YÜZEY HAZIRLAMA İŞLEMLERİNİN KAUÇUK İLE METALİN YAPIŞMASINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Gizem KAYA

T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜZEY HAZIRLAMA İŞLEMLERİNİN KAUÇUK İLE METALİN YAPIŞMASINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Gizem KAYA
0009-0009-9294-0414

Doç. Dr. Betül Sultan YILDIZ
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
YÜZEY İŞLEM VE TEKNOLOJİLERİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2024
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

Yüksek Lisans/Doktora Tezi

YÜZEY HAZIRLAMA İŞLEMLERİNİN KAUÇUK İLE METALİN YAPIŞMASINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Gizem KAYA

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüzey İşlem ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Betül Sultan YILDIZ

Kauçuk ile metal parçalar günümüzde çeşitli sektörlerde farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Otomotiv sektöründe, hava süspansiyon körüklerinde bağlantı elemanı olarak kullanılan metal parça ile kauçuk parçanın birleşmesi için; metal parça yüzeyine yapıştırıcı sistem uygulanır. Burada kullanılan metal parçaya boyalı tas adı verilir. Vulkanizasyon adı verilen sıcaklık ve basınç altındaki pişirme işlemi sayesinde boyalı tas ile kauçuk arasında bağ oluşur. Bu bağın yeterli miktarda olması; hava süspansiyon körüğünün kritik özelliklerinden biri olan sızdırmazlık özelliği kazanması açısından önem taşımaktadır.

Boyalı tasların üretim aşamaları; yağ alma, kumlama, aktivasyon, fosfatlama, durulama, pasivasyon ve kurutma işlemleridir. Bu işlemler; kauçuk ile metalin birleştirilmesi için metal parçanın yüzeyine uygulanan ve yapışma kuvvetine etki eden kritik işlemlerdir.
Bu çalışmada hava süspansiyon körüklerinde kullanılan boyalı alt tasın üretim aşamalarındaki yüzey hazırlama işlemlerine ait değişkenlerin, yapışma mukavemetine olan etkisi incelenmiştir. Yüzey hazırlık işlemleri sırasındaki sıcaklık, konsantrasyon, viskozite gibi kriterler sayısal olarak ölçülmüş ve ASTM D429 standardına göre test numuneleri hazırlanmıştır. Deneysel tasarımda ortogonal tablolar kullanılmıştır. Numuneler hazırlanırken aynı kauçuk lotu kullanılmış ve vulkanizasyon süresi sabit tutulmuştur. Bu numuneler kopma uzama test cihazı yardımıyla test edilmiş ve yapışma kuvvetleri incelenmiştir. Yüzey hazırlık işlemlerindeki banyoların temizliğinin ve fosfatlama işleminin yapılmasının kauçuk metal yapışmasını artırıcı yönde etkisi olduğu tespit edilmiş ve ön yıkama işleminin ise anlamlı bir fark oluşturmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metal-kauçuk ara bağlantısı, yapışma kuvveti, yüzey hazırlama işlemleri, vulkanizasyon

2024, xiii + 56 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SURFACE PREPARATION PROCEDURES ON THE ADHESION OF RUBBER AND METAL

Gizem KAYA

Bursa Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Surface Treatment and Technologies

Supervisor: Assoc. Dr. Betül Sultan YILDIZ

Today, rubber and metal parts are used for different purposes in various sectors. In the automotive sector, in order to join the metal part used as a connecting element in air suspension bellows and the rubber part; an adhesive system is applied to the surface of the metal part. The metal part used here is called a painted bowl. Thanks to the cooking process under temperature and pressure called vulcanization, a bond is formed between the painted bowl and the rubber. The sufficient amount of this bond is important in terms of sealing, which is one of the critical features of the air suspension bellows.

The production stages of the dyed stones are degreasing, sandblasting, activation, phosphating, rinsing, passivation and drying processes. These processes are critical processes that are applied to the surface of the metal part for joining rubber and metal and affect the adhesion force.

In this study, the effect of the variables of surface preparation processes during the production stages of the painted substrate used in air suspension bellows on the adhesion strength was investigated. Criteria such as temperature, concentration, viscosity during surface preparation processes were measured numerically and test specimens were prepared according to ASTM D429 standard. Orthogonal tables were used in the experimental design. The same rubber lot was used for the preparation of the specimens and the vulcanization time was kept constant. These specimens were tested with the help of elongation at break tester and their adhesion strength was analyzed. It was found that the cleaning of the baths in the surface preparation processes and the phosphating process had an effect on increasing the rubber-metal adhesion, and it was concluded that the pre-washing process did not make a significant difference.

Key words: Metal-rubber interconnection, adhesion strength, surface preparation processes, vulcanization

2024, xiii + 56 pages.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteğini esirgemeyen ve teşvik eden Upk Otomotiv Yan San. ve Tic. A.Ş. yönetimi, bölüm yöneticim Sn. Filiz ÖZDEMİR ve tez çalışmasının deney numunelerinin hazırlanması aşamasında tesisin tüm imkanlarını şeffaflıkla paylaşan Latif Kalıp Kauçuk San. Tic. Ltd. Şti. fabrika müdürü Sn. Y. Çağatay DEREBAŞI ve firma çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın her aşamasında yönlendirici ve destekleyici yaklaşımı ile yol gösterici olan tez danışmanım Sn. Doç. Dr. Betül Sultan YILDIZ'A teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca beni destekleyen, teknik bilgi birikimini paylaşan ve manevi desteği ile süreci kolaylaştıran değerli eşim Yüksek Müh. Onur Kaya'ya teşekkürlerimi sunarım.

Gizem KAYA
08/01/2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET vi
ABSTRACT vii
TEŞEKKÜR viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ xi
1 GİRİŞ 1
2 KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI 4
2.1 Malzemelerin Sınıflandırılması 4
2.1.1 Plastik malzemeler 5
2.2 Kauçuk 6
2.2.1 Vulkanizasyon 6
2.3 Yapışma 12
2.3.1 Metal ile kauçuk malzemelerin yapıştırılması 13
2.3.2 Yüzey hazırlama 14
2.3.3 Metal ile kauçuk yapışma hataları 18
2.3.4 Metal ile kauçuk malzemelerin yapışma kuvvetinin ölçülmesi 19
2.4 Taşıtlarda Kullanılan Süspansiyon Sistemi 21
2.5 Hava Süspansiyon Sistemlerinde Metal Kauçuk Yapışmasında Uygulanan Test Yöntemi 21
2.6 Deney Tasarımı 22
2.6.1 Faktöriyel tasarımlar 23
2.6.2 Taguchi deney tasarımı 24
3 MATERYAL ve YÖNTEM 27
3.1 Metal Numunenin Hazırlanması 27
3.1.1 Ön yağ alma işlemi 28
3.1.2 Kumlama işlemi 30
3.1.3 Fosfat kaplama işlemi 31
3.1.4 Boyama işlemi 36
3.2 Kauçuk Numunenin Hazırlanması 38
3.3 Metal ile Kauçuk Numunenin Vulkanize Edilmesi 40
3.4 Yapışma Kuvvetlerinin Ölçülmesi 45
3.5 Yapışma Yüzeylerinin İncelenmesi 46
4 BULGULAR 48
5 TARTIŞMA ve SONUÇ 52
5.1 KAYNAKLAR 54
5.3 ÖZGEÇMİŞ 56

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	**Açıklama**
S/N	Sinyal/Gürültü oranı

Kısaltmalar	**Açıklama**
H_2SO_4	Sülfürik Asit
HCl	Hidroklorik Asit
KT	Kareler Toplamı
NaOH	Sodyum Hidroksit
PE	PoliEtilen
PP	PoliPropilen
PS	PoliStiren
PVC	Poli(Vinil Klorid)
S	Her bir faktörün ortalama varyansı
SD	Serbestlik Derecesi
YKO	Yüzdelik Katkı Oranı

ŞEKİLLER

DİZİNİ

		Sayfa
Şekil 2.1.	Kauçuk moleküllerinde bağ oluşumu……..	7
Şekil 2.2.	Isı geçmişinin scorch güvenliği üzerindeki etkisi.....	8
Şekil 2.3.	Salınımlı disk reometresi.....	10
Şekil 2.4.	Hareketli kalıp reometresinin şematik gösterimi.....	11
Şekil 2.5.	Reometre kür eğrisi.....	12
Şekil 2.6.	Yapışma mekanizmalarının sınıflandırılması.....	12
Şekil 2.7.	Boya öncesi hazırlık işlemleri ile boyama sonrası yapışmanın ve kontrol kriterlerinin şematik gösterimi (*Kauçuk/Metal-Yapıştırıcılar*, 2023).....	15
Şekil 2.8.	Kauçuk metal yapışmasının şematik gösterimi (Souid vd., 2014).....	15
Şekil 2.9.	Yüzeyler arası kirliliklerin yapışmaya etkisi (Ünügül vd., 2021).....	16
Şekil 2.10.	ASTM D429 B Metodu: (a)testin uygulanması, (b) numunenin hazırlamasında kullanılan kalıbın üstten görünüşü, (c) numunenin hazırlamasında kullanılan kalıbın alttan görünüşü (d) kalıpta üretilecek numuneye metalin yapıştırılma şekli.....	22
Şekil 3.1.	Yağ alma makinesi.....	29
Şekil 3.2	Ön yağ alma banyosu konsantrasyonun hesaplanması için kullanılan titrasyon deney şeması	29
Şekil 3.3.	Kumlama makinesi.……..……..	30
Şekil 3.4.	Temiz ve kirli kuma ait gözlemler. Başlangıç anında (a) temiz kum, (b) kirli kum, yeterli süre su içerisinde bekletilmesi ile oluşan pas görüntüsü (c) temiz kum, (d) kirli kum.....	31
Şekil 3.5.	Tam otomatik fosfat kaplama hattı……..……..	31
Şekil 3.6.	Banyo konsantrasyonunun titrasyon deneyi ile ölçülmesi…….	32
Şekil 3.7.	Yağ alma 1-2 banyosu konsantrasyonun hesaplanması için kullanılan titrasyon deney şeması…….	34
Şekil 3.8.	Fosfatlama banyosu konsantrasyonun hesaplanması için kullanılan titrasyon deney şeması……	35
Şekil 3.9.	Pasivasyon banyosu konsantrasyonun hesaplanması için kullanılan titrasyon deney şeması…….	36
Şekil 3.10.	Metal numunenin şematik gösterimi……..……..	36
Şekil 3.11.	Viskozite ölçümü.....	37
Şekil 3.12.	Boyama işleminde gerçekleştirilen (a)Numunenin maskelenmesi ve boyama prosesi aşamaları, özel bantlar kullanılarak (b) gri ve (c) siyah boya kalınlıklarını elcometre ile ölçülmesi.....	38
Şekil 3.13.	Reometre ölçümünün yapılması (a) Reometre cihazı, (b) kauçuk numunenin test edilmesi.....	39
Şekil 3.14.	Kauçuğun pişme eğrisini gösteren örnek bir reometre	40

	ölçüm sonucu.....	
Şekil 3.15.	Kauçuk ve metal numuneler için vulkanizasyon kalıbı (a) Alt kalıbın üstten görünüşü ve ölçülerinin bulunduğu teknik resmi, (b) Alt ve üst kalıbın kapalı haldeyken görünüşü ve ölçülerinin bulunduğu teknik resmi ve (c) Alt kalıp ve kalıbın kapalı halde iken görüntüsü.....	41
Şekil 3.16.	Maskelenerek boyanan metal numuneler.....	42
Şekil 3.17.	Maskelenen numunenin boyalı alanının ölçülmesi……..	42
Şekil 3.18.	Metal ve kauçuk numunenin kalıba yerleştirilmesi (a) Alt kalıp , (b) Alt kalıba metal numunelerin yerleştirilmesi, (c) Metal numuneler üzerine kauçuk numunelerin eklenmesi……	43
Şekil 3.19.	Metal kauçuk numunesinin şematik gösterimi.....	44
Şekil 3.20.	Vulkanizasyon işleminde kullanılan (a) Berkemak marka, 30 tonluk pişirme presi, ve (b) metal kauçuk numunesi yerleştirilen alt ve üst kalıbın presteki görüntüsü…….	44
Şekil 3.21.	Zwick Roell universal test cihazı.....	45
Şekil 3.22.	Yapışma kuvvetlerinin belirlenmesi için kullanılan çene görseli.....	45
Şekil 3.23.	Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanan numunelerin tümü.....	46
Şekil 3.24.	Numunelerin sıyrıldıktan sonraki yapışma yüzeyi görüntüleri.....	47
Şekil 4.1.	Yapışma Testinin Deneysel Tasarım Çıktıları. (a) Yapışma Kuvveti sonuçları, (b) Sinyal gürültü oranı, (c) S/N oranları için ana etki grafiği.....	50

ÇİZELGELER
DİZİNİ

		Sayfa
Çizelge 2.1	Malzemelerin sınıflandırılması ve genel özellikleri.....	4
Çizelge 2.2	ASTM D429 test standardına göre farklı metal-kauçuk kondisyonlarının yapışma özelliğinin tayin edildiği test yöntemleri……...…….	20
Çizelge 2.3	4 adet faktör ve 2 adet seviyeden oluşan örnek bir deney tasarımı tablosu……	23
Çizelge 2.4	P=4, L=2 Taguchi ortogonal dizisi……	24
Çizelge 3.1	Numunelerin hazırlanması için operasyon adımlarının belirlenmesi.....	28
Çizelge 3.2	Fosfat hattı banyolarının kimyasal içerik kontrolü ve işlem süreleri.....	33
Çizelge 4.1.	Fosfat banyolarının titrasyon deneyi sonucundaki yüzdece konsantrasyon değerleri.....	48
Çizelge 4.2.	Gri ve siyah boyanın boyama işlemi öncesi ölçülen viskozite değerleri.....	49
Çizelge 4.3.	Gri ve siyah boyanın boyama işlemi sonrası ölçülen kaplama kalınlıkları.....	49

1 GİRİŞ

Hammaddesi kauçuk ağacından lateks olarak elde edilen doğal kauçuğun insanlığın hizmetine girmesi; yüzyıllar önce gündelik eşyaların üretilmesi, bu eşyalara sürülerek su geçirmezlik sağlanması ya da heykeller yapılması gibi uygulamalara dayanmaktadır. Kauçuğun ilk endüstriyel uygulamaları ise, 1700'lü yılların ortalarında akademinin kauçuğa ilgi göstermesi ile başlamıştır. 1800'lü yılların başlarında ise kauçuğun mekanik işlenmesini sağlayan ilk endüstriyel uygulamalar ortaya çıkmıştır. Bu ilk uygulamalar, kauçuğun çapraz bağ içermediğinden dolayı soğuyunca sertleşmesi ve ısınınca yumuşaması nedeniyle yaygınlaşamamıştır. 1839 yılında Charles Goodyear'ın kauçuk içindeki çift bağlı karbon atomları arasına kükürt elementinin yerleşerek çapraz bağ yapmasını sağlayan vulkanizasyon prosesini keşfetmesi ile, kauçuk birçok endüstriyel uygulama için tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir (Bilgin, 2020).

Kauçuk, sahip olduğu yüksek elastik özelliği ile sıcak, kimyasal, kir, korozyon gibi ortam koşullarına gösterdiği yüksek direnç, ısı, ses ve titreşime karşı sağladığı izolasyon gibi özellikleri ile farklı amaçlarla endüstride birçok uygulama alanı bulmuştur. Ayrıca kauçuğun diğer malzemeler ile kombine olarak kullanılması, bu özelliklerin diğer malzemenin özellikleri ile birleştirilmesini sağlar. Kauçuğun kombine olarak endüstride en yaygın kullanıldığı alan, kauçuk ve metalin birleştirilmesidir. Kauçuk ve metalin birleştirilmesi endüstride yapışma ile sağlanır. Yapışma; metal yüzey hazırlama işlemleri, yüzey modifikasyonu ve yapıştırıcı uygulamanın ardından gerçekleşen vulkanizasyon prosesi ile sağlanmaktadır. Yüzey hazırlama işlemleri ile metal yüzeyin önceki prosesler ya da çevreden gelen kir, yağ, toz gibi kirliliklerden arındırılması amaçlanmaktadır. Yüzey modifikasyonu, metal yüzeyin daha iyi yapışma kabiliyeti sağlaması ve servis ömrünün arttırılması amacıyla gerçekleştirilmektedir (Sevinç, 2019). Yapıştırıcı uygulaması, uygun bir metal kauçuk arayüzeyi oluşturulması amacıyla uygulanmaktadır. Vulkanizasyon ise kauçuğun çapraz bağ oluşturarak arayüzey ile bağlanmasını sağlamak amacıyla yapılmaktadır.

Literatürde, kauçuk metal yapışma mukavemetinin arttırılması üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Sözen yaptığı çalışmada yüzey modifikasyonu amacıyla uygulanan geleneksel çinko fosfat kaplamaya ilave olarak, elektrolitik alkali çinko ve alkali çinko-

nikel kaplama uygulamıştır. Geleneksel çinko fosfat kaplama ile 12 saatte kırmızı pas oluşumu gözlenirken, alkali çinko-nikel kaplamada 1000 saat sonunda dahi pas oluşumu gözlenmemiştir. Ayrıca geleneksel çinko fosfat kaplama 188 N değerinde maksimum kopma mukavemeti sağlarken, alkali çinko-nikel kaplamanın maksimum kopma mukavemeti 221N'a kadar çıkarak korozyon direncinde olduğu gibi yapışma mukavemetinde de artış sağlamıştır (Sözen, 2021). Zubal, vulkanizasyon sonrası soğutma uygulanmasının metal - kauçuk yapışma mukavemeti ve işlem süresi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Vulkanizasyon sonrası soğutma gerçekleştirilmesi üretim hızını doğrudan arttırmakta, ancak kauçuk - metal yüzeyi arasındaki yapışmanın azalmasına neden olmaktadır (Zubal, 2019). Mıhçı, metale uygulanan soğuk plazma yüzey işleminin, metal – kauçuk yapışma mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmıştır. Soğuk plazma işlemi uygulanan metal ve kauçuk yapıştırıcı uygulanmadan vulkanizasyona tabi tutulduğunda hiç yapışma gerçekleşmemiştir. Vulkanizasyondan önce soğuk plazma uygulanmadan yapıştırıcı uygulanan numuneye gerçekleştirilen sıyrılma (peel) testinde yaklaşık 450 N yapışma mukavemeti gözlenirken, hem yapıştırıcı hem de soğuk plazma uygulanan numuneye gerçekleştirilen sıyrılma (peel) test sonuçlarına göre yaklaşık 500 N yapışma mukavemeti gözlenmiştir (Mihci, 2018). Sevinç, yapışma prosesindeki parametrelerin ve yapıştırıcı bileşiminin metal – kauçuk bağ mukavemetine etkisini incelediği çalışmasında, metalin yüzeyinde pas, kir, yağ ve daha farklı kimyasalların bulunmasının yapışmayı negatif yönde etkilediğini bildirmiştir. Yüzey hazırlama işlemleri, temizlenecek kirliliği gidermeye uygun prosesin seçilerek kirliliğin tamamen ortadan kaldırılmasını gerektiren bir fenomendir. Ayrıca Sevinç bağ mukavemetini arttırmak için yapıştırıcıya formaldehit ve epoksi reçine eklemiştir. Yapıştırıcıya epoksi reçine ilave edilmesi, reçinesiz ve formaldehit reçineye göre kauçuk – metal yapışmasında çapraz bağlanmayı arttırmıştır (Sevinç, 2019). Kauçuk – metal bağ mukavemetinin geliştirilmesi, süspansiyon sistemleri için de önemli bir problemdir. Erdem, süspansiyon burçlarında bağ mukavemetinin arttırılması için elektroliz yöntemi ile çelik plakaları farklı kalınlıklarda pirinç kaplayarak yüzey modifikasyonunun bağ mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmıştır. Pirinç kaplanmış yüzeyin yapışma mukavemeti, yapıştırıcı uygulanmış yüzeyin mukavemetine benzer sonuç sağlarken, korozyon direnci açısından daha kötü bir performans sağlamıştır. Sonuçlar, korozyon direncinin sağlanması durumunda pirinç kaplanarak modifiye edilen yüzeylerin, yapıştırıcı uygulanmamasına rağmen yeterli yapışma mukavemetini sağlayabileceğini göstermektedir (Erdem, 2022).

