

Atmosferik basınçlı soğuk plazma uygulamasının farklı malzemelerin yapışma dayanımına etkisi

İrem SÖNMEZ^{1*}, Kadir AYAS¹, Murat DAL¹, Kadir ÇAVDAR²

¹Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği ABD., Bursa.

²Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa.

Geliş Tarihi (Received Date): 31.07.2022

Kabul Tarihi (Accepted Date): 05.12.2022

Öz

ABSP (Atmosferik Basınçlı Soğuk Plazma) işlemi, polimer ve metal malzemelerin yapıştırma uygulaması öncesinde yüzey özelliklerini geliştirerek istenilen düzeye getirebilmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. ABSP, ekonomik ve çevre dostu bir yöntem olup, bu yöntemle malzeme yüzeyleri etkili bir şekilde değiştirilir. Bu çalışmada, polipropilen (PP) ve galvaniz kaplı çelik (H300LAD) malzeme yüzeylerinin modifikasyonu için soğuk plazma yöntemi kullanılmıştır. Uygulama mesafesi ve tarama (paso) sayısı parametrelerinin belirtilen malzemelerin yapışma bağı dayanımları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. ABSP uygulama sonrası, malzemelerin yapışma davranışını değerlendirebilmek amacıyla çekme testi kullanılmıştır. ABSP'nin yapışma dayanımı üzerindeki etkisi, temas açısı ölçümleriyle de ilişkilendirilmiştir. ABSP uygulaması sonrası, malzemelerin yapışma mukavemetinde belirgin oranda artış gözlenmiş, malzemeye daha yakın uygulama yapıldığında daha yüksek yapışma mukavemeti değerlerine ulaşılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Atmosferik basınç plazma, yapışma bağı, mukavemet, yüzey işlemi.

*İrem SÖNMEZ, sonmezirem9@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6027-4826>

Kadir AYAS, kadirayas@uludag.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0002-8538-5792>

Murat DAL, murat.dal@marturfompak.com, <https://orcid.org/0000-0002-5803-3097>

Kadir ÇAVDAR, cavdar@uludag.edu.tr, <https://orcid.org/0000-0001-9126-0315>

The effect of atmospheric pressure cold plasma application on adhesion strength of different materials

Abstract

ABSP (Atmospheric Pressure Cold Plasma) process is widely used in order to improve the surface properties of polymers and metals before the bonding application and bring them to the desired level. ABSP is an economical and environmentally friendly method and the material surfaces are changed effectively. In this study, cold plasma method was used for the modification of polypropylene (PP) and galvanized steel (H300LAD) material surfaces. The effect of process parameters such as application distance and number of passes on the adhesion bond strength of the specified materials was investigated. After ABSP application, tensile test was used to evaluate the adhesion behavior of the materials. The effect of ABSP on adhesion strength was also correlated with contact angle measurements. After ABSP application, a significant increase was observed in the adhesion strength of the materials, and it was concluded that higher adhesion strength values would be achieved when the application was made closer to the material surfaces.

Keywords: Atmospheric pressure plasma, adhesion bond, strength, surface treatment.

1. Giriş

Atmosferik basınç plazma teknolojisi, malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirmek için son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Atmosferik basınçta termal ve termal olmayan plazmalar üretilebilmektedir. Plazma bir gaza elektrik akımı verilerek oluşturulur ve elektronlar, iyonlar, atomlar ve reaktif türler içerir [1-2]. Soğuk plazma olarak da adlandırılan termal olmayan plazmalar, düşük gaz sıcaklıklarında üretilir, plazma içerisindeki iyon sıcaklığı oda sıcaklığında iken, elektron sıcaklığı (>10.000 K) çok yüksektir [1, 3, 4, 5]. Bu sayede, malzeme yüzeyleri zarar görmeden, etkili bir şekilde değiştirilebilmektedir.

Etkili düzeyde yapışma bağlantısının elde edilebilmesi için malzeme yüzeylerine, yapışma öncesinde çeşitli yüzey işlemleri uygulanmaktadır. Polimerler ve metal malzemelerin yüzeyleri, boya ve kaplama gibi proseslerin öncesinde yapışma bağlantısını artırmak amacıyla ABSP ile işlenmektedir. Atmosferik basınçlı plazma işlemi, malzeme yüzeyinde fiziksel ve kimyasal modifikasyonlar meydana getirir, yüzey enerjisini artırarak ıslanabilirlik özelliklerini geliştirir. Yapıştırıcının yüzeyi yeterince ıslatması durumunda, yapıştırıcı ve yüzey arasındaki temas artacak ve bu da yapıştırılan malzeme ile yapıştırıcı arasındaki bağ oluşumunu artıracaktır [6-7]. Literatürde atmosferik plazma ile gerçekleştirilen birçok çalışmada uygulamanın, yapışma dayanımını artırdığını göstermiştir.

