METAL MALZEME YAPIŞTIRMA BAĞLARINDA ATMOSFERİK BASINÇLI PLAZMA UYGULAMASI ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Öyküm KANBİR

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

METAL MALZEME YAPIŞTIRMA BAĞLARINDA ATMOSFERİK BASINÇLI PLAZMA UYGULAMASI ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Öyküm KANBİR
0000-0002-1492-4736

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

DOKTORA TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Doktora Tezi

METAL MALZEME YAPIŞTIRMA BAĞLARINDA ATMOSFERİK BASINÇLI PLAZMA UYGULAMASI ETKİNLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Öyküm KANBİR

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

Atmosferik basınçlı plazma (ABP) yöntemi, hızlı ve stabil şekilde malzeme yüzeylerine uygulanabildiğinden ve vakum altında yapılan plazma uygulamalarına göre çok sayıda avantaja sahip olduğundan dolayı günümüzde birçok alanda ön plana çıkmaya başlamıştır. ABP ile malzemelerin yüzey enerjilerinin, yapışma davranışlarının ve yüzey mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkündür. Bu bağlamda, metal malzemelerin yapıştırılması işleminde daha detaylı araştırmalar yapılarak süreç parametrelerinin ortaya konulmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Çalışmanın ilk bölümünde ABP uygulamasının, galvaniz kaplamalı çelikler (H300LAD) ile kaplamasız çeliklerin (H300LA) yapıştırma bağlarının dayanımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Deney parametreleri olarak iki farklı malzeme (H300LAD ve H300LA), iki farklı yapıştırıcı (Marocol 18576 ve Erde G-Force) ve üç farklı plazma uygulama hızı (5 mm/s, 10 mm/s ve 15 mm/s) belirlenmiştir. Sonuçlar, ABP uygulamasının belirtilen malzemelerin yapıştırma işleminde iyileşmeler sağladığını göstermektedir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ise ABP uygulanan metal yüzeylerin yaşlanma davranışı ve yüzeyin işlem görmemiş haline geri dönüşünü geciktirebilecek ortam koşulları araştırılmıştır. Deney parametreleri olarak iki farklı plazma uygulaması (soğuk ve sıcak) ve üç farklı plazma tekrar sayısı (1, 2 ve 3 kez) belirlenirken plazma işlemi uygulanan yüzeylerin ilk haline geri dönüşünü geciktirebilecek ortam koşulları olarak ise hava ve su (1, 10 ve 60 dakika) gibi iki farklı bekletme ortamı seçilmiştir. Ayrıca sıcaklığın yaşlanma süresine olan etkileri de iki farklı sıcaklık değeri (-20°C ve 30°C) için incelenmiştir. Sonuçlar, yüzey yaşlanmasının numunelerin bekletildiği ortam ve sıcaklıktan büyük ölçüde etkilendiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Atmosferik basınçlı plazma, plazma yüzey işleme, yapışma dayanımı, ıslanabilirlik, yaşlanma etkisi, hidrofilik kararlılık, su temas açısı, galvaniz kaplamalı çelikler
2022, xv + 105 sayfa.

ABSTRACT

PhD Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFICIENCY OF ATMOSPHERIC PRESSURE PLASMA APPLICATION IN METAL MATERIAL ADHESIVE BONDS

Öyküm KANBİR

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

Supervisor: Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR

Atmospheric pressure plasma (APP) method has started to come to the fore in many areas today, as it can be applied to material surfaces quickly and stably and has many advantages compared to plasma applications performed under vacuum. With APP, it is possible to improve the surface energies, adhesion behavior and surface mechanical properties of materials. In this context, there is a need to reveal the process parameters by making more detailed studies in the bonding process of metal materials.

In the first part of the study, the effects of APP application on the adhesion strengths of galvanized steels (H300LAD) and non galvanized steels (H300LA) were investigated. Two different materials (H300LAD and H300LA), two different adhesives (Marocol 18576 and Erde G-Force) and three different plasma application velocities (5 mm/s, 10 mm/s and 15 mm/s) were determined as experimental parameters. The results show that the application of APP provides improvements in the bonding process of the specified materials.

In the second part of the study, the aging behavior of APP applied metal surfaces and the storage conditions that can delay the return of the surface to its untreated state were investigated. Two different plasma treatments (cold and hot) and three different plasma treatment numbers (1, 2 and 3 times) were determined as experimental parameters and two different storage conditions such as air and water (1, 10 and 60 minutes) were chosen as the ambient conditions that could delay the return of plasma treated surfaces to their untreated state. In addition, the effects of temperature on aging were investigated for two different temperature values (-20°C and 30°C). The results show that the aging is greatly affected by the storage conditions and temperature in which the samples are stored.

Key words: Atmospheric pressure plasma, plasma surface treatment, adhesion strength, wettability, aging effect, hydrophilic stability, water contact angle, galvanized steels
2022, xv + 105 pages.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitim sürem ve tez çalışmam boyunca destek ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, bilimsel konularda farklı yaklaşımlar geliştirebilmeme katkıda bulunan ve karşılaştığımız zorluklar karşısında yenilikçi bakış açısı ve gösterdiği çözüm odaklı yaklaşım ile hem mesleki hem kişisel anlamda örnek aldığım, tecrübelerinden faydalandığım değerli danışman hocam Prof. Dr. Kadir ÇAVDAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar için malzeme numunelerini sağlayan Borçelik A.Ş., yapıştırıcı malzeme destekleri için ERBAB Otomotiv Ltd. Şti., çekme testlerinin gerçekleştirilmesindeki destekleri için Destek Otomotiv Yan Sanayi ve Tic. A.Ş. ve plazma uygulama cihazları ve özel mürekkep testlerini sağlayan FCB Ar-Ge Ltd. Şti. firmalarına teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın tüm aşamalarında beni yalnız bırakmayan ve bugünlere gelmemde büyük emeği olan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Öyküm KANBİR
01/07/2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET....vi
ABSTRACT....vii
TEŞEKKÜR....viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ....xii
ŞEKİLLER DİZİNİ....xiiiii
ÇİZELGELER DİZİNİ....xv
1. GİRİŞ....1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI....4
2.1. Plazma Teknolojisi....4
2.2. Plazmanın Sınıflandırılması....4
2.2.1. Sıcaklığa göre sınıflandırılması....4
2.2.2. Basınca göre sınıflandırılması....5
2.3. Plazma İşlemine Etki Eden Parametreler....7
2.3.1. Cihaz parametreleri....7
2.3.2. İşlem parametreleri....8
2.4. Plazma İşlemi ile Elde Edilen Etkiler....8
2.4.1. Yüzey temizleme....9
2.4.2. Yüzey aktifleştirme....9
2.4.3. Aşındırma....10
2.4.4. Aşılama....10
2.4.5. Çapraz bağlanma....11
2.5. Plazma Etkisinin Değerlendirilmesi....11
2.5.1. Temas açısı ölçümü....11
2.5.2. Yüzey gerilimi ölçümü....12
2.6. Kaynak Araştırması....13
3. MATERYAL ve YÖNTEM....43
3.1. Plazma Cihazı....45
3.2. Malzeme....47
3.3. Ön Hazırlık/Numune Temizliği....49
3.4. Temas Açısı Ölçümleri....49
3.5. Yüzey Gerilimi Ölçümleri....49
3.6. Deney Numunelerinin Yapıştırılması....50
3.7. Deney Numunelerine Çekme Testi Uygulanması....51
3.8. Deney Numunelerinin Yaşlanma Süreci....51
4. BULGULAR ve TARTIŞMA....53
4.1. Temas Açısı Ölçümleri....53
4.2. Yüzey Gerilimi Değerinin Belirlenmesi....54
4.3. Çekme Testi Sonuçları....55
4.4. Yaşlanma Davranışının Belirlenmesi ve Bekletme Koşullarının Sürece Etkisi....62
5. SONUÇ....78
KAYNAKLAR....86
EKLER....92
EK 1. Plazma uygulanmamış M1 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri....93
EK 2. V1 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri....94

EK 3. V2 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri 95
EK 4. V3 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri 96
EK 5. Plazma uygulanmamış M1 Y2 numunesinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri 97
EK 6. V1 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y2 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri 98
EK 7. V2 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y2 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri 99
EK 8. V3 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y2 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri 100
EK 9. Plazma uygulanmamış M2 Y1 numunesinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri 101
EK 10. V1 hızı ile plazma işlemi görmüş M2 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri 102
EK 11. V2 hızı ile plazma işlemi görmüş M2 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri 103
EK 12. V3 hızı ile plazma işlemi görmüş M2 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri 104
ÖZGEÇMİŞ 105

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
Al	Alüminyum
Ar	Argon
C	Karbon
cm	Santimetre
dm	Desimetre
eV	Elektronvolt
F	Flor
He	Helyum
J	Joule
K	Kelvin
kN	Kilonewton
kPa	Kilopascal
kV	Kilovolt
m	Metre
min	Dakika
mm	Milimetre
Mn	Manganez
MPa	Megapascal
N	Newton
N_2	Azot
O_2	Oksijen
P	Fosfor
S	Kükürt
s	Saniye
sa	Saat
sccm	Dakika başına akan standart santimetreküp
Si	Silisyum
V	Volt
W	Watt
°C	Santigrat Derece
Ø	Çap
~	Yaklaşık

Kısaltmalar	**Açıklama**
ABP	Atmosferik Basınçlı Plazma
ABS	Akrilonitril Bütadien Stiren
AC	Alternatif Akım
AFM	Atomik Kuvvet Mikroskobu
DC	Direkt Akım
FTIR	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
HEMA	Hidroksietil Metakrilat
H300LA	Kaplamasız çelik
H300LAD	Galvaniz kaplamalı çelik

LF	Düşük Frekans
MEK	Metil Etil Keton
MW	Mikro Dalga
M1	H300LAD
M2	H300LA
PDD	Piezoelektrik Doğrudan Deşarj
PDMS	Polidimetilsiloksan
PET	Polietilen Tereftalat
PLA	Polilaktik Asit
PMMA	Polimetil Metakrilat
PP	Polipropilen
PTFE	Politetrafloroetilen
PVC	Polivinil Klorür
RF	Radyo Frekansı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XPS	X-Işını Fotoelektron Spektroskopi
Y1	Marocol 18576
Y2	Erde G-Force

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Endüstriyel amaçlı kullanılan atmosferik plazma cihazı	5
Şekil 2.2.	Vakum plazma cihazı	6
Şekil 2.3.	Plazma etkisiyle yüzey temizleme işlemi	9
Şekil 2.4.	Plazma etkisiyle oluşan yüzey aktivasyonu	9
Şekil 2.5.	Plazma etkisiyle oluşan aşınma işlemi	10
Şekil 2.6.	Aşılama yapılmış yüzeyin gösterimi	10
Şekil 2.7.	Sıvıların farklı yüzey enerjisine sahip katı yüzeylerde ıslatma davranışları	12
Şekil 2.8.	Mürekkep testi sonrası a) iyi yüzey ıslanması b) kötü yüzey ıslanması	12
Şekil 3.1.	Metal malzeme yapıştırma bağlarında ABP uygulaması etkinliğinin araştırılması için kullanılan metodoloji	43
Şekil 3.2.	ABP uygulanan metal yüzeylerin yaşlanma davranışı ve yüzeyin ilk haline geri dönüşünü geciktirebilecek ortam koşullarının araştırılması için kullanılan metodoloji	45
Şekil 3.3.	Piezobrush PZ2 el tipi soğuk plazma ünitesi	46
Şekil 3.4.	Plasmatool el tipi sıcak plazma ünitesi	46
Şekil 3.5.	Soğuk ABP işlemi için hazırlanan deney düzeneği	47
Şekil 3.6.	M1 ve M2 malzemelerinden hazırlanan deney numuneleri	48
Şekil 3.7.	M1 malzemesine ait kimyasal ve mekanik özellikler	48
Şekil 3.8.	M2 malzemesine ait kimyasal ve mekanik özellikler	49
Şekil 3.9.	Deney numunelerinin yapıştırma bölgesi	50
Şekil 4.1.	Plazma işlemi öncesi temas açıları (a) M1 malzemesi, (b) M2 malzemesi	53
Şekil 4.2.	Plazma işlemi sonrası temas açıları (a) M1 malzemesi, (b) M2 malzemesi	53
Şekil 4.3.	Yüzey geriliminin tespiti için kullanılan 32, 50, 48 ve 40 mN/m'lik mürekkepler sonucu yüzeyin davranışı	55
Şekil 4.4.	M1 malzemesinin plazma işlemi öncesi Y1 ile yapıştırılmasıyla hazırlanan çekme testi numuneleri	56
Şekil 4.5.	M1 malzemesinin farklı hızlarda plazma işlemi gördükten sonra Y1 ile yapıştırılmasıyla hazırlanan çekme testi numuneleri	56
Şekil 4.6.	M1 malzemesinin plazma işlemi öncesi Y2 ile yapıştırılmasıyla hazırlanan çekme testi numuneleri	57
Şekil 4.7.	M1 malzemesinin farklı hızlarda plazma işlemi gördükten sonra Y2 ile yapıştırılmasıyla hazırlanan çekme testi numuneleri	58
Şekil 4.8.	M2 malzemesinin plazma işlemi öncesi Y1 ile yapıştırılmasıyla hazırlanan çekme testi numuneleri	59
Şekil 4.9.	M2 malzemesinin farklı hızlarda plazma işlemi gördükten sonra Y1 ile yapıştırılmasıyla hazırlanan çekme testi numuneleri	59
Şekil 4.10.	Deney numunelerinin çekme testinden sonraki kopma yüzeylerinin görüntüleri	60
Şekil 4.11.	Plazma işlemi öncesi ve sonrasında elde edilen yapıştırma bağı dayanım sonuçları	61
Şekil 4.12.	Plazma işleminin V2 uygulama hızında ve farklı yapıştırıcılarda M1 malzemesine etkisi	61

Şekil 4.13. Farklı plazma tekrar sayıları ile soğuk plazma uygulanan ve işlem sonrası havada bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 63
Şekil 4.14. Farklı plazma tekrar sayıları ile soğuk plazma uygulanan ve işlem sonrası 1 dakika boyunca suda bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 64
Şekil 4.15. Farklı plazma tekrar sayıları ile soğuk plazma uygulanan ve işlem sonrası 10 dakika boyunca suda bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 65
Şekil 4.16. Farklı plazma tekrar sayıları ile soğuk plazma uygulanan ve işlem sonrası 60 dakika boyunca suda bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 66
Şekil 4.17. Farklı plazma tekrar sayıları ile soğuk plazma uygulanan ve işlem sonrası 3 saat boyunca -20°C'de bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 67
Şekil 4.18. Farklı plazma tekrar sayıları ile soğuk plazma uygulanan ve işlem sonrası 3 saat boyunca 30°C'de bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 68
Şekil 4.19. 1 tekrar sayısı ile soğuk plazma işlemi gördükten sonra 3 saat boyunca -20°C ve 30°C'de bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 69
Şekil 4.20. Farklı plazma tekrar sayıları ile sıcak plazma uygulanan ve işlem sonrası havada bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 70
Şekil 4.21. Farklı plazma tekrar sayıları ile sıcak plazma uygulanan ve işlem sonrası 1 dakika boyunca suda bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 71
Şekil 4.22. Farklı plazma tekrar sayıları ile sıcak plazma uygulanan ve işlem sonrası 10 dakika boyunca suda bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 72
Şekil 4.23. Farklı plazma tekrar sayıları ile sıcak plazma uygulanan ve işlem sonrası 60 dakika boyunca suda bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 73
Şekil 4.24. Farklı plazma tekrar sayıları ile sıcak plazma uygulanan ve işlem sonrası 3 saat boyunca -20°C'de bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 74
Şekil 4.25. Farklı plazma tekrar sayıları ile sıcak plazma uygulanan ve işlem sonrası 3 saat boyunca 30°C'de bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 75
Şekil 4.26. 1 tekrar sayısı ile sıcak plazma işlemi gördükten sonra 3 saat boyunca -20°C ve 30°C'de bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi 76
Şekil 4.27. 1 tekrar sayısı ile soğuk plazma işlemi gören M1 malzemesi numunelerinin farklı bekletme koşulları altındaki yaşlanma ömürleri 77
Şekil 4.28. 1 tekrar sayısı ile sıcak plazma işlemi gören M1 malzemesi numunelerinin farklı bekletme koşulları altındaki yaşlanma ömürleri 77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Atmosferik plazma ile vakum plazmanın temel özellikleri arasındaki farklar 6
Çizelge 4.1. M1 ve M2 malzemelerinin plazma işlemi öncesi ve sonrası ortalama su temas açılarının değerleri 53
Çizelge 4.2. M1 malzemesinin Y1 ile yapıştırılmasının ardından plazma işlemi öncesinde ve sonrasındaki yapışma dayanımları 57
Çizelge 4.3. M1 malzemesinin Y2 ile yapıştırılmasının ardından plazma işlemi öncesinde ve sonrasındaki yapışma dayanımları 58
Çizelge 4.4. M2 malzemesinin Y1 ile yapıştırılmasının ardından plazma işlemi öncesinde ve sonrasındaki yapışma dayanımları 60
Çizelge 4.5. Soğuk plazma işleminin ardından havada bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi 62
Çizelge 4.6. Soğuk plazma işleminin ardından 1 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi 63
Çizelge 4.7. Soğuk plazma işleminin ardından 10 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi 64
Çizelge 4.8. Soğuk plazma işleminin ardından 60 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi 65
Çizelge 4.9. Soğuk plazma işleminin ardından 3 saat boyunca -20°C'de bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi 66
Çizelge 4.10. Soğuk plazma işleminin ardından 3 saat boyunca 30°C'de bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi 67
Çizelge 4.11. Sıcak plazma işleminin ardından havada bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi 69
Çizelge 4.12. Sıcak plazma işleminin ardından 1 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi 70
Çizelge 4.13. Sıcak plazma işleminin ardından 10 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi 71
Çizelge 4.14. Sıcak plazma işleminin ardından 60 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi 72
Çizelge 4.15. Sıcak plazma işleminin ardından 3 saat boyunca -20°C'de bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi 73
Çizelge 4.16. Sıcak plazma işleminin ardından 3 saat boyunca 30°C'de bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi 74

1. GİRİŞ

Plazma işlemi ile organik ve inorganik malzemeler ve metaller de dahil olmak üzere birçok malzemenin yüzey fonksiyonları önemli ölçüde değiştirilebilmektedir (Kim ve ark., 2004; Park ve Kim, 2004). Bu konuda özellikle atmosferik basınçlı plazmalar (ABP) birçok avantaja sahiptir (Lynch ve ark., 1999). ABP işlemi, bir vakum sistemine gereksinim duymadan daha yüksek elektrik alanı homojenliği, çok yönlülüğü ve kolay kontrol edilebilirliği gibi özellikleri sayesinde diğer yöntemlere göre önemli avantajlara sahiptir. Ayrıca ortam medyası olarak hava, N_2, He, Ar gibi gazların kullanımı da mümkündür (Shenton ve ark., 2002).

Atmosferik plazmaların en önemli kullanım alanlarından biri de hassas yüzey uygulamalarıdır. Bu yöntem ile metal yüzeylere temizleme, aktivasyon, kaplama ve yapıştırma gibi işlemler yapılabilir. Ancak birçok teknolojide bu uygulamalar sırasında metal yüzey üzerine tutunma sorunu yaşanabilmektedir. Atmosferik plazmalar yüzeye uygulandıklarında yüzeyi aktifleştirmekte ve boya, yapıştırıcı gibi maddelerin malzeme yüzeyine sıkıca tutunabilmelerini sağlamaktadırlar. Bu tip uygulamalar için taşınabilir olmaları, farklı açılı yüzeylere kolayca uygulanabilmeleri ve atmosferik koşullarda üretilmeleri nedeniyle uygun bir yöntemdir (Dallı, 2013).

Günümüzde farklı malzemelerin yüzey özelliklerini iyileştirmek için yapılan çeşitli araştırmalar sonucunda organik malzeme, inorganik malzeme ve metaller de dahil olmak üzere birçok malzemenin plazma işlemi ile yüzey özelliklerinin değiştirilebileceği tespit edilmiştir (Boudou ve ark., 2003; Øiseth ve ark., 2002). Yapılan çalışmalar plazma işleminin, ıslanabilirlik, geçirgenlik, iletkenlik, yapışma gibi yüzey özelliklerini değiştirmede oldukça etkili bir yöntem olduğunu göstermiştir. Yüzey yapışma dayanımının önemli olduğu uygulamaların çoğunda, kullanılan malzemenin yüzey özellikleri belirleyicidir. Malzemenin mekanik özelliklerini etkilemeden, yüzeyin yapışma dayanımını arttırmak için kullanılan plazma işlemi hakkında çok çeşitli malzemeler üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Çalışmanın konusunu oluşturan plazma aktivasyonu, fiziksel bir yüzey modifikasyon işlemidir ve son yıllarda malzemelerin yüzey enerjilerinin, yapışma davranışlarının ve yüzey mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda sıkça tercih edilen bir yöntem olmuştur. Ancak bununla birlikte plazma uygulaması sonrası yüzeyin işlem görmemiş ilk haline geri dönme eğiliminde olmasından dolayı elde edilen değişiklikler kalıcı değildir. Bu nedenle plazma kaynaklı değişikliklerin belli bir süre boyunca stabilitesi önem kazanmaktadır.

Bu çalışmanın ilk kısmında, metal malzeme yapıştırma bağlarında ABP uygulaması etkinliğinin araştırılması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Yapıştırma bağlarının mekanik özelliklerindeki değişimi görmek için çalışma sıcaklığı 50°C'nin altında olan soğuk ABP yöntemi kullanılmıştır. H300LAD (galvaniz kaplamalı) ve H300LA (kaplamasız) malzemelerinin yapışma dayanımını iyileştirmek için soğuk ABP işlemi (Soğuk ABP; Piezoelektrik Doğrudan Deşarj Teknolojisi - PDD Teknolojisi) kullanılmıştır. Deney parametreleri olarak iki farklı malzeme (H300LAD ve H300LA), iki farklı yapıştırıcı (Marocol 18576 ve Erde G-Force) ve üç farklı plazma uygulama hızı (5 mm/s, 10 mm/s ve 15 mm/s) belirlenmiştir. Öncelikle su damlası kullanılarak deney numunelerinin temas açıları ölçülmüş, mürekkep testiyle de izafi yüzey gerilimleri tespit edilmiştir. Bu veriler, ABP uygulaması sonrası elde edilen verilerle karşılaştırılarak uygulanan plazma işleminin yüzey özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Ardından, farklı plazma uygulama hızları ve farklı yapıştırıcılar uygulanarak hazırlanan deney numuneleri, çekme testine tabi tutulmuş ve elde edilen veriler ile plazma işleminin malzemelerin yapışma dayanımı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında ise ABP uygulanan metal yüzeylerin yaşlanma davranışı ve yüzeyin işlem görmemiş ilk haline geri dönüşünü geciktirebilecek ortam koşullarının araştırılması yapılmıştır. Bu kısımda deney parametreleri olarak tek tip malzeme (H300LAD), iki farklı plazma (soğuk ve sıcak), üç farklı plazma tekrar sayısı (1, 2 ve 3 tekrar), plazma uygulaması sonrası iki farklı bekletme ortamı (hava ve su) ve iki farklı sıcaklık (-20°C ve 30°C) belirlenmiştir. Öncelikle ABP uygulaması öncesi su damlası kullanılarak deney numunelerinin temas açıları ölçülmüştür. Ardından belirlenen deney parametrelerine göre ABP uygulanan numunelerin 5 gün boyunca belli aralıklarla temas açıları ölçülüp elde edilen veriler ile uygulanan plazma tipinin, plazma tekrar sayısının, deney numunelerinin bekletildiği

ortamın ve sıcaklığın malzemenin yaşlanma davranışına olan etkileri değerlendirilmiş ve yaşlanma süresini geciktirebilecek koşullar araştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Plazma Teknolojisi

Plazma, terim olarak ilk kez 1929 yılında Langmuir tarafından kullanılmıştır. Maddenin dördüncü hali olarak adlandırılan plazma, bir gaza uygun basınçta yüksek enerji verildiğinde gaz moleküllerinin birbirleriyle çarpışmaya başlaması ve elektronların moleküllerden kopmaya başlamasıyla pozitif yüklü iyonların ve elektronların oluşturduğu bir sistem haline gelmesi ile oluşur. Maddenin bu durumuna plazma adı verilir.

Maddenin gaz fazı elektriği iletmezken, plazma fazı ısı ve elektrik iletkenliğine sahiptir. Bu yüzden plazma fazında gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar gaz fazına göre daha hızlı olabilmektedir (Hirsh ve Oskam, 1978).

2.2. Plazmanın Sınıflandırılması

Plazmalar, üretim yöntemlerine göre sınıflandırılabildiği gibi plazması elde edilen gazın sıcaklık ve basınç değerlerine göre de sınıflandırılabilmektedir.

2.2.1. Sıcaklığa göre sınıflandırılması

Plazmalar, sıcaklıklarına göre sıcak veya soğuk plazma şeklinde sınıflandırılabilmektedirler.

Sıcak plazma, yüksek sıcaklıkta oluşan plazmalardır. Termodinamik bir denge söz konusudur ve plazmadaki tüm parçacıkların sıcaklıkları eşittir.

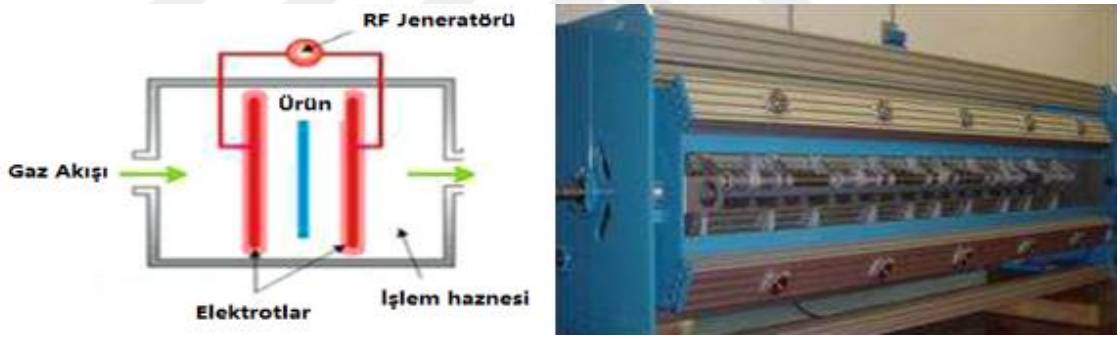
Soğuk plazma, oda sıcaklığında üretilebilen plazmalardır. Termodinamik bir denge söz konusu değildir. Bu tip plazmalar laboratuvar ortamında üretilebilmektedir (Shishoo, 2007).

2.2.2. Basınca göre sınıflandırılması

Plazmaları sınıflandırırken kullanılan bir diğer kriter de plazmanın elde edildiği basınçtır. Bu sınıflandırmada plazmalar, atmosferik ve vakum olmak üzere temel olarak ayrılmaktadırlar.

Atmosferik plazmalar, atmosferik koşullar altında meydana gelmektedir. Atmosferik plazmanın vakum plazmasından en önemli farkı, vakum tertibatına gerek duyulmaması ve sistemin kesintisiz bir şekilde çalışılabilmesidir. Bu yüzden endüstriyel olarak uygulanabilirlik avantajına sahiptir. Ancak atmosferik plazma işlemi ile elde edilen etkiler vakum plazmasındaki kadar etkili değildir (Nehra ve ark., 2005; Verschuren ve ark., 2005).

Şekil 2.1'de endüstriyel amaçlı kullanılan atmosferik plazma cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Endüstriyel amaçlı kullanılan atmosferik plazma cihazı (Azo Materials, 2022)

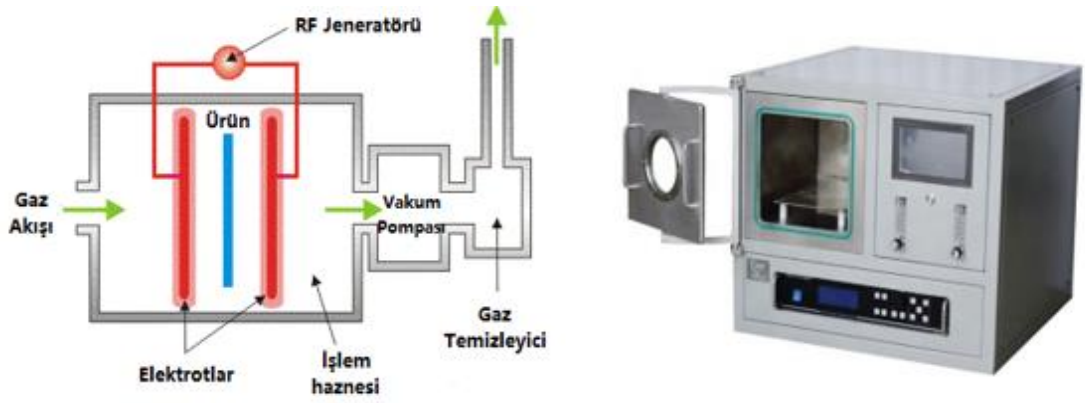
Çizelge 2.1'de atmosferik plazma ile vakum plazmanın temel özellikleri arasındaki farklar verilmiştir.

Çizelge 2.1. Atmosferik plazma ile vakum plazmanın temel özellikleri arasındaki farklar (Shenton ve ark., 2002)

Özellik	Atmosferik plazma	Vakum plazma
Parçacık yoğunluğu (m^{-3})	10^{25}	$< 10^{21}$
Elektron yoğunluğu (m^{-3})	10^{17}	10^{14}-10^{19}
Elektron sıcaklığı (eV)	0,1-2	1-10
Elektron elastik çarpışma oranı (s^{-1})	10^{10}-10^{12}	$2x10^{9}$
Titreşimsel sıcaklık (°K)	~ 2000-10000	~ 300-500
İyonlaşma derecesi	10^{-8}	~ 10^{-6}
Gaz işlem hacmi (dm^3dk^{-1})	0-600	< 0,1

Atmosferik plazmada parçacık yoğunluğu ve ortalama gaz sıcaklığı daha yüksek olduğu için elastik çarpışma oranı daha yüksektir. Atmosferik plazmada elektron yoğunluğu, iyonlaşma derecesi ve elektron sıcaklığı vakum plazmaya göre daha düşüktür. Gaz işlem hacminin çok daha yüksek olması atmosferik plazmanın daha fazla aktif yüzey oluşturma olanağı sağlamaktadır (Shenton ve ark., 2002).

Vakum plazmalar, düşük basınçlarda ve oda sıcaklığında oluşturulmaktadır. Şekil 2.2'de görüldüğü gibi işlem kontrollü ve kapalı bir sistem içerisinde gerçekleşmektedir. Yüzey modifikasyonu atmosferik plazmaya göre daha etkilidir.



Şekil 2.2. Vakum plazma cihazı (Azo Materials, 2022)

Vakum plazmanın atmosferik plazmaya göre avantajlarından birisi de cihaz içine verilen gaz miktarının kontrol edilebilmesidir. Hem reaktif hem reaktif olmayan gazlar ayrı ayrı veya istenilen oranlarda birbirleriyle karıştırılarak kontrollü bir şekilde kullanılabilmektedir. Ancak pahalı olması, işlemin uygulanacağı malzeme özelliklerinin cihaz parametrelerine bağımlı olması, işlemin kesikli olarak uygulanabilmesi en önemli dezavantajlarındandır (Akan, 2005; Verschuren ve ark., 2005).

2.3. Plazma İşlemine Etki Eden Parametreler

Plazma, uygulanan malzemenin kimyasal yapısına, morfolojisine, deşarjın homojenliğine, plazma içindeki türlerin dağılımına, reaktör geometrisine, uygulanan güç, gerilim ve frekans gibi etkilere bağlıdır (Merche ve ark., 2009). Plazma işlemine etki eden parametreler, cihaz parametreleri ve işlem parametreleri olarak iki başlık altında incelenebilir.

2.3.1. Cihaz parametreleri

Cihaz parametreleri olarak kullanılan elektriksel alanın cinsi ve elektrotların yapısı ön plana çıkmaktadır.

Elektriksel alan olarak direkt akım (DC), alternatif akım (AC), mikro dalga (MW), radyo frekansı (RF) ve düşük frekans (LF) gibi farklı kaynaklar kullanılarak plazma oluşturulabilmektedir. Uygulanan elektriksel alan gazın iyonizasyonunu sağlamalıdır (Akan, 2005).

Plazma, genellikle elektrot çiftlerine farklı frekanslardaki elektriksel alanın uygulanmasıyla elde edildiğinden dolayı kullanılan elektrotların yapısı plazma işleminin etkinliği açısından büyük önem arz etmektedir. Bu yüzden kullanılan cihazdaki elektrotların yerleşimi, bağlanma şekilleri, şekilleri, yüzeyinde bulunan kaplamanın cinsi, kaplamanın kalınlığı ve elektriksel özellikleri gibi faktörler belirleyici olmaktadır (Choi ve ark., 2005).

2.3.2. İşlem parametreleri

İşlem parametreleri, kullanılan gaz, uygulanan güç ve işlem süresi olarak üç bölüme ayrılmaktadır.

Plazma uygulamalarında plazma gazının yapısı, işlemin etkinliği açısından önemlidir. Argon, helyum, neon gibi soygazlar dielektrik bozulma voltajları düşük olduğu için iyonizasyon etkisini baskın hale getirebilmek için tercih edilmektedirler. Azot, hava gibi gazları kullanarak da deşarj elde etmek mümkündür (Hauser ve ark., 2002).

Plazma işleminde uygulanan güç, plazma yoğunluğunu doğrudan etkilemektedir. Gücün arttırılması iyonize olan gazın miktarını, dolayısıyla plazma yoğunluğunu arttırmaktadır. Bu da işlem etkinliğinin artmasına sebep olmaktadır. Ancak uygulanan güç yüksek değerlere ulaştığında malzeme yüzeyinin zarar görmesi durumu da söz konusu olabilmektedir (Sun ve Stylios, 2006).

Plazma uygulamalarında işlem süresinin artması yüzeyin plazma ile olan etkileşim süresini arttırdığı için daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Ancak malzemenin tipine bağlı olarak optimum işlem süresinin üzerine çıkılması durumunda da malzeme yüzeyi zarar görebilmekte ve istenmeyen etkiler ortaya çıkabilmektedir (Relyon Plasma, 2022).

2.4. Plazma İşlemi ile Elde Edilen Etkiler

Plazmanın bir malzemeye uygulaması sonucu plazmanın yapısında bulunan reaktif parçacıkların içerdiği enerji malzemenin yüzeyine aktarılmaktadır. Aktarılan bu enerji bazı değişikliklere sebep olmaktadır. Plazmanın içerisindeki iyon ve nötr parçacıklar yüzeye çarptığında yüzeyde bulunan molekül bağlarının bazıları kopmaktadır. Elde edilen bu modifikasyon, fiziksel değişim olarak nitelendirilmektedir (Cai ve ark., 2002).

Plazma işlemi ile malzemenin temel özellikleri korunmakta ve yüzeyinde bazı modifikasyonlar meydana gelmektedir. Bu modifikasyonlar, yüzey temizleme, yüzey aktifleştirme, aşındırma, aşılama ve çapraz bağlanma şeklinde oluşabilmektedir.

Plazma işleminin ardından malzemelerin yüzey enerjisi, yüzey ıslanabilirlikleri, adezyonu, yüzey temizliği arttırılabilmektedir (Relyon Plasma, 2022).

2.4.1. Yüzey temizleme

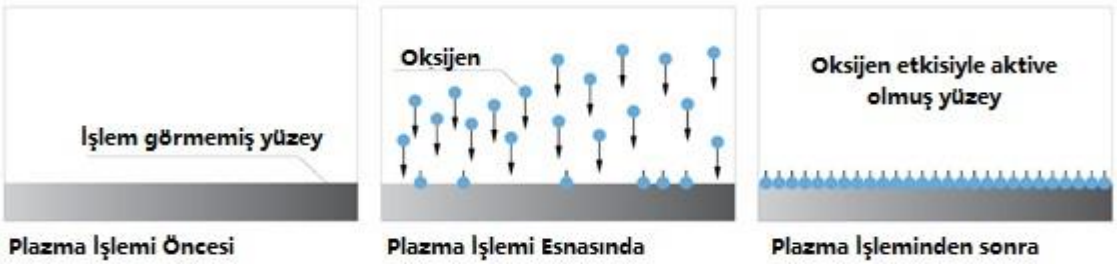
Yüzey temizleme, yüzeyden organik artıkların uzaklaştırılması işlemidir. İyon bombardımanı esnasında yüzeyde bulunan ve gözle görülemeyen kir partikülleri buharlaştırılarak malzeme yüzeyinden uzaklaştırılmaktadır (Relyon Plasma, 2022). Şekil 2.3'te temizleme işlemenin aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Plazma etkisiyle yüzey temizleme işlemi (Relyon Plasma, 2022)

2.4.2. Yüzey aktifleştirme

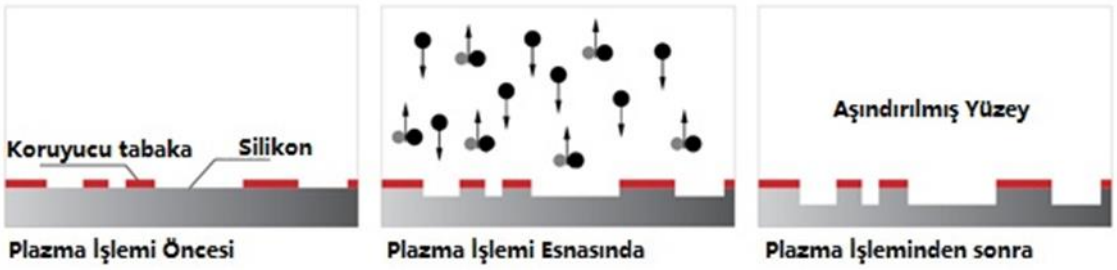
Plazma işlemi sırasında iyon bombardımanına tutulan malzeme yüzeyindeki zayıf bağların hidroksil, karboksil ve karbonil gruplarıyla etkileşimi sonucu yüzey aktivasyonu gerçekleşmektedir. Plazma işleminden sonra yüzey aktif hale gelmektedir (Encinas ve ark., 2012). Plazma etkisiyle oluşan yüzey aktivasyonu Şekil 2.4'te gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Plazma etkisiyle oluşan yüzey aktivasyonu (Diener Plasma, 2022)

2.4.3. Aşındırma

Aşındırma, plazma uygulaması sonucunda iyon bombardımanına tutulan malzeme yüzeyindeki zayıf kovalent bağlara sahip moleküllerin gaz fazına geçip yüzeyden uzaklaşması işlemidir. Malzemede meydana gelen aşınma, buharlaşma ile oluşmaktadır. Aşınma etkisi ile artan yüzey alanı, malzemenin adezyon özelliğini arttırmaktadır (Carneiro ve ark., 2001). Şekil 2.5'te plazma etkisiyle oluşan aşınma işlemi gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Plazma etkisiyle oluşan aşınma işlemi (Diener Plasma, 2022)

2.4.4. Aşılama

Aşılama, plazma uygulanan malzeme yüzeyinde nano ölçekli polimer bir tabakanın oluşturulması işlemidir. Kullanılan plazma gazı ve işlem parametrelerine bağlı olarak farklı özelliklere sahip bir tabaka oluşturulabilmektedir. İşlem birkaç dakika sürmektedir ve yüzeyde oluşan tabaka renksiz, kokusuz ve malzemenin görünümünü etkilemeyen türdendir (Lee ve ark., 2001). Şekil 2.6'da aşılama işlemi gösterilmektedir.



