KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİV SÜSPANSİYON BURÇLARINDA ALTERNATİF KAUÇUK-METAL YAPIŞMA SİSTEMLERİNİN DENENMESİ

FEVZİYE ERDEM

KOCAELİ 2022

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİMER BİLİMİ VE TEKNOLOJİSİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OTOMOTİV SÜSPANSİYON BURÇLARINDA ALTERNATİF KAUÇUK-METAL YAPIŞMA SİSTEMLERİNİN DENENMESİ

FEVZİYE ERDEM

Doç.Dr. Şeyda POLAT		
Danışman,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**
Prof.Dr. Atilla EVCİN		
Jüri Üyesi,	**Afyon Kocatepe Üniversitesi**	**.....**
Doç.Dr. Ş.Hakan ATAPEK		
Jüri Üyesi,	**Kocaeli Üniversitesi**	**.....**

Tezin Savunulduğu Tarih: 28.06.2022

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ

Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez/proje çalışmasında,

- Bu tezin/projenin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu,
- Çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı,
- Bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi,
- Bu çalışmanın Kocaeli Üniversitesi'nin abone olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun olduğunu,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Tezin/Projenin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez/proje çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

☒Bu tez/proje çalışmasının herhangi bir aşaması hiçbir kurum/kuruluş tarafından maddi/alt yapı desteği ile desteklenmemiştir.

☐Bu tez/proje çalışması kapsamında üretilen veri ve bilgiler ..... tarafından ..... no'lu proje kapsamında maddi/alt yapı desteği alınarak gerçekleştirilmiştir.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Fevziye ERDEM

YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI

Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/projemin tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda belirtilen koşullarla kullanıma açma izninin Kocaeli Üniversitesi'ne verdiğimi beyan ederim. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin/projemin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanımı bana ait olacaktır. Tezin/projenin kendi özgün çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin/projenin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.
Yükseköğretim kurulu tarafından yayınlanan ***"Lisanüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge"*** kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricinde YÖK Ulusal Tez Merkezi/ Kocaeli Üniversitesi Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

☐Enstitü yönetim kurulu kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.

☐Enstitü yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin/projemin erişime açılması mezuniyet tarihinden itibaren 6 ay ertelenmiştir.

☒Tezim/projem ile ilgili gizlilik kararı verilmemiştir.

Fevziye ERDEM

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Araçların çalışma koşullarında maruz kaldığı dinamik yükü sönümleyen burçlar, kauçuğun metal yüzeyden ayrılması sonucu erken ömürde hasar verebilmektedir. Bu nedenle mevcut Chemosil yapışma sisteminin geliştirilmesi önem kazanmaktadır. Bu çalışmada, metal yüzeyin pirinç ile kaplanması ve özel hazırlanmış bir kauçuk reçetesi kullanımı ile daha kararlı bir kauçuk-metal yapışma sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Kauçuk-metal arayüzey etkileşimi burçlara uygulanan sıyırma, konfor ve ömür testleri ile incelenmiş, ayrıca korozyon testleri gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen yapışma sisteminin işyeri güvenliği ve işçi sağlığı açısından da fayda sağlaması diğer bir kazanım olacaktır.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübesinden her zaman faydalandığım, tez çalışmam boyunca desteğiyle her zaman yanımda olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Şeyda Polat'a sonsuz teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında her zaman yanımda olan Teknorot Otomotiv Ürünleri San. ve Tic. A.Ş.'ye yardımları için teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımın yapılmasında katkıları sebebiyle Tekno Kauçuk Sanayii A.Ş.'ye yardımları için teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarımın yapılmasında katkıları sebebiyle Mir Metal Mob. İnş. San. Tic. Ltd. Şti.'ye yardımları için teşekkür ederim.

Özellikle eğitim hayatım boyunca her zaman yanımda olup beni destekleyen aileme göstermiş oldukları sabır ve sevgileri için teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Haziran-2022 Fevziye ERDEM

İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN VE ARAŞTIRMA FONU DESTEĞİ i
YAYIMLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR iii
İÇİNDEKİLER iv
ŞEKİLLER DİZİNİ vi
TABLOLAR DİZİNİ ix
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ x
ÖZET xii
ABSTRACT xiii
1. GİRİŞ 1
2. GENEL BİLGİLER 4
2.1. Kauçuk Karışımlarında Kullanılan Hammaddeler 4
2.1.1. Kauçuklar 4
2.1.1.1. Doğal Kauçuk (NR) 4
2.1.1.2. Polibütadien Kauçuk (BR) 5
2.1.1.3. Stiren Bütadien Kauçuk (SBR) 6
2.1.1.4. Akrilonitril Bütadien Kauçuk (NBR) 7
2.1.1.5. Kloropren Kauçuk (CR) 8
2.1.1.6. Etilen Propilen (EPM) ve Etilen Propilen Dien (EPDM) Kauçuk 9
2.1.2. Dolgular 11
2.1.2.1. Karbon Karası 11
2.1.2.2. Silika 12
2.1.3. Proses Kolaylaştırıcılar 13
2.1.4. Koruyucular 13
2.1.5. Vulkanizasyon Maddeleri 13
2.2. Kauçuk-Metal Yapışma Sistemleri 13
2.2.1. Mekanik Yapışma Sistemi 14
2.2.2. Elektrostatik Yapışma Sistemi 15
2.2.3. Difüzyonla Yapışma Sistemi 16
2.2.4. Islatma ile Yapışma Sistemi 16
2.2.5. Kimyasal ile Yapışma Sistemi 17
2.3. Otomotiv Sektöründe Kullanılan Yapıştırıcılar 17
2.3.1. Chemosil ile Yapıştırma 17
2.3.2. Pirinç Kaplama ile Yapıştırma 18
2.4. Vulkanizasyon 21
3. MALZEME ve YÖNTEM 23
3.1. Malzemeler 23
3.2. Yöntem 24
3.2.1. Karışım Hamurunun Hazırlama 24
3.2.2. Reolojik Özelliklerin Belirlenmesi 24
3.2.3. Test Plakalarının Hazırlanması 26
3.2.4. Dinamik Özelliklerin ve Akışkanlık Özelliklerinin Belirlenmesi 26
3.2.4.1. Geri Sekme 26
3.2.4.2. Mooney Viskometre Testleri 26
3.2.5. Fiziko-Mekanik Özelliklerin Belirlenmesi 27

3.2.5.1. Çekme Testi 27
3.2.5.2. Yırtılma Testi 28
3.2.5.3. Aşınma Testi 28
3.2.5.4. Sertlik Testi 29
3.2.5.5. Yoğunluk Testi 30
3.2.6. Test Parçasının Seçimi 30
3.2.7. Parça Tasarımı 31
3.2.8. Kalıp Tasarımı 32
3.2.9. Pirinç Kaplama 33
3.2.10. Pirinç Kaplama Kalınlığının Ölçülmesi 34
3.2.11. Vulkanizasyon İşlemi 34
3.2.12. Prototip Ürün ile Doğrulama 35
3.2.12.1. T Plakasına Uygulanan Sıyırma (Peel) Testi 35
3.2.12.2. Burca Uygulanan Sıyırma Testi 36
3.2.12.3. Burç Konfor Testi 37
3.2.12.4. Burç Ömür Testi 37
3.2.12.5. Burç Tuzlu Sis Testi 38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 39
4.1. Reolojik Özelliklerin Değerlendirilmesi 39
4.2. Dinamik Özelliklerin ve Akışkanlık Özelliklerinin Değerlendirilmesi 39
4.2.1. Geri Sekme Sonuçlarının Değerlendirilmesi 39
4.2.2. Mooney Viskometre Sonucunun Değerlendirilmesi 39
4.3. Fiziko-Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi 40
4.3.1. Çekme Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 40
4.3.2. Yırtılma Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 40
4.3.3. Aşınma Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 40
4.3.4. Sertlik Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 40
4.3.5. Yoğunluk Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 40
4.4. T Plaka ve Prototip Ürünün Değerlendirilmesi 41
4.4.1. T Plaka Sıyırma Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi 41
4.4.2. Burç Sıyırma Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 43
4.4.3. Burç Konfor Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 47
4.4.4. Burç Ömür Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 51
4.4.5. Burç Tuzlu Sis Testi Sonuçlarının Değerlendirilmesi 54
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 57
KAYNAKLAR 59
KİŞİSEL YAYINLAR VE ESERLER 62
ÖZGEÇMİŞ 63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Vulkanizasyon prosesi sırasında kauçuk-yapıştırıcı-primer- metal arasında meydana gelen yapışma süreci 2
Şekil 1.2. Kauçuk-pirinç yapışma mekanizması 2
Şekil 2.1. Doğal kauçuğun kimyasal yapısı 5
Şekil 2.2. Polibütadien kauçuğun kimyasal yapısı 5
Şekil 2.3. Polibütadien kauçuğun polimerizasyonu 6
Şekil 2.4. Stiren bütadien kauçuğun kimyasal yapısı 7
Şekil 2.5. Akrilonitril bütadien kauçuğun üretim şeması 8
Şekil 2.6. Akrilonitril bütadien kauçuğun kimyasal yapısı 8
Şekil 2.7. Kloropren kauçuğun kimyasal yapısı 9
Şekil 2.8. Etilen propilen kauçuğun kimyasal yapısı 9
Şekil 2.9. Etilen propilen dien kauçuğun kimyasal yapısı, dien monomer: disiklopentadien 10
Şekil 2.10. Üçüncü monomeri oluşturan dien gruplarının yapısı 10
Şekil 2.11. Karbon karası seviyesinin bileşik özellikleri üzerindeki etkisi 12
Şekil 2.12. İki alt tabaka arasındaki mekanik bağlantı 14
Şekil 2.13. Mekanik yapışma teorisinin mekanizması: a) İyi ıslatma, b) Zayıf ıslatma 15
Şekil 2.14. Polimer-metal arayüzeyindeki elektriksel çift katmanın şematik diyagramı 15
Şekil 2.15. Difüzyonla yapışma sistemi 16
Şekil 2.16. Islatma ile yapıştırma sistemi a) İyi ıslatma b) Zayıf ıslatma 16
Şekil 2.17. Kimyasal ile yapışma sistemi 17
Şekil 2.18. Yüksek kükürtlü kauçuk karışımının vulkanizasyon işlemi sonrası pirinç yüzeyinde oluşan bakır sülfür tabakası 19
Şekil 2.19. a) Orijinal pirinç yüzey bileşimi ve b) Arayüzey bakır sülfür dendritleri çapraz bağlı kauçuk karışımı ile birbirine kenetlenir 21
Şekil 2.20. Kükürt vulkanizasyonu ile çapraz bağlanma oluşumu 22
Şekil 3.1. Alpha MDR 2000 cihazı 25
Şekil 3.2. Geri sekme test cihazı 26
Şekil 3.3. Mooney viskozite test cihazı 27
Şekil 3.4. S1 tipi numune 27
Şekil 3.5. Çekme test cihazı 28
Şekil 3.6. Aşınma test cihazı 29
Şekil 3.7. Sertlik test cihazı 29
Şekil 3.8. Yoğunluk test cihazı 30
Şekil 3.9. ERD 6222 sac parça 30
Şekil 3.10. İç boru, doğal kauçuk ve dış boru 31
Şekil 3.11. a) 2D T plaka, b) 3D T plakası prototip ürünü 31
Şekil 3.12. a) 2D Standart burç, b) 3D Standart burç prototip ürünü 32
Şekil 3.13. Tek gözlü T plaka kalıp tasarımı 32
Şekil 3.14. a) 64 gözlü standart burç kalıp tasarımı ve b) Yandan kesiti. 33
Şekil 3.15. Pirinç kaplama banyosu 33
Şekil 3.16. Pirinç kaplamış T plaka, iç ve dış boru 34
Şekil 3.17. Kaplama kalınlık ölçüm test cihazı 34
Şekil 3.18. Vulkanizasyon presi 35

Şekil 3.19. Pirinç kaplanmış prototip ürünler 35
Şekil 3.20. Universal test cihazı 36
Şekil 3.21. Burç sıyırma testi 36
Şekil 3.22. Burç konfor test cihazı 37
Şekil 3.23. Burç ömür testi 38
Şekil 3.24. Burç tuzlu sis testi 38
Şekil 4.1. 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış T plakalara ait sıyırma test örnekleri 41
Şekil 4.2. 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış T plakaya uygulanan sıyırma testi sonuçları 41
Şekil 4.3. 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış T plakalara ait sıyırma test örnekleri 42
Şekil 4.4. 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış T plakaya uygulanan sıyırma testi sonuçları 42
Şekil 4.5. 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçlara ait sıyırma test örnekleri 43
Şekil 4.6. 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçlara uygulanan sıyırma testi sonuçları 44
Şekil 4.7. 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçlara ait sıyırma test örnekleri 44
Şekil 4.8. 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçlara uygulanan sıyırma testi sonuçları 45
Şekil 4.9. Chemosil ile kaplanmış burç numunesine ait sıyırma test örneği 45
Şekil 4.10. Chemosil ile kaplanmış burca uygulanan sıyırma testi sonuçları 46
Şekil 4.11. Konfor testinde burca uygulanan deplasman ve kuvvet yönlerinin gösterimi 47
Şekil 4.12. 1,0-1,9 µm pirinç kaplama kalınlığındaki burca eksenel yönde uygulanan deplasman sonucu ölçülen kuvvet değerleri 47
Şekil 4.13. 1,0-1,9 µm pirinç kaplama kalınlığındaki burca radyal yönde uygulanan kuvvet sonucu ölçülen deplasman değerleri 48
Şekil 4.14. 2-3 µm pirinç kaplama kalınlığındaki burca eksenel yönde uygulanan deplasman sonucu ölçülen kuvvet değerleri 48
Şekil 4.15. 2-3 µm pirinç kaplama kalınlığındaki burca radyal yönde uygulanan kuvvet sonucu ölçülen deplasman değerleri 49
Şekil 4.16. Chemosil ile kaplanmış burca eksenel yönde uygulanan deplasman sonucu ölçülen kuvvet değerleri 49
Şekil 4.17. Chemosil ile kaplanmış burca radyal yönde uygulanan kuvvet sonucu ölçülen deplasman değerleri 50
Şekil 4.18. 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçların ömür testi sonrası görüntüleri a) kumlanmamış yüzey, b) kumlanmış yüzey 51
Şekil 4.19. 1,0-1,9 µm pirinç kaplama kalınlığındaki burçlara uygulanan ömür testi sonuçları 51
Şekil 4.20. 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçların ömür testi sonrası görüntüleri a) kumlanmamış yüzey, b) kumlanmış yüzey 52
Şekil 4.21. 2-3 µm pirinç kaplama kalınlığındaki burçlara uygulanan ömür testi sonuçları 52

Şekil 4.22. Chemosil ile kaplanmış kumlanmış yüzeyin ömür testi sonrası görüntüsü.....53
Şekil 4.23. Chemosil ile kaplanmış burca uygulanan ömür testi sonuçları 53
Şekil 4.24. Kumlanmış yüzeye 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçların tuzlu sis testi sonrası görüntüleri 54
Şekil 4.25. Kumlanmamış yüzeye 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçların tuzlu sis testi sonrası görüntüleri 55
Şekil 4.26. Kumlanmış yüzeye 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçların tuzlu sis testi sonrası görüntüleri 55
Şekil 4.27. Kumlanmamış yüzeye 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçların tuzlu sis testi sonrası görüntüleri 56
Şekil 4.28. Chemosil-fosfat kaplanmış burçların tuzlu sis testi sonrası görüntüleri.....56

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 3.1. Kauçuk hamurunda kullanılan hammaddeler ve temin edildikleri firmalar....24
Tablo 3.2. Hazırlanan kauçuk hamurunun formülasyonu....24
Tablo 4.1. Reolojik özellikler....39
Tablo 4.2. Çekme testi sonuçları....40
Tablo 4.3. T plakalara uygulanan sıyırma testi sonuçları....43
Tablo 4.4. Burçlara uygulanan sıyırma testi sonuçları....46
Tablo 4.5. Burçlara uygulanan konfor testi sonuçları....50
Tablo 4.6. Burçlara uygulanan ömür testi sonuçları....54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

M100	: % 100 Uzamadaki modül (gerilme) değeri, (MPa)
M300	: % 300 Uzamadaki modül (gerilme) değeri, (MPa)
MH	: Maksimum tork, (dNm)
ML	: Minimum tork, (dNm)
$M_L(1+4)$	: 5. Dakikadaki viskozite, (MU)
MU	: Mooney birimi
M_w	: Molekül ağırlığı
t50	: Vulkanizasyonun % 50 gerçekleştiği süre, (dk)
t90	: Optimum vulkanizsyon süresi, (dk)
T_g	: Glass transition temperature (Camsı geçiş sıcaklığı)
ts2	: Scorch (yanma, ön pişme) süresi, (dk)

Kısaltmalar

AES	: Auger electron spectroscopy (Auger elektron spektroskopisi)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Test ve Malzeme Derneği)
BR	: Butadiene rubber (Bütadien kauçuk)
CR	: Chloroprene rubber (Kloropren kauçuk)
DCBS	: N, N-Dicyclohexyl-2-benzothiazole sulfenamide (N, N-disikloheksil-2-benzotiazol sülfenamid)
DCPD	: Dicyclopentadiene (Disiklopentadien)
ENB	: Ethylidene norbornene (Etilden norbornen)
EPDM	: Ethylene propylene diene rubber (Etilen propilen dien kauçuk)
EPM	: Ethylene propylene rubber (Etilen propilen kauçuk)
ERD	: Erdemir (malzeme kalitesi)
E-SBR	: Emulsion styrene butadiene rubber (Emülsiyon stiren bütadien kauçuk)
ESCA	: Electron spectroscopy for chemical analysis (Kimyasal analiz için elektron spektroskopisi)
HAF	: High abrasion furnace black (Yüksek aşınma dirençli fırın karası)
HMT	: Hexamethylenetetramine (hekzametilen tetramin)
IR	: Isoprene rubber (İzopren kauçuk)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Teşkilatı)
MDR	: Moving die rheometer (Döner kalıp reometresi)
NBR	: Acrylonitrile butadiene rubber (Akrilonitril bütadien kauçuk)
NR	: Natural rubber (Doğal kauçuk)
phr	: Part per hundered rubber (Kısım)
SBR	: Styrene butadiene rubber (Stiren bütadien kauçuk)
SMR	: Standard Malaysian Rubber (Standart Malezya kauçuğu)
S-SBR	: Solution styrene butadiene rubber (Çözelti stiren bütadien kauçuk)
SVR	: Standard Vietnamese Rubber (Standart Vietnam kauçuğu)
UV	: Ultraviolet (Ultraviyole veya morötesi)

XPS	: X-ray photoelectron spectroscopy (X- ışını fotoelektron spektroskopisi)
2D	: Two dimensional (İki boyutlu)
3D	: Three dimensional (Üç boyutlu)
6PPD	: p-phenylenediamine (para fenilen diamin)

OTOMOTİV SÜSPANSİYON BURÇLARINDA ALTERNATİF KAUÇUK-METAL YAPIŞMA SİSTEMLERİNİN DENENMESİ

ÖZET

Motorlu araçların şasisinde bulunan burçlar, istenmeyen titreşimleri ve gürültüyü azaltmak üzere özel olarak tasarlanmış, konfor ve emniyet sağlayan kauçuk-metal parçalardır. Burç üretimi için şekillendirilen metal borular, kauçuk ile birleştirilmeden önce yüzey temizleme ve yapışma için gerekli yüzey işlemlerinden geçirilir ve enjeksiyon preslerinde kauçuk hamuru ile proses edilerek nihai ürün elde edilir. Bu çalışma kapsamında, sektörde kauçuk-metal parçaların yapıştırılmasında kullanılan Chemosil uygulamalarına alternatif, daha çevreci bir yapışma sistemi denenmiştir. Yöntem, araç lastiklerinde ve konveyör bantlarında kullanılan, çelik tel ya da kordların bakır/pirinç/bronz ile kaplanarak vulkanizasyon sırasında kauçuk-metal arayüzeyinde bakır sülfür bileşiğinin elde edilmesi ve böylece iki malzeme arasında yapışma sağlanması esasına dayanmaktadır. Çalışmada doğal kauçuk esaslı bir hamur reçetesi tasarlanmış ve laboratuvar mikserinde hazırlanan hamurun fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. ERD 6222 kalite çelik ile üretilen plakalar ve burçlar elektroliz yöntemi ile farklı kalınlıklarda pirinç kaplanmış, kaplama banyosunun bileşimi ağırlıkça % 60 Cu, % 40 Zn pirinç kaplama elde etmek üzere hazırlanmıştır. Kaplanan plaka ve burçların kauçuk hamuru ile vulkanizasyon işlemi gerçekleştirilmiş, elde edilen örneklere sıyırma (koparma), konfor, ömür ve korozyon testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, korozyon direncinin geliştirilmesi halinde pirinç yapışma sisteminin Chemosil uygulamasına iyi bir alternatif olabileceğini, işyeri güvenliği ve işçi sağlığı açısından da fayda sağlayacağını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Burç, Kauçuk-Metal Parça, Kaplama, Sıyırma Testi, Yapışma.

INVESTIGATION OF ALTERNATIVE RUBBER-METAL ADHESION SYSTEMS IN AUTOMOTIVE SUSPENSION BUSHINGS

ABSTRACT

Chassis bushings are specially designed rubber-metal parts in motor vehicles that reduce unwanted vibrations and noise to provide comfort and safety. Metal tubes, formed for bushing production, are processed with rubber compound in injection presses after necessary surface cleaning and treatment procedures for proper adhesion. In this study, an environmentally friendly adhesion system has been tried as an alternative to the commonly used Chemosil applications in industry. The method is based on the formation of copper sulfide compound at the rubber-metal interface during vulcanization, and is inspired from the adhesion system used in tires and conveyor belts for bonding copper/brass/bronze coated steel wires/cords to rubber. A natural rubber based compound is designed for this purpose, prepared in a laboratory mixer and tested for physical and mechanical properties. ERD 6222 quality low carbon steel is used for test plates and bushings which are then coated with brass, at varying thicknesses, by electrolysis. The bath composition is adjusted to attain a brass composition of 60 wt. % Cu and 40 wt. % Zn. After vulcanization process the test plates and bushings are subjected to peel, comfort, fatigue and corrosion tests. Test results revealed that brass adhesion system has a great potential for use in bushings, if the corrosion resistance is improved. The system is also beneficial in terms of health and safety at the workplace.

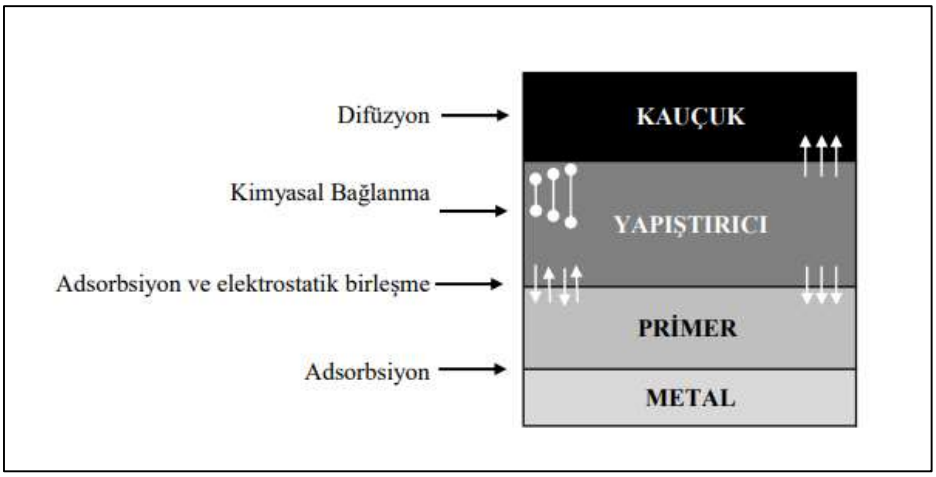
Keywords: Bushing, Rubber-Metal Part, Coating, Peel Test, Adhesion.

1. GİRİŞ

Kauçuklar, araç lastikleri dışında da otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Burçların sürüş güvenliğine olan belirgin etkisi ve güncel şasi yapılanmalarında kullanılmaya başlanan çok sayıda rotilli kol ve sac salıncaklar, otomotivde kauçuk-metal parçaların kullanımını artırmıştır. Burçlar, istenmeyen titreşimleri ve gürültüyü azaltmak üzere özel olarak tasarlanmış, konfor ve emniyet sağlayan süspansiyon parçalarıdır. Standart burçlar iç boru, doğal kauçuk (NR) ve dış borudan oluşmaktadır. Doğal kauçuk ve metal arasındaki yapışma sistemi, araçta oluşan titreşimler göz önünde bulundurularak özel olarak tasarlanır ve bu tasarımlar sürüş konforunu sağlamakta önemli bir katkı sağlar (URL-1).