Literatürde, kauçuk – metal yapışma mukavemetinin arttırılması için yüzey hazırlama işlemlerinin doğru şekilde uygulanması tavsiye edilmiş, yüzey modifikasyonu, yapıştırıcı uygulama ve vulkanizasyon prosesleri için ise birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Kauçuk – metal yapışma mukavemetinin arttırılması endüstri için de önemli bir problemdir. Ancak yapışma mukavemetini etkileyen çok sayıda faktör olması, işletmelerin odaklanacağı parametreyi belirlemesini zorlaştırmaktadır. Kauçuk – metal yapışması prosesindeki parametrelerin yapışma mukavemeti üzerinde ne kadar etkili olduğunun belirlenmesi işletmelerin kaynaklarını verimli kullanabilmesini sağlayacaktır. Hava süspansiyon körüklerinde kullanılan ve tas adı verilen metal bileşenin kauçuk ile yapışma miktarı arttıkça, ürünün çalışma performansı artacaktır. Basınç ve yük altında dinamik bir hareket yapan ve tam sızdırmazlık özelliğini koruması beklenen hava süspansiyon körüğünün performansının artması ile müşteri memnuniyeti sağlanacak ve üretim aşamasında ıskarta oranının azalması ile işletmenin rekabet gücü artacaktır.

Bu çalışmada, hava süspansiyon körüklerinde kullanılan boyalı alt tasın üretim aşamalarındaki yüzey hazırlama işlemlerine ait değişkenlerin, kauçuk – metal yapışma mukavemetine olan etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Yüzey hazırlık işlemlerinden kumlama, yağ alma ve fosfatlama operasyonlarının etkisini ve yüzey hazırlık banyolarının kirli ve temiz olma durumlarına göre etkisini inceleyecek şekilde deneyler tasarlanmıştır. Bu işlemler sırasına sıcaklık, konsantrasyon, viskozite, boya kalınlığı gibi kriterler sayısal olarak ölçülmüş ve ASTM D429 standardına göre test numuneleri hazırlanmıştır. Numuneler hazırlanırken aynı kauçuk lotu kullanılmış ve vulkanizasyon süresi sabit tutulmuştur. Bu numuneler kopma uzama test cihazı yardımıyla test edilmiş ve yapışma kuvvetleri incelenmiştir. Bu sonuçlar, Taguchi metodu ile analiz edilmiş ve yüzey hazırlık işlemlerinin etkisi hesaplanmıştır.

2 KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1 Malzemelerin Sınıflandırılması

Endüstride bulunan ve her geçen gün eklenen malzemelerin ayrı ayrı ele alınıp incelenmesi mümkün olmadığından yapı ve özellikleri incelenerek gruplandırıp ortak özelliklerine göre tanımlanabilir. Atomlar arası bağ türlerine göre sınıflandırmak tutarlı ve uygun bir yaklaşımdır. Buna göre malzemeler metaller, seramikler ve plastikler olarak üç ana grupta incelenir. Malzemelerin sınıflandırılması ve genel özellikleri Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Malzemelerin sınıflandırılması ve genel özellikleri (Onaran, 1995).

	Metaller	**Plastikler**	**Seramikler**
Atomik yapı	Kristal yapı	Amorf ve yarı kristalin	Çoğunlukla kristal, kısmen amorf yapı
Hacimsel yoğunluk	Yüksek	Düşük	Orta derece
Özgül ağırlık	Yüksek	Düşük	Orta derece
Isıl iletkenlik	Yüksek	Düşük	Düşük
Elektriksel iletkenlik	Yüksek	Düşük	Düşük
Elastisite modülü	Yüksek	Düşük	Yüksek
Mukavemet	Yüksek	Düşük	Çekme mukavemeti düşük, basınç mukavemeti yüksek (çoğunlukla)
Malzeme karakteristiği	Sünek yapı (çoğunlukla)	Sert ve gevrek	Sert ve gevrek
Plastik şekil verilebilme durumu	Elverişli		Elverişsiz

2.1.1 Plastik malzemeler

Plastik malzemeler, atomlar ve moleküller arası bağ yapılarına göre üç ana başlıkta incelenir.

1. Termoplastikler
2. Termosetler
3. Elastomerler (Lastikler, Kauçuklar)

Plastik malzemelerin makromolekül yapısı incelendiğinde; termoplastların amorf ve kısmen kristalleşme özelliği gösterirken, elastomerlerin ve duroplastların amorf yapı özelliği gösterdiği görülmektedir (Demirci, 2004).

Termoplastiklerin yapıları ısıdan doğrudan etkilenmektedir. Bazı polimerler ısıtıldıklarında yumuşar ve üzerine gerilim uygulandığında akabilirler. Tekrar soğutulduklarında ise katı yapılarını geri kazanırlar. Bu tür polimerler termoplastikler olarak adlandırılırlar. Ticari açıdan en önemli termoplastiklerden bazıları polietilen (PE), polipropilen (PP), poli(vinil klorid) (PVC) ve polistirendir (PS). PE, plastik poşetlerden deterjan şişelerine kadar çeşitli ürünlerde kullanılır ve tüm temel grupları hidrojen olduğu için herhangi bir polimerin mümkün olan en basit tekrar yapısına sahiptir. PP de plastik saklama kapları gibi geniş bir ürün yelpazesinde bulunur ve plastik torba ve poşet yapımında diğer polimerlerle rekabet eder. PVC, sert drenaj boruları, duş perdeleri ve yağmurluklar gibi çok çeşitli malzemelerde yaygın olarak bulunurken, PS köpük bardaklar ve tek kullanımlık çatal bıçaklarda kullanılmaktadır. Bu malzemeler termoplastik olduklarından, polimerizasyondan sonra tipik olarak pelet haline getirilirler ve daha sonra eritilip ekstrüde edilebilir veya nihai ürünlere dönüştürülebilirler (Brazel ve Rosen, 2012).

Termoset malzemeler, monomerlerden ağ polimerlerinin doğrudan oluşturulmasıyla veya doğrusal prepolimerlerin çapraz bağlanmasıyla üretilir. Polimer bir kez oluştuktan sonra ısıtılarak plastik duruma geri döndürülemez. Bu nedenle termosetler için polimerizasyon (veya en azından son kürlenme aşaması) ve şekillendirme süreci eş zamanlı olarak gerçekleşir. Termosetler için köklü ve nispeten basit işleme yöntemleri arasında döküm, sıkıştırma, transfer kalıplama ve otomatik enjeksiyon kalıplaması yer almaktadır (Hall, 1989).

Elastomerlerin karakteristik özelliği, ortam sıcaklığının altında bir cam sıcaklığına sahip olmalarıdır; ancak termoplastiklerin aksine, çapraz bağlı elastomerlerin en belirgin özelliği neredeyse tamamen tersine çevrilebilir elastik davranışlarıdır. Bazı çapraz bağlı elastomerler orijinal uzunluklarının yedi katına kadar gerilebilir ve yine de neredeyse tamamen başlangıçtaki uzunluklarına geri dönebilirler. Moleküler düzeyde, tersine çevrilebilir esneklik, bu malzemelerdeki polimer zincirlerinin yüksek derecede hareketliliğe sahip olmasını gerektirir. Bu nedenle elastomerler, kullanım sıcaklık aralığının altında kalan düşük camsı geçiş sıcaklıklarına sahip amorf malzemelerdir. Malzemenin bu sıcaklıklarda akmasını önlemek için polimer zincirlerinin çapraz bağlanması gerekir. Ancak çapraz bağlama yoğunluğu, zincirlerin hareketliliğini ciddi şekilde kısıtlayacak kadar yüksek olmamalıdır. Elastomerler bu nedenle geniş örgülü, çapraz bağlı makromoleküler malzemelerdir ve doğrusal veya dallanmış termoplastiklerden ve yoğun çapraz bağlı duromerlerden ayırt edilebilirler. Elastomerler çapraz bağları nedeniyle eriyemezler ve aşırı termal strese maruz kaldıklarında erimeden ayrışırlar (Koltzenburg vd., 2017).

2.2 Kauçuk

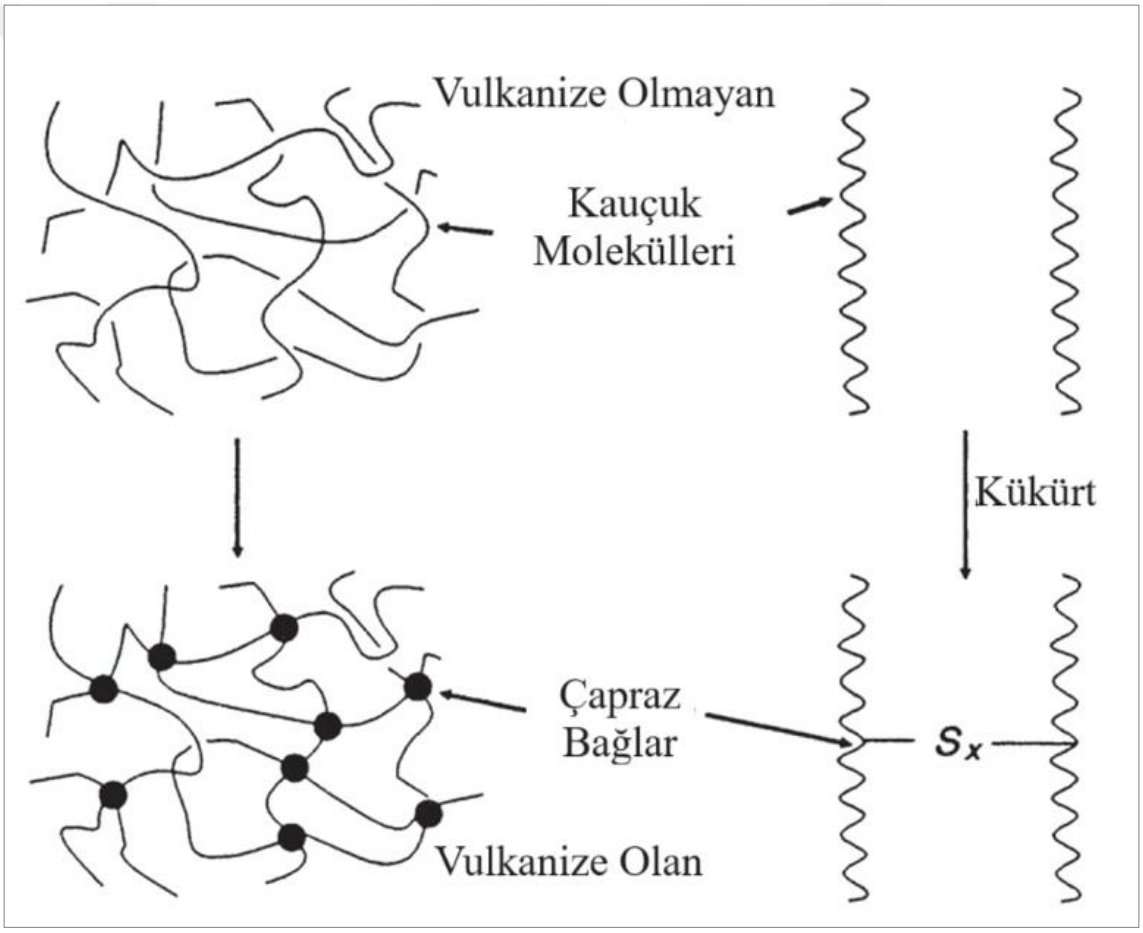
Kauçuk, elastikiyeti, esnekliği ve yalıtım özellikleriyle bilinen bir polimerdir. Tipik olarak kauçuk ağaçlarının lateks özünden elde edilen veya kimyasal işlemlerle sentezlenen uzun hidrokarbon zincirlerinden oluşur ve lastiklerin, endüstriyel contaların ve çeşitli tüketim mallarının üretiminde yaygın olarak kullanılan esnek ve dayanıklı bir madde oluşturur (Vahapoğlu, 2007). Kauçuğun; esneklik ve ilk şeklini koruma, üstün mekanik özellikler, kimyasal direnç, elektriksel yalıtım, ısı ve soğuğa dayanıklılık, sürtünme direnci, ses ve titreşim absorpsiyonu ve hafiflik gibi özellikleri, otomotiv, elektrik ve elektronik gibi birçok endüstride geniş bir kullanım alanı bulmasını sağlamıştır.

2.2.1 Vulkanizasyon

Vulkanizasyon, kauçuk veya elastomer malzemeler için kalıcı deformasyon miktarını azaltan bir işlemdir. Kauçuk veya elastomer malzemeler, vulkanizasyon ile çapraz bağlı bir moleküler ağ oluşturduğunda, mekanik olarak uygulanan deformasyondan sonra neredeyse orijinal şekillerine geri dönebilirler. Dolayısıyla vulkanizasyon, elastikiyeti

artırırken plastikliği azaltan, ilgili malzemelerin molekül ağlarında çapraz bağlanma yapabilen bir işlem olarak tanımlanabilir. Şekil 2.1.'de vulkanizasyon öncesi ve sonrasına ait kauçuk zincir yapıları gösterilmektedir.

Kauçuk elastikiyet teorisine göre, bir deformasyona direnmek için geri çekilme kuvveti, elastomerin birim hacmi başına ağ destekleyici polimer zincirlerinin sayısı ile orantılıdır. Destekleyici polimer zinciri, ağ bağlantı noktaları arasındaki doğrusal bir polimer moleküler parça olup birleşme noktalarının veya çapraz bağların sayısındaki artış, destekleyici zincirlerin sayısında bir artış sağlar. Vulkanize edilmemiş doğrusal bir polimerde sadece moleküler zincir dolanmaları, birleşme noktalarını oluşturur.

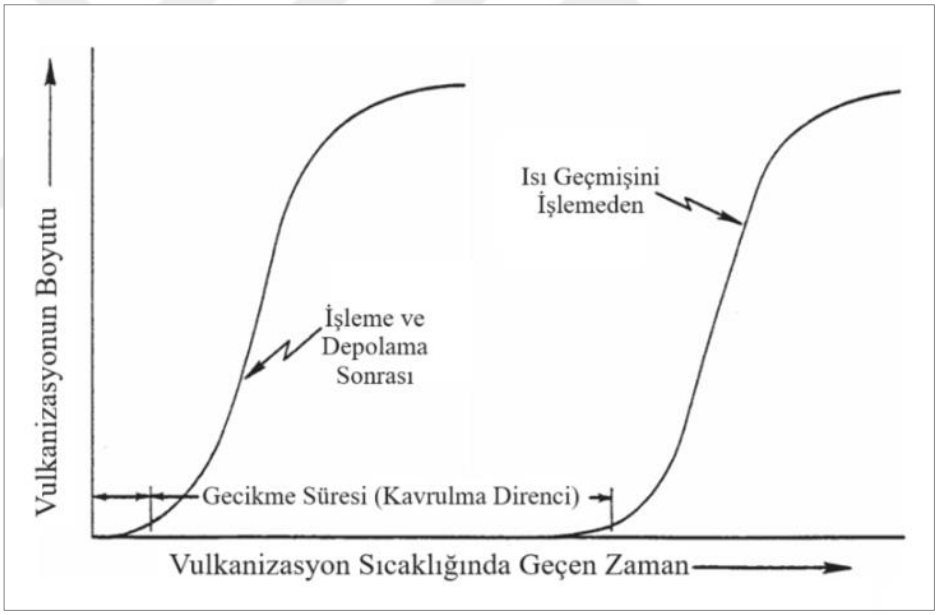


Şekil 2.1. Kauçuk moleküllerinde bağ oluşumu (Coran, 2013).

Vulkanizasyon ile polimer zincirleri arasına çapraz bağlar yerleşir ve kimyasal olarak ağ bağlantıları üretilir. Kısa bir zincirdeki bir grup kükürt atomu, tek bir kükürt atomu,

karbon-karbon bağı, çok değerlikli bir organik radikal, iyonik bir küme veya çok değerlikli bir metal iyonu; çapraz bağ olarak tepkimede yer alabilir.

Çapraz bağlanma başlamadan önce geçen süre, başladıktan sonra çapraz bağ oluşum hızı ve sürecin sonunda çapraz bağlanma derecesi, vulkanizasyon süreciyle ilgili önemli özelliklerdir ve malzemenin ulaşacağı mekanik özellikleri etkiler. Vulkanizasyondan önce karıştırma, şekillendirme, biçimlendirme ve akmanın sağlanabilmesi için yetecek gecikme süresi veya erken vulkanizasyona olan dirence kavrulma direnci adı verilir. Kavrulma direnci, scorch olarak da adlandırılmakta ve erken vulkanizasyona karşı olan direnci ifade etmektedir. Vulkanizasyon işlemi sırasında gerekli olan gecikme veya indüksiyon döneminden sonra çapraz bağların oluşumu hızlı olmalı ve çapraz bağlanma derecesi kontrol edilmelidir. Şekil 2.2.'deki grafikte bu durum vulkanizasyon sıcaklığında geçen zaman ile vulkanizasyon boyutu olarak ifade edilmiştir.

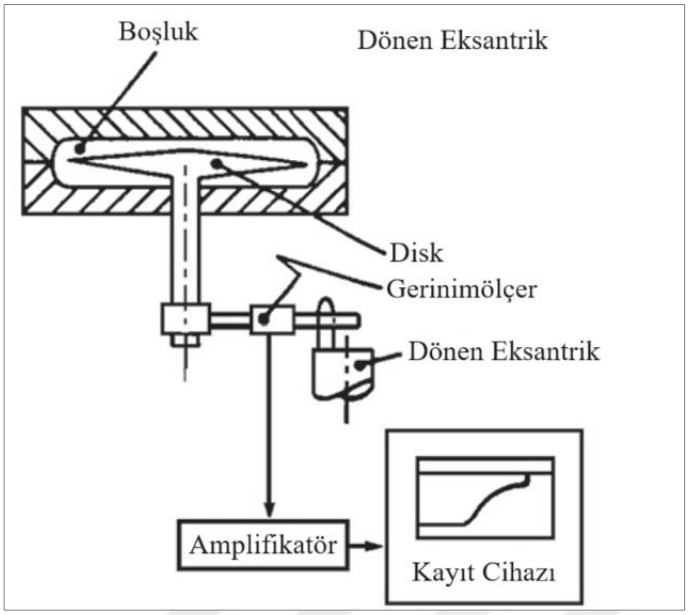


Şekil 2.2. Isı geçmişinin scorch güvenliği üzerindeki etkisi (Coran, 2013).