Encinas vd. [8] PP malzeme yüzeyi için, mekanik aşındırma ve atmosferik basınçlı plazma torcunu kullanmışlardır. Yapışma testleri sonucunda, atmosferik basınçlı plazma ile yapışma dayanımında %500'lük bir artış elde edilmiş ve yapıştırıcının yüzeye bağlanma davranışında, kimyasal bağlanmanın, fiziksel bağlanmaya göre daha büyük etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Ku vd. [9] PP malzeme ile alüminyum yapışma bağlantısını geliştirebilmek amacıyla PP malzeme yüzeyine atmosferik basınçlı plazma işlemi uygulamışlar, uygulanan plazma işlem sayısına bağlı olarak, temas açısı ve yapışma dayanımını incelemişlerdir. İşlem sayısı artıkça, temas açısının azaldığını, belirli bir işlem sayısından sonra ise temas açısının sabit kaldığını bildirmişlerdir. Atmosferik basınçlı plazma uygulaması sonrasında yapışma mukavemetinde artış sağlanmış ve bu artış, malzeme yüzeyinde meydana gelen fiziksel değişim ile yüzeyde oluşan polar gruplara bağlanmıştır.

Mandolino vd. [10] atmosferik basınçlı soğuk plazma çalışma parametreleri ile Polietilen (PE) ve PP yüzeylerinin yapışma özellikleri arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. ABSP uygulamasının, kısa işlem sürelerinde bile, temas açısında önemli ölçüde azalmaya neden olduğunu, artan uygulama süresinin, yapışma özelliklerinde daha büyük değişime sebep olmadığını bildirmişlerdir. Çalışma sonucunda, optimum uygulama süresini 5s olduğunu ve artan işlem süresiyle, yapışma bağlantısının mekanik özelliklerinde bozulmalar meydana geldiğini ortaya koymuşlardır.

Noeske vd. [11] atmosferik basınçlı plazma işleminin Polietilen tereftalat (PET), Poliamid 6 (PA6), poliviniliden florür (PVDF), Yüksek yoğunluklu Polietilen (HD-PE) ve PP malzeme yüzey özelliklerine ve yapışma dayanımına olan etkisini, farklı proses parametrelerini de göz önünde bulundurarak incelemişlerdir. Uygulama voltajı, gaz akış hızı, atmosferik plazma jeti ile malzeme arasındaki mesafe, maruz kalma süresi gibi farklı proses parametrelerinin yapışma mukavemetiyle olan ilişkisi incelendiğinde uygulama mesafesi ve süresinin, yüzey üzerinde, plazma deşarj parametrelerine göre daha fazla etkiye sahip olduğu belirlenmiştir. PET malzeme yüzeyi üzerinde 20 mm, 10 mm, 7 mm ve 3 mm farklı uygulama mesafeleri için uygulama mesafesinin azalmasının, yüzey enerjisinde meydana gelen artış ile yapışma özelliklerini geliştirdiği belirlenmiştir. Yüzey enerjisi ve yapışma dayanımında en yüksek değerler, uygulama mesafesi 3 mm olduğu durumda elde edilmiştir. Yapışma bağlantısında meydana gelen bu iyileşme, atmosferik plazma uygulamasının fiziksel ve kimyasal modifikasyonlarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Kostov vd. [12] farklı proses parametrelerinin, PP, PE ve PET polimer yüzeylere etkisini argon plazma jeti ile değerlendirmişlerdir. Daha kısa işlem mesafelerinde, atmosferik plazmanın yüzey üzerinde daha fazla aktif tür oluşmasına katkı sağlayarak ıslanabilirlik ve yapışma özelliklerini geliştirdiğini ancak artan işlem mesafesi ile üretilen fonksiyonel grupların, polimer malzeme yüzeyine ulaşamayarak atmosferik plazmanın yüzey üzerindeki etkinliğinin azalmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca işlem süresinin optimum bir değerden sonra, temas açısında daha fazla bir azalmaya neden olmadığını ve bunun polimer yüzeyin atmosferik plazma ile etkileşiminde doyumluğa ulaşmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Maroofi vd. [13] 5052 alüminyum alaşımının yüzeyine atmosferik basınçlı soğuk plazma uygulayarak, işlem hızı ve uygulama mesafesinin yüzey ve yapışma özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Uygulama mesafesinin 4 mm değerinden 10mm değerine artması durumunda, atmosferik plazma etkisinin %32 azaldığını kaydetmişlerdir. Bu durumu, plazma yoğunluğunun azalmasına atfetmişlerdir. Aynı zamanda düşük işlem hızlarında, yüzeyin atmosferik plazma etkisine daha fazla maruz kalması nedeniyle ıslanabilirlikte daha iyi sonuçlar elde edildiğini belirtmişlerdir.

Tang vd. [14] paslanmaz çelik yüzeyinde atmosferik basınçlı Argon plazmasının, işlem süresi, işlem gücü ve yaşlandırma gibi farklı parametre değişimlerinin etkisini incelemişlerdir. İşlem süresindeki artışın, optimum bir değerden sonra, temas açısı değerlerinde daha fazla düşüşe neden olmadığını, bunun da atmosferik plazma aktivasyonu ile yüzeyde meydana gelen oksit, nitrür gibi aktif türlerin, artan işlem sürelerinde, aktif olmayan türlere geçmesinden kaynaklandığını bildirmişlerdir. Aynı zamanda, maruz kalma süresi artıkça, atmosferik plazma tarafından yüzeyde üretilen aktif olmayan tür sayısının artarak yüzey serbest enerjisinin düşmesine neden olduğunu belirtmişlerdir.

