



# Atmosferik Basıncılı Plazma ve Alevle Dağlama Yüzey Aktivasyon İşlemlerinin Karşılaştırılması, Astarsız Boyanabilirliğinin İncelenmesi

Kadir Ayas<sup>\*1</sup>, Adem Karaca<sup>2</sup>, İsmail Hakan Çetinkaya<sup>3</sup>, Kadir Çavdar<sup>4</sup>

## ÖZ

Polipropilen, sahip olduğu üstün mekanik özelliklerden dolayı otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılmaktadır. Otomobillerde kullanılması için boyama, kaplama vb. işlemler yapılan polipropilenin yüzey enerjisinin düşüklüğü nedeniyle aktivasyon işlemleri görmektedir ve yüzeye boya öncesi astarlama uygulaması yapılmaktadır. Bu çalışmada atmosferik basınçlı plazma (ABP) ve alevle dağlama yüzey aktivasyonu işlemleri gören polipropilenin ıslatılabilirliği, yüzey enerjisi ve boya mukavemetindeki değişimler incelenmiş, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapışma ve ıslatılabilirlik arasındaki ilişki araştırılmıştır. ABP ile polipropilen yüzeyi arasındaki etkileşimi anlayabilmek için iki farklı işlem hızı (30 mm/s ve 100mm/s) ile deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçlar, ABP işleminin polipropilenin ıslanabilirliğini ve yapışma özelliklerini önemli ölçüde artırabileceğini ve ABP işlemin diğer aktivasyon yöntemlerine kıyasla çevreci bir alternatif olabileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Polipropilen, alevle dağlama, atmosferik basınçlı plazma, boyanabilirlik, su temas açısı

## Comparison of Atmospheric Pressure Plasma and Flame Etching Surface Activation Processes, Investigation of Primerless Paintability

### ABSTRACT

Polypropylene is frequently used in the automotive industry due to its mechanical properties. Polypropylene, which is painted, coated, etc., before it is used in automobiles, undergoes activation processes due to its low surface energy and primer is applied to the surface before painting. In this study, the changes in the wettability, surface energy and paint strength of polypropylene, which underwent atmospheric pressure plasma (ABP) and flame activation surface activation processes, were examined and the results were compared. The relationship between adhesion and wettability was investigated. In order to understand the interaction between ABP and the polypropylene surface, experiments were carried out with two different processing speeds (30 mm/s and 100mm/s). Experimental results show that the ABP treatment can significantly increase the wettability and adhesion properties of polypropylene and the ABP treatment can be an environmentally friendly alternative to other activation methods

**Keywords:** Polypropylene, flame activation, atmospheric pressure plasma, paintability, water contact angle

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 26.08.2022

Kabul/Accepted : 30.12.2022

<sup>1</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD., Bursa  
kadirayas@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0002-8538-5792

<sup>2</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD., Bursa  
ademkaraca@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2085-9635

<sup>3</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği ABD., Bursa  
hakan.cetinkaya@a-plasitd.com.tr, ORCID: 0000-0001-7331-0411

<sup>4</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bursa  
cavdar@uludag.edu.tr, ORCID: 0000-0001-9126-0315



## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction/Background

In this study, changes in paint strength and wettability were investigated after polypropylene (PP) surfaces were treated with flame activation and atmospheric pressure plasma activation methods using air as plasma gas. After surface activation, durability tests preferred by automobile manufacturers were carried out on PP surfaces painted with and without primer, and it was aimed that the samples painted without primer would have the strength to pass these tests. ABP and flame activation surface activation methods were compared and their superiority to each other was examined.

### Methods/Methodology

17% talc added PP (Hifax TYC 1123P E C11538-) raw material used in this study was purchased from LyondellBasell (Türkiye) as granules. Atmospheric pressure plasma (ABP) device was used to increase the low surface energy of the test plates produced by injection moulding method. ABP applications, using FG5001 Openair-Plasma® generator manufactured by Plasmatreat, producing 280 V output voltage, 15 A current and using ambient air with 3.5 bar pressure, and RD1400 model rotary nozzle, at different operating speeds from 10 mm distance has been applied. The flame activation process is applied to the surface at a speed of 750 mm/s from a distance of 100 mm with a gas pressure of 0,15 bar by using a natural gas/air gas mixture in a 1:10 mixture. These process parameters are standardized parameters known to provide proper surface activation.

Painted test plates were subjected to a series of tests to determine the quality of the dyeing process. In order to investigate the moisture resistance feature in these tests, water resistance properties and paint strength test plates were subjected to tests according to Fiat 50470 standard. The procedure used to measure surface wettability is based on ASTM D2578-84. To determine water contact angles, ImageJ software was used.

### Results/Findings

The average water contact angle of the untreated PP surfaces was measured as 98°. This value showed a decrease of approximately 37.75% in flame activated parts. The water contact angle value decreased by 50% in the ABP process applied at a speed of 100 mm/s on the polypropylene surface, and by 63.26% in the ABP process applied at a speed of 30 mm/s. After the activation process, all parts painted with and without primer passed the cross cutting and moisture tests successfully. In the water resistance tests, although improvements were observed in the activated parts compared to the untreated parts, paint detachments were observed at an unacceptable level from the surface of the test sample which painted without primer.

### Discussion and Conclusions

The results revealed the importance of the effects of surface activation processes before painting on adhesion strength. These effects can be seen when looking at the water contact angle measurement results. These results proved that the ABP treatment is an effective method to increase the wettability of polypropylene surfaces. Paint adhesion strength was investigated by flame and ABP activation at speeds of 30 mm/s and 100 mm/s.

It has been observed that there is a higher adhesion strength with the increase of the amount of plasma exposed to the surface. It has been observed that the polypropylenes painted without primer after the activation process do not have sufficient strength, but they have obvious advantages over the untreated and painted without primer samples. Further studies are needed to obtain a polypropylene surface with sufficient strength by painting without a primer.



