

# ATMOSFERİK PLAZMA İŞLEMİ KULLANILARAK FARKLI KAUÇUK VE NONWOVEN MALZEMELERİN YAPIŞMA DAVRANIŞININ İYİLEŞTİRİLMESİ

*Mehmet TURGUT* \*  
*Kadir ÇAVDAR* \*\*

Alınma: 10.05.2019; düzeltme: 19.03.2020; kabul: 22.03.2020

**Öz:** İki farklı malzemenin yapıştırılmasında eğer malzemelerden biri düşük yüzey enerjisine sahip ise yapışma problemleri görülmektedir. Kauçuk malzemenin farklı bir malzeme ile yapıştırılmasında istenilen mukavemeti elde edebilmek için yüzey enerjisini yükseltmeye ihtiyaç duyulabilmektedir. Bu makalede; atmosferik plazma işlemi yardımıyla malzeme yüzeyindeki enerji artışı sağlama çalışmaları kapsamında, farklı kauçuk malzemelerinin (NBR/HNBR/ACM/FKM) yüzeyi ile nonwoven yüzeyler arasında oluşan yapışmanın nitelik ve nicelik değişimleri incelenmiştir. Yapıştırma bağı döner mil keçelerinin çalıştığı ortam şartlarında da bağ yapısı bozulmadan korunmalıdır. Bu çalışma sonuçlarına göre, atmosferik plazma uygulaması kauçuk malzeme-nonwoven malzeme yapıştırma işlemlerinde kayda değer iyileşmeler sağlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Atmosferik plazma, kauçuk malzeme, yüzey işlemler, yüzey gerilimi, yapıştırma bağı

## Improvement of the Behavior Adhesive Bonding of Rubber and Nonwoven Materials using Atmospherically Plasma Treatment

**Abstract:** When bonding two different materials, if one of the materials has low surface energy, adhesion problems are observed. It may be necessary to increase the surface energy in order to obtain the desired strength when bonding the rubber material with a different material. In this research, within the scope of efforts to increase energy on the surface of the material using atmospheric plasma treatment, the quality and quantity changes of the adhesion formed between the surface of different rubber materials (NBR / HNBR / ACM / FKM) and nonwoven surfaces were examined. Adhesive bond rotary shaft seals should be protected without deteriorating bond structure even under ambient conditions. According to the results of this study, atmospheric plasma application provides significant improvements in rubber material-nonwoven material bonding processes.

**Keywords:** Atmospherically plasma, rubber, surface treatments, surface tension, adhesive bond

## 1. GİRİŞ

Otomotiv endüstrisinde yükselen beklentileri karşılamak amacıyla oluşturulan çözümlerle beraber yeni teknolojilere ya da var olan teknolojilerinin farklı endüstriyel alanlarda kullanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Atmosferik plazma ile yüzey işleme süreçleri de nispeten yeni bir teknoloji olmasına karşın gün geçtikçe yapıştırma, boyama ve yüzey temizleme işlemlerinde sağladığı avantajlarla ön plana çıkmaktadır. Bu çalışmada, döner mil keçelerinde sıkça kullanılan vulkanize

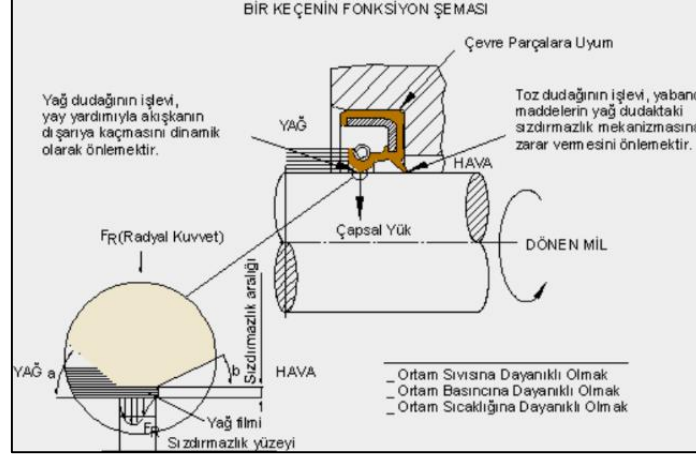
\* SKT Yedek Parça ve Makina San. ve Tic. A.Ş., OSB, Ali Osman Sönmez Bulvarı No:17 16140 Bursa

\*\* Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 16059 Bursa

İletişim Yazarı: Kadir Çavdar (cavdar@uludag.edu.tr)

edilmiş kauçuk malzemelerin dokumasız kumaş olarak bilinen nonwoven kumaşların yüzeyine yapıştırma sürecinde atmosferik plazma teknolojisinin kullanımı incelenmiştir.

Yağ keçeleri, farklı ortamlarda bulunan akışkanların birbirine karışmasını, yani sistemde bulunan yağın sistem içerisinde kalmasını sağlayan makine elemanlarıdır. Yağ keçelerinin buldukları sistemler kimi zaman döner kimi zamanda doğrusal hareket yaparak çalışmaktadırlar (<http://www.skt.com.tr/kece-omru>, 2018).



Şekil 1:

Bir keçenin fonksiyon şeması <<http://www.skt.com.tr/kece-omru>, 2018>

Şekil 1’de verilen şemada görülen keçe iki ana işlevsel dudakla sahiptir. Bu dudaklar aşağıda belirtilen şekilde tanımlanmaktadır:

- Yağ Dudak (Elastomer, PTFE v.b. malzemelerden oluşmaktadır)
- Toz Dudak (Elastomer, nonwoven v.b malzemelerden oluşmaktadır)

Kauçuk malzemeleri iki farklı şekilde üretmek mümkündür: Petrol ve alkol türevlerinden yapay olarak veya kauçuk bitkilerinden doğal olarak. Kauçuğun esas anlamı Hevea brasiliensis olarak bilinen ağaçtan üretilen malzeme olarak bilinmesinin yanında günümüzde ise kauçuk terimi, malzemeye etki eden kuvvetin ortadan kalmasıyla beraber başlangıç konumuna tekrar gelebilen malzemelerde kullanılmaktadır (Vahapoğlu, 2013).

