

**ATMOSFERİK BASINÇLI PLAZMA UYGULAMASININ  
POLİPROPİLEN (PP) ve GALVANİZ KAPLI ÇELİK  
(H300LAD) MALZEMELERİNİN YAPIŞTIRILMA  
BAĞLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

**İrem SÖNMEZ**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ATMOSFERİK BASINÇLI PLAZMA UYGULAMASININ POLİPROPİLEN  
(PP) ve GALVANİZ KAPLI ÇELİK (H300LAD) MALZEMELERİNİN  
YAPIŞTIRILMA BAĞLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

İrem SÖNMEZ  
0000-0002-6027-4826

Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023  
Her Hakkı Saklıdır

## TEZ ONAYI

İrem Sönmez tarafından hazırlanan “Atmosferik Basınçlı Plazma Uygulamasının Polipropilen (PP) ve Galvaniz Kaplı Çelik Malzemelerinin Yapıştırılma Bağlarına Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman :** Prof. Dr. Kadir Çavdar

**İkinci Danışman :**  
(Varsa Yazılacak)

**Başkan :** Prof. Dr. Kadir Çavdar  
0000-0001-9126-0315  
Bursa Uludağ Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye :** Prof. Dr. Ali Oral  
0000-0002-9144-3821  
Balıkesir Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Üye :** Doç. Dr. Sevda Telli Çetin  
0000-0002-3281-9112  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Ali KARA**

**Enstitü Müdürü**

**../../....(Tarih)**

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

**25/07/2023**

**İrem SÖNMEZ**

## TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Kadir ÇAVDAR  
18.06.2023

İrem SÖNMEZ  
18.06.2023

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum  
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

İmza

Bu bölüme kişinin kendi el yazısı ile okudum  
anladım yazmalı ve imzalanmalıdır.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ATMOSFERİK BASINÇLI PLAZMA UYGULAMASININ POLİPROPİLEN (PP) ve  
GALVANİZ KAPLI ÇELİK (H300LAD) MALZEMELERİNİN YAPIŞTIRMA  
BAĞLARINA ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

**İrem SÖNMEZ**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

Malzemelere yapıştırıcı, boya ve kaplama uygulamaları öncesinde, yapışma bağı oluşturmak ve artırmak için çeşitli yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Atmosferik basınçlı soğuk plazma işlemi (ABSP), ekonomik ve çevre dostu bir yöntem olup malzeme yüzeylerini etkili bir şekilde değiştirebilir. Bu çalışmada, atmosferik basınçlı soğuk plazma işleminin polipropilen (PP) ve galvaniz kaplı çelik (H300LAD) malzeme yüzeylerinin yapışma dayanımına olan etkisi incelenmiştir. Atmosferik basınçlı plazma, malzeme yüzeylerine farklı plazma uygulama mesafeleri ve tarama (tekrar) sayılarında uygulanmıştır. Plazma işlemleri sonucunda malzemelerin ıslanabilirlik özelliklerindeki değişim temas açısı ölçümleriyle değerlendirilmiştir. ABSP proses parametrelerinin, malzemelerin ıslanabilirlik özelliklerindeki etkisini tespit edebilmek amacıyla PP ve POM malzeme yüzeylerine farklı mesafe ve tarama sayılarında plazma uygulaması yapılmıştır. Numunelerin yapışma bağlantılarının mekanik dayanımı, atmosferik plazma uygulanan ve uygulanmayan numuneler için test edilmiştir. Su temas açısı ve çekme testlerinin sonucunda ABSP uygulaması ile numunelerin temas açısı değerlerinin azaldığı ve yapışma mukavemeti değerlerinin arttığı görülmüştür. Plazma uygulama mesafesi ve plazma tekrar sayısı parametrelerinin, yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi istatistiksel analiz ile incelenmiştir. Yapılan istatistiksel analizlerin sonucunda, plazma uygulama mesafesi faktörünün PP ve H300LAD malzemelerin yapışma dayanımı üzerinde etkisi olduğu istatistiksel olarak gözlemlenirken, plazma tarama sayısı faktörü yapışma dayanımı üzerinde istatistiksel olarak etkili bulunmamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Atmosferik basınç plazma, yapışma bağı, mukavemet, yüzey işlemi

**2023, vii + 52 sayfa**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ATMOSPHERIC PRESSURE PLASMA APPLICATION ON ADHESIVE BONDS OF POLYPROPYLENE (PP) AND GALVANIZED STEEL (H300LAD) MATERIALS

**İrem SÖNMEZ**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

Prior to applying the adhesive, paint and coating to the materials, different surface treatments are applied to create and increase the bond of adhesion. Atmospheric pressure cold plasma treatment (ABSP) is an economical and environmentally friendly method that can effectively change material surfaces. In this study, the effect of atmospheric pressure cold plasma treatment on adhesion strength of polypropylene (PP) and galvanized coated steel (H300LAD) material surfaces was examined. Atmospheric pressure plasma was applied to material surfaces at different application distances and number of treatments. Changes in the wettability properties of materials as a result of plasma processes were evaluated by contact angle measurements. Plasma has been applied to PP and POM material surfaces at different distances and treatment numbers to determine the effect of ABSP process parameters on the wettability properties of materials. The mechanical strength of the adhesion joints of the samples has been tested for samples with and without atmospheric plasma applied. The contact angle and tensile tests have shown that the contact angle values of the samples have decreased and the adhesion strength values have increased with the application of ABSP. The parameter of plasma distance and number of treatments was investigated by statistical analysis. As a result of the statistical analysis, it was observed that the plasma application distance factor had a statistical effect on the adhesion strength of PP and H300LAD material, while the number of plasma treatment factor was not found to be statistically effective on the adhesion strength.

**Key words:** Atmospheric pressure plasma, adhesion bond, strength, surface treatment  
**2023, vii + 52 pages.**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca ve tez çalışmamda desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Kadir Çavdar'a yürekten teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca hep yanımda olan, deneylerin yapılmasında her daim bana destek olan başta Dr.Cand. Kadir Ayas olmak üzere, çalışmanın gerçekleşmesi için imkan sağlayan, emeği geçen herkese çok teşekkür ederim

Son olarak her zaman yanımda olan sevgili ailem ve değerli arkadaşlarıma destekleri için sonsuz teşekkürler.



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2.KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	2
2.1.Yapışma Mekanizmaları .....	2
2.2.Yüzey Enerjisi.....	3
2.3. Yapışma İşi, Temas Açısı ve Islanabilirlik .....	3
2.4.Atmosferik Basınçlı Plazma.....	5
2.5.Yapışma Bağlantılarında Oluşan Hatalar .....	6
2.6. İstatistiksel Analiz ve Hipotez Testleri .....	6
2.7. Literatür Çalışmaları .....	7
3.MATERYAL VE YÖNTEM .....	15
3.1. Deneyde Kullanılan Numunelerin Özellikleri .....	15
3.2. Deneyde Kullanılan Yapıştırıcının Özellikleri .....	17
3.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Plazma Prosesi.....	17
3.4.1 Temas açısı ölçümü.....	19
3.4.2 Numunelerin yapıştırılması.....	21
3.4.3 Yapışma mukavemetinin ölçümü.....	21
3.5. İstatistiksel Analiz.....	22
4. BULGULAR .....	23
4.1. Atmosferik Basınçlı Soğuk Plazma İşleminin Temas Açısına Etkisi .....	23
4.2. Atmosferik Basınçlı Soğuk Plazma İşleminin Yapışma Dayanımına Etkisi .....	28
4.3. Ayrılma Yüzeylerindeki Hataları İncelenmesi .....	32
4.4.Yapışma Mukavemeti İçin İstatistiksel Analiz .....	34
4.4.1.Plazma Uygulama Mesafesi.....	34
4.4.2.Malzeme.....	37
4.4.3.Plazma Tarama Sayısı .....	38
4.4.4.Etkileşim Etkisi .....	40
5.TARTIŞMA VE SONUÇ .....	43
KAYNAKLAR .....	49
ÖZGEÇMİŞ .....	52

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2. 1.	Yapıştırıcı ve yüzey arasındaki ıslanabilirlik (Ebnesajjad, 2014).....	2
Şekil 2. 2.	Katı yüzey üzerindeki denge durumundaki sıvı damlası (Baldan A. , 2012).....	4
Şekil 2. 3.	Yapıştırılan yüzeylerde meydana gelen adezyon ve kohezyon hataları (Ebnesajjad, 2014) .....	6
Şekil 3. 1.	PP numunelerin yapışma bağlantısı konfigürasyonu. ....	18
Şekil 3. 2.	H300LAD numunelerin yapışma bağlantısı konfigürasyonu. ....	18
Şekil 3. 3.	Atmosferik plazma işleminin numune yüzeylerine uygulanması .....	20
Şekil 3. 4.	ABSP uygulamasının ardından numune yüzeylerinde su damlacıklarının oluşturulması.....	20
Şekil 3. 5.	ABSP uygulamasının ardından numunelerin birbirine yapıştırılması	21
Şekil 4. 1.	(a) ABSP uygulaması öncesi PP su damlası formu ve (b) ABSP uygulaması sonrası PP su damlası formu.....	24
Şekil 4. 2.	(a) ABSP uygulaması öncesi POM su damlası formu ve (b) ABSP uygulaması sonrası POM su damlası formu .....	24
Şekil 4. 3.	POM malzeme için farklı ABSP uygulama ve tarama sayılarının su temas açısı değerlerine olan etkisi. ....	26
Şekil 4. 4.	PP malzeme için farklı ABSP uygulama ve tarama sayılarının su temas açısı değerlerine olan etkisi. ....	28
Şekil 4. 5.	PP malzeme için farklı ABSP uygulama ve tarama sayılarının yapışma dayanımına olan etkisi. ....	31
Şekil 4. 6.	H300LAD numunesine farklı ABSP uygulama ve tarama sayılarının yapışma dayanımına olan etkisi.....	31
Şekil 4. 7.	Farklı işlem mesafeleri ve tarama sayılarında ABSP uygulanan PP numunelerinin çekme testleri sonrası ayrılma yüzey fotoğrafları.....	33
Şekil 4. 8.	Farklı işlem mesafeleri ve tarama sayılarında ABSP uygulanan H300LAD numunelerinin çekme testleri sonrası ayrılma yüzey fotoğrafları .....	34
Şekil 4. 9.	Uygulama mesafesi gruplarının yapışma mukavemetleri ortalamaları için çizgi grafik .....	35

## ÇİZELGELER DİZİNİ

		<b>Sayfa</b>
Çizelge 3. 1.	PP malzemesinin teknik özellikleri (Kutz,2017).....	15
Çizelge 3. 2.	POM malzemesinin teknik özellikleri (Lüftl vd, 2014).....	16
Çizelge 3. 3.	H300LAD malzemesinin teknik özellikleri.....	17
Çizelge 3. 4.	Marocol 18576 yapıştırıcının teknik özellikleri.....	17
Çizelge 3. 5.	Atmosferik plazma işleminde kullanılan proses parametreleri.....	18
Çizelge 3. 6.	Deneyde kullanılan proses parametreleri ve seviyeleri.....	22
Çizelge 4. 1.	POM numunelerinin ABSP proses parametrelerine bağlı olarak uygulaması öncesi ve sonrası su temas açısı değerleri.....	25
Çizelge 4. 2.	PP numunelerinin ABSP proses parametrelerine bağlı olarak uygulaması öncesi ve sonrası su temas açısı değerleri.....	27
Çizelge 4. 3.	PP numunelerin çekme testi sonucu elde edilen gerilme değerleri	29
Çizelge 4. 4.	H300LAD numunelerin çekme testi sonucu elde edilen gerilme değerleri.....	30
Çizelge 4. 5.	PP numunelerin çekme testi sonucu ayrılma yüzeylerinde oluşan hatanın türleri.....	32
Çizelge 4. 6.	H300LAD numunelerinin çekme testi sonucu ayrılma yüzeylerinde oluşan hatanın türleri.....	33
Çizelge 4. 7.	Plazma uygulama mesafesi değişkeni tanımlayıcı istatistikler.....	35
Çizelge 4. 8.	Kruskal-Wallis H testi sonucu.....	36
Çizelge 4. 9.	Tamhane test sonucu.....	36
Çizelge 4. 10.	Malzeme gruplarının yapışma mukavemeti tanımlayıcı istatistikler.....	37
Çizelge 4. 11.	PP ve H300LAD malzemelerinin uygulama mesafesi grupları için tek yönlü ANOVA sonucu.....	37
Çizelge 4. 12.	Bonferroni test sonucu.....	38
Çizelge 4. 13.	Plazma tarama sayısı gruplarının tanımlayıcı istatistikleri.....	38
Çizelge 4. 14.	Plazma Tarama Sayısı grupları için Tek yönlü ANOVA sonucu	39
Çizelge 4. 15.	Malzeme gruplarında tarama sayısı gruplarına için tek yönlü ANOVA sonucu.....	39
Çizelge 4. 16.	İki malzeme türünde etkileşim etkisi için iki yönlü ANOVA sonucu.....	40
Çizelge 4. 17.	Üç yönlü ANOVA sonucu.....	42

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

F	Test istatistiği
He	Helyum
m	Metre
mm	Milimetre
MPa	Megapascal
K	Kelvin
O	Oksijensani
p	İstatistiksel anlamlılık değeri
$\gamma$	Yüzey gerilimi
$\gamma_{KB}$	Katı-buhar arayüzü yüzey gerilimi
$\gamma_{SB}$	Sıvı-buhar arayüzü yüzey gerilimi
$\gamma_{KS}$	Katı-sıvı arayüzü yüzey gerilimi
Wa	Yapışma işi
$\Theta$	Temas açısı
$\alpha$	Anlamlılık düzeyi

### Kısaltmalar

### Açıklama

ABSP	Atmosferik Basınçlı Soğuk Plazma
ANOVA	Analysis of Variance (Varyans Analizi)
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
ASTM	Amerika Test ve Malzeme Topluluğu
eV	Elektronvolt
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
H300LAD	Galvaniz Kaplı Çelik
HD-PE	High Density Polietilen (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
LD-PE	Low Density Polietilen (Alçak Yoğunluklu Polietilen)
PA6	Poliamid 6
PA 6.6	Poliamid 6.6
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PET	Polietilen tereftalat
PEEK	Poliariletereterketon
PMMA	Polimetil metakrilat (Akrilik)
POM	Polioksimetilen (Asetal)
PP	Polipropilen
PS	Polistren
PPS	Polifenilen Sülfid
PVC	Polivinil klorür
PVDF	Polivinilidenflorit
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
XPS	X-Ray fotoelektron Spektroskopisi
W	Watt

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, farklı malzemeleri birleştirerek yapısal parçalar oluşturmak için yapıştırma bağlantıları, malzemelere çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikler kazandırmak, aşınma ve korozyondan korumak ve estetik gereksinimleri karşılamak için boya ve kaplama uygulamaları yapılmaktadır. Bu uygulamalarda istenilen düzeyde performans elde edebilmek için malzemelerin iyi yapışma özelliklerine sahip olması gerekmektedir.

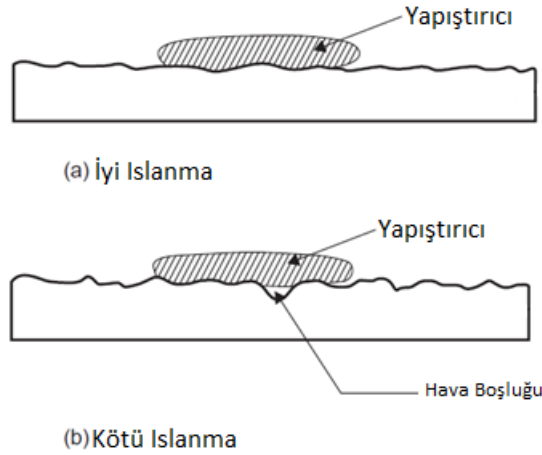
Daha dayanıklı bir yapışma bağlantısı için, yapıştırıcı uygulanacak malzemelerin yüzey enerjilerinin, yapıştırıcının yüzey enerjisinden yüksek olması gerekmektedir. Böylece yapıştırıcı yüzey üzerini ıslatarak yüzeyde yayılır ve yapıştırıcı ile yüzey arasındaki temas artırılarak yapışma bağının oluşumu desteklenir. Bu durum özellikle polimer gibi düşük yüzey enerjisine sahip malzemeler için, yapışma prosesi öncesinde yüzey ön işlemleri uygulanmasını gerektirmektedir. Yapışma öncesinde malzeme yüzeylerine uygulanan çeşitli yüzey işlemleri ile malzemelerin yüzey enerjilerinin artırılarak, gelişen ıslanabilirlik özellikleri ile yapışma bağı mukavemetinin iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Atmosferik basınçlı plazma işlemi, ekonomik ve çevre dostu bir yöntem olması nedeniyle malzemelerin yüzeyleri değiştirmek için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, atmosferik basınçlı soğuk plazma işleminin yapışma davranışına olan etkisi PP yüzeylerinde ve galvaniz kaplı çelik (bundan sonra H300LAD olarak anılacaktır) yüzeylerinde incelenmiştir. Farklı uygulama mesafesi ve plazma tarama (tekrar) sayısı gibi plazma parametrelerinin, yapışma bağı dayanımları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Atmosferik basınçlı plazma uygulaması sonrası numune yüzeylerindeki ıslanabilirlik özelliklerindeki değişim, numuneler üzerindeki temas açısı ölçümleriyle değerlendirilmiştir. Yapışma bağlantısıyla birleştirilen parçaların mekanik dayanımı plazma uygulanan ve uygulanmayan parçalar için çekme testiyle test edilerek, plazmanın yapışma özellikleri üzerindeki etkisi yapışma dayanımı sonuçlarıyla ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmada, yapışma mukavemetine etki eden plazma uygulama mesafesi ve plazma tarama sayısı faktörlerinin yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi istatistiksel olarak analiz edilmiştir.