## 1. GİRİŞ

Polimer malzemeler otomobil üretiminde ağırlığı azaltmak için tercih edilen materyallerdir. Düşük yoğunluk, yüksek tokluk ve mukavemet, düşük maliyet, iyi geri dönüştürülebilirlik gibi özelliklerinden dolayı otomobillerdeki pek çok parça polimer malzemelerden üretilmektedir (Mühlhan, Weidner, Friedrich ve Nowack, 1999). Mevcuttaki otomobillerin gözle görülen estetik parçalarının büyük bir kısmı polimerlerden oluşmakta ve boyanarak araç üzerine montajlanmaktadır. Bu yüzden plastik parçaların boyanması otomotiv üreticileri için en önemli proseslerin başında gelmektedir (Machado, Gamarra, Marques ve da Silva, 2018). Polipropilen (PP) gibi otomotiv sektöründe sıklıkla kullanılan bazı polimerler doğal hallerinde düşük yüzey enerjisine sahiptirler. Bu yüzden boya işlemi öncesinde PP yüzeyine bazı ek işlemler uygulanmaktadır. Polipropilen yüzeyinin boyanması işlemi 3 adımda gerçekleşmektedir: (1) temizleyici emdirilmiş bir bez ile yüzeydeki yağ ve kirlerin uzaklaştırılması; (2) yüzey aktivasyonu; (3) astarla yüzeyin kaplanması ve boyama (Carrino, Moroni ve Polini, 2002). Uygun seviyede boya yapışma mukavemetini sağlayabilmek için polipropilen yüzeyler mekanik veya kimyasal aşındırmaya maruz bırakılmakta ya da çeşitli yüzey aktivasyon yöntemleriyle yüzey işlemlerine tabi tutulmaktadır (Leroux, Campagne, Perwuelz ve Gengembre, 2008). Alevle dağlama yüzey aktivasyon yöntemi kolay ulaşılabilirlik, iyi uygulanabilirlik, düşük kurulum maliyeti vb özellikleriyle, atmosferik basınçlı plazma (ABP) yüzey aktivasyon yöntemi ise çevreye zararlı etkileri olmaması, seri üretime uygun olması ve işletme maliyetlerinin düşüklüğü gibi özellikleriyle diğer aktivasyon yöntemleri arasında öne çıkmaktadırlar (Ebnesajjad, 2014; Williams, Abel, Grant, Hrachova ve Watts, 2015).

Alevle dağlama yöntemi seri üretime uygunluk ve düşük kurulum maliyeti ve işletme maliyetleri ile otomotiv sektöründe kullanılan en yaygın yöntemdir. Eşit olmayan, düzgünsüzlükler içeren yüzeylerin aktivasyonunda etkili bir yöntemdir. Bu yöntemde alevlerin kontrolü kritik bir rol oynamaktadır. Mesafe ve alevler düzgün kontrol edilmezse yüzeye hasar verebilmektedir (Ebnesajjad, 2014; Williams ve diğ., 2015). Alevi oluşturan gazın içeriği genellikle metan, propan, bütan ve bu gazların hava ile karışımlarından oluşmaktadır (Alexander ve diğ., 2008).

Günümüzde ABP'nin yüzey kaplama, sertleştirme, boyama, yapışma, temizleme gibi farklı uygulamaları vardır (Penkov, Khadem, Lim ve Kim, 2015). ABP işleminde, kullanılan gaz plazma jeneratörü vasıtasıyla iyonize olmuş bir şekilde nozuldan dışarıya verilmektedir. İyonize edilmiş gaz bulutu içerisinde iyonlar, elektronlar, moleküller ve radikal gruplar bulunmaktadır. Bu materyaller polipropilen yüzeyine tutunarak malzemenin temel özelliklerinde bir değişime sebep olmadan, ıslanabilirliğini ve yapışma dayanımını arttırmaktadır [9]. ABP işlemi sonucunda elde edilen yüzey aktifliği değişen plazma gücü (Wang, Wang, Yang, Huo ve Wang, 2010; Upadhyay, Cui, Anderson ve Brown, 2004; Yaman ve diğ., 2009), işlem süresi (Yaman ve diğ.,



2009; Hwang, An, McCord, Park ve Kang, 2003; Shabanpour ve diğ., 2021; Zhang ve diğ., 2020), işlem mesafesi (Shaw, West, Bredin ve Wagenaars, 2016; Kehrer ve diğ., 2020), gaz çeşidi (Kehrer ve diğ., 2020), gaz debisi (Kehrer ve diğ., 2020; Kwon, Tang, Myung, Lu ve Choi, 2005; Mccord ve diğ., 2002) gibi işlem parametrelerine göre değişiklik gösterebilmektedir.

ABP'nin diğer bir kullanım alanı da yüzey kaplaması işlemidir. ABP ile yüzeye yapılan iyonize gaz bombardımanı ile yüzeydeki organik moleküller ve polimer katmanları kaldırır ve bu sayede matris ile kaplama arasındaki yüzey alanını genişleterek daha dayanıklı kaplamalar oluşturmaktadır (Carrino ve diğ., 2002). Pandiyaraj vd. (2019) triisopropil fosfat monomerini 95°C'de buhar haline getirip argon (Ar) gazının içerisine karıştırarak ABP işlemi ile polipropilen yüzeyinde fosfor içeren bir kaplama oluşturmuşlardır. Yaptıkları çalışmada monomer akış debisini ve çıkış gerilimini değiştirerek ABP işleminin etkilerini incelemişlerdir. Monomer akış debisinin ve çıkış geriliminin artmasıyla yüzeyde oluşan fosfor içerikli grupların arttığını, su temas açılarının da düştüğünü belirtmişlerdir. Benzer bir çalışmada Zhang vd. (2020) polipropilen yüzeyinde değişen işlem süreleriyle yapılan ABP işlemi ile metil metakrilat birikimini incelemişlerdir.

Polipropilenin yapışma dayanımını artırmak için ABP kullanımı yaygın bir yöntemdir. ABP işlemi ile yüzey pürüzlülüğü, yüzey enerjisi ve yüzeydeki hidrofilik gruplar artırılarak yapışma mukavemetinde iyileştirme sağlanmaktadır. Polimerlerin yapışma davranışında yüzey pürüzlülüğü ve enerjisi dışında yapıştırıcı çeşidinin de etkileri bulunmaktadır (Durmuş, Ülkü, Güden ve Faruk Otnar, 2005). Sato, Ise, Horiuchi, Akiyama ve Miyamae (2019) N<sub>2</sub> gazı kullanan ABP ve alevle dağlama aktivasyon yöntemleri ile polipropilen yüzeylerine uyguladıkları işlemler sonucunda ABP ile işlem gören yüzeylerde daha yüksek yapışma mukavemeti elde edildiğini belirtmişlerdir. Yaptıkları incelemeler sonucunda ABP ile işlem görmüş parçalarda yüzey pürüzlülüğünün ve fonksiyonel grupların sayısının alevle dağlama işlemine göre daha fazla artış gösterdiğini belirterek yapışma mukavemetindeki artışın bu özelliklerle bağlantılı olduğunu belirtmişlerdir. Encinas, Abenojar ve Martínez (2012) kimyasal aşındırma, mekanik aşındırma, ABP işleminin ve bu işlemlerin kombinasyonlarının yapışma mukavemeti üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. İncelenen yöntemler arasında en yüksek yapışma dayanımının ABP yüzey aktivasyonu ile elde edildiğini, kimyasal aşındırma işleminden sonra ABP yüzey aktivasyonu yapıldığında bu etkinin yaklaşık %300 arttığını belirtmişlerdir. Mandolino, Lertora, ve Gambaro, (2014), soğuk ABP ile yaptıkları uygulamada farklı plazma gücü, plazma gazları ve işlem süresinin yüzey pürüzlülüğü, ıslatılabilirlik ve yapışma mukavemeti üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Artan işlem süresi ve plazma gücünün ıslanabilirliği artırdığını, hava, oksijen ve argon gazlarından yapışma mukavemetinde en yüksek dayanımın oksijenle elde edildiğini ve yüzey pürüzlülüğündeki artışın yapışma dayanımını artırdığını belirtmişlerdir.