Bu çalışmada polipropilen ve galvaniz kaplı çelik yüzeyin modifikasyonu için soğuk plazma yöntemi kullanılmıştır. Atmosferik basınçlı soğuk plazma (ABSP) uygulanan ve uygulanmayan numune yüzeylerin ıslanabilirliği temas açısı ölçümüyle gerçekleştirilmiştir. Yapışma bağlantısıyla birleştirilen parçaların mekanik dayanımı, plazma uygulanan ve uygulanmayan parçalar için çekme testiyle test edilerek, plazmanın yapışma özelliklerindeki iyileştirme etkisi yapışma dayanımı sonuçlarıyla ilişkilendirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, atmosferik plazma jetiyle işlenen yüzeyin, yapışma mukavemetindeki iyileştirmeye olan etkisinin değerlendirilmesidir. Ek olarak farklı proses parametrelerinin, işlem üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

2. Deneysel çalışmalar

Atmosferik plazma uygulamalarında, giriş gerilimi 15 V DC olan, maksimum 30W gücüne ulaşabilen ve bu güçte 2A'lık akım değerine sahip Piezobrush®PZ2 soğuk plazma cihazı kullanılmıştır. Piezobrush®PZ2 modeli, Relyon Plasma GmbH tarafından üretilmiştir. Çalışma gazı olarak, ortam havası kullanılmıştır. Atmosferik basınçlı soğuk plazma işlemi, Tablo 1' de gösterildiği şekilde, plazma nozulu ile malzeme arasındaki 3 farklı mesafe ve 2 farklı tarama sayısı için, sabit 1cm /s hız değerinde gerçekleştirilmiştir. Her parametre grubu için 3 deney numunesi kullanılmıştır.

Tablo1. Atmosferik plazma işleminde kullanılan proses parametreleri ve numunelere uygulanan testler

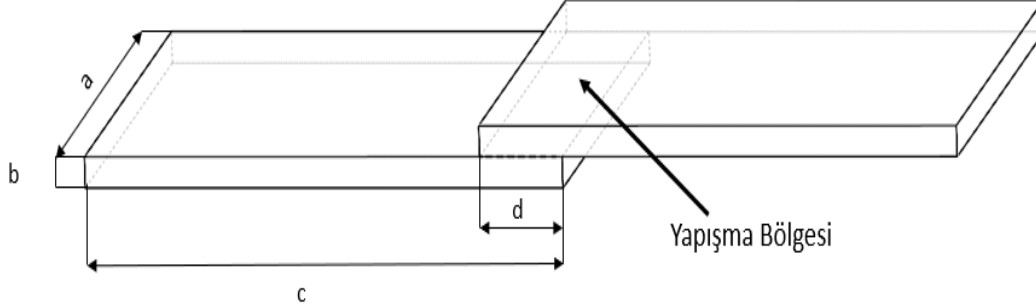
Malzeme	Plazma Proses Parametreleri		Uygulanan Test	
	Uygulama Mesafesi (mm)	Tarama Sayısı	Temas Açısı	Çekme Testi
PP	2	3		X
	2	5		X
	2	3	X	
	5	3		X
	5	5		X
	8	3		X
	8	5		X
Galvaniz kaplı çelik	2	3	X	X
	2	5		X
	5	3		X
	5	5		X

Bu çalışmada, PP ve H300LAD deney numuneleri kullanılmıştır. PP numune boyutları 58x58x3 mm ve galvaniz kaplı çelik numune boyutları 70x25x1 mm'dir.

ABSP uygulamasının ardından yüzeylerin ıslanabilirlik derecelerini belirlemek üzere, su damlacığı yöntemi kullanılmıştır. PP ve galvaniz kaplı çelik numunelerinin yüzeyinde damlacık oluşturulup fotoğraflanmış, ardından ImageJ yazılımı kullanılarak su temas açıları hesaplanmıştır. ABSP sonrası malzeme yüzeylerinin ıslanabilirlik etkisinin karşılaştırılabilmesi amacıyla ABSP uygulanmayan numuneler için de su temas açısı ölçümü gerçekleştirilmiştir.

ABSP uygulamasından sonra PP ve galvanizli çelik için sırasıyla 58 x 10 mm² ve 25 x 10 mm²lik alanlara yapıştırıcı uygulanmıştır. Yapıştırma işleminde iki bileşenli poliüretan bir yapıştırıcı kullanılmıştır (Marocol 18576, karışım oranı 100:32). Yapıştırıcı, teknik özelliklerinde belirtildiği gibi, 15°C ile 25°C arasındaki sıcaklıkta uygulanmıştır. Yapıştırıcı yüzeye uygulandıktan sonra 48 saat boyunca kürlenmeye bırakılmıştır. Parçalar kürlenme süresi boyunca basınç altında bekletilmiştir. Basınç, bindirme bağlantısının her iki yanından uygulanan klipsler ile sağlanmıştır.