Kavrulma direnci genellikle, viskozitede ani bir artışla ya da çapraz bağ oluşumunun başlaması için belirli bir sıcaklıkta gereken süre ile ölçülmektedir. Bunun için Mooney viskozimetresi kullanılır. Bu test sırasında, tamamen karıştırılmış ancak vulkanize edilmemiş kauçuk, ısıtılmış bir hazneye konup içine dönen bir disk yerleştirilir. Viskozite, zamanın bir fonksiyonu olarak sürekli ölçülür. Bu ölçümde rotorun sabit bir hızda dönmesini sağlamak için gereken tork kayıt altına alınır

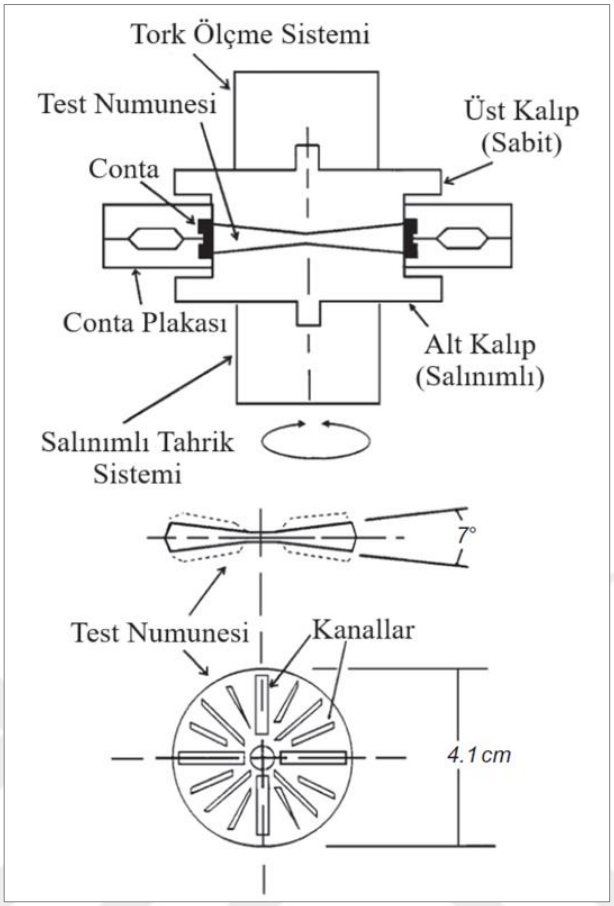
Kavrulma döneminden sonraki vulkanizasyon oranı ile vulkanizasyonun nihai boyutu artık kür ölçer adı verilen cihazlar kullanılarak ölçülmektedir. Bu gelişmeye birçok araştırmacı katkıda bulunmuştur (Decker ve diğerleri, 1963; Juve ve diğerleri, 1964). 1965 yıllında Monsanto Şirketi tarafından tanıtılan, salınımlı disk reometreler yaygın olarak kullanılmaktadır. Salınımlı diskli reometrenin geliştirilmesi ile endüstride standart uygulama haline gelen vulkanizasyon ölçümleri büyük ölçüde Wise'ın çabaları sayesinde başlamıştır. Reometrenin geliştirilmesinden önce, her biri belirli bir sıcaklıkta farklı bir süre boyunca vulkanize edilen bir kauçuk numunesinin birçok örneğinin mekanik özelliklerini ölçmek gerekiyordu. Günümüzde reometre sayesinde bu bilgilere hızlı ve pratik bir şekilde ulaşmak mümkündür.

Salınımlı disk reometresinde vulkanizasyon özelliklerini ölçmek için, ısıtılmış bir boşluk içine kauçuk numune yerleştirilir (Şekil 2.3.). Kauçuğun içine sinüzoidal salınım yapan metal bir disk yerleştirilir. Kauçuğun içine gömülü olan metal disk, düzleminde kendi ekseni etrafında sinüzoidal olarak salınır. Vulkanizasyon, belirli bir sıcaklıkta belirli bir salınım genliğini korumak için gereken torktaki artışla ölçülür. Tork, düşük gerinimli elastikiyet modülü ile orantılıdır. Bu tork yüksek vulkanizasyon sıcaklığında ölçüldüğünden, viskoz etkilerden neredeydse etkilenmez. Bu nedenle, vulkanizasyon sırasında torktaki artışın birim kauçuk hacmi başına oluşan çapraz bağ sayısı ile orantılı olduğu varsayılır. Tork ve zaman grafiği otomatik olarak çizilir ve kür eğrisi olarak adlandırılır.



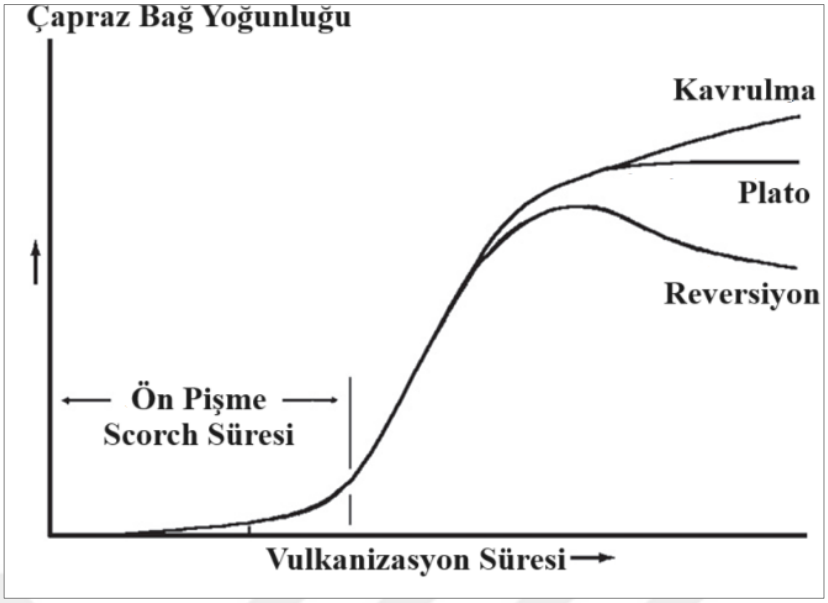
Şekil 2.3. Salınımlı disk reometresi (Coran, 2013).

Salınımlı disk reometresinin daha yeni versiyonları piyasaya sürülmüştür (örneğin, Şekil 2.4). Bu örneklerde boşluk çok daha küçüktür ve rotor yoktur ve kalıbın bir yarısı sabit olup diğer yarısı salınım yapmaktadır. Bu cihazlara hareketli kalıp reometreleri denir. Daha küçük numune ile çalışılması, ısı transferinin daha hızlı olması ve rotorsuz olması nedeniyle boşluğun ve numunenin sıcaklığının hızlıca değiştirilebilmesi hareketli kalıp reometrelerinin avantajları olarak sıralanabilir. Salınımlı disk reometresinde ve hareketli kalıp reometresinde, zamana karşı tork değişimi grafiği otomatik olarak çizilir. Böyle bir grafik Şekil 2.5.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Hareketli kalıp reometresinin şematik gösterimi (Coran, 2013).

Kürlenme eğrisi, belirli bir kauçuk karışımı için çapraz bağ oluşumunun genel kinetiği hakkında bilgi verir. Vulkanizasyon ile oluşan çapraz bağlar zamanla kaybolursa bu durum, reversiyon (tersine dönme) olarak adlandırılır. Bazı durumlarda, geri dönüş yerine uzun bir plato veya devam eden kürlenme meydana gelebilir. Bu nedenle kür ölçer, kauçuk stoklarının kalitesini belirlemek ve kauçuk bileşiklerinin homojenliğini kontrol etmek için yaygın olarak kullanılır.

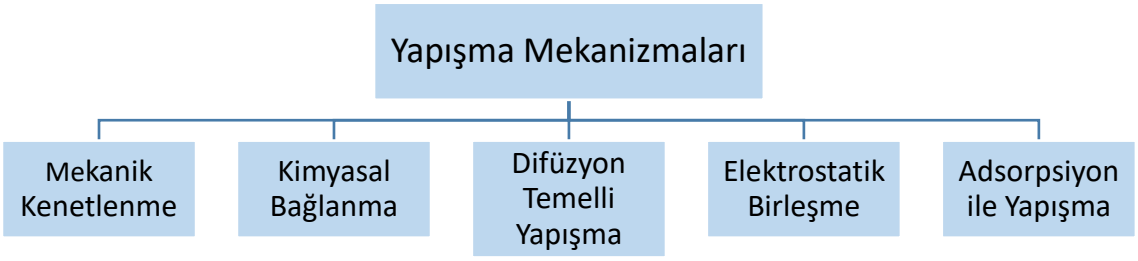


Şekil 2.5. Reometre kür eğrisi.

Kür eğrileri ile vulkanizasyon durumu inceleme çalışmaları öncelikle araştırma aracı olarak kullanılmaya başlansa da daha sonra endüstride, kauçuk karışımlarının homojenliğini kontrol etmek ve yeni karışım reçeteleri oluşturmak için kullanılmıştır. Endüstriyel bir kalıbın kür sıcaklığı-zaman profili belirlenirken, test numunesinin fabrikadaki koşullar altında vulkanize edilip parametreler test ortamında değiştirilerek yorum yapılabilir. Böylece kürlenme derecesi ve sıcaklık, aynı anda zamanın fonksiyonları olarak görüntülenebilir (Coran, 2013).

2.3 Yapışma

Yapışma mekanizmaları genel olarak şekildeki gibi sınıflandırılır. İki yüzey arasındaki yapışma, bir ya da birkaç mekanizmanın bir arada olması ile gerçekleşebilir. Yapışma mekanizmaları ve sınıflandırılması Şekil 2.6.'da gösterilmiştir (Ebnesajjad, 2009).



Şekil 2.6. Yapışma mekanizmalarının sınıflandırılması.

Farklı metal plakalara kauçuk yapışması, çeşitli pratik ve endüstriyel uygulamalarda çok önemlidir. Kauçuğun metale yapıştırılması; otomotiv ve mühendislik uygulamalarında kullanılan metale bağlı yağ keçeleri, gürültü ve titreşimin izolasyonu için motor bağlantıları, korozyonu önlemek için kauçuk kaplı çelik tanklar ve kimyasal proses ekipmanları, köprülerde ve binalarda titreşim ve sismik hareketleri önlemede kullanılan takozlar gibi uygulama alanlarında hatasız, tek tip ve yüksek kaliteli bir ürün üretilmesini sağlar (Chandrasekaran, 2010).

2.3.1 Metal ile kauçuk malzemelerin yapıştırılması

Kauçuğun metal veya polimer malzemelere yapıştırılarak hibrit bir malzeme edilmesi ile kauçuk malzemenin sahip olduğu özelliklerin çoğu, altlık adı verilen metal plaka malzemeye kazandırılır. Metalik alt tabakaların kauçuk kaplanması korozyon koruması sağlar ve kaplanan alt tabakanın ömrünü uzatır, bu da gaz yıkayıcılar, valfler ve kimyasal depolama tankları gibi endüstriyel ekipmanlar için önemli hale getirir. Ayrıca kauçuğun metale yapıştırılması, farklı karakteristik özelliklere sahip malzemelerin kombine halde çalışabilmesini sağlar. Kauçuk yüksek aşınma ve yorulma direncine sahiptir, bu da başka malzemeler ile beraber kullanıldığında onu dayanıklılığın önemli olduğu uygulamalar için uygun hale getirir (Wegman ve Twisk, 2013).

Farklı altlıklara kauçuk yapışması, çeşitli pratik ve endüstriyel uygulamalarda çok önemlidir. Kauçuğun metale yapıştırılması; otomotiv ve mühendislik uygulamalarında kullanılan metale bağlı yağ keçeleri, gürültü ve titreşimin izolasyonu için motor bağlantıları, korozyonu önlemek için kauçuk kaplı çelik tanklar ve kimyasal proses ekipmanları, köprülerde ve binalarda titreşim ve sismik hareketleri önlemede kullanılan takozlar gibi uygulama alanlarında hatasız, tek tip ve yüksek kaliteli bir ürün üretilmesini sağlar (Chandrasekaran, 2010).

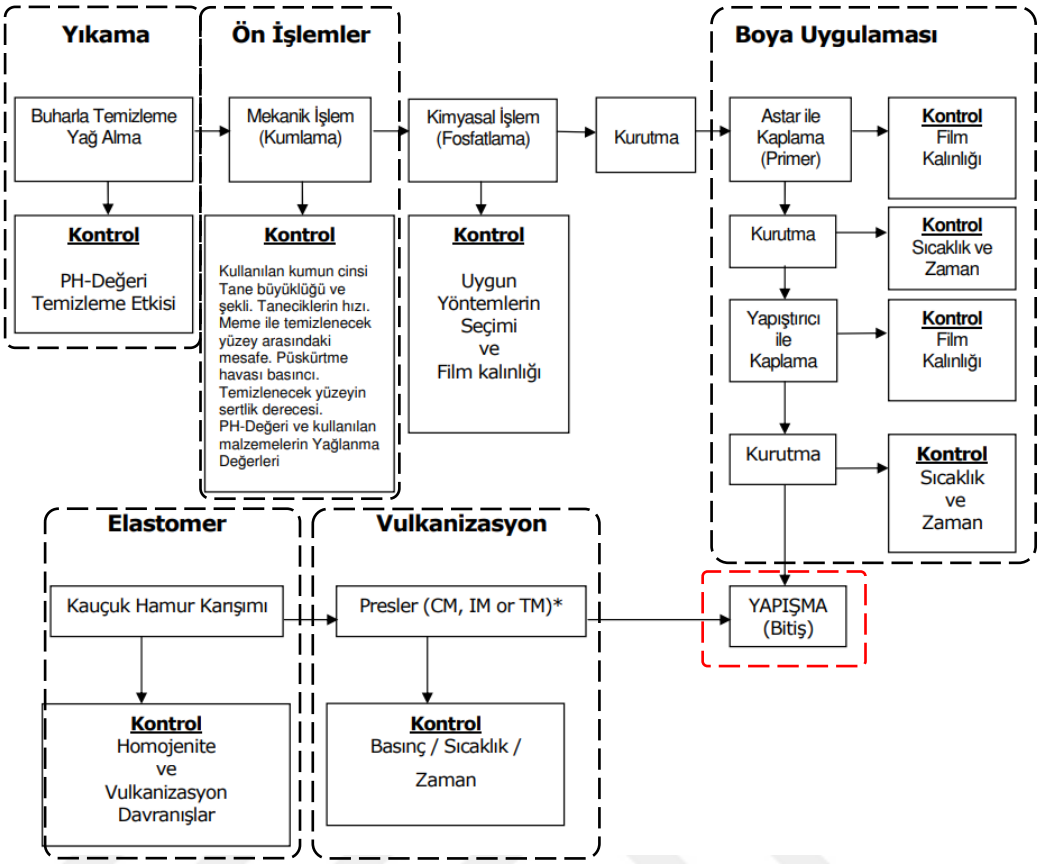
Kauçuk-metal ürünler endüstrinin farklı alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır ve kauçuk-metal sınırındaki bağın gücü, uygulanan işin verimliliği ve dayanıklılığı için kritik öneme sahiptir. Kauçuğun bileşimi iyi bir yapışma elde edilmesinde çok önemli bir rol oynar ve bir bileşiğin formülasyonundaki küçük değişiklikler yapışma kalitesine doğrudan etki eder (Muhr vd., 1996). Dolgu maddesi içeriği, özellikle karbon siyahı ne kadar yüksekse kauçuk-metal bağı o kadar güçlü olur. Kimyasal yapıştırma tekniğinde,

kauçuk bileşimi ile beraber, yapıştırıcı maddelerin ve altlık malzemesinin seçimi de çok önemlidir. Kauçuk metal yapışması üzerinde etkili olan bu üç faktör, üründen istenilen fiziksel özelliğe göre tasarlanmalıdır (Chandrasekaran, 2010). Ayrıca başarılı bir yapıştırma için altlık malzemenin oksit tabakalarından ve yağ/gres izlerinden arındırma üzere yüzey hazırlığı gereklidir (Nikiforova ve Sheryshev, 2012). Takip eden bölümde, başarılı bir yüzey hazırlama işlemi gerçekleştirilebilmesi için takip edilmesi gereken adımlardan ayrıntılı olarak bahsedilmektedir.

2.3.2 Yüzey hazırlama

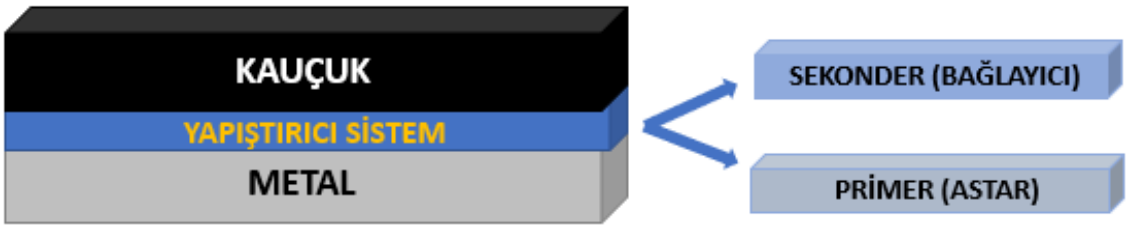
Metal yüzey işlemleri; metalin üzerindeki yağın uzaklaştırılması ile başlar, metalin korozyona karşı korunması ile devam eder ve ardından yapışmayı sağlayacak uygun kimyasalın yüzeye nüfus etmesinin sağlanmasıyla sona erer. Plastik veya kauçuk parçaların yapıştırılarak bir araya getirilme işlemi öncesinde, yüzey temizlenmelidir. Plastik, dökme demir ve alüminyumun temizliği için oksit aşındırıcılar kullanılırken kauçuk yüzeyler için ise solvent kullanılır (Cowdrey vd., 1998).

Yüzey hazırlama ve boyama işlemleri ile boya uygulama işlem basamakları, Şekil 2.7.'de gösterilmiştir. Metal parçaya yapılan bu işlem adımları sonrasında, elastomerler vulkanizasyon işlemi neticesinde metal ile birleşir (*Kauçuk/Metal-Yapıştırıcılar*, 2023).



Şekil 2.7. Boya öncesi hazırlık işlemleri ile boyama sonrası yapışmanın ve kontrol kriterlerinin şematik gösterimi (*Kauçuk/Metal-Yapıştırıcılar*, 2023).

Kauçuk-metal yapışması, günümüz teknolojisinde kauçuk-yapıştırıcı-primer-metal arasında vulkanizasyon işlemi ile oluşan kimyasal bağlanma sayesinde gerçekleşmektedir. Şekil 2.8.'de bu işlem şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Kauçuk metal yapışmasının şematik gösterimi (Souid vd., 2014).

