

**POM VE PP TALK %15 MALZEMELERİN BİRBİRİNE  
YAPIŞABİLİRLİĞİNİN ARTIRILMASINDA  
ATMOSFERİK PLAZMA KULLANIM  
PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

**Hikmet GÜLER**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**POM VE PP TALK %15 MALZEMELERİN BİRBİRİNE  
YAPIŞABİLİRLİĞİNİN ARTIRILMASINDA ATMOSFERİK PLAZMA  
KULLANIM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

Hikmet GÜLER  
0000-0002-1492-4736

Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR  
0000-0001-9126-0315  
(Danışman)

DOKTORA TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2023  
Her Hakkı Saklıdır  
TEZ ONAYI

Hikmet GÜLER tarafından hazırlanan “POM ve PP TALK %15 Malzemelerin Birbirine Yapışabilirliğinin Artırılmasında Atmosferik Plazma Kullanım Parametrelerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman:** Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

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

**Üye** : Prof. Dr. Ali DURMUŞ İmza  
0000-0003-2487-7344  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : Dr. Öğr. Üy. Mehmet AKANSEL İmza  
0000-0002-4924-7587  
Bursa Uludağ Üniversitesi,  
Mühendislik Fakültesi,  
Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı

**Üye** : İmza

**Yukarıdaki sonucu onaylarım**

**Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN**

**Enstitü Müdürü**

.././.....

**B.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.**

**17/02/2023**  
**Hikmet GÜLER**

## 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 yayımlanan “**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.

Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR  
17/02/2023

Hikmet GÜLER  
17/02/2023

İmza

İmza

## ÖZET

Doktora Tezi

### POM VE PP TALK %15 MALZEMELERİN BİRBİRİNE YAPIŞABİLİRLİĞİNİN ARTIRILMASINDA ATMOSFERİK PLAZMA KULLANIM PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

**Hikmet GÜLER**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

Polioksümetilen (POM) ve polipropilen (PP) malzemeleri otomotiv sektöründe oldukça sık kullanılan seri imalat termoplastiklerindedir. Birçok uygulamada yüzey enerjisi düşük olan bu malzemeler mekanik aşındırma veya alkol tabanlı temizleyiciler ile silinerek yapıştırma bağına hazırlanır. Bu çalışmada; çevreye olumsuz etkisi olan hazırlık yöntemlerinin yerine, atmosferik basınçlı soğuk plazma (ABSP) yönteminin kullanılabilirliği araştırılmıştır. Plazma uygulaması ile malzemelerin yüzey enerjilerinin yükseltilmesi uzun süredir bilinen bir yöntem olmakla birlikte, vakum ortamında yapılan uygulamalar son yıllarda atmosfer basıncı altında da yapılabilir hale gelmiştir. Bu şekilde yöntemin etkinliği aynı kalırken, uygulaması ve maliyeti iyileşmiştir. Boyama ve yapıştırma gibi uygulamalarda, araştırmalara katkı sağlamak için, ABSP yöntemiyle gerçekleştirilen deneysel çalışmalar açıklanmış ve özellikle otomotiv sektöründe sıkça kullanılan POM ve PP malzemelerin yapıştırma uygulamalarında, yöntemin alternatif olabileceği gösterilmiştir. ABSP yönteminin çevreci bir süreç olduğu düşünüldüğünde, günümüzde plastik malzemelerin yapıştırılması alanında da alternatif olacağı anlaşılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Soğuk atmosferik basınçlı soğuk plazma, yüzey aktivasyonu, yapışma dayanımı, POM, PP, deney tasarımı  
**2023, x + 88 sayfa.**

## **ABSTRACT**

PhD Thesis

**DETERMINATION OF ATMOSPHERIC PLASMA USAGE PARAMETERS  
INCREASING THE ADHESION OF POM AND PP TALC %15 MATERIALS**

**Hikmet GÜLER**

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

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

Polyoxymethylene (POM) and polypropylene (PP) materials are mass production thermoplastics that are frequently used in the automotive industry. In many applications, these materials with low surface energy are prepared for bonding by mechanical abrasion or wiping with alcohol-based cleaners. The usability of the Cold Atmospheric Pressure Plasma (CAPP) method has been experimentally investigated in this study, instead of these preparation methods, which are bad for the environment. Increasing the surface energies of materials with plasma application has been a known method for a long time, but applications in vacuum environment have become possible under atmospheric pressure in recent years. In this way, the effectiveness of the method has remained the same, while its application and cost have improved. Experimental studies of the APP method to contribute to research in applications such as painting and bonding have been explained and it has been shown that the method can be an alternative for bonding applications of POM and PP materials, especially in the automotive sector. Considering that the APP method is an environmentalist process, it is understood that it will be an alternative in bonding of POM and PP materials.

**Key Words:** Cold atmospheric pressure plasma, surface activation, adhesive strength, POM material, PP material, design of experiment  
**2023, x + 88 pages.**

## TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim boyunca, tez konumun belirlenmesinden, tez çalıőmamın sonuçlanmasına kadar, derin bilgi, deneyimi ve olağanüstü iletişim yeteneği ile bana yol gosteren, tez çalıőmamın her aşamasında yardım ve desteğini esirgemeyen, akademik olarak kendimi geliőtirmemde büyük katkısı olduğuna inandığım, değerli danışman hocam Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR'a teőekkürlerimi sunarım.

Testlerin gerçekleştirilmesi ve sonuçların raporlanması aőamalarındaki yardımlarından dolayı BUÜ Mühendislik Fakóltesi Makine Mühendisliği Bölümü Konstrüksiyon ve İmalat Anabilim Dalı doktora öğrencisi Kadir Ayas'a teşekkür ederim.

Test parçalarının üretilmesi ve testlerin gerçekleőtirilmesinde sağladığı firma imkânlarından dolayı N.P. Plas Plastik Kalıp Ltd. Genel Müdürü Haktan elikyay'a, test cihazının tasarım ve imalatında verdiği destekten dolayı EG Süspansiyon A.Ő. Genel Müdürü İbrahim Balıoğlu'na teşekkür ederim.

Eğitim sürecimde kendilerine yeterince zaman ayıramamıő olmama rağmen, bu duruma gosterdikleri sabır ve verdikleri psikolojik destekle bana güç katan sevgili eőim ve oğluma teşekkür ederim.

Hikmet GÜLER  
17/02/2023



## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
1 GİRİŞ.....	1
2 KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. POLİMERLER.....	4
2.1.1 POLİMERLERİN ELDE EDİLMESİ.....	4
2.1.2 YAPILARINA GÖRE POLİMERLER.....	5
2.1.3 PLASTİKLER.....	7
2.1.4 PLASTİKLERİN SINIFLANDIRILMASI.....	9
2.1.5 PLASTİKLERİN AVANTAJLARI/DEZAVANTAJLARI .....	11
2.1.6 PLASTİKLERİN KULLANILDIĞI ALANLAR .....	12
2.2 YAPIŞTIRMA PROSESİ .....	12
2.2.1 YAPIŞTIRICILAR .....	12
2.2.2 YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARI.....	13
2.2.3 YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER .....	14
2.2.4 YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ AVANTAJLARI.....	16
2.2.5 YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARININ DEZAVANTAJLARI .....	18
2.2.6 YAPIŞTIRMA BAĞLANTILARINDA OLUŞAN HASAR ÇEŞİTLERİ.....	19
2.2.7 YAPIŞTIRMA GEOMETRİSİ .....	20
2.2.8 PLASTİK MALZEMELERİN YAPIŞMA ÖZELLİĞİ .....	22
2.3 YÜZEY ENERJİSİ .....	22
2.3.1 YÜZEY ENERJİSİ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ .....	23
2.3.2 PLASTİK MALZEMELERİN YÜZEY ENERJİLERİ .....	27
2.4 PLAZMA .....	28
2.4.1 PLAZMA TEKNOLOJİSİ .....	29
2.4.2 PLAZMA UYGULAMASININ AVANTAJLARI.....	31
2.4.3 PLAZMANIN SINIFLANDIRILMASI .....	31
2.4.4 SOĞUK PLAZMALAR.....	32
2.4.5 SICAK PLAZMALAR .....	32
2.4.6 ATMOSFERİK PLAZMALAR.....	32
2.4.7 VAKUM PLAZMALAR .....	33
2.4.8 PLAZMA UYGULAMASININ ETKİLERİ.....	34
2.4.9 PLASTİK MALZEMELERDE PLAZMA UYGULAMASI.....	37
2.5 KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	38
3 MATERYAL VE YÖNTEM .....	55
3.1 PLAZMA CİHAZI.....	56
3.2 MALZEME.....	57
3.3 YÜZEY ENERJİSİ ÖLÇÜMLERİ .....	58
3.3.1 TEMAS AÇISI YÖNTEMİ İLE YÜZEY ENERJİSİ ÖLÇÜMLERİ .....	58
3.3.2 TEST MÜREKKEBİ YÖNTEMİ İLE YÜZEY ENERJİSİ ÖLÇÜMLERİ .....	58
3.4 YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMLERİ .....	59
3.5 DENEY NUMUNELERİNİN YAPIŞTIRILMASI.....	60

3.6	DENEY NUMUNELERİNE PLAZMA İŞLEMİ UYGULANMASI .....	61
3.7	DENEY NUMUNELERİNE ÇEKME TESTİ UYGULANMASI .....	62
4	BULGULAR VE TARTIŞMA .....	64
4.1	TEMAS AÇISI ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI.....	64
4.2	YÜZEY ENERJİSİ ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI .....	65
4.3	YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ ÖLÇÜMÜ SONUÇLARI.....	65
4.4	ÇEKME TESTİ SONUÇLARI .....	66
5	SONUÇ .....	74
	KAYNAKLAR .....	80

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
A	Amper
Al	Alüminyum
Ar	Argon
B	Bor
Cal	Kalori
Cm	Santimetre
C	Karbon
CO	Karbonmonoksit
CO <sub>2</sub>	Karbondioksit
Ge	Germanyum
He	Helyum
G	Gram
J	Joule
K	Kelvin
kV	Kilovolt
m	Metre/mili
mm	Milimetre
MF	Melamin
N	Newton
mN	Nanometre
O	Oksijen
P	Fosfor
Pa	Pascal
R <sub>a</sub>	Yüzey pürüzlülüğü
S	Saniye
Si	Silisyum
W	Watt
%	Yüzde
°C	Santigrat derece
Θ	Thita (teta)
~	Yaklaşık

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
ABP	Atmosferik Basınçlı Plazma
ABS	Akilonitril bütadien stiren
ABSP	Atmosferik Basınçlı Soğuk Plazma
AFM	Atomik Güç Mikroskobu
APET	Amorf polietilen tereftalata
APPT	Atmosferik Basınçlı Hava Plazma Torçu
CAPPJ	Soğuk Atmosferik Basınçlı Plazma Jeti
CAS	Calsiyum setarat
CF	Karbon lifi
CGS	Santimetre-gram-saniye
CPL	Kaprolaktam
DBD	Dielectric Barrier Discharge

DC	Doğru akım
E	Etilen
EP	Epoksi
EPDM	Ethylene Propylene Diene Monomer
FTIR	Fourier Transform Infrared Spektrofotometre
GF	Glass fiber (cam lifi)
GFR	Cam elyaf takviyeli (Glass fiber reinforced)
GRP	Cam takviyeli plastik (Glass fiber reinforced plastic)
HCL	Hidroklorikasit
HDPE	High Density Polietilen (Yüksek Yoğunluklu Polietilen)
IBA	İzobütülen
LDPE	Low Density Polietilen (Düşük Yoğunluklu Polietilen)
MEK	Metil etil keton
PA	Poliamid (naylon)
PBT	Polibütülen
PC	Polikarbonat
PE	Polietilen
PEEK	Polietereterketon
PET	Polietilen tereftalat
PFE	Polifluoretilen
POM	Polioksimetilen
PP	Polipropilen
PPE	Polipenilen eter
PPS	Polifenilen sülfid
PS	Polistren
PTFE	Politetrafloroetilen
PVDF	Poliviniliden florit
PU	Poliütretan
PVC	Polivinil klorür
PVDF	Polivinilidin florür
RF	Radyo mikroskopu
SDBD	Yüzey dielektrik bariyeri deşarjı (Surface dielectric barrier discharge)
SI	Uluslararası Birim Sistemi (International System of Units)
STY	Stirendir
UV	Ultraviyole
VC	Vinil Klorür
Vi	Vinil
XPS	Fotoelektron Spektropsi

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1	Çift bağıın yeniden tertiplenmesi (akkurt, 1991)..... 5
Şekil 2.2	Polietilen polimer (Akkurt, 1991)..... 5
Şekil 2.3.	Yapıştırma bağlantısında adezyon ve kohezyon kuvvetleri (Temiz, 2022)..... 13
Şekil 2.4.	Yapıştırma işlemi (Temiz, 2022)..... 16
Şekil 2.5.	Modern bir yolcu uçağında yapıştırma uygulamaları (Temiz, 2022)..... 16
Şekil 2.6.	Yapıştırma bağlantılarında oluşabilecek hasar türleri (İriş, 2020)..... 19
Şekil 2.7.	Bindirme Bağlantı Çeşitleri (Öz ve Özer, 2016)..... 20
Şekil 2.8.	Yapıştırma bağlantı geometrileri (Koyun, 2019)..... 21
Şekil 2.9.	Yapıştırma bağlantıları üzerine gelen yükler ve gerilme dağılımı örnekleri (İriş, 2020)..... 21
Şekil 2.10.	Yüzey gerilimi (Geçim, 2022)..... 23
Şekil 2.11.	Gonyometre cihazı (Geçim, 2022)..... 24
Şekil 2.12.	Temas açısı formları (Sarıkaya, 2019)..... 24
Şekil 2.13.	Temas açısı ölçümü (Şekercioğlu ve Kaner 2013)..... 25
Şekil 2.14.	İyi yüzey ıslanması (Plasmatreat, 2022)..... 27
Şekil 2.15.	Kötü yüzey ıslanması (Plasmatreat, 2022)..... 27
Şekil 2.16.	Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak maddenin halleri (Sarı, 2016) 29
Şekil 2.17.	Endüstriyel atmosferik plazma cihazı (Diren, 2018)..... 33
Şekil 2.18.	Vakum plazma cihazı (Diren, 2018)..... 34
Şekil 2.19.	Plazma etkisiyle oluşan yüzey aktivasyonu (Diener Plasma, 2022)..... 35
Şekil 2.20.	Plazma ile elde edilen temizlenmiş yüzey (Relyon Plasma, 2022)..... 35
Şekil 2.21.	Plazma etkisiyle oluşan aşınma (Diener Plasma, 2022)..... 35
Şekil 2.22.	Plazma etkisiyle meydana gelen aşılama (Karahana, 2007)..... 36
Şekil 2.23.	Plazma etkisiyle meydana gelen polimerizasyon (Karahana, 2007)..... 36
Şekil 3.1.	POM ve PP Talk %15 plastik malzemelerin yapıştırma bağlarında ABSP uygulaması etkinliğinin araştırılması için kullanılan metodoloji..... 55
Şekil 3.2.	Piezobrush PZ2 el tipi soğuk plazma ünitesi (Relyon Plasma, 2022)..... 56
Şekil 3.3.	Test numunesi..... 57
Şekil 3.4.	Plazma işlemi görmemiş PP malzeme üzerinde örneklenmiş su temas açısı ölçümü..... 58
Şekil 3.5.	Yüzey gerilimi ölçümü..... 59
Şekil 3.6.	Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)..... 59
Şekil 3.7.	Deney numunelerinin yapıştırma bölgesi..... 60
Şekil 3.8.	Plazma işlem hızı kontrol cihazı..... 62
Şekil 3.9.	KJ-1065A model çekme test cihazı..... 63
Şekil 4.1.	a) ABSP uygulamasından önce b) ABSP uygulamasından sonra PP'nin AFM yüzey görüntüleri..... 65

Şekil 4.2. a)	ABSP uygulamasından önce b) ABSP uygulamasından sonra POM'un AFM yüzey görüntüleri.....	66
Şekil 4.3.	Çekme testi için hazırlanmış çekme testi numuneleri.....	66
Şekil 4.4.	Farklı hız ve mesafede plazma ile işlenmiş, Maracol yapıştırıcı ile bağlanmış PP numune çiftleri yüzeyleri yapışma bölgeleri.	67
Şekil 4.5.	Farklı hız ve mesafede plazma ile işlenmiş, G-Force Erde yapıştırıcı ile bağlanmış PP numune çiftleri yüzeyleri yapışma bölgeleri.....	68
Şekil 4.6.	Farklı hız ve mesafede plazma ile işlenmiş, Maracol yapıştırıcı ile bağlanmış POM numune çiftleri yüzeyleri yapışma bölgeleri.....	69
Şekil 4.7.	Farklı hız ve mesafelerde plazma ile işlenmiş, G-Force Erde yapıştırıcı ile bağlanmış POM numune çiftleri yüzeyleri yapışma bölgeleri.....	70
Şekil 4.8.	PP malzemede Maracol yapıştırıcı ile yapılan uygulamaların çekme testi sonuçları.....	71
Şekil 4.9.	POM malzemede Maracol yapıştırıcı ile yapılan uygulamaların çekme testi sonuçları.....	71
Şekil 4.10.	PP malzemede G-Force ERDE yapıştırıcı ile yapılan uygulamaların çekme testi sonuçları.....	72
Şekil 4.11.	POM malzemede G-Force ERDE yapıştırıcı ile yapılan uygulamaların çekme testi sonuçları.....	73

## ÇİZELGELER DİZİNİ

		<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1.	Bazı polimerlerin yapısal biçimleri (Sönmez, 2019).....	6
Çizelge 2.2.	Plastiklerin yanıcılıklarına göre gruplandırılması (Baydar, 2016).....	9
Çizelge 2.3.	Bazı plastikler için yüzey enerji değerleri (Şekercioğlu ve Kaner, 2013) .....	28
Çizelge 3.1.	Polipropilen (PP) ve Polioksimetilen (POM) malzemelerinin teknik özellikleri .....	57
Çizelge 3.2.	Poliüretan bazlı Marocol ve Metilmetakrilat bazlı G-Force Erde yapıştırıcıların teknik özellikleri.....	61
Çizelge 3.3.	Değişken mesafelerden ve farklı işletme hızlarında gerçekleştirilen plazma aktivasyon deney planı.....	62
Çizelge 4.1.	PP ve POM malzeme üzerinde, plazma işlemi öncesi ve sonrası yapılan su temas açısı ölçümleri.....	64

## 1 GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle, plastik malzemeler ile üretilen parçaların kullanımı; otomotiv, tekstil, havacılık, uzay ve sağlık gibi sektörlerde kolay erişilebilirlik, üretimde kolaylık, ucuzluk, korozyon dayanıklılığı gibi sebeplerden dolayı dünya çapında artmakta ve daha kilit roller almaktadır. Özellikle termoplastiklerin geliştirilmesinden sonra hızlanan bu süreçte polipropilen (PP), poliamid (PA), akrilonitril bütadien stiren (ABS) gibi malzemeler sıklıkla kullanılır hale gelmiştir (Ferreira vd., 2019; Esen vd., 2016). Özellikle polipropilen üretimi dünya üzerinde üretilen plastiklerin %25'ini oluşturmaktadır (Kehrer vd., 2020). Plastikler, yüksek mekanik özelliklerine rağmen zayıf yüzey özellikleri nedeniyle boyama, kaplama, yapışma gibi üretim prosesleri için elverişsiz parçalardır. Çoğu plastik; oksijen, nitrojen ve halojenler gibi az miktarda diğer atomlarla birlikte karbon ve hidrojenle oluşur. Bu hidrokarbon plastikler genellikle düşük yüzey enerjilerine sahip olmakla kalmaz, bir tür yüzey işlemi olmadan bu malzemelerle kalıcı ve güçlü bağların oluşumunu imkânsız hale getirir (Kusano, 2014). Güçlü bağ oluşumu sağlamak için, mekanik müdahaleyle aşındırma, kimyasal işlemle aşındırma, alevle aktivasyon, korona aktivasyonu ve plazma aktivasyonu gibi yöntemler geliştirilmiştir. Mekanik aşınmaya dayalı fiziksel yöntemler, yüzeyde pürüzlülüğü artırdıkları için bağlanma alanını genişletirler ancak işlenen numunelerde kapsamlı bozulmaya neden olur. Öte yandan kimyasal işlemler, tipik olarak plastiklerin hem morfolojisini hem de kimyasal yapısını değiştirmek amacıyla kullanılır (Mandolino vd., 2014). Kimyasal işlemler, bu işlemlere endüstriyel bir alternatif aramaya götüren ciddi atık bertaraf sorunlarını da beraberinde getirir (Kehrer vd., 2020; Mandolino vd., 2014). Yeni bir yüzey işleme yöntemi arayışıyla ortaya çıkan atmosferik basınçlı soğuk plazma işlemi; seri üretime uygunluğu, verimliliği, temiz ve ekonomik oluşuyla öne çıkmakta olan alternatif bir yüzey iyileştirme işlemidir (Carrino vd., 2014).

Plazma hali; katı, sıvı, gaz gibi maddenin hallerinden biridir ve bilinen evrenin büyük çoğunluğu plazmadan oluşur. Plazma, uyarlanmış atom ve moleküllerden, pozitif ve negatif yüklü iyonlar, serbest elektronlar içeren maddenin yüksek enerjili dinamik bir fazıdır (İbrahimoglu vd., 2022). Yapay olarak üretilen plazmalar kullanım amaçlarına göre; yüksek, düşük, atmosferik basınç, vakum ortamlarında sıcak veya soğuk olarak hava, oksijen, azot, helyum vb. gazlar ya da bunların karışımları ile üretilmektedir (Piel,



2010). Yapay olarak üretilmiş plazmalar; polipropilen madde üzerinde yüzey temizliği (Piel, 2010; Yaman vd., 2009), yüzey aktivasyonu (Thurston vd., 2007; Lai vd., 2006), yüzey kaplaması (Černáková vd., 2015; Nikitin vd., 2020), boyanabilirlik geliştirme, yapışma mukavemeti artırma (Stewart vd., 2005) amaçlarla endüstride kullanılmaktadır. Plazma işleminin, plastik yüzeylerinde polar gruplar oluşturarak zayıf yüzey özelliklerini iyileştirdiği yapılan araştırmalar sayesinde bilinmektedir (Yaman vd., 2009; Shaw vd., 2016). Yüzey enerjisini iyileştirmesinin yanında yüzey pürüzlülüğünü artırarak temas yüzeyini iyileştirmekte, böylelikle boyama, kaplama, yapışma uygulamalarında da yapışma dayanımı yükselmektedir (Mandolino vd., 2014; Leroux vd., 2008; Polášková vd., 2002).

Polipropilen (PP) üzerinde yapılmış ABSP uygulamalarında, polioksimetilen (POM) malzemesinde görülen sonuçlara benzer olarak, su temas açılarındaki düşüş, yüzey serbest enerjisinde artış görülmüştür. Artan plazma işlemi süresi (Carrino vd., 2014; Polášková vd., 2002; Baniya vd., 2020; Kostov vd., 2014), plazma gücü (Pandiyaraj vd., 2019; Károly vd., 2018), gaz debisi (Polášková vd., 2002; Pandiyaraj vd., 2019), proses gazı (Polášková vd., 2002) ve gaz karışım oranı (Kehrer vd., 2020) ile, elde edilen “yüzey serbest enerjisi artışı” arasında ilişkiler bulunmuştur. Bu etkiler; yüzeydeki atomların birbirlerine oranı, oluşan bağların çeşitleri, su temas açıları, nem tutma özelliği, yüzey pürüzlülüğü gibi çeşitli yüzey özelliklerinde oluşan değişikliklerdir. Bu değişiklikler; X-ray fotoelektron spektropsi (XPS), atomik güç mikroskobu (AFM) görüntülemeleri, fourier transform infrared spektrofotometre (FTIR) analizi vb. karakterizasyon yöntemleriyle tespit edilmektedir (Kehrer vd., 2020; Akishev vd., 2008)).

Bu çalışmada, POM ve PP plastik malzemelerin atmosferik basınçlı soğuk plazma uygulaması ile, yapıştırma bağı mekanik özelliklerinin iyileşme oranlarını tespit etmek amaçlanmıştır. Malzemelerin yüzey enerjilerinin artırılması için ABSP, farklı hız ve çalışma mesafesinde malzeme yüzeylerine uygulanmış, ardından iki farklı yapıştırıcı ile bağ kuvveti oluşturulmuştur. Malzemelerin ABSP uygulaması ile yüzey enerjisindeki değişimler, hem mürekkep hem de su damlası testleri ile incelenmiştir. Yapıştırma bağının mekanik özellikleri de üniversal çekme cihazı ile belirlenmiştir. Sonuçlar

üzerinde detaylı analizler gerçekleştirilerek söz konusu malzemeler ve uygulama için literatüre yeni katkılar sağlanmıştır.

## 2 KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

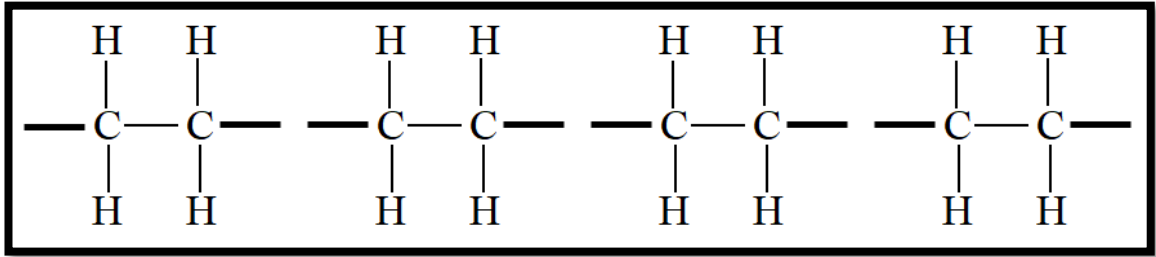
### 2.1. Polimerler

İnsan yaşamının belli başlı maddelerinin ana yapı taşları polimerlerdir (Baydar, 2016). Polimerler tabii ve sentetik olarak iki gruba ayrılabilir. Sentetik polimerler; petrolden, doğal gazdan, taş kömüründen, kireç, su, azot, kum vb. maddeler kullanılarak ya da selüloz, doğal kauçuk ve ağaç reçinelerinin kimyasal işlemlere maruz bırakılmasıyla elde edilir. Sentetik polimerler genellikle, birçok tekrarlanan "monomer" veya kısaca "mer" olarak adlandırılan basit birimlerden meydana gelir (Baydar, 2016). Monomerlerin türleri, sayıları ve birbirleriyle bağlantı şekli plastiklerin türlerini ve özelliklerini belirler (Demirci, 2004). Bunların isimlendirilmesinde çok sayıda manasına gelen "poli" kelimesi ile "mer" kelimesi birleştirilir (Baydar, 2016). Polimerler, tekrarlanan yapısal grupların kovalent bağlarla bağlanması sonucu meydana getirilen, yüksek molekül ağırlıklı bileşikler olarak tarif edilmektedir. "Polimerler çok sayıda küçük molekülün bir araya gelmesiyle meydana gelen "makromoleküller" şeklinde de tarif edilebilir. Polimerler değişik biçimde tarif edilmek istenirse, şöyle bir tarif de yapılabilir; çok sayıda monomerin kimyasal bağlarla düzenli olarak bağlanmasıyla oluşan bileşikler. Bir polimer binlerce monomeri zincirinde bulundurur. Polimer zincirinde binlerce kez tekrarlanan bu birimlere "mer" adı verilir. Mer ve monomer sözcükleri aynı anlamdadır ve biri diğerinin yerine kullanılabilir. En yaygın olarak tanınan monomerlere örnek olarak sayılabilecek olanlar; etilen (E), izobütülen (IBA), kaprolaktam (CPL), vinilklorür (VC), stirendir (STY). Saydığımız bu monomerlerin birçoğunun bir araya gelmesiyle meydana gelen polimerler; polivinilklorür (PVC), polietilen (PE), polistren (PS) olarak adlandırılır (Sönmez, 2019).

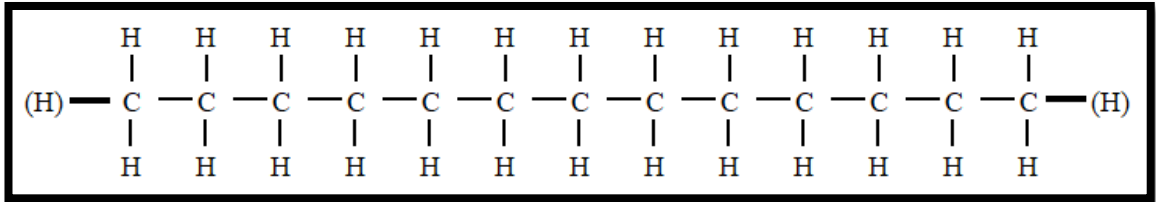
#### 2.1.1 Polimerlerin elde edilmesi

Polimerler, monomerlerin polimerizasyonu sonucu elde edilir. Bu amaçla bir reaktöre koyulan milyonlarca monomer, belirli katalizörlerin de mevcut olduğu bir ortamda sıcaklık ve basınç etkisi altında tutulur. Monomerleri meydana getiren karbon atomlarının çift bağları tekrar tertiplenir ve karbon atomlarının her iki yanında birer serbest bağ meydana gelir ve karbon atomları arasındaki çift bağ tek bağ haline gelir (Şekil 2.1).

Serbest bağlar, başka monomerlerin serbest bağları ile bağlanır ve zincir biçiminde stabil bir bileşik oluşur. Monomerlerin birbirine bağlanmasının devamı ile zincir gittikçe daha büyük hale gelir ve reaksiyon, zincirin serbest uçlarına bağlanan başıboş hidrojenlere denk gelinceye kadar sürer. Aynı zamanda reaksiyon sona erer ve zincir oluşumu bitmiş olur (Şekil 2.2). Böylelikle, tekrarlanan birimlerden meydana gelen, çok uzun zincir biçiminde bir makromolekül oluşmuştur. Bu şekilde monomerlerin polimerizasyonu sonucu meydana gelen malzemelere polimer denir (Akkurt, 1991).



Şekil 2.1 Çift bağın yeniden tertiplenmesi (Akkurt, 1991)



Şekil 2.2 Polietilen polimer (Akkurt, 1991)

### 2.1.2 Yapılarına göre polimerler

Yapılarına göre polimerler üç gruba ayrılırlar:

Hücre yapılarına göre polimerler; Homopolimerler ve kopolimerler olarak iki gruba ayrılır. Homopolimerler tek bir monomerin, kopolimerler ise iki değişik monomerin polimerizasyonu ile meydana gelir (Akkurt, 1991).

