

**BİNEK ARAÇLARDAKİ GERĐİ RULMANLARINDA
KULLANILAN BURÇ MALZEMESİNİN ÇEŞİTLİ PLASTİK
KOMPOZİT MALZEMELER KULLANILARAK ÜRETİLİP
MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

OSMAN YEŞEN

Yüksek Lisans Tezi

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nursen ÖNTÜRK

2019

T.C.

TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİNEK ARAÇLARDAKİ GERGİ RULMANLARINDA KULLANILAN
BURÇ MALZEMESİNİN, ÇEŞİTLİ PLASTİK KOMPOZİT
MALZEMELER KULLANILARAK ÜRETİLİP MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Osman YEŞEN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ NURŞEN ÖNTÜRK

TEKİRDAĞ-2019

Her Hakkı Saklıdır.

Dr. Öğr. Üyesi Nurşen ÖNTÜRK danışmanlığında ve Dr. Öğr. Üyesi Sencer Süreyya KARABEYOĞLU eş danışmanlığında, Osman YEŞEN tarafından hazırlanan “Binek Araçlarda Kullanılan Burç Malzemesinin, Çeşitli Plastik Kompozit Malzemeler Kullanılarak Üretilip Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sait Özmen ERUSLU

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Nurşen ÖNTÜRK

İmza :

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Sencer Süreyya KARABEYOĞLU

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİNEK ARAÇLARDAKİ GERGİ RULMANLARINDA KULLANILAN BURÇ
MALZEMESİNİN, ÇEŞİTLİ PLASTİK KOMPOZİT MALZEMELER
KULLANILARAK ÜRETİLİP MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Osman YEŞEN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Nurşen ÖNTÜRK

Burç elemanı gergi rulmanının en çok aşınmaya maruz kalan elamanıdır. Burç malzemesinin aşınmasından dolayı gergi rulmanı görevini yerine getiremez ve araç için yüksek hasar oluşturabilir. Bu çalışmada gergi rulmanında kullanılan burç elemanının çeşitli kompozit malzemelerden üretilip mekanik özellikleri incelenmiştir. Çeşitli malzemelerden üretilen bu burç aşındırma test cihazında testlere tabi tutulmuş ve aşınma davranışları incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı elde edilen sonuçlar değerlendirilerek en dayanıklı burç malzemesinin seçilmesi ile burcun ve dolayısıyla gergi rulmanının da uzun ömürlü olarak kullanılmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Gergi rulmanı, kompozit burç, burç aşınması

2019, 97 Sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

INSPECTION OF MECHANICAL PROPERTIES OF BUSH MATERIAL'S IN THE TENSIONER MECHANISM BY PRODUCT WITH USING OF VARIOUS COMPOSITE MATERIALS

Osman YEŞEN

Tekirdağ Namık Kemal University

Gradute School of Natural and Applied Sciences

Main Science Divison of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nurşen ÖNTÜRK

The bushing component is the most exposed member of a tensioner bearing. Due to the wear of the bushing material, the tensioner bearing cannot perform its duty and can cause high damage to the engine and vehicle. In this study, the mechanical properties of the bushing component used in the tensioner bearing was produced from various composite materials. This bushing produced from various materials was tested in wear tester and the wear behavior was examined. The purpose of this study is to evaluate the results and to choose the most durable bushing material and to use the bushing and thus the tensioner bearing for a long life.

Keywords: Bearing tensioner, composite bush, bush wear

2019, 97 Pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iv
ŞEKİL DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vii
ÖNSÖZ	ix
1.GİRİŞ	1
1.1.Plastik Malzemeler	1
1.1.1. Plastiklerin Genel Özellikleri	1
1.1.2. Plastiklerin Sınıflandırılması	2
1.1.3. Plastik Üretim Yöntemleri.....	7
1.2. Kompozit Malzemeler	8
1.2.1.Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması	11
1.2.2.Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları.....	16
1.3. Sürtünme ve Aşınma	17
1.3.1. Sürtünme.....	17
1.3.2.Aşınma.....	19
1.4. Binek Araçlarda Kullanılan Gergi (Sistemi) Rulmanları	30
2.LİTERATÜR TARAMASI	36
3.MATERYAL VE METOD	41
3.1.Testlerde Kullanılan Hammaddeler	41
3.2.Uygulanan Testler.....	42
3.3.Aşındırma Test Cihazı	48
3.4. Modelleme	51
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	53
4.1.Akış Testleri Sonuçları	53
4.2. Mekanik Testlerin Sonuçları	53
4.3. Numunelerin Ağırlık Ölçümleri	55
4.4.Analiz Sonuçları	60
4.5.Numunelerin Analiz Görüntüleri.....	67
4.6.Numunelerin Mikroskop Görüntüleri.....	71
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	90
6. KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	97

ÇİZELGE DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Hammaddelerin proses şartları	47
Çizelge 3.2. Deney numunelerine uygulanan test koşulları	49
Çizelge 4.1. Numunelere uygulanan testlerin sonuçları	53
Çizelge 4.2. Numunelerin darbe testlerinde elde edilen mekanik özellikleri.....	54
Çizelge 4.3. Çekme deneyi sonucunda elde edilen mekanik özellikleri	54
Çizelge 4.4. Numunelerin ve metal burçların ağırlık ölçümleri	55
Çizelge 4.5. Numunelerin ve metal burçların analiz sonuçları.....	60

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. Plastiklerin sınıflandırılması	3
Şekil 1.2. Sürtünme açısının gösterimi.....	19
Şekil 1.3. Blau'ya göre aşınma sınıflandırması.....	21
Şekil 1.4. Budinski'ye göre aşınma sınıflandırması	22
Şekil 1.5. Sabit gergi rulmanı	31
Şekil 1.6. Plastik kasnaklı gergi rulmanı	31
Şekil 1.7. Metal kasnaklı gergi rulmanı.....	32
Şekil 1.8. Araç üzerindeki gergi sistemi.....	32
Şekil 1.9. Saç kasnaklı gergi rulmanı	33
Şekil 1.10. Otomatik gergi rulmanını oluşturan elemanlar	34
Şekil 1.11. Alternatör gergisi.....	35
Şekil 3.1. Çentiksiz izod darbe deneyi numunesi.....	43
Şekil 3.2. Çentikli darbe deneyi numunesi	44
Şekil 3.3. Darbe deneylerinin yapıldığı test cihazı	45
Şekil 3.4. Çekme deney numunesi	45
Şekil 3.5. Çekme deneylerinin yapıldığı test cihazı	46
Şekil 3.6. Deney numunelerin basıldığı plastik enjeksiyon makinesi	47
Şekil 3.7. Deneylerde kullanılan gergi rulmanının parçaları.....	48
Şekil 3.8. Deneylerin yapıldığı aşındırma test cihazı	49
Şekil 3.9. Test makinesine girilen test şartları.....	50
Şekil 3.10. Deney numunelerinin ölçüldüğü hassas terazi	50
Şekil 3.11. Test numunesinin ve metal burcun mesh atılmış hali	51
Şekil 3.12. Sürtünme temas noktası.....	51
Şekil 3.13. Döner mafsal bağlantısı.....	52
Şekil 4.1. Katkılı ve katkısız PA66 numunelerin aşınma miktarları	56
Şekil 4.2. PA66 numunelerine karşı çalışmış metal burçların aşınma miktarları.....	56
Şekil 4.3. Katkılı ve katkısız POM numunelerinin aşınma miktarları	57
Şekil 4.4. POM numunelerine karşı çalışmış metal burçların aşınma miktarları	57
Şekil 4.5. Katkılı ve katkısız PE numunelerinin aşınma miktarları.....	58
Şekil 4.6. PE numunelerine karşı çalışmış metal burçların aşınma miktarları	58
Şekil 4.7. Test numunelerinin aşınma miktarları.....	59
Şekil 4.8. Test numunelerine karşı çalışmış metal burçların aşınma miktarları.....	59
Şekil 4.9. Katkılı ve katkısız PA66 numunelerin analiz sonuçları	61
Şekil 4.10. PA66 numunelerine karşı çalışmış metal burçların analiz sonuçları	61
Şekil 4.11. Katkılı ve katkısız POM numunelerin analiz sonuçları.....	62
Şekil 4.12. POM numunelerine karşı çalışmış metal burçların analiz sonuçları.....	62
Şekil 4.13. Katkılı ve katkısız YYPE numunelerin analiz sonuçları.....	63
Şekil 4.14. YYPE numunelerine karşı çalışmış metal burçların analiz sonuçları	63
Şekil 4.14. Test numunelerinin analiz sonuçları	64
Şekil 4.15. Test numunelerine karşı çalışmış metal burçların analiz sonuçları.....	64
Şekil 4.15. Test numunelerinin analiz sonuçları	65
Şekil 4.16. Test numunelerinin deneysel (test) sonuçları	65
Şekil 4.17. Test numunelerine karşı çalışmış metal burçların analiz sonuçları.....	66
Şekil 4.18. Test numunelerine karşı çalışmış metal burçların deneysel (test) sonuçları	66
Şekil 4.19. PA66 numunesinin analiz görüntüsü.....	67
Şekil 4.20. PA66 15 CE numunesinin analiz görüntüsü	67
Şekil 4.20. PA66 15 CB numunesinin analiz görüntüsü	67
Şekil 4.21. POM numunesinin analiz görüntüsü	68
Şekil 4.22. POM 15 CB numunesinin analiz görüntüsü.....	68

Şekil 4.23. POM 15 CE numunesinin analiz görüntüsü	68
Şekil 4.24. YYPE numunesinin analiz görüntüsü	69
Şekil 4.25. YYPE 15 CB numunesinin analiz görüntüsü	69
Şekil 4.26. YYPE 15 CE numunesinin analiz görüntüsü	69
Şekil 4.27. POM 15 CE numunesinin analiz görüntüsü	70
Şekil 4.28. POM 15 CE numunesinin deneysel (test) görüntüsü	70
Şekil 4.29. POM 15 CE numunesine karşı çalışmış metal burcun analiz görüntüsü	71
Şekil 4.30. POM 15 CE numunesine karşı çalışmış metal burcun deneysel görüntüsü	71
Şekil 4.31. Aşınmaya uğramamış PA66 numunesinden alınmış bir görüntü	72
Şekil 4.32. Aşınmış bir PA66 numunesinden bir görüntü	72
Şekil 4.33. Metal burcun aşınmayan kısmından bir görüntü	73
Şekil 4.34. PA66 numunesine karşı çalışmış aşınmış metal burç yüzeyinden bir görüntü	73
Şekil 4.35. PA66 % 15 CB aşınmamış numunesinden bir görüntü	74
Şekil 4.36. Aşınmış PA66 % 15 CB numunesinden bir görüntü	74
Şekil 4.37. PA66 % 15 CB numunesine karşı çalışmış metal burç görüntüsü	75
Şekil 4.38. Aşınmış PA66 % 15CB numunesinin içindeki cam bilyelerden bir görüntü	75
Şekil 4.39. Aşınmaya uğramamış PA66 %15 CE numunesinden bir görüntü	76
Şekil 4.40. Aşınmaya uğramış PA66 %15 CE numunesinden bir görüntü	76
Şekil 4.41. PA66 % 15 CE numunesine karşı çalışmış metal burçtan bir görüntü	77
Şekil 4.42. Aşınmış PA66%15 CE numunesindeki elyaf parçacıkları	77
Şekil 4.43. Aşınmaya uğramamış POM numunesinden bir görüntü	78
Şekil 4.44. Aşınmaya uğramış POM numunesinden bir görüntü	78
Şekil 4.45. POM numunesine karşı aşınmaya uğramış metal burçtan bir görüntü	79
Şekil 4.46. Aşınmaya uğramamış POM%15 CE numunesinden bir görüntü	80
Şekil 4.47. Aşınmaya uğramış POM%15 CE numunesinden bir görüntü	80
Şekil 4.48. POM %15 CE numunesi karşısında aşınmış metal burçtan bir görüntü	81
Şekil 4.49. Aşınmaya uğramamış POM%15 CB numunesinden bir görüntü	82
Şekil 4.50. Aşınmaya uğramış POM%15 CB numunesinden bir görüntü	82
Şekil 4.51. POM %15 CB numunesi karşısında aşınmış metal burçtan bir görüntü	83
Şekil 4.52. Aşınmaya uğramamış YYPE numunesinden bir göründü	84
Şekil 4.53. Aşınmaya uğramış YYPE numunesinden bir görüntü	84
Şekil 4.54. YYPE numunesi karşısında aşınmaya uğramış metal burçtan bir görüntü	85
Şekil 4.55. Aşınmaya uğramamış YYPE %15 CB numunesinden bir görüntü	86
Şekil 4.56. Aşınmaya uğramış YYPE %15 CB numunesinden bir görüntü	86
Şekil 4.57. YYPE %15 CB numunesi karşısında aşınmış metal burçtan bir görüntü	87
Şekil 4.58. Aşınmaya uğramış YYPE %15 CB numunesinde görülen cam bilyeler	87
Şekil 4.59. Aşınmaya uğramamış YYPE % 15 CE numunesinden bir görüntü	88
Şekil 4.60. Aşınmaya uğramış YYPE % 15 CE numunesinden bir görüntü	88
Şekil 4.61. Aşınmaya uğrayan YYPE % 15 CE numunesi karşısında aşınmış metal burç ..	89
Şekil 4.62. Aşınmaya uğrayan YYPE % 15 CE numunesindeki elyaf parçacıkları	89

SİMGELER DİZİNİ

AYPE	: Alçak yoğunluklu polietilen
Al_2O_3	: Alüminyum oksit
$^{\circ}C$: Santigrat derece
CD	: Kompakt disk
EP	: Epoksi reçine
F	: Kuvvet
g/cm^3	: Gram/santimetreküp
HB	: Brinell Sertliği
HDT	: Isı deformasyon sıcaklığı
k	: Aşınma katsayısı
kJ/m^2	: Kilojoule/metrekaare
km/saat	: Kilometre/saat
K/min	: Kelvin/dakika
L	: Kayma uzunluğu
MPa	: Megapascal
m^2	: Metrekare
mm^2	: Milimetrekare
MoS_2	: Molibdendisülfid
N	: Yük
NBR	: Nitril kauçuğu
μ	: Sürtünme katsayısı
μ_k	: Kinetik sürtünme katsayısı
μ_s	: Statik sürtünme katsayısı
μm	: Mikronmetre
PA	: Poliamid
PA6.6	: Poliamid6.6

PA66	: Poliamid 66
PA66 %15CE	: Poliamid 66 % 15 cam elyaf
PA66 %15CB	: Poliamid 66 % 15 cam bilye
PC	: Polikarbon
PE	: Polietilen
PF	: Fenolformaldehit
POM	: Polioksimetilen
POM%15CE	: Polioksimetilen % 15 cam elyaf
POM%15CB	: Polioksimetilen % 15 cam bilye
PS	: Polisitiren
PTFE	: Politetrafloroetilen
PUR	: Poliüretan
PVC	: Polivinilklorür
RPM	: Dakika başına dönme
SBR	: Stirenbutadien kauçuğu
SiC	: Silisyumkarbür
TiO ₂	: Titanyumdioksit
UP	: Doymamış poliester
V	: Aşınan hacim
VST	: Vicat yumuşama sıcaklığı
YYPE	: Yüksek yoğunluklu polietilen
YYPE%15CE	: Yüksek yoğunluklu polietilen %15 cam elyaf
YYPE%15CB	: Yüksek yoğunluklu polietilen %15 cam bilye

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca katkı ve yardımlarıyla beni yönlendiren değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Nurşen ÖNTÜRK'e, eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Sencer Süreyya KARABEYOĞLU'na, ayrıca tez çalışmam boyunca görüş ve önerileriyle hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen NKÜ Makine Mühendisliği bölümü öğretim görevlilerine ve çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteğini eksik etmeyen aileme teşekkür ederim.

Mayıs 2019

Osman YEŞEN
(Makine Mühendisi)

1. GİRİŞ

1.1. Plastik Malzemeler

Plastikler, sanayide ve günlük hayatta her yerde oldukça yaygın bir biçimde kullanılan, ucuz maliyetli ve kolayca temin edilebilen malzemelerdir. Plastiklerinin bu kadar geniş bir kullanıma sahip olmasının bir diğer nedeni de birçok ihtiyacı karşılayabilecek şekilde çok sayıda farklı türe sahip olmasıdır.

Plastiklerin yapısı polimer denilen yüksek molekül ağırlıklı bileşiklerden oluşmaktadır. Polimerler kendi aralarında oluşturdukları kimyasal bağlarla birbirine bağlanmaktadır.

1.1.1. Plastiklerin Genel Özellikleri

Plastiklerin yoğunlukları metaller ve diğer malzemelerle karşılaştırıldığında düşüktürler. Yoğunluk değerleri $0,8\text{g/cm}^3$ ile $2,2\text{g/cm}^3$ arasında değişiklik göstermektedir. Düşük ağırlıklarına rağmen mekanik dirençlerinin yüksek olması, plastiklerin en çok tercih edilen malzemeler haline gelmesini sağlamıştır.

Plastiklerin çok farklı mekanik özellikleri bulunmaktadır. Metallere göre düşük olan çekme mukavemetleri ve Elastisite Modüllerine rağmen, bu özellikleri geniş bir parametrede değişkenlik göstermektedir. Örneğin takviye malzemesi olarak cam elyaf kullanılan bir plastiğin çekme dayanımı, alüminyum ile karşılaştırıldığında alüminyuma yakın bir seviye de olduğu gözükmemektedir (Mariam ve ark 2018). Son yıllarda ki gelişmelerle birlikte farklı takviye malzemeleri kullanılarak oluşturulan plastikler bazı metallere göre daha yüksek mekanik özellikler sergilemektedirler.

Plastikler işlenebilmeye oldukça elverişlidir. Metallerle kıyaslandığında daha düşük kuvvetlerle şekil değiştirilebilir. 120°C ile 320°C işlem sıcaklıkları şekil değiştirmeleri için gerekli olan enerji seviyesinin de düşük olmasını sağlamaktadır. Plastiklerin en önemli özelliklerinden biri de seri üretime ve otomasyon sistemine uygun olmaları ve ayrıca yüksek gereklilikleri olan son yüzey işlemlerine gerek kalmadan üretime elverişli olmalarıdır.

Plastikler, takviye malzemeleri eklenerek istenilen kimyasal ve fiziksel özellikler elde edilebilir. Takviye elemanlarından bazıları; malzemenin Elastisite Modülü ve çekme dayanımına etki eden cam elyaf ve karbon elyafı gibi takviye elemanları, malzeme de renk değişimine sebep olan renk pigmentlerinin, malzemenin mekanik özelliklerine etkisi olan bazı yumuşatıcı maddelerin eklenmesiyle istenilen mekanik özellikler kazandırılır.

Plastiklerin ısı ve elektrik iletkenlik değerleri incelendiğinde bu değerlerin oldukça düşük olduğu gözükmektedir. Bu sebepten dolayı ısı ve elektriği ya çok az bir Şekilde iletirler ya da hiç iletmezler. Bu özelliklerinden dolayı yaygın olarak yalıtım malzemesi olarak kullanılmaktadır. Fakat istenildiği durumlarda plastiklere takviye elemanı olarak katılan karbon siyahı kullanılarak elektrik iletkenliği özelliği kazandırılabilir.

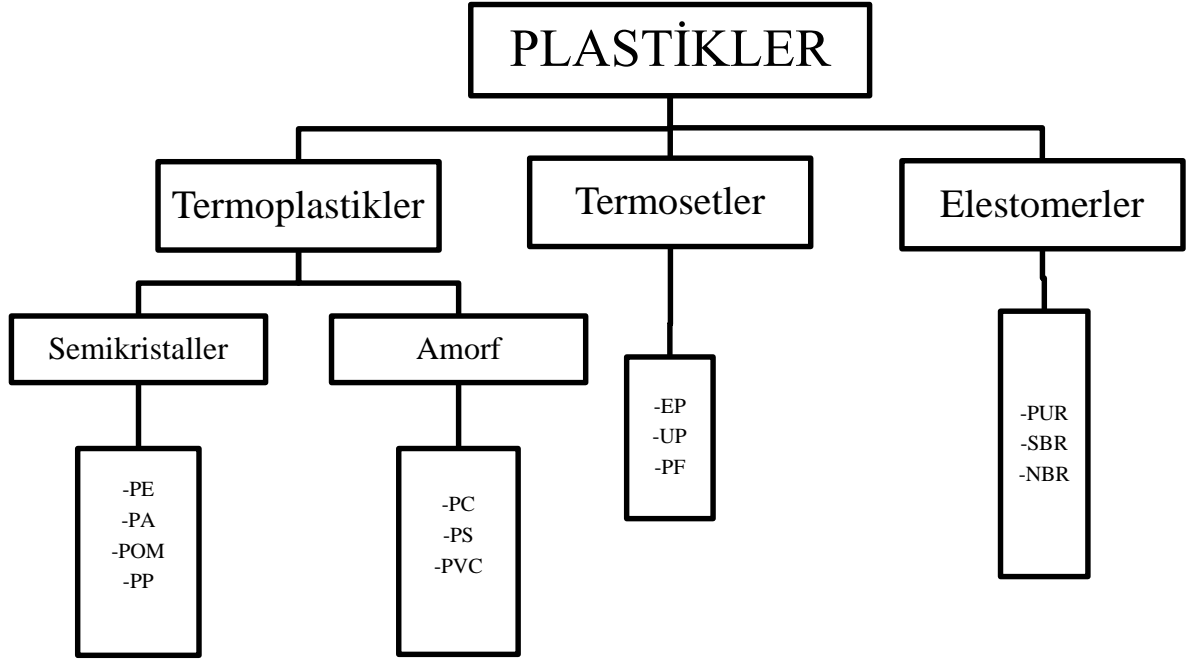
Plastiklerden bazıları saydam bir görünüme sahiptirler. Bu özelliklerinden dolayı gözlük camı, optik disk, CD olarak ettime elverişlidir. Bu malzemeler cama göre daha kolay iŐlenebilmeleri ve yanı sıra optik ve mekanik yapıları sayesinde tercih sebebi olmuŐlardır.

Plastikler kimyasallara karşı yüksek direnç gösterirler. Metallerde göre farklı olan bağ yapıları sayesinde korozyon dirençleri metallerden daha yüksektirler. Plastiklerin kimyasal dirençlerinin yüksek olması sebebiyle ev aletlerinden otomobil parçalarına gıda sektöründen ambalaj sektörüne kadar birçok alanda tercih sebebidirler.

Plastiklerin en önemli özelliklerinden biri de geri donŐme uygun olmasıdır. Termoplastikler farklı yöntemler sayesinde yeniden kullanıma uygun hale gelebilmektedirler.

1.1.2. Plastiklerin Sınıflandırılması

Birçok tre sahip olan plastikler sınıflandırmak oldukça zordur. Fakat malzeme özellikleri bakımından termoplastikler, termosetler ve elastomerler olmak üzere 3 ana gruba ayrılabilir. Plastiklere ait sınıflandırma Şekil 1.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Plastiklerin sınıflandırılması

Termoplastikler

Termoplastikler oda sıcaklığında katı halde bulunan malzemelerdir. Yüksek sıcaklıklarda yumuşamaya başlarlar ve eriyik haline gelir. Eriyen termoplastiklerin şekillendirilmesi çok kolaydır. Isıtıldığında yumuşayarak eriyik hale gelir ve şekil verilebilir bir biçime dönüşür. İç zincir yapıları incelendiğinde çok kuvvetli olmayan Van der Waals bağları ile birbirine bağlı olan zincirler gözükmektedir. Termoplastiklerin çok rijit bir yapısı yoktur. Bu yüzden ısıtılınca viskoziteleri düşerek, atom zincirleri birbirinden kopar ve akıcılığa neden olur ve soğutulduğunda ise kopan zincirler tekrar katlaşıp malzemenin katı bir hal almasını sağlar. Bu özelliklerinden dolayı termoplastikler defalarca ısıtılıp soğutulup yeniden şekil verilebilir. Fakat ısıtma ve soğutma işlemi çok fazla olursa malzemede renk değişimi gibi hatalara neden olur. Termoplastikler kendi aralarında Amorf ve semi kristal termoplastikler olmak üzere iki kısımda incelenir. Termoplastikler sentetik polimerlerin büyük bir kısmını oluşturmaktadır.

Termoplastiklerin genel özelliklerini özet olarak şöyle sıralanılabilir;

-Çekme dayanımları düşüktür.

-Sertlikleri ve çarpma dayanımı yüksektir.

- Oda sıcaklığında bile basınç altında şekil değiştirebilirler.

Termoplastiklerin fiziksel özelliklerine bakıldığında;

-Termoplastiklerin yoğunlukları metaller ve diğer malzemelerle karşılaştırıldığında düşüktürler. Yoğunluk değerleri 0,8-2,2 g/cm³ arasında değişiklik göstermektedir.

-Termal uzama katsayıları çok yüksektir.

-İşlenebilmeye oldukça elverişlidir. Metallerle kıyaslandığında daha düşük kuvvetlerle şekil değiştirilebilir.

-Metallere göre farklı olan atom yapıları sayesinde korozyon dirençleri metallerden daha yüksektirler.

-Isı ve elektrik iletkenlik değerleri incelendiğinde bu değerlerin oldukça düşük olduğu gözükmektedir.

Termoplastikler birçok türden oluşmaktadır. Sıkça kullanılan termoplastik malzemelerin bazıları şunlardır;

a)Semikristaller grubu:

Polietilen (PE),

Poliamid (PA),

Polioksümetilen (POM),

b)Amorf grubu:

Polikarbonat (PC),

Polisitiren (PS),

Polivinil Klorür (PVC)'dür.

Polietilen (PE)

Polietilen etin ve etan'den elde edilir. Polietilenin başlıca özellikleri düşük yoğunluk, yüksek elastiklik ve darbe dayanımına sahiptir. Diğer özellikleri ise plastiklerin genel özellikleri olan kimyasal direnç, işlenebilme kolaylığı ve geri dönüşüme elverişli olmalarıdır. Düşük fiyatlı olmasından dolayı çok geniş kullanım alanlarına sahiptirler. Yoğunlukları $0,9 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Polietilen kendi arasında alçak yoğunluklu polietilen (AYPE) ve yüksek yoğunluklu polietilen (YYPE) olmak üzere ikiye ayrılır.