Poliakrilik (ACM) Kauçuk: Bu tür yağların yanında greslere karşı da aynı direnci göstermektedir. ACM kauçuk, akrilik asit stilerin monomerlerinin birleşmesiyle ortaya çıkmaktadır. Yağ keçelerinde tercih edilmesinin en önemli sebepleri yaşlanmaya ve esnek çatlamalara karşı gösterdikleri dirençten dolayıdır. Subap keçelerinin kullanım yerlerinde FKM kauçuğa alternatif olarak kullanılmaktadır. Sistemlerde maksimum çalışma sıcaklığı olarak 180°C’ye çıkmasının yanında, düşük sıcaklık karakteristikleri pek önemli değildir ve suya karşı mekanik dayanımı ve direnci genelde yetersizdir (Erbil, 2008).

NBR Kauçuk: NBR kauçuklar gres ve yağa karşı dayanıklıdır. Nitril, butadien ve akrilonitrilin kimyasal bileşiminden ortaya çıkmaktadır. Bu yapısı diğer elastomerlere göre daha kuvvetlidir. Malzemenin içerdiği nitril miktarı ve viskozitesi %18’den %48’e yükseldikçe petrol içerikli yağlara, hidrokarbonlara dayanımları ve sıcaklık ve sertlik dirençleri de artar. Nitril oranının azaltılması ile düşük sıcaklık bulunan ortamlarda da esneklik özelliği de azalır. Çalışma sıcaklığı genel olarak -40 °C ile 105°C iken kısa süreli 120°C’ye çıkabilmektedir (Erbil, 2008).

HNBR kauçuk: Yüksek sıcaklık bulunan ortamlarda yüksek gerilim dayanımı gerektiriyorsa NBR, EPDM ile FKM kauçuk arasında bir özellik gösterirler. Tamamen doymuş halde bulunan NBR’ler peroksitler ile çapraz bağ meydana getirirler. Bu çift bağ boyunca meydana gelen peroksit çapraz bağlar, ısı kararlılık ve oksidasyon dengesi özelliklerini iyileştirirler. Böylelikle elastomer iyi bir mekanik dayanım ve gelişmiş aşınma direnci ile karakterize olmaktadır. Genellikle ortam sıcaklığının -30°C ile +150°C olduğu durumlarda tercih edilirler. (<http://www.paromak.com/hidrojen-nitril-kaucuk.html>, 2016).

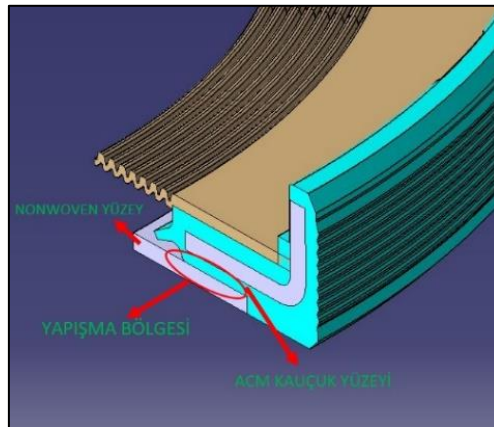
FKM Kauçuk: Ozonun ve yüksek sıcaklığın yanında aşındırıcı kimyasallar içeren ortamlarda sıkça tercih edilir. Otomotiv endüstrisinde de döner mil keçesi malzemesi olarak kullanılır. Ortam şartlarının  $-30^{\circ}\text{C}$  ile  $220^{\circ}\text{C}$  olduğu durumlara uygundur (Erbil, 2008).

PTFE: Yüksek sıcaklık ve düşük sıcaklık gereken ortamlarda tercih edilmektedir. Çalışma sıcaklıkları  $-200^{\circ}\text{C}$  ile  $260^{\circ}\text{C}$  arasındadır. Bunun yanında bulunduğu ortamlardaki kimyasal malzemelere karşı yüksek dayanım gösterirler. PTFE, sızdırmazlık elemanları ve birçok endüstriyel alanda tercih edilmektedir. Tercih edilmesindeki başlıca nedenler; çok düşük sürtünme katsayısı ve stick-slip özelliğine sahip olmasının yanında yeterli seviyede mekanik özellikler olarak sıralanabilir. Düşük aşınma direncine sahip olması PTFE malzemesinin dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu özelliğini arttırmak için alaşımli PTFE'ler kullanılmaktadır (Cam elyafı, karbon, bronz v.b.). Sızdırmazlık elemanlarının yağlamasız çalışan ve stick-slip istenmeyen ortamlarında tercih edilen bir malzemedir (Erbil, 2008).

Nonwoven malzeme farklı elyafların değişik üretim teknikleri ile işlenmesi sonucunda üretilen güçlü performansa sahip dokunmamış kumaşlardır. Nonwoven malzemeler görsellik, dayanıklılık ve dokusal olarak geleneksel tekstil ürünlerinin benzer yapılarına bürünebilirler. Su emici olan malzemeye belirli bir kalınlık da verilebilmektedir. (<http://www.napal.com.tr/sayfalar.asp?LanguageID=2&cid=31&id=39>).

Epoksi Yapıştırıcı: Termoset yani sıcakta sertleşen reçine malzemelerdir. Genellikle epoksi yapıştırıcılar reçine/sertleştirici olarak iki bileşenli yapıya sahip sistemlerdir. Bu yapıştırıcılar karıştırma işlemi ile beraber sertleşir. Süreci hızlandırmak amaçlı sistemi ısıtmak mümkündür. Tek bileşenden oluşan epoksiler, parçalara ayrı ayrı uygulanarak karıştırılır, sertleşme için ısıtmak gerekir. Epoksi yapıştırıcılar, diğer yapıştırıcılara nazaran yüksek sürünme özelliği ve kesme (makaslama) dayanımlı bağlar meydana getirirler. Ancak darbe ve soyulma dayanımları daha kötüdür. İki bileşenli epoksi yapıştırıcıların çalışma sıcaklıklarının  $-50$  ile  $80^{\circ}\text{C}$  arasında iken bu özelliğinin metal dolgulu karışımlarında  $-50^{\circ}\text{C}$  ile  $120^{\circ}\text{C}$  arasında karşımıza çıkmaktadır. Uygulama esnasında bileşenlerin karışımı ve ölçümüne dikkat etmek gerekmektedir. Yapıştırıcı, yapıştırılmak istenen yüzeylerden birine uygulanır ve parçalarda yeterli yapışma dayanıma ulaşıncaya kadar bir kuvvet altında tutulur (<http://artiendustri.com.tr/yazi/epoksi-yapistiricilar-ve-kullanim-alanlari>).

