesidir. Bunun için genellikle içi boşaltılmış cam tüpler kullanılmaktadır. Deşarj tüpü, Geissler tüpü, Crookes tüpü, katot tüpü geçmişte farklı amaçlar için kullanılmış aslında birer gaz iyonlaştırma araçlarıdır. Deşarj tüpü özellikle bir gazı iyonlaştırmak için kullanılan cam tüptür. İçine vakum sızdırmaz materyaller yardımıyla iki metal elektrot yerleştirilmiştir. Cam tüp içinden gazın vakumlanması ve istenilen gazın yerleştirilmesi için bir vana sistemi de monte edilir. Böylece cam tüp içindeki iki elektrota dışarıdan DC veya AC elektrik voltajı uygulanarak tüp içinde gaz deşarjı üretilir. DC voltaj uygulamalarında puls voltaj kullanılabildiği gibi AC voltaj uygulamalarında kHz, radyo frekans (RF) ve mikrodalga (MW) frekanslarda voltajlar kullanılmaktadır. Floresan lambalar, neon lambalar, şehir ve otoyol aydınlatmasında kullanılan sodyum lambalar plazma üretmek için kullanılan deşarj tüplerine örnektir. Plazmaların teknolojiye ilk uygulama alanlarından biri aydınlatma olurken daha sonraları gaz deşarj plazmaları; kağıt, ahşap ve cam endüstrisinde, uzay teknolojilerinde, materyal işleme (aşındırma, sertleştirme, kaplama, kesme, kaynak, yeni tür malzeme üretimi) teknolojilerinde, tekstil endüstrisinde, yapay elmas yapımında, yarıiletken teknolojisinde, elektronik çip yapımında, iletişim teknolojisinde, yüzey kaplama ve dekorasyon teknolojilerinde, sterilizasyon ve su arıtma sistemlerinde, gıda endüstrisinde, tehlikeli ve zararlı atık (nükleer, çöp ve tıbbi atık) arıtmada, güneş enerjisi ve optikte, otomobil ve uçak endüstrisinde, yeni teknoloji inşaatlarda, savunma sanayinde, kristal büyütmede, radar ve füzyon araştırmalarında kullanılmaktadır. Floresan lambalar gibi plazma televizyonları ve plazma klimalar da günlük hayatımıza giren plazma teknolojileridir. Plazmaların tıp ve biyomedikal uygulamaları da başta sterilizasyon olmak üzere oldukça yaygındır.

Plazmalar, lazer ile karıştırılmamalıdır. Lazer yalnızca yönlendirilmiş fotonlardan oluşurken plazmalar fotonların yanında; pozitif ve negatif iyonlar, nötr atom ya da moleküller, uyarılmış atom ya da moleküller, elektronlar, fotonlar, metastable atom ya da moleküller, radikal parçacıklar gibi çok sayıda parçacığın bir arada bulunduğu ortamdır. Bu çok farklı özellikteki parçacıklar, plazmanın bütünüyle korunması için ortak davranış içindedirler. Dışarıdan yapılacak her türlü pertürbasyonu debye kılıfı yaparak plazmayı koruma altına aldıkları gibi içerden herhangi bir parçacık ya da parçacıkların kaçışını, plazma frekansı ve ambipolar difüzyon mekanizması ile kontrol altında tutarlar.

Plazma içinde; T_g : nötral atomların yani plazması oluşturulan gazın sıcaklığını, T_u : uyarılmış atomların sıcaklığını, T_i : iyonların sıcaklığını, T_e : elektronların sıcaklığını, T_a : molekül durumundan atoma ayrılmış atomlar için ayrılmış atom sıcaklığını ve T_f : fotonların enerjisini karakterize eden foton sıcaklığını ifade etmektedir. Plazma içindeki tüm parçacıkların eşit sıcaklıkta olduğu plazmalar “termal dengede olan plazmalar (*sıcak plazmalar*)” olarak adlandırılır ve yüksek ısı ürettikleri için sert materyal işlemleri gibi yüksek ısı gerektiren uygulamalarda sıklıkla kullanılır. Doğal plazmalardan güneş ve yıldızlar, laboratuvar plazmalarından ise ark deşarjlar, “**sıcak plazmalar**” a örnek olarak verilebilir. Elektronları çok yüksek enerjiye sahipken diğer parçacıkları oda sıcaklığı kadar düşük sıcaklıklarda kalan plazmalar ise “termal dengede olmayan plazmalar (*soğuk plazmalar*)” olarak adlandırılır. Özellikle nötral parçacıkları düşük sıcaklıkta olan “**soğuk plazmalar**” ısı etkisi üretmediği için ısıya hassas uygulamalarda önemli avantajları bulunmaktadır. Doğal plazmalardan iyonosfer, laboratuvar plazmalarından ise birçok gaz deşarjlar soğuk plazmalara örnek olarak verilebilir.

Deşarj tüpü gibi cam ya da başka bir kapalı ortamda üretilen plazmalar düşük basınç plazmalarıdır. Bir vakum pompası ile deşarj tüpü içindeki basınç düşürülmektedir. Ancak bu tür kapalı ortamlarda üretilen plazmaların en belirgin karakteristiği durağan olmasıdır. Yani üretilen plazmanın elektrotlar arasında ve dolayısıyla kapalı ortamda olduğu gibi durağan kalmasıdır. Plazmalar kapalı hacim içinde düşük basınçta elektrotlar arasında durabildiği gibi atmosfer basıncında da durabilir. Burada kullanılan durağan ifadesi ile plazmanın bir katı gibi durduğu anlaşılmamalıdır. Durağan plazmalarda elektrotlar arasındaki plazma içinde çok sayıda parçacık akışı devam etmektedir. Ancak plazma yalnızca elektrotlar arasında kalmaktadır.

Plazmaların üretildikleri kap içinden çıkarılması çok önemli bir gelişmedir. Aynı zamanda atmosferik ortamda elektrotlar arasında üretilen plazmanın, elektrotlar arasından çıkarılması çok önemlidir. Bu durumda elektrotlar arasından çıkarılan plazmaya örneğin en azından elimizle dokunmayı deneyebiliriz. Tabi yeterince soğuk yapabilirsek. Düşük basınçta plazma üretmek için 1000-2000 V elektrik voltajı uygulanırken yüksek basınçlarda 20-40 kV gibi yüksek voltajlar uygulanmaktadır. Bu kadar yüksek voltajların uygulandığı elektrotlar arasına bir insan elini sokmak mümkün değildir. Elle dokunmanın ötesinde plazma ile materyal uygulamalarında da bu önemli bir sorundur. Plazma farklı materyaller

üzerinde farklı etkiler yapmaktadır. Bu nedenle farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu teknolojilerde uygulama yapılacak materyalin plazma ortamına sokulması gerekmektedir. Durağan plazmalarda bu aynı zamanda materyalin, elektrotlar arasındaki yüksek voltaj içine de sokulmasıdır. Bu birçok uygulamada istenmeyen bir durum olabilir. Örneğin plazmaların malzeme üzerindeki bakterilerden sterilizasyon etkisi söz konusudur. Vücut içi kamera ve entegre devrelerin sterilizasyonu tıpta çokça istenmektedir. Çünkü üretimi, maliyetli cihazlardır ve daha çok sayıda hastada kullanılmak istenmektedir. Bu tip elektronik cihazların yüksek ısı ile sterilizasyonu mümkün olmadığı gibi yüksek elektrik alan içinde de zarar görecektir. Ancak oda sıcaklığında plazmalar üretilip bunlar da elektrotlar arasından yani yüksek elektrik alan içinden çıkarılırsa elle dokunulabildiği gibi hassas materyaller üzerinde kullanımları da artırılabilir. Bununla birlikte vücut sıcaklığı civarındaki elektrotlar arasından uzaklaştırılmış plazmalar insan üzerinde dış, deri hatta damar ve diğer vücut içi uygulamalarında kullanılabilir.

Son 20 yıldır plazmalar elektrotlar arasından çıkarılmaktadır. Elektrotlar arasından uzaklaştırılan plazmalara en genel olarak “post-deşarj” veya “afterglow” ifadesi kullanılmaktadır. Ancak atmosferik basınçta elektrotlar arasından uzaklaştırılan plazmalara “**plazma jet**” denilmektedir.

Bu çalışmada bir boru içinde ve dışında bulunan elektrotlar arasına AC 18 000 V gerilim uygulanarak üretilen argon plazması, elektrotlar arasından çıkarılarak argon gazı plazma jeti üretilmiştir. Üretilen plazma jet saatlerce bir kağıt üzerine uygulanmasına rağmen herhangi bir yanıcı etki üretmeyecek kadar soğuk tutulmuştur.

Bu çalışmada farklı tasarımlarda farklı özelliklere sahip argon plazma jet üretimi amaçlanmıştır. Farklı yöntemlerle üretilen plazma jetlerin özellikleri de farklı olacağı için farklı özelliklerde argon plazma jetleri üretilmek istenmiştir. Farklı gaz akışı için cam, bakır, seramik gibi farklı materyallerin kullanılması ve farklı tipte elektrot yapılarının kullanılması plazma jet üretimini nasıl etkilediği incelenmek istenmiştir. Bununla birlikte gaz akış hızının plazma jet uzunluğunu nasıl etkilediği incelenmek istenmiştir. Cam, metal, kağıt gibi yüzeylerde argon plazma jetin davranışları gözlemlenmek istenmiştir.

Bu çalışmada 10 farklı elektrot düzenlenişinde 10 farklı argon plazma jet üretimi gerçekleştirilmiştir. Tüm sistemlerde 18 kV ve 15 kHz alternatif akım sabit voltaj uygulanmıştır. Bu çalışmada plazma jet üretiminde farklı materyal ve farklı elektrot dizaynları ile argon plazma jetleri üretilmesi amaçlanmıştır. Gaz akış hızının plazma jet uzunluğuna etkisinin belirlenmesi ve üretilen argon plazma jetlerinden herhangi biri ile farklı yüzeyler üzerine uygulama yapılması amaçlanmıştır.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

1929 yılında Irving Langmuir, ilk kez "plazma" terimini kullanmıştır (Tonks ve Langmuir, 1929). 1970 yılından bu yana “plazma fiziği” üzerine birçok çalışma yapılmakla birlikte çok sayıda kitapta bu bilgiler toplanmıştır (Kikuchi, 1988; Tanenbaum, 1967; Kral ve Trivelpiece, 1973; Grill, 1993; Lieberman ve Lichtenberg, 1997; Roth, 1995; Raizer, 1991; Bellan, 2006; Ying, 1994; Kawai vd., 2010; Fridman ve Friedman, 2012).

Soğuk plazmalar olarak bilinen “**gaz deşarj plazmaları**” ile ilgili şimdiye kadar birçok çalışma yapılmıştır. Düşük ısı etkisinin yanında elektrik alan etkisi, yüklü parçacık etkisi, aktif parçacıkların kimyasal etkisi, ultraviyole (UV) etkisi gibi birçok etkiyi aynı anda üretebildiği için de endüstride son derece fazla uygulama alanı bulmuştur. Yüzey kaplama, yüzey aktivasyonu, yüzey polimerizasyonu, oksitleme, nitrürleme, yüzey temizleme, sterilizasyon ve medikalde önemli ve farklı özellikleri nedeniyle gaz deşarj plazmalar oldukça fazla kullanılmaktadır (Bogaerts vd., 2002; Tendero vd., 2006; Treumann vd., 2008; Petitpasa vd., 2007) .

Plazmalar daha çok bir vakum odasında ve iki elektrot arasında üretilmektedir. Düşük basınçta kaplama gibi uygulamalarda vakumda plazma çalışmaları önemli teknolojiler geliştirmiştir. Mikro elektronikte çip üretiminden nano karbon kaplamaya kadar son derece üst teknolojilerde vakumda plazma çalışmaları yapılmıştır. Ancak yüzey temizleme-yüzey sterilizasyonu ve canlı üzerinde plazma uygulamaları gibi “soğuk plazma” uygulamalarında önemli bir sorunla karşılaşmaktadır. Örneğin soğuk plazma ile bakteri sterilizasyonunda bakterilerin, plazmanın üretildiği elektrotlar arasına sokulması gerekmektedir. Böyle bir uygulamada sterilizasyon yapılacak alan, elektrotlar arası uzaklıkla sınırlı kaldığı gibi elektrotlar arasındaki yüksek voltaj ile de kullanıcı karşı karşıya kalmaktadır. Aynı zamanda böyle bir sistemi uygulama sahasına taşımak ta kolay olmamaktadır. Bu dezavantajlardan dolayı özellikle atmosferik basınçta post-deşarj plazmalar üretilmeye başlandı. “**post-deşarj plazmalar**”; plazmanın üretildiği elektrotlar arasından çıkarılmasıdır. Post-deşarj plazmalar için “**plazma jet**”, “**plazma torch**”, “**afterglow plazma**”, “**plazma kalem**” gibi isimler de kullanılmaktadır. Her post-deşarj elektrotlar arasından akıtılmak zorunda olduğu için bu plazmalara aynı zamanda “**akan**

plazmalar” denir. Elektrotlar arasından çıkarılan post-deşarj plazmaların çok önemli avantajları vardır. Post-deşarj plazmalarda, elektrotlar arasında var olan yüksek elektrik alan yoktur. Bununla birlikte yüksek enerjili iyonlar yoktur. Yüksek elektrik alan kullanıcı için tehlikeler yaratırken yüksek enerjili iyonlar da uygulamanın yapıldığı yüzeye aşırı zarar verebilmektedir. Bununla birlikte post-deşarj plazmalarla daha geniş alanlar (hatta silindir gibi iç yüzeyi olan hacimler)' da uygulama yapılabilir. Örneğin Amerika Birleşik Devletleri' nde geliştirilen, Laroussi vd. (2008); Laroussi ve Akan (2007) içerisinde detaylıca açıklanan post-deşarj (plazma kalem olarak bilinir) plazma sistemi, kalem gibi istenilen bölgeye taşınabilir ve istenilen bölgeye uygulanabilir. Hatta bu tür sistemler insanın yüzündeki sivilceleri, lekeleri, kırışıklıkları, deri yanık ve yaraları yok etmek için kullanılabildikleri gibi ağız içinde diş eti ve diş çürüğü tedavisinden bazı endoskopik cihazlar yardımıyla vücut içinde pek çok ülserik iltihap tedavisine hatta kanser tedavisinde kullanılmaktadır (Fridman vd., 2008; Petrovic vd., 2012; Morfill vd., 2009; Laroussi, 2009; Heinlin vd., 2011).

Atmosferik basınçta üretilen post-deşarj plazmaları (plazma jet) ile düşük basınçta üretilen post-deşarj plazmaları arasındaki önemli fark ürettikleri parçacık yoğunluklarıdır. Kullanım amacına göre avantaj ve dezavantajları vardır. Örneğin düşük basınçta post-deşarj plazmalar, vakum ultraviyole ürettiği için bakteri sterilizasyonunda daha kısa zamanda ölümler yapmaktadır. Gerek atmosferik basınçta gerekse düşük basınçta üretilen “post-deşarj plazmalar” ın yukarıda söz edilen "ısı etkisi", "elektrik alan etkisi" ve "yüksek enerjili iyon etkisi" minimize edilmiş olmaktadır. Post-deşarj plazmalarda daha çok soğuk plazmaların "aktif radikal parçacık" ve "ultraviyole etkisi" kullanılmaktadır. Her iki etki spektroskopik çalışmalarla tespit edilebilmektedir. Isı ve yüksek enerjili iyon etkisi olmadan post-deşarj plazmalarla yapılacak yüzey uygulamalarında özellikle çağımızın materyali polimer tabanlı (ısıya hassas) cihazlarda uygulama imkanını arttırmaktadır. Aynı zamanda canlılar üzerine, soğuk plazmaların canlı hücreye zarar vermeden uygulama şansını arttırmaktadır. Bundan dolayı post-deşarj plazmalar özellikle atmosferik basınç plazma jetler, kan bankasındaki kanların sterilizasyonundan canlı damarında hareket eden endoskopik cihazlarla vücut içi sterilizasyonda dahi kullanılmaktadırlar. Aynı zamanda vücut içi robotik birçok ameliyatta soğuk post-deşarj plazmalar hem hücre apoptosis işlemlerinde (iltihap tedavisi) hem de trombosit fiberleşmesinde (kanın pıhtılaşması) kullanılmaktadırlar.