Şekil 2.6. Aşılama yapılmış yüzeyin gösterimi (Karahan, 2007)

2.4.5. Çapraz bağlanma

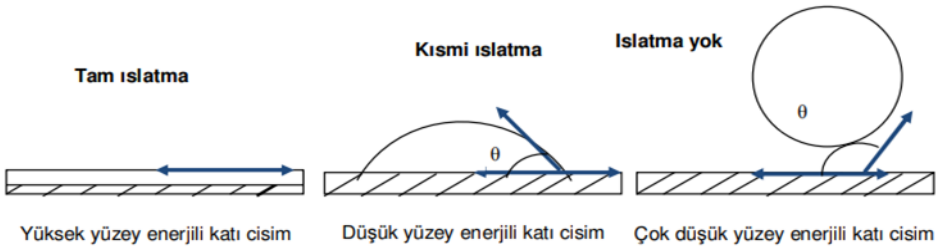
Çapraz bağlanma, plazma işlemi esnasında polimer yapısında oluşan parçalanmalar sonunda meydana gelen reaktif grupların etkileşimi ile oluşmaktadır. Meydana gelen bu çapraz bağlanmalarla polimer zincirleri bağlanıp üç boyutlu bir ağ yapısı oluşturmaktadır. Bu işlem için plazma gazında karbon, silisyum veya kükürt gibi bağ yapıcı atomların bulunması gerekmektedir. Ayrıca bu olayın gerçekleşebilmesi için plazma gazındaki belirtilen atom içeklerinin yanı sıra basınç, gaz akışı, uygulanan elektriksel güç gibi işlem parametreleri de önemli etkendir (Gheorghiu ve ark., 1997).

2.5. Plazma Etkisinin Değerlendirilmesi

Günümüzde plazma işlemi sonrasında yüzeyde meydana gelen değişimler, analiz yöntemlerinin yaygınlaşmasıyla birlikte farklı donanımlar kullanılarak araştırılmaya başlanmıştır. Temas açısı ölçümü, yüzey gerilimi ölçümü, SEM, AFM, FTIR, XPS gibi yöntemler araştırmacıların en sık başvurduğu metotlardandır.

2.5.1. Temas açısı ölçümü

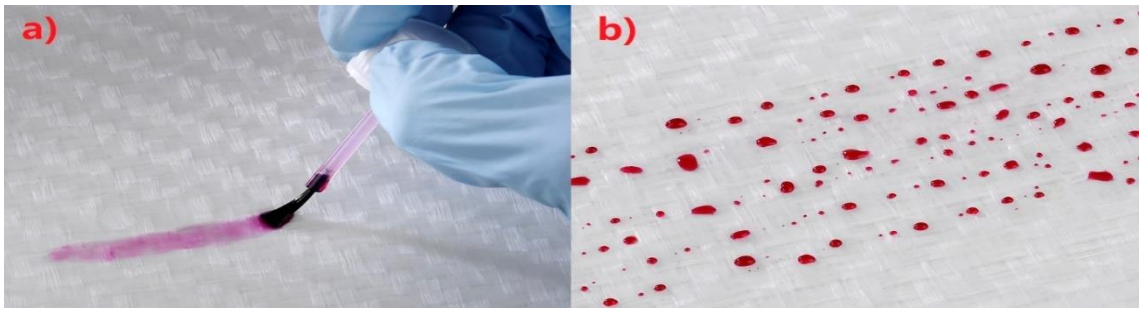
Su temas açısı ölçümü, yüzeyin ıslanabilirlik derecesini ifade etmek için kullanılan bir yöntemdir. Şekil 2.7'de gösterildiği gibi yüksek enerjili yüzeylerde su, yüzeyde düzgün olarak dağılıp ince bir film oluşturmaktadır. Bu durumda temas açısı sıfırdır, yüzey tamamen ıslanmaktadır ve bu tür yüzeyler hidrofilik olarak isimlendirilir. Düşük enerji seviyesindeki yüzeylerde ise su damlaları yüzeye ayrı ayrı yerleşir, bu durumda yüzeyin ıslanabilirlik kabiliyetinin düşük olduğu anlaşılır ve yüzey hidrofobiktir (Aydar ve ark., 2016). Temas açısı azaldıkça yüzey enerjisi, yapışkanlık ve ıslanabilirlik artarken, temas açısı büyüdükçe yüzey enerjisi, ıslanabilirlik ve yapışkanlık azalmaktadır (Adamson, 1990).



Şekil 2.7. Sıvıların farklı yüzey enerjisine sahip katı yüzeylerde ıslatma davranışları (Mirsasaani ve ark., 2011)

2.5.2. Yüzey gerilimi ölçümü

Malzeme yüzeyinin sahip olduğu yüzey gerilimi, mürekkep testi yardımı ile ölçülmektedir. Mürekkep testi; plastik, metal, cam, kompozit malzemeler gibi çeşitli malzemelerin yüzey geriliminin ölçülmesi için tercih edilen bir yöntemdir. Test mürekkebi, şişenin bütünleşik fırçası ile seri bir şekilde yüzey üzerine sürülür. Fırça çizgisinin kenarları, iki saniye boyunca dağılmazsa, yüzey iyi ıslanabilir demektir ve bu durumda maddenin yüzey gerilimi, en az mürekkebinkine denktir. Ancak test mürekkebinin çizgileri bir araya toplanıyorsa, işleme bir sonraki daha küçük değere sahip olan test mürekkebi ile devam edilir ve mürekkep yüzeyde dağılmayana dek bu işleme devam edilir. Malzemenin yüzey gerilimi, onu en az iki saniye boyunca ıslatan en son test mürekkebinin değerine denktir. Bu şekilde malzemenin yüzey gerilim değeri tayin edilmektedir (Plasmatreat, 2022). Şekil 2.8'de mürekkep testi sonrası iyi ve kötü yüzey ıslanmasına dair örnekler verilmektedir.



Şekil 2.8. Mürekkep testi sonrası a) iyi yüzey ıslanması b) kötü yüzey ıslanması (Plasmatreat, 2022)

2.6. Kaynak Araştırması

ABP uygulamaları, hızlı ve stabil şekilde malzeme yüzeylerine uygulanabilirliğinden ve vakum altında yapılan plazma uygulamalarına göre çok sayıda avantaja sahip olmasından dolayı günümüzde birçok alanda ön plana çıkmaya başlamıştır. ABP ile malzemelerin yüzey enerjilerinin, ıslanabilirlik özelliklerinin, yapışma davranışlarının ve yüzey mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi mümkündür. Fakat plazma uygulaması sonrası yüzeyin işlem görmemiş ilk haline geri dönme eğiliminde olmasından dolayı elde edilen değişiklikler kalıcı değildir. Bu yüzden plazma uygulaması ile sağlanan yüzey değişikliklerinin belli bir süre boyunca stabilitesi önem kazanmaktadır. Malzemenin mekanik özelliklerini etkilemeden, yüzeyin yapışma dayanımını arttırmak için kullanılan plazma işlemi hakkında ve yüzeylerin yaşlanma davranışı konusunda çok çeşitli malzemeler üzerine araştırmalar yapılmıştır.

Latifi ve ark. (2014), plazma yüzey oksidasyonu işlemiyle 316L paslanmaz çeliği ile silikon kauçuk kaplama arasındaki yapışma ve yüzey ıslanabilirlik özelliklerini incelemişlerdir. 316L paslanmaz çeliği, biyomedikal cihazların üretimi için en yaygın kullanılan malzemelerden biridir ve bu nedenle yüzey özelliklerini iyileştirmek biyomalzeme alanında büyük bir öneme sahiptir. Bu çalışmada paslanmaz çelik numuneler, saf oksijen atmosferi altında plazma işlemine tabi tutulmuş ve yüzeyleri oksitlenmiştir. Plazma oksidasyonundan sonra numunelerin yüzey kimyasal bileşimi önemli ölçüde değişmiştir. İşlem sonrası yüksek yüzey enerjisine sahip, ıslanabilir bir yüzey elde edilmiştir. Yüzey modifikasyon işleminin tamamlanmasının ardından silikon kauçuk, plazma ile işlenmiş paslanmaz çelik yüzey üzerine spreyle kaplanmıştır. Silikon kauçuk kaplamadan önce numunelerin yüzeyi sırasıyla ön temizleme, elektro-parlatma ve asitle aşındırma işlemlerine tabi tutulmuştur. Çekme deneyleri sonucu plazma işlemi görmemiş numuneler için kaplamanın yüzeye yapışma mukavemetinin 0,12 MPa ile en düşük, plazma oksitlenmiş numuneler için ise 0,89 MPa ile en yüksek değeri verdiği ortaya konmuştur.

Castillo Acero ve Conde Lopez (2017), soğuk atmosferik plazma işleminin alüminyum ve kompozit bağlantı noktalarındaki yapışma dayanımına olan etkilerini araştırmışlardır.

Plazma işlemi, birleştirilecek yüzeyler üzerine 10 dakika boyunca, yüzey ile plazma torcu arasındaki mesafe 15-25 mm olacak şekilde uygulanmıştır. Yapıştırma yüzeyine plazma uygulandığında alüminyum numunelerin %24-30'luk bir dayanım artışı gösterdiği tespit edilmiştir. Kompozit numunelerde ise durumun daha karmaşık olduğu ortaya konmuştur. Kompozit malzemede, plazma işlemi sonrası yüzeyin bir tarafında %50'lik çok büyük bir dayanım artışı elde edilirken, diğer tarafında %20'lik bir dayanım düşüşü elde edildiği belirtilmiştir.

Preedy ve ark. (2014), biyomedikal alanda kullanılan, ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen malzemesinin, soğuk atmosferik plazma işlemi sonrası yapışma özelliklerinin değişimini incelemişlerdir. Plazma işleminde He ve He/O_2 soğuk gaz plazmaları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar plazma işlemi görmüş numunelerin pürüz yoğunluğunu, işlem görmemiş malzemenin yarısı kadar azalttığını göstermiştir. Ancak soğuk atmosferik plazma işlemi sonrası numunelerde su temas açısında bir azalma gerçekleşse de yüzey enerji parametrelerinde çok az bir fark olduğu için test edilen numunelerin genel yüzey enerjileri üzerinde bir etkisinin olmadığı belirtilmiştir. Plazma işlemi sonrası polietilen malzeme ile kemik için model temsil eden borosilikat partikülü arasında daha yüksek yapışma kuvvetleri ölçüldüğünden bu tekniğin yapışmayı arttırmada çok etkili olabileceği ifade edilmiştir.

Lee ve ark. (2009), atmosferik basınçlı Ar/O_2 plazması ile işlem gören soğuk haddelenmiş çelik sacın (SPRC 440) yapışma özelliklerini araştırmışlardır. Yapılan yüzey analizleri sonucunda plazma işlemi ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı, yüzeyde oksitlerin oluştuğu, plazmanın temizleme etkisiyle kirletici etkileri ortadan kaldırdığı ve su temas açısının da 69,3°'den 32,4°'ye düştüğü görülmüştür. Yapışma dayanımı, numunelere uygulanan kesme testi ile değerlendirilmiştir. Yapıştırıcı olarak epoksi esaslı yapıştırıcılar kullanılmıştır. Deney parametreleri olarak plazma gücü, plazma işlem süresi ve O_2 gazının akış hızı belirlenmiştir. Plazma gücünün artmasıyla kesme dayanımının arttığı ortaya konmuştur. Bunun sebebi olarak yüksek plazma gücünün plazma deşarjını yükseltmesi ve bunun da plazmanın verimliliğini arttırması gösterilmiştir. Plazma işlem süresinin 50-75 s aralığındayken en etkili yapışmayı verdiği belirtilmiştir. Plazmada kullanılan O_2 gazı akış hızının yapışma dayanımına belirgin bir etkisinin olmadığı ifade

edilmiştir. Yapılan deneyler sonucu 350 W plazma gücü, 75 s işlem süresi ve 1 sccm O_2 gaz akış hızının en uygun plazma işlem parametreleri olduğu belirlenmiş ve bu şartlarda yapışma dayanımının %23'lük bir artış sergilediği tespit edilmiştir.

Saleema ve Gallant (2013), AA 6061-T6 alüminyum alaşımlı yüzeylerin atmosferik basınçlı He/O_2 plazması altında gösterdikleri yapışma dayanımlarını incelemişlerdir. Deney parametreleri olarak 150 W'lık plazma gücü, başlık-yüzey arası yaklaşık 3 mm'lik mesafe ve plazma işlem süresi olarak da 15, 45 ve 75 saniye belirlenmiştir. Yüzeyin ıslanabilirliğinin tespiti için su temas açısı ölçümü yapılmıştır. Plazma işlemi öncesi 77±1,7° olan temas açısı, 15 saniyelik bir işlem sonrası en iyi sonucu vermiş ve 13±0,7°'ye düşmüştür. Ayrıca 45 saniyede 18,6±2° ve 75 saniyede de 31±3°'lik temas açıları elde edilmiştir. Malzemenin yapışma dayanımının tespiti için hazırlanan numuneler, iki farklı uygulamaya maruz bırakıldıktan sonra teste tabi tutulmuştur. İlkinde plazma işlemi öncesi numuneler, scotch brite ile yüzey sürtünmesine maruz bırakılmıştır. İkinci uygulamada (kataplazma şartları) ise numuneler 7 gün boyunca %100 bağıl nem ve 70°C sıcaklığa maruz kaldıktan sonra -20°C'de 16 saat bırakılıp ardından oda sıcaklığına alınmıştır. Plazma uygulanmayan bağlantılarda yapışma dayanımı 14,5±7 MPa olurken, 15 s plazma uygulanmış yüzeylerdeki yapışma dayanımı 24±1 MPa'a yükselmiştir. Scotch brite uygulanan yüzeylerin plazma işlemi sonrası yapışma dayanımları %20'lik bir kayıpla 18±0,6 MPa, kataplazma şartlarında ise %83'lük bir kayıpla 4±1 MPa'lık değerler vermiştir. Sonuç olarak, normal şartlarda 15 s plazma uygulanmış yüzeylerde güçlü bir yapışma mukavemeti elde edildiği ifade edilmiştir.

Mui ve ark. (2017), dielektrik bariyer deşarjı ve atmosferik basınçlı plazma jeti olmak üzere iki tip atmosferik basınçlı plazma kullanarak poliüretan boyanın, alüminyum AA7075 alaşımı üzerine yapışma davranışını araştırmışlardır. Ø15x3 mm boyutlarındaki numuneler plazma işlemlerinden önce yüzeydeki kirleticileri gidermek için 15 dakika distile suda ve 10 dakika izopropil alkolde ultrasonik olarak temizlenmiştir. Plazma işlemlerinden sonra numuneler poliüretan boya ile boyanmış ve oda sıcaklığında 48 saat kurutulmuştur. Numuneler, dielektrik bariyer deşarjı ile sırasıyla 5, 7.5, 10 ve 15 dakika, argon plazma jetiyle ise 1 mm'lik başlık-numune mesafesinde 20, 30, 40 ve 60 saniye boyunca plazma işlemine maruz bırakılmışlardır. AA7075 alaşımının su temas açısı

değerlerinin her iki plazma işleminden de önemli ölçüde etkilendiği tespit edilmiştir. Plazma işlemi görmemiş numunenin su temas açısı 89±2° iken, plazma uygulamasından sonra su temas açıları, plazma jeti için 60 saniyelik işlem süresinde 19±1°, dielektrik bariyer deşarjı için 15 dakikalık işlem süresinde 5±1°'ye kadar düştüğü ortaya konmuştur. Böylelikle plazma işleminden sonra Al alaşımının yüzeyi, su temas açısının azalmasıyla daha hidrofilik hale gelmiştir. Ayrıca dielektrik bariyer deşarjı ve plazma jeti ile işlem gören AA7075 numunelerinin, işlem görmemiş numuneye kıyasla yüzey enerjisinin yaklaşık 2,5 katlık artışla 70 mJ/m^2 civarındaki değerlere ulaşarak önemli bir artış sergilediği görülmüştür. Sonuç olarak her iki plazma işlemi sonrası su temas açısında bir azalma, yüzey enerjisinde ve ıslanabilirlikte bir artış sağlanmıştır. Boya ile Al alaşımlı yüzey arasındaki mükemmel yapışmanın, yüzey temizliği ve plazma işlemi sayesinde elde edildiği tespit edilmiştir.

Ku ve ark. (2013), polipropilen/alüminyum kompozitlerde, polipropilenin (PP) atmosferik plazma işlemi ile yapışma dayanımının arttırılması üzerine çalışmışlardır. PP malzemeye uygulanan atmosferik basınçlı plazma işleminin, PP ve alüminyum plakalar arasındaki soyulma ve kesme dayanımı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yüzeye yapılan boyama testiyle, 8 kez uygulanan plazma işleminin optimal olduğu ve bu durumda su temas açısının 91°'den 53°'ye düştüğü görülmüştür. Ayrıca, 8 plazma işleminden sonra soyulma ve kesme dayanımlarının sırasıyla %42 ve %44 oranında arttığı tespit edilmiştir. Bu artış, atmosferik basınçlı plazma işleminden sonra polipropilen yüzeydeki yüzey pürüzlülüğünün artmasına ve yüzeyde yeni oluşan hidrofilik fonksiyonel gruba (C=O) bağlanmıştır.

Maroofi ve ark. (2020), atmosferik hava plazma jeti sonrası 5052 alüminyum malzemenin boya tutma kabiliyetini incelemişlerdir. Plazmanın, yüzeye olan etkilerini araştırmak için yüzey ıslanabilirliğini, yüzeyin kimyasal ve fiziksel karakteristiklerini de araştırmışlardır. Plazma işlem parametreleri olarak başlık ile yüzey arasındaki mesafe 4, 7 ve 10 mm, plazma işlem hızı da 2, 4, 6, 10 ve 14 m/min olarak belirlenmiştir. Plazma işlemi sonrası, 4 mm başlık-yüzey mesafesi ve 2 m/min hızda yüzeyin en az 72 mN/m'lik bir yüzey gerilim değerine sahip olduğu, su temas açısının da plazma uygulanmadan önce 79±2° iken, sonrasında ise 27,5±2°'ye düştüğü, boya yapışma kabiliyetinin de 1B'den 5B'ye

yükseldiği ortaya koymuştur. Daha düşük plazma hızı ve daha düşük başlık-yüzey mesafesinde yüzey ıslanabilirliğinin arttığı, yapılan yüzey analizleriyle de plazma işlemi sayesinde yüzey temizliğinin sağlanmasıyla boya ile alüminyum yüzey arasındaki yapışma dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Prysiazhnyi ve ark. (2012), kendi geliştirdikleri atmosferik RF plazma kalem cihazının alüminyum levhalar üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Deney numunelerini, plazma işleminden önce ön temizlemeye tabi tutmuşlardır. Daha sonra numuneler vernik ile kaplanmış ve kurumaya bırakılmıştır. Ardından yapışma testlerine geçilmiştir. Plazma gazı olarak O_2 katkılı Ar ve saf Ar gazları kullanılmıştır. Başlık ile yüzey arasındaki mesafe 2 mm olup plazma işlem süreleri sabit hızda 0.3, 3 ve 30 saniye olarak belirlenmiştir. Plazma işleminden sonra yüzey enerjisinin önemli ölçüde arttığı ve işlem görmüş yüzeyin yüksek ıslanabilirlik sergilediği görülmüştür. Yüzey enerjisindeki bu artış, çok kısa işlem süresi olan 0,3 s için bile açıkça gözlemlenmiştir. Yapılan SEM incelemeleriyle, Ar ile işlem görmüş yüzeylerin, işlem görmemiş yüzeylere nazaran daha gözenekli olduğu ortaya konmuştur. O_2 gazının eklenmesi, oluşan gözeneklerin kısmen kapanmasına ve Ar ile işlem görmüş numunelere kıyasla daha pürüzsüz yüzeyler elde edilmesini sağlamıştır. Numuneler üzerinde gerçekleştirilen Erichsen ve bükme deneyleri ile plazma işleminin, alüminyum yüzey ile kaplaması arasındaki yapışmayı büyük ölçüde iyileştirdiği tespit edilmiştir.

Tang ve ark. (2006), atmosferik basınçlı plazma işlemi ile iki AISI 316 L paslanmaz çelik plaka arasındaki yapışma kuvvetinin değişimini incelemişlerdir. Çalışmada plazma süresi, plazma gücü, gaz akış hızı, plazma başlığı ile yüzeyler arasındaki mesafe ve yaşlanma davranışı gibi farklı parametrelerin etkileri araştırılmıştır. Deneylerde kullanılan paslanmaz çelik plakalar, ultrasonik banyoda 1 saat boyunca %1 hidroklorik asit solüsyonunda temizlenmiş ve daha sonra damıtılmış su ve aseton ile durulanmış, ardından bir nitrojen gazı akımı ile kurutulmuştur. Yapılan deneyler sonrası plazma işlem süresinin 60 s, plazma gücünün 120 W ve plazma kaynağı ile yüzey arasındaki mesafenin de 3 mm olduğu durumun en uygun plazma işlem parametreleri olduğu tespit edilmiştir. 3 saniyelik bir plazma işlem süresinden sonra bile yüzeyin su temas açısı 72,7°'den 34,6°'ye gerileyerek ciddi bir düşüş göstermiştir. 60 saniyelik plazma işlem süresinde su

temas açısı en düşük değer olan 8,7°'ye gerilemiştir. Bu andan sonra yüzey işlevselliği tam olarak oluştuğu için daha uzun plazma sürelerinin temas açısı ve yüzey enerjisi üzerine bir etkisinin olmadığı ifade edilmiştir. Plazma başlığı ve yüzey arasındaki mesafenin 3 mm olduğu durumda 10,6° ile en düşük su temas açısı elde edilmiştir. Yüzey ile plazma başlığı arasındaki mesafe arttıkça su temas açısının da arttığı görülmüştür. Yaşlanma etkisi ise 1 gün boyunca numunelerin havada bekletilmesi ile araştırılmıştır. Plazma işleminden sonra ilk 5 dakikalık bekletilme süresinde su temas açısı düşmüştür. Bu durumun numunenin havayla teması sonrası reaksiyona girerek yüzeyde daha fazla oksit tabakası oluşturduğundan kaynaklandığı düşünülmüştür. 5 dakika sonra 12,7° olan su temas açısı, bekletilme süresinin artmasıyla artmış ve 1 günlük sürenin ardından 41,2°'ye kadar yükselmiştir. Plazma gazı olarak Ar ve O_2 karışımı kullanıldığında paslanmaz çeliğin yüzey enerjisinin daha da arttığı ve Ar plazmadan daha güçlü oksidasyon kabiliyetine sahip olduğu da belirtilmiştir. Yapılan çekme deneyleri ile atmosferik basınçlı plazma işlemiyle iki paslanmaz çelik plaka arasındaki yapışma dayanımının arttığı ortaya konmuştur. Plazma işlemi görmemiş iki numunenin yapışma dayanımı yaklaşık 550 N/cm^2 iken Ar gazı ve Ar/O_2 gaz karışımı ile plazma görmüş numunelerin yapışma dayanımları sırasıyla yaklaşık 660 N/cm^2 ve 730 N/cm^2 olduğu görülmüştür.

Williams ve ark. (2017), 316 paslanmaz çeliğinin yüzeyini boyama, kaplama ve yapıştırma gibi işlemlere hazırlamak adına yüzey enerjisini arttırmak için soğuk atmosferik plazma kullanmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucu 316 paslanmaz çeliğinin soğuk atmosferik plazma işlemine maruz kalmasının ardından yüzeydeki karbon kirliliğinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca yüzey enerjisinde de büyük bir artış meydana gelmiştir. He gazının kullanıldığı plazma işleminde süreler, 5 dakika ile yaklaşık 5 saniye arasında değiştirilmiş ve karbon kirliliğindeki azalmanın da işlem süresine bağlı olarak %80'den yaklaşık %30-40'lara kadar değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir.

Sorrentino ve Carrino (2009), soğuk hava plazması ile 2024 alüminyum alaşımının ıslanabilirliği ve yüzey temizliğini araştırmışlardır. 2024 alüminyum alaşımı, yüksek mukavemet/ağırlık istenen durumlarda kullanılmaktadır. Özellikle Al2024, yüksek

mukavemet ve iyi kimyasal kararlılığı sayesinde havacılık için uygun bir malzemedir. Alüminyum alaşımları, havacılık gibi kritik uygulamalarda kullanıldığında aşındırıcı durumlara maruz kalmaktadırlar. Korozif problemlerin çözümü için yaygın olarak benimsenen çözüm, alüminyum alaşımlı yüzeylerin boyanmasıdır. Uygulanan boya filmi alüminyum alaşımını korozyondan korumaktadır. Boya filminin yapışmasını iyileştirmek için yüzeyin ön işleme tabi tutulması gerekir. Ön işlemin amacı temizlenmiş, homojen, ıslanabilir bir yüzey geliştirmektir. Bu çalışmada, bu amaç doğrultusunda soğuk plazma işlemi ile 2024 alüminyum alaşımının ıslanabilirliği ve yüzey temizliği araştırılmıştır. Soğuk plazma işleminin etkileri, yüzey üzerine metil etil keton (MEK) ile ön temizleme yapılarak ve yapılmayarak olacak şekilde iki farklı durum için araştırılmıştır. Her iki durumda da yüzeylerin ıslanabilirliğinin ve temizliğinin önemli ölçüde iyileştiği tespit edilmiştir. Gaz olarak hava, plazma işlem süresi olarak 30, 75, 120, 300 ve 600 saniye belirlenmiştir. Plazma işlem süresinin artmasının, temas açısının azalmasına ve dolayısıyla ıslanabilirliğin iyileşmesine neden olduğu ortaya konmuştur. 600 saniyelik bir soğuk plazma işlem süresinden sonra, MEK ile ön işleme tabi tutulan numunelerin temas açısı 48,31°'den 10,45°'ye, ön işleme tabi tutulmamış numunelerin temas açısı ise 84,3°'den 17,13°'ye düşmektedir. Soğuk plazma işleminin yüzey temizliğini de iyileştirdiği ortaya konmuştur. İşlem süresinin artması kirleticilerin ağırlığının azalmasına neden olmaktadır. 600 saniyelik bir soğuk plazma işlemi sonrası MEK ile ön işleme tabi tutulan numunelerdeki kirletici ağırlığının yaklaşık 3'te 1, ön işleme tabi tutulmamış numunelerdeki kirletici ağırlığının ise yaklaşık 4'te 1 oranında azaldığı tespit edilmiştir.

Lin ve Chang (2011), atmosferik basınç altında $Ar/N_2/O_2$ plazma işlemi öncesi ve sonrası için SUS304 paslanmaz çeliğin yüzey özelliklerini araştırmışlardır. Bu çalışmada temas açısı ve yüzey enerjisi analiz edilmiştir. İlk deney setindeki plazma işleminde gaz olarak Ar ve N_2 karışımı kullanılmıştır. İkinci deney setinde ise Ar/N_2 gaz karışımına, ağırlıkça %0.5, 1, 1.5, 2 ve 2,5 oranlarında O_2 gazı ilave edilmiştir. Plazma işlemi öncesi 10x10x2 mm boyutlarındaki paslanmaz çelik plakalar, 240, 400, 600, 1000 ve 1200 grid aşındırıcı kâğıt kullanılarak taşlanmış ve daha sonra cilalanmıştır. Cilalı plakalar, asetona daldırıldıktan sonra yüzeydeki yağ ve diğer kirleticilerden kurtulmak için ultrasonik olarak temizlenmiştir. Numunelere işlem öncesi son olarak nitrojen gazı püskürtülerek

kurutulmaya bırakılmıştır. Plazma işlemi sonrası yüzey temas açısının, incelenen tüm deney parametreleri için 10 saniyelik bir işlem sonunda önemli ölçüde azaldığı ve yüzeyin hidrofilik özelliğinin geliştiği görülmüştür. Optimum yüzey modifikasyon parametreleri, 1000 W'lık güç, 80 mm'lik başlık-numune mesafesi, 300 saniyelik işlem süresi ve ağırlıkça %1,5'lik bir O_2 eklemesi yapıldığında elde edilmiştir. Bu koşullar altında 1,6°'lik bir temas açısı bulunmuştur. $Ar/N_2/O_2$ plazması, optimum plazma işlem koşulları altında Ar/N_2 plazmasına göre daha düşük bir temas açısı vermiştir (sırasıyla 1,6° ve 7,1°). Plazma işlemi görmüş yüzeyin oksijen içeriği, kullanılan gazlardan bağımsız olarak yaklaşık %0,71'den %11,3'e yükseldiği ancak $Ar/N_2/O_2$ kullanılarak işlem gören yüzeyin karbon içeriğinin, Ar/N_2 kullanılarak işlem gören yüzeyden önemli ölçüde daha düşük olduğu tespit edilmiştir (ağırlıkça sırasıyla %0,61 ve %2,05). Elde edilen sonuçlara göre, plazma işlemi görmüş yüzeyin, işlem görmemiş yüzeye göre daha düşük karbon içeriğine sahip olduğu görülmüştür. Sonuç olarak SUS304 paslanmaz çelik plakalarda plazma işleminin, yüzey ıslanabilirliği, temas açısı ve yüzey enerjisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu ifade edilmiştir.

Tang ve ark. (2005), atmosferik basınçlı plazma işlemi sonrası AISI 304L paslanmaz çelik plakaların yüzey özelliklerini ve yaşlanma davranışını araştırmışlardır. Plazma gazı olarak Ar kullanılmıştır. İşlem süresinin 60 saniye, işlem gücünün 120 W olduğu durumda optimum plazma işlem koşullarının elde edildiği tespit edilmiştir. Plazma kaynağı ile paslanmaz çelik plakalar arasındaki mesafe 7 mm'de sabitlenmiştir. Plazma işleminden önce paslanmaz çelik plakalar, 4 saat boyunca %1 hidroklorik asit çözeltisi ile yıkanmış, daha sonra damıtılmış su ve etanol ile durulanmış ve nitrojen gazı akımı ile kurutulmuştur. Paslanmaz çelik plakaların, plazma işleminden önce ve sonra yüzey pürüzlülüğü, morfolojisi ve kimyasal bileşimleri karakterize edilmiştir. Yapılan deneylerin ardından plazma işlem süresinin artması ile birlikte su temas açısı azalıp yüzey enerjisi artarken 60 saniyelik plazma işlemi sonrası, su temas açısının minimum değeri olan 10,3°'ye düştüğü tespit edilmiştir. Ayrıca artan plazma gücü ile birlikte su temas açısının azaldığı, 120 W'lık plazma gücünde ise su temas açısının 9,2° ile minimum, yüzey enerjisinin ise maksimum olduğu durum elde edilmiştir. Yaşlandırma etkisinin tespiti için numuneler 24 saat boyunca havada bekletilmiştir. Yapılan testler sonunda doygun durumdaki yaşlandırma süresinin 3 ila 5 dakika olduğu, bu süre içinde temas

açılarının minimuma indiği, yüzey enerjisinin ise maksimuma ulaştığı görülmüştür. Bu süreden sonra artan bekletme süresi ile su temas açılarının da arttığı tespit edilmiştir. Plazma işleminden sonra paslanmaz çeliğin yüzey morfolojisinde belirgin bir değişiklik olmadığı ancak temas açısı testi ile paslanmaz çelik plakaların ıslanabilirliğinin ve yüzey enerjisinin arttığı gözlemlenmiştir.

Seyrek (2016), yüksek çekme dayanımlı polipropilen liflerin yüzey özelliklerinin soğuk plazma teknikleriyle geliştirilmesi üzerine çalışmıştır. Liflere 0,5, 2 ve 20 dakika boyunca 50, 100 ve 200 W güçlerinde O_2 plazması uygulanmıştır. Plazma uygulanan ve plazma uygulanmayan lifler ile iki farklı matris türü (zayıf matris ve güçlü matris) kullanılarak prizmatik numuneler üretilmiştir. Dört nokta eğilme deneyleri ile üretilen numunelerin mekanik performansları incelenmiştir. Plazma uygulamasıyla birlikte liflerin matrisle bağ yapma özelliği de gelişmiştir. Bu durumun bir sonucu olarak eğilme dayanımları tüm numunelerde artış göstermiştir. Çalışmada farklı plazma süresi, plazma gücü, matris tipi ve gaz türü olmak üzere dört değişken incelenmiştir. Soğuk plazma işlemlerinde su tutma kapasitesi açısından O_2 gazı kullanımının, Ar gazına göre daha stabil sonuçlar verdiği ortaya konmuş ve matris türü bakımından güçlü matriste yüksek güçte, zayıf matriste ise düşük güçte plazma uygulamanın mekanik performansı geliştirme açısından daha etkili olduğunu tespit edilmiştir.

Esen (2016), otomobil tampon boya hatlarında, boya öncesi yüzey aktivasyonunda kullanılan alev prosesi yerine atmosferik plazma yüzey aktivasyon işleminin uygulanabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada polipropilen plakalar üzerinde farklı hız, farklı nozül, farklı plazma mesafesi ve farklı plazma gazları kullanılarak aktivasyon işlemleri uygulanmış ve en yüksek yüzey enerjisi elde edilecek proses parametreleri belirlenmiştir. Çalışmada artan hıza bağlı olarak azalan aktivasyon süresi sonucunda aktivasyon etkinliği azalmıştır. En yüksek yüzey enerjisi, düşük hız grubunda elde edilmiştir. Hız ile yüzey enerjisi, ters orantılı olarak değişmektedir. Sürenin artışı yüzeyde daha fazla kimyasal modifikasyonun gerçekleşmesine neden olmaktadır. En yüksek yüzey enerjisi değerlerinin yakın mesafelerdeki uygulama grubunda olduğu görülmüş ve bu değeri 68 mN/m olarak ölçülmüştür. Plazma işleminde kullanılan N_2 gazının yüzey enerjisini arttırmada daha yüksek performans gösterdiği gözlemlenmiş olmasına rağmen

maliyet açısından dezavantaj oluşturabilmesi nedeniyle endüstriyel uygulamalar için hava plazması kullanımı daha uygun görülmüştür. Mikroskobik incelemelere göre uygulama süresinin artışı yüzeyde nano mertebede yüzey pürüzlendirme etkisi oluşturmaktadır. Aynı şekilde yakın uygulama mesafesi grubundan alınan sonuçlarda plazmanın yüzeyle yakın temasta bulunması halinde yüzeyin aşındığı ve nano seviyede pürüzlülük kazandığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada plazma aktivasyonu, alev uygulamasından daha yüksek performans göstermiş olup boya kalite standartları gereği uygulanan tüm testlerden geçerek sisteme entegre edilebilir şeklinde raporlanmıştır.

Brzhozovskii ve ark. (2019), düşük sıcaklıktaki plazma işleminin 40x13 çeliğinin yüzey özelliklerine olan etkisini araştırmışlardır. Yüzeye 8 dakika boyunca uygulanan plazma işlemi sonrası yüzey tabakasının kimyasal bileşiminin değişim gösterdiği, yüzey mikrosertliğinin iki katına çıktığı, yüzey pürüzlülüğünün iyileşerek tane sınırları boyunca gizli kusurları iyileştirdiği tespit edilmiştir. Ayrıca plazma işlemi sonrası korozyon kaybında 3,17 katlık, korozyon hızında ise 2,91 katlık bir düşüş elde edilerek korozyon direncinde elde edilen önemli artış ortaya konmuştur.

Mandolfino ve ark. (2015), lazer ve düşük basınçlı plazma işlemlerinin yapıştırıcı ile birleştirilmiş bağlantılar üzerindeki mekanik özelliklerin etkilerini araştırmıştır. Yüzey işlemleri 1,6 mm kalınlığındaki 6061-T6 alüminyum alaşımı numuneler üzerine uygulanmıştır. Plazma gazı olarak Ar ve O_2 kullanılmıştır. İşlem görmemiş numuneler ve asetonla yüzey temizliği yapılmış numuneler, bu çalışma için referans olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonrası referans numunelere kıyasla hem lazer hem düşük basınçlı plazma işleminin bağlantılardaki mukavemeti arttırdığı ortaya konmuştur. En yüksek kesme gerilimi ortalama 19,35 MPa ile lazer tedavisinde elde edilirken Ar plazmasında ortalama 14,39 MPa, O_2 plazmasında ise 15,13 MPa'lık değerler elde edilmiştir.

Moroni ve ark. (2020), atmosferik basınçlı plazma işleminin termoplastik malzemelerin mekanik davranışına olan etkilerini incelemişlerdir. Polipropilen, polietilen ve poliamid 66 olmak üzere üç farklı polimerik malzeme kullanılmıştır. Plazma işlem parametreleri olarak 5-20 mm arasında değişen başlık-yüzey arası mesafe ve 30-400 mm/s arası değişen

plazma işlem hızı belirlenmiştir. Yüzeylere zımpara ile aşındırma, kimyasal bir işlem olan astar uygulaması ve atmosferik basınçlı plazma olmak üzere üç farklı işlem uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre atmosferik basınçlı plazma işleminin, özellikle düşük başlık-yüzey arası mesafede ve düşük işlem hızında, aşındırma ve astarlamaya oranla polimerik malzemelerin yapışma dayanımında daha başarılı sonuçlar verdiği ortaya konmuştur. Çalışmada ayrıca polipropilen malzemede yüzey ıslanabilirliğinin, soğuk plazma işleminden 1 gün sonra %7'lik, 10 gün sonra da yaklaşık %30'luk bir düşüş gösterdiği tespit edilmiştir.

Sorrentino ve Carrino (2009), soğuk plazma işleminin 2024 alüminyum alaşımının yaşlanma süresi üzerine olan etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmanın amacı, plazma ile işlem görmüş Al2024 yüzeylerinin yaşlanma süresini değerlendirmek olmuştur. Plazma gazı olarak O_2 kullanılmıştır. 120x30 mm ölçülerindeki deney numuneleri 40 mm'lik bir mesafeden işleme tabi tutulmuştur. Plazma işleminde en iyi ıslanabilirlik değerlerinin 30 kV, 1,5 kPa ve 120 s parametrelerinde elde edildiği ve bu parametrelerde plazma uygulamasından sonra temas açısının %65 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Çalışmada ayrıca plazma işlemi gören yüzeylerin 0-6 saat ve 0-30 gün bekletilmesi sonrası temas açılarında meydana gelen değişimler incelenmiştir. 1 günlük bekleme sonrası temas açısının 31°'den 43°'ye çıkarak %38 bir artış gösterdiği, 30 günün sonunda ise %57'lik bir artışın olduğu tespit edilmiştir. Soğuk plazma işlemi ile elde edilen yüzey özelliklerinin, yüzeyin atmosferik koşullara maruz kalmasından sonra birkaç saat veya birkaç gün içinde hızlı bir bozulmaya uğradığı görülmüştür. Bu sayede plazma işlemi ile yüzeye uygulanacak olan boya işlemi arasında, plazma ile elde edilen özellikler kaybolmadan ne kadarlık bir süreye sahip olunduğunun tespiti yapılmıştır.