Alçak Yoğunluklu Polietilen (AYPE)

Alçak yoğunluklu polietilen, Polietilenin yüksek basınç altında bırakılmasıyla elde edilir. Molekül yapısında YYPE' göre çok dallanma olduğu gözükmemektedir ve bu sebepten dolayı da düşük kristallliğe sahiptirler. Sertliği dayanıklılığı düşük olmasına rağmen yüksek darbe dayanımı vardır. AYPE işlenebilmesi oldukça kolaydır. Bu sebepten paketleme, inşaat, torba yapımı gibi birçok alanda kullanılabilir.

Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)

Yüksek yoğunluklu polietilen, yüksek darbe dayanımına sahip sertliği ve dayanımı AYPE'ye göre kısmen daha yüksektir. Enjeksiyon yöntemine oldukça uygundur. YYPE'in uygulama alanları arasında ambalajlama filmleri, sıvı ürünlerin ambalajlanması için şişirilmiş şişeler, döner kalıplama ile üretilen büyük hacimli depolama tankları, yüksek kaliteli ev gereçleri, su ve gaz dağıtım boruları da vardır (Anderson 1982). YYPE (Yüksek yoğunluklu polietilen) birçok tamamlayıcı özelliklere sahip büyük hacimli olan ticari polimerlerdir ve mükemmel düşük sıcaklık esnekliğine, nem geçirgenliğine karşı iyi bir dirence, düşük maliyete sahiptir (Palabiyik ve Bahadur2000).

Poliamid (PA)

En önemli türü PA ve PA6.6 olarak iki kaliteye sahiptir. En önemli özellikleri; yüksek Elastisite Modülü, yüksek sertlik ve darbe dayanımı, abrasif aşınmaya karşı dirençli olması, kendinden yağlama özelliğine sahip olmasıdır. Diğer bir önemli türü ise, PA66 (Poliamid 66) kompozitlerinden yapılan bileşenler mühendislikte uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Chen ve ark. 2003). Rulmanlarda ve dişliler gibi aşınmaya ve sürtünmeye maruz olan birçok mühendislik parçasında PA (Poliamid) tercih edilir (Yu ve ark. 2008).

Polioksimetilen (POM)

Polioksimetilen (POM) birçok alanda kullanılan bir mühendislik plastiğidir. İşleme kolaylığı, aşınma dayanımı, korozyon direnci, düşük sürtünme katsayısı gibi önemli özelliklere sahiptir. Polioksimetilenin lineer moleküler zincirlerinin esnek olmasında dolayı POM düşük sürtünme katsayısına sahiptir (Sun ve ark. 2008). POM dişliler, rulmanlar, zincirler, yakıt hazneleri gibi uygulamaları vardır. POM için en çok kullanılan üretim yöntemleri enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemidir.

Polipropilen (PP)

Yüksek mukavemet/ağırlık oranına sahiptir. Yüksek molekül ağırlıklı olanlar yumuşaktır, erime dirençleri düşüktür. Düşük olanları ise sert ve kırılğan yapıya sahip olup viskoziteleri yüksektir. Mukavemet değerinin yüksek olması düşük maliyeti ve kimyasal dayanımı yönünden kullanıma elverişli olması en önemli özelliklerindedir. Kullanılan alanlar ise petrokimya ve boru üretiminde oldukça yaygındır.

Polisitiren (PS)

Enjeksiyon kalıplamada çokça kullanılır. Levha, profil, yassı film üretiminde idealdir. Ayrıca yüksek dielektrik dayanımından dolayı elektronik sektöründe de çokça kullanılmaktadır.

Termosetler

Termosetler, termoplastikler gibi ısı verilip bir defa şekil verildikten sonra tekrar ısıtılıp başlangıçtaki hallerine döndürülemezler ve başka bir şekle dönüştürülemezler. Eğer termosetler tekrar ısı verilerek şekil değiştirirse yapıları bozulurlar. Oda sıcaklığında sıvı halde bulunan termosetlerin içyapıları incelendiğinde atom zincirlerinin güçlü olan kovalent bağların oluşturduğu görülmektedir. Üretimlerinde polimerizasyon yöntemi kullanılır. Bu yöntem sonucunda katı hale dönüşürler. Burada görülen polimerizasyon iki aşamalıdır.

Birinci aşama olan malzemeyi oluşturan monomerlerin bir araya geldiği aşama şöyle gerçekleşmektedir; Malzemeyi oluşturan monomerler, yüksek sıcaklık ve basınç altında reaksiyona girerler ve atomik polimer zincirlerini oluştururlar.

İkinci aşama ise enjeksiyon sırasında olmaktadır. İkinci aşama şu şekildedir; Zincirlerin bir önceki reaksiyonundan önce hala zincirlerin reaksiyona uğramamış bölümleri vardır. Basınç

ve sıcaklığın etkisiyle polimerlerin atomik zincirleri arasında yan bağlar oluşur. Oluşan bu ikinci reaksiyon sonucunda moleküller arasında ağ şeklinde bir yapı oluşturur. Böylelikle reaksiyonu tamamlanmış bir termosetin yapısı, büyük molekül haline gelmiştir. Başlıca polyesterler, epoksiler, vinilesterler, fenoliklerdir.

Elastomerler

Elastomerlerin bağ yapısı termosetlere oldukça benzerdir. Termosetlerin polimerlerinde olduğu gibi uzun çapraz bağlardan oluşan atomik zincir moleküllerinden oluşur. Bağlar arasında kovalent bağ görülmektedir. Düşük gerilmelerde altında bile yüksek elastik deformasyon gösterebilirler ve uzaman yaptıktan sonra tekrar eski şekillerine dönebilirler. Zincirler gerilmeye maruz kaldığında gerilme yönünde açılarak malzemenin elastik deformasyona uğramamasını sağlar, gerilme ortadan kalktığında ise eski durumuna geri gelirler. En önemlileri örnek olarak kauçuk verilebilir.

1.1.3. Plastik Üretim Yöntemleri

Plastikler için çok çeşitli üretim yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemler plastiğin geometrisine, hammaddesine, üretim adedine, üretim maliyetine, kullanılan ortama bağlıdır. Plastik üretim yöntemleri; enjeksiyon yöntemi, ekstrüzyon yöntemi, şişirme yöntemi, transfer baskı yöntemi, dökme yöntemi, kaplama yöntemi olmak üzere bir çok üretim yöntemi mevcuttur. Fakat en çok kullanılan üretim yöntemlerinden biri enjeksiyon üretim yöntemidir.

Plastik Enjeksiyon Yöntemi

Plastik malzemeler talaşsız ve talaş kaldırılarak üretilebilirler. Fakat en çok tercih edilen yol talaşsız üretim seçeneğidir. Bu yöntem sıcaklık ve basınç altında istenilen hammaddenin ürünün geometrisini oluşturacak bir boşluğa dökülmesi ve üzerine pres işlemi uygulanmasıdır. Plastik malzemelere şekil vermek için birçok yöntem vardır. Bunlar şu şekildedir. Basınçlı (sıkıştırılmalı) kalıplama, enjeksiyon kalıplama, Santrifüj kalıplama, şişirme kalıplama, soğuk kalıplamadır. En çok tercih edilen yöntemlerden biri de enjeksiyon kalıplama yöntemidir. İstenilen hammaddenin son işlemlere gerek duymadan kolayca kalıplanabilmesi bu yöntemi tercih sebebi yapmaktadır ve seri üretim için oldukça elverişli bir yere taşımaktadır.

Enjeksiyon yönteminin temel çalışma prensibi; granül halindeki plastik hammaddenin önceden ısıtılmış olan silindirden eriyerek geçip, silindirin uç kısmındaki ağızlar yardımıyla kalıp boşluğuna aktarılmasıdır. Bu şekilde iletilen hammadde kalıp boşluğunun şeklini alarak

istenilen nihai ürün elde edilmiş olur. Enjeksiyon yapılan sıcaklık ve basınç, kullanılan hammadde cinsine bağlı olarak istenilen şekilde ayarlanabilir. Bu sayede değişik türde plastik hammadde kullanımına olanak tanımaktadır. Bu sebepten dolayı da seri üretim için tercih sebebi olmaktadır.

Enjeksiyon yönteminin avantajları;

- Seri üretim için oldukça elverişlidir
- Büyük hacimdeki parçaların kolayca üretimine olanak sağlar
- Son işlemleri büyük ölçüde ortadan kaldırması
- Düşük maliyeti
- Farklı plastik hammadde türleriyle çalışabilme olanağı
- Karmaşık geometride ürünlerin rahatlıkla üretilmesi
- Takviye elemanı kullanılarak ürünün mekanik özellikleri arttırmak
- Düşük toleranslar ve yüzey kalitesi

Dezavantajları;

- Kolay uygulanabilir bir yöntem olmasından dolayı ki düşük kar payı
- Kalıplama aşamasındaki yüksek maliyet
- Kalitede devamlılığın tam anlamıyla yakalanamaması

1.2. Kompozit Malzemeler

Birbirleri içerisinde çözünmeyen iki veya daha fazla malzemenin en iyi özelliklerini yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesiyle elde edilen malzemelere kompozit malzemeler adı verilir. Bu birleşmenin içyapısı incelendiğinde makro düzeyde oldukça homojen bir yapıda olduğu gözlenmektedir fakat mikro düzeyde bakıldığında ise heterojen yapıları fark edilmektedir. Ayrıca farklı malzemelerin gözle fark edilebilmesi de mümkündür.

Son yıllarda kompozit malzemelerin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bunun nedeni ise kompozitlerin üstün özellikleridir. Kompozit malzemelerin genel özellikleri şöyle sıralanabilir.

Avantajları;

- Yüksek statik ve yorulma dayanımı
- Yüksek aşınma direnci
- Yüksek sıcaklık direnci
- Korozyon direnci
- Hafif olmaları
- Kırılma toklukları
- Elektrik iletkenliği
- Mekanik dayanım
- Uygun fiyat
- Yüzey kalitesi
- Farklı ortam koşulları için uygunluk

Dezavantajları;

- Kompozit malzemeyi oluşturan her bir komponentin olumsuz özelliklerinin hepsi ana parçada da gözükür.
- Yanma ve duman çıkarma yönünden tercih edilmeyebilir.
- Kompozit malzemenin bazı bileşenlerinin yüksek maliyete sahip olması
- Kaliteli bir kompozit malzeme üretmek onu oluşturan bileşenlerin kaliteli olmasına bağlıdır.
- Bileşenler nemden olumsuz etkilenebilir kullanmadan önce kurutulması gerekebilir.
- Kompozit malzemeler farklı doğrultularda farklı özellikler sergileyebilirler.
- Talaşlı imalat sırasında lifler zarar görebilir.

Kompozit yapılarının, bir bütün olarak görevini yerine getirmelerinde, matris malzemesinin mekanik özellikleri çok önemli rol oynamaktadır. Yapının rijitlik, mukavemet, darbe dayanımı aşınma direnci gibi özellikler göstermesi beklenmektedir. Kompozit

malzemeler bu özellikleri sayesinde, uçak sanayi, otomotiv, gemi, inşaat gibi alanlarda vazgeçilmez olmasını sağlamaktadır.

Matris Malzemeleri

Kompozit malzemeler, matris ve takviye elemanı olmak üzere iki ana bileşenden oluşur. Matris malzemesi ilk ana bileşendir.

Kompoziti oluşturan matris malzemelerin en önemli özellikleri şu şekilde sıralanabilir.

- Matris, yükleri bağladığı elyaflara ileterek kompozitin daha rijit bir yapıda olmasını sağlar.
- Matris, elyafların bir arada olmasını sağlar ve onların herhangi bir yük altında bağımsız davranmalarını sağlar ve çatlak ilerlemesini yavaşlatmış olur.
- Matris takviye elemanını dışarıdan gelen kimyasal ve mekanik etkilere karşı korunmasına yardımcı olur.
- Matris malzemesinin türüne göre darbe dayanımını artırıcı yönde etkisi vardır.

Takviye Elemanları

Birçok malzeme takviye elemanı olarak kullanılabilir. Mühendislikte kullanılan birçok takviye elemanı elyaf şeklinde endüstriyel yollarla üretilmektedir.

Matris malzemesinin içine yerleşmiş olan elyaflar kompozit yapının mukavemetini arttıran, rijitlik katan, bileşenleridir. Yüksek Elastisite Modülü ve sertliklerine rağmen, yoğunluklarının düşük olmasından dolayı çok önemlidirler. Yüksek sıcaklıkta kararlı bir yapıya sahiptirler. Genelde polikristalin veya amorf yapıdadırlar. Cam elyaflar bilinen en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda gelişen teknolojiyle birlikte bor, karbon, aramid elyafları geliştirilerek üstün yapıları kompozitlerde kullanılmaktadır. Elyafların ince ve küçük çapta üretilmeleri, üstün mikro yapısal özellikleri tanecik boyutlarının küçük olması sayesinde üstün mekanik özellikler sergilerler. Elyafın özellikleri kompozit yapının özelliklerini belirler.

Takviye elemanının en önemli özellikleri aşağıdaki sıralanmaktadır;

- Düşük yoğunluk
- Yüksek Elastisite Modülü ve mukavemet
- Düşük maliyet

1.2.1.Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması

Kompozit malzemelerde gruplandırma üçe ayrılır. Bu sınıflandırma matris türüne göre, takviye elemanına göre ve katman sayısına göre yapılmaktadır. Matris türlerine göre ayırım yapılmak istenildiğinde kendi aralarında 3 gruba ayrılmaktadır. Bunlar sırasıyla;

- Metal matrisli kompozit malzemeler,
- Seramik matrisli kompozit malzemeler ve
- Polimer matrisli kompozitlerdir.

Metal Matrisli Kompozitler

Bu tür kompozitlerin matris malzemeleri için genelde alüminyum, bakır, titanyum gibi metaller ve alaşımları kullanılırken; takviye elemanı olarak ise genellikle karbon ve diğer metallerin fiberleri, parçacıkları kullanılır. Oluşan kompozit malzemenin mukavemet ve hafiflik oranlarından dolayı yapı sektöründe tercih sebebidir. Ayrıca üstün korozyon direnci, mukavemet, sertlik, aşınma direnci gibi özelliklerinden dolayı havacılık, otomotiv, enerji sektörlerinde kullanılmaktadır.

Seramik Matrisli Kompozitler

Matris malzemeleri seramikten oluşan, takviye elemanlarının ise metalik parçalardan, fiberlerden oluşan kompozit yapılardır. Matris malzemesinde kullanılan seramikten dolayı yüksek ısı dayanım ve mukavemet gösterirler. Genellikle havacılık ve uzay sektöründe yaygın biçimde kullanılırlar.

Polimer Matrisli Kompozitler

Plastik malzemeler, polimer kategorisi içinde oldukça geniş bir yer tutarlar. Matris malzemesi olan plastikler reçine olarak tabir edilir. Plastikler termoplastikler, termosetler ve elastomerler olarak sınıflandırılır. Polimer matrisli kompozitler birçok mühendislik uygulamasının vazgeçilmezi olmuştur. Kompozit malzemelerin matris malzemelerinin büyük bir çoğunluğu polimer esaslı yapılardan oluşturmaktadır. Kullanım miktarı olarak metallere göre daha çok tercih edilen polimerler, giderek yaygınlaşmaktadırlar. Bunun sebepleri ise; ekstra yüzey işlemlerine gerek duyulmadan nihai parçanın üretilmesi, metal ve seramiklerle karşılaştırıldığında mukavemet/yoğunluk oranlarının yüksek olması, kimyasal ve korozyon dirençleri, kolay üretim yöntemleri, kompozit malzemelere birebir uyum sağlamaları gösterilebilir.

Polimerler diğ er malzeme türlerine göre avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Örneğ in polimer esaslı kompozitler ç elikle kıyaslandığı nda hafif olmalarına rağmen yüksek dayanıma sahip olabilirler. Matris malzemesi olarak kullanılan polimerlerin düşük yoğunlukları, kolay elde edilebilmeleri, polimer üretim yöntemlerinin kompozit üretim yöntemleriyle olan uyumu gibi özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen matris malzemeleridir. Bunun yanı sıra düşük maliyetleri ve kolay üretim teknikleri sayesinde çokça tercih edilme sebeplerindedir. Polimer esaslı kompozit malzemeler yüksek aşınma direnci, kimyasal direnç, sıcaklık dayanımları gibi özellikleri sayesinde uzay, havacılık, otomotiv, enerji gibi birçok alanda kullanılır. Polimer esaslı kompozitlerin en büyük özelliğ i adından da anlaşılabilceğ i gibi matris malzemesinin plastik olması ve bu sebepten dolayı diğ er kompozitlere göre hafif olmasıdır. Ayrıca matris malzemesinden dolayı kolay şekillendirilebilmesi, takviye elemanları sayesinde yüksek mukavemetli, yüksek tokluğ a sahip kompozitler üretilebilmektedir. Polimer esaslı kompozitlerin avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır. Bunlar; düşük kullanım sıcaklıkları, düşük mukavemet değ erleri, düşük Elastisite Modülleri şeklinde sıralanabilir. Bu kompozitleri yüksek spesifiklik gerektiren alanlar da kullanılamayabilirler. Bunun sebebi olarak da; zayıf olan mekanik özellikleri, düşük mukavemet değ erleri gösterilebilir. Örneğ in düşük yükler altında deforme olurlar ya da gevrek bir kırılma göstererek kırılabilirler. En çok tercih edilen kompozit kombinasyonları; cam elyafı ve polyster reçine birleşimi, karbon elyafı epoksi reçine birleşimi ve aramid elyafı ve epoksi reçine birleşimidir. Ç eşitli plastik malzemeler kullanım alanına bağı lı olarak istenilen takviye elemanı ile birleştiren istenilen özelliğ e uygun kompozit malzemeler üretilebilir.

Takviye Elemanına Göre Kompozitler

Elyaf Takviyeli Kompozitler

Matris malzemesine, elyafların takviye elemanı olarak eklenmesiyle oluşan kompozit yapılardır. Genel olarak mühendislikte aşınma uygulamalarında cam bilye ve cam elyaf oldukça yaygın olarak kullanılan takviyelerdendir (Xing ve ark. 2009). Elyafların matris malzemesi içindeki konumu kompozit malzemenin mukavemetine etken olan bir faktördür. Uzun elyaf demetlerinin paralel olacak şekilde konumlandırılması ile elyaflarla aynı doğrultuda olacak şekilde mukavemet artışı sağlanırken, elyaflara dik yönde mukavemet değeri düşüktür. Kısa kesilmiş elyafların her yönde eşit yerleştirilmesiyle daha homojen bir yapı oluşmaktadır. Elyafların özellikleri kompozitin mukavemeti açısından önem taşımaktadır. Katı yağlayıcıların ve elyafın eklenmesi ile tribolojik ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesi oldukça büyük bir teorik öneme ve değere sahip olduğu görülmüştür (Wang ve ark.2003).

Fiber takviyeli kompozitler kendi aralarında sürekli fiber takviyeli kompozitler ve kısa fiber takviyeli kompozitler olarak sınıflandırılabilirler. Sürekli fiber takviyeli kompozit malzemeler diğer takviye elemanlarıyla güçlendirilmiş kompozitlere göre daha üstün özelliklere sahiptirler. Bunun sebebi fiberlerin yönlendirilme özelliklerinden dolayıdır. Fiberler sürekli olmasından dolayı matris malzemesinin içinde istenilen doğrultularda konumlandırılmaları kompozit malzemeye büyük bir artı sağlamış olur. Kompozit malzemenin üzerine gelen kuvvetler sebebiyle oluşan eğilme, çekme ve basma gerilmelerini karşılamak için istenilen doğrultularda dayanım özelliklerine ulaşılabilirler. Uzun fiberler tek bir doğrultuda çekme mukavemetleri fiber doğrultusunda yüksek dayanım özelliği gösterirler. Ancak fiberlerin eksenine dik olarak gelen bir kuvvete karşı zayıftırlar ve bu durumda gelen kuvveti matris malzemesi karşılar. Farklı doğrultularda gelen kuvvetleri karşılamak için fiber demetleri açılı bir şekilde yerleştirilerek dayanım kazandırılmış olunur.

Fiberlerin yönlendirilme biçimleri sadece mukavemet dayanımı arttırmaz. Bununla birlikte tokluk, çarpma dayanımı, ısıl iletkenlik gibi özellikler bu yönlendirilmeye bağlıdır. Farklı doğrultulardan gelen kuvvetleri karşılamamanın bir diğer yolu da fiber demetleri yerine dokumalar kullanmaktır. Kompozitin dayanımı Dokumanın boyutlarına göre farklı doğrultularda artırılabilir. Örneğin üç boyutlu dokumalarda her katman farklı eksenlerde fiberlerden oluşabilirler. Katmanların sayısı, fiberlerin açısı, tipleri istenilen özelliklere göre dizayn edilebilmektedir.

Kısa fiber takviyeli kompozitlerin çapları ve boyları değişkenlik gösterebilirler. Sürekli takviyeli fiberlerle karşılaştırıldığında daha düşük özelliklere sahiptirler. Genellikle cam fiber

olarak kullanılırlar, karbon ve aramid fiberleri olarak ta kullanımları vardır. Sürekli takviyeli fiberlerde, fiber demetlerinin sürekli olmasından dolayı kompozit malzeme her yerinde homojen özellik gösterir. Fakat kısa fiberlerde ise homojen bir yapı gözükmemektedir.

Elyaf, doğal elyaf, rejenere elyaf ve yapay elyaf olarak üçe ayrılırlar. Doğal elyaf, yün, pamuk vb ürünlerdir. Rejenere elyaf doğada bulunan moleküllerden elde edilerek oluşturulur. Yapay elyaf ise yapay yollarla üretilmiş olan naylon, aramid gibi malzemelerdir Elyaf kullanım alanlarına göre farklı türlere sahiptirler. Bunlar; cam fiberleri, karbon fiberleri, bor fiberi, aramid fiberi, silisyum karbür fiberleridir.

Cam Fiberler

Polimer esaslı kompozit yapılarda en çok kullanılan takviye elemanıdır. Bunun en önemli sebebi ucuz olması ve kolay üretim yöntemleridir. Cam fiberler çok değişik cam türlerinden üretilebilirler. Çapları genellikle 2-20 µm değişmektedir. Cam fiberlerinin çekme mukavemetleri yüksektir, kimyasal direnç gösterirler, yanmazlar fakat yüksek sıcaklıklarda eriyebilirler. Düşük olan Elastisite Modülü, düşük yorulma dayanımı dezavantajlarıdır. Birim ağırlık başına düşen mukavemet değerleri çelikle kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Dört farklı türü bulunmaktadır. Bunlar;

-A (alkali) Cam Fiberi, yüksek oranda alkali grubu içerir. Bu sebepten dolayı elektriksel yalıtkanlıkları düşüktürler. Yüksek kimyasal dirençleri vardır. En çok kullanılan cam türüdür.

-C (korozyon) Cam Fiberi, kimyasal direnci oldukça yüksektir. Düşük mekanik özellikler sergilerler.

-E (elektrik) Cam Fiberi, elektriksel yalıtkanlık istenilen ortamlarda kullanılırlar. Yüksek mukavemet değerlerine sahiptirler ayrıca nem özelliği de yüksektir bu yüzden suyla temas eden ortamlarda tercih edilir.

-S (mukavemet) Cam Fiberi mukavemet bakımından en iyi cam türüdür. Havacılık ve uzay sektöründe kullanılır. Birim ağırlık başına düşen mukavemet değerleri çelikle kıyaslandığında daha yüksek olduğu görülmektedir.

Parçacık (Partikül) Takviyeli Kompozitler

Matris malzemesinin içine, parçacık şeklinde bulunan takviye elemanının eklenmesiyle oluşan kompozit yapılardır. Takviye elemanı olarak kullanılan parçacıklar değişken boyutlarda olabilirler. 1 µm'den büyük ise parçacık, 1 µm'den küçük ise partikül adı verilmektedir. Takviye elemanı olarak kullanılan parçacığın boyutları arasında belirgin bir fark gözlenmemektedir. Parçacıkların geometrileri pul, granül, küre şeklinde ve ya şekilsiz olabilmektedir. Al₂O₃ ve SiC'den yapılmış seramikler en yaygın kullanılan parçacıklardır. Genellikle Takviye elemanları matris malzeme içersinde homojen biçimde dağılmıştır. Bu yüzden dolayı kompozit yapının mekanik özellikleri her yerinde benzer özellik gösterir. Parçacık takviyeli kompozitlerin içyapıları sürekli fiber takviyeli kompozitlere göre daha izotropiktir. Kompozit yapının mekanik özellikleri parçacıklar tarafından belirlenir. Kompozit malzemenin dayanımı içinde takviye elemanı olarak bulunan parçacığın sertliğine bağlıdır. Parçacık takviyeli kompozitlerin performansını etki eden birçok parametre bulunmaktadır. Bunların başında parçacığın boyutları, dağılımları, parçacıkların yüzey enerjisi, hacim oranı gelir. Parçacıkların matris malzeme içerisinde homojen olarak dağılması kompozit malzemenin mekanik özelliklerine doğrudan etki eder. Genellikle uygulamalarda elyaf hacim oranları %25'i geçmemektedir. Partikül takviyeli kompozitlerin matris malzemeleri metal, seramik, polimer olabilirler. Genellikle yüksek aşınma direnci ve yüksek kullanım sıcaklığı istenilen ortamlarda tercih edilir. Bu yapılar düşük maliyetli ve yüksek rijitliklidirler.