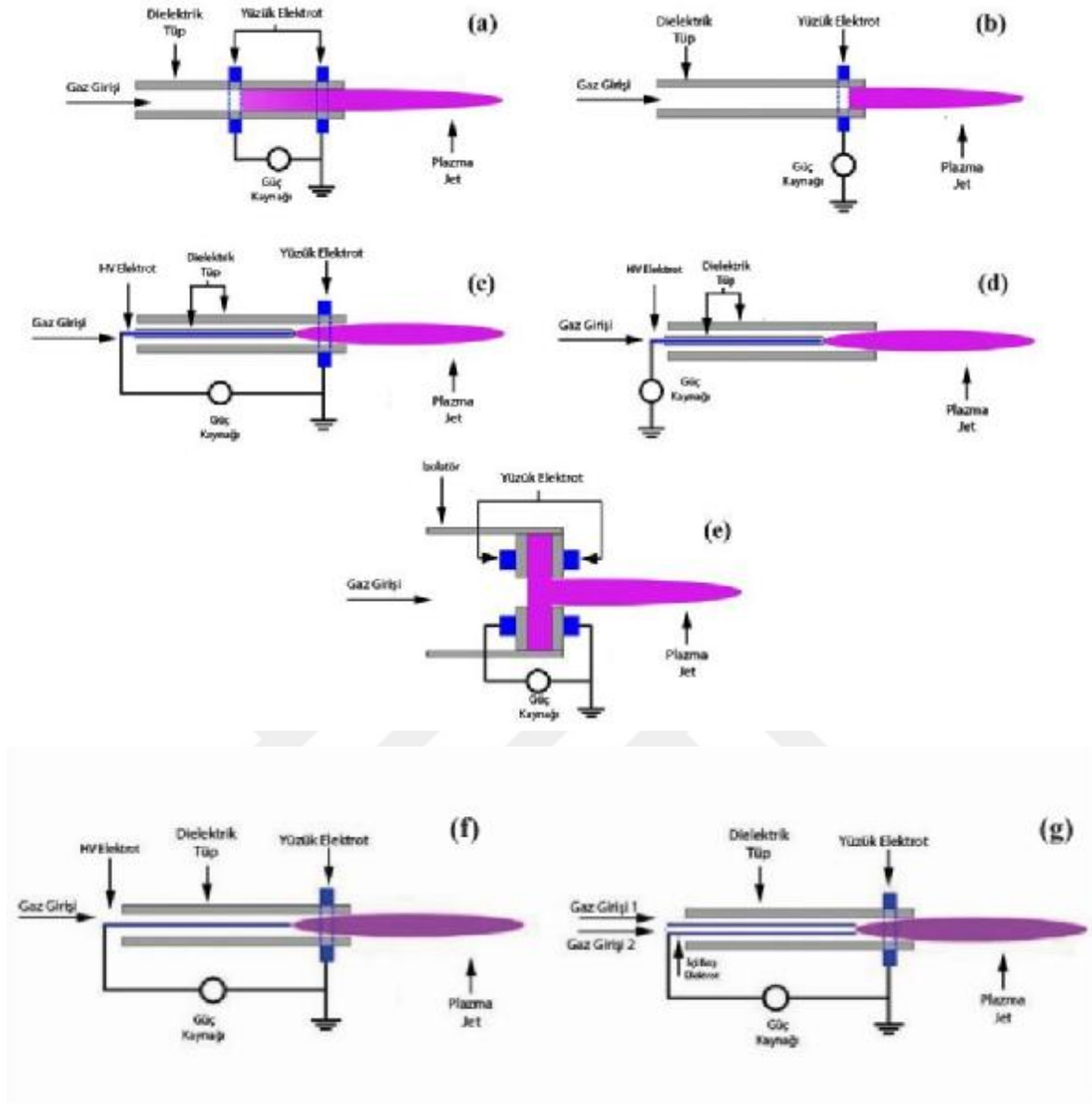
Atmosferik basınçta üretilen post deşarj plazmalar “**plazma jet**” olarak adlandırılmaktadır. Plazma jetler daha çok kalem şeklinde elektrot dizaynlarından oluşmaktadır. Bunun için cam ya da seramik gibi borular kullanılmaktadır. Borunun üst kısmından atmosferik basınçta gaz gönderilirken uç kısmından plazma dışarıya çıkmaktadır. Boru içinde veya dışında farklı türde metal elektrotlar kullanılmaktadır. Bununla birlikte yalıtkan borunun üst kısmından farklı gaz akış hızlarında argon, neon, helyum gibi farklı türde gaz ya da gaz karışımları gönderilebilmektedir. Bu nedenle plazma jetler için kullanılan gaz, gaz akış hızı, elektrot dizaynı gibi parametrelere göre farklı üretim tekniklerinden söz edilebilir. Ancak en temel kategorizasyon kullanılan güç kaynağına göre yapılır. DC güç kaynağı kullanılarak üretilen plazma jetler daha çok sıcak plazma jet üretirken puls dc güç kaynağı ve kHz, RF ve Mhz mertebesindeki frekanslarda AC güç kaynağı ile üretilen plazma jetlerde oldukça soğuk plazma jetler üretilmektedir. Laroussi ve Akan 2006’ da farklı türde kullanılan güç kaynaklarına göre üretilen plazma jetler derleme olarak verilmiştir. Bununla birlikte Lu ve Laroussi 2012’ de gaz akış hızı ve kullanılan gaz türlerine göre plazma jetleri sınıflandıran bir derleme yapmıştır. Dalli 2013, atmosferik basınç plazma jetlerini yüksek lisans tezinde detaylıca incelemiştir.

Bu çalışmada argon gazı kullanılarak cam, seramik ve bakır boru içine yerleştirilmiş 10 farklı elektrotlar düzenlenişinde argon atmosferik basınç plazma jetleri üretilmiştir. Güç kaynağı olarak, üretimi laboratuvarımızda yapılmış kHz frekansta AC güç kaynağı kullanılmıştır. Üretilen tüm plazma jet sistemleri laboratuvarımızda imal edilmiştir. Çoklu cam kullanılarak üretilen plazma jet sistemi ve çoklu tungsten iğneli plazma jet sistemi orijinaldir ve ilk kez laboratuvarımızda üretilmişlerdir. Bununla birlikte insanoğlunun ateşi bulduğu günden bu yana elle dokunulabilen ateş gibi davranan plazma jet sistemlerinin laboratuvarımızda üretilmesi gelecekte bu sistemlerin özelliklerinin incelenmesi açısından önemlidir. Uzun süre kağıt üzerine uygulama yapılmasına rağmen kağıda zarar vermeyecek kadar soğuk olan argon plazma jetleri özellikle tıpta çok önemli uygulamalarda kullanılacaktır.

3. PLAZMA JET VE UYGULAMALARI

3.1. Plazma Jet Fiziği ve Üretimi

Herhangi bir şekilde üretilen plazma, elektrotlar arasından çıkarılıp atmosfer ortamına akıtılırsa “plazma jet” olarak adlandırılmaktadır. Plazma jet üretmek için en genel olarak cam ya da seramik bir boru yalıtkanın içine ve dışına farklı türde elektrot tasarımları kullanılır. Şekil 3.1.’ de farklı plazma jet üretim teknikleri şematik olarak verilmiştir. Şekil 3.1.a’ da iki adet metal yüzük elektrot yalıtkan tüpün alt ve üst kısımlarına yerleştirilmiştir. Çalışmamızda çift dış elektrot olarak adlandırılmıştır. Alt elektrot yüksek voltaj elektrotu iken üst elektrot toprak olarak kullanılmıştır. Tersisi de uygulanabilir. Yalıtkan tüpün üst kısmından gaz gönderildikten sonra yalıtkanın dışına sarılan çift metal elektroda yüksek voltaj uygulanarak yalıtkan tüpün diğer ucundan plazma jet üretilmektedir. Bu düzenlenişte elektrotlar arasında da plazma üretilmektedir. Şekil 3.1.b’ de tek metal yüzük elektrodu yalıtkanın dışına sarılmış ve diğer elektrot toprağa bağlanmıştır. Çalışmamızda tek elektrot isimlendirilmesi ile anılmıştır. Bu durumda yalıtkan tüp içinde plazma üretilmemiştir. Şekil 3.1.c’ de yüksek voltaj elektrodu yine bir yalıtkan içine yerleştirilmiş iğne şeklinde sivri metal elektrottur. Şekil 3.1.d’ de iğne şeklinde sivri yüksek voltaj elektrodu doğrudan toprağa bağlanarak plazma jet üretilmiştir. Şekil 3.1.e, Şekil 3.1.f, Şekil 3.1.g’ de de farklı metal ve yalıtkanlar kullanılarak farklı plazma jet üretim teknikleri görülmektedir. Şekil 3.1.f. çalışmamızda iğne elektrot plazma jet sistemi olarak anılmıştır. Şekil 3.1.g. ise çalışmamızda bakır boru kullanıldığında kullanılan sisteme benzerdir. Burada kullanılan teknikler daha çok “dielektrik bariyer deşarj (DBD)” olarak adlandırılan plazma türü ile üretilmektedir. Bu tür plazmalar dielektrik (yalıtkan) ile kaplandığı için elektrotlara yüklü parçacık kaçıışı olmadığı gibi elektrotlarda ısınma olmadığından soğuk plazma üretmek mümkündür. Her üretim tekniğinde üretilen plazma jetler farklı parçacık yoğunluğunda ve sıcaklığında plazma jetler üretmektedir.



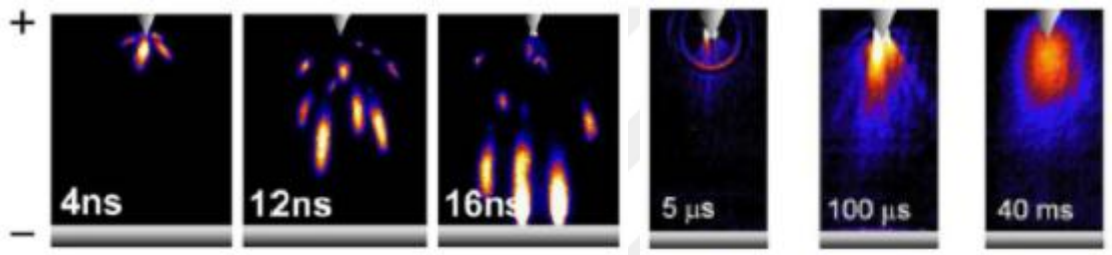
Şekil 3.1. Farklı plazma jet üretim teknikleri (Lu vd., 2012).

Yukarıda verilen herhangi bir sistemde elektrotlar arasında helyum, argon gibi atmosferik basınçta soy gaz gönderildikten sonra elektrotlara yüksek voltaj uygulanırsa dielektrik tüpün diğer ucunda plazma jet üretilir. Üretilen plazma jet bölgesinde elektrik alan yoktur. Bu nedenle klasik elektrotlar arasında oluşan gaz deşarj üretiminden farklı bir plazma oluşum fiziği gerçekleşir. Klasik elektrotlar arasında plazma üretiminde; katot ve anot olarak adlandırılan iki elektrot arasında bulunan gaza örneğin DC voltaj uygulandığında pozitif iyonlar anoda, negatif iyonlar ve elektronlar katoda doğru hareket ederler. Bu hareket süresince elektrotlar arasında meydana gelen çarpışmalar ve katottan sökülen elektron emisyonu ile elektrotlar arasında plazma oluşur. Voltajın uygulanmaya devam edilmesiyle

çarpışmalar ve elektrotlarla etkileşmeler sonucu kaybolan enerji takviye edilir. Elektrotlar arasındaki plazmadan, plazma içi reaksiyonlarla uyarılmalar sonucu oluşan fotonlar da sistem dışına çıkabilir. Elektrotlar arasına uygulanan elektrik enerjisi bu kaybı da tolere etmeye çalışır. Bu şekilde plazmanın sürekliliğini sağlanır. Başka bir deyişle elektrotlar arasına uygulanan elektrik alan, plazmanın oluşması ile birlikte var olmaya devamını da sağlar. Plazma oluşması için uygulanan voltaj breakdown voltajı (V_B) olarak adlandırılırken plazma oluştuktan sonra plazma üzerindeki voltaj plazma potansiyeli olarak adlandırılır. Plazma oluştuktan sonra plazma içinde yüklü parçacık sayısı arttığı için başka bir deyişle akım arttığı için plazma potansiyeli breakdown voltajından daha küçük değere sahiptir. Bununla birlikte plazma oluştuktan sonra elektrotlar arasındaki potansiyel katot potansiyeli, anot potansiyeli ve plazma potansiyeli şeklinde üçe ayrılır. Her bir potansiyel plazma içindeki dengelerin korunması için belirli değerlerde olur.

Plazma jet, klasik elektrotlar arasında oluşan plazmadan fizik açısından özellikle plazmanın ihtiyaç duyduğu yeterli iyonların üretimi açısından oldukça farklıdır. Plazma jet elektrotlar arasından atmosfere çıkarılan plazmadır. Bu nedenle plazma jet iki metal elektrot arasında değildir. Bu nedenle iyonlaşma elektrotlar arasına uygulanan voltaj ile sağlanmaz. Ayrıca plazmanın sürekliliği de uygulanan voltaj ile sağlanmaz. Plazma jet bölgesinde iyonların devamlılığını sağlayan bir elektrik alan yoktur. Plazma jet; daha önce elektrotlar arasında oluşmuş plazmanın atmosfer ortamına akışıdır. Bu nedenle post-deşarj ya da afterglow olarak da adlandırılır. Ancak elektrik alanın olmadığı bölgeye plazma nasıl akabilmektedir? Elektrik alan olmayan bölgede iyonlaşma nasıl sağlanmakta ve nasıl devamlılığı olabilmektedir? Bu soruların cevabı önemli fizik açıklamaları beklemektedir ve literatürde tartışmalar hala yapılmaktadır. En baskın açıklama, çığ (avalanche) iyonizasyon mekanizması ile açıklanmaktadır. Plazma jetin üst kısmında yani plazmanın üretildiği elektrotlar arasında güçlü bir elektrik alan ve bolca iyonlaşma vardır. Bu iyonlar elektrotların hemen üst ve jetin olduğu hemen alt kısma doğru iyonlaşmayı devam ettirir. Çığ (avalanche) denilen iyonlaşma süreci elektrotların civarlarında devam eder. Şekil 3.2.' de nanosaniye kamera ile alınan görüntüde bu yayılım görülebilmektedir. Şimşegin oluşma mekanizması gibi yüklü bir parçacığın hemen önündeki nötr atomu iyonlaştırıp daha sonra bu iki yüklü parçacığın yine önüne gelen diğer nötr parçacıkları devam edebildiği uzunluğa kadar iyonlaştırmasıdır. Bu nedenle çığ olarak adlandırılmaktadır. Ancak plazma jet daha çok Şekil 3.2' de görüldüğü gibi daha çok gazın çıkış noktasında yani gazın gönderildiği

borunun hemen alt kısmına daha çok çığ yapmaktadır. Gazın gönderildiği üst bölgeye doğru çok fazla iyonlaşma çığı oluşturmamaktadır. Bu basınç farklılığı ile ilgilidir. Üst kısımda gaz tankından atmosfer basıncından çok daha yüksek basınçta gaz gönderilmektedir. İyonlaşma; ortalama serbest yol ve tesir kesiti mekanizmaları nedeniyle düşük basınçta daha kolay olabilmektedir. Bu nedenle plazma jet, atmosfere yani yalıtkan borudan gazın çıktığı düşük basınç (gazın gönderildiği üst kısma nazaran) bölgesinde meydana gelmektedir. Kullanılan gaz, gaz akış hızı, elektrot dizaynı, uygulanan voltaj ve frekansı plazma jetin atmosfer bölgesinde uzunluğunu belirlemektedir. Literatürde şimdiye kadar üretilen atmosferik basınç plazma jetler 1-10 cm uzunluklarındadır.



Şekil 3.2. Plazma jetin zaman içinde yayılımı (Rya, 2016).

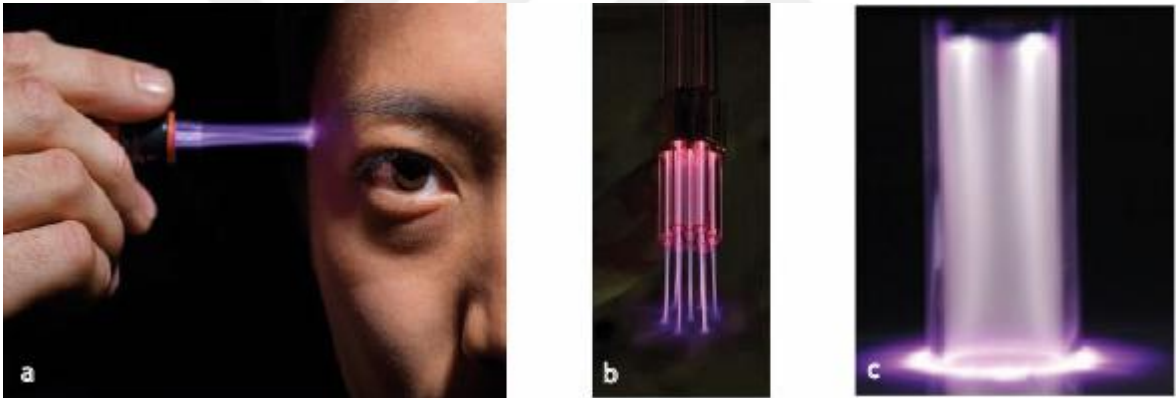
3.2. Plazma Jet Uygulamaları

Plazma jetlerin en önemli özelliği kalem şeklinde küçük ve kolayca taşınabilir olmasıdır. Uygulama sahasına kolaylıkla taşınabildiğinden, ucuz ve basit sistemler olmalarından pek çok farklı uygulama alanında kullanılabilmektedir. Plazma jet uygulamalarının teknolojide kullanımının avantajlarından biri de uygulama bölgesinde ısı enerjisi etkisi ile değil plazma jet içinde yer alan yüklü parçacıkların uygulanacak yüzeye kimyasal ve elektriksel etkileşim içine girmesidir. Özellikle oda sıcaklığı kadar soğuk üretilen plazma jetler insan hayatı içinde tıpta çok fazla kullanım alanı bulmaktadır. Bu bölümde literatürde gerçekleştirilen plazma jet uygulamalarına yer verilmektedir.

3.2.1. Plazma jet tıp

Plazmalar ürettikleri ısı etkisi, yüklü parçacık etkisi, elektrik alan etkisi, UV etkisi, radikal parçacıkların ve uyarılmış atom/moleküllerin kimyasal etkisini biyolojik hücreler (BH) üzerine aktarmaktadırlar. Atmosferik basınçlarda plazma üretmek, uygulama alanını

genişlettiği gibi *in situ*, *in vitro* ve *in vivo* uygulama yapılabilmektedir. Atmosferik basınçlarda üretilen plazmalar BH üzerine üç farklı şekilde uygulanmaktadırlar. BH, “*doğrudan (direk)*” atmosferik basınç plazmasının içine sokulabildiği gibi “*uzaktan (indirek)*” atmosferik basınç plazmasına maruz bırakılabilirler. Üçüncü yöntem ise “*hibrid*” uygulamadır. “*Doğrudan*” uygulamalarda BH, plazmanın üretildiği elektrotlar arasına sokulduğu için elektrotlar arasında oluşan güçlü elektromanyetik alanla da etkileşmektedir. Bu durumda plazma içinde üretilen yüksek enerjili yüklü parçacıklar da BH üzerinde önemli etkiler yapmaktadır. “*Uzaktan (indirek)*” yani **plazma jet** ile plazma uygulamalarında; ayrı bir bölgede elektrotlar arasında üretilen plazma, BH’lerin bulunduğu bölgeye akıtılır. şekil 3.3.’de böyle sistemler verilmiştir. Daha büyük hacimlere uygulama yapabilmek için plazma jet sistemleri şekil 3.3.b’deki gibi çoklu üretilebileceği gibi şekil 3.3.c’deki gibi daha büyük hacimlerde de üretilebilir.



şekil 3.3. a) Atmosferik basınç soğuk akan plazma jet, b) atmosferik basınç çoklu soğuk akan plazma jet, c) atmosferik basınç büyük hacim soğuk akan plazma jet (Akan, 2014).