Shabanpour vd. (2021) yaptıkları çalışmada alevle dağlama ve ABP yüzey aktivasyonu uygulanmış PP yüzeylerini boyayarak kareleme ve boya yapışma mukavemeti testleri gerçekleştirerek karşılaştırma yapmışlardır. Yüzeylerin karakterizasyonu için su temas açısı, yüzey serbest enerjisi ölçümleri ve atomik kuvvet mikroskobu (AFM) görüntülerini kullanmışlardır. ABP işlem süresinin ıslatılabilirliğe etkisini incelemek için yaptıkları su temas açısı testlerinde işlem süresi arttıkça yüzeylerin ıslatılabilirliğinin iyileştiği sonucuna ulaşmışlardır.

Bu çalışmada PP yüzeyleri alevle dağlama ve plazma gazı olarak hava kullanan atmosferik basınçlı plazma aktivasyon yöntemleriyle işlendikten sonra boya dayanımındaki ve ıslanabilirliğindeki değişimler incelenmiştir. Yüzey aktivasyonu yapıldıktan sonra astarlı ve astarsız olarak boyanan PP yüzeyleri üzerinde otomobil üreticileri tarafından tercih edilen dayanıklılık testleri gerçekleştirilmiş, astarsız boyanan numunelerin bu testleri geçebilecek dayanıma sahip olması hedeflenmiştir. ABP ve alevle dağlama yüzey aktivasyonu yöntemlerinin karşılaştırması yapılarak birbirlerine olan üstünlükleri incelenmiştir. ABP işlemi ile astarsız boyamanın sağlanması durumunda aşağıdaki kazanımlar hedeflenmektedir:

- Çevre için zararlı bir materyal olan kimyasal astar kullanımının kaldırılması,
- Boyama işlemi maliyetlerinin azaltılarak ekonomik kazanımların elde edilmesi,
- Boyama işleminden astar atma uygulamasının kaldırılması ile işlem süresinde azalma,
- İşletme içerisinde astarlama işlemi için ayrılan alanın kaldırılması ile boş alanlar elde edilmesi,
- Astar atma prosesi için gereken iş gücünün farklı alanlarda kullanılabilmesi,
- Astar kullanımından kaynaklanan iş sağlığı ve güvenliği için tehlikeli olabilecek materyal ve ortamların oluşmaması

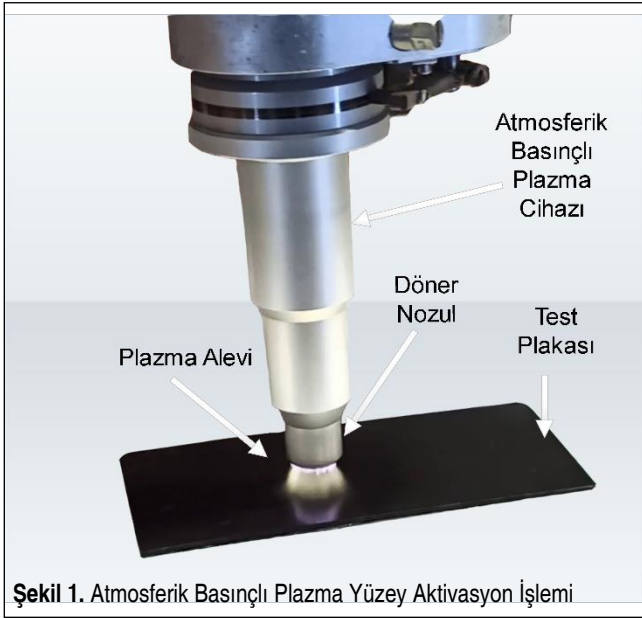
gibi nedenlerden dolayı otomotiv vb. üretim süreçlerinde atmosferik basınçlı plazma uygulamasının kullanılmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında kullanılan %17 talc katkılı polipropilen (PP) (Hifax TYC 1123P E C11538-) ham madde LyondellBasell (Türkiye)'den granül halinde alınmıştır. PP hammaddelerin üzerinde var olan ya da çeşitli hava koşulları nedeniyle oluşabilecek olan nemin giderilmesi için 80°C'de 2 saat nem giderme hunisinde bekletilmiştir. Nemi alınan granüllerden plastik enjeksiyon yöntemi ile 80x200x2,5 mm boyutlarında test plakası üretilmiştir. Test plakalarının boyamasında Kansai Altan firmasından temin edilen reçine esaslı beyaz boya ve BASF firmasından temin edilen reçine esaslı astar kullanılmıştır.

## 2.1 Atmosferik Basıncı Plazma Yüzey Aktivasyonu

Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen test plakalarının düşük yüzey enerjisini arttırmak için atmosferik basınçlı plazma (ABP) cihazı kullanılmıştır. ABP uygulamasından önce test plakalarının yüzeyleri izopropil alkol emdirilmiş bezle temizlenmiştir. ABP uygulamaları Plasmatreat tarafından üretilmiş, 280 V çıkış gerilimi, 15 A akım üreten ve ortam havasını 3,5 bar basınçla kullanan FG5001 Openair-Plasma® jenatör ve RD1400 model döner nozul kullanılarak, 10 mm mesafeden 30 mm/s ve 100 mm/s çalışma hızlarında uygulanmıştır. ABP ile yapılan yüzey işlemi Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Atmosferik Basıncı Plazma Yüzey Aktivasyon İşlemi

## 2.2 Alevle Dağlama Yüzey Aktivasyonu

Halihazırda pek çok üretici tarafından yüzey aktivasyonu için kullanılan yöntemlerden biri olan alevle dağlama (flamaj, flame aktivasyon), ABP’nin etkilerinin anlaşılabilmesi için bir karşılaştırma yöntemi olarak seçilmiştir. Alevle dağlama işleminden önce polipropilen malzeme yüzeyleri izopropil alkol emdirilmiş bezle temizlenmiştir. Alevle dağlama işlemi 1:10 karışımında doğalgaz/hava karışımı kullanılarak, 0,15 bar gaz basıncı ile 100 mm mesafeden 750 mm/s tarama hızıyla yüzeye uygulanmaktadır. Bu proses parametreleri uygun yüzey aktivasyonunu sağladığı bilinen standartlaştırılmış parametrelerdir. Alevle dağlama ile yapılan yüzey işlemi Şekil 2’de gösterilmektedir.