Katman Sayısına Göre Kompozit Malzemeler

Katman sayısına göre kompozit malzemeler ikiye ayrılırlar. Bunlar tabakalı kompozit malzemeler ve karma (hibrit) kompozit malzemelerdir.

a) Tabakalı Kompozit Malzemeler

Tabakalı kompozit malzemeler, birbirinden farklı özelliği olan en az iki tabakanın birleşmesiyle oluşan kompozit yapılardır. Tabakalı kompozit yapılar bilinen en eski ve en çok kullanılan kompozit yapılardır. Tabakalı kompozitlerin maliyeti düşük, mukavemeti yüksek, hafif, aşınma dayanımı ile ısıl genleşme özellikleri ön plandadır. Metallerle karşılaştırıldığında ağırlık/mukavemet oranı daha yüksek olduğundan tercih edilmektedir. Tabakalı kompozitlere örnek olarak kondansatörler gösterilebilir, kondansatörlerde yalıtkan ve iletken tabakalar üst üste gelerek tabakalı bir kompozit yapı oluştururlar.

b) Karma (Hibrit) Kompozit Malzemeler

Kompozit yapının içinde iki ya da daha çok takviye elemanının birlikte bulunmasıyla oluşan yapılara karma (hibrit) kompozitler adı verilir. Bu yöntemde yeni tür kompozit malzemelerin geliştirilmesine olanak tanımıştır. Kullanılan farklı takviye elemanlarının üstün özellikleri birleşerek hibrit kompozitin avantajlı olmasını sağlar.

1.2.2.Kompozit Malzemelerin Kullanım Alanları

Uzun yıllar çoğunlukla havacılık ve uzay sanayinde kullanılan kompozit malzemeler gelişen teknolojiyle birlikte birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu alanlar otomotiv endüstrisi, günlük ve ticari hayat, havacılık ve uzay sanayi, askeri alanlar, sağlık sektörü, yapı sektörüdür.

Otomotiv Endüstrisinde Kullanım Alanları

Otomotiv endüstrisinde en önemli etkenlerden biri de toplam ağırlığın azaltılmasıdır. Toplam ağırlığın azalması demek aracın daha fazla yol gitmesi, daha az yakıt tüketimi, daha az maliyet demektir. Ayrıca ağırlık azaltılırken dayanım değerlerinin korunması veya daha iyileştirilmesi gerekmektedir. İşte tam bu kısımda kompozit malzemeler devreye girmektedir. Kompozit malzemeler hafifliğinden dolayı aracın daha az maliyetle daha fazla yol gitmesini sağlar. Ayrıca araçların mukavemet gerektiren parçalarında da üstün mukavemet özellikleri göstererek daha güvenli bir hale gelmesini sağlar. Karbon fiberler otomotiv endüstrisinde yüksek maliyetlerinden dolayı çok fazla kullanılamazlar bunun yerine daha çok fiberler ve aramid fiberleri tercih edilmektedir.

Otomotiv endüstrisinde kompozitler araç gövdelerinde, tampon, motor parçaları, iç aksamda kullanılarak birçok ürün üretilmektedir. İçten yanmalı motorun marş motoru tahrik kayışı için gergi tertibatı sağlanmıştır, marş motoru gergi tertibatı ile donatılmıştır ve sürtünme rulman halkası ve bilye burçları PTFE biçiminde gömülü olan kuru yağlayıcıya sahip ısıya dayanıklı bir Poliamid 66'dan (PA66) yapılmıştır (Wolf 2015). Poliamid ve Polioksümetilenler rulman burçlarının üretiminde kullanılan malzemelerdir ve aşınmaya dayanıklıdırlar (Rymuza 1990). Polioksümetilen (POM) ve Polioksümetilen kompozitleri otomobil, mühendislik alanlarında ve bunun gibi birçok alanda kendi kendini yağlayan malzemeler olarak oldukça yaygın kullanılmaktadırlar (Li ve Zhang 2000).

1.3. Sürtünme ve Aşınma

1.3.1. Sürtünme

İki katı cismin birbiri üzerinde kayarak ilerlerken bir direnç gösterir bu dirence sürtünme adı verilir. Gösterilen bu direnç kuvveti hareketle paralel fakat ters yöndedir. Birbirine temas eden cisimlerin yüzeyleri arasındaki sürtünme hareketi kayma hareketi ve yuvarlanma hareketini şeklinde veya bu iki hareketin birleşimi şeklinde gözükür. Sürtünme temas eden yüzeylerin yağlayıcı olup olmamasına göre üçe ayrılır. Bunlar kuru sürtünme, sınır sürtünmesi ve sıvı sürtünmedir (Can 2006).

Kuru sürtünme; iki cismin birbirine temas eden yüzeylerinin arasında yağ ve oksit tabakası bulunmamaktadır.

Sınır sürtünmesi; temas yüzeyleri arasında tam olarak bir yağ filmi tabakası yoktur fakat yüzeyler tamamen kuru da değildir.

Sıvı sürtünmesi; temas yüzeyleri arasında yağlamayı sağlayan bir yağ filmi tabakası bulunmaktadır ve bu sebepten dolayı da yüzeyler birbirine temas etmez.

Mekanik sürtünme teorisine göre 3 temel sürtünme kanununun vardır. Bunlar;

- a) Birbirine sürtünen katı cisimlerin sürtünen yüzeylerinin temas alanları sürtünme kuvvetinden bağımsızdır.
- b) Cisme etki eden normal kuvvet sürtünme kuvveti ile doğru orantılıdır ve sürtünme kuvveti ve normal kuvveti arasında sürtünme katsayısı denilen bir sabit oran vardır.
- c) Kinetik sürtünme ile kayma hızı birbirinden bağımsız değişkenlerdir.

Sürtünme katsayısı kayma mesafesine, kaymanın süresine, cisimlerin sertliğine, sürtünen temas yüzeylerinin ortalama tane büyüklüğüne ve sürtünen yüzeylerin pürüzlülüğüne bağlıdır.

Sürtünme, cisimlerin birbirine temas eden yüzeylerinin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Temas eden yüzeylerin kaba geometrisinden daha çok önemli olan bir faktör de yüzeylerin mikron boyuttaki özellikleridir. Birbirine sürtünen cisimlerin temas eden noktalarındaki basınç malzemenin akma sınırının üzerine çıkabilir ve temas eden yüzeyler deforme olabilirler. Böylelikle normal kuvvetin etkisi altındaki cisimlerin temas yüzeyleri basıncın etkisiyle genişlerler. Temas yüzeyleri büyüdükçe birbirlerine uyguladıkları basınçta artar.

Sürtünme altındaki makine elemanları fazladan enerji kaybına neden olurlar. Kayma hareketinin sürekli devam etmesi için sürtünme kuvvetinden büyük bir enerji girişine ihtiyaç vardır. Sisteme giren bu enerjinin bir kısmı sürtünme kuvvetine harcanır. Enerji tasarrufu için sürtünme kuvvetine harcanan bu enerjiyi düşürmek gerekmektedir. Bu durum sürtünme katsayısının azaltılmasıyla mümkün olabilir.

Sürtünme kuvveti yüzeyin düzleminde ve normal kuvvetle doğru orantılı bir kuvvettir. Sürtünme kuvvetine etki eden birçok parametre vardır. Sürtünme kuvveti malzemenin karakteristik özellikleriyle alakalı olduğu kadar, malzemenin tribolojik özellikleriyle de (yüzey pürüzlülüğü, yağlama durumu, ortam sıcaklığı) alakalıdır.

$$F = \mu N \quad (1.1)$$

Burada; F= Sürtünme kuvveti, μ = sürtünme katsayısı, N: yük.

Sürtünme katsayısı malzemelerin karakteristik özelliklerine göre farklılık gösterebilir.

$$\mu = \frac{F}{N} \quad (1.2)$$

Burada; μ = sürtünme katsayısı, ; F= Sürtünme kuvveti, N: yük.

İki tip sürtünme katsayısı vardır. Bunlar kinetik sürtünme katsayısı (μ_k)ve statik sürtünme katsayısıdır (μ_s).Genellikle statik sürtünme katsayısı daha büyüktür.

Şekil 1.2.'deki düz bir yüzeyde W ağırlığında olan cisim bir “ θ ” açısıyla harekete başlayacaktır (Davis 2001). Düzenekteki statik sürtünme katsayısı;

$$\mu_s = \tan\theta \quad (1.3)$$



Şekil 1.2. Sürtünme açısının gösterimi

Kullanılan bu klasik düzenek yöntemiyle statik sürtünme katsayısı ölçülebilir. Fakat statik ve dinamik sürtünme katsayısı belirlemek için daha yaygın bir metot olan kuvvet ölçümleri kullanılır. Sürtünme katsayısı kayma mesafesine, kaymanın süresine, cisimlerin sertliğine, sürtünen temas yüzeylerinin ortalama tane büyüklüğüne ve sürtünen yüzeylerin pürüzlülüğüne bağlıdır.

Sürtünme, aşınma ve yağlama tribolojinin birbirinden ayrılmaz en önemli faktörleridir. Cisimler sürtünme evresinin devamında aşınma evresi geçer ve aşınmaya başlarlar. Aşınma evresi sürtünme evresinden daha karmaşık bir yapıya sahiptir. Aşınmaya uğrayan makine parçaları hacim kaybederek geometrik değişikliklere uğrayarak yüzey hassasiyetleri bozulur. Yüzey hassasiyetleri bozulan parçaların verimleri düşer ve zamanla görevlerini yerine getiremez hale gelirler.

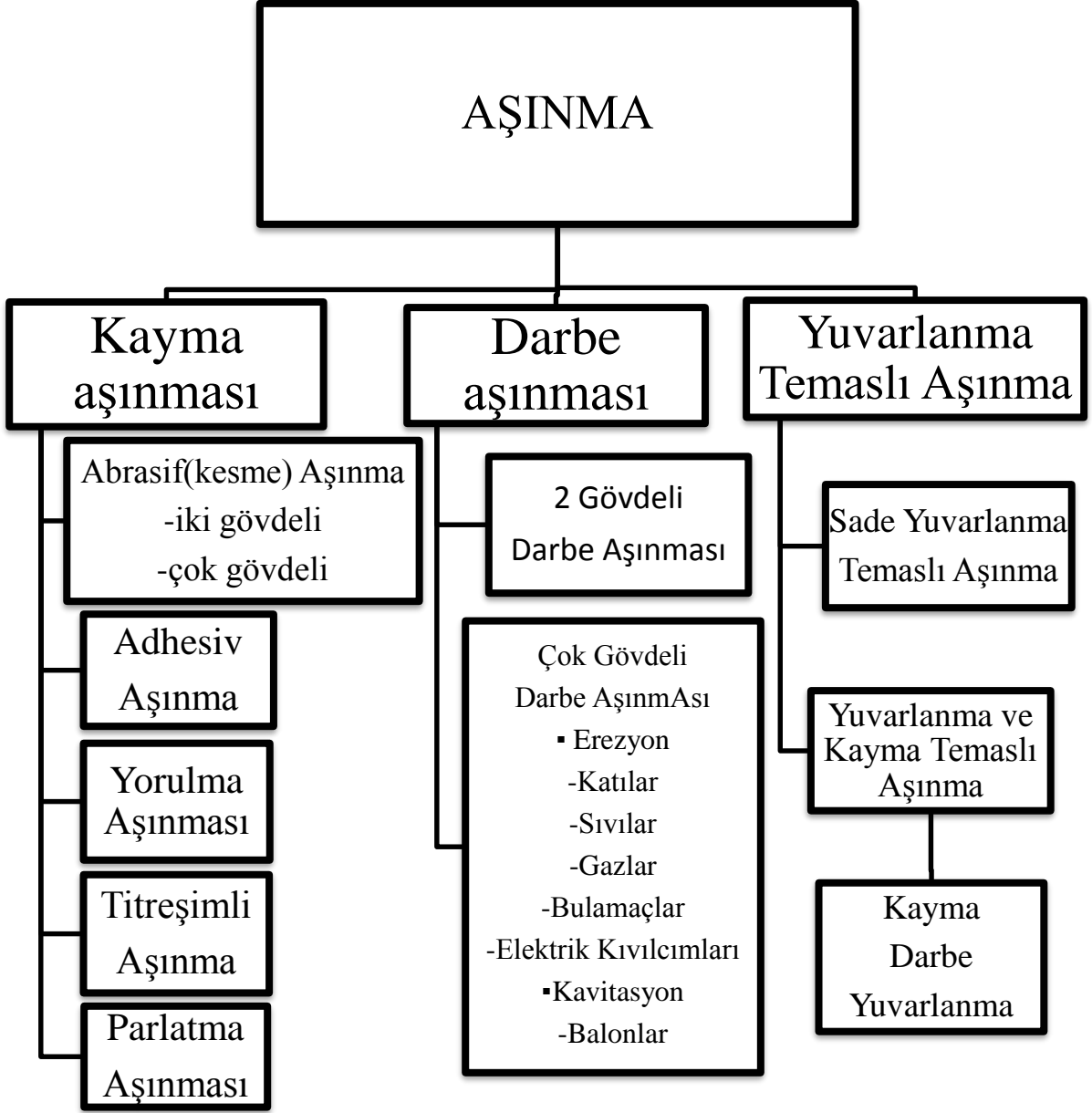
1.3.2.Aşınma

Sürtünme durumundaki cisimler arasında bağıl hareketin etkisi altında cisimlerin yüzeylerinden malzeme kaybına uğrarlar bu duruma aşınma denir. Makine parçalarında ortaya çıkan aşınma onların kullanım dışı kalmasına sebep olur. Aşınmaya uğrayan cisimlerin yüzeyleri bozularak zamanla görevlerini yerine getiremezler. Birbirleriyle sürtünme halindeki makine elemanları için aşınma kaçınılmaz bir olaydır. Günümüzde hala aşınma ve korozyon en büyük problemlerden biridir. Bundan dolayı sürtünmeyi ve aşınmayı kontrol altında tutarak azaltmak önemli bir konu haline gelmiştir. Aşınmanın azalması demek malzeme kaybının önüne geçerek malzemenin daha uzun ömürlü olup daha uzun süreler kullanılmasını sağlar.

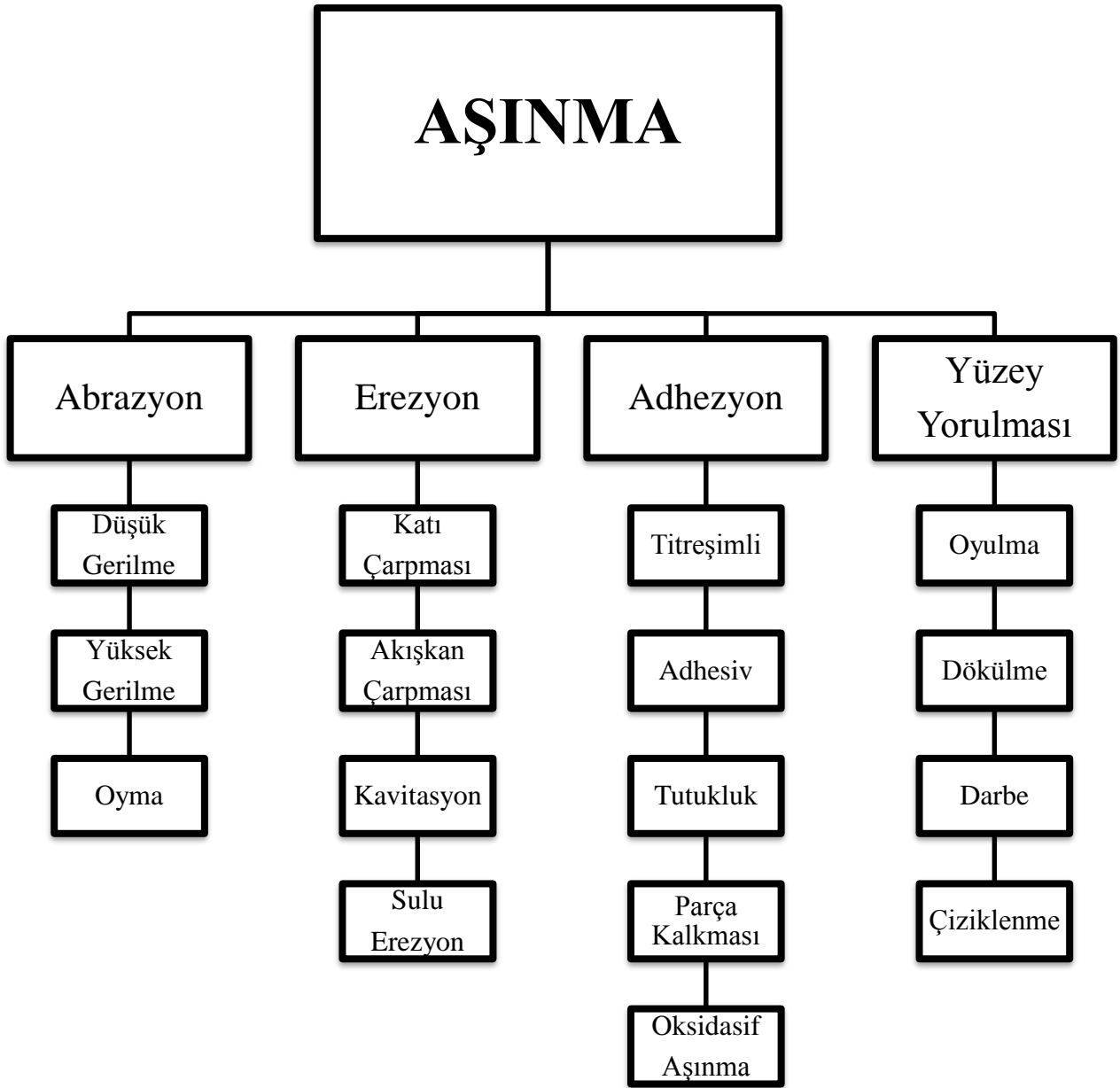
Bir malzemedeki malzeme kaybının aşınma sayılabilmesi için bazı şartlara uygun olması gerekir. Bunlar;

- Mekanik bir etki altında bulunması,
- Bağıl hareket altında bulunması,
- Sürekli olması,
- Yüzeylerde değişikliğe neden olması,
- İstenmeyen bir durum olmasıdır.

Aşınma olayını farklı biçimlerde sınıflandırmak mümkündür. En temel olarak aşınma yağlı veya yağsız aşınma olarak gruplandırılabilir. Birçok aşınma tipi olmasından ve aşınmayı etkilen çok fazla faktör bulunmasından dolayı aşınmayı tam olarak sınıflandırmak pek de olası gözükmemektir. Sürtünen yüzeylerde farklı türlerdeki aşınma türleri bir arada bulunabilir. Fakat buna rağmen araştırmacılar aşınma mekanizmalarını sınıflandırmak için farklı gruplandırmalar yapmıştır. Fakat yapılan bu gruplandırmaların hiç biri evrensel bir sınıflandırma olarak kabul edilmemiştir. Şekil 1.3. ve Şekil 1.4.'de iki farklı araştırmacının sınıflandırılması gözükmektedir. Blau aşınmayı 3 ana gruba ayırırken, Budinski ise 4 grupta incelemiştir. Bu sınıflandırmalar birbirinden farklı olsa da her ikisi de kabul görmektedir (Davis 2001).



Şekil 1.3. Blau'ya göre aşınma sınıflandırması



Şekil 1.4. Budinski'ye göre aşınma sınıflandırması

Abrazyon Aşınması

Birbirine temas halinde olan birbirinden farklı kristalografik yapısı olan iki cismin arasında bulunan farklı bir sert cisim, aşınma çiftlerinin yüzey pürüzlülüklerini plastik deformasyona uğratabilir ya da parça koparabilir bu tür aşınmaya abrazyon aşınması denir. Bir aşınma çiftinde sert olan malzemenin temas yüzeyinin veya pürüzlerinin, hareketinden ve uyguladığı basınçtan dolayı karşısındaki malzemeyi aşındırır. Bu bir abrazyon aşınmadır. Abrazyon aşınmasında kaynaklaşma durumu ortaya çıkmaz. Metal malzemelerin yüzeylerinde görülen abrazyon aşınmanın sebebi genellikle metal dışı bir malzemedir. Fakat metalik parçalarında neden olduğu abrazyon aşınması çeşitleri görülebilir Abrazyon aşınmada, bir malzeme kendi sertliğinden daha sert bir parçacık sebebiyle aşınır ya da çizilmeye uğrar. Yüzey işlemleri (taşlama, parlatma, zımparalama) birer abrazyon aşınma örneğidir. Sürtünme esnasında ki bir aşınma çiftinden sert olan cisim yüzeyindeki pürüzler uygulanan kuvvet sayesinde yumuşak bir cisim yüzeyindeki mikro talaşları keserek çıkarıyorsa bu durum bir abrazyon aşınmadır. Bu durum yumuşak parça bitinceye kadar sürekli olarak devam eder.

Düşük Gerilme Aşınması

Kazıma aşınması olarak ta bilinen bu aşınma türünde, aşındırıcıya uygulanan gerilimin çok az olmasından dolayı aşındırıcıyı kırılmaması durumu söz konusudur. Aşınma miktarı genellikle yüzeyde çizik biçimindedir. Yüzeyin alt kısımlarında deformasyon söz konusu değildir. Kayışlar, kesme ağızları, burçlar ve zincirler düşük gerilme aşınmasına örnektir (Davis 2001).

Yüksek Gerilme Aşınması

Aşınma durumunda olan bir aşınma çiftinde, aşınma sırasında meydana gelen kuvvetler aşındırıcının kırılmasına sebep oluyorsa buna yüksek gerilme aşınması denir. Yüksek gerilme aşınmasında büyük bir ölçüde uzama sertleşmesi meydana gelir. Örnek olarak madenlerde kullanılan öğütücüler, dişliler ve dişli çark uygulamaları, yataklar verilebilir.

Oyma Aşınması

Bir aşınma çifti aşınma durumunda iken malzemelerin birinin veya her ikisinin yüzeylerinde büyük oyuklar oluşur bu duruma oyma aşınması denir. Oyma aşınmasında uzama sertleşmesi ve plastik deformasyon önemli birer parametredir.

Parlatma Aşınması

Parlatma aşınması çok az bir seviyede ki bir aşınma tipidir. Bir cismin yüzeyinin parlatma aşında yüzeyin yumuşaması ve malzeme kalkması gerekir. Aşınmış merdiven basamakları parlatma aşınmasına iyi bir örnektir. Burada hem yüzeyde yumuşama hem de malzeme kaldırılması durumu gözlenmektedir.

Korozyon Aşınması

Malzemelerin temas yüzeylerinin kimyasal tahribata uğramasıyla oluşan yüzey bozulmalarına korozyon denir. Kimyasal maddelerin, metal ve metal alaşımlarıyla temasından dolayı yüzeylerinde tahribat oluşarak sürtünme etkisiyle parçalar taşınarak oluşturduğu tahribat korozif aşınma olarak isimlendirilir. Korozyon malzemenin yüzeyinde mikron düzeyinde oyuntular oluşturarak ve yüzeyi pürüzlendirerek malzeme kaybına olanak tanır. Korozyon aşınmasının oluşabilmesi için korozyon ve sürtünmenin birlikte gerçekleşmesi gerekmektedir. Yüksek basınç altındaki yüzeylerde oluşan bir korozyon aşınması, oluşan oksit tabakasının malzemenin üzerine yapışmasına engel olarak adhesiv aşınmanın etkisini azaltır. Birçok aşınma türü birlikte görülebilir örneğin bir malzeme de aynı anda korozif aşınma, adhesiv aşınma ve abrasif aşınma meydana gelebilir. Aşınma ve korozyonun malzemeye birlikte etki etmesi durumunda malzeme kaybı daha da artar. Sürtünme altındaki yüzeylerden kopan korozyon parçalarının sert olması durumunda şiddetli bir abrasif aşınma durumu görülebilir.

Katı Parçacık Erozyonu

Bir malzemenin yüzeyine küçük boyutlu katıcıkların sürekli olarak etki etmesiyle yüzeyde malzeme kaybı meydana gelmesine katı parçacık erozyonu ismi verilir. Katı parçacık erozyonu buhar ve jet türbinlerinde, partikül taşıyan sistemlerde, borularda ciddi bir problemdir (Davis 2001).

Fakat katı parçacık erozyonunun kullanılabilirdiği faydalı mühendislik alanları da vardır. Bunlara örnek olarak kumlama makineleri, su jetleri verilebilir.

Sıvı Erozyonu

Sıvı partiküllerinin katı yüzeylere etki etmesiyle, katı yüzeyde meydana gelen malzeme kaybına sıvı erozyon aşınması denir. Kavitasyon sıvı bir erozyon biçimidir. Yüzeyde oluşan malzeme kaybına kavitasyon erozyonu denir. Kavitasyonun neden olduğu hasara ise kavitasyon hasarı denilir. Kavitasyon hasarı sıvı temasının olduğu ortamlarda sıklıkla görülür. Gemi pervaneleri, su kanatçıkları, hidrolik pompalar birer kavitasyon örneğidir. Çalışma ortamlarında bulunan yüksek hızlı akış ve yüksek değişken basınç sebebiyle makine elemanlarının kavitasyona uğramasına sebep olur.

Sulu Erozyon

Malzeme yüzeyine çarpan hareket halindeki bir sıvının içinde bulunan katı parçacıkları sebebiyle malzeme yüzeyinde malzeme kaybı oluşur bu duruma sulu erozyon denir. Sulu erozyonla birlikte diğer aşınma tipleri de görülebilir.