Atmosferik basınçlarda üretilen sistemler ekonomik ve basit olmalarının yanında taşınabilir sistemler oldukları için ve özellikle uygulama bölgesine getirilebildikleri için tıp uygulamalarında daha çok tercih edilmektedir. Örneğin soğuk akan plazma jet, kolaylıkla bir insanın ağzına getirilebilir ve hatta istenilen diş üzerinde uygulama yapılabilir. Ayrıca farklı endoskopik cihazlar yardımıyla canlı vücudu içinde istenilen bölgeye uygulama yapılabilir. “*Uzaktan*” plazma uygulamalarında; elektrotlar arasında üretilen plazma, elektrotlar arasından uzaklaştırıldığı için üretilen plazmanın özellikleri de değişmektedir. Bu durumda BH üzerine gönderilen plazmalar neredeyse hiç yüklü parçacık içermemektedir. Bu nedenle özellikle plazma içindeki iyonların uygulanan yüzey üzerinde aşırı yok edici etkilerinden korunulmaktadır. Ayrıca elektrotlar arasındaki yüksek elektrik alanının etkisinden

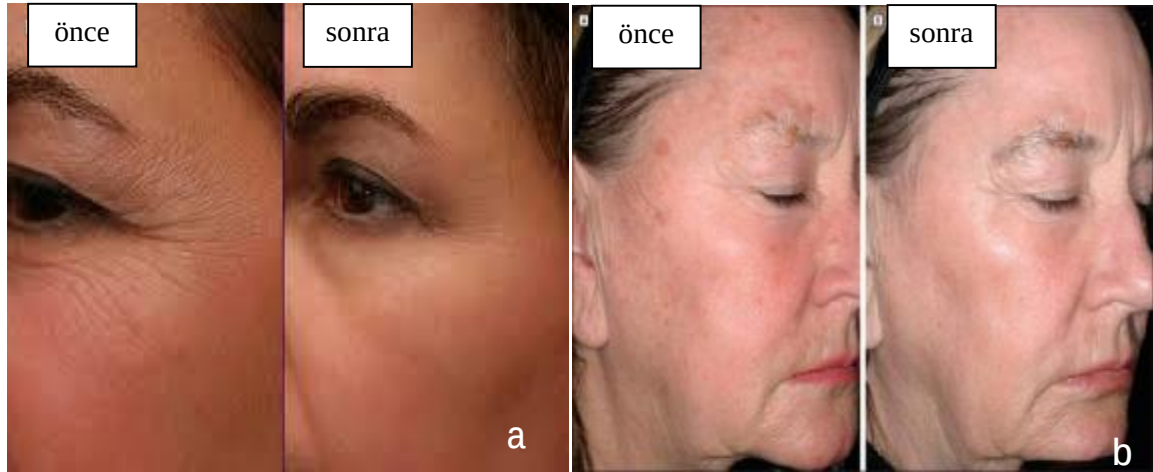
de korunulmuş olunmaktadır. Bu nedenle “*uzaktan*” plazma uygulamalarında BH üzerine sadece radikal parçacık ve foton etkisi olmaktadır.

Sıcak ve soğuk plazmalar, prokaryot (bakteri gibi basit yapıli hücreler) ve ökaryot (insan hücresi gibi gelişmiş hücreler) hücreler üzerine farklı etkiler yapmaktadır. Plazmalar, prokaryot ya da ökaryot BH üzerine genel olarak aşağıda detaylıca açıklanan beş etkiyi oluşturmaktadırlar. Bu etkiler prokaryot hücrelerde genel olarak hücre zarının yırtılması, DNA zincirlerinin bozulması ve protein yapısının bozulması şeklinde olmaktadır. Ökaryot hücrelerde ise hücre bölünmesi ve belirli koşullarda apoptozis (parçalanarak hücre ölümü) ya da nekroz (hücre zarı yırtılarak zarar görmesi ve iltihaplanmanın başlaması) şeklinde sonuçlanmaktadır. 50 mW/cm² ve 1 s gibi kısa uygulama dozlarında nekroz ve apoptozis gözlenmezken, 0.2 W/cm² ve 10 s gibi yüksek dozlarda nekroz başladığı ve ara değerlerde apoptozis başladığı gözlenmiştir (Akan, 2014).

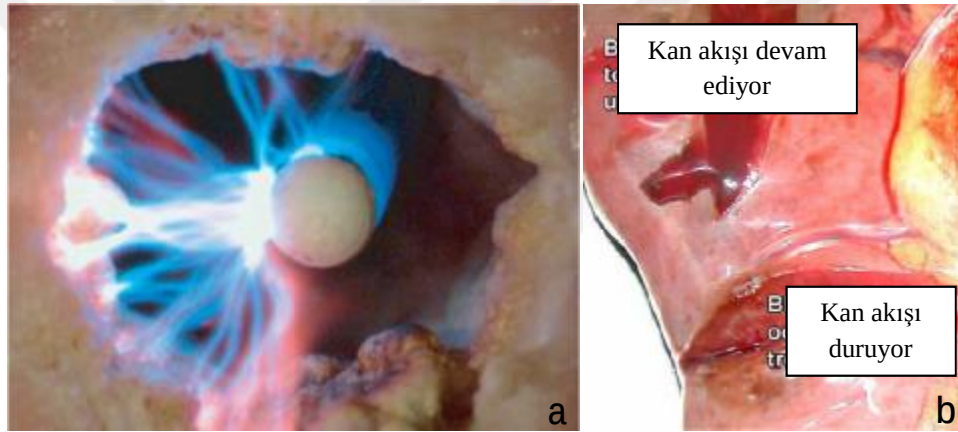
Soğuk plazmalar içindeki parçacıkların canlı doku üzerinde farklı etkileri farklı uygulamaları beraberinde getirmiştir. Soğuk plazma jetler, yara ve yanık tedavisi (Şekil 3.4.), cilt yenileme ve sivilce-leke temizleme (Şekil 3.5.), kan pıhtılaştırma ve yara kapatma işlemlerinde (Şekil 3.6.) başarıyla uygulanmıştır.



Şekil 3.4. Soğuk plazmalar ile yara-yanık tedavisi (Akan, 2014).



Şekil 3.5. a) Soğuk plazmalar ile cilt yenileme, b) cilt leke temizleme (Akan, 2014).



Şekil 3.6. a) Vücut içinde soğuk plazma uygulaması, b) kanın pıhtılaştırılması ve kan akışının durdurulması (Akan, 2014).

Soğuk plazmaların kan üzerinde uygulamalarında ise trombositleri aktive ettiği ve fibroblast çoğalımını arttırdığı gözlenmektedir. Bununla birlikte kanın pH seviyesi değişmekte ve Ca^{+2} iyonları daha fazla serbest hale geçtiği için kanın pıhtılaşması meydana gelmektedir. Bu nedenle yara iyileştirmede ve açık yaradan kan akışını durdurma uygulamalarında kullanılmaktadır.

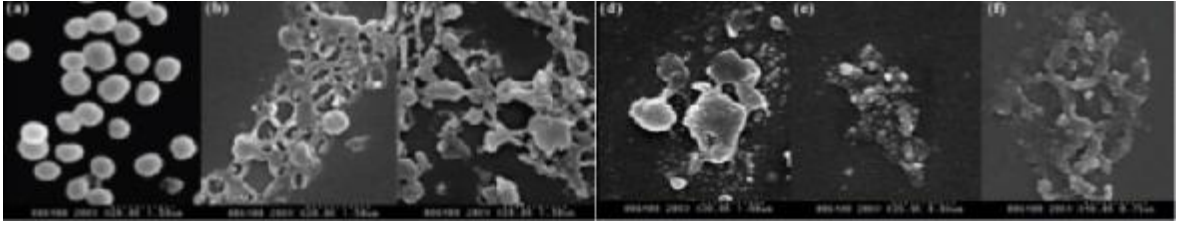
Plazmalar farklı üretim teknikleri ve farklı uygulama dozlarında canlı hücreler üzerinde insan sağlığını tehdit eden birçok hastalığın tedavisinde uygulanmaya başlanmıştır. Aşağıda plazmaların tıp alanında kullanıldığı diğer birçok alan ve tedavi listelenmiştir.

1. *Pulmonoloji*; akciğer iltihabı tedavisi, 2. *Fitizyoloji*; plörezi, tüberküler bronşit tedavisi, 3. *Travmatoloji ve Ortopedi*; kemik iliği iltihabı ve buna bağlı yaraların iyileştirilmesi, 4. *Jinekoloji*; rahim bölgesi iltihap ve yara tedavisi, yumurtalık dahil bu bölgelerin bakteriyel sterilizasyonu, 5. *Diş Hekimliği*; diş eti iltihabı tedavisi, diş eti kanaması durdurulması, periyodont uygulaması, 6. *Ağız Cerrahisi*; keloit, flegmon ve apse tedavisi ve bakteriyel temizlik, 7. *Oftalmoloji*; kornea yaralanmaları tedavisi, yanık tedavisi ve bakteriyel temizlik, 8. *Kulak-Burun-Boğaz*; bademcik iltihabı tedavisi, burun iltihabı tedavisi, sinüzit tedavisi ve bakteriyel temizlik, 9. *Dermatoloji*; sedef hastalığı, egzama, Kutanoz Leishmaniasis (şark çıbanı), damar iltihabı tedavisi, deri üzerindeki ülserik bölge iyileştirilmesi ve bakteriyel temizlik, 10. *Gastroenteroloji*; ağız, onikiparmak bağırsağı ve bağırsak çıkışlarındaki erozyon ve kronik ülser tedavisi, karın zarı iltihabı tedavisi ve bakteriyel temizlik, 11. *Genel Cerrahi*; kanın durdurulması, pıhtılaştırılması ve açık yaranın dikişsiz birleştirilmesi, bakteriyel sterilizasyonu, 12. *Onkoloji*; kanser tedavisi (Akan, 2014).

Plazmaların ve plazma jetlerin biyomedikal uygulamaları da bulunmaktadır. Birincisi; daha çok sıcak plazmalar kullanılarak yeni tür malzemelerin üretimi yapılmaktadır. Örneğin yeni tip damar içi borular (stand) elmas tipi karbon (diamond like carbon) ile kaplanmaktadır. Bu tür malzemeler sıcak plazma materyal işlemleri ile üretilmektedir. Bununla birlikte bir çok protez sıcak plazma işlemleri ile üretilmektedir. Soğuk Plazma kaplama işlemleri ile de yeni tür medikal malzeme ve cihazlar üretilmektedir. Gerek sıcak gerekse soğuk plazmalarla üretilen malzemeler çok düşük sürtünmeli yüzeylere sahip olduğu için kan akış hızını arttırmakta ve vücut içi uyumluluğu iyi olmaktadır.

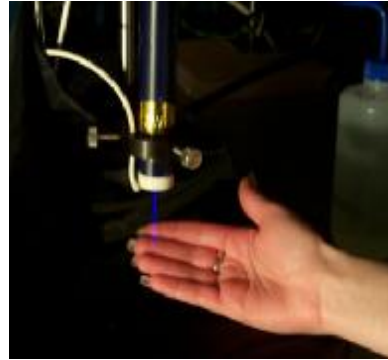
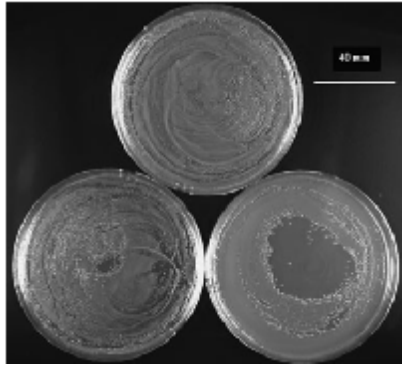
3.2.2. Plazma jet sterilizasyon

Soğuk ve Sıcak Plazmaların gram pozitif ve gram negatif bakteri, mantar, virüs, spor gibi farklı parazit ve patojen birçok mikroorganizmayı etkisiz hale getirici ve yok edici etkileri kanıtlanmıştır. Şekil 3.7' de oda sıcaklığı kadar düşük sıcaklıkta soğuk plazma ile uygulama yapılmış MRSA bakterilerinin elektron mikroskobu görüntüleri verilmiştir. Şekil 3.7a' da ise uygulama yapılmamış (kontrol) bakterilerin elektron mikroskobu görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.7. MRSA bakteri hücreleri üzerine plazmaların etkisi. a.) plazma uygulanmamış bakteri (kontrol), b.) 1 saniye, c.) 2 saniye, d.) 3 saniye, e.) 4 saniye ve f.) 5 saniye soğuk plazma ortamına maruz kalan MRSA bakterilerinin elektron mikroskobu görüntüleri (Akan, 2014).

Şekil 3.7.' den görüldüğü gibi neredeyse hiç ısı etkisi üretmeyen soğuk plazma, bakterilerin dış yapısını tümüyle değiştirmektedir. Uygulama zamanı arttıkça bakteriler tamamıyla yok olmaktadır. Bakterilerde, soğuk plazma içinde yüklü parçacık etkisi, radikal parçacık etkisi ve UV etkisi gibi soğuk plazmanın ürettiği sinerjik etki ile değişim ve ölüm meydana gelmektedir. Şekil 3.8.a' da petri kabında kültürlenmiş *Escherichia coli* bakterilerinin elle dokunulabilecek kadar soğuk plazma jet sistemiyle (Şekil 3.8.b) zaman içinde yalnızca uygulandığı bölgede yok edildiği görülmektedir. İlk petri kabı plazma uygulanmamış kontrol kabıdır. Alt soldaki 30 s ve alt sağdaki 120 s soğuk plazma jet uygulanmış *Escherichia coli* bakterilerinin bulunduğu petri kaplarını göstermektedir.



Şekil 3.8. a.) Petri kabında *Escherichia coli* bakterilerinin 30 s ve 120 s.saniye sonra lokal olarak yok edilmesi, b.) el ile dokunulabilecek kadar soğuk plazma jet (Akan, 2014).

Neredeyse hiç ısı etkisi üretmeyen soğuk plazmaların bakteriler üzerinde yok edici etkisi yepyeni bir yöntemdir. Bu yöntem kimyasal yöntemlerle sterilizasyon tekniklerinden de çok farklıdır. Kimyasal yöntemler, zararlı kimyasal atıklar ürettiği için hem kullanıcıya zararları vardır hem de uygulama yapıldıktan sonra uygulama sahası uzun süre

havalandırılmalıdır. Bu hem vakit hem de iş gücü kaybıdır. Soğuk plazmalar doğrudan insanlara dahi uygulandığında uygulama yöntemi ve uygulama dozajı doğru seçildiğinde ne fiziksel nede kimyasal bir zarar oluşturmamaktadır. Bu nedenle insan üzerindeki bakterilerin sterilizasyonunda dahi kullanılmaktadırlar.

Soğuk plazmalar ile son derece kısa uygulama zamanlarında farklı türde bakteriler öldürülebilmektedir. Soğuk plazmalar oda sıcaklığı kadar düşük sıcaklıkta plazma ürettikleri için bakterilerin kendisine veya bakterilerin olduğu ortama sıcaklık etkisi aktarmamaktadırlar. Bu nedenle ısıya hassas ortamların sterilizasyonunda önemli bir metot olmaktadır. Son yıllarda polimer tabanlı (çabuk eriyen) tıbbi elektronik cihazların sterilizasyonu son derece önemli olmaktadır. Örneğin insan vücudu içinde hareket eden mikro kameralar, veya diğer pahalı tıbbi cihazlar bir hastada kullanıldıktan sonra diğer bir hasta üzerinde steril edilemediği için kullanılamamaktadır. Bugünkü teknolojide tıbbi gereçler yüksek ısı fırınları ile sterilizasyon yapılmak istenmektedir. Bu şekilde yüksek ısı fırınlarında steril edilemeyen pek çok tıbbi, askeri, biyomedikal cihazlar soğuk plazmalar ile steril edilebilmektedir. Plazma ile sterilizasyon ayrıca herhangi toksik atık ya da radyasyon etkisi yapmamaktadır. Ayrıca maliyet açısından da oldukça ekonomiktir. Bununla birlikte bugün kullanılan klasik sterilizasyon teknikleri ile kolayca öldürülemeyen mikroorganizmalar da plazma ile öldürülebilir. Örneğin deli dana hastalığına sahip olan bir et yüksek ısılarda dahi pişirilse ölmemektedir. Ancak plazma ile kısa sürede öldürülebilmektedir. Kuş gribi, sars virüsü ve şarbon gibi insanlığı tehdit eden biyolojik silah etkisi gösterebilecek durumlarda da soğuk plazmalar kullanılabilir.