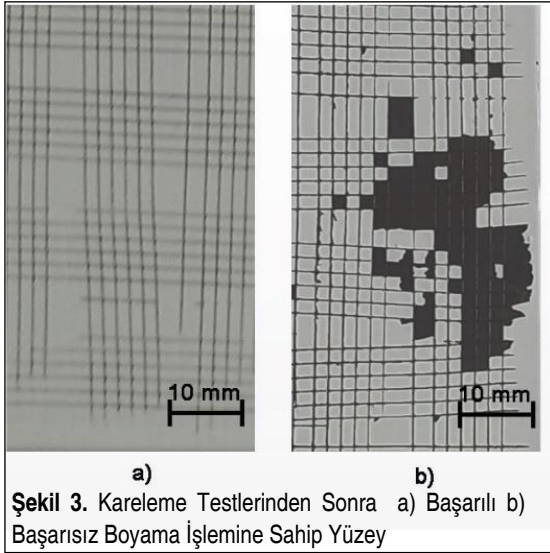
### 2.3 Boyanabilirlik Testleri

Atmosferik basınçlı plazma ve alevle dağlama ile yüzey aktivasyonu yapılan test parçalarının bazılarında boyamadan önce astar uygulanmıştır. Boyama işlemi Tablo 1’de gösterildiği şekilde astarlı, astarsız, alevle dağlama aktivasyonu ve ABP aktivasyonu olacak şekilde farklı kombinasyonlarda gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 1.** Yüzey Aktivasyon Yöntem Parametreleri

Parametre	Atmosferik Basıncı Plazma (ABP)		Alevle Dağlama
Mesafe (m/m)	10	10	100
Hız (mm/s)	30	100	750
Astar Uygulaması	Astarlı	Astarsız	Astarlı

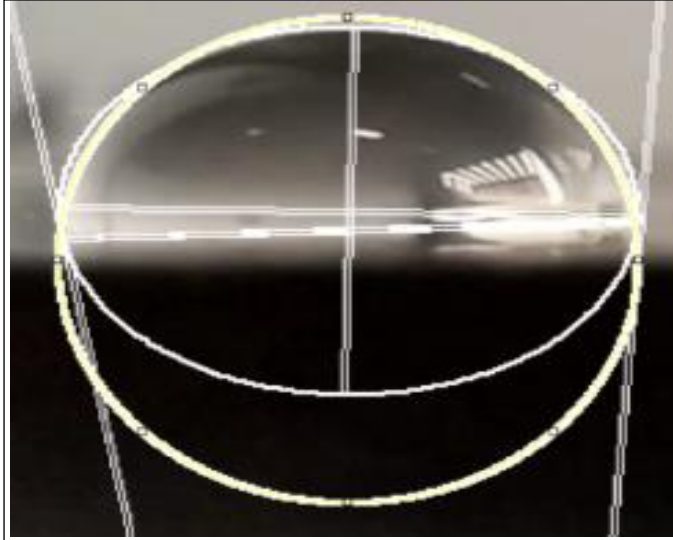
Boyanan test plakaları boyama işleminin kalitesini tespit edebilmek için bir dizi teste tabi tutulmuştur. Bu testlerde nem dayanım özelliğinin araştırılması için test plakaları Fiat 50184-B ve 50184-D standartlarına göre 500 saat  $40\pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık ve %95-100 bağıl nem bulunduran ortam havasında bekletilmiş ve Fiat 50461-B1 standardına göre kareleme (cross-cutting) yöntemi ile yapışma mukavemeti test edilmiştir. Su dayanım özelliklerini tespit etmek için Fiat 50470 standardına göre 24 saat  $60\pm 4^\circ\text{C}$  su altında bekletilmiş ve kareleme testi ile yapışma mukavemeti incelenmiştir. Hiç su ve nem testine tabi tutulmamış numunelerle birlikte bu parçalar Fiat 50461(Carrino ve diğ., 2002) standardına dayandırılarak kareleme testi gerçekleştirilmiştir.



Bu testlere göre kareleme testlerinden sonra yüzeyden 100 mm<sup>2</sup>'den daha az boya ayrılıyorsa boyama işlemi yeterli yapışma direncine sahip (Şekil 3a), fazla boya ayrılıyorsa boyama işlemi yetersiz yapışma direncine sahip (Şekil 3b) sayılmaktadır.

## 2.4 Su Temas Açısı Ölçümleri

Test plakalarına saf su kullanılarak su temas açısı ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4). Malzeme yüzeyindeki beş farklı noktaya 0,05 mL hacme sahip beş adet saf su damlatılmış ve ImageJ yazılımı kullanılarak temas açısı ölçümleri yapılmıştır (Şekil 4).

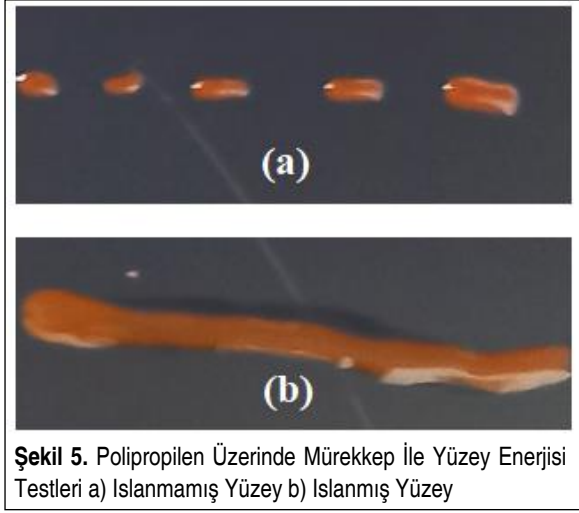


Şekil 4. ImageJ Yazılımı İle Su Temas Açısı Ölçümü

## 2.5 Yüzey Enerjisi Ölçümleri

Yüzey ıslanabilirliğini ölçmek için kullanılan prosedür, ASTM D2578-84 (Carrino ve diğ., 2002) standardına dayanmaktadır. Hill GmbH.'tan temin edilen yüzey gerilimi 36 mN/m ile 52 mN/m arasında değişen test mürekkepleri ile yüzey enerjisi tespiti yapılmıştır. Test mürekkepleri polipropilen yüzeyine damlatılıp 600 mm<sup>2</sup> alanı kaplayacak şekilde yayılması sağlanmıştır. Mürekkep yayıldıktan 2 saniye sonra film görüntüsünü Şekil 5a'daki gibi damlacık formuna dönüyorsa yüzeyi ıslatmadığı, 2 saniye içinde Şekil 5b'deki gibi koruyabiliyorsa yüzeyi ıslattığı kabul edilmiştir. Bu yöntem ile polipropilenin yüzey enerjisi bulunabilmektedir. Stabil bir boyama kalitesi için, otomobil üreticileri yüzey enerjisi alt sınırı olarak 46 mN/m değerini kabul etmektedir.