Polini ve Sorrentino (2003), soğuk plazma işlemi ile 2024 alüminyum alaşımının ıslanabilirliğinin iyileşmesi hakkında çalışmışlardır. Voltaj, zaman ve hava akış hızı gibi plazma değişkenleriyle alüminyum alaşımının ıslanabilirliğini araştırmışlardır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu, plazma işlemi görmemiş numunenin su temas açısı 48° iken, 30 kV'da su temas açısı 20,39°'ye, 120 saniyelik işlem süresinde ise su temas açısı 22,82°'ye kadar düşmüştür. En iyi ıslanabilirlik, 30 kV, 120 s ve 35 dm^3/sa işlem parametrelerinde 17° ile elde edilmiştir. Islanabilirlik artışına bağlı olarak 2024

alüminyum alaşımının yüzey değişimlerini incelemek için SEM analizi yapılmıştır. Soğuk plazma işleminin, yüzeydeki karbon ve oksijen yüzdesinde büyük bir düşüşe sebep olduğu ve yüzeyde temizleme etkisi yarattığı ortaya konmuştur. Soğuk plazma işleminin yaşlanma etkisi de incelenmiş ve numunelerin plazma işleminden 1 saat sonra %4'lük, 5 saat sonra %14'lük ve 1 gün sonra da yaklaşık %65'lik bir bozulmaya uğradığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak voltaj ya da işlem süresinin artmasıyla su temas açısının azaldığı, seçilen plazma işlem parametrelerine göre ıslanabilirlikte %50'nin üzerinde bir iyileşme olduğu sonucuna varılmıştır.

Polini ve Sorrentino (2004), soğuk plazma ile 2024 alüminyum alaşımlı bir yüzey üzerine uygulanan koruyucu boya kaplamasının davranışını araştırmışlardır. Yüzey üzerine uygulanan boya, endüstriyel yöntem ve soğuk plazma yöntemi ile olmak üzere iki farklı metotla incelenmiş ve deney aşaması için iki farklı deney grubu oluşturulmuştur. İlk gruptaki numuneler, soğuk plazma işlemine tabi tutulurken, ikinci gruptaki numuneler için endüstriyel metot takip edilmiştir. Deney numuneleri 120x30x1 mm boyutlarında hazırlanırken yüzeye uygulanan soğuk plazma işleminin süresi de 120 saniye olarak belirlenmiştir. Soğuk plazma işlemi sonrası boyanmış numuneler üzerinde gerçekleştirilen mekanik ve kimyasal testler, boya kaplamasının iyi bir şekilde yapıştığını göstermiştir. Soğuk plazma kullanarak, endüstriyel kaplama yönteminin adımlarından ikisi olan, yüzeyi solvent ile temizleme işlemini ortadan kaldırmanın ve kullanılan astar miktarını da azaltmanın mümkün olabileceği tespit edilmiştir. Bu sayede 2024 alüminyum alaşımının sıkça tercih edildiği havacılık sektöründe helikopter ve uçakların ağırlığını, üretim sürelerini, maliyetlerini ve kirletici maddelerin kullanımını azaltmanın mümkün olabileceği sonucuna varılmıştır.

Mandolfino ve ark. (2014), düşük basınçlı plazma işleminin polimerik malzemeli yüzeyler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Genel anlamda polimerler, çok düşük yüzey enerjisi değerlerine ve sonuç olarak zayıf yapışkan özelliklerine sahiptirler. Bu çalışmada işlem süresi, plazma gücü ve çalışma gazı gibi üç farklı plazma parametresinin, temas açısı, yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantıların kesme testi ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri araştırılmıştır. Malzeme olarak yüksek yoğunluklu polietilen ve polipropilen kullanılmış ve yapıştırıcı olarak Loctite 401 seçilmiştir. Plazma işlemi sonrası polietilen

yüzeylerin ıslanabilirliğinde en iyi sonuç, 60 saniyelik plazma işlem süresinde elde edilmiştir. Plazma gücünün 150 W'a eşit ve daha büyük olduğu değerlerde temas açısı, 80°'den 15°'nin altına düşerek neredeyse mükemmel ıslanabilirlik sağlanmıştır. Plazma işleminin polipropilen yüzeyler üzerinde de oldukça etkili olduğu görülmüştür. 200 W'lık güç ve 60 saniyelik işlem süresinde temas açısı 87°'den 30°'ye gerilemiştir. Plazma işleminin, kısa işlem süresinde bile yüzey ıslanabilirliğinde son derece etkili olduğu kanıtlanmıştır. Plazma işlemi sonrası yapıştırıcıyla birleştirilmiş bağlantılar için polietilen yüzeylerde en iyi sonuç 180 s işlem süresi, 50 W plazma gücü ve gaz olarak havanın kullanımında elde edilmiştir ve bu parametrelerde kesme dayanımının yaklaşık 10 katlık bir artış gösterdiği ortaya konmuştur. Polipropilen yüzeylerde ise plazma gazı belirleyici olmuştur. Argon olumsuz etkilere sahipken O_2'in olumlu bir etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Plazma işlemi sonrası yüzey pürüzlülüğünün de arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak deneysel veriler, plazma işleminin yüzey morfolojisini önemli ölçüde değiştirebileceğini, yüzeylerin ıslanabilirlik özelliklerini ve yapıştırılmış bağlantıların kesme dayanımını artırabileceğini göstermektedir.

Rodriguez-Villanueva ve ark. (2013), atmosferik basınçlı hava plazma torcu işleminin çelik yüzeyler üzerindeki yağlayıcı kirleticileri giderme kabiliyeti üzerine çalışmışlardır. Temas açısı testi ve yağ sökücü analizi ile elde edilen sonuçlar hızın, elde edilen temizleme derecesini etkileyen en önemli faktör olduğunu göstermiştir. Test edilen üç farklı hız değeri arasında, 2 mm'lik torç uzaklığı ve 1 m/min'lik hız değerinde en uygun yağlayıcı eliminasyonunun elde edildiği belirtilmiştir. Atmosferik basınçlı hava plazma torcu işlemi ile 2 MPa'ın üzerinde yüksek bir yapışma direncinin elde edildiği, işlemin yüzeydeki tüm yağlayıcı katmanı ortadan kaldırmasa da daha ileri endüstriyel uygulamalar için yüksek düzeyde temizlenmiş bir yüzey sağlayabileceği ortaya konulmuştur.

Luna ve ark. (2017), kuru dağlama plazmasının lifler üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Farklı plazma işlem süreleri ile plazma uygulamasının çekme dayanımı ve yüzey görünümü üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada Ar gazı kullanılmıştır. İşlem süreleri 200, 400, 600, 800 ve 1000 s olarak belirlenmiştir. Kuru dağlama plazmasının farklı liflerin çekme mukavemeti üzerindeki etkisini değerlendiren araştırmacılar

mekanik özellikte herhangi bir değişiklik olmadığına, SEM görüntüleri ile de yüzey görüntülerinde gerçekleşen değişimlere dikkat çekmişlerdir.

Prysiazhnyi ve ark. (2012), nemin alüminyum yüzeylerde atmosferik basınçlı hava plazma işlemine etkilerini araştırmışlardır. Alüminyum levhalar ve termal olarak buharlaştırılmış yüksek saflıktaki ince alüminyum filmler olmak üzere plazma işlemi iki farklı yüzeye uygulanmıştır. İşlem sonrası atmosferik basınçlı hava plazmasının yüzeyde yarattığı değişiklikler incelenmiştir. Plazma işlemindeki parametreler, %2'den az ve %90'dan fazla bağıl neme sahip ortam, 0,35 mm'lik başlık-yüzey arası mesafe ve 5, 40 ve 100 saniyelik plazma işlem süreleridir. Yapılan yüzey analizleri sonucu, plazma uygulaması sonrası yüzeyde gözlemlenen temizliğe ek olarak yüzey aktivasyonunun da sağlandığı görülmüştür. Yüzey enerjisi ile ortam nemi arasında ise bir ilişki bulunamamıştır. Ayrıca yüzeydeki yaşlanma etkisi incelenmiş ve bunun başlıca sebebi olarak oksit tabakasının dehidrasyonu ve hidrokarbon kirliliğinin yeniden absorpsiyonu olarak gösterilmiştir.

Jorda-Vilaplana ve ark. (2015), atmosferik basınçlı hava plazma işlemi ile yaşlanmanın polilaktik asidin (PLA 6201D) yüzey yapışkan özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Polilaktik asit, üretimi en fazla yapılan biyoplastik malzemelerdendir. Yenilenebilir olması, biyolojik olarak parçalanabilir özellikleri nedeniyle bu tür polimerlere artan bir talep söz konusudur. Ambalajlama, polilaktik asidin en çok kullanıldığı endüstriyel alandır. Ambalaj sektöründe tasarım çok önemli bir faktördür ve çoğu uygulamada yapıştırma gereklidir. Polimerlerdeki düşük yüzey ıslanabilirlik özellikleri nedeniyle, substratın yüzey hidrofilikliğinin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden atmosferik basınçlı hava plazma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma ile polilaktik asidin ıslanabilirliğini iyileştirmek amaçlanmıştır. Aynı zamanda polilaktik asit substratı üzerinde plazma işlemi sonrası zamanın etkileri değerlendirilmiştir. Atmosferik basınçlı hava plazma işlemi sonucu polilaktik asidin yüzey enerjisinde yaklaşık %59'luk bir artış sağlanmıştır. Yaşlandırma işlemi koşulları olarak 21 gün boyunca %25 bağıl nem ve 25°C sıcaklık belirlenmiştir. Atmosferik basınçlı plazma, 100, 300 ve 700 mm/s'lik üç farklı hızda 6 ve 10 mm'lik başlık-yüzey arası mesafelerinde uygulanmıştır. Bekletme süresi olarak ise 3 saatten 21 güne kadar olan periyot belirlenmiştir. 6 mm'lik başlık-

yüzey arası mesafe ve 100 mm/s'lik hız ile uygulanan plazma işlemi sonrası 21 günlük yaşlandırma işleminde yüzey enerjisinde %28'lik bir azalma, 300 mm/s'lik hızda yaklaşık %25'lik bir azalma ve 700 mm/s'lik hızda ise yaklaşık %15'lik bir azalma görülmüştür. 10 mm'lik başlık-yüzey arası mesafede ve 21 günlük yaşlandırma işlemi sonrasında ise 100, 300 ve 700 mm/s'lik plazma uygulama hızlarında yüzey enerjisinde sırasıyla %36.7, %28.7 ve %18'lik bir azalma tespit edilmiştir. Ayrıca 6 mm başlık-yüzey arası mesafe ve 100 mm/s'lik plazma uygulama hızında iki polilaktik asit yüzeyin yapışma davranışı da incelenmiştir. Plazma uygulanmamış ve plazma uygulanmış numuneler karşılaştırıldığında en yüksek yapışma dayanımı 90 dakikalık kürleme süresi sonrası 150,10 N/cm^2 ile elde edilmiştir. 6 mm başlık-yüzey arası mesafede 6 günlük bekletme süresi sonrası yapışma dayanımı %15, 21 günlük bekletme süresi sonrası ise yapışma dayanımı %53'lük bir düşüş göstermiştir. Sonuç olarak atmosferik basınçlı plazma işlemi uygulanan polilaktik asit numuneleri, bekletme süresinden fazlasıyla etkilenmiştir. Bekletme sonrası su temas açıları artmış, yüzey enerjileri azalmıştır. Bunun da yapışma dayanımı üzerine negatif etkileri olmuştur. Bu olumsuz etkiye rağmen analizi yapılan tüm yaşlandırma numunelerinin yapışma dayanımı, plazma uygulanmayan numunelere göre daha yüksek çıkmıştır.

Kim ve ark. (2003), atmosferik basınçlı plazma jeti sonrası alüminyum, paslanmaz çelik ve bakır malzeme yüzeylerinin özelliklerini araştırmışlardır. Plazma gazı olarak N_2 ve O_2 gaz karışımı kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonrası plazma işlemi görmemiş alüminyum, paslanmaz çelik ve bakır malzemelerin temas açıları sırasıyla 66.14°, 49.92° ve 64.72° iken plazma işlemi sonrası bu temas açılarının 19.6°, 10.92° ve 23.2°'ye düştüğü ortaya konmuştur. Malzemelerin yaşlanma karakteristiklerini ortaya çıkarmak adına numuneler oda sıcaklığında ve %64 bağıl nem koşulları altında havada 8 gün boyunca incelenmiştir. Yaşlandırma testinin sonuçları plazma işleminden sonra numunelerin hava ortamında yaklaşık 15 saat gibi kısa bir bekleme süresine sahip olduğunu göstermiştir. 15 saatten daha uzun bekleme sürelerinde ise su temas açılarının kademeli olarak arttığı görülmüştür. 8 günlük bekleme süresinin ardından ise numunelerin, plazma işlemi görmeden önceki yüzey özelliklerine geri döndüğü saptanmıştır.

Kurtuldu ve Altuncu (2016), atmosferik basınçlı plazma kullanarak, 10x5x0,5 mm ölçülerindeki AISI 304 paslanmaz çelik plakaların yüzey ıslanma özelliğini incelemişlerdir. Krom içerikli, korozyona ve ısıl kararlılığa sahip demir esaslı bir alaşım olan paslanmaz çelikler, geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir. Paslanmaz çeliğin ıslanabilirlik özellikleri, petrokimya, enerji üretimi, denizcilik, gıda ve inşaat endüstrileri gibi paslanmaz çelik-akışkan temasının olduğu birçok endüstriyel uygulama için büyük ilgi görmektedir. Bu nedenle ıslanabilirliğin kontrolü büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada plazma uygulaması sonrası, işlem mesafesi, hız ve işlem tekrar sayısı gibi üç farklı parametrenin sonuçları değerlendirilmiştir. Plazma uygulaması, döner başlıklı bir sistemle kuru hava kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler sonrası plazma işleminin etkinliğinin, başlık ile numune yüzeyi arasındaki boşluk mesafesi ile değiştiği tespit edilmiştir. Plazma işlemi görmemiş yüzeylerin su temas açısı yaklaşık 74° olarak ölçülmüştür. Plazma uygulaması sonrası en düşük temas açısı, yaklaşık 16° ile 1 tekrar sayısı, 50 mm/s hız ve 13 mm mesafe parametrelerinde elde edilmiştir. Çoklu tekrar sayılarında yüzey ısısının yükselmesinden ötürü plazma işleminin temas açısı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı saptanmıştır. Plazma etkisinin, yüzey sıcaklığının 50°C altında kaldığı durumlarda daha dengeli olduğu belirlenmiştir. Yaşlanma karakteristiği ise numunelerin 150 dakika bekletilmesi sonrası değerlendirilmiştir. 45 dakikalık bekletilme süresinin ardından hem 8 mm hem de 13 mm plazma boşluk mesafelerinde temas açısı 20°'den yaklaşık 30°'ye yükselmiştir. 150 dakika sonra ise 8 mm boşluk mesafesinde temas açısı 40°'ye çıkarken, 13 mm boşluk mesafesinde yine yaklaşık 30° seviyesinde kaldığı görülmüştür. Bu durum, plazma işleminin 13 mm boşluk mesafesinde paslanmaz çelik malzeme üzerinde yaşlanma için zaman geçtikçe daha kararlı bir etkiye sahip olması ile açıklanmaktadır. Sonuç olarak atmosferik basınçlı plazma uygulamasının çelik yüzey üzerine boyanın yapışma kabiliyetini ve kaplanabilirliğini arttırdığı ifade edilmiştir.

Morent ve ark. (2007), orta basınçta hava, helyum ve argon gazı kullanılarak bir dielektrik bariyer deşarjı ile işleme tabi tutulan polipropilen (PP) ve polietilen tereftalat (PET) filmlerinin yaşlanma davranışını incelemişlerdir. PP ve PET'in, iyi mekanik ve kimyasal özelliklere sahip olmalarına rağmen düşük yüzey enerjileri nedeniyle çeşitli uygulamalarda kullanımları kısıtlıdır. Plazma uygulamasının, PP ve PET gibi hidrofobik

polimer yüzeylerini, hidrofilik hale getirip ıslanabilirliklerini ve yapışma özelliklerini geliştirmek için çok yararlı bir yöntem olduğu ifade edilmiştir. Bununla birlikte plazma işlemi görmüş polimerlerin, yüzey muamelesinden sonra hidrofobik özelliğini geri kazandığı da bilinmektedir. Yüzey, işlem görmemiş ilk durumuna geri dönme eğiliminde olduğundan plazma etkisi kalıcı değildir. Bu çalışmada, PP ve PET polimer filmleri plazma gazı olarak hava, helyum ve argon kullanılarak plazma işlemine tabi tutulmuştur ve işlemden sonra oda sıcaklığındaki havada 48 saat bekletilmiştir. Sonuçlar, plazma işlemi sırasında kullanılan çalışma gazının hem PP hem de PET filmlerin yaşlanma davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Yaşlanma etkisinin tespitinde hava, helyum ve argon ile işlem görmüş PP filmlerin plazma işlem verimliliğinde sırasıyla yaklaşık %47, %35 ve %25'lik bir kayıp yaşanırken, PET filmlerin plazma işlem verimliliğinde ise sırasıyla yaklaşık %39, %34 ve %29'luk bir kayıp olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar ayrıca yaşlanma etkisinin, argon plazma ile işlem görmüş polimer filmler için en az, hava plazma ile işlem görmüş polimer filmler için en fazla olduğunu göstermektedir.

Kim ve ark. (2003), atmosferik basınçlı plazma jeti uygulaması sonrası paslanmaz çeliğin değişen yüzey özellikleri ve yüzeyin yaşlanma davranışını araştırmışlardır. Plazma jetinde N_2 ve O_2 karışımı gaz kullanılmıştır. Paslanmaz çelik numuneleri, farklı başlık-yüzey arası mesafe (10, 15, 20, 25 ve 30 mm) ve işlem hızları (5, 15, 25, 35 ve 45 mm/s) ile teste tabi tutulmuştur. Yapılan yüzey analizlerinde plazma uygulaması sonrası, işlem görmemiş yüzeye kıyasla tanelerin daha yoğun göründüğü, kesit analizi sonucunda ise yüzeyin daha keskin hale geldiği ve çıkıntı yüksekliğinin azaldığı görülmüştür. Plazma işlemi görmüş paslanmaz çeliğin yüzey enerjisinin, işlem görmemiş yüzeye kıyasla önemli ölçüde arttığı ortaya konmuştur. En yüksek yüzey enerjisi 71,49 mN/m ile 10 mm başlık-yüzey mesafesinde ve 5 mm/s işlem hızında elde edilmiştir. Yaşlanma etkisi ise plazma işlemi görmüş numunelerin 4 gün boyunca oda sıcaklığında ve %64 bağıl nem altında bekletilmesi ile araştırılmıştır. Bekletilme süresindeki artışa göre yaklaşık 12° olan temas açısının 15 saat içinde artarak yaklaşık 30°'ye çıktığı görülmüştür. Sonuç olarak, paslanmaz çeliğin plazma jet yöntemi ile açık hava koşullarında hidrofilik özelliklerinin geliştirilebileceği ortaya konmuştur.

Liu ve ark. (2015), soğuk atmosferik basınçlı azot plazma jetinin alüminyum yüzeyler üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışmada, plazma işlemi sonrası yüzeyin gösterdiği değişim ortaya konurken yaşlanma davranışı da numunelerin suda ve havada olmak üzere iki farklı ortamda bekletilmesi ile incelenmiştir. Plazma gazı olarak azot kullanılırken, başlık ile yüzey arasındaki mesafe 15 mm olarak belirlenmiş ve plazma işlem süresi de 1-60 saniye arasında değiştirilmiştir. Su temas açısı 159,3° olan ve süper hidrofobik olan alüminyum yüzey, 40 saniyelik bir plazma işlemi sonrası temas açısı 5°'den küçük hale gelerek süper hidrofilik hale gelmiştir. Farklı plazma işlem sürelerinin yüzeyin ıslanabilirliği üzerine olan etkilerini incelemek için yüzey enerjileri hesaplanmıştır. Yüzey enerjisinin 30 saniyelik bir plazma işlemi sonrası 28,7 mJ/m^2'den 67,9 mJ/m^2'ye hızlı bir yükseliş gösterdiği ardından artan plazma işlem süresi ile yavaş yavaş yaklaşık 72 mJ/m^2'ye çıktığı gözlemlenmiştir. Yapılan yüzey incelemeleri sonrası plazma işleminden sonra yüzeydeki çıkıntı yoğunluğu ve yüzeyin pürüzlüğünün azaldığı, bunun da su temas açılarının düşüşüyle sonuçlandığı ifade edilmiştir. Yapılan kimyasal analizler sonrası ise uygulanan plazma işlemi ile yüzeydeki oksijen atomunun %24,36'dan %45,9'a yükselmesi yüzeyin gösterdiği ıslanabilirlik artışının nedenlerinden biri olarak belirtilmiştir. Yüzeyin yaşlanma etkisi ise 3 günlük bir sürede değerlendirilmiştir. Numuneler, suda ve havada olmak üzere iki farklı ortamda bekletilmiştir. 60 s plazma işlemi gören numunelerin su temas açıları 0° olarak süper hidrofilik özellik göstermiştir. 1 saatlik sürenin ardından suda bekletilen numunelerin temas açısı yaklaşık 9°'ye yükselirken havada bekletilen numunelerin su temas açısı yaklaşık 25° olmuştur. Suda bekletilen numunelerin 72 saatlik bekletilme süresi boyunca su temas açıları yaklaşık 9°'de sabitlenirken, havada bekletilen numunelerin 12 saat sonra temas açıları 36°'ye yükselmiş ve ardından kademeli olarak yaklaşık 40°'de sabitlenmiştir. Bu yükselişe rağmen yüzeyin ilk süper hidrofobik haline kıyasla oldukça iyileştirilmiş bir ıslanabilirliğe sahip olduğu belirtilmiş ve bu özelliğin uzun süre korunabileceği ileri sürülmüştür.

Pykönen ve ark. (2008), kâğıt yüzeylere uygulanan atmosferik plazmanın yaşlanma etkisi üzerine çalışmışlardır. Plazma işlemi ile kâğıdın yüzey kimyası ve yüzey enerjisi değiştirilmektedir. Kâğıt ve polimer arasındaki yapışmayı iyileştirmek, su bazlı mürekkeplerle basılabilirliği arttırmak, sprey kaplama işlemlerinde yapışmayı ve ambalaj

malzemelerindeki bariyer özelliklerini geliştirmek kâğıt yüzeylerde plazma işlemi ile mümkündür. Bu çalışmada iki farklı kâğıt tipi olan pigment kaplı ve yüzey boyutlu kağıtlar, iki tip atmosferik plazma işlemi kullanılarak plazma işlemine tabi tutulmuştur. İlkinde korona ve plazma birlikte kullanılmıştır ve plazma gazı olarak N_2 tercih edilmiştir. Diğer yöntemde ise atmosferik dielektrik bariyer deşarj plazma kullanılmış ve plazma gazı olarak hava seçilmiştir. Yaşlanma davranışı 1, 2, 5 ve 12 haftalık aralıklarla, 3 aylık bir süre boyunca oda sıcaklığında incelenmiştir. Plazma işlemi sonrası yüzey enerjisi ve yüzeyin oksidasyon seviyesinin her iki kâğıt için de arttığı görülmüştür. Yaşlanma etkisi sadece yüzey enerjisinde tespit edilebilirken, oksidasyon seviyesi 12 hafta boyunca sabit kalmıştır. Yaşlanmanın ilk haftalarda daha hızlı olduğu, daha sonra ise dengelendiği görülmüştür. 12 hafta sonunda yüzey enerjisinin, plazma işlemi görmemiş numunelere oranla daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Yaşlanma etkisinin, var olan polar molekül gruplarının zamanla malzeme yüzeyine geri dönmesinden kaynaklandığı, bozulmanın bir kısmının da yeniden kontaminasyon yoluyla meydana geldiği ifade edilmiştir.

Carrino ve ark. (2004), soğuk plazma ile işlenmiş polipropilen yüzeylerde yaşlanmanın etkisini ıslanabilirlik ile incelemişlerdir. Otomotiv sektöründe polimerik malzemelerin artan kullanımı, bazı sınırlamalarının da üstesinden gelme ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Otomobil endüstrisinde, polipropilen tampon yüzeylerinin hem ıslanabilirliğini hem de yapışkan özelliklerini geliştirmek için soğuk plazma işlemi tercih edilen yöntemlerden biri olmuştur. Bu çalışmada, polipropilen yüzeylere uygulanan soğuk plazma işleminin yaşlanma süresini değerlendirmek amaçlanmıştır. Voltaj, plazma uygulama süresi ve plazma hava akış oranı gibi farklı parametrelerle yüzeyin bozulması incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ıslanabilirliğin bozulması soğuk plazma işleminden 1 gün sonra yaklaşık %7, 5 gün sonra %18, 10 gün sonra ise %29'a ulaşmıştır. Soğuk plazma işleminden sonraki ilk 6 saatte ise bozulma %3'ün altında kalmıştır. Sonuç olarak soğuk plazma işleminin, tüm işlem koşullarında uzun bir yaşlanma süresi sağladığı ifade edilmiştir.

Prysiazhnyi (2013), atmosferik basınçlı plazma işlemi ile krom yüzeylerin yaşlanma davranışını incelemiştir. Korozyon önleyici kaplamalarda, alüminyum ve çelik alaşımlarındaki kullanımlarından dolayı bu çalışmada krom yüzeyler üzerinde atmosferik

basınçlı plazma işleminin etkileri araştırılmıştır. Plazma gazı olarak hava, O_2 ve N_2 kullanılmış, numune ile plazma başlığı arasındaki mesafe 0,35 mm'de sabitlenmiş ve 5, 40 ve 100 saniyelik plazma işlem süreleri belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonrası plazma uygulamasının, yüzey ıslanabilirliğinde önemli bir artışa yol açtığı görülmüştür. 40 saniyelik plazma işlemi sonrası yüzey enerjisi 29 mJ/m^2'den 80 mJ/m^2'ye yükselmiştir. Yüzey değişikliklerini açıklamak için yapılan XPS analizleri sonrası yüzey ıslanabilirliğindeki artış yüzey temizliği ile açıklanmıştır. Yaşlanma etkisinin araştırılması için ise numuneler 2 gün boyunca kuru ve nemli havada bekletilmiştir. Plazma işlemi görmüş yüzeylerin zamanla hidrofobikliğinin arttığı tespit edilmiştir ve yaşlanma etkisinin kuru havada daha fazla olduğu ortaya konmuştur.

Tang ve ark. (2004), atmosferik basınçlı plazma işleminden sonra AISI 304L paslanmaz çeliğinin yüzey enerjisinin değişimini araştırmışlardır. Plazma işleminden sonra yüzey ıslanabilirliği ve yüzey enerjisinin iyileştiği ortaya çıkmıştır. Plazma gazı olarak Ar kullanılmıştır ve yüzey ile plazma başlığı arasındaki mesafe 7 mm'de sabitlenmiştir. Yapılan deneyler sonrası plazma işlem süresinin 60 s, plazma gücünün ise 120 W olduğu durum optimum plazma işlem koşulları olarak belirlenmiştir. Yaşlanma davranışının etkisi için ise numuneler 2 saat boyunca havada bekletilmiştir. Optimum yaşlandırma süresinin 3-5 dakika olduğu tespit edilmiştir. Numunelerin, 3-5 dakikalık bir süre boyunca havaya maruz kalmasından sonra su temas açılarının minimuma düştüğü ve yüzey enerjilerinin maksimuma ulaştığı, 3-5 dakikalık süreden sonra ise temas açılarının gittikçe arttığı ve yüzey enerjilerinin de kademi olarak azaldığı görülmüştür. 3 ila 5 dakikalık sürenin uzaması durumunda havadaki kontaminasyonların ve kararlı bileşenlerin doymuş yüzey üzerinde istenmeyen bileşikler oluşturacağı ve bunun da yüzey ıslanabilirliği ve enerjisi için dezavantajlı bir durum olduğu ifade edilmiştir.

Van Deynse ve ark. (2015), atmosferik basınçlı argon plazma jetinde polietilen malzemenin yüzey değişimini ve yaşlanma davranışını araştırmışlardır. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), düşük yoğunluk, yüksek esneklik ve yüksek kimyasal dayanıklılık gibi üstün özellikleri sayesinde endüstriyel uygulamalar için kullanılan en yaygın polimerlerden biridir. Bu özelliklerine rağmen LDPE, düşük yüzey enerjisine sahip olduğundan bu da zayıf ıslanabilirlik ve zayıf yapışmaya yol açmaktadır. Bu

çalışmada polietilen malzemenin farklı parametrelerde plazma işlemine tutulduktan sonra gösterdiği yüzey değişimi ve yaşlanma davranışı incelenmiştir. Yapılan deneylerin ardından plazma başlığı ile yüzey arasındaki mesafenin, su temas açısı değerleri üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Bu etki, 5 ile 15 mm arasındaki mesafede maksimumdur. Plazma işlemi görmemiş LDPE yüzeyin su temas açısı 103,8°'den söz konusu mesafe için plazma uygulaması sonrası 28,1°'ye düşmüştür. Daha büyük mesafelerde ise su temas açısı kademeli olarak yükselmiş ve 45 mm'de 95°'ye kadar çıkmıştır. Yaşlanma davranışının tespiti için plazma işleminden sonra numuneler, ortam havasında ve oda sıcaklığında 14 gün bekletilmiştir. Bekletilmenin ilk saatlerinde su temas açısı hızlı bir artış göstermiştir. Daha uzun bekletilme sürelerinde su temas açısı daha yavaş artmıştır ve 4 günlük bir sürenin ardından plato değerine ulaştığı tespit edilmiştir. 43,2° olan su temas açısı 4 günlük yaşlanmanın ardından 58,4°'ye yükselmiştir. Yaşlanma sonrası elde edilen bu en yüksek değer bile plazma işlemi görmemiş numunenin su temas açısından çok düşük olduğundan dolayı plazma işlemi sonrası yüzey ıslanabilirliğinin büyük bir kısmının korunduğu ifade edilmiştir.

Lee ve ark. (2011), atmosferik plazma uygulanmış poli(ε-kaprolakton) filmlerin ve liflerin uzun vadeli yaşlanma özelliklerini araştırmışlardır. Yaşlanma davranışı, atmosferik plazma işlemi gören poli(ε-kaprolakton) filmlerin ve nanoliflerin 6 aylık bir süre boyunca havaya maruz bırakılarak ve havaya maruz bırakılmadan bekletilmeleri ile değerlendirilmiştir. Plazma başlığı ile yüzey arasındaki mesafe 10 mm, plazma işlem süresi ise 1, 3, 5 10 ve 15 dakika olarak belirlenmiştir. Yapılan deneyler sonrası O_2 atmosferik plazma uygulanan poli(ε-kaprolakton) filmlerin su temas açısı 78,5°'den 23,8°'ye gerilemiştir. Nanoliflerin ise 15 dakikalık bir işlem süresinin ardından su temas açısı 111°'den 0°'ye düşmüştür. Plazma işlemi uygulanan poli(ε-kaprolakton) filmlerin yüzey enerjisinin işlem görmemiş numunelere oranla yaklaşık 19 katlık bir artış gösterdiği de tespit edilmiştir. Yaşlanma etkisinin tespiti için 6 ay boyunca havaya maruz bırakılarak ve havaya maruz bırakılmadan bekletilen numunelerin yüzey enerjileri değerlendirilmiştir. Havadan izole edilen numunelerin yüzey enerjisinin önemli derecede değişmediği tespit edilirken havaya maruz bırakılan numunelerin zamanla ıslanabilirlik ve yüzey pürüzlülüğü özelliklerinde artış görülmüştür. Bu artışın havaya maruz kalma durumundan dolayı oksijen içeren polar grupların oluşumu ve yüzeydeki kirletici

moleküllerin absorpsiyonundan kaynaklandığı düşünülmüştür. Sonuç olarak atmosferik plazma kaynaklı etkilerin uzun vadeli stabilitesinin istendiği durumlarda poli(ε-kaprolakton) filmlerin havanın yokluğundan korunması gerektiği belirtilmiştir.

Prysiazhnyi ve ark. (2014), atmosferik basınçlı plazma ile işlem gören bakır ve altın yüzeylerin yaşlanması ve suya daldırıldıktan sonra hidrofilik özellik kazanması üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Deney numuneleri, her iki malzeme için de düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip ince filmler halinde hazırlanmıştır. Plazma işlem süresi 5-100 saniye arasında değiştirilmiştir. Plazma işlemi sonrasında hem bakır hem altın yüzeyler için yüzey ıslanabilirliği önemli ölçüde artmıştır. Plazma işlemi görmemiş bakır yüzeyin su temas açısı yaklaşık 85°'den 5 saniyelik bir plazma uygulama süresi sonrası yaklaşık 20°'ye gerilerken, altın yüzeyde de su temas açısı yaklaşık 90°'den 20 saniyelik bir plazma işlemi sonrası yaklaşık 25°'ye düşmüştür. Plazma işlem süresinin artmasıyla birlikte yüzeyin hidrofiliklik özelliğinin de geliştiği görülmüştür. Plazma işlemi sonrası yüzeylerin yaşlanma etkisi, ortam havasında bekletilen numunelerin yüzey ıslanabilirliğinin gösterdiği değişim ile tespit edilmiştir. Bu ölçümler sonrası ıslanabilirliğin azalmasının çoğunlukla yüzeydeki polar bileşenlerin azalmasından kaynaklandığı görülmüştür. Her iki malzeme de 7 günlük süreyle ortam havasında bekletilmiş ve ilk 2 günün ardından yaşlanma etkisinde kayda değer bir değişim gözlenmemiştir. Bekletme ortamının yaşlanma sürecindeki rolünü araştırmak adına farklı ortamlarda için de yüzey enerjilerinin ölçümleri yapılmıştır. Plazma işlemi görmüş numuneler ortam havasında, düşük ve yüksek vakumda bekletilmişlerdir. Sonuçlar, yüzey enerji değişimlerinin bekletilme ortamına bağlı olduğunu ve yüksek vakumda bekletilen bakır filmlerin yüzey enerjisinin, altın filmlerden daha yüksek olduğunu göstermiştir. Numunelerin suya daldırıldıktan sonra gösterdiği yaşlanma etkisi de araştırılmıştır. Plazma işlemi gören numuneler havada bekletildikten sonra deiyonize suya daldırılıp basınçlı hava ile kurulandıktan sonra yüzey enerjileri ölçülmüştür. 40 s plazma işlemi gören numuneler havada 2 gün boyunca bekletilmiştir. Suda bekletilme süreleri 1 saniye ile 1 saat arasında değiştirilmiştir. Hidrofilik özelliğin kazanılması için bakır yüzeylerde daha kısa suya daldırma süresine ihtiyaç duyulurken altın yüzeyler için bu sürenin daha da arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak numunelerin suya daldırılmasının, hidrofilikliği

kalıcı olarak arttırmadığı görülmüştür. Suya daldırılan yüzeylerin ortam havasına maruz kalmasıyla birlikte zamanla hidrofilik özelliklerinin de azaldığı saptanmıştır.

Bodas ve Khan-Malek (2007), oksijen plazması ile işlem gören polidimetilsiloksan (PDMS) malzemenin yaşlanma özellikleri üzerine bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Polimer bir malzeme olan PDMS, hidrofobik bir yüzeye sahiptir ve istenen yüzey enerjisi veya işlevselliği elde etmek için oksijen plazması ile yüzeyleri hidrofilik hale getirilebilmektedir. Bu çalışmada plazma gücü 150 W, plazma işlem süresi ise 15 dakika olarak belirlenmiştir. Plazma işleminden önce yüzeyin su temas açısı 120° iken işlem sonrası tamamen ıslanabilir (0°) bir yüzey elde edilmiştir. Yaşlanma etkisinin tespiti için numuneler, 2 haftalık bir sürede oda şartlarında kuru havada bekletilmiştir. Oksijen plazması ile işlem gören numunelerin 12 saatlik bir bekletilme süresinden sonra su temas açısı yaklaşık 50°'ye yükselmiştir. 2 haftanın ardından ise su temas açısının 105°'ye yükseldiği ve malzemenin hidrofobik haline geri döndüğü görülmüştür. Yaşlandırma süresi sonrası yapılan SEM analizlerinin ardından yüzeyde bazı kalıcı hasarların oluştuğu gözlemlenmiştir. Su temas açısının 120°'ye geri dönmeyip 105°'de kalmasının nedeninin, yüzey morfolojisinde oluşan bu kalıcı değişiklik olduğu ileri sürülmüştür. Sonuç olarak, plazma işlemi sonrası numuneler düşük bir yüzey hidrofobikliği gösterirken kuru havada bekletilmesiyle birlikte hidrofobiklikte sürekli bir artış gözlemlenmiştir.

Bodas ve Khan-Malek (2006), plazma ve kimyasal işlem sonrası polidimetilsiloksan (PDMS) malzeme yüzeylerinin hidrofilik özelliklerini ve yüzeylerin gösterdiği yaşlanma davranışını incelemişlerdir. PDMS, mikroakışkan cihazların yapımında, özellikle hızlı prototipleme için kullanılan en yaygın ve çok yönlü malzemelerden biridir. PDMS, elastomerik, optik olarak şeffaf, kimyasal olarak inert ve hızlı prototipleme yoluyla üretime uygun olmak gibi temel özelliklere sahiptir. Bu avantajlarına rağmen hidrofobik bir yüzeye sahip olmasından dolayı birçok uygulamada kullanımı sınırlanmıştır. Bu çalışmada, üç farklı plazma modifikasyon prosesi kullanılarak PDMS malzemenin yaşlanma davranışı incelenmiştir. İlk yöntemde numuneler O_2 plazması ile işlem görmüştür. İkinci yöntemde O_2 ve C_2F_6 gaz karışımı kullanılarak iki aşamalı bir plazma işlemi uygulanırken üçüncü yöntemde O_2 plazması sonrası numunelerin yüzeyi kimyasal işlem görerek hidroksietil metakrilatın (HEMA) ile kaplanmıştır. Plazma gücü 50-150 W

arasında, plazma işlem süresi ise 1-15 dakika arasında değiştirilmiştir. Plazma işlemi görmemiş numunelerin su temas açısı yaklaşık 110° olarak ölçülmüştür. Plazma işlemi sonrası her üç deney grubu numunelerinin de su temas açıları azalmıştır. O_2 plazması uygulanan numunelerin, O_2 ve C_2F_6 uygulanan ve HEMA ile kaplanan numunelere kıyasla hidrofiliklikten hidrofobikliğe daha hızlı geri dönüş yaptığı görülmüştür. Ayrıca HEMA ile kaplanan numunelerin en düşük su temas açısı değerlerini verdiği tespit edilmiştir. Malzemenin yaşlanma etkisi ise 2 haftalık bir sürede yapılan incelemeler ile değerlendirilmiştir. Bekletilen numunelerin, 0-12 saatlik dilimde her 5 dakikada bir, daha sonra ise her saatte bir olacak şekilde ölçümleri yapılmıştır. O_2 plazması uygulanan numunelerin 2 günlük süreçte, O_2 ve C_2F_6 uygulanan numunelerin 1 haftalık süreçte su temas açıları 64°'den 85°'ye gelmiştir. HEMA kaplanan yüzeylerin ise 10 günü aşkın sürede su temas açıları 7°'den 44°'ye yükselmiş ve hidrofilik stabilite göstermiştir. Sonuç olarak yaşlanma davranışı açısından en verimli yöntemin kimyasal işlem uygulanan proses olduğu ifade edilmiştir.