Şimdiye kadar idrar enfeksiyonu ve mide iltihabına neden olan *Escherichia coli*, zatüreye sebep olan *Klebsiella pneumoniae*, kan dolaşımı enfeksiyonuna sebep olan *Enterobacter aerogenes*, ve tifoya sebep olan *Salmonella typhimurium* gibi gram negatif bakteriler ve yiyecek zehirlenmesine neden olan *Bacillus subtilis*, menenjitte sebep olan *Streptococcus agalactiae*, ve sinüzite sebep olan *Streptococcus pneumoniae* gibi gram pozitif bakteriler üzerine plazma uygulandığında bu bakterilerin neredeyse 5-10 saniye gibi kısa süreler içinde tamamıyla steril edildiği görülmüştür. Mikrobiyolojide bakteriler gram pozitif ve gram negatif olarak sınıflandırılabilir. Bununla birlikte bakteriler; virüs, mantar, maya, prion gibi çok farklı mikroorganizmaların bir alt sınıfıdır. Soğuk plazmaları kullanarak bu farklı mikroorganizmalarla ilgili başarılı çalışmalar yapılmıştır. Plazmaların

virüsler üzerindeki öldürücü etkisi tümüyle gerçekleştirildiğinde AIDS virüsü gibi insanlığın geleceğini tehdit eden pek çok virüse karşı tedavi de üretilmiş olacaktır. Bakterileri en genel olarak spor üreten ve spor üretmeyen bakteriler olarak da iki gruba ayırabiliriz. Spor üreten bakteriler, hücrelerinin etrafına son derece güçlü koruyucu bir çeper yaparlar ve çok güç koşullarda dahi yaşayabilirler. Bu nedenle spor üreten bakterilerin öldürülmesi oldukça zordur, hatta kimisi için bugünkü tekniklerle mümkün değildir. Uzun süre normal koşullarda yaşayabilmeleri nedeniyle de biyolojik silah yapımında tercih edilirler. Örneğin şarbon (*Antraks*) bu nedenle biyolojik silahın önemli bir ajanı olmaktadır. Şarbon etkeni gösteren bakteri *Bacillus anthraxis* üzerine plazmalar uygulanarak yapılan testler başarı göstermiştir ve plazmaların bu bakterileri öldürdüğü görülmüştür. Bununla birlikte şarbon gibi biyolojik silah ajanı olabilecek Malta Humması Etkeni; *Brucelloz*, Kolera Etkeni; *Vibrio Cholera*, Gazlı Gangren Etkeni; *Clostridium perfringens*, Tifo Etkeni; *Salmonella typhi*, Ruam Hastalığı Etkeni; *Pseudomonas mallei*, Veba Etkeni; *Yersinia pestis*, Çiçek Hastalığı Etkeni; *Smallpox virüs*, Konserve zehiri; *Botulinum* toksinleri, Sıtma Etkeni; *Plasmodium vivax* gibi mikroorganizmalar üzerinde plazmaların uygulanması yapılmıştır. (Akan, 2007)

Soğuk plazmaların ökaryot hücreler üzerinde belirli bir doza kadar nekroz ve apoptozis yapmadığı gözlenmiştir. Bununla birlikte özellikle cilt üzerinde neredeyse hiçbir zararı bulunmamaktadır. Bu nedenle yukarıdaki bir çok bakteri insan üzerinde bulunduğu da steril edilebilir. Bu özellikle hastane, okul, kreş ve uçaklarda çok önemli bir uygulama olacaktır. Bununla birlikte yine üretilen plazma türü ve uygulama dozuna göre kan bankalarında depolanan kanlar ve insan vücudundaki kanın sterilizasyonu söz konusu olmaktadır. Organ naklinde kullanılan organların da sterilizasyonu yapılabilir. Bununla birlikte gelecekte bekli de vücut içinde hiçbir antibiyotik kullanmadan bakterilerin sebep olduğu rahatsızlıklar tedavi edilebilecektir.

3.2.3. Plazma jet diş tedavisi

Diş hekimliğinde dental çukurlar (kaviteler) oldukça büyük problemlerdir. Diş içindeki bu çukurlar lazer teknikleriyle veya mekanik diş matkaplarıyla temizlenebilir ancak her iki metotta da ısınma veya titreşim oluşumu gerçekleştirebilmekte ve bu durum hasta için acı verici olabilmektedir. Dişlerin çürümesine neden olan bakterileri plazma ile ağrısız ve daha verimli bir şekilde yok edecek tedavi yöntemlerinden biri de yakın zamanda geliştirilen

plazma jetlerdir. Diş çürükleri tedavisi normalde dişçi matkabıyla yapılırken, yapılan araştırmalarda, dentin tabakasına (dişin mine tabakasının altında yer alan tabaka) düşük sıcaklıkta plazma göndererek bakteri miktarlarını on binde birine kadar indirilebildiği açıklanmıştır. Şekil 3.9.’ da plazma jetlerin diş çürüğü tedavilerinde kullanımı görülmektedir.



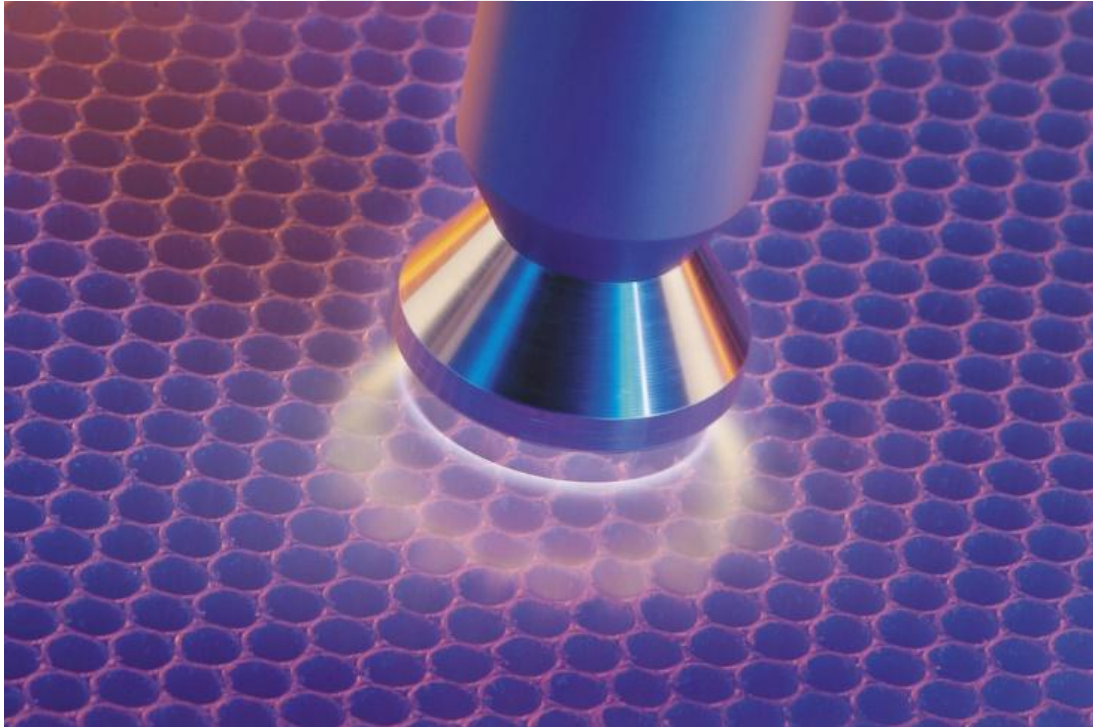
Şekil 3.9. Bir atmosferik basınç soğuk plazma jeti olan “Plasma Needle” uygulaması (Sladek, 2006).

Plazma jetini yaygın ağız patojenlerine (*Streptococcus mutans* ve *Lactobacillus casei*) karşı deneyen araştırmacılar, bu bakterilerin diş minesinin üzerinde bir film tabakası oluşturup mineyi aşındırarak dentin tabakasına ulaştıklarını ve çürüklere yol açtıklarını belirtmişlerdir. Araştırmayı gerçekleştirmek için, insan azı dişlerinden elde ettikleri dentin tabakaları dört tür bakteriyle hastalandırılmıştır. Bu bakterilerin oluşturduğu, tedavi edilmediğinde hastanın acı çekmesine, dişin kaybına ve ciddi diş eti rahatsızlıklarına neden olan çürüklere, 6, 12 ve 18 saniyelik sürelerle plazma jeti uygulayan araştırmacılar, süre uzadıkça yok edilen bakteri miktarının arttığını gözlenmiştir. Ortalama 40 °C dolaylarında çalışan soğuk plazmaların dişçilikte kullanılmaya elverişli olduğuna değinen birçok araştırmacı, düşük sıcaklık sayesinde mikropları öldürürken sinir sistemi ve kan dolaşım sistemine bağlı olduğundan sıcaklığa karşı hassas olan dişleri koruyabildiklerini belirtmişlerdir (Dallı, 2013). Diş matkabı ile temizlemeye göre acısız ve verimli olan plazma jeti temizleme yönteminin yakın gelecekte cerrahi diş tedavi uygulamalarında kullanılmaya başlayabileceği düşünülmektedir.

3.2.4. Plazma jet yüzey temizleme

Atmosferik basınç soğuk plazma jet kullanılarak yüzey üzerinde kuru plazma temizliği, malzemelerin işlenmeye devam edebilmesini ve uygulamanın ekonomik bir süreç olmasını sağlar. Plazmanın yüksek enerji düzeyi sayesinde malzemenin yüzeyindeki kimyasal veya organik maddelerin yapıları seçici olarak kırılabilir. Hassas temizlik sayesinde hassas yüzeyler bile istenmeyen işlem artıklarından tamamen temizlenebilir. Bunun sonucunda sonraki işlemler için en iyi koşullar elde edilir.

Mikro hassasiyetle yapılan bu işlem, katkı maddelerinden dolayı materyallerin yüzeylerine sıkıca tutunmuş olan en küçük toz zerrecelerini bile temizleyebilme özelliğine sahiptir. Bu yöntemle materyale zarar vermeden istenmeyen partiküller materyal üzerinden uzaklaştırılmış olur. Şekil 3.10.' da plazma jet kullanılarak gerçekleştirilen yüzey temizleme işlemi yer almaktadır.



Şekil 3.10. Petek desenli bir panel üzerinde yüzey temizleme işlemi (Anonim, 2016).

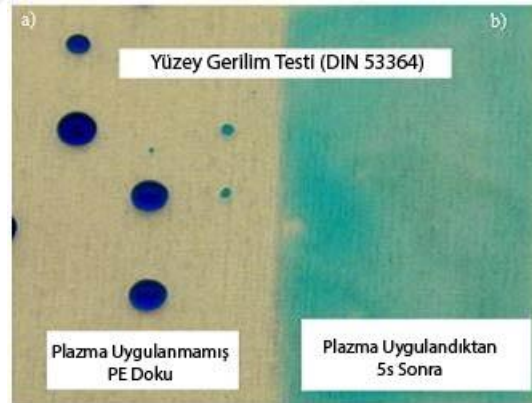
Plazma jetler kullanılarak gerçekleştirilen bu uygulama özellikle yapıştırma işlemlerinde çok önemlidir. Yapıştırılacak iki yüzey eğer plazma ile temizlenirse yapıştırma

ömrü çok daha uzun olmaktadır. Yüzeyler arasındaki kirlilik atomları, yapışma ömrünü azaltmaktadır (Dallı, 2013).

3.2.5. Plazma jet yüzey aktifleştirme

Materyallerin uzun işlem süreçlerinde kaplandığı, boyandığı veya yapıştırıldığı her yerde giriş malzemelerinin seçici yüzey aktivasyonu kaçınılmazdır. Pek çok malzeme, su bazlı mürekkep ile baskı, uçucu organik bileşen içermeyen yapıştırıcılarla uzun ömürlü yapıştırma veya kompozit malzeme oluşturma için gerekli olan yüzey gerilimine sahip değildir.

Plazma ile yüzey aktivasyonu uzun polimer zincirlerinden oluşan plastikler gibi apolar malzemelerin işlenmesi gerektiğinde çok etkilidir. Bu tür apolar yüzeyleri yapıştırmak ve kaplamak zordur. Yüzey geriliminin plazma enerjisiyle modifiye edilmesiyle malzemeler daha kolay işlenebilir. Örneğin yapıştırma sürecinde yeni malzeme bileşimleri elde edilebilir. Şekil 3.11.' de plazma ile yapılan yüzey aktivasyonuna bir örnek verilmiştir.

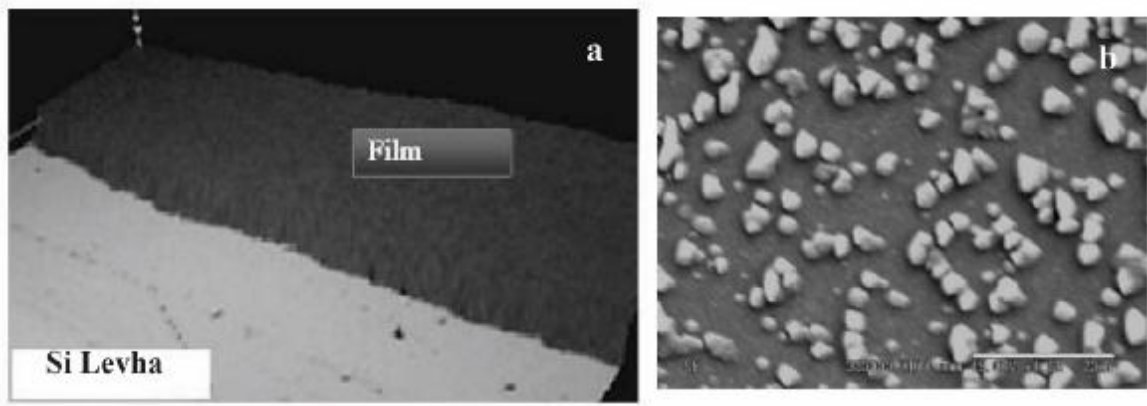


Şekil 3.11. Plazma ile yapılan yüzey aktivasyonu a) plazma uygulanmamış yüzey, b) plazma uygulanmış yüzey (Bárdos ve Baránková, 2010).

Şekil 3.11.' den anlaşılacağı gibi plazma uygulanan materyal yüzeyinin yüzey gerilimi artırılarak üzerine uygulanan maddenin yüzeye daha sıkı ve homojen olarak dağılması ve tutunması sağlanmıştır (Şekil 3.11. (a)). Benzer şekilde plazma uygulanmayan yüzeyde ise yüzey gerilimi zayıf kalmış ve uygulanan madde damlacıklar halinde heterojen bir şekilde yüzeye dağılmıştır (Şekil 3.11 (b)).

3.2.6. Plazma jet kaplama

Plazma jetler, kimyasal kullanılmaksızın çevreye dost ve düşük maliyetli yüzey işlemi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca son yıllarda atmosferik basınçta plazma jetler ile yüzey kaplama işlemleri de gerçekleştirilebilmektedir. Bu işlemde kaplanacak olan malzeme plazma jete maruz bırakılmakta ve plazmanın oluştuğu uç kısma ise kaplanması istenen çözeltinin buharı gönderilmektedir. Çözelti buharı plazma jet ile yönlendirilerek malzeme üzerinde bir film tabakası oluşturmaktadır. Şekil 3.12.' de silisyum levha üzerinde oluşturulmuş bir ince film ve SEM görüntüsü yer almaktadır.

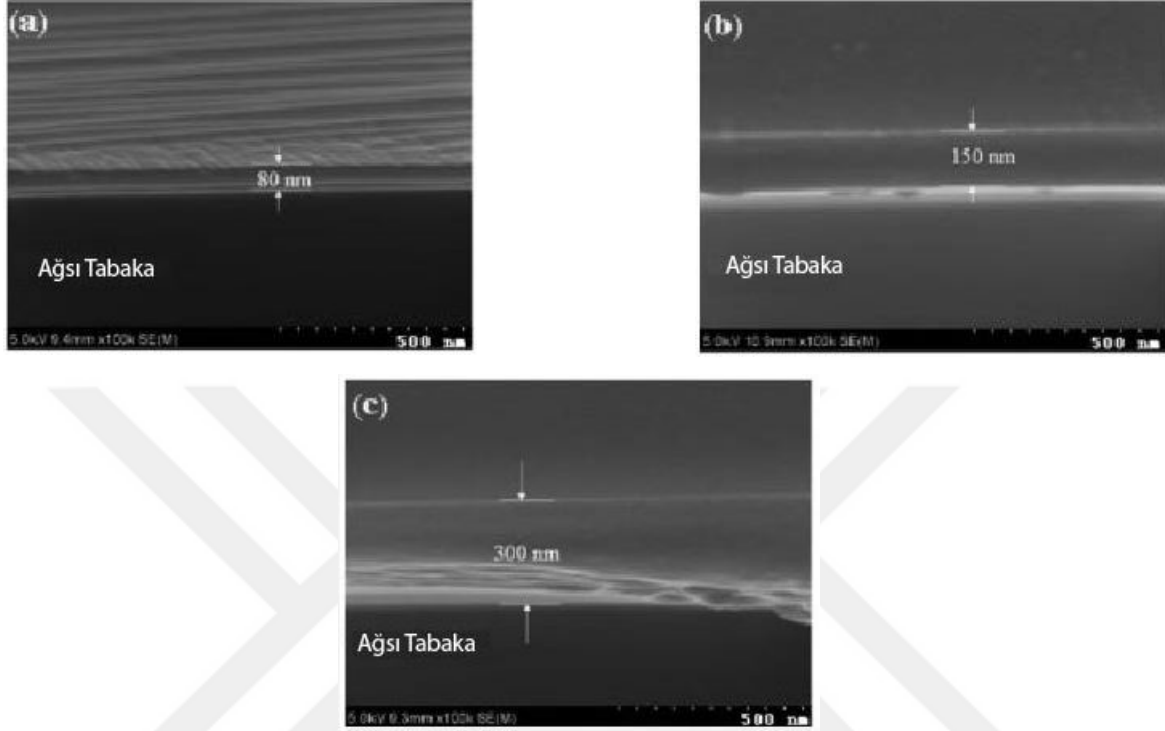


Şekil 3.12. Ar plazması ile $O_2/HMDSO$ karışımının silisyum yüzey üzerine kaplanması a) ince film, b) ince filmin SEM görünümü (Kasih vd., 2007).