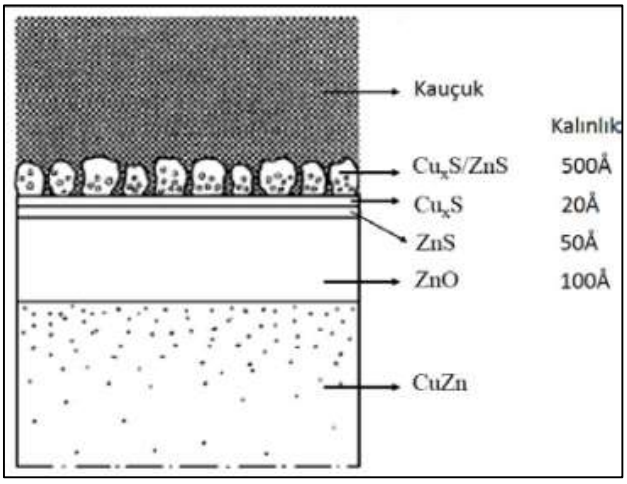
Güncel teknolojide kauçuk-metal yapışma süreci Şekil 1.1'de gösterildiği gibi kauçuk, yapıştırıcı, primer ve metal arasında pişirme (vulkanizasyon) işlemi sırasında oluşan reaksiyonlar sonucunda gerçekleşir ve kauçuk ile metalin birbirine yapışması sağlanır (Souid ve diğ., 2014).

Kauçuk-metal yapışma sisteminin birincil basamağı, primer ve metal yüzeyi arasında gerçekleşmektedir. Bu birincil reaksiyonda, primer yapının içerisindeki reçine ve bağlayıcıların metal yüzeyinde daha önce oluşmuş metal oksitler ile birleşmesi sonucunda metal ile primer arasında kuvvetli bağlanma gerçekleşmektedir. Kauçuk-metal yapışma sisteminin ikincil basamağı, primer ve yapıştırıcı arasında gerçekleşmektedir. İşlem sırasında yapıştırıcının içerisinde bulunan ajanların primer yapı içerisine geçerek ve primerin içerisinde yayılması sonucunda primer ile yapıştırıcı arasında kuvvetli bağlanma gerçekleşmektedir. Kauçuk-metal yapışma sisteminin üçüncü ve son basamağı ise yapıştırıcı ve kauçuk arasında gerçekleşmektedir. İşlem sırasında yapıştırıcının içerisinde bulunan ajanlar, kauçuk içerisine geçerek ve kauçuk içerisinde bulunan kükürtlü bileşiklerle veya kükürtle birlikte çalışarak çapraz bağlanma sürecini tamamlar, böylece tüm bileşenlerin birbirine bağlanması sağlanır (Sexsmith, 1994), (Halladay ve Warren, 2001).



Şekil 1.1. Vulkanizasyon prosesi sırasında kauçuk-yapıştırıcı-primer-metal arasında meydana gelen yapışma süreci (Souid ve diğ., 2014)

Çalışmamız kapsamında, güncel teknolojide kullanılan bu yönteme (Chemosil uygulaması) alternatif, daha çevreci bir yapışma sistemi denenmiştir. Araç lastiklerinde ve konveyör bantlarında hali hazırda kullanılmakta olan bu yöntem, çelik tel ya da kordların bakır/pirinç/bronz ile kaplanarak vulkanizasyon sırasında kauçuk-metal arayüzeyinde bakır sülfür bileşiğinin elde edilmesi ve böylece iki malzeme arasında yapışma sağlanması esasına dayanmaktadır. Bu yapışma sisteminde gerçekleşen yapışma mekanizması ve yapışma sırasında oluşan katmanlar Şekil 1.2'de verilmiştir (van Ooij, 2001).



Şekil 1.2. Kauçuk-pirinç yapışma mekanizması (van Ooij, 2001)

Vulkanizasyon prosesi sırasında kauçuk hamurunda bulunan kükürt, pirinç yüzey ile reaksiyona girerek Cu_xS/ZnS (x~2) arayüzeyini oluşturur. Pirinç kaplamanın en önemli avantajı alaşımın her iki metal bileşeninin (Cu ve Zn) kükürt ile çok hızlı reaksiyona

girerek yapışma arayüzeyini oluşturma kabiliyetidir. Ancak Cu_xS ve ZnS kalınlıklarının çok iyi ayarlanması gerekmektedir (van Ooij, 2001). Bu nedenle böyle bir yapışma sistemi için metal yüzeyi üzerine uygulanacak pirinç kaplama kompozisyonunun seçimi çok önemlidir. Diğer taraftan kauçuk hamurunda bulunan kükürt hem yapışma hem de çapraz bağlanma reaksiyonlarında harcandığı için, kauçuk reçetesi de dikkatli tasarlanmalıdır.

Tezin ikinci bölümünde kauçukların ve kauçuk karışımında (hamurunda) kullanılan diğer hammaddelerin temel özellikleri, kauçuk-metal yapışma sistemleri ve vulkanizasyon kavramları hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde karışım hazırlama, karakterizasyon yöntemleri ve burçlara uygulanan doğrulama testleri açıklanmıştır. Dördüncü bölümde bulgular paylaşılmış ve sonuçlar tartışılmıştır. Beşinci bölümde ise çalışmada elde edilen tüm sonuçlar özetlenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kauçuk Karışımlarında Kullanılan Hammaddeler

Kauçuk karışımları, son üründe istenilen özelliklere göre ayarlanmış, kauçuk ve diğer hammaddelerden oluşan, vulkanize edilebilen karışımlardır. Kauçuk karışımının hazırlanması için uygun kauçuk ve diğer hammaddeler seçilerek bir reçete hazırlanır. Reçetede ana hammadde olan kauçuk ağırlıkça 100 birim kabul edilir ve diğer hammaddeler buna göre oranlanır (phr – part per hundred rubber).

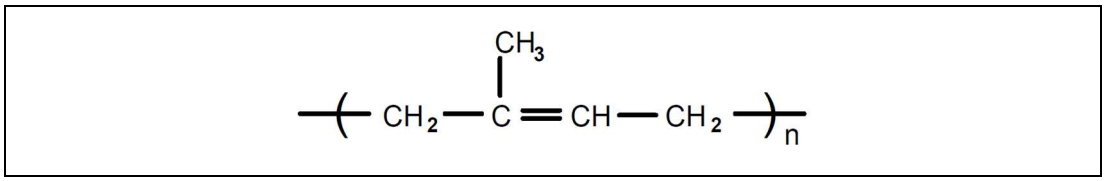
2.1.1. Kauçuklar

Bu bölümde, kauçuk ve otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan kauçuk türleri özetlenmiştir.

2.1.1.1. Doğal kauçuk (NR)

Charles Marie de la Condamine ve bir grup araştırmacı 1735 yılında Fransız Bilimler Akademisi tarafından dünyanın şekli konusunda araştırmalar yapmak üzere Güney Amerika'ya gönderilmiştir. Yapılan sekiz yıllık araştırma sonucunda Condamine, akademisine koyu renkli ve reçinemsi bir madde göndermiş, yerlilerin bu maddeyi "heve" diye adlandırdıkları bir ağacın (*Hevea brasiliensis*) gövdesine açtıkları yarıktan akan süt gibi bir sıvıdan elde ettiklerini yazmıştır. Amazon nehri yakınlarında yaşayan yerliler bu ağaca "cau-o-chu" demektedir. Yerlilerin lisanında cau odun-tahta anlamında, o-chu ise akmak-ağlamak anlamındadır. Sonuç olarak cau-o-chu ağlayan odun (ağaç) anlamına gelmektedir. Fransız bilim adamı bu yeni maddeyi, yerlilerin kullandığı kelimeden türeterek, caoutchouc olarak adlandırmıştır (Vahapoğlu, 2007).

Hevea braziliensis ağacının sütümsü özsuyundan (lateks) elde edilen malzeme doğal kauçuk (NR) olarak tanımlanmaktadır. Doğal kauçuk esneklik özelliği ile yeni endüstrilere yol açmış, insanların hayatının büyük çoğunluğunu etkilemiştir (Ciesielski, 1999). Doğal kauçuğun kimyasal yapısı % 99,9 *cis* 1,4 poliisoprendir ve Şekil 2.1'de gösterilmiştir (Simpson, 2002).



Şekil 2.1. Doğal kauçuğun kimyasal yapısı (Simpson, 2002)

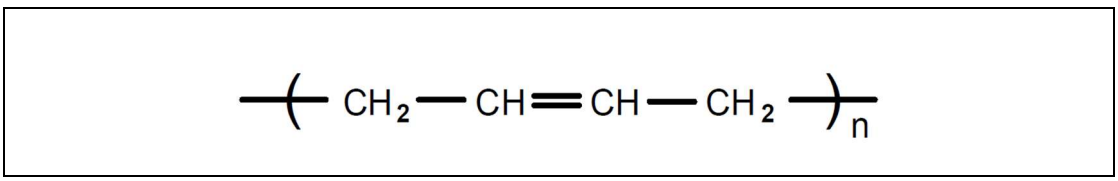
Dünya doğal kauçuk üretiminin büyük bir kısmı Uzakdoğu Asya ülkelerinde yapılmaktadır ve 1960'lı yıllardan beri kalitesinde iyileşme sağlanmıştır. Doğal kauçuk güncel teknolojide ağırlıklı olarak (~ % 75) araç lastiklerinde, bunun dışında otomotivde kullanılan mekanik parçalarda, otomotivin dışında kullanılan mekanik parçalarda ve sağlık (tıbbi) uygulamalarında kullanılmaktadır (Rodgers ve Waddell, 2013).

Doğal kauçuk yüksek oranda doymamış yapıda olup, yüksek esneklik, iyi yorulma direnci ve iyi mukavemet özellikleri nedeniyle tercih edilmektedir. Ancak çevresel faktörlere (ozon, nem, radyasyon, ısı) karşı duyarlıdır (Razak ve diğ., 2015).

2.1.1.2. Polibütadien kauçuk (BR)

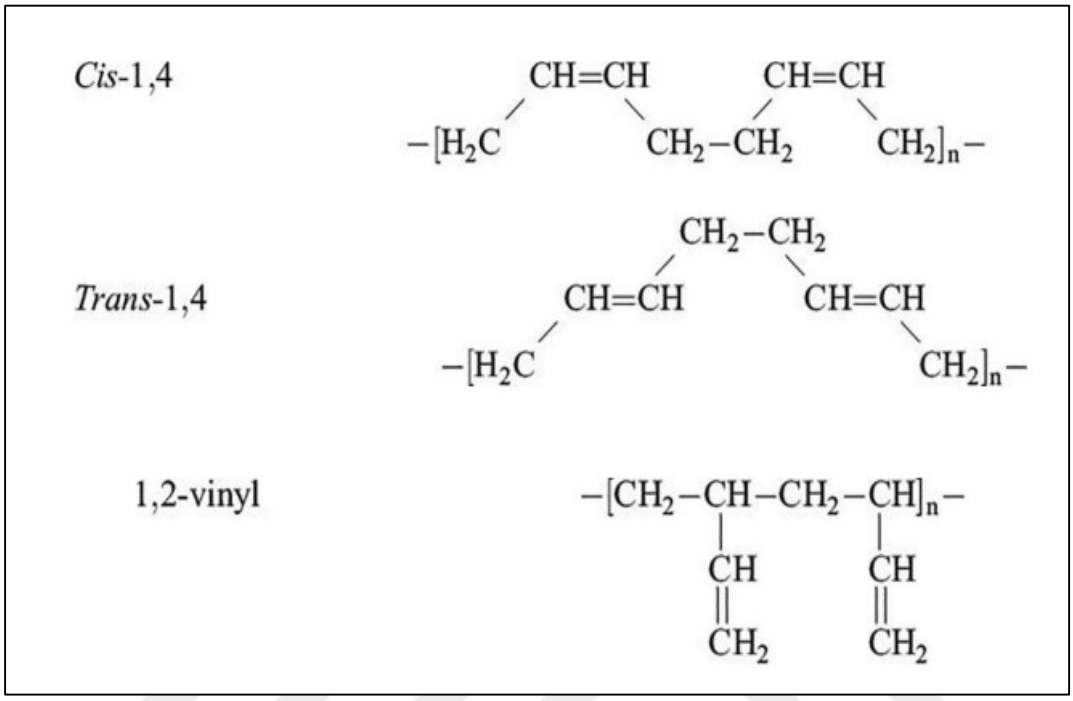
Polibütadien kauçuk, 1,3-bütadien'in (C_4H_6) bir homopolimeridir ve iki farklı şekilde, çözelti ya da emülsiyon ile polimerizasyonu ile, üretilmektedir. Polar olamayan bir yapıya ve yaklaşık -100 °C camsı geçiş sıcaklığına (T_g) sahiptir (Kamaruddin, 2013). Düşük camsı geçiş sıcaklığı nedeniyle düşük sıcaklıklarda bile esneklik özelliğini koruyabilmektedir (Simpson. 2002).

Cis ve *trans* olarak tekrar eden birimler yaklaşık eşit değere sahip olan 1,4-polibütadien karışımlarıdır. Şekil 2.2'de tekrar eden birimlerin kimyasal yapısı gösterilmiştir (Simpson, 2002). Kristalleşme eğilimine sahip olmasının nedeni, polibütadienin düzenli bir yapıya sahip olmasıdır ancak bu durum *cis* ve *trans* monomerlerinin miktarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Kamaruddin, 2013).



Şekil 2.2. Polibütadien kauçuğun kimyasal yapısı (Simpson, 2002)

Polibütadien kauçuk mikro ve makro yapılarına sahiptir. Bütadien monomerinden üretilerek Şekil 2.3'de görüldüğü gibi üç farklı şekilde polimerizasyon işlemi gerçekleşmektedir (Day, 2020).



Şekil 2.3. Polibütadien kauçuğun polimerizasyonu (Day, 2020)

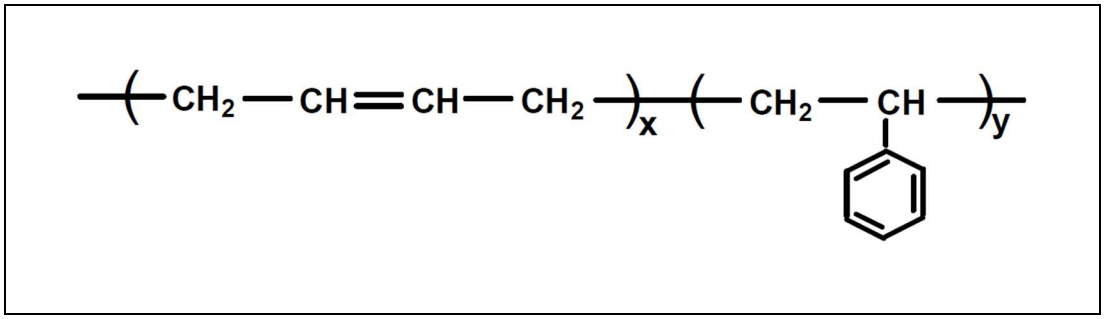
Polibütadien kauçuk, yüksek esneklik ve yüksek aşınma direncine sahiptir. Ancak yüksek esneklik özelliği göstermesi, lastik dişlerinde ıslak zeminde düşük kavrama sağlaması nedeniyle, kullanımını sınırlanmaktadır. NR ve SBR ile birlikte kullanılması ise uzun ömürlü olmasını sağlamaktadır (Kamaruddin, 2013), (Simpson, 2010).

2.1.1.3. Stiren bütadien kauçuk (SBR)

Doğal kauçuğun tedarik edilmesinde yaşanan sorunlar yeni bir kauçuğun geliştirilmesine neden olmuş ve II. Dünya Savaşında geliştirilen bu kauçuğa stiren bütadien kauçuk adı verilmiştir (Bai, 2009). Stiren bütadien kauçuk, doğal kauçuk türlerinden biri olan Standart Malezya Kauçuğuna (SMR) göre kesilmesi ve preslenmesi daha basit olan sentetik bir kauçuktur (Hamzah, 2010).

Stiren bütadien kauçuk iki farklı yöntem ile üretilmekte ve üretim yöntemine göre emülsiyon SBR (E-SBR) ve çözelti SBR (S-SBR) olarak ikiye ayrılmaktadır. E-SBR aşınmaya karşı direnç göstererek, ıslak tutuş sağlar. Performansı yüksek olan lastiklerde

ise yuvarlama direnci ile ıslak ve kuru yol tutuşu arasında orantı olması istenir. Bu orantı S-SBR ile sağlanmaktadır (Bai, 2009). Stiren bütadien kauçuğun kimyasal yapısı Şekil 2.4'de gösterilmiştir (Simpson, 2002).



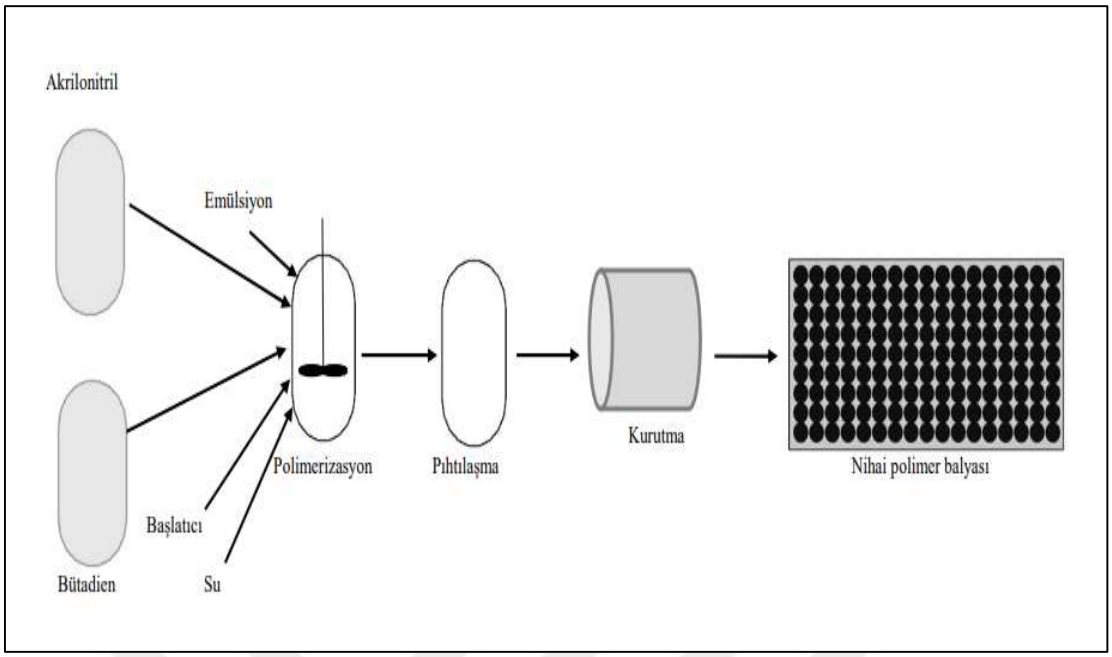
Şekil 2.4. Stiren bütadien kauçuğun kimyasal yapısı (Simpson, 2002)

Sentetik bir kauçuk kopolimeri olan SBR, yüksek aşınma ve yüksek yaşlanma kararlılığı nedeniyle NR ile karıştırıldığında mükemmel özelliklere sahip olacaktır. Bu da araç lastiklerinde kullanımını artırmaktadır (Das, 2014). Yaygın olarak kullanılan SBR'nin camsı geçiş sıcaklığı yaklaşık olarak -55 °C olup, % 23,5 stiren ve % 76,5 bütadienden oluşmaktadır. Gerilme ile kristalleşmeyen kauçuk olma özelliği doğal kauçuğa kıyasla mekanik özelliklerinde farklılıklar oluşturmaktadır. Dolgu maddeleri ile takviye edilerek olumsuz özellikleri olan düşük gerilme ve yırtılma dayanımı iyileştirilebilmektedir (Bai, 2009).

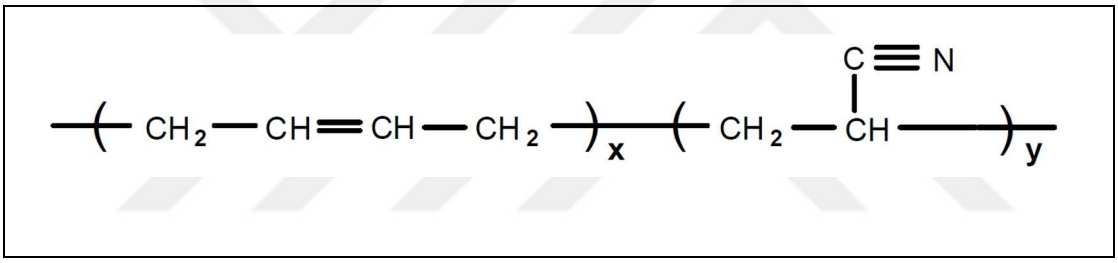
2.1.1.4. Akrilonitril bütadien kauçuk (NBR)

Akrilonitril bütadien kauçuk, nitril kauçuk olarak da bilinmektedir. Akrilonitril ve bütadienin emülsiyonu sonucu oluşan NBR yüksek molekül ağırlığına (M_w) sahip bir kopolimerdir. İçeriğinde %18-50 akrilonitril bulunmaktadır, akrilonitril miktarı arttıkça yağa ve yakıta karşı direnci artarken, düşük sıcaklıktaki özellikleri azalmaktadır (Sommer, 2013), (Sommer, 2009).

Akrilonitril ve bütadien monomerleri, su fazında emülsiyon durumunda damlacıklar şeklinde bulunurlar. Tepkimenin başlayabilmesi için akrilonitril ve bütadien monomerleri emülsiyon fazında bir miktar, su fazında ise sürekli çözünür. NBR üretimi Şekil 2.5'de (Kathirayson, 2019), kimyasal yapısı ise Şekil 2.6'da gösterilmiştir (Simpson, 2002).



Şekil 2.5. Akrilonitril bütadien kauçuğun üretim şeması (Kathirayson, 2019)

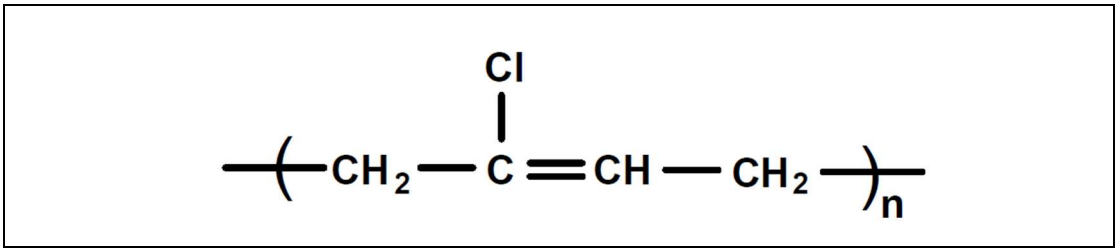


Şekil 2.6. Akrilonitril bütadien kauçuğun kimyasal yapısı (Simpson, 2002)

2.1.1.5. Kloropren kauçuk (CR)

Kloropren kauçuk için çalışmalar ilk kez 1930 yılında W. H. Carothers öncülüğünde başlamıştır. ABD'de kütle polimerizasyonu ile üretilmiş ve "Duprene" ismiyle yağa karşı dayanımı yüksek bir kauçuk olarak 1932'de sektöre girmiştir. Kloropren genellikle homoplimer olarak hazırlanmakta ancak az oranda komonomer de içerebilmektedir. Kloroprenin doğal kauçukla benzer özelliklerinin olması gerilim kaynaklı kristalleşmeye karşı hassasiyeti nedeniyledir. Bu özellik homopolimerin çok yüksek trans-1,4 zincir yapısına sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Böylece kloropren kauçuk yüksek gerilim mukavemetine sahip olmaktadır. Kloropren kauçuk, 2 kloro – 1,3 bütadien'in polimerizasyonu sonucu oluşmaktadır. Polimerizasyonun oluşabilmesi için emülsiyonun içerisinde aktivatör, emülgatör ve stabilizatör bulunmalıdır. Aynı zamanda yapı içerisinde bulunan serbest başlatıcıların yardımı ile polimerizasyon işlemi gerçekleşmektedir

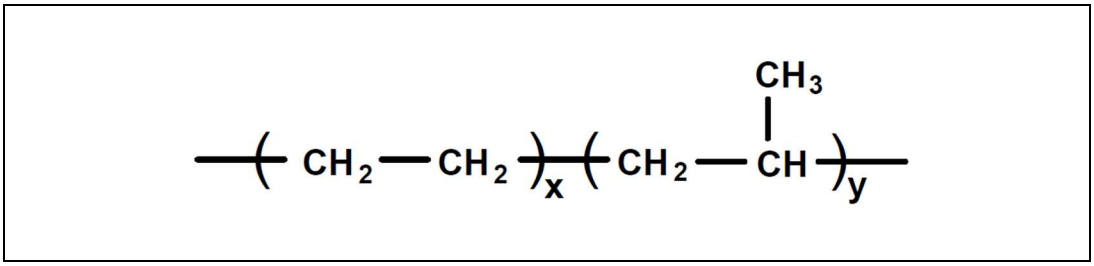
(Savran, 1998), (Quirk ve Pickel, 2013). CR genel olarak kumaşlar, membranlar, hava yastıkları, tank astarları, sörf ve dalış kıyafetlerinde kullanılmaktadır (Musch ve Magg, 2008). Kloropren kauçuğun kimyasal yapısı Şekil 2.7'de gösterilmiştir (Simpson, 2002).