Lawton ve ark. (2005), polidimetilsiloksan (PDMS) malzemede plazma işlem süresinin ve yaşlandırma ortam koşullarının yüzey ıslanabilirliği üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. 95-110°'lik su temas açısıyla hidrofobik bir yüzeye sahip olan PDMS malzemelerin bazı uygulamalarda hidrofilik özellik göstermesine ihtiyaç duyulmaktadır ve bu doğrultuda plazma işlemi tercih edilen bir yöntemdir. Ancak plazma uygulaması sonrası yüzey, kademeli olarak daha az ıslanabilir hale gelmektedir. Bu çalışmada, hidrofobik geri kazanımı geciktirebilecek koşulları araştırmak için farklı plazma süreleri ve farklı yaşlandırma ortamları incelenmiştir. Plazma gazı olarak hava kullanılmıştır. Plazma gücü 30 W, işlem süresi ise 6 ve 60 saniye olarak belirlenmiştir. Plazma uygulanan numuneler kapalı kavanozlara konulmuş ve oda sıcaklığında bekletilmiştir. Kavanozlar, farklı yaşlandırma ortamlarının değerlendirilmesi adına hava, su ve hekzadekan içermektedir. Numuneler bekletildikleri kavanozlardan çıkarıldıktan sonra ölçümleri yapılmadan önce argon akımı altında kurutulmuştur. Hekzadekan içerisinde bekletilen numuneler ise argon akımı altında kurutulmadan önce yüzeyindeki hekzadekanı çıkarmak için izopropil alkol içinde durulanmıştır. Plazma işlemi görmemiş numunelerin su temas açıları 98°-108° arasında ölçülmüştür. Her üç saklama koşulunda bekletilen numunelerin 1 dakikalık plazma işlemi sonrası su temas açıları 5°'den küçük

hale gelmiştir. Havada ve suda bekletilen numunelerin 1 saatlik sürenin ardından su temas açıları hala 5°'den küçük kalırken, hekzadekan içinde bekletilen numunelerin su temas açılarının ise 22°'ye yükseldiği görülmüştür. Yaklaşık 140 saat sonra ise tüm saklama koşullarında bekletilen numunelerin temas açısı 50-60°'ye yükselmiştir. Yaklaşık 100° olan plazma işlemi görmemiş ilk hale tam geri dönüşün olmamasının nedeni ise PDMS numunelerinin kalınlığından kaynaklanabileceği ileri sürülmüştür. 6 saniye boyunca plazma işlemi gören numunelerde ise daha farklı sonuçlar alınmıştır. Hekzadekan içinde bekletilen numunelerin 6 dakikadan kısa bir süre içerisinde su temas açıları 100°'nin üzerine çıkarak ilk haline geri dönmüştür. Suda bekletilen numunelerin temas açısı 6 dakikadan sonra yaklaşık 80°'ye çıkmış ve 90 saat boyunca da bu seviyede sabit kalmıştır. Havada bekletilen numunelerin ise 6 dakika sonra temas açıları yaklaşık 25° iken 90 saatlik bir süre sonrası ise 75-100° seviyesine geri dönmüştür. Sonuç olarak tüm saklama şartları için 6 saniyelik plazma işlemi gören numunelerde su temas açılarının, 1 dakikalık işlem süresine göre daha büyük olduğu ortaya çıkmıştır. Bunun da daha kısa plazma işlem süresinin daha ince bir oksitlenmiş katman yaratmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Ayrıca yüzeyin hidrofobik özelliğine geri dönmesi konusunda plazma işlem süresinin, yaşlandırma ortam koşullarına nazaran daha büyük bir etkiye sahip olduğuna da değinilmiştir.

De Geyter ve ark. (2008), orta basınçta dielektrik bariyer deşarjı ile işlem görmüş polietilen tereftalat (PET) filmlerin havadaki yaşlanma davranışına bekletme koşullarının etkisi üzerine bir araştırma yapmışlardır. PET, yüksek mukavemet-ağırlık oranı, korozyona karşı direnç ve üretiminin pahalı olmaması gibi özelliklere sahip olduğundan dolayı ambalaj, dekoratif kaplamalar, kapasitörler, manyetik bantlar gibi çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ancak düşük yüzey enerjisi, zayıf ıslanabilirlik ve zayıf yapışma özelliğine sahip olması PET filmlerinin kullanımını sınırlamaktadır. Yapılan deneyler sonrası plazma işlemi görmemiş numunelerin su temas açısı 74,8° iken, plazma uygulaması sonrası bu değer 33,4° olmuştur. Yaşlanma davranışının tespiti için numuneler plazma işleminden sonra oda sıcaklığında ve %(30±2)'lik bağıl neme sahip havada bekletilmiştir. Numunelerin bekletme süresinin ilk saatlerinde su temas açılarında 33,4°'den yaklaşık 48°'ye hızlı bir yükseliş olmuştur. Daha uzun bekleme sürelerinde su temas açısı yaklaşık 58°'de stabil hale gelmiştir. Bu çalışmada plazma uygulanmış PET

filmlerin havadaki yaşlanma davranışına bağıl nem, sıcaklık ve basıncın etkisi 8 günlük bir zaman diliminde ayrıntılı olarak incelenmiştir. Artan bağıl nem ve artan sıcaklıkla birlikte havada bekletilen numunelerin de su temas açılarının arttığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak hava ortamında düşük bağıl nem ve düşük sıcaklıkta yaşlanma sürecinin daha yavaş ilerlediği, basıncın ise yaşlanma sürecine bir etkisinin olmadığı ifade edilmiştir.

Van Deynse ve ark. (2014), Ar ve Ar/su buharı plazması sonrası ortam koşullarının polietilen yüzeylerin yaşlanma davranışı üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Düşük yoğunluklu polietilen (LDPE), düşük yoğunluk, yüksek esneklik ve yüksek kimyasal dayanıklılık gibi özelliklere sahip olduğundan en çok kullanılan polimer malzemelerden biridir. Ancak düşük yüzey enerjisine sahip olmasından dolayı birçok uygulamada kullanımı kısıtlanmıştır. Kimyasal işlemlere gerek kalmadan ve yüzeyin sadece en dıştaki katmanının modifikasyonunu sağlayarak plazma uygulaması ile polimerlerin yüzey enerjilerini arttırmak mümkündür. Bu çalışmada LDPE filmlere, Ar ve Ar/su buharı plazmaları uygulanmıştır. Plazma işlemi sonrası numuneler havada 14 gün boyunca farklı sıcaklık ve nem oranlarında bekletilmiştir. Bağıl nem ve sıcaklığın yaşlanma davranışına olan etkisi su temas açısı ölçümü ile incelenmiştir. Ayrıca plazma gazına eklenen su buharının yaşlanma sürecine olan etkisi de araştırılmıştır. Bağıl nemin yaşlanma üzerine etkileri 14 günlük süreçte %20, %50 ve %90'lık nem değerlerinde incelenmiştir. Değişen nem ve plazma gazına eklenen su buharı oranına göre yaşlanma süreci sonunda elde edilen su temas açı değerleri yaklaşık 55° ile 80° arasında değişiklik göstermiştir. Bu değerlerin, plazma işlemi görmemiş numunelerin temas açısı olan 103,8°'den çok daha düşük olduğu görülmüştür. Bağıl nemin, Ar plazmasında yaşlanma üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Ar/su buharı plazmasında ise daha yüksek bağıl nemde yaşlanma meydana geldiğinde, su temas açısı değerlerinde daha büyük bir artış gerçekleşmiştir. Sıcaklığın yaşlanma üzerine olan etkileri ise 14 günlük süreçte -10°C, 20°C, 30°C, 60°C ve 90°C'de incelenmiştir. Sonuçlar, sıcaklığın yaşlanma davranışı üzerinde bağıl nemden çok daha büyük bir etkiye sahip olduğunu açıkça göstermiştir. Değişen sıcaklık ve plazma gazına eklenen su buharı oranına göre yaşlanma süreci sonunda elde edilen su temas açı değerleri yaklaşık 40° ile 100° arasında değişiklik göstermiştir. Yaşlandırma sırasında numunelerin bekletilme sıcaklığının arttırılması,

daha yüksek su temas açısı değerleri ve plazma işlem verimliliğinde daha büyük bir kayıp ile sonuçlanmıştır. 90°C'lik yaşlandırma sıcaklığından sonra plazma işlemi görmüş numunelerin su temas açısı neredeyse plazmasız numunelere yaklaşmıştır. Yaşlanma davranışı, plazma işlemi sırasında kullanılan gazdan da etkilenmektedir. Bu yüzden Ar/su buharı karışımı ile plazma işlemi gören yüzeylerin yaşlanma davranışı da incelenmiştir. Numune yüzeylerinin sadece plazma işleminden sonra değil, %20'lik düşük bir bağıl nemde uzun bir yaşlanma süresinden sonra bile hidrofilik kaldığı görülmüştür. Su buharının bu olumlu etkisinin %90'lık bağıl nemde kaybolduğu da ortaya konmuştur. Ayrıca plazma gazına su buharı eklenmesinin etkileri farklı sıcaklıklar için de araştırılmıştır. Numuneler -10°C'de bekletildiğinde saf Ar plazmasına kıyasla, %41 su buharı içeren Ar gazıyla işlem gördüğünde plato su temas açısı %30 oranında daha düşük kalmıştır. Buna karşılık sıcaklık 60°C olduğunda ise numunelerin temas açılarında önemli bir değişiklik olmamış ve plazma gazının etkisi ortadan kalkmıştır. Bu sonuçlar göz önüne alındığında plazma gazına su buharı eklenmesinin yaşlanma süreci üzerinde olumlu bir etkisi olabileceği ifade edilmiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde plazma gazına su buharının eklenmesi, yaşlanma sürecine olumlu bir şekilde etki etmiştir. Ar plazmasına daha fazla su buharı eklendiğinde su temas açısı değerleri daha düşük ve O/C oranı ise daha yüksek ölçülmüştür. Bağıl nemin yaşlanma süreçleri üzerindeki etkisinin %20 ile sınırlı olduğu ancak düşük bağıl nemin daha az yaşlanma sağladığı belirtilmiştir. Ayrıca sıcaklık artışının da plazma etkisinin kaybına yol açtığı tespit edilmiştir.

Nakamatsu ve ark. (1999), kızdırma deşarjlı plazma ile işlem görmüş politetrafloroetilen (PTFE) yüzeylerin yaşlanma sürecini incelemişlerdir. PTFE, yüksek termal ve kimyasal kararlılığa, iyi hava direncine, düşük sürtünme katsayısına ve suya, asitlere, bazlara, organik çözücülere ve yağlara karşı yüksek direnç gibi özelliklere sahip bir malzemedir. Öte yandan bu özelliklere rağmen bu malzemenin yapıştırılması oldukça zordur. PTFE numunelerinin, kızdırma hava deşarj plazması ile 3 dakika işlem gördükten sonra su temas açıları 105-110°'den 30-45°'ye kadar gerileyerek yüzey karakterinin önemli bir değişiklik gösterdiği ifade edilmiştir. Yaşlanma etkisi, üç farklı bekletme ortamında araştırılmıştır. İlk numune 100°C'de, diğer numune oda sıcaklığı olan 22°C'de bekletilirken, son numune de 22°C'de suda bekletilmiştir. 1 günlük sürenin ardından 100°C'de bekletilen numunenin su temas açısı keskin bir artış göstermiş ve yaklaşık

30°'den 100°'nin üzerine çıkarak hidrofilik özelliğini kaybetmiştir. Oda sıcaklığında bekletilen numunenin su temas açısı ise 1 günün ardından yaklaşık 40°'den 60°'nin üzerine çıkmıştır. 22°C'de suda bekletilen numunenin ise 1 günün ardından su temas açısı yaklaşık 30°'den 50° seviyelerine gelmiştir. Sonuçlar yüzey yaşlanmasının, numunelerin bekletildiği ortam ve sıcaklıktan büyük ölçüde etkilendiğini göstermiştir.

Vesel ve Mozetic (2012), oksijen plazma işlemi sonrası polimetil metakrilat (PMMA) polimerinin yüzey modifikasyonunu ve yaşlanmasını araştırmışlardır. Polimerler, genellikle düşük yüzey enerjisine ve zayıf yapışkan özelliğine sahip malzemelerdir. Polimer ile kaplama arasında iyi bir yapışma sağlamak için önce polimerin yüzeyi aktive edilmelidir. Bu da plazma işlemi ile mümkündür. Bu çalışmada, biyomedikal uygulamalarda sıklıkla kullanılan bir polimer olan PMMA'nın yüzey yaşlanması araştırılmıştır. Farklı sürelerde kuru havada ve suda bekletilen plazma işlemi görmüş PMMA polimerlerinin yüzey yaşlanma hızı incelenmiştir. Ayrıca sıcaklığın yüzey yaşlanması üzerine olan etkisi de irdelenmiştir. Yaşlanma etkisinin araştırılması için 5, 30 ve 60 saniye plazma işlemi görmüş numuneler hava ortamında oda sıcaklığında kuru bir plastik kutu içinde, diğer numune seti ise yine oda sıcaklığında damıtılmış suda bekletilmiştir. Sıcaklık etkisi için üçüncü numune seti buzdolabında 5°C'de, dördüncü set ise fırında 50°C'de bekletilmiştir. Yapılan deneyler sonrası plazma işlemi uygulanmamış numunenin su temas açısı 83° iken plazma işlemi sonrası bu değer yaklaşık 45°'ye düşmüştür. Yaşlanma etkisinin araştırılmasında hava ve suda bekletilen numuneler için 4 gün, sıcaklık etkisi durumu için ise 3 günlük bekletilme süreleri belirlenmiştir. Numunelerin su içinde havaya göre biraz daha hızlı yaşlandığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak yüzeydeki kısa zincir türlerinin su ile birlikte çözünmesi olarak gösterilmiştir. Havada yaşlandırma durumunda, en hızlı yaşlanma en kısa işlem süresine sahip (5 s) numunede, en yavaş yaşlanma ise en uzun işlem süresine sahip (60 s) numunede gözlenmiştir. Sıcaklığın yaşlanmaya olan etkisinin araştırıldığı durumda ise yaşlanma oranı, daha yüksek sıcaklıkta daha fazla olmuştur. Buna bağlı olarak numunelerin düşük sıcaklıkta bekletilmesinin yaşlanma etkilerini en aza indirdiği ifade edilmiştir.

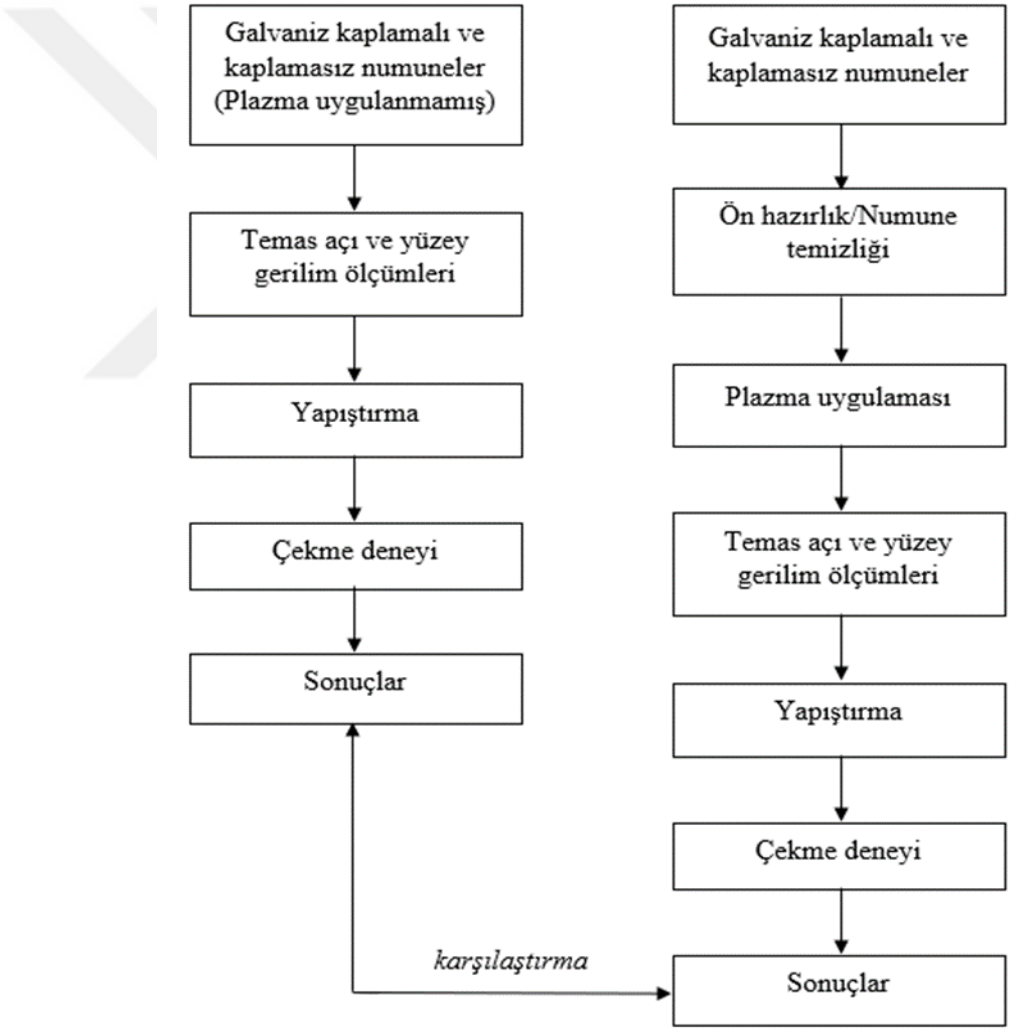
Eddington ve ark. (2006), polidimetilsiloksan (PDMS) yüzeylerde sıcaklığın yaşlanma davranışına olan etkilerini araştırmışlardır. Hidrofobik özelliğe sahip olan PDMS'nin yüzeyi, oksijen plazması ile hidrofilik hale getirilebilmektedir. Ayrıca termal yaşlandırma yoluyla elde edilen hidrofilik yüzeyin daha kalıcı olması sağlanabilmektedir. Bu çalışmada, sıcaklığın yaşlanma sürecine olan etkisinin tespiti için 2,5 mm ve 5 mm kalınlığındaki numuneler 100°C'lik fırında 2, 4, 7 ve 14 gün boyunca bekletilmiştir. Ardından bu numunelere oksijen plazması uygulanmış ve hidrofobik geri kazanım oranını değerlendirmek için temas açıları 14 gün boyunca günlük olarak ölçülmüştür. Plazma gücü 70 W, plazma işlem süresi ise 12 s olarak belirlenmiştir. Fırında bekletilmeyen standart koşullar altındaki numunelerin hidrofobikliklerini yaklaşık 15 dakikada geri kazandıkları görülürken sıcaklığa maruz kalan numunelerin araştırılan süreler boyunca hidrofobikliklerini hiçbir zaman tam olarak geri kazanmadıkları ortaya konmuştur. 2 gün fırında kalan ve 2 gün bekletilen numunelerin temas açısı 60° olurken 14 günün sonunda yaklaşık 90°'ye kadar yükselmiştir. 4 gün fırında kalan ve 2 gün bekletilen numunelerin temas açısı 40° iken 14 günün sonunda yaklaşık 80° olmuştur. 7 gün fırında kalan ve 2 gün bekletilen numunelerin temas açısı yaklaşık 30° olurken 14 günün ardından yaklaşık 65°'ye ulaşmıştır. 14 gün fırında kalan numuneler ise 2 gün bekletilmenin ardından yaklaşık 30º ile en düşük temas açısını vermiştir ve diğer numunelerde olduğu gibi artan bekletilme süreleriyle birlikte kademeli bir artış göstererek 14 günün ardından yaklaşık 55°'ye ulaşmıştır. Ayrıca 2,5 mm kalınlığındaki numunelerin, 5 mm kalınlığındaki numunelere oranla hidrofobik özelliklerine daha hızlı bir geri dönüş yaptığı da tespit edilmiştir. Bu nedenle PDMS malzemelerde hacmin ve yaşlanma süresinin hidrofobik geri kazanımı etkileyecek faktörler olduğu ifade edilmiştir. Sonuç olarak sıcaklığın, oksijen plazması ile işlem gören yüzeylerin hidrofobik geri kazanımını geciktirdiği belirtilmiştir.

Chen ve ark. (2016), atmosferik basınçlı plazma jeti sonrası alüminyum plakaların yaşlanma davranışını araştırmışlardır. Bu çalışmada, sıcaklık ve bağıl nem gibi farklı ortam koşulları altında plazma ile işlem görmüş süper hidrofobik yüzeyin gösterdiği yaşlanma davranışı incelenmiştir. Ayrıca yaşlandırmanın suda yapılması durumunda uzun süreli hidrofiliklik elde edildiği de tespit edilmiştir. Plazma gazı olarak N_2 kullanılmıştır. Plazma başlığı ile numune arasındaki mesafe 12 mm olarak belirlenmiştir.

50 saniye boyunca plazma işlemi gören yüzeylerin süper hidrofilik hale geldiği yani plazma öncesi yaklaşık 158° olan su temas açısının 0°'ye düştüğü görülmüştür. Yaşlanma etkisi 16 günlük bir süreçte değerlendirilmiştir. 6 saat boyunca oda sıcaklığında ve %30 bağıl nemde açık havada bekletilen numunelerin temas açısı yaklaşık 60°, 24 saat sonra 85°, 150 saat sonra yaklaşık 135° olmuştur. 190 saatlik bekleme süresinin ardından yüzey süper hidrofobik olmuştur ve yaklaşık 350 saat sonra ise yüzey, ilk duruma (158°) geri dönmüştür. Sıcaklığın yaşlanma durumuna etkisinin araştırılması sonucu numunelerin yüksek sıcaklıkta bekletilmesi ile su temas açısında daha hızlı bir artışın olduğu saptanmıştır. Sıcaklığın 90°C olduğu durumda süper hidrofobikliğin geri kazanılması sadece yaklaşık 12 saat sürerken, 20°C'de 200 saatten fazla sürdüğü belirtilmiştir. Ayrıca -10°C'nin altında bekletilen numunenin 6 saatlik yaşlanmadan sonra su temas açısı kısa sürede 35°ye yükselse de daha uzun bekletilme süresinin ardından temas açısı fazla bir değişiklik göstermemiş ve hatta 16 günlük süre boyunca yüzey hidrofilik özellik göstermiştir. Farklı bağıl nemlerde bekletilen numunelerin de yaşlanma davranışları incelenmiştir. Numunelerin hepsinin süper hidrofobikliğini geri kazandığı görülmüştür. Ayrıca yüksek bağıl nemde yaşlanmanın da hızlandığı tespit edilmiştir. %90 bağıl nemde bekletilen numune 120 saat sonunda ilk haline dönerken, %30 bağıl nemdeki numunenin ilk haline geri dönmesi 200 saatten fazla sürmüştür. Numunelerin suya daldırıldıktan sonra gösterdiği yaşlanma davranışını da araştırılmıştır. Plazma uygulanan numuneler oda sıcaklığında farklı sürelerde distile suya daldırılmış, daha sonra çıkarılıp hızlı bir şekilde saç kurutma makinesi ile kurutulmuş, ardından numunelerin farklı daldırma sürelerindeki su temas açıları ölçülmüştür. Suda bekletilen numunelerin su temas açılarının 16 gün sonra bile 10°'nin altında kaldığı ve süper hidrofilik özelliğini koruduğu görülmüştür. Özetle, numunelerin plazma işleminden sonra bekletilme ortamının yaşlanma davranışı üzerine önemli bir rolü olduğu bulunmuştur. Yaşlanma davranışında sıcaklığın, bağıl nemden çok daha büyük bir rol oynadığı tespit edilmiştir. Düşük sıcaklık ve düşük bağıl nemin yaşlanma süresini geciktirdiği görülmüştür. Ayrıca numuneleri suda bekletmenin açıkça süper hidrofiliklik stabilitesini iyileştirdiği saptanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmanın ilk kısmında metal malzeme yapıştırma bağlarında ABP uygulaması etkinliği araştırılmıştır. İkinci kısımda ise ABP uygulanan metal yüzeylerin yaşlanma davranışı ve yüzeyin işlem görmemiş ilk haline geri dönüşünü geciktirebilecek ortam koşullarının araştırılması yapılmıştır. Bu bölümde yapılan deneysel çalışmalardan ve takip edilen adımlardan söz edilmiştir. Çalışmanın ilk kısmı olan metal malzeme yapıştırma bağlarında ABP uygulaması etkinliğinin araştırılması için kullanılan metodolojiyi özetleyen akış şeması Şekil 3.1'de verilmiştir.

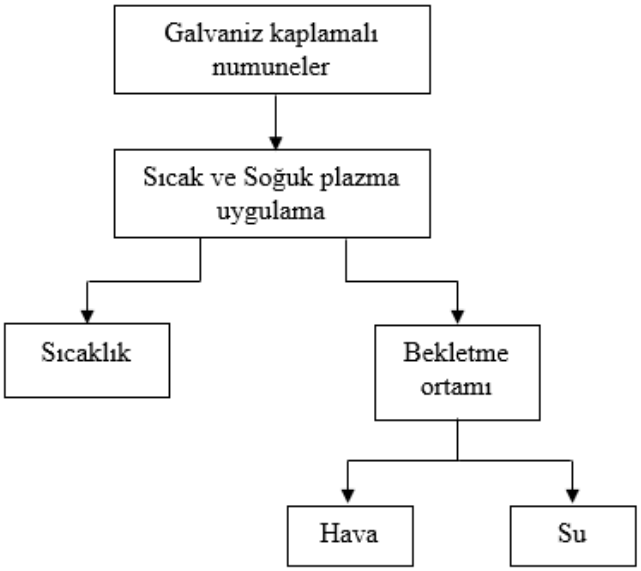


Şekil 3.1. Metal malzeme yapıştırma bağlarında ABP uygulaması etkinliğinin araştırılması için kullanılan metodoloji

Bu kısımda ilk olarak soğuk plazma uygulanmamış galvaniz kaplamalı ve kaplamasız numunelerin su temas açı ve yüzey gerilim ölçümleri yapılmıştır. Ardından deney numuneleri iki farklı yapıştırıcı ile yapıştırıldıktan sonra kurumaya bırakılmıştır. Çekme testine hazır hale gelen numuneler deneye tabi tutulmuştur ve elde edilen sonuçlar raporlanmıştır. Ardından galvaniz kaplamalı ve kaplamasız numuneler ön hazırlık aşamasında gerekli yüzey temizliği işlemine tabi tutulduktan sonra soğuk ABP işlemi için özel olarak tasarlanan deney düzeneği vasıtasıyla üç farklı uygulama hızında plazma işlemine tabi tutulmuştur. Soğuk plazma uygulaması sonrası numunelerin su temas açı ve yüzey gerilim ölçümleri yapılmıştır ve ardından yapıştırma aşamasına geçilmiştir. İki farklı yapıştırıcı ile yüzeyleri birbirine yapıştırılan numuneler gerekli süre geçip yapıştırıcının kurumasının sağlanmasının ardından çekme testine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar raporlanmıştır. Çalışmanın bu kısmında son olarak plazma uygulanmamış numunelerin çekme testi sonuçları ile plazma uygulanmış numunelerin çekme testi sonuçları karşılaştırılıp yapıştırılan yüzeylere soğuk plazma uygulamasının yapışma dayanımını ne oranda etkilediği hakkında bir sonuca varılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında ise ABP uygulanan metal yüzeylerin yaşlanma davranışı ve yüzeyin işlem görmemiş ilk haline geri dönüşünü geciktirebilecek ortam koşulları araştırılmıştır. Kullanılan metodolojiyi özetleyen akış şeması Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Bu kısımda çalışmanın ilk bölümünde kullanılan soğuk plazma uygulamasına ilave olarak sıcak plazmanın etkileri de araştırılmıştır. İlk olarak plazma işlemi görmemiş galvaniz kaplamalı numunelerin su temas açısı ölçümü yapılmıştır ve sonuçlar raporlanmıştır. Ardından deney numuneleri üç farklı plazma tekrar sayısı ile sıcak ve soğuk plazma işlemine tabi tutulmuştur. Plazma işlemi uygulanan yüzeyin ilk haline geri dönüşünü geciktirebilecek ortam koşulları olarak hava ve su gibi iki farklı bekletme ortamı seçilmiştir ve belirlenen sürelerle havada ve suda bekletilen numunelerin su temas açıları belli aralıklarla ölçülmüş ve sonuçlar raporlanmıştır. Ayrıca sıcaklığın da yaşlanma süresine olan etkileri farklı sıcaklık değerleri için incelenmiş ve bu gruptaki deney numunelerinin de su temas açıları belli aralıklarla ölçüldükten sonra sonuçlar raporlanmıştır. Tüm bu işlemler sıcak ve soğuk plazma uygulamaları için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Bu sayede sıcak ve soğuk plazmanın gösterdiği yaşlanma davranışının karşılaştırılması da yapılmıştır. Plazma işlemi görmemiş deney numuneleri ile havada,

farklı sürelerle suda ve farklı sıcaklık değerlerinde bekletilen numunelerin su temas açı sonuçları karşılaştırılıp ABP uygulanan metal yüzeylerin yaşlanma davranışı ve yüzeyin işlem görmemiş ilk haline geri dönüşünü geciktirebilecek ortam koşulları hakkında bir sonuca varılmıştır.



Şekil 3.2. ABP uygulanan metal yüzeylerin yaşlanma davranışı ve yüzeyin ilk haline geri dönüşünü geciktirebilecek ortam koşullarının araştırılması için kullanılan metodoloji

3.1. Plazma Cihazı

Bu çalışmada, soğuk plazma yüzey aktivasyonu için Şekil 3.3'te gösterilen Relyon Plasma firmasının geliştirdiği Piezobrush PZ2 el tipi soğuk plazma ünitesi kullanılmıştır. Piezobrush PZ2 endüstride, çeşitli malzemelerin boyama ve yapıştırma işlemlerinde kullanılmaktadır. Bu el tipi cihaz özellikle laboratuvarlarda ve küçük boyutlu yüzeylerin plazma aktivasyon işlemlerinde kullanım için de uygundur. Soğuk plazma etkisinden kaynaklanan yüzey aktivasyonu sayesinde sentetik malzemelerin yapıştırılmasını daha kolay hale getirmektedir. Ayrıca malzemelerin yapıştırılması için epoksi bazlı yapıştırıcılarla birlikte kullanılması durumunda yapışma gücünü arttırmaktadır. Düşük termal gerilim sayesinde plazma işlemi gören ahşap ve çeşitli kâğıt türü malzemelerin yapıştırılmasında da mükemmel sonuçlar vermektedir. Cihaz, ortam havasını kullanarak

maksimum 30 W güç tüketiminde 50°C'nin altında soğuk aktif plazma üretebilmektedir. Plazma işlem mesafesi 2-10 mm, işlem genişliği ise 5-20 mm aralığındadır.



Şekil 3.3. Piezobrush PZ2 el tipi soğuk plazma ünitesi (Relyon Plasma, 2022)

Şekil 3.4'te ise sıcak plazma yüzey aktivasyonu için kullanılan Relyon firmasının geliştirdiği Plasmatool el tipi plazma ünitesi gösterilmiştir. Plasmatool endüstride, pas giderme, yüzey aktivasyonu ve temizleme, malzemelerin boyama veya vernikleme proseslerinden önce uygulanan ön işlemler ve iyileştirilmiş yüzey ıslanabilirliği için sıkça tercih edilmektedir. Uygulama sırasında yüksek hareketlilik özelliği, farklı geometrilerdeki yüzeylere uygulanabilirliği ve taşınabilir olması gibi avantajlara sahiptir. Cihaz, 230 V güç kaynağı beslemesi ile 1300 W güç tüketiminde birkaç yüz ile birkaç bin derecede değişen sıcak plazma üretebilmektedir. Plazma işlem mesafesi 5-20 mm, işlem genişliği ise 10-25 mm aralığındadır (Relyon Plasma, 2022).



Şekil 3.4. Plasmatool el tipi sıcak plazma ünitesi (Relyon Plasma, 2022)

Şekil 3.5'te, deney numunelerine uygulanan soğuk ABP işlemi için özel olarak tasarlanan deney düzeneği yer almaktadır. Numunelere, plazma başlığı ve malzeme yüzeyi arasındaki boşluk 2 mm olacak şekilde, üç farklı uygulama hızı (V1= 5 mm/s, V2= 10 mm/s, V3= 15 mm/s) ile plazma işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.5. Soğuk ABP işlemi için hazırlanan deney düzeneği

3.2. Malzeme

Bu çalışmada, BS EN 10346 standartlarına uygun şekilde üretilen H300LAD (M1) ile BS EN 10268 standartlarına uygun şekilde üretilen H300LA (M2) malzemeleri kullanılmıştır.

M1, sürekli sıcak daldırma yöntemi ile galvaniz kaplanmış yassı çeliklerdir. Yassı çelik, ısıtılarak eriyik çinko potasına girmekte ve çinko/galvaniz kaplama yüzeye kimyasal bir bağ ile bağlanmaktadır. Bu malzemelerin yüzeylerine korozyondan korunması amacıyla çinko/galvaniz kaplaması yapılmaktadır. Galvaniz kaplama, çeliğe korozyon direnci ve katodik koruma sağlamaktadır. Malzemenin kimyasal kompozisyonu %0,0421 C,

%0,0201 Si, %0,0028 S, %0,0118 P, %0,3171 Mn ve %0,0294 Al olarak ölçülmüştür. Plakaların akma gerilmesi 329 MPa, çekme gerilmesi 404 MPa ve uzaması %37'dir.

M2 ise asitlenmiş ve yağlanmış sıcak yassı çeliklerin soğuk haddelenmesi ile üretilen yassı çeliklerdir. Malzemeye uygulanan haddeleme işleminin ardından yüzey temizleme, yeniden kristalizasyon tavı, yüzey pürüzlendirme ve temperleme işlemleri uygulanarak elde edilmektedir. Malzemenin kimyasal kompozisyonu %0,067 C, %0,018 Si, %0,009 S, %0,015 P, %0,294 Mn ve %0,038 Al olarak ölçülmüştür. Çelik plakaların akma gerilmesi 340 MPa, çekme gerilmesi 409 MPa ve uzaması %28'dir.

M1 ve M2 malzemelerinden 70x25x1 mm ölçülerinde hazırlanan deney numunelerine ait örnekler Şekil 3.6'da yine bu malzemelere ait kimyasal ve mekanik özellikler de Şekil 3.7 ve Şekil 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.6. M1 ve M2 malzemelerinden hazırlanan deney numuneleri

Kimyasal Değerler

Adı	Değeri	Hed. Min.	Hed. Maks.
HR Lab C (%)	0,0421	0,0010	0,1100
HR Lab Si (%)	0,0201	0,0010	0,5000
HR Lab S (%)	0,0028	0,0010	0,0250
HR Lab P (%)	0,0118	0,0010	0,0300
HR Lab Mn (%)	0,3171	0,0010	1,0000
HR Lab Al (%)	0,0294	0,0010	0,1000
HR Lab Ti (%)	0,0109		0,1200
HR Lab Nb (%)	0,0082		0,0900
HR Lab B (%)	0,0001		
HR Lab Cr (%)	0,0513		
HR Lab Ni (%)	0,0688		
HR Lab Cu (%)	0,2142		
HR Lab Mo (%)	0,0103		
HR Lab V (%)	0,0027		
HR Lab Ca (%)	0,0024		
HR Lab N (%)	0,0034		
Karbon Eşdeğeri	0,1300		

Mekanik Değerler

Adı	Değeri	Hed. Min.	Hed. Maks.
Akma (Hpa)	329	300	380
Çekme Muk. (Hpa)	404	380	480
Uzama (%)	37,0	23,0	
"r" Değeri	1,36		
"n" Değeri	0,18		
Sertlik			
Akma/ Çekme (%)	81,00		
Alt Akma Muk. (CS6)	326		
Üst Akma Muk. (CS6)	330		
Fmax Uza. (%)	19,3		
Akma düz. (%)	0,28		
Elas. Mod. (CS6)	202		
Test Açısı	90		
Work Harden. (MPA)			
Bake Hard. (mpa)			
Adez/Bend Test	Test yok		
Pow. Test			

Şekil 3.7. M1 malzemesine ait kimyasal ve mekanik özellikler

Kimyasal Değerler

Adı	Değeri	Hed. Min.	Hed. Maks.
HR Lab C (%)	0,0670	0,0200	0,0800
HR Lab Si (%)	0,0180		0,0300
HR Lab S (%)	0,0090		0,0200
HR Lab P (%)	0,0150		0,0250
HR Lab Mn (%)	0,2940		0,6000
HR Lab Al (%)	0,0380	0,0200	0,0700
HR Lab Ti (%)	0,0010		0,1000
HR Lab Nb (%)	0,0130	0,0100	0,0500
HR Lab B (%)			
HR Lab Cr (%)			0,1500
HR Lab Ni (%)			0,1000
HR Lab Cu (%)			0,0900
HR Lab Mo (%)			
HR Lab V (%)			0,0800
HR Lab Ca (%)			
HR Lab N (%)	0,0020		
Karbon Eşdeğeri	0,1190		

Mekanik Değerler

Adı	Değeri	Hed. Min.	Hed. Maks.
Akma (Mpa)	340	300	380
Çekme Muk. (Mpa)	409	380	480
Uzama (%)	28,0	23,0	
"r" Değeri	1,18		
"n" Değeri	0,15		
Sertlik	69		
Akma/ Çekme (%)	83,00		
Alt Akma Muk. (CS6)	0		
Üst Akma Muk. (CS6)	0		
Fmax Uza. (%)	16,2		
Akma düz. (%)	0,00		
Elas. Mod. (CS6)	195		
Test Açısı	90		
Work Harden. (MPA)			
Bake Hard. (mpa)			
Adez/Bend Test	Test yok		
Pow. Test			

Şekil 3.8. M2 malzemesine ait kimyasal ve mekanik özellikler

3.3. Ön Hazırlık/Numune Temizliği

Deney numunelerinin yüzeylerine plazma işlemi uygulamadan ve su temas açıları ile izafi yüzey gerilimleri tespit edilmeden önce yüzeyler, kir ve yağ gibi olumsuz etkilerden arındırılmak için etil alkol bazlı solüsyon ile temizlenmiştir.