Adezyon Aşınması

Birbiriyle temas eden iki düz yüzeyin birbiri üzerinde kayarak oluşan aşınma çeşididir. Genellikle birbirinden farklı iki metal yapının kayma sürtünmesi yaparak oluşturduğu durumlarda yüzeylerin arasında adezyon çekim kuvveti bulunur. Bu yüzden bu tür aşınmalar adezyon aşınması olarak isimlendirilir. Bir aşınma çiftinde adezyon aşınma sebebiyle birinden diğerine malzeme geçişi olur bu geçiş kalıcı ve geçici durumlarda olabilir. Adezyon aşınma birçok malzeme türünde görülebilir. Adezyon aşınma malzemelerin karakteristik özelliklerine bağlı olarak aralarındaki birbirlerine yapışma özellikleriyle ilgilidir. Ayrıca aşınma sebebiyle oluşan oksit ve yağ tabakaları da önemli birer parametredir. Birbirine yaklaşan yüzeyler adezyon çekim kuvvetini oluştururlar. Makine elemanlarının temas yüzeyleri mikron seviyesinde pürüzlüdürler. Sürtünme durumunda bu pürüzlülükler birbirine temas uygularlar. Temas yüzeylerinde bulunan bu pürüzler, cismin ağırlığı veya bir kuvvet altında olduğundan yüksek basınç altındadırlar. Basıncın etkisiyle birbirine temas eden pürüz noktaları birbirini çizmesine, yarılmasına ve hatta kaynaklaşmaya sebep olur. Sürtünmeden dolayı plastik deformasyona uğrayan pürüzler temas yüzeyinde mikro adezyon oluştururlar ve bir süre sonra mikro adezyon temas yüzeyine yayılarak bütün temas yüzeyini etkiler. Sürtünen cisimlerin karşılıklı hareketlerinden dolayı temas yüzeylerinde sıvı, gaz ve oksit tabakası oluşarak cisimler arasında soğuk kaynaklaşma meydana gelir. Kayma hareketinden dolayı bu noktalar kopmaya uğrayarak yenme ve aşınmaya sebep olurlar. Bu şekildeki malzeme kaybı adezyon aşınmasıdır.

Adezyon aşamasında temas yüzeylerindeki pürüzlülükler birbiriyle fiziksel ve kimyasal kurarak birbirlerine yapışırlar. Fiziksel bağ Van der Waals bağı kimyasal bağ ise kovalent bağ şeklindedir. Birbirine yapışan pürüzler hareketin etkisiyle koparak malzeme kaybına uğrarlar. Yatak sarması olarak bilinen olay adezyon aşınmasının en temel örneklerinden biridir.

Adezyon aşınmasındaki aşınma miktarı şu şekilde hesaplanır; Aşınmanın miktarı yüzeye etki eden kuvvet ve kayma mesafesiyle doğru orantılıdır. Malzemenin sertliği ise de ters orantılıdır (Can 2006).

$$V = \frac{kFL}{HB} \quad (1.4)$$

V: aşınan hacim, F: yüzeye normal yönünde etkiyen dik kuvvet (kg), HB: malzemenin Brinell sertliği (kg/mm^2), L: kayma uzunluğu

K faktörü (aşınma katsayısı) farklı malzemeler için değişkenlik gösterir. Bu yüzden çeşitli test metodlarıyla farklı ortam koşullarında deneysel olarak elde edilmiştir. Aşınma katsayısı 10^{-3} ile 10^{-8} arasında bir değer almaktadır.

Sürtünen malzeme çiftlerinin yüzeyleri arasında bulunan adhesiv bağ mukavemeti pürüzün mukavemetine eşit ve ya daha büyükse pürüz koparak malzeme kaybı oluşur. Eğer bağ mukavemeti küçükse, pürüz kaynaklı olduğu noktadan koparak malzeme kaybı oluşmamış olur. Adhesiv aşınma meydana gelirken sürtünen yüzeylerin arasında kopan parçalardan meydana gelen bir cisim daha olabilir. Kopan parça serbest halde hareket edebileceği gibi aşınma çiftlerinden birine bağlı olarak ta hareket edebilir. Parçacığın bir yüzeyden diğer yüzeye geçmesi metal transferi olarak adlandırılır.

Adhesiv aşınma genellikle birbirleriyle kolay alaşım oluşturulabilen yapıları birbirleriyle benzer malzemelerde görülür. Aşınma miktarı bağlı hız, uygulanan normal kuvvet, yüzey sertliği gibi parametrelere bağlıdır. Adhesiv aşınma genellikle yüksek hız ve yük altında görülür. Kaynak bağlantısı aşınma çiftlerinden yumuşak olandan koparak sert olanın yüzeyine yapışarak metal transferi gerçekleşir.

Sürtünme Yapışması

Adhesiv aşınma sırasında yüzeyden kopan ya da taşınan makro boyuttaki parçacık kopması durumudur. Yüksek kuvvet ve yağsız ortamlarda çalışan malzemelerde oluşan

malzeme kaybı ile ileri düzeyde yüzey hasarı oluşabilir. Sürtünme yapışması genellikle malzeme çiftinin harekete başlamasından hemen sonra gerçekleşebilir ve yapışmanın yüksek olduğu bazı durumlarda metal yüzeylerin birbirini tutarak sistemin kilitlenmesine sebep olabilir.

Sürtünme yapışması malzemelerin süneklikleriyle ilişkilidir. Örneğin sünekliği düşük olan malzemeler sürtünme yapışmasına karşı avantajlıdır. Bunun sebebi ise sert malzemelerin kuvvet altında yüzeylerinde ki pürüzler kırılarak sürtünme yapışmasına engel olmasıdır. Fakat malzemenin yüzeyinde sürtünme aşınmasının oluşturduğu kadar büyük malzeme kayıpları görülme de ufak çapta kopmalar olabilir ve yüzeyi az bir düzeyde çizebilir. Aşınma esnasında olan sünekliği yüksek olan bir malzemenin yüzeylerinde bulunan pürüzler plastik deformasyon sergilerler. Bu yönde şekil değiştiren pürüzlerin temas alanları artmış olur ve sürtünme yapışması görülür.

Sürtünme yapışmasının sıklıkla görüldüğü sıkı geçme parçalarda yeterli boşluk bırakılarak bu durumun etkileri azaltılmış olunur. Ayrıca yüzey yağlanarak veya kaplanarak da sürtünme yapışmasının etkileri azaltılabilir.

Sürtünme yapışması için yüzey pürüzlüğü de oldukça etkindir. Örneğin pürüzsüz bir yüzeyde pürüzlerin bu yüzeye kolay tutunabilme (yapışabilme) ihtimallerinden dolayı sürtünme yapışması ve dolayısıyla aşınma görülebilir. Fakat çok pürüzlü yüzeylerde bu ihtimal daha fazladır. Bunun sebebi ise yüzeyler arasında bulunan girinti ve çıkıntılar karşı yüzeyden parça koparak sürtünme yapışmasına ve aşınmaya yol açmasıdır (Davis 2001).

Titreşimli Aşınma (Fretting Aşınması)

Birbirleri ile temas halindeki metallerin yüzeyleri arasındaki çok küçük titreşim hareketlerinden dolayı oluşan aşınma tipidir. Bu aşınmanın başlangıcı adhesiv aşınma türünde olan titreşimli aşınmada korozyonun büyük etkisi vardır. Titreşimli aşınmalara örnek olarak sıkı geçmeler verilebilir burada hareket halinde sabitlenmiş yüzeyler bulunmaktadır (Davis 2001).

Örnek olarak Cıvata, perçin, sıkı geçme bağlantılıları verilebilir. Birbirine temas eden yüzeylerde birden çok aşınma türü (fretting, abrasif, adezif, korozyon) birlikte görülebilir.

Aşınmaya miktarı malzemenin, cinsine ve kimyasal yapısına, mikro yapısına, sertliğine, ısı işlem görmesine bağlıdır. Ayrıca cisme uygulanan yük, hız, sıcaklık ve ortam şartları da

aşınma üzerinde etkilidir. Aşınma miktarı yüzey basıncı, yük ve çalışma hızı ile doğru orantılıdır. Aşınma esnasında sürtünme hareketi ısı enerjisine dönüşür ve temas yüzeyinin sıcaklığı artmış olur. Sürtünmeye uğrayan yüzeylerde sıcaklığın etkisiyle ergimeler oluşarak yüzeyden küçük parçalar kopar ve aşınma miktarı artar.

Yuvarlanma Temaslı Aşınma (Yorulma Aşınması)

Aşınma çiftlerinin birbirinin üzerinde yuvarlanarak hareket etmesiyle, temas bölgelerinde oluşan noktasal veya çizgisel yüzey basıncı sebebiyle pullanmaya benzer bir yapıda aşınma oluşur. Bu aşınma tipine yuvarlanma aşınması veya yorulma aşınması denir. Yuvarlanmalı yataklarda, dişlilerde görülebilen bu aşınma tipinin, mikro düzeyde çatlak oluşumu ve yüzeyde çukurların oluşumu gibi etkileri vardır. Oluşan bu yüksek basınçlar sebebiyle oluşan gerilmeler yüzeyin iç kısımlarında çatlak oluşumu başlatır. Sürtünme devam ettikçe çatlak oluşumu giderek artarak pullanma şeklinde talaş kalkar. Birbirleriyle yuvarlanma halinde bulunan dişli çarklar, rulmanlar, yataklarda yorulma aşınması gözükür. Bu yüzeylerde adezyon aşınması ve abrazyon aşınması görülmez.

Bu aşınmanın temel sebeplerinden biri de sürekli tekrar eden mekanik gerilmelerin olmasıdır. Malzeme seçimi, tribolojik etkenler, göz önünde bulundurularak bu aşınmanın etkileri azaltılabilir (Davis 2001).

Aşınma Deneyleri

Aşınma makine elemanlarının en büyük problemlerinden biridir. Malzemelerin tribolojik özelliklerini anlayabilmek için farklı deneyler yapılmaktadır. Malzemelerin tribolojik özelliklerini anlayabilmek için çeşitli deney cihazları üretilmiştir. Fakat her malzemenin karakteristik özellikleri birbirinden farklı olduğundan sergiledikleri tribolojik özelliklerde birbirinden farklıdır. Bu sebepten dolayı malzemelerin tribolojik davranışları konusunda genel bir sonuca varmak pek mümkün değildir. Yapılan çalışmalarda malzemelerin çalıştıkları ortamlar göz önünde bulundurularak, bu ortamlara özel deney cihazları tasarlanarak tribolojik özelliklerini anlayıp yorumlanmaya çalışılmıştır.

En yaygın olarak kullanılan sistem olan disk-pim yöntemi, bilezik-blok yöntemi olan aşınma mekanizmaları sürtünme aşınmasında kullanılır. Ayrıca dönen çift disk yöntemi kullanılır. Darbe aşınması için disk üzerinde salınlı pim metodu ya da parça püskürtme metodu kullanılır. Yuvarlandırmalı aşındırmasında ise silindir üzerinde bileye metodu kullanılır.

Genel olarak aşınma deneylerinde elde edilen sonuç madde kaybı şeklinde elde edilir. Aşağıdaki formül aşınma katsayısını verir (Can 2006).

$$k = \frac{V.HB}{F.L} \quad (1.5)$$

k: aşınma katsayısı, V: aşınan hacim, HB: malzemenin Brinell sertliği (kg/mm^2), F: yüzeye normali yönünde etkiyen dik kuvvet (kg), L:kayma uzunluğu

Bir aşınma sisteminde, birden çok aşınma türü bir arada gözükabilir. Aşınma deneylerinin sonuçlarında, daha kolay ölçülebilmesinden dolayı hacim kaybı yerine kütle kaybı hesaplanır. Mühendislik uygulamaların da ise aşınma sonuçlarında, kütle veya hacim gibi sonuçların yanında ömür testi, vibrasyon seviyesi, yüzey pürüzlülüğü, çatlak oluşumları gibi parametreler de hesaplanır.

Polimer Aşınması

Plastikler, hayatımızın her yerinde kullanılan, düşük maliyetli yaygın olarak kullanılan malzemelerdir. Fakat mukavemetlerinin düşük olmalarından dolayı aşınarak tekrar kullanılamaz duruma gelirler. Birbirine temas ederek çalışan iki malzeme çiftinde sürtünme ve buna bağlı olarak aşınma oluşur. Polimer malzemeler endüstride polimer-polimer aşınma çifti ve polimer–metal aşınma çifti olarak yaygın olarak kullanılırlar. Polimerler sürtünme katsayıları oldukça düşük değerlere sahiptirler. Plastiklerin ve metallerin aşınma karakterleri birbirinden oldukça farklıdır. Metal malzemelerde aşınan parça hurdaya ayrılıp eritildikten sonra yeniden kullanıma uygundur. Fakat plastiklerde termoplastikler hariç bu pek mümkün değildir (Varol ve Yıldırım 1995).Yüksek korozyon dirençleri vardır. Polimerler aşınmalarını genel olarak adezyon, abrazyon ve yorulma aşınması şeklinde 3 aşınma grubunda inceleyebiliriz.

Doğru malzeme seçimi aşınmanın azalmasını sürtünme katsayısının düşmesini sağlar. Aşınma literatüründe birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda birçok aşınma türü ve metodu belirlenmiş olmasına rağmen bu konuna bir standart oluşturulamamıştır. Bir standart oluşturulmamasının temel sebebi çok farklı aşınma mekanizmalarının olması, malzemelerin farklı karakteristik özellikleri ve değişken ortam şartları olmasından dolayıdır.

Aşınmaya sebep olan bir diğer faktör de korozyondur. Aşınma korozyon ilişkisi birbirini doğrudan etkileyen iki faktördür. Korozyon malzemenin üzerinde bir tabaka oluşturarak, malzemenin yüzeyine zarar verir, molekül yapısını bozar ve sonucunda da malzeme kaybına

neden olur. Korozyona uğrayan malzeme birlikte çalıştığı diğer aşınma çiftine de zarar verir. Bu sebepten dolayı aşınmanın engellenmesi için korozyonunda engellenmesi gerekmektedir.

Aşınma safhası üç zamanda incelenir. Birinci zamanda; aşınma rodaj aşamasında olup, aşınma miktarının giderek arttığı kısımdır. Bu kısımda yüzey pürüzlülüklerinin azalarak makine elemanlarının birbirine alışır. İkinci zamanda ise aşınma miktarı sabit bir biçimde devam etmektedir. Üçüncü zamanda ise sistemde hasarın oluşarak makine elemanı zarar görür.

Polimer kompozitlerinin aşınma mekanizmaları hakkında birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaların büyük çoğunluğu mühendislik plastikleri üzerinedir. Mühendislik plastiklerinden olan Polioksimetilen (POM) ve kompozitlerinin aşınma mekanizmaları üzerine pek çok çalışma yapılmıştır (Kukureka ve ark. 1995). POM yüksek bağ enerjisinin ve yüksek kristallilik sebebiyle iyi aşınma dirençli özelliklere sahiptir (Kar ve Bahadur 1978).Gösterdiği bu sürtünme ve aşınma özelliklerinden dolayı POM birçok sektörde kullanılmaktadır. Birçok alanda sıklıkla kullanılan bir diğer plastikte PE'dir. YYPE'nin ve YYPE kompozitlerinin tribolojik davranışları üzerine de birçok çalışma yapılmıştır (Watanebe ve Yamaguchi 1986). Tribolojik özellikler bakımından YYPE (Yüksek yoğunluklu polietilen) düşük aşınma ve düşük sürtünme gösterir (Bahadur ve Tabor 1985).

1.4. Binek Araçlarda Kullanılan Gergi (Sistemi) Rulmanları

Gergi rulmanı sektörde gergi bilyesi, gergi kasnağı gibi isimler alarak adlandırılabilir. Gergi rulmanı triger kayışını, motorda bulunan diğer kayışları (klima kompresörü, hidrolik direksiyon pompası, alternatör, su pompası) germek ve gerginliğinin ayarlamak için kullanılır. Genelde set olarak triger kayışıyla birlikte kullanılır. Gergi rulmanları sabit ve otomatik olarak ikiye ayrılırlar. Gergi kasnağının malzemesi farklı materyallerden olabilir. Bunlar metal gergi kasnağı, plastik gergi kasnağı, saç gergi kasnağı, alüminyum gergi kasnağı olarak sınıflandırılırlar.

Sabit Gergi Rulmanı

Rulmanın etrafına kasnağın geçirilmesiyle oluşmuş kasnaklardır. Kasnak plastik, metal, alüminyum ve saç olabilir. Triger gergi rulmanı ve alternatör gergi rulmanı olarak kullanılabilir. Sabit gergi rulmanı Şekil 1.5.'te gösterilmektedir.



Şekil 1.5. Sabit gergi rulmanı

Plastik Kasnaklı Gergi Rulmanı

Rulmanın üzerine plastik enjeksiyon makinasında, kalıp yardımıyla plastik enjekte edilmesiyle oluşur. Plastik kasnaklı gergi rulmanı Şekil 1.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Plastik kasnaklı gergi rulmanı

Metal Kasnaklı Gergi Rulmanı

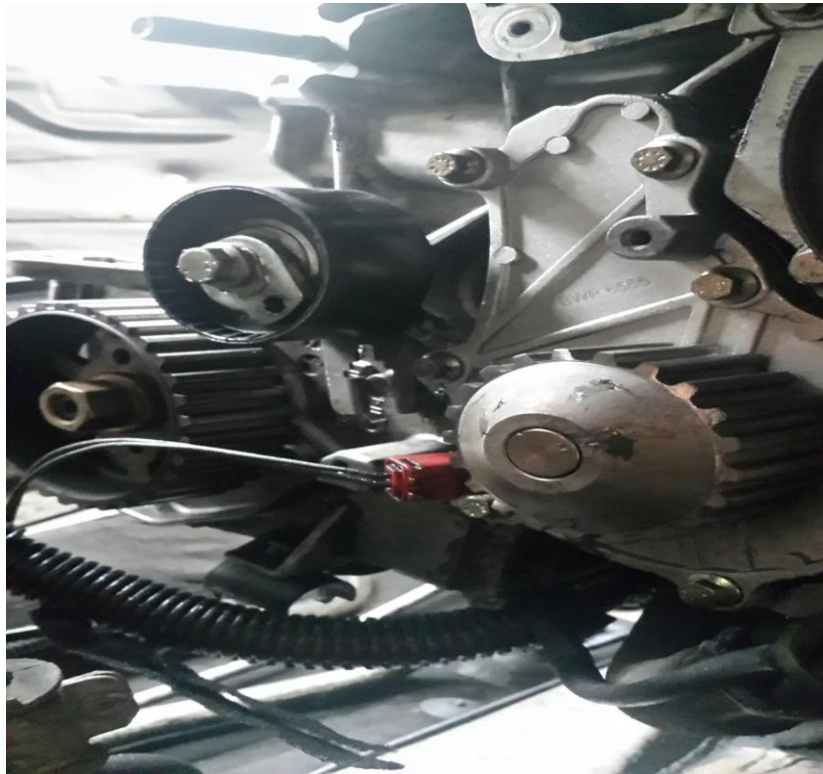
CNC' de işlenen metal kasnakların içine rulmanın sıkı geçirme yöntemiyle birleştirilmesiyle oluşan sabit gergi rulmanlarıdır. Şekil 1.7.'de metal kasnaklı gergi rulmanı gösterilmiştir.



Şekil 1.7. Metal kasnaklı gergi rulmanı

Alüminyum Kasnaklı Gergi Rulmanı

Enjeksiyon döküm yöntemiyle elde edilmiş kasnakların içine rulman rulmanın sıkı geçirme yöntemiyle birleştirilmesiyle oluşan gergi rulmanlarıdır. Araç üzerindeki bir gergi sistemi Şekil 1.8.'de gösterilmiştir.



Şekil 1.8. Araç üzerindeki gergi sistemi

Saç Kasnaklı Gergi Rulmanı

Hidrolik presler yardımıyla üretilen kalıpları yapılmış olan saç kasnakların içine rulmanların sıkı geçmesiyle oluşturulur. Şekil 1.9.'da saç kasnaklı gergi rulmanı gösterilmiştir.

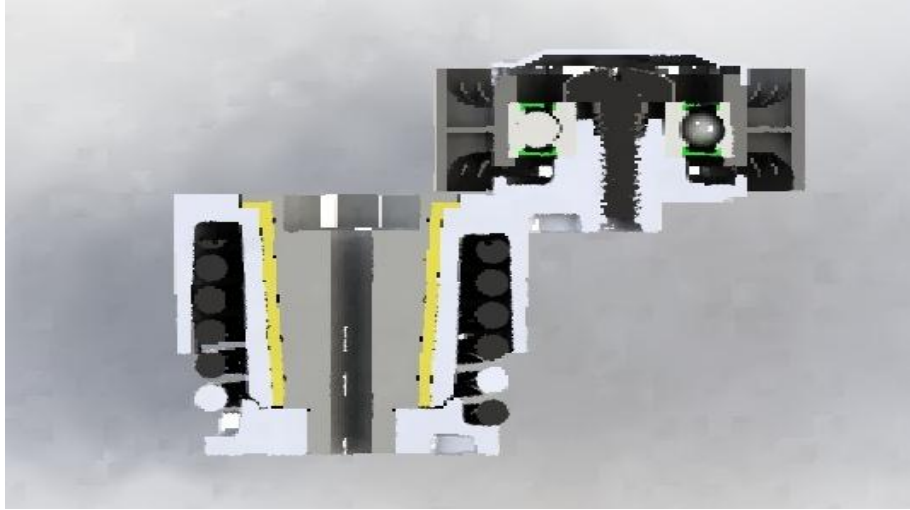


Şekil 1.9. Saç kasnaklı gergi rulmanı

Otomatik Gergi Rulmanı

Otomotiv sanayinin gelişiminden motor gergi sistemleri de büyük ölçüde etkilenmiştir. Klasik sabit gergi rulmanlarının yerini otomatik gergi rulmanları almaya başlamıştır. Otomatik gergi rulmanının en önemli özelliği içerisinde bulunan yay sayesinde kayışın gerginliğine göre kurularak kayışın gerginliğini ayarlayabiliyor olmasıdır bu özellik sabit gergi rulmanlarında olmayan bir özelliktir. Otomatik gergi rulmanının bir diğer önemli özelliği ise kayışın gerginliğini ayarlayarak kayışa gelen yükleri kontrol eder ve kayışın uzun ömürlü olarak kullanılmasını sağlar.

Otomatik gergi rulmanı; Alüminyum gövde, yay, plastik burç, metal burç, kasnak (sabit gergi rulmanı), civata, saç gibi bileşenlerden oluşur. Şekil 1.10.'da otomatik gergi rulmanının kesiti gözükmektedir.



Şekil 1.10. Otomatik gergi rulmanını oluşturan elemanlar

Gergi Setlerinde Kullanılan Triger Kayışı

Triger kayışının esas olarak “timing belt” yani zamanlama kayışı olarak isimlendirilir. Triger kayışı motorun çalışması bakımından oldukça önemli bir parçadır. Hem uzun ömürlü olması gerekir hem de gergi kasnağını kaçırmaması gerekir. Bu sebepten dolayı dişli bir kayış olarak genellikle kauçuk ve çelik tel kullanılarak kompozit olarak üretilir. Triger kayışının değişimi 60.000-100.000 km arasında değişmektedir. Bazı motorlarda triger kayışı yerine triger zinciri kullanılmaktadır. Triger zincirinin ömrü kayışa göre daha uzundur. Fakat kayışın zincire göre sessiz çalışmasından dolayı öncelikli tercih sebebidir (Tokoro ve ark 1998).

Gergi Setlerinde Kullanılan Alternatör Sistemi

Alternatör, bir motorlu taşıtın elektrik aksamına güç veren bir parçadır. Araçlarda krank milinin kasnağı ile alternatörün kasnağı birbirine bir kayış yardımıyla bağlanmıştır. Bu kayışa alternatör kayışı adı verilir. Marşa basıldığı anda alternatör kasnağı dönerek üzerindeki kayışa hareket verir ve bu hareket krank kasnağına iletilir. Alternatör bu harekette mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmüştür. Alternatör gergi sisteminde kayışın ve ya gergi elemanın belirli bir ömrü vardır. Bu sürenin sonunda değiştirilmesi gerekmektedir (Utkin ve ark 2000).



Şekil 1.11. Alternatör gergisi

2. LİTERATÜR TARAMASI

Xing ve ark. (2009) yaptıkları çalışmada cam elyaf takviyeli ve katkısız PA66, katkılı PA66'ya çeşitli yağlayıcılar ekleyerek (MoS_2 , PTFE) takviye edilmesiyle kompozitler elde ederek mekanik özelliklerini ve sürtünme aşınma davranışlarını araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre katkı maddesinin ve yağlayıcının aşınma ve sürtünme üzerinde olumlu etki yaptığını ve en iyi aşınma direncinin ise PA66'ya %35 cam elyaf katkılı ve MoS_2 , PTFE yağlayıcı katkılarının eklenmesiyle oluştuğunu gözlemlemişlerdir.

Chen ve ark. (2000) Poliamid66'nın, kendine karşı çalışan, konformal olmayan ve yuvarlanma kayma temaslı aşınma mekanizmasında tribolojik davranışları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda PA66'nın sürtünme ve aşınma özelliklerinin 3 parametreyle ilgili olduğunu, %20 PTFE katkısının tribolojik özelliklerini geliştirdiğini ayrıca %30 oranında kısa cam elyaf takviyesinin de aşınma dayanımını arttırdığını gözlemlemişlerdir.

Unal ve ark. (2004) araştırmalarında uygulanan farklı basınç değerlerde ve test hızlarında poliamid66, polioksümetilen, ultra yüksek molekül ağırlıklı polietilen, %30 oranında cam elyaf katkılı polifenilensülfid'in sürtünme ve aşınma davranışına etkisini incelemişlerdir. İnceledikleri bütün polimerlerde sürtünme katsayısının önce arttığını ve bir süre sonra sabit olarak devam ettiğini ve azaldığını ve aşınma miktarının basınç ve test hızlarına bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Chang ve ark. (2006) kısa karbon fiberlerle, TiO_2 nano parçacıklarla ve grafit pullarla doldurulmuş olan PA66 kompozitlerinin tribolojik özelliklerini farklı basınç ve kayma hızlarında incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre nano TiO_2 katkısının sürtünme katsayısı ve aşınma oranı önemli ölçüde azalttığını gözlemlemişlerdir.

Brisco ve Tabor (1980) yaptıkları çalışmada Çeliğe karşı, PA66 (Poliamid66) malzemesinin kayma yaparken ince ve uniform bir transfer filmi oluşturma yeteneğinden dolayı diğer polimerlere karşı üstün aşınma direncine sahip olduğu bildirilmiştir.