Çekme testleri oda sıcaklığında, 5 mm/dk çekme hızıyla Zwick Roell Z020 çekme cihazıyla gerçekleştirilmiştir. Çekme testinde kullanılan numunelerin boyutları ASTM D897 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Çekme testleri sonucunda, yapışma alanlarındaki oluşabilecek sapmalar dikkate alınmış, her bir numune için yapışma alanı göz önünde bulundurularak mukavemet değerleri elde edilmiştir. Çekme testi sonucunda numunelerde oluşan hata türleri de görsel olarak incelenmiştir. Numunelerin yapışma bağlantılarının şematik gösterimi Şekil 1’de, numunelerin boyutları Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Deney numunelerinin yapışma bağlantısının şematik gösterimi

Tablo 2. Numunelerin boyutlarına ait ölçüler

Numune	a	b	c	d
PP	58 mm	3 mm	58 mm	10 mm
Galvaniz kaplı çelik	25 mm	1 mm	70 mm	10 mm

3. Sonuçlar ve tartışma

PP numuneleri farklı mesafe (2mm, 5mm ve 8mm) ve tarama sayılarında (6 ve 10) ABSP ile yüzey işlemine tabi tutulmuştur. Galvanizli çelik numuneler ise 2 farklı mesafe (2mm ve 5mm) ve tarama sayılarında (6 ve 10) plazma işlenmiştir. Numune yüzeylerinin ıslanabilirlik özellikleri öncelikle temas açısı ölçümleri ile değerlendirilmiş, işlenmemiş numuneler ile karşılaştırılmıştır.

Galvaniz kaplı çelik için, plazma nozulu ile alt tabaka arası mesafenin 5 mm'den fazla olduğu durumlarda, plazma ile yüzey etkileşiminin yok denecek kadar az olması sebebiyle, 5mm üzeri mesafeler proses parametresi olarak değerlendirilmemiştir.

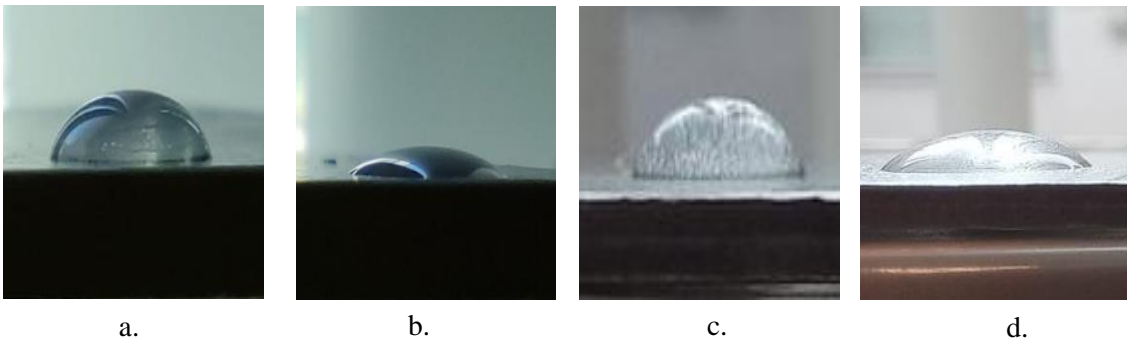
3.1. Temas açısı ve ıslanabilirlik

Yüzey ıslanabilirliğinin değişiminin değerlendirilmesi için; PP malzeme yüzeyine 2 mm mesafeden plazma uygulanmış ardından su damlacığı yöntemi ile temas açısı ölçümü gerçekleştirilmiştir. ABSP uygulaması öncesi ve sonrası numunelerin su temas açıları ölçüm sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Ölçüm yapılan su damlacık formları Şekil 2'de ve ölçüm programına ait örnek görüntü Şekil 3'te verilmiştir.

PP malzeme yüzeyinin plazma uygulaması öncesi temas açısı 71° olarak ölçülmüş ve ABSP uygulaması sonrası bu değer 25.1° olarak kaydedilmiştir. ABSP ile işlenmemiş galvaniz kaplı çelik malzemesinin su temas açısı 70.8° olarak ölçülmüş ve plazma işlemi sonrası temas açısı 40.7° olarak elde edilmiştir.

Tablo 3. PP ve Galvaniz kaplı çelik için 2 mm mesafeden 6 tarama sayısında ABSP uygulama öncesi ve sonrası su temas açıları değerleri

Malzeme	Temas Açısı ($^\circ$)	
	ABSP Öncesi	ABSP Sonrası
PP	71	25.1
Galvaniz kaplı çelik	70.8	40.7