## 2.KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1.Yapışma Mekanizmaları

Yapışma temel olarak iki yüzeyin ara yüzeyindeki atomlar arası ve moleküler arası etkileşim olarak tanımlanmaktadır (Baldan A. , 2012).Yapışma olgusunu açıklamak için pek çok teori geliştirilmiştir. Bu teoriler, mekanik teorisi, elektrostatik teorisi, difüzyon teorisi, adsorpsiyon teorisi, zayıf sınır katman teorisi ve kimyasal bağlama teorisidir (Baldan A. , 2004; Baldan A. , 2012; Silva vd., 2018). Adsorpsiyon teorisi, yapıştırıcı ve yapıştırılan madde arasında moleküler düzeyde temas olduğunda yapışmanın olduğunu öne sürmektedir. Bu teori en çok kabul gören teoridir ve katı yüzey ile sıvı yapıştırıcı arasındaki temas için ıslanabilirliğin gerektiği vurgular. Yapıştırıcı yüzey üzerindeki pürüzlere nüfuz ederse iyi ıslanabilirlik elde edilir dolayısıyla temas alanı artar. Ancak yapıştırıcı yüzey üzerindeki pürüzlere ve boşluklara nüfuz edemezse, yapıştırıcı ile malzeme arasındaki temas alanında azalma gerçekleşmektedir ve bu yapışma davranışı etkilemektedir (Baldan A. , 2004; Silva vd., 2018).



**Şekil 2. 1.**Yapıştırıcı ve yüzey arasındaki ıslanabilirlik (Ebnesajjad, 2014)

Günümüzde, yapışmayı açıklayan tek bir mekanizmanın varlığı yerine yapışmanın bu mekanizmaların bir ya da birkaçının kombinasyonu şeklinde meydana geldiği veya farklı teorilerin farklı yapışma durumlarını açıkladığı daha yaygın bir şekilde düşünülmektedir (Baldan A. , 2012; Silva vd., 2018; Wolf, 2013).

Yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasında yapışma bağının oluşabilmesi için temas etmeleri, dolayısıyla sıvı formdaki yapıştırıcının malzemeyi ıslatabilmesi gerekmektedir (Baldan A. , 2004; Carriono vd., 2002; Mandolino vd., 2014). Yapıştırıcının yüzeyi ıslatabilmesi için, yapıştırılan malzemenin yüzey enerjisi, yapıştırıcıdan yüksek olmalıdır (Baldan A. , 2012; Johansson, 2017; Moroni vd., 2020). Bu nedenle yapışma bağı dayanımı artırmak için, yapıştırma öncesinde malzemelerin yüzey enerjilerini yükseltmek temel amaçtır.

## **2.2.Yüzey Enerjisi**

Yüzey gerilimi ( $\gamma$ ), birim alan başına yüzey enerjisi veya uzunluk başına kuvvet olarak ifade edilir. Sıvının yüzey gerilimi ve yüzey serbest enerjisi eşitken, katı bir yüzey için aynı şey geçerli değildir. Sıvıların yüzey gerilimi doğrudan ölçülebilirken katıların yüzey gerilimini ölçebilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Ebnesajjad, 2014).

Katı malzemeler, yüzeyi düşük ve yüksek yüzey enerjili malzemeler olarak ikiye ayrılır. Yüksek yüzey enerjili malzemeler, metaller ve oksitler, silikatlar ve nitrürler gibi inorganik malzemelerdir. Polimerler ise düşük yüzey enerjili malzemelerdir. Yüksek yüzey enerjili malzemeler, yağ gibi düşük yüzey enerjili maddeleri emer ve yüzeyleri kirlenir. Bu durumda özellikle metal malzemelerde koruyucu kaplama uygulama öncesinde yüzeyin temizlenmesi gerekmektedir (Ebnesajjad, 2014).

## **2.3. Yapışma İşi, Temas Açısı ve Islanabilirlik**

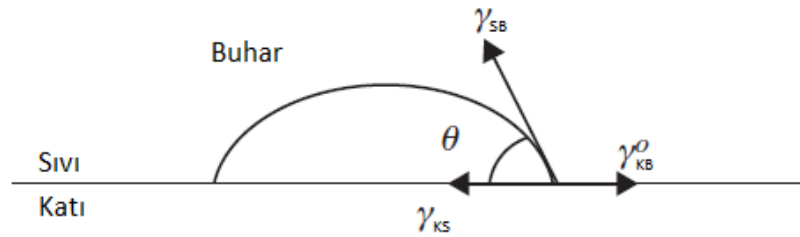
Yapışma işi, temas halindeki iki fazın birim alanını ayırmak için gereken tersinir termodinamik iş olarak tanımlanır.

$$W_a = \gamma_{KB} + \gamma_{SB} - \gamma_{KS} \quad (2.1.)$$

$\gamma_{KB}$ ,  $\gamma_{SB}$  ve  $\gamma_{KS}$  sırasıyla katı-buhar, sıvı-buhar ve katı-sıvı arayüzlerinin özgül yüzey enerjileri veya yüzey gerilimleridir.

İyi bir yapışma elde edebilmek için yapıştırıcının yüzeyi ıslatması gerekmektedir. Yapıştırıcının yüzeyi yeterince ıslatması durumunda, yapıştırıcı ve yüzey arasındaki temas artacak ve bu da yapıştırılan malzeme ile yapıştırıcı arasındaki bağ oluşumunu artıracaktır (Baldan A. , 2004; Carriono vd., 2002; Mandolfino vd., 2014). Islanabilirlik, temas açısı ölçümleriyle tespit edilebilir.

Young denklemine göre, denge durumunda katı yüzey üzerindeki bir sıvının temas açısı ölçülebilir.



**Şekil 2. 2.**Katı yüzey üzerindeki denge durumundaki sıvı damlası (Baldan A. , 2012)

$$\gamma_{KB} = \gamma_{KS} + \gamma_{SB} \cdot \cos\theta \quad (2.2)$$

Yapışma işi Young denkleminde kullanılmasıyla,

$$Wa = \gamma_{SB}(1 + \cos\theta) \quad (2.3)$$

Denklem 2.3, Young-Dupre denklemi olarak da bilinir. Bu denklem ile temas açısı ve yüzey gerilimi ölçümleri ile yapışma işi hesaplanabilir.

Temas açısı değerinin sıfır veya sıfır değerine yakın olduğu durumlar tam ıslanma veya yayılma,  $0 < \theta < 180^\circ$  kısmi ıslanma durumunu ve temas açısı değeri  $\theta = 180^\circ$  ıslanmama durumunu temsil eder. Bu nedenle, iyi bir ıslanabilirlik için temas açısı değeri küçük olmalıdır (Baldan A. , 2004; Silva vd., 2018) (Şekil 2.2).



## 2.4. Atmosferik Basınçlı Plazma

Maddenin 4. hali olarak bilinen plazma, bir gazı enerji verilerek oluşturulur. Bu enerji, elektrik akımı, elektromanyetik alan ve ısı şeklinde verilebilir. Plazmalar düşük basınçta veya atmosferik basınç altında üretilebilmektedirler. Atmosferik basınçlı plazmanın, düşük basınçlı plazma işlemine göre ekonomiklik ve kullanım kolaylığı gibi avantajlar sağlaması, çok çeşitli uygulamalarda giderek artan bir kullanım alanına sahip olmasına olanak sağlamıştır. Atmosferik basınçta termal ve termal olmayan plazmalar üretilebilmektedir. Termal plazmalarda, nötron ve iyon sıcaklıkları elektron sıcaklıklarına yakındır.

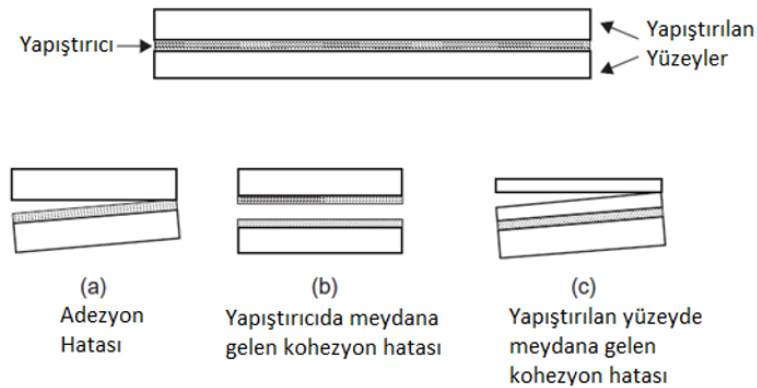
Termal olmayan plazmalarda ise, iyon ve nötron sıcaklıkları oda sıcaklıklarında iken ( $0,025 \text{ eV} = 298 \text{ K}$ ), elektron sıcaklıkları  $1-10 \text{ eV}$  ( $>10.000 \text{ K}$ ) arasındadır. İyon ve nötron sıcaklıklarının oda sıcaklığında olması nedeniyle termal olmayan plazmalar soğuk plazmalar olarak da bilinmektedir. Plazmayı oluşturan elektron, iyon ve nötron gibi türler arasındaki sıcaklık farkı ile, özellikle polimer malzemeler için yüzeylerinin ısıdan zarar görmeden değiştirilmesi sağlanır (Kusano, 2014; Pinson & Thiry, 2020; Wolf, 2013).

Termal olmayan plazmalar, parçacıklar arasındaki sıcaklık farkının meydana getirilerek üretilmesi nedeniyle dengede olmayan plazmalar olarak da adlandırılmaktadır. Atmosferik basınçlı plazmalar ile malzeme yüzeylerinde fiziksel ve kimyasal reaksiyon mekanizmaları meydana gelmektedir. Plazma ile yüzeyde oluşan radikal türler, kimyasal modifikasyonlara sebep olurken, kinetik enerji kazanan iyonların malzeme yüzeylerinden atom ve molekül çıkarması, malzeme yüzeyinin moleküler düzeyde pürüzlenerek fiziksel modifikasyonuna sebep olmaktadır (Wolf, 2013).

Atmosferik basınçlı plazmaların yüzey ile etkileşimleri sonucunda, yüzey temizleme, çapraz bağlama, ablasyon gibi çeşitli modifikasyonlar meydana gelir ve bu etkiler yüzeyin yapışma özelliklerini geliştirmektedir.

## 2.5.Yapıştırma Bağlantılarında Oluşan Hatalar

Yapıştırma bağının kopması sonucu adezyon veya kohezyon hatası meydana gelir. Yapıştırıcı ile yapıştırılan yüzeylerden biri arasında yapıştırma bağı tamamen ayrılırsa adezyon hatası olarak adlandırılır. Kohezyon hatası ise, yapıştırıcının her iki yüzeyde de kalması olarak tanımlanabilir. Ayrıca yapıştırma bağının çok kuvvetli olduğu durumlarda hata, yapıştırılan malzemede gerçekleşen kopma sebebiyle de meydana gelebilir (Ebnesajjad, 2014).Yapıştırma bağında meydana gelen hatalar Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Kohezyon hatası, adezyon hatasına göre tercih sebebidir çünkü hata yapıştırılan yüzeyler ile yapıştırıcı arasında değil, yapıştırıcının kendi içinde meydana gelmiştir. Yüzeylerde oluşan hatalar bağlantının mukavemeti hakkında kesin bilgi vermez. Oluşan bağ hataları, birleştirilen malzemeye, yapıştırıcıya ve uygulanan yüzey ön işlemine bağlıdır (Iqbal vd., 2010; Ebnesajjad, 2014). Bu nedenle yüzeylerde meydana gelen hatanın incelenmesi, hatayı düzeltebilmek için oldukça önem taşımaktadır.



**Şekil 2. 3.**Yapıştırılan yüzeylerde meydana gelen adezyon ve kohezyon hataları (Ebnesajjad, 2014)

## 2.6. İstatistiksel Analiz ve Hipotez Testleri

İstatistiksel analizlerde, parametrik ve parametrik olmayan testler kullanılmaktadır. Deneyde araştırılması istenilen faktörlerin istatistiksel açıdan anlamlılığını tespit etmek için deneyde elde edilen verilere parametrik testlerden biri olan varyans analizi (ANOVA) uygulanmaktadır. ANOVA ikiden fazla grubun ortalamalarının farklı olup olmadığının test edilmesi için kullanılır. Tek yönlü ANOVA, tek faktörü yani tek bağımsız değişkeni

bulunan durumda uygulanmaktadır. İki yönlü (faktör) ANOVA ise iki bağımsız değişkenin olduğu durumlarda uygulanmaktadır. Bağımsız değişken sayısı belirtilmek istenmezse, birden fazla bağımsız değişken anlamına gelen faktöriyel ANOVA olarak adlandırılır. Analiz sonucunda çıkan p değerleri  $< 0,05$  ise, grupların birbirinden farklı olduğunu göstermektedir. ANOVA testi sonuçları grupların birbirinden farklı olup olmadığını gösterse de, farklılığın hangi gruptan kaynaklandığını bildirmez. Bu yüzden farkın hangi gruptan kaynaklandığını anlamak amacıyla parametrik ve parametrik olmayan çoklu karşılaştırma testlerinin yapılması gerekmektedir. Parametrik test varsayımları sağlanmadığında, tek yönlü ANOVA'nın parametrik olmayan karşılığı olarak Kruskal-Wallis H testi uygulanmaktadır (Karslıoğlu, 2013; Sarıkaya vd., 2016; Şenoğlu & Acıtaş, 2020).

## 2.7. Literatür Çalışmaları

Atmosferik Basıncılı Plazma işleminde proses parametrelerinin çeşitliliği ve kontrolü istenilen düzeyde yüzey işlemini elde edebilmeyi sağlar. Bu parametre çeşitliliğinde optimum plazma koşullarını elde edebilmek için literatürde çok çeşitli araştırmalar yapılmıştır.

Ku vd., (2013), PP ile alüminyum levhalar arasındaki yapışma bağlantısını geliştirebilmek amacıyla PP malzeme yüzeyine atmosferik basınçlı plazma işlemi uygulamışlar, uygulanan plazma işlem sayısına bağlı olarak, temas açısı ve yapışma dayanımını incelemiştir. Atmosferik basınçlı plazma işleminin yüzey üzerindeki fiziksel ve kimyasal modifikasyonlarını inceleyebilmek için plazma uygulama öncesi ve uygulama sonrası numune yüzeylerine AFM ve FTIR analizleri yapmışlardır. Uygulama öncesi PP malzemesinin temas açısı  $91^\circ$  iken sekiz kez plazma işlemi görmüş yüzeyin temas açısı  $53^\circ$  olarak ölçülmüştür. İşlem sayısı arttıkça, temas açısının azaldığını, belirli bir işlem sayısından sonra ise temas açısının sabit kaldığını bildirmişlerdir. Sekiz kez plazma ile işlem görmüş PP yüzeyinin soyulma mukavemeti plazma uygulama öncesine göre %42, kesme mukavemeti ise plazma uygulaması öncesine göre %44 oranında artış göstermiştir. Ayrıca atmosferik plazma uygulamasından sonra PP yüzeyinin pürüzlülük değerinin, uygulama öncesine göre %20 artışı tespit edilmiştir. Atmosferik basınçlı plazma uygulaması sonrasında yapışma mukavemetinde artış sağlanmış ve bu artış,

malzeme yüzeyinde meydana gelen fiziksel değişim ile yüzeyde oluşan polar gruplara bağlanmıştır.

Mandolino vd., (2014), düşük basınçlı soğuk plazma işleminin, çalışma gazı, voltaj ve işlem süresi gibi çalışma parametreleri ile, HD-PE ve PP yüzeylerinin yapışma özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Soğuk plazma uygulamasının yüzeyler üzerindeki etkileri, yüzey enerjisi, yüzey pürüzlülüğü ve bindirme kesme testi ölçümleriyle değerlendirilmiştir. Plazma uygulamasının, kısa işlem sürelerinde bile, temas açısında önemli ölçüde azalmaya neden olduğunu, artan uygulama süresinin, yapışma özelliklerinde daha büyük değişime sebep olmadığını bildirmişlerdir. Bu çalışmada, kısa işlem sürelerinin bile yüzey ıslanabilirliğini büyük ölçüde artırdığını ve yüksek deşarj gücünde temas açısı ölçümlerinde minimum değerler elde edildiği bildirilmiştir. Çalışma sonucunda, optimum uygulama süresini 5s olduğunu ve artan işlem süresiyle, yapışma bağlantısının mekanik özelliklerinde bozulmalar meydana geldiğini ortaya koymuşlardır.