Yüzey hazırlık işlemleri yeterli seviyede yapılmaz ise yüzeyler arasında metalin yüzey filmi, toz partikülleri yada parmak izi gibi kirleticiler olması durumunda yapıştırıcı yüzeye homojen bir şekilde tutunamaz ve yapışma kuvveti zayıflar (Souid vd., 2014).

Şekil 2.9.'da yüzeyler arası kirliliklerin yapışmaya etkisi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Yüzeyler arası kirliliklerin yapışmaya etkisi (Ünügül vd., 2021).

Kauçuk-metal yapışma süreci; yüzey temizliği, yüzey modifikasyonu, yapıştırıcı uygulaması ve kürleşme olmak üzere ardışık adımdan oluşur. Bu adımların her birinde seçilen yöntemler, yukarıda bahsedilen kauçuk metal arasındaki yapışma kalitesini etkileyen faktörlerin kontrol edilmesini sağlamaktadır. Takip eden bölümlerde yüzey hazırlama işlem adımları açıklanmıştır.

Yüzey temizliği (yıkama) prosesi; metal altlık üzerindeki yağ, gres veya katı yağlayıcıların yüzeyden temizlenmesi ve kaldırılması için uygulanmaktadır. Yüzey temizliği için; yağ alma, kumlama veya ıslak kumlama işlemleri yüzeyin yağ durumuna göre ayrı ayrı ya da kombine şekilde uygulanır. Yüzey temizliğinde işlem sonrası yüzey temizliği koşullarının kontrolü ve tutarlılığı esastır (Chandrasekaran, 2010).

Yüzey temizliği yöntemlerinden biri olan kumlama, yağ, gres ve katı yağlayıcılar gibi kirleticileri metal yüzeyden uzaklaştırarak daha iyi yapışma sağlar. Diğer yandan, yüzey pürüzlülüğünü ve enerjisini artırmak için kullanılan mekanik bir yüzey işleme yöntemidir. Bu da kauçuk ve metal arasındaki bağlanmayı olumlu yönde etkiler (Chandrasekaran, 2010). Kumlama işlemlerinde kullanılan kumun derecesi önemlidir ve bitmiş ürünün çevresel direncini etkileyebilir. Kumlama sırasında partikül boyutlarının profilinin çıkarılması, makinenin etkinliğinin izlenmesine yardımcı olur ve başarılı bir yapıştırma için çok önemli olan düşük toz seviyelerini sağlar. Kumlama için kullanılan kumdaki toz ve kalıntılar, yeni temizlenmiş metal yüzeylere yapışarak yapışmayı olumsuz etkileyebilir ve ikinci bir yağ giderme işlemiyle bile giderilmesini zorlaştırabilir (Rezaeian vd., 2012).

Metal yüzeyde yağ bulunması, kauçuğun metale yapışmasını ciddi şekilde etkileyerek yapışma mukavemetinin azalmasına yol açar. Metal yüzeyden yağ giderilmesi, su veya solvent bazlı sıvı kullanılarak sağlanabilir. Solvent bazlı çözeltiler, yağ giderilmesini güvenilir olarak sağlasa da, çalışma ortamını kirleten ve yangın ve patlama riski oluşturan büyük miktarlarda uçucu solvent bazlı temizlik maddesi tüketmektedir. Yapılan çalışmalar, altlık malzemelerin yağdan arındırılması için solvent bazlı temizlik maddeleri yerine su bazlı maddelerin kullanılmasının bağ kalitesini etkilediğini göstermektedir (Ansarifar vd., 2001, Rezaeian vd., 2012).

Yüzey modifikasyonu (ön işlemler) prosesi, kauçuğun yapışmasını arttırmak için altlık malzemenin yüzey özelliklerini değiştirmek için kullanılan çeşitli yöntemleri ifade eder. Yüzey modifikasyon yöntemleri arasında kromik asit veya sülfürik asit aşındırma, alkali temizleme ve fosforik asit işlemleri gibi kimyasal işlemler yer almaktadır (Rezaeian vd., 2012, Wegman ve Twisk, 2013).

Yüzey modifikasyonu yöntemlerinin amacı, altlık malzemenin yüzey enerjisini değiştirerek ve artırarak aktif bir yüzey oluşturmaktır. Yüzey modifikasyonu, kauçuk ile metaller, plastikler, elyaflar ve nanokompozitler gibi farklı alt tabakalar arasındaki bağlanmanın desteklenmesinde önemli bir rol oynar. Farklı yüzey modifikasyon yöntemleri arasında plazma işlemi, yapışma arttırıcı olarak organosilanlar, mekanokimyasal aşılama ve sulu bağlanma arttırıcıların kullanımı yer almaktadır. Plazma işlemi, hidrofobik malzemelerin yüzeyini hidrofilik bir yüzeye dönüştürerek yapışmayı artırmaktadır. Organosilanlar, alüminyum yüzeyler için yapışma arttırıcı olarak çalışılmış ve metal yüzeyler için bir yüzey modifikasyonu aracı sağlamıştır. Kauçuğun maleik anhidrit ile mekanokimyasal aşılanması, özellikle korozyona karşı koruma için yapışma mukavemetini ve astar performansını önemli ölçüde artırabilir (Rezaeian vd., 2012).

Yapıştırıcı uygulanması prosesi, temizlenmiş ve modifiye edilmiş metal yüzey ile kauçuğun güçlü bir şekilde bağlanmasını sağlayan bir arayüzey oluşturulmasını sağlar. Metal kauçuk birleştirmesinde genellikle kloropren kauçuk bazlı bir yapıştırıcı uygulanır. Yapıştırıcı hem metal hem de kauçuk yüzeylere yüksek yapışma özelliğine sahip olmalıdır (Nikiforova ve Sheryshev, 2012). Kürleşme aşamasında, yapıştırıcı ya yüksek sıcaklıklarda vulkanizasyon ile veya ortam sıcaklıklarında soğuk yapıştırma yoluyla

kürlenir. Kürleme işlemi kauçuk ve metal yüzeyler arasında güçlü bir bağ oluşmasını sağlar. (Rezaeian vd., 2012).

Kauçuğun vulkanizasyonu muhtemelen polimerler üzerinde bilinçli olarak gerçekleştirilen en eski kimyasal reaksiyondur. Yapışkan olan ve bu nedenle orijinal halinde pek kullanışlı olmayan doğal kauçuk, örneğin sülfür ile reaksiyona sokularak günlük, temel bir malzemeye dönüştürülür. Bu reaksiyon sırasında cis-poliizopren zincirleri sekiz sülfür atomundan oluşan oligomerik sülfür köprüleri ile birbirine bağlanır (Koltzenburg vd., 2017). Vulkanizasyonun, kauçuk – metal yapışma prosesi sırasında meydana gelmesi, arayüzey yapıştırıcısının hem metal hem de kauçuk ile güçlü bağlar kurularak iyi bir yapışma gerçekleşmesini sağlar.

2.3.3 Metal ile kauçuk yapışma hataları

Kauçuk-metal yapışmasında ortaya çıkan hatalar; yetersiz yüzey hazırlığı, uygun olmayan kürleme koşulları ve termal çevrim dahil olmak üzere çeşitli parametrelerden meydana gelebilir. Metal alt tabakanın yetersiz temizlenmesi veya yüzey pürüzlülüğünün yeterince oluşamaması gibi yetersiz yüzey hazırlığı, zayıf yapışma ve yapıştırma hatalarına neden olabilir. Yetersiz kürleme süresi veya sıcaklığı gibi uygun olmayan kürleme koşulları, kauçuğun eksik çapraz bağlanmasına yol açarak zayıf bağlara ve potansiyel hatalara neden olabilir. Ayrıca malzeme sıcaklık değişimlerine tekrar tekrar maruz kaldığında oluşan ısıl çevrim, kauçuk ve metal arasında ardışık genleşme ve büzülmeye neden olarak gerilime ve potansiyel yapışma hatalarına neden olabilir.

Kauçuk-metal yapışmasında yaygın hata türleri; yapışma hatası, kohezif hata ve arayüzey hatasıdır. Yapışma hatası, kauçuk ve metal alt tabaka arasındaki bağın, her iki malzemenin kohezif mukavemetinden daha zayıf olduğunda meydana gelir ve arayüzde ayrılmaya neden olur. Kohezif hata, kauçuk veya metal alt tabakanın kendisi hasarlandığında meydana gelir ve malzeme içinde kırılma veya delaminasyona yol açar. Arayüzey hatası ise, yetersiz yüzey hazırlığı veya uyumsuz yapıştırıcı nedeniyle kauçuk ve metal arasında zayıf yapışma olduğunda meydana gelir.

Kauçuk-metal yapışmasında yapışma hatası, ara yüzeydeki zayıf yapışma nedeniyle kauçuğun metal alt tabakadan ayrılması veya kopması anlamına gelir. Bu hata türü, kauçuk ve metal arasındaki bağın, her iki malzemenin kohezif mukavemetinden daha

zayıf olduğunda ortaya çıkar ve yapışkan tabakanın hasarına neden olur. Yapışma hatası, yetersiz yüzey hazırlığı, uyumsuz yapıştırma maddeleri veya yüzeydeki kirlenme gibi faktörlerden kaynaklanabilir. Yapışma hatasını azaltmak için, metal yüzeyin yeterince temizlenmesi ve yüzeyin kumlanması gibi işlemlerle uygun yüzey hazırlığı uygulanıp, uygun yapıştırma maddeleri kullanılmalıdır (Grard vd., 2020, Ramakrishnan vd., 2021).

Kauçuk-metal yapıştırmada kohezif hata, kauçuk ve metal yüzeyler arasındaki bağ yerine kauçuk malzemenin kendisinin hasarlanması veya kopması anlamına gelir. Kauçuğun kohezif mukavemeti, uygulanan stres veya yükten daha zayıf olduğunda meydana gelir ve malzemenin kırılmasına ya da yırtılmasına neden olur. Yetersiz kauçuk formülasyonu ve uygun olmayan kürleme koşulları (yetersiz kürleme süresi veya sıcaklığı), kauçuğun tam olarak çapraz bağlanamamasına neden olabilir. Ayrıca düşük yırtılma mukavemetine veya deformasyona karşı zayıf dirence sahip bir kauçuk bileşiğinin seçilip, mukavemet sağlayamayacak yükler altında kullanılması ya da kauçuk malzeme üzerindeki aşırı stres veya zorlanma potansiyel hasarlara neden olabilir. Bu gibi durumlar, öncelikli olarak kauçuğun kendisini de hasarlayarak kohezif hatanın meydana gelmesini sağlar (Grard vd., 2020, Ramakrishnan vd., 2021).

Kauçuk-metal yapışmasında arayüzey hatası, kauçuk ve metal yüzeyler arasındaki arayüzeyde meydana gelen hasar veya ayrılmayı ifade eder. Yetersiz yüzey hazırlığı, uyumsuz yapıştırma maddeleri veya mekanik gerilimler, bu tip hataların ortaya çıkmasına en çok neden olan gibi faktörlerdir. Ayrıca termal genleşme veya titreşim gibi mekanik gerilimler de kauçuk ve metalin arayüzeyde ayrılmasına neden olarak arayüzey hatasına neden olabilir. Arayüzey hatasını önlemek için; kapsamlı temizlik ve yüzeyin kumlanması ile uygun yüzey hazırlığı yapıldıktan sonra uygun yapıştırma maddelerinin kullanılması gerekir. Ayrıca, uygun mekanik gerilim koşulları için tasarım yapmak, güçlü ve dayanıklı bir bağın sağlanmasına yardımcı olur (Bin Othman, 1989, Grard vd., 2020, Kuteneva vd., 2022).

2.3.4 Metal ile kauçuk malzemelerin yapışma kuvvetinin ölçülmesi

Kauçuk ve metalin birbirine yapıştırılması, Şekil 2.7'den de görülebileceği üzere uzun işlem adımlarını içermektedir ve her adımda, gerçekleştirilen işlemin kalitesini etkileyebilecek çok sayıda faktör yer almaktadır. Bu nedenle metal ve kauçuğun

yapıştırılması kadar, yapıştırılması ile elde edilen bağın kalitesinin ölçülmesi de kritik öneme sahiptir. Kauçuk-metal yapışmasını değerlendirilmesinde yaygın olarak; yorulma-bozulma testi, H-yapışma testi, soyulma (peeling) testi, lastik kordonu yapışma testi ve kesme çekme testi yer almaktadır. Bunlar arasında, metal-kauçuk bağı kalitesini etkileyen faktörlerin en önemli göstergesi, soyulma testidir. Soyulma testi, kauçuğun, yapıştığı metal şeritten ayrılması için gereken kuvveti belirlemek için kontrollü bir hızda soyulduğu, kauçuğun metale yapışma mukavemetini ölçen standart test yöntemidir. Yapışma mukavemeti, ortalama soyulma kuvveti ve yapışan şeritlerin genişliği kullanılarak hesaplanan soyulma kırılma enerjisi ile karakterize edilir. Soyulma kırılma enerjisi değerleri tablolar halinde raporlanır ve ölçümlerin tekrarlanabilirliğini değerlendirmek için kullanılır (Buist vd., 1956, Rezaeian vd., 2012).

Soyulma testinin endüstride uygulamasında yaygın olarak ASTM D429 test standartı takip edilmektedir. ASTM D429 standartı, rijit bir altlığa yapıştırılmış kauçuğun özelliklerinin belirlenmesi için uygulanacak test yöntemlerini tarif eder. Bu standartta, Çizelge 2.2.'de görülen 8 farklı metal-kauçuk kondisyonunun yapışma özelliğinin değerlendirilebileceği test yöntemi tanımlanmıştır.

Çizelge 2.2. ASTM D429 test standardına göre farklı metal-kauçuk kondisyonlarının yapışma özelliğinin tayin edildiği test yöntemleri

Test Yöntemi	Metal-Kauçuk Kondisyonu
A	İki Paralel Metal Plaka Arasına Monte Edilmiş Kauçuk Parça
B	90° Sıyırma Testi-Kauçuk Parça Bir Metal Plakaya Monte Edilmiştir
C	Kauçuğun Metale Yapışmasının Konik Numune ile Ölçülmesi.
D	Yapışma Testi-Kauçuğun Metale Vulkanizasyon Sonrası (PV) Bağlanması.
E	90° Sıyırma Testi-Bir Metal Plakaya Monte Edilmiş Kauçuk Tank Astarı.
F	İki Paralel Dışbükey Şekilli Metal Plaka Arasına Monte Edilmiş Kauçuk Parça
G	Kauçuktan Metale Yapıştırılmış Bileşenler için Çift Kesme Silindirik Numune ile Bağ Dayanıklılığının Ölçülmesi
H	Dörtlü Kesme Numunesi ile Kauçuk-Metal Yapıştırılmış Bileşenler için Bağ Dayanıklılığının Ölçülmesi

2.4 Taşıtlarda Kullanılan Süspansiyon Sistemi

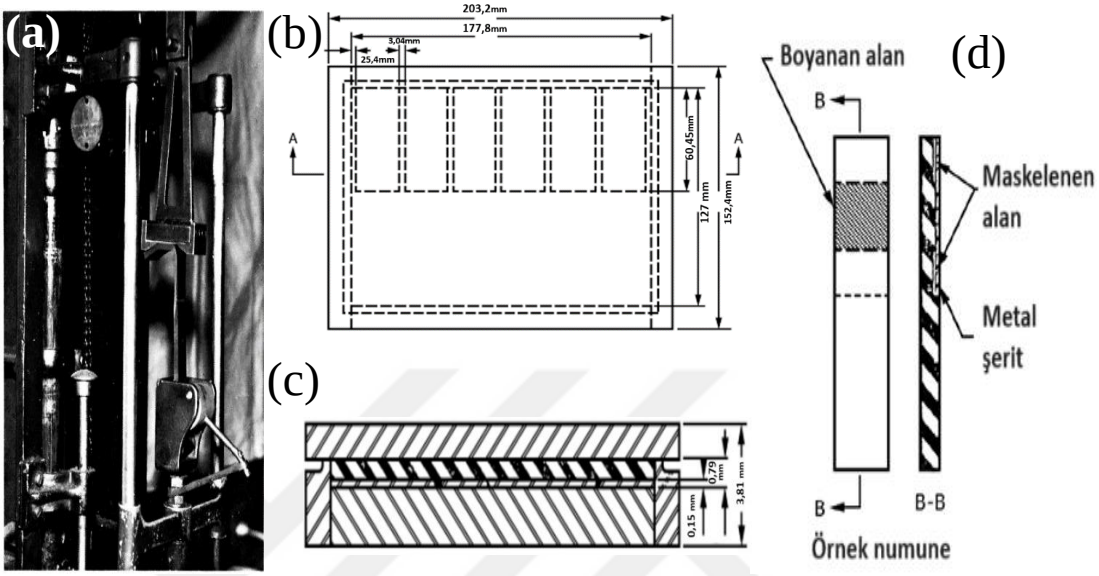
Metal kauçuk yapışma uygulama alanlarından birisi de hava süspansiyon körükleridir. Hava süspansiyon körükleri, hareketli bir yay oranı sağlar ve esnek yük taşıma kapasitesine sahiptir. Hava süspansiyon körükleri; demiryolu taşıtları, Ağır yük kamyon ve treylerleri, ambulanslar, otobüsler ve endüstride izolatörler ve aktüatör olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Harsh ve Razdan, 2022).

Hava süspansiyon körüğü, birbirine yapıştırılarak tek parça haline getirilen tas adı verilen metal altlık ve kauçuktan oluşur. Tas, körüğün taşıtın ana gövdesine montaj edilmesini sağlarken, kauçuk ise körüğe esneklik özelliği sağlar. Hava süspansiyon körüğünün metal ve kauçuk komponentlerinin birleştirilmesinde de yüzey temizliği, yüzey modifikasyonu, yapıştırıcı uygulaması ve kürleşme adımları takip edilmektedir. Hava süspansiyon körüğünün kauçuk-metal arayüzeyi çalışma çevrimi boyunca yorulmaya maruz kalmaktadır. Ayrıca kauçuk kullanım ömrü boyunca yüksek hava basıncına maruz kalmaktadır. Hava süspansiyon körüğünün metal kauçuk birleştirme prosesinde, körüğün çalışma koşullara uygun yapışma mukavemeti sağlayabilecek yöntemler uygulanmaktadır. Hava süspansiyon körüğünün metal kauçuk birleştirmesinde; yüzey temizliği için kumlama + yağ alma, yüzey modifikasyonu olarak fosfatlama, yapıştırıcı uygulaması olarak kemosil, boyama ve kürleşme olarak da vulkanizasyon yöntemi uygulanmaktadır.