Bu çalışmada kullanılan yüzeyler, kauçuktan oluşan sızdırmazlık yüzeyi ile nonwoven yüzeyidir. Nonwoven yüzey yapısı gereği kullandığımız yapıştırıcıyı emerek yapıştırıcının tutunmasında (yüzeylerin birbirine yapışmasında) herhangi bir problem oluşturmazken diğer yüzey olan kauçuk yüzeyde yapıştırıcı tutunamamaktadır, Şekil 2. Bu problemin çözümü için kauçuk yüzeyinde yapışma kalitesini arttıracak çözümler araştırılmıştır.



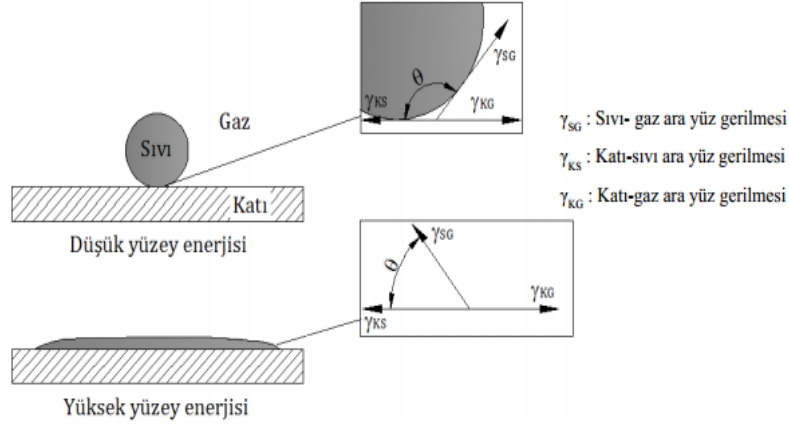
**Şekil 2:**

*Çalışmada kullanılan nonwoven ve ACM kauçuk yüzeyler*

Yapıştırma sürecinin iyileştirilmesi için akla ilk gelen yol yapıştırıcı uygulanan yüzeyinin pürüzlülüğün artırılmasıdır. Bunun da en basit yolu olarak uygulanan bölgeye zımpara yapılarak

denemeler yapılmasıdır. Bu yöntem sayesinde yapışma kuvvetinde artmalar görülmüştür, ancak prosesin kararlılığı ve iş güvenliği açısından istenilen sonuçlara ulaşılamamıştır.

İki farklı yüzeyde yapışmayı sağlayan teori adezyon teorisidir. Bu teorinin temelini yüzey enerjisi ve adsorpsiyon teorisi oluşturmaktadır. Bu teorinin anlaşılabilmesi için öncelikle yüzey temas açısı açıklanmalıdır, Şekil 3.



**Şekil 3:**

*Çalışmada kullanılan nonwoven ve ACM kauçuk yüzeyler <Şekercioğlu ve Kaner, 2014>*

Şekil 3'te iki farklı katı yüzey üzerinde duran sıvı taneciklerinin oluşturduğu temas açıları gösterilmiştir. Yüzey geriliminin ( $\gamma$ ) farklı fazlar arasındaki değerleri farklıdır. Bu fazlar arasında bağıntı Young denklemi ile ifade edilir:

$$\gamma_{KG} - \gamma_{KS} = \gamma_{SG} \cdot \cos \theta \quad (1)$$

Düşük yüzey enerjisine sahip ve yüksek yüzey enerjisine sahip katı yüzeyler üzerinde bulunan sıvı taneciklerinin oluşturduğu temas açıları ile ortaya çıkan Yayılma katsayısına (S) ait denklem, katı, sıvı ve gaz fazların yüzey gerilimleri arasındaki farkla hesaplanır:

$$S = \gamma_{KG} - \gamma_{SG} - \gamma_{KS} \quad (2)$$

Yayılma katsayısından çıkan sonuca göre;  $S > 0$  ise yayılma oluşur,  $S < 0$  ise yayılma oluşmaz. Sıvının katı yüzeye yayılması istenen durumlarda, kullanılan sıvı malzemesinin yüzey gerilimi ile katı malzemenin kritik yüzey gerilim değerleri birbirine eşit veya küçük olması gerekmektedir. İki farklı yüzeyin yapışması (adezyon) için gerekli iş miktarı da:

$$W_A = \gamma_{KG} + \gamma_{SG} - \gamma_{KS} \quad (3)$$

şeklinde tanımlanır. Adezyonun iyi olmasının istendiği durumlarda iş miktarının maksimize olması gerekmektedir. Bunun için  $\gamma_{KG}$  ve/veya  $\gamma_{SG}$  değerlerinin yüksek olması ya da  $\gamma_{KS}$  değerinin düşük olması gerekli iş miktarının maksimize olmasını sağlayacaktır. Bu hedef doğrultusunda  $\gamma_{KG}$  ve/veya  $\gamma_{SG}$  değerlerinin artırılması; yüksek yüzey enerjisine sahip katı yüzey ya da yüksek yüzey enerjisine sahip sıvı ile oluşturulabilir. Ancak,  $\gamma_{SG}$  değerinin yüksek olması, yayılma katsayısının negatif değere ulaşacağı için tercih edilmemektedir. Katı yüzeyde bulunan serbest enerji miktarının artırılması ile katı ve gaz fazı arasındaki yüzey gerilimini arttırmak mümkündür. Bu işlem için de atmosferik plazma yüzey ön işleme yöntemi uygundur.