Clerico (1969) yaptığı çalışmada parçacık dolgulu PA66'nın aşınma oranlarında cam elyaf ve bronz takviyeli PA66 kompozitine karşı çeliğe karşı haddeleme-kayma teması durumunda önemli bir fark olmadığını bildirmiştir.

Xing ve ark. (2009) aşınmaya dayanıklı PA66 kompozitler hazırlanmışlardır ve mekanik özellikler, aşınma özellikleri, sürtünmeyi incelenmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre PA (Poliamid) aşınmaya dirençli bir mühendislik plastiği olarak, poliamidin moleküler

zincirlerindeki Van der Waals kuvvetinin ve hidrojen bağlarının olmasından dolayı üstün aşınma direncine, yüksek mukavemete ve kendiliğinden kayma özelliğine sahip olduğunu gözlemlemişlerdir.

Chen ve ark (2006a) yaptıkları çalışmada Polioksümetilenin (POM) aşınmasının hafif ve şiddetli olmak üzere iki farklı bölgeye ayrıldığını belirtmişlerdir. Hafif aşınma olan bölgede; aşınmış olan yüzeyin mekanik yorgunluğuna uğradığını ve bunun kısmen aşınmaya bağlı olduğu görülmektedir ve şiddetli aşınma olan bölgede, yüzeydeki tabakanın çatlaması ve daha sonra ise kopması meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Koç (2001) yaptığı çalışmada, mühendislik plastikleri olan Poliamid 6, Döküm poliamid, Polioksümetilen, Polietereter keton ve Polietilen tetraflor kompozitlerini kullanarak kuru ortamda pim disk metodu kullanarak 60, 80 ve 100 N altında ve 0,5 m/s ve 1m/s kayma hızı altında aşınma kayıplarını incelemiştir. Aşınma kaybının ve sürtünme katsayılarının, artan kayma hızıyla doğru orantılı olduğu gözlemlemiştir. Artan yük altında Polietereter keton, Döküm poliamid ve Polietilen tetraflor kompozitlerinde sürtünme katsayısında artış, Poliamid 6 ve Polioksümetilende sürtünme katsayısında azalma olduğunu gözlemlemiştir.

Clerico'nun (1980) çalışmasının sonuçları Polioksümetilenin (POM) kompozitlerinin aşınma mekanizmalarının katman ayrışması aşınmasına benzer olduğunu göstermiştir ve saf Polioksümetilenin (POM) erime veya termal yumuşatmayla olan sürekli deformasyonla aşınmadığını göstermiştir.

Dong ve ark. (2015) yaptıkları çalışmada, Wang ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışmanın POM' un karbon-karbon bağlarından daha kısa karbon ve oksijen anahtarından oluşan zincir ve moleküler zincir yapısının yüksek düzenliliğinden dolayı iyi mekanik dayanıma ve sertliğe sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Brostow ve ark. (2010) yaptığı çalışmada düşük yoğunluklu polietilen, takviye elemanı olarak % 10 mikro metal parçacık ve %10 makro metal parçacık olan kompozitler kullanarak, pim disk metoduyla aşınma oranlarını incelemiştir. Elektron mikroskobu kullanarak aşınma ve yüzey deformasyonu gibi parametreleri görüntülemişlerdir.

Ramesh ve ark. (1983) Matris malzemesi olarak epoksi, takviye elemanı olarak ise sürekli cam elyaf kullanarak ürettiği kompozit malzemelerde, pin on metodunu kullanarak aşınma durumlarını optik mikroskop kullanarak araştırmışlardır. Deney numunesi olarak katkısız epoksi kullandığında, artan kayma hızının etkisiyle aşınmadan dolayı bir ağırlık kaybı

gözlemlenirken, cam elyaf kullanılan deney numunelerin de ise artan kayma hızıyla birlikte aşınmaya bağlı ağırlık kaybının önce arttığı sonra sabit devam ettiği ve son aşama da ise tekrar arttığını gözlemlemişlerdir.

Kishore ve ark. (2001) epoksi reçineyle birlikte cam elyaf kullanarak yaptıkları çalışmada, değişken kayma mesafesi ve değişken yükler altında test ettiği kompozitlerin yüzeylerindeki aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Kayma mesafesi ve yükün artırıldığında, reçine ile takviye elemanındaki aşınma miktarının artarak yüzey deformasyonunun arttığını tespit etmişlerdir.

Viswanath ve ark. (1991) yaptığı çalışmada matris malzemesi olarak polivinilbutirale takviye olarak cam elyaf ekleyerek 4x4x20 mm boyutunda üç tip dokuma kompozit elde etmişlerdir. Elde edilen kompozitlerin mekanik ve aşınma testlerini yapmışlar ve aşınmalarının dokuma tipine göre değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Suesha ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada, matris malzemesi epoksi olan cam elyaf takviyesi olan kompozitlere üç değişik seviyede grafit ekleyerek elde edilen kompozitlerin, pin on metoduyla aşınmalarını araştırmışlardır. Grafit oranının artmasıyla birlikte aşınma direncinin doğru orantılı olarak arttığını ve grafit oranının %7,5 olduğu numunede en yüksek aşınma direnci gösterdiği sonucuna elde etmişlerdir.

Summer ve ark. (2008) yaptığı çalışmada, polieter eter keton reçineye %30 oranında cam elyaf takviyesi yaparak kompozitlerin, kuru ortamda ve sulu ortamdaki aşınma davranışlarını pim disk metoduyla çalışmışlardır. Artan sürtünme katsayısı ve basınçla birlikte aşınma kaybının arttığını, sulu ortamdaki aşınma miktarının kuru ortama göre daha az olduğu ve ayrıca cam elyaf takviyesinin eklenmesinin aşınma direnci kazandırdığı gözlemlenmiştir.

Raju ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, epoksi reçineye cam elyaf takviyesine farklı oranlarda Alümina (Al_2O_3) dolgusuyla elde edilen kompozit numunelerinin pim disk metoduyla değişken yüzey pürüzlüğünde sabit devir ve sabit yük altında farklı kayma mesafelerinde mekanik ve aşındırma durumlarını araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre dolgu olarak alüminanın eklenmesi, gerilme mukavemeti ve modülünü iyileştirdiğini ve dolgu oranının arttıkça aşınma miktarının azaldığı, aşınma kaybının kayma mesafesiyle doğru orantılı olarak arttığı sonucuna varmışlardır.

Pıhtılı (2009) yaptığı çalışmada epoksi ve polyester reçinelere takviye elemanı olarak cam örgü elyafı kullanarak elde edilen kompozitlerin değişken hızlarda (0,39 m/s ve 0,557 m/s)

ve değişken yüklerde (5 N ve 10 N) blok şaft düzeneği kullanarak aşınma davranışlarını incelemiştir. Yük ve hızın aşınma oranıyla doğru orantılı olarak arttığını, Epoksi reçine cam elyaf takviyesinin polyester reçine cam elyaf takviyesine göre mukavemet değerlerinin ve aşınma direncinin daha iyi olduğunu gözlemlemiştir.

Suresha ve ark. (2006) yaptığı çalışmada, matris malzemesi olarak epoksi reçineye karbon elyaf takviyesi yaparak elde edilen kompozit malzemeleri, pim disk metodunu kullanarak değişken yük ve değişken kayma hızında aşınmaya bağlı ağırlık kayıplarını araştırmışlardır. Kompozitlerin aşınma miktarlarının, kayma hızı ve yük ile birlikte doğru orantılı olarak arttığını tespit etmişlerdir.

Zhang ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada takviye elemanları olarak kısa karbon elyaf, Politetrafloroetilen ve nanotitanyumdioksit'e reçine olarak epoksi eklenmesiyle oluşan kompozitler blok bilezik metoduyla aşınma davranışları incelenmiştir. Aşınma dayanımı en yüksek numune tahmin edilebileceği gibi epoksi nano titanyum dioksit numunesinde gerçekleştiğini gözlemlemiştir.

Nasir ve Azizan (2011) yaptığı çalışmada, epoksi reçineye takviye elemanı olarak kırpıntı ve örgü E camı fiber kullanarak elde edilen kompozitlerin farklı hızlarda ve farklı yüklerde pim disk metodu kullanarak adezyon aşınması ve sürtünme davranışlarını incelemiştir. Takviye elemanlarını arasındaki kıyaslama da örgü tip fiberin kırpıntı fiberlere göre aşınma dirençlerinin yüksek olduğunu gözlemlemiştir

Yaşar ve Arslan (2000), yaptıkları çalışmada polyester reçineye takviye elemanı olarak silan kaplamalı sürekli E cam elyafı eklenmesiyle elde edilen numuneler, farklı elyafların hacim oranlarında ve doğrultularda pim disk metoduyla aşınmaya tabi tutularak özellikleri araştırmışlardır. Aşınma dayanımının en yüksek durum, elyafların %15 seviyesinde ve paralel olarak konumlandırılması şeklinde olduğu gözlemlemiştir.

Srivasta ve ark. (1992) yaptığı çalışmada, epoksi matris malzemesinin içine E-cam elyafı takviyesine mika parçacıkları ekleyerek aşınma özelliklerini iyileştirmeye çalışmışlardır. Deneysel gözlemler sonucunda, mika parçacıkların kompozitlerin sertliklerini, basınç dayanımlarını arttırmasına yardımcı olduğu sonucuna varmışlardır.

Chang (1983) yaptığı çalışmada, epoksi reçinesine farklı derecelerdeki grafit elyaf yönlendirmesiyle elde edilen kompozitlerin, aşınma test cihazındaki ortalama aşınma oranlarını

incelemişlerdir. Grafit elyaf yönlendirmesinin 30°C'deki aşınma kaybının en fazla olduğunu gözlemlemiştir.

Kumaresan ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada farklı oranlarda silisyum karbür dolgulu ve dolgusuz olmak üzere reçine olarak epoksi kullanılan kompozit numunelerinde, değişken yüklerde ve hızlarda, sabit kayma mesafelerinde pim disk metoduyla aşınmaya uğratılıp tribolojik özelliklerini ve numunelerin mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Takviye oranının arttıkça aşınma direncini ve mekanik özellikleri arttığını ve ayrıca aşınma miktarının yük ve kayma hızıyla orantılı olduğunu gözlemlemiştir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada granül hammadde olarak alınan termoplastik matrisli (PA66, POM, PE) farklı oranlarda cam elyaf ve cam bilye takviyeli kompozitlerin, akış özellik testleri (HDT, VST) ve mekanik özellik testleri (çekme ve darbe) yapılmıştır. Granül halindeki hammadde plastik enjeksiyon makinesi kullanılarak deney numuneleri olarak plastik burçlar üretilmiştir. Bir otomatik gergi rulmanının aksamı olan plastik burçlar montaj edilerek otomatik gergi rulmanları için özel olarak tasarlanmış bir aşındırma test cihazında aşınmaya tabi tutulmuştur. Aşınmaya uğramış olan deney numunelerinin yüzeyler ters metal mikroskopu kullanılarak incelenmiştir. Aşınan plastik burç elemanının aşınma değerleri ağırlık kaybı metodu kullanılarak hassas terazide ölçülmüştür. Elde edilen aşınma sonuçlarına göre, matris malzemesinin cinsinin, takviye elemanının cinsinin ve takviye elemanının oranının aşınmaya olan etkileri incelenmiştir.

3.1. Testlerde Kullanılan Hammaddeler

Testlerde kullanılan granül halindeki hammaddeler ‘Eurotec Mühendislik Plastikleri’ firmasından kompozit granül (PA 66 %15 cam elyaf, PA 66 %15 cam bilye, POM %15 cam elyaf, POM %15 cam bilye, YYPE %15 cam elyaf, YYPE % 15 cam bilye ve katkısız PA 66, POM, YYPE) şeklinde temin edilmiştir. Granül halinde alınan plastik hammaddelere sırasıyla yoğunluk, nem, erime sıcaklığı, ısı deformasyon sıcaklığı, Vicat yumuşama sıcaklığı testleri uygulanmıştır. Granül halindeki hammaddelerden elde edilen çekme ve darbe deney numuneleri kullanılarak çekme ve darbe deneyleri yapılmıştır.

Granül halinde alınan hammaddelerden plastik enjeksiyon makinesi kullanılarak aşınma davranışını incelediğimiz nihai ürün olan kompozit burç elemanı elde edilmiştir. Elde edilen kompozit burç elemanı, gergi rulmanının diğer elemanlarıyla montaj edilerek aşınma testi için hazır hale getirilmiş ve aşınma testleri yapılmıştır.

-Poliamid 66 (PA66)

-Polioksimetilen (POM)

-Yüksek Yoğunluklu Polietilen (YYPE)

- Cam Elyaf (CE)

- Cam Bilye (CB)

3.2.Uygulanan Testler

Yoğunluk Testi

Granül halinde alınan plastik hammaddenin yoğunluğu belli olan bir sıvı yardımıyla ilk olarak havada sonra da sıvının içinde, hassas terazi kullanılarak ölçüm yapılarak kütleler oranlanmasıyla yapılan ölçüm metodudur. Deneyle ISO 1183 standardına uygun olarak yapılarak hammaddelerin yoğunlukları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Nem Testi

Nem testinin amacı plastik hammaddenin içinde bulunan nem miktarının ölçülmesidir. Granül halindeki hammaddenin kurutulmasıyla ağırlık kaybı meydana gelir. Bu ağırlık kaybindan yararlanılarak nem testi uygulanmış olur. Deneyle ISO 62 standardı esas alınarak yapılarak hammaddelerin içinde bulunan nem miktarları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Akış Testleri

Erime Sıcaklığı Testi

Plastik malzemenin erimeye başladığı sıcaklığın tayin edildiği test metodudur. Granül halindeki hammadde kullanılarak gerçekleştirilir. Test ISO 11357 standardına göre yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Isı Deformasyon Sıcaklığı (HDT) Testi

Plastik malzemelerin çalışma esnasında dayanabilecekleri maksimum sıcaklıklarının belirlenmesi için yapılan teste denilir. Numunenin ISO 75 standardına göre 0.45 MPa altında oluşturduğu deformasyonu ölçülür. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Vicat Yumuşama Sıcaklığı (VST) Testi

Plastik bir numunenin ISO 306 standardına göre 50 N kuvvet uygulandığı durumda 1 mm²'lik kesit sahip olan iğnenin 1 mm derinliğe batabildiği sıcaklık değeridir. Birimi °C'dir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Mekanik Testler

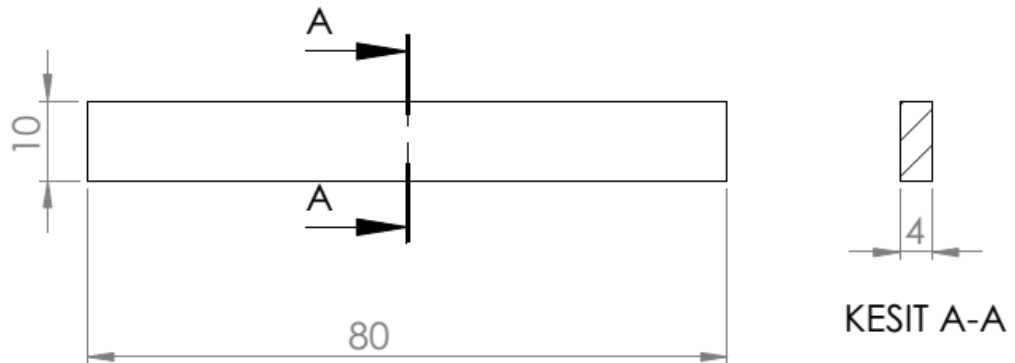
Mekanik testler için hazırlanan deney numunelerine ISO 180 standardına göre çentikli izod darbe deneyi, çentiksiz izod darbe deneyi, ISO 527 standardına göre çekme deneyi uygulanmıştır. Uygulanan deneyler 5'er numuneye tekrar edilmiştir. Deneyler oda sıcaklığında uygulanmıştır.

Darbe testi

Malzemelerin yüksek hızlı bir kuvvet etkisi altında iken karakteristik özelliklerini inceleyen test yöntemidir. Darbe deneyinde amaç, malzemenin yüksek hızlı bir yük uygulandığı durumdaki malzemedeki oluşan enerji emilimini gözlemlemektir. Çentikli darbe deneyi ve çentiksiz darbe deneyi olmak üzere iki tip darbe deneyi vardır.

Çentiksiz İzod Darbe Deneyi

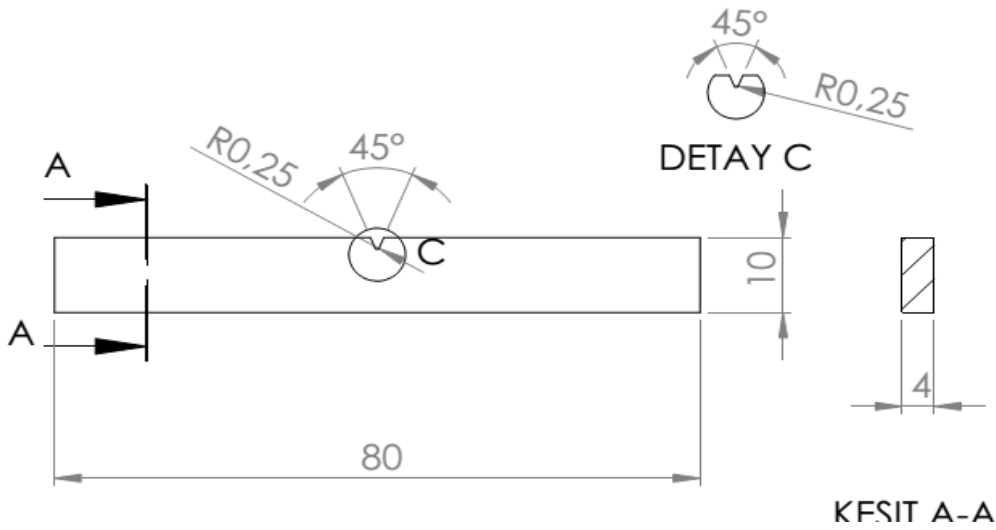
Bu deney sabitlenmiş bir malzemeye salınım yapan bir çekiç tarafından darbe uygulanması ve bunun sonucunda malzemenin kırılma enerjisinin ölçüldüğü test metodudur. Burada amaç malzemenin kırılmaya başladığı ve kırıldığı anlardaki gerekli kinetik enerjiyi ölçmektir. Salınım yapan çekiç yüksek bir mesafeden bırakılarak hızlanması sağlanır ve malzemeye ait darbe özellikleriyle birlikte rijitliği de belirlenmiş olur. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Çentiksiz izod darbe deneyi numunesi

Çentikli İzod Darbe Deneyi

Malzemenin iç yapısında hâlihazırda olan bir gerilim birikmesi vardır. Sabitlenen malzemenin çekicinin darbe uygulaması sırasında çentik alanında oluşan deformasyona karşı malzemenin sergilediği davranışın ölçüldüğü deney yöntemidir. Deney numuneleri ISO 180/1A standardına göre hazırlanmış olup deney 5'er kez tekrarlanmıştır. Numuneler -30°C ve +23°C sıcaklıklarda yapılmıştır. Farklı oranlarda cam elyaf ve cam bilye takviyeli olan poliamid, polioksimetilen ve polietilenin kırılma enerjileri çentikli darbe deneyi metoduyla ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Çentikli darbe deneyi numunesi

Dikdörtgen bir şekle sahip deney numunesi cihazın iki çenesine yerleştirilerek sabitlenir. Deney yapılacak olan numunenin ve malzemesine ve ölçülerine uygun bir çekiç, darbe enerjisi ayarlanarak gerekli yüksekliğe getirilir. Serbest bırakılan çekiç numuneye yüksekliğin etkisiyle numuneye çarpmış olur. Eğer numune kırılmamışsa, uygun bir çekiç seçilir veya çekicinin bırakıldığı yükseklik artırılır.

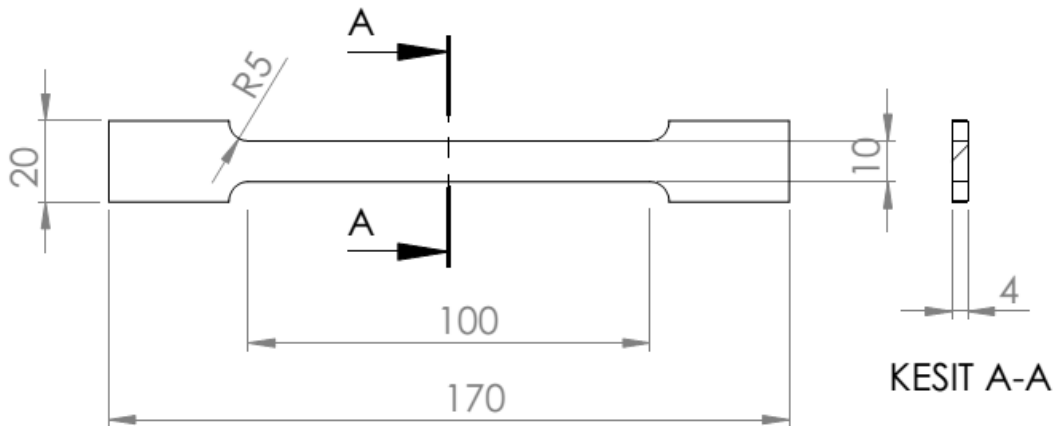
Darbe deneyi testi için LIYI marka LY-XJ model darbe test cihazı kullanılmıştır. Testler için deney numuneleri ISO 180 standardında belirtildiği gibi 80x10x4 mm şeklindedir. Deneyler İzod metodu esas alınarak dikey biçimde yerleştirilmiştir. Kullanılan numuneye uygun olarak darbe enerjisi ve çekiç yüksekliği seçilerek deney her farklı numune için 5'er kez tekrarlanmıştır. Numuneler -30°C ve +23°C sıcaklıklarda yapılmıştır. ISO 180 darbe dayanımı testi sonuçları birim olarak kJ/m²cinsindedir. Darbe dayanımı, darbe enerjisinin (J) darbe bölgesinin alanına (m²) oranı olarak ifade edilir.



Şekil 3.3. Darbe deneylerinin yapıldığı test cihazı

Çekme Deneyi

Çekme deneyinde çekme cihazının iki çenesinin arasına dik olarak sabitlenmiş deney numunesi, hızı sabit olacak şekilde malzeme kopana çekilerek malzemenin gerilmesi ve uzaması ölçülür. Deney sayesinde malzemelerin elastik ve plastik karakteristikleri incelenmiş olur. Çekme deneyleri Testform marka AS50 model test cihazında yapılmıştır. Deney numunesi ISO 527 standardına göre hazırlanmış ve deneyler 5'er kez tekrarlanmıştır. Deney numuneleri olan farklı oranlarda cam elyaf ve cam bilye takviyeli olan poliamid, polioksümetilen ve polietilenin uzama miktarları farklı olduğu farklı çeneler kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre çekme mukavemeti, kopmadaki birim uzama (% cinsinden), Elastisite Modülü, akma dayanımı değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3.'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Çekme deney numunesi



Şekil 3.1. Çekme deneylerinin yapıldığı test cihazı

Plastik Enjeksiyon Yöntemi

Plastik enjeksiyon yöntemi, plastik hammaddenin sıcak bir şekilde (ergiyik) nihai ürünün şekli olan bir boşluğa akıtılması işlemidir. Bu yöntem sayesinde son yüzey işlemleri minimum düzeye iner. Bu yöntem seri üretim için de oldukça elverişlidir.

Otomatik gergi rulmanının bir aksamı olan plastik burç malzemesinin kalıpları Haitan marka Htf 250 X model plastik enjeksiyon makinesine bağlanmıştır. Şartlandırıcı yardımıyla kalıp gereken hammaddenin sıcaklığına getirilmiştir. Daha önceden 5 kg olarak hazırlanan granül halindeki hammaddeler içinde nem kalmaması için proses sıcaklığına göre fırınlanmıştır. Fırınlanan hammadde plastik enjeksiyon makinesinin haznesine doldurulmuştur. Plastik enjeksiyon makinesin hammaddeye özel olan sıcaklık ve basınç ayarları yapılmıştır. Deney numuneleri kontrollü olarak basıldıktan sonra gergi rulmanı olarak montaja hazır hale gelmiştir.