3.2.7. Plazma jet polimer

Yapısından birçok molekülün bir tek molekül gibi bulunduğu bir bileşik olan polimerler çok uzun zincirli moleküllerdir. Polimerler üretim maliyetlerinin oldukça düşük olması ve kolayca şekil almaları nedeniyle pek çok alanda kullanılmaktadırlar. Laboratuvar ortamında üretimi gerçekleştirilen yapay polimerler günümüzde birçok sanayi ürününün oluşturulması ve üretilmesinde kullanılmaktadır. Sanayi ürünlerinde, PVC (poli vinil klorür) ve PU (poli üretan) en çok karşılaştığımız polimerlerdendir. Yüksek sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında yumuşayabilir ve işlenebilir hale gelebilirler. Soğutuldukları anda ise amaca uygun olarak istenilen şekilde sertleştirilebilirler. Bu süreç tekrarlanabilir bir süreç olduğundan polimer malzemeler defalarca şekillendirilebilirler. Şekil 3.13.' de polimer malzeme üzerine gerçekleştirilen çalışma verilmiştir. Şekil 3.13.' de oda sıcaklığında plazma

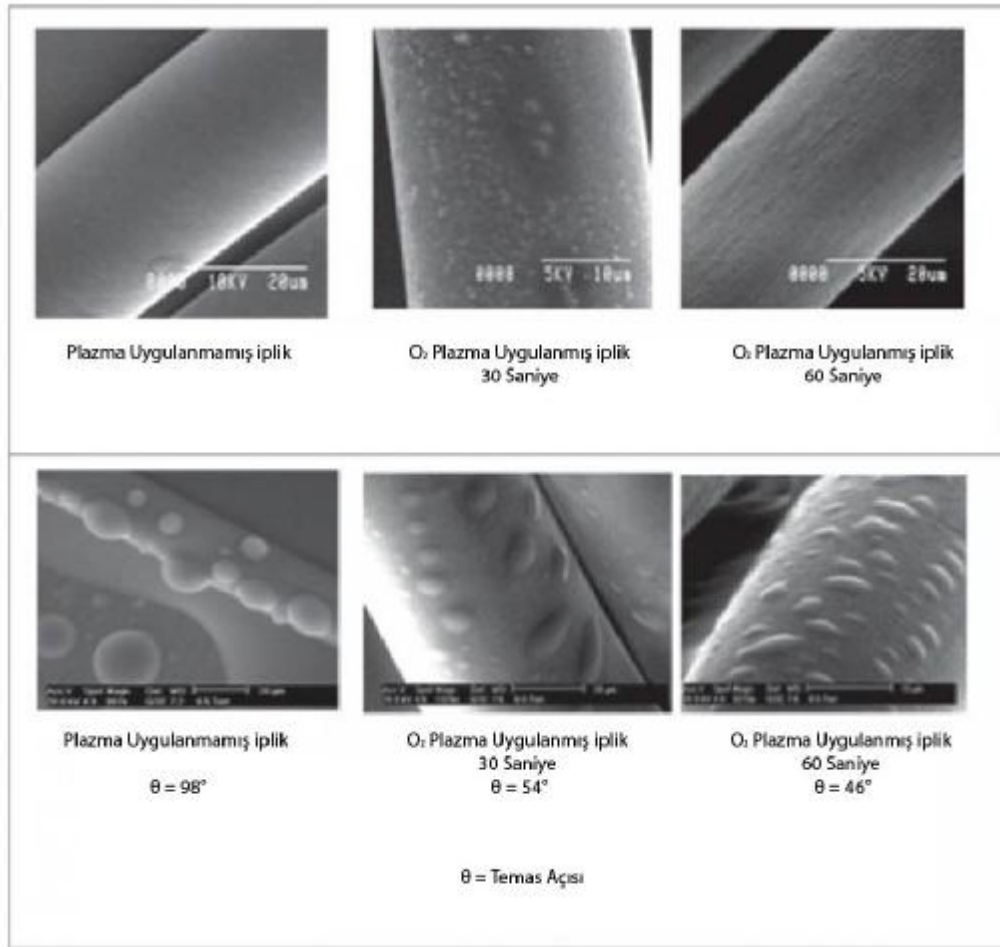
jet sistemi kullanılarak polimer üzerinde nano boyutlarda oluşturulan ağsı yapılar yer almaktadır.



Şekil 3.13. Uygulanan güce bağlı ((a) 90, (b) 100 (c) 110W) olarak polimer yapı üzerine ağsı fiber katmanlarının oluşturulması (Chen vd., 2011).

3.2.8. Plazma jet tekstil

Plazma jetlerin kullanım alanlarından birisi de tekstil sektörüdür. Tekstilde kullanılan standart kumaşlar (basma, etamin, kot, vb.), pamuklu kumaşlar (saten, astragan, kaşmir, vb.), koton ve polyester gibi kumaş türleri üzerine plazma jetler ile uygulama yapılarak kumaşın özelliklerinde değişimler meydana getirilebilmektedir. Özellikle boyanmak istenilen kumaşlarda boyanın kumaşa daha iyi tutunması için sıklıkla kullanılır. Şekil 3.14’ de plazma jet uygulaması sonucu tekstil yüzeyinde meydana gelen değişim görülmektedir.

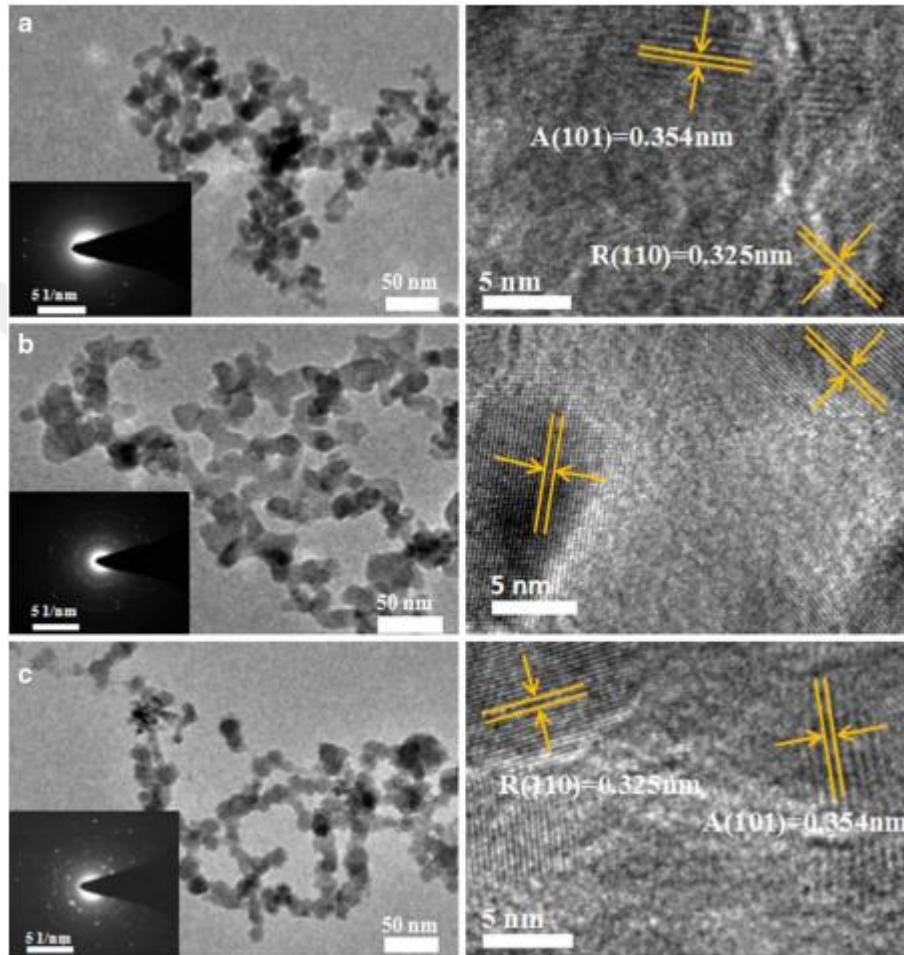


Şekil 3.14. Plazma jet tekstil uygulaması (Anonim, 2008).

3.2.9. Plazma jet kimya

Fizik ile Kimya biliminin iç içe olduğu plazma fiziği alanında, günümüzde materyal sentezi işlemlerinde plazma jet sistemleri kullanılmaktadır. Plazma jetler sayesinde yeni ve farklı özelliklere sahip materyallerin üretimi mümkün olmaktadır. Sol – Gel, fiziksel buhar biriktirme (PVD), kimyasal buhar biriktirme (CVD), hidrotermal metotlar gibi bilinen üretim yöntemlerinde materyal üretimi esnasında çok yüksek reaksiyon sıcaklıkları oluşabilmektedir. Ayrıca bu tür üretimlerde yüksek enerji ve zaman harcanması söz konusudur. Üretim için kullanılan bir diğer yöntem de plazma destekli kimyasal buhar biriktirme (PECVD) tekniğidir. Bu teknikte, plazma içerisinde yer alan elektron ve nötrallerin sıcaklığı 3000 K' den daha fazla olduğundan genellikle metalürji sektöründe kullanılmaktadır. Atmosfer basıncında üretilen plazma jet sistemlerinde ise sıcaklık değeri 300 – 500 K arasında olup, vakum ortamı gibi bir kısıtlama söz konusu değildir. Bu sebeple

yeni materyal üretiminde atmosfer basıncında plazma jetlerin üretimi tercih edilmektedir. Şekil 3.15.' te kimya alanında karışık fazlı TiO_2 nano – tozlarının atmosferik basınç plazma jet sistemleri kullanılarak oluşturulması ve güç kaynağının üç farklı değerinde üretilen materyalin TEM, SAED ve HRTEM görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 3.15. a) 90 W, b) 100 W, c) 110 W’ da gerçekleştirilen TiO_2 nanotozlarının üretimi (Wang vd., 2016).

Sıcak ve soğuk plazmalar, “plazma kimyası” olarak bilinen teknolojiye oldukça verimli kullanılmaktadırlar. Örneğin birçok fabrika bacalarına kurulan plazma sistemlerinde, zararlı gazlar plazma reaksiyonları ile zararsız hale getirilmektedir. Petrokimyada da benzer çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin bir metan gazı plazma haline getirilerek asetilen gazı üretilmektedir. Bu işlemlerde plazma içinde meydana gelen reaksiyonlardan yararlanılmaktadır. Bu şekilde plazmalar, kimya alanında da yaygınca kullanılmaktadırlar. Farklı materyallerin plazmaları üretilerek farklı özelliklerde ilaç ve kozmetik ürünleri üretilmektedir. Plazmaların kimyasal özellikleri değiştirerek yeni ürünler üretilmesinin

yanında ilaç ve tedavi uygulamalarında çok farklı bir kullanımı daha vardır. Bu uygulamada özellikle mikro plazma ve nano-elektrotlu puls voltajlar kullanarak kimyasal maddenin hücre içine transferi sağlanmaktadır. Bu şekilde hastanın istenilen doku veya hücrelerine istenilen madde sokularak tedavisi sağlanmaktadır. Plazma jet ile kimyasal yapı değişimi için Murat Tanışlı ve Erol Taşal makalesi incelenebilir (Taşal ve Tanışlı, 2016).

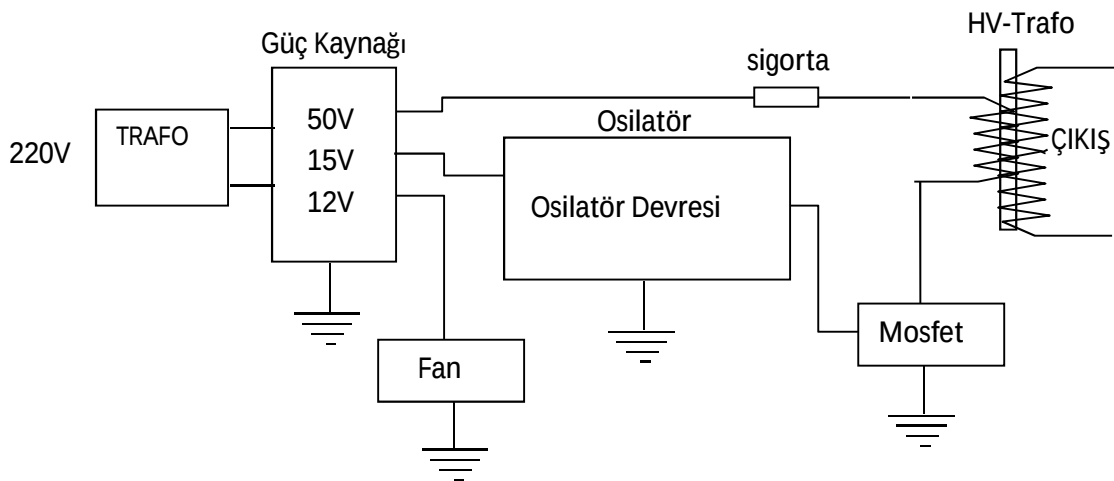


4. MATERYAL VE YÖNTEM

Argon plazma jet üretiminde kendi imalatımız alternatif akım güç kaynağı kullanılmıştır. Uygulama voltajı ve uygulama frekansı değiştirilebilme özelliği bulunsada bu çalışmada 18 kV ve 15 kHz frekans üretilmek istenen deşarj sistemlerine sabit uygulanmıştır. Kullanılan güç kaynağımızın fotoğrafı Şekil 4.1.' de, devre tasarımı ise Şekil 4.2.' de verilmiştir.

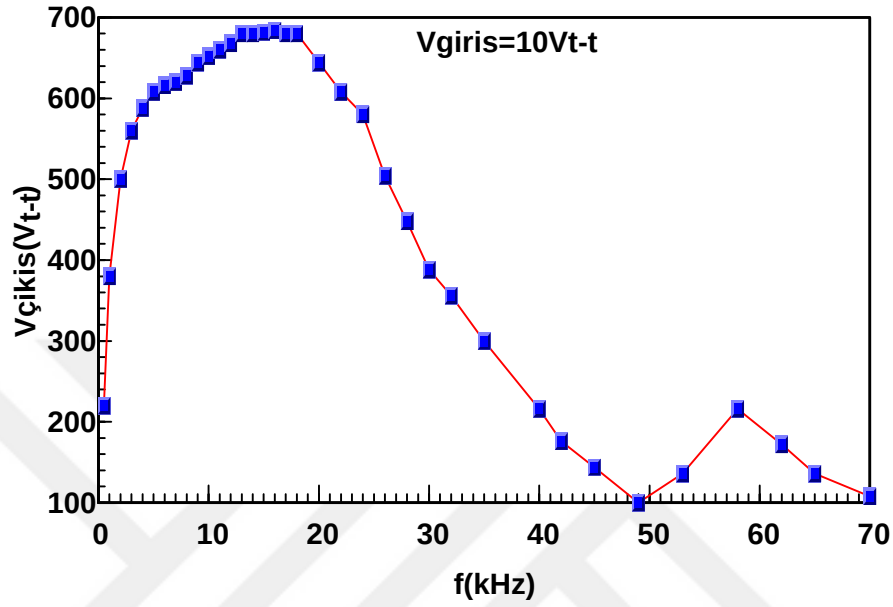


Şekil 4.1. Argon plazma jet üretimi için kullanılan güç kaynağı.



Şekil 4.2. Argon plazma jet üretimi için kullanılan güç kaynağının devre tasarımı.

Argon plazma jet üretimi için kullanılan güç kaynağının frekansı da değiştirebilmektedir. Şekil 4.3.' te güç kaynağının frekansa göre çıkış gerilimi değerleri ve Çizelge 4.1.' de diğer teknik bilgileri verilmiştir.

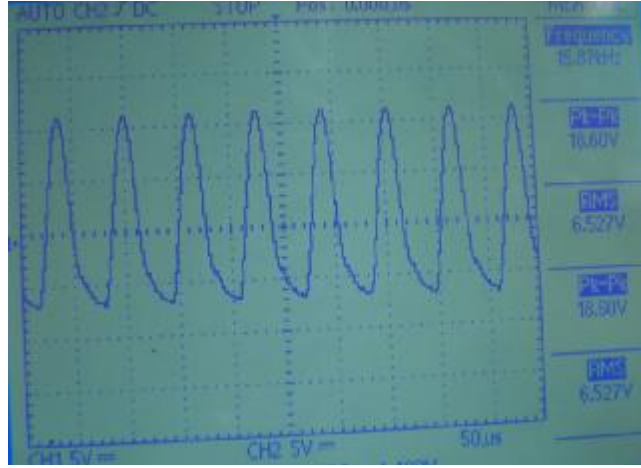


Şekil 4.3. Güç kaynağının frekans-çıkış gerilimi değişimi.

Çizelge 4.1. Güç kaynağının teknik bilgileri

Özellik	Değer
İşletme Gerilimi	1 faz 1 nötr, 220 V-240 V
Trafo Gücü	80 W
İşletme Frekansı	50 Hz
Gecikme Zamanı	10 ms
Ortam Sıcaklığı	-5 °C-50 °C
Çıkış Frekansı	13-20 kHz
Çıkış Gerilimi	6-18 kV(t-t)
Koruma Sınıfı	IP 20

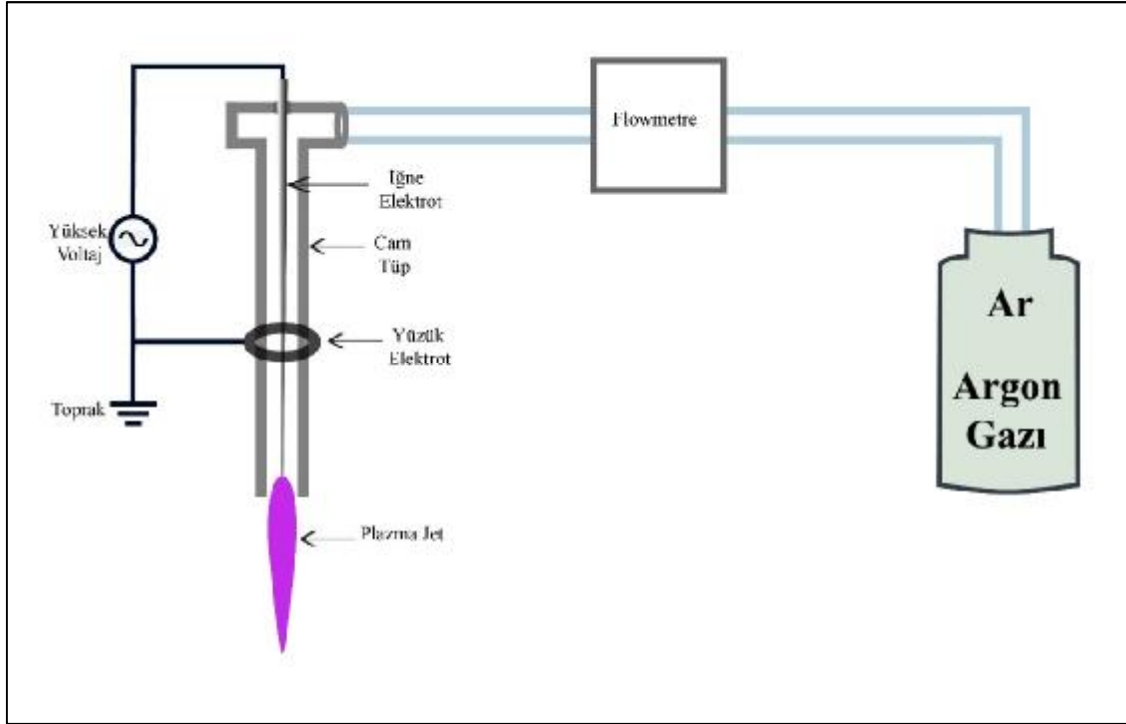
Güç kaynağının 1000V indirgenme voltajında elde edilen osiloskop çıktısı Şekil 4.4.' te verilmiştir.



Şekil 4.4. Çıkış gerilimi/1000V için kullanılan güç kaynağının osiloskop çıktısı.

Yukarıda özellikleri detaylıca verilen AC güç kaynağı, farklı elektrot tasarımlarındaki elektrotlara uygulanarak argon plazma jetler üretilmiştir. Aşağıda kullanılan elektrot düzenlenişleri verilmiştir.