Kimyasal yapılarına göre polimerler: Polimerler, kimyasal yapılarına göre organik ve inorganik olarak adlandırılır. Organik polimerlerde başta karbon (C) olmak üzere

hidrojen (H), oksijen (O), azot (N) ve halojen atomları bulunur. İnorganik polimerlerde ise karbon yerine silisyum (Si), germanyum (Ge), bor (B), fosfor (P) gibi elementler bulunur. Bağ enerjileri organik polimerlerdekinden daha yüksektir. Bu sebeple organik polimerlerin daha geniş alanda kullanılmasına karşın, inorganik polimerlerin ısıl ve mekanik dayanımları daha yüksektir (Çizelge 2.1.'de, yaygın olarak kullanılan bazı polimerlerin kimyasal yapıları gösterilmiştir) (Akkurt, 1991).

**Çizelge 2.1.** Bazı polimerlerin yapısal biçimleri (Sönmez, 2019)

<b>Polimer</b>	<b>Kimyasal Yapı</b>
PE (Polietilen)	$\begin{array}{c} \text{--- CH}_2 \text{--- CH ---} \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$
PVC (Polivinil klorür)	$\begin{array}{c} \text{--- CH}_2 \text{--- CH ---} \\   \\ \text{C} \end{array}$
PVDF (Polivinilidın florür)	$\text{--- CH}_2 \text{--- CF}_2 \text{---}$
PTFE (Politetrafloroetilen)	$\text{--- CF}_2 \text{--- CF}_2 \text{---}$
PET (Polietilen tereftalat)	$\text{--- (CH}_2\text{)}_2 \text{--- O --- C --- } \text{⊕} \text{--- C --- O ---}$ $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array} \quad \begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$

Fiziksel yapılarına göre polimerler: Polimerlerin molekül zincirlerinin düzeni, fiziksel yapısını oluşturmaktadır. Bu açıdan irdelendiğinde amorf ve kristalin şeklinde iki yapı söz konusudur (Akkurt, 1991).

Amorf polimerlerde, polimer zincirlerinde yapısal bir düzen yoktur, polimer zincirleri, karışık ve dağınık olarak bir aradadır. Kristalli polimerlerde ise polimer zincirlerinin bazı bölümleri bir araya gelerek düzenli şekilde sıralanmakta, moleküller arasında kendi kendini tekrar eden, düzenli boşluklar ve aralıklar oluşabilmekte ve polimer yapı içinde üç boyutlu ve düzenli yapılar oluşabilmektedir (Savaşçı vd., 2002).

### 2.1.3 Plastikler

Katkı maddesi ilave edilmiş polimere "plastik" denir (Turaçlı, 2003). Her malzemede olduğu gibi, plastikler de kendine has özelliklere sahiptir.

Plastiklerin görünümü: Plastikler genelde renksiz olup istenilen rengi vermek için renklendiriciler kullanılır (Akkurt, 1991). Farklı renk ve çeşitleri vardır. Renklendirilebilme kabiliyetleri yüksektir (Baydar, 2016).

Plastiklerin yüzeylerinin sertliği: Plastiklerin yüzeyleri yumuşak olup çizilmeye karşı düşük dirence sahiptir. Ayrıca, cam, metal ve seramiklere göre sertlikleri de düşüktür (Akkurt, 1991). İşlenebilmeleri iyidir ve kolaydır (Baydar, 2016).

Plastiklerin yoğunluğu: Plastikler diğer malzemelerle karşılaştırıldığında, diğer malzemelere göre hafif olup, yoğunlukları  $0,90-2,50 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Plastiklerin bu özelliği, ağırlığın ön planda olduğu dizaynlarda üstünlük sağlar (Akkurt, 1991).

Plastiklerin ısısal özellikleri: Yüksek sıcaklıklar, plastiklerin kullanıldıkları alanlarda her zaman istenmeyen bir durumdur. Birtakım plastikler  $300-400^\circ\text{C}$ 'ye özelliğini kaybetmemekle beraber, polifluoretilen (PFE), teflon (PTFE), melamin (MF) vb. plastiklerin birçoğu, sıcaklığın  $80^\circ\text{C}$ 'nin üzerine çıkması durumunda özelliklerini kaybeder (Baydar, 2016). Plastiklerin mühim bir ısısal özelliği de ısı iletkenliğidir. Kovalent bağ nedeniyle ısı iletkenlikleri iyi değildir. Metal maddelerin ısı iletkenlikleri  $200-10.000 \cdot 10^4 \text{ cal/cm.sn.}^\circ\text{C}$  aralığında iken, plastiklerinki  $2,0-8,0 \cdot 10^4 \text{ cal/cm.sn.}^\circ\text{C}$  aralığındadır. Plastiğin işlenme prosesinde öne çıkan bir etken olarak değerlendirilen ısı genleşme katsayısı ise metallerle kıyaslandığında çok yüksek olup,  $2-20 \cdot 10^3 \text{ cm/cm.}^\circ\text{C}$  aralığındadır (Akkurt, 1991).

Plastiklerin kimyasal özellikleri: Plastikler, metallerle karşılaştırıldıklarında, kimyasal etkiye daha mukavimdir (Akkurt, 1991). Asitlere ve bazlara karşı daha mukavimdir. Aksine, organik çözücülere (solventlere) karşı dayanımları yüksek değildir (Baydar, 2016). Konuyu genellersek, plastiklerin kimyasal etkilere karşı dirençleri; temas ettikleri kimyasal maddenin cinsine, konsantrasyonuna, plastiğin yapısına, yüzey pürüzlülüğü ve

morfolojisine, ortam ve kimyasal sıcaklığına, maruz kaldığı gerilmeye bağlıdır. (Akkurt, 1991). Suya maruz kaldıklarında olumsuz etkilenmez, suya dayanıklıdır. Fakat birtakım plastikler, bilhassa su buharına maruziyet durumlarında hassastır ve özelliklerini kaybedebilir (Baydar, 2016).

Plastiklerin alevlenme (yanma) özelliği: Plastiklerin yanmaya karşı direnci azdır. Genelde aleve veya aşırı ısıya maruz kaldıklarında kullanılamaz hale gelir. Plastiklerin çoğunda, alev uzaklaştırıldığında yanma durur (Akkurt, 1991).

Plastiklere çevre koşullarının etkisi: Radyasyon, yağmur ve dolu kaynaklı erozyon ve hava kirliliği plastiklerde bozulmaya neden olan ana etkenlerdir. Plastiğe ilave edilecek katkı maddeleri ile bu olumsuzluklar en aza indirilebilir (Akkurt, 1991).

Plastiklerin elektriksel özellikleri: Plastik malzemelerin elektrik ile ilgili olarak en öne çıkan özelliği iletkenlikleridir. Plastiklerin öz dirençleri  $10^7$  ohm.m- $10^{18}$  ohm.m aralığındadır. Plastiklerin elektrik iletkenliği sıcaklık ve nem ile artar. Elektrik iletkenliği zayıf olan plastikler, elektrostatik olarak yüklenebilir ve bu yükü uzun süre koruyabilir (Akkurt, 1991).

Plastiklerin yanıcılık özelliği: Plastikler genel anlamda yanıcılık özellikleri itibarıyla üç grupta değerlendirilir (Çizelge 2.2) (Baydar,2016).

**Çizelge 2.2.** Plastiklerin yanıcılıklarına göre gruplandırılması (Baydar, 2016)

1.Sınıf	2. Sınıf	3. Sınıf
Politetrafloretilen	Silikonlar	Polistren
Aromatik Polietersülfon	Polikarbonatlar	Polyolefinler
Bütün aromatik polimidler	Naylon	Poliasetatlar
Bütün aromatik polyesterler		Akrilikler
Bütün aromatik polieterler		Poliüretanlar
Polivinilklorid		
Polivinilden klorid		

Yukarıdaki çizelgede, 1. sınıf plastikler kolonunda gösterilen plastiklerin yanabilirlik özellikleri zayıftır. Orta kolonda gösterilen 2. sınıf olarak adlandırılan plastiklerin yanabilirlik özelliği orta düzeyde olup, 3. sınıfta gösterilen plastikler ise çok yanıcı plastiklere örnektir (Baydar, 2016).

Plastiklerin geçirgenlik özelliği: Plastiklerin gazlara ve sıvılara maruz kaldıklarında, geçirgenlikleri, plastiklerin kimyasal direnciyle ve gazların yapılarıyla alakalıdır. Karbondioksit (CO<sub>2</sub>), oksijen (O<sub>2</sub>) ve azotun (N<sub>2</sub>), diğer gazlarla karşılaştırıldığında, geçirgenlik oranları daha yüksektir. Gerçekleştirilen bilimsel çalışmalara göre bu oran sırasıyla N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> için, 1:4:14'tür (Baydar, 2016).

Plastiklerin oksidasyon direnci: Pek çok endüstriyel plastik, ya üretim aşamasında ya da kullanım aşamasında oksijen (O) sebebiyle oksidasyona duyarlıdır. Genel olarak, oksidasyon etkisiyle fiziksel özelliklerdeki değişiklikler az olsa bile, plastiğin rengi solar ve rengi kaybolur. Bununla beraber, yüksek sıcaklıklar ya da ultraviyole (UV) ışınların etkisiyle fiziki özellikleri hasara uğrayabilir (Baydar, 2016).

#### **2.1.4 Plastiklerin sınıflandırılması**

Plastikler; ham maddeleri, imalat metotları ve iç yapıları itibarıyla üç farklı sınıfta irdelenebilir.

Ham maddelerine göre plastikler, tam sentetik veya tabii maddelerin dönüştürülme prosesiyle üretilenler olarak iki sınıfta irdelenir (Kaner, 2017).



Üretim yöntemlerine göre plastikler; polimerizatlar, poliadüktler ve polikondenzatlar olmak üzere üç sınıfa ayrılır.

Polimerizatlar; ham maddeleri petrol ve taş kömüründen oluşturulan benzin moleküllerinin parçalanarak daha ufak moleküllere dönüştürülmesiyle meydana getirilir (Kaner, 2017).

Poliadüktler; poliadisyon metoduyla imal edilen plastiklerdir. Değişik tür monomerlerin makro molekül meydana getirecek biçimde birleştirilmesi prosesidir. Birleşim tamamlandığında bir yan mamul oluşmaz (Kaner, 2017).

Polikondenzatlar; polikondenzasyon metoduyla imal edilen plastiklerdir. Değişik tür monomerlerin molekül meydana getirecek biçimde birleştirilmesidir. Birleşim tamamlandığında, (su vb.) bir yan mamul oluşur. (Kaner, 2017).

İç yapılarına göre plastikler; termoplastikler, termosetler, elastomerler olarak üç sınıfa ayrılırlar:

Termoplastikler (ısı ile yeniden şekil verilebilen plastikler); makro molekülleri arasında ağlaşmanın olmadığı plastiklerdir. Sıcaklık etkisiyle yumuşayan plastiklerdir (Kaner, 2017). Isıtılmaları halinde yeniden plastik şekillendirilebilir. Pek çok kez ergitip kullanmak mümkündür. Her ısıtıldığında moleküler yapı zayıfladığından, bu ifade, belirli bir kullanım sayısı için (genellikle beş kez kullanımdan sonra mekanik özelliklerinde bozulmalar görülür) geçerlidir (Turaçlı, 2003). Bu özelliklerinin yanında kaynak yapılarak birleştirilebilirler, ısıtılarak ergitilebilirler ve solventlerle çözündürülebilir. Geri dönüşüm özellikleri sayesinde yeniden kullanımlarının mümkün olması nedeniyle, en fazla kullanım alanı olan plastik malzemelerdir (Kaner, 2017).

Termosetler (ısı ile tekrar şekil verilemeyen plastikler); makro molekülleri aralarında dar şekilde ağlaşmış, geri dönüşüm imkânı olmayan plastik sınıfıdır. Termoset malzemelerin iç yapılarında amorf ve yarı kristal alanlar görülebilir. Makro moleküller arasında kovalent bağlar mevcuttur. Sert ve kırılğan iç yapıları nedeniyle öbür plastik sınıflarına

kıyasla esneme özelliği daha azdır. Moleküller arasındaki güçlü bağ şekillendirilmeyi güçleştirmektedir (Kaner, 2017). Birtakım öne çıkan termoset plastikler; üre-formaldehit, melamin formaldehit, fenol formaldehit, doymamış poliesterler, epoksi polimerler, poliüretanlardır (Baydar, 2016).

Elastomerler (lastikler, kauçuklar); seyrek gözenekli bir hacimsel (üç boyutlu) ağ yapısına sahip plastiklerdir. Makro molekülleri aralarında termoset plastik benzeri biçimde ağlaşmışlardır. Elastomerler, makromolekül zincirleri arasında seyrek de olsa ilave bir kovalent bağ oluşan, üç boyutlu gelişen fakat zayıf bir ağ yapısına sahip olan malzemelerdir. Yapı, düzensiz (amorf) görünümündedir (Demirci 2004).

Mevcut bağ yapıları nedeniyle elastomerler eritilemez ve ergitilemez. Isıtılmaya devam edildiği takdirde bağları geri dönülemeyecek düzeyde bozulur, malzeme tahrip olur. (Demirci, 2004) En mühim özellikleri esnek ve elastik yapıya sahip olmalarıdır. Oda sıcaklığında gerilime maruz kaldıklarında, uzunluklarının en az iki katı olan uzunluklar seviyesine uzar ve gerilim uygulamasının sonlandırılmasıyla derhal başlangıç uzunluğuna döner. Ergimezler, çözünmezler ama sıvı emer (Kaner, 2017). Lastikler, kauçuklar elastomerlere örnek verilebilir (Demirci 2004).

### **2.1.5 Plastiklerin avantajları/dezavantajları**

Plastikler, gün geçtikçe değer kazanan, kullanım sahası artan malzeme gruplarından biri olagelmiştir. Hafif ve esnek olmaları, korozyona karşı dayanıklılığı, işlenebilme kolaylığı, imalat yöntemlerine uygunluğu, piyasada bulunabilirliği, özgül ağırlıklarının düşük ( $0,90-2,50 \text{ g/cm}^3$ ) olması, elektrik dirençlerinin yüksek (bakırınkinin yaklaşık  $10^{20}$  katı düzeyinde) oluşu, yüksek korozyon direnci, ısı iletim katsayılarının düşük olması, statik ve dinamik sürtünme katsayılarının birbirine eşit olması yanında, elmas ve grafitle karşılaştırılabilir seviyede küçük olması, elastisite modüllerinin çok düşük olması ve düşük maliyeti, özellikle hem üreticilerin hem de ihtiyaç duyan tüm kesimlerin ilgisini çekmektedir (Kaner, 2017; David vd., 2004; Demirci, 2004; Baydar, 2016). Plastiklerin, her şekilde kolaylıkla üretilebilmeleri mümkün olduğu için, dizayn sürecinde herhangi bir sınırlama yoktur ve bu nedenle binlerce değişik uygulama alanlarında kullanılmaları mümkündür. (Baydar, 2016). Bununla birlikte, düşük sertlikleri, düşük çizilme direnci ve

ultraviyole (UV) radyasyonu ile bozunmaları, yüzey modifikasyonunu gerekli kılmaktadır (Baniya vd. 2021).

### **2.1.6 Plastiklerin kullanıldığı alanlar**

Günümüzde hemen hemen plastiklerin kullanılmadığı alan yoktur. Kırtasiye malzemeleri, tabak, sünger, kumaş, pencere çerçevesi üretimi gibi günlük hayatta ihtiyaç duyulan ürünlerin üretimi yanında, yapılarındaki özellikler nedeniyle ileri mühendislik malzemelerinin imalatında, tıp, eczacılık, tekstil ulaşım, ambalaj, oyuncak, kozmetik, elektrik-elektronik, iletişim, havacılık/uzay, otomotiv ve inşaat sektörüne kadar, bütün sektörlerde yaygın şekilde kullanılmaktadır (Sönmez, 2019; Baydar, 2016; Savaşçı vd., 2002).

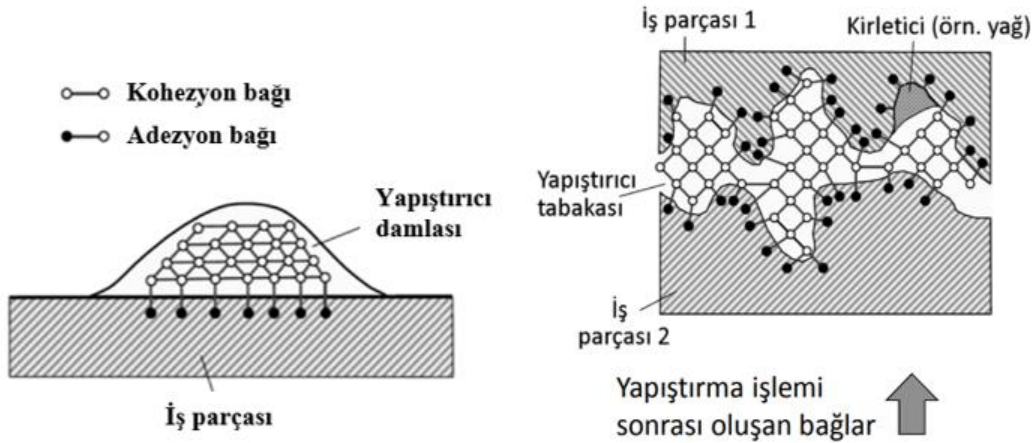
## **2.2 Yapıştırma Prosesi**

### **2.2.1 Yapıştırıcılar**

Yapıştırıcılar, otomotiv, havacılık ve gemi inşaat endüstrilerinde, parçaların birleştirilmesinde yaygın olarak kullanım alanı bulmaktadır. Sanayide, düzlemsel yüzeylerin birleştirilmesinde yapıştırıcıların kullanılması kayda değer üstünlükler sağlamaktadır. Cıvata, perçin bağlantısı ve kaynakla birleştirme gibi geleneksel birleştirme metotları yerine kullanılması, kaynak yapılamayan malzemeleri perçin veya cıvata kullanmadan birleştirmeyi mümkün kılması gerekçeleriyle yapıştırıcıların kullanılması, bağlantıda delik ve çentik olmayışı sebebiyle gerilme yığılması engellenmekte, mukavemet/ağırlık oranı mühim oranda yükselmektedir. Yapıştırıcıların montaj parçalarının birleştirilmesinde kullanılmasının, ağırlığı düşürmesi nedeniyle mühim üstünlükler sağlamasına karşın, dizayn parametrelerinin doğru olarak belirlenmesi son derece önemlidir (Öz ve Özer, 2016). Yapıştırıcıların düşük termal ve mekanik özelliklerinden dolayı, yüksek performanslı uygulama için yapışkanlı birleştirmenin kullanımı hala zordur (Jha vd., 2009). Bu nedenlerle, doğru biçimde dizayn edilmeyen yapıştırırmalı bağlantı, yapılabilecek en hatalı seçenek olabilir (Öz ve Özer, 2016).

## 2.2.2 Yapıştırma bağlantıları

Yapışma mekanizması, iki birbirine benzeyen veya benzemeyen yüzeyler arasındaki atomlar arası ve moleküller arası etkileşimdir (Mıhçı, 2018). Bir başka tanımla yapışma prosesi; iki malzemenin, bir yapıştırıcı vasıtasıyla, birbiri arasında bağlantı oluşturmak amacıyla bağ kuvvetleri etkisiyle birleşmesidir (Kaner, 2017). Yapışma bağlantısı, çoğunlukla sentetik bazlı bir yapıştırıcı ile yapılan, çözümü mümkün olmayan bir bağlantıdır (Temiz, 2022). Yapıştırma prosesinde iki mühim kuvvet oluşmaktadır. Bu kuvvetler adezyon ve kohezyon kuvvetleridir (Şekil 2.3) Yapıştırma bağlantısının mukavemeti adezyon ve kohezyon kuvvetlerine bağlıdır (Kaner, 2017).



Şekil 2.3. Yapıştırma bağlantısında adezyon ve kohezyon kuvvetleri (Temiz, 2022)

Adezyon ve kohezyon ifadeleri "yapışma" manasında kullanılır. Adezyon, değişik türdeki moleküllerin birbirlerini çekmesi, bir maddenin diğerine yapışmasıdır. Bu nedenle adezyon için yapışma ifadesi de kullanılır (Fizikdersi, 2022). Yapışma kuvvetinin büyüklüğü, yüzeylerin ıslatılarak, moleküller arası maksimum temasın elde edilmesi ve yüzeylerin yapışma özelliklerine bağlıdır. Islatmanın etkisi, yapıştırılacak yüzeyin gerilimine ve yapıştırıcının viskozitesine bağlıdır. Yapıştırılacak yüzeyde kir, toz vs. mevcut olması, ıslatmanın etkisini azaltır. Adeziv kırılma, yapıştırılacak malzeme yüzeyinin yeterli düzeyde temiz olmamasından kaynaklanır ve yapıştırıcı, yapıştırılacak malzemenin yüzeyinden kalkar. Bu, istenmeyen bir durumdur (Satı, 2018). Kohezyon aynı türdeki moleküllerin birbirini çekmesidir, bir maddenin kendi kendine yapışması

birbirini tutmasıdır, bu nedenle “birbirini tutma” da denir (Fizikdersi, 2022). Yapıştırıcı madde içindeki bütünlük temin eden güçlü bağ yapı, yapıştırıcının mevcut halini korumasını sağlar. Bu bağ yapının oluşturduğu kuvvete kohezyon kuvveti denir (Kaner, 2017). Kohezyon; maddenin çeşidine (cıvanın, suyun ve zeytinyağının kohezyon kuvvetleri farklıdır), sıcaklığa (sıcaklık yükseldikçe moleküller daha fazla hareket eder, moleküller arası kuvvetler azalır) ve bir başka maddenin karıştırılma durumuna (suyun içine deterjan karıştırılması durumunda, su moleküllerinin arasına deterjan molekülleri girmesi ile, birbirini tutma bağlarını zayıflatır) bağlıdır. Yapıştırıcı malzeme bağlanımlarında yüzey temizliği iyi yapılmış olması durumunda, kırılma, koheziv bir kırılmadır ve hasar, yapıştırıcının içinde meydana gelir. Yapıştırma prosesinde, adezyon ve kohezyon kuvvetleri yaklaşık olarak birbirine eşit olmalıdır (Satı, 2018).

### **2.2.3 Yapıştırma bağlantılarını etkileyen faktörler**

Yapıştırma prosesini etkileyen değişik etmenler söz konusudur. Bunlar; sıcaklık, basınç, zaman, katalizör, oksijen, nem, su, çözücü, ultraviyole ışınlar ve yüzey temizliği olarak ifade edilebilir (Kaner, 2017; Satı, 2018).

**Sıcaklık:** Yapıştırıcılar çoğunlukla oda koşullarında etkilerini göstermektedir. Birtakım yapıştırıcıların yüksek sıcaklıklarda yapışma prosesi daha etkili gerçekleşir ve yapışma süresi düşer. Kimyasal reaksiyonların pek çoğunda sıcaklık arttıkça reaksiyon hızı artar. Fakat yine de sıcaklık kontrol edilmelidir. Aksi hâlde, yüksek sıcaklık yapıştırıcı malzemeyi bozabilir (Koyun, 2019).

**Basınç:** Basınç uygulaması, yüzeylerin birbirine yapışma hızını artırır ve yapışmayı kolaylaştırır. Bilhassa ince cidar kalınlığında olan malzemelerin yapıştırılmasında basınç uygulaması yapışma kalitesini artırır (Kaner, 2017).

**Zaman:** Yapışma prosesinde süre, yapıştırıcının kürleşme süresine bağlıdır. Kürleşme süresi birkaç dakikadan birkaç güne kadar değişebilir (Kaner, 2017).

Katalizör: Bazı alanlarda, yapıştırıcıyı daha etkin kılmak için katalizör kullanılarak yapışma prosesi gerçekleştirilir. Katalizör yapıştırıcının reaksiyon hızını artırır (Kaner, 2017).

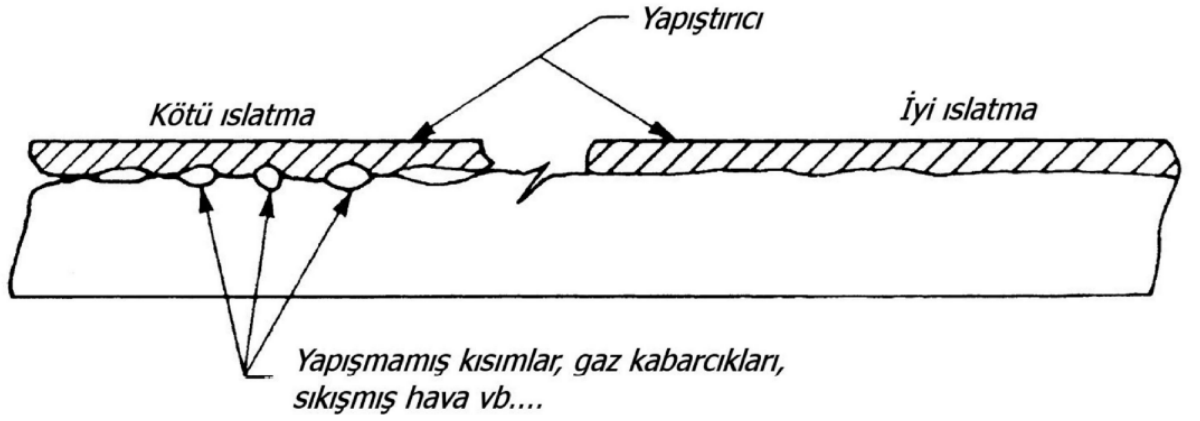
Oksijen: Oksijen, yapışma anında yapıştırıcının kürleşmesini önleyici etkide bulunabilir. Bazı yapıştırıcılar oksijensiz ortamda yapıştırıldıklarında, yapıştırılan alan, oksijen bulunan ortamda uzun süre kalıcı olabilmektedir (Kaner, 2017). Aksine, bazı yapıştırıcı türleri de etkilerini oksijensiz ortamda gösterirler ya da oksijensiz ortamlarda yapışır. Oksijensiz ortamda bozulmaya uğramadan çok uzun süre saklanabilir (Koyun, 2019).

Nem ve Su: Silikon ve poliüretan siyanoakrilat içeren yapıştırıcılar, atmosferde var olan nemden veya yapışma prosesinin gerçekleştirildiği ortamda bulunan nem veya su nedeniyle tepkimeye girer ve yapışma işlemini gerçekleştirir (Güleç, 2004). Sıcaklığın yükseltilmesi ile yapıştırıcı bünyesindeki ilgili maddeler yapıştırıcıdan ayrılırlar ve yapışma bu şekilde gerçekleşir (Kaner, 2017).

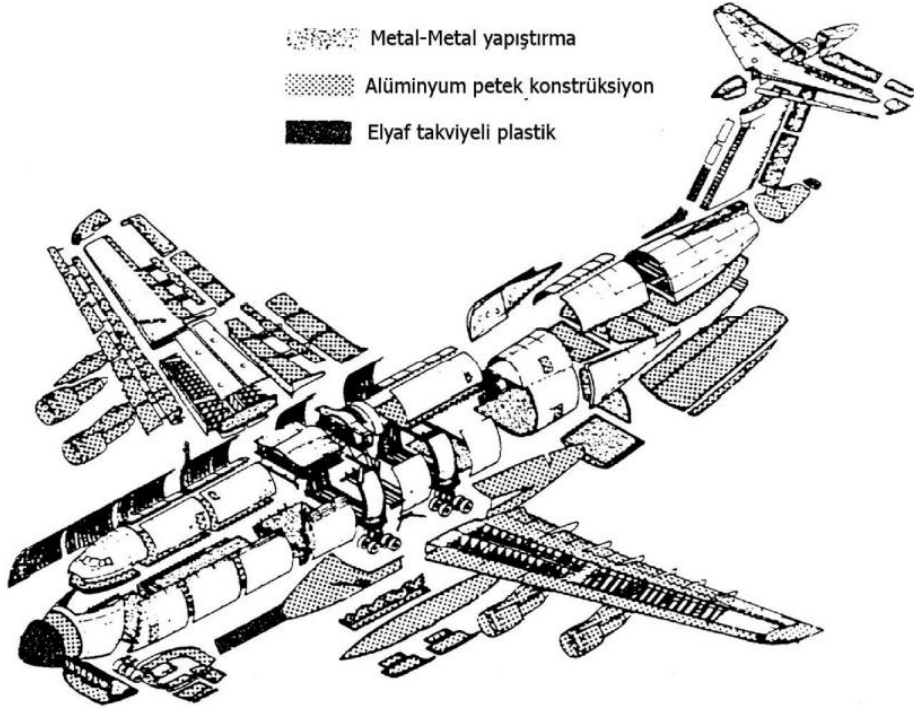
Ultraviyole ışın: Ultraviyole ışının meydana getirdiği küçük dalga boylu ışınlar, yapıştırıcı üstünde, yapışmayı hızlandırıcı etki yapmaktadır (Kaner, 2017).

Yüzey Temizliği: Yapıştırılacak olan parçaların yüzey temizliği, ıslanabilirliği dolayısıyla yapışma mukavemetini olumlu yönde etkiler (Satı, 2018).

Tipik bir yapışma işlemi şematik olarak Şekil 2.4'te, yapışma işleminin havacılık sanayiinde uygulamalarına ilişkin bir görsel de Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Yapıştırma işlemi (Temiz, 2022)



Şekil 2.5. Modern bir yolcu uçağında yapıştırma uygulamaları (Temiz, 2022)

#### 2.2.4 Yapıştırma bağlantılarının avantajları

1. Birleştirilen parçalarda, birleşen yüzey alanı büyüdükçe bağ mukavemeti artar. Bu nedenle geniş alanda gerçekleşen yapışma prosesinin yük taşıma kapasitesi yüksektir.
2. Birleşme alanındaki yüklerin homojen dağılmış olması nedeniyle yüksek gerilme birikimleri olmaz.

3. Yapıştırılacak parçaların kimyasında veya yapısında çok az değişiklik olur veya hiç olmaz.
4. Benzer veya benzer olmayan malzemeler birleştirilebilir.
5. Elektrik ve ısıya karşı yalıtıcıdır.
6. Benzer olmayan malzemeler arasında meydana gelebilecek galvanik korozyonu engeller.
7. Titreşim ve darbe yüklerini absorbe eder, iyi yalıtım özellikleri vardır.
8. Uygun yapıştırıcı kullanımıyla, yorulma ve hasar toleransı özellikleri daha iyi hale getirilebilir.
9. Mukavemet/ağırlık oranı yüksektir.
10. Mekanik birleştirme (cıvata, perçin vb.) veya kaynakla birleştirmeye karşılaştırıldığında, daha hızlı, kolay ve ucuz olabilir (İriş, 2020).
11. Birleştirilecek parçalarda delik, çentik vb. olmaması nedeniyle gerilme yığılması görülmez.
12. Kaynak bağlantısında gerçekleşen yapısal değişim meydana gelmez.
13. Uygunsuz kaynak izleri yoktur.
14. Sızdırmazlık sağlar.
15. Korozyon sürtünmesi sebebiyle aşınma olmaz.
16. Pim, cıvata, perçin, kelepçe vb. kullanılmaması nedeniyle parça sayısı azalır.
17. Perçin veya kaynakta olduğu gibi bağlantının görünümünde istenmeyen görünüm bozuklukları oluşmaması nedeniyle, tasarımcılara ürün görünümünün iyileştirilmesi için pek çok imkân sağlar (Satı, 2018).
18. Isıl bir işlem gerektirmemesi nedeniyle artık gerilmeler oluşmaz.
19. Her bir noktadaki gerilmelerin yaklaşık olarak aynı olması nedeniyle, sürekli mukavemette yorulma hasarı riski düşüktür.
20. Parçaların yüzeyleri arasına yapıştırıcı dolacağı için hassas tolerans vermeye gerek yoktur (Temiz, 2022).
21. Başka bağlama yöntemleri ile birleştirilmesi imkânsız olan ince parçaları bu yöntemle birleştirilebilir.
22. Genel olarak bağlantıyı gerçekleştirirken yüksek ısı ve basınca gerek yoktur. Bu nedenle birleştirilen parçalar kendi özelliklerini korurlar (Satı, 2018).