2.5 Hava Süspansiyon Sistemlerinde Metal Kauçuk Yapışmasında Uygulanan Test Yöntemi

Hava süspansiyon körüklerinde tas ve kauçuk yapışmasının kalitesi, ASTM D429 standartının B yöntemine göre karakterize edilmektedir. Bu yöntemde, Şekil 2.10. (a)'da yer alan test düzeneğinde görüldüğü gibi kauçuk şerit numunenin bir ucu metal şeride yapıştırma prosesine uygun şekilde yapıştırılmışken, kauçuk şeridin diğer ucu, kauçuk şerit ve metal şerit arasında 90º açı olacak şekilde test cihazının çenesine bağlanarak test koşullarına uygun şekilde çekilir. Test numunesinin uygun boyutlarda üretilmesi için, Şekil 2.10. (b)' de üst ve (c)'de yandan görünüşünde boyutsal ölçüleri verilen bir kalıba kauçuk şeritler yerleştirilir. Kauçuk şeridin tamamının metale yapışmaması için, kauçuk şerit ve metal şerit kalıba yerleştirilirken aralarına yalnızca yapışacağı yüzeyin boş

kalacağı şekilde bir ayırıcı film yerleştirilir. Böylece kalıp içerisinde kauçuk ve metalin yapışma prosesinin tamamlanmasının ardından Şekil 2.10. (d)'de görülen numune elde edilmiş olur.



Şekil 2.10. ASTM D429 B Metodu: (a)testin uygulanması, (b) numunenin hazırlamasında kullanılan kalıbın üstten görünüşü, (c) numunenin hazırlamasında kullanılan kalıbın alttan görünüşü (d) kalıpta üretilecek numuneye metalin yapıştırılma şekli.

2.6 Deney Tasarımı

Deney tasarımı, bilimsel araştırmalar ve mühendislik çalışmalarında sistemli bir şekilde veri toplamak ve analiz etmek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, deneylerin daha etkili, güvenilir ve bilgilendirici olmasını sağlar. Bir sürecin koşullarında değişiklikler yapılarak farklı sonuçlar elde etmek mümkündür. Elde edilen sonuçların istatistiksel araçlar kullanılarak analiz edilmesi ile sürecin koşulları, değişiklikler ve sonuçlar arasında anlamlı bir ilişki elde edilebilir. Deney tasarımı, bu ilişki kurma sürecin sistematik olarak yürütülmesini sağlar. Deney tasarımında sürecin koşulları; faktör, koşullarda yapılan değişiklikler; seviye ve elde edilen sonuçlar yanıt olarak adlandırılır (Songur, 2022). Çizelge 2.3.'de 4 adet faktör ve 2 adet seviyeden oluşan örnek bir deney tasarımı için yapılacak deneylerin kombinasyonu verilmiştir. Kombinasyonların hazırlanmasında 4 adet faktör; a, b, c ve d olarak adlandırılmış, her bir faktörün 2 adet seviyesi ise; 0 ve 1 olarak numaralandırılmıştır. Her bir faktör ve kendilerine ait her bir

seviyenin kullanıldığı tüm ihtimalleri içeren bir kombinasyon için Çizelge 2.3.'de görüleceği üzere 16 adet deney yapılması gerekmektedir.

Çizelge 2.3. 4 adet faktör ve 2 adet seviyeden oluşan örnek bir deney tasarımı tablosu

Deney No	Deney kombinasyonu	Deney No	Deney kombinasyonu
1	a_0,b_0,c_0,d_0	9	a_1,b_0,c_0,d_0
2	a_0,b_0,c_0,d_1	10	a_1,b_0,c_0,d_1
3	a_0,b_0,c_1,d_0	11	a_1,b_0,c_1,d_0
4	a_0,b_0,c_1,d_1	12	a_1,b_0,c_1,d_1
5	a_0,b_1,c_0,d_0	13	a_1,b_1,c_0,d_0
6	a_0,b_1,c_0,d_1	14	a_1,b_1,c_0,d_1
7	a_0,b_1,c_1,d_0	15	a_1,b_1,c_1,d_0
8	a_0,b_1,c_1,d_1	16	a_1,b_1,c_1,d_1

Deney tasarımındaki faktör sayısı f ve seviye sayısı s olmak üzere toplam deney sayısı (2.1) numaralı eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$\text{Toplam Deney Sayısı} = s^f \tag{2.1}$$

(1) numaralı eşitliğe göre, 4 adet faktör ve 2 adet seviyeden oluşan örnek bir tam faktöriyel deney tasarımı için 16 adet deney yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. (1) numaralı eşitlikten hesaplanan deney sayısı, Çizelge 2.3'de gösterilen kombinasyonlardan elde edilen deney sayısını doğrulamaktadır.

2.6.1 Faktöriyel tasarımlar

Bir deney tasarımı, Çizelge 2.3.'de olduğu gibi faktörlerin ve seviyelerin bütün kombinasyonlarını içerdiğinde tam faktöriyel deney tasarımı olarak adlandırılmaktadır. Tam faktöriyel deney tasarımı, az sayıda faktör ve seviye olduğunda kullanışlıdır. Fakat faktör ve seviye sayısı arttıkça hem deney tasarımının karmaşıklığı artar hem de daha fazla sayıda deney gereklidir. Daha fazla sayıda deney, özellikle fiziki ortamda deney yapılması gerektiğinde zaman ve maliyeti arttırır. Eldeki kaynaklar yeterli olmadığında, deney tasarımı için gerekli deney sayısını azaltmak üzere kısmi faktöriyel deney tasarımı kullanılmaktadır. Kısmi faktöriyel deney tasarımında, sonuçların güvenilirliğine ilişkin riskin artışı da göz önünde bulundurularak, tam tekrar yapmak yerine 1/2 ya da 1/4 tekrar yapılabilir (Kuehl, 2000).

2.6.2 Taguchi deney tasarımı

Taguchi Deney Tasarım Yöntemi hem faktör hem de seviyelerin dengeli seçilmesi ile daha az deney gerektiren ve güvenli sonuçlar elde edilmesini sağlayan bir deney tasarım yöntemi önermektedir. Taguchi yönteminde, faktöriyel tasarımdan farklı olarak faktör seviyelerini teker teker değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirme yaparak deney sayısını azaltır (Songur, 2022). Taguchi deney tasarımı ile yapılacak deneyler için uygulanacak faktör ve seviyelerin belirlenmesi için Taguchi ortogonal dizileri kullanılmaktadır. Taguchi ortogonal dizisi, deneylerde uygulanacak toplam faktör ve toplam seviye sayısına göre seçilmektedir. P; Faktör sayısını, L ise seviye sayısını belirtmek üzere Çizelge 2.4'de bir örnek olarak 4 faktör ve 2 seviyeli bir deney tasarımı için Taguchi ortogonal dizisine göre yapılması önerilen 16 adet deneyin her birinde kullanılacak faktörler ve seviyeleri belirtilmiştir. Çizelge 2.4'de örnek olarak gösterilen 4 faktör ve 2 seviyeli tam faktöriyel deney tasarımı için toplamda 16 adet deneye ihtiyaç duyulurken, Taguchi ortogonal dizisi ile aynı sayıda faktör ve seviye için 8 adet deney ile istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar elde edilebilmektedir.

Çizelge 2.4. P=4, L=2 Taguchi ortogonal dizisi

	Taguchi, P=4, L=2				
Faktör / Deney No	A	b	c	d	Yanıt
No.1	1	1	1	1	X_1
No.2	1	1	1	2	X_2
No.3	1	2	2	1	X_3
No.4	1	2	2	2	X_4
No.5	2	1	2	1	X_5
No.6	2	1	2	2	X_6
No.7	2	2	1	1	X_7
No.8	2	2	1	2	X_8

Deneysel çalışmalarda, maliyet büyük bir sorun değilse (başka bir deyişle, yeterli zaman varsa, çalışmalar ucuzsa ve çok uzun sürmüyorsa) veya sonuçların doğruluğu kritik önem taşıyorsa, tam faktöriyel dizi kullanılmalıdır. Tam faktöriyel analizin zaman da dahil olmak üzere maliyeti yüksekse ve sonuçların doğruluğu çok kritik değilse, ortogonal Taguchi dizisi kullanılmalıdır. Deneysel çalışmaların son derece pahalı veya zaman alıcı ve maliyetin kritik olduğu durumlarda ise, sınırlı doğruluğun kabul edilebilmesi

koşuluyla ortogonal olmayan bir Taguchi dizisi kullanılmalıdır. Ancak kısmi faktöriyel analizlerde deney tasarımı mutlaka optimize edilmelidir (Cimbala, 2014).

Taguchi deney tasarımlarının kullanımı, deneysel çalışmalarda olduğu gibi endüstriyel uygulamalar için de gerekli deney sayısını azaltarak maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Taguchi deney tasarımları, seçilen değişkenlerin veya faktörlerin süreci nasıl etkilediğini bulmak için malzeme, mekanik, kimya, endüstri, elektrik-elektronik, enerji gibi çoğu mühendislik uygulamasında önemli kabul edilir. Taguchi tasarımları, endüstriyel süreçlerdeki performans değişimini en aza indirmeye yardımcı olur. Ayrıca Taguchi tasarımları güvenilir ve etkilidir, optimum süreç ayarlarının belirlenmesine olanak tanır (Ilzarbe vd., 2008).

Diğer mühendislik uygulamalarında olduğu gibi, Taguchi deney tasarımının kauçuk-metal yapışması prosesinin optimize edilmesinde de kullanılması mümkündür. Otomotiv sanayinde üretilen sistemlerden viraj denge çubuğu parçası için geliştirilen yeni yapıştırma yöntemindeki parametrelerin etkilerinin değerlendirilmesi için Taguchi deney tasarım metodu kullanılmıştır. Yapılan çalışmada; sıkıştırma oranı, pişme oranı, cure süresi ve cure sıcaklığı olmak üzere dört faktörlü ve iki seviyeli bir deney tasarlanmıştır. L16 Taguchi ortogonal dizisi kullanılarak 16 adet deneyle parametrelerin etkileşimleri incelenmiştir. Yanıt olarak yapışma testi sonuçlarının değerlendirildiği Taguchi deney tasarımına göre, metal-kauçuk yapışması için en uygun proses koşullarını; düşük sıkıştırma oranı (%5), yüksek pişme oranı (%90), yüksek cure süresi (3 saat) ve düşük cure sıcaklığı (170°C) sağlamaktadır (Serbest, 2013).

Taguchi'nin sinyal-gürültü oranı (S/N), tasarım değişkenlerinin en iyi kombinasyonunu seçmek için önerdiği performans istatistikleridir. S/N oranı, her faktörün en iyi sonucu sağlayacak seviyelerini belirleyecek şekilde tanımlamıştır. (Pignatiello, 1988). İstenen performans yanıtına bağlı olarak üç standart S/N oranı türü vardır. Sistem yanıtını olabildiğince küçültmek için (2.2) numaralı eşitlikte görülen “En düşük en iyi” oranı uygulanır.

$$\mathrm{S/N} = -10Log\left(\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} y_i^2\right) \tag{2.2}$$

Bir hedef etrafındaki değişkenliği azaltmak için (2.3) numaralı eşitlikte görülen "Nominal en iyi" oranı uygulanır.

$$\mathrm{S/N} = 10Log\left(\frac{\bar{y}^2}{s^2}\right) \tag{2.3}$$

Sistem yanıtını olabildiğince büyütmek için (2.4) numaralı eşitlikte görülen "En yüksek en iyi" oranı uygulanır.

$$\mathrm{S/N} = -10Log\left(\frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\frac{1}{y_i^2}\right) \tag{2.4}$$

3 MATERYAL ve YÖNTEM

Yüzey hazırlık banyolarının temiz ve kirli olma durumları belirlendikten sonra yapılan deney tasarımı ile, hazırlanan numunelere yapılan işlemler aşağıdaki gibi gruplandırılarak açıklanacaktır. Yapılan deneysel işlemler;

- Metal numunenin hazırlanması,
- Kauçuk numunenin hazırlanması,
- Metal ile kauçuğun vulkanize edilmesi,
- Yapışma kuvvetlerinin ölçülmesi,
- Yapışma yüzeylerinin incelenmesi şeklindedir.

Yukarıda belirtilen tüm aşamalarda kontrol yapılmış ve değişkenlerin yalnızca yüzey hazırlık işlemi uygulanıp uygulanmama durumları olması sağlanmıştır. Bunu sağlamak için çeşitli ölçümler yapılmış ve kayıt altına alınmıştır. Ayrıca, temiz banyo ve kirli banyo arasındaki değişkenliğin tekil bir gözlem olmasını önlemek amacıyla temiz banyo şartlarında ilave kontrol grubu numuneleri hazırlanmıştır. Sonuçlar incelenip değişkenlerin sabit tutulduğu gözlemlendikten sonra Taguchi analizi ile yüzey hazırlık işlemlerinin ve banyo temizliğinin kauçuk metal yapışma kuvvetine olan etkisi hesaplanmıştır.

3.1 Metal Numunenin Hazırlanması

ASTM D429'ye göre 25mm x 60 mm ölçülerinde, 2 mm kalınlığında 6224 HRP malzemeden metal numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler; deneysel tasarıma göre belirlenen yüzey hazırlık işlemlerine tabii tutulduktan sonra boyanmıştır. Yüzey hazırlık işlemi için kullanılan banyolar yeni kurulduğunda temiz banyo olarak adlandırılırken, yaklaşık bir ay süreyle kullanılan ve kirlilik oranı takip edilen banyolar ise kirli banyo olarak adlandırılmıştır. Boya öncesi metale uygulanan yüzey hazırlık işlemleri; ön yağ alma süreci, kumlama süreci, fosfat kaplama süreçlerinden oluşmaktadır. Hazırlanan numunelere, temiz ve kirli banyo için Çizelge 3.1.'de belirtildiği gibi yüzey hazırlık işlemlerinin biri ya da birkaçı uygulanmıştır.

Çizelge 3.1. Numunelerin hazırlanması için operasyon adımlarının belirlenmesi.

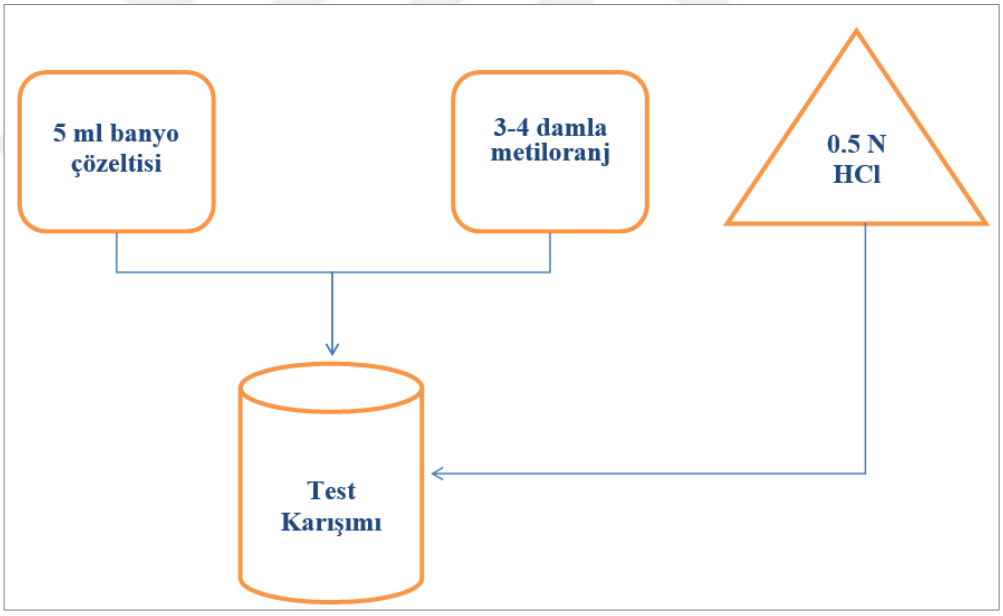
	Temiz Banyo			Kirli Banyo		
	Kumlama	Ön yıkama	Fosfatlama	Kumlama	Ön yıkama	Fosfatlama
1. Numune	✓	✓	✓	✓	✓	✓
2. Numune	X	✓	✓	X	✓	✓
3. Numune	✓	✓	X	✓	✓	X
4. Numune	X	✓	X	X	✓	X
5. Numune	✓	X	✓	✓	X	✓
6. Numune	X	X	✓	X	X	✓
7. Numune	✓	X	X	✓	X	X
8. Numune	X	X	X	X	X	X

3.1.1 Ön yağ alma işlemi

Metal yüzeyinde bulunan toz, yağ vb yabancı maddeleri yüzeyden arındırmak amacıyla hazırlanan numuneler ön yağ alma sürecine tabii tutulmuştur. Numunelere 4 dakika boyunca Hakupur adı verilen kimyasal ile yıkama işlemi ile 3 dakika boyunca kurutma işlemi yapılarak bir sonraki prosese uygun hale getirilmiştir. Burada kullanılan kimyasalın konsantrasyonunu kontrol altına almak amacıyla titrasyon adı verilen kimyasal test uygulanır. İlk olarak Şekil 3.1.'de görseli paylaşılan ve ön yıkama amacıyla kullanılan yağ alma makinesinden, Şekil 3.3.'deki titrasyon şemasında gösterildiği üzere 5 ml banyo çözeltisi erlene alındı. Daha sonra banyo çözeltisi içerisine metiloranj indikatörü eklenip oluşan karışıma 0,5 N HCl damla damla ilave edildi. Bu sırada erlen saat yönünde hareket edilerek çalkalandı. Çözeltinin renk değiştirdiği anda titrasyona son verilerek büretteki değer okundu. HCl'in mL cinsinden sarfiyatı olarak okunan değer; 0,78 olarak belirlenen faktör ile çarpılarak banyonun % konsantrasyon değerine ulaşıldı.



Şekil 3.1. Yağ alma makinesi.



Şekil 3.2. Ön yağ alma banyosu konsantrasyonun hesaplanması için kullanılan titrasyon deney şeması

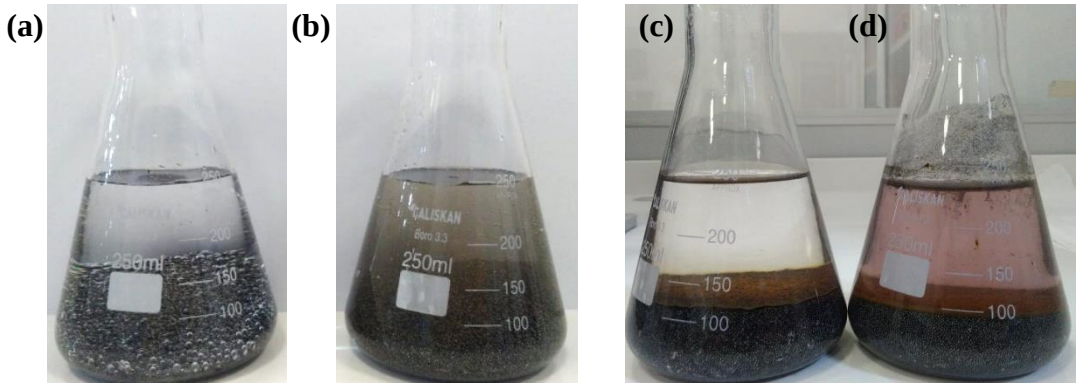
3.1.2 Kumlama işlemi

Metal yüzeyindeki pas, kir ve diğer yabancı maddelerin yüzeyden uzaklaştırmak ve metalin yüzeyini aşındırıp yüzey alanını artırmak amacıyla numuneler kumlama sürecinden geçirilmiştir. Böylece sonraki adımlarda uygulanacak olan boyanın metal yüzeyine yapışması artırılması hedeflenmiştir. Şekil 3.3.'de bir kumlama makinesi örnek olarak paylaşılmıştır.