Şekil 3.2. Deney numunelerin basıldığı plastik enjeksiyon makinesi

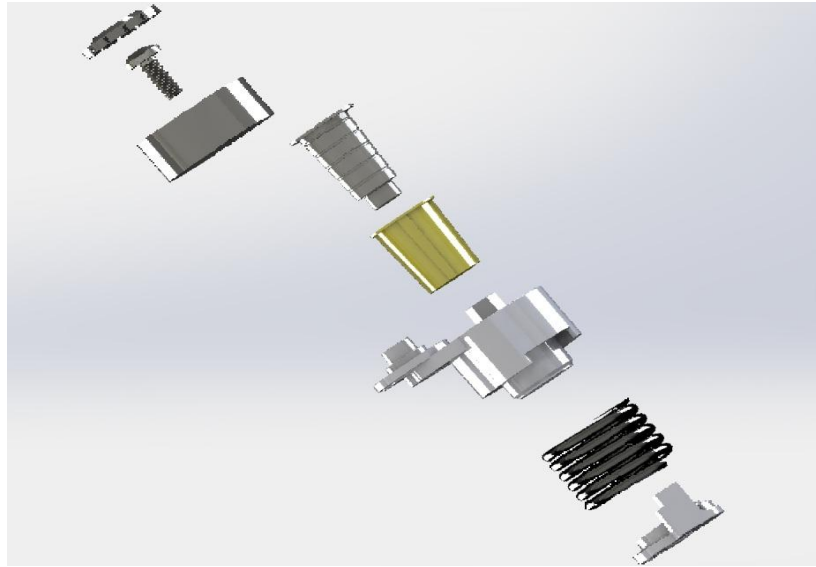
Hammaddelerin plastik enjeksiyon makinesinde üretilebilmesi için proses şartları Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Hammaddelerin proses şartları

Test Numunesi	Fırınlama	Proses Sıcaklığı	Kalıp Sıcaklığı	Enjeksiyon Basıncı	Enjeksiyon Hızı
PA6.6	80°C	270-290 °C	50-90°C	50-100MPa	Orta-Hızlı
PA6.6%15 CB	80°C	270-290 °C	70-110°C	50-100MPa	Hızlı
PA6.6%15 CE	80°C	270-290°C	70-110°C	50-100MPa	Hızlı
POM	100°C	170-210°C	60-80°C	80-100MPa	Orta-Hızlı
POM %15 CB	80°C	200-220°C	80-100°C	40-80MPa	Orta-Hızlı
POM %15 CE	80°C	200-22°C	80-100°C	40-80MPa	Orta-Hızlı
YYPE	-	180-210 °C	20-40 °C	40-80MPa	Düşük-Orta
YYPE%15 CB	-	180-210°C	20-40°C	40-80MPa	Düşük-Orta
YYPE% 15 CE	-	180-210°C	20-40°C	40-80MPa	Düşük-Orta

Deneylerde Kullanılan Otomatik Gergi Rulmanı

Plastik enjeksiyon makinesinde deneyler için basılmış olan plastik burç aksamı, otomatik gergi rulmanının diğer aksamlarıyla birleştirilerek montaj edilmiştir. Montaj edilen otomatik gergi rulmanı aşındırma test cihazında test edebilmek için uygun hale gelmiştir. Otomatik gergi rulmanı alüminyum üst gergi kütüğü, alüminyum alt gergi kütüğü, metal burç, aşınması inceleyeceğimiz parça olan plastik burç, yay, gergi kasnağı, cıvata ve üst koruma kapağından oluşmaktadır.

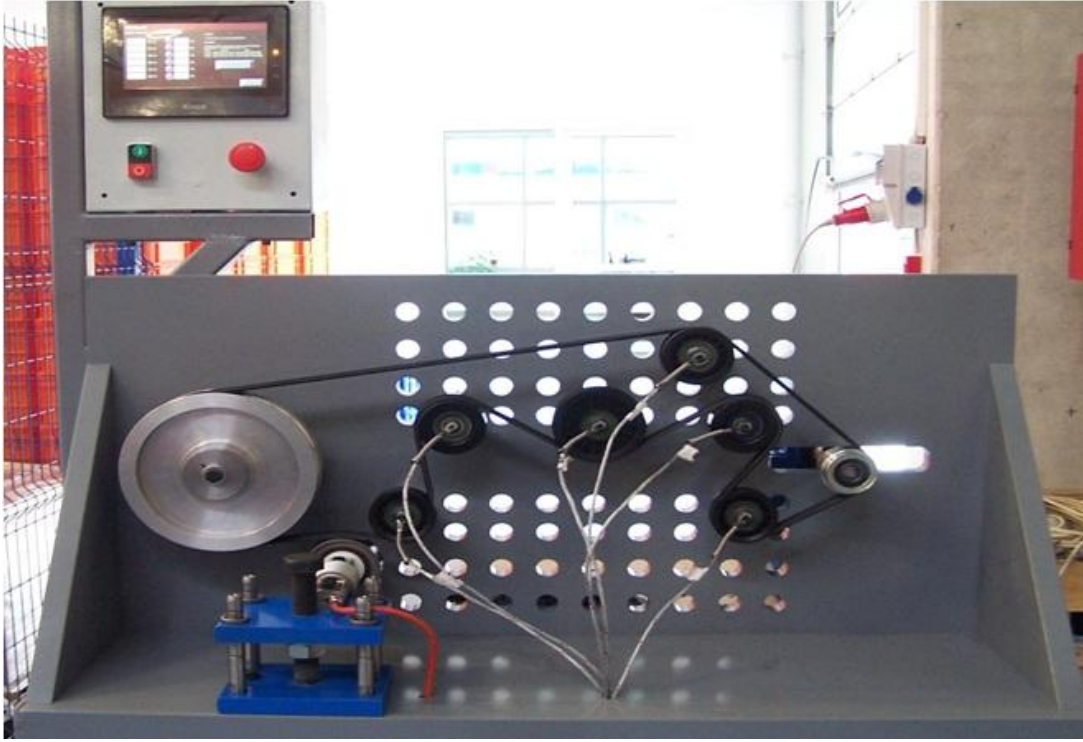


Şekil 3.3. Deneylerde kullanılan gergi rulmanının parçaları

3.3.Aşındırma Test Cihazı

Deneyler için üretilen plastik burç malzemesi otomatik gergi rulmanının diğer aksamlarıyla birleştirilerek montaj edilmiştir ve aşındırma test cihazına takılmaya hazır hale gelmiştir.

Deneylerde kullanılan aşındırma test cihazı gergi rulmanlarının ömür testleri yapmak için kullanılmaktadır. Test cihazı sabit bir plakanın üzerinde monte edilmiş kayış kasnak mekanizmalarından oluşmaktadır. Kasnaklara uygulanan kuvveti ölçmek için test makinesinde yük hücresi (load cell) cihazı vardır. Test cihazı üzerindeki elektronik ekranı sayesinde devirler ve uygulandıkları süreler kontrol edilmektedir.



Şekil 3.8. Deneylerin yapıldığı aşındırma test cihazı

Aşındırma test cihazında kullanılan test prosedürü Çizelge 3.2.'de gösterildiği gibi uygulanmıştır. Gergi kasnağı sabitlenerek test makinesine bağlanmıştır. Test Numuneleri değişken devirlerde farklı süreler uygulanarak ve her numune 1 ay boyunca aralıksız olarak test edilmiştir. Testler her numune için 3'er defa tekrarlanmıştır. Test düzeneğinin ortalama hızı 90 km/saat'tir. Aşınma sonucunda devire bağlı sıcaklık değerleri tespit edilmiştir. Şekil 3.9.'da test makinesinin girilen test şartları görülmektedir.

Çizelge 3.2. Deney numunelerine uygulanan test koşulları

DEVİR (rpm)	300	250	400	700	350	280
SÜRE (Sn)	5	5	20	5	5	20



Şekil 3.9. Test makinesine girilen test şartları

Aşınmaya uğrayan plastik burç malzemelerinin aşınma miktarları ağırlık kaybı metoduyla ölçülmüştür. Ayrıca aşınma davranışlarını daha iyi anlayabilmek için plastik burcun karşılıklı çalıştığı metal burç aksamının da aşınmadan önce ve sonraki ağırlık kayıpları da ölçülmüştür. Numuneler aşınma deneyine tabi tutulmadan önce 0,0001 hassasiyetli tartı aletinde ağırlıkları ölçülmüştür. Hassas tartı Şekil 3.10.'da gösterilmiştir. Aşınma deneyine tabi tutulan numuneler alkol ile yüzeyleri temizlendikten ve kurutulduktan sonra tekrar hassas terazi ile ölçümleri yapılmış ve aşınma miktarları ağırlık olarak bulunmuştur.

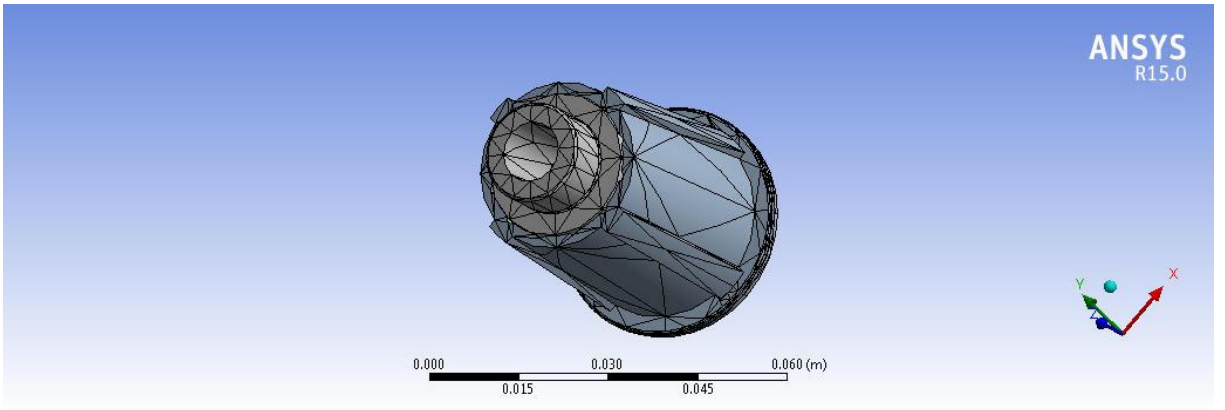


Şekil 3.10. Deney numunelerinin ölçüldüğü hassas terazi

3.4. Modelleme

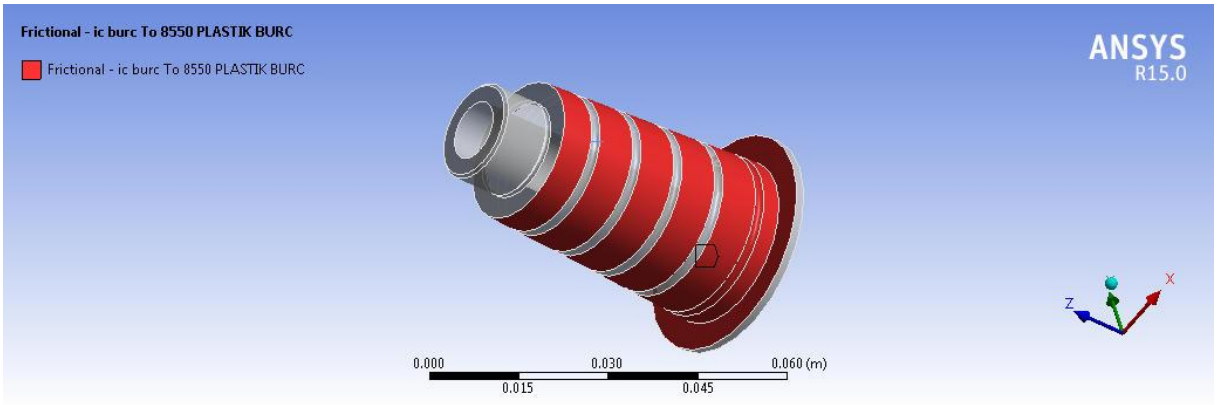
Bu bölümde test numunelerini ve metal burçları modelleyebilmek için ticari kodlu bir yazılım kullanılmıştır. İlk önce test numunesinin ve burcun üç boyutlu katı modeli çizilmiştir. Daha sonra belirli bağlantı noktaları belirlenip test numunesine ve metal burca mesh atılmıştır. Sınır koşulları girildikten sonra sonuç olarak toplam deformasyon ve eşdeğer gerilmeler elde edilmiştir.

Düğüm sayısı 6747, eleman sayısı 3707 mesh sayılarına sahip test numunesi ve metal burç Şekil 3.11’de gösterilmiştir.



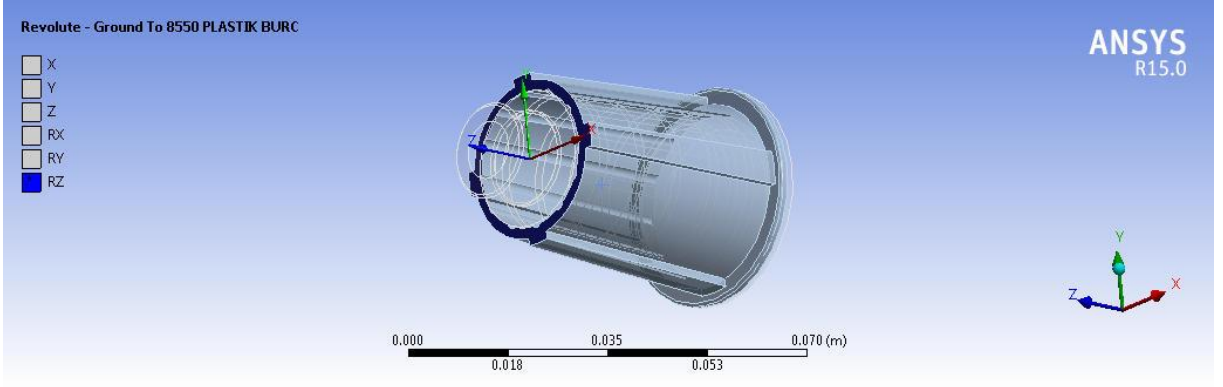
Şekil 3.11. Test numunesinin ve metal burcun mesh atılmış hali

Analizde kullanılan temas noktası Şekil 3.12’ de gösterildiği gibidir. Bu temas noktasında sürtünme verilmiştir. Sürtünme katsayısı 0.2 olarak alınmıştır.



Şekil 3.12. Sürtünme temas noktası

Analiz yapabilmek için Şekil 3.13’te gösterildiği gibi döner mafsalsal bağlantısı belirlenmiştir.



Şekil 3.13. Döner mafsal bağlantısı

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Akış Testleri Sonuçları

Granül halinde alınan plastik hammaddelerin, ısı deformasyon sıcaklığı testleri, Vicat yumuşama sıcaklığı testleri yapılmış olup elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Numunelere uygulanan testlerin sonuçları

Test Numunesi	Yoğunluk	Nem	Erime Sıcaklığı	Isı Deformasyon Sıcaklığı (HDT)	Vicat Yumuşama Sıcaklığı (VST)
Şartlar		% 50 RH, 23 °C	10 K/min	0.45 MPa	50N
Standart	ISO 1183	ISO 62	ISO 11357	ISO 75	ISO 306
PA66	1,14 g/cm ³	%2,7	262 °C	210°C	-
PA66%15 CB	1,20 g/cm ³	%1,9	262 °C	-	-
PA66%15 CE	1,23 g/cm ³	%2,3	262 °C	250 °C	250°C
POM	1,32 g/cm ³	%0,2	165°C	-	-
POM %15 CB	1,45 g/cm ³	-	165°C	-	-
POM %15 CE	1,47 g/cm ³	%0,2	165°C	-	-
YYPE	0,96 g/cm ³	-	130°C	-	-
YYPE%15 CB	1,05 g/cm ³	-	130°C	-	-
YYPE% 15 CE	1,05 g/cm ³	-	130°C	-	-

4.2. Mekanik Testlerin Sonuçları

Hammaddelerden basılmış olan darbe numuneleriyle ISO 180 standardına göre yapılan çentikli izod darbe deneyi ve çentiksiz izod darbe deneyi sonuçları Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Numunelerin darbe testlerinde elde edilen mekanik özellikleri

Test Numunesi	Çentikli İzod Darbe Mukavemeti	Çentikli İzod Darbe Mukavemeti	Çentiksiz İzod Darbe Mukavemeti	Çentiksiz İzod Darbe Mukavemeti
Şartlar	+23°C	-30°C	+23°C	-30°C
Standart	ISO 180/1A	ISO 180/1A	ISO 180/1U	ISO 180/1U
PA66	5kJ/m ²	4kJ/m ²	NBkJ/m ²	NBkJ/m ²
PA66%15 CB	4kJ/m ²	3kJ/m ²	-	-
PA66%15 CE	7kJ/m ²	6kJ/m ²	50kJ/m ²	45kJ/m ²
POM	16kJ/m ²	14kJ/m ²	-	-
POM %15 CB	5kJ/m ²	-	-	-
POM %15 CE	6kJ/m ²	5kJ/m ²	-	-
YYPE	3kJ/m ²	-	-	-
YYPE%15 CB	4kJ/m ²	-	-	-
YYPE%15 CE	7kJ/m ²	6kJ/m ²	-	-

Hammaddelerden basılmış olan çekme deneyi numuneleriyle ISO 527 standardına göre yapılan çekme deneyi sonuçları Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Çekme deneyi sonucunda elde edilen mekanik özellikleri

Test Numunesi	Çekme mukavemeti	Kopmadaki Uzama	Elastisite Modülü	Akma Dayanımı	Standart	Sıcaklık
PA66	-	-	3200MPa	85MPa	ISO 527	+23°C
PA66%15 CB	80MPa	-	4250MPa	-	ISO 527	+23°C
PA66%15 CE	130MPa	%3	6250MPa	-	ISO 527	+23°C
POM	-	-	1100MPa	50MPa	ISO 527	+23°C
POM %15 CB	50Mpa	%12	2500MPa	-	ISO 527	+23°C
POM %15 CE	90MPa	%4	4500MPa	-	ISO 527	+23°C
YYPE	20MPa	%2,0	800Mpa	-	ISO 527	+23°C
YYPE% 15 CB	25MPa	-	1000MPa	-	ISO 527	+23°C
YYPE% 15 CE	45MPa	%2,1	3250MPa	-	ISO 527	+23°C

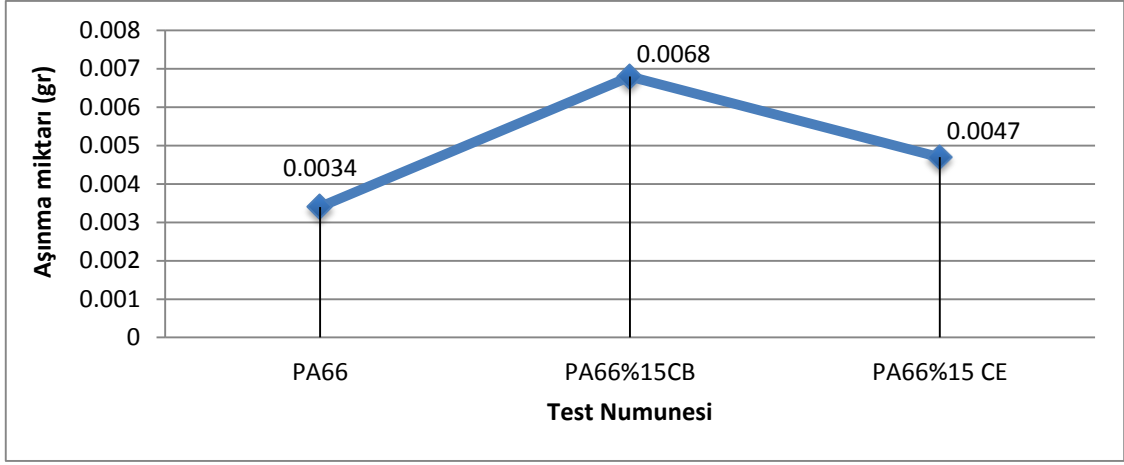
4.3. Numunelerin Ağırlık Ölçümleri

Aşınma testlerine tabi tutulan numunelerin ağırlık farkları ve ayrıca plastik burç malzemesinin birlikte çalıştığı aşınma çiftinden diğeri olan metal burcun ağırlık farkları Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

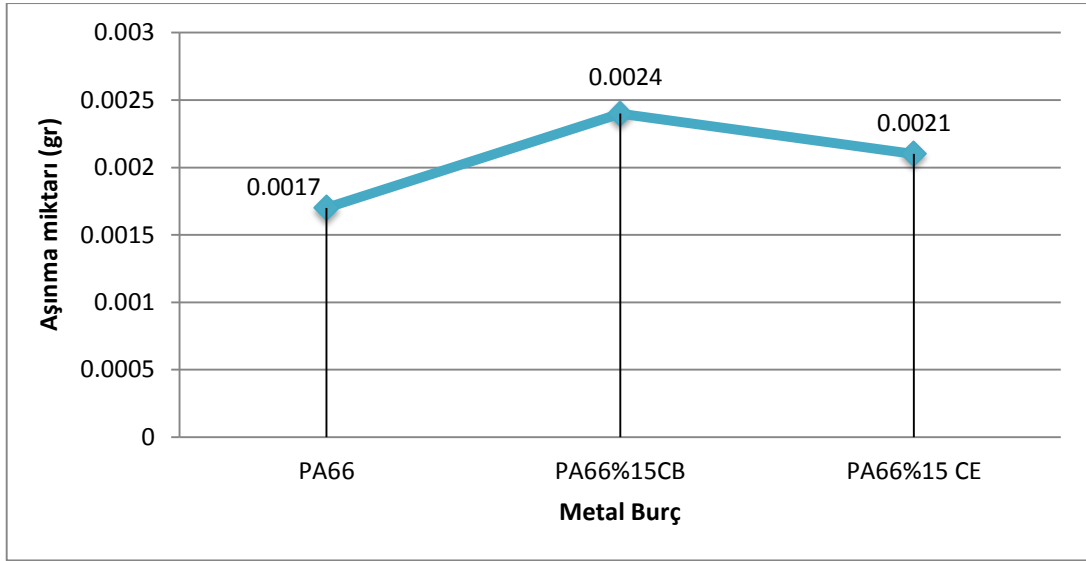
Çizelge 4.4. Numunelerin ve metal burçların ağırlık ölçümleri

TEST NUMUNESİ	İLK AĞIRLIK (gr)	SON AĞIRLIK (gr)	FARK (gr)	METAL BURCUN İLK AĞIRLIĞI (gr)	METAL BURÇUN SON AĞIRLIĞI (gr)	FARK (gr)
PA66	10,9007	10,897	0,0034	158,5399	158,5382	0,0017
PA66%15CB	11,4544	11,4416	0,0068	158,3217	158,3193	0,0024
PA66%15 CE	11,7800	11,7753	0,0047	158,4958	158,4937	0,0021
POM	13,5495	13,4046	0,0849	158,3853	158,3481	0,0372
POM %15 CB	13,8887	13,8648	0,0239	158,5967	158,5896	0,0192
POM %15 CE	13,6561	13,5994	0,0567	158,6066	158,5947	0,0119
YYPE	8,6449	8,6373	0,0076	158,5178	158,5166	0,0012
YYPE%15 CB	9,5045	9,4852	0,0153	158,5666	158,3193	0,0015
YYPE%15 CE	9,569	9,5554	0,0136	158,6688	158,6541	0,0013

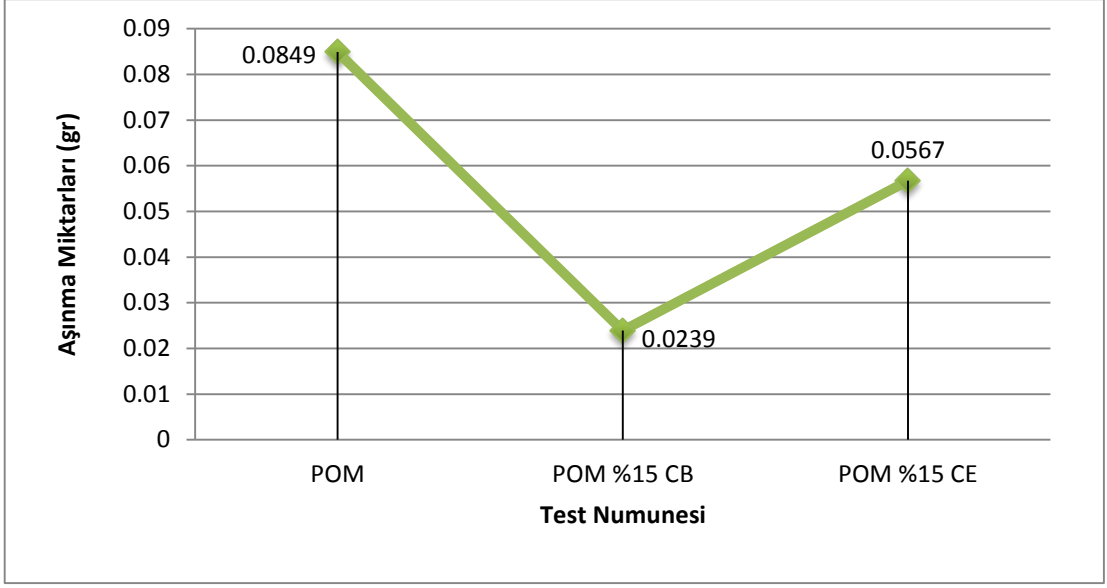
Çizelge 4.4.'ten yararlanılarak test numunelerinin ve metal burçların aşınma miktarlarını gösteren ağırlık grafikleri oluşturulmuştur. Grafiklerde öncelikle plastik burç malzemeleri kendi türleri arasında sınıflandırılmıştır. Sonra metal burçlar aynı tür malzemelerle sınıflandırılmıştır. En son olarak da bütün malzemeler için plastik burç ve metal burcun aşınma miktarları gösterilmiştir. Grafikler aşağıda gösterildiği gibidir.