3.4. Temas Açısı Ölçümleri

M1 ve M2 malzemelerinden hazırlanan deney numunelerinin, plazma uygulamasından önce ve sonra olmak üzere ayrı ayrı suyun yüzey ile yaptığı temas açıları ölçülmüştür.

3.5. Yüzey Gerilimi Ölçümleri

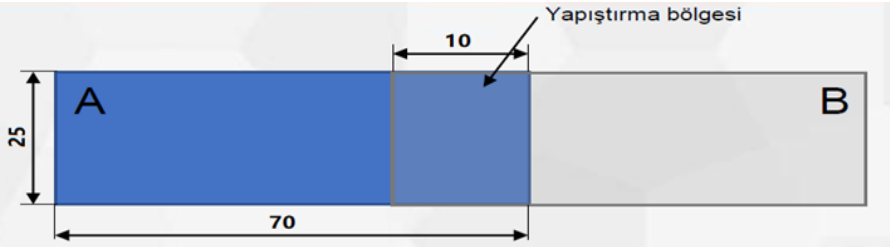
Numunelerin izafi yüzey gerilimleri, M1 ve M2 malzemeleri için soğuk plazma işlemi uygulanmadan önce ve sonra mürekkep testi ile belirlenmiştir. Bu çalışmada Ahlbrandt marka mürekkep test seti kullanılmıştır.

3.6. Deney Numunelerinin Yapıştırılması

Çekme testi numuneleri için malzemeleri birbirine yapıştırabilmek adına yapıştırıcı olarak Marocol 18576 (Y1) ve Erde G-Force (Y2) marka yapıştırıcılar kullanılmıştır. Marocol 18576, iki bileşenli poliüretan bir yapıştırıcıdır. Metaller üzerinde iyi yapışma özelliği, -30°C ile 90°C arası sıcaklık direnci, kontrollü kürlenme, kolay ve hızlı uygulama opsiyonu sunması, kürlendikçe hacim kazanmaması gibi özelliklere sahiptir (Bostik, 2022).

Deneylerde kullanılan bir diğer yapıştırıcı olan Erde G-Force ise çift bileşenli, yüksek performanslı metil metakrilat bazlı bir yapıştırıcıdır. Alüminyum, çelik, bakır, pirinç, paslanmaz çelik, nikel, polyester, PVC, ABS, kompozit malzeme, boyalı ve kaplanmış birçok yüzeyi çok başarılı bir şekilde yapıştırabilmektedir. -30°C ile 150°C/200°C'ye kadar sıcaklık dayanımı göstermesi, oda sıcaklığında çalışma imkânı sağlaması, yüksek darbe dayanımı ve üstün tutunma gibi özellikler sunmaktadır (Erdesi, 2022).

Şekil 3.9'da gösterildiği üzere 70x25x1 mm ölçülerinde hazırlanan deney numunelerinin uç kısmından, yapıştırıcının uygulanacağı 10 mm'lik bölüm işaretlenmiştir. İşaretlenen alan, üç farklı hızda plazma işlemine tabi tutulduktan sonra yüzeye yapıştırıcı uygulanmış ve numuneler bu bölümden birbirine yapıştırılmıştır. Aynı işlem, plazma işlemi görmeyen deney numuneleri için de tekrarlanmıştır.



Şekil 3.9. Deney numunelerinin yapıştırma bölgesi

Yapıştırma işleminin ardından test numuneleri oda sıcaklığında en az 24 saat bekletilmiştir. Bu sürenin ardından numuneler yapışma dayanımının tespiti amacıyla çekme testine tabi tutulmuştur.

3.7. Deney Numunelerine Çekme Testi Uygulanması

Çekme testi, 10 kN yük hücresi kapasiteli INSTRON 5582 marka elektromekanik üniversal çekme test makinesi ile gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri için test cihazında gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra 5 mm/min çekme hızında kama aksiyonlu çeneler (wedge-action grips) vasıtası ile çekme testlerine başlanmıştır. Ardından yapıştırılacak yüzeylere plazma uygulamasının yapışma dayanımını ne oranda etkilediğini belgelemek amacıyla sonuç grafikleri ortaya konulmuştur.

3.8. Deney Numunelerinin Yaşlanma Süreci

Plazma uygulaması sonrası yüzeyin ilk haline geri dönme eğiliminde olmasından dolayı elde edilen değişiklikler kalıcı değildir. Bu nedenle plazma kaynaklı değişikliklerin belli bir süre boyunca stabilitesi önem kazanmaktadır. Bu çalışmada M1 malzemesine, sıcak ve soğuk atmosferik basınçlı plazma uygulanmıştır. Malzemenin yaşlanma davranışı, su temas açısı ölçümü ile incelenmiştir.

M1 malzemesinden hazırlanan deney numunelerinin yüzeyleri 1, 2 ve 3 tekrar olmak üzere soğuk ve sıcak plazma ile ayrı ayrı işleme tabi tutulmuştur. Plazma uygulaması sonrası bekletme koşullarının yaşlanma davranışına olan etkilerinin araştırılması adına numunelerin hava, farklı sürelerde su ve farklı sıcaklık değerlerinde bekletilmesinden sonra su temas açıları ölçülmüştür.

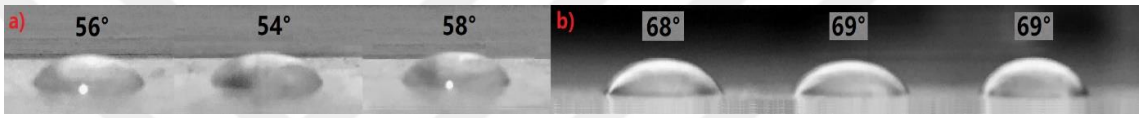
Havada bekletilen numunelerin yer aldığı deney grubunda su temas açı ölçümleri oda sıcaklığında yapılmıştır. Suda bekletme deney grubunda yer alan numuneler için 1, 10 ve 60 dakika gibi üç farklı bekletme süresi belirlenmiştir. Belirtilen süreler boyunca suda kalan numunelerin, sudan çıkarılmalarının ardından yüzeyleri kurutulduktan sonra temas açılarının ölçümü gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığın yaşlanma sürecine olan etkileri ise -20 °C ve 30°C gibi iki farklı sıcaklık değeri için araştırılmıştır. Bu deney grubunda yer alan numunelere plazma işlemi uygulandıktan sonra yüzeyin hava ile olan temasını kesebilmek için yüzeyler alüminyum folyo ile kaplanmış ve belirtilen sıcaklıklarda 3 saat bekletilmesinin ardından su temas açılarının ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Tüm deney gruplarında yer alan numunelerin 5 gün boyunca belli aralıklarla su temas açılarının ölçümü yapılmış ve elde edilen sonuçlarla farklı plazma tipi, farklı plazma tekrar sayısı, farklı bekletme ortamı ve farklı sıcaklık değerleri için M1 malzemesinin yaşlanma davranışı araştırılmış, bu parametrelerin uygulanmasının ardından elde edilen yaşlanma ömürlerinin kıyaslaması yapılmış, söz konusu deney parametrelerinin yaşlanma ömrüne etki eden birer faktör olup olmadığı saptanmış ve yüzeyin işlem görmemiş ilk haline geri dönüşünü geciktirebilecek ortam koşullarının araştırması yapılmıştır.

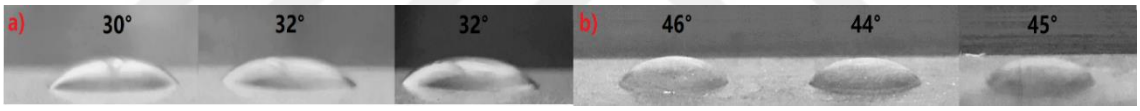
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Temas Açısı Ölçümleri

M1 ve M2 malzemelerinin ABP uygulanmamış ve uygulanmış olan numunelerinin temas açıları ölçülmüştür. M1 ve M2 malzemelerinin herhangi bir plazma işlemi görmeden önceki temas açısının sırasıyla ortalama 56° ve 68,66°, M1'in soğuk plazma işleminden sonraki temas açısının 31,33°, M2'nin soğuk plazma işleminden sonra ise temas açısının ortalama 45° olduğu tespit edilmiştir. Deney numunelerinin temas açısı fotoğrafları Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de, temas açı değerleri ise Çizelge 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Plazma işlemi öncesi temas açıları (a) M1 malzemesi, (b) M2 malzemesi



Şekil 4.2. Plazma işlemi sonrası temas açıları (a) M1 malzemesi, (b) M2 malzemesi

Çizelge 4.1. M1 ve M2 malzemelerinin plazma işlemi öncesi ve sonrası ortalama su temas açılarının değerleri

Numune adı	Su Temas Açı Değerleri	Ortalama Su Temas Açı Değerleri
M1 plazmasız N1	56°	
M1 plazmasız N2	54°	56°
M1 plazmasız N3	58°	
M2 plazmasız N1	68°	
M2 plazmasız N2	69°	68,66°
M2 plazmasız N3	69°	

Çizelge 4.1. M1 ve M2 malzemelerinin plazma işlemi öncesi ve sonrası ortalama su temas açılarının değerleri (devam)

Numune adı	Su Temas Açı Değerleri	Ortalama Su Temas Açı Değerleri
M1 soğuk plazmalı N1	30°	
M1 soğuk plazmalı N2	32°	31,33°
M1 soğuk plazmalı N3	32°	
M2 soğuk plazmalı N1	46°	
M2 soğuk plazmalı N2	44°	45°
M2 soğuk plazmalı N3	45°	

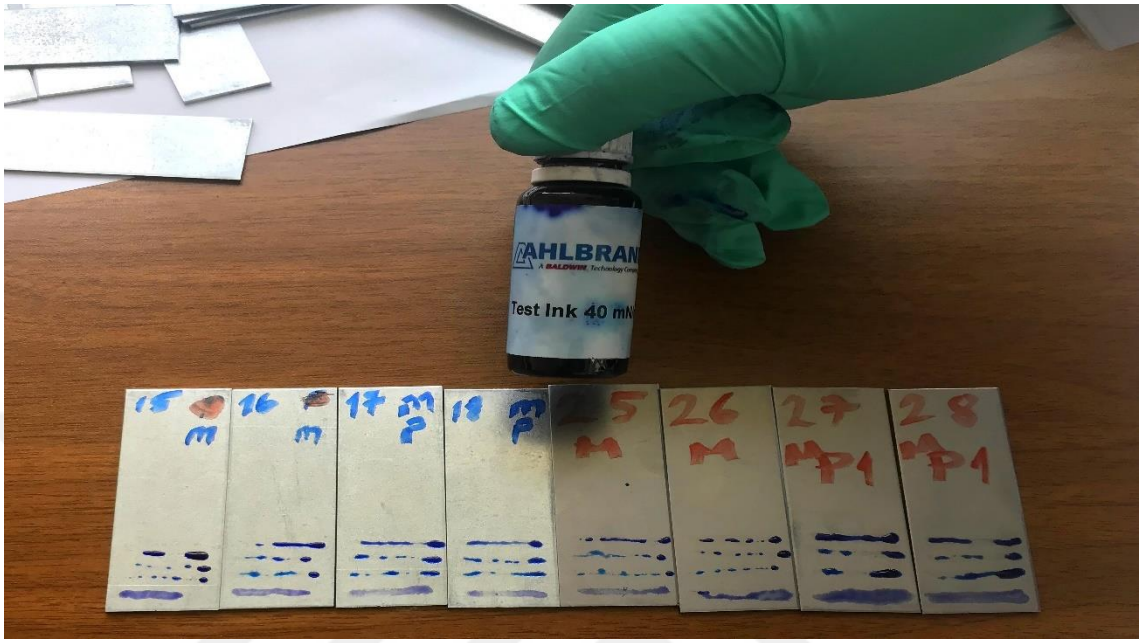
4.2. Yüzey Gerilimi Değerinin Belirlenmesi

M1 ve M2 malzemelerinin plazma işlemi uygulamadan önce ve sonra sahip olduğu izafi yüzey gerilimleri mürekkep testiyle belirlenmiştir. Şekil 4.3'te yer alan numunelerden 15 ve 16 sayılarıyla numaralandırılmış olanlar M1 malzemesinin plazma işlemi görmemiş numunelerini, 25 ve 26 numara M2 malzemesinin plazma işlemi görmemiş numunelerini, 17 ve 18 numara M1 malzemesinin soğuk plazma işlemi görmüş numunelerini, 27 ve 28 numara ise M2 malzemesinin soğuk plazma işlemi görmüş numunelerini temsil etmektedir.

Mürekkep testinde, farklı yüzey gerilim değerlerine sahip olan mürekkepler, numunelerin yüzeyine seri bir şekilde uygulanmıştır. Malzemenin yüzey geriliminin tayini için mürekkebin en az iki saniye boyunca yüzeyi ıslatması ve form değiştirmemesi gerektiğinden mürekkebin yüzey üzerinde gösterdiği davranışına göre farklı test mürekkepleri uygulanmıştır.

Şekil 4.3'te görüldüğü gibi M1 ve M2 malzemelerine, aşağıdan yukarıya olmak koşuluyla sırasıyla 32 mN/m, 50 mN/m, 48 mN/m ve son olarak 40 mN/m yüzey gerilimlerine sahip olan mürekkepler uygulanmıştır. Mürekkeplerin yüzeydeki davranışlarına göre M1 ve M2 malzemelerinin, plazmasız yüzey geriliminin 32 mN/m'den büyük, soğuk plazma

işleminden sonra yüzey gerilimlerinin ise 32 ile 40 mN/m arasında olduğu tespit edilmiştir.



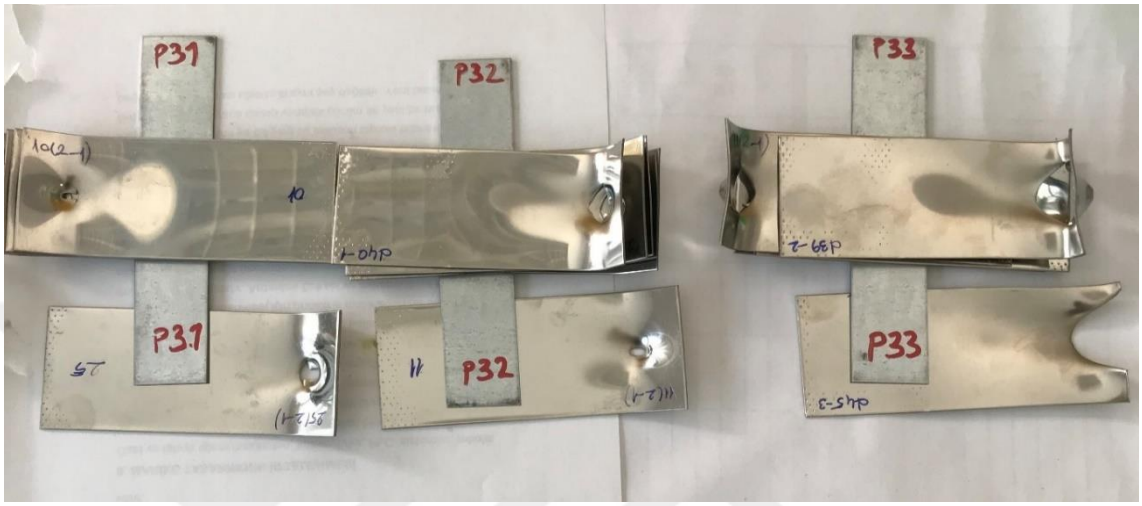
Şekil 4.3. Yüzey geriliminin tespiti için kullanılan 32, 50, 48 ve 40 mN/m'lik mürekkepler sonucu yüzeyin davranışı

4.3. Çekme Testi Sonuçları

M1 ve M2 malzemelerinin numuneleri, üç farklı hızda uygulanan soğuk plazma işlemi sonrası iki farklı yapıştırıcıyla yapıştırıldıktan sonra çekme testine tabi tutulmuş ve deney sonrası numunelerin kopma yüzeylerinin görünümleri de değerlendirilip bir düzeltme katsayısı belirlenerek yapışma dayanımları hakkında izafi bir sonuca ulaşılmıştır. Buradaki düzeltme katsayısı, yapıştırılan parçaların her iki yüzeyinden de tam olarak ayrılmış olan ve adezyon bağının oluşmadığı düşünülen küçük alanların dayanım hesaplamalarında dikkate alınmaması için belirlenen bir sayıdır.

M1 malzemesinin plazma işlemi görmeden Y1 ile yapıştırılması ile hazırlanan çekme deney numuneleri Şekil 4.4'te, farklı hızlarda plazma işlemi gördükten sonra hazırlanan çekme deney numunelerinin yapıştırma işlemi sonrasında bekleme aşamasına ait

fotoğraflar ise Şekil 4.5'te verilmiştir. Çizelge 4.2'de ise aynı deney grubunun plazma işlemi öncesi ve sonrasındaki yapışma dayanım değerleri verilmiştir. EK 1, EK 2, EK 3 ve EK 4'te numunelerin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri verilmiştir. Çekme test cihazına yerleştirilirken kopan numunelerin sonuçları eklerde yer alamamaktadır.



Şekil 4.4. M1 malzemesinin plazma işlemi öncesi Y1 ile yapıştırılmasıyla hazırlanan çekme testi numuneleri



Şekil 4.5. M1 malzemesinin farklı hızlarda plazma işlemi gördükten sonra Y1 ile yapıştırılmasıyla hazırlanan çekme testi numuneleri

Çizelge 4.2. M1 malzemesinin Y1 ile yapıştırılmasının ardından plazma işlemi öncesinde ve sonrasındaki yapışma dayanımları

Numune Tanımı	Yapışma Dayanımı (N/mm^2)
M1 Y1 plazmasız N1	1,424
M1 Y1 V1 N1	2,404
M1 Y1 V2 N1	4,740
M1 Y1 V3 N1	4,736

M1 malzemesinin plazma işlemi görmeden Y2 ile yapıştırılması ile hazırlanan çekme deney numuneleri Şekil 4.6'da farklı hızlarda plazma işlemi uygulandıktan sonra hazırlanan çekme deney numunelerinin yapıştırma işlemi sonrasında bekleme aşamasına ait fotoğraflar ise Şekil 4.7'de verilmiştir. Çizelge 4.3'te ise aynı deney grubunun plazma işlemi öncesi ve sonrasındaki yapışma dayanım değerleri verilmiştir. EK 5, EK 6, EK 7 ve EK 8'de numunelerin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.6. M1 malzemesinin plazma işlemi öncesi Y2 ile yapıştırılmasıyla hazırlanan çekme testi numuneleri

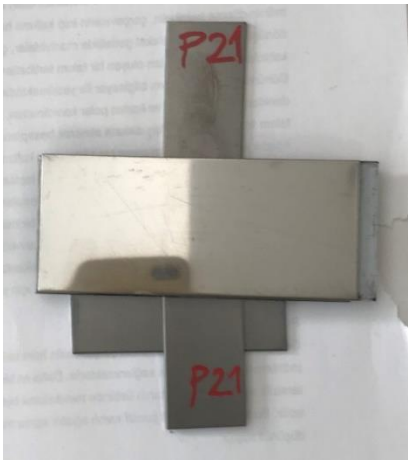


Şekil 4.7. M1 malzemesinin farklı hızlarda plazma işlemi gördükten sonra Y2 ile yapıştırılmasıyla hazırlanan çekme testi numuneleri

Çizelge 4.3. M1 malzemesinin Y2 ile yapıştırılmasının ardından plazma işlemi öncesinde ve sonrasındaki yapışma dayanımları

Numune Tanımı	Yapışma Dayanımı (N/mm^2)
M1 Y2 plazmasız N1	2,804
M1 Y2 V1 N1	9,788
M1 Y2 V2 N1	11,972
M1 Y2 V3 N1	13,924

Son olarak M2 malzemesinin plazma işlemi görmeden Y1 ile yapıştırılması ile hazırlanan çekme deney numunesi Şekil 4.8'de, farklı hızlarda plazma işlemi uygulandıktan sonra hazırlanan çekme deney numunelerinin yapıştırma işlemi sonrasında bekleme aşamasına ait fotoğraflar ise Şekil 4.9'da verilmiştir. Çizelge 4.4'te ise aynı deney grubunun plazma işlemi öncesi ve sonrasındaki yapışma dayanım değerleri verilmiştir. EK 9, EK 10, EK 11 ve EK 12'de numunelerin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri verilmiştir.



Şekil 4.8. M2 malzemesinin plazma işlemi öncesi Y1 ile yapıştırılmasıyla hazırlanan çekme testi numuneleri

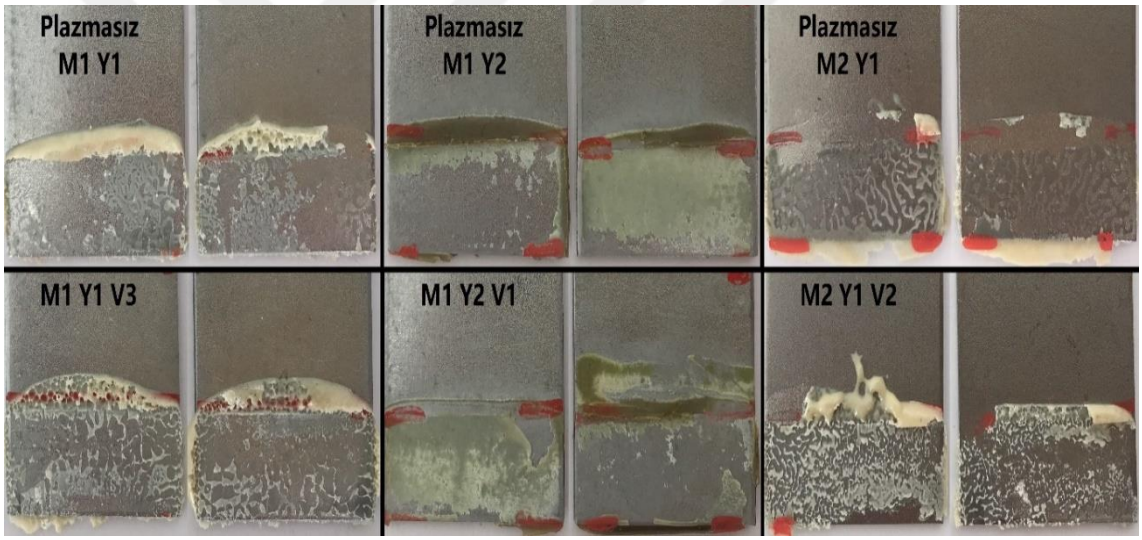


Şekil 4.9. M2 malzemesinin farklı hızlarda plazma işlemi gördükten sonra Y1 ile yapıştırılmasıyla hazırlanan çekme testi numuneleri

Çizelge 4.4. M2 malzemesinin Y1 ile yapıştırılmasının ardından plazma işlemi öncesinde ve sonrasındaki yapışma dayanımları

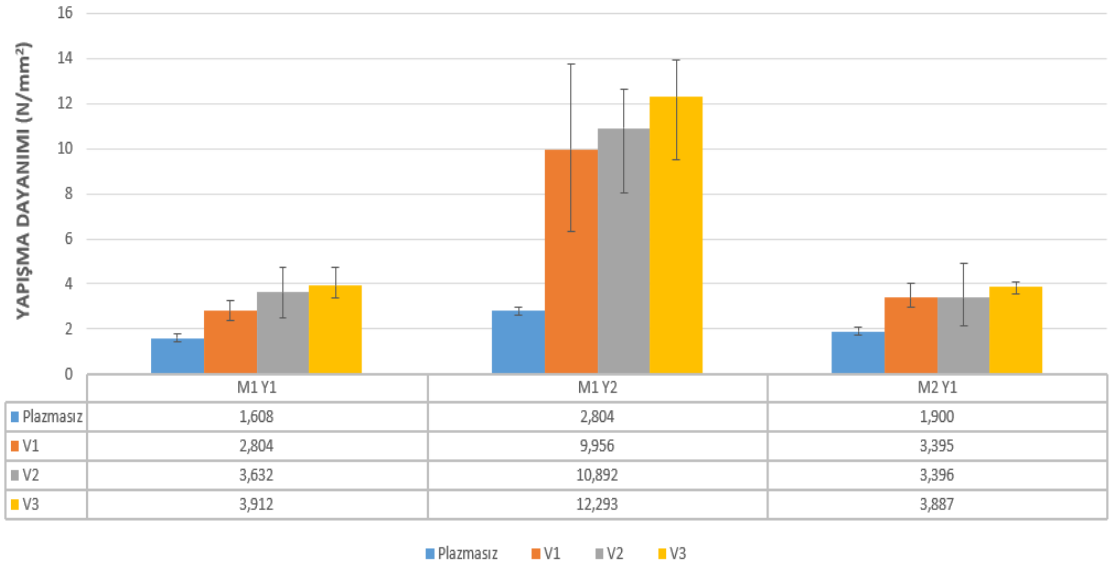
Numune Tanımı	Yapışma Dayanımı (N/mm^2)
M2 Y1 plazmasız N1	1,900
M2 Y1 V1 N1	2,964
M2 Y1 V2 N1	3,576
M2 Y1 V3 N1	4,068

Şekil 4.10'da çekme testi sonrası ABP uygulanmış ve uygulanmamış deney numunelerinin kopma yüzeylerinin görünümlerine dair örnek fotoğraflar yer almaktadır.



Şekil 4.10. Deney numunelerinin çekme testinden sonraki kopma yüzeylerinin görüntüleri

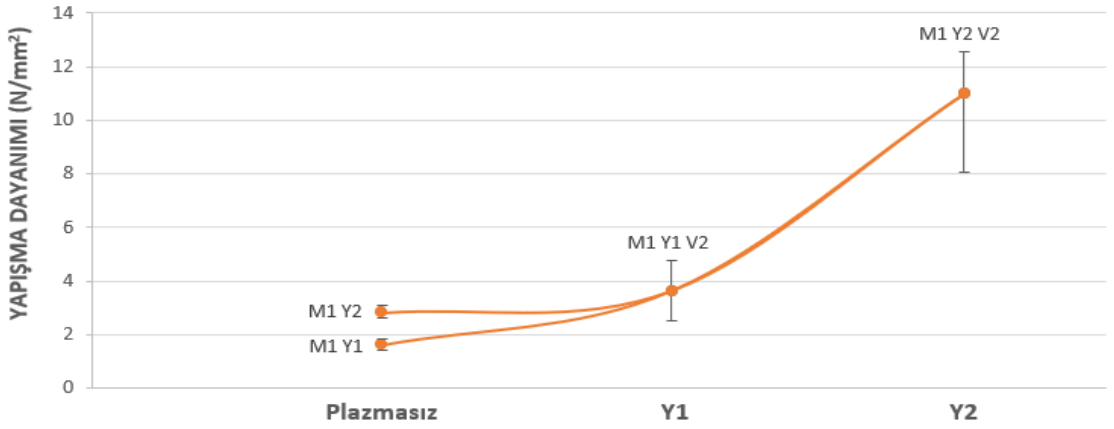
ABP uygulanmış ve uygulanmamış numunelere ait yapıştırma bağı dayanım sonuçlarını karşılaştırmalı olarak gösteren grafik ise Şekil 4.11'de görülmektedir.



	M1 Y1	M1 Y2	M2 Y1
Plazmasız	1,608	2,804	1,900
V1	2,804	9,956	3,395
V2	3,632	10,892	3,396
V3	3,912	12,293	3,887

Şekil 4.11. Plazma işlemi öncesi ve sonrasında elde edilen yapıştırma bağı dayanım sonuçları

Şekil 4.12'de plazma işleminin, V2 uygulama hızında ve farklı yapıştırıcılar kullanıldığında M1 malzemesinin yapışma dayanımı üzerindeki etkisini gösteren grafik görülmektedir.



Şekil 4.12. Plazma işleminin V2 uygulama hızında ve farklı yapıştırıcılarda M1 malzemesine etkisi

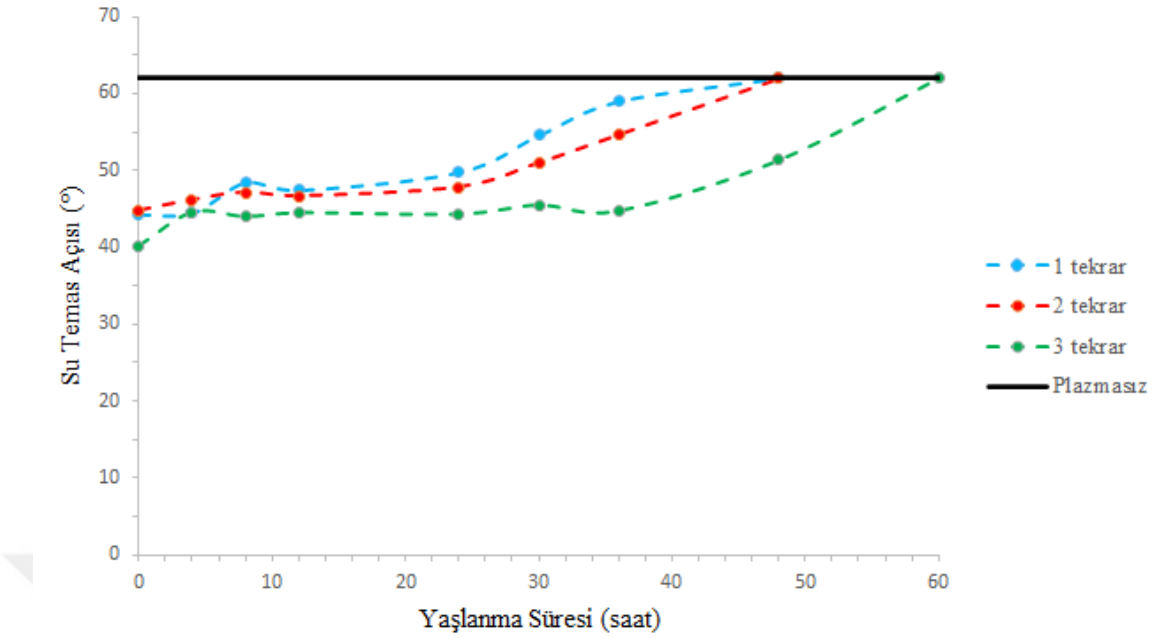
4.4. Yaşlanma Davranışının Belirlenmesi ve Bekletme Koşullarının Sürece Etkisi

Sıcak ve soğuk atmosferik basınçlı plazma uygulanan M1 malzemesinin yaşlanma davranışı 5 gün boyunca belli aralıklarla gerçekleştirilen su temas açısı ölçümü ile değerlendirilmiştir. Üç farklı tekrar sayısı ile uygulanan plazma işlemi sonrası numuneler, bekletme koşullarının yaşlanma davranışına olan etkilerinin tespiti için hava, su ve farklı sıcaklıklardaki ortamlarda bekletilmiştir ve su temas açıları ölçülmüştür. Çalışmanın bu kısmında yaşlanma karakteri için referans olacak olan plazma uygulanmamış numunelerin ortalama su temas açısı ise 62° olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.5'de soğuk plazma uygulamasının ardından havada bekletilen deney numunelerinin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açı değerlerinin zaman içerisindeki değişimi, Şekil 4.13'de de bu durumun grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.5. Soğuk plazma işleminin ardından havada bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi

	0.saat	4.saat	12.saat	24.saat	30.saat	36.saat	48.saat	60.saat
1 tekrar	44,33°	44,5°	47,5°	49,8°	54,6°	59°	63,5°	
2 tekrar	44,75°	46,16°	46,66°	47,83°	51°	54,66°	62,66°	
3 tekrar	40,2°	44,6°	44,5°	44,33°	45,5°	44,75°	51,33°	61,33°

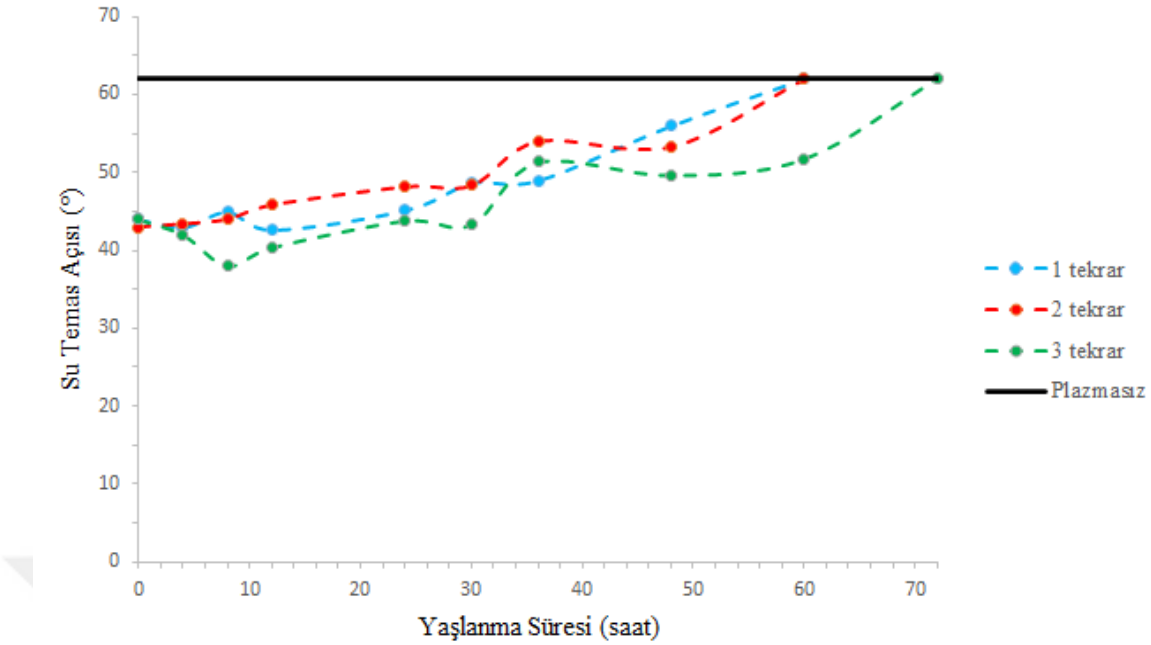


Şekil 4.13. Farklı plazma tekrar sayıları ile soğuk plazma uygulanan ve işlem sonrası havada bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Çizelge 4.6'da soğuk plazma uygulamasının ardından 1 dakika boyunca suda bekletilen deney numunelerinin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açı değerlerinin zaman içerisindeki değişimi, Şekil 4.14'te de bu durumun grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.6. Soğuk plazma işleminin ardından 1 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi

	0.saat	4.saat	12.saat	24.saat	30.saat	36.saat	48.saat	60.saat	72.saat
1 tekrar	44°	43°	42,66°	45,16°	48,66°	49°	56°	61,33°	
2 tekrar	43°	43,4°	45,83°	48,16°	48,33°	48,66°	53,3°	63,66°	
3 tekrar	44°	42°	40,4°	43,83°	43,33°	46,33°	49,66°	51,75°	61,66°

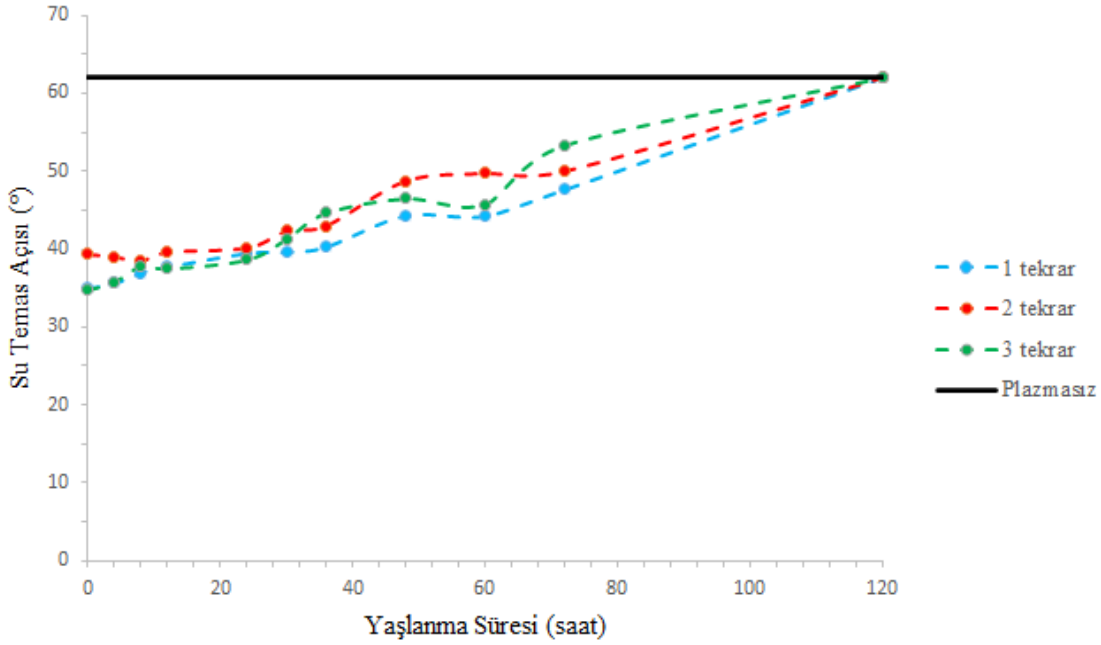


Şekil 4.14. Farklı plazma tekrar sayıları ile soğuk plazma uygulanan ve işlem sonrası 1 dakika boyunca suda bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Çizelge 4.7'de soğuk plazma uygulamasının ardından 10 dakika boyunca suda bekletilen deney numunelerinin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açı değerlerinin zaman içerisindeki değişimi, Şekil 4.15'te de bu durumun grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.7. Soğuk plazma işleminin ardından 10 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi

	0.saat	4.saat	12.saat	24.saat	30.saat	36.saat	48.saat	60.saat	72.saat	120.saat
1 tekrar	35°	35,66°	37,75°	39,5°	39,66°	40,33°	44,33°	44,25°	50,66°	62,33°
2 tekrar	39,33°	39°	39,6°	40,16°	42,33°	43°	48,75°	49,75°	50°	62°
3 tekrar	34,75°	35,83°	37,5°	38,66°	41,33°	44,66°	46,5°	45,75°	53,33°	61,66°