Şekil 3.3. Kumlama makinesi.

Kumlama kumu olarak LCS 170 grit kum malzeme kullanılmaktadır. Temiz ve kirli banyo şartlarında numune hazırlanırken, kumlama kumları da değiştirilmiştir. Kumların kirliliğini tespit etmek için erlen içerisine eşit miktarda kirli ve temiz kum alınmış ardından su ilave edilmiştir. Şekil 3.4da (a) temiz ve (b) kirli kuma ait görsel paylaşılmıştır. Temiz kumun bulunduğu çözeltinin berrak, kirli kumun çözeltisinin ise bulanık olduğu görülmüştür. Yaklaşık 1 hafta süre ile suda bekletilen grit bilya kumlarının yüzeyinde Şekil 3.4.(c)'de görülebileceği gibi pas oluşmuştur. Kirli kuma ait erlende ise Şekil 3.4.(d)'de görülebileceği gibi metal tozları su yüzeyinde toplanmıştır.



Şekil 3.4. Temiz ve kirli kuma ait gözlemler. Başlangıç anında (a) temiz kum, (b) kirli kum, yeterli süre su içerisinde bekletilmesi ile oluşan pas görüntüsü (c) temiz kum, (d) kirli kum.

3.1.3 Fosfat kaplama işlemi

Metal yüzeyinde oluşabilecek korozyonu önlemek ve uygulanacak boyama işlemi sonrasında yapışma kalitesini arttırmak için fosfat kaplama işlemi ile yüzey temizlenmiştir. Fosfat kaplama işlemleri sırasıyla yağ alma-1, yağ alma-2, durulama-1, durulama-2, aktivasyon, fosfat, durulama-3 ve pasivasyon adımlarından oluşmaktadır. Bu işlemler tam otomatik fosfat kaplama hattında gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.5.'de bir fosfat kaplama hattı örnek olarak paylaşılmıştır.



Şekil 3.5. Tam otomatik fosfat kaplama hattı.

Fosfat hattı banyoları ölçümü yapılarak gerekli ise kimyasal ilaveleri yapılıp kayıt altına alınmaktadır. Deney numuneleri hazırlanırken de gerekli ölçümler yapılmıştır. İlgili kimyasal ile belirlenen miktarda hazırlanmış banyoların konsantrasyonu, banyodaki karışımın banyoya giren metal malzemelerle birlikte taşınması ya da dökülmesi sonucu banyo seviyesi için su ilave edilmesi ihtiyacını doğurur. Banyonun kirlenmesi, sıcaklığının değişmesi ya da kimyasalın çökelmesi gibi durumlarda konsantrasyon oranı değişmektedir. Konsantrasyon değişiminin, fosfat kaplama kalitesini etkilememesi için banyodaki kimyasal oranının kontrol altında tutulması önem taşımaktadır. Bu kontroller için genel olarak, titrasyon adı verilen kimyasal analizler yapılmaktadır. Banyodan alınan karışım örneği, ilgili kimyasal ile erlen içerisinde karıştırılır ve içerisine indikatör eklenir. Ardından bu karışıma asit damla damla ilave edilir. Karışım el hareketi ile saat yönünde döndürülür ve asitin tüm karışıma nüfuz etmesi sağlanır. Renk değişimi olduğu an harcanan asit miktarı mL cinsinden not edilir. Her kimyasal için belirlenen titrasyon kimyasalı ve faktör adı verilen çarpım katsayısı farklıdır.

Fosfat hattındaki banyoların konsantrasyon kontrolü için yapılan ölçüme ait görsel Şekil 3.6.'da, fosfat hattı banyolarında kullanılan kimyasallar, konsantrasyon miktarları, işlem süresi ve banyo kontrol adımları ise Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

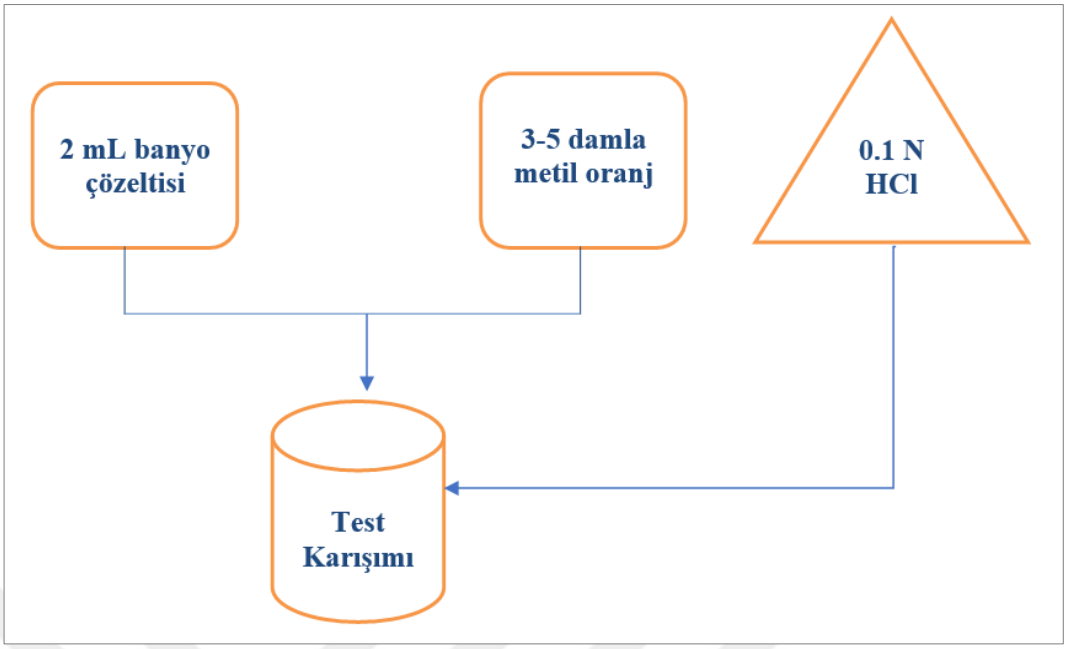


Şekil 3.6. Banyo konsantrasyonunun titrasyon deneyi ile ölçülmesi.

Çizelge 3.2. Fosfat hattı banyolarının kimyasal içerik kontrolü ve işlem süreleri.

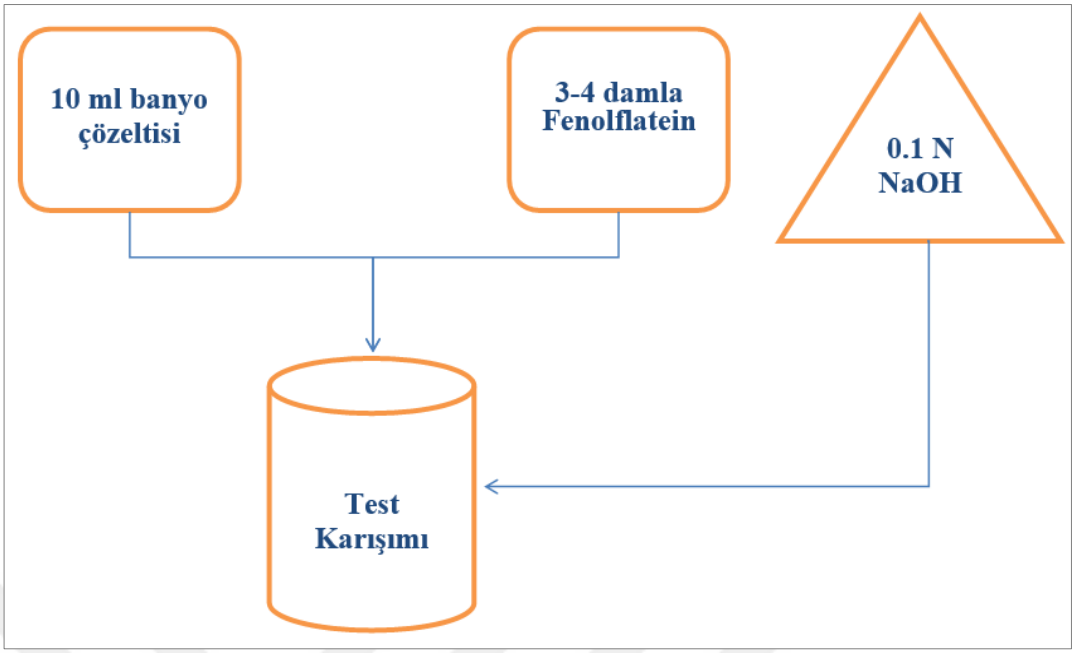
Havuz İsimleri	Sıcaklık	İşlem Süresi	Kullanılan Kimyasal	Konsantrasyon Kontrolü	Konsantrasyon Miktarı
Yağ Alma 1 & 2	50 – 90 ºC	5 dk	Hakupur	Titrasyon deneyi ile yapılmaktadır.	%3 - %5
Durulama 1 & 2	-	1 dk	-	Kimyasal içermediğinden kontrol yapılmamaktadır.	-
Aktivasyon	-	1 dk	Aktivator	pH kağıdı yada pH metre ile ölçülmektedir.	% 0,2
Çinko Fosfat	50 – 90 ºC	8 dk	Decarrdal	Kimyasal içermediğinden kontrol yapılmamaktadır.	%4,5 - %6
Durulama 3	-	1 dk	-	Kimyasal içermediğinden kontrol yapılmamaktadır.	-
Pasivasyon	40 – 60 ºC	1 dk	Hakupur	Titrasyon deneyi ile yapılmaktadır.	%1 - %2

Fosfatlama hattında bulunan ve konsantrasyonu titrasyon deneyi ile ölçülen banyoların ölçüm aşamaları şematik olarak paylaşılmıştır. İlk olarak yağ alma 1 ve yağ alma 2 banyosunun konsantrasyonu ölçülmüştür. Şekil 3.7.'de gösterildiği üzere 2 mL banyo çözeltisi ve 3-5 damla metil oranj, cam erlen içerisine alınıp bu karışıma 0,1 N HCI (Hidroklorik Asit) damla damla eklenirken, erlen saat yönünde hareket ettirilerek karışım titre edildi. Karışımın rengi değiştiğinde titrasyon sonlandırıldı. Bürette okunan değer, konsantrasyon oranı olarak kaydedildi.



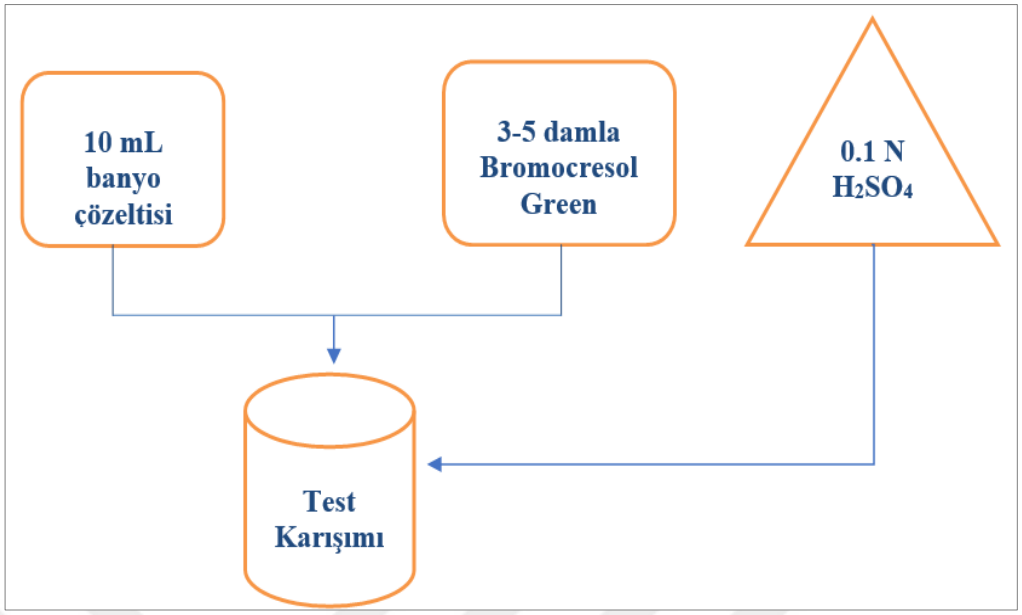
Şekil 3.7. Yağ alma 1-2 banyosu konsantrasyonun hesaplanması için kullanılan titrasyon deney şeması

Fosfat banyosunun konsantrasyon değerini hesaplamak için Şekil 3.8.'de gösterildiği üzere 10 mL banyo çözeltisi ve fenolflatein, erlene alındı. Elde edilen karışım, 0,1 N NaOH (Sodyum Hidroksit) ile titre edildi. Karışımın rengi değiştiğinde titrasyon sonlandırıldı ve bürette okunan değer, konsantrasyon sonucu olarak kaydedildi.



Şekil 3.8. Fosfatlama banyosu konsantrasyonun hesaplanması için kullanılan titrasyon deney şeması

Pasivasyon banyosunun konsantrasyon değerini hesaplamak için Şekil 3.9.'da gösterildiği üzere 10 mL banyo çözeltisi ve 3-5 damla bromocresol green, cam erlene konuldu. Elde edilen karışım 0,1 N H_2SO_4 (sülfürik asit) ile titre edildi. Karışımın rengi maviden sarıya değiştiğinde titrasyon sonlandırıldı. Bürette okunan değer 10 katsayısı ile çarpılarak banyonun konsantrasyon değerine ulaşıldı.

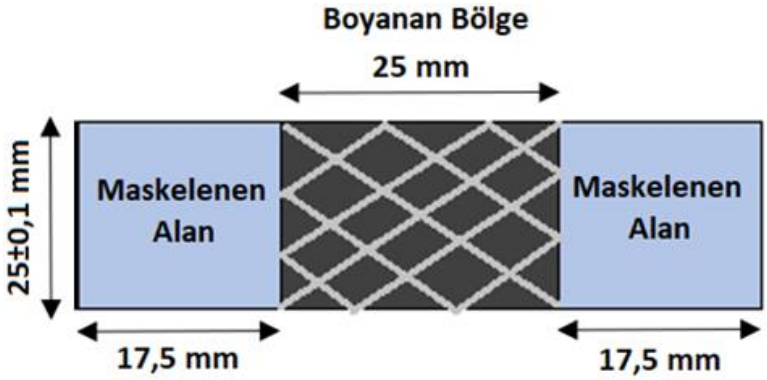


Şekil 3.9. Pasivasyon banyosu konsantrasyonun hesaplanması için kullanılan titrasyon deney şeması

Fosfatlama hattındaki işlemlerin sonunda, metal yüzeyi hava tutularak kurulanıp numuneler boyama işlemine hazır hale getirildi.

3.1.4 Boyama işlemi

ASTM D429 standardındaki belirtildiği şekilde 60x25 mm ebadındaki numunelerin sağ ve sol kenarından maskeleme işlemi yapılarak, boyanacak yüzeyin numunenin ortasında, 25x25 mm'lik alana uygulanması sağlanmıştır. Boyanan metal numune Şekil 3.10.'da şematik olarak gösterilmiştir.



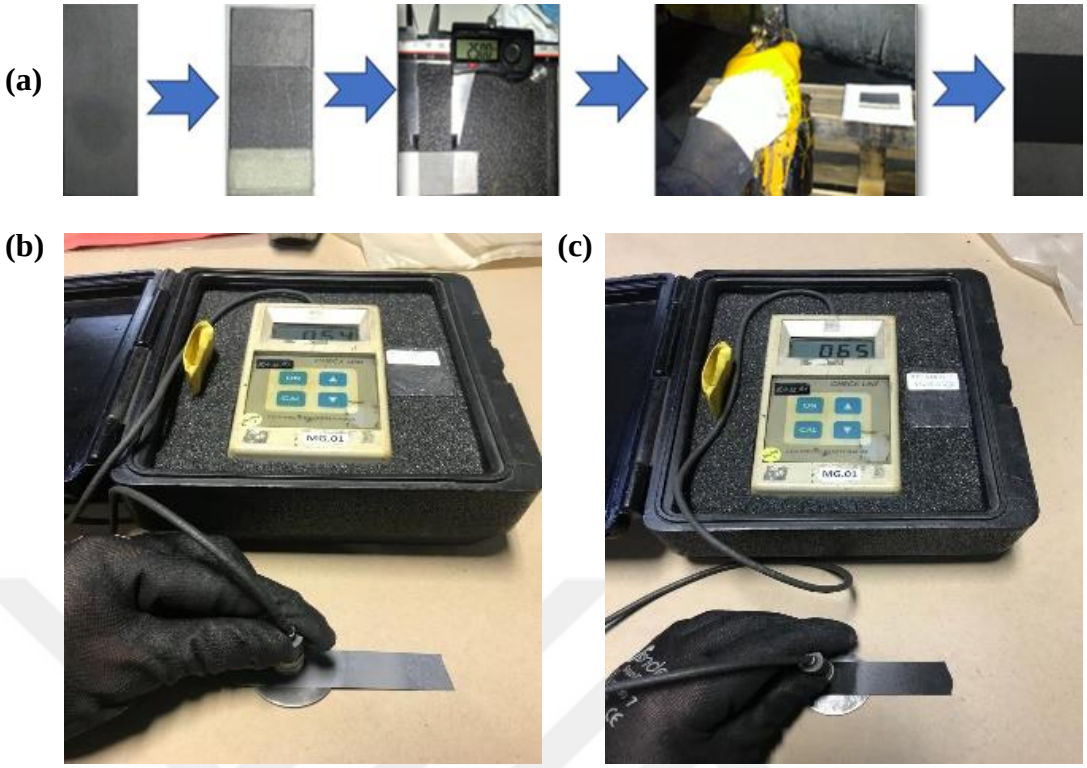
Şekil 3.10. Metal numunenin şematik gösterimi

DIN CUP4 ve kronometre ile viskozite ölçümleri yapılan boyalar, uygun aparatlara yerleştirilmiştir. Boyalar solvent ile inceltildiğinden viskozite kontrolü önem taşımaktadır. Yapılan deneylerde temiz ve kirli banyo için boya viskozite değerleri sabit tutulmuştur. Gri boya için 14 Pa.s, siyah boya için ise 17 Pa.s olarak ölçüm yapılmıştır. Şekil 3.11.'de boya viskozite ölçümünden bir görüntü paylaşılmıştır.



Şekil 3.11. Viskozite ölçümü.