Şekil 2.7. Kloropren kauçuğun kimyasal yapısı (Simpson, 2002)

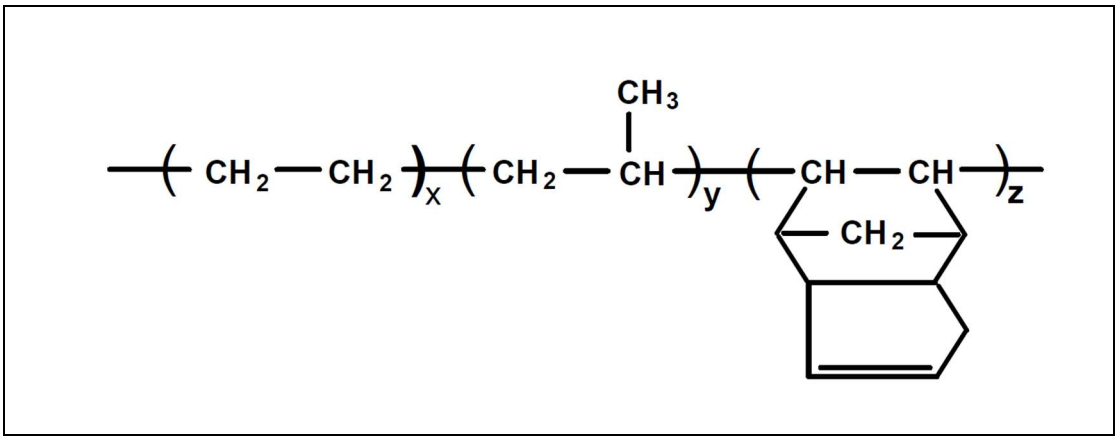
2.1.1.6. Etilen propilen (EPM) ve etilen propilen dien (EPDM) kauçuk

Etilen propilen kauçuk, katalizör desteği ile, etilen ve propilenin kopolimerizasyonu sonucu oluşmaktadır. EPM, zincir yapısında çoklu bağlar bulunmaması nedeniyle doymuş yapıya sahiptir. Doymuş yapı özelliğiyle ozon ve oksidasyon oluşumuna karşı direnç göstermektedir. Ancak peroksit ve radyasyon dışında vulkanize edilememesi ve başka polimerler ile karışabilme özelliğinin olamaması EPM'in kullanımını kısıtlamaktadır. Etilen propilen kauçuğun kimyasal yapısı Şekil 2.8'de gösterilmiştir (Simpson, 2002).



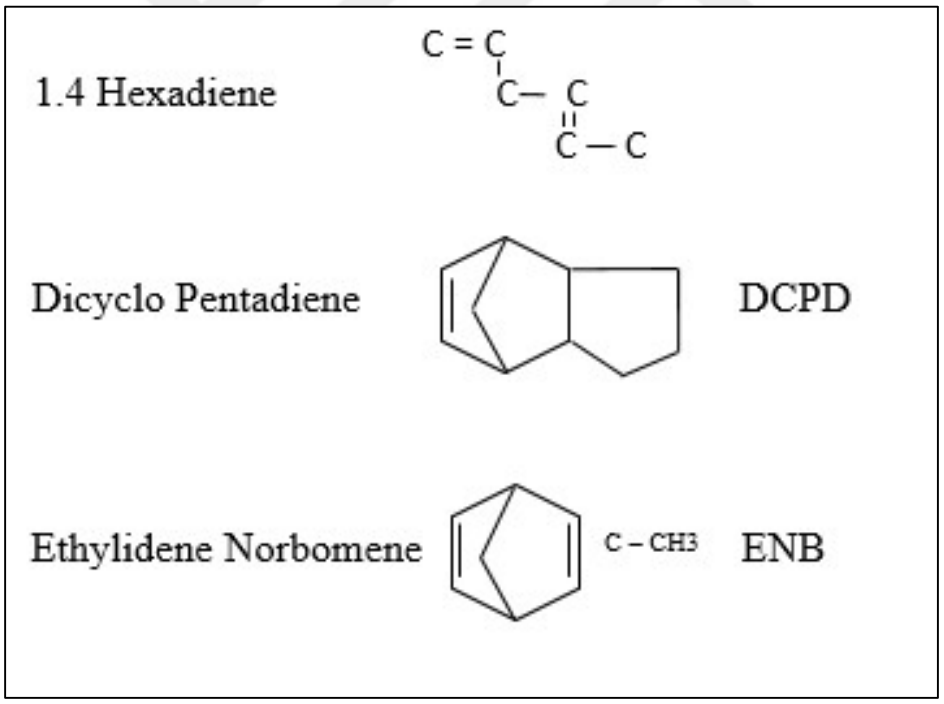
Şekil 2.8. Etilen propilen kauçuğun kimyasal yapısı (Simpson, 2002)

Etilen propilen dien kauçuk (EPDM) ise bir terpolimer olup, etilen ve propilenin yanı sıra üçüncü bir monomer olarak bir dienin reaksiyona girmesi ile elde edilir. Bu sayede kükürt ve kükürt verici sistemlerle de vulkanizasyon mümkün olur. EPDM dış etmenlere (güneş ışığı, ısı, nem, ozon vb.) maruz kaldığında stabilitesini korur, % 400'e yakın uzama göstermesi sonucunda kimyasal yapısı da zarar görmez (Kiu, 2007). EPDM kauçuğun kimyasal yapısı Şekil 2.9'da gösterilmiştir (Simpson, 2002).



Şekil 2.9. Etilen propilen dien kauçuğun kimyasal yapısı, dien monomer: disiklopentadien (Simpson, 2002)

EPDM'de kullanılan üç tip dien grubu vardır. Bunlar üçüncü monomeri oluşturur ve konjüge olmayan polimerin yan zincirine bağlanarak çift bağ yaparlar. Bu monomerler Şekil 2.10'da gösterilmiştir (Savran, 2002).



Şekil 2.10. Üçüncü monomeri oluşturan dien gruplarının yapısı (Savran, 2002)

EPDM ozona karşı olan direncinden dolayı dış mekanlarda, çatı ve zemin kaplamalarında kullanılmaktadır. Elektrik direncinin de çok iyi olmasından dolayı orta ve yüksek gerilim kablo kılıflarında tercih edilmektedir. Otomotiv sektöründe ise radyatörlerde, ısıtıcı hortumlarında ve contalarda kullanılmaktadır (Ciesielski, 1999).

2.1.2. Dolgular

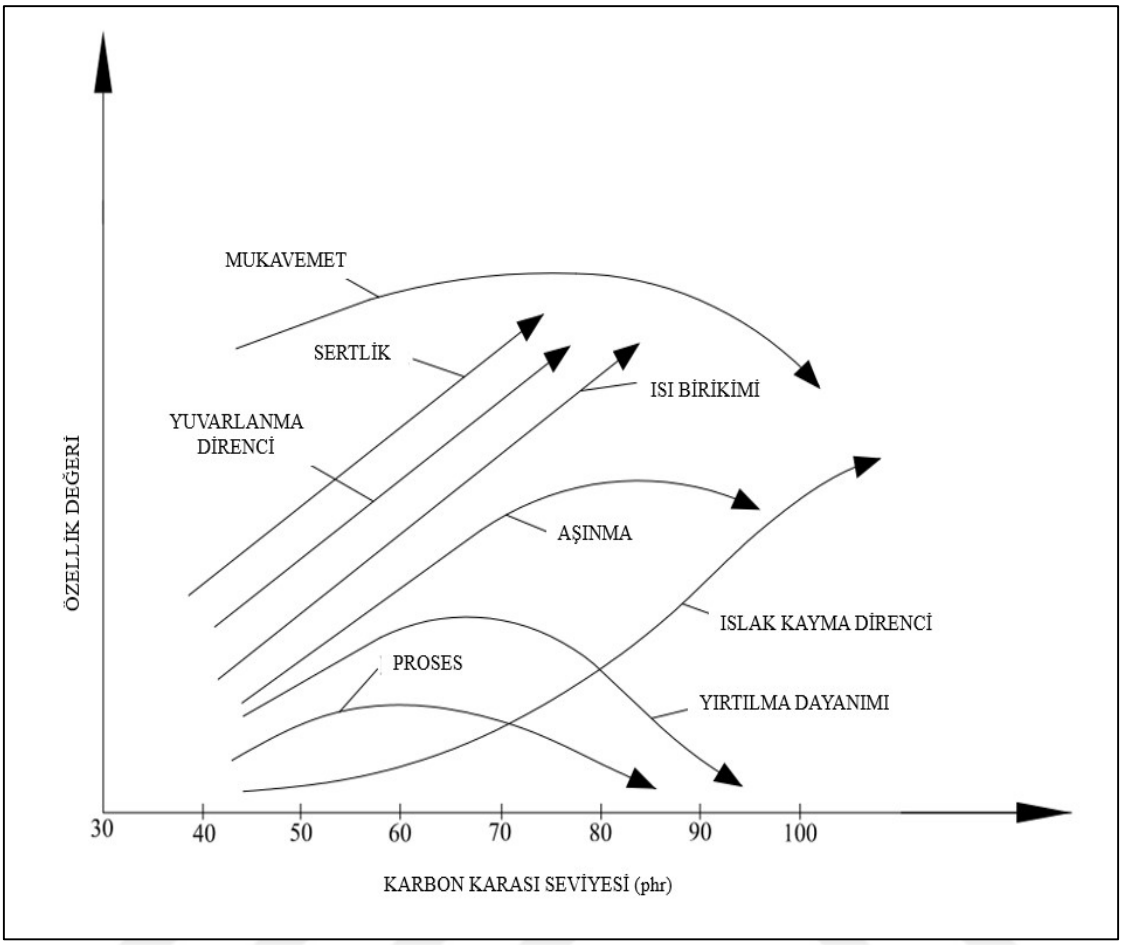
Saf kauçuğun çekme ve aşınma dayanımı düşüktür. Bu yüzden çekme ve aşınma dayanımını artırmak için kauçuk reçetelerine (formülasyonuna) dolgu malzemelerinin eklenmesi gerekmektedir. Bu dolgu malzemeleri killer, karbon karası ve silikalar gibi takviye edici maddelerdir. Dolgu malzemeleri toz halinde olup, boyutlarına göre de farklılık göstermektedir. Bu nedenle ürün performansını artırmak için kauçuk reçetesine uygun takviye malzemesinin seçimi çok önemlidir (Rodgers ve Waddell, 2013).

2.1.2.1 Karbon karası

Dolgu malzemesi olarak kauçuğun içerisinde genellikle karbon karası bulunması nedeniyle sektördeki kauçuklar siyah renkte görünmektedir. Karbon karasının üretilmesinde yaygın olarak üç yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan birincisinde, ön ısıtmadan geçen hidrokarbonların kısıtlı oksijen içeren fırınlarda 1200 – 1600 °C sıcaklıkta yakılması ile fırın karaları elde edilir. İkinci yöntemde, doğal gaz demir plakalar üzerinde kısıtlı oksijen ile yakılarak kanal karaları üretilir. Üçüncü yöntemde ise, termal karalar hidrokarbonların ısı tesiri ile bozunması sonucu elde edilir (Savran, 2001). NR ve SBR gibi doymamış kauçuklar için karbon karası ultraviyole (UV) ışınlarını emici özelliğinden dolayı da çok önemlidir (Ciesielski, 1999).

Karbon karası doğrudan bir ürünün performansını etkilemesi ve kauçuk ürünlerinde takviye edici olarak kullanılması nedeniyle çok geniş kullanım alanına sahiptir. Bu durum karbon karasına olan talebi artırmaktadır. Karbon karasının aglomeratları karıştırma işlemi sırasında daha küçük agregatlara ayrılmaktadır. Kauçuğa direkt olarak karbon karasını eklenmek çok zordur. Bu sorunu azaltmak için karbon karası peletlere çevrilerek çok sert ve çok yumuşak olması engellenir (Sommer, 2013).

Şekil 2.11'de görüldüğü gibi kauçuk reçetesinde karbon karası seviyesi arttıkça, kauçuk karışımının (hamurunun) sertliği, yuvarlanma direnci, ıslak kayma direnci ve ısı birikimi artarken; aşınma dayanımı, yırtılma dayanımı, mukavemet ve proses özelliklerinin bozulduğu bir noktadan geçmektedir (Rodgers ve Waddell, 2013).



Şekil 2.11. Karbon karası seviyesinin bileşik özellikleri üzerindeki etkisi (Rodgers ve Waddell, 2013)

2.1.2.2. Silika

Siyah olmayan çöktürülmüş silika, takviye edici olarak, özellikle siyah olmayan ürünlerde tercih edilmektedir. Sodyum silikat ile süfürik asitin reaksiyonu sonucunda çöktürülmüş silika oluşmaktadır (Mouri, 2001).

Araç lastiklerinde maksimum yol tutuşu, takviye malzemesi olarak kullanılan silika ile sağlanmaktadır. Silikaların dezavantajı yüksek maliyetli kauçuk reçeteleri oluşturmasıdır. (Sommer, 2009). Kauçuk hamuruna silika eklenerek, yapı içerisindeki ısı birikmesi azaltılabilmekte ve yırtılmaya karşı direnç arttırabilmektedir (Rodgers ve Waddell, 2013). Silikalar, karbon karası kadar küçük tane boyutuna ve yüksek yüzey aktivitesine sahip olmaları nedeniyle karbon karasından sonra en yüksek takviye gücüne sahip dolgu maddeleri olarak tanımlanmaktadır (Rodgers ve Waddell, 2013), (Mouri, 2001).

2.1.3. Proses kolaylaştırıcılar

Kauçuk hamurunun işlenmesini kolaylaştırmak ve ona istenilen özellikleri kazandırmak için proses kolaylaştırıcılar kauçuk reçetesine eklenmektedir. Proses kolaylaştırıcılar ayrıca ekstrüzyon ve kalıplamayı da yüksek derecede kolaylaştırmaktadır. Genellikle doymamış kauçuklar arasındaki uyumluluğu artırmak için proses kolaylaştırıcılar kullanılmaktadır. Ancak proses kolaylaştırıcı seçimi yaparken kauçuk ile reaksiyona girmemesi dikkate alınmalıdır (Sommer, 2013).

2.1.4. Koruyucular

Üretimleri sırasında polimerler, yüksek ısı, UV ışınları, nem, ozon ve kimyasallar gibi dış etmenlere maruz kalmaktadır. Bu dış etmenler polimerin fiziksel ve kimyasal yapılarını olumsuz yönde etkilemektedir (URL-2). Bu olumsuzluğu ortadan kaldırmak veya azaltmak için kauçuk hamurunun içerisine koruyucu amaçlı bazı kimyasal maddeler eklenmektedir. Kauçuk hamurunu kimyasal olarak oksijen ve ozona karşı korumak için genelde antioksidant ve antiozonantlar kullanılmaktadır.

2.1.5. Vulkanizasyon maddeleri

Vulkanizasyon (pişirme) bir çapraz bağlanma işlemidir ve bunun sonucunda polimer molekülleri çapraz bağlarla birbirine bağlanarak, aldığı şekli koruyabilen bir malzeme ortaya çıkar. Doymamış polimerlerde en çok kükürt vulkanizasyonu kullanılırken, doymuş polimerlerde peroksit çapraz bağlayıcılar ya da radyasyon kullanılır. Vulkanizasyon işleminin hızlandırılması için hızlandırıcı (akseleratör) adı verilen organik maddelere ihtiyaç duyulur. Hızlandırıcıların aktivasyonu ise metal oksitlerle sağlanır. Kauçuk teknolojisinde en yaygın kullanılan aktivatör çinko oksittir. Aktivasyonun diğer bir parçası olan stearik asit ise çinko oksitin kauçuk içerisinde çözünürlüğünü arttırır (Coran, 2013).

2.2. Kauçuk-Metal Yapışma Sistemleri

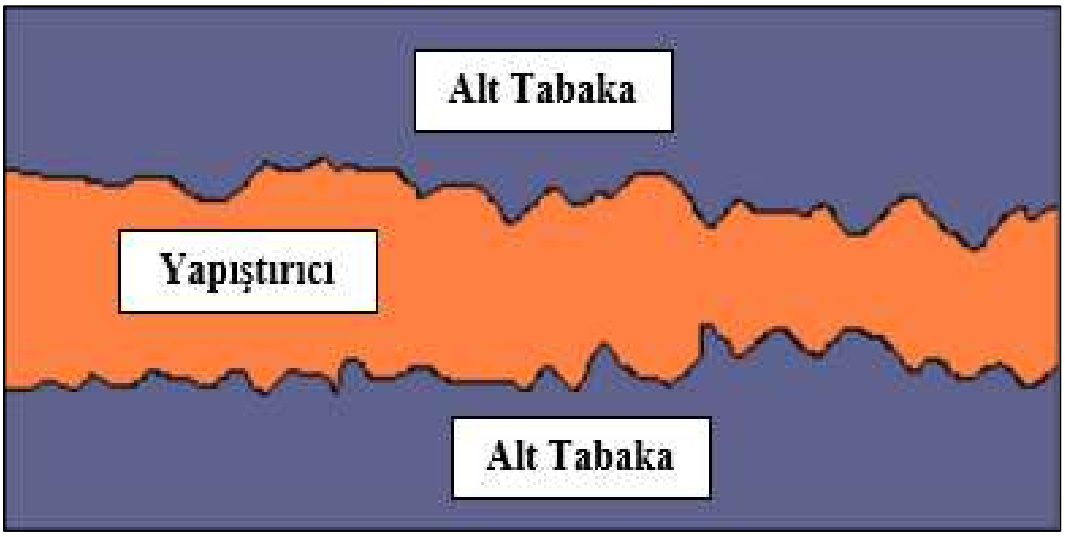
Kauçuk-metal yapışma sistemlerinde kauçuk ile metal arasında güçlü bir bağ olması istenir. Bu güçlü bağ çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemler ile sağlanmaktadır. Kauçuk-

metal yapıştırıcısı genellikle metal yüzeyini ıslatarak güçlü arayüzey oluşturacak filmle çapraz bağlanabilen kauçuk, reçine veya aktif bileşen içermelidir (URL-3).

Günümüzde sektörde, kauçuğun metal yüzeyine bağlandığı prototip ürünlerde dahi korozyona karşı direnç talep edilmektedir. Bu nedenle kauçuk ve metal arasındaki bağı sağlamak için kullanılan yapıştırıcının kararlılığı çok önemlidir. Kauçuk ile metalin birbirine % 100 yapışmasının sağlanabilmesi için sadece yapıştırıcı önemli değildir. Metal yüzeyine de ön hazırlık işlemlerinin yapılması gerekmektedir. Bahsi geçen ön hazırlık işlemlerinde metal yüzeyi kumlanarak yüzey pürüzlülüğü arttırılır. Bu şekilde kauçuğun metal yüzeye yapışma oranı arttırılırken, istenmeyen maddeler de yüzeyden uzaklaştırılır. Kimyasallar yardımıyla yüzey, temizleme işlemine de tabi tutulur. Genel olarak tercih edilen yapışma sistemleri beş başlık altında toplanmaktadır.

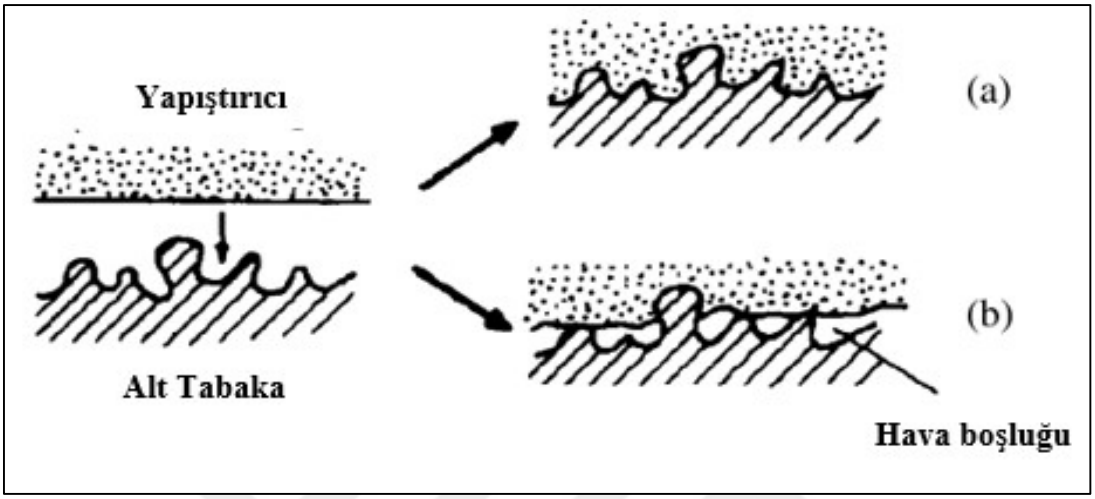
2.2.1. Mekanik yapışma sistemi

Mekanik yapışma sistemlerinde yapıştırılacak yüzeyin yapısı çok önemlidir. Bu yüzey yapışma mukavemetini etkilemektedir. Yapışma mukavemetini artırmak için yapıştırılacak yüzeyin pürüzlüğü arttırılmaktadır. Yüzey pürüzlüğün fazla olması, yüzey alanının artması ve moleküler bağlanmanın fazla olması anlamına gelmektedir. Buna örnek olarak iki tahta yüzeyin birbirine yapıştırılmasında pürüzlü tahta parçalarının yüzeyine sıvı yapıştırıcı sürülmesi verilebilir. İki alt tabaka arasındaki mekanik bağlantının gösterimi Şekil 2.12'de verilmiştir (Awaja ve diğ., 2009).



Şekil 2.12. İki alt tabaka arasındaki mekanik bağlantı (Awaja ve diğ., 2009)

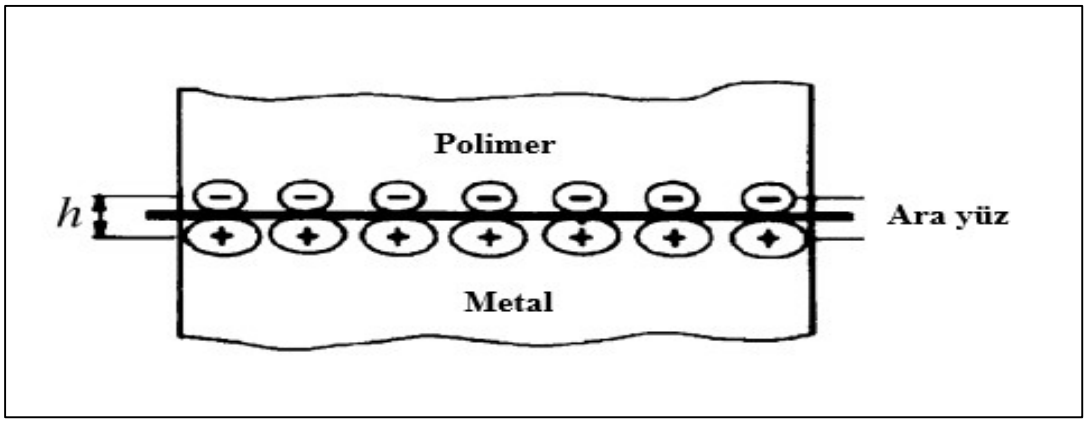
Mekanik yapışma sisteminde gözenekli bir alt tabakanın yüzeyine sıvı bir yapıştırıcı sürüldüğünde, yapıştırıcının molekülleri alt tabakaya Şekil 2.13'de görüldüğü gibi iyi veya zayıf ıslatma ile nüfuz etmektedir. Zayıf ıslatma olması durumunda sıvı yapıştırıcı ile alt tabaka arasında hava boşlukları oluşmaktadır (Rezaeian ve diğ., 2011).



Şekil 2.13. Mekanik yapışma teorisinin mekanizması: a) İyi ıslatma, b) Zayıf ıslatma (Rezaeian ve diğ., 2011)

2.1.2. Elektrostatik yapışma sistemi

Elektrostatik yapışma sisteminde elektrik kondansatörü olarak yapıştırıcı ile tabakanın molekülleri kullanılmaktadır. Yapıştırıcı ile tabaka arasında elektron transferi olmaktadır. Bu transfer ile elektrostatik kuvvetler meydana gelerek Şekil 2.14'de görüldüğü gibi arayüzey oluşturmaktadır. Böylece polimer ile metal yüzeyi ayrılmaya karşı direnç göstermektedir (URL-4), (Rezaeian ve diğ., 2011).