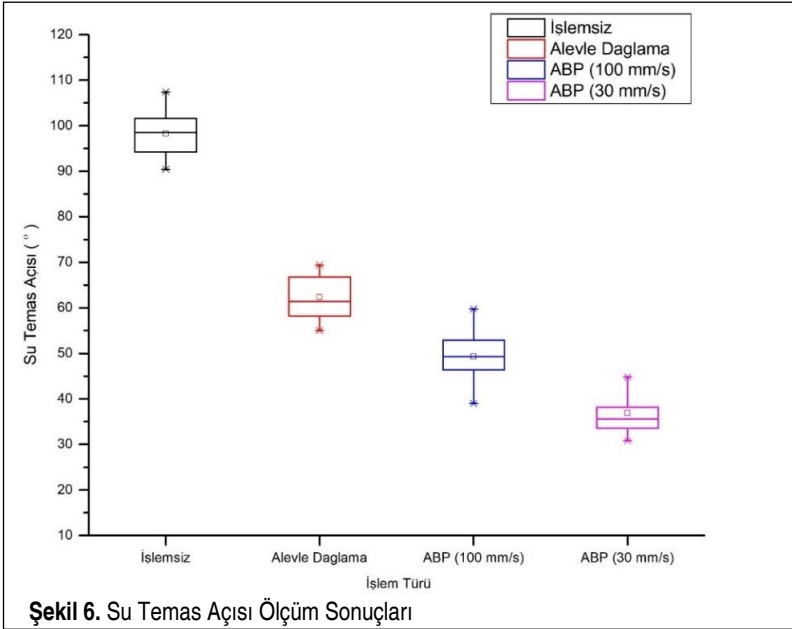


Şekil 5. Polipropilen Üzerinde Mürekkep İle Yüzey Enerjisi Testleri a) Islanmamış Yüzey b) Islanmış Yüzey

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Su Temas Açısı ve Yüzey Enerjisi Ölçümleri

Yüzey aktivasyonunu ölçmek için, ABP ve alevle dağlama uygulanmış, işlem görmemiş PP malzemelerde su temas açıları ölçülerek işlem etkileri incelenmiştir. Şekil 6'da su temas açısı ölçüm sonuçları verilmiştir.



Şekil 6. Su Temas Açısı Ölçüm Sonuçları

Şekil 6’da görüldüğü üzere herhangi bir işlem görmemiş PP yüzeylerinin ortalama su temas açısı  $98^\circ$  ölçülmüştür. Bu değer otomotiv sanayiinde yaygın olarak kullanılan alevle dağlama işlemi görmüş parçalarda işlemsiz parçalara kıyasla yaklaşık %37,75 düşüş göstererek  $61^\circ$  ölçülmüştür. Polipropilen yüzeyine 100 mm/s hızda uygulanan ABP işleminde su temas açısı değeri %50 düşüşle  $49^\circ$ , 30 mm/s hızda uygulanan ABP işleminde %63,26 düşüş göstererek  $36^\circ$  ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre ABP işlem hızının düşmesi ıslanabilirliği artırmaktadır. Bu çalışmada kullanılan parametrelere göre ABP işleminin ıslanabilirlikte alevle dağlama işlemine bariz bir üstünlüğü bulunmaktadır.

Yüzey enerjisini ölçmek için yüzey gerilimi 36 mN/m ile 52 mN/m arasında değişen test mürekkepleri işlem görmemiş, alevle dağlama işlemi ve ABP işlemi uygulanmış yüzeylere sırayla uygulanmıştır. Sonuçları Tablo 2’de verilmiştir. Bu tabloya göre işlem görmeyen polipropilen yüzeyleri 36 mN/m enerjiye sahipken alevle dağlama yüzey aktivasyon yöntemi uygulandıktan sonra bu değer 48 mN/m’ye, ABP yüzey aktivasyon yöntemlerinden sonra 52mN/m’ye ulaşmıştır.

**Tablo 2.** İşlemlere Göre Mürekkep Testi Sonuçları

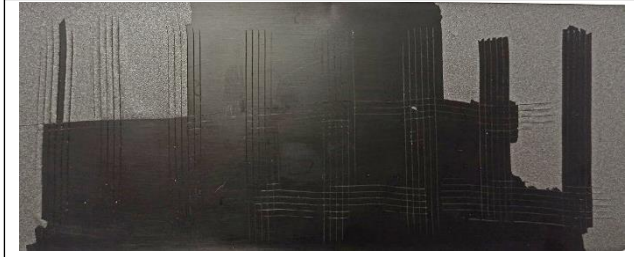
Yüzey Gerilim (mN/m)	İşlem Türü			
	İşlemsiz	Alevle Dağlama	ABP (100 mm/s)	ABP (30 mm/s)
36	●	●	●	●
40	○	●	●	●
42	○	●	●	●
44	○	●	●	●
46	○	●	●	●
48	○	●	●	●
50	○	○	●	●
52	○	○	●	●