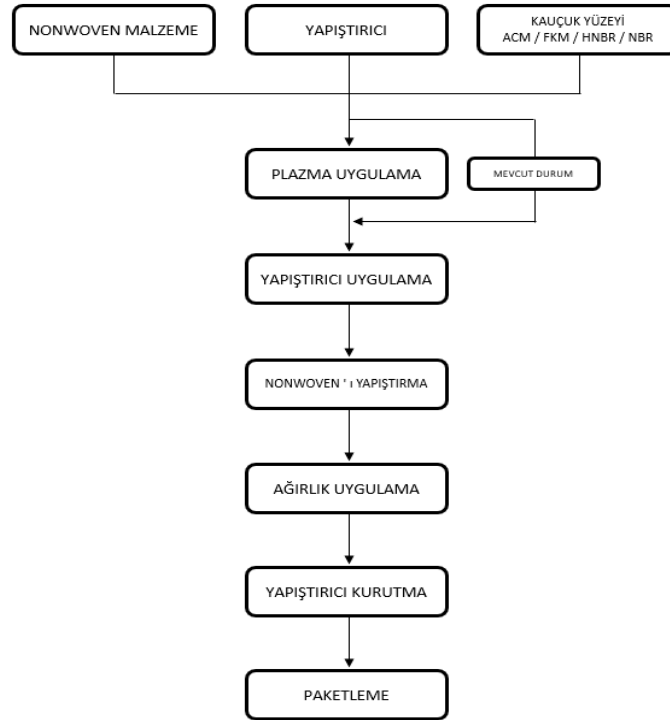
Plazma, enerji seviyesi yüksek ve kararsız bir maddeyi belirtmektedir. Enerji girişi; katı, sıvı ve gaz agregasyon halleri üzerinden gerçekleşir. Gaz halindeki maddeye ek olarak elektriksel

boşalma yoluyla enerji girişinde bulunulursa plazma oluşur. Bu esnada elektronlar atom kabuğundan kopabilirler ve bağlar ayrılır. Bu da serbest elektron, iyon ve molekül fragmanlarının oluşumlarıyla sonuçlanır. Normal basınç altında bu durum kararsızlığından dolayı neredeyse kullanılamaz. Plazmalardaki nozul (plazma çıkış lülesi) sistemi sayesinde bu durum endüstriyel amaçlar için kullanılabilir hale gelmiştir. Nozullar sadece hava ile veya bir işlem gazı kullanılarak yüksek gerilim ile çalıştırılırlar. Oluşan plazma nozul geometrisine bağlı olarak 25 mm genişlik ve 40 mm işleme mesafesinde etkin bir şekilde kullanılabilir. Kimyasal kullanılmaksızın ve mevcut süreç akışına önemli bir müdahale olmadan üretimde inovatif ve uygun maliyetli yüzey işlemleri sağlanabilir. Yüzeğe uygulanan atmosferik plazma işlemi ile yüzeyde hassas temizlik yapılır ve yüzey üzerinde bulunan çözücü maddelerden ve katkı maddelerinden arındırılır. Bu sayede yapıştırıcıların ve kaplamalarında yüzeye tutunması sağlanmış olur (<https://www.relyon-plasma.com>).

## 2. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde yapılan çalışmalarda kullanılan yöntem özetlenmiştir. Öncelikli olarak kauçuk malzemelerinin çapraz bağlanma işlemini gerçekleştirmek amacı ile her kauçuğun kendine ait Vulkanizasyon parametreleri ile vulkanize edilmesi sağlanmış ve ACM - FKM – HNBR kauçukları için postcure operasyonu yapılarak çapraz bağlanma işlemi tamamlanmıştır. Parçaları yapıştırma işleminin adımları sistematik şekilde belirlenmiştir, Şekil 4.

Deneyde kullanılan kauçuk numuneler için öncelikle yoğunluk, sertlik (ShA ve IRHD) ve numuneler için yüzey pürüzlülük değerleri için ölçümler yapılmıştır, Tablo 1.



**Şekil 4:**  
Yapıştırma işleminde değişen işlem akışı

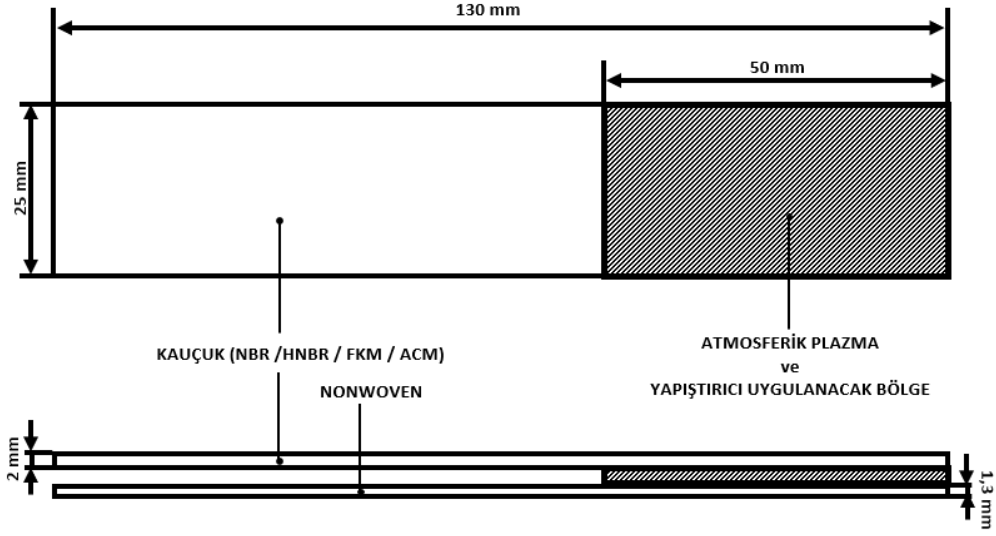
**Tablo 1. Numuneler için sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve yoğunluk değerleri**