Şekil 2.14. Polimer-metal arayüzeyindeki elektriksel çift katmanın şematik diyagramı (Rezaeian ve diğ., 2011)

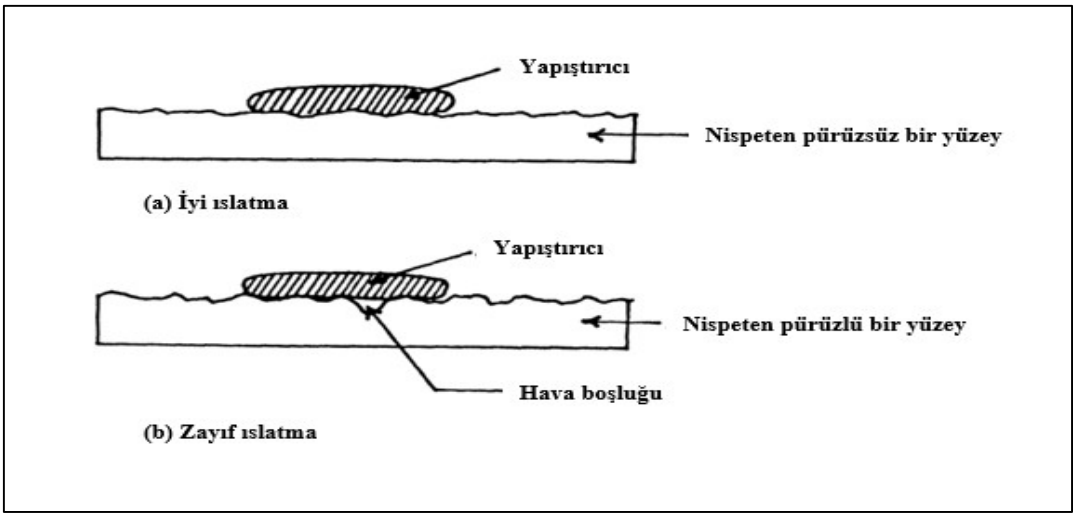
2.2.3. Difüzyonla yapışma sistemi

Difüzyonla yapışma sistemi birbiriyle uyumlu iki polimer arasındaki moleküllerin interdifüzyonu yöntemiyle gerçekleşmektedir. Şekil 2.15'de yapıştırıcı ile polimerin yapışması gösterilmektedir. Bu yapışma sisteminin uygulanabilmesi için polimerlerin uzun zincirli yapıya sahip olması gerekmektedir (Rezaeian ve diğ., 2011), (URL-4).

Şekil 2.15. Difüzyonla yapışma sistemi (URL-4)

2.2.4. Islatma ile yapışma sistemi

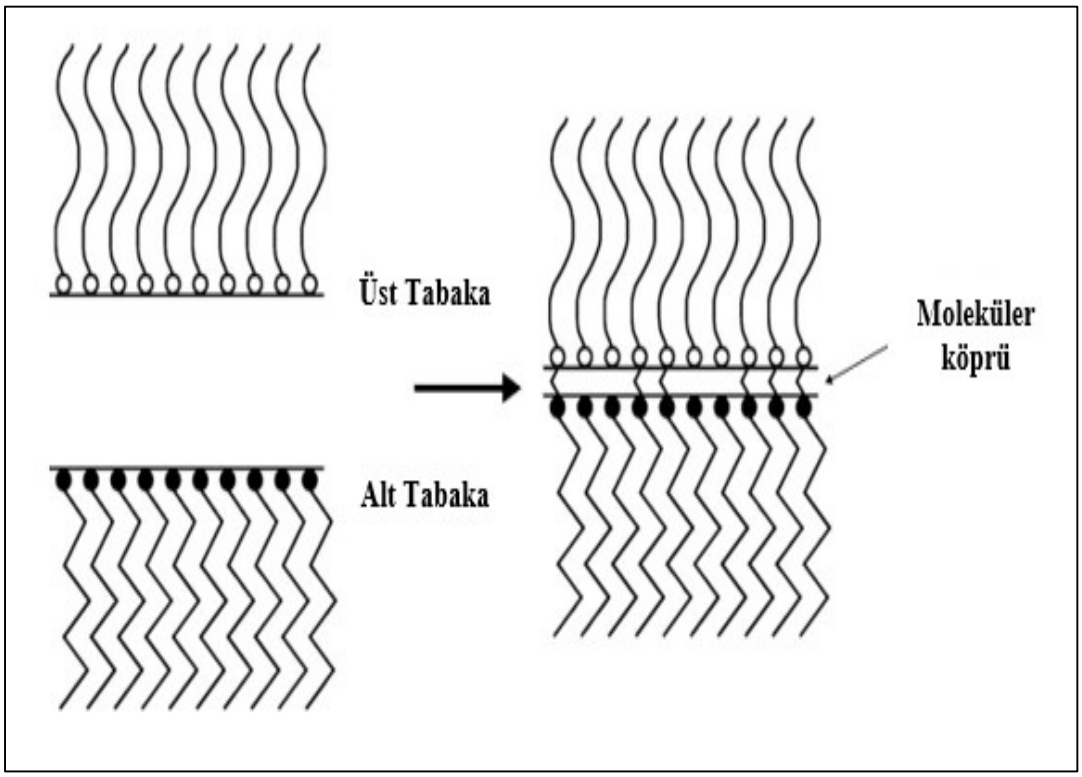
Islatma ile yapıştırma sisteminde yapıştırıcı ile tabaka yüzeyinde bulunan moleküllerin birbiriyle teması sonucunda iki yüzey arasında kuvvetli bağ oluşmaktadır. Yapıştırıcının tabakayı ıslatabilmesi için Şekil 2.16'da görüldüğü gibi yapıştırıcının yüzey geriliminin tabakanınkinden daha küçük olması gerekmektedir. Burada yapıştırıcının tabakayı iyi ıslatması çok önemlidir. Kötü bir ıslatma olması durumunda yapıştırıcı ile tabaka arasında hava boşlukları kalacaktır. Bu durumda yapıştırıcı ile tabaka arasında düşük bağ gücü meydana gelecektir (URL-4).



Şekil 2.16. Islatma ile yapıştırma sistemi a) İyi ıslatma b) Zayıf ıslatma (URL-4)

2.2.5. Kimyasal ile yapışma sistemi

Kimyasal yapıştırma sistemlerinde, yapıştırıcı ile yapıştırılacak tabakanın yüzeyi arasında oluşan dipol-dipol etkileşimleri, Van der Waals kuvvetleri ve kimyasal etkileşimler (metalik, kovalent ve iyonik bağlar) ile güçlü bağlanma sağlanmaktadır. Kimyasal yapıştırma sisteminde güçlü bağlanma olabilmesi için yakın temas çok önemlidir. Ancak yüzeylerde bulunan hava boşlukları ve çatlaklardan dolayı yakın temas tek başına yeterli değildir. Şekil 2.17'de kimyasal yapışma sisteminin oluşumu gösterilmektedir (Awaja ve diğ., 2009), (URL-4).



Şekil 2.17. Kimyasal ile yapışma sistemi (Awaja ve diğ., 2009)

2.3. Otomotiv Sektöründe Kullanılan Yapıştırıcılar

2.3.1. Chemosil ile yapıştırma

Chemosil ile kauçuk ve metali birbirine yapıştırma yöntemi geçmişten günümüze aktif olarak kullanılan bir yöntemdir. Yüksek ısıya, adhezyona, korozyona, yağa, yüksek ısıya ve solvente karşı dayanımlı olmasından dolayı prototip ürünlerde Chemosil tercih edilmektedir. Chemosil yapıştırıcı tüm metallerde kullanılabilmektedir, çelik,

alüminyum, çinko vb. metaller buna örnek olarak verilebilir. Böylece kauçuk ile tüm metalleri birbirine bağlamak için Chemosil kullanımı devam etmektedir. Chemosil ayrıca plastik ile ahşap, cam ile tekstil ürünleri de bağlayabildiği için tercih edilmektedir.

Chemosil ile bağlanmanın sağlanabilmesi için vulkanizasyon yöntemleri olarak presle döküm, transferle döküm, enjeksiyonla döküm en çok tercih edilen yöntemlerdir. Ön hazırlık işlemlerinden geçirilen oksitsiz metal yüzeye Chemosil 211 astar uygulanarak yüzeyde oksitlenmenin tekrarlanması engellenir. Tüm bu işlemler arasında en önemli olanı ise kumlama ile yapıştırıcı sisteminin uygulanması arasındaki sürenin kısa tutulmasıdır. Bu süre kısa tutulursa metal yüzeyindeki oksit miktarı azalır ve kullanılan astar yapıştırıcı işlevini devam ettirebilir. Chemosil kullanılmadan önce homojen olduğundan emin olunmalıdır. Bu nedenle işlem öncesinde Chemosil iyice karıştırılmalıdır. Chemosil piyasada, fırçayla boyama, püskürtme, daldırma veya ruloyla kaplama şeklinde uygulanır. Ancak seçilecek yöntem parça geometrisine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir (Türk Henkel, 1992).

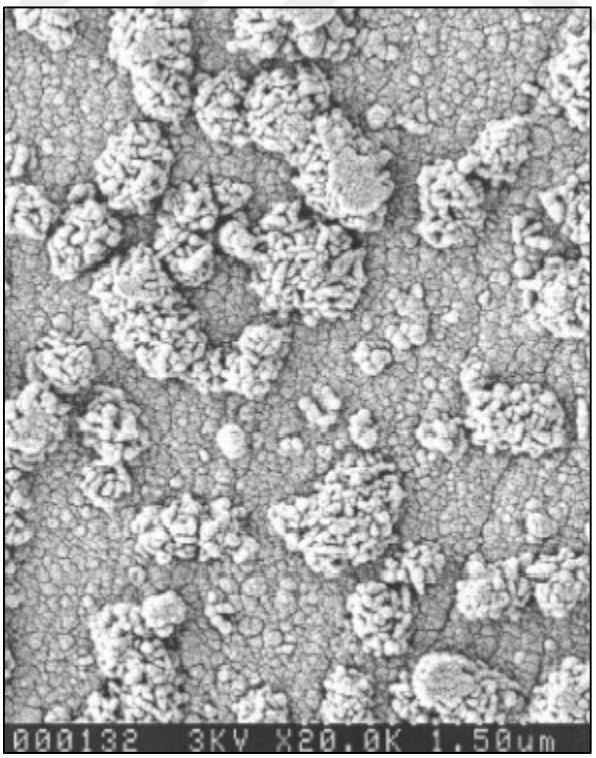
2.3.2. Pirinç kaplama ile yapıştırma

Kauçuğu metal yüzeylere yapıştırmak için kullanılan eski ve yaygın yöntemlerden birisi de pirinç kaplamadır. Pirinç kaplama için literatürde yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir (van Ooij, 1979).

- Kükürt ile vulkanize edilen doğal kauçuğun pirinç ile yapışması üzerine ilk çalışma 1862 yılında C. Sanderson tarafından yapılmıştır.
- 1943-1946 yılları arasında S. Buchan ve arkadaşları, yaptıkları çalışmalarda pirinçteki bakır atomları ile kauçuk içerisindeki kükürt atomları arasında kimyasal bağ oluştuğunu öne sürmüşlerdir. 1946 yılında yapılan çalışmada ise S. Buchan ve J. M. Shanks kauçuk-pirinç arasındaki fiziksel bir bağlanma olduğunu belirtmiştir.
- C. M. Blow 1947 yılında öne sürdüğü oksidasyon teorisinde vulkanizasyon sırasında bakır atomlarının polimeri oksitlemesi sonucunda pirinç ile temas eden kauçuğun yüzey polaritesinin arttığını belirtmiştir.
- 1956 yılında N. Stuart yapışma üzerine yaptığı çalışmada pirinçteki kristalografik yönlenmenin ve tane boyutunun etkisini araştırmıştır.

- 1970'li yıllarda yeni analitik yöntemlerin geliştirilmesi ile konu ile ilgili çalışmalarda Kimyasal Analiz için Elektron Spektroskopisi (ESCA), X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) ve Auger Elektron Spektroskopisi (AES) gibi cihazlar kullanılmaya başlanmıştır.
- 1977 yılında kauçuk ile pirinç arasındaki arayüzey ilk kez XPS ile W. J. van Ooij tarafından çelik kordlarda incelenmiştir.
- W. J. van Ooij, ESCA çalışmaları ile kauçuk-pirinç arayüzeyinde Cu_xS, ZnS, ZnO tabakalarını gözlemlemiştir.
- 1978 yılında G. Haemers ve J. Mollet, AES ve XPS incelemeleri ile kauçuk-pirinç arayüzeyinde Cu ve S oluşumunu doğrulamıştır.

W. J. van Ooij, pirinç kaplı çelik kordlar ile kauçuk arasındaki yapışmayı incelediği çalışmasında % 63 Cu içeren pirinç kompozisyonu kullanmıştır. Çelik kord yüzeyinde bulunan pirinç kaplama vulkanizasyon işlemi sırasında kendi yapışkanını oluşturarak kauçuk reçetesindeki bileşenler ile reaksiyona girmektedir. Çapraz bağlanma başlamadan önce pirinç yüzeyinde bakır sülfür tabakasının oluşturulması çok önemlidir. Şekil 2.18'de görüldüğü gibi bu tabaka gözenekli bir yapıya sahiptir (van Ooij, 2005).



Şekil 2.18. Yüksek kükürtlü kauçuk karışımının vulkanizasyon işlemi sonrası pirinç yüzeyinde oluşan bakır sülfür tabakası. Büyütme 20.000X (van Ooij, 2005)

Yapılan denemeler sonucunda pirinç kaplama ile elde edilen bağlanmanın uygulanan dinamik yüke ve yüksek sıcaklıklara dayandığı tespit edilmiştir. Bu nedenle radyal lastiklerde çelik kuşak ve çelik gövdede kullanılan çelik kordların kauçuğa bağlanmasında pirinç kaplama kullanılmaktadır (van Ooij, 2001).

Ancak günümüzde pirinç kaplama; motor takozları, süspansiyon burçları, şanzıman, aks contaları ve diğerleri gibi kauçuk-metal bağlamanın kullanıldığı alanlarda tercih edilmemektedir (van Ooij, 2001).

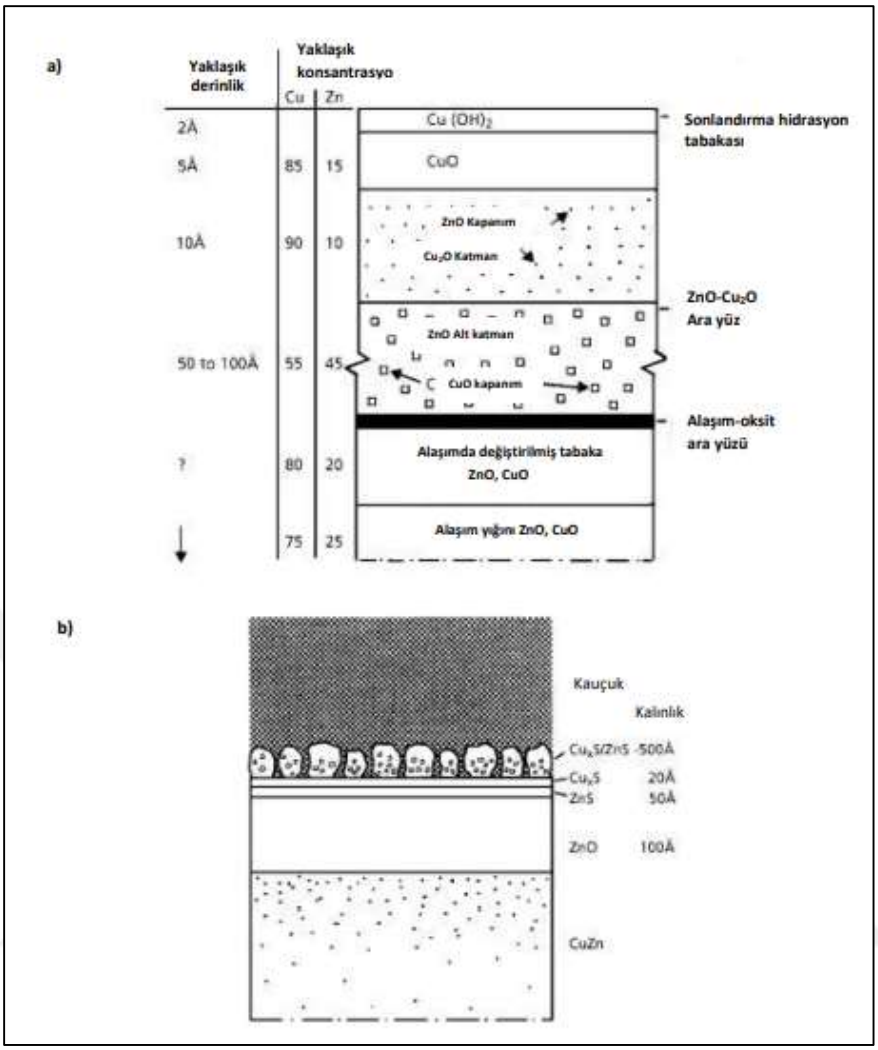
Pirinç kaplama tekniğinin tüm kauçuk-metal yapışma sistemlerinde tercih edilmemesinin bazı sınırlamaları vardır. Kauçuk yüksek oranda doymamış özelliğe sahip olmalı ve kükürt ile vulkanize edilebilmelidir. Bu nedenle kullanılan kauçuklar; doğal kauçuk (NR), sentetik izopren kauçuk (IR), stiren bütadien kauçuk (SBR) ve bütadien kauçuk (BR) ile sınırlıdır (van Ooij, 2001).

Yapışma % 65-70 bakır ile sağlanmaktadır. Karışımdaki kükürtün seviyesi de önemlidir, eğer kükürt seviyesi düşük ise yarı verimli vulkanizasyon sistemleri ek yapıştırıcı kullanılmadan pirince yapışmamaktadır (van Ooij, 2001).

Pirinç kaplamanın yüzey hazırlığı büyük önem taşımaktadır. Yüzeyden oksit tabakaları uzaklaştırılmalıdır. Doğal kauçuk karışımlarında en önemli katkı maddesi kobalt naftenat gibi kobalt tuzudur. Bu kobalt tuzu vulkanizasyon sırasında pirinç ile kauçuk arasında oluşan bağın kararlılığını arttırmaktadır. Pirinç kaplanmış metal yüzey korozyona karşı çok hassastır. Bu nedenle pirinç kaplanmış metal yüzeyin, yüksek neme, buhara ve suya karşı korozyon dayanımı çok düşüktür (van Ooij, 2001).

Ancak kauçuk-metal yapışması için ile pirinç kaplama yönteminin avantajları ağır basmaktadır. Bunun nedeni yüksek termal stabilite, yüksek dinamik yükleme direnci, yüksek çatlak yırtılma direnci gibi özelliklerin diğer yapıştırıcılar tarafından karşılanamamasıdır (van Ooij, 2001).

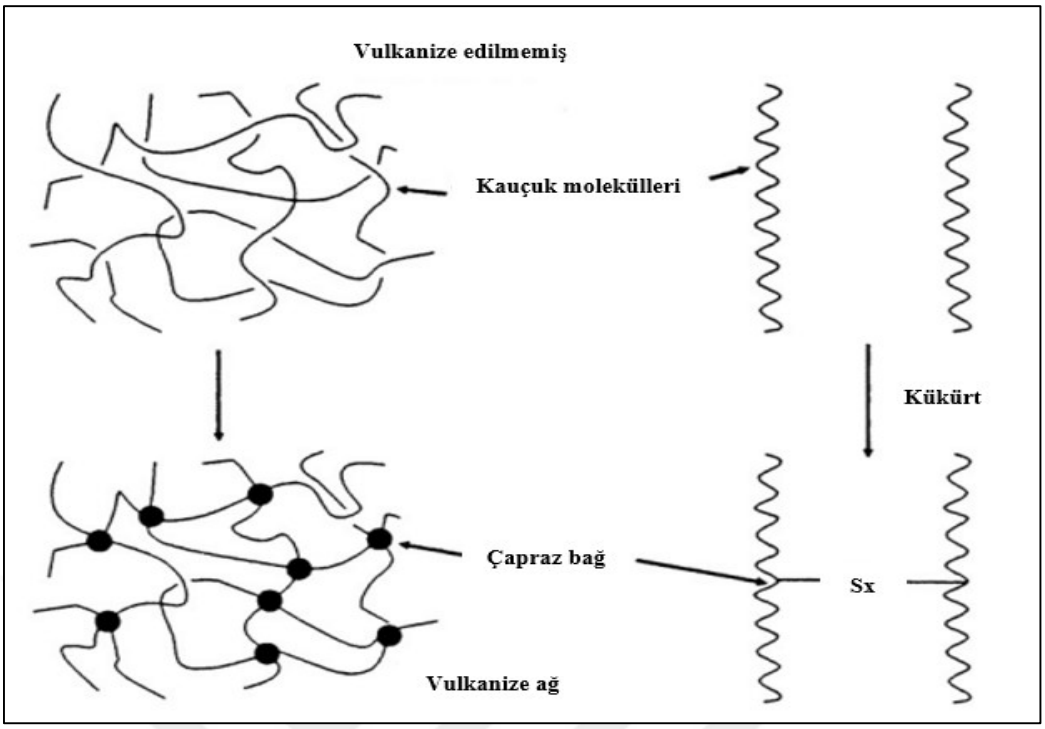
Kauçuk pirinç arayüzeyinde kovalent Cu-S bağının olup olmadığı konusunda tartışmalar devam etmektedir. Önerilen yapışma mekanizması Şekil 2.19'da gösterilmiştir (van Ooij, 2001).



Şekil 2.19. a) Orijinal pirinç yüzey bileşimi ve b) Arayüzey bakır sülfür dendritleri çapraz bağlı kauçuk karışımı ile birbirine kenetlenir (van Ooij, 2001)

2.4. Vulkanizasyon

Bir çapraz bağlanma işlemi olan vulkanizasyon sonucu polimer molekülleri çapraz bağlarla birbirine bağlanıp, meydana gelen üç boyutlu ağ örgüsü sayesinde yer değiştirmeyen bir yapı elde edilir. Böylece vulkanizasyon işlemi sonrası kauçuğun plastikiyeti azalırken elastikiyeti artmaktadır. Bağlantı noktalarının veya çapraz bağların sayısındaki artış, destekleyici zincirlerin sayısında bir artış sağlar, bu da kauçuğun deformasyona direncini arttırır. Bu nedenle çapraz bağlanma şekli ve yoğunluğu kauçuk karışımının fiziksel özelliklerini büyük ölçüde etkiler. Şekil 2.20'de doymamış yapıdaki kauçuk moleküllerinin kükürt ile çapraz bağlanarak meydana getirdiği ağ oluşumu gösterilmiştir (Coran, 2013).



Şekil 2.20. Kükürt vulkanizasyonu ile çapraz bağlanma oluşumu (Coran, 2013)

3. MALZEME ve YÖNTEM

Bu çalışmada, kauçuk ile pirinç kaplanmış metal arasında yapışma sağlamaya uygun yeni bir doğal kauçuk esaslı reçete, literatür bilgisine dayanılarak, tasarlanmış ve laboratuvar mikserinde hazırlanan hamurun reolojik, fiziko-mekanik ve dinamik özellikleri incelenmiştir. Prototip test plakası ile otomotiv ön süspansiyonunda kullanılan prototip burç örnekleri pirinç ile kaplanmış, vulkanizasyon işlemi sonrasında prototip test plakasına sıyırma (peel) testi ve prototip burçlara koparma (sıyırma), tuzlu sis, konfor ve ömür testleri uygulanmıştır.

3.1. Malzemeler

Çalışma kapsamında tasarlanan kauçuk hamurunda kullanılan hammadeler ve temin edildikleri firmalar Tablo 3.1'de belirtilmiştir. Test plakası için Hakoğlu Metal Sanayi firmasından temin edilen ERD 6222 kalite sac kullanılmıştır. Burç imalatında kullanılan çelik borular ise Kalibre Boru Sanayii ve Ticaret A.Ş.'den temin edilmiş olup, iç boru için ST 37 BK, dış boru için ST 52 NBK kullanılmıştır.