İğne elektrot ile argon plazma jet üretim tasarımı; 1 mm kalınlığında tungsten tel öncelikle elektrokimyasal yöntemle sivriltilmiştir. Sivri uç kalınlığı 0,2 – 0,3 mm civarında olmuştur. İğne elektrot, dış çapı 6,30 mm olan pyrex cam tüpe mika tutturucu ile monte edilmiştir. Mika tutucudan cam boruya gaz girişi de yapılmıştır. İkinci elektrot olarak cam borunun dışına metal elektrot sarılmıştır. Şekil 4.5’ te iğne elektrot kullanılarak argon plazma jet üretmek için kullanılan tasarımın şematik gösterimi verilmiştir. İğne elektrot anot elektrodu ve cam boru üzerine sarılan metal elektrodu katot elektrodu olarak kullanıldıktan sonra gaz girişine argon gazı gönderildiğinde iğne elektrodun uç kısmından atmosfere doğru argon plazma jet üretilmektedir. Gaz akışı Şekil 4.6.’ da verilen Mass-Stream Inst. flowmetre ile kontrol edilmiştir. Bu tasarımda dış metal elektrot cam borunun dışı yerine doğrudan toprağa bağlandığında da argon plazma jet üretilmektedir.

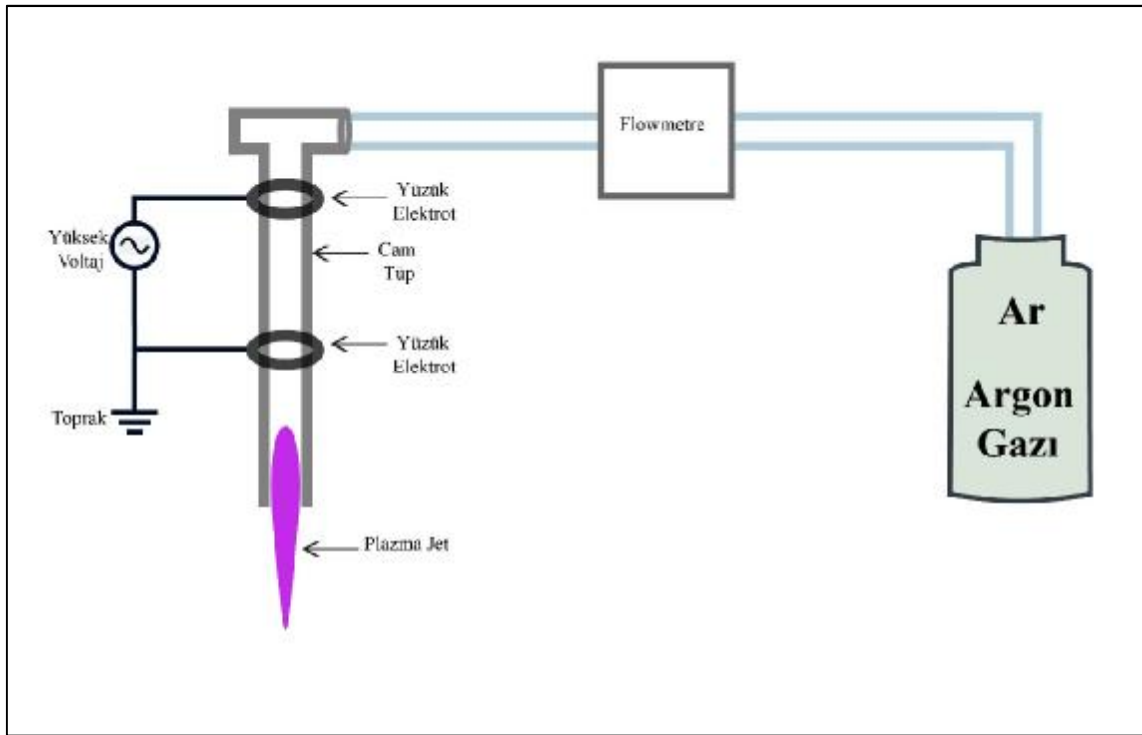


Şekil 4.5. İğne elektrot argon plazma jet üretim tasarımı.



Şekil 4.6. Flowmetre.

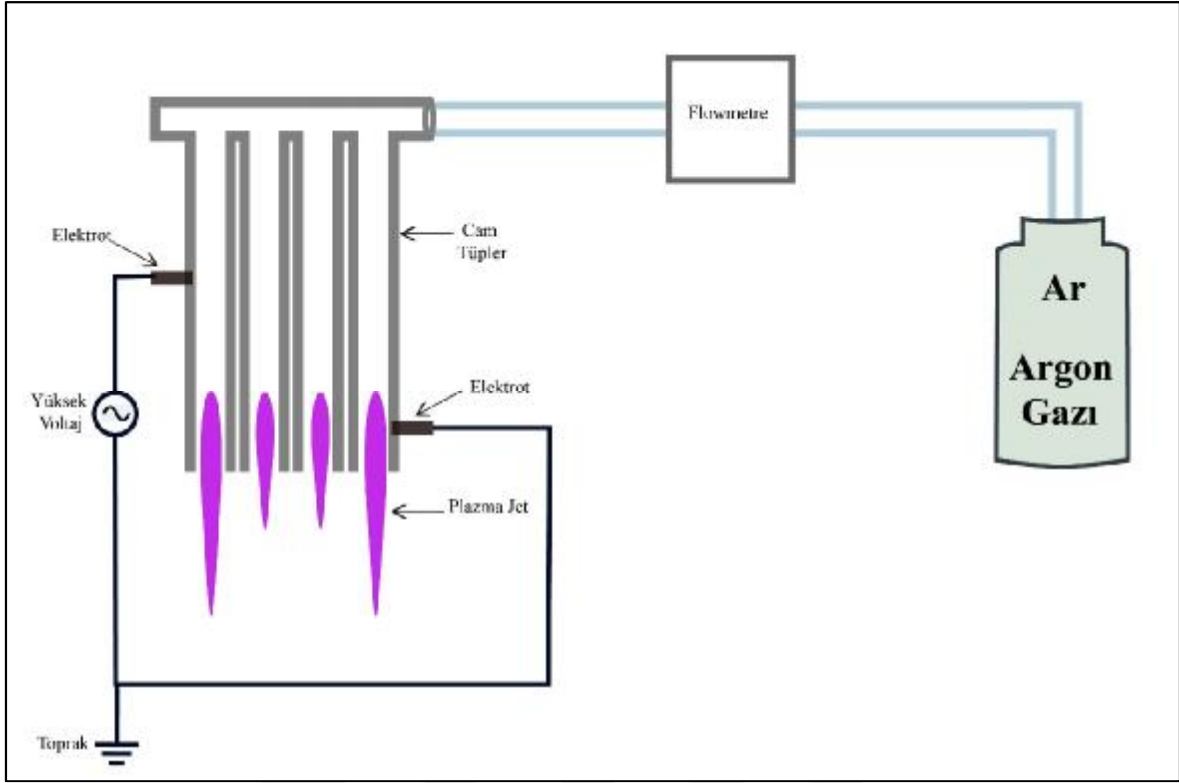
Çift elektrot ile argon plazma jet üretim tasarımı; argon plazma jet üretmek için ikinci yöntemde dış çapı 6mm ve iç çapı 3.5mm olan pyrex cam kullanılmıştır. pyrex cam tüpün dış kısmına iki adet metal (bakır) elektrot sarılmıştır. Elektrotlar arası uzaklık 1 – 1,5 cm civarında tutulmuştur. Cam boru mika tutucuya monte edilip gaz girişi yapılmıştır. Şekil 4.7.' de çift elektrot kullanılarak argon plazma jet üretimi tasarımı şematik olarak verilmiştir. Cam borunun mika gaz girişinden argon gazı gönderildikten ve elektrotlara yüksek voltaj uygulandıktan sonra plazma jet cam tüpün alt kısmında oluşmaktadır.



Şekil 4.7. Çift elektrot argon plazma jet üretim tasarımı.

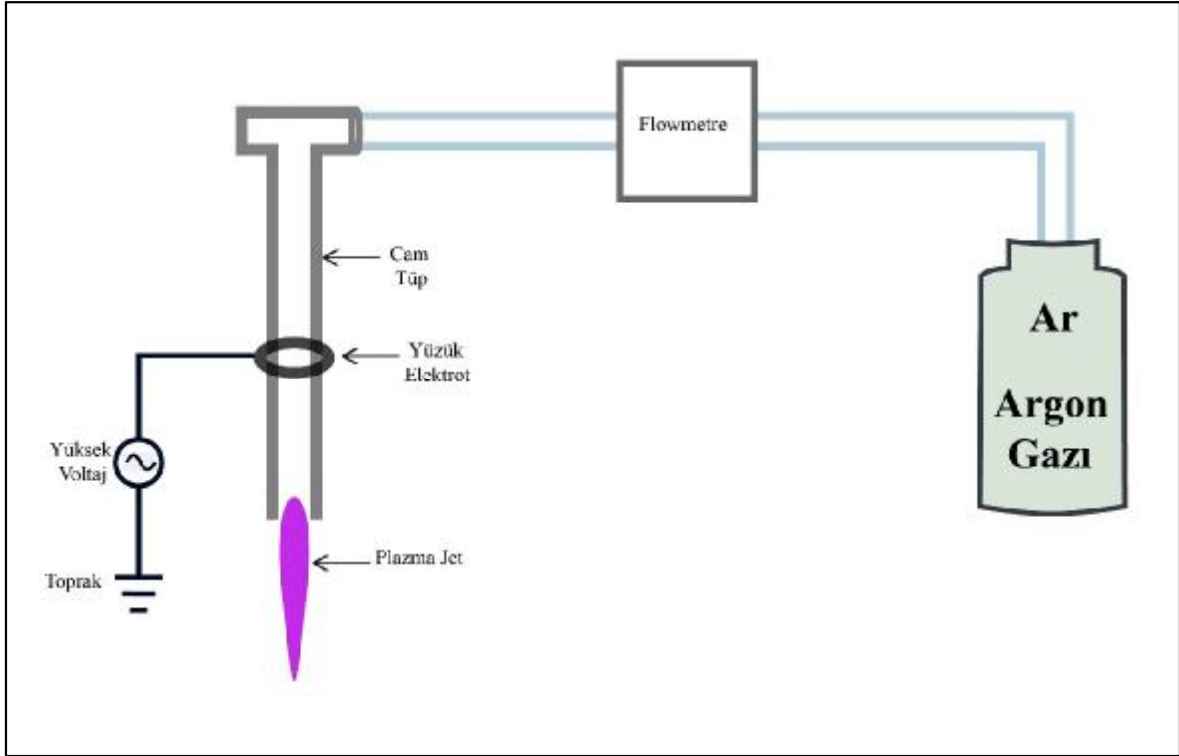
Şekil 4.7.' de verilen çift elektrot sistemi dış çapı 4.5 mm ve iç çapı 2.5 mm olan borosilikat cam tüp için de kullanılmıştır.

Argon plazma jetin aynı güç kaynağı ve aynı gaz akışı ile çoklu üretimi denenmiştir. Şekil 4.8' de verilen sistemde dış çapı 4.5 mm ve iç çapı 2.5 mm olan borosilikat cam borudan dört adet bir mika tutturucuya yerleştirilmiştir. Bu dört cam boru mika tutturucu üzerindeki gaz girişine bağlanmıştır. Tek gaz girişinden aynı anda dört cam boruya argon gazı gönderildikten sonra çift elektrot kullanılarak çoklu argon plazma jetleri üretilmiştir.



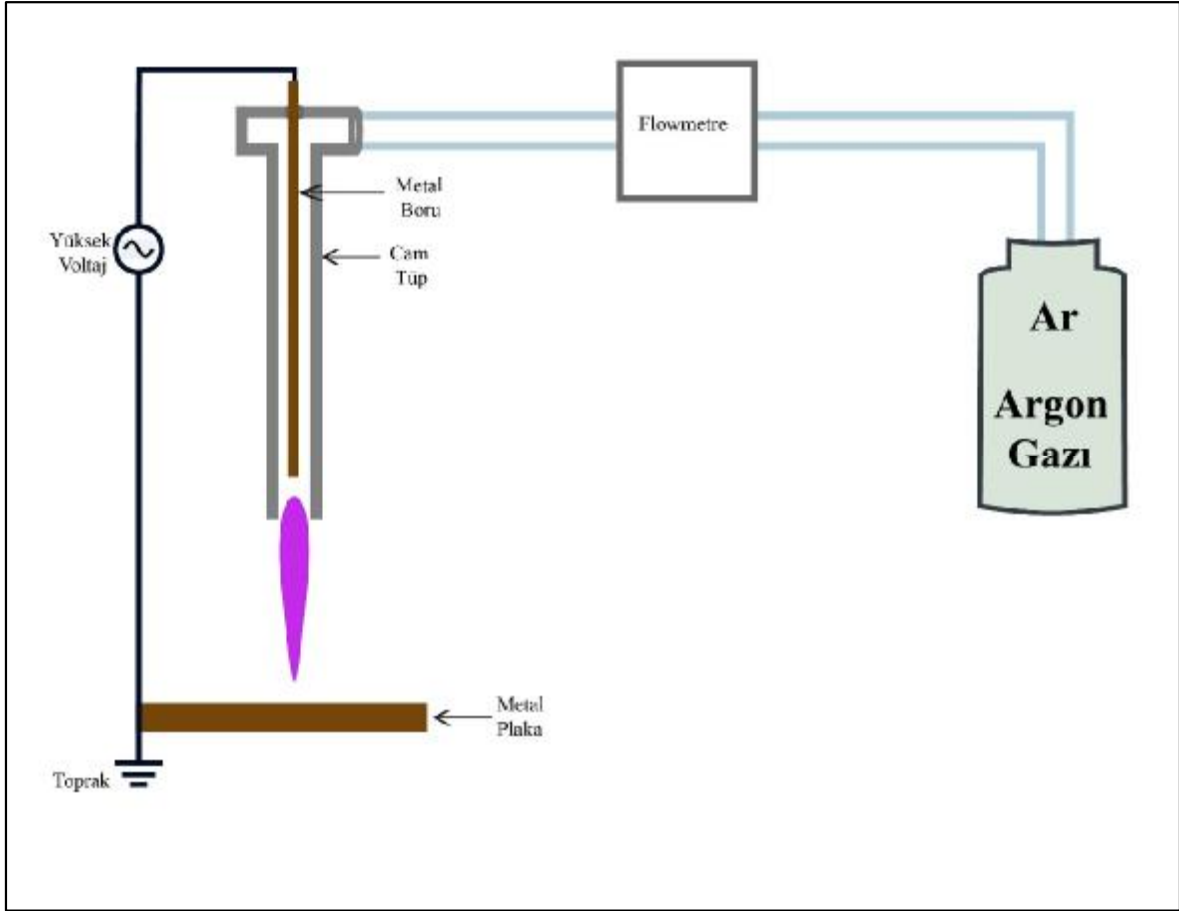
Şekil 4.8. Çoklu argon plazma jet üretim tasarımı.

Tek elektrot ile argon plazma jet üretim tasarımı; Bu tasarım çift elektrot plazma jet üretim tasarımına benzemektedir. Ancak toprak elektrodu cam boru üzerine değil doğrudan toprak hattına ya da yalıtkan borunun alt kısmına yerleştirilen metal plaka üzerine yapılmıştır. Her iki uygulamada da boru üzerinde tek elektrot bulunduğu için tek elektrot sistemi olarak adlandırılmıştır. Şekil 4.9.' da tek elektrot kullanılarak üretilen argon plazma jet sistemlerinin tasarımları verilmiştir. Bu çalışmada yalıtkan boru olarak dış çapı 6,0 mm ve iç çapı 4,0 mm olan seramik boru ve dış çapı 6,3 mm iç çapı 5,3 mm olan pyrex cam boru kullanılmıştır.



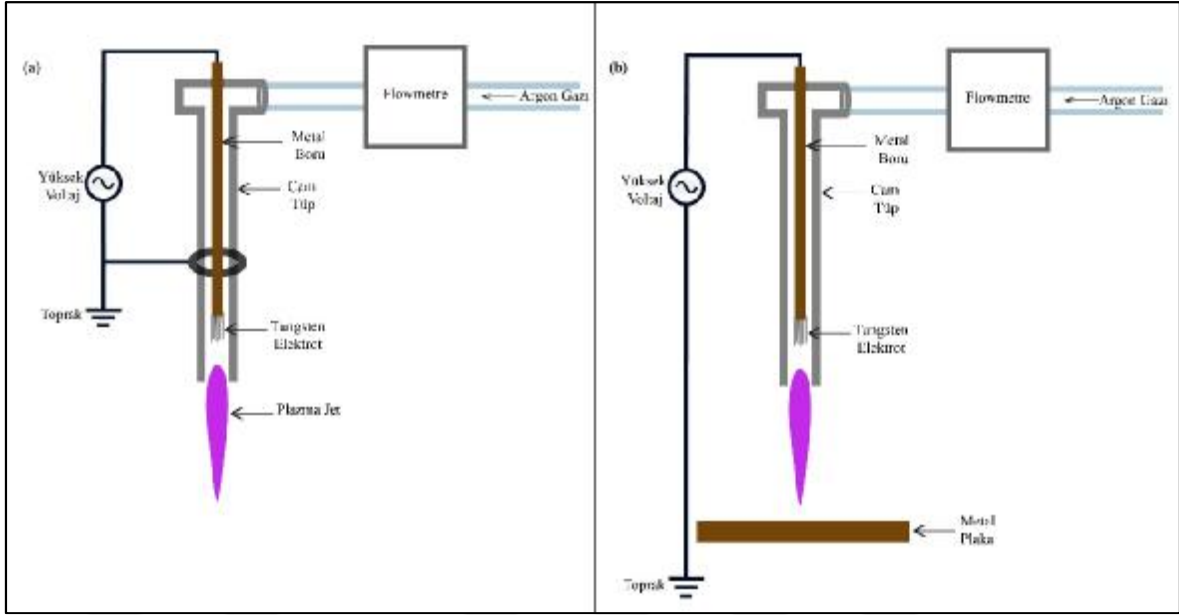
Şekil 4.9. Tek elektrot argon plazma jet üretim tasarımı.