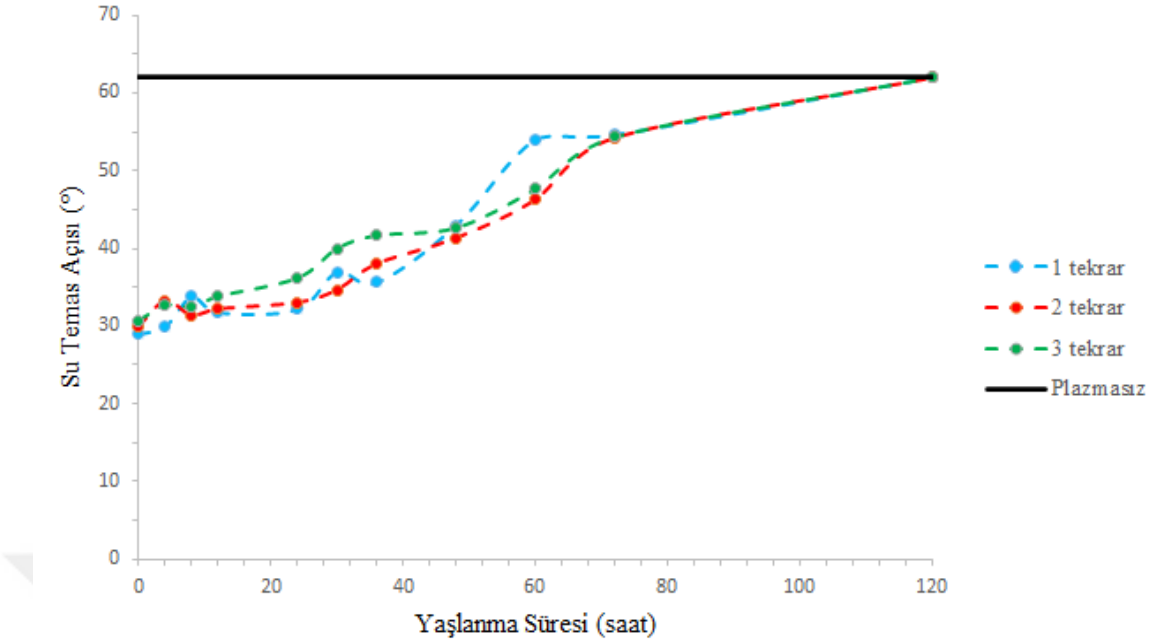


Şekil 4.15. Farklı plazma tekrar sayıları ile soğuk plazma uygulanan ve işlem sonrası 10 dakika boyunca suda bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Çizelge 4.8'de soğuk plazma uygulamasının ardından 60 dakika boyunca suda bekletilen deney numunelerinin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açı değerlerinin zaman içerisindeki değişimi, Şekil 4.16'da da bu durumun grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.8. Soğuk plazma işleminin ardından 60 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi

	0.saat	4.saat	12.saat	24.saat	30.saat	36.saat	48.saat	60.saat	72.saat	120.saat
1 tekrar	29°	30°	31,8°	32,2°	37°	35,66°	43°	48°	54,66°	62°
2 tekrar	30°	33,2°	32,16°	33°	34,66°	38°	41,33°	46,25°	54,25°	62,75°
3 tekrar	30,75°	32,66°	33,83°	36,2°	40°	41,66°	42,66°	47,66°	54,33°	61,5°

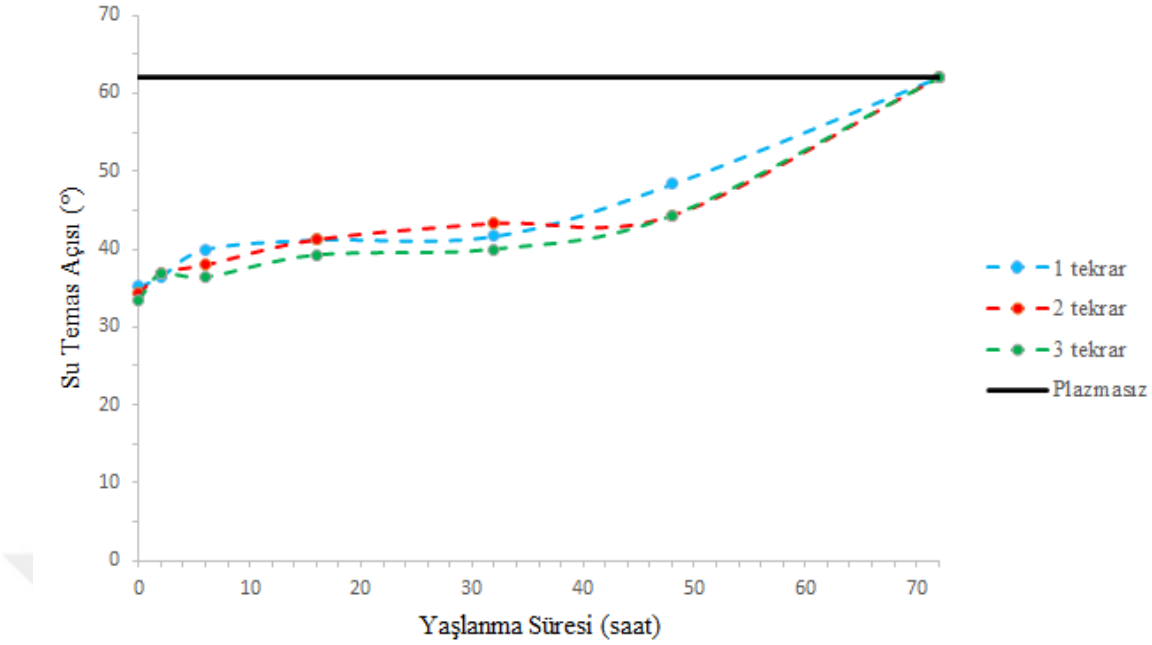


Şekil 4.16. Farklı plazma tekrar sayıları ile soğuk plazma uygulanan ve işlem sonrası 60 dakika boyunca suda bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Çizelge 4.9'da soğuk plazma uygulamasının ardından 3 saat boyunca -20°C'de bekletilen deney numunelerinin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açı değerlerinin zaman içerisindeki değişimi, Şekil 4.17'de de bu durumun grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.9. Soğuk plazma işleminin ardından 3 saat boyunca -20°C'de bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi

	0.saat	2.saat	6.saat	16.saat	32.saat	48.saat	72.saat
1 tekrar	35,2°	36,5°	40°	41,2°	41,66°	48,33°	62,33°
2 tekrar	34,25°	37°	38°	41,25°	43,33°	44,33°	62,33°
3 tekrar	33,5°	36,83°	36,4°	39,25°	40°	44,33°	61,66°

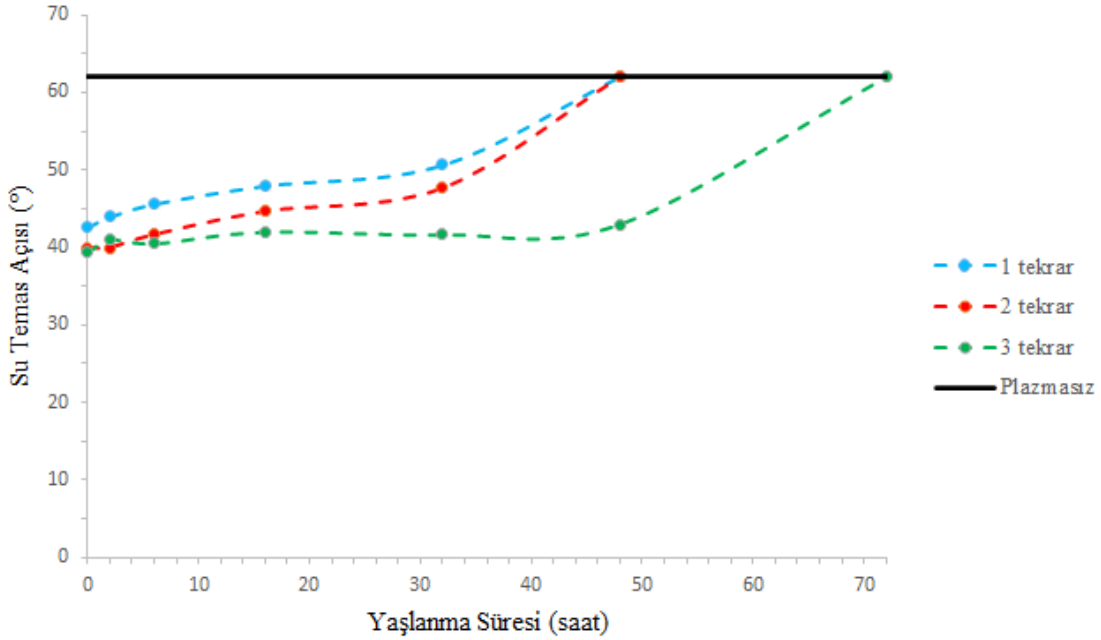


Şekil 4.17. Farklı plazma tekrar sayıları ile soğuk plazma uygulanan ve işlem sonrası 3 saat boyunca -20°C'de bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Çizelge 4.10'da soğuk plazma uygulamasının ardından 3 saat boyunca 30 ºC'de bekletilen deney numunelerinin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açı değerlerinin zaman içerisindeki değişimi, Şekil 4.18'de de bu durumun grafiği verilmiştir.

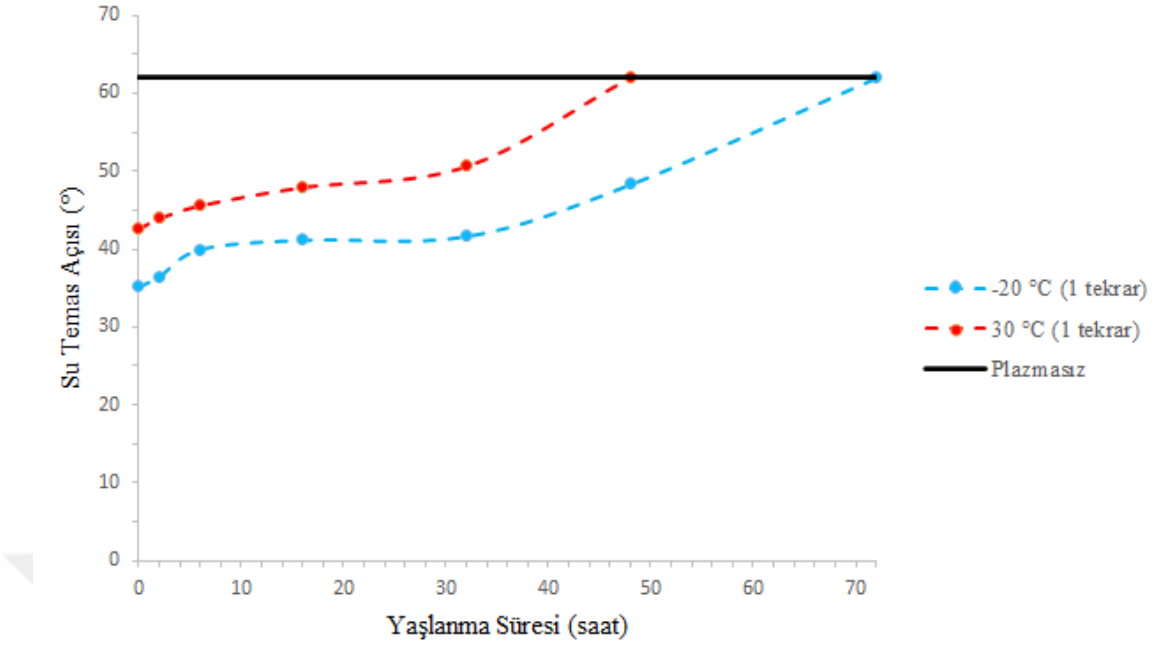
Çizelge 4.10. Soğuk plazma işleminin ardından 3 saat boyunca 30 ºC'de bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi

	0.saat	2.saat	6.saat	16.saat	32.saat	48.saat	72.saat
1 tekrar	42,66°	44°	45,66°	48°	50,66°	62°	
2 tekrar	40°	40°	41,66°	44,66°	47,66°	61,66°	
3 tekrar	39,33°	41°	40,5°	42°	41,66°	43°	61,66°



Şekil 4.18. Farklı plazma tekrar sayıları ile soğuk plazma uygulanan ve işlem sonrası 3 saat boyunca 30°C'de bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Şekil 4.19'da ise 1 tekrar sayısı ile soğuk plazma uygulamasına tabi tutulduktan sonra 3 saat boyunca -20°C ve 30°C'de bekletilen M1 malzemesinin su temas açılarının zaman içerisinde gösterdiği farklılığa dikkat çekilmiştir.

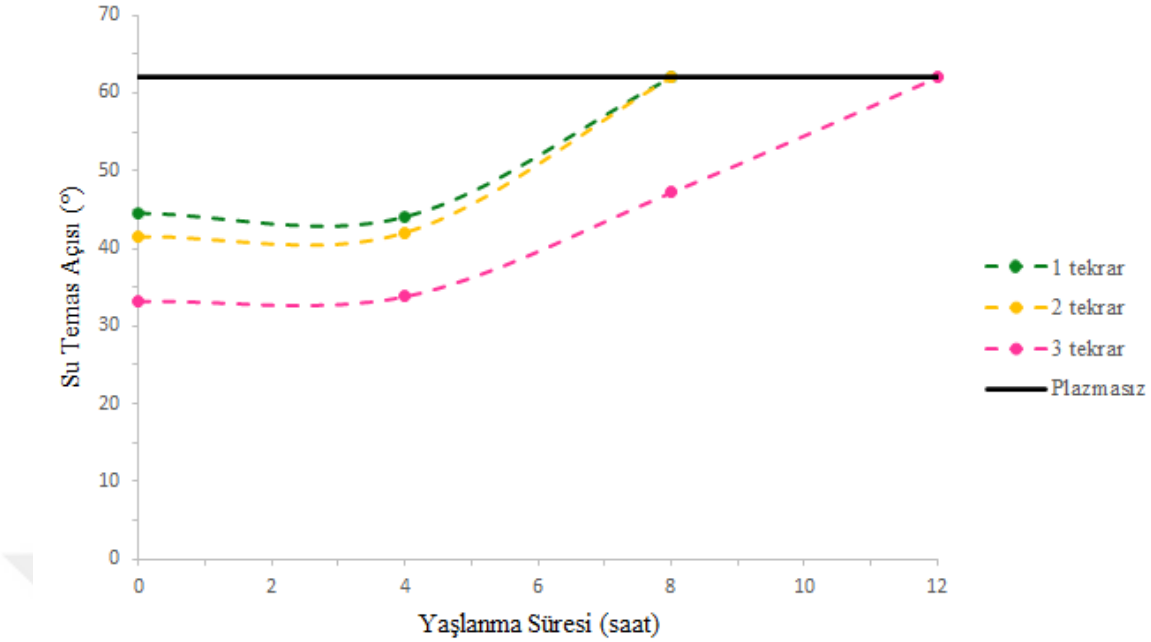


Şekil 4.19. 1 tekrar sayısı ile soğuk plazma işlemi gördükten sonra 3 saat boyunca -20°C ve 30°C'de bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Çizelge 4.11'de sıcak plazma uygulamasının ardından havada bekletilen deney numunelerinin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açı değerlerinin zaman içerisindeki değişimi, Şekil 4.20'de de bu durumun grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.11. Sıcak plazma işleminin ardından havada bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi

	0.saat	4.saat	8.saat	12.saat
1 tekrar	44,5°	44°	61,66°	
2 tekrar	41,5°	42°	62°	
3 tekrar	33,25°	33,83°	47,33°	62°

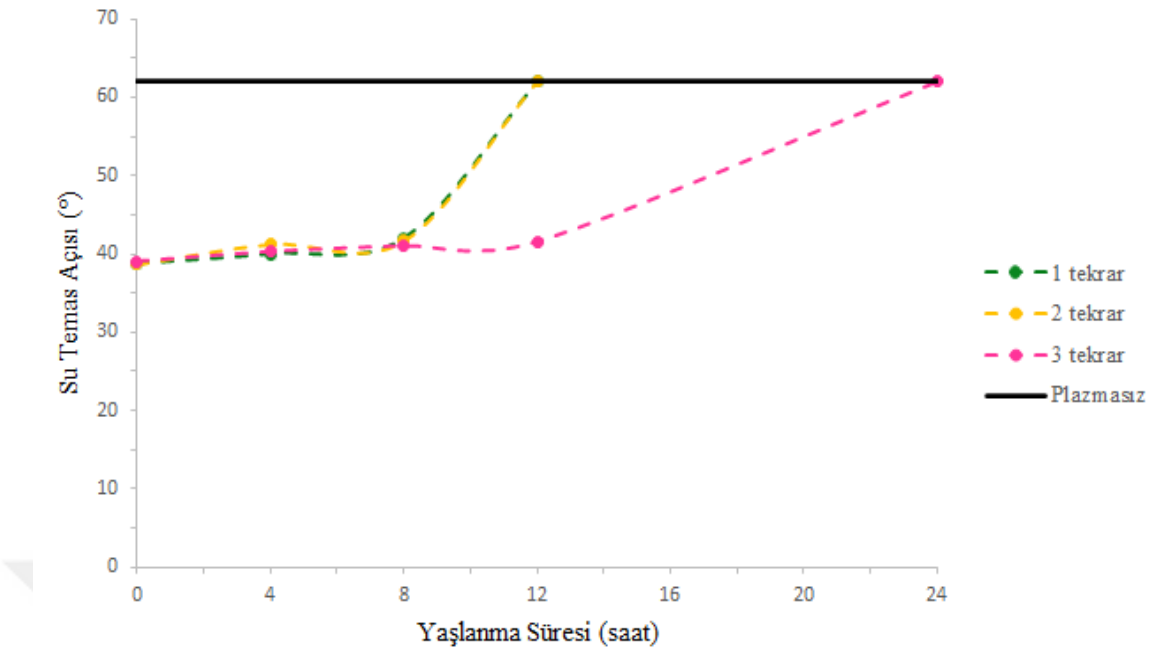


Şekil 4.20. Farklı plazma tekrar sayıları ile sıcak plazma uygulanan ve işlem sonrası havada bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Çizelge 4.12'de sıcak plazma uygulamasının ardından 1 dakika boyunca suda bekletilen deney numunelerinin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açı değerlerinin zaman içerisindeki değişimi, Şekil 4.21'de de bu durumun grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.12. Sıcak plazma işleminin ardından 1 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi

	0.saat	4.saat	8.saat	12.saat	24.saat
1 tekrar	38,75°	40°	42°	62°	
2 tekrar	38,66°	41,25°	41,66°	61,66°	
3 tekrar	39°	40,25°	41°	41,5°	62,33°

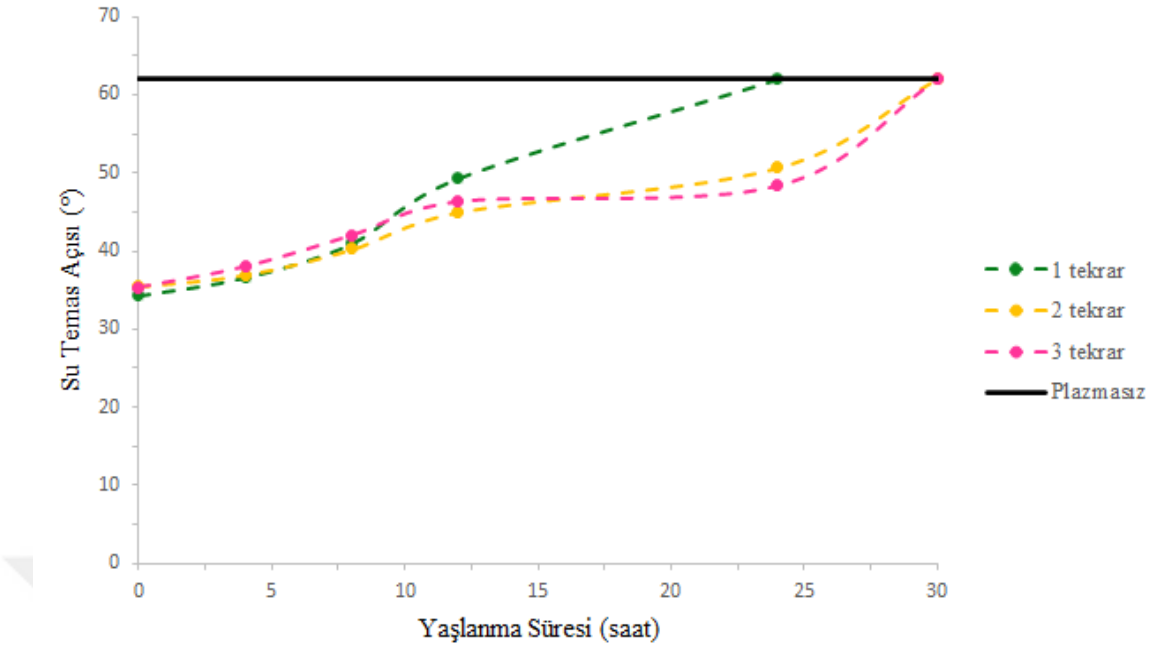


Şekil 4.21. Farklı plazma tekrar sayıları ile sıcak plazma uygulanan ve işlem sonrası 1 dakika boyunca suda bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Çizelge 4.13'de sıcak plazma uygulamasının ardından 10 dakika boyunca suda bekletilen deney numunelerinin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açı değerlerinin zaman içerisindeki değişimi, Şekil 4.22'de de bu durumun grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.13. Sıcak plazma işleminin ardından 10 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi

	0.saat	4.saat	8.saat	12.saat	24.saat	30.saat
1 tekrar	34,33°	36,66°	41°	49,33°	62°	
2 tekrar	35,5°	37°	40,25°	45°	50,66°	62°
3 tekrar	35,33°	38°	42°	46,33°	48,33°	62,33°

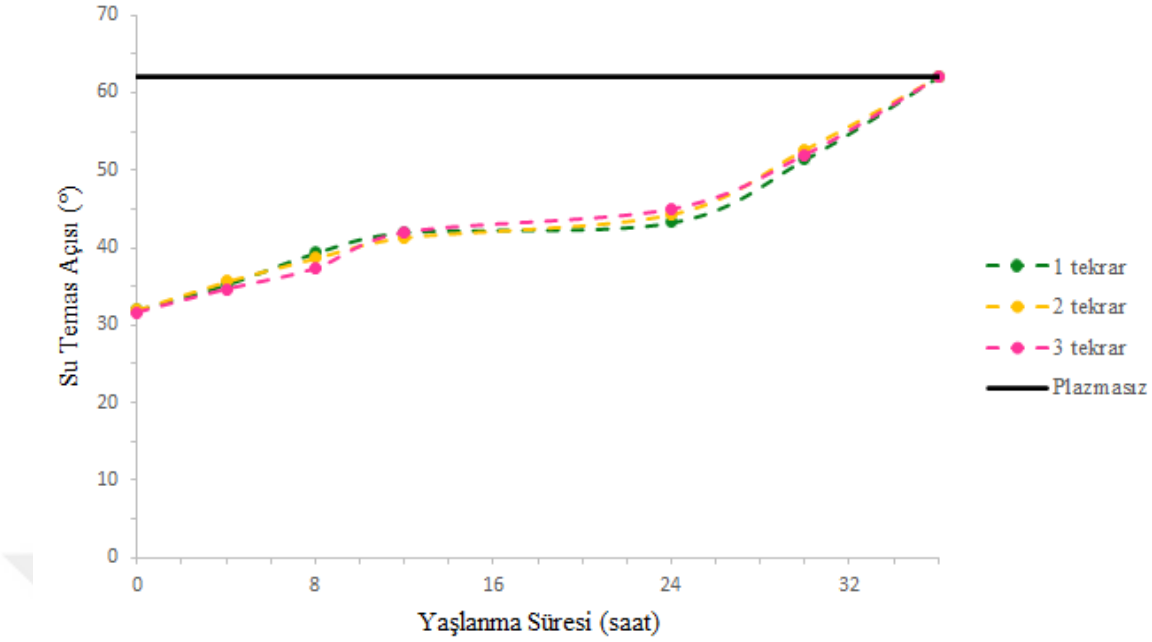


Şekil 4.22. Farklı plazma tekrar sayıları ile sıcak plazma uygulanan ve işlem sonrası 10 dakika boyunca suda bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Çizelge 4.14'te sıcak plazma uygulamasının ardından 60 dakika boyunca suda bekletilen deney numunelerinin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açı değerlerinin zaman içerisindeki değişimi, Şekil 4.23'de de bu durumun grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.14. Sıcak plazma işleminin ardından 60 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi

	0.saat	4.saat	8.saat	12.saat	24.saat	30.saat	36.saat
1 tekrar	32°	35,25°	39,33°	42°	43,25°	51,33°	61,66°
2 tekrar	32°	35,66°	38,66°	41,33°	44,33°	52,66°	62,33°
3 tekrar	31,66°	34,66°	37,33°	42°	45°	47,33°	61,66°

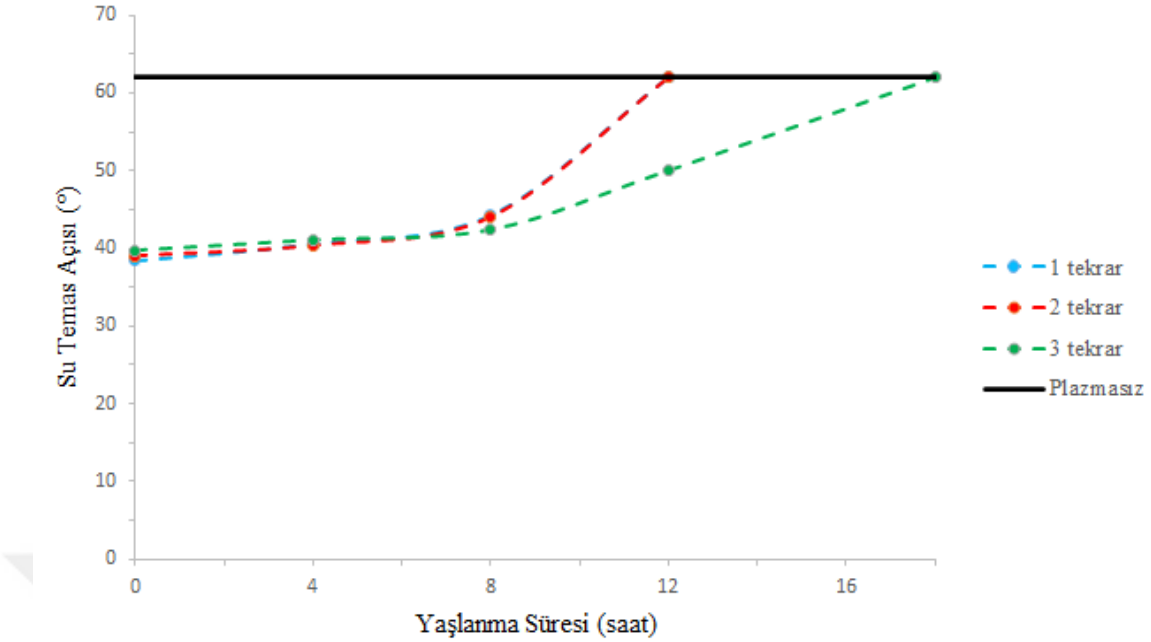


Şekil 4.23. Farklı plazma tekrar sayıları ile sıcak plazma uygulanan ve işlem sonrası 60 dakika boyunca suda bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Çizelge 4.15'te sıcak plazma uygulamasının ardından 3 saat boyunca -20°C'de bekletilen deney numunelerinin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açı değerlerinin zaman içerisindeki değişimi, Şekil 4.24'te de bu durumun grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.15. Sıcak plazma işleminin ardından 3 saat boyunca -20 ºC'de bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi

	0.saat	4.saat	8.saat	12.saat	18.saat
1 tekrar	38,5°	40,66°	44,33°	63,66°	
2 tekrar	39°	40,33°	44°	62,66°	
3 tekrar	39,66°	41°	42,33°	50°	62,33°

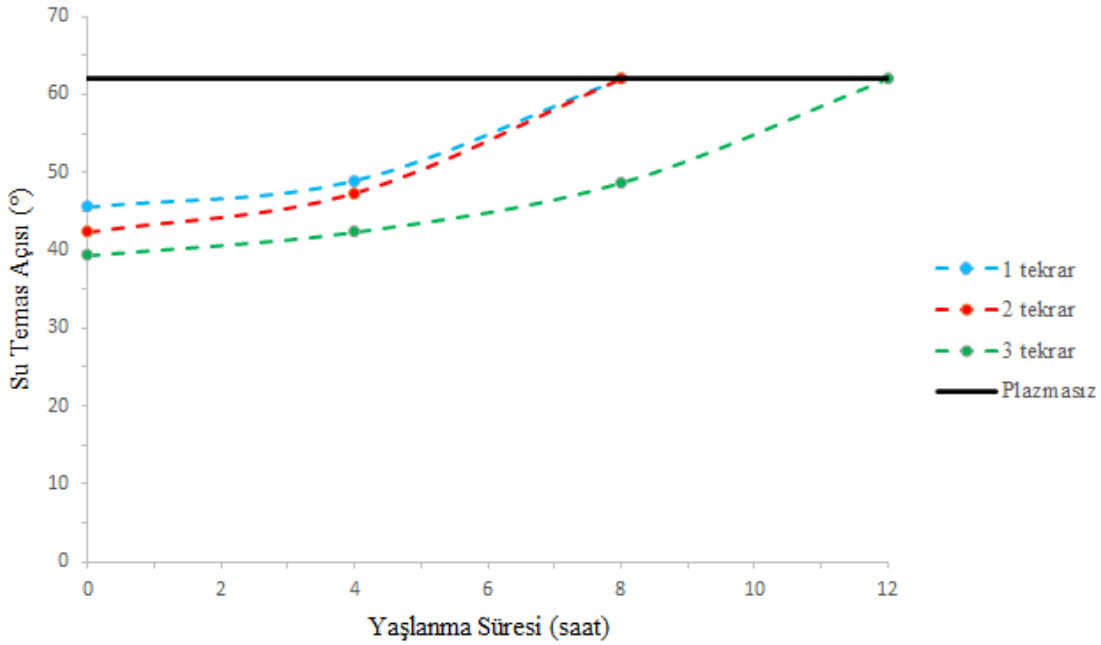


Şekil 4.24. Farklı plazma tekrar sayıları ile sıcak plazma uygulanan ve işlem sonrası 3 saat boyunca -20°C'de bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Çizelge 4.16'da sıcak plazma uygulamasının ardından 3 saat boyunca 30°C'de bekletilen deney numunelerinin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açı değerlerinin zaman içerisindeki değişimi, Şekil 4.25'te de bu durumun grafiği verilmiştir.

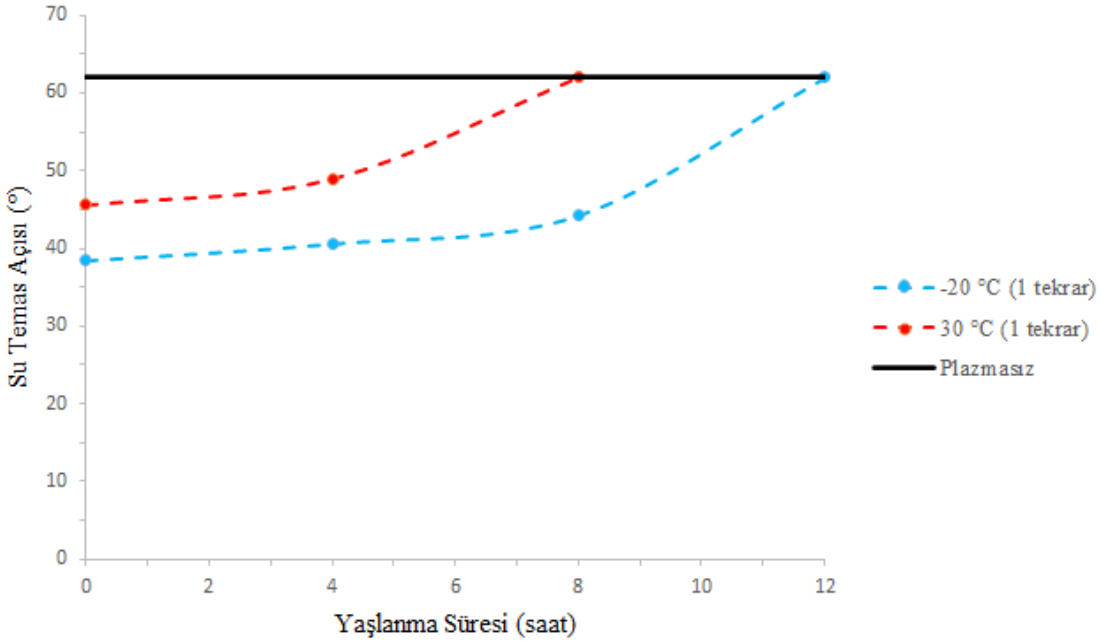
Çizelge 4.16. Sıcak plazma işleminin ardından 3 saat boyunca 30°C'de bekletilen numunelerin farklı plazma tekrar sayıları sonrasında ortalama su temas açılarının zaman içerisindeki değişimi

	0.saat	4.saat	8.saat	12.saat
1 tekrar	45,66°	49°	62°	
2 tekrar	42,33°	47,33°	62,33°	
3 tekrar	39,33°	42,33°	48,66°	62°



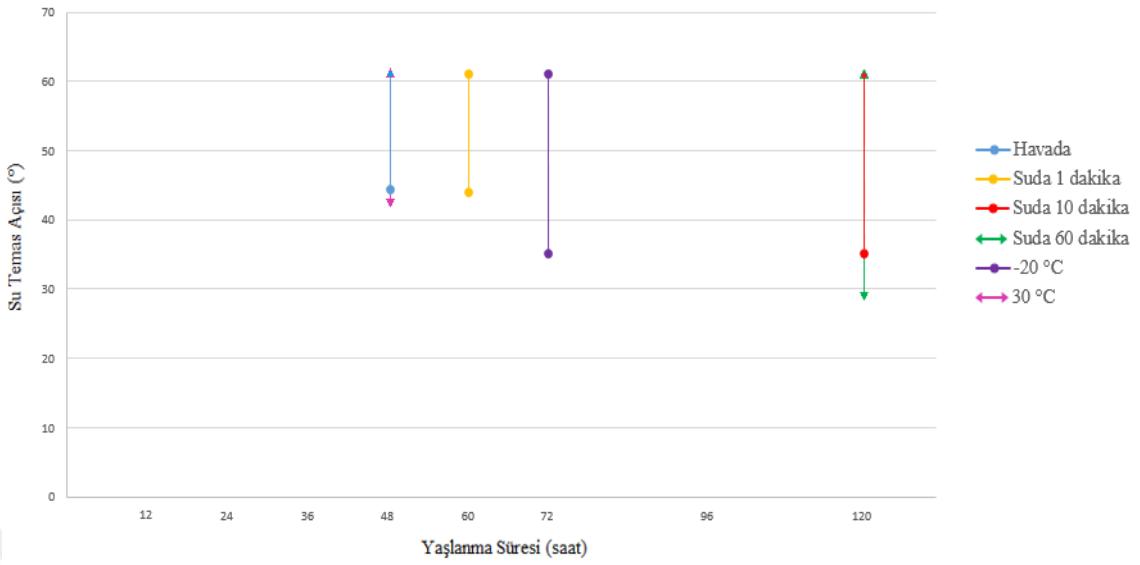
Şekil 4.25. Farklı plazma tekrar sayıları ile sıcak plazma uygulanan ve işlem sonrası 3 saat boyunca 30°C'de bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Şekil 4.26'da ise 1 tekrar sayısı ile sıcak plazma uygulamasına tabi tutulduktan sonra 3 saat boyunca -20°C ve 30°C'de bekletilen M1 malzemesinin su temas açılarının zaman içerisinde gösterdiği farklılığa dikkat çekilmiştir.



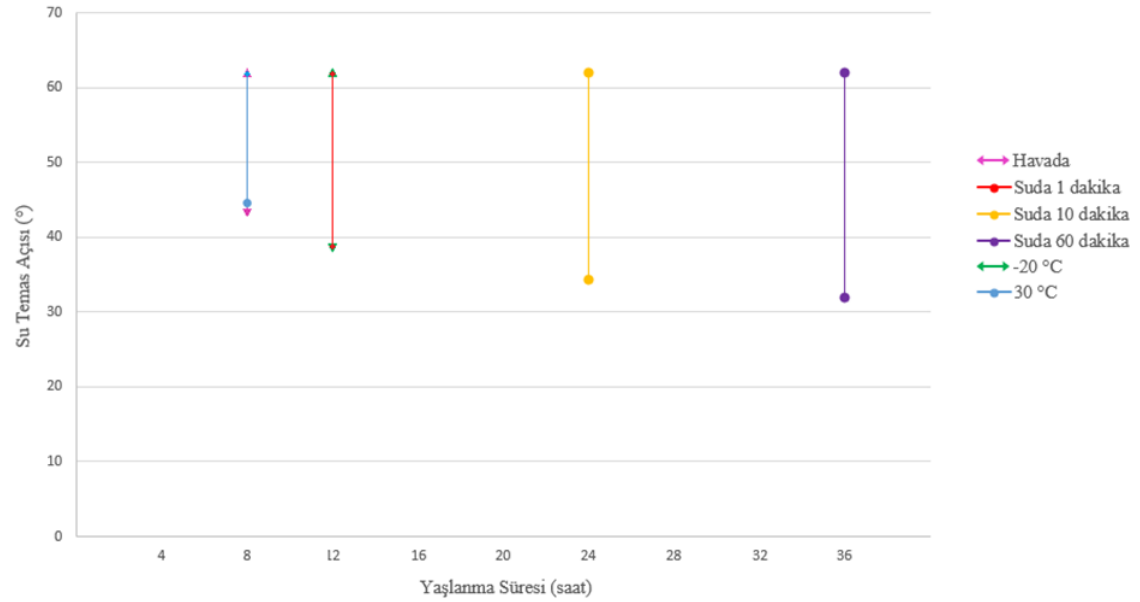
Şekil 4.26. 1 tekrar sayısı ile sıcak plazma işlemi gördükten sonra 3 saat boyunca -20°C ve 30°C'de bekletilen M1 malzemesinin yaşlanma süresinin bir fonksiyonu olarak su temas açısı değişimi

Şekil 4.27'de 1 tekrar sayısı ile soğuk plazma işlemi gördükten sonra farklı koşullarda bekletilen numunelerin yaşlanma ömürleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.27. 1 tekrar sayısı ile soğuk plazma işlemi gören M1 malzemesi numunelerinin farklı bekletme koşulları altındaki yaşlanma ömürleri

Şekil 4.28'de ise 1 tekrar sayısı ile sıcak plazma işlemi gördükten sonra farklı koşullarda bekletilen numunelerin yaşlanma ömürleri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir.



Şekil 4.28. 1 tekrar sayısı ile sıcak plazma işlemi gören M1 malzemesi numunelerinin farklı bekletme koşulları altındaki yaşlanma ömürleri

5. SONUÇ

Bu çalışmanın ilk kısmında, atmosferik basınçlı plazma uygulamasının galvaniz kaplamalı çelikler ile kaplamasız çeliklerin yapıştırma bağının dayanımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların ardından ulaşılan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- ABP işleminin, yüzey ıslanabilirliği üzerinde etkili olduğu açıktır. Plazma işlemi sonrası ortalama su temas açı değeri, galvaniz kaplamalı malzemede (M1) 56°'den 31,33°'ye gerileyerek yüzey ıslanabilirliği için yaklaşık %44'lük ve kaplamasız çelik malzemede (M2) ise 68,66°'den 45°'ye gerileyerek yaklaşık %34'lük bir iyileşme sağlanabileceği anlaşılmıştır.

- ABP'nin metal yüzeylere uygulanmasının yapıştırma bağlarının dayanımını önemli ölçüde arttığı görülmüştür. ABP uygulaması, her iki malzeme, yüzeye uygulanan her iki yapıştırıcı ve her üç plazma uygulama hızı için de yapışma bağının iyileşmesinde etkili olmuştur.