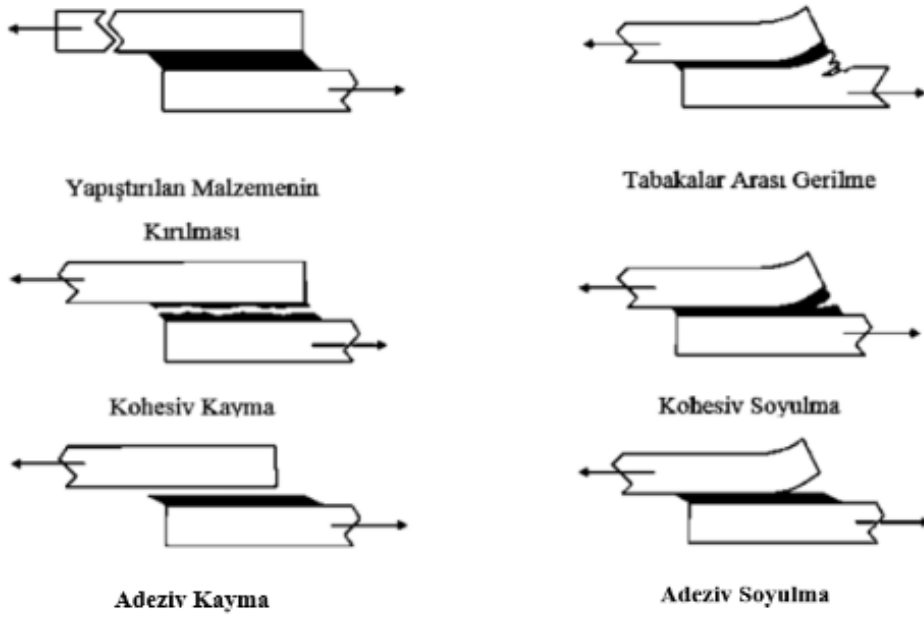
### 2.2.5 Yapıştırma bağlantılarının dezavantajları

1. Yapıştırma prosesi ile birleştirilen parçalar çekme ve kayma gerilmelerine maruz kaldığında, soyulma ve ayrılmaya karşı dayanımı düşüktür.
2. Kritik uygulamalarda çok karmaşık gerilme analizleri gerektirir.
3. Yapıştırılacak yüzeyler çok iyi temizlenmelidir.
4. Yapışma süreci dikkatle izlenmelidir.
5. Bazı uygulamalarda çalışma ömrü kısadır.
6. Kürlenme (yapışmada bağların oluşması) uzun zamanda gerçekleşebilir.
7. Hasar belirlenmesinde tahribatsız muayene metotlarına gereksinim vardır. Bağlantının tahribatsız muayenesi zordur.
8. Hatalı birleşmelerin tamir edilmesi hemen hemen olanaksızdır.
9. Bağlantının ömrü çevre koşullarından etkilenir.
10. Bilhassa tabii yapıştırıcılar bakteri, küf, kemirgen, haşerat tarafından zarara uğratılabilir (İriş, 2020).
11. Bağlantının doğru şekilde gerçekleştirilmesi, deneyimli kişilerce mümkündür.
12. Yüksek sıcaklığa dayanımı yüksek değildir.
13. Bazı durumlarda doğru bağlantı gerçekleştirebilmek için, basınç ve ısı kullanımına gereksinim duyulabilir.
14. Bağlantı yapılırken aparata ihtiyaç duyulabilir.
15. Bağlantı yapılırken uygun çevre koşullarına ihtiyaç vardır.
16. Düşük sıcaklıklarda, birtakım malzemelerde kolay kırılabilirlik gerçekleşebilir.
17. Bükülebilir parçalarda sürünme mukavemeti düşüktür,
18. Zehirleyici olabilir, alev alabilir. (Satı, 2018),
- 19.. Çalışma sıcaklığı yükselirse (80-120°C) dayanım düşer. Son dönemde geliştirilen yapıştırıcılarda çalışma sıcaklığı 450°C' ye kadar ulaşmıştır.
20. Yapıştırıcılar viskoelastik malzemelerdir. Bu nedenle zamanla yaşlanma ve sürünme (creep) olayları gerçekleşebilir.
23. Bazı solventlere karşı dayanıksızdır (Temiz, 2022),
24. Yapıştırıcı maddelerin mukavemetlerinin düşük olması nedeniyle geniş yapıştırma yüzeylerine gereksinim vardır (Satı, 2018).

## 2.2.6 Yapıştırma bağlantılarında oluşan hasar çeşitleri

Yapıştırılacak yüzeylerin doğru tasarlanması ve birbiri üzerine doğru şekilde yerleştirilmesi oldukça önemlidir. Yapıştırma prosesinde, yüzeylerin birbiri üzerine doğru yerleştirilmemesi, adezyon ve kohezyon kuvvetlerinin bozularak hasara uğramasına sebep olur. Meydana gelen hasarın nasıl ve niçin oluştuğunun tespit edilebilmesi amacıyla, yapıştırma alanına bazı mekanik testler uygulanır.

Mekanik testlerde esas olan, yapıştırıcı ile yüzey arasındaki veya yapıştırıcının kendi içinde meydana gelen hasarın doğru tespit edilmesidir (Kaner, 2017). Şekil 2.6'da yapıştırma bağlantılarında meydana gelebilecek hasar türleri görülmektedir (İriş, 2020).



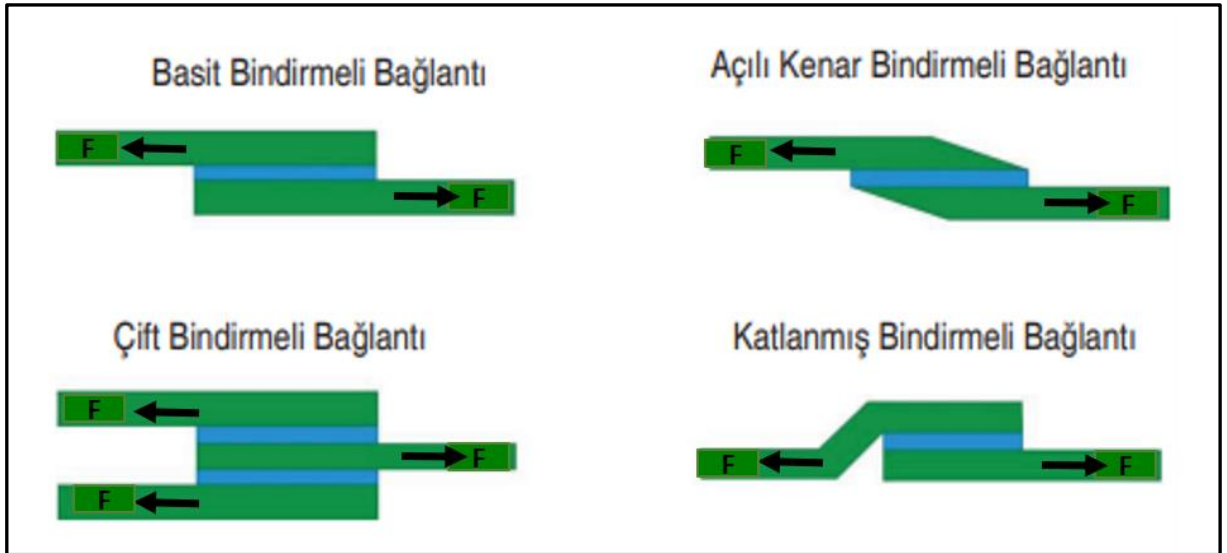
Şekil 2.6. Yapıştırma bağlantılarında oluşabilecek hasar türleri (İriş, 2020)

Gerçekleştirilen araştırmalar, yapıştırma bağlantılarının en zayıf noktasının, yapıştırıcı ve yapıştırılan malzeme arasında olduğunu göstermektedir (İriş, 2020). Yapıştırıcı ile yapıştırılan yüzey arasında gözle görülebilecek düzeyde bir ayrılmanın gözlenmesi halinde, adezyon kuvvetlerine bağlı bir hasar meydana gelmiştir. Yapıştırılan yüzey ile yapıştırıcı arasında kopma meydana gelir (Kaner, 2017).

İyi bir yapışma bağlantısı oluşturulması durumunda, yapışma bağlantısının en zayıf yeri, yüksek olasılıkla yapıştırıcının kendisidir (İriş, 2020). Yapıştırıcı veya yapışan malzemelerde bariz bir ayrılma oluşması ve yapıştırıcıda veya malzeme yüzeyinde fiziksel hasar meydana gelmesi, kohezyon kuvvetlerine bağlı hasar oluşumuna işaret eder. Kopmanın olduğu yüzeylerin her ikisinde de yapıştırıcı görülür (Kaner, 2017).

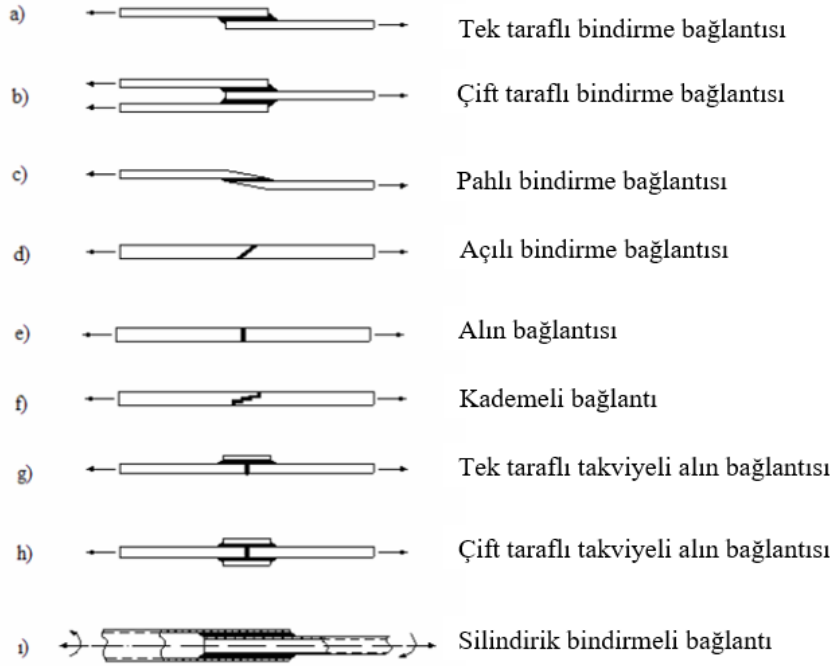
### 2.2.7 Yapıştırma geometrisi

Yapıştırma bağlantıları; basma, çekme, soyulma, kayma veya tüm bu durumların farklı kombinasyonları ile yüklenebilir. Bu nedenle, yapıştırmalı bağlantıların tasarımını, bağlantıda meydana gelecek yüklemeler dikkate alınarak ve yapıştırmalı bağlantıda hangi tür yüklemeye için en iyi performansın elde edildiği ve o yüklenme türüne göre en uygun bağlantı geometrisi belirlenmelidir (Koyun, 2019). Gerçekleştirilen araştırmalar, yapıştırma bağlantıları tasarımı yaparken, soyma ve ayrılma yüküne maruz kalmayacak şekilde tasarım yapılması gerektiğini göstermiştir. Yapıştırma bağlantılarının dayanımının en yüksek olduğu yüklemeye şekli, kayma (kesme) tipi yüklemeye (İriş, 2020). Şekil 2.7’de, yapıştırma bağlantısının kaymaya (kesmeye) maruz kaldığı, bindirmeli bağlantı türlerinden örnekler verilmiştir (Öz ve Özer, 2016).

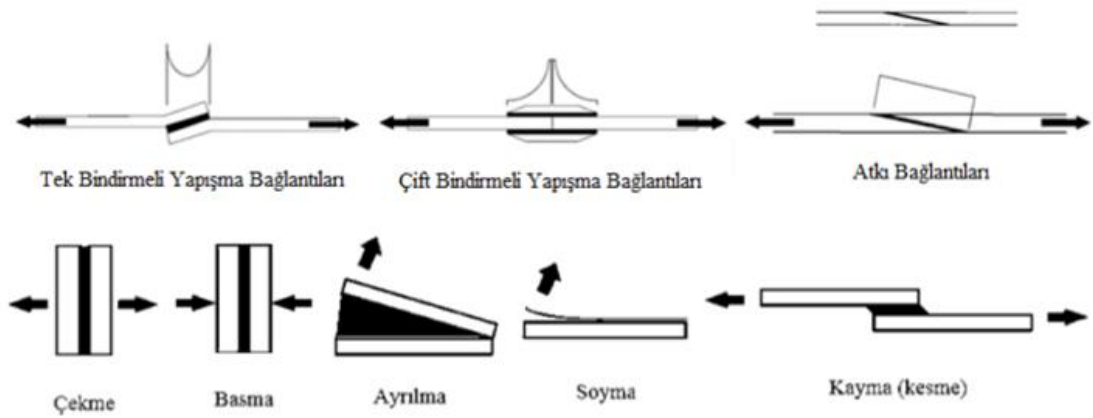


Şekil 2.7. Bindirme Bağlantı Çeşitleri (Öz ve Özer, 2016)

Mühendislik alanında uygulanan yapıştırma bağlantı geometrilerinden en yaygın olanları Şekil 2.8’de, yapıştırma bağlantılarının maruz kaldığı yükler ve gerilme dağılımı örnekleri de Şekil 2.9’da verilmiştir (Koyun, 2019).



Şekil 2.8. Yapıştırma bağlantı geometrileri (Koyun, 2019)



Şekil 2.9. Yapıştırma bağlantıları üzerine gelen yükler ve gerilme dağılımı örnekleri (İriş, 2020)

### **2.2.8 Plastik malzemelerin yapışma özelliği**

Plastik malzemelerin yüzey enerjileri düşüktür. Düşük enerji düzeyi, plastik malzemenin yüzeyindeki ıslanabilirliğe kötü etki yapar. Bu durum, sıvının, plastik malzemenin yüzeyinde yayılmasına karşı direnç göstermesine neden olur. Bu direnci kısmi de olsa kırmak ve yüzey enerjisini artırmak amacıyla, plastik malzeme yüzeyine uygulanacak yüzey işlemleri ile, yüzeyde meydana getirilebilecek değişim sayesinde yüzey enerjisi artırılarak ıslanabilirlik daha kolay elde edilebilmektedir.

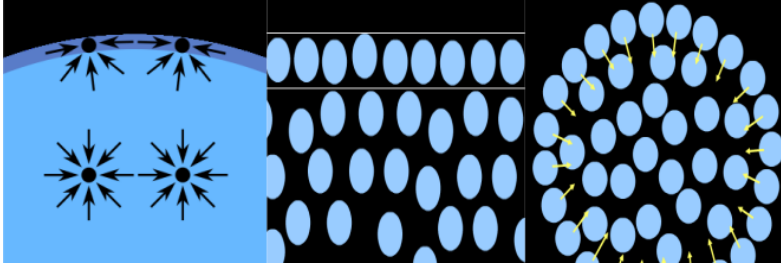
Yapıştırılacak plastik malzemenin yüzey enerjisinin belirlenmesi ve yüzey enerjisini artırmak için gerçekleştirilecek uygulamanın seçilmesi önem arz eder. Uygulama sonrası plastik malzeme yüzeylerinin yüzey enerjileri dolayısıyla yapışma yetenekleri artırılabilir (Kaner, 2017).

### **2.3 Yüzey Enerjisi**

Tüm atomlar ve atomların bağlı bulunduğu kütleler termodinamik açıdan olabilecek en az enerjiye sahip olma eğilimindedir. Bu nedenle kütleler mümkün olduğunca yüzey alanlarını azaltmak ister. Bir su damlasının küre şeklinde olması da, suyun yüzey enerjisini ve doğal olarak yüzey alanını azaltma isteği ile açıklanabilir. Bu fiziksel olaya neden olan mekanizmaya “yüzey gerilimi” denir (Şekercioğlu ve Kaner, 2013). Yüzeyi geren enerji de “yüzey enerjisi” olarak adlandırılır (Geçim, 2022). Malzemenin sahip olduğu yüzey enerjisi ise, kendisine herhangi başka bir malzemenin yapışmasına karşı gösterdiği direnç ile ters orantılıdır (Şekercioğlu ve Kaner, 2013).

Konuyu detaylandırmak istersek; tüm sıvılarda moleküller arası çekim kuvveti vardır, moleküller birbirini her yönden çeker ve bu çekim kuvveti sıvının türüne göre değişir. Yüzeydeki moleküller ise yalnız yüzey altındaki moleküllerce çekilir ve bu yüzden yüzeyin altındaki moleküllere göre yüzeydeki moleküllerin potansiyel enerjileri daha düşüktür. Bu nedenle yüzeydeki moleküller sıvının iç bölümüne doğru çekilirken yüzeyde tek molekülük bir tabaka olarak sıkışır. Neticede, sıvının yüzeyindeki moleküller daha sıkışık ve daha yoğun bir tabaka meydana getirir. Bu durum, sıvının yüzeyindeki tek molekülük bir zar olarak kabul edilebilir. Yüzeydeki moleküllerin iç

kısma doğru çekilmesi ve yüzeyde daha düzenli bir biçimde dizilmesi sebebiyle, sıvı damlası serbest durumdayken küre biçimini alır. Sıvı yüzeyinde bu şekilde oluşan gerilmeye "yüzey gerilimi" denir (Şekil 2.10'da şematik olarak gösterilmiştir). Yani yüzey gerilimi; sıvı yüzeyindeki birim uzunluğu geren kuvvettir. Yüzey enerjisi ile yüzey gerilimi aynı kavramın farklı fiziksel sebeplerle tanımlanması olayıdır. Sıvılar için "yüzey gerilimi", katılar için ise "yüzey enerjisi" ifadesini kullanmak daha doğru olur. (Geçim, 2022).



**Şekil 2.10.** Yüzey gerilimi (Geçim, 2022)

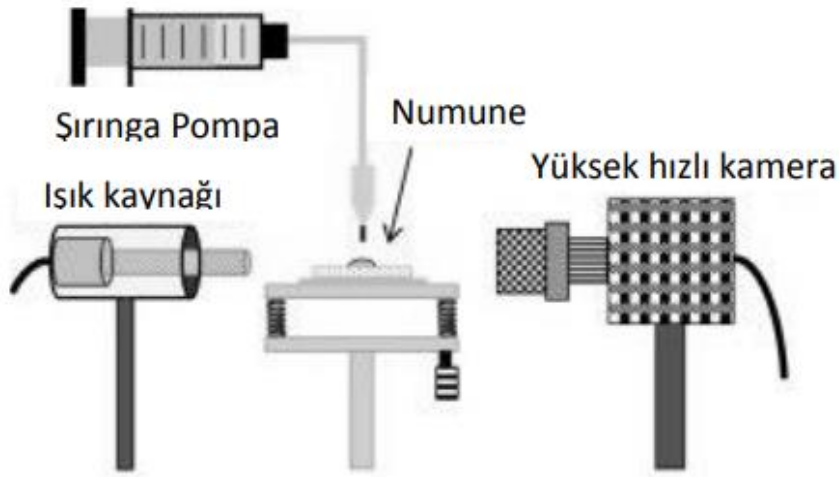
### 2.3.1 Yüzey enerjisi ölçüm yöntemleri

Yüzey enerjisinin tespit edilmesinde pek çok metot bulunmaktadır. Bunlardan başlıcaları; DuNouy halka, Wilhemny tabaka, kapiler (kılcal) yükselme, maksimum kabarcık, Pendant damla ve Sessile damla metotlarıdır. Tüm koşullar için geçerli bir yüzey gerilimi tespit yöntemi bulunmamaktadır (Geçim, 2022). Her yüzey, kritik bir ıslanabilirliğe sahiptir.

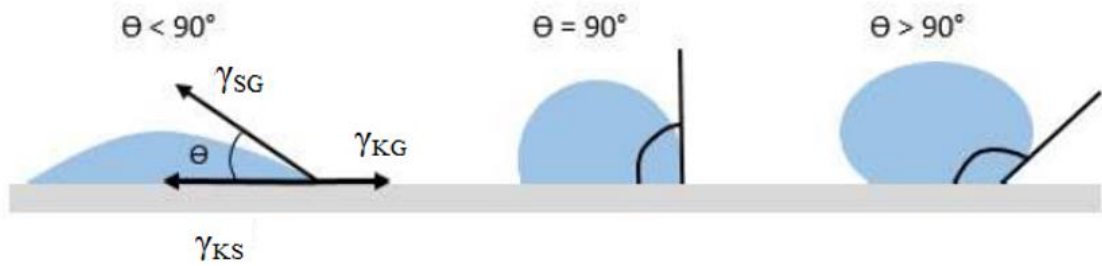
En yaygın kullanılan yüzey enerjisi ölçüm yöntemleri, "temas açısı ölçümü" ve "test mürekkebi" yöntemi'dir.

Temas açısı ölçümü yönteminde ıslanabilirlik, malzeme yüzeyi ile sıvı arasında oluşan açı ölçülerek belirlenir (Şekercioğlu ve Kaner, 2013). Bu yöntemlerden en yaygın kullanılanı, Sessile damla yöntemi kullanılarak, temas açısı (ıslanma açısı), bir dizi test sıvısı kullanılarak tespit edilebilir (Mıhçı, 2018). Testin gerçekleştirilebilmesi için, yüzeyin pürüzsüz ve rijit olması, bunun yanında, kullanılan sıvının katı ile reaksiyon oluşturmaması gerekir. Küçük temas açısı ıslanmanın iyi, büyük temas açısı ise kötü olduğunu gösterir (Şekercioğlu ve Kaner, 2013). Bu metotla "temas açısı"

belirlenmesinde gonyometre cihazı kullanılır (Şekil 2.11). Temas açısı belirlenmesi istenen sıvı, bir mikropipet kullanılarak, damla şeklinde katı bir yüzeye bırakılır. Bu mikro damlanın yüksek çözünürlüklü bir kamerayla görüntüleri ve fiziksel özellikleri, belirlenen süre boyunca kaydedilip bilgisayara aktarılır ve sıvının temas açısı hesaplanır (Aydar ve Bağdatlıoğlu, 2013). Şekil 2.12’de gösterilen damla ile yüzey arasındaki temas açısı ( $\theta$ ), 1805 yılında Thomas Young tarafından gaz, sıvı ve katının kesişimi olarak tanımlanmıştır. Denklem 1.1’de verilen Young-Dupré denklemi, temas açısı-ara yüzey gerilimi ilişkisini gösterir (Sarıkaya, 2019).

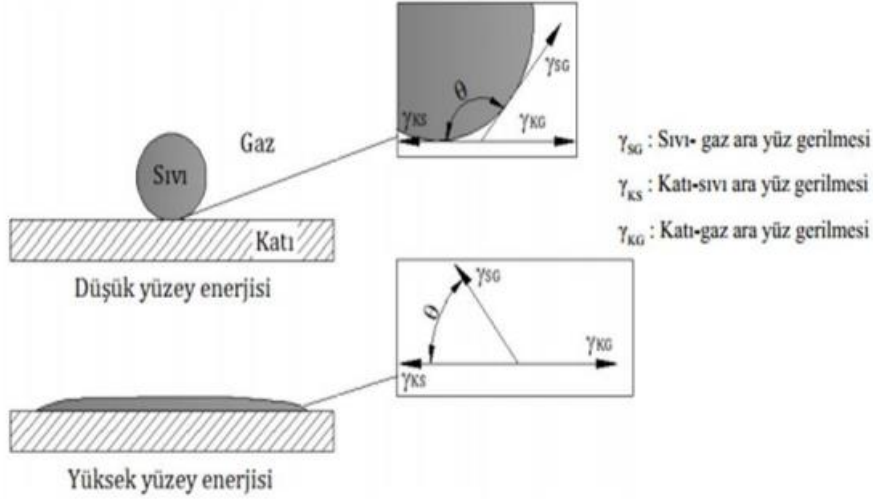


**Şekil 2.11.** Gonyometre cihazı (Geçim, 2022)



**Şekil 2.12.** Temas açısı formları (Sarıkaya, 2019)

Katı bir yüzey üzerindeki sıvı damlacığının, katı yüzey ile yaptığı temas açıları Şekil 2.13'te görülmektedir.



Katı-sıvı, sıvı-gaz ve katı-gaz fazları arasındaki yüzey gerilimleri  $\gamma$  ile gösterilmektedir. Katı, sıvı ve gaz ortamları arasındaki bağıntı Young denklemine göre:

$$\gamma_{KG} - \gamma_{KS} = \gamma_{SG} \cdot \cos\theta \quad (1.1)$$

olarak verilebilir. Yayılma katsayısı (S), katı, sıvı ve gaz fazların yüzey gerilimleri arasındaki farkla hesaplanır. Buna göre denklem:

$$S = \gamma_{KG} - \gamma_{SG} - \gamma_{KS} \quad (1.2)$$

olarak yazılabilir. Denklemin sonucuna göre: yayılma katsayısı  $S > 0$  ise yayılma meydana gelir ve  $S < 0$  ise yayılma meydana gelmez. Yani, sıvının katı yüzeyinde yayılabilmesi, sıvının yüzey gerilimi, katının kritik yüzey enerjisi değerine eşit veya küçük olması durumunda mümkündür. Adezyon için gerekli iş miktarı da:

$$WA = \gamma_{KG} + \gamma_{SG} - \gamma_{KS} \quad (1.3)$$



şeklinde tanımlanır. Gereken iş miktarının azami düzeyde olması, adezyonun iyi olmasını sağlayacaktır. Bu nedenle,  $\gamma_{KG}$  ve/veya  $\gamma_{SG}$  değerlerinin artırılması ya da  $\gamma_{KS}$  değerinin düşürülmesi, gereksinim duyulan iş miktarını azami düzeye taşıyacaktır. Bu maksatla, yüksek yüzey enerjisine sahip katı yüzey veya yüksek yüzey gerilimine sahip sıvı kullanılarak,  $\gamma_{KG}$  ve/veya  $\gamma_{SG}$  değerlerinin artırılması sağlanabilir. Fakat, yayılma katsayısı  $S'$ 'yi, negatif değere ulaştırması nedeniyle kendiliğinden yayılmayı önleyeceği için,  $\gamma_{SG}$  değerinin yükselmesi, tercih edilmeyecektir. Katı ve gaz fazları arasındaki yüzey geriliminin artırılması, malzeme yüzeyindeki serbest enerji miktarının artırılmasıyla mümkün olmaktadır. Tanımlanan bu yüzey ön işlemlerinden birisi de plazma işlemidir (Şekercioğlu ve Kaner 2013).

Bir diğer yüzey enerjisi ölçüm yöntemi “test mürekkepleri ile yüzey enerjisi ölçümü” yöntemidir. Bu yöntem; plastik, metal, cam, geri dönüşümlü veya kompozit malzemeler gibi çok farklı malzemelerin yüzey enerjilerinin tespit edilmesinde kullanılan bir yöntemdir.

Test mürekkebi, mürekkep şişesinin fırçasıyla seri bir şekilde malzeme yüzeyine sürülür. İşleme, yüksek yüzey gerilimine sahip bir test mürekkebi ile başlamak uygun olur. Mürekkep, fırça ile malzeme yüzeyine sürüldükten sonra kenar kısımlardaki mürekkep iki saniye boyunca bir araya toplanmaz ise yüzey, “iyi ıslanabilir yüzey” kabul edilir. Bu durumda malzemenin yüzey enerjisi en az mürekkebine eşittir. Test mürekkebinin çizgileri iki saniye içinde bir araya toplanıyor ise, bir sonraki küçük değerli test mürekkebiyle işleme devam edilir. Bu şekilde malzemenizin yüzey enerjisi değerine adım adım yaklaşılr. Malzemenin yüzey enerjisi, malzeme yüzeyini en az iki saniye süresince ıslatan en son test mürekkebinin değerine eşittir (Plasmatreat, 2022). Şekil 2.14 ve Şekil’2.15’de, mürekkep testi sonrası iyi ve kötü yüzey ıslanmasına dair örnekler verilmiştir.



**Şekil 2.14.** İyi yüzey ıslanması (Plasmatreat, 2022)



**Şekil 2.15.** Kötü yüzey ıslanması (Plasmatreat, 2022)

### **2.3.2 Plastik malzemelerin yüzey enerjileri**

Genel olarak katılar, yüksek yüzey enerjili ve düşük yüzey enerjili olmak üzere ikiye ayrılır (Tanuğur, 2017). Organik bileşikler olarak tanımlanan plastikler, düşük yüzey enerjili malzemelerdir. Genel olarak  $100 \text{ mJ/m}^2$ 'nin altında yüzey enerjisi değerlerine sahiptirler. Yüzey enerji değerleri  $500 \text{ mJ/m}^2$ 'nin üzerinde olan metal, metal oksit ve seramik malzemeler ise yüksek yüzey enerjili malzemeler olarak bilinir. Plastik malzemelerin sıvı ile temasları esnasında oluşan temas açısı, temas durumları hakkında bilgi vermektedir. Plastik malzemelerin yüzeylerinde kullanılan farklı sıvılarda, temas açısı ve yüzey gerilimi oluşumu, farklı değerler almaktadır. Düşük enerjili bir yüzeyin

karakterize edilebilmesi için, yüzey gerilim değeri ve oluşan temas açısı önemli parametrelerdir (Kaner, 2017).

Farklı plastik malzemeler ve sahip oldukları yüzey enerjileri Çizelge 2.4'te verilmiştir. Naylonun (polihekzametien adipamid) yapıştırılması, en yüksek yüzey enerjisine sahip olduğu için, diğerlerine göre daha kolaydır. En düşük yüzey enerjisine sahip olması nedeniyle, politetrafloretillen (teflon), yanmaz-yapışmaz gereçlerinde kullanılmaktadır (Şekercioğlu ve Kaner, 2013).