Kauçuk hamurunda kullanılan doğal kauçuk (SVR 3L) bir Vietnam teknik kauçuğu olup, kir içeriği ağırlıkça maks. % 0,05, kül içeriği ağırlıkça maks. % 0,6 olarak belirlenmiştir. Takviye malzemesi olarak kullanılan HAF N330 sınıfı karbon karasının yüzey alanı 82±5 m^2/g olarak tespit edilmiştir. Proses kolaylaştırıcı naftenik yağın yoğunluğu 902 kg/m^3, viskozitesi ise 40 °C'de 22 mm^2/s olarak ölçülmüştür. Hamurda koruyucu olarak kullanılan antioksidant 6PPD'nin ilk ergime noktası 76 °C olarak bulunmuştur. Aktivatör olarak % 98 saflıkta çinko oksit kullanılmıştır. Vulkanizasyon sisteminin bir parçası olan stearik asitin ergime noktası 55-58 °C aralığındadır. Reçetede hızlandırıcı (akseleratör) olarak HMT ve DCBS kullanılmıştır. HMT'nın aktif içeriği % 80 olup, DCBS'in ilk ergime noktası 98,5 °C, kurutma kaybı ise % 0,12 olarak belirlenmiştir. Hamurda pişirici olarak kullanılan çözünmez kükürtün ısı kaybı maks. % 0,7, toplam kükürt içeriği ise %78-82 aralığındadır. Yapışma iyileştirici olarak kullanılan kobalt stearat (EGEBond 1895), % 9-10 aralığında kobalt içermektedir ve yumuşama noktası 82-98 °C aralığındadır. Reçetede yapışma iyileştirici olarak, yoğunluğu 1,65 g/cm^3 olan ikinci bir kimyasal (Bonding agent R-6) kullanılmıştır.

Tablo 3.1. Kauçuk hamurunda kullanılan hammaddeler ve temin edildikleri firmalar

Malzeme	**Firma**
SVR 3L	Mai Thao
HAF N330	Yaroslavskiy
Naftenik Yağ	Petroyağ
6PPD	Lanxess
Çinko Oksit	Hepşen
Stearik Asit	PT Nibuka Jaya
HMT 80	Mixland
DCBS	Tianjin East Ricon
Çözünmez Kükürt	Mucron
EGEBond 1895	Ege Kimya
Bonding agent R-6	Interplast

3.2. Yöntem

3.2.1. Kauçuk hamurunun hazırlaması

Kauçuk reçetesi (formülasyonu), literatürde benzer bir uygulama için verilen reçete esas alınarak tasarlanmış (Ciullo ve Hewitt, 1999) ve hamur Tekno Kauçuk Sanayii A.Ş. firmasının Ar-Ge laboratuvarlarında, 1,5 L dahili karıştırıcı (Banbury) ve açık mil kullanılarak hazırlanmıştır. Hamurun formülasyonu Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Hazırlanan kauçuk hamurunun formülasyonu

Malzeme	**phr**
SVR 3L	100,0
HAF N330	55,0
Naftenik Yağ	6,0
6PPD	2,0
Çinko Oksit	7,0
Stearik Asit	1,0
HMT 80	2,5
DCBS	0,7
Çözünmez Kükürt	5,0
EGEBond 1895	1,0
Bonding Agent R-6	2,5

3.2.2. Reolojik özelliklerin belirlenmesi

Elde edilen hamurun reolojik özellikleri Şekil 3.1'de gösterilen Alpha MDR 2000 döner kalıp reometresi ile, ISO 6502 standardına uygun olarak belirlenmiştir. Test 155 °C'de

gerçekleştirilerek ML, MH, ts2, t50 ve t90 değerleri ölçülmüştür. Bu terimlerin kısaca açıklaması aşağıdaki gibidir;

ML: Minimum tork (Çalışma koşulları ile ilgilidir)

MH: Maksimum tork (Karışımın mekanik özellikleri hakkında bilgi verir)

ts2: ML değerinin 2 birim üstündeki değere ulaşmak için geçmesi gereken süre (Yanma süresi olarak da bilinir, proses güvenliğini belirlemede yardımcıdır)

t50: MH-ML değerinin %50'sine ulaşmak için geçmesi gereken süre

t90: MH-ML değerinin %90'ına ulaşmak için geçmesi gereken süre (Optimum vulkanizasyon süresini verir.)

Şekil 3.1. Alpha MDR 2000 cihazı

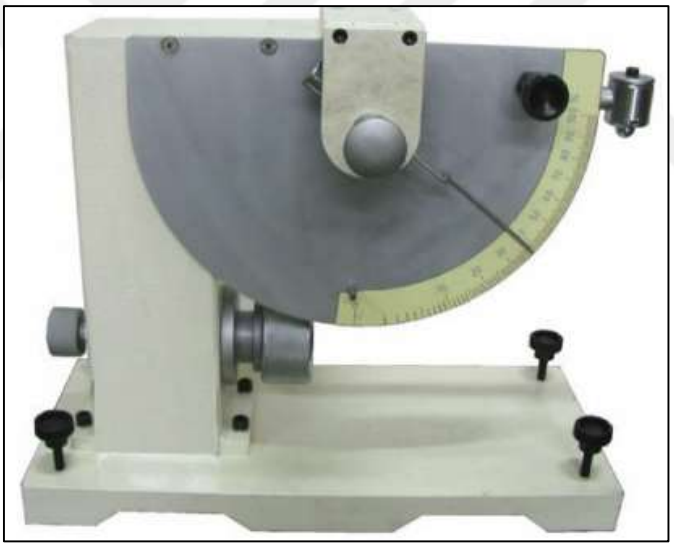
3.2.3. Test plakalarının hazırlanması

Kauçuk test plakaları reometre eğrilerinden belirlenen optimum pişme süresine uygun olarak vulkanize edilmiştir. Pişme süresi uygun olarak, 150 °C, 20 dakika vulkanize edilmiştir. Test örnekleri ilgili standartlara uygun olarak kesilerek hazırlanmıştır.

3.2.4. Dinamik özelliklerin ve akışkanlık özelliklerinin belirlenmesi

3.2.4.1. Geri sekme

Dinamik özelliklerin belirlenmesi için DIN 53512 standardına göre 10±0,5 mm kalınlığında hazırlanan numunelere geri sekme (rebound resilience) testi uygulanmıştır. Geri sekme testi için 3 numune hazırlanmıştır. Cihaz görseli Şekil 3.2'de verilmiştir (URL-5).



Şekil 3.2. Geri sekme test cihazı (URL-5)

3.2.4.2. Mooney viskometre testleri

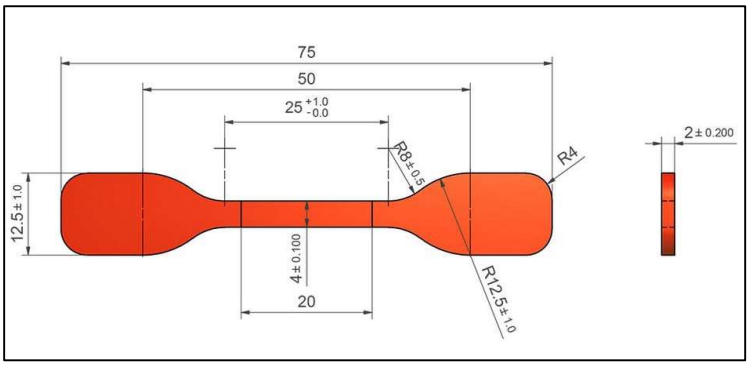
Kauçuğun akış, hareket ve şekil alma özeliklerini ve hamurun akışkanlığını tespit etmek için ISO 289-1 standardına uygun olarak Mooney viskometre testleri yapılmıştır. Kauçuk karışımlarının proses edilebilirliği ile ilgili bilgi veren M_L (1+4) değeri Mooney birimi (MU) ile ölçülmüştür (1 MU = 0,083 Nm). Cihaz görseli Şekil 3.3'de verilmiştir (URL-6).

Şekil 3.3. Mooney viskozite test cihazı (URL-6)

3.2.5. Fiziko-mekanik özelliklerin belirlenmesi

3.2.5.1. Çekme testi

Çekme testi, oda sıcaklığında Zwick marka çekme cihazı ile 500 mm/dk çekme hızında ISO 37 standardına uygun olarak yapılmıştır. Test sırasında Şekil 3.4'de görüldüğü gibi S1 tipi numune kullanılmış ve kalınlıklar bir komparatör yardımı ile okunmuştur.



Şekil 3.4. S1 tipi numune (URL-7)

Uygulanan çekme testi sonucunda; kopma dayanımı, uzama ve modül değerleri bulunmuştur. Cihaz görseli Şekil 3.5'te verilmiştir.

Şekil 3.5. Çekme test cihazı

3.2.5.2. Yırtılma testi

Yırtılma testi, oda sıcaklığında Zwick marka çekme cihazı ile 100 mm/dk çekme hızı ile ISO 34-1 standardına uygun olarak yapılmıştır. Numunelerin yırtılması için gerekli olan maksimum kuvvetin kalınlığına oranı tespit edilmiştir. Test sırasında pantolon tipi numune kullanılmış ve kalınlıklar bir komparatör yardımı ile okunmuştur. Test sonucunda yırtılma dayanımı hesaplanmıştır.

3.2.5.3. Aşınma testi

Aşınma testi, oda sıcaklığında Bareiss marka aşındırma cihazıyla ISO 4649 Metod B'ye göre 40 metre yol kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan karışımın aşınma direnci tespit edilmiştir. Cihaz görseli Şekil 3.6'da verilmiştir.

Şekil 3.6. Aşınma test cihazı

3.2.5.4. Sertlik testi

Sertlik testi, oda sıcaklığında Zwick marka test cihazı ile DIN ISO 7619-1 standardına uygun olarak Shore A sertlik değerinde ölçülmüştür. Cihaz görseli Şekil 3.7'de verilmiştir.

Şekil 3.7. Sertlik test cihazı

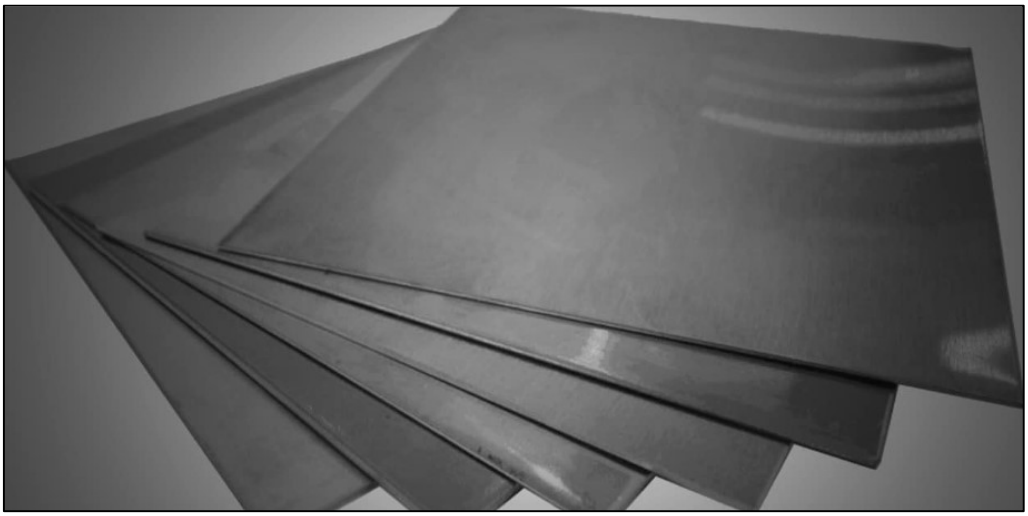
3.2.5.5. Yoğunluk testi

Yoğunluk testi, Sartorius marka test cihazıyla oda sıcaklığındaki kauçuğun birim hacminin kütlesi hesaplanmıştır. Cihaz görseli Şekil 3.8'de verilmiştir.

Şekil 3.8. Yoğunluk test cihazı

3.2.6. Test parçasının seçimi

İlk aşamada kullanılacak T plakasının malzemesi için çok düşük karbonlu (% 0,069) ERD 6222 kalite çelik seçilmiştir. Sac görseli Şekil 3.9'da verilmiştir.



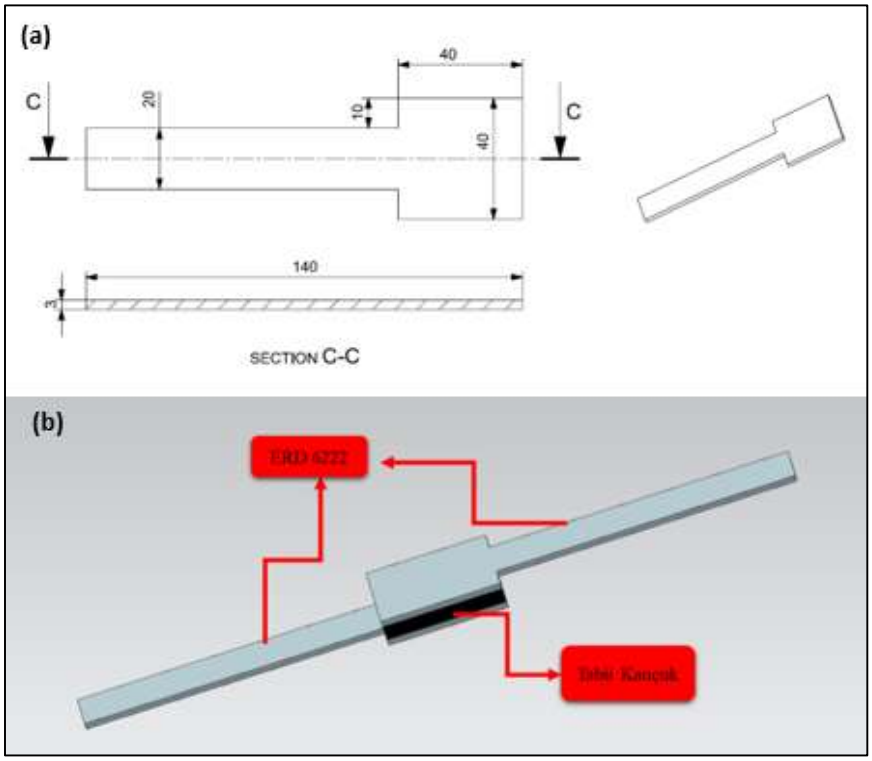
Şekil 3.9. ERD 6222 sac parça (URL-8)

İkinci aşamada kullanılacak iç boru malzemesi ST 37 BK min. 138 HB sertliğinde, dış boru malzemesi ST 52 NBK 150-185 HB sertliğinde seçilmiştir. İç boru, kauçuk ve dış borunun üç boyutlu tasarım görseli Şekil 3.10'da verilmiştir.

Şekil 3.10. İç boru, doğal kauçuk ve dış boru

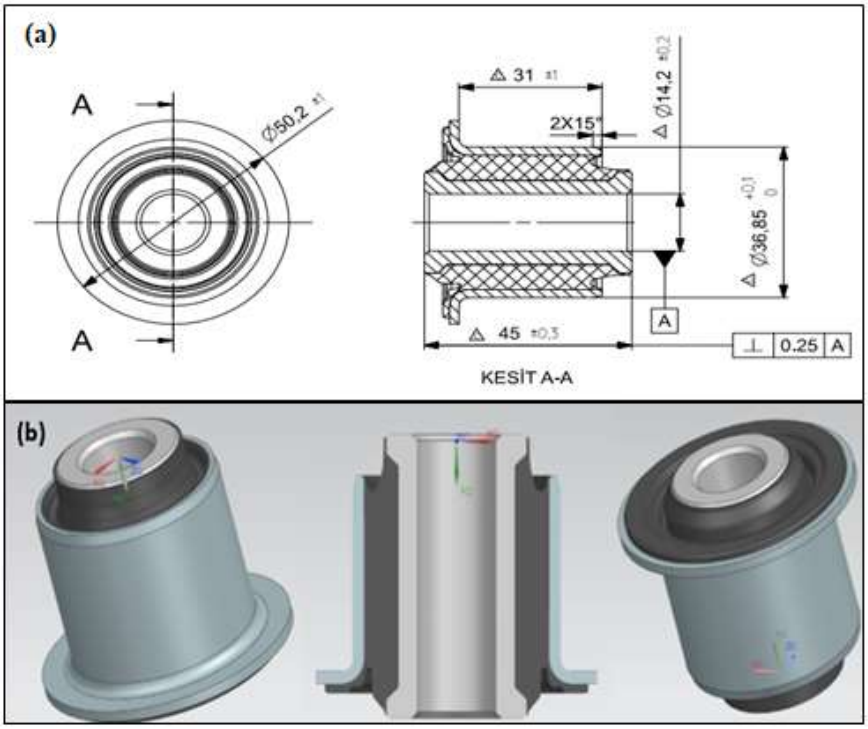
3.2.7. Parça tasarımı

İlk aşamada kauçuk-metal yapışmasını doğrulamak için T plaka saç parça kullanılmıştır. Kauçuk hamurunun vulkanizasyonunda kullanılacak T plakasının iki ve üç boyutlu tasarımı Şekil 3.11'de görüldüğü gibi iki adet T plaka ve kauçuktan oluşmaktadır.



Şekil 3.11. a) 2D T plaka, b) 3D T plakası prototip ürünü

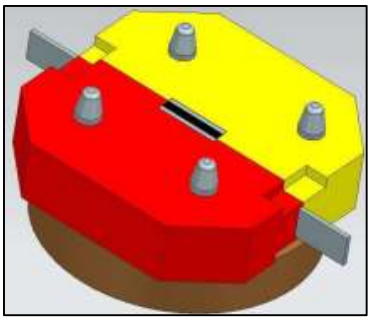
İkinci aşamada kauçuk-metal yapışmasını doğrulamak için mevcutta kullanılan standart burç seçilmiştir. Standart burcun iki ve üç boyutlu tasarımı Şekil 3.12'de görüldüğü gibi iç boru, kauçuk ve dış borudan oluşmaktadır. Parça tasarımları yapılırken Teknorot bünyesinde bulunan NX Unigraphics programı kullanılmıştır.



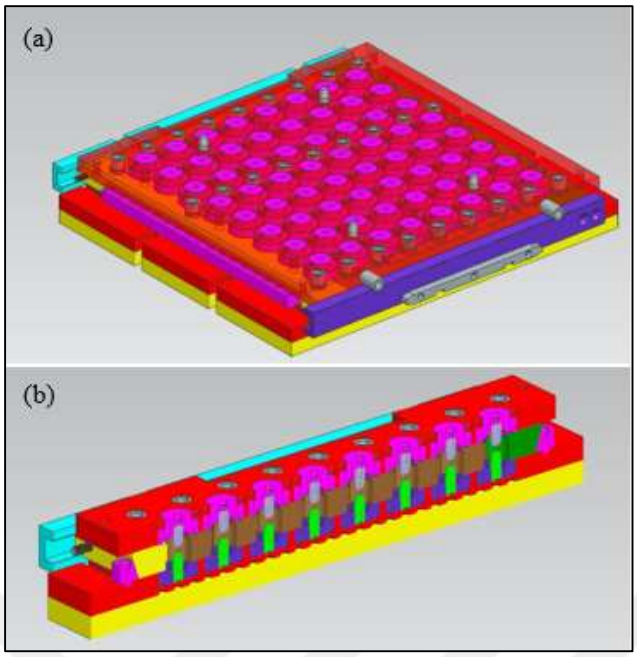
Şekil 3.12. a) 2D Standart burç, b) 3D Standart burç prototip ürünü

3.2.8. Kalıp tasarımı

İlk aşamada kullanılacak T plakasının üç boyutlu tek gözlü vulkanizasyon kalıbının tasarımı Şekil 3.13'te, ikinci aşamada kullanılacak standart burcun üç boyutlu 64 gözlü vulkanizasyon kalıp tasarımı Şekil 3.14'te verilmiştir. Kalıp tasarımlarında Teknorot bünyesinde bulunan NX Unigraphics ve CAD/CAM programları kullanılmıştır.



Şekil 3.13. Tek gözlü T plaka kalıp tasarımı



Şekil 3.14. a) 64 gözlü standart burç kalıp tasarımı ve b) Yandan kesiti

3.2.9. Pirinç kaplama

Pirinç kaplamanın metal yüzeye tutunabilmesi için kaplama işlemi uygulanmadan önce metal yüzeylerinin temizlemesi gerekmektedir. T plakalar, iç ve dış borular bir gün asit içerisinde bekletilmiştir. İnhibitörlü HCI + H_2SO_4 asit banyosunda bekletilen T plakalar, iç ve dış borular kum zımpara ile polisaj işlemine tabii tutulmuştur. Kaplama yapılmadan önce ilk olarak metal yüzeyine ultrasonik yağ alma işlemi uygulanmıştır. Daha sonra elektrolizle yağ alma ve durulama işlemi uygulanarak metallerin yüzey temizleme işlemleri tamamlanmıştır. Yüzeyleri temizlenen numuneler, kaplanmak üzere uygun askı aparatına asılarak Şekil 3.15'te gösterildiği gibi pirinç kaplama banyosuna daldırılmıştır.

Şekil 3.15. Pirinç kaplama banyosu

Pirinç kaplama banyosunun kompozisyonu, metal yüzeylerinde % 60 bakır + % 40 çinko içeren pirinç kaplama oluşturacak şekilde ayarlanmıştır. Banyo sıcaklığı 40 ºC, banyo voltajı ise 4 volttur. Numuneler 7 dakika bekletildiğinde 1,0-1,9 µm kalınlığında, 11 dakika bekletildiğinde 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış metal yüzeyi elde edilmiştir. Şekil 3.16'da olduğu gibi kumlanmış/kumlanmamış T plakanın, iç ve dış boruların yüzeyleri tamamen pirinç ile kaplanmıştır.

Şekil 3.16. Pirinç kaplamış T plaka, iç ve dış boru

3.2.10. Pirinç kaplama kalınlığının ölçümü

Pirinç kaplanmış parçaların kaplama kalınlıkları µm cinsinden Elcometer 456 Basic F marka test cihaz ile ölçülmüştür. Test cihazı görseli Şekil 3.17'de verilmiştir.

Şekil 3.17. Kaplama kalınlık ölçüm test cihazı (URL-9)

3.2.11. Vulkanizasyon işlemi

Vulkanizasyon işleminde polimer molekülleri çapraz bağlar ile birbirine bağlanarak, test numunesi kalıp içerisinde kalıbın şeklini alır. Vulkanizasyon işlemi 150 °C'de ve 9

dakika sürede yapılmıştır. Kullanılan vulkanizasyon presinin görseli Şekil 3.18'de verilmiştir.

Şekil 3.18. Vulkanizasyon presi

Vulkanizasyon işlemi sonrasında elde edilen prototip T plaka ve burçların görseli Şekil 3.19'da verilmiştir. Burada ürünlerin üzerine uygulanan koşullar ayrıntılı olarak yazılmıştır.

Şekil 3.19. Pirinç kaplanmış prototip ürünler

3.2.12. Prototip ürün ile doğrulama

3.2.12.1. T plakasına uygulanan sıyırma (peel) testi

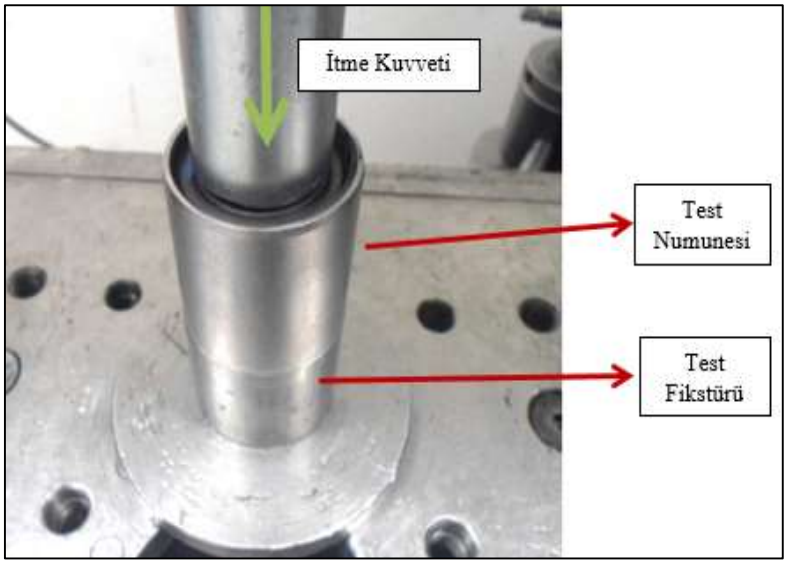
Çekme testleri üniversal test cihazı (Instron 3383) ile yapılmıştır. Kauçuk ile kaplanan plakalar, test cihazının metal çenelerine sıkıştırılarak sabitlenmiştir. Alt çene sabit, üst

çene ise +Z yönde hareket ettirilerek test gerçekleştirilmiştir. Test cihazı görseli Şekil 3.20'de verilmiştir.

Şekil 3.20. Universal test cihazı

3.2.12.2. Burca uygulanan sıyırma testi

Burç, uygun test fikstürüne monte edilerek Şekil 3.21'de görüldüğü gibi iç borudan burca kuvvet uygulanmaktadır. Maksimum kuvvet ölçülerek ve kauçuk ile boru arasındaki yapışma görsel olarak kontrol edilmektedir.



Şekil 3.21. Burç sıyırma testi

3.2.12.3. Burç konfor testi

Burç konfor testi için CAE test cihazı kullanılmıştır. Cihazın görseli Şekil 3.22'de verilmiştir.