Esen vd., (2016), PP malzeme yüzeyine farklı işlem hızlarında atmosferik basınçlı plazma uygulayarak, hız parametresindeki değişikliklerin, yüzey aktivasyonu üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Plazma işlemi, malzeme yüzeylerine, 5 mm sabit plazma mesafesinden 10 mm/s- 150 mm/s arasında düşük, orta ve yüksek olarak gruplanmış farklı hız kategorilerinde uygulanmıştır. Düşük işlem hızlarında plazma uygulaması sonrası temas açısı değeri 94,9° iken plazma sonrası bu değer 23,9±2 olarak, orta hız grubu sonrası 38±3° değerine ve yüksek hızlarda ise bu değer 44±2° olarak ölçülmüştür. Plazma uygulama hızının yükselmesi, yüzey-plazma etkileşim süresinin kısalmaya neden olduğu için, temas açısı değerlerindeki düşüş miktarının, işlem hızı artışı ile azaldığı görülmüştür. Yüzey enerjisi ve ıslanabilirlik özellikleri açısından, en iyi sonuçlara plazmanın düşük hızlarda uygulandığı durumlarda ulaşılmıştır. Uygulama hızının artışı, plazma aktivasyon etkisini azaltmış olsa da yüksek işlem hızlarında bile yüzey enerjisi, plazma uygulama öncesine göre daha yüksek değerlere ulaşmıştır.

Noeske vd., (2004), atmosferik basınçlı plazma işleminin PET, PA6, PVDF, HD-PE ve PP malzeme yüzey özelliklerine ve yapışma dayanımına olan etkisini, farklı proses parametrelerini de göz önünde bulundurarak incelemişlerdir. Atmosferik basınçlı

plazmanın yüzey üzerindeki etkileri temas açısı, XPS ve AFM ölçümleri ile incelenmiştir. Yapışma dayanımının değişimi bindirme kesme testi ile değerlendirilmiştir. Plazma uygulaması sonrası tüm polimerlerin yapışma bağlarında iyileşme gözlemlendiği belirtilmiştir. Uygulama voltajı, gaz akış hızı, atmosferik plazma jeti ile malzeme arasındaki mesafe, maruz kalma süresi gibi farklı proses parametrelerinin yapışma mukavemetiyle olan ilişkisi incelendiğinde uygulama mesafesi ve süresinin, yüzey üzerinde, plazma deşarj parametrelerine göre daha fazla etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. PET malzeme yüzeyi üzerinde 20 mm, 10 mm, 7 mm ve 3 mm farklı uygulama mesafeleri için uygulama mesafesinin azalmasının, yüzey enerjisinde meydana gelen artış ile yapışma özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir. Yapışma bağlantısında meydana gelen bu iyileşme, atmosferik plazma uygulamasının fiziksel ve kimyasal modifikasyonlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Mandolino vd., (2017), düşük basınçlı soğuk plazma işleminin, poliamid 6 ve poliamid 6.6 malzemelerin yapışma davranışı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Plazma gücü, çalışma gazı ve işlem sayısı gibi farklı proses parametrelerinin, yüzey ıslanabilirlik özellikleri ve kesme mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmışlardır. PA6 numunesinin temas açısı plazma işlemi öncesinde 50° iken, 50 W plazma gücü ve 60 s işlem süresi için temas açısı 25°'ye düşmüştür. İşlem süresinin uzaması, temas açısında daha düşük değerler elde edilmesine sebep olmadığı gözlemlenmiştir. Plazma gücünün 150 W- 200 W değerlerine yükseltilmesi, temas açısı değerinin 2°'ye düşmesini sağlamıştır. PA6 numuneleri için en yüksek mukavemet dayanımının, 150 W plazma gücü ve 180 s işlem süresinde elde edildiği görülmüştür. PA6.6 numunelerinin temas açısı değerlerinde, PA6 numunelerine benzer şekilde, yüksek plazma güçlerinde ve daha uzun işlem sürelerinde minimum değerler elde edilmiştir. Her iki polimer malzemedeki çalışma gazı olarak hava kullanıldığında, diğer çalışma gazlarına kıyasla, kesme mukavemetlerinde daha yüksek değerler meydana geldiği gözlemlenmiştir. XPS analizi ile plazma işleminin her iki polimer yüzeyinde, oksijen içeren polar grupları artırmasına sebep olduğu ve bu sayede plazma işlemi sonrası yüzey ıslanabilirlik özelliklerinin geliştiği gözlemlenmiştir.

Kostov vd., (2014), farklı proses parametrelerinin, PP, PE ve PET polimer yüzeyleri etkisini argon plazma jeti ile değerlendirmişlerdir. Polimer numunelere atmosferik

plazma jeti ile DBD uygulaması yapılmış ve atmosferik plazma jetinin yüzey üzerinde daha etkili modifikasyon sağladığı görülmüştür. Plazma nozulu ile polimer numune arasında 2 cm, 2,5 cm, 3,0 cm ve 3,5 cm farklı uygulama mesafelerinin plazma gücü ile ilişkisi incelendiğinde 3 cm ve altındaki mesafelerde, plazma jet gücünün etkinliğinin arttığını gözlemlemişlerdir. Uygulama mesafelerinin artışı, temas açısı değerlerinde artışa sebep olmuştur. Daha kısa işlem mesafelerinde, atmosferik plazmanın yüzey üzerinde daha fazla aktif tür oluşmasına katkı sağlayarak ıslanabilirlik ve yapışma özelliklerini geliştirdiğini ancak artan işlem mesafesi ile üretilen fonksiyonel grupların, polimer malzeme yüzeyine ulaşamayarak atmosferik plazmanın yüzey üzerindeki etkinliğin azalmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Plazma uygulaması sonrası PE ve PP numunelerinin O/C oranında artış ve yüzey morfolojilerinde değişiklik meydana gelmiş bu durum numune yüzeylerinin gelişen ıslanabilirlik özellikleri ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca işlem süresinin optimum bir değerden sonra, temas açısında daha fazla bir azalmaya neden olmadığını ve bunun polimer yüzeyin atmosferik plazma ile etkileşiminde doygunluğa ulaşmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Encinas vd., (2012), PP malzeme yüzeyine yapışma uygulaması öncesi yüzey ön işlemi olarak, mekanik aşındırma, kimyasal astar uygulaması ve atmosferik basınçlı plazma torcunu kullanmışlardır. PP malzemeleri PU yapıştırıcı ile birleştirilmiştir. Mekanik aşındırma işlemi 80 tane boyutunda zımpara kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Atmosferik plazma uygulaması 6 mm uygulama mesafesinden 0,2 m/s işlem hızında uygulanmıştır. Zımparalama işlemi sonrası yüzey enerjisi, uygulama öncesine göre %2 oranında artış gösterirken, atmosferik plazma işlemi sonrası yüzey enerjisi üç kat artış gösterdiği görülmüştür. Numunelerin atmosferik basınçlı plazma işleminden sonra yüzeyleri XPS analizi ile incelenmiş ve plazma işleminden sonra, C-C/C-H bağlantılarının kopması ve plazma ile etkileşim sonucu oksijen ve nitrojen atomlarının eklenerek yüzey enerjisinin artmasına sebep olduğu ortaya konmuştur. Yapışma testi sonucunda, yüzey ön işlemi uygulanmayan numunelerin çok düşük kayma değerleri gösterdiğini, mekanik aşındırmanın ise yüzeyde yarattığı pürüzlere rağmen, yapışma testi sonucunda işlenmemiş numunelere benzer kayma değerleri gösterdiği belirtilmiştir. Buna karşılık atmosferik basınçlı plazma sonrası yapışma dayanımında %500'lük bir artış elde edilmiş

ve yapıştırıcının yüzeye bağlanma davranışında, kimyasal bağlanmanın, fiziksel bağlanmaya göre daha büyük etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Mandolino vd., (2014), düşük basınçlı soğuk plazma uygulamasının, HD-PE malzeme yüzeylerindeki ıslanabilirlik ve yapışma özelliklerinde olan etkisini incelemişlerdir. Soğuk plazma işleminin yapışma bağlantısına olan etkisi astar yüzey ön işlemi ile karşılaştırılmıştır. Temas açısı ölçümleri sonucunda astar ön yüzey işleminin polietilen yüzeyinde ıslanabilirlik özelliklerini etkilemediği, temas açısının uygulama öncesi ve sonrası 80° 'de sabit kaldığı gözlenmiştir. Düşük basınçlı soğuk plazma uygulaması 50 W güç girişinde, 5 ile 600 s işlem süresinde uygulanmış ve temas açısı ölçümleri plazma işlem süresinin 60 s den kısa sürelerde uygulanmasının yeterli olduğunu göstermiştir. Farklı güç girişlerinin etkisinin incelenebilmesi için 50 W ,100 W 150 W ve 200 W parametreleri için 60 s işlem süresinde plazma uygulaması gerçekleştirilmiştir. 150 W ve daha büyük güç girişlerinde, temas açısı değerleri 15°'nin altına düştüğü görülmüştür. Astar ile ön işlem görmüş yüzeylerin yapışma mukavemetleri, işlem görmemiş yüzeylere göre üç kat artış göstermiştir. Buna karşılık soğuk plazma ile 50 W güç girişinde kısa işlem süresinde, astar yüzey ön işlemine kıyasla daha yüksek mukavemet değerleri elde edildiği bildirilmiştir.

Moroni vd., (2020), PE, PP ve PA66 malzemelerine zımparalama, astar ve atmosferik plazma işlemi uygulanmıştır. Atmosferik plazma, 30–400 mm/s işlem hızı ve 5–20 mm nozul- malzeme mesafeleri olmak üzere farklı proses parametrelerinde uygulanmıştır. Yüzey serbest enerjisinin bileşenlerini hesaplamak için Owens-Wendt teorisi kullanılmıştır. Her üç malzeme içinde en yüksek yüzey enerjileri, uygulama mesafesinin en düşük (5 mm) olduğu durumda elde edilmiştir ve uygulama mesafesinin artışı ile işlem hızından bağımsız olarak yüzey enerjisi değerlerinin düştüğü görülmüştür. Bu çalışmada atmosferik plazma işleminin, mekanik aşındırma ve kimyasal astar yüzey ön işlemlerine kıyasla polimerlerin yapışma bağlantılarını iyileştirmede daha etkili olduğu görülmüştür. Polimer yüzeyler FTIR analizi ile incelendiğinde, plazma işlemi sonrasında yüzeyde meydana gelen reaktif organik grupların malzemelerin yüzey enerjisini artırmada etkili olduğu gözlenmiştir. Atmosferik basınçlı plazma işleminin, daha düşük işlem hızı ve mesafelerde daha etkili olduğu belirtilmiştir.

Shaw vd., (2016), atmosferik basınçlı plazma uygulamasının, PP film yüzey özelliklerinde değişikliğe sebep olan mekanizmaları araştırmışlardır. Oksijen karışımı yüzdesi, işlem süresi ve uygulama mesafesi gibi farklı proses parametrelerinin temas açısı ile ilişkisi incelemişlerdir. Farklı oksijen karışımları ile plazma uygulaması sonucu ölçülen temas açısı değerleri, PP temas açısının uygulama öncesi 93,9° olarak belirlenen değerlerden oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Oksijen yüzdesinin %0,5 ve uygulama mesafesinin 15 mm olarak sabit tutulduğu durumda, plazma uygulamasının ilk 10 s'de temas açısında hızlı bir düşüş olduğu, 20-120 s süresinde daha yavaş bir azalma olduğu ve 120 s sonrasında, temas açısı değerlerinde azalma görülmediği ortaya konmuştur. Aynı oksijen yüzdesi ve uygulama mesafesi için, 0,2-2 s arasındaki işlem sürelerinde temas açısı 93,9 değerinden 70,1°'ye düşmüştür. 120 s sonunda temas açısı 35° olarak elde edilmiştir. 3-15 mm arasındaki uygulama mesafeleri için temas açısı değerlerinde, plazma işleminin ilk 10 s'de hızlı bir düşüş görülürken, 20-120 s arasında temas açısında daha yavaş bir düşme meydana gelmektedir. 30-50 mm uygulama mesafeleri için, temas açısındaki değişim oldukça yavaştır. Uygulama mesafesindeki artışın, radikal yoğunluğunun azalmasına yol açarak temas açısı değerleri üzerindeki etkisini azalttığını belirtmişlerdir.

Polimer ve kompozit malzemeler sahip oldukları üstün özelliklere karşın, düşük yüzey enerjileri nedeniyle iyi bir yapıştırma bağlantısı elde edilememektedir. Iqbal vd., (2010), PEEK, karbon elyaf ve cam elyaf takviyeli PPS polimer ve kompozit yüzeylerin atmosferik plazma ile yüzey özelliklerini değiştirerek, yapışma özelliklerinde iyileştirmeler elde etmeyi amaçlamışlardır. Malzemelerin yapışma bağlantısında, epoksi yapıştırıcı kullanılmıştır ve yapışma davranışının değişimi çekme bindirme kesme testi ile ölçülmüştür. Numunelere sabit 5 mm mesafesi ve 60 s işlem süresinde plazma uygulaması yapılmıştır. Atmosferik basınçlı plazma ile düşük basınçlı plazmanın yüzey enerjisi üzerindeki etkinliği kıyaslamak amacıyla PEEK yüzeyine düşük basınçlı plazma uygulanmıştır. Atmosferik plazma uygulaması ile, düşük basınçlı plazmaya göre daha yüksek yüzey enerjisi ve yapıştırma bağı mukavemeti elde edilmiştir. Yapıştırma bağlantısıyla birleştirilmiş, PEEK malzemesinin yapışma dayanımı 0,5 MPa değerinden, atmosferik plazma uygulaması sonrası 8 MPa değerine yükselmiştir. Düşük basınçlı



plazma sonrası PEEK yapıştırma bağlantısının mukavemet değeri 4 MPa olarak elde edilmiştir. Atmosferik basınçlı plazma işleminin kompozit bağlantısı üzerindeki etkisi, karbon fiber ve cam fiber takviyeli PPS yapıştırma bağlantısı üzerinde incelenmiş ve yapışma mukavemetinde plazma işleminden sonra üç ile dört katlık artışlar gözlenmiştir.

Marooft vd., (2020), 5052 alüminyum alaşımının yüzeyine atmosferik basınçlı soğuk plazma uygulayarak, işlem hızı ve uygulama mesafesinin yüzey ve yapışma özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Uygulama mesafesinin 4 mm değerinden 10 mm değerine artması durumunda, atmosferik plazma etkisinin %32 azaldığı kaydedilmiştir. Bu durum, plazma yoğunluğunun azalmasına atfedilmiştir. Aynı zamanda düşük işlem hızlarında, yüzeyin atmosferik plazma etkisine daha fazla maruz kalması nedeniyle ıslanabilirlikte daha iyi sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir.

Tang vd., (2004), AISI 304L paslanmaz çelik yüzeyinde atmosferik basınçlı Argon plazmasının, işlem süresi, işlem gücü ve yaşlandırma gibi farklı parametre değişimlerinin etkisini incelemişlerdir. Yüzey enerjisi ve temas açısı ölçümleri için, su ve diyodometan kullanılmıştır. Plazma uygulamasının ilk 60 s süresinde, temas açısı minimum değerlere ulaşırken, yüzey enerjisinde maksimum değerler elde edilmiştir. İşlem süresindeki artışın, optimum bir değerden sonra, temas açısı değerlerinde daha fazla düşüşe neden olmadığını, bunun da atmosferik plazma aktivasyonu ile yüzeyde meydana gelen oksit, nitrür gibi aktif türlerin, artan işlem sürelerinde, aktif olmayan türlere geçmesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Aynı zamanda, maruz kalma süresi arttıkça, atmosferik plazma tarafından yüzeyde üretilen aktif olmayan tür sayısının artarak yüzey serbest enerjisinin düşmesine neden olduğunu belirtmişlerdir. Plazma gücü 1-180 W değerleri arasında uygulanmış, işlem gücü 120 W değerindeyken, temas açısında minimum, yüzey enerjisinde maksimum değerler elde edilmiştir. Plazma işleme gücündeki daha yüksek değerlerin, atmosferik plazmanın yüzey üzerindeki etkinliğinin azalmasına neden olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada plazmanın yüzey üzerinde meydana getirdiği radikallerin havadaki O<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub> reaksiyona girdiğini ve bunun sonucunda yüzeyde daha fazla oksijen ve nitrojen üretilmesine sebep olarak doğrudan ıslanabilirlik özelliklerine katkı sağladığını belirtmişlerdir.