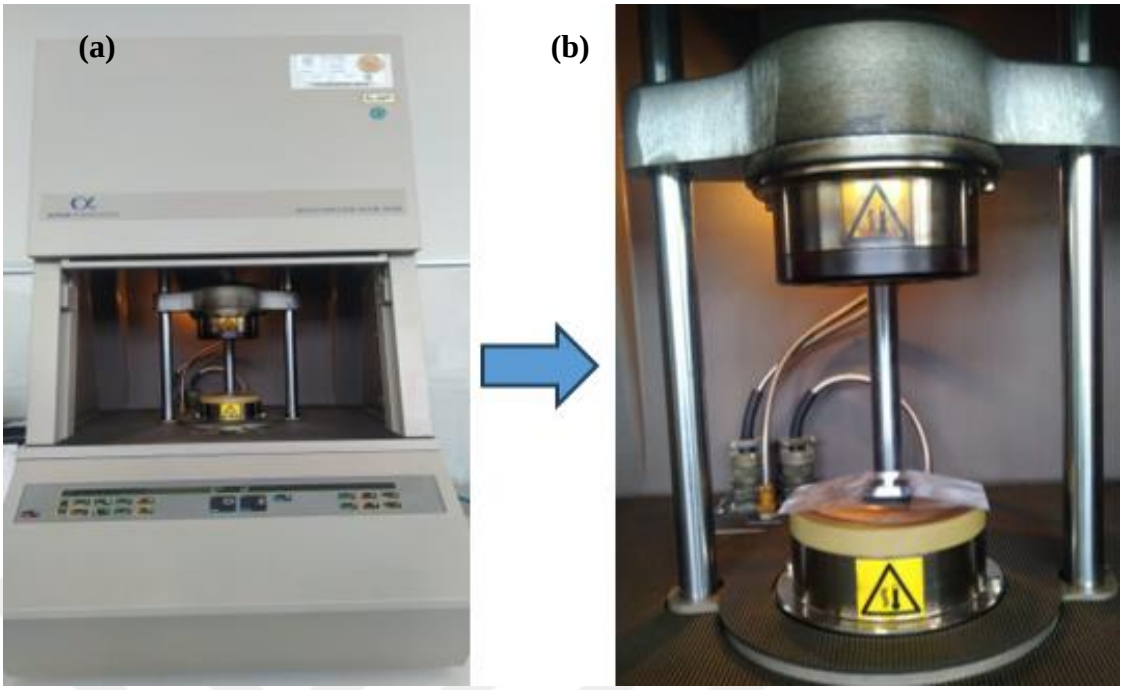
Boyama aşamasına geçildiğinde sabit mesafeden püskürtme metodu ile Şekil 3.12. (a)'da yer alan aşamalarda görülebileceği gibi Chemosil boya uygulamaları yapılmıştır. Metal numuneye öncelikle gri boya olan Chemosil 211, ardından siyah boya olan Chemosil 411 püskürtme metodu ile uygulanarak kurutmaya bırakılmıştır. Püskürtme işlemi yapılırken boya kalınlığının kontrol edilebilmesi için özel şerit bantlar, numune ile aynı anda ve aynı mesafeden boyanmıştır. Ardından bant üzerindeki boyanın kalınlıkları Şekil 3.12. (b) ve (c)'de görülebileceği gibi elcometre yardımıyla ölçülmüştür. Böylece boya kalınlıklarının tüm numuneler için sabit aralıkta tutulması sağlanmıştır.



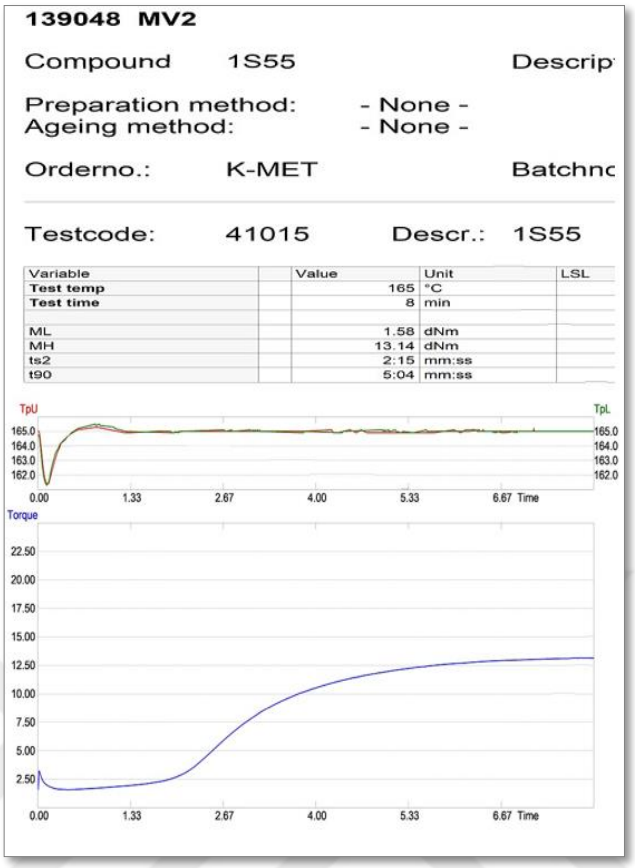
Şekil 3.12. Boyama işleminde gerçekleştirilen (a)Numunenin maskelenmesi ve boyama prosesi aşamaları, özel bantlar kullanılarak (b) gri ve (c) siyah boya kalınlıklarını elcometre ile ölçülmesi.

3.2 Kauçuk Numunenin Hazırlanması

ASTM D5289 standardına göre Alpha marka reometre cihazında, kauçuk numunelerin pişme eğrileri incelenmiştir. Tüm testlerde kullanılan kauçuk malzemeler, klimatize ortamda depolanan aynı lottaki kauçuktan elde edilmiştir. Şekil 3.13.'de reometre cihazı (a) ve test edilen kauçuğun görüntüsü (b) gösterilmiştir. Ölçüm sonuçları ise Şekil 3.14.'de paylaşılmıştır.



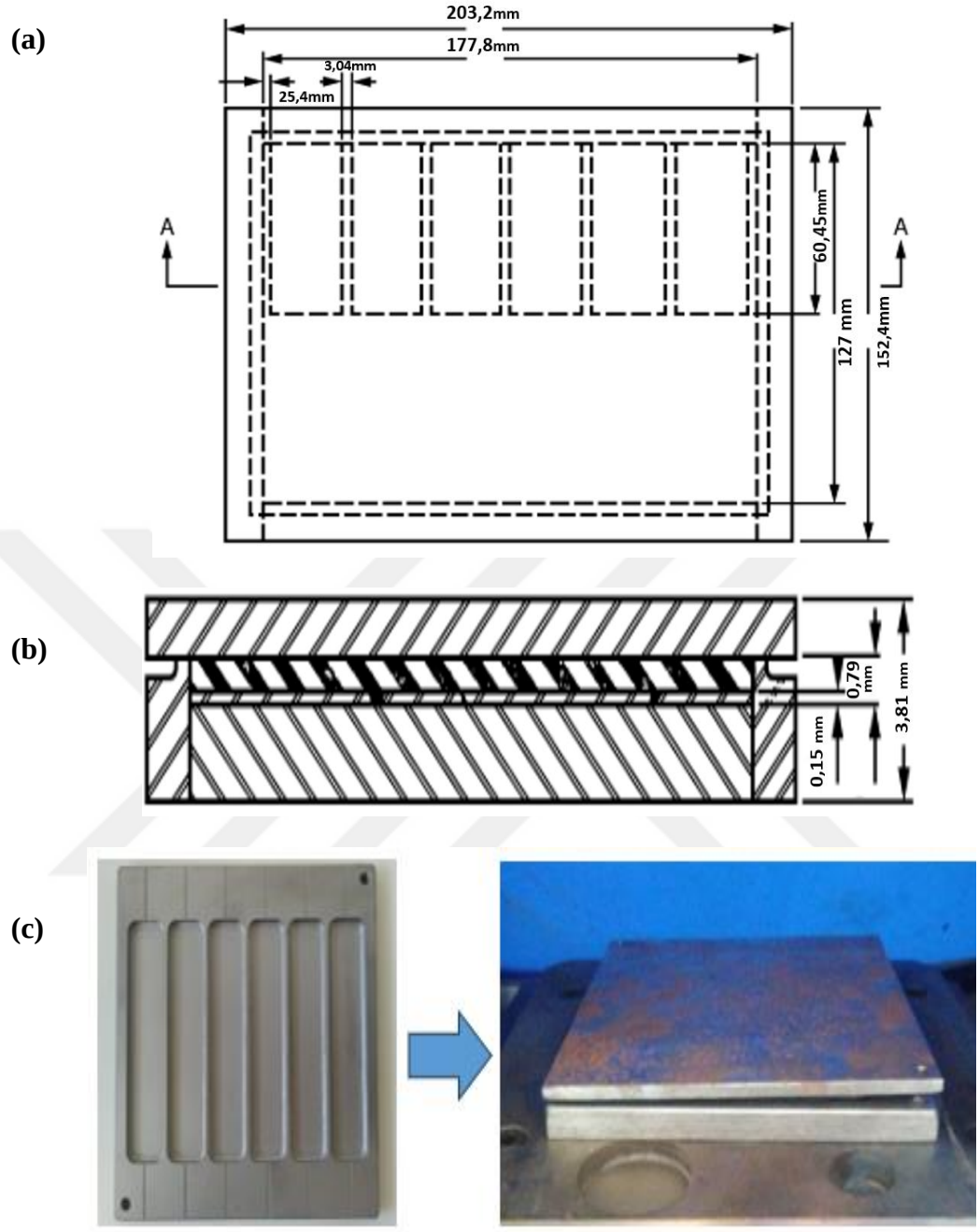
Şekil 3.13. Reometre ölçümünün yapılması (a) Reometre cihazı, (b) kauçuk numunenin test edilmesi.



Şekil 3.14. Kauçuğun pişme eğrisini gösteren örnek bir reometre ölçüm sonucu.

3.3 Metal ile Kauçuk Numunenin Vulkanize Edilmesi

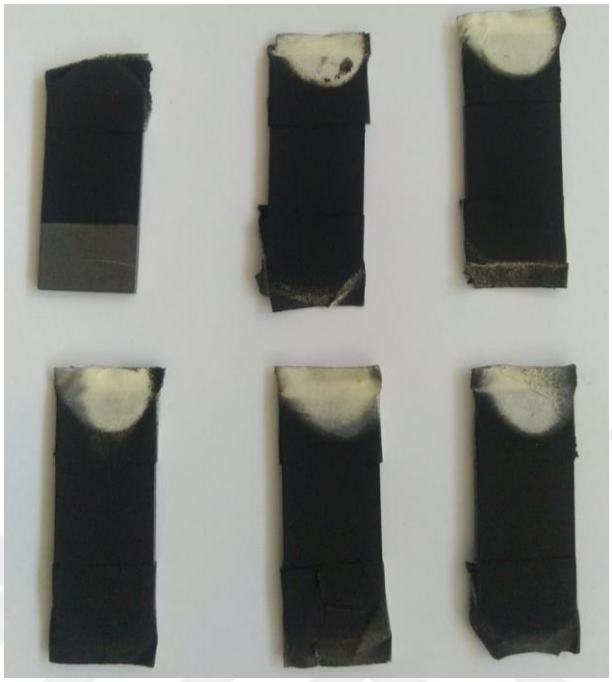
ASTM D429 standardına göre hazırlanan vulkanizasyon kalıbı içerisine metal ve kauçuk numuneler yerleştirilmiştir. Şekil 3.15.'de kalıp ölçülerinin bulunduğu teknik resimler (a) ve (b) ve kalıp görüntüleri (c) gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Kauçuk ve metal numuneler için vulkanizasyon kalıbı (a) Alt kalıbın üstten görünüşü ve ölçülerinin bulunduğu teknik resmi, (b) Alt ve üst kalıbın kapalı haldeyken görünüşü ve ölçülerinin bulunduğu teknik resmi ve (c) Alt kalıp ve kalıbın kapalı halde iken görüntüsü.

Boyanan numuneler, ASTM D429'ye göre 160°C'de 10 dk süreyle vulkanize edilerek kauçuk ile birleştirilmiştir. Metal numunenin boyalı alanına temas etmeden maskenelen kısımlar çıkarılmıştır. Metal numunenin boyalı kısmı kumpas yardımıyla ölçülmüş ve

standarttaki değer teyit edilmiştir. Şekil 3.16. ve Şekil 3.17.'de boyanan numunelere ait görseller paylaşılmıştır.



Şekil 3.16. Maskelenerek boyanan metal numuneler



Şekil 3.17. Maskelenen numunenin boyalı alanının ölçülmesi

Kalıba öncelikle metal numunenin boyalı kısmı yukarıda alacak şekilde metal numuneler yerleştirilmiştir. Ardından tüm numunelerde sabit kauçuk lotu kullanılarak, yüzeye eşit miktarda kauçuk eklenerek ve laboratuvar tipi numune pişirme presi yardımıyla vulkanize

edilmiştir. Şekil 3.18.'de sırasıyla alt kalıp, kalıba yerleştirilen metal numune ve ardından eklenen kauçuk numunelere ait görseller bulunmaktadır.

(a)

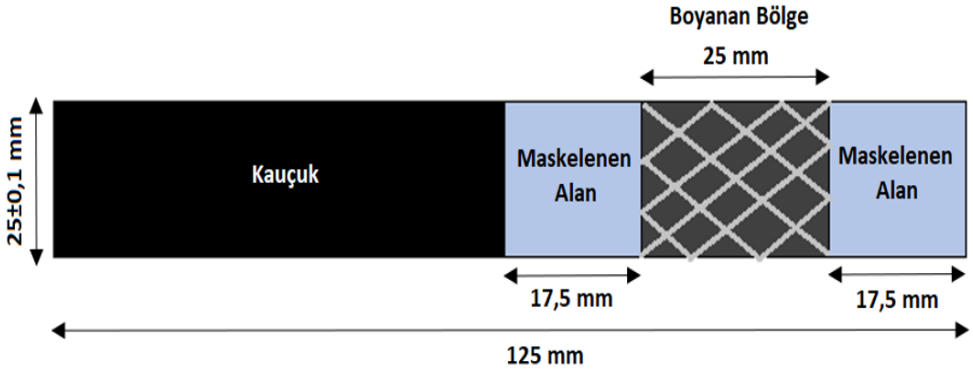
(b)

(c)



Şekil 3.18. Metal ve kauçuk numunenin kalıba yerleştirilmesi (a) Alt kalıp , (b) Alt kalıba metal numunelerin yerleştirilmesi, (c) Metal numuneler üzerine kauçuk numunelerin eklenmesi

Hazırlanan numunenin standarda göre şematik gösterimi Şekil 3.19.'daki gibidir.



Şekil 3.19. Metal kauçuk numunesinin şematik gösterimi.

Şekil 3.20.'de, vulkanizasyon işleminde kullanılan Berkemak marka 30 tonluk pişirme numune pişirme presi ile metal kauçuk numunesi yerleştirilen alt ve üst kalıbın presteki görüntüsü paylaşılmıştır.

(a)



(b)



Şekil 3.20. Vulkanizasyon işleminde kullanılan (a) Berkemak marka, 30 tonluk pişirme presi, ve (b) metal kauçuk numunesi yerleştirilen alt ve üst kalıbın presteki görüntüsü

3.4 Yapışma Kuvvetlerinin Ölçülmesi

Vulkanize edilen numuneler 16 saat dinlendirilmiştir. Ardından Zwick Roell marka cihaz ile yapışma kuvvetleri ölçülmüştür. Ölçüm yapılan cihaza ait görsel Şekil 3.21.'de bu test için kullanılan çenelerin görüntüsü ise Şekil 3.22.'de verilmiştir.



Şekil 3.21. Zwick Roell universal test cihazı.



Şekil 3.22. Yapışma kuvvetlerinin belirlenmesi için kullanılan çene görseli.

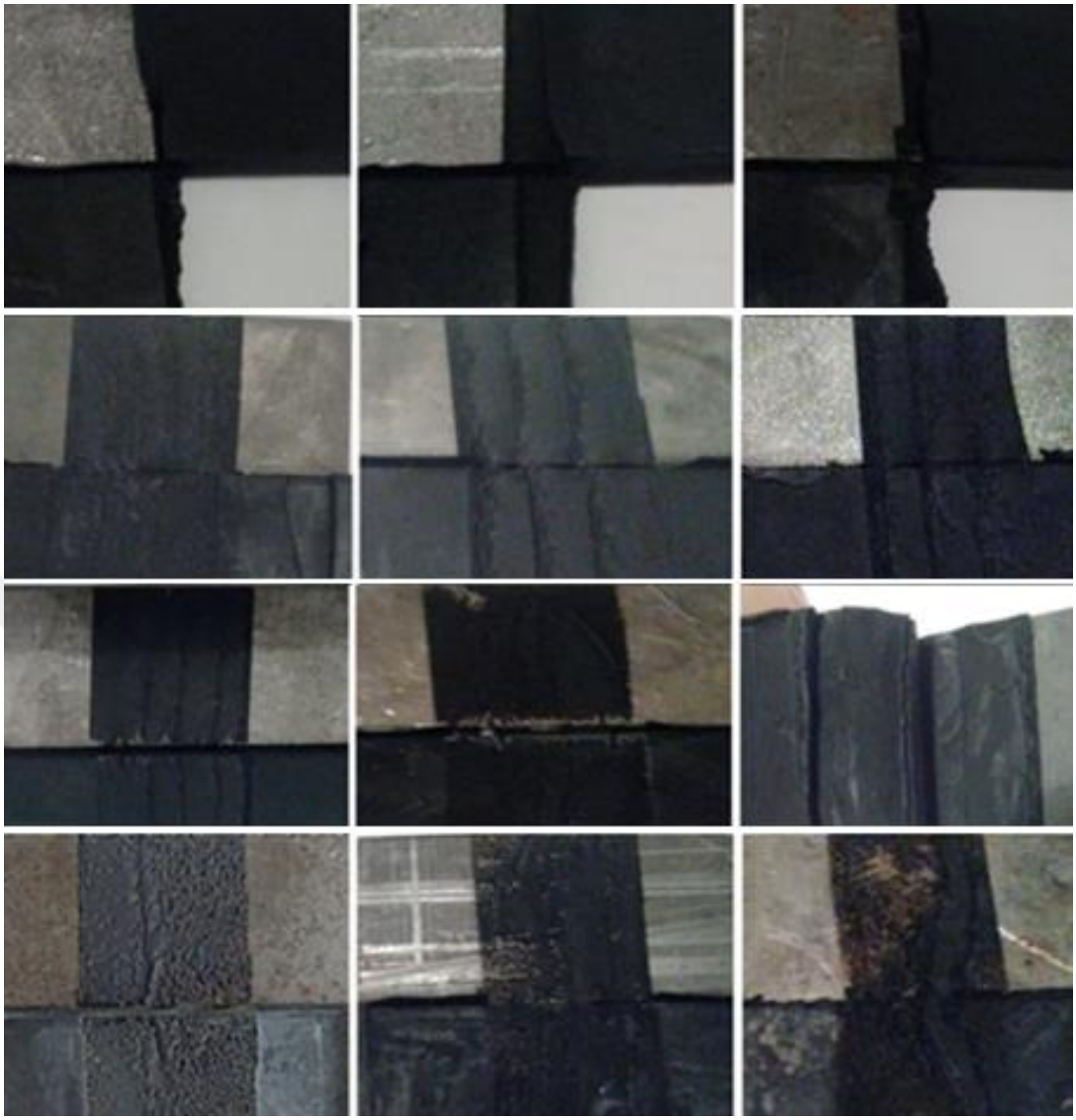
3.5 Yapışma Yüzeylerinin İncelenmesi

Analiz ederken olası hataları önlemek amacıyla hazırlanan tüm numuneler harflendirilmiştir. Pişme aşamalarındaki kontrolü sağlamak için ise kaç nolu kalıp gözünde vulkanize oldukları numuneler üzerine yazılmıştır. Ancak termal kamera ile ve yüzey probu ile kontrol edilen numune pişirme presinde herhangi bir sıcaklık değişimi saptanmamıştır. Hazırlanan numunelerin görüntüleri Şekil 3.23.'de verilmiştir.