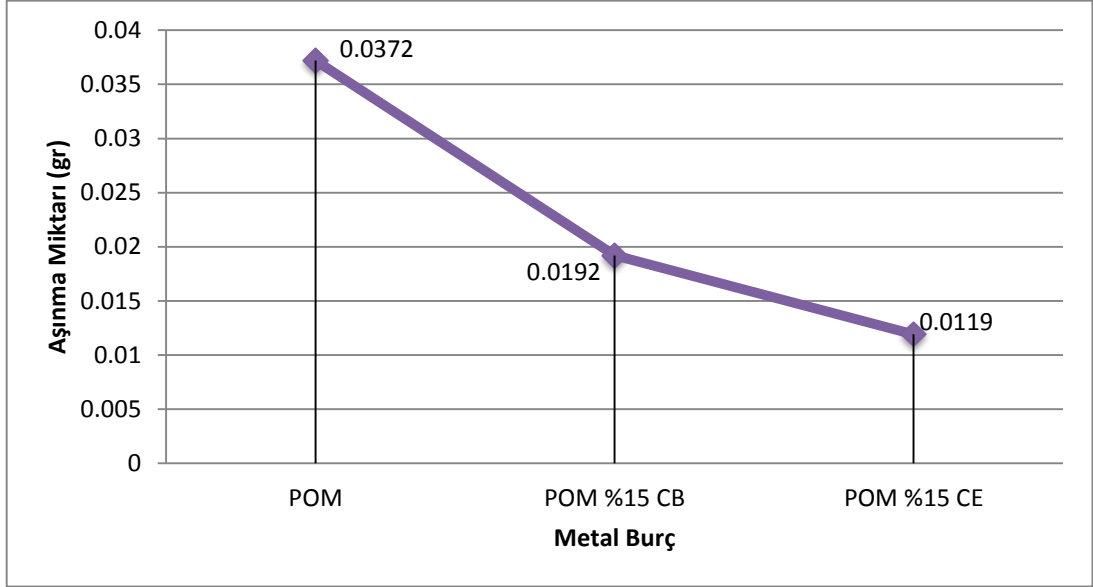
Şekil 4.1. Katkılı ve katkısız PA66 numunelerin aşınma miktarları



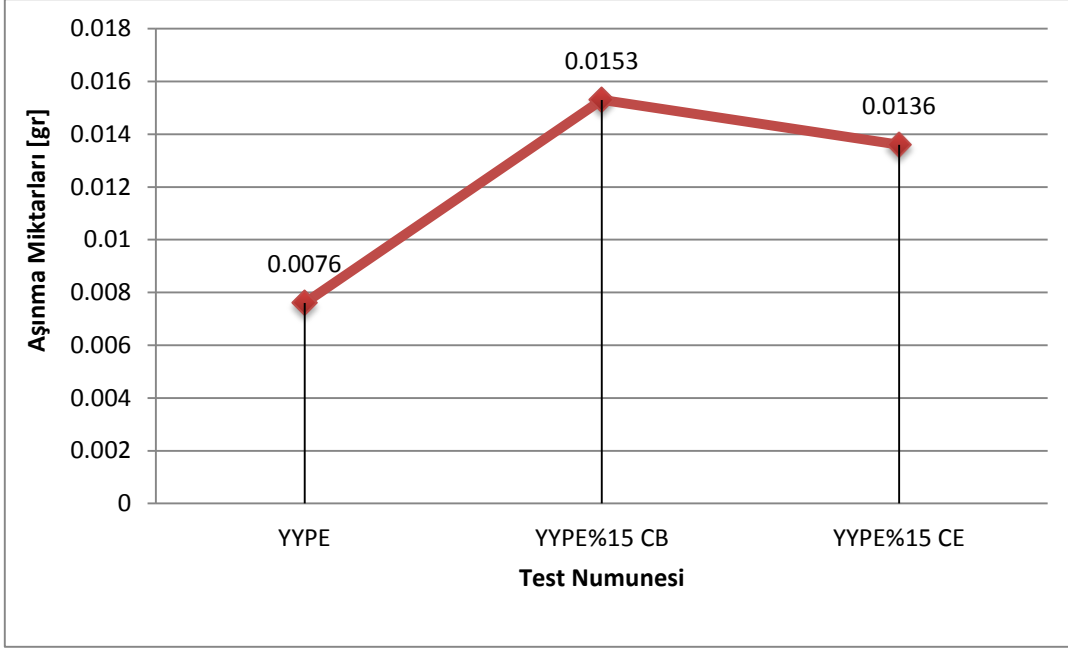
Şekil 4.1. PA66 numunelerine karşı çalışmış metal burçların aşınma miktarları



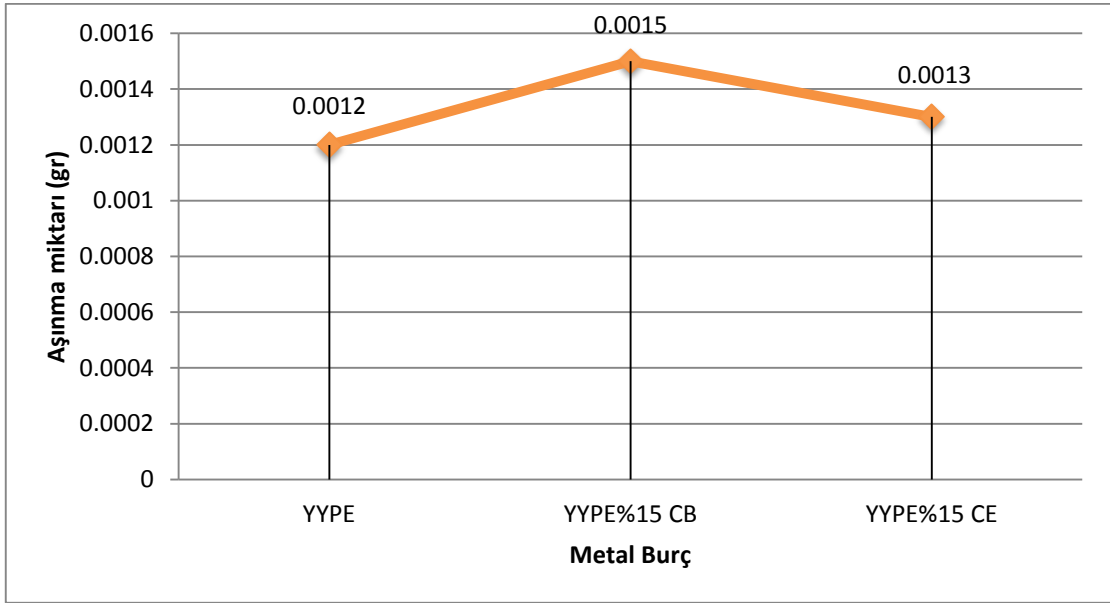
Şekil 4.2. Katkılı ve katkısız POM numunelerinin aşınma miktarları



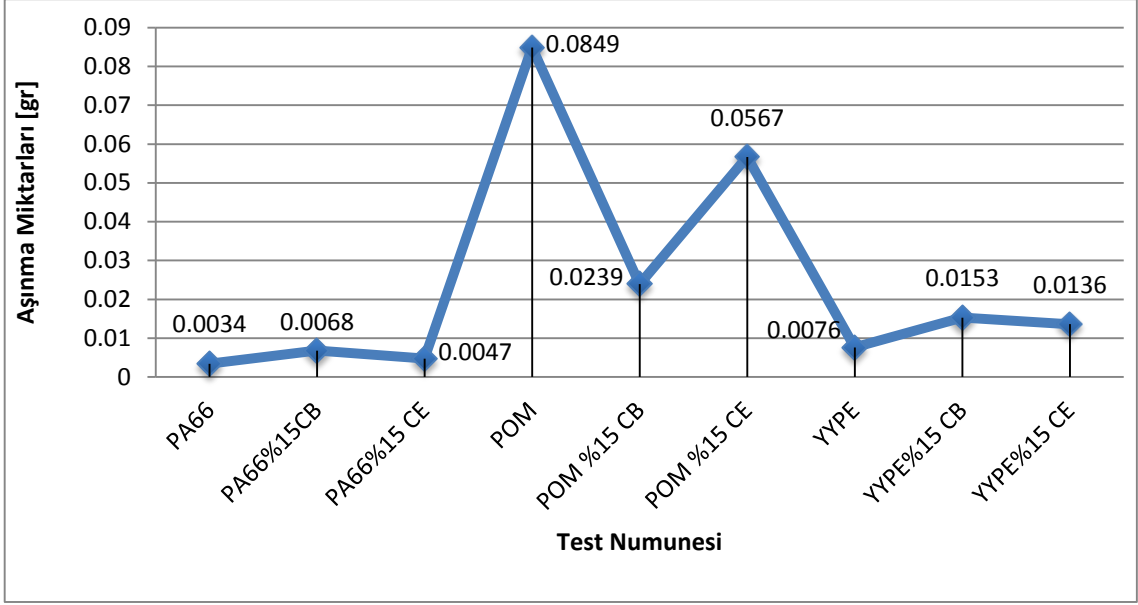
Şekil 4.3. POM numunelerine karşı çalışmış metal burçların aşınma miktarları



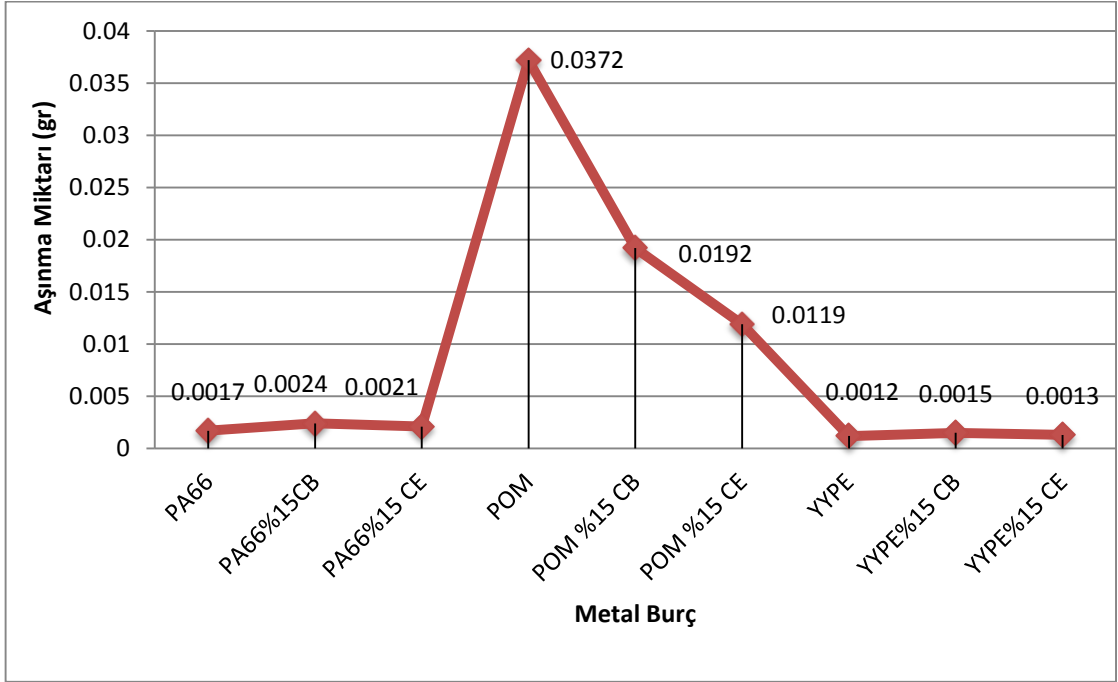
Şekil 4.5. Katkılı ve katkısız PE numunelerinin aşınma miktarları



Şekil 4.6. PE numunelerine karşı çalışmış metal burçların aşınma miktarları



Şekil 4.7. Test numunelerinin aşınma miktarları



Şekil 4.8. Test numunelerine karşı çalışmış metal burçların aşınma miktarları

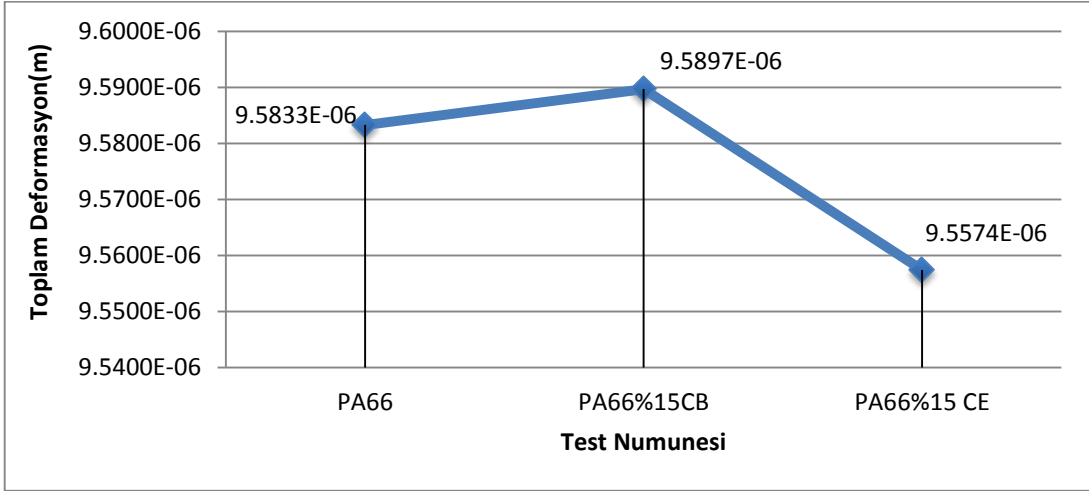
4.4. Analiz Sonuçları

Bu çalışmada üretilen kompozit burçların ve kompozit burçların birlikte çalıştığı metal burçların Ansys analiz programı kullanılarak analizleri yapılmıştır. Deneysel sonuçlar ile analiz sonuçları kıyaslanmış ve aralarındaki ilişki incelenmiştir.

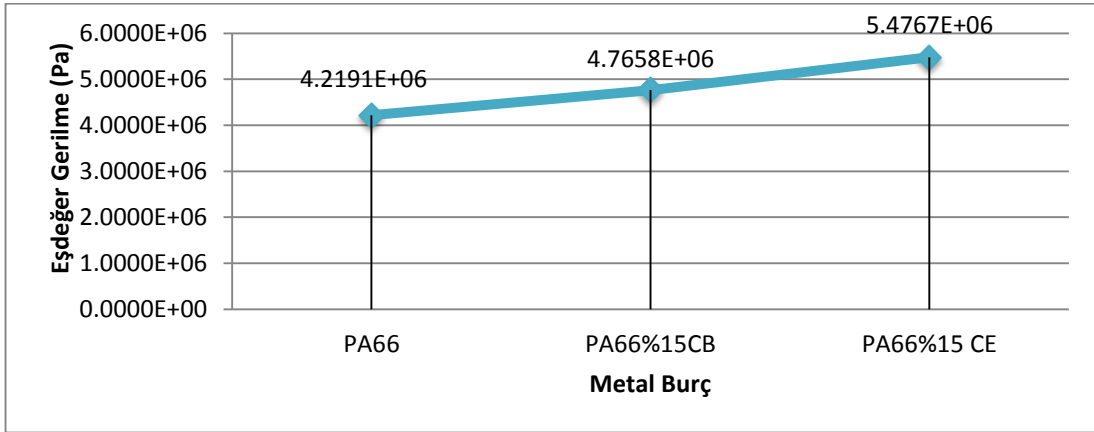
Çizelge 4.5. Numunelerin ve metal burçların analiz sonuçları

TEST NUMUNESİ	NUMUNELERİN TOPLAM DEFORMASYONU (m)	METAL BURCUN EŞDEĞER GERİLMESİ (Pa)
PA66	9,5833E-06	4,2191E+06
PA66%15CB	9,5897E-06	4,7658E+06
PA66%15 CE	9,5574E-06	5,4767E+06
POM	9,5896E-06	4,8759E+06
POM %15 CB	9,4931E-06	6,1167E+06
POM %15 CE	9,4479E-06	7,0521E+06
YYPE	9,7303E-06	1,4541E+06
YYPE%15 CB	9,7725E-06	1,7171E+06
YYPE%15 CE	9,6868E-06	3,3140E+06

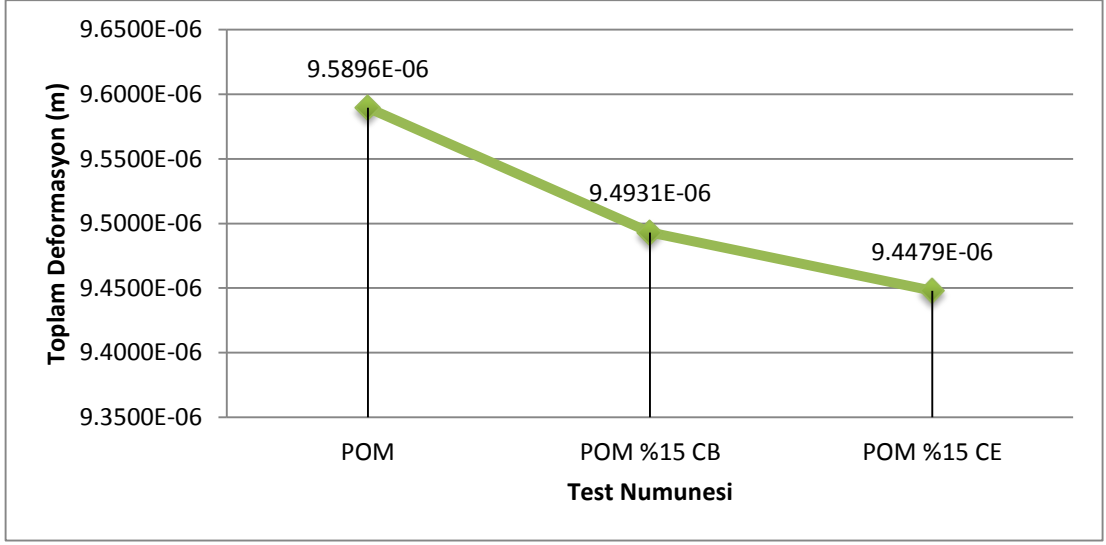
Çizelge 4.5.'ten yararlanılarak kompozit test numunelerinin ve metal burçlarının analizlerinden çıkan sonuçlar için grafikler oluşturulmuştur. Grafiklerde öncelikle plastik burç malzemeleri kendi türleri arasında sınıflandırılmıştır. Sonra metal burçlar aynı tür malzemelerle sınıflandırılmıştır. En son olarak da bütün malzemeler için kompozit burçlar ve metal burçlar olarak gösterilmiştir. Grafikler aşağıda gösterildiği gibidir.



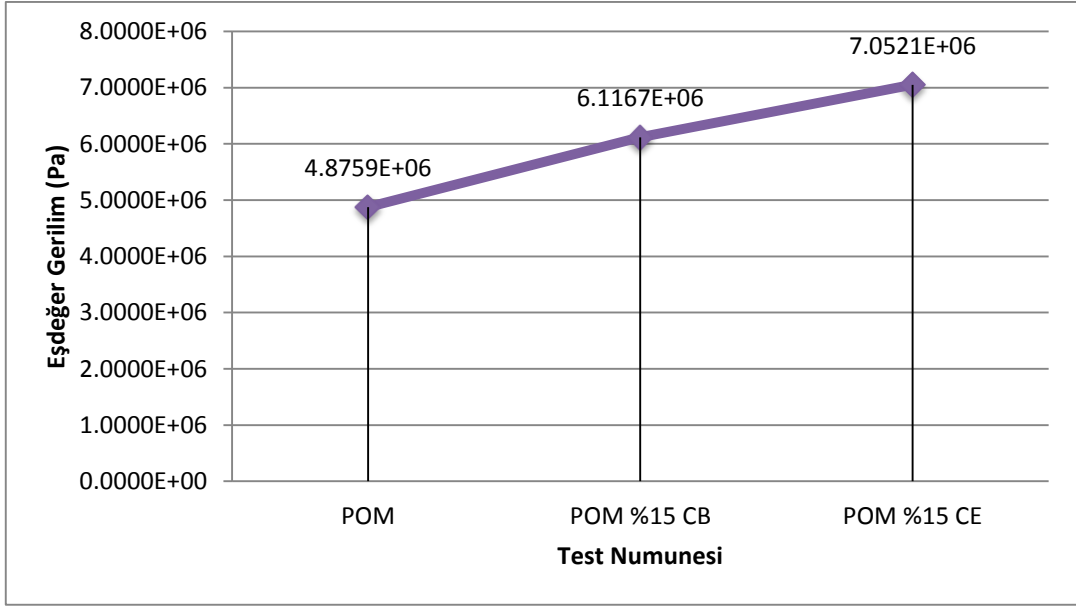
Şekil 4.9. Katkılı ve katkısız PA66 numunelerin analiz sonuçları



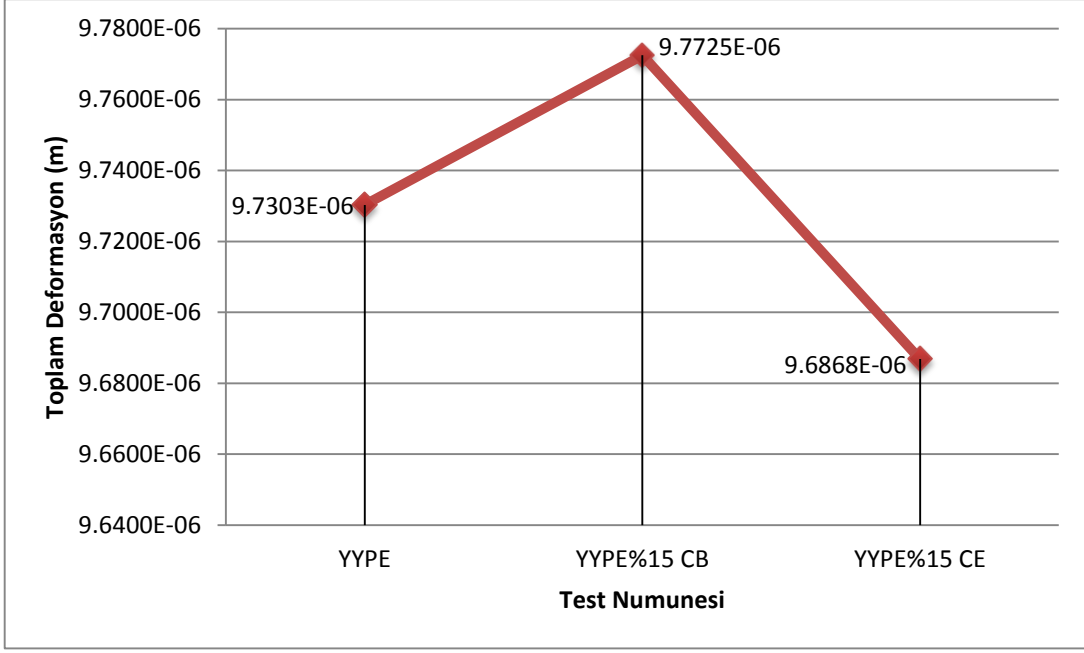
Şekil 4.10. PA66 numunelerine karşı çalışmış metal burçların analiz sonuçları



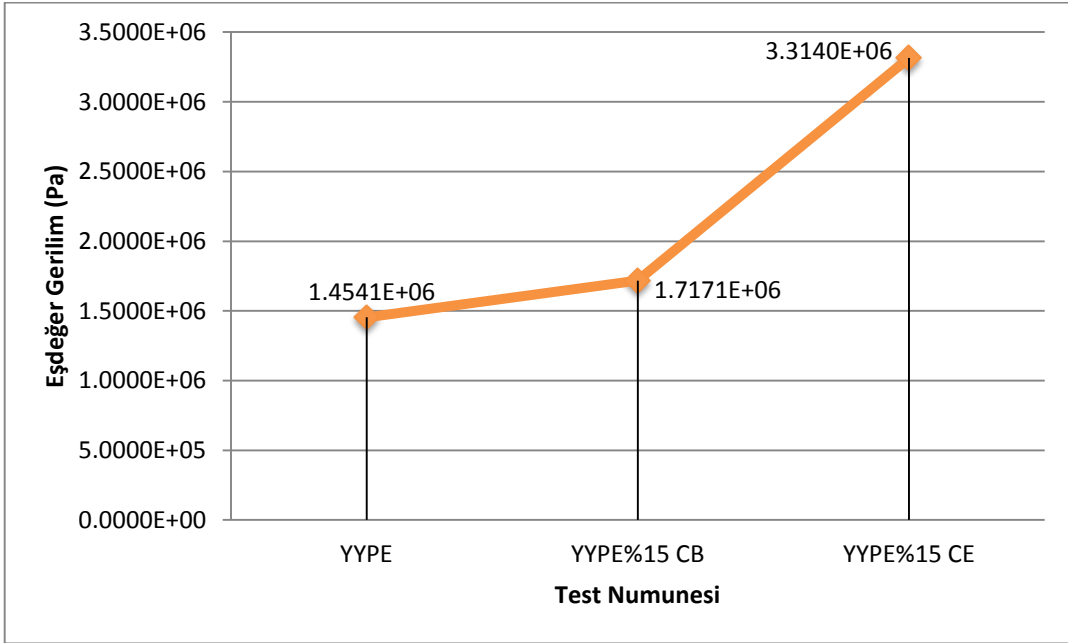
Şekil 4.11. Katkılı ve katkısız POM numunelerin analiz sonuçları



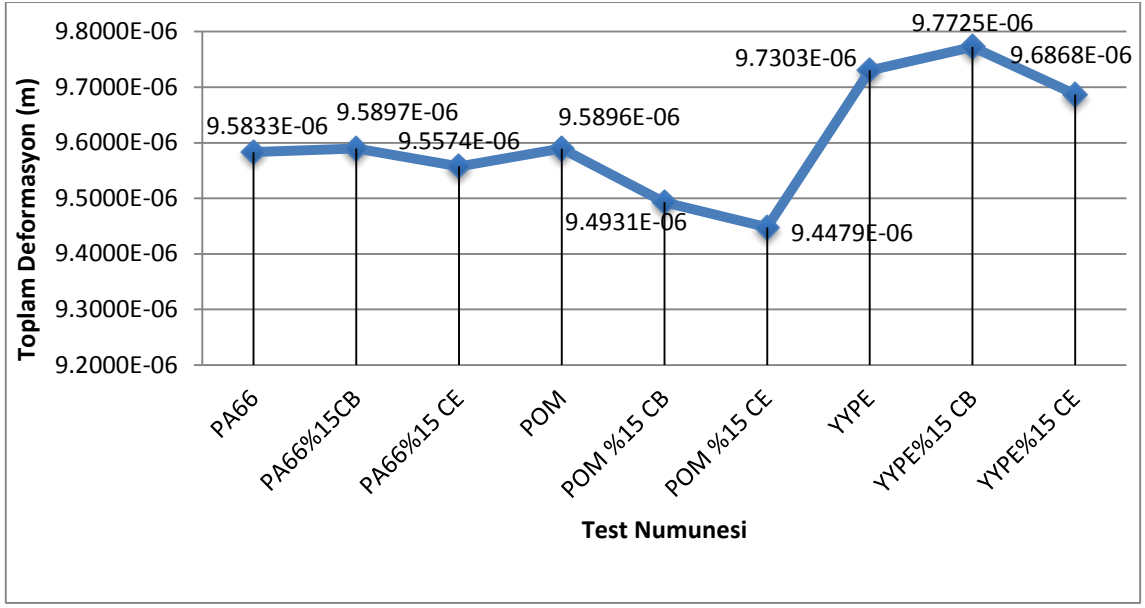
Şekil 4.12. POM numunelerine karşı çalışmış metal burçların analiz sonuçları