Tang vd., (2006) AISI 316 L paslanmaz çelik plakalarının yapışma özelliklerini geliştirebilmek için, numune yüzeylerine atmosferik basınçlı plazma uygulamışlardır. Temas açısı ve yüzey enerjisi değerleri, kısa işlem sürelerinde bile etkili bir şekilde değiştirilmiştir. Uygulama mesafesinin, yüzey enerjisi üzerindeki etkisi incelendiğinde kısa uygulama mesafelerinde yüzey enerjilerinde maksimum değerler elde edilmiştir. Farklı uygulama mesafelerinin temas açısı ve yüzey enerjisi üzerindeki etkileri incelendiğinde, kısa uygulama mesafelerinde temas açısı değerlerinin minimum olduğu ve yüzey enerjisi değerlerinin maksimum olduğu görülmüştür. Plazma işleminden sonra paslanmaz çelik yüzeyi oksitlenerek daha hidrofilik hale gelmiştir ve bu durum paslanmaz çelik levhalar arasında daha güçlü bir yapışma bağlantısı sağlamıştır.

Williams vd., (2017) atmosferik basınçlı soğuk plazma işleminin, 316 paslanmaz çeliği yüzeyi üzerindeki kimyasal ve fiziksel modifikasyonları incelemiştir. Proses gazı olarak helyum kullanılmış ve yapılan ölçümler sonucunda paslanmaz çeliğin yüzey enerjisinin yükseldiği ve yapılan XPS analizleri ile bunun yüzeydeki karbon kontaminasyonunun azalmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir. Yüzeydeki karbon miktarı azalırken, oksijen miktarında artış görülmüştür. Yüzey enerjisinin polar ve polar olmayan bileşenleri ölçüldüğünde, polar bileşenin artışının yüzeydeki oksijen artışıyla aynı oranda olduğu görülmüştür.

### 3.MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Deneyde Kullanılan Numunelerin Özellikleri

PP, ısı ve kimyasal dirence sahip, yüksek elektrik yalıtımlı ve düşük yoğunluğa sahip bir termoplastiktir. PP yorulmaya karşı iyi direnç gösterir. PP sahip olduğu bu üstün özellikler ile, otomotiv, gıda, tekstil ve biyomedikal gibi sektörlerde çok çeşitli kullanım alanına sahiptir. PP'nin hafif ve ucuz oluşu özellikle de ağırlık azaltılarak maliyet düşürme stratejisinden dolayı pek çok sektörde tercih sebebi haline gelmesini sağlamıştır. Otomotiv sektöründe, araç tamponlarında, gösterge panellerinde, iç kaplamalarda ve dış yüzey ek parçalarında kullanılmaktadır. Gıda ve tekstil sektöründe ambalajlamada, elektrik kabloların yalıtımında, laboratuvar aletlerinde ve boru ve ek parçalarında PP malzemesi tercih edilmektedir. PP sahip olduğu hidrokarbon zincirlerinden dolayı düşük yüzey enerjisine sahiptir ve bu da zayıf ıslanabilirlik özelliklerini beraberinde getirir. Boya, kaplama ve farklı malzemelerle birlikte kullanım gerektirdiği durumlarda düşük yapışma özellikleri dezavantaj yaratmaktadır. Yüzey enerjisini yükseltmek amacıyla, boya, kaplama ve yapıştırıcı uygulamaları öncesinde yüzey işlemleri uygulanmaktadır (Vatan, 2002). PP malzemesinin teknik özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3. 1.**PP malzemesinin teknik özellikleri (Johansson, 2017)

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	0,90
Akma Mukavemeti (MPa)	20-35
Kopma Mukavemeti (MPa)	18-22
Uzama (%)	50-145
Elastiklik Modülü (Mpa)	1000-1500
Darbe Dayanımı (J/m)	27

POM, yüksek çekme mukavemeti, rijitlik ve tokluk gibi yüksek mekanik özelliklere sahip bir termoplastiktir. POM, oda sıcaklığında birçok kimyasal, organik çözücüye ve yakıtlara karşı mükemmel dirence, iyi ortam gerilimi-çatlama direnci ve boyutsal kararlık gibi üstün özelliklere sahip olması nedeniyle metallerle alternatif bir malzeme olarak kullanım alanı sağlamaktadır. 140 °C'ye (kısa süreli) ve 90 °C'ye (uzun süreli) kadar iyi mekanik ve elektriksel özellikler sergiler. Yüksek boyutsal kararlılığı, yorulma ve iyi kayma özellikleri sayesinde hassas mekanik parçaların üretiminde de kullanılır. POM

geniş bir aralıkta sahip olduğu iyi mekanik özelliklerden dolayı, rulmanlar, dişliler, konveyör bant bağlantıları gibi mühendislik malzemelerinde, bobinler ve konnektörler gibi elektronik parçalarda, araç yakıt sensörü üniteleri, yaylar, vidalar, somunlar, emniyet kemerlerinde, pompa ve valflerde, kapı kilit sistemlerinde, menteşelerde ve aşınma yüzeylerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. POM'un temel tüketicisi otomotiv sektörüdür, bunu takip edenler ise elektronik endüstrisi ve tüketim malı üreticileridir. Tüm bu avantajlarına rağmen, sahip olduğu düşük yüzey enerjisi ve nedeniyle yapıştırılması zordur (Lüftl vd., 2014; Pious & Thomas, 2016)

**Çizelge 3. 2.**POM malzemesinin teknik özellikleri (Lüftl vd., 2014)

Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	1.42
Akma Mukavemeti (MPa)	69
Kopma Mukavemeti (MPa)	2,900
Uzama (%)	75
Elastiklik Modülü (MPa)	2620
Darbe Dayanımı (J/m)	74

Metal yüzeyleri korozyondan etkisinden korumak için farklı yöntemler mevcuttur. Bunlardan biri de metal yüzeyi çinko ile kaplamaktır. Galvanizleme olarak da bilinen yöntem farklı şekillerde uygulanabilmektedir. Sürekli sıcak daldırma yöntemi, diğer yöntemlere karşı avantajları ve ucuz olması sebebiyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Amaç malzemenin bileşimini değiştirmeden malzemenin yüzeyini korozyona karşı korumaktır (Aydın & Gülenç, 2003). Demir ve çelik malzemelerin ergimiş halde bulunan çinko içine daldırarak, kaplaması yapılarak malzemelerin hava ile bağlantısı kesilir. Bu sayede oksidasyon önlenerek paslanma engellenmiş olur. Atmosferik şartlara da bağlı olarak değişmekle beraber galvaniz kaplamanın metal malzemelerin ömrünü 50 yıla kadar arttırıldığı bilinmektedir (Akgün, 2010). Bu çalışmada kullanılan galvaniz kaplı çelik (H300LAD), sürekli sıcak daldırma yöntemi ile galvaniz kaplanmıştır.

Atmosferik basınçlı soğuk plazma işlemi metal malzeme yüzeyleri temizleme, yüzeyleri işlevselleştirmek ve yapışma özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Metal-metal ve metal-polimer kompozitler oluşturmak plazma ile etkinleştirilmektedir (Wolf, 2013). Galvaniz kaplı çelik malzemeye ait teknik özellikler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

**Çizelge 3. 3.** H300LAD malzemesinin teknik özellikleri

Akma Mukavemeti (MPa)	300-380
Çekme Mukavemeti (MPa)	380-480
Uzama (%)	37
Elastiklik Modülü (MPa)	202

### 3.2. Deneyde Kullanılan Yapıştırıcının Özellikleri

Bu çalışmada iki bileşenli poliüretan bazlı bir yapıştırıcı olan Maracol 18576, kullanılmıştır. Poliüretan yapıştırıcılar, iyi kimyasal direnç, hızlı kurlenme, boşluk doldurma ve titreşim sönümlenme gibi özelliklere sahiptir. Basınç, aşınma ve sıcaklık gibi etkenlere karşı dayanıklıdır. Poliüretan bazlı yapıştırıcı olan Maracol 18576 solvent içermez ve -30°C'den +90°C sıcaklık aralığında iyi sıcaklık dayanımı sağlar. Yapıştırıcının teknik özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir (Encinas vd., 2012)

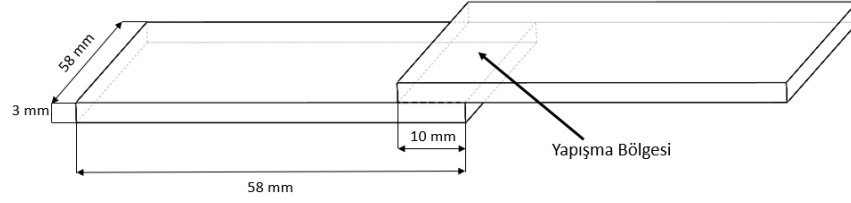
**Çizelge 3. 4.** Maracol 18576 yapıştırıcının teknik özellikleri (Bostik, 2022)

Hacimsel Karışım Oranı	100:32:00
Kurlenme Süresi	Oda şartlarında 24 saat
Viskozite (mPas)	4.000
Çekme Gerilmesi (MPa)	12
Kayma Mukavemeti (MPa)	10

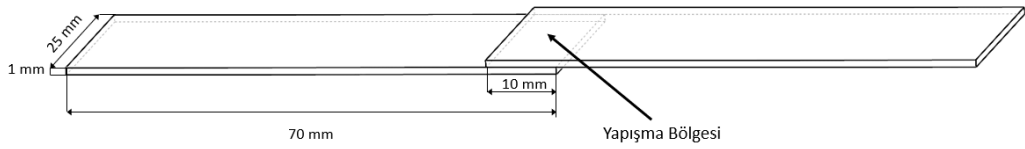
### 3.4. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Plazma Prosesi

Deneyde kullanılan PP ve POM numune boyutları 58x58x3 mm ve H300LAD numune boyutları 70x25x1 mm'dir. Plazmanın yapışma bağı dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması için, numunelere önce plazma işlemi sonrasında yapıştırıcı uygulanmıştır. PP numunesinde plazma ve yapıştırıcı uygulaması için 58x10 mm<sup>2</sup>'lik bir alan, galvaniz kaplı çelik için plazma ve yapıştırıcı uygulaması için 25x10 mm<sup>2</sup>'lik bir alan belirlenmiştir (Şekil 3.1 ve Şekil 3.2). Atmosferik basınçlı soğuk plazma işlemi, farklı mesafe ve tarama sayılarında PP ve galvaniz kaplı çelik numunelerine uygulanmıştır. ABSP işleminin numune yüzeylerinde ıslanabilirlik özelliklerine olan etkisini incelemek için PP ve POM malzemeye plazma uygulamasının ardından su temas açısı ölçümü

yapılmıştır. Plazma proses parametreleri ve numunelere uygulanan testler Çizelge 3.5’te verilmiştir. Her bir deney grubu için üç adet deney numunesi kullanılmıştır.



**Şekil 3. 1.** PP numunelerin yapışma bağlantısı konfigürasyonu.



**Şekil 3. 2.** H300LAD numunelerin yapışma bağlantısı konfigürasyonu.

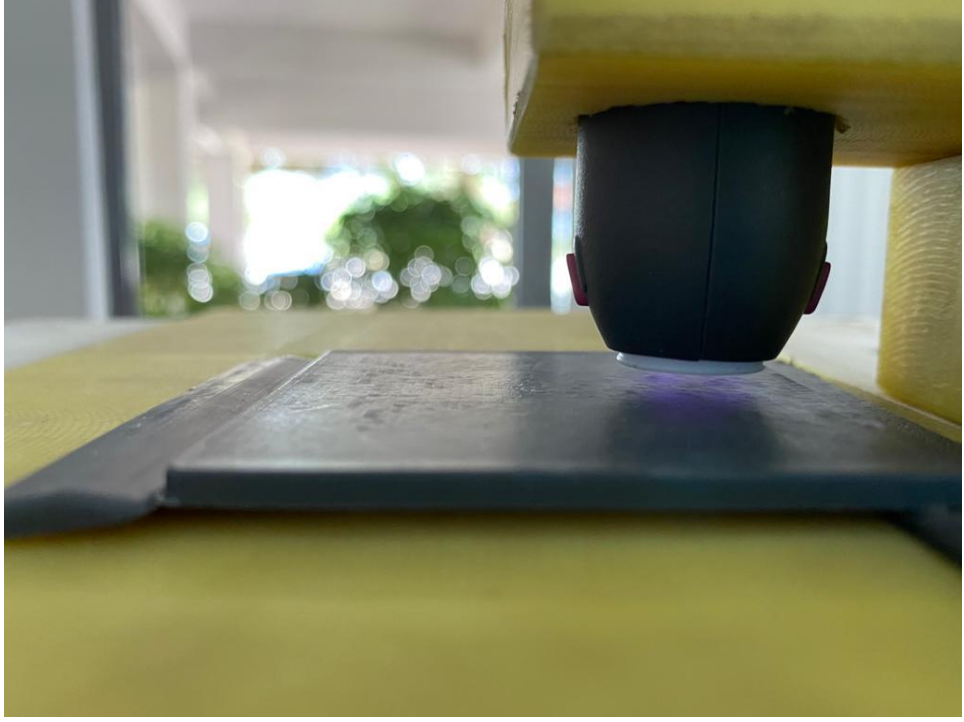
**Çizelge 3. 5.** Atmosferik plazma işleminde kullanılan proses parametreleri

Malzeme	Uygulama Mesafesi (mm)	Tarama Sayısı	Su Temas Açısı Ölçümü	Çekme Testi
PP	2	2-3-4-5	X	
		6-10	X	X
	3	2-3-4-5-6-10	X	
	4	2-3-4-5-6-10	X	
	5	2-3-4-5	X	
		6-10	X	X
8	6-10		X	
POM	2-3-4-5	2-3-4-5-6-10	X	
H300LAD	2	6	X	X
		10		X
	5	6-10		X

### 3.4.1 Temas açısı ölçümü

Atmosferik basınçlı soğuk plazma işleminin numune yüzeylerinin ıslanabilirlik dereceleri, numune yüzeylerinde yapılan temas açısı ölçümleriyle değerlendirilmiştir. Temas açısı ölçümleri için POM, PP ve galvaniz kaplı çelik numunelerini kullanılmıştır. Numunelerin yüzeylerine ölçüm öncesinde herhangi bir yüzey temizleme işlemi uygulanmamıştır. Temas açısı ölçümleri, su damlacığı yöntemiyle yapılmıştır. Numune yüzeylerinde her parametre grubu için farklı yerlerde üç damıtılmış (1ml hacim) damlacık oluşturulup fotoğraflanmış ardından ImageJ yazılımı kullanılarak su temas açıları hesaplanmıştır. Soğuk plazma çalışma parametrelerinin temas açısı üzerindeki etkisini daha ayrıntılı araştırabilmek için, plazma prosesi üzerinde etkisi olan değişkenlerden uygulama mesafesi ve plazma işlem sayısı olarak iki parametre seçilmiştir. ABSP, POM ve PP malzeme yüzeyine 2- 3- 4-5 mm farklı plazma-nozul mesafelerinden 2-3-4-5-6 ve 10 plazma tarama sayılarında uygulanmıştır. Yüzey ıslanma özelliğinin, polimer ve metal malzeme yapışma mukavemeti üzerindeki ilişkisinin araştırılması için galvaniz kaplı çelik numune yüzeyine de 2 mm uygulama mesafesinde, 6 tarama sayısında plazma işlemi uygulanmış ve temas açısı ölçümü için POM ve PP numunelerinde uygulanan aynı işlemler tekrarlanmıştır.

Atmosferik basınçlı soğuk plazma işleminin ıslanabilirlik özelliklerindeki etkisinin karşılaştırılması amacıyla plazma uygulanmayan POM, PP ve H300LAD numunelerinde de temas açısı ölçümü yapılmıştır.