Şekil 3.23. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanan numunelerin tümü.

Yapışma kuvvetleri ölçülen numunelerin sıyrılma yüzeyleri görüntülenmiş ve Şekil 3.24.'de verilmiştir.



Şekil 3.24. Numunelerin sıyrıldıktan sonraki yapışma yüzeyi görüntüleri.

4 BULGULAR

Hava süspansiyon körüklerinde kauçuk ve metal yapışma mukavemetinin hangi etkilerle değiştiğinin incelenmesi amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Metal numunelere boyama işleminden önce yüzey hazırlık işlemlerinden; kumlama, yağ alma ve fosfatlama işlemlerinin yapıldığı ve yapılmadığı varyasyonlar için deney tasarımı oluşturulup numuneler hazırlanmıştır. Hazırlık aşamasında değişkenleri sabit tutmak amacıyla yüzey hazırlık banyolarının konsantrasyon değerleri ölçülmüş ve boya kalınlıkları sabitlenmiştir. Ardından metal numuneler aynı lottaki kauçuk malzeme ile vulkanize edilmiştir. Kullanılan kauçuk, Alpha marka reometre cihazında 165 °C 8 dk süre ile yapılan test edilmiştir. Buna göre kauçuğun minimum tork değeri 1,58 dNm, maksimum tork değeri 13,14 dNm olarak ölçülürken, pişme sürelerini ifade eden ts2 değeri 2:15 dk:sn ve t90 değeri 5:04 dk:sn olarak ölçülmüştür.

Standartta belirtilen şekilde hazırlanan test numunelerindeki kauçuk metal yapışma mukavemetinin belirlenmesi için Zwick Roell marka universal test cihazı kullanılmış ve ölçülen yapışma mukavemeti sonuçları analiz edilmiştir.

Yüzey hazırlık ve boyama işlemlerinde yapılan ölçümlere ait sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde paylaşılmıştır. Fosfat banyoları titrasyon deneyi ile kontrol edilip temiz banyo ve kirli banyo şartları eşit olduktan sonra numune hazırlanmıştır. Fosfat banyolarının konsantrasyon sonuçları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Boyama işlemine ait kontrol sonuçları ise Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'te paylaşılmıştır.

Çizelge 4.1. Fosfat banyolarının titrasyon deneyi sonucundaki yüzdece konsantrasyon değerleri.

Ölçülen Değer	Temiz Banyo Ölçüm Sonucu	Kirli Banyo Ölçüm Sonucu
Yağ Alma-1 Havuzu Konsantrasyon Değeri	% 7	% 7
Yağ Alma-2 Havuzu Konsantrasyon Değeri	% 8	% 8
Fosfat Havuzu Konsantrasyon Değeri	% 18	% 18
Aktivasyon Havuzu Konsantrasyon Değeri	% 10	% 10
Pasivasyon Havuzu Konsantrasyon Değeri	% 4	% 4

Çizelge 4.2. Gri ve siyah boyanın boyama işlemi öncesi ölçülen viskozite değerleri.

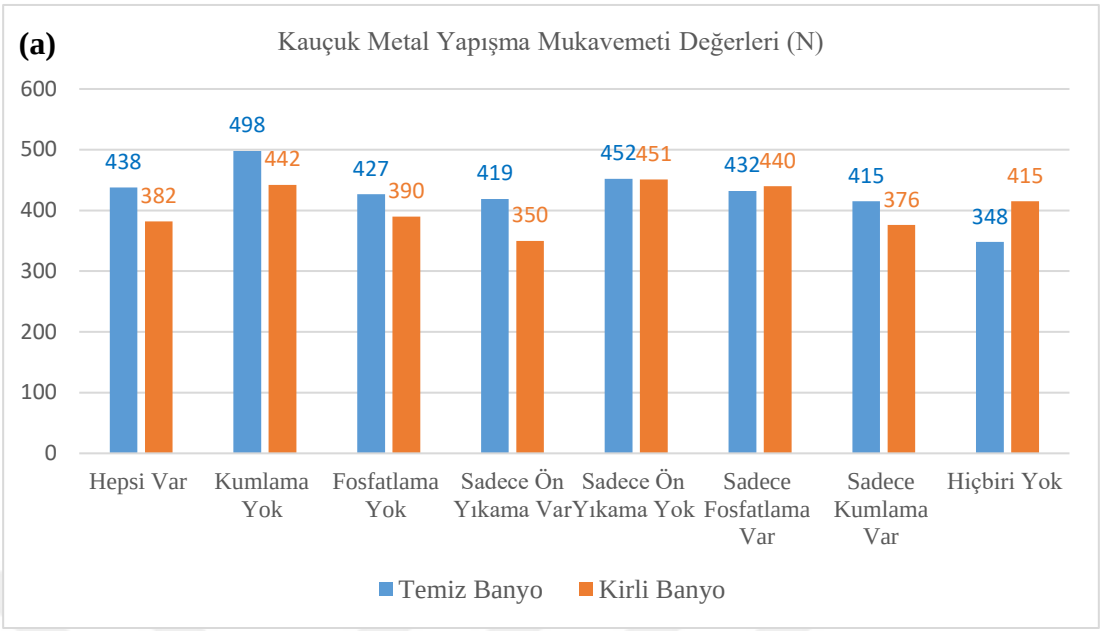
Ölçülen Değer	Temiz Banyo Ölçüm Sonucu	Kirli Banyo Ölçüm Sonucu
Chemosil 211 – Gri Boya Viskozite Değeri	14 Pa.s	14 Pa.s
Chemosil 411 – Siyah Boya Viskozite Değeri	17 Pa.s	17 Pa.s

Çizelge 4.3. Gri ve siyah boyanın boyama işlemi sonrası ölçülen kaplama kalınlıkları.

Ölçülen Değer	Temiz Banyo Ölçüm Sonucu	Kirli Banyo Ölçüm Sonucu
Chemosil 211 – Gri Boya Kalınlığı	7 µ	7 µ
Chemosil 411 – Siyah Boya Kalınlığı	12 µ	12 µ

Her bir değişkenden üçer numune hazırlanmış ve test edilmiş ve ortalama değerleri hesaplanmıştır. Zwick Roell marka test cihazından elde edilen Şekil 4.1 (a)'daki sonuçlar, Minitab yazılımına aktarılarak (2.4) eşitliğine göre en yüksek en iyi oranına göre S/N değerleri elde edilmiştir. Deney tasarımı için ortalamalar ve S/N oranı için ana etki grafikleri sırasıyla Şekil 4.1 (b) ve (c)'de gösterilmiştir.

(a)



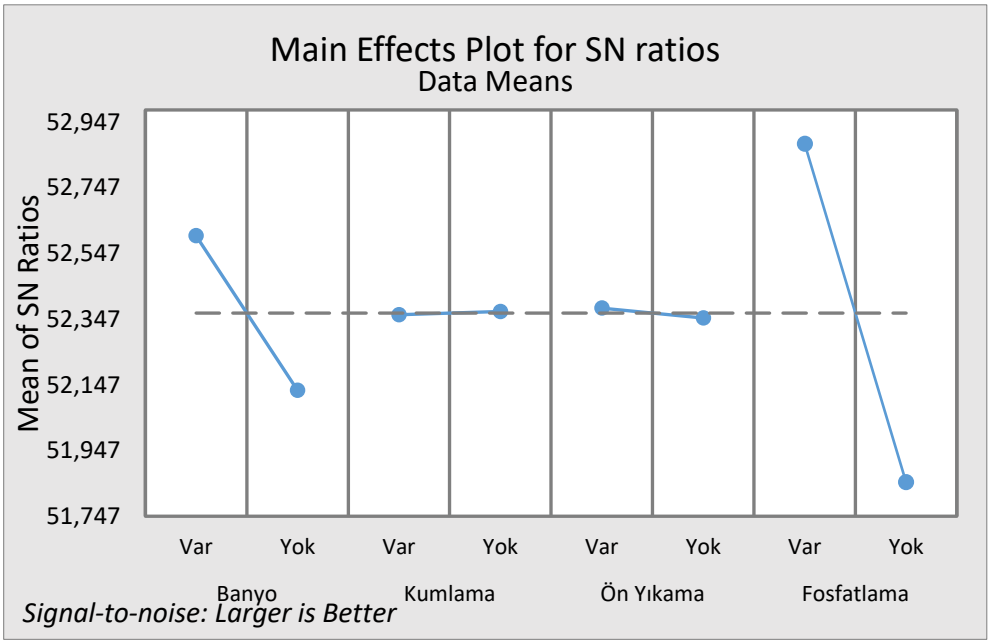
(b)

Response Table for Signal to Noise Ratios

Larger is better

Level	Banyo	Kumlama	Ön-yıkama	Fosfatlama
1	52.60	52.36	52.38	52.88
2	52.13	52.37	52.35	51.85
Delta	0.48	0.00	0.03	1.04
Rank	2	4	3	1

(c)



Şekil 4.1. Yapışma Testinin Deneysel Tasarım Çıktıları. (a) Yapışma Kuvveti sonuçları, (b) Sinyal gürültü oranı, (c) S/N oranları için ana etki grafiği.

Grafikler incelendiğinde yapışma mukavemetinin en çok fosfatlama işleminden etkilendiği görülmüştür. Diğer etki eden etmeler sırasıyla banyonun temiz ya da kirli olması, ardından da ön yıkama işleminin olup olmamasıdır. Fakat bu etki neredeyse sıfıra yakındır. Yapışma mukavemetinin kumlama işleminden etkilenmediği görülmüştür.

Faktör seviyelerine göre, hesaplanan en büyük ile en küçük değerler, arasındaki farklara göre sıralandığında, faktörlerin önem derecelerini ortaya çıkarmaktadır. Diğer deyişle, yanıt değişkenleri üzerinde en az etkiye sahip olan faktör maks.-min. farkı en az olan faktördür.

5 TARTIŞMA ve SONUÇ

Elde edilen bulgulara göre tablo ve grafikler ortak olarak analiz edildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Deney tasarımı için temiz banyo, ön yıkama yapılmaması ve fosfatlamanın yapılması kombinasyonu, en yüksek yapışma mukavemetine ulaşmak için optimum parametreler olup en fazla etkiye sahip olan faktör ise fosfatlama işlemidir.

- Banyonun temiz olmasının kirli olmasına göre kauçuk metal yapışma mukavemetini artırdığı gözlenmiştir.

- Ön yıkamanın olmaması, ön yıkama yapılmasına göre kauçuk metal yapışma mukavemetini artırmıştır.

- Fosfatlama işleminin yapılması, fosfatlama olmamasına göre kauçuk metal yapışma mukavemetini artırır.

- Kumlama işleminin olup olmaması kauçuk metal yapışma mukavemetini anlamlı derecede etkilememiştir.

- Bu çalışmada belirlenen banyo, kumlama, ön yıkama ve fosfatlama proseslerinin kauçuk – metal bağ kuvvetine etki derecelerinin bir göstergesi olan delta değerleri, işletmelerin kendi proseslerine uygun maliyet iyileştirme çalışmaları için öncelikli olarak odaklanmaları gereken prosesin belirlenmesine katkı sağlayabilir.

- Bu çalışma yapılırken üretim ortam şartları sabit olup yaklaşık 23 ºC'dir. Kauçuk özelliklerinin işleme sıcaklığından önemli derecede etkilendiği bilinmektedir. Ayrıca metal yüzey modifikasyonu prosesi de sıcaklıktan etkilenmektedir. Bu nedenlerle sıcaklık değişiminin, kauçuk metal yapışmasına olan etkisinin gelecek çalışmalarda incelenmesi faydalı olacaktır.

- Kumlama operasyonunda kullanılan kumun tane boyutu değiştirilerek, kumlama boyutunun kauçuk metal yapışma mukavemetine olan etkisi incelenebilir.

- Bu çalışmada, kauçuk – metal yapışma mukavemeti ASTM D429 standardına göre test numunelerine uygulanarak laboratuvar ortamında ölçülmüştür. Kauçuk – metal yapışmasının gerçek ortamdaki performansını belirlemek için, aynı deney tasarımı, hava süspansiyon körüğünün nihai ürününe uygulanabilir. Gerçek ortam performans testinin, ürüne özel test cihazı gerektirdiği unutulmamalıdır.

5.1 KAYNAKLAR

Ansarifar, M. A., Zhang, J., Baker, J., Bell, A., & Ellis, R. J. (2001). *Bonding properties of rubber to steel, aluminium and nylon 6,6*. International Journal of Adhesion and Adhesives, *21*(5), 369-380.

Bilgin, B. (2020). *Metal/Kauçuk Yapışma Mukavemetini Arttıran Uygulamalar Üzerine Bir Çalışma* [Yüksek Lisans Tezi]. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.

Bin Othman, A. (1989). *Assessment of Rubber-to-Metal Bond Strength Using The 90-Degree Peel Test*. Polymer Testing, *8*, 289-299.

Brazel, C. S., & Rosen, S. L. (2012). *Fundamental Principles of Polymeric Materials* (3. bs). John Wiley & Sons.

Buist, J. M., Meyrick, T. J., & Stafford, T. R. (1956). *Evaluation of rubber to metal bond*. Rubber Chemistry and Technology.

Chandrasekaran, V. C. (2010). *Rubber to Metal Bonding*. Içinde *Rubber Seals for Fluid and Hydraulic Systems* (ss. 91-97). Elsevier.

Cimbala, M. J. (2014). *Taguchi Orthogonal Arrays*. Içinde *Instrumentation, Measurements, and Statistics*.

Coran, A. Y. (2013). *Vulcanization*. Içinde B. Erman, J. E. Mark, & C. M. Roland (Ed.), *The Science and Technology of Rubber* (4. bs, ss. 337-381). Elsevier.

Cowdrey, S., Ferguson, C., Mauro, L., Müller, M., Neumayer, R., & Orme, B. (1998). *Loctite Worldwide Design Handbook* (2. bs). Loctite European Group.

Demirci, A. H. (2004). *Mühendislik Malzemeleri* (1. bs).

Ebnesajjad, S. (Ed.). (2009). *Introduction and Adhesion Theories*. Içinde *Adhesives Technology Handbook* (2. bs, ss. 1-19). Elsevier.

Erdem, F. (2022). *Otomotiv Süspansiyon Burçlarında Alternatif Kauçuk-Metal Yapışma Sistemlerinin Denenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Kocaeli Üniversitesi.

Grard, A., Belec, L., & Perrin, F. X. (2020). *Characterization and evaluation of primer formulations for bonding silicone rubber to metal*. Progress in Organic Coatings, *140*(December 2019), 105513.

Hall, C. (1989). *Polymer Materials and their Technology*. Içinde *Polymer Materials* (2. bs, ss. 165-166). MACMILLAN EDUCATION.

Harsh, K. S., & Razdan, S. (2022). *A Review on Materials and Experimental Process used in Air-sprig*. Journal of Engineering Research and Sciences, *1*(7), 29-37.

Ilzarbe, L., Álvarez, M. J., Viles, E., & Tanco, M. (2008). *Practical applications of design of experiments in the field of engineering: a bibliographical review*. Quality and Reliability Engineering International, *24*(4), 417-428.

Kauçuk/Metal-Yapıştırıcılar. (2023). KA&MELOCK.

Koltzenburg, S., Maskos, M., & Nuyken, O. (2017). *Polymer Chemistry*. Içinde *Polymer Chemistry*. Springer Berlin Heidelberg.

Kuehl, R. O. (2000). *Design of Experiments: Statistical Principles of Research Design and Analysis*.

Kuteneva, S. V., Gladkovsky, S. V., Vichuzhanin, D. I., & Nedzvetsky, P. D. (2022). *Microstructure and properties of layered metal/rubber composites subjected to cyclic and impact loading*. Composite Structures, *285*(September 2021), 115078.

Mihci, F. (2018). *Improvement of Metal-Epdm Rubber Adhesion By Plasma Surface Modification* [M.Sc. Thesis]. Sakarya University.

Muhr, A. H., Thomas, A. G., & Varkey, J. K. (1996). *A fracture mechanics study of natural rubber-to-metal bond failure*. Journal of Adhesion Science and Technology, *10*(7), 593-616.

Nikiforova, N. A., & Sheryshev, M. A. (2012). *Estimation of the Adhesion Strength of Rubber – Metal Bonds*. Polymer Science, *5*(1), 53-59.

Onaran, K. (1995). *Malzeme Bilimi* (11. bs).

Pignatiello, J. J. (1988). *An overview of the strategy and tactics of taguchi*. IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers), *20*(3), 247-254.

Ramakrishnan, K. R., Sarlin, E., Kanerva, M., & Hokka, M. (2021). *Experimental study of adhesively bonded natural fibre composite – steel hybrid laminates*. Composites Part C: Open Access, *5*(April), 100157.

Rezaeian, I., Zahedi, P., Rezaeian, A., Rezaeian, I., Zahedi, P., & Rezaeian, A. (2012). *Rubber Adhesion to Different Substrates and Its Importance in Industrial Applications : A Review Rubber Adhesion to Different Substrates and Its Importance in Industrial Applications : A Review*. Journal of Adhesion Science and Technology, *26*, 721-744.

Serbest, A. K. (2013). *Metal-Kauçuk Malzeme Çiftinin Sonradan Yapıştırma Yöntemi Kullanılarak Yapıştırma Parametrelerinin İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Uludağ Üniversitesi.

Sevinç, Ü. (2019). *Akrilonitril Bütadien (NBR) Kauçuğunun ve Yapıştırıcısının Sentezi, Karakterizasyonu Ve Demir Metaline Yapıştırılması* [Yüksek Lisans Tezi]. Bursa Uludağ Üniversitesi.

Songur, F. (2022). *AA7075 Alaşımları Üzerine Büyütülen Peo Kaplamaların Korozyon ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması; Proses Parametrelerinin Optimizasyonu* [Doktora Tezi]. ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ.

Souid, A., Sarda, A., Deterre, R., & Leroy, E. (2014). *Rheological characterization and modelling of the rubber to metal vulcanization-bonding process*. Polymer Testing, *36*, 88-94.

Sözen, B. (2021). *Çinko ve Çinko-Nikel Elektrolitik Kaplamaların Kauçuk-Metal Yapışmasına Etkisinin İncelenmesi* [Yüksek Lisans Tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi.

Ünügül, T., Akyıldız, T., & Karaağaç, B. (2021). *Kauçuk-Metal Yapışması*. Kauçuk Derneği, *76*, 0-12.

Vahapoğlu, V. (2007). *Kauçuk Türü Malzemeler I. Doğal Kauçuk*. CBÜ Fen Bilimleri Dergisi, *3*(1), 57-70.

Wegman, R. F., & Twisk, J. V. (2013). *Steel and Stainless Steel*. Içinde *Surface Preparation Techniques for Adhesive Bonding* (ss. 67-82).

Zubal, F. (2019). *Experimental investigation of the influence of cooling process after rubber bushing elements postvulcanization on bonding strength* [Yüksek Lisans Tezi]. Tomas Bata University.