Radyal yük (F1), 2mm/dk ile dış gövdeye uygulanmaktadır. Belirlenen F1 yükü elde edilene kadar her yük/deplasman noktalarının birleştirilmesi ile grafik elde edilmektedir.

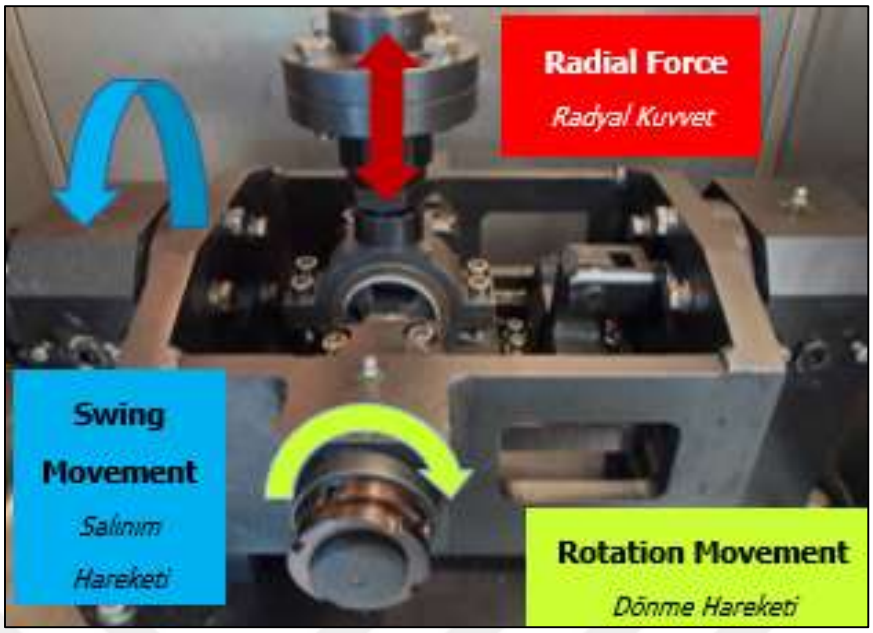
Eksenel yük, 2mm/dk ile belirlenen yer değiştirmeye (fleksiyon) ulaşıncaya kadar burç iç gövdesine uygulanmaktadır. Belirlenen deplasmana ulaşana kadar her yük/deplasman noktalarının birleştirilmesi ile grafik elde edilmektedir.

Şekil 3.22. Burç konfor test cihazı

3.2.12.4. Burç ömür testi

Burçların ömür seviyeleri Şekil 3.23'te gösterildiği üzere hem salınım hem dönme hem de radyal yönde test yapılıp, sonuç hedeflenen benchmark ürün ile karşılaştırılır.

Kabul kriteri, kullanım yerine göre değişiklik göstermektedir.



Şekil 3.23. Burç ömür testi

3.2.12.5. Burç tuzlu sis testi

Tuzlu sis testi için Ascolt marka test cihazı kullanılmıştır. Test çözeltisi içerisinde % 5 NaCI – saf su bulunmaktadır. Kabin kapasitesi 450 litre olup kabin sıcaklığı 35±2 °C'dir. Su sıcaklığı 48 °C olup püskürtme basıncı 98 kPa'dır. Cihazın görseli Şekil 3.24'de verilmiştir.

Şekil 3.24. Burç tuzlu sis testi

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Reolojik Özelliklerin Değerlendirilmesi

Üretilen karışımın reolojik özellikleri 160 °C'de ölçülmüş ve sonuçlar literatürde bulunan benzer bir reçete ile (Ciullo, 1999) karşılaştırmalı olarak Tablo 4.1'de verilmiştir. Kullanılan hammadde farklılıkları nedeniyle, özellikle minimum ve maksimum tork değerlerinde (ML, MH) literatürden sapma görülmüştür. MH değerinin daha yüksek olması, mekanik özelliklerin daha iyi olması beklentisini getirmektedir. Yanma süresinin (ts2) daha kısa ve pişme süresinin daha uzun olması ise kullanılan hızlandırıcı sistemindeki farklılık ile açıklanabilir.

Tablo 4.1. Reolojik özellikler

Özellik	Birim	Karışım Değeri	Literatür Değeri
ML	dNm	2,75	0,6
MH	dNm	30,21	5,1
ts2	dk:s	1:06	2:36
t50	dk:s	5:07	-
t90	dk:s	15:24	9:6

4.2. Dinamik Özelliklerin ve Akışkanlık Özelliklerinin Değerlendirilmesi

4.2.1. Geri sekme sonuçlarının değerlendirilmesi

Vulkanize olmuş örneğe uygulanan dinamik test sonucuna göre geri sekme değeri % 53 olarak belirlenmiştir. Geri sekme değeri kullanılan takviye malzemesine ve miktarına bağlı olarak değişiklik gösterir. 55 phr N330 ile takviye edilen bir doğal kauçuk karışımı için elde edilen bu sonuç literatür bilgileri ile uyumludur (Osabohien ve diğ., 2015).

4.2.2. Mooney viskometre sonucunun değerlendirilmesi

Uygulanan Mooney viskometre testine göre M_L (1+4) değeri 67,5 MU olarak belirlenmiştir. Literatürde bulunan benzer bir reçete için (Ciullo, 1999) bu değer 52 MU'dur. Buna göre mevcut karışımın proses edilebilirliği daha düşük görünmektedir ve sonuçlar reometre verileri ile de uyumludur.

4.3 Fiziko-Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi

4.3.1. Çekme testi sonuçlarının değerlendirilmesi

Kauçuk hamurunun S1 test plakasına uygulanan çekme testinin sonuçları literatürde bulunan benzer bir reçete ile (Ciullo, 1999) karşılaştırmalı olarak Tablo 4.2'de verilmiştir. Karışımın mekanik özellikleri, reometre sonuçlarından da beklendiği gibi, daha yüksektir.

Tablo 4.2. Çekme testi sonuçları

Özellik	Birim	Karışım Değeri	Literatür Değeri
Kopma dayanımı	MPa	22,45	21,7
Kopmada uzama	%	405	380
M300	MPa	16,12	14,8

4.3.2. Yırtılma testi sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan yırtılma test sonucuna göre karışımın yırtılma mukavemeti 11,18 kN/m olarak belirlenmiştir. Literatürde benzer bir reçete için bu değer 64 kN/m'dir (Ciullo, 1999). Hazırlanan karışımın yırtılma mukavemetinin daha düşük olması örnek hazırlama ve test yöntemindeki olası farklılıklarla açıklanabilir.

4.3.3. Aşınma testi sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan aşınma test sonucu örnekte 168 mm^3 hacim kaybı olduğunu göstermiştir.

4.3.4. Sertlik testi sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapılan sertlik test sonucuna göre karışımın sertliği 74±5 Shore A olarak belirlenmiştir. Bu değer literatür ile (70 Shore A) ile uyumlu çıkmıştır (Ciullo, 1999) ve burç uygulamaları için kullanılan karışımların sertlikleri ile aynı aralıktadır. Sertliğin artması prototip ürünün konforunu iyileştirirken, yorulma dayanımını azaltmaktadır.

4.3.5. Yoğunluk testi sonuçlarının değerlendirilmesi

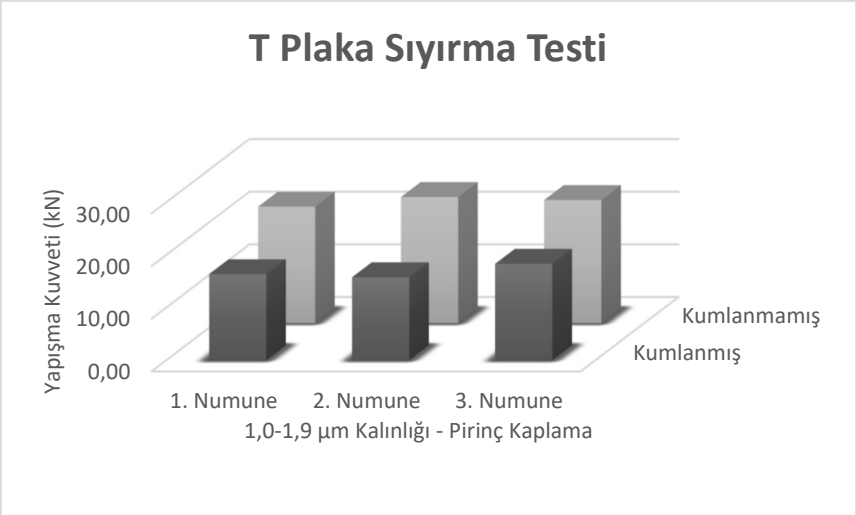
Yapılan yoğunluk test sonucuna göre karışımın yoğunluğu 1,149 g/cm^3 olarak bulunmuştur. Bu değer burç uygulamaları için kullanılan karışımlar ile benzerdir.

4.4. T Plaka ve Prototip Ürünün Değerlendirilmesi

4.4.1. T plaka sıyırma test sonuçlarının değerlendirilmesi

T plakaya uygulanan sıyırma test sonuçlarına göre, 1,0-1,9 µm kalınlığındaki pirinç kaplamadaki kumlanmamış metal yüzeyde, kauçuğu metal yüzeyden koparmak için kumlanmış metal yüzeye göre daha yüksek kuvvet uygulanması gerektiği görülmüştür. Test örneklerine ait görseller Şekil 4.1'de, test sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir. Bu durum pirinç kaplama uygulamasında yüzey pürüzlülüğünün kauçuk-metal yapışmasına olumsuz etkisinin olduğunu göstermiştir.

Şekil 4.1. 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış T plakalara ait sıyırma test örnekleri

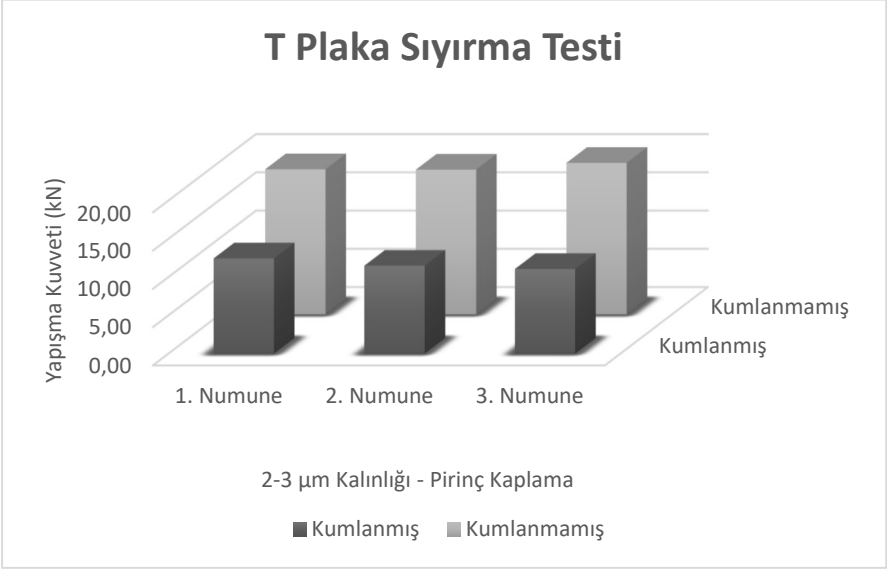


Şekil 4.2. 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış T plakaya uygulanan sıyırma testi sonuçları

T plakaya uygulanan sıyırma test sonuçlarına göre 2-3 µm kalınlığındaki pirinç kaplamadaki kumlanmamış metal yüzeyde de, kauçuğu metal yüzeyden koparmak için kumlanmış metal yüzeye göre daha yüksek kuvvet uygulanması gerektiği ortaya çıkmıştır. Test örneklerine ait görseller Şekil 4.3'te, test sonuçları Şekil 4.4'te verilmiştir. Ayrıca 2-3 µm kalınlığında kaplanmış plakalar 1,0-1,9 µm kaplanmış plakalara göre daha düşük yapışma vermiştir. Bu da kaplama kalınlığının bir optimum değeri olması gerektiğini ortaya koymaktadır.

T plakaya uygulanan sıyırma test sonuçları Tablo 4.3'te özetlenmiştir.

Şekil 4.3. 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış T plakalara ait sıyırma test örnekleri



Şekil 4.4. 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış T plakaya uygulanan sıyırma testi sonuçları

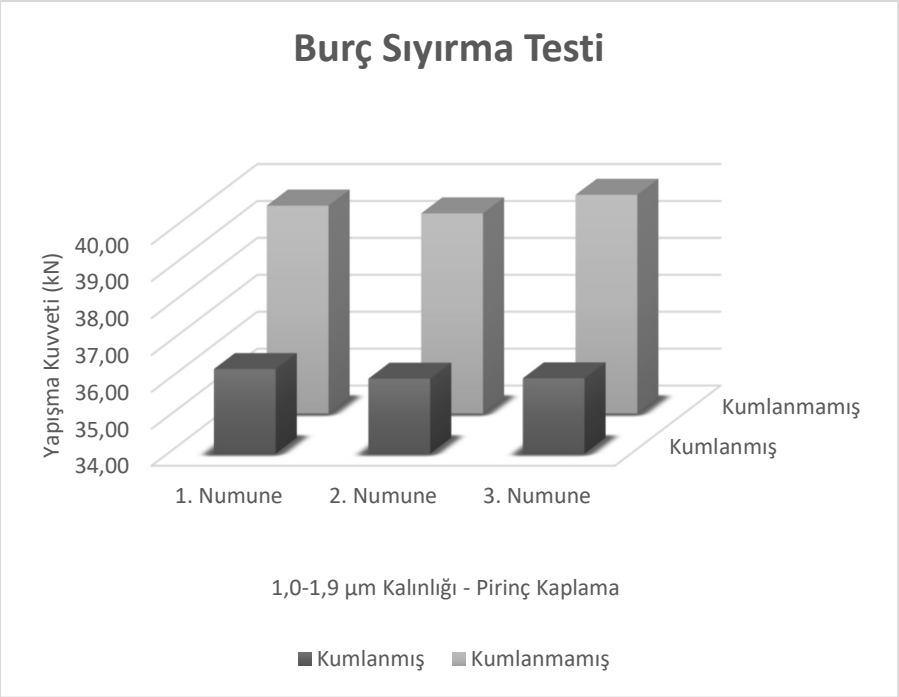
Tablo 4.3. T plakalara uygulanan sıyırma testi sonuçları

T Plaka Sıyırma	1,0-1,9 µm Pirinç Kaplama Yapışma Kuvveti (kN)		2-3 µm Pirinç Kaplama Yapışma Kuvveti (kN)	
	Kumlanmış	Kumlanmamış	Kumlanmış	Kumlanmamış
1. Numune	16,35	22,09	12,44	18,98
2. Numune	15,75	23,93	11,49	18,93
3. Numune	18,31	23,35	11,06	19,82
Ortalama	16,80	23,13	11,66	19,24
Standart Sapma	1,34	0,94	0,71	0,50

4.4.2. Burç sıyırma testi sonuçlarının değerlendirilmesi

Prototip olarak üretilen burca uygulanan sıyırma testi sonucuna göre 1,0-1,9 µm kalınlığındaki pirinç kaplamadaki kumlanmamış metal yüzeyde, kauçuğu metal yüzeyden koparmak için kumlanmış metal yüzeye göre daha yüksek kuvvet uygulanması gerektiği gözlenmiştir. Test örneklerine ait görseller Şekil 4.5'te, test sonuçları Şekil 4.6'da verilmiştir. T plakalara uygulanan test sonuçlarına benzer olarak yüzey pürüzlülüğünün olumsuz etkisi burçlara yapılan testlerde de görülmüştür.

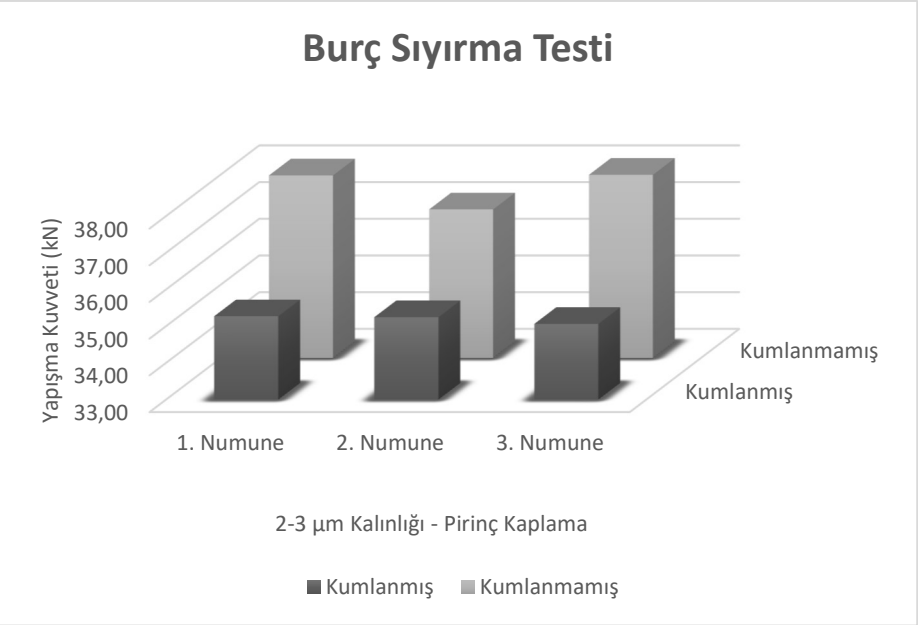
Şekil 4.5. 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçlara ait sıyırma test örnekleri



Şekil 4.6. 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçlara uygulanan sıyırma testi sonuçları

Prototip olarak üretilen burca uygulanan sıyırma testi sonucuna göre 2-3 µm kalınlığındaki pirinç kaplamadaki kumlanmamış metal yüzeyde, kauçuğu metal yüzeyden koparmak için kumlanmış metal yüzeye göre daha yüksek kuvvet uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Test örneklerine ait görseller Şekil 4.7'de, test sonuçları Şekil 4.8'de verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün ve kaplama kalınlığının etkileri bu sonuçlarda da görülmüştür.

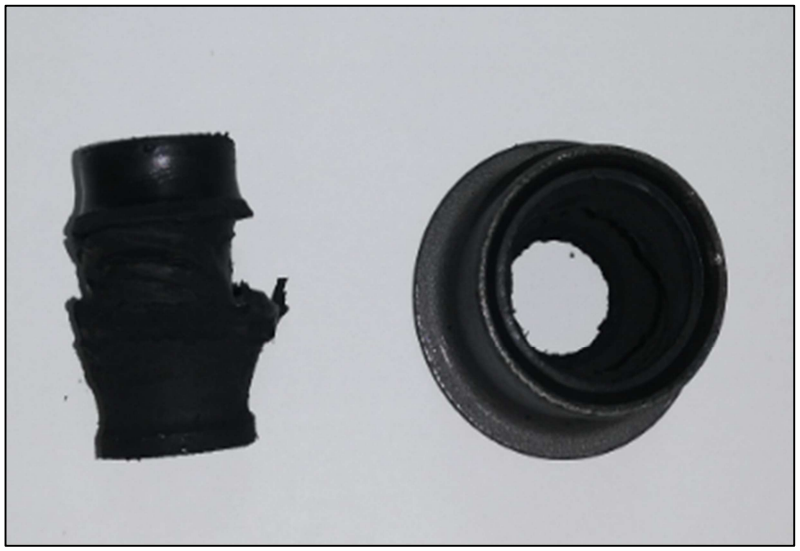
Şekil 4.7. 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçlara ait sıyırma test örnekleri



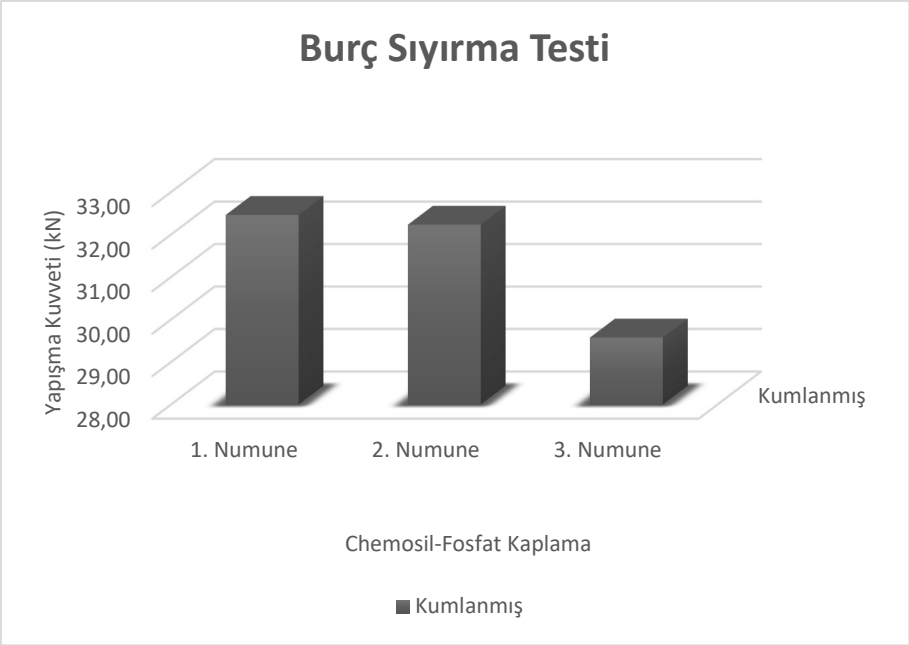
Şekil 4.8. 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçlara uygulanan sıyırma testi sonuçları

Prototip olarak mevcutta kullanılan Chemosil ile kaplanan kumlanmış borulardan üretilen burca uygulanan sıyırma testi sonrası Şekil 4.9'da görüldüğü gibi kauçuk metal yüzeye % 100 yapışmıştır. Ancak Şekil 4.10'da verilen test sonuçlarından görüldüğü gibi, kauçuk-metal yapışma kuvveti, pirinç kaplanmış örneklere göre daha düşüktür. Bu durum pirinç kaplamanın mevcut uygulamaya göre yapışma açısından daha avantajlı olduğunu göstermiştir.

Burçlara uygulanan tüm sıyırma test sonuçları Tablo 4.4'te özetlenmiştir.



Şekil 4.9. Chemosil ile kaplanmış burç numunesine ait sıyırma test örneği



Şekil 4.10. Chemosil ile kaplanmış burca uygulanan sıyırma testi sonuçları

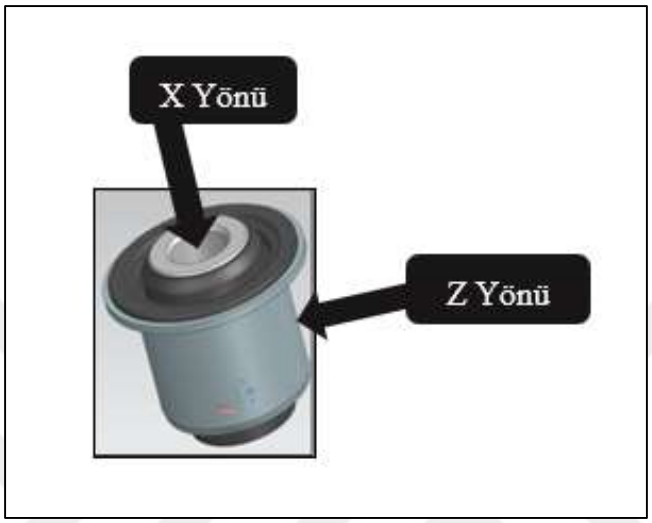
Tablo 4.4. Burçlara uygulanan sıyırma testi sonuçları

Burç Sıyırma	1,0-1,9 µm Pirinç Kaplama Yapışma Kuvveti (kN)		2-3 µm Pirinç Kaplama Yapışma Kuvveti (kN)		Chemosil Kaplama Yapışma Kuvveti(kN)
	Kumlanmış	Kumlanmamış	Kumlanmış	Kumlanmamış	Kumlanmış
1. Numune	36,29	39,63	35,27	37,97	32,46
2. Numune	36,03	39,42	35,24	37,05	32,23
3. Numune	36,04	39,93	35,06	37,99	29,57
Ortalama	36,12	39,66	35,19	37,67	31,42
Standart Sapma	0,15	0,25	0,11	0,54	1,60

Sonuç olarak hem T plakaya hem de prototip burca uygulanan sıyırma testi sonuçlarından da görüldüğü gibi pürüzsüz yüzeye yapılmış pirinç kaplama pürüzlü yüzeye göre daha yüksek kauçuk-metal yapışma kuvveti sağlamış ve testler sonrasında örneklerin görsel değerlendirmesi metal yüzeylerinin % 100 kauçuk kaplı olduğunu ortaya koymuştur. Sonuçlar ayrıca kauçuk-metal yapışmasının kaplama kalınlığından da etkilendiğini, kalınlığın artması ile yapışmanın azaldığını göstermiştir. Mevcut Chemosil uygulaması ile yapılan sıyırma testlerinde ise pirinç kaplama için elde edilen sonuçların tümünden daha düşük bir yapışma görülmüştür.