- Deney sonuçları incelendiğinde, ABP uygulaması sonrası yapışma dayanımı en çok, galvaniz kaplamalı malzemeye Erde G-Force marka yapıştırıcı uygulandığında ve plazma uygulama hızı 15 mm/s olduğunda (M1 Y2 V3) artış göstermiştir. Bu deney grubunda yapışma dayanımı 4,38 katına çıkmıştır. Ayrıca en yüksek yapışma dayanımı da yine bu grupta elde edilmiştir. ABP uygulaması sonrası en az artış ise galvaniz kaplamalı malzemeye Marocol 18576 marka yapıştırıcı uygulandığında ve plazma uygulama hızı 5 mm/s olduğunda (M1 Y1 V1) tespit edilmiştir. Bu grupta yapışma dayanımı 1,74 katına çıkmıştır.

- Deney sonuçları incelendiğinde, ABP uygulaması sonrasında galvaniz kaplamalı malzemeye Marocol 18576 marka yapıştırıcı uygulandığında ve plazma uygulama hızı 5 mm/s olduğunda (M1 Y1 V1) yapışma dayanımı 1,74 katına, 10 mm/s olduğunda (M1 Y1 V2) 2,25 katına ve 15 mm/s olduğunda ise (M1 Y1 V3) 2,43 katına çıkmıştır. Galvaniz kaplamalı malzemeye Erde G-Force marka

yapıştırıcı kullanıldığında ve plazma uygulama hızı 5 mm/s olduğunda ise (M1 Y2 V1) yapışma dayanımı 3,55 katına, 10 mm/s olduğunda (M1 Y2 V2) 3,88 katına ve 15 mm/s olduğunda (M1 Y2 V3) 4,38 katına çıkmıştır. Kaplamasız çelik malzemenin yer aldığı deney grubunda ise Marocol 18576 marka yapıştırıcı, plazma uygulama hızı 5 mm/s ve 10 mm/s olduğunda (M2 Y1 V1 ve M2 Y1 V2) yapışma dayanımını 1,78 katına, 15 mm/s olduğunda ise (M2 Y1 V3) 2,04 katına çıkarmıştır. Bu sonuçlar ele alındığında Erde G-Force marka yapıştırıcının galvaniz kaplamalı malzeme ile çok daha yüksek yapışma dayanımı sağladığı söylenebilir.

- Deney sonuçları incelendiğinde, kaplamasız çelik malzemeye Marocol 18576 marka yapıştırıcı uygulandığında 5 mm/s'lik plazma uygulama hızının (V1), 10 mm/s'ye yükseltilmesi (V2) yapışma dayanımını etkilememiştir. Ancak plazma uygulama hızı 15 mm/s (V3) olduğunda yapışma dayanımı diğer iki plazma uygulama hızına göre yaklaşık %14 oranında bir artış göstermiştir. Galvaniz kaplamalı malzemeye Marocol 18576 marka yapıştırıcı uygulandığında ise artan plazma uygulama hızı ile birlikte yapışma dayanımı da artmıştır. Yapışma dayanımı, plazma uygulama hızı 5 mm/s'den (V1) 10 mm/s'ye (V2) çıktığında yaklaşık %29 oranında, 10 mm/s'den (V2) 15 mm/s'ye (V3) çıktığında yaklaşık %7 oranında ve 5 mm/s'den (V1) 15 mm/s'ye (V3) çıktığında ise yaklaşık %39 oranında bir artış göstermiştir. Galvaniz kaplamalı malzemeye Erde G-Force marka yapıştırıcı uygulandığında da artan plazma uygulama hızı yapışma dayanımını pozitif yönde etkilemiştir. Yapışma dayanımı, plazma uygulama hızı 5 mm/s'den (V1) 10 mm/s'ye (V2) yükseltildiğinde yaklaşık %9 oranında, 10 mm/s'den (V2) 15 mm/s'ye (V3) yükseltildiğinde yaklaşık %13 oranında ve son olarak 5 mm/s'den (V1) 15 mm/s'ye (V3) yükseltildiğinde yaklaşık %23 oranında bir artış göstermiştir.

- Çekme testleri sonrası deney numunelerinin kopma yüzey görüntüleri değerlendirilmiştir. ABP uygulanmamış kaplamasız çelik malzemeye Marocol 18576 marka yapıştırıcı uygulanan deney grubunda (M2 Y1) kopma yüzeyi koheziv ve adeziv kopmanın kombinasyonuna sahiptir. Plazma işlemi sonrası ise

kopma yüzeyi çoğunlukla koheziv yapıdadır. Kaplamasız çelik malzeme için artan plazma uygulama hızı, kopma yüzeyinin koheziv kopma oranını da arttırmıştır. Plazma işlemi uygulanmamış galvaniz kaplamalı malzemeye Marocol 18576 marka yapıştırıcı uygulanan deney grubunda ise (M1 Y1) kopma yüzeyi koheziv ve adeziv kopmanın kombinasyonuna sahiptir. Plazma işlemi sonrası kopma yüzeyi, plazma işlemi uygulanmamış yüzeye oranla daha koheziv yapıdadır. Galvaniz kaplamalı malzemeye Erde G-Force marka yapıştırıcı uygulanması sonrası hem plazma uygulanmayan (M1 Y2) hem de plazma uygulanan deney gruplarında kopma yüzeyleri adeziv yapıdadır. Tüm yüzeylerde, ara yüzey kopması söz konusudur. Her iki malzeme ve her iki yapıştırıcı için plazma uygulanmamış ve plazma uygulanmış deney numunelerinin kopma yüzeylerinin görüntüleri Şekil 4.10'da görülmektedir.

- Marocol 18576 marka yapıştırıcı hem galvaniz kaplamalı hem de kaplamasız çelik malzemede ABP işlemi uygulanmamış yüzeylerde koheziv ve adeziv kopmanın bir kombinasyonunu verirken ABP işlemi uygulanmış numunelerin kopma yüzeylerinin daha fazla koheziv özellik gösterdiği görülmüş ancak hiçbir zaman tam koheziv kopma modu sergilememiştir. Marocol 18576 marka yapıştırıcı kullanıldığında kaplamasız çelik malzemede artan plazma hızının, kopma yüzeylerinde koheziv etkiyi arttıran bir faktör olduğu görülürken galvaniz kaplamalı malzemede kopma yüzeylerinin plazma hızı ile arasında bir ilişki görülmemiştir.

- Deney sonuçları incelendiğinde, aynı şartlar altında uygulanan ABP işleminin yapışma dayanımında yarattığı artışın, her iki malzeme, her iki yapıştırıcı ve farklı plazma uygulama hızları için farklı oranlarda olduğu görülmüştür.

- Sonuçlarda, ABP işlemi sonrasında her iki malzeme için de su temas açılarının azalarak yüzey ıslanabilirliğinin arttığı ve bu bağlamda yüzeye uygulanan iki farklı yapıştırıcıda da çekme deneyi sonrası yapışma dayanımının arttığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, ABP uygulamasının M1 ve M2 malzemeler için yüzey enerjisini arttırdığı ve bu yolla da metallerin yapıştırma davranışını iyileştirdiği anlaşılmıştır. Farklı yapıştırıcılar ile bu fark daha da arttırılabilir. Çalışmada, plazmanın parçaya olan mesafesi sabit tutulmuş olup uygulama hızı değiştirilmiştir. Burada uygulama hızının yüzey enerjisini değiştirmede oldukça etkin olduğu görülmüştür. Bu çalışmada sunulmuş olan metot ile farklı malzemeler ve yapıştırıcılar için deneyler geliştirilebilir. Bunun dışında sıcak plazma uygulaması ile de denemeler tekrarlanarak her iki yöntemin etkinlikleri de karşılaştırılabilir.

Çalışmanın ikinci kısmında, atmosferik basınçlı plazma uygulaması sonrası galvaniz kaplamalı çeliklerin yaşlanma davranışı ve yüzeyin işlem görmemiş haline geri dönüşünü geciktirebilecek ortam koşulları araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmaların ardından ulaşılan sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Soğuk plazma uygulaması sonrası havada bekletilen numunelerin, üç farklı süre (1, 10 ve 60 dakika) boyunca suda bekletilen diğer deney gruplarındaki numunelere oranla daha çabuk yaşlandığı, su temas açılarının ilk durumuna dönüş sürelerinin daha kısa olduğu görülmüştür. Havada bekletilen, 1 ve 2 tekrar ile plazma işlemi gören numuneler 48 saat sonra, 3 tekrar plazma uygulanan numuneler 60 saat sonra ilk haline geri dönmüştür. 1 dakika boyunca suda bekletilen, 1 ve 2 tekrar ile plazma işlemi gören numuneler 60 saat sonra, 3 tekrar ile plazma uygulanan numuneler 72 saat sonra ilk haline geri dönmüştür. 10 dakika ve 60 dakika boyunca suda bekletilen, 1, 2 ve 3 tekrar ile plazma işlemi gören numunelerin tamamı ise 120 saat sonra ilk haline geri dönmüştür. Bu sonuçlar ele alındığında havada ve 1 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin yaşlanma ömürleri için plazma tekrar sayısının bir faktör olduğu görülmüştür. 10 ve 60 dakika boyunca suda bekletilen numunelerde ise plazma tekrar sayısının yaşlanma ömrünü etkilemediği görülmüştür. Ayrıca aynı plazma tekrar sayıları dikkate alındığında suda bekletilen numunelerin, havada bekletilen numunelere oranla işlem sonrası yüzey ıslanabilirlik özelliklerinin geliştiği görülmüştür. Ek olarak, suda bekletme süreleri arttıkça plazma işlemi sonrası daha düşük temas açısı ve daha yüksek yüzey ıslanabilirlik özellikleri de elde edilmiştir. Temas açısı

sonuçları incelendiğinde numunelerin suda bekletilmesinin yaşlanma ömrünü uzattığı ancak 10 ve 60 dakika boyunca suda bekletilen numuneler 120 saatlik bir yaşlanma süresi verdiğinden belli bir süreden sonra galvaniz kaplamalı çelik malzemelerin suda bekletilmesinin soğuk ABP uygulaması sonrası yaşlanma ömrünü etkilemediği görülmüştür.

- Soğuk plazma uygulaması sonrası sıcaklığın yaşlanma ömrünü etkilediği tespit edilmiştir. 3 saat boyunca -20°C'de bekletilen, 1, 2 ve 3 tekrar ile plazma işlemi gören numunelerin tamamı 72 saat sonra ilk haline geri dönerken 30°C'de bekletilen, 1 ve 2 tekrar ile plazma işlemi gören numuneler 48 saat sonra, 3 tekrar ile işlem gören numuneler ise 72 saat sonra ilk haline geri dönmüştür. 30°C'de bekletilen ve 3 tekrar ile plazma işlemi gören numunelerin tıpkı -20°C'de bekletilen numunelerde olduğu gibi 72 saatlik bir yaşlanma ömrü sergilemesinin, artan plazma tekrar sayısı sayesinde yüzeyin ıslanabilirlik özelliğinin gelişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sonuçlar ele alındığında sıcaklığın yaşlanma ömrünü etkilediği, numunelerin daha yüksek sıcaklıklarda daha kısa yaşlanma ömrü, daha düşük sıcaklıklarda ise daha uzun yaşlanma ömrü ve daha iyi yüzey ıslanabilirlik özellikleri sergilediği tespit edilmiştir.

- Deney sonuçları incelendiğinde soğuk plazma uygulaması sonrası havada bekletilen, 1 ve 2 tekrar ile plazma işlemi gören numunelerin ilk 24 saatlik sürede plazma ile elde edilen yüzey özelliklerini büyük oranda koruduğu, 3 tekrar ile işlem gören numunelerde ise bu sürenin 36 saate kadar çıktığı görülmüştür. 1 dakika suda bekletilen, 1 ve 2 tekrar ile plazma işlemi gören numuneler ilk 36 saatte, 3 tekrar ile işlem gören numuneler ilk 48 saatte, 10 ve 60 dakika suda bekletilip 1, 2 ve 3 tekrar ile plazma işlemi gören numunelerin tamamında ise ilk 60 saatte plazma ile elde edilen yüzey özellikleri büyük oranda korunmuştur.

- Sıcak plazma uygulaması sonrası tıpkı soğuk plazma işleminde olduğu gibi havada bekletilen numunelerin, üç farklı süre boyunca suda bekletilen diğer deney gruplarındaki numunelere oranla daha çabuk yaşlandığı, su temas açılarının ilk durumuna dönüş sürelerinin daha kısa olduğu görülmüştür. Havada bekletilen, 1

ve 2 tekrar ile plazma işlemi gören numuneler 8 saat sonra, 3 tekrar plazma uygulanan numuneler 12 saat sonra ilk haline geri dönmüştür. 1 dakika boyunca suda bekletilen, 1 ve 2 tekrar ile plazma işlemi gören numuneler 12 saat sonra, 3 tekrar ile plazma uygulanan numuneler 24 saat sonra ilk haline geri dönmüştür. 10 dakika boyunca suda bekletilen ve 1 tekrar ile plazma işlemi gören numuneler 24 saat sonra, 2 ve 3 tekrar ile plazma uygulanan numuneler 30 saat sonra ilk haline geri dönmüştür. 60 dakika boyunca suda bekletilen, 1, 2 ve 3 tekrar ile plazma işlemi gören numunelerin tamamı ise 36 saat sonra ilk haline geri dönmüştür. Bu sonuçlar ele alındığında havada, 1 ve 10 dakika boyunca suda bekletilen numunelerin yaşlanma ömürleri için plazma tekrar sayısının bir faktör olduğu görülmüştür. 60 dakika boyunca suda bekletilen numunelerde ise plazma tekrar sayısının yaşlanma ömrünü etkilemediği görülmüştür. Ayrıca aynı plazma tekrar sayıları dikkate alındığında suda bekletilen numunelerin, havada bekletilen numunelere oranla işlem sonrası yüzey ıslanabilirlik özelliklerinin geliştiği görülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde, suda bekletme süreleri arttıkça plazma işlemi sonrası daha düşük temas açısı ve daha yüksek yüzey ıslanabilirlik özellikleri de elde edilmiştir. Bunlara ek olarak aynı plazma tekrar sayıları dikkate alındığında numunelerin suda bekletme sürelerinin artmasıyla yaşlanma ömürlerinin de arttığı saptanmıştır.

- Sıcak plazma uygulaması sonrası tıpkı soğuk plazma işleminde olduğu gibi sıcaklığın yaşlanma ömrünü etkilediği saptanmıştır. 3 saat boyunca -20°C'de bekletilen, 1 ve 2 tekrar ile plazma işlemi gören numuneler 12 saat sonra, 3 tekrar ile plazma uygulanan numuneler de 18 saat sonra ilk haline geri dönmüştür. 30°C'de bekletilen, 1 ve 2 tekrar ile işlem gören numuneler 8 saat sonra, 3 tekrar ile plazma işlemine tabi tutulan numuneler ise 12 saat sonra ilk haline geri dönmüştür. -20°C ve 30°C'de 3 tekrar ile işlem gören numunelerin kendi deney gruplarındaki diğer numunelere oranla daha uzun yaşlanma ömrüne sahip olması ise artan plazma tekrar sayısı sayesinde yüzeyin ıslanabilirlik özelliğinin gelişmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu veriler ışığında sıcaklığın, sıcak plazma sonrası yaşlanma ömrünü etkilediği, numunelerin daha yüksek

sıcaklıklarda daha kısa yaşlanma ömrü, daha düşük sıcaklıklarda ise daha uzun yaşlanma ömrü ve daha iyi yüzey ıslanabilirlik özellikleri sergilediği görülmüştür.

- Deney sonuçları incelendiğinde, sıcak plazma uygulaması sonrası havada bekletilen, 1 ve 2 tekrar ile plazma işlemi gören numunelerin ilk 4 saatlik sürede plazma ile elde edilen yüzey özelliklerini büyük oranda koruduğu, 3 tekrar ile işlem gören numunelerde ise bu sürenin 8 saate çıktığı görülmüştür. 1 dakika suda bekletilen, 1 ve 2 tekrar ile plazma işlemi gören numuneler ilk 8 saatte, 3 tekrar ile işlem gören numuneler ilk 12 saatte, 10 dakika suda bekletilen, 1 ve 2 tekrar ile plazma işlemi gören numuneler ilk 12 saatte, 3 tekrar ile işlem gören numuneler ilk 24 saatte, 60 dakikada suda bekletilen, 1 ve 2 tekrar ile işlem gören numuneler ilk 24 saatte, 3 tekrar ile plazma uygulanan numunelerde ise ilk 30 saatte plazma ile elde edilen yüzey özellikleri büyük oranda korunmuştur.

- Deney sonuçları incelendiğinde, uygulanan plazma tipinin galvaniz kaplamalı çelik malzemenin yaşlanma davranışını etkilediği görülmüştür. Sıcak plazma işlemi sonrası elde edilen yüzey özelliklerinin daha kısa sürede kaybolduğu ve malzemenin daha kısa bir yaşlanma ömrüne sahip olduğu, soğuk plazma uygulaması sonrası ise çok daha uzun süreler bu yüzey özelliklerinin korunduğu ve malzemenin daha uzun bir yaşlanma ömrüne sahip olmasından bu yöntemin daha etkili olduğu tespit edilmiştir.

- Deney sonuçları değerlendirildiğinde, 1 tekrar sayısı ile soğuk plazma işlemi gören galvaniz kaplamalı çelik malzemelerin farklı bekletme koşulları altında farklı yaşlanma ömürleri gösterdiği anlaşılmıştır. Havada ve 30°C'de bekletilen numuneler 48 saat, suda 1 dakika bekletilen numuneler 60 saat, -20°C'de bekletilen numuneler 72 saat, suda 10 dakika ve 60 dakika bekletilen numuneler ise 120 saatlik yaşlanma ömrü vermiştir. Bu durum Şekil 4.27'de gösterilmiştir. 1 tekrar sayısı ile sıcak plazma işlemi gören galvaniz kaplamalı çelik malzemelerin de farklı bekletme koşulları altında gösterdiği yaşlanma ömürleri farklıdır. Havada ve 30°C'de bekletilen numuneler 8 saat, suda 1 dakika ve -20°C'de bekletilen numuneler 12 saat, suda 10 dakika bekletilen numuneler 24 saat ve suda

60 dakika bekletilen numuneler 36 saatlik yaşlanma ömrü vermiştir. Bu durum Şekil 4.28'de gösterilmiştir.

Sonuç olarak, soğuk ve sıcak ABP uygulaması ile galvaniz kaplamalı çelik malzemelerin yüzey enerjisini arttırmanın ve ıslanabilirlik özelliklerini geliştirebilmenin mümkün olduğu anlaşılmıştır. Ancak plazma uygulaması sonrası yüzeyin işlem görmemiş ilk haline geri dönme eğiliminde olmasından dolayı elde edilen plazma kaynaklı değişikliklerin ne kadar süre ile korunduğunun tespitinin yapılabilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada galvaniz kaplamalı çelik malzemenin plazma uygulaması sonrası bekletme koşullarının yaşlanma davranışına olan etkileri malzemenin hava, su ve farklı sıcaklıklarda bekletilmesi ile araştırılmıştır. Sonuçlar, yüzey yaşlanmasının numunelerin bekletildiği ortam ve sıcaklıktan büyük ölçüde etkilendiğini, malzemenin düşük sıcaklıkta ve belli bir süre boyunca suda bekletilmesinin yaşlanma ömrünü uzatma konusunda etkili olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada sunulmuş olan metot ile farklı malzemeler ve farklı bekletme ortamları için deneyler geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Adamson, A. W. (1990). *The physical chemistry of surfaces*. Wiley Interscience.

Akan, T. (2005). Maddenin 4. hali plazma ve temel özellikleri. *Elektronik Çağdas Fizik Dergisi*, *4*, 1–11.

Aydar, A. Y., Rodriguez-Martinez, V., Farkas, B. E. (2016). Determination and modeling of contact angle of canola oil and olive oil on a PTFE surface at elevated temperatures using air or steam as surrounding media. *LWT - Food Science and Technology*, *65*, 304–310. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.08.022

Azo Materials. (2022, 1 Haziran). *Vacuum Plasma Processing*. https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=912

Bodas, D., Khan-Malek, C. (2006). Formation of more stable hydrophilic surfaces of PDMS by plasma and chemical treatments. *Microelectronic Engineering*, *83*(4–9), 1277–1279. https://doi.org/10.1016/j.mee.2006.01.195

Bodas, D., Khan-Malek, C. (2007). Hydrophilization and hydrophobic recovery of PDMS by oxygen plasma and chemical treatment - An SEM investigation. *Sensors and Actuators B*, *123*(1), 368–373. https://doi.org/10.1016/j.snb.2006.08.037

Bostik. (2022, 1 Haziran). *Marocol 18576*. https://www.bostik.com/uk/en/catalog/product/durable-goods/emea/uk/marocol-18576/

Boudou, J. P., Paredes, J. I., Cuesta, A., Martinez-Alonso, A., Tascon, J. M. D. (2003). Oxygen plasma modification of pitch-based isotropic carbon fibres. *Carbon*, *41*(1), 41–56. https://doi.org/10.1016/S0008-6223(02)00270-1

Brzhozovskii, B., Brovkova, M., Gots, I., Zinina, H., Martynov, V. (2019). Study of the low-temperature plasma treatment effect on the structure, physical and chemical surface characteristics of 40X13 steel. *Heliyon*, *5*(9), Article e02388. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02388

Cai, Z., Hwang, Y. J., Park, Y. C., Zhang, C. Y., McCord, M., Qui, Y. (2002). Preliminary investigation of atmospheric pressure plasma-aided desizing for cotton fabrics, *AATCC Review*, *2*(12), 18–21.

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., Polini, W., Sorrentino, L. (2004). Ageing time of wettability on polypropylene surfaces processed by cold plasma. *Journal of Materials Processing Technology*, *153–154*, 519–525. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2004.04.134

Castillo Acero, M. A., Conde Lopez, L. (2017). Effect of plasma treatment in Aluminum and composites bonding joints: Shear load tests results. *Procedia Manufacturing*, *13*, 183–189. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.034

Chen, F., Liu, J., Cui, Y., Huang, S., Song, J., Sun, J., Xu, W., Liu, X. (2016). Stability of plasma treated superhydrophobic surfaces under different ambient conditions. *Journal of Colloid and Interface Science*, *470*, 221–228. http://dx.doi.org/10.1016/j.jcis.2016.02.058

Choi, J. H., Lee, E. S., Baik, H. K., Lee, S. J., Song, K. M., Lim, Y. S. (2005). Analysis of polymer surface treated by dielectric barrier discharge. *Plasma Sources Science and Technology*, *14*(2), 363–367. http://dx.doi.org/10.1088/0963-0252/14/2/019

Dallı, E. (2013). *Atmosferik basınç soğuk plazma jetler* (Tez No. 348607) [Yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

De Geyter, N., Morent, R., Leys, C. (2008). Influence of ambient conditions on the ageing behaviour of plasma-treated PET surfaces. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, *266*(12-13), 3086–3090. https://doi.org/10.1016/j.nimb.2008.03.167

Diener Plasma. (2022, 1 Haziran). *Diener Plasma Surface Technology*. https://www.relyon-plasma.com

Eddington, D. T., Puccinelli, J. P., Beebe, D. J. (2006). Thermal aging and reduced hydrophobic recovery of polydimethylsiloxane. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *114*(1), 170–172. https://doi.org/10.1016/j.snb.2005.04.037

Encinas, N., Abenojar, J., Casanova, M. A. M. (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

Erdesi. (2022, 1 Haziran). *Erde G-Force*. http://erdesi.com/wp-content/uploads/2017/11/erde-g-force-TDS.pdf

Esen, S. G. (2016). *Otomobil tampon boya hatlarında plazma yüzey aktivasyonu ile yüzey enerjisinin kontrolü ve uygulanabilirliğinin araştırılması* (Tez No. 434014) [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

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

Hauser, P., Qiu, Y., Cuomo, J., Hankins, O., Bourham, M., McCord, M. (2002). *A novel non-aqueous fabric finishing process*. Annual report.

Hirsh, M. N., Oskam, H. J. (1978). *Gaseous Electronics: Electrical Discharges.* Academic Press.

Jorda-Vilaplana, A., Sanchez-Nacher, L., Garcia-Sanoguera, D., Carbonell, A., Ferri, J. M. (2015). Effects of aging on the adhesive properties of poly(lactic acid) by atmospheric air plasma treatment. *Journal of Applied Polymer Science*, *133*(11), Article 43040. https://doi.org/10.1002/app.43040

Karahan, H. A. (2007). *Atmosferik plazma kullanılarak doğal liflerinin yüzeysel özelliklerinin değiştirilmesi üzerine bir araştırma* (Tez No. 202039) [Yüksek lisans tezi, Ege Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Kim, J. S., Kim, Y. K., Lee K. H. (2004). Effects of atmospheric plasma treatment on the interfacial characteristics of ethylene–vinyl acetate/polyurethane composites. *Journal of Colloid and Interface Science*, *271*(1), 187–191. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2003.10.013

Kim, M. C., Song, D. K., Shin, H. S., Baeg, S. H., Kim, G. S., Boo, J. H., Han, J. G., Yang, S. H. (2003). Surface modification for hydrophilic property of stainless steel treated by atmospheric-pressure plasma jet. *Surface and Coatings Technology*, *171*(1-3), 312–316. https://doi.org/10.1016/S0257-8972(03)00292-5

Kim, M. C., Yang, S. H., Boo, J. H., Han, J. G. (2003). Surface treatment of metals using an atmospheric pressure plasma jet and their surface characteristics. *Surface and Coatings Technology*, *174–175*, 839–844. https://doi.org/10.1016/S0257-8972(03)00560-7

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, 45*(1), 1282–1287. http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2012.06.016

Kurtuldu, F., Altuncu, E. (2016, 3-5 Kasım). *Surface wettability properties of 304 stainless steel treated by atmospheric-pressure plasma system* [Konferans sunumu]. ISITES2016, Alanya, Antalya, Türkiye.

Latifi, A., Imani, M., Khorasani, M. T., Joupari, M. D. (2014). Plasma surface oxidation of 316L stainless steel for improving adhesion strength of silicone rubber coating to metal substrate. *Applied Surface Science*, *320*, 471–481. http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2014.09.084

Lawton, R. A., Price, C. R., Runge, A. F., Doherty III, W. J., Saavedra, S. S. (2005). Air plasma treatment of submicron thick PDMS polymer films: effect of oxidation time and storage conditions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *253*(1-3), 213–215. https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2004.11.010

Lee, C. J., Lee, S. K., Ko, D. C., Kim, D. J., Kim, B. M. (2009). Evaluation of surface and bonding properties of cold rolled steel sheet pretreated by Ar/O_2 atmospheric pressure plasma at room temperature. *Journal of Materials Processing Technology, 209*(10), 4769–4775. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2008.11.043

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

Lee, H. U., Kang, Y. H., Jeong, S. Y., Koh, K., Kim, J. P., Bae, J. S., Cho, C. R. (2011). Long-term aging characteristics of atmospheric-plasma-treated poly(3-caprolactone) films and fibres. *Polymer Degradation and Stability*, *96*(7), 1204–1209. https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2011.04.012

Lin, J. W., Chang, H. C. (2011). Surface modification of SUS304 stainless steel by atmospheric pressure $Ar/N_2/O_2$ plasma. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, *269*(15), 1801–1808. https://doi.org/10.1016/j.nimb.2011.05.004

Liu, X., Chen, F., Huang, S., Yang, X., Lu, Y., Zhou, W., Xu, W. (2015). Characteristic and application study of cold atmospheric-pressure nitrogen plasma jet. *IEEE Transactions on Plasma Science*, *43*(6), 1959–1968. https://doi.org/10.1109/TPS.2015.2427852

Luna, P., Marino, A., Lizarazo-Marriaga, J., Beltran, O. (2017). Dry etching plasma applied to fique fibers: influence on their mechanical properties and surface appearance. *Procedia Engineering*, *200*, 141–147. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.021

Lynch, J. B., Spence, P. D., Baker, D. E., Postlethwaite, T. A. (1999). Atmospheric pressure plasma treatment of polyethylene via a pulse dielectric barrier discharge: Comparison using various gas compositions versus corona discharge in air. *Journal of Applied Polymer Science*, *71*(2), 319–331. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19990110)71:2<319::AID-APP16>3.0.CO;2-T

Mandolfino, 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

Mandolfino, 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

Maroofi, A., Navab Safa, N., Ghomi, H. (2020). Atmospheric air plasma jet for improvement of paint adhesion to aluminium surface in industrial applications. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *98*, Article 102554. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102554

Merche, D., Poleunis, C., Bertrand, P., Sferrazza, M., Reniers, F. (2009). Synthesis of polystyrene thin films by means of an atmospheric pressure plasma torch and a dielectric barrier discharge. *IEEE Transactions on Plasma Science*, *37*(6), 951–960. http://dx.doi.org/10.1109/TPS.2009.2014165

Mirsasaani, S. S., Manjili, H. M., Baheiraei, N. (2011). *Dental nanomaterials: Advances in diverse industrial applications of nanocomposites*. https://doi.org/10.5772/15452

Morent, R., De Geyter, N., Leys, C., Gengembre, L., Payen, E. (2007). Study of the ageing behaviour of polymer films treated with a dielectric barrier discharge in air, helium and argon at medium pressure. *Surface & Coatings Technology*, *201*(18), 7847–7854. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.03.018

Moroni, F., Musiari, F., Sciancalepore, C., Messori, M. (2020). Influence of atmospheric pressure plasma process parameters on the mechanical behavior of thermoplastic joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, *102*, Article 102650. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2020.102650

Mui, T. S. M., Silva, L. L. G., Prysiazhnyi, V., Kostov, K. G. (2017). Surface modification of aluminium alloys by atmospheric pressure plasma treatments for enhancement of their adhesion properties. *Surface & Coatings Technology*, *312*, 32–36. http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.08.024

Nakamatsu, J., Delgado-Aparicio, L. F., Da Silva, R., Soberon, F. (1999). Ageing of plasma-treated poly(tetrafluoroethylene) surfaces. *Journal of Adhesion Science and Technology*, *13*(7), 753–761. https://doi.org/10.1163/156856199X00983

Nehra, V., Bhaumik, S., Mittal, C. L., Gulrajani, M.., Dwivedi, H. K. (2005). Atmospheric pressure non-thermal plasma source and its application in textile processing. *Melliand International*, *11*, 60–61.

Øiseth, S. K., Krozer, A., Kasemo, B., Lausmaa, J. (2002). Surface modification of spin-coated high-density polyethylene films by argon and oxygen glow discharge plasma treatments. *Applied Surface Science*, *202*(1–2), 92–103. https://doi.org/10.1016/S0169-4332(02)00928-5

Park, S. J., Kim, B. J. (2004). Influence of oxygen plasma treatment on hydrogen chloride removal of activated carbon fibers. *Journal of Colloid and Interface Science*, *275*(2), 590–595. https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.03.011

Plasmatreat. (2022, 1 Haziran). *Plazma Teknolojisi*. https://www.plasmatreat.com.tr/yuzey_belirleme/test_murekkebi_yontemi.html

Polini, W., Sorrentino, L. (2003). Improving the wettability of 2024 aluminium alloy by means of cold plasma treatment. *Applied Surface Science*, *214*(1-4), 232–242. https://doi.org/10.1016/S0169-4332(03)00359-3

Polini, W., Sorrentino, L. (2004). Analysis of adhesion in an aggressive environment of a protective paint coating on an aluminium alloy surface treated by air cold plasma. *Journal of Adhesion Science and Technology*, *18*(14), 1643–1661. https://doi.org/10.1163/1568561042411312

Preedy, E. C., Brousseau, E., Evans, S. L., Perni, S., Prokopovich, P. (2014). Adhesive forces and surface properties of cold gas plasma treated UHMWPE. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *460*, 83–89. http://dx.doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.03.052

Prysiazhnyi, V. (2013). Atmospheric pressure plasma treatment and following aging effect of chromium surfaces. *Journal of Surface Engineered Materials and Advanced Technology*, *3*(2), 138–145. http://dx.doi.org/10.4236/jsemat.2013.32018

Prysiazhnyi, V., Slavicek, P., Cernak, M. (2014). Aging of plasma-activated copper and gold surfaces and its hydrophilic recovery after water immersion. *Thin Solid Films*, *550*, 373–380. https://doi.org/10.1016/j.tsf.2013.10.176

Prysiazhnyi, V., Svoboda, T., Dvorak, M., Klima, M. (2012). Aluminum surface treatment by the RF plasma pencil. *Surface & Coatings Technology*, *206*(19-20), 4140–4145. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2012.04.010

Prysiazhnyi, V., Zaporojchenko, V., Kersten, H., Cernak, M. (2012). Influence of humidity on atmospheric pressure air plasma treatment of aluminium surfaces. *Applied Surface Science*, *258*(14), 5467–5471. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2012.02.040

Pykönen, M., Sundqvist, H., Kaukoniemi, O. V., Tuominen, M., Lahti, J., Fardim, P., Toivakka, M. (2008). Ageing effect in atmospheric plasma activation of paper substrates. *Surface & Coatings Technology*, *202*(16), 3777–3786. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2008.01.035

Relyon Plasma. (2022, 1 Haziran). *Relyon Plasma Applications*. https://www.relyon-plasma.com

Rodriguez-Villanueva, C., Encinas, N., Abenojar, J., Martinez, M. A. (2013). Assessment of atmospheric plasma treatment cleaning effect on steel surfaces. *Surface & Coatings Technology*, *236*, 450–456. http://dx.doi.org/10.1016/j.surfcoat.2013.10.036

Saleema, N., Gallant, D. (2013). Atmospheric pressure plasma oxidation of AA6061-T6 aluminum alloy surface for strong and durable adhesive bonding applications. *Applied Surface Science*, *282*, 98–104. http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.05.064

Seyrek, Y. (2016). *Soğuk plazma tekniklerinin lifli kompozit performansına etkilerinin araştırılması* (Tez No. 455602) [Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Shenton, M. J., Stevens, G. C., Wright, N. P., Duan, X. J. (2002). Chemical-surface modification of polymers using atmospheric pressure nonequilibrium plasmas and comparisons with vacuum plasmas. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, *40*(1), 95–109. https://doi.org/10.1002/pola.10056

Shishoo, R. (2007). *Plasma technologies for textiles*. Woodhead Publishing Limited.