	SERTLİK		YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜ (µm)			YOĞUNLUK
	ShA	IRHD	R <sub>a</sub>	R <sub>z</sub>	R <sub>zmax</sub>	g/cm <sup>3</sup>
ACM - 1 PLAZMASIZ	76,4	74,9	0,290	1,547	3,424	1,34
	77,3	76,4	0,204	1,162	3,568	1,33
	78	76,4	0,282	1,981	2,320	1,34
ACM - 1 PLAZMALI	78,9	77	0,257	2,630	3,792	1,33
	76,5	76,5	0,490	3,885	4,896	1,34
	77,3	77,3	0,276	2,080	3,120	1,33
ACM - 2 PLAZMASIZ	79,2	76,2	0,231	1,479	5,840	1,44
	78,2	75,8	0,256	1,611	6,000	1,43
	78,9	76,8	0,286	1,946	2,992	1,44
ACM - 2 PLAZMALI	79,4	77,3	0,363	2,954	7,328	1,44
	79,4	76,5	0,293	2,496	4,352	1,45
	77,6	75,8	0,459	2,845	3,056	1,44
FKM PLAZMASIZ	76,8	71	0,517	4,739	5,424	2,26
	76,6	72,2	0,593	4,504	5,136	2,27
	77,1	72,6	0,508	3,869	5,568	2,26
FKM PLAZMALI	76,2	71	0,695	4,723	5,632	2,25
	76,2	71,7	0,463	3,766	5,568	2,25
	76,5	72,7	0,423	3,085	3,312	2,26
HNBR PLAZMASIZ	84,6	84,5	0,366	2,119	4,336	1,21
	84,3	85	0,414	2,224	4,368	1,23
	85	83,8	0,312	2,240	2,528	1,22
HNBR PLAZMALI	86,1	84,1	0,318	3,158	7,200	1,23
	84,8	83,8	0,609	3,984	5,168	1,22
	85,4	83,4	0,385	2,611	3,824	1,23
NBR PLAZMASIZ	74,9	73,9	0,514	3,733	4,480	1,21
	75,1	73,1	0,474	3,955	6,560	1,21
	75,8	73,1	0,373	3,146	4,976	1,21
NBR PLAZMALI	76,2	73,9	0,351	2,550	3,360	1,21
	75,6	73,6	0,285	2,294	3,008	1,21
	76,4	73,7	0,406	2,374	3,104	1,22

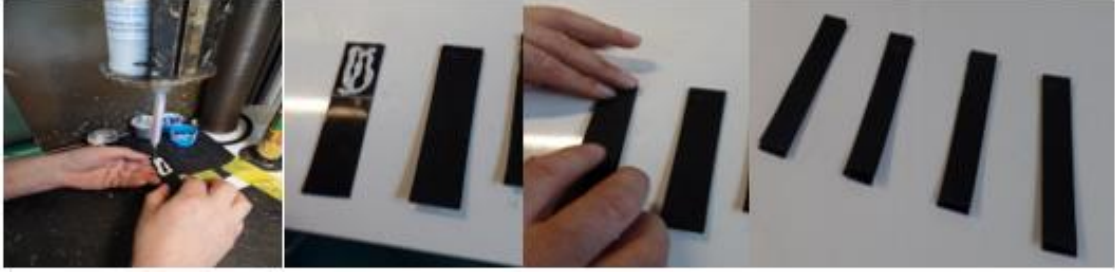
Bu aşamadan sonra plaka halinde üretilen 2 mm kalınlığındaki ACM / NBR / HNBR / FKM kauçuklar ve 1,30 mm kalınlığındaki Nonwoven malzemeler 25x130 mm ölçülerinde kesilmiştir. Kesilen kauçuk parçanın uç kısmından itibaren plazma ve yapıştırma işlemlerinin uygulanacağı 50 mm'lik bölüm işaretlenmiştir. İşaretlenen 25x50 mm boyutundaki alana yapıştırıcı uygulanmış ve üzeri yün ile kapatılmıştır, Şekil 5-6. Atmosferik plazma uygulanan numunelerde, yapıştırıcı uygulaması yapılmadan önce işaretlenen bölgelere plazma işlemi (Şekil 7) uygulanmıştır.

Hazırlanan numuneler için yapıştırma öncesi numunelerin kauçuk ve nonwoven kütleleri ayrı ayrı alınmış ve ardından yapıştırıcı uygulanmış toplam kütleler kaydedilmiştir, Tablo 2.

Yapıştırma işleminin ardından test numuneleri 9,4 kg'lık ağırlık altında 4 saat bekletilmiştir. Bekletilme işlemi sonrasında, test numunelerinin yapıştırıcı uygulanmamış kısımdaki uçları tensometre çenelerine tutturularak 50 mm/dk hızla çekme işlemi uygulanmıştır, Şekil 8. Yapıştırma bağının davranışına ait değerler raporlanmıştır.



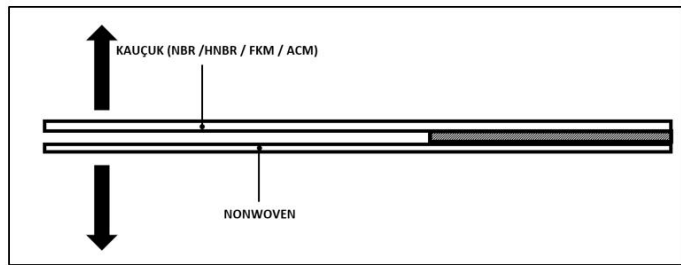
**Şekil 5:**  
*Yapılan çalışmada hazırlanan numune boyutları*



**Şekil 6:**  
*Yapılan işlemler (Atmosferik Plazma Uygulanmamış)*



**Şekil 7:**  
*Yapılan işlemler (Atmosferik Plazma Uygulanmış)*



**Şekil 8:**  
*Numunelere uygulanan yapışma kuvvetinin ölçülmesi*

**Tablo 2. Numunelerin kütle değerleri**

	Kauçuk Kütlesi (gr)	Nonwoven Kütlesi (gr)	Toplam Kütle (gr)	Yapıştırıcı Kütlesi (gr)
ACM - 1 PLAZMASIZ	9,01	1,57	11,36	0,78
	8,5	1,42	10,76	0,84
	8,44	1,58	10,81	0,79
ACM - 1 PLAZMALI	8,32	1,47	10,59	0,8
	8,57	1,55	10,95	0,83
	8,4	1,56	10,73	0,77
ACM - 2 PLAZMASIZ	8,87	1,49	11,19	0,83
	9,54	1,43	11,75	0,78
	9,6	1,41	11,82	0,81
ACM - 2 PLAZMALI	9,64	1,46	11,92	0,82
	8,96	1,52	11,31	0,83
	9,42	1,48	11,67	0,77
FKM PLAZMASIZ	15,06	1,54	17,39	0,79
	14,82	1,45	17,05	0,78
	14,85	1,47	17,12	0,8
FKM PLAZMALI	14,05	1,53	16,42	0,84
	14,7	1,56	17,04	0,78
	15,33	1,49	17,58	0,76
HNBR PLAZMASIZ	8,22	1,55	10,54	0,77
	7,81	1,53	10,16	0,82
	7,52	1,57	9,94	0,85
HNBR PLAZMALI	7,66	1,42	9,88	0,8
	8,12	1,51	10,41	0,78
	7,54	1,54	9,93	0,85
NBR PLAZMASIZ	8,31	1,44	10,53	0,78
	7,64	1,47	9,89	0,78
	8,16	1,55	10,46	0,75
NBR PLAZMALI	7,65	1,54	10,01	0,82
	7,74	1,52	10,11	0,85
	8,27	1,52	10,61	0,82