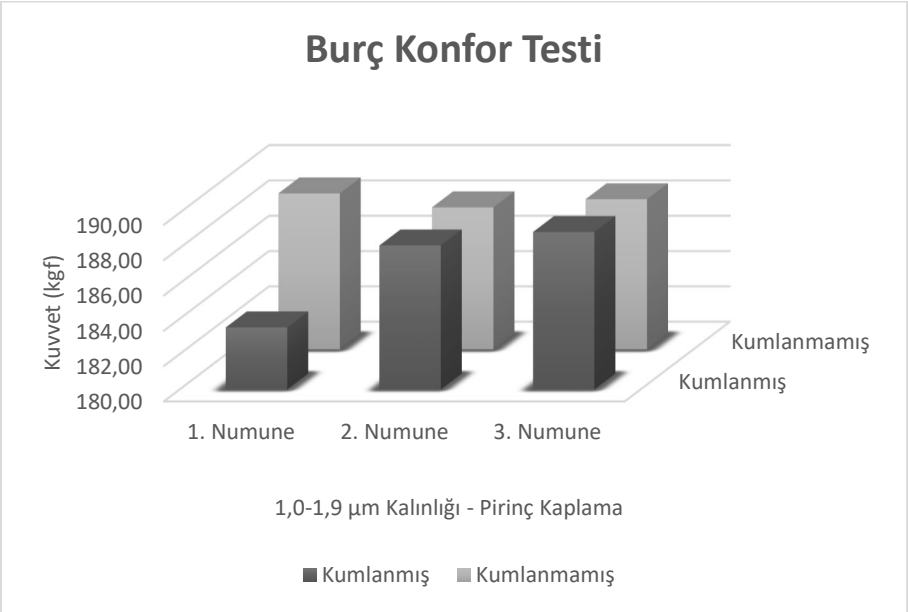
4.4.3. Burç konfor testi sonuçlarının değerlendirilmesi

Burç konfor testlerinde eksenel yönde (x-yönü) burca sabit deplasman uygulanarak oluşan kuvvet ölçülmüş, radyal yönde (z-yönü) burca sabit kuvvet uygulanarak oluşan deplasman ölçülmüştür (Şekil 4.11).

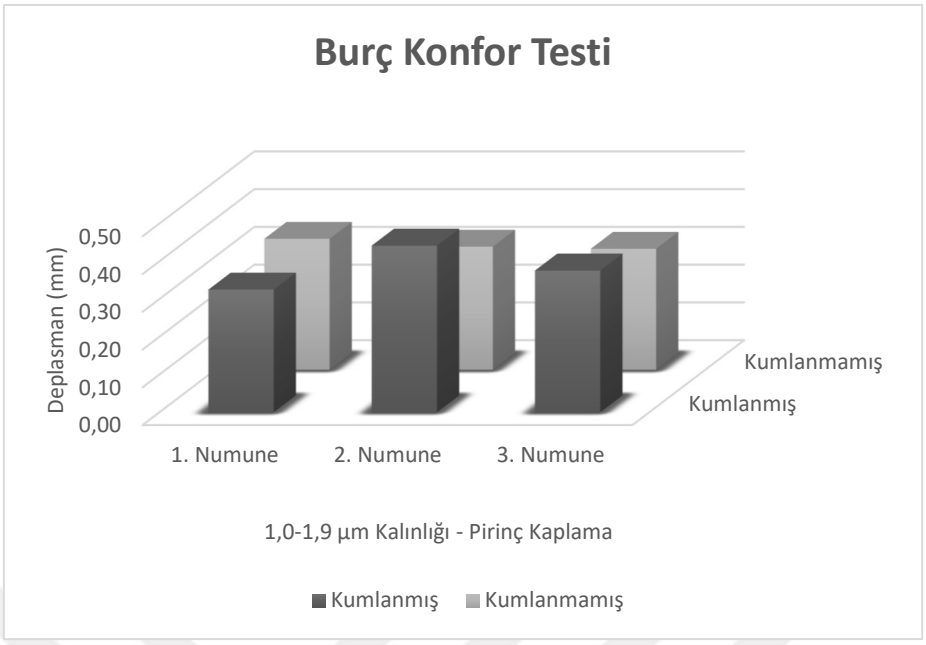


Şekil 4.11. Konfor testinde burca uygulanan deplasman ve kuvvet yönlerinin gösterimi

Prototip olarak, 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç ile kaplanan kumlanmış ve kumlanmamış borulardan üretilen burca uygulanan konfor testi sonuçları, pürüzlülüğün burcun konforunu etkilemediğini göstermiştir (Şekil 4.12 ve Şekil 4.13).

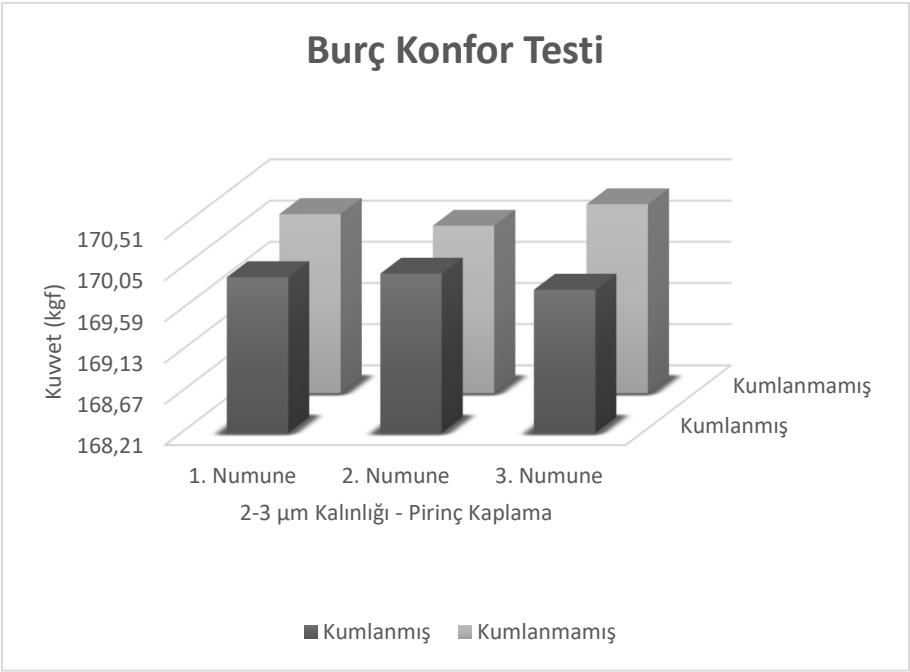


Şekil 4.12. 1,0-1,9 µm pirinç kaplama kalınlığındaki burca eksenel yönde uygulanan deplasman sonucu ölçülen kuvvet değerleri

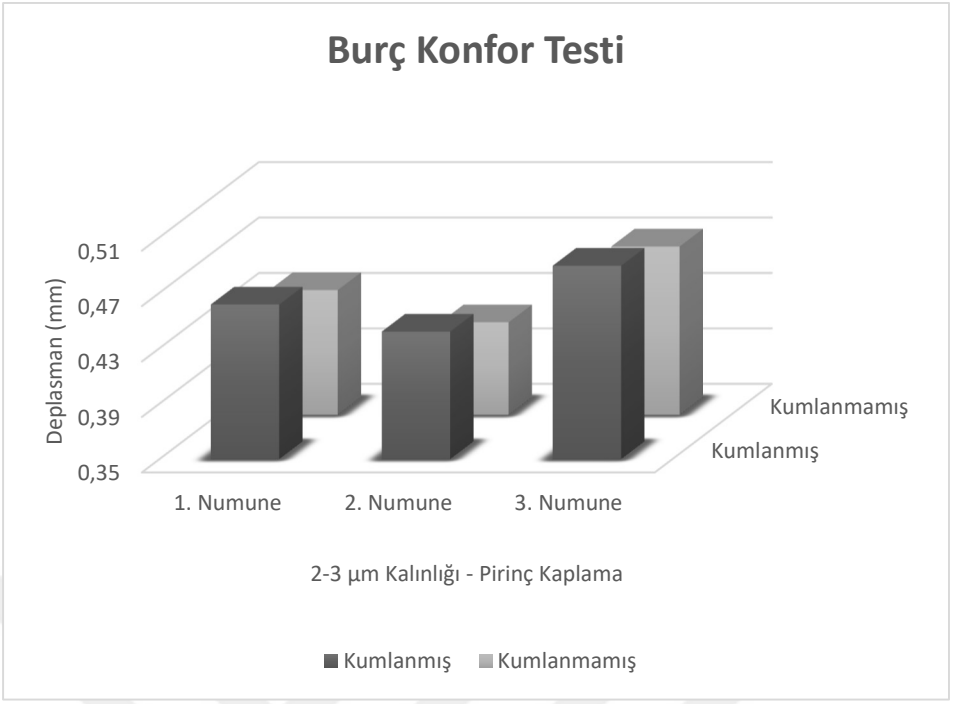


Şekil 4.13. 1,0-1,9 µm pirinç kaplama kalınlığındaki burca radyal yönde uygulanan kuvvet sonucu ölçülen deplasman değerleri

Prototip olarak, 2-3 µm kalınlığında pirinç ile kaplanan kumlanmış ve kumlanmamış borulardan üretilen burca uygulanan konfor testi sonuçları da daha ince kaplamada olduğu gibi, konfor üzerinde pürüzlülüğün etkisinin olmadığını göstermiştir (Şekil 4.14 ve Şekil 4.15).

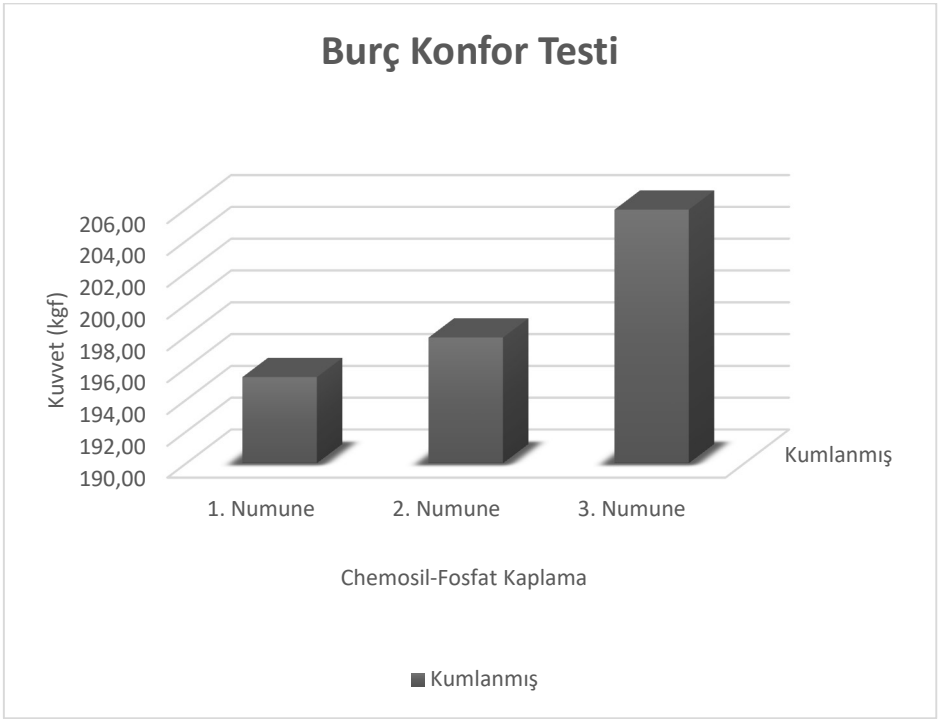


Şekil 4.14. 2-3 µm pirinç kaplama kalınlığındaki burca eksenel yönde uygulanan deplasman sonucu ölçülen kuvvet değerleri

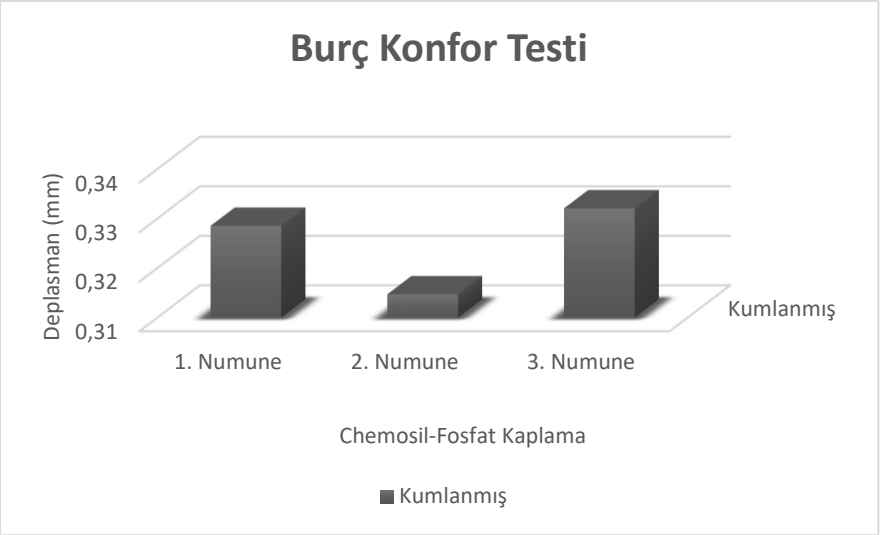


Şekil 4.15. 2-3 µm pirinç kaplama kalınlığındaki burca radyal yönde uygulanan kuvvet sonucu ölçülen deplasman değerleri

Prototip olarak üretilen mevcutta kullanılan Chemosil ile kaplanan kumlanmış borulardan üretilen burca uygulanan konfor testi sonuçları Şekil 16 ve Şekil 17'de verilmiştir.



Şekil 4.16. Chemosil ile kaplanmış burca eksenel yönde uygulanan deplasman sonucu ölçülen kuvvet değerleri



Şekil 4.17. Chemosil ile kaplanmış burca radyal yönde uygulanan kuvvet sonucu ölçülen deplasman değerleri

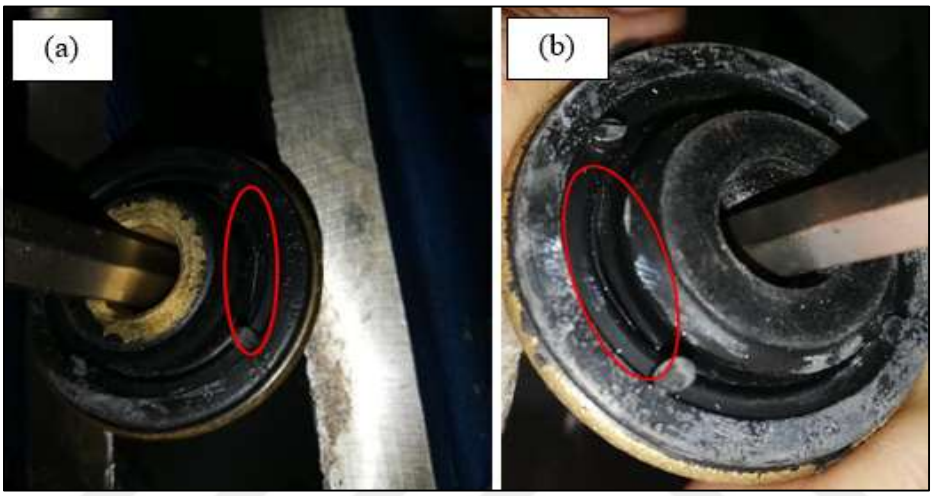
Prototip burçlara uygulanan tüm konfor testlerinin sonuçları Tablo 4.5'te özetlenmiştir. Sonuçlar pirinç kaplanmış burçlarda, her iki kaplama kalınlığı için, yüzey pürüzlülüğünün konforu etkilemediğini göstermiştir. Ayrıca ölçülen kuvvet ve deplasman değerleri pirinç kaplama kalınlığı ile fazla değişmemekte, Chemosil kaplama ile benzerlik göstererek mevcut burç için tanım değerleri arasında kalmaktadır. Chemosil kaplama sonuçlarına en yakın konfor değerleri 1,0-1,9 µm pirinç kaplanmış, kumlanmamış burçta elde edilmiştir.

Tablo 4.5. Burçlara uygulanan konfor testi sonuçları

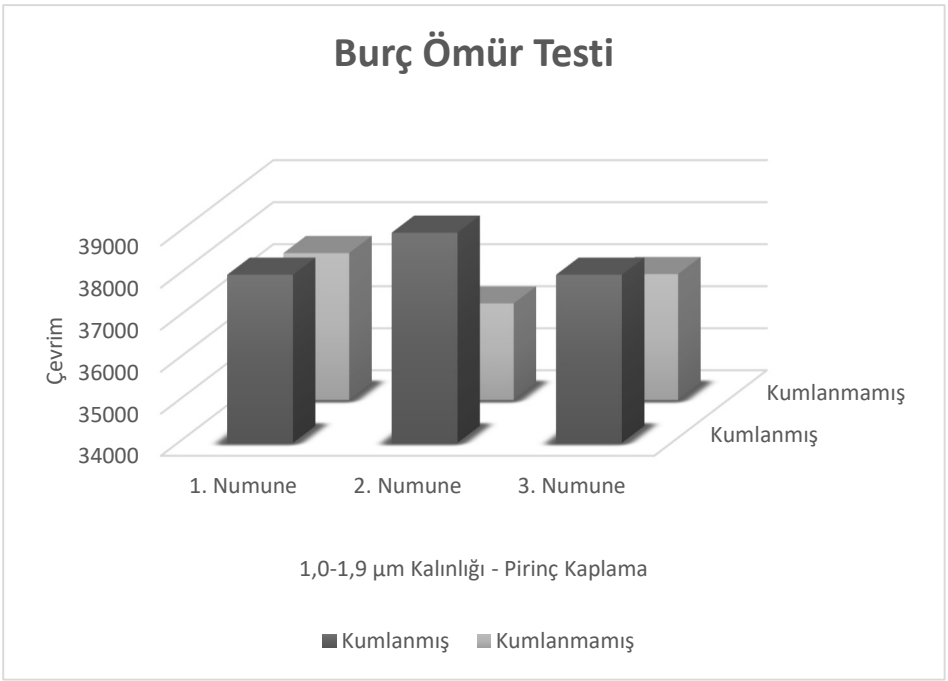
			1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama	Standart Sapma
1,0-1,9 µm Pirinç Kaplama	Kumlanmış	Kuvvet (kgf)	183,51	188,15	188,91	186,85	2,92
		Deplasman (mm)	0,32	0,44	0,37	0,38	0,06
	Kumlanmamış	Kuvvet (kgf)	188,84	188,05	188,51	188,46	0,40
		Deplasman (mm)	0,34	0,32	0,32	0,33	0,01
2-3 µm Pirinç Kaplama	Kumlanmış	Kuvvet (kgf)	169,95	169,99	169,81	169,91	0,09
		Deplasman (mm)	0,46	0,44	0,48	0,46	0,02
	Kumlanmamış	Kuvvet (kgf)	170,21	170,08	170,32	170,20	0,12
		Deplasman (mm)	0,44	0,41	0,47	0,44	0,03
Chemosil Kaplama	Kumlanmış	Kuvvet (kgf)	195,41	197,90	205,94	199,75	5,50
		Deplasman (mm)	0,33	0,31	0,33	0,32	0,01

4.4.4. Burç ömür testi sonuçlarının değerlendirilmesi

Prototip olarak, 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç ile kaplanan kumlanmamış ve kumlanmış borulardan üretilen burçlara uygulanan ömür testleri, yüzey pürüzlülüğünün burcun ömrünü etkilemediğini göstermiştir. Şekil 4.18'de görüldüğü gibi kauçuk aynı yüzeyden deforme olmuştur. Ömür testlerinde elde edilen çevrim değerleri Şekil. 4.19'da gösterilmiştir.

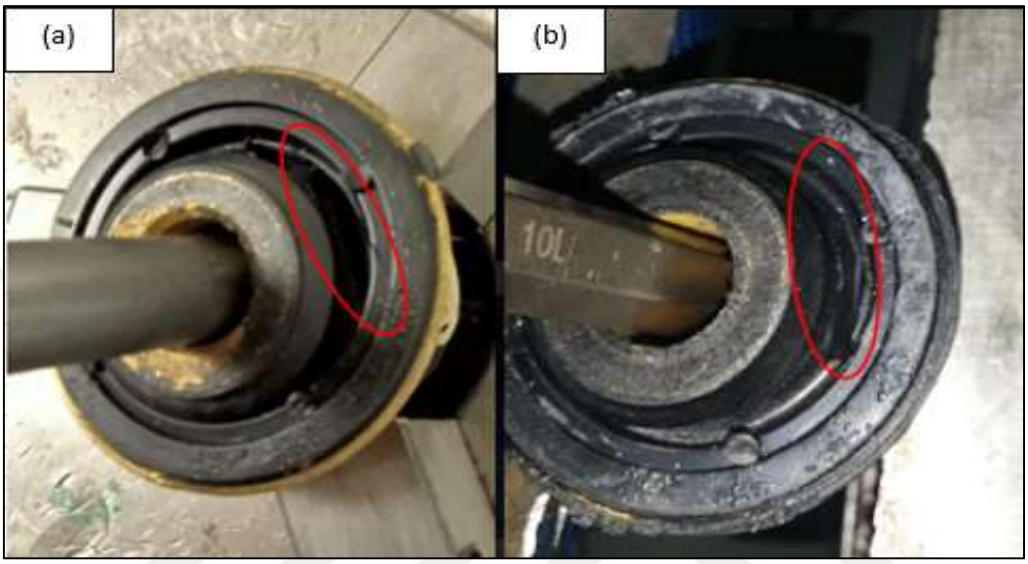


Şekil 4.18. 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçların ömür testi sonrası görüntüleri a) kumlanmamış yüzey, b) kumlanmış yüzey

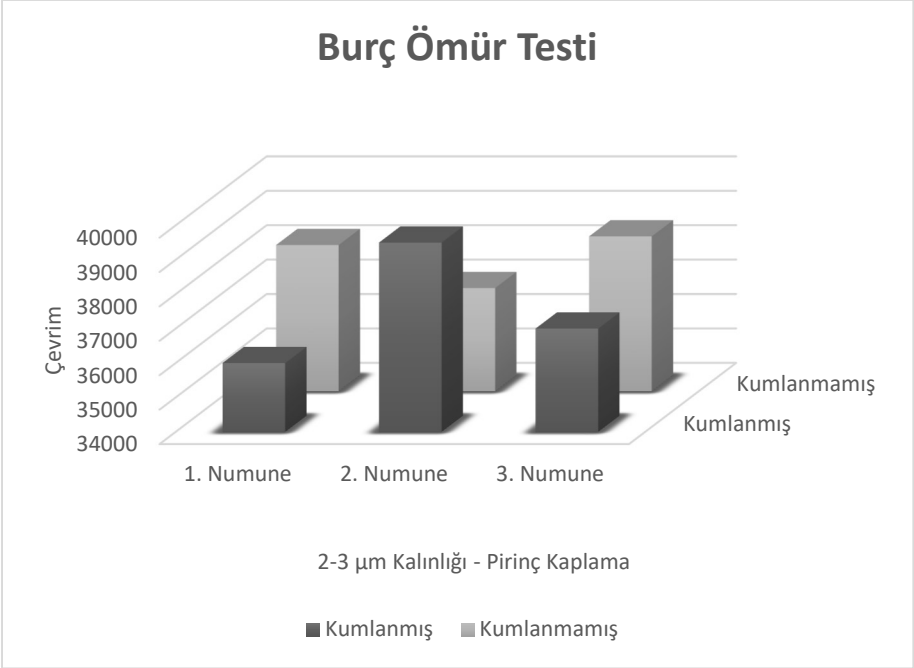


Şekil 4.19. 1,0-1,9 µm pirinç kaplama kalınlığındaki burçlara uygulanan ömür testi sonuçları

Prototip olarak, 2-3 µm kalınlığında pirinç ile kaplanan kumlanmamış ve kumlanmış borulardan üretilen burçlara uygulanan ömür testleri de ince kaplamaya benzer şekilde, yüzey pürüzlülüğünün burcun ömrünü etkilemediğini göstermiştir. Şekil 4.20'de görüldüğü gibi kauçuk aynı yüzeyden deforme olmuştur. Ömür testlerinde elde edilen çevrim değerleri Şekil. 4.21'de gösterilmiştir.