Şekil 3. 3. Atmosferik plazma işleminin numune yüzeylerine uygulanması

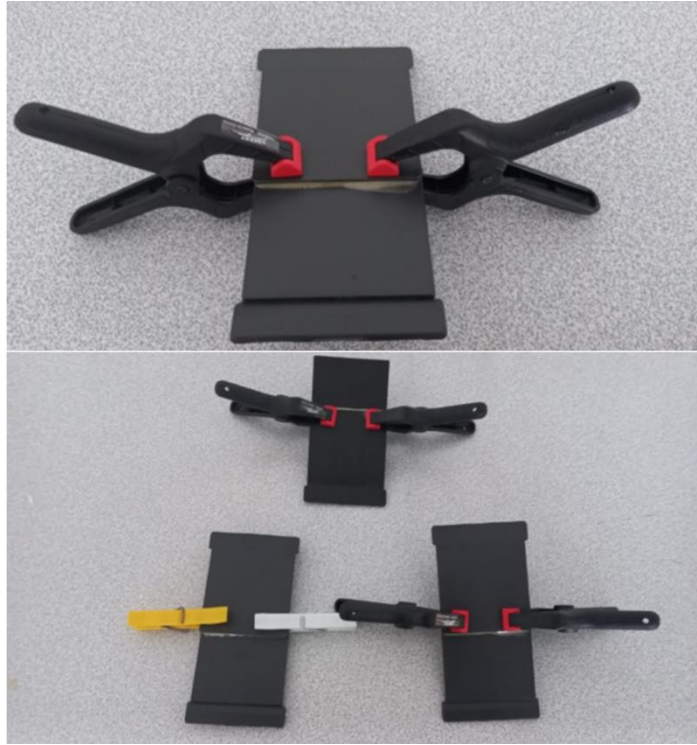


Şekil 3. 4. ABSP uygulamasının ardından numune yüzeylerinde su damlacıklarının oluşturulması



### 3.4.2 Numunelerin yapıştırılması

Farklı mesafelerde ve tarama sayılarında plazma uygulaması yapılan PP ve galvaniz kaplı çelik numunelerine plazma işleminin ardından yapıştırıcı uygulanmıştır. Yapıştırma işleminde iki bileşenli poliüretan bir yapıştırıcı kullanılmıştır (Marocol 18576, karışım oranı 100:32). Yapıştırıcı, 15°C ile 25°C arasındaki sıcaklıkta uygulanmıştır. Yapıştırıcı numune yüzeylerine uygulandıktan sonra 48 saat boyunca basınç altında kürlenmeye bırakılmıştır. Basınç, bindirme bağlantısının her iki yanından uygulanan klipsler ile sağlanmıştır. Atmosferik basınçlı soğuk plazma uygulamasının yapışma davranışı üzerindeki etkisinin karşılaştırabilmesi için plazma uygulanmayan numunelere de aynı yapıştırma işlemleri uygulanmıştır.



Şekil 3. 5.ABSP uygulamasının ardından numunelerin birbirine yapıştırılması

### 3.4.3 Yapışma mukavemetinin ölçümü

Atmosferik basınçlı plazma uygulanan ve uygulanmayan numunelerin yapışma bağlantılarının mekanik performansı çekme testiyle ölçülmüştür. Çekme testleri oda sıcaklığında, 5mm/dk çekme hızıyla Zwick Roell Z020 çekme cihazıyla

gerçekleştirilmiştir. Çekme testinde kullanılan numunelerin boyutları ASTM D897 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Çekme testleri sonucunda yapışma mukavemeti, yapışma alanında oluşabilecek sapma miktarları da göz önüne alınarak her bir numunenin yapışma alanına göre hesaplanmıştır.

### 3.5. İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada, atmosferik plazma uygulamasında, uygulama mesafesi ve tarama sayısı faktörlerinin, malzemelerin yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi incelenmek istenmektedir. Bu deneyde atmosferik plazma kullanılarak, PP malzeme için  $3*3*2=18$  deney, H300LAD için ise  $3*2*2=12$  adet deney yapılmıştır. Plazma etkisini karşılaştırmak amacıyla her iki malzemede plazma işlemi görmemiş üçer deney numunesine yapıştırıcı uygulanmıştır. Deneyin amacı, yapışma mukavemetinin, uygulama mesafesi ve tarama sayısı faktörlerine bağlı olarak etkisinin incelenmesidir. İstatistiksel olarak bu etkiler SPSS paket programı ile %95 güven aralığında ( $p<0,05$ ) analiz edilmiştir.

**Çizelge 3. 6.**Deneyde kullanılan proses parametreleri ve seviyeleri

Faktörler		Seviyeler		
		1	2	3
Uygulama Mesafesi (mm)	PP	2	5	8
	H300LAD	2	5	-
Tarama Sayısı		6	10	

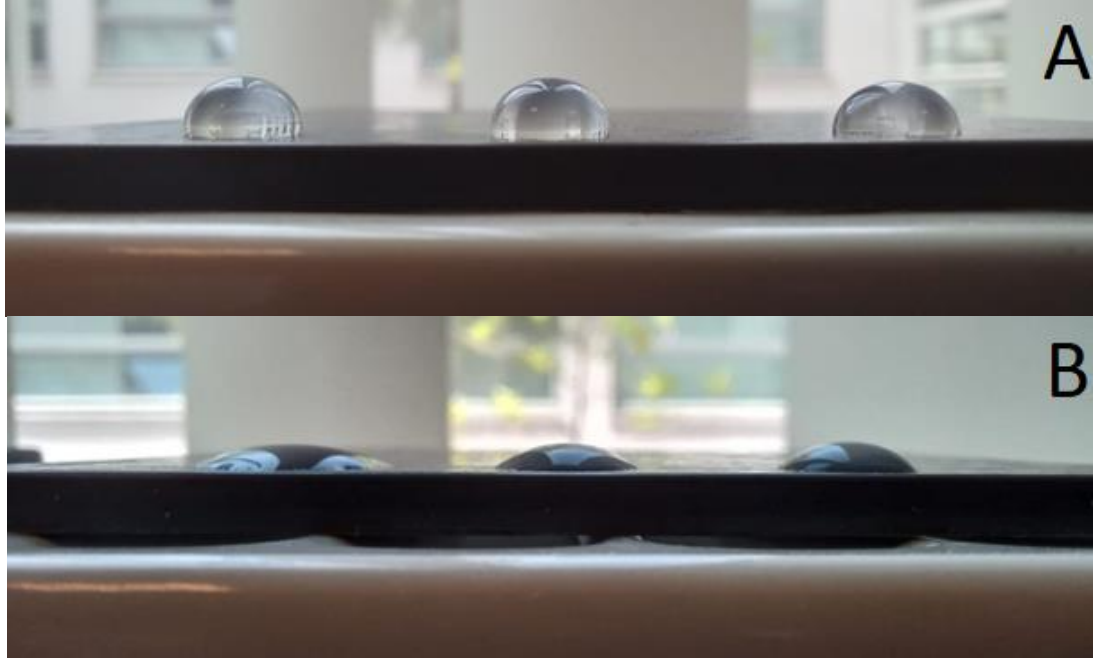
Uygulanan istatistiksel analiz için işlem adımları aşağıdaki gibidir.

- 1- Problemin tanımlanması
- 2- Faktörlerin seçimi
- 3- Faktör seviyelerinin belirlenmesi
- 4- Deneyde uygulanacak faktör düzey kombinasyonları belirlenmesi
- 5- Deneylerin yapılması
- 6- İstatistiksel analiz ve sonuçların yorumlanması

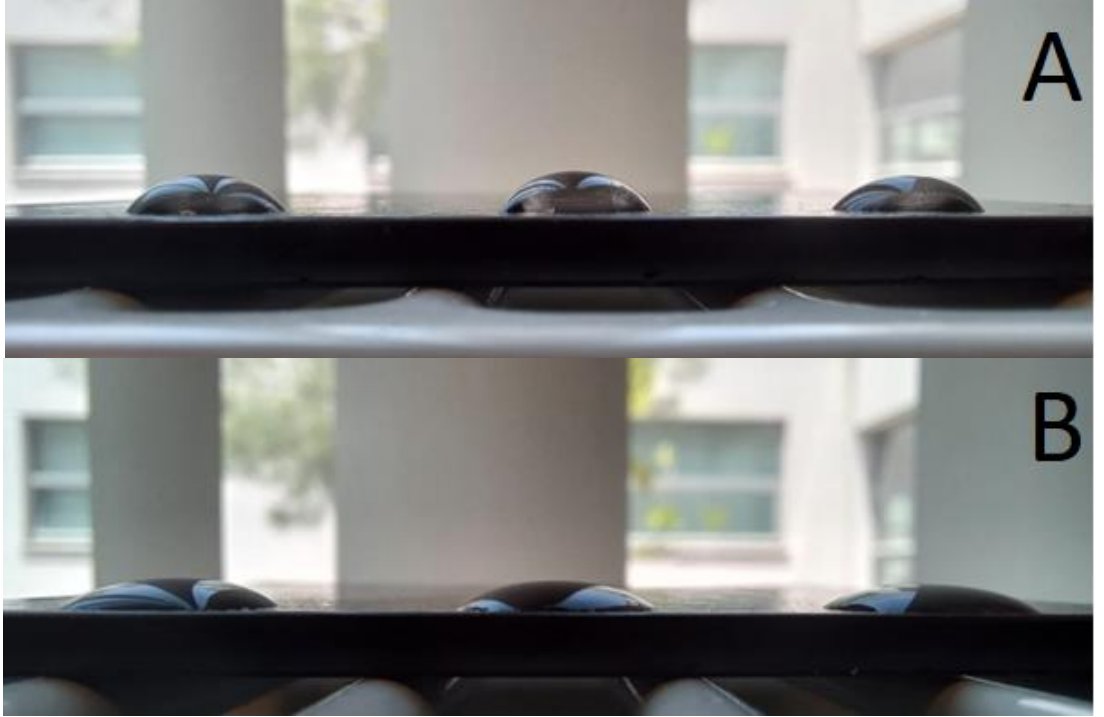
## 4. BULGULAR

### 4.1. Atmosferik Basınçlı Soğuk Plazma İşleminin Temas Açısına Etkisi

Atmosferik basınçlı soğuk plazma işleminin PP, POM ve galvaniz kaplı çelik numunelerindeki ıslanabilirlik özellikleri üzerindeki etkisi su temas açısı ölçümleriyle incelenmiştir. Plazma işlem parametrelerinin su temas açısı üzerindeki ilişkisini incelemek üzere POM ve PP malzeme yüzeylerine 2-3-4-5 mm farklı mesafelerinden her uygulama mesafesi için 2-3-4-5-6 ve 10 tarama sayılarında olacak şekilde uygulanmıştır. Islanabilirlik ile yapışma bağı arasındaki ilişkiyi inceleyebilmek için PP malzemede olduğu gibi, galvaniz kaplı çelik malzemeye ise 2 mm mesafeden 6 tarama sayısında uygulanmıştır. Plazma uygulanan ve uygulanmayan numune yüzeylerinde su damlacığı oluşturulmuş ve ardından fotoğraflanmıştır (Şekil 4.1 ve Şekil 4.2). Temas açısı ölçümleri, ImageJ yazılımı kullanarak gerçekleştirilmiştir. Her bir numune yüzeyinde üç su damlacığı oluşturulmuş ve o numuneye ait su temas açısı ölçümü için her bir damlacıktan üç kez ölçüm alınmış ve üç ayrı damlacığın su temas açısı değerlerinin ortalaması o numunenin su temas açısı ölçüsü olarak değerlendirilmiştir. Ölçüm sonuçları Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2 'de verilmiştir. POM ve PP malzemesine ait su temas açısı değerlerinin, plazma uygulama mesafesi ve tekrar sayısına bağlı değişimi Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.



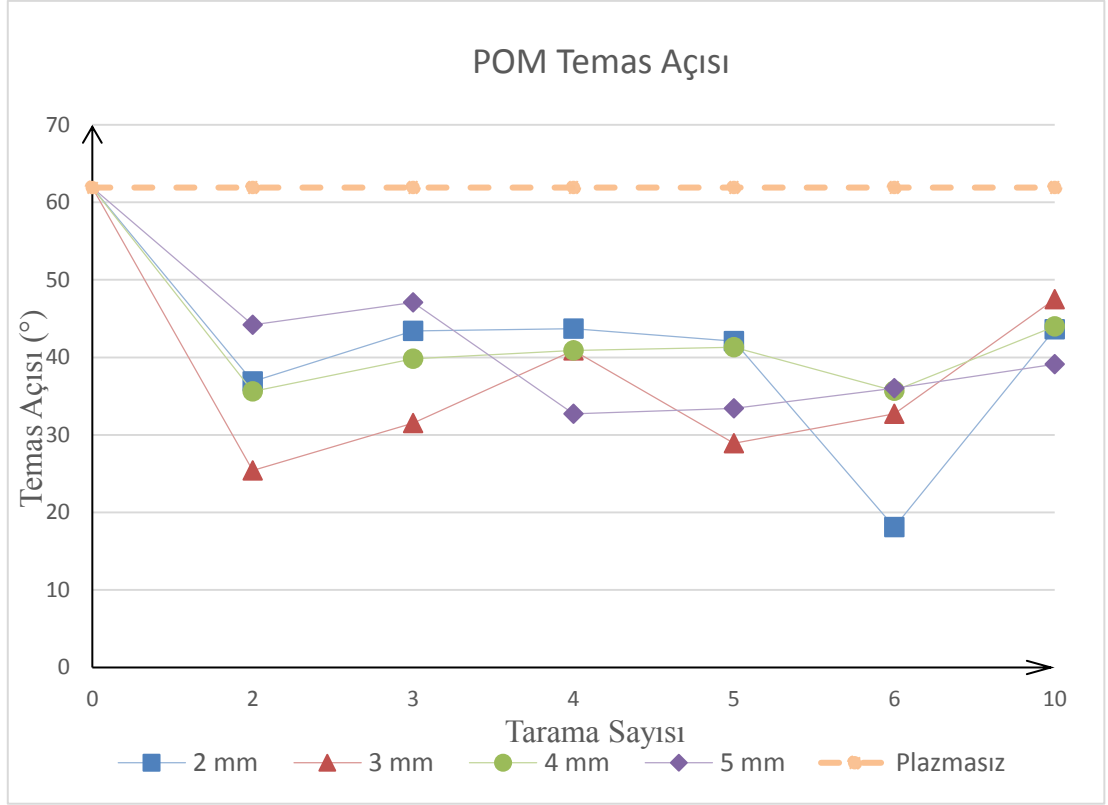
**Şekil 4. 1.**(a) ABSP uygulaması öncesi PP su damlası formu ve (b) ABSP uygulaması sonrası PP su damlası formu



**Şekil 4. 2.** (a) ABSP uygulaması öncesi POM su damlası formu ve (b) ABSP uygulaması sonrası POM su damlası formu

**Çizelge 4. 1.**POM numunelerinin ABSP proses parametrelerine bağlı olarak uygulaması öncesi ve sonrası su temas açısı değerleri

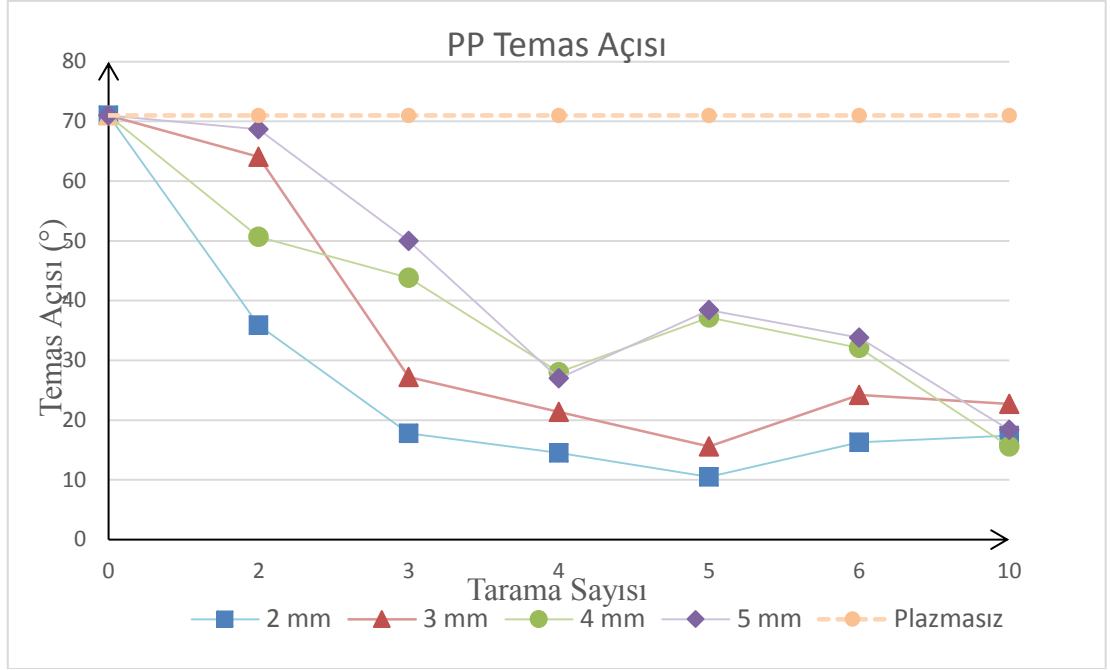
Numune Kodu	Uygulanan İşlem	İşlem Parametreleri		Ölçülen su temas açısı (°)
		Uygulama Mesafesi (mm)	Tarama Sayısı	
1	-	-	-	61,9
2	Plazma	2	2	36,9
3			3	43,4
4			4	43,7
5			5	42,1
6			6	18,1
7			10	43,6
8			3	2
9		3		31,5
10		4		40,9
11		5		28,9
12		6		32,7
13		10		47,5
14		4	2	35,6
15			3	39,8
16			4	40,9
17			5	41,3
18			6	35,7
19			10	44
20		5	2	44,2
21			3	47,1
22			4	32,7
23			5	33,4
24			6	39,1
25			10	36



**Şekil 4. 3.**POM malzeme için farklı ABSP uygulama ve tarama sayılarının su temas açısı değerlerine olan etkisi.

**Çizelge 4. 2.PP numunelerinin ABSP proses parametrelerine bağlı olarak uygulaması öncesi ve sonrası su temas açısı değerleri**

Numune Kodu	Uygulanan İşlem	İşlem Parametreleri		Ölçülen su temas açısı (°)	
		Uygulama Mesafesi (mm)	Tarama Sayısı		
26	-	-	-	71	
27	Plazma	2	2	35,9	
28			3	17,8	
29			4	14,5	
30			5	10,5	
31			6	16,3	
32			10	17,4	
33			3	2	64,1
34		3		27,2	
35		4		21,4	
36		5		15,6	
37		6		24,2	
38		4	10	22,7	
39			2	50,7	
40			3	43,8	
41			4	28	
42			5	37,2	
43			6	32,1	
44		5	10	15,6	
45			2	68,7	
46			3	50	
47			4	27	
48			5	38,4	
49			6	33,8	
50				10	18,4



**Şekil 4.** 4.PP malzeme için farklı ABSP uygulama ve tarama sayılarının su temas açısı değerlerine olan etkisi.

#### 4.2. Atmosferik Basıncılı Soğuk Plazma İşleminin Yapışma Dayanımına Etkisi

Atmosferik basınçlı soğuk plazma işleminin numuneler üzerindeki etkisi çekme testleriyle değerlendirilmiştir. Plazma işlemi PP malzemeye 2, 5, 8 mm mesafelerden 6 ve 10 işlem (tarama) sayısında uygulanmıştır. Galvaniz kaplı çelik malzemeye 2 mm ve 5 mm mesafelerden 6 ve 10 tarama sayısında uygulanmıştır. Farklı uygulama mesafeleri ve işlem sayılarında uygulanan plazma işleminin çekme testi sonucunda elde edilen yapışma mukavemeti sonuçları Çizelge 4.3, Çizelge 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.