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

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 & Adhesives*, *29*(2), 136–143. https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2008.01.009

Sun, D., Stylios, G. K. (2006). Fabric surface properties affected by low temperature plasma treatment. *Journal of Materials Processing Technology*, *173*(2), 172–177. https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2005.11.022

Tang, S., Kwon, O. J., Lu, N., Choi, H. S. (2004). Surface free energy changes of stainless steel after one atmospheric pressure plasma treatment. *Korean Journal of Chemical Engineering*, *21*(6), 1218–1223. http://dx.doi.org/10.1007/BF02719497

Tang, S., Kwon, O. J., Lu, N., Choi, H. S. (2005). Surface characteristics of AISI 304L stainless steel after an atmospheric pressure plasma treatment. *Surface & Coatings Technology*, *195*(2-3), 298–306. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.07.071

Tang, S., Lu, N., Myung, S. W., Choi, H. S. (2006). Enhancement of adhesion strength between two AISI 316 L stainless steel plates through atmospheric pressure plasma treatment. *Surface & Coatings Technology*, *200*(18-19), 5220–5228. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2005.06.020

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 & Coatings Technology*, *258*, 359–367. http://dx.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 & 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. http://dx.doi.org/10.1177/0040517505054170

Vesel, A., Mozetic, M. (2012). Surface modification and ageing of PMMA polymer by oxygen plasma treatment. *Vacuum*, *86*(6), 634–637. https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2011.07.005

Williams, D. F., Kellar, E. J. C., Jesson, D. A., Watts, J. F. (2017). Surface analysis of 316 stainless steel treated with cold atmospheric plasma. *Applied Surface Science*, *403*, 240–247. http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.150

EKLER

EK 1 Plazma uygulanmamış M1 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri

EK 2 V1 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri

EK 3 V2 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri

EK 4 V3 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri

EK 5 Plazma uygulanmamış M1 Y2 numunesinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri

EK 6 V1 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y2 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri

EK 7 V2 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y2 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri

EK 8 V3 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y2 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri

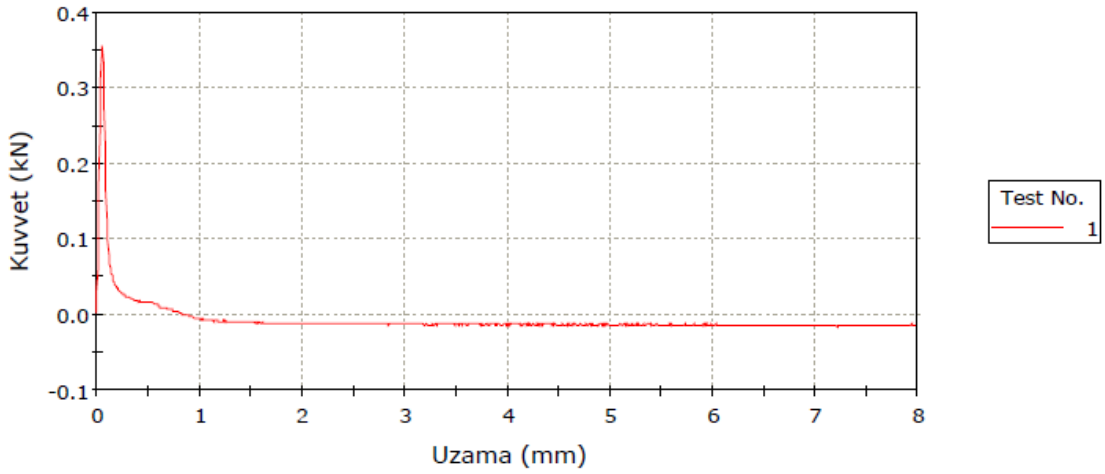
EK 9 Plazma uygulanmamış M2 Y1 numunesinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri

EK 10 V1 hızı ile plazma işlemi görmüş M2 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri

EK 11 V2 hızı ile plazma işlemi görmüş M2 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri

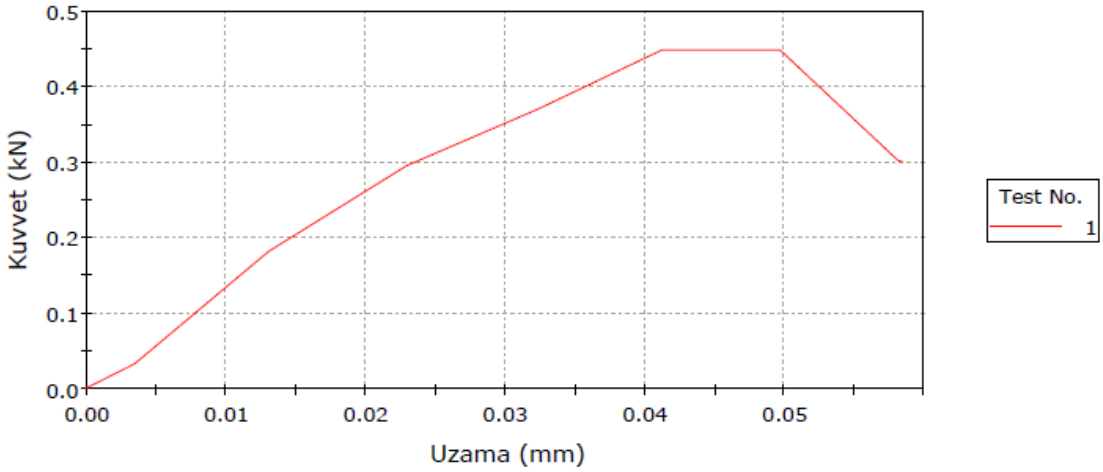
EK 12 V3 hızı ile plazma işlemi görmüş M2 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri

EK 1. Plazma uygulanmamış M1 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,356	0,034	7,967
Ortalama	0,356	0,034	7,967

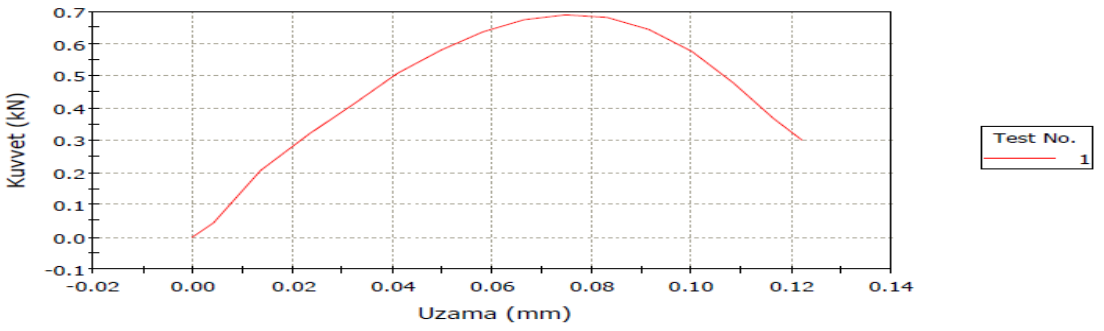
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	-0,015	0,208
Ortalama	-0,015	0,208



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,448	0,001	0,058
Ortalama	0,448	0,001	0,058

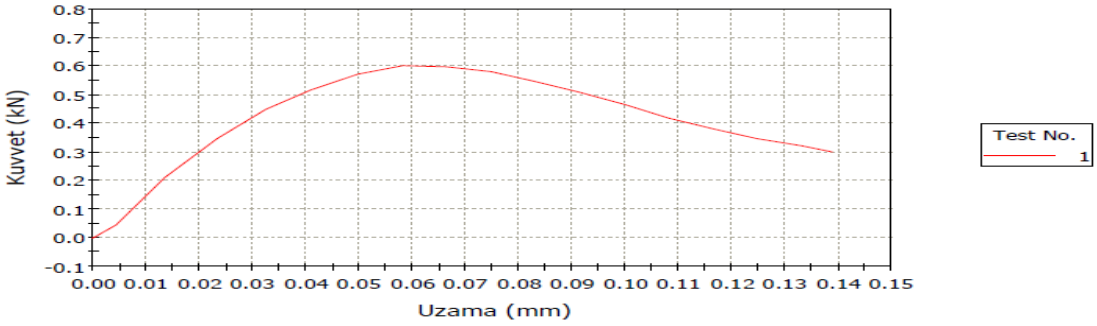
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,303	0,000
Ortalama	0,303	0,000

EK 2. V1 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri



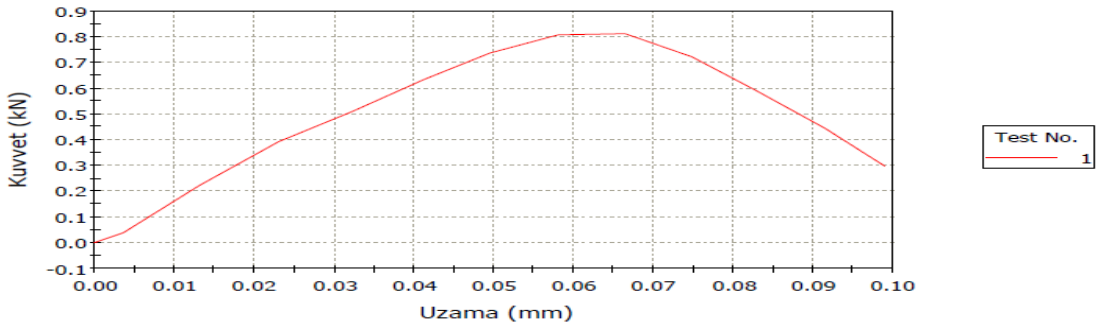
	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,691	-0,002	0,117
Ortalama	0,691	-0,002	0,117

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,367	-0,000
Ortalama	0,367	0,000



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,601	-0,001	0,133
Ortalama	0,601	-0,001	0,133

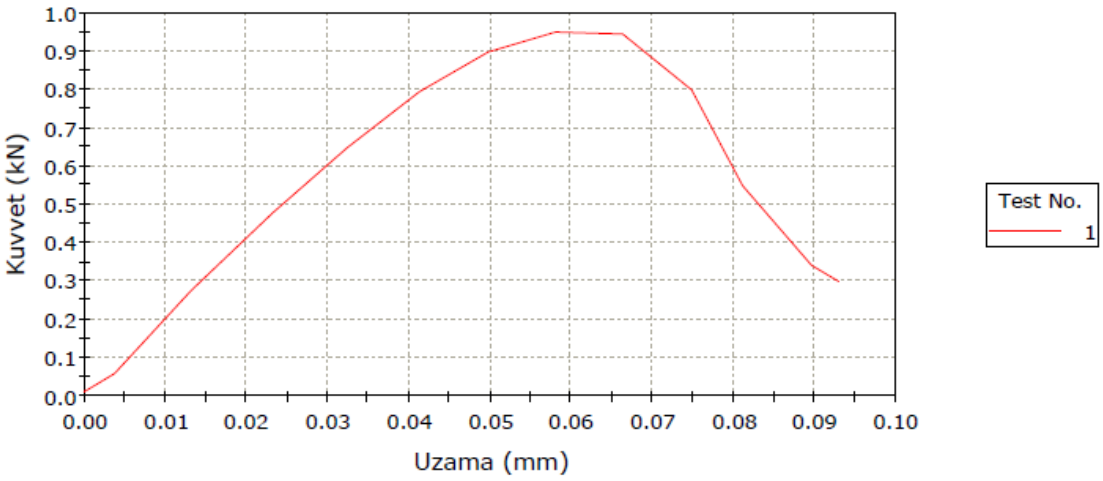
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,318	0,000
Ortalama	0,318	0,000



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,810	-0,002	0,092
Ortalama	0,810	-0,002	0,092

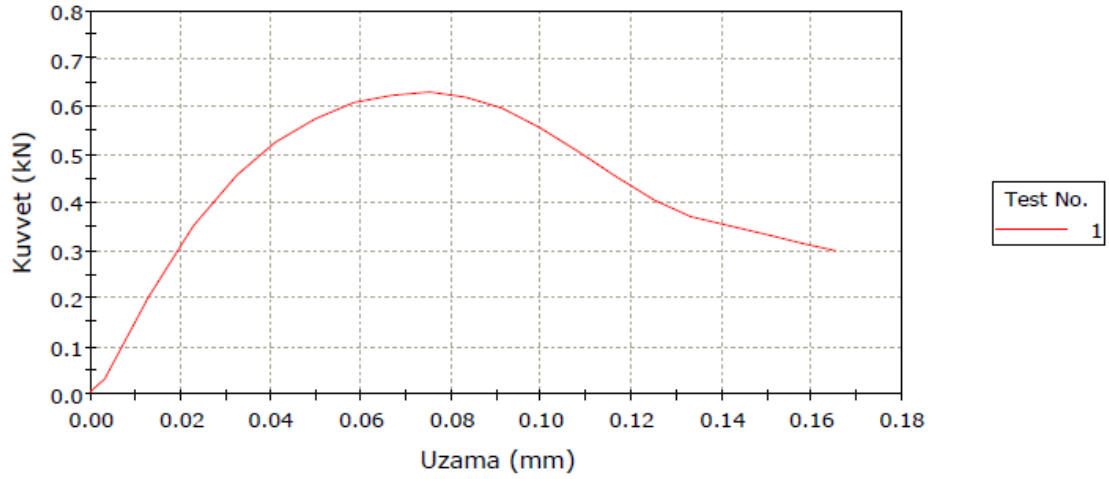
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,440	0,000
Ortalama	0,440	0,000

EK 3. V2 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,948	0,011	0,090
Ortalama	0,948	0,011	0,090

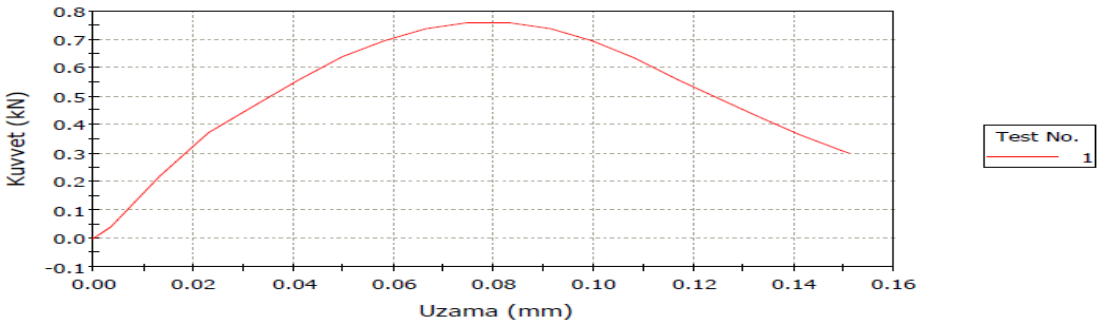
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,338	0,000
Ortalama	0,338	0,000



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,630	0,003	0,158
Ortalama	0,630	0,003	0,158

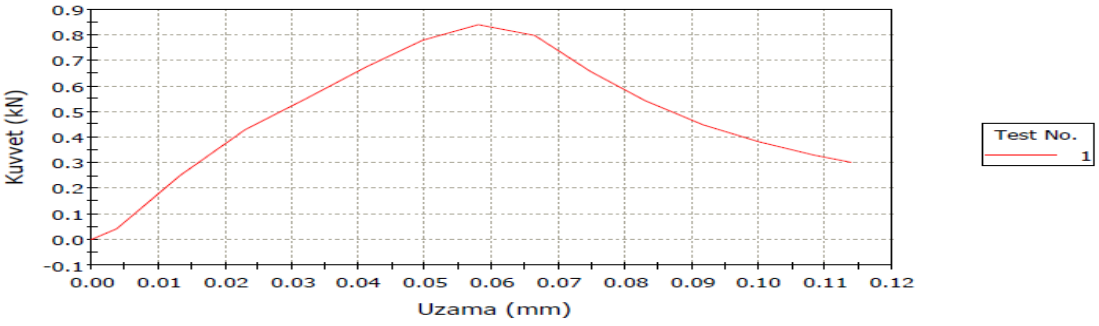
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,314	0,000
Ortalama	0,314	0,000

EK 4. V3 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri



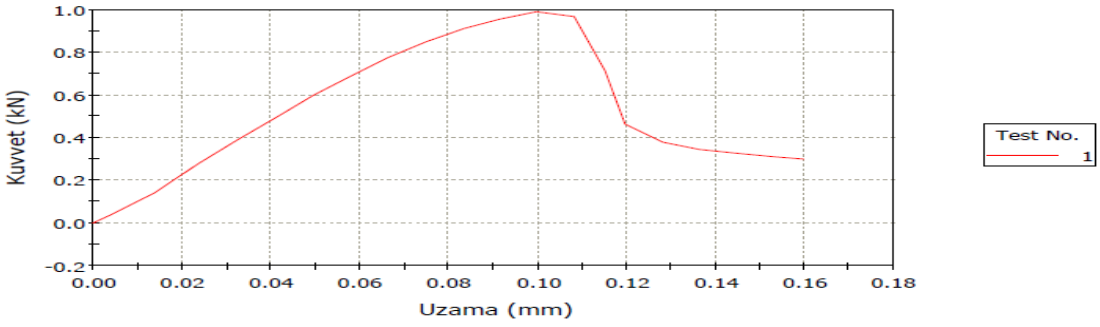
	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,758	-0,001	0,150
Ortalama	0,758	-0,001	0,150

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,309	0,000
Ortalama	0,309	0,000



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,840	-0,001	0,108
Ortalama	0,840	-0,001	0,108

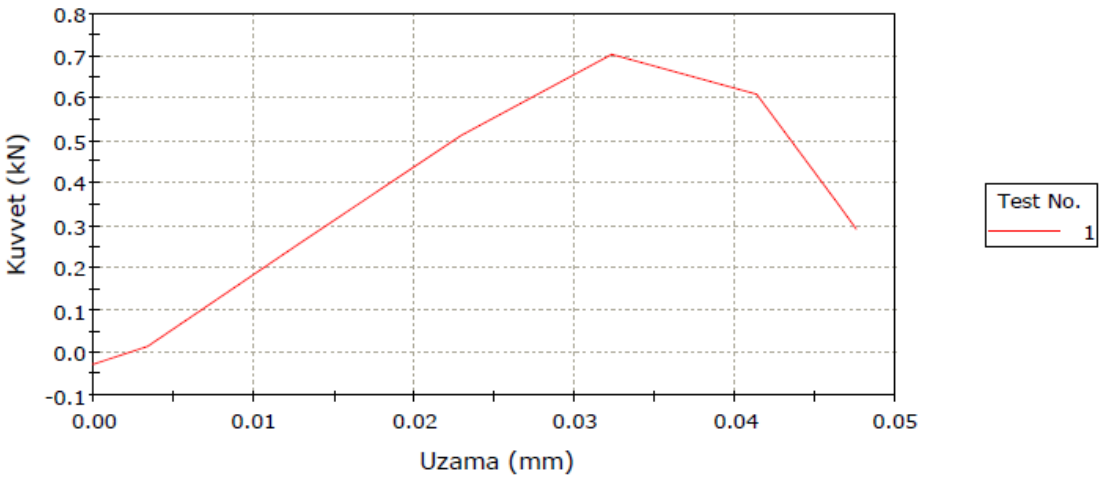
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,330	0,000
Ortalama	0,330	0,000



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,987	-0,002	0,153
Ortalama	0,987	-0,002	0,153

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,311	0,000
Ortalama	0,311	0,000

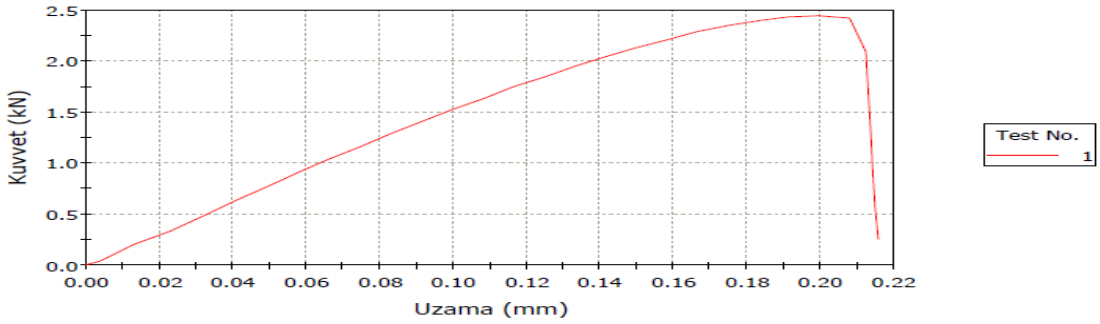
EK 5. Plazma uygulanmamış M1 Y2 numunesinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,701	-0,028	0,041
Ortalama	0,701	-0,028	0,041

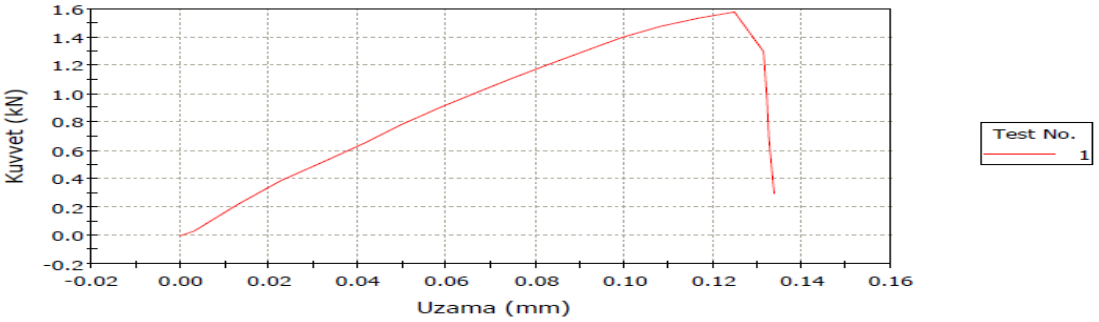
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,607	0,000
Ortalama	0,607	0,000

EK 6. V1 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y2 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri



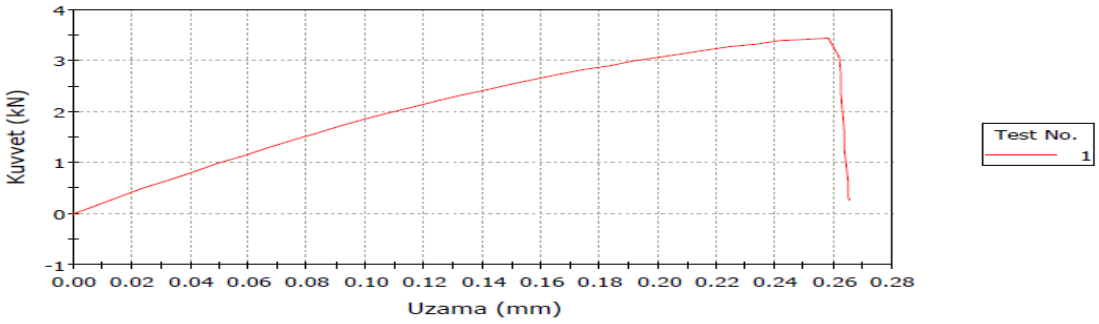
	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	2,447	0,904	0,208
Ortalama	2,447	0,904	0,208

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	2,414	0,058
Ortalama	2,414	0,058



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	1,578	-0,001	0,131
Ortalama	1,578	-0,001	0,131

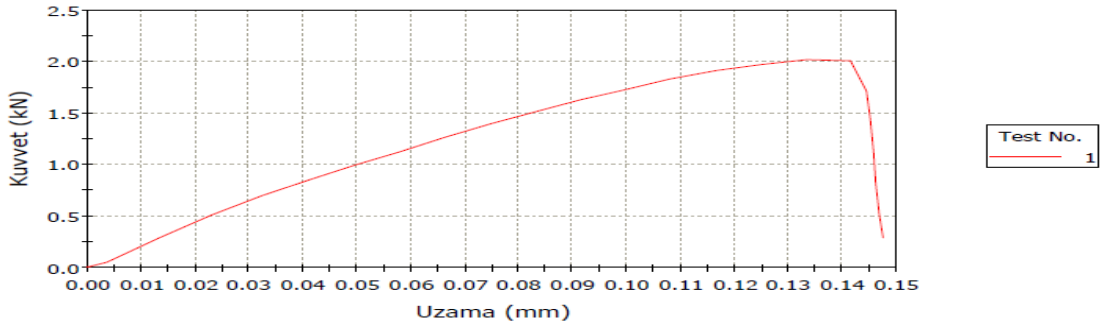
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	1,292	-0,000
Ortalama	1,292	0,000



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	3,441	2,320	0,258
Ortalama	3,441	2,320	0,258

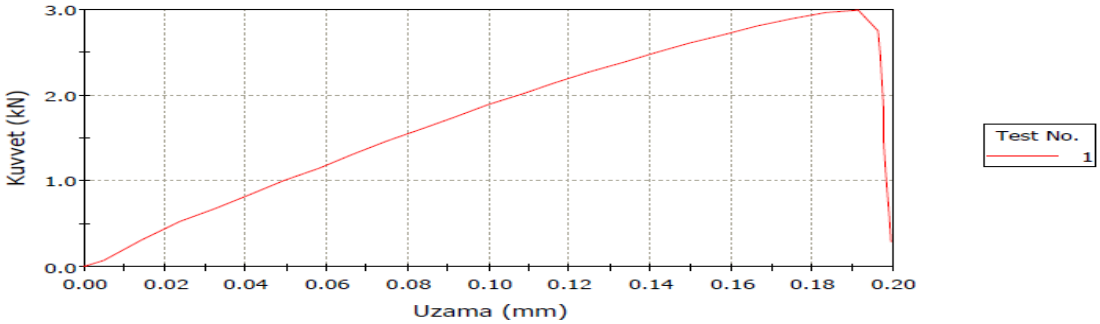
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	3,441	0,133
Ortalama	3,441	0,133

EK 7. V2 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y2 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri



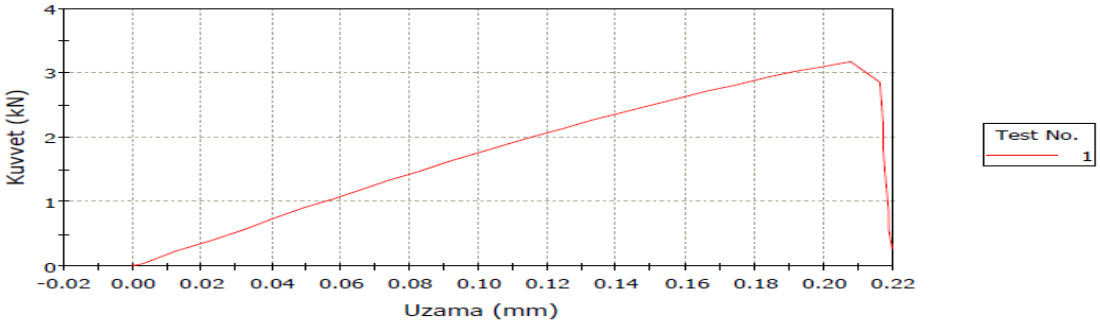
	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	2,014	0,003	0,142
Ortalama	2,014	0,003	0,142

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	2,002	0,000
Ortalama	2,002	0,000



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	2,993	1,153	0,192
Ortalama	2,993	1,153	0,192

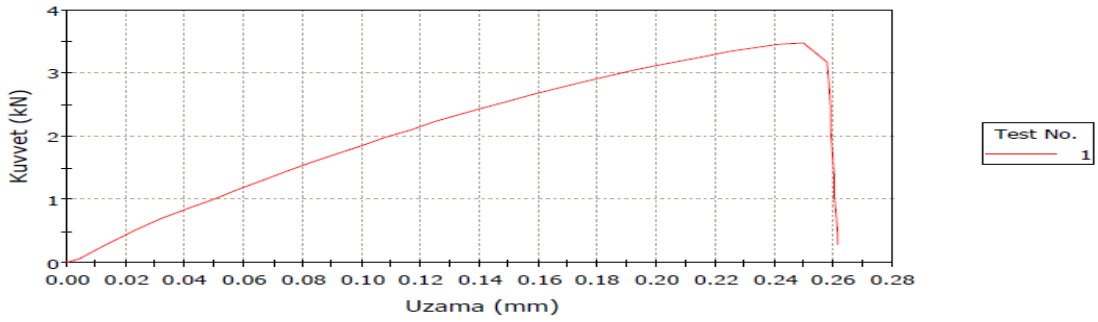
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	2,993	0,058
Ortalama	2,993	0,058



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	3,161	1,333	0,216
Ortalama	3,161	1,333	0,216

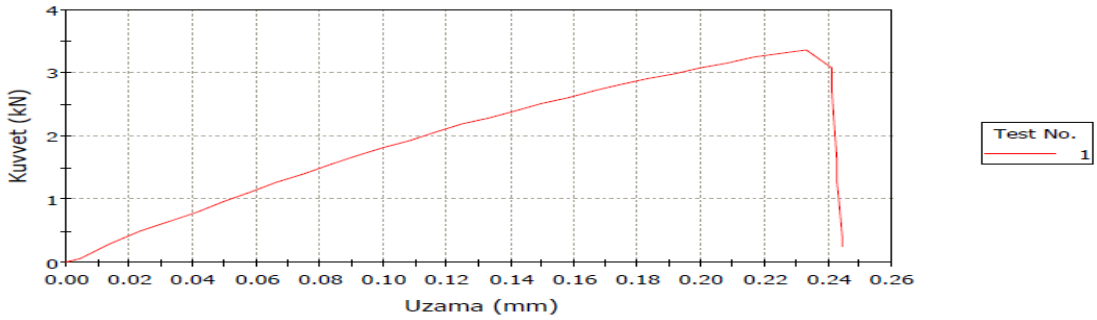
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	2,843	0,075
Ortalama	2,843	0,075

EK 8. V3 hızı ile plazma işlemi görmüş M1 Y2 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri



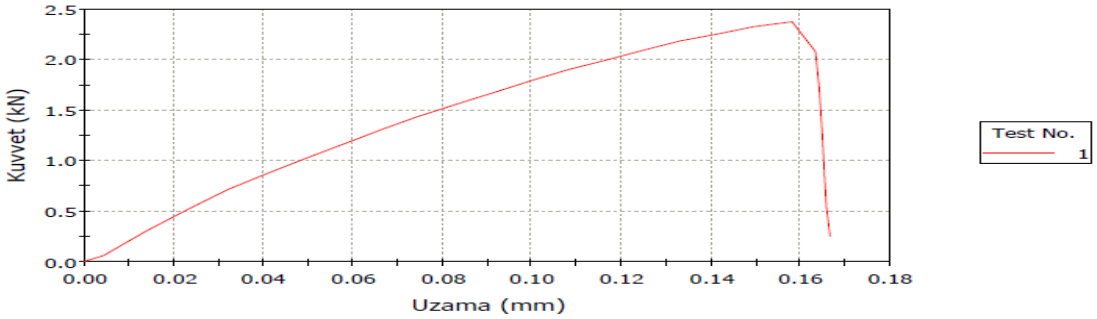
	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	3,481	2,225	0,258
Ortalama	3,481	2,225	0,258

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	3,176	0,125
Ortalama	3,176	0,125



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	3,366	1,934	0,241
Ortalama	3,366	1,934	0,241

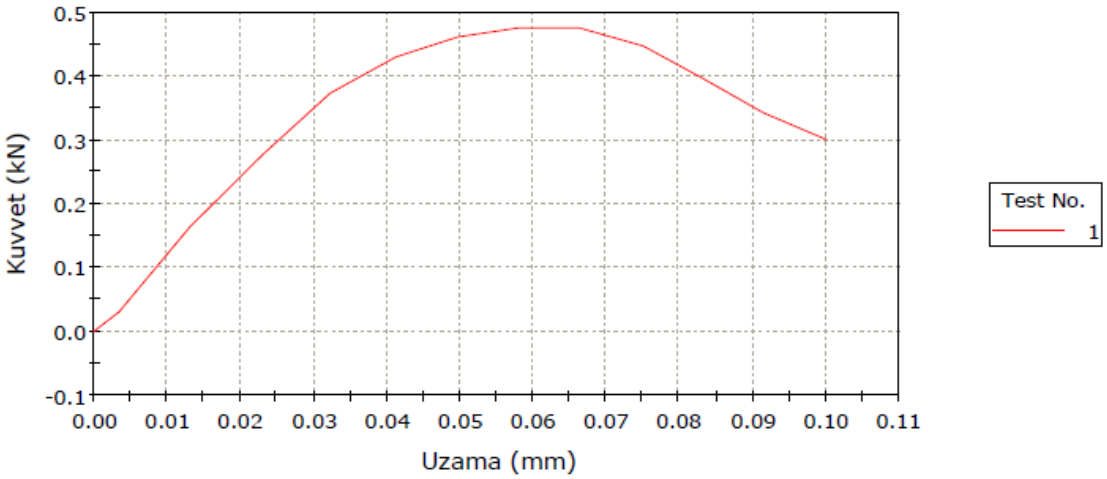
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	3,068	0,108
Ortalama	3,068	0,108



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	2,373	0,061	0,158
Ortalama	2,373	0,061	0,158

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	2,373	0,004
Ortalama	2,373	0,004

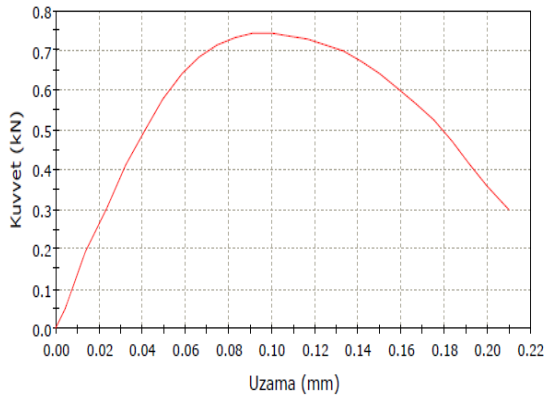
EK 9. Plazma uygulanmamış M2 Y1 numunesinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,475	-0,000	0,100
Ortalama	0,475	0,000	0,100

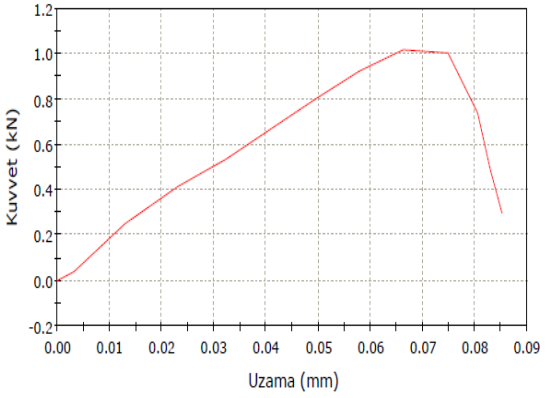
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,301	0,000
Ortalama	0,301	0,000

EK 10. V1 hızı ile plazma işlemi görmüş M2 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri



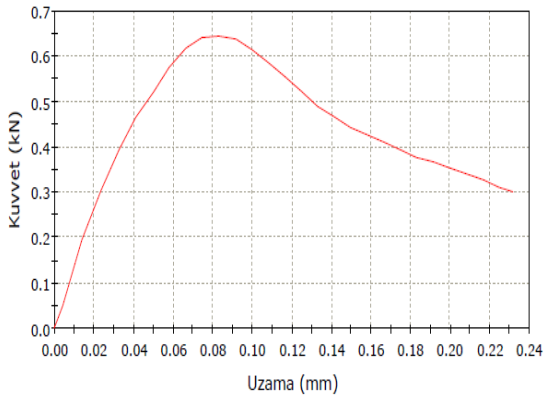
	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,742	0,047	0,208
Ortalama	0,742	0,047	0,208

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,310	0,004
Ortalama	0,310	0,004



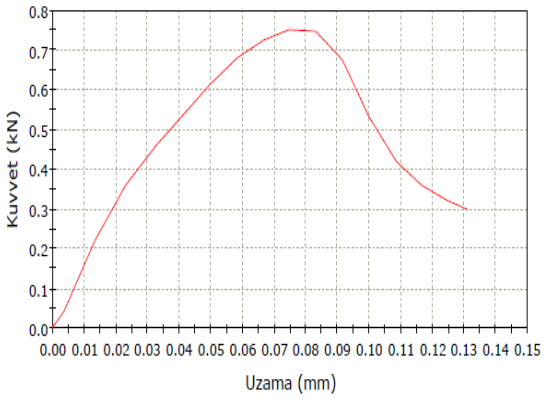
	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	1,014	-0,000	0,081
Ortalama	1,014	0,000	0,081

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,741	0,000
Ortalama	0,741	0,000



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,644	0,303	0,225
Ortalama	0,644	0,303	0,225

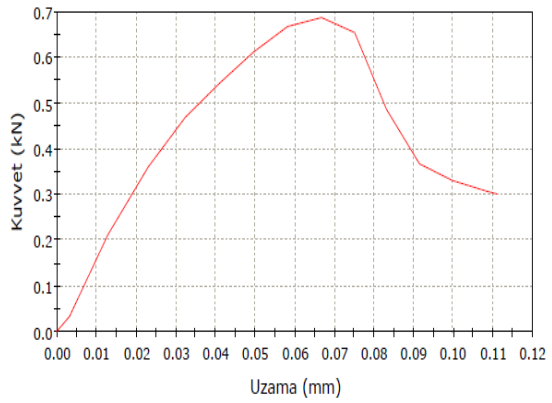
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,310	0,024
Ortalama	0,310	0,024



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,750	0,000	0,125
Ortalama	0,750	0,000	0,125

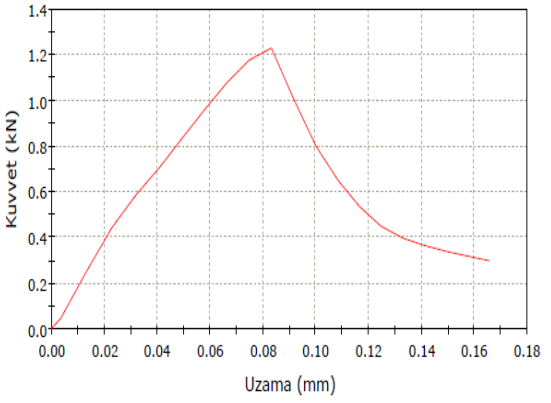
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,321	0,000
Ortalama	0,321	0,000

EK 11. V2 hızı ile plazma işlemi görmüş M2 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri



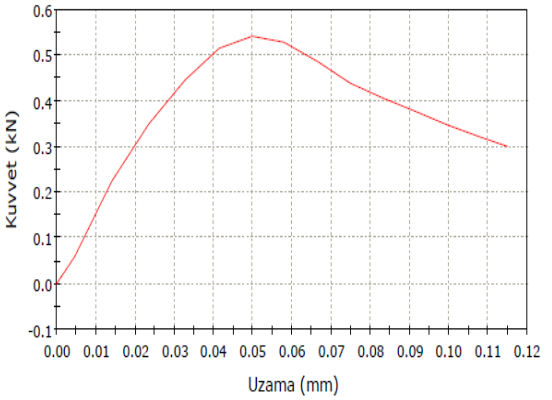
	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,688	0,001	0,108
Ortalama	0,688	0,001	0,108

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,307	0,000
Ortalama	0,307	0,000



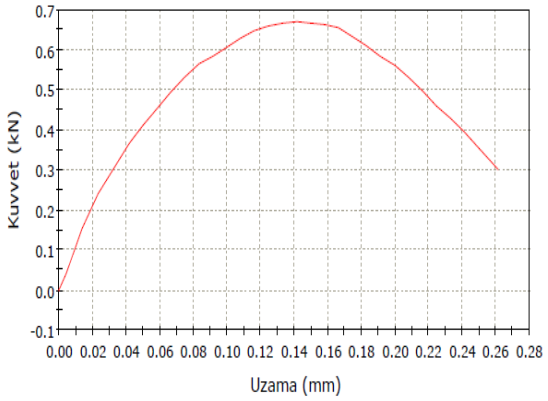
	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	1,226	0,001	0,158
Ortalama	1,226	0,001	0,158

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,317	0,000
Ortalama	0,317	0,000



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,540	-0,001	0,108
Ortalama	0,540	-0,001	0,108

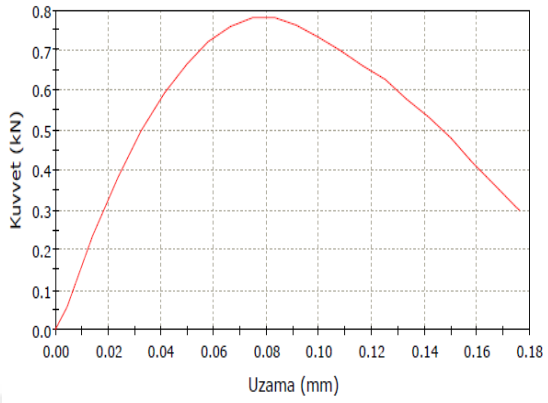
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,319	0,000
Ortalama	0,319	0,000



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,669	0,452	0,258
Ortalama	0,669	0,452	0,258

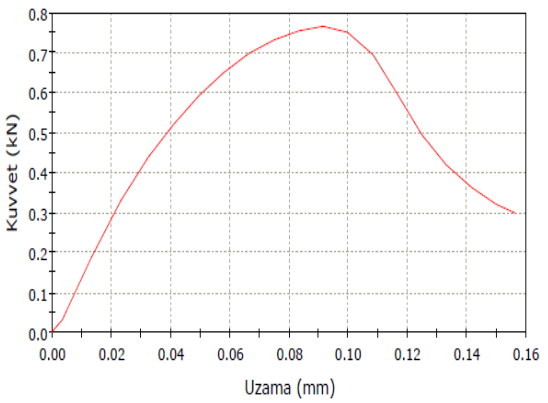
	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,313	0,058
Ortalama	0,313	0,058

EK 12. V3 hızı ile plazma işlemi görmüş M2 Y1 numunelerinin çekme testi sonrası kuvvet-uzama grafikleri



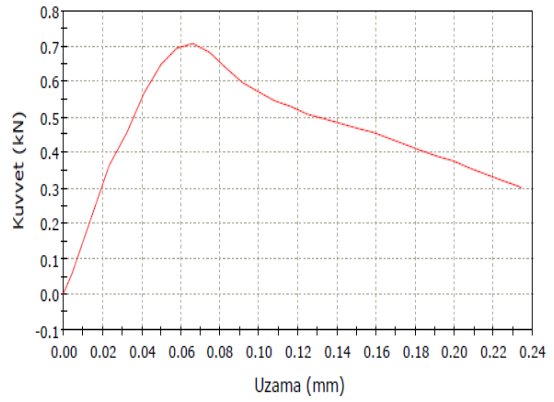
	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,782	0,001	0,175
Ortalama	0,782	0,001	0,175

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,306	0,000
Ortalama	0,306	0,000



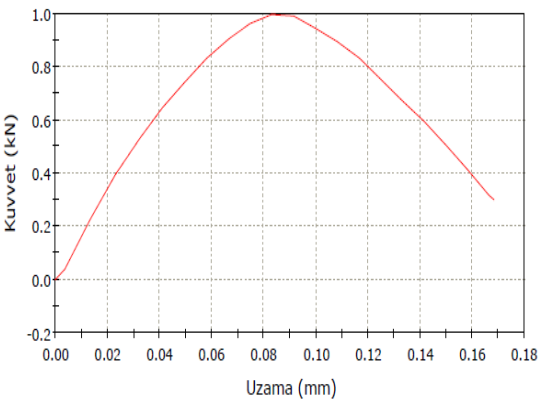
	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,765	0,001	0,150
Ortalama	0,765	0,001	0,150

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,322	0,000
Ortalama	0,322	0,000



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,707	0,457	0,233
Ortalama	0,707	0,457	0,233

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,303	0,033
Ortalama	0,303	0,033



	Maksimum Kuvvet (Tepe Noktasindan) (kN)	Maksimum Kuvvet (Cekme Dayanimindan) (kN)	Uzamade Break (Standard) (mm)
1	0,992	-0,001	0,167
Ortalama	0,992	-0,001	0,167

	Yükde Break (Standard) (kN)	Uzamade Çekme Dayanýmý (mm)
1	0,316	0,000
Ortalama	0,316	0,000