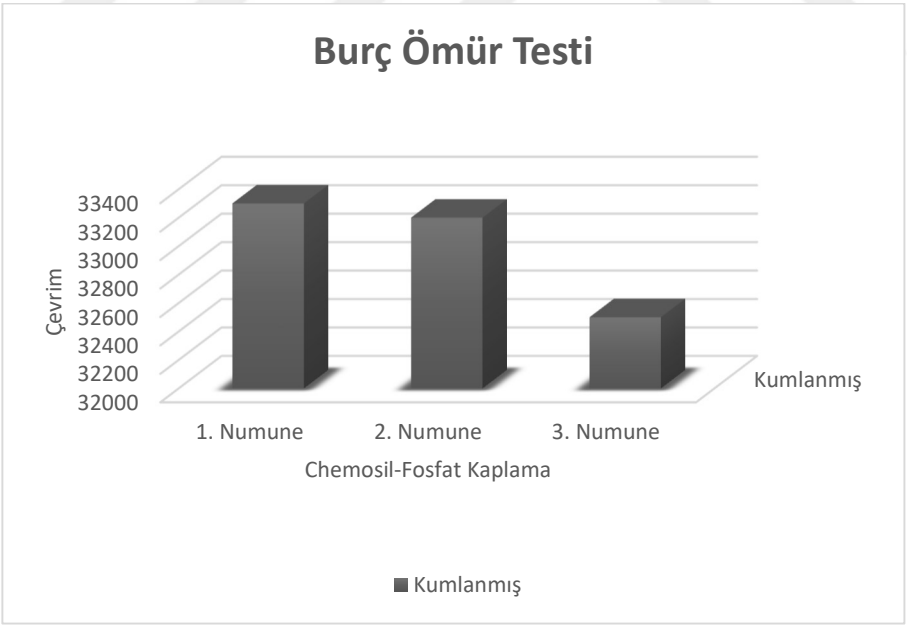
Şekil 4.20. 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçların ömür testi sonrası görüntüleri a) kumlanmamış yüzey, b) kumlanmış yüzey



Şekil 4.21. 2-3 µm pirinç kaplama kalınlığındaki burçlara uygulanan ömür testi sonuçları

Prototip olarak, mevcutta kullanılan Chemosil ile kaplanan kumlanmış borulardan üretilen burca da ömür testi uygulanmıştır. Test sonrası kauçuğun yırtılma yüzeyi Şekil 4.22'de gösterilmiş, elde edilen çevrim değerleri Şekil 4.23'te verilmiştir.

Şekil 4.22. Chemosil ile kaplanmış kumlanmış yüzeyin ömür testi sonrası görüntüsü



Şekil 4.23. Chemosil ile kaplanmış burca uygulanan ömür testi sonuçları

Prototip burçlara uygulanan ömür testlerinin sonuçları Tablo 4.6'da özetlenmiştir. Sonuçlar pirinç kaplanmış burçlarda yüzey pürüzlülüğünün burcun ömrüne etkisinin olmadığını, kumlanmış ve kumlanmamış burçlar için elde edilen çevrim değerlerinin

benzer olduğunu göstermiştir. Pirinç kaplama kalınlığının da sonuçlara etkisi gözlenmemiştir. Ancak pirinç kaplı burçların ömür testinde Chemosil kaplanmış burçtan daha iyi performans verdiği (~ % 11–16 daha yüksek çevrim) belirlenmiştir.

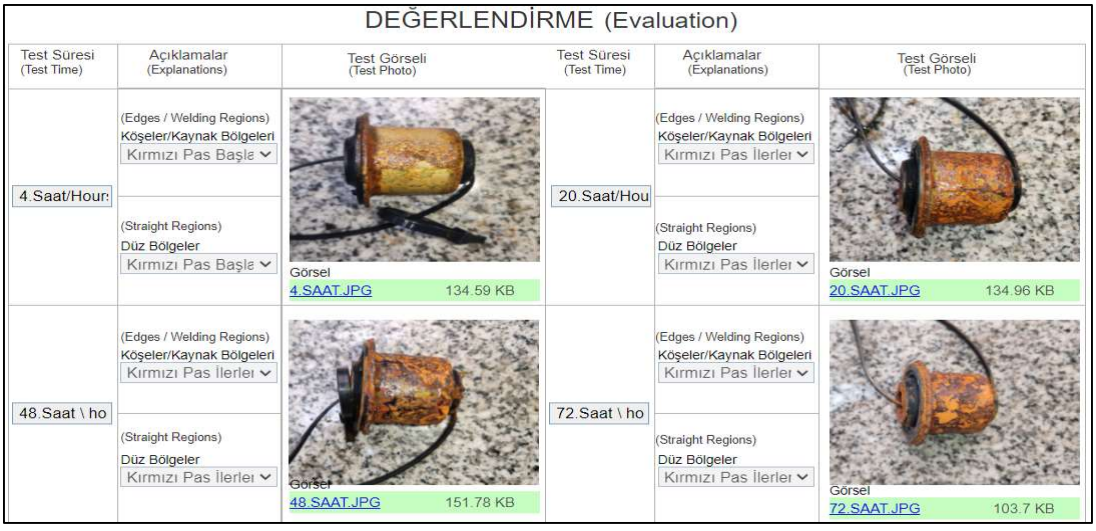
Tablo 4.6. Burçlara uygulanan ömür testi sonuçları

Burç Ömür	1,0-1,9 µm Pirinç Kaplama (Cycle)		2-3 µm Pirinç Kaplama (Cycle)		Chemosil (Cycle)
	Kumlanmış	Kumlanmamış	Kumlanmış	Kumlanmamış	Kumlanmış
1. Numune	38000	37500	36000	38250	33300
2. Numune	39000	36300	39500	37000	33200
3. Numune	38000	37000	37000	38500	32500
Ortalama	38333	36933	37500	37917	33000
Std. Sapma	577	603	1803	804	436

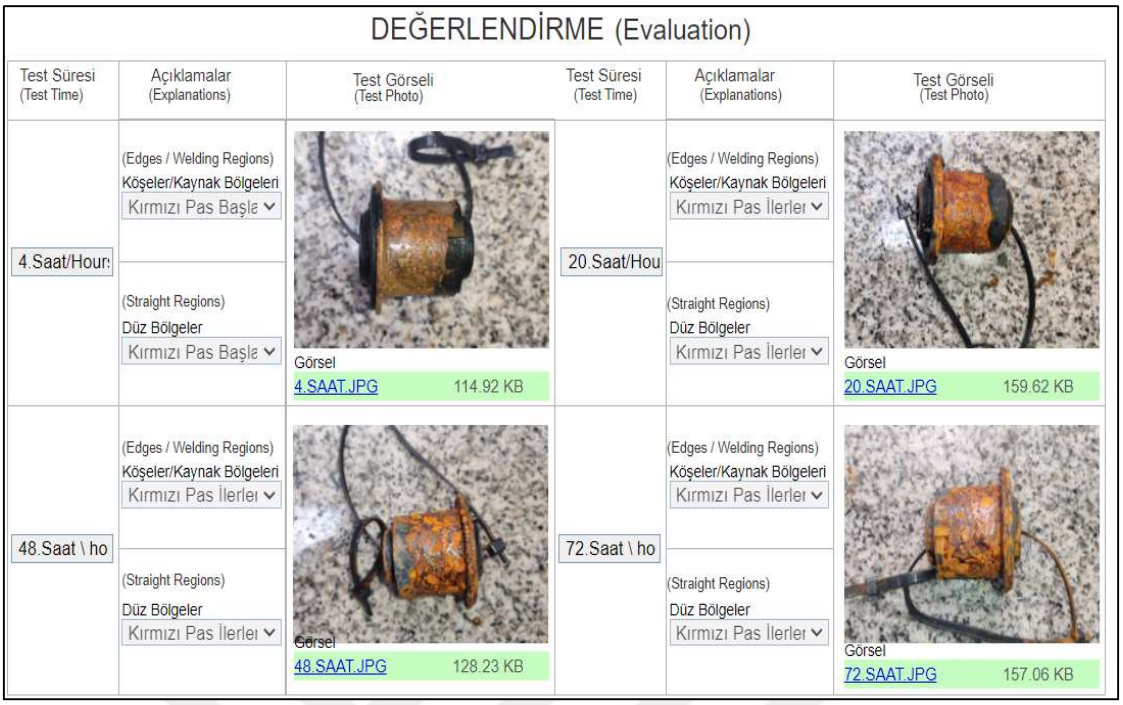
4.4.5. Burç tuzlu sis testi sonuçlarının değerlendirilmesi

Pirinç ile kaplanmış prototip burçların dış yüzeyinin korozyona karşı dayanımını tespit etmek için 72 saat boyunca tuzlu sis testi yapılmıştır. Tuzlu sis testi sonucunda boruların kumlanmış, kumlanmamış veya farklı kaplama kalınlıklarında olmaları test sonucunu değiştirmemiştir.

Kumlanmış ve kumlanmamış yüzeylere 1,0-1,9 µm pirinç kaplama yapılmış burçlara uygulanan tuzlu sis testleri sonucunda Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te görüldüğü gibi 4. saatin sonunda kırmızı pas oluşmuştur.



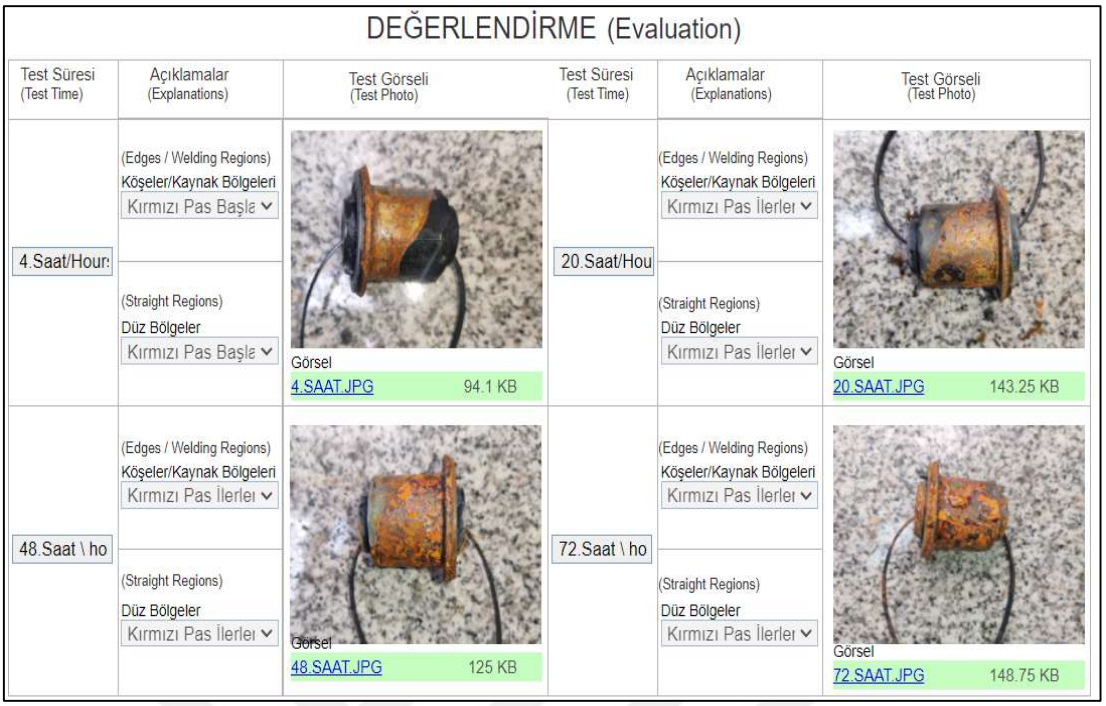
Şekil 4.24. Kumlanmış yüzeye 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçların tuzlu sis testi sonrası görüntüleri



Şekil 4.25. Kumlanmamış yüzeye 1,0-1,9 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçların tuzlu sis testi sonrası görüntüleri

Kumlanmış ve kumlanmamış yüzeylere 2-3 µm pirinç kaplama yapılmış burçlara uygulanan tuzlu sis testleri sonucunda Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de görüldüğü gibi 4. saatin sonunda kırmızı pas oluşmuştur.

Şekil 4.26. Kumlanmış yüzeye 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçların tuzlu sis testi sonrası görüntüleri



Şekil 4.27. Kumlanmamış yüzeye 2-3 µm kalınlığında pirinç kaplanmış burçların tuzlu sis testi sonrası görüntüleri

Chemosil ile kaplanan kumlanmış borulardan üretilen prototip burcun dış yüzeyi korozyona karşı korumak için ek işlem olarak fosfat ile kaplanmıştır. Fosfat kaplanmış burç tuzlu sis testine tabi tutulduğunda Şekil 4.28'de görüldüğü gibi 72 saatin sonunda kırmızı pas görülmüştür.

Şekil 4.28. Chemosil-fosfat kaplanmış burçların tuzlu sis testi sonrası görüntüleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, otomotiv sektöründe kullanılan burçlarda kauçuk-metal yapışması için tercih edilen Chemosil uygulamasına alternatif bir yapıştırıcı olan pirinç kaplamanın ve bu kaplama ile birlikte kullanılacak özel kauçuk reçetesinin geliştirilmesidir. Böylece kauçuk ile metal arasında kurulan bağın kuvvetinin arttırılması ve prototip ürün için gerekli olan fosfat kaplama işleminin kaldırılması hedeflenmiştir.

Çalışmada ilk olarak ince sac malzemeden T plakalar tasarlanmış ve yüzeyleri kumlama yapılmadan ve kumlama yapılarak elektroliz yöntemi ile iki farklı kalınlıkta pirinç kaplanmıştır. Geliştirilen kauçuk karışımı ile vulkanizasyon sonrası elde edilen prototip ürüne yapılan sıyırma testlerinde bulunan yapışma kuvveti değerleri ve görsel incelemeler kauçuk ile metal arasında iyi bir bağlanma olduğunu göstermiştir. Kumlanmamış yüzeyler kumlanmış olanlara göre ve ince kaplanmış (1,0-1,9 µm) plakalar kalın kaplanmış (2-3 µm) olanlara göre daha iyi yapışma göstermiştir. İkinci aşamada ise pirinç kaplama standart burç borulara uygulanmış, kumlama yapılmadan ve kumlama yapılarak elektroliz yöntemi ile borular 1,0-1,9 µm ve 2-3 µm kalınlıkta kaplanmıştır. Vulkanizasyon sonrası burçlara uygulanan sıyırma testlerinde, T plakalara benzer şekilde, kumlanmamış yüzeye ince pirinç kaplama yapılmış örneklerde daha iyi yapışma sonuçları elde edilmiştir. Böylece, yüzey pürüzlülüğünün ve pirinç kaplama kalınlığının artması ile kauçuk-metal yapışmasının olumsuz etkilendiği belirlenmiştir.

Pirinç kaplama ile kauçuk yapışması sağlanmış burçlar ve standart ürün olan Chemosil uygulaması yapılmış burçlar konfor ve ömür testlerine tabi tutulmuştur. Pirinç kaplanmış burçlarda yüzey pürüzlülüğü ve kaplama kalınlığı her iki test için de farklılık göstermemiştir. Pirinç yapışma sistemi konfor testinde Chemosil uygulamasına benzer sonuçlar verirken, ömür testinde ~ % 11–16 daha yüksek çevrim değerleri sergilemiştir.

Korozyon dayanımının belirlenmesi için burçlara 72 saate kadar tuzlu sis testi yapılmıştır. Pirinç kaplama yapılmış tüm burçlarda, yüzey pürüzlülüğü ve kaplama kalınlığı fark etmeksizin, 4. saatin sonunda kırmızı pas görülmüştür. Chemosil yapıştırıcı kullanılan burçlar ise yüzey koruma amaçlı olarak fosfat kaplandıkları için korozyona daha direnç göstermiş ve kırmızı pas 72 saat sonra gözlenmiştir.

Otomotiv sektöründe ön süspansiyon parçası olarak kullanılan burçlar sürekli dış etmenlere maruz kalmaktadır. Bu nedenle burçlarda hem kauçuk ile metal arayüzeyinde kuvvetli bağ oluşması, hem de dış yüzeyin korozyona karşı dayanıklı olması istenmektedir.

Bu çalışmanın sonucunda kauçuk-metal bağlanması açısından burçlarda pirinç kaplama uygulamasının, Chemosil uygulamasına iyi bir alternatif olduğu ancak korozyon direncinin geliştirilmesi gerektiği belirlenmiştir. İleride yapılacak olan çalışmalarda yüzeye uygulanacak koruyucu yağ ya da solvent arayışına girilecektir.

KAYNAKLAR

Awaja, F., Gilbert, M., Kelly, G., Fox, B., Pigram, P.J. (2009). Adhesion of polymers. *Progress in Polymer Science, 34*(9), 948-968.

Bai, W., (2009). New Application of Crystalline Cellulose in Rubber Composites. PhD Thesis, Oregon State University, Wood Science and Chemical Engineering, Corvallis, Oregon, USA.

Ciesielski, A. (1999). *An Introduction to Rubber Technology* (1st ed.). United Kingdom: Rapra Technology Limited.

Ciullo, P.A., Hewitt, N. (1999). *The Rubber Formulary* (1st ed.), (79-80). New York: Noyes Publications.

Coran, A.Y. (2013). Vulcanization. Mark, J.E., Erman, B., Roland, C.M. (Ed.), *The Science and Technology of Rubber* (4th ed.) (337-381). USA: Elsevier.

Das, S., (2014). Summary on Rubber Technology, https://www.academia.edu /9989009/SUMMARY_ON_RUBBER_TECHNOLOGY, (Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2022).

Day, G. (2020). General Purpose Elastomer and Blends. Dick, J.S. (Ed.), *Rubber Technology* (3rd ed.) (165-202). Munich: Carl Hanser Verlag.

Halladay, J.R., Warren, P.A. (2001). Rubber to Metal Bonding. Crowther, B., (Ed.), *The Handbook of Rubber Bonding* (1st ed.) (57-79). United Kingdom: Rapra Technology.

Hamzah, M.H.B. (2010). Mechanical Properties of Styrene Butadiene Rubber With Oil Palm Trunk Fiber as Filler. BS Thesis, Universiti Malaysia Pahang, Faculty of Chemical & Natural Resources Engineering, Malaysia.

Kamaruddin, S.B. (2013). Long-Term Mechanical Properties of Rubber. PhD Thesis, University of Southampton, Faculty of Engineering and the Environment Maritime Engineering & Ship Science, Hertford, UK.

Kathirayson, K. (2019). Performance Study of Acrylonitrile Butadiene Rubber (NBR) Latex/Eggshell Filler Composite Film. BS Thesis, Universiti Tunku Abdul Rahman, Faculty of Engineering and Green Technology, Malaysia.

Kiu, K.H. (2007). Study of Adhesion Properties of Natural Rubber, Epoxidized Natural Rubber, and Ethylene-Propylene Diene Terpolymer-Based Adhesives. MS Thesis, Universiti Sains Malaysia, Malaysia.

Mouri, H. (2001). Fillers. White, J.R., De, S.K. (Ed.), *Rubber Technologist's Handbook* (1st ed.) (131-165) United Kingdom: Rapra Technology Ltd.

Musch, R., Magg, H. (2008). Polychloroprene Rubber. Klingender, R.C. (Ed.), *Handbook of Specialty Elastomers* (1st ed.) (1-37). Baca Raton, FL: CRC Press.

Osabohien, E., Okoh, B.E., Egboh, S.H.O. (2015). Calamus Deerratus Fibre Reinforced Natural Rubber Vulcanizates. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, *9*(2), 1094-1106.

Quirk, R.P., Pickel, D.L. (2013). Polymerization: Elastomer Synthesis. Mark, J.E., Erman, B., Roland, C.M. (Ed.), *The Science and Technology of Rubber* (4th ed.) (27-113). USA: Elsevier.

Razak, J.A., Ahmad, S.H., Ratnam, C.T., Mahamood, M.A., Yaakub, J., Mohamad, N. (2015). Effects of EPDM-g-MAH Compatibilizer and Internal Mixer Processing Parameters on the Properties of NR/EPDM Blends: An Analysis Using Response Surface Methodology. *Journal of Applied Polymer Science,* 42199, 1-15.

Rezaeian, I., Zahedi, P., Rezaeian, A. (2011). Rubber Adhesion to Different Substrates and Its Importance in Industrial Applications: A Review, *Journal of Adhesion Science and Technology, 26*(6), 721-744.

Rodgers, B., Waddell, W. (2013). The Science of Rubber Compounding. Mark, J.E., Erman, B., Roland, C.M. (Ed.), *The Science and Technology of Rubber* (4th ed.) (417-472). USA: Elsevier.

Savran, H.Ö. (2001). Elastomer Teknolojisi-I (1. Basım). İstanbul: Kauçuk Derneği Yayınları.

Savran, H.Ö. (2002). Elastomer Teknolojisi-II (1. Basım). İstanbul: Kauçuk Derneği Yayınları.

Sexsmith, F.H. (1994). Rubber-to-Metal Bonding. Bhowmick, A.K., Hall, M.M., Benarey, H.A., (Ed.), *Rubber Products Manufacturing Technology* (1st ed.) (449-472). New York: Marcel Dekker Inc.

Simpson, R.B. (2002). *Rubber Basics* (1st ed.). United Kingdom: Rapra Technology Limited.

Sommer, J.G. (2009). *Engineered Rubber Products* (1st ed.). Hanser Publishers: Munich.

Sommer, J.G. (2013). *Troubleshooting Rubber Problems* (1st ed.). Hanser Publishers: Munich.

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.

Türk Henkel, (1992). Chemosil'ler ile Çalışma Yöntemleri, *Kauçuk*, Sayı 2, 13-16.

URL-1: https://www.teknorot.com/burc-uretim/, (Ziyaret tarihi: 30 Kasım 2021).

URL-2: https: //www.plastik-ambalaj.com/tr/plastik-ambalaj-makale/2819-polimerlerde -bozunma, (Ziyaret tarihi: 12 Şubat 2022).

URL-3: https://vdocument.in/reactive-bonding-of-chapter-natural-rubber-to-metal-by-4-reactive-bonding.html?page=1, (Ziyaret tarihi: 19 Mayıs 2022).

URL-4: https://www.uobabylon.edu.iq/eprints/publication_3_4711_164.pdf, (Ziyaret tarihi: 19 Mayıs 2022).

URL-5: https: //www.asiamachinery.net/supplier/product detail.asp?ProID=3329&Sup ID= 1007 (Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2022).

URL-6: https://devotrans.com/en/products/melting-softening-and-burning-tests/mooney -viscometer-zgt-mv-3000au.html (Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2022).

URL-7: https://q-tec-gmbh.de/en/products/cutting-die/iso-37/iso-37-type-2/, (Ziyaret tarihi: 20 Mayıs 2022).

URL-8: http://www.hakoglu.com.tr/tr/sac-urunleri, (Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2022).

URL-9: https://www.mltest.com/index.php/coating-and-thickness/454-elcometer-456-coating-thickness-gauges-with-bluetoothr (Ziyaret tarihi: 15 Mayıs 2022).

Vahapoğlu, V. (2007). Kauçuk Türü Malzemeler I. Doğal Kauçuk. *C.B.Ü. Fen Bilimleri Dergisi*, 3.1, 57-70.

van Ooij, W. J. (2001). Rubber-Brass Bonding. Crowther, B., (Ed.), *The Handbook of Rubber Bonding* (1st ed.) (163-195). United Kingdom: Rapra Technology Limited.

van Ooij, W.J. (2005). Rubber: tyre cord adhesion. Packham, D.E., (Ed.), *Handbook of Adhesion* (2nd ed.) (427-429). United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd.

van Ooij, W.J. (1979). Fundamental Aspects of Rubber Adhesion to Brass-Plated Steel Tire Cords. *Rubber Chemistry & Technology, 52*(3), 605-675.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Erdem F., Polat Ş., Arslanoğlu M. (2021). Kauçuk-Metal Yapışma Sistemleri, *1. Uluslararası Uygulamalı Mühendislik ve Doğa Bilimleri Konferansı (ICAENS 2021)*, Konya, Türkiye, 1-3 Kasım 2021.

Erdem F. (2021). Kauçuk Pişirme Süresinin Burçların Mekanik Özelliklerine Etkisinin Deneysel Yöntemlerle Araştırılması, *7. Uluslararası Marmara Fen Bilimleri Kongresi (IMASCON)*, Kocaeli, Türkiye, 10-11 Aralık 2021.

ÖZGEÇMİŞ

Fevziye (Altaş) Erdem ilkokul öğrenimini Kayseri'de, orta ve lise öğrenimini ise Düzce'de tamamladı. 2012 yılında girdiği Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nden 2016 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisi olarak mezun oldu. 2013 yılında çift anadal programına başvurarak Makine Mühendisliği Bölümü'nden 2017 yılında Makine Mühendisi olarak mezun oldu. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Polimer Bilimi ve Teknolojisi Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2017 yılından beri Düzce'de Teknorot Otomotiv Ürünleri San. ve Tic. A.Ş. Ar-Ge biriminde Burç Ürün Geliştirme Mühendisi olarak görev yapmaktadır. Evli ve bir çocuk annesidir.