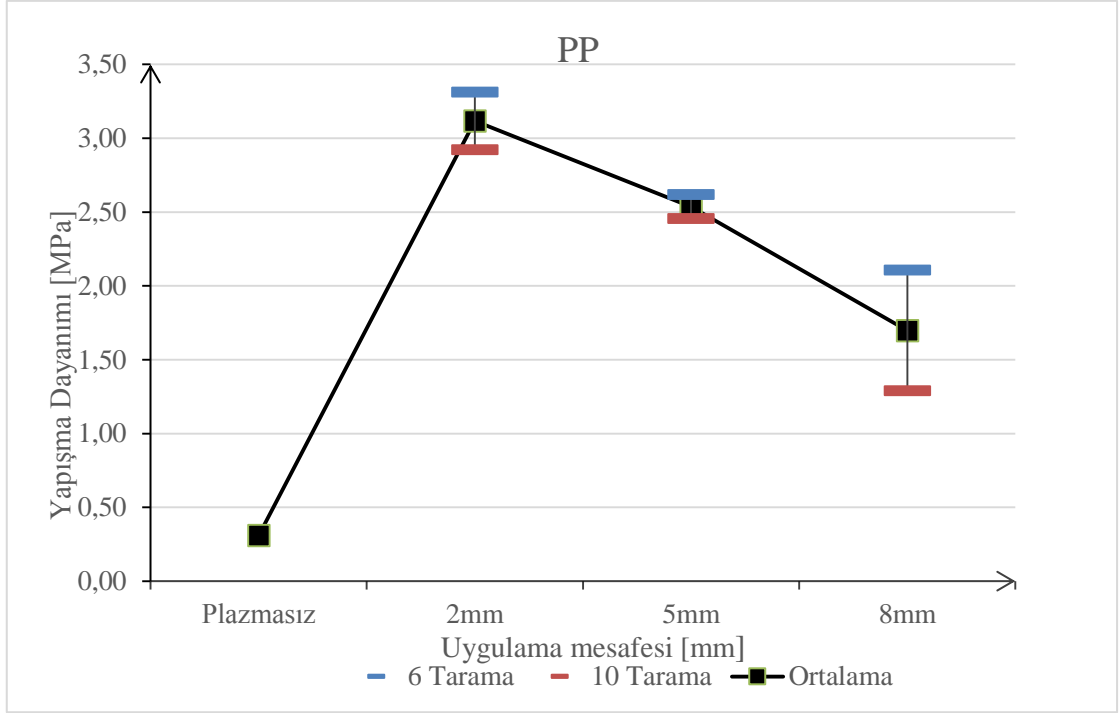


**Çizelge 4. 3.PP numunelerin çekme testi sonucu elde edilen gerilme değerleri**

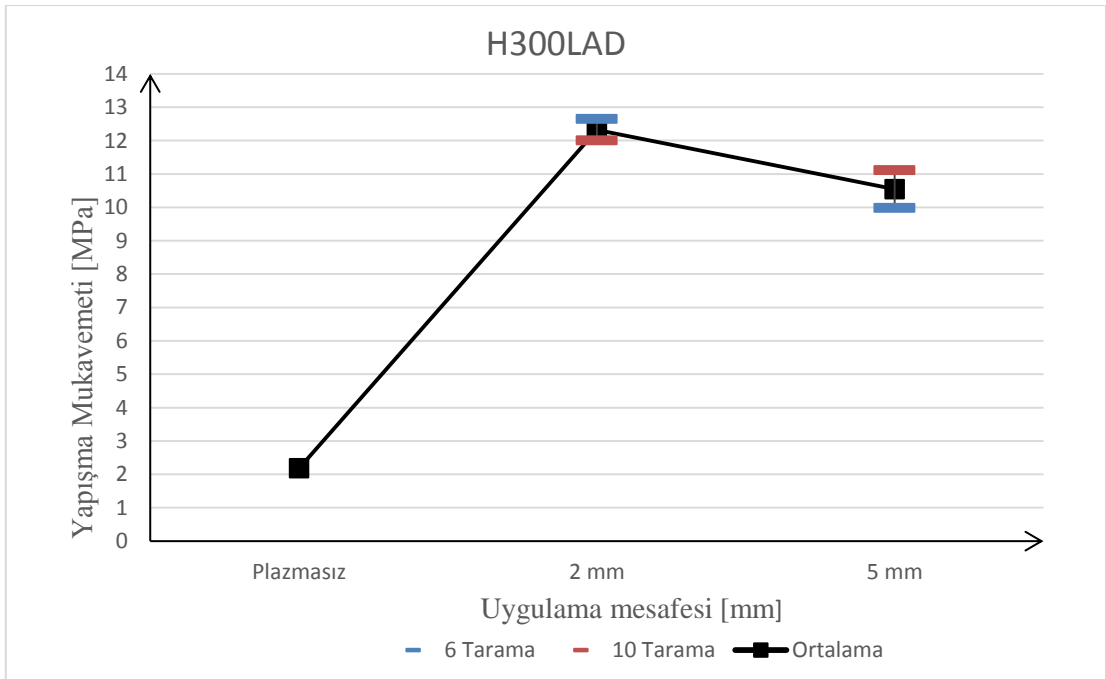
Numune Kodu	Uygulanan İşlem	İşlem Parametreleri		Gerilme (MPa)	Ortalama Gerilme (MPa)
		Uygulama Mesafesi (mm)	Tarama Sayısı		
1	-	-	-	0,27	0,31
2		-	-	0,32	
3		-	-	0,34	
4	Plazma	2	6	3,29	3,31
5				3,54	
6				3,1	
7		2	10	0,88	2,92
8				3,05	
9				2,79	
10		5	6	1,47	2,62
11				2,27	
12				2,96	
13		5	10	3,16	2,46
14				1,88	
15				2,34	
16		8	6	1,44	2,11
17				2,36	
18				1,85	
19			10	1,06	1,29
20				1,6	
21				1,2	

**Çizelge 4. 4.** H300LAD numunelerin çekme testi sonucu elde edilen gerilme değerleri

Numune Kodu	Uygulanan İşlem	İşlem Parametreleri		Gerilme (MPa)	Ortalama Gerilme (MPa)
		Uygulama Mesafesi (mm)	Tarama Sayısı		
1	-	-	-	2,66	2,19
2		-	-	1,71	
3		-	-	0,58	
4	Plazma	2	6	12,67	12,65
5				13,91	
6				11,36	
7		2	10	12,7	12
8				11,72	
9				11,58	
10		5	6	10,52	9,98
11				10	
12				9,42	
13		5	10	12,24	11,11
14				9,67	
15				11,43	



**Şekil 4. 5.** PP malzeme için farklı ABSP uygulama ve tarama sayılarının yapışma dayanımına olan etkisi.



**Şekil 4. 6.** H300LAD numunesine farklı ABSP uygulama ve tarama sayılarının yapışma dayanımına olan etkisi

### 4.3. Ayrılma Yüzeylerindeki Hataların İncelenmesi

Çekme testiyle yapışma bağının kopartılması sonucunda numunelerin ayrılma yüzeyleri incelenmiştir. Ayrılma yüzeylerinde oluşan hata türleri, yapışma bağlantısının özellikleri hakkında bilgi verebilir. Bu nedenle atmosferik basınçlı plazma uygulanan ve uygulanmayan yüzeylerin çekme testi sonrası ayrılma yüzeyleri incelenerek yapışma bağı dayanımı analiz edilmiştir. Çizelge 4.5 ve Çizelge 4.6 sırasıyla PP ve H300LAD için farklı parametrelerde atmosferik plazma uygulanan ve uygulanmayan yüzeylerde oluşan hata türlerini göstermektedir. Şekil 4.7 ve Şekil 4.8 sırasıyla PP ve H300LAD numunelerinin ayrılma yüzeylerine ait fotoğrafları göstermektedir.

**Çizelge 4. 5.**PP numunelerin çekme testi sonucu ayrılma yüzeylerinde oluşan hatanın türleri

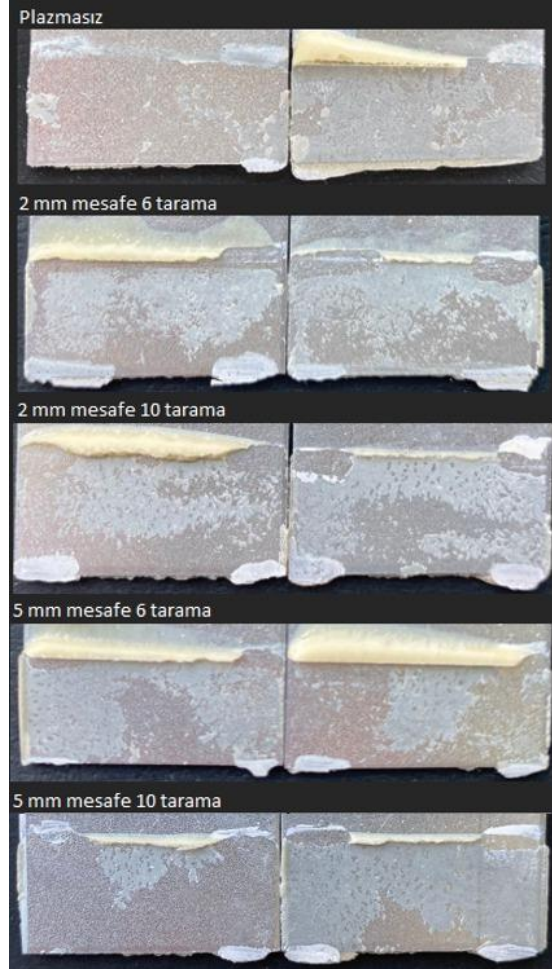
Uygulama	Uygulama Mesafesi (mm)	Tarama Sayısı	Gerilme (MPa)	Hata Türü
Plazmasız	-	-	0,3	Adhezyon
ABSP	2	6	3,31	Kohezyon
ABSP	2	10	2,92	Kohezyon
ABSP	5	6	2,61	Kohezyon
ABSP	5	10	2,45	Kohezyon
ABSP	8	6	1,88	Kohezyon
ABSP	8	10	1,28	Adhezyon

**Çizelge 4. 6.H300LAD numunelerinin çekme testi sonucu ayrılma yüzeylerinde oluşan hatanın türleri**

Uygulama	Uygulama Mesafesi (mm)	Tarama Sayısı	Gerilme (MPa)	Hata Türü
Plazmasız	-	-	2,18	Adhezyon
ABSP	2	6	12,65	Kohezyon
ABSP	2	10	12	Kohezyon
ABSP	5	6	9,57	Kohezyon
ABSP	5	10	11,11	Adhezyon



**Şekil 4. 7.Farklı işlem mesafeleri ve tarama sayılarında ABSP uygulanan PP numunelerinin çekme testleri sonrası ayrılma yüzey fotoğrafları**



**Şekil 4. 8.**Farklı işlem mesafeleri ve tarama sayılarında ABSP uygulanan H300LAD numunelerinin çekme testleri sonrası ayrılma yüzey fotoğrafları

#### **4.4.Yapışma Mukavemeti İçin İstatistiksel Analiz**

Bu istatistiksel analizin amacı sırasıyla uygulama mesafesi, malzeme ve tarama sayısı değişkenlerinin yapışma mukavemeti üzerindeki etkisini incelemektir. Plazma proses parametrelerinin, yapışma mukavemeti üzerindeki birlikte etkisini analiz edilmiştir. En son bu üç değişkenin etkileşim etkisine bakılmıştır.

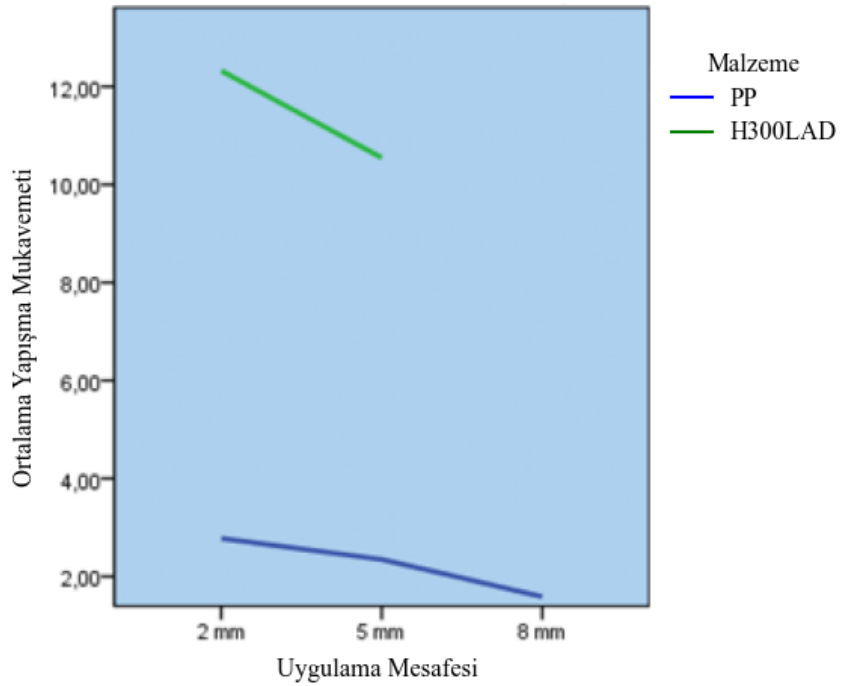
##### **4.4.1.Plazma Uygulama Mesafesi**

Plazma Uygulama Mesafesi gruplarının (2 mm, 5 mm, 8 mm) yapışma mukavemeti tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 4.7’de görüldüğü gibidir.

**Çizelge 4. 7.**Plazma uygulama mesafesi değişkeni tanımlayıcı istatistikler

Uygulama Mesafesi\ Malzeme	Toplam			PP			H300LAD		
	Sayı	Ort.	Standart Sapma	Sayı	Ort.	Standart Sapma	Sayı	Ort.	Standart Sapma
2 mm	12	7,55	5,07	6	2,78	0,96	6	12,32	0,96
5 mm	12	6,45	4,37	6	2,35	0,64	6	10,55	1,09
8 mm	6	1,59	0,47	6	1,59	0,47	-		
Toplam	30	5,92	4,7	18	2,24	0,84	12	11,44	1,35

Çizelge 4. 7’de görüldüğü üzere en düşük ortalama yapışma mukavemeti (1,59) 8 mm uygulama mesafesinde ve en yüksek ortalama yapışma mukavemeti (7,55) 2 mm uygulama mesafesinde ölçülmüştür. PP malzemede tüm uygulama mesafelerinde daha düşük ortalama yapışma mukavemeti değerleri ölçülürken, H300LAD malzemede daha yüksek ortalama değerler ölçülmüştür. Şekil 4.9’da uygulama mesafesi gruplarının yapışma mukavemeti ortalamaları görülmektedir.



**Şekil 4. 9.**Uygulama mesafesi gruplarının yapışma mukavemetleri ortalamaları için çizgi grafik

Plazma uygulama mesafesi gruplarının yapışma mukavemeti ortalamaları arasında istatistiksel olarak fark olup olmadığının testi için öncelikle homojenlik testine bakılmıştır. Plazma uygulama mesafesi gruplarının varyansların eşit değildir ( $F(2, 27)=63.414, p < 0.05$ ). Varyans Analizi (ANOVA) için gerekli şartlar sağlanmadığından grupların ortalamaları arasındaki farkın anlamlılığını test etmek için ANOVA'nın parametrik olmayan karşılığı olan Kruskal-Wallis H testi kullanılmıştır. Kruskal-Wallis H test sonucu Çizelge 4.8'de verilmiştir.