Deneylere başlanılmadan önce plazmanın uygunluğunun kontrol edilmesi amacı ile su kırılma testi de uygulanmıştır. Yapılan çalışma serbest su kırılması olarak da bilinmektedir. Atmosferik plazma uygulanmış yüzey üzerine film tabakası şeklinde su uygulanır. Uygulama esnasında kullanılan su damıtılmış temiz su olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Uygulama yapılan yüzeyde su içinde kırılma varsa bu bölgenin kirli olduğu anlaşılır. Kırılmanın olduğu bölgelerde yapışmanın daha iyi gerçekleşebilmesi için bu bölgelere ayrıca atmosferik plazma yüzey ön işlem uygulaması yapılmalıdır. Şekil 9'da atmosferik plazma işleminin uygun olarak ve uygunsuz uygulandığı numuneler görülmektedir.

### 2.1. Test Sonuçları

Atmosferik plazma uygulanmış ve uygulanmamış test numunelerine ait deney sonuçlarının özeti Tablo 3'te verilmiştir.

Atmosferik plazma uygulanmış ve uygulanmamış parçalara ait grafik sonuçları da Şekil 10'da verilmiştir.





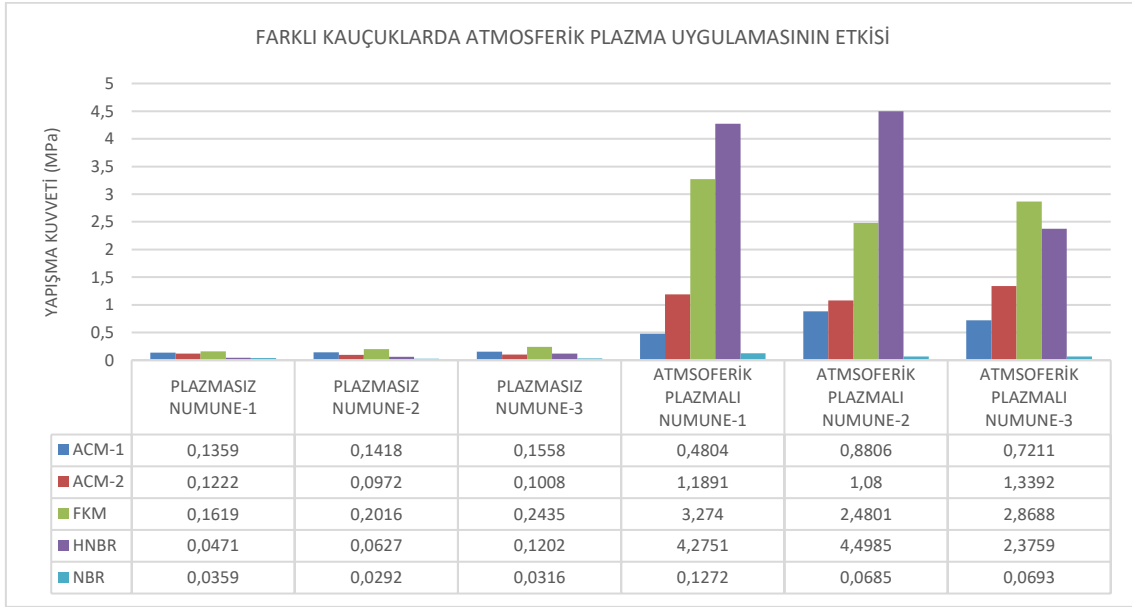
**Şekil 9:**  
*Atmosferik plazma uygulanmış parçalar için su kırılma testi*

**Tablo 3. Numunelerin yapışma kuvvetlerine ilişkin örnek değerler**

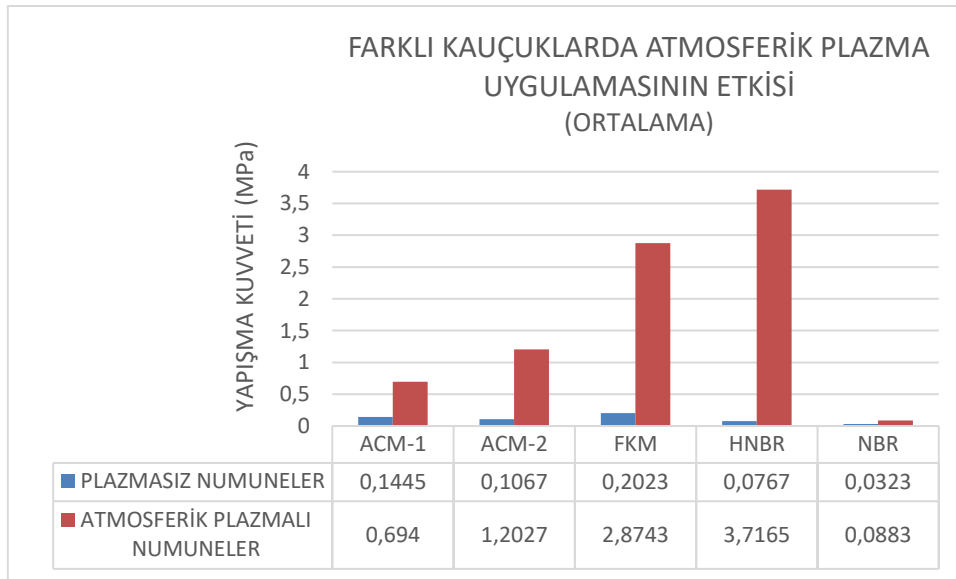
NUMUNE TANIMI	YAPIŞMA KUVVETİ (N/mm)	YAPIŞMA KUVVETİ (N/mm)	NUMUNE TANIMI	YAPIŞMA KUVVETİ (N/mm)	YAPIŞMA KUVVETİ (N/mm)
ACM 1 PLAZMASIZ / NUMUNE 1	0,1359	0,1445	PLAZMA UYGULANMAMIŞ_ZIMPARA UYGULANMIŞ NUMUNELER_NUMUNE 34	0,2737	0,2282
ACM 1 PLAZMASIZ / NUMUNE 2	0,1418		PLAZMA UYGULANMAMIŞ_ZIMPARA UYGULANMIŞ NUMUNELER_NUMUNE 35	0,2065	
ACM 1 PLAZMASIZ / NUMUNE 3	0,1558		PLAZMA UYGULANMAMIŞ_ZIMPARA UYGULANMIŞ NUMUNELER_NUMUNE 36	0,2046	
ACM 1 PLAZMALI / NUMUNE 4	0,4804	0,6940	PLAZMA ve ZIMPARA UYGULANMIŞ NUMUNELER_NUMUNE 37	0,9711	0,9216
ACM 1 PLAZMALI / NUMUNE 5	0,8806		PLAZMA ve ZIMPARA UYGULANMIŞ NUMUNELER_NUMUNE 38	1,1172	
ACM 1 PLAZMALI / NUMUNE 6	0,7211		PLAZMA ve ZIMPARA UYGULANMIŞ NUMUNELER_NUMUNE 39	0,6764	