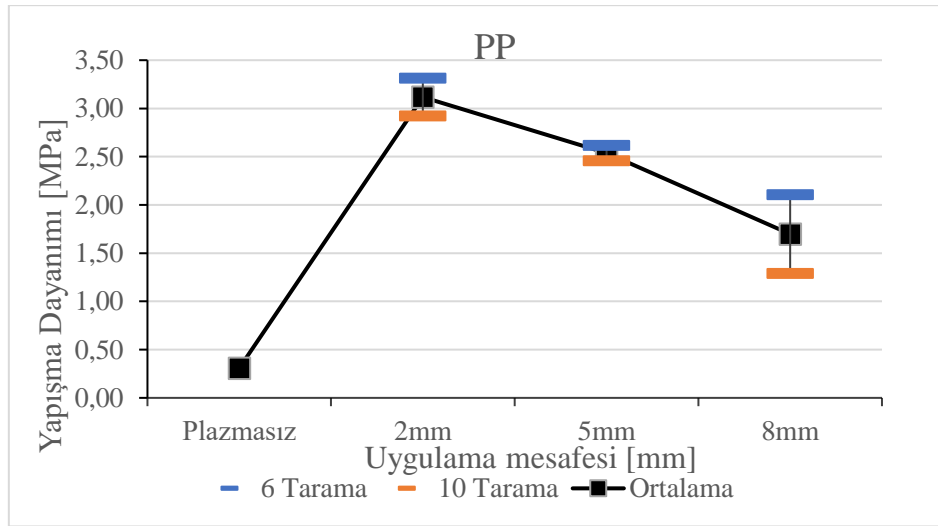
Şekil 2. ABSP uygulaması öncesi ve sonrası malzemelerin su damlası formları
a. ABSP uygulaması öncesi PP su damlası formu, b. ABSP uygulaması sonrası PP su damlası formu, c. ABSP uygulaması öncesi galvaniz kaplı çelik su damlası formu, d. ABSP uygulaması sonrası galvaniz kaplı çelik su damlası formu



Şekil 3. ABSP uygulaması öncesi PP malzeme üzerindeki su temas açısının ImageJ yazılımı ile ölçümü

3.2. Yapışma

ABSP uygulanan yüzeylerin yapışma dayanımındaki değişimini anlamak amacıyla numunelere uygulanan çekme testi sonuçları Şekil 4'te görülmektedir.



Şekil 4. PP malzeme için farklı ABSP işlem mesafelerinin ve paso sayılarının yapışma dayanımına olan etkisi

PP malzemenin yapışma dayanımı, ABSP uygulaması öncesi 0.31 MPa iken, ABSP uygulaması sonrası maksimum 3.31 MPa olarak elde edilmiştir. Bu durum, ABSP'nin yapışma üzerindeki güçlü etkisini ortaya koymaktadır. Sabit tarama sayısında atmosferik plazma jetiyle, numune arasındaki mesafenin artması, yapışma dayanımında azalmaya sebep olmuştur. Yapışma ve ıslanabilirlik birbiriyle ilişkili iki etmendir. Yüzey ıslanabilirliğinde meydana gelen artış, yapışma özelliklerinde iyileştirme elde edilmesini sağlar. Farklı mesafeler ile plazma aktivasyonu yapılan çalışmada, daha kısa mesafelerde, daha düşük temas açıları ile daha yüksek yüzey ıslanabilirliğinin elde edildiği ortaya konmuştur.

Daha kısa uygulama mesafelerinde, yüzeyde plazma etkinliği artar ve bu da yüzeyin hidrofilleşmesine neden olur. Yüzeyin ıslanabilirlik özelliğinin gelişmesi, yapışma bağının dayanımını artırmaktadır.

Atmosferik plazma kaynağı ile numune arasındaki uygulama mesafesi arttıkça, plazma ile oluşturulan aktif türler, malzeme yüzeyine ulaşmadan tekrar birleşirler ve böylece yüzey üzerindeki aktivasyon etkisi azalır [15-17]. Tarama sayısının, yapışma dayanımına olan etkisini belirlemek amacıyla iki farklı tarama sayısı için ABSP uygulaması gerçekleştirilmiştir. Şekil 4'te, PP malzemede aynı mesafe için tarama sayısının artmasının, yapışma dayanımında düşüşe sebep olduğunu görülmektedir. Bu durum, atmosferik plazma etkisiyle, polimer yüzeyinin belirli bir süre sonunda doyumluğa ulaşarak, atmosferik plazma etkisinin, yüzey üzerinde daha fazla modifikasyon etkisine neden olmamasına bağlanmaktadır.