**Çizelge 2.3.** Bazı plastikler için yüzey enerji değerleri (Şekercioğlu ve Kaner, 2013)

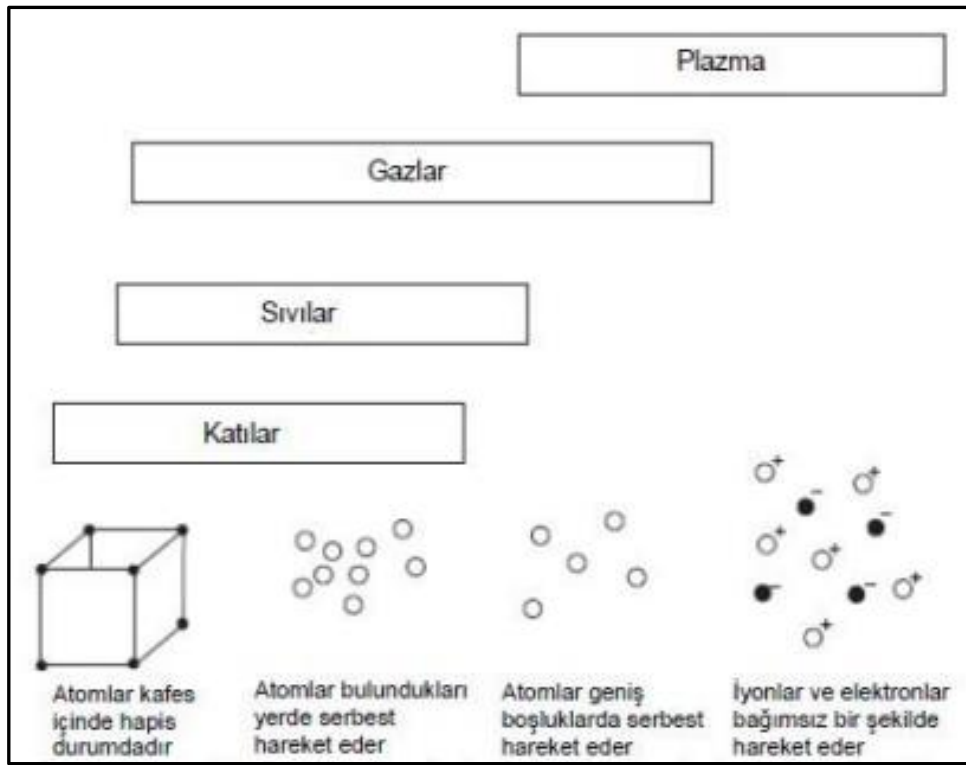
Plastik Malzeme	Yüzey Enerjisi (dyn/cm)
Politetrafloretillen	18-19
Politrifloretillen	22
Polivinildi Florür	25
Polivinil Florür	28
Polipropilen	29
Polietilen	30-31
Düşük Polisitiren	33
Yüksek Polisitiren	37
Polimetilakrilat	38
Polivinil Klorür	39
Selüloz	42
Polyester	43
Policarbonat	46
Naylon	46

## 2.4 Plazma

Maddenin dördüncü hali olarak kabul edilmekte olan plazma, maddenin gaz halinin yeterli basınç ve elektromanyetik enerji altında dönüştüğü haldir. Bu şartlar altında işlem gazı, radikaller ve atomlara ayrışır ve iyonlaşır (Sarı, 2016). Plazma; kısa bir tanımlamayla, katı, sıvı ve gazdan sonra maddenin dördüncü halidir (Nair vd., 2016). Plazma ilk defa 1879 senesinde Sir William Crookers tarafından “ışık yayan madde”

olarak tanımlanmıştır (Sarı, 2016). Plazma adı, 1929'da Amerikalı kimyager Irving Langmuir tarafından verilmiştir (Nair vd., 2016). Plazma işlemi, malzeme yığın özelliklerini değiştirmeden, yüzeyi hem fiziksel hem de kimyasal olarak etkilediğinden, yüzey modifikasyonu için kullanılan fizikokimyasal bir yöntemdir (Karahana vd., 2009). Plazmanın fizikokimyasal aktiviteleri yüz yılı aşkın süredir bilinmekle beraber araştırılması 1950'li yılların sonunda başlamıştır (Sarı, 2016). Sıradan maddenin aksine, plazmalar durum değiştirmeden çok çeşitli sıcaklıklarda var olabilir (Nair vd., 2016).

Maddenin hallerinin sıcaklığın etkisiyle değişimi Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16. Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak maddenin halleri (Sarı, 2016)

#### 2.4.1 Plazma teknolojisi

Bir katı, atomların termal hareketinin kristal kafes yapısını parçalamasına yetecek kadar ısıtıldığında, genellikle bir sıvı oluşur. Bir sıvı, atomların yeniden yoğunlaşmalarından daha hızlı buharlaşmasına yetecek kadar ısıtıldığında, bir gaz oluşur. Bir gaz yeterince ısıtıldığında, atomlar birbiriyle çarpışır ve işlem sırasında elektronlarını koparır, bir

plazma oluşur (Baniya vd. 2021). Enerji kaynağı elektrik olabileceği gibi, ısı veya ışın kökenli de olabilir (Kutlu vd. 2005).

Katı, sıvı ve gaz fazları maddenin fiziksel halleri olarak kabul edilir. Maddenin en sık görülen dördüncü hali plazma halidir (Baniya vd. 2021). Plazmayı maddenin gaz halinden ayıran en önemli farkları, elektriği iletmesi, çok yüksek sıcaklıkta olması ve ışık yaymasıdır (Kutlu vd., 2005). Güneş en bilinen plazma örneğidir. Plazma, genellikle farklı basınçlarda yüksek voltajlı bir güç kaynağı tarafından üretilir ve sürdürülür (Baniya vd. 2021).

Yıllar boyunca, yüzeylerin fiziğinin ve kimyasının farklı yönlerini incelemek için çok sayıda teknik geliştirilmiştir (Baniya vd. 2021). Maddenin dördüncü hali olarak tanımlanması 1879 yılına dayanıyor olsa da plazma teknolojisinin malzeme bilimi içerisinde yerini alması 1960'ları bulmuştur. Plazma teknolojisi maddenin temel özelliklerinde herhangi bir değişiklik yapmamaktadır. Bu teknolojinin günümüzde birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bunlardan bazılarını şu şekilde sıralamak mümkündür; uzay sanayinde, yarı iletken teknolojisinde, elektronik çip yapımında, elmas yapımında, kâğıt endüstrisinde, savunma sanayinde, kaplama ve dekorasyon teknolojisinde, optik ve tekstil endüstrisinde kaplama işlemleri ya da farklı amaçlar doğrultusunda kullanılmakla birlikte birçok farklı alanda daha kullanım imkânı sunmaktadır (Diren, 2018).

Plazmanın bilimsel uygulaması üzerine araştırmalar, maddenin dördüncü halinin benzersiz özelliklerinin teknolojik olarak uygulanmasına yönelik girişimlerle birlikte uzun yıllardır yürütülmektedir (Terpiłowski vd., 2022). Plazma yüzey işlemlerinde birçok gaz kullanılabilir, fakat özellikle soğuk plazma uygulamalarında oksijen yoğun olarak kullanılır (Kaner, 2017).

## 2.4.2 Plazma uygulamasının avantajları

Uygulaması noktasında endüstride birçok avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajların başlıkları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Altuncu vd., 2016):

- Uygulaması, minimum operatör müdahalesiyle gerçekleşir (Sarıkaya, 2019),
- Malzemenin temel özelliklerini değiştirmez (Altuncu vd., 2016),
- Yüzeyin sadece birkaç nanometre altında sınırlıdır (Altuncu vd., 2016),
- Su gereksinimi yoktur,
- Uygulama süresi kısadır (Diren, 2018), etkilidir (Altuncu vd., 2016),
- İşlem gaz fazında gerçekleşir (Diren, 2018), yüzeye temas yoktur (Sarıkaya, 2019),
- Kullanılan kimyasal miktarı diğer uygulamalara göre çok azdır,
- Endüstriyel zararlı atığa sebep olmaz,
- Uygulandığı yüzeyin temel mekanik özelliklerine zarar vermez,
- Enerji tüketimi düşüktür (Diren, 2018), ekonomiktir (Altuncu vd., 2016).

Endüstriyel kullanımdaki avantajlar arasında yer alan ticari avantajların yanında çevreci bir yaklaşım olması da önemlidir (Diren, 2018). Yukarıda belirtilen avantajlarından dolayı, plazma yüzey işlemi, kompozitler, plastikler, kâğıtlar, filmler, cam ve hatta metaller gibi çok sayıda malzeme için tercih edilen temizleme yöntemidir. Ek olarak, plazma işlemi işlenmiş yüzeye zarar vermez, geleneksel yöntemlere kıyasla yapıştırıcı uygulaması için yüksek kaliteli bir yüzey kalitesi sağlar. Bu uygulamalar, plazma jetinden malzemenin yüzeyine olan mesafe ve malzemenin üzerinden geçirilme gibi kontrol edilebilir işlem parametreleri ile üretim amaçları için kolayca otomatikleştirilebilir ve kurulumu basittir (Sarıkaya, 2019).

## 2.4.3 Plazmanın sınıflandırılması

Plazmalar, sıcaklıklarına göre yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık plazmaları olarak; basınçlarına göre yüksek basınç plazmaları ve düşük basınç plazmaları olarak sınıflandırılmaktadır (Sarı, 2016).

#### **2.4.4 Soğuk plazmalar**

Atmosfer basıncında ve oda sıcaklığına yakın sıcaklıkta çalışabilen bir plazma deşarjıdır. Diğer plazma üreten geleneksel cihazlara göre operasyon için nispeten güvenlidir. Plazma, toplu davranışlar gösteren iyonlar, serbest elektronlar, serbest radikaller, uyarılmış türler, nötrler ve fotonlardan oluşur. Soğuk plazma, polar fonksiyonel gruplarla iyon bombardımanı yoluyla yüzeyde yumuşak bir pürüzleşmeye de neden olur ve bu da su temas açısında azalmaya neden olur (Baniya vd. 2021). Soğuk atmosferik basınçlı plazma jeti (CAPPJ), yüzey modifikasyonu ve biyomedikal uygulamalar gibi malzeme işleme operasyonları için son zamanlarda büyük ilgi gördüğü gibi, geniş bir uygulama yelpazesi için en etkili araçlardan biri olarak itibar kazanmaktadır (Baniya vd. 2020; Baniya vd. 2021).

#### **2.4.5 Sıcak plazmalar**

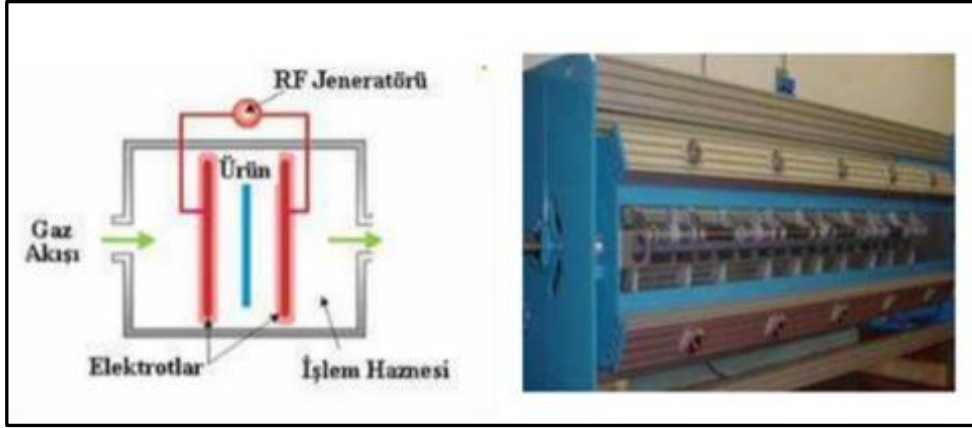
Binlerce dereceye varan yüksek sıcaklıkta meydana gelen plazmalardır. Elektronların enerjileri oldukça yüksektir. Termodinamik denge söz konusu olup, plazmalarda tüm parçacıkların sıcaklıkları dengeli ve eşittir (Shishoo, 2007).

#### **2.4.6 Atmosferik plazmalar**

Atmosferik plazmalar, atmosferik şartlarda oluşmaktadır. Atmosferik plazmanın vakum plazması ile kıyaslandığında en göze çarpan farkı, vakum donanımına ihtiyaç göstermemesi ve sistemin kesintiye uğramadan aktif kalabilmesidir. Bu nedenle, endüstriyel alanda kullanılabilirlik üstünlüğüne sahiptir. Fakat atmosferik plazma uygulaması ile ortaya çıkan sonuçlar, vakum plazması uygulaması sonuçları ile karşılaştırıldığında, vakum plazma uygulamasındaki kadar etkili olmadığı görülür. (Nehra vd., 2005; Verschuren vd., 2005).

Atmosferik plazma işlemi hava içindeki oksijen ve azotu iyonize ederek yüzeye uygulanma prensibine dayanır. Plazma iyonizasyonu işlemi ise yüksek gerilim etkisindeki gazların iki elektrod arasından geçirilerek parçalanması ve oluşan yüksek enerji etkisiyle gaz atomlarının iyon haline dönüşmesidir (Diren, 2018). Şekil 2.17'de,

endüstriyel atmosferik plazma cihazı görüntüsü ve (şematik olarak) çalışma prensibi verilmiştir.

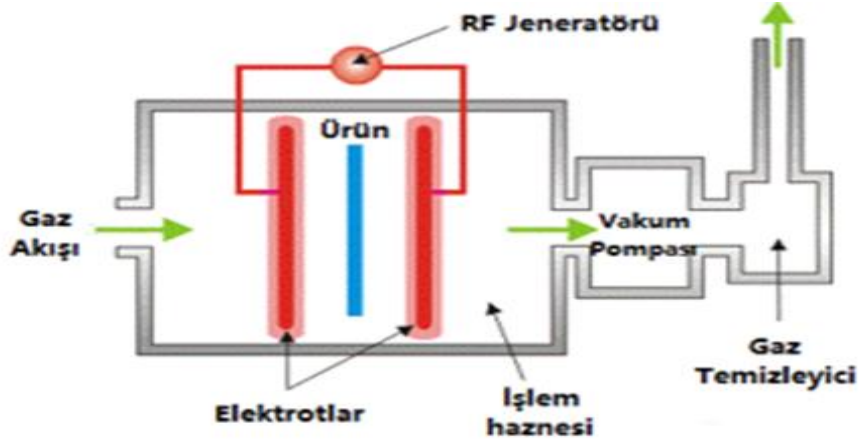


Şekil 2.17. Endüstriyel atmosferik plazma cihazı (Diren, 2018)

#### 2.4.7 Vakum plazmalar

Vakum plazmalar, düşük basınçlarda ve oda sıcaklığında oluşturulmaktadır. Şekil 2.18’de görüldüğü gibi işlem kontrollü ve kapalı bir sistem içerisinde gerçekleşmektedir (Akan, 2005; Verschuren vd., 2005). Bir vakum düzeneği yardımıyla gaz pompalanır.  $10^{-3}$  ile  $10^{-2}$  mbar basınç aralığında olan oluşumda iyon ve elektronların serbest dolaşım yol uzunluğu artmaktadır. Uyarılmış molekül sayısı az olacağından çarpışma sayısı azalacaktır. Bu da diğer türlere kıyasla yüzey etkileşimini artırmaktadır. Sistem kontrollü olan plazmada girilen gaz, yüksek frekanslı jeneratör kullanılarak iyonize edilmektedir (Diren, 2018). Yüzey modifikasyonu atmosferik plazmaya göre daha etkilidir (Akan, 2005; Verschuren vd., 2005). Yüksek maliyetli oluşu, işlemin kesikli olarak uygulanabilmesi önemli dezavantajlarından (Diren, 2018).



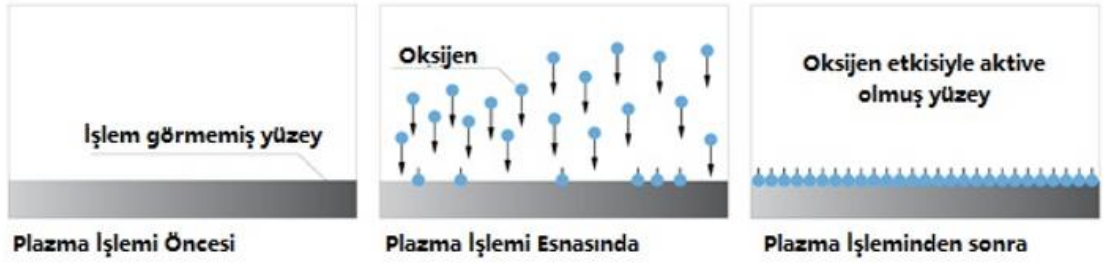


Şekil 2.18. Vakum plazma cihazı (Diren, 2018)

#### 2.4.8 Plazma uygulamasının etkileri

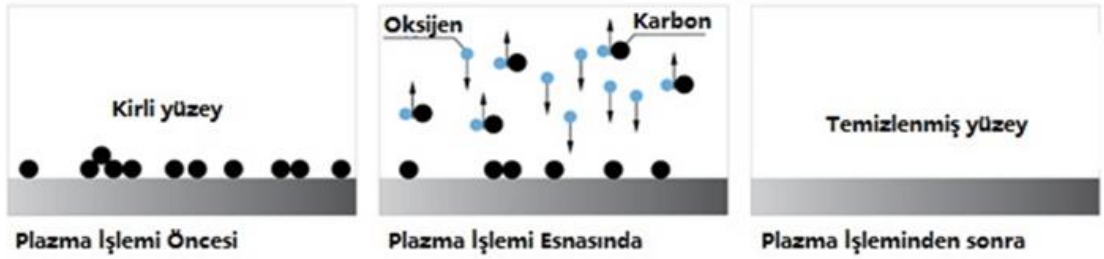
Plazma, malzemeye uygulandığında, plazmayı meydana getiren türler (iyonlar, serbest elektronlar, serbest radikaller, uyarılmış türler, nötrler ve fotonlar), birbirleri ile çarpışır ve enerjilerini malzeme yüzeyine aktararak malzeme yüzeyindeki birtakım bağları kopmalarına neden olur. Malzeme yüzeyinde meydana gelen bu modifikasyonlar, malzeme yüzeyinde yüzey aktivasyonu, temizleme, aşındırma, aşılama ve çapraz bağlanma etkiler yapar (Gökalp vd. 2012).

Yüzey aktivasyonu: Malzeme yapısındaki zayıf bağların, yapıdaki reaktif karbonil, karboksil ve hidroksil grupları ile etkileşmesi sonucunda yer değiştirmesidir. Yüzey aktivasyonu işlemi sayesinde, malzeme yüzeyinde, istenen nokta ve alanlarda yüzey enerjisi artırılır ve bu işlemin sonucunda malzeme daha iyi ıslanabilir hale gelir (Şekil 2.19) (Gökalp vd., 2012; Plasmatreat, 2022).



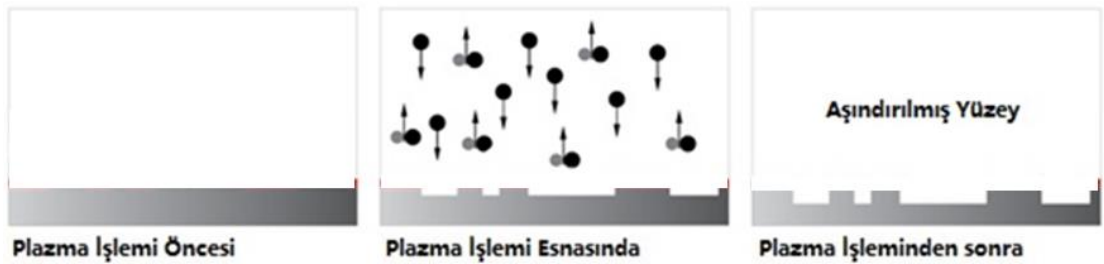
**Şekil 2.19.** Plazma etkisiyle oluşan yüzey aktivasyonu (Diener Plasma, 2022)

Temizleme: Malzeme yüzeyinden organik artıkların ayrılması işlemidir. İyon bombardımanı yapılırken yüzeyde bulunan gözle fark edilemeyen kirler, fiziki olarak buharlaştırılarak yüzeyden ayrılmaktadır. Kullanılan gaz ve atık madde miktarı işlemin etkinliğini değiştirmektedir (Şekil 2.20) (Akçalı ve Oktav Bulut).



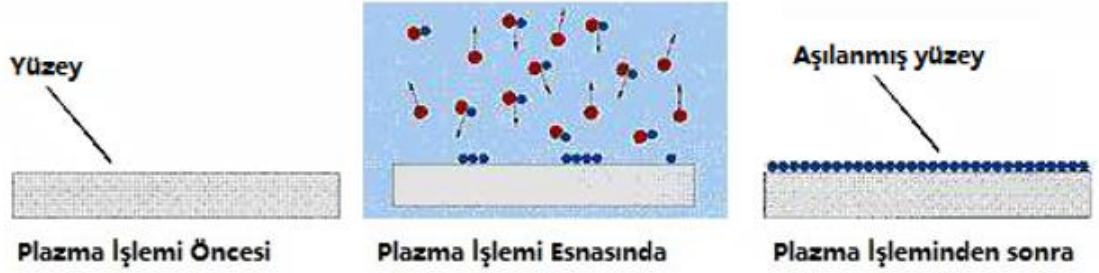
**Şekil 2.20.** Plazma ile elde edilen temizlenmiş yüzey (Relyon Plasma, 2022)

Aşındırma: Aşındırma işlemi ile, plazma ile katı yüzey arasındaki etkileşim sonucu, zayıf kovalent bağları koparılmış, gaz fazına geçen moleküller buharlaşır. Aşınma, gaz fazına geçmiş moleküllerin buharlaşarak malzemeden uzaklaşması sonucu gerçekleşir. Aşınma sonucu malzemenin yüzey alanı dolayısıyla adezyon özelliği artar (Şekil 2.21) (Akçalı ve Oktav Bulut, 2012; Carneiro vd., 2001).



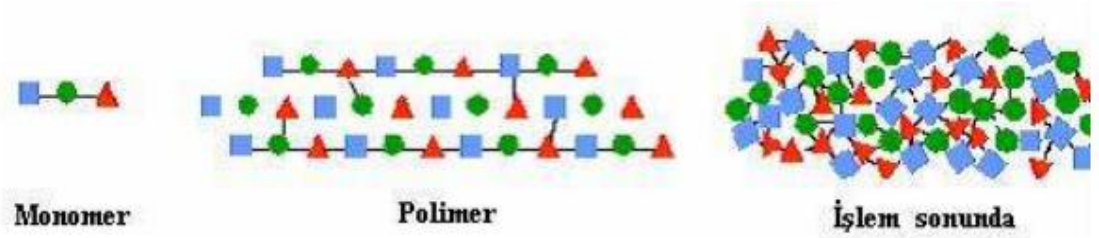
**Şekil 2.21.** Plazma etkisiyle oluşan aşınma (Diener Plasma, 2022)

Aşılama: Plazma işleminin neden olduğu polimerizasyon etkisiyle, malzeme yüzeyinde nano düzeyinde ince bir polimer tabakasının meydana gelmesi olarak tanımlanabilir (Karahana, 2007). Söz konusu işlem birkaç dakikada sona erer. Yüzeyde meydana gelen polimer tabakası renksizdir. İşlemden bir koku açığa çıkmadığı gibi malzemenin yüzey görünümü de işleminden etkilenmez (Şekil 2.22) (Lee vd., 2001).



Şekil 2.22. Plazma etkisiyle meydana gelen aşılama (Karahana, 2007)

Çapraz bağlanma: Plazma işlemi ile polimer yapısında meydana gelen parçalanmalar sonucunda, reaktif grupların etkileşimiyle oluşur (Gökalp vd., 2012). Çapraz bağlanma neticesinde polimer zincirleri bağlanarak üç boyutlu bir ağ oluşturur. Çapraz bağlanmanın meydana gelmesi için plazma işleminin gerçekleştirildiği gazlar; karbon, silisyum, kükürt vb. bağ oluşturan atomlar içermelidir. Belirtilen bağ oluşturan atomların yanında, basınç, gaz akışı, uygulanan elektriksel güç gibi plazma işlemi parametreleri çapraz bağlanma düzeyini belirler (Şekil 2.23) (Karahana 2007; Gheorghiu vd., 1997).



Şekil 2.23. Plazma etkisiyle meydana gelen polimerizasyon (Karahana, 2007)

#### **2.4.9 Plastik malzemelerde plazma uygulaması**

Atmosferik basınçlı plazmalar, çeşitli malzemeler üzerinde kullanılır (Schütze vd., 1998). Plastiklerin plazma işlemi, kuru, çevre dostu, kullanımı kolay ve düşük sıcaklıklarda yapılabilmesi nedeniyle, plastik malzemeler için yüzey modifikasyon tekniğinin en iyi yolu olarak kabul edilmiştir (Baniya vd. 2021).

Atmosferik basınçlı plazmanın önemli uygulama alanlarından biri, hidrofilitiklerini geliştirmek için plastiklerin yüzey işlemidir. Bu uygulamanın, geleneksel yüzey işleme yöntemlerine göre birçok avantajı vardır. Plastiklerin soğuk plazma işlemi, su ve kimyasal kullanımını gerektirmediği için, bir yüzey modifikasyon tekniği olarak ilgi çekmektedir. Bu nedenle, çevreye zarar vermeyen bir teknoloji olarak kabul edilebilir. Plastiklerin plazma işlemi, kuru ve düşük sıcaklıkta uygulanması kolay bir işlem olduğu için geleneksel yöntemlere göre daha yaygın kullanılır hale gelmiştir (Baniya vd. 2021).

Plastik malzeme yüzeyi, düşük basınç altında argon, helyum, oksijen gibi bir asal gaz ile bombardımana tutulur. Buradaki amaç yüzeydeki molekülleri, aktive edilmiş asal gaz iyonları ile çapraz bağlayarak yapıştırmanın kuvvetini arttırmaktır. Bu süreçte, atomlar güçlü, ıslatılabilir ve çapraz bağlanmış bir yüzey elde etmeyi amaçlar. Yüzey üzerinde birikebilen gaz, oluşan reaksiyonda kullanılabilir. Malzeme yüzeyinde gerçekleştirilen bu işleme, “soğuk plazma” denir. Sistem, oda sıcaklığında çalıştırıldığı için bu şekilde adlandırılmıştır (Kaner, 2017).

## 2.5 Kaynak Araştırması

Plastikler günümüzde oldukça farklı alanda yoğun kullanım alanı olan malzemelerdir. Özellikle üretimde ağır, işlemleri zor, metal esaslı malzemelerin kullanıldığı yerlerde, istenen koşulları sağlama durumunda, tercih edilen malzeme durumuna gelmiştir. Plastiklerin hafif oluşu, işleme kolaylığı, rahat ulaşılabilirliği, plastiğe olan rağbet ve ilgiyi günden güne artırmaktadır. Plastiğin kullanıldığı alanlarda “yapıştırma prosesi” önemli bir problemdir. Plastiklerin düşük yüzey enerjisine sahip olmaları nedeniyle yapışma prosesinde gösterdiği direnç, bağlantı noktalarında çözülmesi gerekten bir sorundur. Plastik malzemelere yapıştırma prosesi öncesi uygulanan yüzey işlemleri bu açıdan önemlidir. Yüzey işlemleri sonucu yüzeyde elde edilen enerji artışı yapışmanın dayanımını ve kalitesini artırır. Genel olarak plastik malzeme yüzeylerine uygulanan işlemler; mekanik dağlama, kimyasal dağlama, alev ile dağlama, korona ve plazma yöntemleridir. Bu yöntemler arasında plazma uygulamaları, ulaşılan ıslanabilirlik özelliği ve yüksek yüzey enerjisi, dolayısıyla yapışma performansının iyileştirilmesi açısından önemlidir fakat plazma uygulaması sonrasında, plastik yüzeyinin, plazma işlemi görmemiş ilk haline geri dönme eğiliminde olması nedeniyle, elde edilen değişiklikler kalıcı değildir. Bu yüzden plazma uygulaması ile sağlanan yüzey değişikliklerinin belli bir süre boyunca stabil kalması önemlidir. Hızlı ve stabil şekilde plastik yüzeylere uygulanabilme avantajına sahip ABP uygulamalarıyla, plastiğin temel yapısında değişikliğe neden olmadan, yüzey yapışma performansını artırmak, yüzey mekanik özelliklerini ve yaşlanma davranışını gözlemlemek amacıyla, farklı plastik çeşitleriyle çok sayıda araştırma yapılmıştır.

Anagreha vd. (2007), polifenilen sülfid (PPS) yüzeylerinin aktivasyonunun düşük basınçlı plazma işlemi vasıtasıyla gerçekleştiği bu çalışmada, PPS'nin epoksi (EP) ve poliüretan (PU) yapıştırıcılar kullanılarak alüminyum (Al) levhalarla yapışma davranışı incelemiştir. Çalışma sonunda; yapışma bağ kuvvetinin, oksijen plazma işleminden sonra %103 (EP 1), %134 (EP 2) ve %56 (PU) arttığı, argon plazma işleminden sonra, yapışkan bağ kuvvetindeki artışın %79 (EP 1), %122 (EP 2) ve %27 (PU) olarak gerçekleştiği gözlenmiştir. Yüzey enerjisinin ise, her iki plazma gazı ile işlem süresi ile önemli ölçüde arttığı tespit edilmiştir. Oksijen ile gerçekleştirilen plazma işleminde, yüzey enerjisindeki artışın argona kıyasla daha belirgin olduğu görülmüştür. Diğer

yandan, yüzey enerjisinin, artan işlem süresi ile pek değişmediği belirlenmiş, argon plazma uygulamasına kıyasla, oksijen plazması uygulamasında, yüzey pürüzlülüğünün işlem süresiyle arttığı görülmüştür.

Shenton vd. (2001), bu çalışmada, İngiltere'de EA Technology Ltd tarafından geliştirilen bir atmosferik basınç plazma cihazı (APNEP) kullanarak, düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve polietilentereftalatın (PET) yapışma özelliklerindeki değişimi araştırılmışlardır. Reaktif (oksijen içeren) ve inert (oksijensiz) atmosferik plazmalar ile, iki ile on kat arasında yapışma artışı sağlandığı görülmüştür. Bununla birlikte, atmosferik plazmaya uzun süre maruz kalmanın yapışma artışı sağlamadığı gözlemlenmiştir. Buna karşılık, vakumlu plazma ile işlem görmüş LDPE ve PET malzemelerde, uzatılan plazma işlemi süresi ile yapışma özelliğinin de arttığı tespit edilmiştir. 10 dakikadan uzun vakum plazma işlem süreleri için iki ila üç kata varan yapışma artışının elde edilebileceği görülmüştür.