Metal elektrot ile argon plazma jet üretim tasarımı; Bu üretim yönteminde cam ya da seramik yalıtkan yerine metal iletken boru kullanılmıştır. Dış çapı 18mm ve iç çapı 14,9 mm olan pyrex cam boru içine dış çapı 6,50 mm iç çapı 3,90 mm olan bakır boru yerleştirilmiştir. Bakır borunun üst kısmından Argon gazı gönderilerek plazma jet üretimi denenmiştir. Bakır boru anot elektrodu ve gaz akış bölgesine konulan bakır plaka toprak elektrodu durumundayken Argon plazma jet üretilmiştir. Bununla birlikte bakır boru metal elektrot olarak kullanıldığında ikinci olarak cam boru dışına metal elektrot sarılmıştır. Bakır borunun üst kısmından gaz gönderildikten sonra bu elektrotlar düzenlenişinde de argon plazma jet üretilmiştir. Metal boru elektrot kullanımı ile argon plazma jet üretimi için kullanılan sistem şematik olarak Şekil 4.10’ da verilmiştir.



Şekil 4.10. Metal boru elektrot argon plazma Jet üretim tasarımı.

Tamamıyla tasarımı ve imalatı ESOGÜ Soğuk Plazma Laboratuvarı' na ait yepyeni bir plazma jet sistemi de denenmiştir. Metal boru plazma jet sistemi ile iğne elektrot plazma jet sisteminin bileşkesi olan bu sistemde bakır borunun uç kısmına elektrokimyasal yöntemle sivriltilen 14 adet tungsten elektrot yapıştırılmıştır. Bakır borunun üst kısmından gaz gönderildikten sonra bakır elektrot cam borunun dışına sarıldığında üretilen Argon plazma jet tasarımı Şekil 4.11.a.' da verilmiştir. Aynı sistemde gaz akış kısmına yerleştirilen bakır toprak elektrodu ile üretilen argon plazma jet tasarımı Şekil 4.11.b.' de verilmiştir.



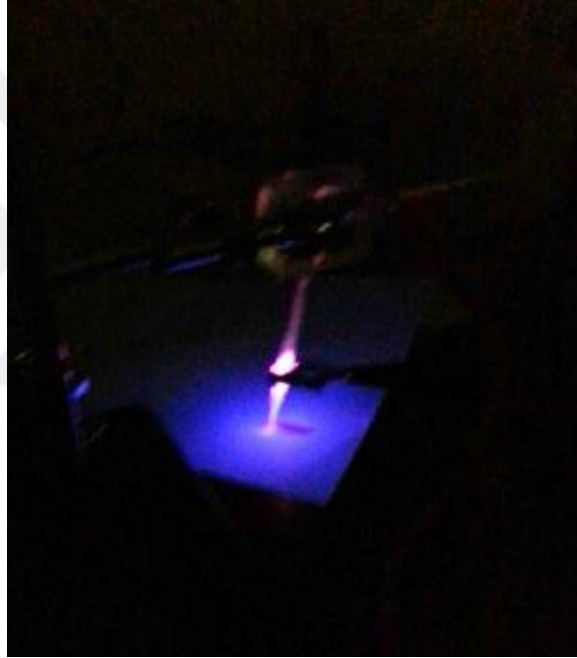
Şekil 4.11. Bakır boru-çoklu sivri elektrot argon plazma jet üretim tasarımı.

Bu çalışmada üretilen argon plazma jetlerin yalnızca üretimi incelendiği için üretilen plazma jetlerin özellikleri daha sonraki çalışmalara bırakılmıştır. Üretilen argon plazma jet sistemlerinin ve jetlerin fotoğrafları dijital fotoğraf makinesi ile çekilmiştir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

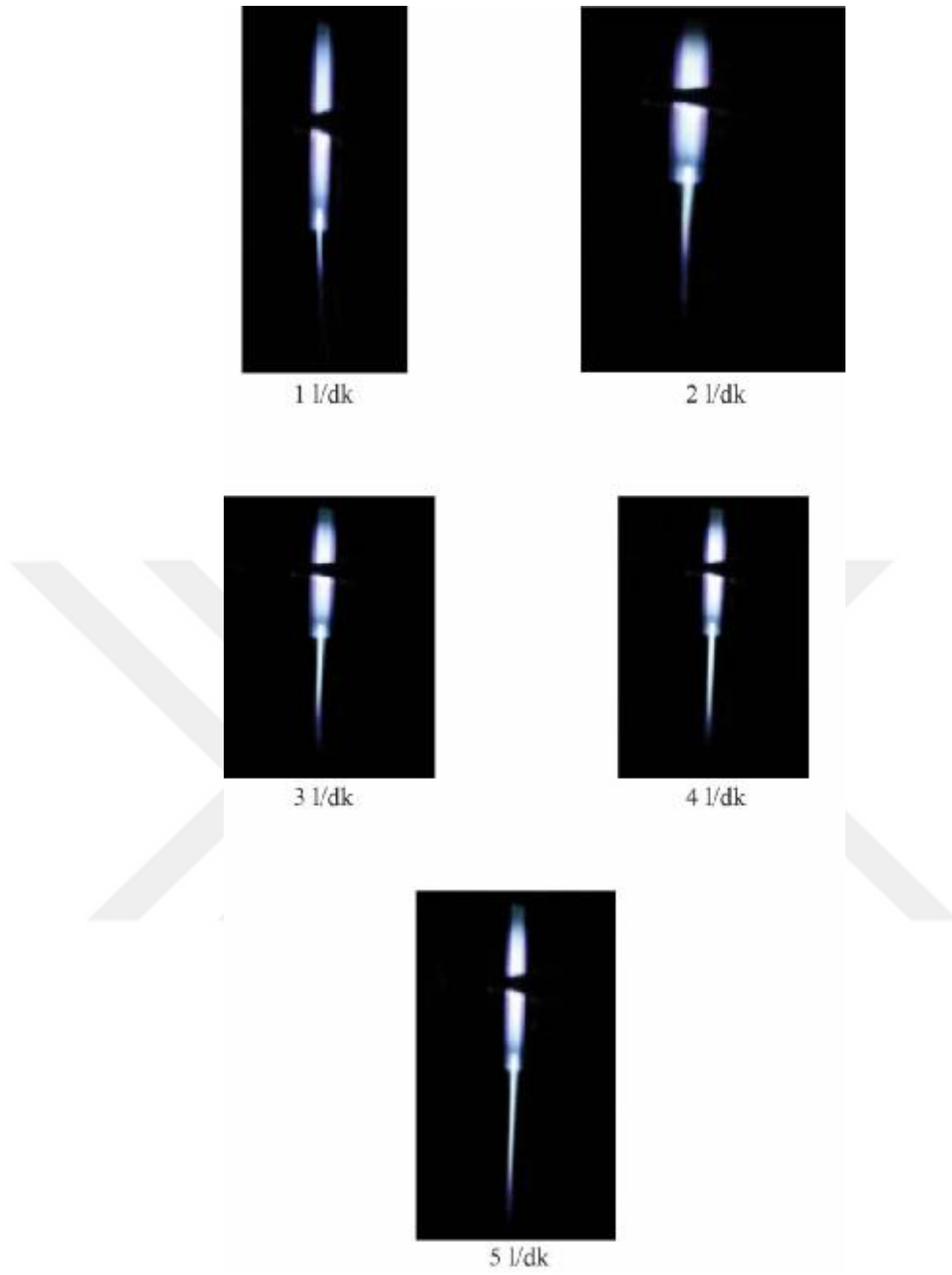
5.1. İğne Elektrot Argon Plazma Jet Üretimi

Şekil 5.1.' de atmosferik basınçta plazma jet üretmek için kullanılan tamamıyla laboratuvarımızda üretilen “İğne elektrot argon plazma jet” sisteminin fotoğrafı verilmiştir. Bu sistem güç kaynağı, pyrex cam boru, tungsten katot, bakır dış elektrot ve gaz akışı sağlayan plastik borudan oluşmaktadır.



Şekil 5.1. İğne elektrot atmosferik basınç argon plazma jet.

Şekil 5.1.' den görüldüğü gibi elektrotlara yüksek voltaj uygulandığında atmosfer ortamında 1-7 cm uzunluğunda değişen argon plazma jet üretilmiştir. Sistem bir vakum odasında değil atmosferik koşullarda çalışmaktadır. argon gazı ile üretilen plazma jetin farklı gaz akış hızlarında elde edilen fotoğrafları Şekil 5.2.' de verilmiştir. Gaz akış hızı arttıkça plazma jetin uzunluğu artmaktadır.



Şekil 5.2. İğne elektrot ile üretilen argon plazma jetin farklı gaz akış hızlarında değişimi.

5.2. Çift Elektrot Argon Plazma Jet Üretimi

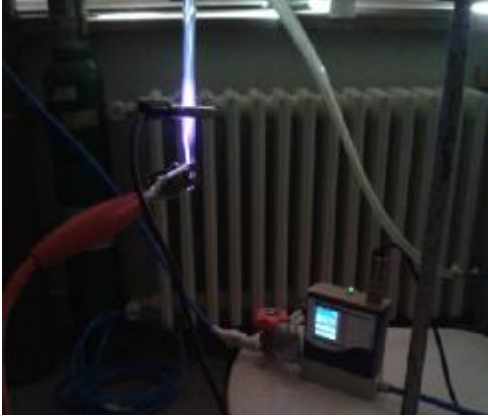
Argon plazma jet üretimi için diğer plazma jet cihazı dış çapı 6,0 mm, iç çapı 3.5 mm olan pyrex cam kullanılmıştır. Pyrex cam tüpün dış kısmına iki adet metal elektrot bağlanmıştır. Cam tüpün üst kısmından argon gazı gönderildikten ve elektrotlara yüksek

voltaj uygulandıktan sonra plazma jet cam tüpün alt kısmında oluşmaktadır. Şekil 5.3.' te çift elektrot kullanılan plazma jet sisteminin üretilen plazma jet fotoğrafları verilmiştir.

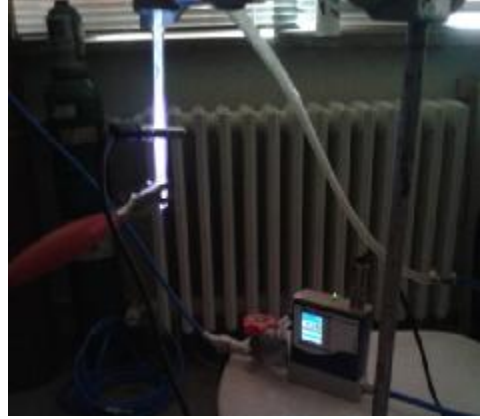


Şekil 5.3. Çift elektrot atmosferik basınç argon plazma jet.

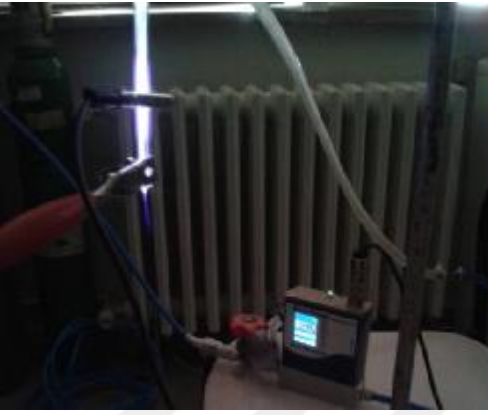
Çift elektrot argon gazı ile üretilen plazma jetin farklı gaz akış hızlarında elde edilen fotoğrafları Şekil 5.4.' de verilmiştir.



Gaz akış hızı: 0.02 lt/dak



Gaz akış hızı: 0,348 lt/dak



Gaz akış hızı: 0,992 lt/dak



Gaz akış hızı: 2,621 lt/dak



Gaz akış hızı: 3,454 lt/dak



Gaz akış hızı: 4,835 lt/dak

Şekil 5.4. Çift elektrot ile üretilen argon plazma jetin farklı gaz akış hızlarında fotoğrafı.

Gaz akış hızı 2-3 lt/dak' ya kadar plazma jet uzunluğunda artış gözlenirken daha sonra azaldığı görülmektedir. Güç kaynağının uyguladığı voltaj-frekans ve elektrotlar arası uzaklık-cam boru çapı için bu değerin optimum değer olduğu gözükmemektedir. Bununla birlikte 3lt/dak gaz akış hızından sonra plazma jet uzunluğu azalsa da daha sıcak ve daha yoğun plazmadır.

Cam tüp içinde çift elektrot plazma jet üretimi dış çapı 4.5mm, iç çapı 2.5mm olan borosilikat cam tüp için tekrarlanmıştır. Şekil 5.5' de farklı gaz akış hızlarında elde edilen sonuçlar verilmiştir. Borosilikat cam yüksek voltajı üzerinde ısı enerjisi olarak depolamakta ve çok kısa jet üretilmesine neden olmaktadır. Birkaç saniye sonra uygulama voltajı noktasından ısınarak kırılmaktadır.



Gaz Akış Hızı: 0,012 lt/dk



Gaz Akış Hızı: 0,931 lt/dk



Gaz Akış Hızı: 1,853 lt/dk



Gaz Akış Hızı: 2,577 lt/dk



Gaz Akış Hızı: 3,450 lt/dk

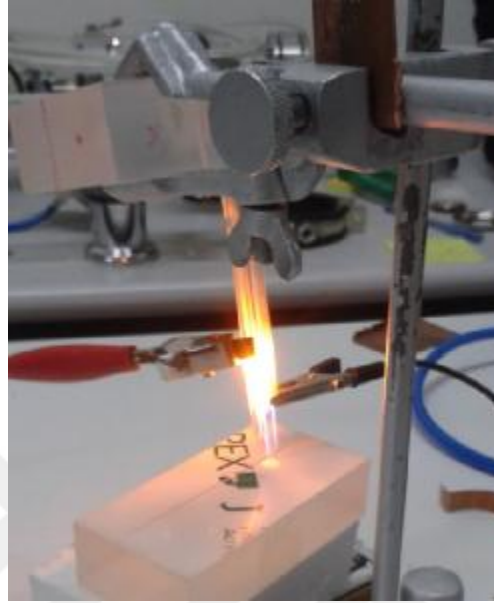


Gaz Akış Hızı: 4,507 lt/dk

Şekil 5.5. Çift elektrot borosilikat cam tüp ile üretilen argon plazma jetin farklı gaz akış hızlarında değişimi.

Argon plazma jetin aynı güç kaynağı ve aynı gaz akışı ile çoklu üretimi denenmiştir. Şekil 5.6' da verilen sistemde dış çapı 4.5, i  çapı 2.5 mm olan borosilikat cam borudan dört adet bir mika tutturucuya yerleştirilmiştir. Bu dört cam boru mika tutturucu üzerindeki gaz girişine ba lanmı tır. Bu şekilde 4 cam boruya aynı anda gaz gönderilmiştir. Cam borulara

Çift metal elektrot yerleştirildikten sonra dört farklı jet aynı anda üretilmiştir. Elektrotların bağlandığı cam borularda daha uzun jet görülürken diğer elektrotlarda çok kısa jet grlmştir.



şekil 5.6. Çift elektrot ile çoklu jet sistemi.

5.3. Tek Elektrot Argon Plazma Jet retimi

Kullandığımız güç kaynağı ile şekil 5.7.a.' da verildiği gibi dış çapı 6,0 mm ve i çapı 4,0 mm kalınlığında olan seramik boru ile çift elektrot ile argon plazma jet retilenemiştir. Ancak şekil 5.7.b.' de verildiği gibi toprak elektrodu gaz akış bölgesine bir bakır elektrot ile yerleştirilerek seramik boru üzerinde tek elektrot bulundurularak argon plazma jet üretilmiştir.



Şekil 5.7. Tek elektrot ile seramik boru argon plazma jet üretimi.

Dış çapı 18 mm ve iç çapı 14,9 mm kalınlığında olan pyrex cam boru için çift elektrot kullanılarak kullanılan güç kaynağı sınırları için argon plazma jet üretilememiştir. Ancak cam boru üzerine tek elektrot sarılıp gaz akış bölgesi toprak olarak tutulduğunda Şekil 5.8’ de verildiği gibi argon plazma jet üretilmiştir. Gaz akış bölgesine Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.’ deki gibi toprak elektrodu yerleştirilerek üretilen plazmalar, atmosfer ortamına çıkarıldığı için jet olarak kabul edilmekle birlikte diğer üretim tekniklerinde olduğu gibi elektrik alansız jetler değildir.



Şekil 5.8. Tek elektrot ile kalın pyrex cam boru argon plazma jet üretimi

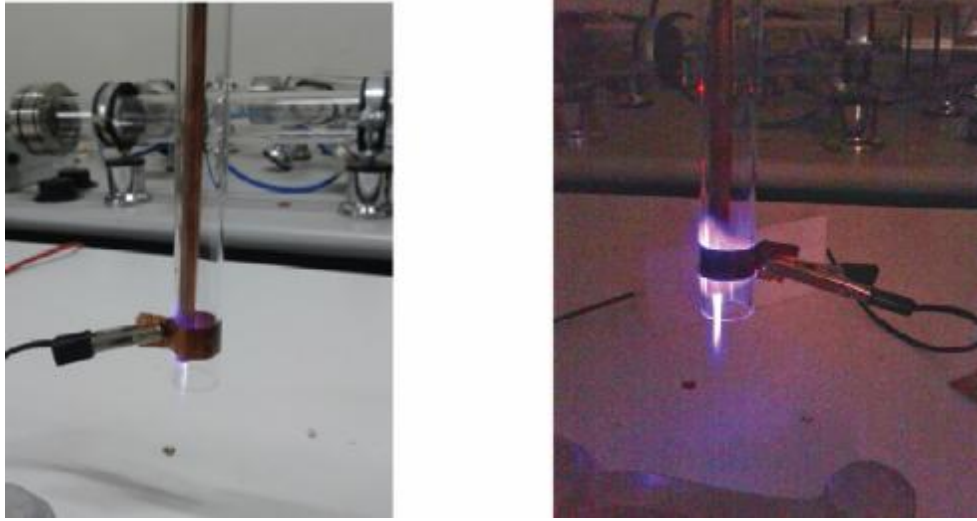
5.4. Metal Boru Elektrot Argon Plazma Jet Üretimi

Dış çapı 18 mm iç çapı 14.9 olan pyrex cam boru içine dış çapı 6,5 mm iç çapı 3,9 olan bakır boru yerleştirilmiştir. Bakır borunun üst kısmından argon gazı gönderilerek plazma jet üretimi denenmiştir. Kullanılan güç kaynağı sınırlarında cam boru dışına sarılan çift metal elektrot ile argon plazma jet üretilmemiştir. Şekil 5.9’ da görüldüğü gibi bakır boru anot elektrodu ve gaz akış bölgesine konulan bakır plaka toprak elektrodu durumundayken argon plazma jet üretilmiştir.