Atmosferik plazma uygulanmış ve uygulanmamış parçalara ait ortalama değerleri içeren grafik sonuçları da Şekil 11’de görülmektedir. Şekil 12 ve 13 ise atmosferik plazma uygulanmış ve uygulanmamış numuneler üzerinde gerçekleştirilen tensometre deney sonuçlarının bir bölümünü açıklamaktadır.

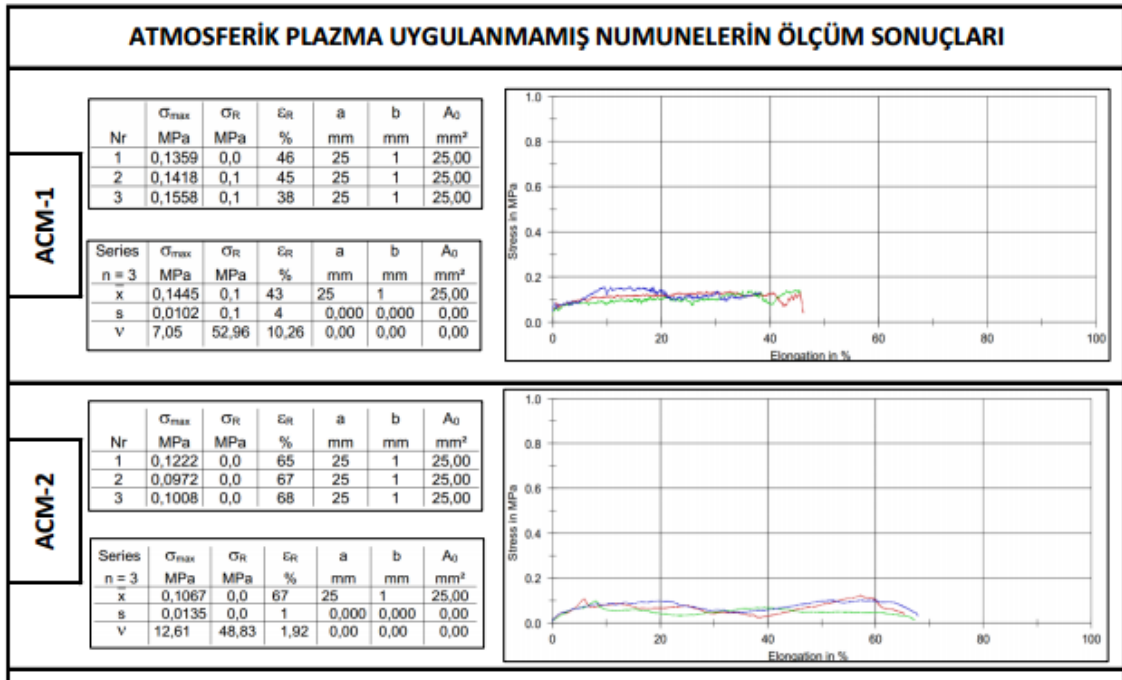
Atmosferik plazma yüzeyi uygulanmış ve uygulanmamış test plakalarına ait parça fotoğrafları da Şekil 14’de görülmektedir. Bu görüntülere göre; plazma işlemi uygulanmış numunelerde yapıştırıcının her iki farklı malzemede de kaldığı ancak plazma işlemine tabi tutulmamış numunelerde yapıştırıcının çok büyük kısmının nonwoven malzeme üzerinde kaldığı açıkça anlaşılmaktadır. Deney sonuçlarına göre de atmosferik plazma uygulaması her kauçuk türünde yapışma kuvvetini arttırmıştır.