○ = <  
● = >

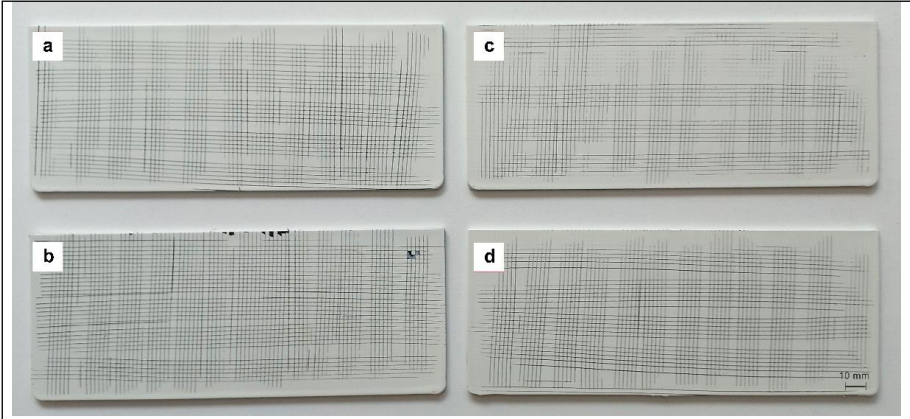
### 3.2 Boyanabilirlik

PP malzemeye uygulanan boyanın yapışma dayanımını inceleyebilmek için bir dizi test yapılmıştır. Testler bir otomobil parçasının karşılaşılabileceği ortam koşullarına göre oluşturulmuş ve zamanla standartlaştırılmış test prosedürlerine uyularak gerçekleştirilmiştir. Bu testler (1) boyama işleminden sonra ek işlem olmadan, (2) 500 saat  $40\pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık ve %95-100 bağıl nem bulunduran ortam havasında ve (3) 24 saat  $60\pm 4^\circ\text{C}$  su altında olmak üzere üç farklı ortam şartında bekletilmiştir. Daha sonra bu üç ortamdan alınan numunelere kareleme testi yapılmıştır

Şekil 7’de yüzey aktivasyon işlemi yapılmamış, astar kullanmadan boyanan PP’nin kareleme testi sonrası görüntüsü verilmektedir. Yüzey aktivasyonu yapılmamış PP



**Şekil 7.** Yüzey Aktivasyonu Yapılmamış ve Astarsız Boyanmış PP Yüzeyinin Kareleme Testi Sonucu

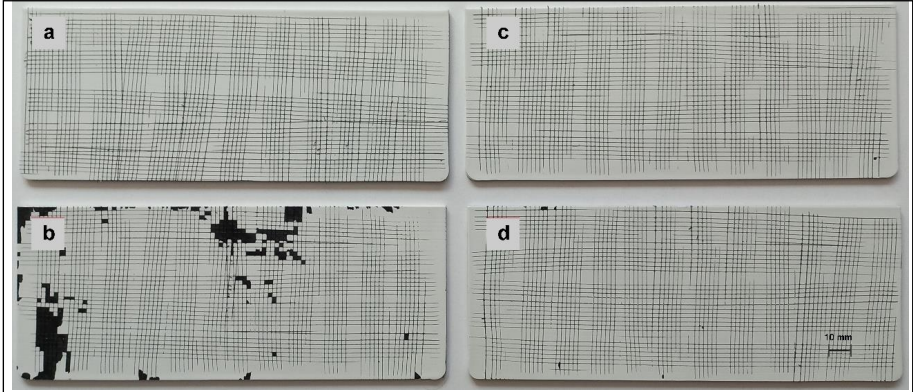


**Şekil 8.** Yüzey Aktivasyon İşlemlerinden Sonra Oda Sıcaklığında Bekletilmiş, Boyanmış PP Numunelerin Kareleme Yöntemi ile Yapışma Mukavemeti Sonuçları; a) 100 mm/s hızda ABP işlemi uygulanmış (astarlı), b) 100 mm/s hızda ABP işlemi uygulanmış (astarsız), c) 30 mm/s hızda ABP işlemi uygulanmış (astarlı), d) Alevle dağlama işlemi uygulanmış (astarlı).

yüzeyinin enerjisi 36 mN/m seviyesindedir. Bu değer boya tutunması için gerekli olan değerden çok altında olduğu için boya yapışma mukavemeti düşük kalmıştır ve yüzeydeki boyanın neredeyse hepsi ayrılmıştır.

Şekil 8’de herhangi bir aşındırıcı işlem görmeyen veya farklı çevre şartlarında bekletilmeyen boyanmış PP yüzeylerinde yapılmış kareleme testi görüntüleri verilmektedir.

Yüzey aktivasyon işlemi uygulandıktan sonra aşındırıcı bir işlem ya da ortama maruz kalmamış PP yüzeylerinde yapılmış kareleme testlerine göre ABP (Şekil 8.a,b,c) ve alevle dağlama (Şekil 8.d) ile muamele edilen parçalarda boyanın yapışma mukavemeti Fiat 50470 standartında belirtilen gerekli değerleri sağlamaktadır. 100 mm/s hızda ABP ile muamele edilen ve astarsız boyanan PP yüzeyinde boya ayrılmaları görülmektedir (Şekil 8.b). Bu durumda 100 mm/s hızda 10 mm mesafeden uygula-



**Şekil 9.** 500 saat,  $40\pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık ve %95-100 Bağıl Nem Ortamında Bekletilen Boyanmış PP Numunelerin Kareleme Yöntemi İle Yapışma Mukavemeti Sonuçları; a) 100 mm/s hızda ABP İşlemi Uygulanmış (astarlı) b) 100 mm/s hızda ABP İşlemi Uygulanmış (astarsız), c) 30 mm/s hızda ABP İşlemi Uygulanmış (astarlı) d) Alevle Dağlama İşlemi Uygulanmış (astarlı)

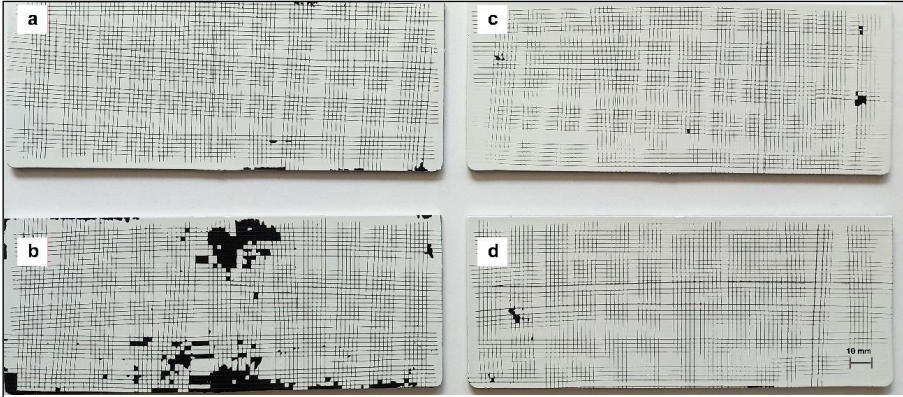
nan ABP yüzey işlemi, tek başına astarsız boyama için gerekli mukavemeti sağlayamamaktadır.

Şekil 9'da 500 saat  $40\pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık ve %95-100 bağıl nemli havada bekletildikten sonra kareleme testi yapılmış ve standartlara uygun bir bantla yapışma direnci test edilmiş numunelerin görüntüleri verilmiştir.