Noeske vd. (2003), polietilen tereftalat (PET), poliamid 6 (PA6) , polivinilden florit (PVDF), yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilen (PP) polimerlerini, yapışkanlık özelliklerini geliştirmek için, mevcut bir plazma jet sistemi kullanarak atmosferik basınçta aktive etmiş, aktive edilen yüzeylerin yapışma özellikleri, yapılan testler ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar, temas açıları ile ilişkilendirilmiştir. Ek olarak, plazma işleminin operasyonel parametrelerinin etkisi de incelenmiştir. Aktive edilmiş numunelerde, yapışma özelliğinin dikkate değer düzeyde arttığı tespit edilmiştir. İyileştirmenin, oksijen konsantrasyonunun artmasıyla ve plazma tarafından indüklenen test numunesinin yüzeyinin topolojisindeki değişikliklerle ilgili olabileceği görülmüştür. Plazma işleminde en etkili parametrelerin, test numunesi ile meme çıkışı arasındaki mesafe ve işlem süresi olduğu gözlemlenmiştir.

Lai vd. (2006), mikrodalga kaynaklı argon plazması ile işleme maruz tutulan polikarbonat (PC), polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET) numunelerinin, temas açısı ölçümü ile yüzey özellikleri incelenmiştir. Plazma işleminin, yüzeyleri hem kompozisyon, hem de pürüzlülük açısından değiştirdiği görülmüştür. Aynı zamanda söz konusu değişimin, polimer yüzeylerinin yüksek oranda hidrofilik olma eğiliminde olmasını sağladığı tespit

edilmiştir. Ve bu deney ayrıca, polimer yüzeylerin hidrofiliğinin iyileştirilmesinde karbonmonoksit (CO) bağının anahtar faktör olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca yapılan gözlemler, plazma işleminin, polikarbonat (PC), polipropilen (PP) malzemenin yüzey pürüzlülüğünü dikkate alınacak düzeyde değiştirmedığını, polietilen tereftalat (PET) malzemede ise kayda değer oranda iyileştirdiğini ve bu durumun yüzey hidrofilitasını olumlu yönde etkilediğini göstermiştir.

Thurston vd. (2007), bu çalışmada, atmosferik plazmaya maruz kaldıktan sonra polimer yüzey enerji değişikliklerini ölçmek amaçlanmıştır. Atmosferik plazma işleminin, ortam sıcaklıklarına yakın sıcaklıklarda yüzey modifikasyonuna izin verdiği gözlemlenmiştir. Atmosferik plazma işlemine maruz kalan polietilen ve polistiren malzemenin, artan yüzey enerjisi ve iyileşmiş ıslanma özellikleri, yüzey işlemi olmadan kullanılamayan yapıştırıcılarda önemli bir yapışma özelliği iyileşmesine yol açtığı görülmüştür.

Ku ve Park (2012), “Polipropilenin (PP) atmosferik basınçlı plazma işleminin PP ve alüminyum levhalar arasındaki soyulma mukavemeti ve kesme mukavemeti üzerindeki etkisi”, plazma işlemi sayısına bağlı olarak araştırılmıştır. Araştırma sonunda; sekiz işlemden sonra soyulma ve kesme mukavemetlerinin sırasıyla ~%42 ve ~%44 arttığı gözlemlenmiştir.

Durmuş vd. (2005), EPDM (ethylene-propylene-diene terpolymer) metal yüzey pürüzlülüğünün ve kullanılan yapıştırıcı cinsinin, kauçuğunun metale yapışma mukavemetine etkisi araştırılmıştır. Metale yapıştırılacak kauçuk, farklı dolgu oranlarında üretilen 5 tip EPDM kauçuğunun bası, sertlik ve yoğunluk testleri yapılarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülükleri belirli sürelerde kumlanarak değiştirilen metal numuneler, farklı yapıştırıcılarla kauçuğa yapıştırılarak yapışma mukavemetleri belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin yaklaşık sabit kaldığı 6 dakika ve üzerindeki kumlama süreleri sonucu elde edilen metal yüzeylerin kauçuklara vulkanizasyon prosesi esnasında Chemosil yapıştırıcı ile yapıştırılmasının uygun olduğu belirlenmiştir. Vulkanizasyon prosesi sonrası gerçekleştirilen yapıştırma işlemi sonunda ise, en iyi sonuçlar, 3 dakika süre ile kumlanmış yüzey ve Loctite 480 yapıştırıcı için görülmüştür.

Shenton vd. (2001), düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) ve polietilen tereftalat (PET) yapışma özelliklerini geliştirmek için bir atmosferik plazmanın kullanımı araştırılmıştır. Reaktif (oksijen içeren) ve inert (oksijensiz) atmosferik plazmalarla işleme maruz bırakıldıktan sonra birbirine yapıştırılan test parçalarının ayrılma kuvveti, 180° soyma testleriyle ölçüldüğünde, iki ile on kat arasında hızla yapışma artışı sağlandığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, atmosferik plazmaya uzun süre maruz kalmanın yapışma artışı sağlamadığı tespit edilmiştir. Buna karşılık, vakumlu plazma ile işlem görmüş LDPE ve PETin, uzayan plazma işlemi süresi ile yapışma özelliğinin artış gösterdiği görülmüştür. 10 dakikadan uzun vakum plazma işlem süreleri için ise, iki ila üç kat artan bir yapışma artışının elde edilebileceği bulunmuştur.

Mandolino ve Carla (2014), düşük basınçlı plazma işleminin polietilen ve polipropilen numunelerin yüzey pürüzlülüğüne ve birbirine yapıştırılmış test numunelerinin kesme özelliklerine etkileri araştırmıştır. Özellikle, pürüzlülük ölçümü, temas açısı değerlendirmesi ve ayrılma testleri gerçekleştirilerek, maruz kalma süresinin, voltajın ve çalışma gazının optimizasyonu olarak üç plazma parametresinin yapışma özelliğine etkisi incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, optimize edilmiş plazma işleminin yüzey morfolojisini önemli ölçüde değiştirebileceğini, yüzeylerin ıslanabilirlik özelliklerini ve yapıştırılmış test numunelerinin kesme mukavemetini artırabileceği tespit edilmiştir.

Mandolino vd. (2014), Al6061 alaşımı üzerine plazma ve lazer yüzey işlemleri gerçekleştirilerek, söz konusu işlemlerin yapışma mukavemetine etkisi incelenmiştir. Tüm numuneler işlemde önce asetonla temizlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar; işlem görmeyen numunelere kıyasla her iki işlemin de yapışma mukavemetini artırdığını göstermiştir. En yüksek yapışma mukavemeti lazer işleminde gözlenmiş, işlem yapılmamış numunelerle karşılaştırıldığında, yapışma mukavemetinde iki kata kadar artış tespit edilmiştir.

Martínez (2011), yapıştırılacak malzeme olarak polipropilen (PP), yapıştırıcı olarak poliüretan (PU) yapıştırıcı, yüzeysel işlem yöntemi olarak, 80 kum büyüklüğünde zımpara kağıdı ile mekanik aşındırma, astar boya kullanımı ile kimyasal işlem ve



atmosferik basınçlı hava plazma işlemi seçmişlerdir. İşlemler sonunda elde edilen deneysel sonuçlar; yüzeylerin ıslanabilirlik özelliğinin artırılmasında astar boya kullanımının, yüzeylerin yapışma özelliğini artırmak için de atmosferik basınçlı hava plazma işleminin etkili olduğunu göstermiştir.

Carrinoa vd. (2001), PP yüzeylerde soğuk plazma işleminin etkisini incelemiştir. Özellikle, AC elektriksel deşarjlı soğuk plazma parametrelerinin polimerik yüzeylerin ıslanabilirliği ve yapışması üzerindeki etkisi, bir dizi proses değişkenine (voltaj, zaman ve hava akış hızı) bağlı olarak incelenmiştir. Ayrıca, ıslanabilirlik ile yapışma arasındaki ilişkinin doğası da araştırılmıştır. Deneysel sonuçlar, önerilen plazma işleminin polipropilenin ıslanabilirliğini ve yapışma özelliklerini önemli ölçüde artırabildiğini göstermektedir.

Esen vd. (2016); atmosferik plazma yüzey aktivasyon işlemi ile farklı tarama hızlarının PP yüzey enerji ve ıslatma kabiliyetine etkilerini incelemiş ve yüzey enerjisinin 28 mN/m'den 72 mN/m seviyesine çıkabildiği görülmüştür.

Mandolino ve Gambaro (2014); düşük basınçlı plazma işleminin polietilen numunelerin yüzey enerjisine ve yapışma özelliğine etkisini araştırmıştır. Özellikle, temas açısı değerlendirmesi ve birbirine yapışmış test parçalarının ayrılma testleri gerçekleştirilerek, iki plazma işlem parametresinin (maruz kalma süresi ve güç girişi) optimizasyonu yapılmıştır. Ayrıca, plazma işlemine maruz kalan parçaların yapışma özelliği, astar sürülerek hazırlanan test parçaları ile karşılaştırılmıştır. Her iki işlemin de yapışma mukavemeti, yapıştırımdan hemen sonra ve laboratuvar ortamında bir süre bekletildikten sonra test edilmiştir. Deneysel sonuçlar, optimize edilmiş plazma işleminin, polietilen yüzeylerin ıslanabilirlik özelliklerini ve yapıştırılmış test parçalarının yapışma mukavemetini kayda değer düzeyde artırdığını, hatta astarla işlem gören test parçalarından bile daha fazla artırabildiğini göstermiştir.

Encinas vd. (2011), mevcut çalışmada, düşük yüzey enerjisine sahip malzemelerin yapışma özelliğini artırmak üzerine çalışma yürütmüşlerdir. Poliolefinik malzeme ve poliüretan yapıştırıcı kullanarak farklı yaklaşımlar araştırılmıştır. Çalışma kapsamında

seçilen malzeme, polipropilen (PP) olup, yapıştırıcı olarak Sikaflexs-252 poliüretan (PU) yapıştırıcı kullanılmıştır. Yüzeyleri yapıştırmadan önce gerçekleştirilen çeşitli ön işlemler arasında, 80 kum boyutunda zımpara kağıdı ile mekanik aşındırma, kimyasal bir astar ve atmosferik basınçlı hava plazma torcu (APPT) kullanımı, uygulamada seçilen yöntemlerdir. Deney sonuçları, APPT işleminin özellikle astar kullanımıyla birleştirildiğinde, poliolefinik yüzeylerin ıslanabilirliğini ve yapışma özelliğini artırdığını göstermiştir.

Piglowski vd. (1996), PPS (polifenilen sülfid) malzemeye, kimyasallar (asetik asit/hidrojen peroksit, kromosülfirik asit) ve argon (Ar) plazma ile yüzey modifikasyonu işlemi yapmış, gerçekleştirdikleri testlerde her iki işlemin (kimyasal kullanımı ve plazma işlemi) de PPS malzemenin yapışma yeteneğini ve akrilik yapıştırıcılara uyumunu artırdığı görülmüştür. En yüksek yapışma mukavemetinin de kromosülfirik asit uygulandığı durumda elde edildiği tespit edilmiştir.

Leahy vd. (2006), yaptıkları çalışmada uçak sanayiinde kullanılan cam elyaf takviyeli GFR-PPS ve ticari saf titanyumu, argon (Ar) ve oksijen (O) plazma işlemine tabi tutulup, malzemelerin yüzey enerjisindeki değişimi incelenmiştir. Çalışma sonunda plazma işleminin her iki malzemenin yüzey enerjisini artırdığını, en iyi sonuçların sırayla 100 W, 40 Pa basınç, 30 dakika uygulama süresi ve 100 W, 40 Pa basınç, 10 dakika uygulama süresi parametre değerlerinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Özellikle oksijen plazma uygulamasında yüzey enerjisinde dikkate değer düzeyde artış gözlenmiştir. Oksijen plazma işlemi öncesi ve sonrasında yapılan yapışma testlerinde, yapışma mukavemeti değerinin 2,9 MPa değerinden, 11,3 MPa değerine kadar artabildiği gözlenmiştir.

Tang ve Choi (2008), gerçekleştirilen bu çalışmada, poly (metil metakrilat) plakalara RF (radyo frekansı) atmosferik basınç plazma (APP) ve düşük basınç plazma (LPP) ile işlem yapılmış ve bu iki farklı uygulamanın sonuçları karşılaştırılmıştır. Çalışma sonunda, aynı koşullarda gerçekleştirilen her iki uygulamanın da plakaların yüzey enerjisini artırdığı fakat APP uygulamasının, LPP'ye göre, plaka yüzey enerjilerini daha hızlı ve daha fazla artırdığı tespit edilmiştir.

Iqbal vd. (2010), bu araştırmada atmosferik basınç plazma uygulamasının polietereterketon (PEEK), karbon elyafı (CF) ve cam elyafı (GF) ile güçlendirilmiş polifenilen sülfid (PPS) yüzey enerjisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. ABP uygulamasından sonra malzemelerin yüzey enerjilerinde kayda değer miktarda artış görülmüştür. Araştırmada aynı zamanda PEEK malzeme üzerine atmosferik plazma ve alçak basınç plazma uygulanmış ve bu iki tip uygulamanın performansları kıyaslanarak atmosferik plazma uygulamasının hem yüzey enerjisinin hem de yapışma yeteneğinin artırılmasında alçak basınç plazmaya göre daha etkin olduğu görülmüştür.

Kaner (2017) tarafından yapılan deneysel çalışmalarda, plazma (vakumlu bir kap içinde uygulanmıştır), korona gibi yüzey işlemlerinin malzeme yüzeylerinde meydana getirdiği özel yapıların yapışma özelliğine etkisi yapışma testleriyle araştırılmıştır. Farklı sıcaklıklarda, farklı sürelerde bekletilen polimerlerin ön işlem uygulaması ile, plastik malzemelerin yapışma yetenekleri iyileşmiş, yüzey enerjilerinin artırılması olumlu sonuçlar vermiştir. Mekanik aşındırmanın dayanım açısından etkisi, işlem uygulanmadan yapıştırılan numunelere göre kıyaslandığında başarılı yapıştırma bağlantıları elde edilmiştir. Yaşlandırma uygulamalarının ise yüzeyde meydana gelen değişimi olumsuz etkilediği, özellikle yaşlandırma süresinin uzaması ile yapıştırıcı ve yüzey arasında oluşan ara bağ kuvvetlerinin zayıfladığı görülmüştür.

Guild vd. (2008), polipropilen (PP) malzeme ile üretilen bir otomobil tamponunun montaj yüzeylerini bir hava plazma sistemi ile (Lectro-treat) ile modifiye ederek otomotiv sektörünün test (darbe, ömür, vs.) standartlarına göre test edilmiş ve tüm testleri başarıyla geçtiği gözlenmiştir. En iyi sonuç, 0,31 ve 0,61 m/dak. işlem hızında elde edilmiştir.

Kim vd. (2010), bu çalışmada, düşük sıcaklıktaki atmosferik oksijen plazması ile yüzey işlem gerçekleştirilerek, plazma işleminin bazalt/epoksi dokuma kompozitlerinin katmanları arası kırılma davranışı üzerindeki etkileri araştırılmış ve tabakalar arası kırılma toklukları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, bazalt lifinin ıslanabilirliğinin, fiziksel aşındırma ve lif yüzeyinde oksijen ve azot içeren kimyasal fonksiyonel grupların oluşumu ile birlikte önemli ölçüde arttığını göstermiş, katmanlar arası kırılma tokluğunun, oksijen plazma işlemi ile %16 oranında iyileştirildiğini göstermiştir.

Marti'neza vd. (2007), bu çalışmada otomotiv endüstrisinde uygulamaları olan üç adet kauçuk benzeri malzeme (NBR 7201, NBR 9003 ve HNBR 8001) incelenmiştir. Bu malzemelerin tribolojik davranışlarını iyileştirmek, yüzey özelliklerini değiştirmek için farklı atmosferik basınçlı plazma işlemleri gerçekleştirilmiş, ek olarak, ıslatma deneyleri de yapılmıştır. Atmosferik basınçlı plazma karbondioksit ve azot (CO<sub>2</sub> ve N<sub>2</sub>) gazları işlemleri, NBR 7201 ve NBR 9003'ün hidrofilik karakterini artırdığı gözlenmiştir. Plazma işlemleri, HNBR 8001'in hidrofilikliğinde daha küçük değişiklikler üretmiştir. Gaz olarak CO<sub>2</sub> ve öncü olarak asetik asit ile işlem, NBR 7201 ve NBR 9003'te daha yüksek hidrofilik yüzeyler oluşturmuş, öte yandan, gaz olarak N<sub>2</sub> ve öncü olarak asetik asit ile işlem, bu kauçukların temas açısında daha küçük değişiklikler meydana getirmiştir.

Özdoğan (2006), Plazma işleminin, poliamid kumaşların yüzey özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Poliamid kumaşlara, hidrofilit ve adezyon özelliklerini artırmak amacıyla argon ve karbondioksit plazma işlemi uygulanmıştır. Argon ve karbondioksit plazma ile gerçekleştirilen işlemlerde, plazma uygulama süresinin artışı ile, poliamid kumaşların yüzey morfolojik özelliklerinin değiştiği, lif-lif, iplik-iplik sürtünmesi ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı, bu sonuçlara bağlı olarak da adezyonun iyileştiği belirlenmiştir. Her iki plazma işleminde görülen etkiler genel olarak birbirine yakın değerlerde gerçekleşmiştir.

Anagreh ve Dorn (2004), polibütilen tereftalat (PBT) ve alüminyum arasındaki yapışma dayanımını, düşük basınçlı plazma (argon ve oksijen) uygulaması gerçekleştirildikten önce ve sonra, poliüretan (PU) ve epoksi (EP) yapıştırıcılarla test etmiştir. Gerçekleştirilen testlerde, argon ve oksijen ile uygulanan plazma işleminden sonra, poliüretan ile yapıştırılan test parçalarındaki yapışma dayanımının biraz arttığını fakat epoksi ile yapıştırılan test parçalarında yapıştırma dayanımının 3,5-10 kat arttığı tespit edilmiştir. Yüzey enerjisinin her iki plazma uygulamasında da arttığı, oksijen ile yapılan uygulamanın, argon ile gerçekleştirilen uygulamadan daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Shanahan ve Bourges-Monnier (1996), kompozit bir malzeme (epoksi/karbon fiber) oksijen (O) ve nitrojen (N) plazma ile işlem görmüş ve görmemiş hali ile, epoksi jel ile

yapıştırılarak test edilmiş, plazma uygulamasına maruz bırakılan test parçalarında daha iyi yapışma dayanımı sonuçları elde edildiği gözlenmiş olup, oksijen plazma uygulanmış parçalarda, nitrojen plazma uygulanan parçalara nazaran daha yüksek yapışma dayanımı elde edilmiştir.

Dowling vd. (2012), amorf polietilen tereftalata (APET) atmosferik plazma (He/O<sub>2</sub>) işlemi uygulanarak bir polietilen tereftalata (PET) filme yapışma özelliğini artırmak amaçlanmıştır. Plazma işlemi görmüş APET tabaka malzemesi, gıda paketlenme endüstrisinde kullanılmak üzere tepsiler halinde ısıyla şekillendirilmiş ve bir PET filme ısıyla yapıştırılmıştır. Son halini alan paketin ısıl yapışma özelliği patlatma testi (burst pressure) tekniği ile test edilmiştir. Plazma işleminin yapışkan özelliklerini önemli ölçüde artırdığı görülmüş, yapılan testte, patlatma basıncının 18 kPa'dan, 35 kPa'a yükseldiği tespit edilmiştir. Ayrıca ortalama malzeme yüzey pürüzlülüğünün (R<sub>a</sub>) de 0.4 nm'den 0.9 nm değerine yükseldiği görülmüştür.

De Iorio ark. (1997), polimerik malzemelerin (polioksifenilen-poliamid, polikarbonat, ABS) ve Al 6061 alaşımının yüzey özelliklerini modifiye etmek ve yüzey yapışma yeteneğini artırmak için soğuk plazma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada lokal plazma işlemi için, soğuk plazma (Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>) jeneratörü kullanılmıştır. Plazma işlemine maruz kalan ve geleneksel yöntemlerle (yüzeyine astar uygulaması gerçekleştirilen) parçalar yapışma dayanımı ve morfolojik bozulma açısından karşılaştırılmıştır. Testler sonunda, alüminyum (Al) alaşımı ve polipenilen-eter (PPE-PA) malzemelerin yapışma dayanımında, geleneksel yöntemlere (astar kullanımı) göre daha yüksek değerler elde edilmiştir. Al alaşımına uygulanan plazma işlemi sonucunda elde edilen sonuçlar dar bir dağılım aralığında gerçekleşmiş ve iyi bir tekrar edebilirlik düzeyi elde edilmiştir. Polikarbonat-akrilonitril bütadien stiren (PC-ABS) birleşmelerinde, astar uygulaması, yapışma dayanımında en kötü sonucu vermiştir. Aşındırma işlemi tatmin edici olmayan sonuçlar vermiştir.

Sorrentino ve Carrino (2009), bu çalışmada, yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve korozyon direnci yüksek olan alüminyum malzemelere, korozyon direncini artırmak için sürülen boyanın daha temiz bir yüzeye daha iyi yapışması için önce MEK (metil etil keton) ile

yüzey temizliği, daha sonra da hava soğuk plazma işlemi uygulanmış malzemelerle, MEK ile temizlik yapılmamış fakat plazma işlemi yapılmış malzemelerin, ıslanabilirlik ve yüzey temizliği kriterleri kıyaslanarak, meydana gelen değişim irdelenmiştir. Çalışma sonunda, MEK (metil etil keton) ile ön temizleme yapılmış 2024 alüminyum alaşımli yüzeylerin ıslanabilirliğinin ve temizliğinin önemli ölçüde iyileştiği görülmektedir. Islanabilirlikte iyileşme %70'ten fazla olmuş ve üretim prosesi kaynaklı organik kirleticiler de %65'ten fazla oranda azalmıştır.

Sorrentino ve Carrino (2009), 2024 alüminyum alaşımı yüzeyinin oksijen soğuk plazma ile, ıslanabilirliğinin ömrü (yaşlanma süresi) araştırılmıştır. Araştırma sonunda üç faktörün plazma işlemine etki ettiği, bunların "uygulama voltajı", "işlem süresi" ve "basınç" faktörleri olduğu görülmüştür. Yüksek voltaj ve alçak voltajda iki farklı uygulama gerçekleştirilmiş, düşük voltajlı uygulamada temas açısının uygulamadan 1 gün sonra (%31'den, %43'e) %38 arttığı, 30 gün sonunda da %57 arttığı tespit edilmiştir. Yüksek voltajda yapılan testlerde ise, plazma uygulamasından 1 gün sonra %41, 30 gün sonra %76 arttığı görülmüştür. Sonuç olarak; oksijen soğuk plazma uygulamasının 2024 alüminyum alaşımı yüzeyi için yüzey temizliği ve aktivasyonu alanında, geleneksel yöntemlere göre etkin bir alternatif olduğu, ilk 30 gün için, farklı plazma parametrelerinin temas açısı değişimine anlamlı bir şekilde etki etmediği gözlemlenmiştir.

De Geyter vd. (2007), bu çalışmada, polietilen (PE) gibi düşük yüzey enerjisine sahip bir polimerin havada dielektrik bariyer boşalımı (dielectric barrier discharge-DBD) yüzey işlemine maruz bırakılmasıyla meydana gelen yüzey enerjisindeki değişim incelenmiştir. Gerçekleştirilen çalışma sonunda DBD uygulamasının PE'nin yüzey enerjisini yükseltmek için etkin bir araç olduğu görülmüştür. Plazma işleminden sadece 5 saniye sonra yüzey serbest enerjisinin 31,3 mJ/m<sup>2</sup>'den, 56,2 mJ/m<sup>2</sup>'ye yükseldiği gözlemlenmiştir.

Rich vd., (2015), bu çalışmada, düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) film yüzeylere (reaktif gaz olarak oksijenin ilavesi ile), lineer formda torç kullanılarak helyumla, duşbaşı formunda torç kullanılarak polietilen filmlerin ıslanabilirlik özelliklerini geliştirmek için yüzeylerine plazma uygulaması gerçekleştirilmiştir. Reaktif gaz olarak oksijen ilavesi durumunda torç değişiminin yüzey temas açısında farklı plazma işlem sürelerinde

farklılık yaratmadığı, yüzey temas açısının hemen hemen aynı olduğu tespit edilmiştir. Herhangi bir reaktif gaz ilave edilmediğinde, helyum gazı ile lineer torç ile işlem yapılan yüzeylerde daha düşük temas açısına erişilebilmiştir.

Van Deynse vd. (2014), bu çalışmanın amacı, plazma ile işlem görmüş düşük yoğunluklu polietilen (LDPE) filmlerin havadaki yaşlanma davranışı üzerindeki depolama koşullarının (bağıl nem ve sıcaklık) etkisini incelemektir. Plazma işlemi, 5 kPa basınçta, argon/su buharı karışımlarında çalışan bir dielektrik bariyer deşarjı (DBD) kullanılarak gerçekleştirilir. Sonuçlar; plazma ile modifiye edilmiş LDPE filmlerin düşük sıcaklıkta saklanması ve çevredeki havanın bağıl nemi azaltılması ile yaşlanma sürecinin yavaşlatılabileceğini göstermektedir. Plazma deşarjına su buharı eklenmesi, yaşlanma prosesi üzerinde olumlu etki yapmış, PE'nin yüzey serbest enerjisini artırmıştır. Bu çalışmada ayrıca, önce daha düşük bir sıcaklıkta (-10 °C) depolamanın ve daha sonra daha yüksek bir sıcaklıkta (20 °C) bekletmenin yaşlanma etkisini yavaşlatmadığı da gözlemlenmiştir.

Van Deynse vd. (2015), bu çalışmada, farklı süre ve mesafelerden bir argon atmosferik basınçlı plazma jeti (APPJ) uygulanarak düşük yoğunluklu polietilenin (LDPE) yüzey modifikasyonu derinlemesine araştırılmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada, 5 ila 15 mm arasındaki plazma uygulama mesafelerinde, birkaç milisaniyelik bir işlem süresi içinde su temas açısının %70'den fazla azaltılabildiği görülmüştür. 15 mm'nin üzerindeki işlem mesafelerinde, artan işlem mesafesi ile ıslanabilirlik azaldığı tespit edilmiştir.

Novák vd. (2013), bu çalışmada, PET (polietilen tereftalat) folyo üzerine yüzey bariyeri deşarjı ile oluşturulan (oksijen ve/veya nitrojen) plazma uygulanmış, N<sub>2</sub> veya O<sub>2</sub> modifikasyonu sonucu yüzey pürüzlülüğünde artış gözlenmiştir. Polietilen tereftalatın (PET) yüzey enerjisinin yanı sıra soyulma mukavemeti, yüzey dielektrik bariyeri deşarjı (SDBD) plazması ile modifikasyondan sonra önemli ölçüde artmış ve bu artış, N<sub>2</sub> işlemine kıyasla O<sub>2</sub>'de daha fazla görülmüştür. Ayrıca soyulma mukavemeti ile yüzey enerjisi arasında korelasyon tespit edilmiştir (yüzey enerjisinin artışı ile yapışma dayanımı da (200 Nm<sup>-1</sup> yapışma dayanımına kadar) yaklaşık olarak lineer artmaktadır). İlave olarak, işlemden 15 gün sonra yüzey enerjisinde keskin bir düşüşün başlaması ve 40 gün sonra yaklaşık olarak işlem görmemiş yüzey düzeyine gelmesi nedeniyle, bu

plazma yöntemine maruz bırakılan malzemeler, endüstride, plazma işlemi sonrası kısa süre içinde kullanılmalıdır.

Encinas vd. (2010), bu çalışmada, günümüzde en yaygın olarak kullanılan üç poliefin olan yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE), düşük yoğunluklu polietilen ve polipropilen malzemeye atmosferik basınç hava plazma torcu ile (APPT) ile plazma uygulaması gerçekleştirilmiş ve temas açısı ölçümleriyle ıslanabilirlik özelliğinin geliştirilebilirliği araştırılmıştır. Bunun yanında zamana (270 saate kadar) bağlı olarak, plazma işleminin etkisi (aging) izlenmiştir. Çalışma sonunda, her üç malzemenin de yüzey enerjisinin ve ıslanabilirlik özelliğinin arttığı görülmüştür. Tüm malzemelerde ilk 30 gün yüzey enerjisinde kayda değer bir azalma görülmemiş, 270 gün sonunda yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) ve polipropilende (PP) yüzey enerjisindeki azalma yaklaşık %15 olurken, en yüksek oranlı azalma yaklaşık %40 ile LDPE'de gerçekleşmiştir. Plazma işleminin etkisiyle HDPE ve PP'de yüzey pürüzlülüğünde artış görülürken, LDPE'de güçlü yüzeysel ergime nedeniyle oldukça pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir.

Encinas vd. (2014), bu çalışmada bir silikonda hava atmosferik plazma torcu ile işlem yaparak, hidrofilik yüzey elde edilebilirliğini araştırmışlardır. Yüzey açısı ölçümü ile, malzemedeki yüzey enerjisi değişimi ve 24 saat süreyle yüzey enerjisindeki değişim gözlenmiştir. Üç farklı yapıştırıcı kullanılarak, plazma işlemi sonrası silikonun alüminyuma yapışma performansı test edilmiştir. Ölçüm ve testler sonucunda, plazma işlemi görmüş test parçalarında, plazma işlemi görmemiş olanlara oranla daha yüksek yapışma dayanımı, daha yüksek yüzey enerjisi ve daha iyi ıslanabilirlik özelliği tespit edilmiştir. Yüzeylerdeki plazma etkisinin 1 saat boyunca stabil kaldığı, 24 saat sonunda da ilk durumdaki yüzey enerjisi seviyesine dönüldüğü gözlenmiştir.

Mandolino vd. (2014), bu çalışmada, polietilen malzemenin yüzeyine düşük basınç plazma (hava) uygulaması gerçekleştirilerek, plazma işleminin "yapışma dayanımı" ve "yüzey enerjisi" üzerindeki etkisi araştırılmış, temas açısı ve yapışma dayanımı testleri yapılarak, özellikle plazma işlem süresi ve uygulama gücü optimize edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, plazma işlemi görmüş test parçalarının test sonuçları, geleneksel astar uygulamasına maruz bırakılmış parçaların test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. İlave



olarak, geçen sürenin, uygulanan işlemlerin parça yüzeylerindeki etkisini görmek için, test parçaları, her iki işlemten hemen sonra ve belirli bir süre laboratuvar koşullarında bekletildikten sonra test edilmiştir. Testler sonunda, iki parametrenin ("yapışma dayanımı" ve "yüzey enerjisi") optimize edilmesi sonucunda, polietilen yüzeylerin ıslanabilirlik ve yapışma dayanımının, işlem görmemiş test parçalarına kıyasla önemli ölçüde arttığı, hatta astar uygulaması gerçekleştirilen yüzeylerden de daha yüksek ıslanabilirlik ve yapışma dayanımı değerleri elde edildiği gözlenmiştir. Parçaların elde edilen olumlu özelliklerini, birkaç gün laboratuvar koşullarında bekletilmelerine rağmen kaybetmedikleri gözlenmiştir.