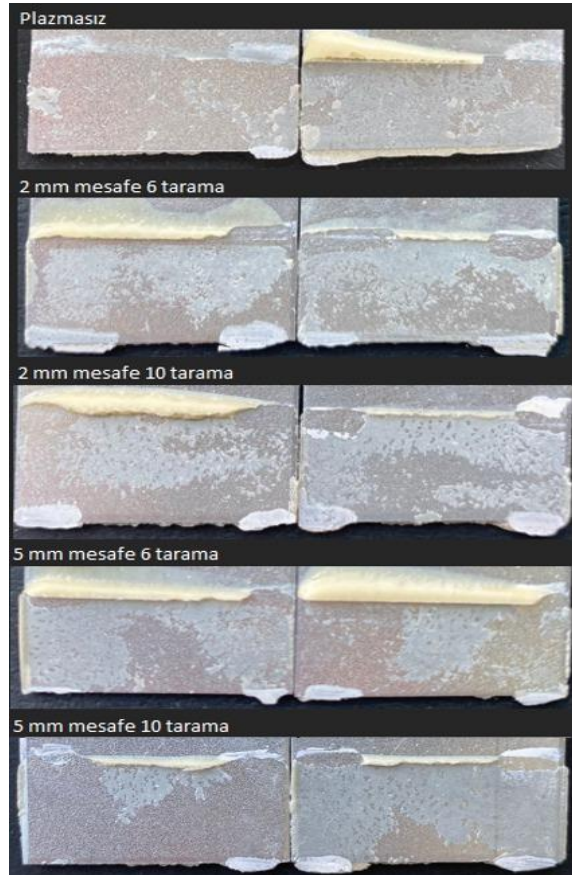
Ayrıca yapışma dayanımının, artan tarama sayısıyla azalması, plazma yoğunluğunun artarak malzeme yüzeyini fazla aşındırması veya üretilen ısı nedeniyle polimer yüzeyin zarar görmesiyle ilişkilendirilebilir [10].

Çekme testleri ile bağın kopartılmasının ardından PP ve galvaniz kaplı çelik numune yüzeyleri Şekil 5 ve Şekil 6 'da verilmiştir. PP ve galvaniz kaplı çelik için deney parametrelerine göre oluşan, kopma bölgesinde görülen hata türleri sırasıyla Tablo 4 ve Tablo 5'te verilmiştir. Yapışma bağının kopması sonucu adezyon veya kohezyon hatası meydana gelir. Yapıştırıcı ile yapıştırılan yüzeylerden biri arasında yapışma bağı tamamen ayrılırsa adezyon hatası olarak adlandırılır. Kohezyon hatası ise, yapıştırıcının her iki yüzeyde de kalması olarak tanımlanabilir. Ayrıca yapıştırma bağının çok kuvvetli olduğu durumlarda, hata yapıştırılan malzemede gerçekleşen kopma sebebiyle de meydana gelebilir [2]. Kohezyon hatası, adezyon hatasına göre tercih sebebidir çünkü hata yapıştırılan yüzeyler ile yapıştırıcı arasında değil, yapıştırıcının kendi içinde meydana gelmiştir. Şekil 5'te görüldüğü gibi, PP numunelerinin, ABSP uygulanmayan yüzeylerinde adezyon kopması gözlenirken, plazma uygulamasından sonra 8mm mesafe, 10 tarama plazma uygulanmış olan numuneler hariç tüm numunelerde kohezyon hatası gözlenmiştir. ABSP aktivasyonu sonucu ıslanabilirlikte elde edilen bu artış, numune yüzeyi ile yapıştırıcı arasındaki yapışma bağlantısının artmasına sebep olmuş, yapıştırıcı malzemede ayrılma hatası meydana gelmiştir.

ABSP uygulaması öncesi galvaniz kaplı çelik numune yüzeylerinde adezyon hatası meydana gelmiştir (Şekil 6). ABSP uygulaması sonrasında galvaniz kaplı çelik numunelerinin ayrılma yüzeyleri incelendiğinde, numunelerdeki ayrılmanın büyük çoğunluğunda kohezyon hatası nedeniyle meydana geldiği görülmüştür.



Şekil 5. Farklı işlem mesafeleri ve tarama sayılarında ABSP uygulanan PP numunelerinin çekme testleri sonrası ayrılma yüzey fotoğrafları



Şekil 6. Farklı işlem mesafeleri ve tarama sayılarında ABSP uygulanan Galvaniz kaplı çelik numunelerinin çekme testleri sonrası ayrılma yüzey fotoğrafları

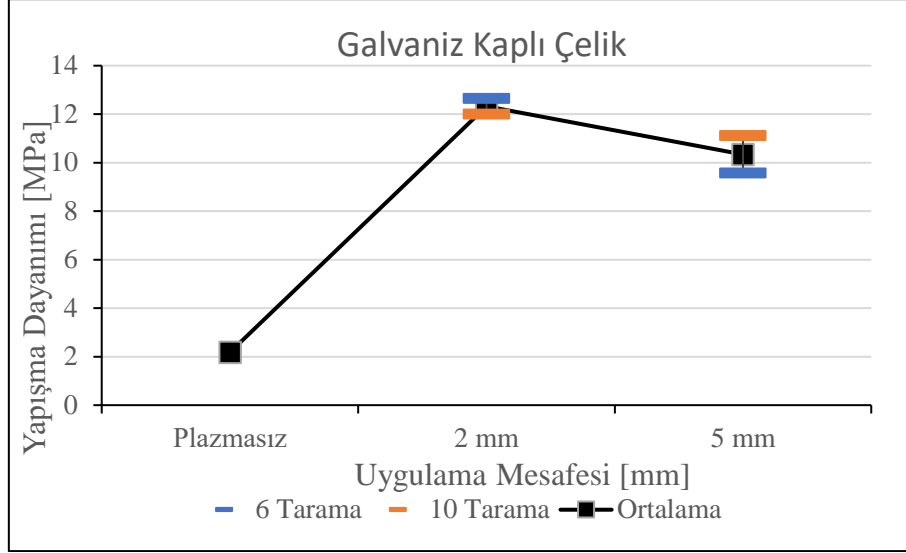
Tablo 4. PP için ABSP işlem parametrelerine bağlı olarak yapıştırma bölgesinde oluşan hatanın türleri