Şekil 9'a göre ABP ve alevle dağlama işlemi uygulanmış ve astar uygulamasından sonra boyanmış PP malzemelerinde yapışma mukavemeti  $40\pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık, %95-100 bağıl nemli ortamda bekletildikten sonra yeterli dayanımı sağlamaktadır. Ancak ABP işlemine tabii tutulduktan sonra astarlanmadan boyanan PP yüzeyinde boya kopmaları görülmektedir. Şekil 8b'de verilen doğal yapışma sonuçlarıyla karşılaştırıldığında 500 saat  $40\pm 2^\circ\text{C}$  sıcaklık, %95-100 bağıl nemli ortamda bekletilen parçanın boya mukavemeti düşmüştür. Astarsız yapılan boya uygulaması için nemli ortamda bekletilen parçanın boya dayanımının yeterli kalitede olmadığı belirlenmiştir.

Şekil 10'da 24 saat  $60\pm 4^\circ\text{C}$ 'deki su altında bekletilip kareleme işlemi yapıldıktan sonra standartlara uygun bir bantla boya yapışma direnci test edilen numunelerin görüntüleri verilmiştir.

Şekil 10.c'ye göre 30 mm/s hızda ABP ve alevle dağlama işlemi uygulanmış ve astar uygulamasından sonra boyanmış PP malzemelerinde yapışma mukavemeti  $60\pm 4^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki su altında 24 saat bekletildikten sonra boya kopmaları olduğu görülmektedir. Otomobil üreticileri tarafından kabul görmüş parametrelerle alevle dağlama işlemi ve 30 mm/s hızda ABP işlemi gören parçada bu büyüklükteki lokal kop-



**Şekil 10.** 24 Saat  $60\pm 4^\circ\text{C}$  Sıcaklıktaki Su Altında Bekletilen Boyanmış PP Numunelerin Kareleme Yöntemi ile Yapışma Mukavemeti Sonuçları; a) 100 mm/s Hızda ABP İşlemi Uygulanmış (astarlı), b) 100 mm/s Hızda ABP İşlemi Uygulanmış (astarsız), c) 30 mm/s Hızda ABP İşlemi Uygulanmış (astarlı), d) Alevle Dağlama İşlemi Uygulanmış (astarlı)

malar kabul edilebilir sınırlar içerisinde bulunmaktadır. Ancak 100 mm/s hızda ABP işlemine tabii tutulduktan sonra astarlanmadan ve astarlanarak boyanan PP yüzeyinde (Şekil 10.b) kabul edilebilir sınırlardan daha fazla boya kopmaları görülmektedir. Şekil 8’de verilen doğal yapışma sonuçlarıyla ve Şekil 9’da verilen 500 saat  $40\pm 2^\circ\text{C}$ , %95-100 bağıl nemli ortamda bekletilen parçalar karşılaştırıldığında 24 saat  $60\pm 4^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki suyun altında bekletilen parçanın (Şekil 10) boya mukavemeti düşmüştür. Boya dayanımı astarsız yapılan boya uygulaması için su altında bekletildiğinde yeterli kalitede olmadığı belirlenmiştir.

Esen (2016), PP malzemelerde atmosferik basınçlı plazma ve alevle dağlama yüzey aktivasyon yöntemlerinin boyanabilirlik üzerine etkilerinin karşılaştırılması üzerine yaptığı çalışmada astarlandıktan sonra boyanan parçalarda kareleme, nem direnci ve su direnci testleri yapmıştır. Bu testler sonucunda atmosferik plazma ve alevle dağlama yöntemlerinin her ikisinin de astarlı boyama için başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Shabanpour vd. (2021), gliding arc plazma üretim yöntemi kullanılarak yapılan atmosferik plazma ve alevle dağlama yüzey aktivasyon işlemlerini karşılaştırmış, astar kullanılarak boyanan polipropilen yüzeylerine kareleme testi uygulamışlardır. Test sonucunda her iki işlem de başarılı boyama performansı göstermiştir. Astarsız boyanabilirliğin incelendiği bu çalışmada da astarlı boyanan numuneler başarılı sonuçlar göstermiştir.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada ABP ve alevle dağlama yüzey aktivasyon işlemlerinin polipropilen yü-



zeyindeki ve yapışma dayanımındaki değişimler araştırılmıştır. Yüzey aktivasyonu yapılmış yüzeylerin boya yapışma dayanımındaki gelişmeler su temas açısının yanı sıra nem ve su daldırma işlemleri ardından yapılan kareleme testleri ile açıklanmıştır. Elde edilen sonuçlar işlem görmemiş PP yüzeyleri ile karşılaştırılmıştır.

Sonuçlar, boyama öncesi yapılan yüzey aktivasyon işlemlerinin yapışma dayanımına etkilerinin önemini ortaya koymuştur. Bu etkiler su temas açısı ölçüm sonuçlarına bakıldığında görülebilmektedir. Yüzey aktivasyonu işlemi yapılmamış parçalarda ıslatılabilirlik kabiliyetinin az olmasından dolayı su temas açısı ortalama 98o ölçülmüş, bu değer alevle dağlama yapılarak 61°'ye, düşük hızda ABP uygulandığında 36o'ye kadar düşmüştür. Bu sonuçlar ABP işleminin polipropilen yüzeylerinde ıslatılabilirliği arttırmada etkili bir yöntem olduğunu kanıtlamıştır.

Boya yapışma mukavemeti, alevle dağlama ve 100 mm/s ve 30 mm/s hızlarında ABP aktivasyonu uygulanarak incelenmiştir. Yüzey aktivasyon işlemlerinin başarılı bir boyama prosesi için gerekli olduğu kanıtlanmıştır. ABP aktivasyonu işleminde plazma işlem hızının boyama kalitesini etkilediği görülmüştür. Yüzeyin maruz kaldığı plazma miktarının artmasıyla daha yüksek yapışma mukavemeti olduğu gözlemlenmiştir. Aktivasyon işleminden sonra astarsız boyama yapılmış polipropilenlerin yeterli dayanıma sahip olmadığı fakat işlem görmeyip astarsız boyanan numunelere göre bariz üstünlükleri olduğu görülmüştür. Astarsız boyanarak yeterli dayanıma sahip bir polipropilen yüzeyi elde edebilmek için başka çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır.

## SEMBOLELER

ABP : Atmosferik basınçlı plazma

PP : Polipropilen

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK BİDEB (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı) tarafından 119C206 proje numarası ile TÜBİTAK 2244 Sanayi Doktora Programı kapsamında desteklenmiştir.