Navaneetha vd. (2008), bu çalışmada, düşük yapışma performansı nedeniyle endüstride kullanımı sınırlı olan polipropilen (PP) filmlere, proses gazı olarak hava kullanılan bir doğru akım akkor boşalma (DC glow discharge) cihazı ile plazma işlemi uygulayarak teknik uygulamalara uygun hale getirmek amaçlanmıştır. Plazma işlemi sonrası, malzemenin ıslatılabilirlik yeteneğindeki değişim, (işlem süresine bağlı olarak) temas açısı ve yüzey enerjisi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İlave olarak, işlem görmüş PP filmleri yaşlanma (aging) prosesine maruz bırakılarak plazma işleminin zamana karşı dayanımı irdelenmiş, yapışma performansındaki değişim de ayrılma testleri ile incelenmiştir. Test sonuçları, (20 dakika plazma uygulama süresine kadar) işlem süresi arttıkça temas açısının yaklaşık %30, yüzey enerjisinin de yaklaşık %100 arttığı, birbirine yapıştırılan parçalardan, işlem görmüş olanların ayrılma değerinin, işlem görmemiş parçalara göre 2 kattan fazla olduğu, uygulamaya bağlı olarak yüzey enerjisindeki en yüksek düşüşün 20 dakika plazma uygulama süresinde, 20 gün sonra, en az düşüşün ise 2 dakika uygulama süresinde 10 gün sonra gerçekleştiği gözlenmiştir.

Morent vd. (2007), bu çalışmada dielektrik bariyer deşarjı ile, polipropilen filmlere 5 kPa ortalama basınçta, havada, plazma uygulaması gerçekleştirilmiş ve uygulama sonrası temas açısındaki değişim gözlenmiştir. Plazma işlemi sonrası yapılan testlerde, başlangıçta 85° olan temas açısının 10 dakika plazma işlemi sonunda 60°'ye düştüğü ve daha sonra işlem süresi artsa da temas açısında kayda değer bir değişim gerçekleşmediği gözlenmiştir.

Mandolino vd. (2017), bu çalışmada farklı plazma uygulama parametrelerinin poliamid 6 ve poliamid 6.6 malzemelerin yapışma özelliğine etkisi araştırılmıştır. Soğuk plazma uygulaması, düşük basınç radyo frekansı boşalımı (low pressure radio frequency discharge) ile gerçekleştirilmiş, farklı işlem süresi farklı giriş gücü ve farklı plazma gazı (hava, argon, oksijen) ile testler gerçekleştirilmiştir. Testler sonucunda kısa plazma uygulamalarında dahi plazma uygulamasının ıslanabilirlik üzerinde oldukça etkili olduğu görülmüştür. Yüksek güç değerlerinin temas açısını minimize ettiği tespit edilmiştir. En yüksek yapışma dayanımı 150 W güç, 300 saniye plazma uygulama süresi, gaz olarak havanın kullanımı ile PA 6.6 malzemede elde edilmiştir. Plazma uygulaması, her iki malzemede de yüzey pürüzlülüğünü artırmıştır.

Svorcik vd. (2006), bu çalışmada, argon plazma uygulamasıyla polietilen (PE) malzemenin yüzeyi modifiye edilmiş, yüzey morfolojisi ve ıslanabilirlik özelliğindeki değişim incelenmiştir. Ayrıca, modifiye edilmiş polietilenin mekanik özellikleri (mikrosertliği, elastisite modülü, mikro çizik dayanımı) irdelenmiştir. Testler sonucunda, plazma uygulamalarındaki deşarj gücü ve uygulama sonrası geçen süreye bağlı olarak temas açısının kayda değer düzeyde düştüğü görülmüştür. Aynı şekilde, plazma uygulaması ve deşarj gücü ve maruz kalma süresinin malzemenin yüzey morfolojisini değiştirdiği, daha uzun süre işlem gören test parçalarında daha yüksek homojenlik ve daha düşük yüzey pürüzlülüğü tespit edilmiştir. Plazma uygulaması gerçekleştirilmiş test parçalarında, plazma uygulaması gerçekleştirilmemiş olanlara oranla daha yüksek sertlik ve daha yüksek elastisite modülü gözlenmiş (en yüksek sertlik, 240 saniye uygulama süresinde görülmüştür), çizik testi sonucunda, işlem görmüş ve görmemiş test parçaları arasında önemli bir fark gözlenmemiştir.

Gao vd. (2009), bu çalışmada poliamid 6 (PA 6) malzemeye atmosferik basınçta, farklı sürelerde plazma işlemi uygulanmış, temas açısı, aşınma oranı, soyulma dayanımı (yüzey yapışma özelliği) ve yüzey pürüzlülüğündeki değişim araştırılmıştır. Gerçekleştirilen testler sonucunda, plazma uygulama süresi arttıkça aşınma oranının kararlı bir şekilde düştüğü (30 saniye plazma uygulama süresinde 3 nm/s iken, 90 saniye uygulama süresinde 2 nm/s gerçekleşmiştir), temas açısının 30 saniye plazma uygulama süresinde, plazma uygulanmamış test parçasına nazaran %60 civarında düştüğü, daha sonra,

uygulama süresi arttıkça temas açısının da arttığı belirlenmiştir. Yapıştırılan parçaların soyulma dayanımının 30 saniye plazma uygulama süresine kadar arttığı fakat daha sonra düşüşe geçtiği, yüzey pürüzlülüğünün ise plazma uygulama süresi arttıkça arttığı tespit edilmiştir.

Encinas vd. (2012), bu çalışmada aşındırma, astar ve (hava) plazma yüzey hazırlama uygulamalarıyla, polipropilen (PP) ve poliüretan (PU) malzemelerin yapışma mukavemetini artırmak amaçlanmıştır. Test çalışmaları sonunda, yapışma özelliğini artırmada en uygun yöntemin plazma uygulaması olduğu tespit edilmiştir (en yüksek yüzey enerjisi ve yapışma dayanımı 240 kPa basınç değerinde görülmüştür). Aşındırma uygulamasında ise, teste başlamadan önce dahi yapıştırma prosesinin başarısız olduğu gözlenmiştir. En yüksek yüzey enerjisi ve yapışma dayanımı, atmosferik plazma uygulamasının, kimyasal astarlarla birlikte gerçekleştirildiği test parçalarında elde edildiği, herhangi bir uygulama yapılmamış test parçalarına nazaran, 3 kat daha fazla yapışma dayanımına ulaşıldığı gözlenmiştir.

Navaneetha vd. (2008), bu çalışmada, doğru akım akkor deşarjı (DC glow discharge) ile plazma işlemi uygulanan polipropilen (PP), polietilen tereftalat (PET) filmlerin yapışma özellikleri incelenmiştir. Plazma uygulaması sonunda yüzeylerde temas açısında düşme, yüzey enerjisinde yükselme tespit edilmiştir. Yüzeylere 20 saniyeye kadar plazma işlemi uygulanmış, en düşük temas açısı ve en yüksek yüzey enerjisi 20 saniye plazma uygulamasında elde edilmiştir. PET malzemede, PP malzemeye göre daha düşük yüzey açısı elde edilmiştir. Her iki özellikteki artış da 20 saniye uygulama süresine erişildiğinde yatay bir seyir izlemeye başlamıştır. Yüzey pürüzlülüğü de plazma uygulama süresine paralel olarak artmış, PET malzemede PP'ye nazaran daha yüksek yüzey pürüzlülüğü elde edilmiştir. Soyulma dayanımı da her iki malzemede de artmış, söz konusu artışlar PET'de yaklaşık 2,6 kat, PP'de yaklaşık 2,1 kat aşarak gerçekleşmiştir.

Mandolfino vd. (2019), polipropilen malzeme yüzeyine, üç farklı süre (5, 180, 300 saniye) ve üç farklı güçte (50, 125, 200 W), gaz olarak hava ve oksijenin kullanıldığı, düşük basınç plazma (LPP) uygulanarak malzemenin yapışma özelliğinin geliştirilmesi amaçlanmış, gerçekleştirilen uygulamanın ıslanabilirlik, kimyasal yapı, yüzey

morfolojisi, ve yüzey pürüzlülüğünün etkisi incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda, plazma işlemi görmüş test parçalarında su temas açısının düştüğü fakat süre ve güce bağlı olarak indkatif bir değer elde edilememiştir (sadece hava plazma uygulamasında su temas açısının süre ve güce bağlı olarak, kısmen de olsa azaldığı ifade edilebilir). Oksijen içeren fonksiyonel grupların yüzeyde yoğunlaştığı ve bu nedenle ıslanabilirlik özelliğinin arttığı tespit edilmiştir. Hava ile plazma uygulamasında, 50 W güçte yüzey pürüzlülüğünün kayda değer düzeyde (%150-%200) arttığı, daha yüksek güç uygulamalarında yaklaşık olarak başlangıç seviyesine düştüğü görülmüştür. Oksijen gazı ile yapılan plazma işlemi sonunda ise, yüzey pürüzlülüğünün %20 civarında arttığı belirlenmiş, güç arttıkça dikkat çekici düzeyde bir artış gözlenmiştir. Her iki gaz (hava ve oksijen) ile plazma işlemi görmüş test parçalarında yapışma dayanımı oldukça artmış, oksijen ile uygulamada, hava ile uygulamaya nazaran daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Sun vd. (2019), karbon fiber ile güçlendirilmiş polimerin yüzeyine, mesafe ve uygulama hızına bağlı olarak, (hava) atmosferik basınçlı plazma uygulanarak yapışma dayanımının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yapılan testler sonucunda, plazma uygulamasının yapışma dayanımını artırdığı, yapışma dayanımında en yüksek artışın (%267) 5 mm/s nozul hızı ve 18 mm nozul mesafesinde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Plazma uygulaması boyunca malzemenin yüzey sıcaklığı 138-175,3 °C arasında tutulmuş, yüzey sıcaklığının 138 °C'nin altında kaldığı durumlarda kayda değer düzeyde yüzey modifikasyonunun gerçekleşmediği gözlenmiştir. 175,3 °C 'den yüksek yüzey sıcaklıklarında, test parçalarında termal hasar görülmüştür.

Carrinoa vd. (2002), atmosferik basınçlı soğuk plazma ile polipropilen yüzeylerini farklı işlem süreleri, plazma çıkış gerilimi, gaz akış debisi ile aktivasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Su temas açısı ölçümü ve yüzey gerilimi mürekkebi kullanımı yöntemleri ile yüzey enerjisi ölçümleri yapılmıştır. Artan plazma işlem süresinin ve çıkış geriliminin yüzey enerjisini artırdığı, artan gaz debisinin ise çıkış gerilimine bağlı olarak 10-20 kV gibi düşük gerilimlerde, gazın iyonizasyon değerinin azalmasına bağlı olarak yüzey enerjisini düşürdüğü belirlenmiştir. Boyanın yapışma mukavemetini incelemek için farklı parametrelerle aktivasyon işlemi yapıldıktan sonra boyanmış, daha sonra 2, 4, 6 ve 24 saat su altında tutulmuş polipropilen yüzeylerine crosscutting (kareleme) testleri

yapılmıştır. Yüksek çıkış gerilimi ve işlem süresinde işlem görmüş yüzeylerin yapışma mukavemetinin gözle görülür biçimde daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Bir diğer çalışmada Carrino vd. (2002) aynı deney parametreleriyle boyanın kopma mukavemeti tasarlanan deney düzeneği ile çekme testi yapılarak ölçülmüş ve artan işlem süresi ve çıkış geriliminin yapışma mukavemetini artırdığı belirlenmiştir.

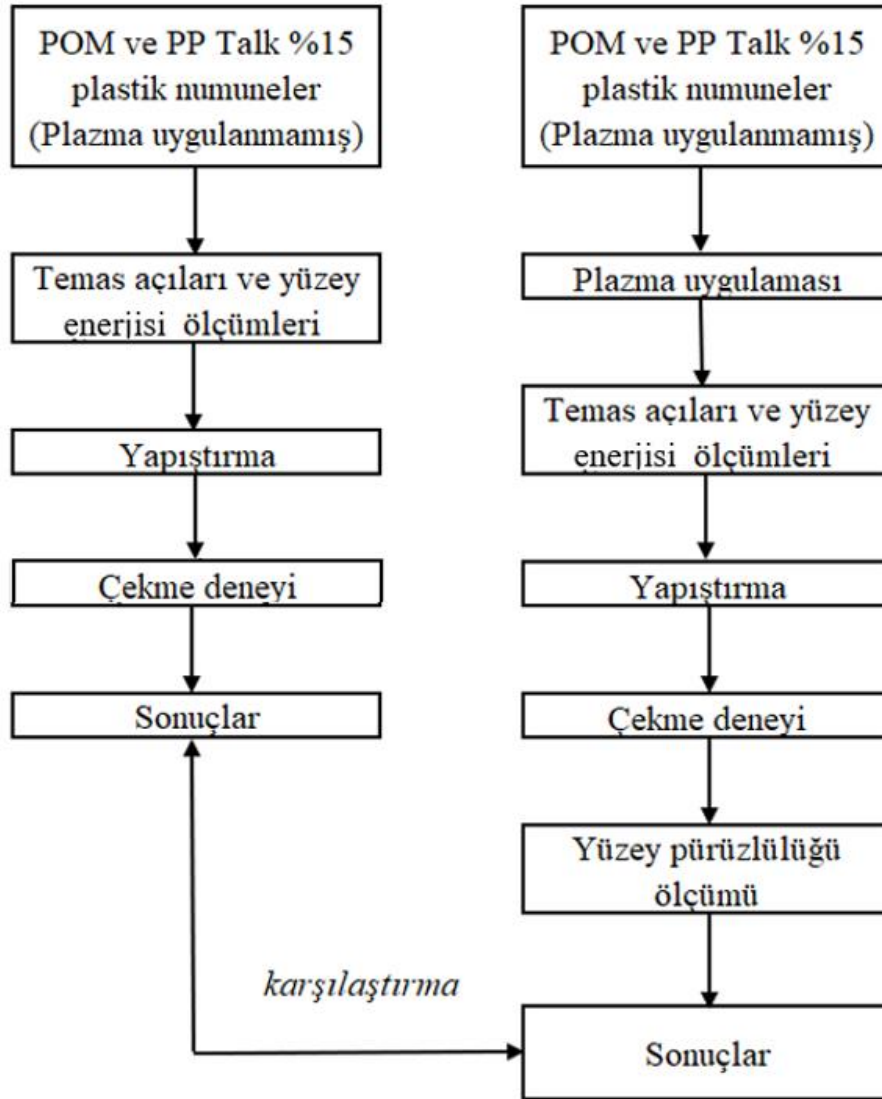
Mandolino vd. (2014) yapılan çalışmada, 5-600 s arasında işlem süresi, 50-200 kW arasında değişen plazma gücü ve farklı gazlar ile (hava, oksijen, argon ve oksijen/argon karışımı) atmosferik basınçlı plazma işlemini polipropilen yüzeylerine uygulanmıştır. Yüzey enerjisinin incelenmesi için su temas açısı ölçümünden yararlanılmış, ölçümleri dijital mikroskop ve X-Pro Software yazılımı ile yapılmıştır. Yapışma mukavemetindeki değişimleri gözlemek için deney numuneleri kesme gerilmesine zorlanacak şekilde yapıştırılıp çekme testine tabi tutulmuştur. Yapılan deneylerde 5-90 s arasında yapılan işlemlerde su temas açılarında önemli bir düşüş ve kesme mukavemetinde artış gözlemlenmiş, 100 s'den uzun süren işlemlerde bu özelliklerde değişme olmadığını hatta bazı durumlarda gerileme görüldüğü belirlenmiştir. Aynı şekilde artan plazma gücünün artmasıyla bir sınır değere kadar yapışma mukavemetini arttığı, su temas açısının düştüğü, bu sınır değerden sonra gelişme olmadığı belirlenmiştir.

Károly vd. (2018) Polioksimetilen (POM)-kopolimer üzerinde yaptıkları atmosferik basınçlı soğuk plazma uygulamasında, 320W güç ve 320K plazma sıcaklığına sahip atmosferik basınçlı plazma kullanılmıştır. Bu uygulamadan sonra yüzey enerjisinde ve su temas açılarında plazma etkinliğini gösteren sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmaya göre, artan plazma işlem süresiyle elde edilen yüzey enerjisinde, yükselmenin yanı sıra farklı yapıştırıcılar ile yapılan testlerde, plazma işleminden geçmiş yüzeylerde bağın kesme dayanımında da artış görülmüştür.

### 3 MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma, Polioksimetilen ve %15 talklı polipropilen (POM ve PP Talk %15) plastik malzemelerin atmosferik basınçlı soğuk plazma uygulaması ile yapıştırma bağı mekanik özelliklerinin iyileşme oranlarını tespit etmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada uygulanan metodoloji Şekil 3.1’de verilmiştir.



**Şekil 3.1.** POM ve PP Talk %15 plastik malzemelerin yapıştırma bağlarında ABSP uygulaması etkinliğinin araştırılması için kullanılan metodoloji

Malzemelerin yüzey enerjilerinin artırılması için atmosferik basınçlı soğuk plazma (ABSP), farklı hız ve çalışma mesafelerinde malzeme yüzeylerine uygulanmış, ardından iki farklı yapıştırıcı ile bağ kuvveti oluşturulmuştur. Malzemelerin ABSP uygulaması ile yüzey enerjisindeki değişimler, hem mürekkep hem de su damlası testleri ile incelenmiştir. Yapıştırma bağının mekanik özellikleri de üniversal çekme testi cihazı ile belirlenmiştir. Sonuçlar üzerinde detaylı analizler gerçekleştirilerek, söz konusu malzemeler ve uygulama için literatüre yeni katkılar sağlanmıştır.

### 3.1 Plazma Cihazı

Bu çalışmada, atmosferik basınçlı soğuk plazma yüzey aktivasyonu için, Şekil 3.2’de gösterilen Relyon Plasma firmasının geliştirdiği Piezobrush PZ2 el tipi, 15 V çıkış gerilimi, maksimum 2 A akım üreten ve ortam havasını kullanan soğuk plazma cihazı kullanılmıştır. Piezobrush PZ2, verimli bir manuel plazma cihazı olarak tasarlanmıştır. Söz konusu plazma cihazı, aynı zamanda profesyonel model yapımında, laboratuvarlarda ve küçük/büyük adetli üretim partilerinin üretim proseslerinde kullanılmaya çok uygundur. Soğuk plazma etkisinden kaynaklanan yüzey aktivasyonu nedeniyle sentetik malzemelerin yapıştırılmasını kolaylaştırır.



**Şekil 3.2.** Piezobrush PZ2 el tipi soğuk plazma ünitesi (Relyon Plasma, 2022)

Ayrıca, otomotiv sektöründeki uygulamalarda kaplama yapıştırma prosesleri optimize edilmiştir. Diğer bir avantaj olarak, Piezobrush PZ2 tipi soğuk plazma cihazı ile, epoksi bazlı yapıştırıcıların kullanılması durumunda, cam, cam takviyeli plastik (GRP), akrilonitril bütadien stiren (ABS) vb. diğer sentetik malzemelerin yapıştırılmasında

yapışma performansını artırır. Düşük termal gerilme nedeniyle, ahşap ve çeşitli kâğıt türleri gibi geleneksel olarak model yapımında kullanılan malzemelerin çok amaçlı güçlü yapıştırıcı kullanılarak montajında oldukça başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu cihaz ile 30 W maksimum güç tüketiminde, ~50°C sıcaklıkta soğuk aktif plazma üretilir. Cihaz, uzun periyotlarda bakım ihtiyacı gösterir (Relyon Plasma, 2022).

### 3.2 Malzeme

Deneysel çalışmalarda, 58 mm x 58 mm x 3 mm ebatlarında PP Talk %15 ve POM test numuneleri üretilmiş ve kullanılmıştır (Şekil 3.3). Malzemeler ile ilgili teknik detaylar Çizelge 3.1’de belirtilmiştir. Test numuneleri, plazma uygulanmadan önce herhangi bir yüzey temizleme işlemine tabi tutulmamıştır.



Şekil 3.3. Test numunesi

Çizelge 3.1. Polipropilen (PP) ve Polioksimetilen (POM) malzemelerinin teknik özellikleri

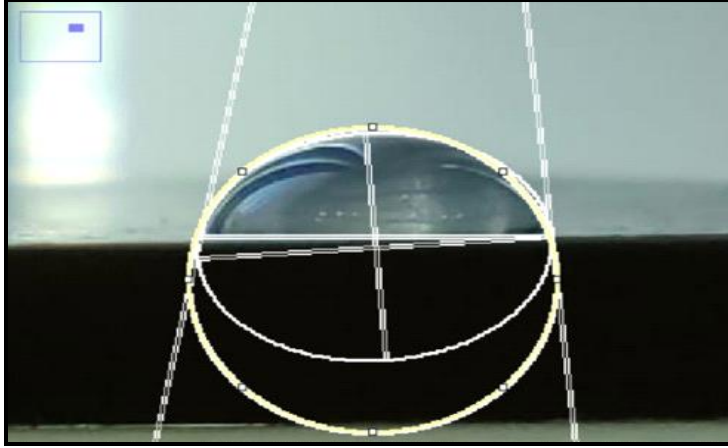
Malzeme	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Ergime Sıcaklığı (°C)	Charpy Çarpma Direnci (kJ/m <sup>2</sup> )	Akma Gerilmesi (MPa)
PP	995	160	40	20
POM	1410	166	6,5	64



### 3.3 Yüzey Enerjisi Ölçümleri

#### 3.3.1 Temas açısı yöntemi ile yüzey enerjisi ölçümleri

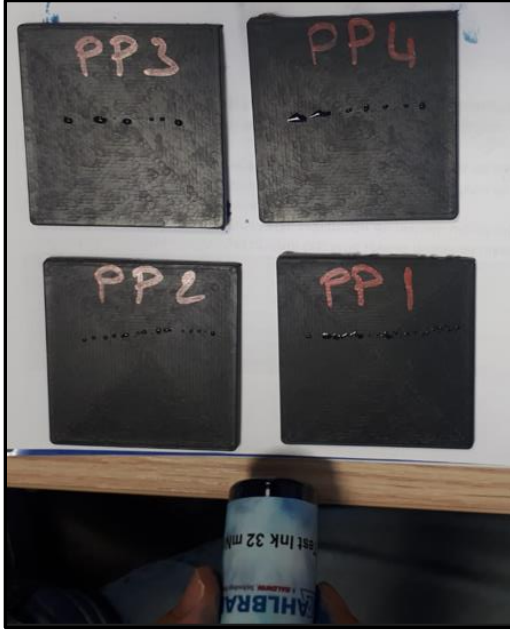
Su temas açıları, ABSP işlemi uygulanmadan önce ve sonra fotoğraflanmıştır. Açı değerleri, ImageJ yazılımı kullanılarak hassas şekilde hesaplanmıştır. Şekil 3.4'te, plazma işlemi görmemiş PP malzeme üzerinde “su temas açısı ölçümü” gösterilmiştir.



**Şekil 3.4.** Plazma işlemi görmemiş PP malzeme üzerinde örneklenmiş su temas açısı ölçümü

#### 3.3.2 Test mürekkebi yöntemi ile yüzey enerjisi ölçümleri

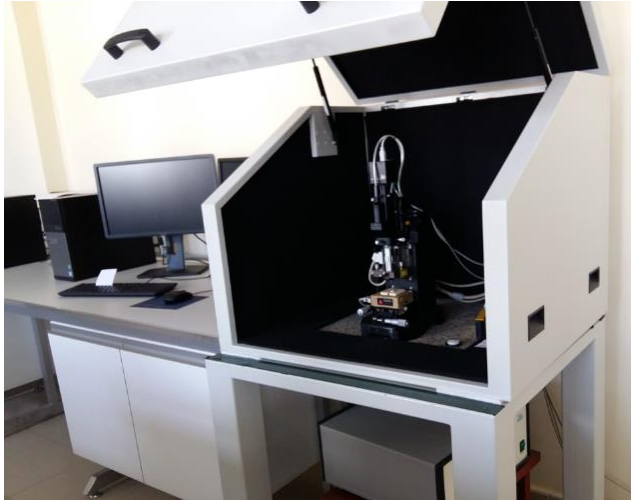
Üçer adet test numunesi yüzeyine, 1,5 ve 2,5 mm mesafelerden, 1 cm/s hızda plazma uygulanarak test mürekkebi sürülmüştür. Plazma uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin yüzey enerjileri 30-52 mN/m aralığında yüzey enerjisine sahip, Ahlbrandt marka mürekkep test seti kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.5).



**Şekil 3.5.** Yüzey gerilimi ölçümü

### **3.4 Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri**

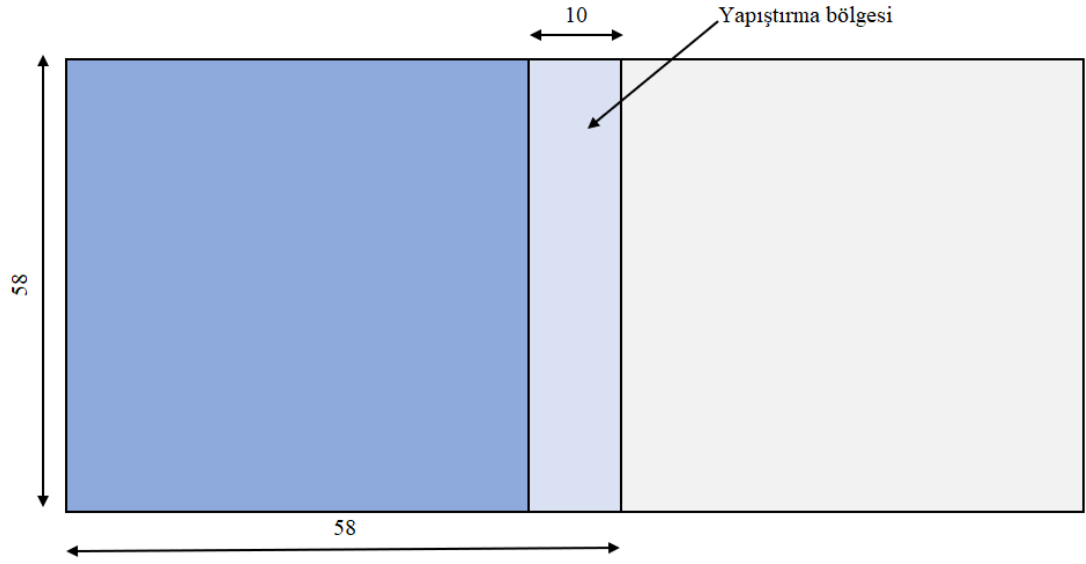
Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri, atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.6).



**Şekil 3.6.** Atomik kuvvet mikroskobu (AFM)

### 3.5 Deney Numunelerinin Yapıştırılması

ABSP yüzey aktivasyonu sonrası yapışma mukavemetindeki değişimlerin anlaşılabilmesi için, deney numunelerinin 10 mm x 58 mm alana sahip yüzeyleri, 2 farklı tip yapıştırıcı (G-Force Erde ve Marocol) kullanılarak birbirlerine yapıştırılmıştır (numunelerin yapıştırılan bölgesi Şekil 3.7’de gösterilmiştir). Deneylerde kullanılan yapıştırıcılar ile ilgili teknik detaylar Çizelge 3.2’de belirtilmiştir. Yapıştırıcılar, yaşlanma etkilerinden kaçınmak için, plazma işleminden hemen sonra uygulanmıştır ve homojen yapışma sağlanması için, numunelerin yapışma bölgelerine kuvvet uygulanarak çekme deneyleri öncesinde 48 saat bekletilmiştir.



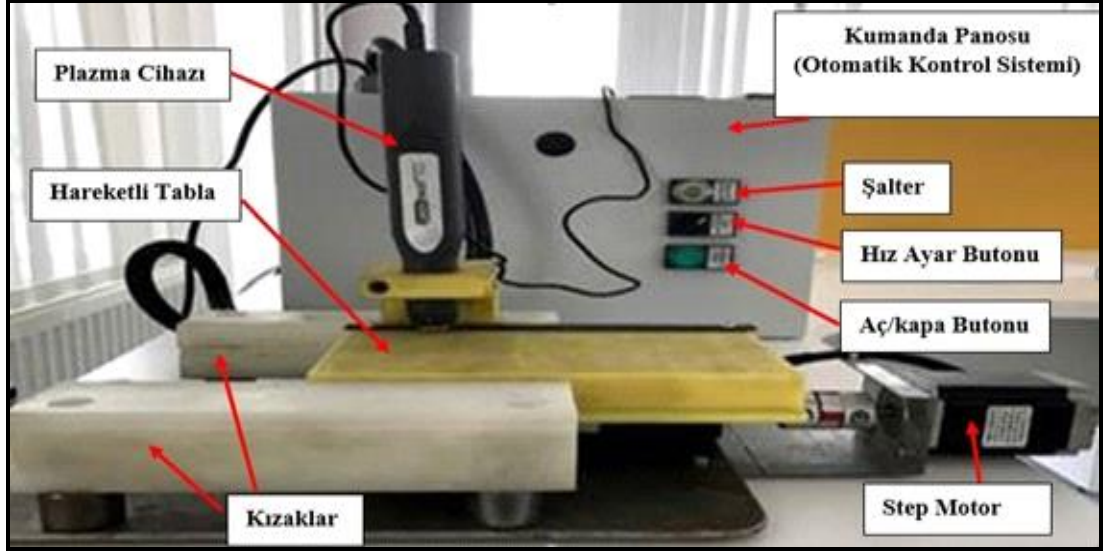
Şekil 3.7. Deney numunelerinin yapıştırma bölgesi

**Çizelge 3.2.** Poliüretan bazlı Marocol ve Metilmetakrilat bazlı G-Force Erde yapıştırıcıların teknik özellikleri

<b>YAPIŞTIRICI</b>	<b>MAROCOL 18576 A + HARDENER 4300B</b>	<b>G-FORCE ERDE</b>
Uygulama Koşulları	+15/+25 °C ve %40-60 Bağıl Nem	Oda Şartları
Karışım Oranı	100:32:00	01:01
Kürlenme Süresi	Oda Şartlarında 24 Saat	24 saat
Presleme Süresi	8 saat (0,1-1 kg/cm <sup>2</sup> )	-----
Çalışma Sıcaklığı	-30/+90 °C	-30/+200 °C
İlk Tutma Süresi	-----	3-5 dakika
Fonksiyonel Donma	-----	1 saat

### **3.6 Deney Numunelerine Plazma İşlemi Uygulanması**

Plazma uygulamasının gerçekleştirildiği test cihazı, standart bir ekipman olmayıp, üzerine Piezobrush PZ2 plazma cihazının monte edildiği, tarafımızca tasarlanmış ve üretilmiştir. Mekanik aksam, metal bir plaka üzerine monte edilmiş olan, poliamidten (PA) imal edilmiş, bir step motorun dairesel hareketiyle 3 farklı devirde dönebilen bir vidalı mil marifetiyle, iki poliyamit (PA) yatak üzerinde aksel hareket edebilen bir tabla ve aparat düzlemine dik olarak konumlandırılmış, plazma cihazının aparat düzlemine olan mesafesinin ayarlanabildiği bir yataktan oluşmuştur. Cihazın hız kontrolü, otomatik kontrol sisteminin detay bileşenlerini içeren bir kumanda panosu ile sağlanmaktadır (Şekil 3.8).