**Çizelge 4. 8.**Kruskal-Wallis H testi sonucu

	Yapışma Mukavemeti
Kruskal-Wallis H	10,718
sd	2
<i>p</i>	<b>0,005</b>

Çizelge 4.8'de verilen Kruskal-Wallis H test sonucuna göre uygulama mesafesi gruplarının yapışma mukavemeti ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır ( $H(2) = 10,718, p < 0.05$ ). Bu farklılığın hangi çiftler arasında olduğunun tespiti için çoklu karşılaştırma testi yapılmıştır. Varyanslar eşit olmadığı için Tamhane testi uygulanmış ve Tamhane test sonucu Çizelge 4.9'da verilmiştir.

**Çizelge 4. 9.**Tamhane test sonucu

(I) Uygulama Mesafesi	(J) Uygulama Mesafesi	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	<i>p</i>	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
2 mm	5 mm	1,1025	1,93158	0,923	-3,8967	6,1017
	8 mm	5,96417	1,47625	<b>0,005</b>	1,839	10,0894
5 mm	2 mm	-1,1025	1,93158	0,923	-6,1017	3,8967
	8 mm	4,86167	1,27519	<b>0,008</b>	1,305	8,4183
8 mm	2 mm	-5,96417	1,47625	0,005	-10,0894	-1,839
	5 mm	-4,86167	1,27519	0,008	-8,4183	-1,305

Çizelge 4.9'da verilen *p* değerleri, 2 mm ile 8 mm uygulama mesafesi arasında ve 5 mm ile 8 mm uygulama mesafesi arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğunu göstermektedir ( $p < 0.05$ ).



#### 4.4.2.Malzeme

PP ve H300LAD malzemelerinin yapışma mukavemeti tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 4.10’da görüldüğü gibidir.

**Çizelge 4. 10.**Malzeme gruplarının yapışma mukavemeti tanımlayıcı istatistikler

Malzeme	Sayı	Ortalama	Standart Sapma
PP	18	2,24	,84
H300LAD	12	11,44	1,35
Toplam	30	5,92	4,70

İki malzeme grubu ayrı olarak değerlendirilmiş ve uygulama mesafesi gruplarının yapışma mukavemeti ortalamaları arasında istatistiksel olarak fark olup olmadığının testi için öncelikle grupların varyanslarının eşitliği testi uygulanmıştır. İki malzeme grubundaki uygulama mesafesi gruplarının varyansları eşittir (PP için  $F(2, 15)=0,541$   $p > 0.05$ ), (H300LAD  $F(1, 10)=0,090$   $p > 0.05$ ). Bu durumda PP ve H300LAD malzemelerinin uygulama mesafesi grupları tek yönlü ANOVA ile kıyaslanmıştır. Test sonucu çizelge 4.11’de verilmiştir.

**Çizelge 4. 11.**PP ve H300LAD malzemelerinin uygulama mesafesi grupları için tek yönlü ANOVA sonucu

Malzeme		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	<i>p</i>
PP	Gruplar arası	4,359	2	2,180	4,209	<b>,035</b>
	Gruplar içi	7,769	15	,518		
	Toplam	12,128	17			
H300LAD	Gruplar arası	9,470	1	9,470	8,926	<b>,014</b>
	Gruplar içi	10,609	10	1,061		
	Toplam	20,079	11			

Çizelge 4.11’deki ANOVA *p* değerine göre malzeme gruplarının yapışma mukavemeti ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık vardır (PP için  $F(2, 15) = 4,209$ ,  $p < 0.05$ ), (H300LAD  $F(1, 10) = 8,926$ ,  $p < 0.05$ ).

H300LAD malzemesine uygulama mesafesi için iki grup bulunduğundan (2 mm, 5 mm) bu gruplar arasında anlamlı farklılık olduğu söylenebilir. PP malzemesinde uygulama mesafesi için üç grup bulunduğundan hangi gruplar arasında fark olduğunun tespiti için çoklu karşılaştırma testlerine bakılmıştır. Bonferroni çoklu karşılaştırma test sonuçları Çizelge 4. 12’de verilmiştir.

**Çizelge 4. 12.**Bonferroni test sonucu

Malzeme	(I) Uygulama Mesafesi	(J) Uygulama Mesafesi	Ortalama Fark (I-J)	Standart Hata	<i>p</i>	95% Güven Aralığı	
						Alt Sınır	Üst Sınır
PP	2 mm	5 mm	0,42833	0,4155	0,957	-0,6909	1,5476
		8 mm	1,19000*	0,4155	<b>0,035</b>	0,0707	2,3093
	5 mm	2 mm	-0,42833	0,4155	0,957	-1,5476	0,6909
		8 mm	0,76167	0,4155	0,26	-0,3576	1,8809
	8 mm	2 mm	-1,19000*	0,4155	0,035	-2,3093	-0,0707
		5 mm	-0,76167	0,4155	0,26	-1,8809	0,3576

Çizelge 4. 12’deki *p* değerlerine bakıldığında PP malzemesinde 2 mm ile 8 mm uygulama mesafesi arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu görülmektedir ( $p < 0.05$ ).

#### 4.4.3. Plazma Tarama Sayısı

Plazma tarama sayısı düzeylerinin (6, 10) yapışma mukavemeti tanımlayıcı istatistikleri Çizelge 4.13’te görüldüğü gibidir.

**Çizelge 4. 13.**Plazma tarama sayısı gruplarının tanımlayıcı istatistikleri

Tarama Sayısı	Sayı	Ortalama	Standart Sapma
6	15	6,01	4,63
10	15	5,82	4,93
Toplam	30	5,92	4,7

Plazma tarama sayısı gruplarının yapışma mukavemeti ortalamaları arasında istatistiksel olarak fark olup olmadığının testi için grupların varyanslarının eşit olup olmadığına bakılmıştır. Plazma tarama sayısı gruplarının varyansları eşittir (PP için  $F(1, 28)=0,457$

$p > 0.05$ ). Plazma tarama sayısı gruplarının varyansları eşit olduğu için yapışma mukavemeti ortalamaları arasında istatistiksel olarak fark olup olmadığının tespitinde tek yönlü ANOVA uygulanmıştır. Test sonucu Çizelge 4.14'te verilmiştir.

**Çizelge 4. 14.**Plazma tarama sayısı grupları için tek yönlü ANOVA sonucu

	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	<i>p</i>
Gruplar arası	,273	1	,273	,012	<b>,914</b>
Gruplar içi	641,269	28	22,902		
Toplam	641,542	29			

Çizelge 4.14'teki  $p$  değerine göre plazma tarama sayısı gruplarının yapışma mukavemeti ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık yoktur ( $F(1, 28) = ,012, p > 0.05$ ).

İki malzeme için ayrı ayrı tarama sayısı gruplarına bakılmış ve yapışma mukavemeti ortalamaları arasında fark olup olmadığının tespiti için tek yönlü ANOVA uygulanmıştır. ANOVA sonucu Çizelge 4.15'te verilmiştir.

**Çizelge 4. 15.**Malzeme gruplarında tarama sayısı gruplarına için tek yönlü ANOVA sonucu

Malzeme		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	<i>p</i>
PP	Gruplar arası	1,037	1	1,037	1,496	<b>,239</b>
	Gruplar içi	11,091	16	,693		
	Toplam	12,128	17			
H300LAD	Gruplar arası	,178	1	,178	,089	<b>,771</b>
	Gruplar içi	19,901	10	1,990		
	Toplam	20,079	11			

Çizelge 4.15'teki  $p$  anlamlılık değerlerine göre iki malzeme için de tarama sayısı gruplarının yapışma mukavemeti ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olmadığı görülmektedir ( $p > 0,05$ ).

#### 4.4.4.Etkileşim Etkisi

Çizelge 4. 16.İki malzeme türünde etkileşim etkisi için iki yönlü ANOVA sonucu

Malzeme	Varyansın Kaynağı	Tip III Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	<i>p</i>
PP	Düzeltilmiş Model	6,688 <sup>1</sup>	5	1,338	2,95	0,05
	Sabit	89,959	1	89,959	198,424	<b>0</b>
	Uygulama Mesafesi	4,359	2	2,18	4,808	<b>0,029</b>
	Tarama Sayısı	1,037	1	1,037	2,287	0,156
	Uygulama Mesafesi * Tarama Sayısı	1,292	2	0,646	1,424	0,279
	Hata	5,44	12	0,453		
	Toplam	102,087	18			
	Düzeltilmiş Toplam	12,128	17			
H300LAD	Düzeltilmiş Model	12,024 <sup>2</sup>	3	4,008	3,98	<b>0,05</b>
	Sabit	1569,111	1	1569,111	1558,332	<b>0</b>
	Uygulama Mesafesi	9,47	1	9,47	9,405	<b>0,015</b>
	Tarama Sayısı	0,178	1	0,178	0,176	0,686
	Uygulama Mesafesi * Tarama Sayısı	2,376	1	2,376	2,36	0,163
	Hata	8,055	8	1,007		
	Toplam	1589,19	12			
	Düzeltilmiş Toplam	20,079	11			

Çizelge 4.16'da iki malzeme türünde etkileşim etkisi için iki yönlü ANOVA sonucu verilmiştir. Buna göre, PP malzeme için uygulama mesafesi değişkeninin yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi anlamlı ( $F(2)= 4,808$ ,  $p<0.05$ ) bulunmuştur ancak tarama sayısı değişkeninin yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi istatistiki olarak anlamlı

<sup>1</sup>  $R^2 = 0,551$  (Ayarlanmış  $R^2 = 0,365$ )

<sup>2</sup>  $R^2 = 0,599$  (Ayarlanmış  $R^2 = 0,448$ )

bulunmamıştır ( $F(1)= 2,287, p>0.05$ ). PP malzeme için tarama sayısı ve uygulama mesafesinin yapışma mukavemeti üzerindeki birlikte etkisi anlamlı bulunmamıştır. ( $F(2)= 1,424, p>0.05$ )

H300LAD malzeme için uygulama mesafesi değişkeninin yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi anlamlı bulunmuştur. ( $F(1)= 9,405, p<0.05$ ). Buna karşılık, tarama sayısı değişkeninin yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ( $F(1)= ,176, p>0.05$ ). H300LAD malzeme için tarama sayısı ve uygulama mesafesinin yapışma mukavemeti üzerindeki birlikte etkisi istatistiksel açıdan anlamlı bulunmamıştır ( $F(1)= 2,360, p>0.05$ ). (Çizelge 4.16)

**Çizelge 4. 17.**Üç yönlü ANOVA sonucu

Varyansın Kaynağı	Tip III Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F	p
Düzeltilmiş Model	628,046 <sup>1</sup>	9	69,783	103,415	<b>0</b>
Sabit	1150,302	1	1150,302	1704,69	<b>0</b>
Malzeme	472,505	1	472,505	700,229	<b>0</b>
Tarama Sayısı	0,188	1	0,188	0,278	0,604
Uygulama Mesafesi	11,102	2	5,551	8,226	<b>0,002</b>
Malzeme * Tarama Sayısı	0,663	1	0,663	0,983	0,333
Malzeme * Uygulama Mesafesi	2,727	1	2,727	4,041	<b>0,045</b>
Tarama Sayısı* Uygulama Mesafesi	3,58	2	1,79	2,653	0,095
Malzeme * Tarama Sayısı* Uygulama Mesafesi	0,088	1	0,088	0,13	0,722
Hata	13,496	20	0,675		
Toplam	1691,277	30			
Düzeltilmiş Toplam	641,542	29			

Çizelge 4.17’de verilen üç faktörlü ANOVA analizine göre, malzeme değişkeninin yapışma mukavemeti üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu görülmüştür (F(1)= 700,229,  $p < 0.05$ ). Aynı şekilde plazma uygulama mesafesinin yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi de istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur (F(2)= 8,226,  $p < 0.05$ ). Malzeme değişimi ve uygulama mesafesinin yapışma mukavemeti üzerindeki birlikte etkisi anlamlı bulunmuştur. (F(1)= 4,041,  $p < 0.05$ ). Tarama sayısı ve uygulama mesafesinin yapışma mukavemeti üzerinde birlikte etkileşim etkisi anlamlı değildir (F(1)= 2,653,  $p > 0.05$ ). Yine malzeme, uygulama mesafesi ve tarama sayısının yapışma mukavemeti üzerindeki birlikte etkileşim etkisi istatistiksel olarak anlamlı değildir (F(1)= 0,130,  $p > 0.05$ ).

<sup>1</sup>  $R^2 = 0,979$  (Ayarlanmış  $R^2 = 0,969$ )

## 5.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma ile ABSP uygulamasının verimli, çevre dostu, polimer ve metal gibi farklı malzemelerde kullanım alanı sunan, pratik ve kolay uygulanabilir etkili bir yöntem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

ABSP uygulaması bu çalışmada polimer ve metal gibi farklı malzeme türlerine uygulanmış ve her iki malzeme de plazma uygulamasının yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi ortaya konmuştur.

Atmosferik basınçlı plazma işlemi uygulaması sonrasında su temas açısı değerlerinin uygulama öncesine göre azaldığı dolayısıyla yüzeylerin ıslanabilirlik özelliklerinin iyileştiği görülmüştür.

ABSP uygulamasının hat içine kolayca entegre edilebilme özelliği, son yıllarda hafif konstrüksiyonlar üretimine olanak sağlayan yapıştırma bağlantılarına olan etkisi göz önüne alındığında, kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaktadır.

ABSP'nin proses parametrelerindeki geniş yelpazesi, malzemelerin ıslanabilirlik özelliklerini ve yapışma mukavemetlerindeki iyileşmeyi sağlamak için büyük bir esneklik sunar.

ABSP uygulamasının ıslanabilirlik üzerindeki etkisinin incelenmesi için PP, POM ve galvaniz kaplı çelik malzeme yüzeylerine plazma uygulaması yapılmış ve ıslanabilirlik özellikleri su temas açısı ölçüm yöntemiyle incelenmiştir.

PP malzeme yüzeyinin ABSP uygulaması öncesi temas açısı değeri 71° olarak ölçülmüş ve plazma uygulaması sonrası en düşük su temas açısı değeri 10,5° olarak elde edilmiştir. PP malzeme yüzeyinin ıslanabilirliğinde ABSP uygulamasıyla %86 oranında bir artış elde edilmiştir.

POM malzeme yüzeyinin ABSP uygulaması öncesi temas açısı değeri 61,9° olarak ölçülmüş ve plazma işlemi sonrası minimum temas açısı 18,1° olarak ölçülerek yüzey ıslanabilirliğinde %70 oranında artış meydana gelmiştir.

H300LAD yüzeyinin ABSP uygulaması öncesi temas açısı değeri 70,8° olarak ölçülmüş ve plazma işlemi sonrası temas açısı 40,7° olarak ölçülerek yüzey ıslanabilirliğinde %42,5 oranında artış meydana gelmiştir.

Her üç malzeme yüzeyinin temas açıları meydana gelen bu azalma, ABSP uygulamasının malzeme yüzeylerinin ıslanabilirlik özelliklerini geliştirdiğinin kanıtıdır.

ABSP uygulama parametrelerindeki değişikliğin, yüzey ıslanabilirlik özelliklerindeki etkisi, farklı uygulama mesafesi ve işlem sayısında polimer malzeme yüzeylerinde incelenmiştir.

Her iki polimer malzemede de minimum temas açısı değerleri en düşük mesafe (2mm) uygulanan 5 ve 6 tarama sayılarında meydana gelmiştir.

PP malzemede elde edilen en düşük temas açısı değerleri kısa uygulama mesafesinde (2 mm), 5 plazma tekrar sayısında elde edilmiştir. Atmosferik basınçlı plazma uygulamasıyla temas açısı değerlerinin kısa uygulama süresinde (düşük tarama sayısı) bile hızlı bir şekilde düştüğü görülmüştür. Tarama sayısı arttıkça temas açısı değerlerindeki düşüş daha yavaş bir şekilde devam etmiştir. Tarama sayısının artışı belirli bir süreden sonra temas açısı değerlerinde daha büyük azalmalara neden olmamıştır. Bu durum polimer malzemelerde plazma uygulamasında optimum bir süreden sonra yüzeyin doygunluğa ulaşarak, plazmanın polimer yüzey üzerinde daha fazla etkiye sebep olmamasından kaynaklanmaktadır ve literatürde pek çok çalışmada gözlenmiştir.

POM malzemede en düşük temas açısı değeri 2 mm mesafe, 6 tarama sayısı çalışma parametrelerinde elde edilmiştir.