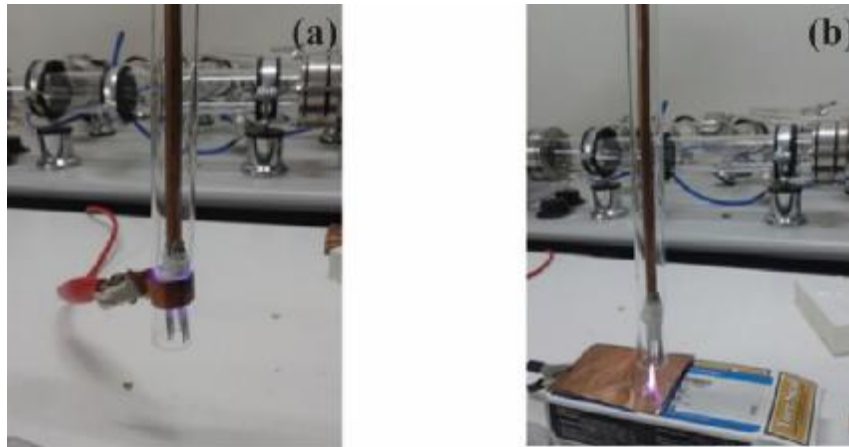
Şekil 5.9. Metal boru-toprak elektrot argon plazma jet üretimi.

Bakır boru metal elektrot olarak kullanıldığında ikinci olarak cam boru dışına metal elektrot sarılmıştır. Bakır borunun üst kısmından gaz gönderildikten sonra bu elektrotlar düzenlenişinde de Şekil 5.10’ da verilen argon plazma jet üretilmiştir.



Şekil 5.10. Metal boru-dış elektrot argon plazma jet üretimi.

Tamamıyla tasarımı ve imalatı ESOGÜ Soğuk Plazma Laboratuvarı' na ait yepyeni bir plazma jet sistemi denenmiştir. Metal boru plazma jet sistemi ile iğne elektrot plazma jet sisteminin bileşkesi olan bu sistemde bakır borunun uç kısmına elektrokimyasal yöntemle sivriltilen 14 adet tungsten elektrot tutturulmuştur. Bakır borunun üst kısmından gaz gönderildikten sonra bakır elektrot cam borunun dışına sarıldığında üretilen argon plazma jet Şekil 5.11.a' da verilmiştir. Aynı sistemde gaz akış kısmına yerleştirilen bakır toprak elektrodu ile üretilen argon plazma jet Şekil 5.11.b' de verilmiştir.



Şekil 5.11. Bakır boru-çoklu tungsten elektrot ile argon plazma jet üretimi.

5.5. Argon Plazma Jet ile Uygulama

Argon plazma jet ile bir cam lamelin sağ tarafına plazma uygulaması yapılmıştır. Sol tarafına ise plazma jet uygulaması yapılmamıştır. Şekil 5.12’ de argon plazma jet uygulaması yapılan lamelin sağ kısmına damlatılan su yayılırken argon plazma jet uygulaması yapılmayan sol taraftaki damlalar daha toplu kalmıştır. Plazma jetin yüzeyler üzerinde adhezyonu arttırdığını gösteren bu uygulama boya ve kaplama sanayinde kullanılmaktadır. Plazma jet uygulaması yapılan yüzeyler üzerine yapılan boya ya da kaplamaların yüzey üzerine tutunması daha fazla olmaktadır.



Şekil 5.12. Argon plazma jet ile cam yüzey üzerine uygulama.

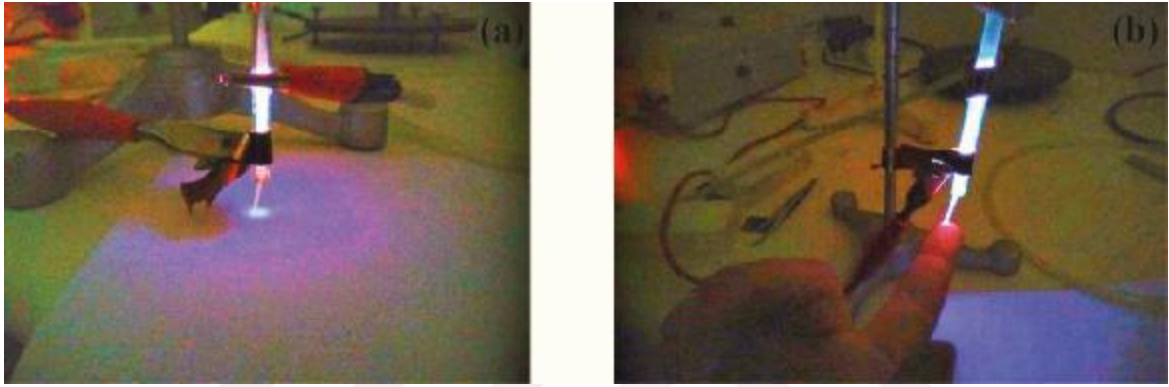
Argon plazma jet bakır plaka üzerine de uygulanmıştır. Şekil 5.13’ ten görüldüğü gibi argon plazma jet uygulanan sağ kısımda damla yayılmaya çalışırken argon plazma jet uygulanılmayan sol tarafta damla daha topak kalmaktadır.



Şekil 5.13. Argon plazma jet ile bakır yüzey üzerine uygulama.

Argon plazma jet kağıt üzerine de uygulanmıştır. Şekil 5.14.a’ da argon plazma jet yaklaşık 30 dakika uygulanmasına rağmen kağıt üzerinde herhangi bir ısı etkisi yaratmamıştır. Bu deneme çift metal elektrot kullanılarak üretilen argon plazma jet ile

yapılmıştır. Diğer üretim teknikleri ile de kağıt üzerine uzun süre argon plazma jet tutulduğunda herhangi bir yanıcı etki görülmemiştir. Bu nedenle bu çalışmada üretilen argon plazma jetler soğuk argon plazma jetler olduğu söylenebilir. Plazma jetlerde termoçift ile sıcaklık ölçümleri sağlıklı sonuçlar vermemektedir. Spektroskopik yöntemlerle plazma jet sıcaklıkları bulunabilmektedir. Bu çalışmada üretilen plazma jetlerin özelliklerinin incelenmesinden ziyade üretimi incelendiği için spektroskopik çalışma yapılmamıştır. Şekil 5.14.b' de kendi elime uyguladığım plazma jetin fotoğrafı verilmiştir.



Şekil 5.14. a) Argon plazma jetin kağıt üzerine uygulanması, b) argon plazma jetin el üzerine uygulanması.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı elektrotlar düzenlenişinde argon plazma jetleri üretilmiştir. Elektrokimyasal yöntemle sivriltilen tungsten iğne elektrot kullanılarak üretilen argon plazma jet son derece verimli çalışmaktadır. Cam boru içinde kalan iğne elektrot cam boru ile yalıtıldığı için ikinci elektroda voltaj istenildiği gibi uygulanmıştır. Cam boru üzerine ikinci elektrodun yer değiştirmesi jetin uzunluğunu değiştirmektedir. İğne elektrodun cam boru içinde uzunluğunun dikkatli belirlenmesi gerekmektedir. Cam borunun çıkış ağzına çok yakın tutulduğunda iğne elektrot ile dış elektrot arasında atlama olmaktadır. Gaz akış hızı jetin uzunluğunu önemli ölçüde değiştirmektedir.

Çift elektrot kullanımı argon plazma jet üretimi için en kolay yöntem olmuştur. Bir iç elektrot gerekmediği için kolaylıkla voltaj uygulanabilmektedir. Pyrex cam boru, borosilikat cam boru ve çok sayıda borosilikat cam boru üzerine yerleştirilen çift metal elektrot ile argon plazma jetler kolaylıkla üretilmiştir. Borosilikat cam argon plazma jet üretimi için uygun değildir. Uygulama voltajı bölgesinde ısınma olmaktadır ve borosilikat cam bu ısınmaya dayanmamaktadır. Bununla birlikte seramik boru ve 1 cm' den büyük kalınlıktaki pyrex cam boru ile çift elektrot kullanılarak argon plazma jet üretilmemiştir. Kalın cam boru daha geniş jet alanı üretmek için denenmiştir. Teknolojide kullanım için geniş hacim jetler uygulama süresini kısalttığı için çok önemlidir. Ancak bu durumda bir iç elektrot kullanma zorunluluğu gözükmemektedir. Seramik boru kullanılarak çift elektrot plazma jet üretimi için de iç elektrot gereklidir. Ancak daha yüksek voltajlarda güç kaynakları ile seramik boru ve 1cm' den daha kalın pyrex cam borularda çift dış elektrot ile argon plazma jet üretilir. Seramik boru ve 1 cm kalınlığında pyrex cam boruda helyum gazı kullanılarak çift dış elektrot ile jet üretilmiştir. Bu sonuç yalıtkan tabaka üzerinden argon gazının yeterince iyonlaştırılmadığını göstermektedir.

Seramik boru ve 1 cm kalınlığındaki pyrex cam boruda çift dış elektrot kullanılarak Argon plazma jet üretilmemesi sorunu toprak elektrodu kullanılarak aşılmıştır. Bu durumda üretilen atmosferik basınç plazma jetler elektrik alan içeren jetler olmaktadır. Başka bir deyişle atmosferik basınçta plazma üretimi olarak kabul edilir. Ancak yüzey üzerine uygulamalarda plazma jetin ürettiği parçacık etkisi ile yüzey üzerine uygulanan elektrik alan

etkisi birleşik olur. Özellikle bakteri sterilizasyonunda tercih edilen bu yöntem bakterilerin ölümünü açıklamada karmaşa yaşamaktadırlar. Bakterilerin ölümüne daha çok jet bölgesindeki elektrik alan mı neden oluyor yoksa plazma jetin ürettiği parçacıklar mı sorusu hala açıklama beklemektedir.

Bakır boru kullanılarak üretilen argon plazma jeti de oldukça verimli çalışmıştır. Bakır boru üzerine yerleştirilen çok sayıda iğne elektrotlarla üretilen argon plazma jeti tamamıyla orijinaldir ve laboratuvarımıza aittir. Tek dış elektrotla üretilen Argon plazma jet 0.5 cm kadar uzunlukta olmuştur. Ancak helyum gazı kullanıldığında 3cm den daha uzun jet üretilmiştir. Çoklu iğneli jet sistemi geliştirilerek literatüre yepyeni bir jet sistemi olarak katılacaktır.

Bu çalışmada farklı materyaller farklı tasarımlarda birleştirilerek farklı argon gazı atmosferik basınç plazma jetler üretilmiştir. Gaz akış hızına göre bazı sistemlerde jet uzunluğu değişimi incelenmiştir. Ancak elektrotlar arası uzaklık değişimi, materyal boyutlarının değişimi uygulama voltajı ve uygulama voltajı frekansı değişimi gibi parametreler için de jet uzunluğu değişimi incelenebilir. Bununla birlikte üretilen jetlerin spektroskopik yöntemlerle sıcaklık değişimi incelenebilir. Ayrıca farklı yüzey uygulamalarında jetler kullanılabilir. Bu çalışmada üretilen jetler için gelecekte bu çalışmaların yapılması önemlidir. Bölüm 3' ten görüldüğü gibi plazma jetler teknolojide oldukça sık kullanılmaktadır ve gelecekte de daha çok kullanılacağı gözükmemektedir. Bu nedenle üretilen jetler üzerinde çalışmaların devam etmesi önemlidir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akan, T., 2003 Termiyonik Vakum Ark (TVA)'nın Temel Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tez Çalışması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 8-9, 17, s.147.
- Akan, T., 2005, Maddenin Dördüncü Hali Plazma ve Temel Özellikleri. Çağdaş Fizik Elektronik Dergi, sayı, <http://nucleus.istanbul.edu.tr/~cfe/dorduncu/mak1/>, erişim tarihi: 26.12.2016
- Akan, T., 2007, Biyolojik tehlikelere karşı soğuk plazma, Tübitak Bilim Teknik Dergisi, 478, s.62-64.
- Akan, T., 2014, Plazma Teknolojileri, B. İbrahimoglu (Der.), Ürün Yayınları.
- Anonim, 2016, Plasma Modification of Technical Textiles, <http://fiberjournal.com/featured-articles/plasma-modification-technical-textiles/>, erişim tarihi: 10.04.2017.
- Anonim, 2016, Plasma systems for light-weight panels, <http://www.plasmatreat.com/openair-plasma-systems/plasma-treatment-panel-systems.html>, erişim tarihi: 10.04.2017.
- Bárdos, L. Baránková, H., 2010, Cold atmospheric plasma: sources, processes and applications, Thin solid films, 6705-6713.
- Bellan, P. M., 2006, Fundamentals of Plasma Physics, Cambridge University press, p.609.
- Bogaerts, A., Neyts, E., Gijbels, R., van der Mullen, J., 2002, Review: Gas discharge plasmas and their applications, Spectrochimica Acta Part B 57 609–658.
- Chen G., Zhou M., Zhang Z., Lv G., Massey S., vd., 2011, Acrylic Acid Polymer Coatings on Silk Fibers by Room-temperature APGD Plasma Jets, Plasma Processes and Polymers, 8, DOI: 10.1002/ppap.201100008, 701-708.
- Dallı, E., 2013, Atmosferik basınç soğuk plazma jetler, Yüksek lisans tez çalışması, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Fridman, A., Friedman, G., 2012, Plasma Medicine, John Wiley & Sons, p.592.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Fridman, G., Friedman, G., Gutsol, A., Shekhter, A. B., Vasilets, V. N., vd., 2008, Applied Plasma Medicine, Plasma Process and Polymers, 5, 503–533.
- Grill, A., 1993, Cold Plasma in Materials Fabrication, IEEE press, New York, p.256.
- Heinlin, J., Isbary, G., Stolz, W., Morfill, G., Landthaler, M., vd., 2011, Plasma applications in medicine with a special focus on dermatology, JEADV, 25, 1–11.
- Kasih T.P., Kuroda S., Kubota H., 2007, A nonequilibrium, atmospheric-pressure argon plasma torch for deposition of thin silicon dioxide films, Chemical Vapor Deposition, 13, DOI: 10.1002/cvde.200606535 169-175.
- Kawai Y., Ikegami H., Sato N., Matsuda A., Uchino K., Kuzuya M., 2010, Industrial Plasma Technology, John Wiley & Sons, p.434.
- Kikuchi, H., 1988, Laboratory and Space Plasmas, Springer, p.657.
- Kral, N. A., Trivelpiece, A. W., 1973, Principles of Plasma Physics, McGraw - Hill Book Company, New York, p.494.
- Laroussi, M., Akan, T., 2007, Arc-Free Atmospheric Pressure Cold Plasma Jets: A Review, Plasma Process and Polymers, 4, 777–788.
- Laroussi, M., Hynes, W., Akan, T., Lu, X., Tendero, C., 2008, The Plasma Pencil: A Source of Hypersonic Cold Plasma Bullets for Biomedical Applications, IEEE Trans. On Plasma Sci., Vol. 36, No. 4.
- Laroussi, M., 2009, Low-Temperature Plasmas for Medicine, IEEE Transactions on Plasma Science, Vol. 37, No. 6.
- Lieberman, M. A., Lichtenberg, A. J., 1997, Principles of Plasma Discharges and Materials Processing, John Wiley, New York, p.572.
- Lu, X., Laroussi, M., Puech, V., 2012, On atmospheric-pressure non-equilibrium plasma jets and plasma bullets, Plasma Sources Science Technology, 21, 034005.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Morfill, G. E., Kong, M. G., Zimmermann, J. L., 2009, Focus on Plasma Medicine, New Journal of Physics, 11, 115011.
- Ono, R., 2016, Optical diagnostics of reactive species in atmospheric-pressure nonthermal plasma, J. Phys. D: Appl. Phys., 49, 083001.
- Petitpasa, G., Rolliera, J. D., Darmonb, A., Gonzalez-Aguilara, J., Metkemeijera, R., vd., 2007, Acomparative study of non-thermal plasma assisted reforming technologies, International Journal of Hydrogen Energy 32, 2848–2867.
- Petrovic, Z., Puac, N., Malovic, G., Lazovic, S., Maletic, D., vd., 2012, Application of non-equilibrium plasmas in medicine, J. Serb. Chem. Soc., 77 (12), 1689–1699.
- Raizer, Y. P., 1991, Gas Discharge Physics, Springer-Verlag, USSR, p.449.
- Roth, J. R., 1995, Industrial Plasma Engineering, vol. I-II, IOP publishing, Bristol and Philadelphia, p.538.
- Sladek, R. E. J., 2006, Plasma needle: non-thermal atmospheric plasmas in dentistry, Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven, DOI: 10.6100/IR613009, <https://pure.tue.nl/ws/files/1901356/200612054.pdf>
- Tanenbaum, B. S., 1967, Plasma physics, McGraw-Hill Book Company, New York, p.360.
- Taşal, E., Tanışlı M., 2016, A comparison for application time of electrical discharge onto 3-acetamidocoumarin molecule, Journal of Molecular Liquids, 221, 763-767.
- Tendero, C., Tixier, C., Tristant, P., Desmaison, J., Leprince, P., 2006, Review: Atmospheric pressure plasmas, Spectrochimica Acta Part B 61 2–30.
- Tonks, L., Langmuir, I, 1929, Oscillations in Ionized Gases, Physics Review, vol. 33, 195.
- Treumann, R. A., Kłos, Z., Parrot, M., 2008, Physics of Electric Discharges in Atmospheric Gases: An Informal Introduction, Space Sci Rev 137: 133–148.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Wang Y., Qianghua Yuan Q.,Yin G., Zhang Y., Zhang Y., vd., 2016, Synthesis of Mixed-Phase TiO₂ Nanopowders Using Atmospheric Pressure Plasma Jet Driven by Dual Frequency Power Sources, Plasma Chem. Plasma Process 36:1471–1484.

Ying, T. H., 1994, Radio Frequency Cold Plasma Deposition of Organotin and Iron Onto Polypropylene Fabric Surfaces, University Of Wisconsin-Madison, p.336.