**Şekil 10:**  
Numunelerin yapışma kuvvetlerine ilişkin ölçüm sonuçları

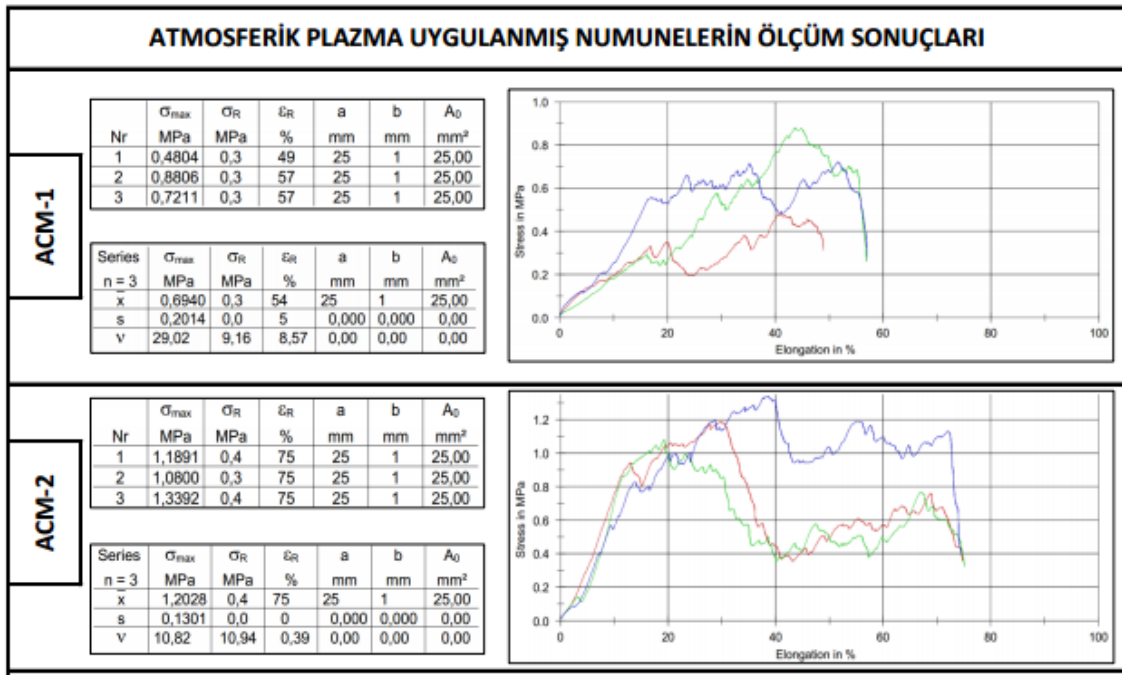


**Şekil 11:**  
Numunelerin yapışma kuvvetlerine ilişkin ölçüm sonuçları



**Şekil 12:**

*Atmosferik Plazma Uygulanmamış Numunelere ait Örnek Tensometre Çıktıları*



**Şekil 13:**

*Atmosferik Plazma Uygulanmış Numunelere ait Tensometre Çıktıları*



**Şekil 14:**

*Atmosferik plazma yüzeyi uygulanmış ve uygulanmamış test plakalarında kalan yapıştırıcı (Sol: Plazma uygulanmış, Sağ: Plazma uygulanmamış numune)*

### 3. SONUÇLAR

Endüstrinin hızla gelişmesiyle oluşturulan çözümler özellikle otomotiv sektöründe ortaya çıkan problemlere hızlı çözümler sunmaktadır. Atmosferik plazma yüzey işleme yöntemi de farklı malzemelerin yapıştırılmasında tasarımcılara özel imkânlar sağlayabilecek bir yöntemdir. Bu çalışmada farklı kauçuk malzemelerin yapıştırılması konusunda deneysel çalışmalar yardımı ile farklı sonuçlara ulaşılmıştır. Yukarıda özetlenen deneysel çalışmaların ardından aşağıdaki çıkarımları yapmak mümkündür:

- İki farklı malzeme grubunun (kauçuk-nonwoven ikilisi) yapışmasında, ilave yüzey işlem uygulanan tüm numunelerde yapışma dayanımının arttığı görülmüştür, Şekil 10.
- Ortalama yapışma kuvveti değerleri incelendiğinde, atmosferik plazma uygulanmış numunelerden en fazla yapışma kuvveti artışı HNBR kauçukta gerçekleşmiş olup yaklaşık artış miktarı 48,46 kattır, Şekil 11. Ayrıca en yüksek yapışma dayanımına da HNBR kauçukta ulaşılmıştır.
- Ortalama yapışma kuvveti değerleri incelendiğinde, atmosferik plazma uygulanmış numunelerden en az yapışma kuvveti artışı NBR kauçukta gerçekleşmiş olup yaklaşık artış miktarı 2,73 kattır, Şekil 11.
- Aynı şartlar altında uygulanan atmosferik plazma işleminin, yapışma kuvvetinde meydana getirdiği artışların her kauçuk malzeme için farklı oranlarda olduğu anlaşılmaktadır.
- Yapılan çalışmalarda basılan kauçuk numuneler için tek bir kalıp kullanılmıştır. Ancak Tablo 1’den anlaşılacağı üzere; aynı kalıp kullanılarak basılmış numunelerde farklı kauçuklarda farklı yüzey pürüzlülüğünün olduğu görülmüştür.
- Şekil 14 incelendiğinde, atmosferik plazma uygulanmış numunelerde yapıştırıcının hem kauçuk hem de nonwoven yüzeyde kaldığı görülmüştür.

Sonuç olarak; bu yayında özetlenen deneysel çalışmaların sonuçlarına göre öncelikle yapışma kuvvetine yüzey geriliminin etkisi pozitifdir. Atmosferik plazma işlemi kauçuk malzemelerde her halükarda yüzey geriliminin artırılmasında etkin şekilde kullanılabilir bir yöntemdir. Burada; uygulama süresi, uygulama mesafesi gibi parametrelere dikkat edilmelidir.

## KAYNAKLAR

1. Erbil A. E. (2008), *Dönel sızdırmazlık elemanlarının performansına yüzey pürüzlülüğünün etkileri*, İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
2. Erbil A. E. (2008), *Statik sızdırmazlık elemanlarının performans karakteristiklerinin deneysel analizi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi.
3. <http://artiendustri.com.tr/yazi/epoksi-yapistiricilar-ve-kullanim-alanlari>, (2019), Erişim Tarihi: 03.05.2019, Konu: Epoksi Yapıştırıcılar ve Kullanım Alanları.
4. <http://www.napal.com.tr/sayfalar.asp?LanguageID=2&cid=31&id=39>, (2013), Erişim Tarihi:10.02.2019, Konu: Nonwoven Nedir?.
5. <http://www.paromak.com/hidrojen-nitril-kaucuk.html>, (2016), Erişim Tarihi: 20.04.2019, Konu: Hidrojen Nitril Kauçuk.
6. <http://www.skt.com.tr/kece-omru>, Erişim Tarihi: 09.05.2019, Konu: Sızdırmazlık Mekanizması ve Keçe Ömrü.
7. <https://www.relyon-plasma.com>, (2019), Erişim Tarihi: 12.02.2019, Konu: Atmosferik Plazma Tekniği.
8. Şekercioğlu T. ve Kaner S. (2014), *Plastik yapıştırılmasında yüzey hazırlama yöntemlerinin incelenmesi*, Mühendis ve Makina, 55: 648, 37-43.
9. Vahapoğlu V. (2013), *Kauçuk Türü Malzemeler: Sınıflandırma*, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 4 (1): 25-34.