Uygulama	Uygulama Mesafesi (mm)	Tarama Sayısı	Yapışma Dayanımı (MPa)	Hata Türü
Plazmasız	-	-	0.30	Adezyon
ABSP	2	6	3.31	Kohezyon
ABSP	2	10	2.92	Kohezyon
ABSP	5	6	2.61	Kohezyon
ABSP	5	10	2.45	Kohezyon
ABSP	8	6	1.88	Kohezyon
ABSP	8	10	1.28	Adezyon

Tablo 5. Galvaniz kaplı çelik için ABSP işlem parametrelerine bağlı olarak yapıştırma bölgesinde oluşan hatanın türleri

Uygulama	Uygulama Mesafesi (mm)	Tarama Sayısı	Yapışma Dayanımı (MPa)	Hata Türü
Plazmasız	-	-	2.18	Adezyon
ABSP	2	6	12.65	Kohezyon
ABSP	2	10	12.0	Kohezyon
ABSP	5	6	9.57	Kohezyon
ABSP	5	10	11.11	Adezyon

Galvaniz kaplı çelik numunesinin yapışma dayanımı, atmosferik plazma uygulaması öncesi 2.18 MPa iken, plazma uygulama sonrası maksimum 12.65 MPa olarak elde edilmiştir (Şekil 7). Yapılan deneyler sonucunda, galvaniz kaplı çelik malzeme için en yüksek yapışma dayanımı, uygulama mesafesinin en kısa olduğu proseste elde edilmiştir. Plazma kaynağı ile numune arasındaki kısa mesafelerde, plazma yoğunluğu artar ve bunun sonucu olarak da etkili bir yüzey modifikasyonu sağlanır. Uygulama mesafesinin artması, plazma yoğunluğundaki azalış ile yüzey üzerindeki etkisinin azalmasına sebep olmaktadır [16].



Şekil 7. Galvaniz kaplı çelik numunesine farklı ABSP işlem mesafelerinin ve tarama sayılarının yapışma dayanımına olan etkisi.

5mm mesafe için ise tarama sayısındaki artış, yapışma mukavemetinin %16 yükselmesini sağlamıştır. Yapışma mukavemetinde elde edilen bu artış, yüzeyin ABSP'ya maruz kalma süresiyle elde edilen plazma yoğunluğu ve dolayısıyla soğuk plazmanın yüzeydeki güçlü aktivasyon etkisiyle açıklanabilir.

4. Sonuç

Bu çalışmada, ABSP uygulamasının farklı işlem parametrelerinde, PP ve galvaniz kaplı çelik malzeme yüzeyi üzerinde sebep olduğu etkilerin yapışma davranışı ile olan ilişkisi incelenmiştir.

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

PP malzeme yüzeyinin ABSP uygulaması öncesi temas açısı değeri 71° olarak ölçülmüş ve plazma uygulaması sonrası bu değer 25.1° olarak elde edilmiştir. Galvaniz kaplı çelik yüzeyinin ise ABSP uygulaması öncesi temas açısı değeri 70.8° olarak ölçülmüş ve plazma işlemi sonrası temas açısı 40.7° olarak elde edilmiştir. Her iki malzeme yüzeyinin temas açılarında meydana gelen bu azalma, ABSP uygulamasının malzeme yüzeylerinin ıslanabilirlik özelliklerini geliştirdiğinin kanıtıdır. ABSP uygulaması, malzeme yüzeylerinin ıslanabilirlik özelliklerini geliştirerek, yapıştırıcının yüzey ile bağ kurmasını desteklemektedir. Bu nedenle, uygulama yapılan yüzeylerde, uygulama yapılmamış yüzeylere kıyasla daha yüksek yapışma dayanımları elde edilmiştir.

Her iki malzemede de en yüksek yapışma dayanımı en düşük uygulama mesafesi (2 mm) ve tarama sayısında (6 tarama) görülmüştür. Bu deney parametreleri ile plazma uygulandığında, yapışma mukavemeti PP malzemede atmosferik plazma uygulama öncesine göre 10 kat, galvaniz kaplı çelik malzemede 6 kat artmıştır.

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

Galvaniz kaplı çelik için, sabit 2 mm uygulama mesafesinde işlem sayısının 6 taramadan 10 tarama değiştirilmesi, yapışma mukavemetinde azalmaya neden olurken, 5 mm uygulama mesafesinde, artan paso sayısı ile yapışma mukavemeti değerinde artış elde edilmiştir.

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

Yapıştırma bağlarının kopması sonucu numunelerin ayrılma yüzeyleri incelendiğinde her iki numune yüzeyinde atmosferik plazma işlemi öncesi adeziv kopma meydana gelmiştir. Buna karşılık ABSP uygulaması sonrası numunelerin büyük çoğunluğunda koheziv kopma meydana gelmiştir. Ayrılma yüzeylerinde meydana gelen hata türündeki bu değişim, ABSP uygulamasının yapıştırılan yüzey ile yapıştırıcı arasındaki bağ oluşumunu artırdığını göstermektedir.