**Şekil 3.8.** Plazma işlem hızı kontrol cihazı

Plazma aktivasyon işleminde mesafe ve hız değişkeni deneysel planı Çizelge 3.3'te verilmiştir. Plazma işleminin yüzeye etkilerini inceleyebilmek için 3 farklı hız grubu ve 2 farklı mesafe seçilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Değişken mesafelerden ve farklı işletme hızlarında gerçekleştirilen plazma aktivasyon deney planı

Plazma Parametreleri	Parametre Değerleri		
Hız (cm/s)	0,5	1	1,5
Mesafe (mm)	1,5		2,5

### 3.7 Deney Numunelerine Çekme Testi Uygulanması

Yapıştırma işlemi sonrasında çekme testleri, ölçüleri Şekil 3.7'de verilen üçer adet test numunesi üzerinden, EN ISO 6892-1 standardında anlatılan yöntemle, test numunelerinin 5 mm/dak. hızla çekilmesiyle, oda sıcaklığı ve %50 bağıl nem koşullarında gerçekleştirilmiş ve plazma uygulamasının yapışma mukavemetine etkisi incelenmiştir. Çekme testleri, Kejion KJ-1065A model 500 kg yük kapasiteli universal kopma mukavemeti test cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9).



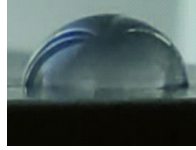
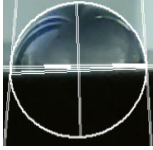

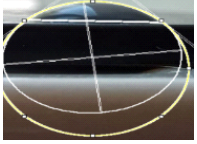
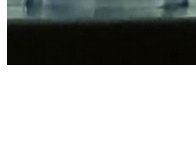
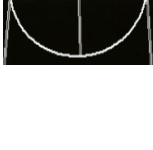
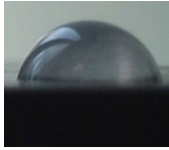
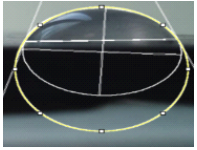

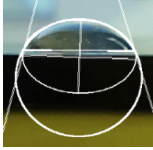

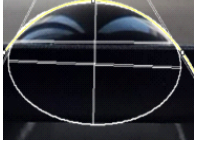
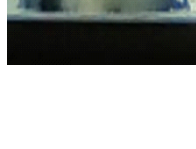
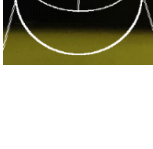

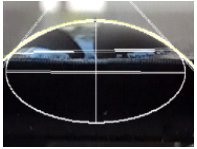
**Şekil 3.9.** KJ-1065A model çekme test cihazı

## 4 BULGULAR ve TARTIŞMA

### 4.1 Temas Açısı Ölçümü Sonuçları

Yüzey aktivasyonunu ölçmek için, PP ve POM malzemelere 1,5 ve 2,5 mm mesafelerinden, 1 cm/s hızda plazma uygulanarak etkileri incelenmiştir. Çizelge 4.1’de su temas açılarındaki değişim verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** PP ve POM malzeme üzerinde, plazma işlemi öncesi ve sonrası yapılan su temas açısı ölçümleri

Malzeme/ Mesafe	Plazma Öncesi Su Damlası Formu	Temas Açısı Ölçümü	Sonuç	Plazma Sonrası Su Damlası Formu	Temas Açısı Ölçümü	Sonuç
PP-1,5 mm			80,8 °			40,4 °
PP-2,5 mm						73,8 °
POM- 1,5 mm			61,9 °			44,1 °
POM- 2,5 mm						33,9 °

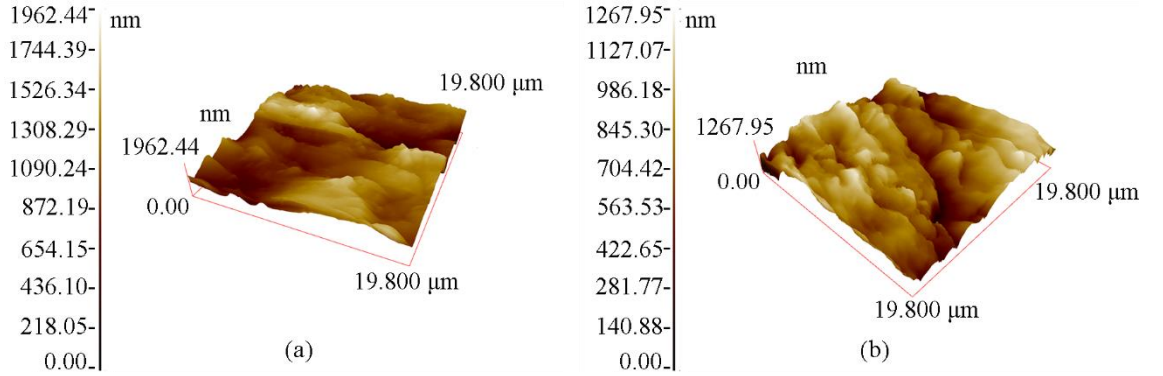
Plazma işlemi görmemiş PP yüzeyleri üzerinde yapılan su damlası testlerinde, su temas açısı 80,80° ölçülmüştür ve bu değer, 1,5 mm mesafeden 1 cm/s hızla plazma işlemi uygulandıktan sonra 40,40° olmuştur. Mesafeyi 2,5 mm’ye artırdıktan sonra temas açısındaki azalma 73,77°ye gerilemiştir. Aynı şekilde işlem görmemiş POM yüzeyi üzerinde su temas açısı 61,90° iken, 1,5 mm mesafe ve 1 cm/s hızda plazma uygulaması sonrası, 44,10°ye düşmüştür. Plazma işlem mesafesi ise 2,5 mm olarak ayarlandığında bu değer 33,90°ye gerilemiştir.

## 4.2 Yüzey Enerjisi Ölçümü Sonuçları

Yüzey enerjisi ölçümleri için yapılan özel mürekkep testlerinde ise, 1,5 mm mesafeden 1 cm/s hızda plazma işlemi görmüş ve plazma işlemi görmemiş PP ve POM malzemeleri kullanılmıştır. Bu testlere göre plazma işleminden önce 32 mN/m'den az yüzey enerjisine sahip olan PP ve POM deney numuneleri, plazma işleminden geçtikten sonra yüzey enerjileri, PP numunelerde 40-48 mN/m aralığında, POM numunelerde 48-52 mN/m aralığında ölçülmüştür.

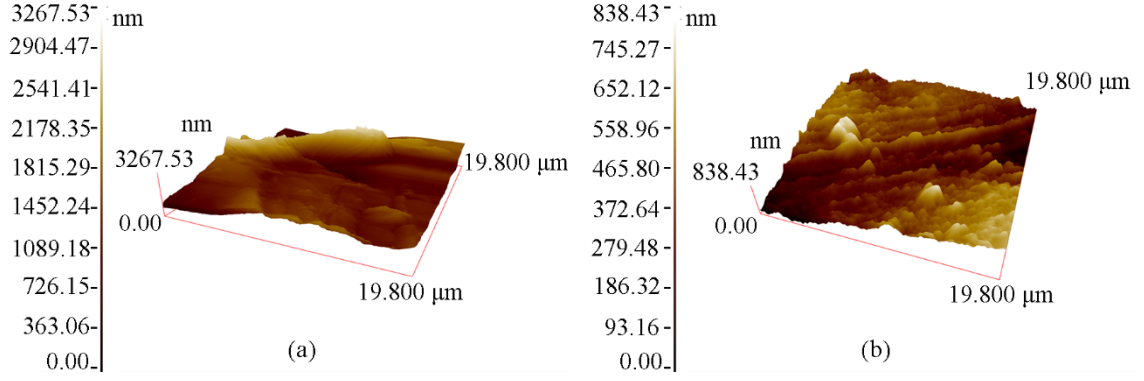
## 4.3 Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü Sonuçları

Atomik kuvvet mikroskobu kullanılarak yapılmış yüzey pürüzlülüğü ölçümleri PP ve POM malzeme için Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. İncelenen PP ve POM yüzeyleri 1,5 mm mesafeden 1 cm/s hızla ABSP işlemine tabi tutulmuştur.



**Şekil 4.1. a)** ABSP uygulamasından önce **b)** ABSP uygulamasından sonra PP'nin AFM yüzey görüntüleri





**Şekil 4.2. a)** ABSP uygulamasından önce **b)** ABSP uygulamasından sonra POM'un AFM yüzey görüntüleri

AFM (Atomic Force Microscope) ile yapılan ölçümlerde yüzey pürüzlülük değerleri hem PP hem de POM malzemede ABSP uygulamasından sonra artış göstermektedir. ABSP uygulamasından önce 152 nm ölçülen PP ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, ABSP uygulamasından sonra 234 nm bulunmuştur. POM malzemede ABSP uygulamasından önce 97 nm ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü, ABSP uygulamasından sonra 303 nm olmuştur.

#### 4.4 Çekme Testi Sonuçları

Birbirine yapıştırılmış PP ve POM malzeme (Şekil 4.3) yüzeylerine 3 farklı hız grubunda, 1,5 mm ve 2,5 mm mesafeden ABSP ile yüzey aktivasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 4.3.** Çekme testi için hazırlanmış çekme testi numuneleri

Yapışma bağı kopma dayanımı testlerinden sonra dijital kamera ile fotoğraflanan yapışma yüzeyleri Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de gösterilmiştir.

Görüldüğü üzere yüzeyde plazma işlemi olmadan PP malzemedeki yapılan yapıştırılmalarda Maracol yapıştırıcı yüzeyde düzgün yayılmamaktadır. Düşük hız ve düşük mesafede yapılan plazma işleminden sonra Maracol yapıştırıcı yüzeyde düzgün olarak yayılmaktadır. Plazma mesafesi ve hız arttıkça yayılma hataları oluşmaktadır.



**Şekil 4.4.** Farklı hız ve mesafede plazma ile işlenmiş, Maracol yapıştırıcı ile bağlanmış PP numune çiftleri yüzeyleri yapışma bölgeleri



**Şekil 4.5.** Farklı hız ve mesafede plazma ile işlenmiş, G-Force Erde yapıştırıcı ile bağlanmış PP numune çiftleri yüzeyleri yapışma bölgeleri

G-Force Erde yapıştırıcı ile PP numunelerle yapılan uygulamalarda, plazma görmemiş ve yüksek hız/yüksek mesafede plazma görmüş parçalarda yapışma elde edilememiş ve yapışma yüzeylerinde tam fonksiyonel donma olmamıştır. Diğer plazma işlemi gruplarında tam fonksiyonel donma gerçekleşmiştir. Şekil 4.5'te görüleceği gibi, yapıştırıcı, düşük mesafe ve düşük hızda yapılan plazma işleminden sonra düzgün dağılmıştır. Plazma hızı ve mesafesi arttıkça yayılma hataları görülmektedir. Bu yayılma hataları da yapışma mukavemetinin düşmesine sebebiyet verebilmektedir.



**Şekil 4.6.** Farklı hız ve mesafede plazma ile işlenmiş, Maracol yapıştırıcı ile bağlanmış POM numune çiftleri yüzeyleri yapışma bölgeleri

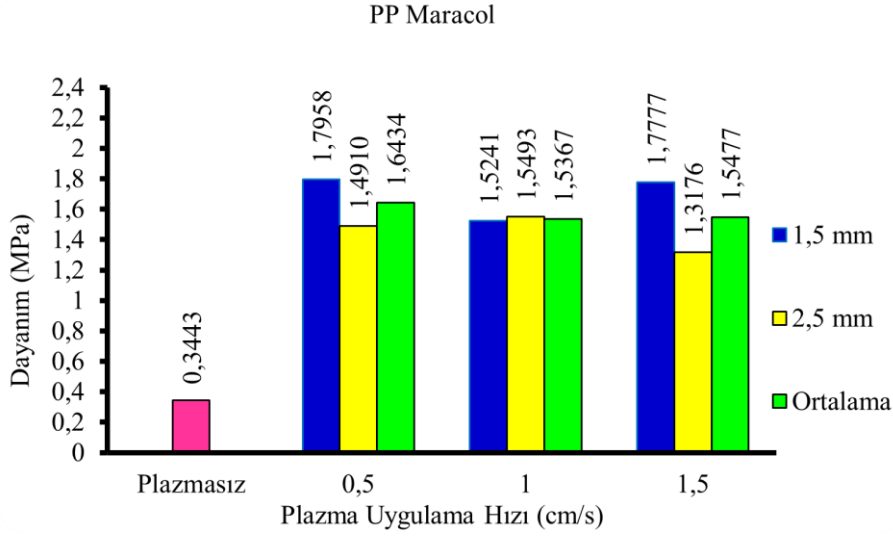
POM malzemede yapılan Maracol yapıştırıcı uygulamalarında, yapıştırıcının numune çiftlerinden birinin üzerinde toplandığı görülmüştür. Plazma işleminden sonra, karşılıklı bölgelerde yapıştırıcılar görülmektedir. Plazma işlem hızının ve mesafesinin artmasından sonra yapıştırıcı yayılma hataları görülmektedir (Şekil 4.6).



**Şekil 4.7.** Farklı hız ve mesafelerde plazma ile işlenmiş, G-Force Erde yapıştırıcı ile bağlanmış POM numune çiftleri yüzeyleri yapışma bölgeleri

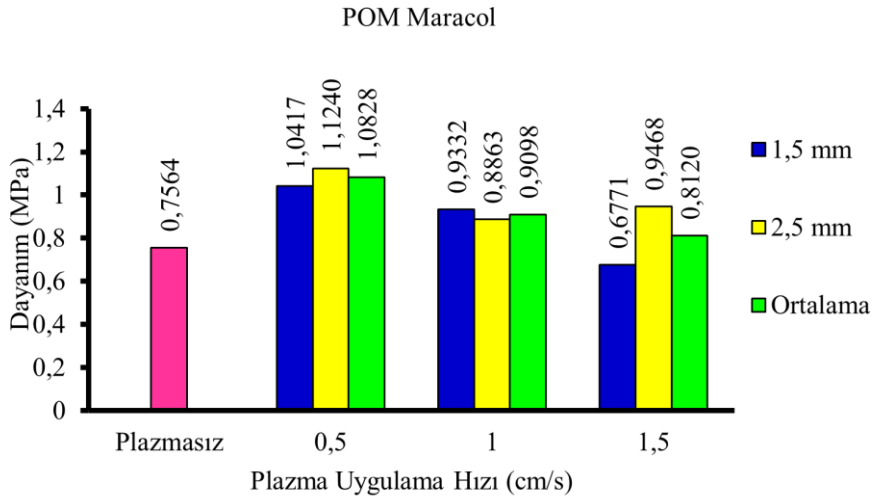
POM malzemede, 2,5 mm mesafe ve 1,5 cm/s hızda yapılan plazma işlemi ve G-Force Erde yapıştırıcı uygulamasından sonra, iki günlük kürlenme süresine rağmen, yapıştırıcı fonksiyonel donmayı sağlayamamış ve çekme testi yapılamamıştır. Bu yapıştırıcı ile gerçekleştirilen diğer mesafe ve hızlardaki uygulamalarda, (yayıma hataları Şekil 4.7’de görüleceği üzere) her plazma hızı ve mesafesi için fonksiyonel donma sağlanmıştır.

PP ve POM malzemelerindeki Maracol yapıştırıcı uygulaması için çekme testi sonuçları Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da, G-Force Erde yapıştırıcı uygulamasının çekme testi sonuçları Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.



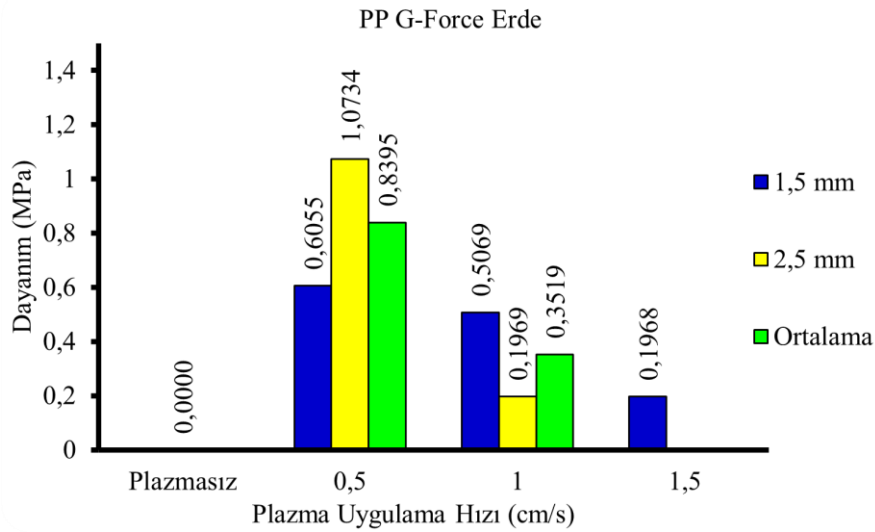
**Şekil 4.8.** PP malzemede Maracol yapıştırıcı ile yapılan uygulamaların çekme testi sonuçları

Şekil 4.8’deki çekme testi sonuçlarından da görüleceği üzere, üç plazma işlemi uygulama hızı ve iki plazma uygulama mesafesinde de yapışma dayanımının arttığı, plazma işlemi görmemiş test numuneleriyle kıyaslandığında, 0,5 cm/s hız, 1,5 mm mesafede 1,7957 MPa yapışma dayanımı değeri ve %421,16 gibi yüksek yapışma dayanımı artış oranına erişebildiği gözlenmiştir.



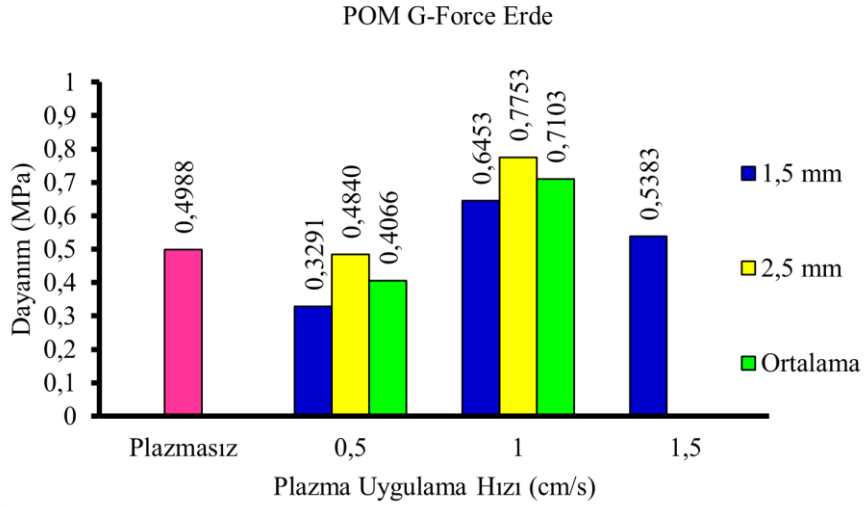
**Şekil 4.9.** POM malzemede Maracol yapıştırıcı ile yapılan uygulamaların çekme testi sonuçları

Şekil 4.9'daki çekme testi sonuçlarından da görüleceği üzere, (1,5 cm/s uygulama hızı ve 1,5 mm uygulama mesafesinde gerçekleştirilen plazma işlemi hariç) üç plazma işlemi uygulama hızı ve iki plazma uygulama mesafesinde de yapışma dayanımının arttığı, plazma işlemi görmemiş test numuneleriyle kıyaslandığında, 1,1240 MPa yapışma dayanımı değeri ve %48,60 yapışma dayanımı artış oranına erişebildiği gözlenmiştir. Plazma işlemi görmemiş numuneler üzerinde yapılan deneylerde değer alınamamıştır.



**Şekil 4.10.** PP malzemedeki G-Force ERDE yapıştırıcı ile yapılan uygulamaların çekme testi sonuçları

Şekil.4.10'daki çekme testi sonuçlarından da görüleceği üzere, üç plazma işlemi uygulama hızı ve iki plazma uygulama mesafesinde de yapışma dayanımının arttığı, plazma işlemi görmemiş test numuneleriyle kıyaslandığında, 2,5 mm mesafe ve 0,5 cm/s hızda gerçekleştirilen uygulamada maksimum 1,0734 MPa yapışma dayanımı değerine ulaşabildiği gözlenmiştir.



**Şekil 4.11.** POM malzemede G-Force ERDE yapıştırıcı ile yapılan uygulamaların çekme testi sonuçları

Şekil 4.11'deki çekme testi sonuçlarından da görüleceği üzere, (0,5 cm/s hızda gerçekleştirilen plazma uygulaması hariç) iki plazma işlemi uygulama hızı ve iki plazma uygulama mesafesinde de yapışma dayanımının arttığı, plazma işlemi görmemiş test numuneleriyle kıyaslandığında, 0,7753 MPa yapışma dayanımı değeri ve %54,43 yapışma dayanımı artış oranına erişebildiği gözlenmiştir.



## 5 SONUÇ

Bu çalışmada, atmosferik basınçlı soğuk plazma (ABSP) uygulaması ile PP ve POM malzemelerin yüzey gerilim değerlerinin artırılabilmesi ve bunun sonucu olarak da bu malzemelerin yapıştırma bağlarının dayanımlarının iyileştirilmesi konusu deneysel olarak araştırılmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışmaların ardından elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- ABSP uygulanmamış PP yüzeyleri üzerinde gerçekleştirilen su damlası testlerinde, su temas açısı  $80,80^\circ$  ölçülmüştür ve bu değer 1,5 mm mesafeden 1 cm/s hızla plazma işlemi gerçekleştirildikten sonra %50 azalarak  $40,40^\circ$  olmuştur. Mesafeyi 2,5 mm'ye artırdıktan sonra temas açısı  $73,77^\circ$  olarak gerçekleşmiş ve temas açısındaki düşüş %8,7 olmuştur. Aynı şekilde, plazma işlemi görmemiş POM yüzeyi üzerinde, plazma uygulaması görmemiş test numunelerinde su temas açısı  $61,90^\circ$  iken, 1,5 mm mesafe, 1 cm/s hızda plazma uygulaması gerçekleştirildiğinde temas açısı %28,80 azalarak,  $44,10^\circ$ 'ye düşmüştür. Plazma işlem mesafesi ise 2,5 mm olarak ayarlandığında, aynı uygulama hızında temas açısı, plazma uygulaması gerçekleştirilmemiş test numunelerine nazaran %45,20 azalarak,  $33,90^\circ$ 'ye düşmüştür. Sonuç olarak; 1 cm/s hızında gerçekleştirilen ABSP uygulamasının yüzey ıslanabilirliğini artırdığı dolayısıyla temas açısını düşürdüğü, bu etkinin (POM malzemede 1,5 mm mesafeden gerçekleştirilen uygulama dışında (POM malzemede 2,5 mm uygulama mesafesinde, 1,5 mm uygulama mesafesine göre daha düşük temas açısı tespit edilmiştir)) düşük uygulama mesafesinde daha etkin olduğu belirlenmiştir.
- Yüzey enerjisi ölçümleri özel mürekkep testleri ile gerçekleştirilmiş, testler sonucunda ABSP işlemi görmemiş PP ve POM malzemelerde yüzey enerjisi 32 mN/m değerinden daha düşük ölçülmüşken, 1,5 mm mesafeden 1 cm/s hızda plazma işlemi görmüş PP ve POM deney numunelerinde, plazma işleminden sonra, PP numunelerde 40-48 mN/m aralığında, POM numunelerde 48-52 mN/m aralığında ölçülmüş ve plazma işlemi sonrasında yüzey enerjisi değerinde, PP malzeme için yaklaşık %40, POM malzeme için yaklaşık %60 oranında bir artış görülmüş ve ABSP uygulamasının yüzey enerjisini kayda değer oranda artırdığı tespit edilmiştir.

- PP ve POM malzemede ABSP uygulamasından sonra yüzey pürüzlülüğü artış göstermektedir. ABSP uygulamasından önce AFM ile 152 nm ölçülen PP ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri, uygulama sonrası 234 nm bulunmuş, yaklaşık %154 artış tespit edilmiştir. Ayrıca ABSP işleminden önce numune yüzeylerinde, pürüzlerin dağılımında asimetrik dağılım olduğu tespit edilmiş, işlemden sonra tam simetrik duruma yaklaştığı gözlemlenmiştir. Bu durum homojen bir yapılaşma için gerekli ortamı sağlamaktadır. POM malzemede ABSP uygulamasından önce, AFM ile yapılan ölçümde, 97 nm ölçülen ortalama yüzey pürüzlülüğü, ABSP uygulamasından sonra %312 artışla 303 nm değerine ulaşmıştır.

Yapıştırılan test numunelerinin çekme testi sonuçlarında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Maracol yapıştırıcı ile yapıştırılan, plazma işlemi görmemiş PP deney numunelerinde yapışma dayanımı, plazma işlemi sonrası tüm hız ve mesafelerde artmıştır.

0,5 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde 1,7958 MPa dayanım (%421,16 artış), 2,5 mm uygulama mesafesinde 1,4910 MPa dayanım (%333,05 artış), ortalamada 1,6434 MPa dayanım (%377,31 artış) elde edilmiştir.

1,0 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde 1,5241 MPa dayanım (%347,57 artış), 2,5 mm uygulama mesafesinde 1,5493 MPa dayanım (%349,99 artış), ortalamada 1,5367 MPa dayanım (%346,31 artış) elde edilmiştir.

1,5 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde 1,777 MPa dayanım (%416,32 artış), 2,5 mm uygulama mesafesinde 1,3176 MPa dayanım (%282,69 artış), ortalamada 1,5477 MPa dayanım (%349,52 artış) elde edilmiştir.

En yüksek artış, 0,5 cm/s hız ve 1,5 mm uygulama mesafesinde (1,7958 MPa dayanım, %421,16 artış), en düşük artış ise, 1,5 cm/s hız ve 2,5 mm uygulama mesafesinde (1,3176 MPa dayanım, %282,69 artış) elde edilmiştir.

- Maracol yapıştırıcı ile yapıştırılan, plazma işlemi görmemiş POM deney numunelerinde yapışma dayanımı, 1,5 cm/s hız ve 1,5 mm uygulama mesafesi hariç, plazma işlemi sonrası tüm hız ve mesafelerde artmıştır.

0,5 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde 1,0417 MPa dayanım (%37,72 artış), 2,5 mm uygulama mesafesinde 1,1240 MPa dayanım (%48,60 artış), ortalamada 1,0828 MPa dayanım (% 43,15 artış) elde edilmiştir.

1,0 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde 0,9332 MPa dayanım (%23,37 artış), 2,5 mm uygulama mesafesinde 0,8863 MPa dayanım (%17,17 artış), ortalamada 0,9098 MPa dayanım (%20,28 artış) elde edilmiştir.

2,5 cm/s hızda; 1,5 uygulama mm mesafesinde 0,6771 MPa dayanım (%10,48 azalma), 2,5 mm uygulama mesafesinde 0,9468 MPa dayanım (%33,28 artış), ortalamada 0,8120 MPa (%7,35 artış) elde edilmiştir.

En yüksek artış, 0,5 cm/s hız ve 2,5 mm uygulama mesafesinde (1,1240 MPa dayanım, %48,60 artış), en düşük artış ise, 2,5 cm/s hız ve 2,5 mm uygulama mesafesinde (0,6771 MPa dayanım, %10,48 artış) elde edilmiştir. Sadece 2,5 cm/s hız ve 2,5 mm uygulama mesafesinde, 0,6771 MPa dayanım ile yapışma dayanımında %10,48 azalma görülmüştür.

- G-Force Erde yapıştırıcı ile yapıştırılan, plazma işlemi görmemiş PP deney numunelerinde yapışma dayanımı, plazma işlemi sonrası tüm hız ve mesafelerde artmıştır. Plazma işlemi görmeden yapıştırılan deney numunesinde, çekme testi sonunda, yapıştırıcıda tam donma gerçekleşmediğinden, test cihazında herhangi bir değer okunamamıştır.

0,5 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde 0,6055 MPa dayanım, 2,5 mm uygulama mesafesinde 1,0734 MPa dayanım, ortalamada 0,8395 MPa dayanım elde edilmiştir.

1,0 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde 0,5069 MPa dayanım, 2,5 mm uygulama mesafesinde 0,1969 MPa dayanım, ortalamada 0,3519 MPa dayanım elde edilmiştir.

- 1,5 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde 0,1968 MPa dayanım elde edilmiş, aynı hızda, 2,5 mm uygulama mesafesinde, yapıştırıcıda fonksiyonel donma gerçekleşmediğinden, test cihazında herhangi bir değer okunamamıştır.

En yüksek artış, 0,5 cm/s hız ve 2,5 mm uygulama mesafesinde (1,0734 MPa dayanım), en düşük artış ise, 1,5 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde 0,1968 MPa dayanım elde edilmiştir. 1,5 cm/s hız ve 2,5 mm uygulama mesafesinde, yapıştırma dayanımında herhangi bir iyileşme gözlenmemiştir.

- G-Force Erde yapıştırıcı ile yapıştırılan, plazma işlemi görmemiş POM deney numunelerinde yapışma dayanımı, plazma işlemi sonrası farklı uygulama hızları için, farklı sonuçlar vermiş, 1,0 cm/s ve 1,5 cm/s uygulama mesafelerinde yapışma dayanımı artarken, 0,5 cm/s uygulama mesafesinde yapışma dayanımı düşmüştür.

0,5 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde 0,3291 MPa dayanım (%34,02 düşüş), 2,5 mm uygulama mesafesinde 0,4840 MPa dayanım (%2,97 düşüş), ortalamada 0,4066 MPa dayanım (%18,48 düşüş)) elde edilmiştir.

1,0 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde 0,6453 MPa dayanım (%29,37 artış), 2,5 mm uygulama mesafesinde 0,7753 MPa dayanım (%55,43 artış), ortalamada 0,7103 MPa dayanım (%42,40 artış) elde edilmiştir.

1,5 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde 0,5383 MPa dayanım (%7,92 artış) elde edilmiş, 2,5 mm uygulama mesafesinde, yapışma dayanımında gelişme gözlenmemiştir.