## KAYNAKÇA

Alexander, C. S., Branch, M. C., Strobel, M., Ulsh, M., Sullivan, N., & Vian, T. (2008). Application of ribbon burners to the flame treatment of polypropylene films. *Progress in Energy and Combustion Science*, 34(6), 696–713. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.PECS.2008.04.004>

Carrino, L., Moroni, G., & Polini, W. (2002). Cold plasma treatment of polypropylene surface: A study on wettability and adhesion. *Journal of Materials Processing Technology*, 121(2–3), 373–382. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-0136\(01\)01221-3](https://doi.org/10.1016/S0924-0136(01)01221-3)



- Durmuş, A., Ülkü, S., Güden, M., & Faruk Otnar, Ö. (2005). Kauçuk/Metal Yapışma Mukavemetinin Belirlenmesi. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 10. Ebnesajjad, S. (2014). Material Surface Preparation Techniques. Surface Treatment of Materials for Adhesive Bonding, 95–138. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-26435-8.00006-X>
- Encinas, N., Abenojar, J., & Martínez, M. A. (2012). Development of improved polypropylene adhesive bonding by abrasion and atmospheric plasma surface modifications. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 33, 1–6. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2011.10.002>
- Esen, S.G. (2016). Otomobil tampon boya hatlarında plazma yüzey aktivasyonu ile yüzey enerjisinin kontrolü ve uygulanabilirliğinin araştırılması (Yüksek Lisans tezi, T.C. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya). Erişim adresi: <https://hdl.handle.net/20.500.12619/79738>
- Hwang, Y. J., An, J. S., McCord, M. G., Park, S. W., & Kang, B. C. (2003). The effect of etching on low-stress mechanical properties of polypropylene fabrics under helium/oxygen atmospheric pressure plasma. *Fibers and Polymers*, 4(4), 145–150. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF02908270>
- Kehrer, M., Rottensteiner, A., Hartl, W., Duchoslav, J., Thomas, S., & Stifter, D. (2020). Cold atmospheric pressure plasma treatment for adhesion improvement on polypropylene surfaces. *Surface and Coatings Technology*, 403 (September), 126389. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.126389>
- Kwon, O. J., Tang, S., Myung, S. W., Lu, N., & Choi, H. S. (2005). Surface characteristics of polypropylene film treated by an atmospheric pressure plasma. *Surface and Coatings Technology*, 192(1), 1–10. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2004.09.018>
- Leroux, F., Campagne, C., Perwuelz, A., & Gengembre, L. (2008). Polypropylene film chemical and physical modifications by dielectric barrier discharge plasma treatment at atmospheric pressure. *Journal of Colloid and Interface Science*, 328(2), 412–420. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2008.09.062>
- Machado, J. J. M., Gamarra, P. M. R., Marques, E. A. S., & da Silva, L. F. M. (2018). Numerical study of the behaviour of composite mixed adhesive joints under impact strength for the automotive industry. *Composite Structures*, 185, 373–380. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.COMPSTRUCT.2017.11.045>
- 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 (December), 1484–1493. Doi: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.611-612.1484>
- McCord, M. G., Hwang, Y. J., Hauser, P. J., Qiu, Y., Cuomo, J. J., Hankins, O. E., ... Canup, L. K. (2002). Modifying Nylon and Polypropylene Fabrics with Atmospheric Pressure Plasmas. *Textile Research Journal*, 72(6), 491–498. Doi: <https://doi.org/10.1177/004051750207200605>



- Mühlhan, C., Weidner, S., Friedrich, J., & Nowack, H. (1999). Improvement of bonding properties of polypropylene by low-pressure plasma treatment. *Surface and Coatings Technology*, 116–119, 783–787. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0257-8972\(99\)00203-0](https://doi.org/10.1016/S0257-8972(99)00203-0)
- Pandiyaraj, K. N., Ramkumar, M. C., Kumar, A. A., Vasu, D., Padmanabhan, P. V. A., Tabaei, P. S. E., ... Jaganathan, S. K. (2019). Development of phosphor containing functional coatings via cold atmospheric pressure plasma jet - Study of various operating parameters. *Applied Surface Science*, 488 (April), 343–350. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apusc.2019.05.089>
- Penkov, O. V., Khadem, M., Lim, W. S., & Kim, D. E. (2015). A review of recent applications of atmospheric pressure plasma jets for materials processing. *Journal of Coatings Technology and Research*, 12 (2), 225–235. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11998-014-9638-z>
- Sato, T., Ise, S., Horiuchi, S., Akiyama, H., & Miyamae, T. (2019). Influences of low-temperature ambient pressure N<sub>2</sub> plasma and flame treatments on polypropylene surfaces. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 93, 102322. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.IJADHADH.2019.01.016>
- Shabanpour, M., Mohammadhosseini, B., Khani, M. R., Khanjani, J., Shokri, B., & Ghassami, A. (2021). Flame versus air atmospheric gliding arc plasma treatment of polypropylene-based automotive bumpers: Physicochemical characterization and investigation of coating properties. *Polymer Engineering & Science*, 61(5), 1581–1593. Doi: <https://doi.org/10.1002/pen.25682>
- Shaw, D., West, A., Bredin, J., & Wagenaars, E. (2016). Mechanisms behind surface modification of polypropylene film using an atmospheric-pressure plasma jet. *Plasma Sources Science and Technology*, 25 (6). Doi: <https://doi.org/10.1088/0963-0252/25/6/065018>
- Upadhyay, D. J., Cui, N. Y., Anderson, C. A., & Brown, N. M. D. (2004). Surface oxygenation of polypropylene using an air dielectric barrier discharge: The effect of different electrode-platen combinations. *Applied Surface Science*, 229 (1–4), 352–364. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apusc.2004.02.012>
- Wang, K., Wang, W., Yang, D., Huo, Y., & Wang, D. (2010). Surface modification of polypropylene non-woven fabric using atmospheric nitrogen dielectric barrier discharge plasma. *Applied Surface Science*, 256 (22), 6859–6864. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apusc.2010.04.101>
- Williams, D. F., Abel, M. L., Grant, E., Hrachova, J., & Watts, J. F. (2015). Flame Treatment of Polypropylene: A Study by Electron and Ion Spectroscopies. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 63, 26–33. Doi: <https://doi.org/10.1016/J.IJADHADH.2015.07.009>
- Yaman, N., Özdoğan, E., Kocum, I. C., Ayhan, H., Öktem, T., & Seventekin, N. (2009). Improvement surface properties of polypropylene and polyester fabrics by glow discharge plasma system under atmospheric condition. *Tekstil ve Konfeksiyon*, 19 (1), 45–51.
- Zhang, P., Zhang, S., Kong, F., Zhang, C., Dong, P., Yan, P., ... Shao, T. (2020). Atmospheric-pressure plasma jet deposition of bumpy coating improves polypropylene surface flashover performance in vacuum. *Surface and Coatings Technology*, 387 (February). Doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2020.125511>