Bu çalışma için POM malzemeye uzun süreli plazma uygulama yapılması, yani işlem tarama sayısının artması ıslanabilirlik özelliklerinde daha büyük etkiye sebep olmamıştır. Aksine daha uzun süre plazma uygulaması yapıldığında elde edilen su temas açısı değerlerinin kısa işlem sürelerinde elde edilen değerlerden daha büyük olduğu görülmüştür.



ABSP'nin proses parametreleri değişiminde sunduğu esneklik, farklı değişkenlerin kombinasyonların kullanılmasına izin vererek, yapışma bağında iyileştirme olanağı sağlar. Ancak bu durum beraberinde proses parametrelerinin deneysel optimizasyonunu getirmektedir.

ABSP uygulamasının ıslanabilirlik özelliklerinde neden olduğu iyileştirme etkisi, çekme testinden elde edilen yapışma mukavemeti sonuçlarıyla ilişkilendirilmiştir.

Atmosferik basınçlı plazma uygulaması ile her iki numune için de (PP ve H300LAD), plazma uygulanmayan numunelere kıyasla daha yüksek yapışma dayanımı elde edilmiştir (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).

Her iki malzemede de en yüksek yapışma dayanımı en düşük uygulama mesafesi (2 mm) ve tarama sayısında (6 tarama) görülmüştür. Bu deney parametreleri ile plazma uygulandığında, yapışma mukavemeti PP malzemede atmosferik plazma uygulama öncesine göre on bir kat, galvaniz kaplı çelik malzemede altı kat artmıştır. PP malzemede elde edilen en düşük su temas açısı değerlerine, 2 mm mesafeden plazma uygulandığı durumda ulaşılmıştır. Bu durum, ıslanabilirlik özelliğinin, yapışma bağı üzerindeki etkisi net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Her iki malzeme de sabit 6 ve 10 tarama sayıları için, uygulama mesafesinin artışının yapışma mukavemetinde azalmaya sebep olduğu görülmüştür. Daha kısa uygulama mesafelerinde, ABSP'nin yüzey üzerindeki etkinliğinin artmasıyla malzeme yüzeylerinde etkili modifikasyonlar elde edildiği görülmüştür.

ABSP uygulaması sonrası elde edilen en düşük yapışma mukavemeti PP malzemede 8 mm mesafe 10 tarama plazma uygulanan deney grubunda meydana gelmiştir. Bununla birlikte elde edilen yapışma mukavemeti değeri, plazma uygulanmayan durumda elde edilen mukavemet değerinden dört kat fazladır.

PP malzeme için tarama sayısı sabit tutulurken uygulama mesafelerin artırılması, yapışma dayanımının azalmasına sebep olmuştur. Daha kısa uygulama mesafelerinde, ABSP'nin

yüzey üzerindeki etkinliğinin artmasıyla malzeme yüzeylerinde etkili modifikasyonlar elde edildiği görülmüştür.

H300LAD için, 2 mm sabit uygulama mesafesinde uygulanan tarama sayısının artırılması, yapışma mukavemetinde azalmaya sebep olmuştur. Buna karşılık sabit 5 mm uygulama mesafesinde tarama sayısının artışı yapışma mukavemetinde %16 oranında bir iyileşme elde edilmesini sağlamıştır. Bu durum plazma uygulama mesafesinin artışının, plazma nozulundan yüzeye ulaşan plazma radikal sayısının azalmasına sebep olurken, daha uzun uygulama süresinde yüzeyin plazmaya maruziyetini artması ve buna bağlı olarak plazmanın yüzeyde daha etkili modifikasyona neden olması ile açıklanabilir.

PP malzeme için, 2 , 5 ve 8 mm sabit uygulama mesafelerinde, işlem sayısının 6 taramadan 10 taramaya arttırılması, yapışma mukavemeti değerlerinin azalmasına sebep olmuştur. Tarama sayısının artması, plazma ile yüzey etkileşim süresinin artmasından kaynaklı olarak yüzeyin ıslanabilirlik özelliklerini ve dolayısıyla malzemelerin yapışma dayanımını olumlu yönde etkilemektedir ancak bu çalışma kapsamında PP malzeme yüzeyi için, tarama sayısının artışı, yapışma mukavemetinde daha büyük değerler elde edilmesine sebep olmamıştır. Bu durum, polimer yüzeyin daha fazla plazma yoğunluğuna maruz kalarak aşınması ve zarar görmesi sonucu meydana gelmiş olabilir.

ABSP uygulaması, malzeme yüzeylerinin ıslanabilirlik özelliklerini geliştirerek, yapıştırıcının yüzey ile bağ kurmasını desteklemektedir. Bu nedenle, uygulama yapılan yüzeylerde, uygulama yapılmamış yüzeylere kıyasla daha yüksek yapışma dayanımları elde edilmiştir.

Çekme testi sonucunda yapıştırma bağları kopartılan numunelerin ayrılma yüzeyleri incelendiğinde, ABSP uygulaması öncesi her iki malzemenin yüzeyinde de adeziv kopma meydana geldiği görülmüştür. Yapıştırılan yüzeylerden biri ile yapıştırıcı arasında yeterli düzeyde bağ oluşmaması durumunda adezyon hatası meydana gelmektedir. ABSP uygulaması sonrası numunelerin büyük çoğunluğunda kohezif kopma meydana gelmiştir. ABSP uygulaması sonrası yüzeyde meydana gelen kopma hatasının adeziv yapıdan

kohezif yapıya değişimi, ABSP uygulamasının yapıştırılan yüzey ile yapıştırıcı arasındaki bağ oluşumunu artırdığının kanıtıdır. (Şekil 4.7 ve Şekil 4.8).

Yapışma mukavemeti üzerinde etkisi olduğu düşünölen uygulama mesafesi ve tarama sayısı faktörleri ve bu faktörlerin yapışma mukavemeti üzerindeki birlikte etkileri, SPSS programı yardımıyla yapılan istatistiksel deneylerle incelenmiştir. Buna göre plazma uygulama mesafesinin yapışma mukavemetini etkilediği görölmektedir. PP ve H300LAD malzemeler için uygulama mesafesinin yapışma dayanımı üzerindeki etkisi ayrı ayrı incelendiğinde de plazma uygulama mesafesinin, malzemelerin yapışma mukavemeti üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu gözlenmiştir. (Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9 ve Şekil 4.9)

Veriler, malzeme gruplarına ayrılmaksızın bir bütün olarak incelendiğinde, 2 mm ile 8 mm uygulama mesafesi arasında ve 5 mm ile 8 mm uygulama mesafesi arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılık olduğu tespit edilmiştir. H300LAD malzemesinde, uygulama mesafesi için 2 mm, 5 mm grupları arasında yapışma mukavemetini açısından anlamlı farklılık vardır. Bu durum H300LAD malzemesi için, uygulama mesafesinin 2 mm'den 5 mm olan değişiminin yapışma mukavemeti etkilediğini göstermektedir. PP malzemesi için 2 mm ile 8 mm uygulama mesafesi arasında yapışma mukavemetini açısından anlamlı farklılık vardır (Çizelge 4.10, Çizelge 4.11 ve Çizelge 4.12)

Plazma tarama sayısının, yapışma mukavemeti üzerindeki etkisi malzememe ayrımı olmadan incelendiğinde, tarama sayısının yapışma mukavemetini üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkisi olmadığı görölmüştür. İki malzemeye ayrı ayrı bakıldığında da tarama sayısının yapışma mukavemetini etkilemediği görölmektedir. Malzeme ve uygulama mesafesinin etkileşim etkisinin istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Her iki malzeme içinde uygulama mesafesi ve tarama sayısının etkileşim etkisi anlamlı değildir. Malzeme, plazma tarama sayısı ve uygulama mesafesi faktörlerinin etkileşim etkisi üç faktörlü ANOVA ile analiz edilmiş ve istatistiksel olarak anlamlı olmadığı görölmüştür (Çizelge 4.13, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15, Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.17).

Bu çalışma ile, ABSP uygulamasının hem polimer hem metal malzeme yüzeylerinde neden olduğu olumlu etki, mevcut yüzey işleme yöntemlerine çevre dostu bir alternatif olduğu ortaya koymaktadır. ABSP uygulaması ile elde edilen sonuçlara göre, plazmanın her üç malzeme yüzeyinde de ıslanabilirlik derecelerini artırdığı görülmüştür. ABSP işleminin hem metal hem polimer malzeme de yapışma dayanımını iyileştirdiği ve uygulama mesafesi ile tarama sayısı gibi işlem parametrelerinin değişiminin yapışma dayanımı üzerindeki etkilerini göstermektedir. Ek olarak bu çalışma kapsamında uygulama mesafesi ve tarama sayısı gibi işlem parametrelerinin, ıslanabilirlik ve yapışma dayanımı üzerindeki etkileri karşılaştırılarak PP, POM ve H300LAD malzeme yüzeyleri için ABSP işleminde optimum proses parametrelerinin ortaya konulması da sağlanmıştır.

## KAYNAKLAR

- (2022, 16 Kasım). Bostik:  
<https://www.bostik.com/uk/en/catalog/product/construction/emea/uk/product-marocol-18576/> adresinden alındı
- Akgün, Ş. Ö. (2010). Çelik kimyasal kompozisyonunun sıcak daldırma galvaniz kaplama kalınlığına etkilerinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Metal Eğitimi Anabilim Dalı.  
<https://acikerisim.sakarya.edu.tr/bitstream/handle/20.500.12619/80439/T04757.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aydın, M., & Gülenç, B. (2003). Elektro ve sıcak daldırma metodlarıyla galvaniz kaplanmış çelik sacların paslanmaz çeliğe direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliği. *Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metalurji Eğitimi Bölümü, Teknikokullar*, 16(1), s. 179-187.
- Baldan, A. (2004). Review Adhesively-bonded joints and repairs in metallic alloys, polymers and composite materials: Adhesives, adhesion theories and surface pretreatment. *Journal of Materials Science*, 39, s. 1-49.  
doi:10.1023/B:JMSE.0000007726.58758.e4
- Baldan, A. (2012). Adhesion phenomena in bonded joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 38, s. 95-116.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2012.04.007>
- Carriono, L., Moroni, G., & Polini, W. (2002). Cold plasma treatment of polypropylene surface: a study on wettability and adhesion. *Journal of Materials Processing Technology*, 121(2-3), s. 373-382. [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)01221-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)01221-3)
- Ebnesajjad, S. (2014). *Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding*. Elsevier INC. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-12914-5>
- Encinas, N., Abenojar, J., & Martinez, M. A. (2012). Development of improved polypropylene adhesive bonding by abrasion and atmospheric plasma surface modifications. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 33, s. 1-6.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2011.10.002>
- Esen, S., Altuncu, E., Üstel, F., & Akpınar, S. (2016). Atmosferik plazma yüzey aktivasyon işlemi ile farklı yüzey tarama hızlarının polipropilen yüzey ıslatma özelliklerine etkisi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, s. 307-315. doi:10.16984/aufenbilder.85668
- Iqbal, H., Bhowmik, S., & Benedictus, R. (2010). Surface modification of high performance polymers by atmospheric pressure plasma and failure mechanism of adhesive bonded joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 30, s. 418-424. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2010.02.007> adresinden alındı
- Johansson, K. (2017). Surface Modification of Plastics. *Applied Plastics Engineering Handbook Processing, Materials and Applications* (2 b., s. 443-487). içinde William Andrew. <https://www.sciencedirect.com/book/9780323390408/applied-plastics-engineering-handbook>
- Karlıoğlu, Z. (2013). Fire Analizinde Deneysel Tasarımı. *Doktora Tezi*. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı.  
<http://nek.istanbul.edu.tr:4444/ekos/TEZ/51083.pdf>
- Kostov, K., Nishime, T., Castro, A., Toth, A., & Hein, L. (2014). Surface modification of polymeric materials by cold atmospheric plasma jet. *Applied Surface Science*,

- 314, s. 367-375. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.07.009>
- Ku, J., I.H.Jung, K.Y.Rhee, & Park, S. (2013). Atmospheric pressure plasma treatment of polypropylene to improve the bonding strength of polypropylene/aluminum composites. *Composites Part B:Engineering*, 45(1), s. 1282-1287. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.06.016>
- Kusano, J. (2014). Atmospheric pressure plasma processing for polymer adhesion: A review. *The Journal of Adhesion*, 90, s. 755-777. <http://dx.doi.org/10.1080/00218464.2013.804407>
- Lüftl, S., Visakh, P., & Chandran, S. (2014). *Polyoxymethylene Handbook: Structure, Properties, Applications and Their Nanocomposites*. John Wiley & Sons. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118914458> adresinden alındı
- Mandolino, C., Lertora, E., & Gambaro, C. (2014). Effect of cold plasma treatment on surface roughness and bonding strength of polymeric substrates. *Key Engineering Materials*, 611-612, s. 1484-1493.
- Mandolino, C., Lertora, E., & Gambaro, C. (2017). Influence of cold plasma treatment parameters on the mechanical properties of polyamide homogeneous bonded joints. *Surface & Coatings Technology*, 313, s. 222-229. <http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.01.071>
- Mandolino, C., Lertora, E., Gambaro, C., & Bruno, M. (2014). Improving adhesion performance of polyethylene surfaces by cold plasma treatment. *Meccanica*, 49, s. 2299-2306.
- Maroofi, A., Safa, N., & Ghomi, H. (2020). Atmospheric air plasma jet for improvement of paint adhesion to aluminium surface in industrial applications. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 98. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102554>
- Moroni, F., Musiari, F., Sciancalepore, C., & Messori, M. (2020). Influence of atmospheric pressure plasma process parameters on the mechanical behavior of thermoplastic joints. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102650>
- Noeske, Ö., Degenhardt, J., Strudthoff, S., & Lommatzsch, U. (2004). Plasma jet treatment of five polymers at atmospheric pressure: surface modifications and the relevance for adhesion. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 24, s. 171-177. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2003.09.006>
- Pinson, J., & Thiry, D. (Dü). (2020). *Surface Modification of Polymers: Methods and Applications*. Wiley-VCH. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9783527819249>
- Pious, C., & Thomas, S. (2016). Polymeric Materials Structure, Properties, and Applications. J. Izdebska, & S. Thomas (Dü) içinde, *Printing on Polymers Fundamental and Applications* (s. 21-39). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-37468-2.00002-6>
- Sarıkaya, G., Sağbaş, A., & İkiz, Y. (2016). Faktöriyel Deneysel Tasarım Uygulanarak Kumaş Konfor Özelliklerine Etki Eden Parametrelerin Tahmin Edilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 4(3), s. 165-172. doi:10.21923/jesd.37908
- Shaw, D., West, A., Bredin, J., & Wagenaars, E. (2016). Mechanisms behind surface modification of polypropylene film using an atmospheric-pressure plasma jet. *Plasma Sources Science and Technology*, 25(6), s. 1-6. doi:10.1088/0963-

0252/25/6/065018

- Silva, L., Öchsner, A., & Adams, D. (2018). *Handbook of Adhesion Technology* (2 b.). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-55411-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-55411-2_1)
- Şahin, E. (2022). Çeliğinin Sert Tornalamasında İşlenebilirlik Parametrelerinin Analiz Edilmesi ve Modellenmesi. *Doktora Tezi*. Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı.  
<http://acikerisim.karabuk.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/2238/10498633.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Şenoğlu, B., & Acıtaş, Ş. (2020). *İstatistiksel Deney Tasarımı: Sabit Etkili Modeller* (4 b.). Nobel Akademik Yayıncılık.
- Tang, S., Kwon, O.-H., Lu, N., & Choi, H.-S. (2004). Surface characteristics of AISI 304L stainless steel after an atmospheric pressure plasma treatment. *Surface & Coatings Technology*, 195(2-3), s. 298-306.  
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.07.071>
- Tang, S., Lu, N. M., & Choi, C.-H. (2006). Enhancement of adhesion strength between two AISI 316 L stainless steel plates through atmospheric pressure plasma treatment. *Surface & Coatings Technology*, 200, s. 5220-5228.  
<https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.06.020>
- Vatan, C. (2002). Plastik Malzemelerin Geri Dönüşümü: Otomotiv Endüstrisinden Örnekler. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı.  
<https://polen.itu.edu.tr/items/49f00078-a19d-4aa3-9737-ec2658e3cd15>
- Williams, D., Kellar, E., Jesson, D., Watts, & J.F. (2017). Surface analysis of 316 stainless steel treated with cold atmospheric plasma. *Applied Surface Science*, 407, s. 240-247. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.150>
- Wolf, R. (2013). *Atmospheric Pressure Plasma for Surface Modification*. Scrivener Publishing LLC.  
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781118547519>

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : İREM SÖNMEZ  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 15/07/1997  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Turhan Tayan Anadolu Lisesi  
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği /  
2020  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı / 2023

Çalıştığı Kurum(lar) : Yazaki Systems Technologies (2022-..)

İletişim (e-posta) : sonmezirem9@gmail.com

Akademik çalışmalar\* :

*\*Akademik çalışmaların yazımı, kaynaklar dizininin oluşturulmasında uygulanan kurallara göre yapılmalıdır.*