Bu çalışma, atmosferik basınçlı soğuk plazma işleminin PP ve galvaniz kaplı çelik malzeme yüzeyindeki olumlu etkisini ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlar, ABSP işleminin her iki malzeme için de yapışma dayanımını iyileştirdiğini ve uygulama mesafesi ile tarama sayısı gibi işlem parametrelerinin değişiminin yapışma dayanımı üzerindeki etkilerini göstermektedir. Ayrıca bu çalışma kapsamında, uygulama mesafesi ve tarama sayısı gibi parametrelerinin, yapışma dayanımı üzerindeki etkileri karşılaştırılarak, PP ve galvaniz kaplı çelik malzeme yüzeyleri için ABSP işleminde optimum proses parametrelerinin ortaya konulması da sağlanmıştır.

Teşekkür

Bu çalışmada yer alan yazarlardan Kadir AYAS, TÜBİTAK BİDEB (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı) tarafından desteklenmiştir (Proje No:119C206).

Kaynaklar

- [1] Wolf, R., **Atmospheric Pressure Plasma for Surface Modification**, Scrivener, Canada, (2013).
- [2] Ebnessajjad, S., **Surface Treatment of Materials for Adhesion Bonding (Second Edition)**, Elsevier Inc, USA, (2014).

- [3] Pinson, J., Thiry, D., **Surface Modification of Polymers: Methods and Applications**, Wiley-VCH, Germany, (2020).
- [4] Johansson, K., **Applied Plastics Engineering Handbook Processing, Materials, And Applications Second Edition** in Kutz, M., Surface Modification of Plastics, William Andrew, 443-487, USA, (2017).
- [5] Kusano, J., Atmospheric pressure plasma processing for polymer adhesion: A review, **The Journal of Adhesion**, 90, 755-777, (2014).
- [6] Carrino, L., Moroni, G., ve Polini, W., Cold plasma treatment of polypropylene surface: a study on wettability and adhesion, **Journal of Materials Processing Technology**, 121, 373–382, (2002).
- [7] Mandolino, C., Lertora, E., Gambaro, C., Bruno, M., Improving adhesion performance of polyethylene surfaces by cold plasma treatment, **Meccanica**, 49:2299–2306, (2014).
- [8] Encinas, N., Abenojar, J. ve Martínez, M. A., Development of improved polypropylene adhesive bonding by abrasion and atmospheric plasma surface modifications, **International Journal of Adhesion and Adhesives**, 33, 1–6, (2012).
- [9] Ku, J. H., Jung, I. H., Rhee, K. Y. ve Park, S. J., Atmospheric pressure plasma treatment of polypropylene to improve the bonding strength of polypropylene/aluminum composites, **Composites Part B: Engineering**, 45(1), 1282–1287, (2013).
- [10] Mandolino, C., Lertora, E., Gambaro, C. (2014) Effect of cold plasma treatment on surface roughness and bonding strength of polymeric substrates, **Key Engineering Materials**, 611-612, 1484-1493, (2014).
- [11] Noeske, M., Degenhardt, J., Strudthoff, S., Lommatzsch, U., Plasma jet treatment of five polymers at atmospheric pressure: surfacemodifications and the relevance for adhesion, **International Journal of Adhesion and Adhesives**, 24, 171-177, (2004).
- [12] Kostov, K.G., Nishime, T.M.C., Castro, A.H.R., Toth, A., Hein, L.R.O., Surface modification of polymeric materials by cold atmospheric plasma jet, **Applied Surface Science**, 314, 367–375, (2014).
- [13] Maroofi, A., Safa, N.N., Ghomi, H., Atmospheric air plasma jet for improvement of paint adhesion to aluminium surface in industrial applications, **International Journal of Adhesion & Adhesives**, 98, 102554, (2020).
- [14] Tang, S., Kwon, O.-H, Lu, N., Choi, H.-S., Surface characteristics of AISI 304L stainless steel after an atmospheric pressure plasma treatment, **Surface & Coatings Technology**, 195, 298– 306, (2005).
- [15] Baniya, H. B., Guragain, R. P., Baniya, B. ve Subedi, D. P., Cold Atmospheric Pressure Plasma Jet for the Improvement of Wettability of Polypropylene, **International Journal of Polymer Science**, (2020).
- [16] Tang, S., Lu, N., Myung, S., Choi, H., Enhancement of adhesion strength between two AISI 316 L stainless steel plates through atmospheric pressure plasma treatment, **Surface & Coatings Technology**, 200, 5220 – 5228, (2006).
- [17] Kim, M.C., Song, D.K., Shin, H.S., Baeg, S., Kim, G. S., Boo, J.-H., Han, J.G., Yang, S.H., Surface modification for hydrophilic property of stainless steel treated by atmospheric–pressure plasma jet, **Surface and Coatings Technology**, 171, 312-316, (2003).