En yüksek artış, 1,0 cm/s hız ve 2,5 mm uygulama mesafesinde (0,7753 MPa dayanım, %55,43 artış), en düşük artış ise, 1,5 cm/s hızda; 1,5 mm uygulama mesafesinde (0,5383

MPa dayanım, %7,92 artış) elde edilmiştir. 0,5 cm/s hızda gerçekleştirilen uygulamalarda, yapıştırma dayanımında herhangi bir iyileşme gözlenmemiştir.

AFM görüntülemeleri, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri, su temas açısı ölçümleri ve mürekkep yüzey gerilimi testleri göstermektedir ki her iki malzemenin de yüzey enerjisi ve pürüzlülük değerleri ABSP işlemi görmüş parçalarda, ABSP işlemi görmemiş parçalara oranla daha yüksektir. Yüzey enerjisinin ve yüzey pürüzlülüğünün artması sonucunda yapıştırıcıların yüzeyde daha iyi yayılım gösterdiği, yapışma hatalarının azaldığı çekme testi sonrası yüzey görüntülerinden de anlaşılabilir. Ayrıca, planlı şekilde gerçekleştirilen çekme deneylerinin sonucunda, plastik malzeme yüzeylerine atmosferik basınçlı soğuk plazma uygulamasının, yüzey enerjisini dolayısıyla yüzey yapışma mukavemetini önemli oranda artırdığı ve ABSP yönteminin diğer yöntemlere (mekanik aşındırma, kimyasal aşındırma vb.) ciddi bir alternatif oluşturabileceği gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, su temas açısı, yüzey enerjisi ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ile paralellik göstermektedir.

Plazma işlem mesafesi ve hızının artmasıyla ABSP uygulamasının etkilerinde düşüş görülebildiği gibi bazı durumlarda yüksek işlem hızı veya mesafesinde daha iyi sonuçlar çıkabilmektedir. Bu durumu su temas açısı ölçümlerinde de gözlemek ve literatürde benzer sonuçlar (bkz. 2.5 Kaynak Araştırması (Martí'neza vd. (2007), Navaneetha vd. (2008), Mandolino vd. (2019)) elde edilen çalışmalara rastlamak mümkündür.

ABSP uygulaması; çevreci bir yöntem olması, uygulama kolaylığı, uygulama hızı, ilave malzeme sarfiyatına neden olmaması, ekonomik olması, olumsuz kimyasal etkisi olmaması, uygulayıcı açısından iş güvenliği ve (uzun vadeli kullanımda) meslek hastalığı riski oluşturmaması, emisyon problemi olmaması gibi avantajları nedeniyle, özellikle, günümüzde otomotiv sektörü gibi plastik kullanımının araç ağırlığının yaklaşık %10'u olan, kullanım oranı gün geçtikçe artan ve yıllık üretim miktarının milyon adetler düzeyinde gerçekleştiği bir sektörde oldukça yaygın bir kullanım alanı bulabilir.

Değişik hız ve mesafelerde uygulama yapabilme avantajı, farklı yapışma mukavemeti elde edebilme imkânı sunduğundan, farklı yapışma mukavemeti talep edilen proseslerde proses tasarımcılarına büyük kolaylıklar sağlayacaktır.

Ayrıca;

- kullanılan cihazın boyutları ve geometrisi itibarıyla, manuel kullanım veya (seri üretim bandı mantığı ile çalışan) otomasyonlu sistemlerde kullanım uygunluğu,
- farklı özellikte yapıştırıcıların kullanıldığı üretim operasyonlarında da plastik malzeme yüzeylerinde yapışma mukavemetini artırabiliyor olması,
- yüzey enerjisi düşük plastiklerde etkin olması,
- cihazın kullanımında sarf edilen enerjinin çok düşük düzeyde olması,
- cihazın hacim olarak küçük, hafif ve ergonomik olması,
- manuel uygulamalarda, uygulayıcı için özel eğitim gerektirmeyecek düzeyde basit ve kolay kullanımı,
- proste, “astar kullanımı” gibi ilave işlem gerektirmemesi dolayısıyla astar maliyeti ve astar uygulama süresinden kaynaklanan kaybın söz konusu olmaması gibi nedenlerden dolayı otomotiv vb. üretim süreçlerinde atmosferik basınçlı soğuk plazmanın kullanımının uygun olacağı düşünülmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, ABSF uygulamasının;

- farklı tez parametreleriyle (daha yüksek/düşük işlem hızı ve uygulama mesafeleri ile), plastik malzemeler üzerinde işlem parametrelerinin etkisi,
- seri üretimde, farklı yapıştırma proseslerinde, astar kullanımı gibi uygulamalara alternatif olarak kullanılabilirliği ve seri üretimdeki performansı,
- farklı malzeme yüzeylerinde gerçekleştirilen uygulamalarda yüzey morfolojisinin değişimine etkisi,
- farklı plastik ve kompozit malzeme yüzeylerine uygulandığında, malzemenin yüzey enerjisine ve yapışma performansına etkisi,
- otomotiv, havacılık, gıda, tekstil, tarım gibi üretime dönük sektörlerin yanında, sağlık ve kozmetik gibi değişik sektörlerde daha yaygın şekilde uygulanabilirliği araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Abou Rich, S., Dufour, T., Leroy, P., Reniers, F., Nittler, L., & Pireaux, J.-J. (2015). LDPE surface modifications induced by atmospheric plasma torches with linear and showerhead configurations. *Plasma Processes and Polymers*, 12(8), 771–785. <https://doi.org/10.1002/ppap.201400097>
- Akçalı K., Oktay bulut M. (2012). Plazma Teknolojilerinin Yün Elyafı Üzerindeki Etkileri Üzerine Bir İnceleme. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2(1), 65-72.
- Akshiev, Y., Grushin, M., Dyatko, N., Kochetov, I., Napartovich, A., Trushkin, N., Duc, T. M., Descours, S. (2008). Studies on cold plasma–polymer surface interaction by example of PP- and PET-films. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 41(23), 235203. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/41/23/235203>
- Akkurt, S. (1991). *Plastik Malzeme Bilgisi*. Birsen Yayınevi
- Altuncu, E., Üstel, F., Esen, S. G., Karayel, E. (2016). Influence of oxygen and nitrogen plasma treatment on polypropylme polypropyleme (PP) bumper surface. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 77(1), 18-23.
- Anagreh, N., Dorn, L. (2005). Influence of low-pressure plasma treatment on adhesive bonding between polybutylene terephthalat (PBT) and aluminum. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 25(2), 165–172. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2004.06.003>
- Anagreh, N., Dorn, L., Bilke-Krause, C. (2008). Low-pressure plasma pretreatment of polyphenylene sulfide (PPS) surfaces for adhesive bonding. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 28(1-2), 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2007.03.003>
- Aydar, A. Y., Bağdathıoğlu N. (2013). Yemeklik yağların yüzey gerilimi ve temas açılarının belirlenmesinde uygulanan yöntemler. *Academic Food Journal*, 12(1), 108-114
- Baniya, H. B., Guragain, R. P., Baniya, B., Subedi, D. P. (2020). Cold Atmospheric Pressure Plasma Jet for the Improvement of Wettability of Polypropylene. *International Journal of Polymer Science*, 2020, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2020/3860259>
- Baniya, H. B., Guragain, R. P., Baniya, B., & Subedi, D. P. (2020). Experimental Study of Cold Atmospheric Pressure Plasma Jet and Its Application in the Surface Modification of Polypropylene. *Reviews of Adhesion and Adhesives*, 8(2), 1-14. <https://doi.org/10.7569/raa.2020.097304>
- Baniya, H. B., Guragain, R. P., Dhungana, S., Panta, G. P., Basnet, N., Sedhai, B., Baniya, B., Subedi, D. P. (2021). Generation and characterization of cold pressure plasma jet for surface modification of high-density polyethylene. *Journal of Nepal Physical Society*, 7(3), 41-46. <https://doi.org/10.3126/jnphysoc.v7i3.42190>
- Baniya1, H. B., Guragain, R. P., Subedi, D. P. (2021). Cold atmospheric pressure plasma technology for modifying polymers to enhance adhesion: A critical review. *Adhesion Adhesives*, 9(2), 269-307. <https://doi.org/10.7569/RAA.2021.097306>
- Baydar, U. (2016). *Polimer betonların yüzey yapışma özelliklerinin incelenmesi* (Tez No. 470806) [Yüksek lisans tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

- Carneiro, N., Souto, A. P., Silva, E., Marimba, A., Tena, B., Ferreira, H., Magalhaes, V. (2001). Dyeability of corona-treated fabrics. *Coloration Technology*, 117(5), 298–302. <https://doi.org/10.1111/j.1478-4408.2001.tb00079.x>
- Carrino, 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), 373–382. [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(01\)01221-3](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(01)01221-3)
- Carrino, L., Polini, W., & Sorrentino, L. (2002). Adhesion of polypropylene surfaces treated by cold plasma. SAE Technical Paper Series. <https://doi.org/10.4271/2002-01-2103>
- Černáková, L., Černák, M., Tóth, A., Mikulášová, M., Tomašková, M., Kováčik, D. (2015). Chitosan immobilization to the polypropylene nonwoven after activation in atmospheric - Pressure Nitrogen Plasma. *Open Chemistry*, 13(1), 457–466. <https://doi.org/10.1515/chem-2015-0055>
- De Geyter, N., Morent, R., Leys, C. (2008). Surface characterization of plasma-modified polyethylene by contact angle experiments and ATR-FTIR spectroscopy. *Surface and Interface Analysis*, 40(3-4), 608–611. <https://doi.org/10.1002/sia.2611>
- De Iorio, I., Leone, C., Nele, L., & Tagliaferri, V. (1997). Plasma treatments of polymeric materials and Al alloy for adhesive bonding. *Journal of Materials Processing Technology*, 68(2), 179–183. [https://doi.org/10.1016/s0924-0136\(96\)00025-8](https://doi.org/10.1016/s0924-0136(96)00025-8)
- Demirci, H. (2004). *Mühendislik Malzemeleri*. Aktüel Yayınları
- Diener Plasma. (2022, 1 Haziran). Diener Plasma Surface Technology. <https://www.relyon-plasma.com>
- Diren, T. Ş. (2018). *Atmosferik plazma işleminin naylon 66 örme kumaşın nem yönetim özelliklerine etkisi* (Tez No. 496452) [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Dowling, D. P., Tynan, J., Ward, P., Hynes, A. M., Cullen, J., Byrne, G. (2012). Atmospheric pressure plasma treatment of amorphous polyethylene terephthalate for enhanced heatsealing properties. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 35, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2012.01.025>
- Durmuş, A., Ülkü, S., GÜDEN, M., Otnar Ö. F. (2005). Kauçuk/metal yapışma mukavemetinin belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10(1), 33-39.
- Encinas, N., Abenojar, J., Martínez, M. A. (2012). Development of improved polypropylene adhesive bonding by abrasion and atmospheric plasma surface modifications. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 33, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2011.10.002>
- Encinas, N., Díaz-Benito, B., Abenojar, J., & Martínez, M. A. (2010). Extreme durability of wettability changes on polyolefin surfaces by atmospheric pressure plasma torch. *Surface and Coatings Technology*, 205(2), 396–402. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2010.06.069>
- Encinas, N., Dillingham, R. G., Oakley, B. R., Abenojar, J., Martínez, M. A., Pantoja, M. (2012). Atmospheric Pressure Plasma Hydrophilic Modification of a Silicone Surface. *The Journal of Adhesion*, 88(4-6), 321–336. <https://doi.org/10.1080/00218464.2012.659994>



- Esen, S.G., Altuncu, E., Üstel, F., Akpınar, S. (2016). Atmosferik plazma yüzey aktivasyonu işlemi ile farklı yüzey tarama hızlarının polipropilen yüzey ıslatma özelliklerine etkisi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 20(2), 307-315.
- Ferreira, F., Pinheiro, I., de Souza, S., Mei, L., Lona, L. (2019). Polymer Composites Reinforced with Natural Fibers and Nanocellulose in the Automotive Industry: A Short Review. *Journal of Composites Science*, 3(2), 51. <https://doi.org/10.3390/jcs3020051>
- Fizik Dersi. (2022, 1 Haziran) *Adezyon ve kohezyon nedir*. <https://fizikdersi.gen.tr/adezyon-kohezyon-nedir-tanim-ornekler>
- Gao, Z., Sun, J., Peng, S., Yao, L., Qiu, Y. (2009). Surface modification of a polyamide 6 film by He/CF<sub>4</sub> plasma using atmospheric pressure plasma jet. *Applied Surface Science*, 256(5), 1496–1501. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2009.09.010>
- Geçim, G. (2022, 1 Haziran). Yüzey gerilimi ve temas açısı ölçümü. <https://depo.btu.edu.tr>
- Gheorghiu, M., Arefi, F., Amouroux, J., Placinta, G., Popa, G., Tatoulian, M. (1997). Surface cross linking and functionalization of poly(ethylene terephthalate) in a helium discharge. *Plasma Sources Science and Technology*, 6(1), 8–19. <https://doi.org/10.1088/0963-0252%2F6%2F1%2F003>
- Gökalp, S. M., Aslan A., Öksüz L. (2012). Plazma Teknolojisi ve Kullanım Alanları. *Deri Bilim Dergisi*, 2(1), 8-16.
- Guild, F. J., Green, M. D., Stewart, R., Goodship, V. (2008). Air-plasma Pre-treatment for Polypropylene Automotive Bumpers. *The Journal of Adhesion*, 84(6), 530–542. <https://doi.org/10.1080/00218460802161574>
- Güleç, H. A. (2004). *Plazma polimerizasyonu ile modifiye yüzeyleride ıslanabilirlik ve yüzey enerji seviyesinin ölçümü* (Tez No. 155387) [Yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Iqbal, H. M. S., 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 and Adhesives*, 30(6), 418–424. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2010.02.0>
- İbrahimoglu, B., Yilmazoglu, Z., Karakaya, F. (2022). Position of plasma in the phase diagram. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 37(2), 1939-948. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.847346>
- Kaner, S. (2017). Plastik malzemelerin yapıştırılmasında yüzey işlemleri ve yaşlandırma etkisinin incelenmesi (Tez No. 474172) [Doktora tezi, Pamukkale Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Karahan, H. A. (2007). Atmosferik plazma kullanılarak doğal liflerinin yüzey özelliklerinin değiştirilmesi üzerine bir araştırma (Tez No. 202039) [Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Karahan, H. A., Özdoğan, E., Demir, A., Ayhan, H., Seventekin, N. (2009). Effects of atmospheric pressure effects of atmospheric pressure plasma treatments on certain properties of cotton. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, 17(2(73)), 19-22.
- Károly, Z., Kalácska, G., Zsidai, L., Mohai, M., Klébert, S. (2018). Improvement of adhesion properties of polyamide 6 and polyoxymethylene-copolymer by atmospheric old plasma treatment. *Polymers*, 10(12), 1380. <https://doi.org/10.3390/polym10121380>

- Kehrer, M., Duchoslav, J., Hinterreiter, A., Mehic, A., Stehrer, T., Stifter, D. (2020). Surface functionalization of polypropylene using a cold atmospheric pressure plasma jet with gas water mixtures. *Surface and Coatings Technology*, 384, 125170. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.125170>
- Kehrer, M., Rottensteiner, A., Hartl, W., Duchoslav, J., Thomas, S., Stifter, D. (2020). Cold atmospheric pressure plasma treatment for adhesion improvement on polypropylene surfaces. *Surface and Coatings Technology*, 126389. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126389>
- Kim, M. T., Kim, M. H., Rhee, K. Y., Park, S. J. (2011). Study on an oxygen plasma treatment of a basalt fiber and its effect on the interlaminar fracture property of basalt/epoxy woven composites. *Composites Part B: Engineering*, 42(3), 499–504. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2010.12.001>
- Kostov, K. G., Nishime, T. M. C., Castro, A. H. R., Toth, A., Hein, L. R. O. (2014). Surface modification of polymeric materials by cold atmospheric plasma jet. *Applied Surface Science*, 314, 367–375. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.07.009>
- Koyun, E. (2019). *Yapışma bağlantılı kompozit levhalar üzerinde çevresel şartların etkisi* (Tez No. 543166) [Yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Ku, J. H., Jung, I. H., Rhee, K. Y., Park, S. J. (2013). Atmospheric pressure plasma treatment of polypropylene to improve the bonding strength of polypropylene/aluminum composites. *Composites Part B: Engineering*, 45(1), 1282–1287. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.06.016>
- Kusano, Y. (2014). Atmospheric Pressure Plasma Processing for Polymer Adhesion: A Review. *The Journal of Adhesion*, 90(9), 755–777. <https://doi.org/10.1080/00218464.2013.804407>
- Kusano, Y., Mortensen, H., Stenum, B., Goutianos, S., Mitra, S., Ghanbari-Siahkali, A., Kingshottc, P., Sørensenb, B. F., Bindsv, H. (2007). Atmospheric pressure plasma treatment of glassy carbon for adhesion improvement. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 27(5), 402–408. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2006.09.011>
- Kutlu, A. E., Monno M., Bini R. (2005). Plazma ile kesme metoduna genel bir bakış. *Mühendis ve Makine*, 46(541), 21-29.
- Lai, J., Xue, J., Yan, S., Zhao, W., Wang, Y., Sunderland, B., Folkard, M., Michael, B. D. (2006). Study on hydrophilicity of polymer surfaces improved by plasma treatment. *Applied Surface Science*, 252(10), 3375-3379. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2005.05.038>
- Leahy, W., Barron, V., Buggy, M., Young, T., Mas, A., Schue, F., McCabe T., Bridge, M. (2001). Plasma surface treatment of aerospace materials for enhanced adhesive bonding. *The Journal of Adhesion*, 77(3), 215–249. <https://doi.org/10.1080/00218460108030739>
- Lee, H. R., Kim, D. J., Lee, K. H. (2001). Anti-reflective coating for the deep coloring of PET fabrics using an atmospheric pressure plasma technique. *Surface and Coatings Technology*, 142–144, 468–473. [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(01\)01137-9](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(01)01137-9)

- Leroux, F., Campagne, C., Perwuelz, A., & Gengembre, L. (2008). Polypropylene film chemical and physical modifications by dielectric barrier discharge plasma treatment at atmospheric pressure. *Journal of Colloid and Interface Science*, 328(2), 412–420. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.09.062>
- Mandolino, C., Lertora E., Gambaro, C. (2017). Influence of cold plasma treatment parameters on the mechanical properties of polyamide homogeneous bonded joints. *Surface and Coatings Technology*, 313, 222-229 <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.01.071>
- 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, 1484–1493. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.611-612.1484>
- Mandolino, C., Lertora, E., Gambaro, C., & Bruno, M. (2014). Improving adhesion performance of polyethylene surfaces by cold plasma treatment. *Meccanica*, 49(10), 2299–2306. <https://doi.org/10.1007/s11012-014-9993-y>
- Mandolino, C., Lertora, E., Gambaro, C., Pizzorni, M. (2019). Functionalization of neutral polypropylene by using low pressure plasma treatment: effects on surface characteristics and adhesion properties. *Polymers*, 11(2), 202. <https://doi.org/10.3390/polym11020202>
- Mandolino, C., Lertora, E., Genna, S., Leone, C., Gambaro, C. (2015). Effect of laser and plasma surface cleaning on mechanical properties of adhesive bonded joints. *Procedia CIRP*, 33, 458–463. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.06.054>
- Martínez, L., Álvarez, L., Huttel, Y., Méndez, J., Román, E., Vanhulsel, A., Verheyde, B., Jacobs, R. (2007). Surface analysis of NBR and HNBR elastomers modified with different plasma treatments. *Vacuum*, 81(11-12), 1489–1492. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2007.04.025>
- Mihçi, F. (2018). *Improvement of metal-epdm rubber adhesion by plasma surface modification* (Tez No. 496218) [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Morent, R., De Geyter, N., Leys, C., Gengembre, L., Payen, E. (2008). Comparison between XPS- and FTIR-analysis of plasma-treated polypropylene film surfaces. *Surface and Interface Analysis*, 40(3-4), 597–600. <https://doi.org/10.1002/sia.2619>
- Nair, R. S., Babu, B., Mushtaq, E. (2016). Cold Atmospheric Plasma in Dentistry. *Journal of Operative Dentistry and Endodontics*, 1(2), 82-86. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10047-0017>
- Nehra, V., Bhaumik, S., Mittal, L., Gulrajani, M., Dwivedi, H. K. (2005). Atmospheric pressure non-thermal plasma source and its application in textile processing. *Meilland International*, 11, 60-61.
- Nikitin, D., Lipatova, I., Naumova, I., Sirotkin, N., Pleskunov, P., Krakovský, I., Khalakhan, I., Choukourov, A., Titov, V., Agafonov, A. (2020). Immobilization of chitosan onto polypropylene foil via air/solution atmospheric pressure plasma afterglow treatment. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 40, 207–220. <https://doi.org/10.1007/s11090-019-10029-2>
- Noeske, M., 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(2), 171–177. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2003.09.006>

- Novák, I., Popelka, A., Luyt, A. S., Chehimi, M. M., Špírková, M., Janigová, I., Kleinová, A., Stopka, P., Šlouf, M., Vanko, V., Chodák, I., Valentin, M. (2013). Adhesive properties of polyester treated by cold plasma in oxygen and nitrogen atmospheres. *Surface and Coatings Technology*, 235, 407–416. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.07.057>
- Öz, Özkan, Özer, H. (2016). Hibrit yapıştırma düzeninin bindirme bağlantı mukavemetine etkileri. *Mühendis ve Makina*, 57(679), 63-72.
- Özdoğan, E. (2006). Plazma işleminin poliamid 6 kumaşlarda adezyon özelliğine etkisi. *Tekstil ve konfeksiyon*, 2/2006, 128-133.
- Pandiyaraj, K. N., Ramkumar, M. C., Kumar, A. A., Vasu, D., Padmanabhan, P. V. A., Tabaei, P. S. E., Coolsb, P., De Geyterb, N., Morentb, R., Jaganathan, S. K. (2019). Development of phosphor containing functional coatings via cold atmospheric pressure plasma jet - Study of various operating parameters. *Applied Surface*, 488, 343-350. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.05.089>
- Pandiyaraj, K. N., Selvarajan, V., Deshmukh, R. R., Gao, C. (2009). Modification of surface properties of polypropylene (PP) film using DC glow discharge air plasma. *Applied Surface Science*, 255(7), 3965–3971. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2008.10.090>
- Pandiyaraj, K., N., Selvarajan, V., Deshmukh, R. R., & Gao, C. (2008). Adhesive properties of polypropylene (PP) and polyethylene terephthalate (PET) film surfaces treated by DC glow discharge plasma. *Vacuum*, 83(2), 332–339. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2008.05.032>
- Piel, A. (2010). Plasma Physics. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-10491-6>
- Pigłowski, J., Coen, M. C., Schäfer, R., Kressler, J., & Mülhaupt, R. (1997). Surface modification and bonding of poly(p-phenylene sulfide). *Angewandte Makromolekulare Chemie*, 246(1), 97–107. <https://doi.org/10.1002/apmc.1997.052460108>
- Plasmatreat (22, 1 Haziran) Plazma Teknolojisi [https://www.plasmatreat.com.tr/plazma\\_islemi/plazma\\_on\\_islemi/yuzey\\_aktiflestirme\\_plazma\\_aktiflestirme.html](https://www.plasmatreat.com.tr/plazma_islemi/plazma_on_islemi/yuzey_aktiflestirme_plazma_aktiflestirme.html)
- Polášková K., Klíma, M., Jeníková, Z., Blahová, L., Zajícková, L.(2021). Effect of low molecular weight oxidized materials and nitrogen groups on adhesive joints of polypropylene treated by a cold atmospheric plasma jet. *Polymers*, 13(24), 4396-1-18. <https://doi.org/10.3390/polym13244396>
- Relyon Plasma. (2022, 1 Haziran). Relyon Plasma Applications. <https://www.relyon-plasma.com>
- Sarı, Y. B., (2016). *Gıda taşıma bantlarında kullanılan kumaşlar ve polimerik kaplamalar arasındaki yapışma özelliğine plazma işlemlerinin etkisi* (Tez No. 438877) [Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Sarıkaya, I. (2019). Plasma Surface Functionalization of AFP Manufactured Composites for Improved Adhesive Bond Performance. (Master's thesis). Retrieved from <https://scholarcommons.sc.edu/etd/5158>
- Satı, N. (2018). *Tek tesirli yapışma bağlantılarının hasar davranışları üzerine termal yaşlanma etkilerinin araştırılması* (Tez No. 514741) [Yüksek lisans tezi, Dicle Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Savaşçı, Ö. T., Uyanık, N., Akovalı, G. (2002). *Plastikler ve Plastik Teknolojisi*. Pagev Yayınları

- Schütze, A., Jeong, J. Y., Babayan, S. E., Park, J., Selwyn, G. S., Hicks, R. F. (1998). The atmospheric pressure plasma: a review and comparison to other plasma sources. *IEEE Transactions On Plasma Science*, 26(6), 1685-1694. <https://doi.org/10.1109/27.747887>
- Shanahan, M., E., R., Bourges-Monnier, C. (1996). Effects of plasma treatment on the adhesion of an epoxy composite. *Int. J. Adhesion and Adhesives*, 16, 129-135. [https://doi.org/10.1016/0143-7496\(95\)00028-3](https://doi.org/10.1016/0143-7496(95)00028-3)
- 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), 065018. <https://doi.org/10.1088/0963-0252/25/6/065018>
- Shenton, M. J., Lovell-Hoare, M. C., Stevens, G. C. (2001). Adhesion enhancement of polymer surfaces by atmospheric plasma treatment. *Journal Of Physics D: Applied Physics*, 34, 2754–2760. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/34/18/307>
- Sorrentino, L., & Carrino, L. (2009). 2024 aluminium alloy wettability and superficial cleaning improvement by air cold plasma treatment. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(3), 1400–1409. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.03.061>
- Shishoo, R. (2007). *Plasma Technologies for textiles*. Woodhead Publishing Limited.
- Sorrentino, L., & Carrino, L. (2009). Influence of process parameters of oxygen cold plasma treatment on wettability ageing time of 2024 aluminium alloy. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 29(2), 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2008.01.009>
- Sönmez, Ö. (2019). *Korona boşalmasına maruz kalan polimerik tabanlı malzemelerin yüzey özelliklerinin modifikasyonu için kontrollü sistem tasarımı* (Tez No. 575733) [Yüksek lisans tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.
- Stewart, R., Goodship, V., Guild, F., Green, M., Farrow, J. (2005). Investigation and demonstration of the durability of air plasma pre-treatment on polypropylene automotive bumpers. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 25(2), 93–99. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2004.04.001>
- Sun, C., Min, J., Lin, J., & Wan, H. (2019). Effect of atmospheric pressure plasma treatment on adhesive bonding of carbon fiber reinforced polymer. *Polymers*, 11(1), 139. <https://doi.org/10.3390/polym11010139>
- Švorčík, V., Kotál, V., Slepíčka, P., Bláhová, O., Špírková, M., Sajdl, P., & Hnatowicz, V. (2006). Modification of surface properties of polyethylene by air plasma discharge. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 244(2), 365–372. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2005.10.003>
- Şekercioğlu, T., Kaner, S. (2013). Plastiklerin yapıştırılmasında yüzey hazırlama yöntemlerinin incelenmesi. *Mühendis ve Makine Dergisi*, 55(648), 37-43.
- Tang, S., Choi, H. S. (2008). Comparison of low and atmospheric-pressure radio frequency plasma treatments on the surface modification of poly(methyl methacrylate) plates. *The Journal of Physical Chemistry C*, 112(12), 4712–4718. <https://doi.org/10.1021/jp711238k>
- Tanuğur Y. (2022, 1 Haziran). *Yüzey serbest enerjisinin temas açısı değerinden hesaplanması*. <http://www.turkchem.net/yuzey-serbest-enerjisinin-temas-acisi-degerinden-h.html>

- Temiz, V. (2022, 1 Haziran). Yapıştırma Bağlantıları. <https://web.itu.edu.tr> > [Sunular](#) > [Yapıştırma](#)
- Terpiłowski, K., Chodkowski, M.; Peréz-Huertas, S.; Wiechetek, Ł. (2022). Influence of air cold plasma modification on the surface properties of paper used for packaging production. *Applied Science*, 12(3242), 1-11. <https://doi.org/10.3390/app12073242>
- Thurston, R. M., Clay, J. D., & Schulte, M. D. (2007). Effect of atmospheric plasma treatment on polymer surface energy and adhesion. *Journal of Plastic Film & Sheeting*, 23(1), 63–78. <https://doi.org/10.1177/8756087907078698>
- Turaçlı, H. (2003). *Enjeksiyon Hataları ve Çözümleri*. Pagev Yayınları
- Van Deynse, A., Cools, P., Leys, C., Morent, R., De Geyter, N. (2014). Influence of ambient conditions on the aging behavior of plasma-treated polyethylene surfaces. *Surface and Coatings Technology*, 258, 359–367. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2014.08.073>
- Van Deynse, A., Cools, P., Leys, C., Morent, R., De Geyter, N. (2015). Surface modification of polyethylene in an argon atmospheric pressure plasma jet. *Surface and Coatings Technology*, 276, 384–390. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2015.06.041>
- Verschuren J., Van Herzele, P., De Clerck K., Kiekens, P. (2005). Influence of fiber surface purity on wicking properties of neddle-punched nonwoven after oxygen plasma treatment. *Textile Research Journal*, 75(5), 437-441. <https://dx.doi.org/10.1177/0040517505054170>
- Wang, K., Wang, W., Yang, D., Huo, Y., & Wang, D. (2010). Surface modification of polypropylene non-woven fabric using atmospheric nitrogen dielectric barrier discharge plasma. *Applied Surface Science*, 256(22), 6859–6864. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2010.04.101>
- Yaman, N., Özdoğan, E., Kocum, İ.C., Ayhan, H., Öktem T., Seventekin, N. (2009). Improvement surface properties of polypropylene and polyester fabrics by glow discharge plasma system under atmospheric condition. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 19(1), 45-51.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hikmet GÜLER  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 13.09.1966  
Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim Durumu  
Lise : Kuleli Askeri Lisesi (1984)  
Lisans : Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,  
Makine Mühendisliği (1991)  
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,  
Makine Mühendisliği (1994)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Artı Lazer Metal Toz Boya San. Tic. Ltd. Şti.

İletişim (e-posta) : hikmet\_66@yahoo.com

Yayımları :

Güler H., Ayas K., Çavdar K. (2022). Çevre dostu atmosferik basınçlı soğuk plazma uygulamasının POM ve PP malzemelerin yapıştırma bağı dayanımına etkisinin araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*  
<https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1035264>

Güler, H. (2022). *Atmosferik basınçlı soğuk plazma uygulaması ile plastiklerin yapışma mukavemetinin artırılması*. 9. Uluslararası Bilimsel Çalışmalar Kongresi (UBCAK) Özet Kitabı, Türkiye, 82s. ISBN: 978-625-8190-04-5