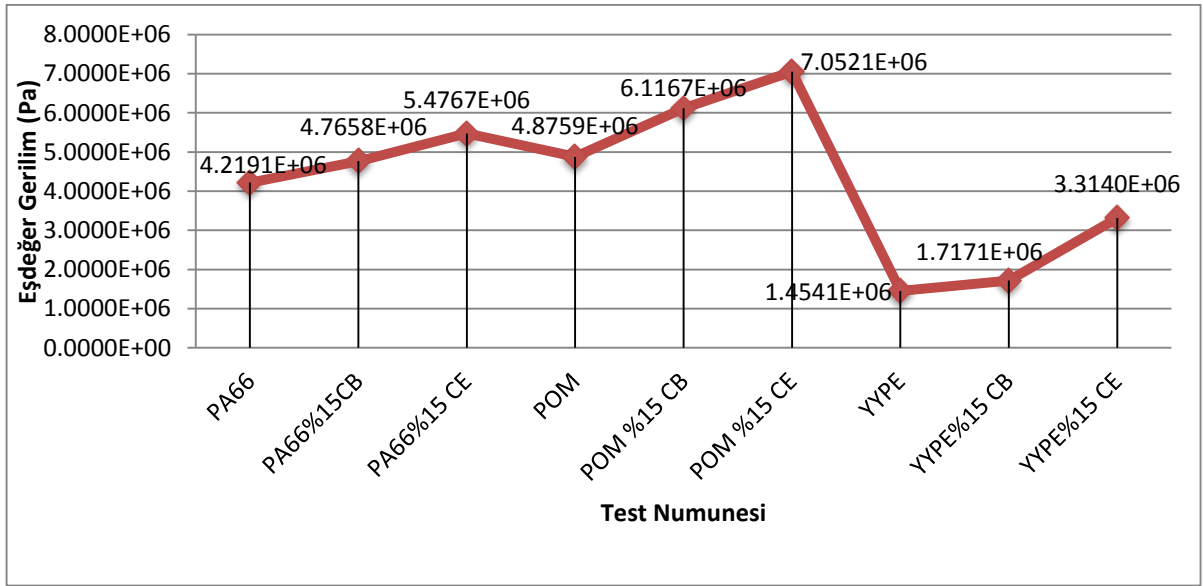
Şekil 4.13. Katkılı ve katkısız YYPE numunelerin analiz sonuçları



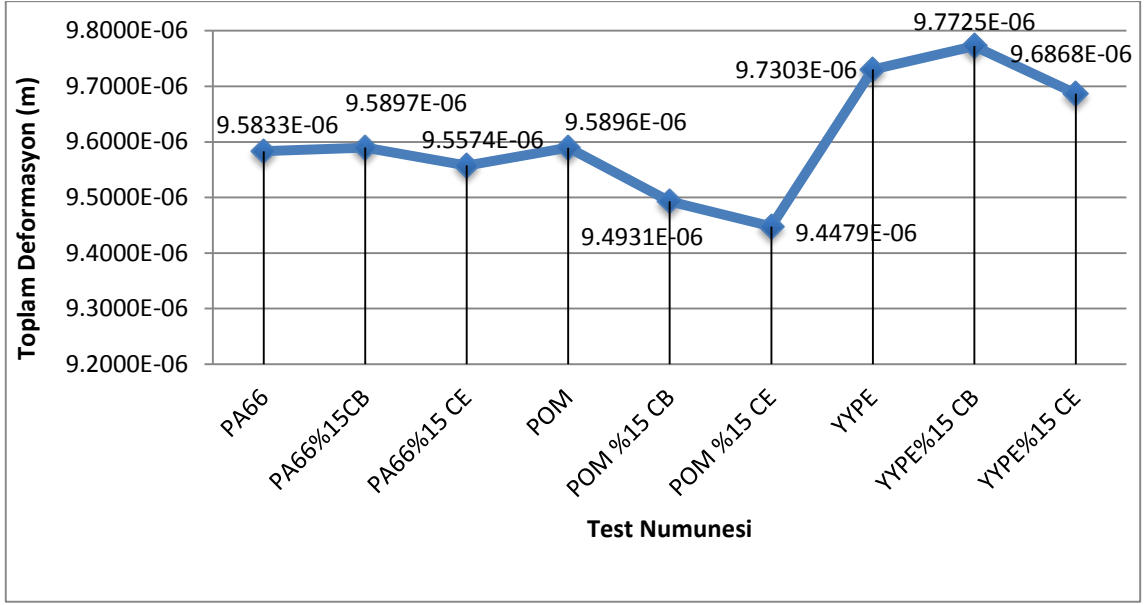
Şekil 4.14. YYPE numunelerine karşı çalışmış metal burçların analiz sonuçları



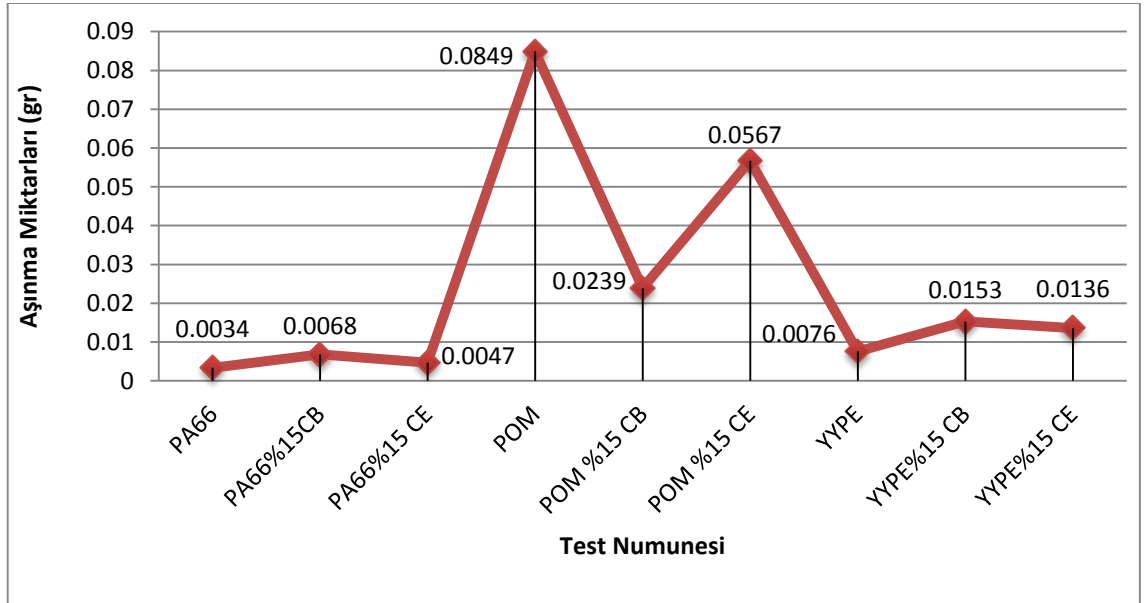
Şekil 4.14. Test numunelerinin analiz sonuçları



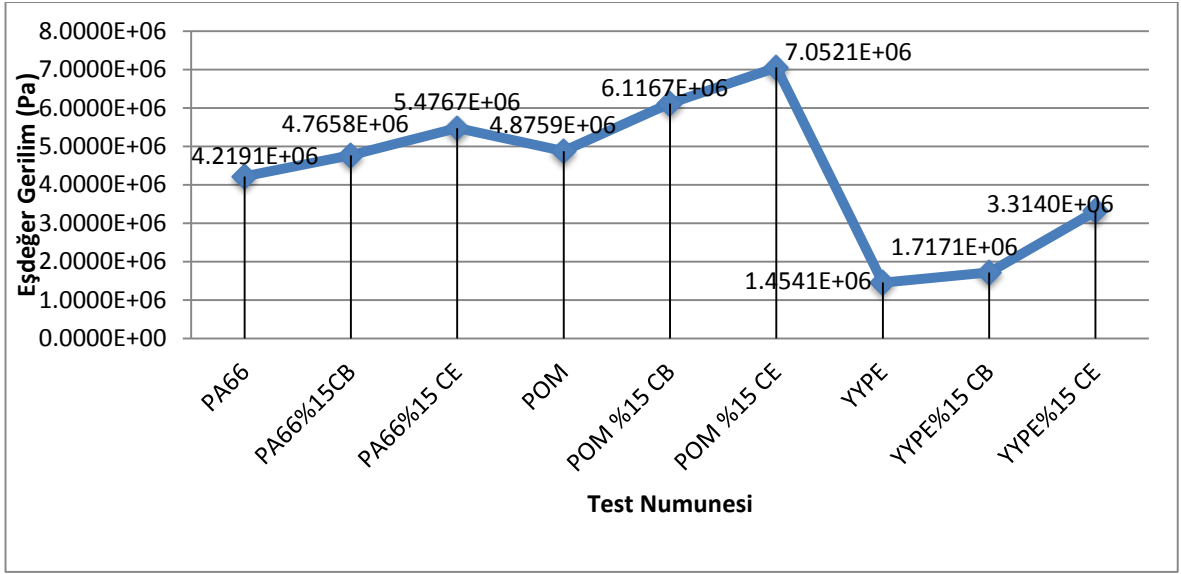
Şekil 4.15. Test numunelerine karşı çalışmış metal burçların analiz sonuçları



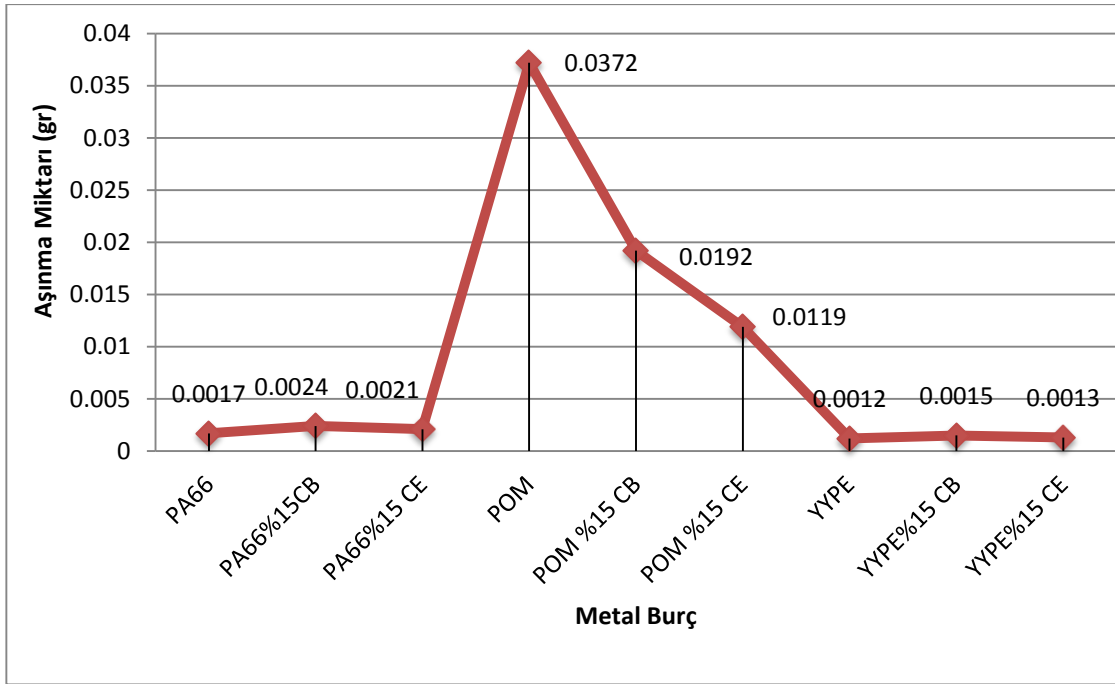
Şekil 4.15. Test numunelerinin analiz sonuçları



Şekil 4.16. Test numunelerinin deneysel (test) sonuçları



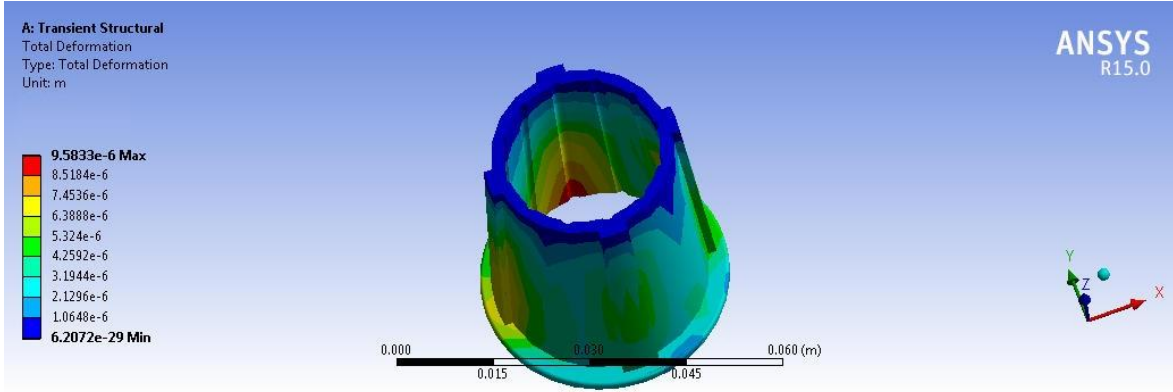
Şekil 4.17. Test numunelerine karşı çalışmış metal burçların analiz sonuçları



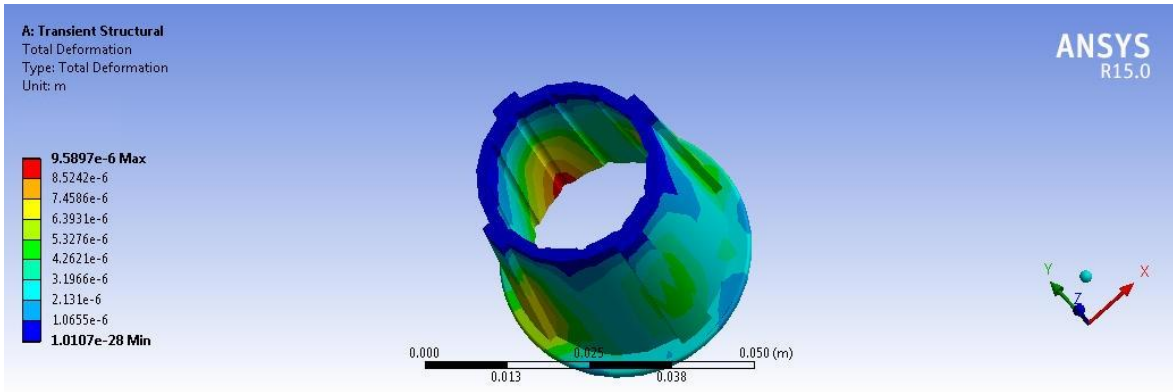
Şekil 4.18. Test numunelerine karşı çalışmış metal burçların deneysel (test) sonuçları

4.5. Numunelerin Analiz Görüntüleri

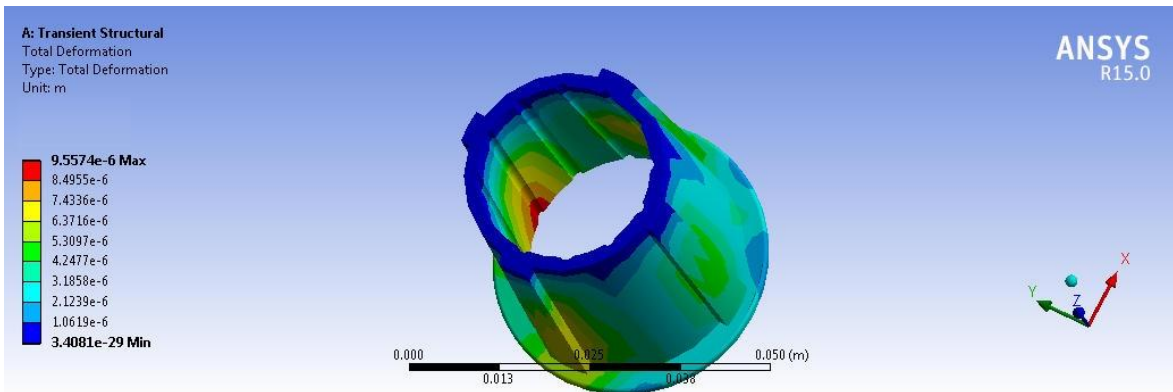
Kompozit burçların ve birlikte çalıştığı metal burçların analiz fotoğrafları aşağıdaki gibidir.



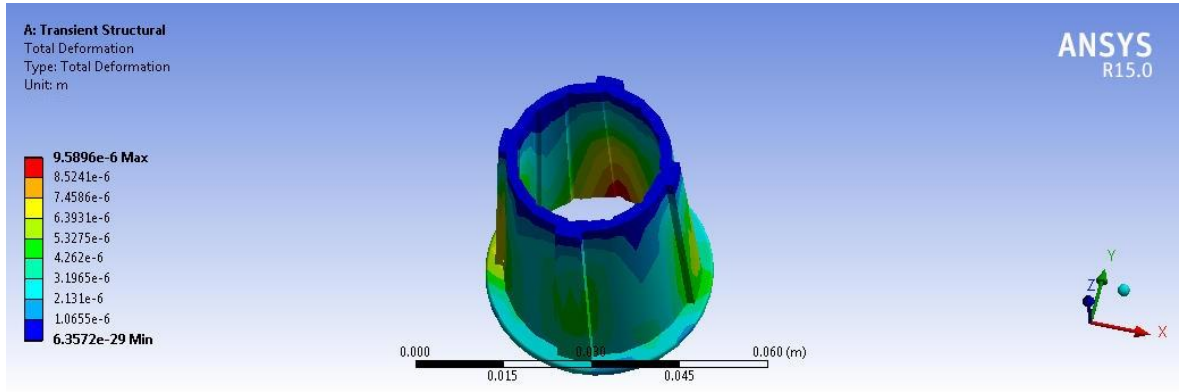
Şekil 4.19. PA66 numunesinin analiz görüntüsü



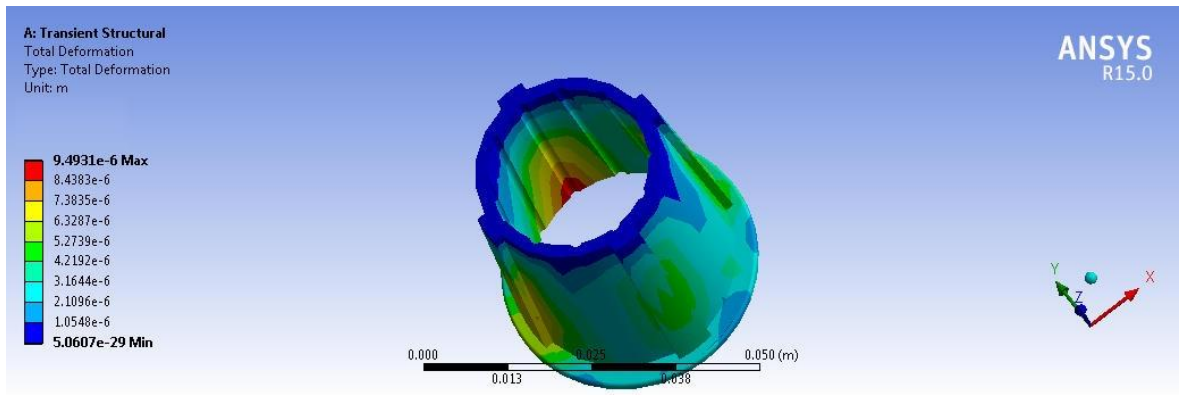
Şekil 4.20. PA66 15 CE numunesinin analiz görüntüsü



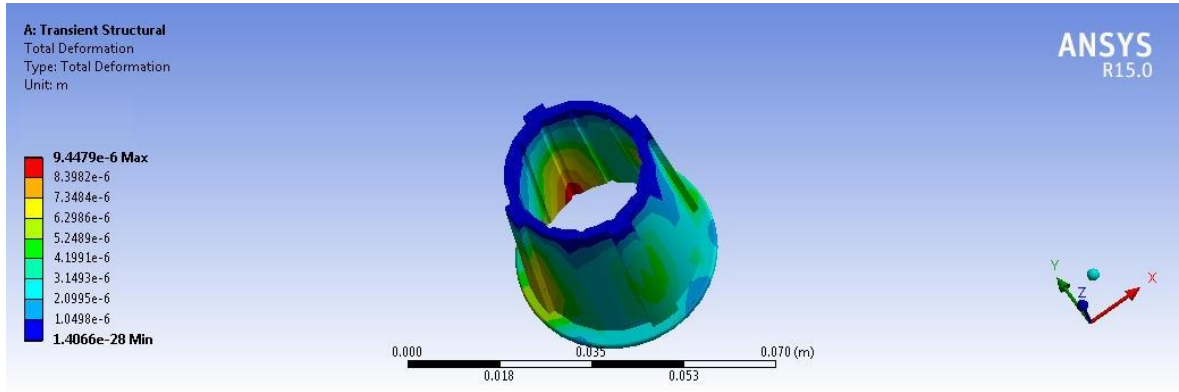
Şekil 4.20. PA66 15 CB numunesinin analiz görüntüsü



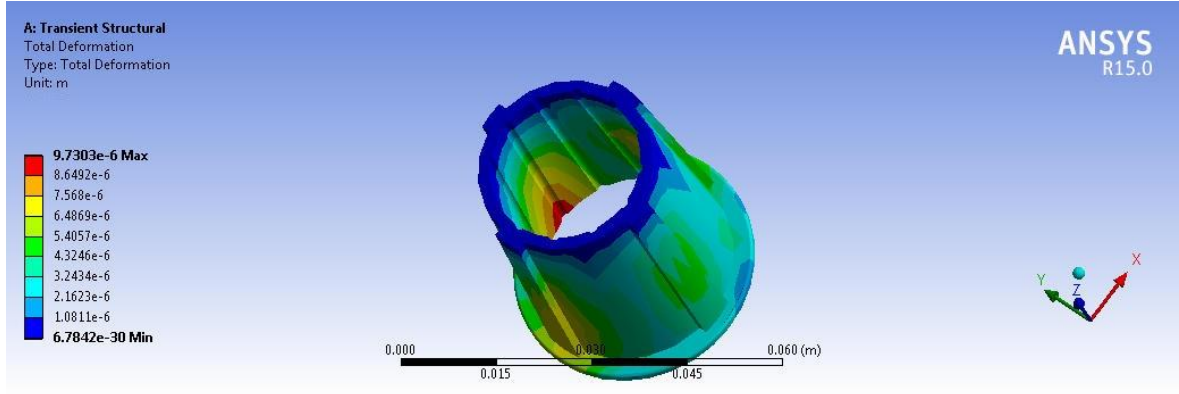
Şekil 4.21. POM numunesinin analiz görüntüsü



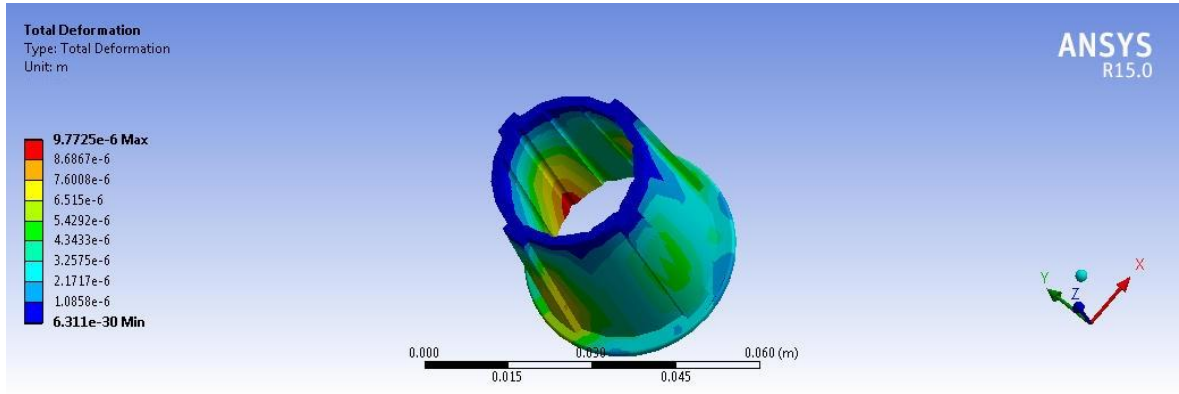
Şekil 4.22. POM 15 CB numunesinin analiz görüntüsü



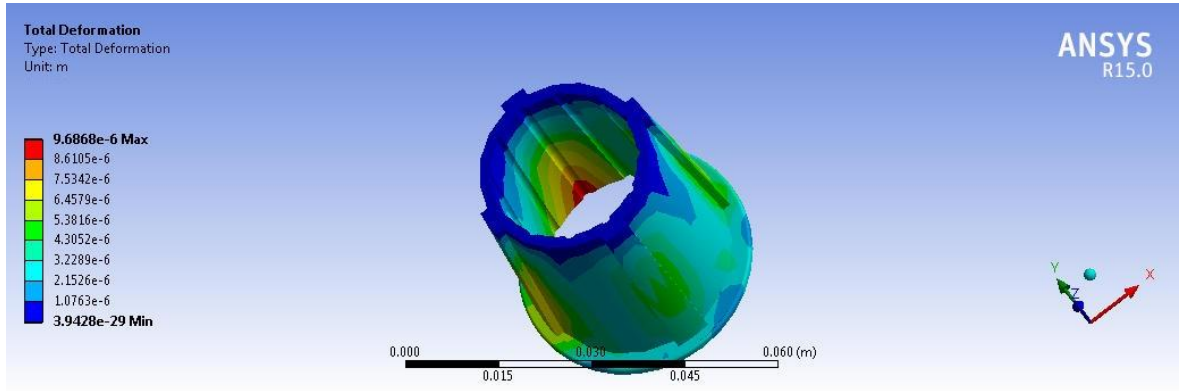
Şekil 4.23. POM 15 CE numunesinin analiz görüntüsü



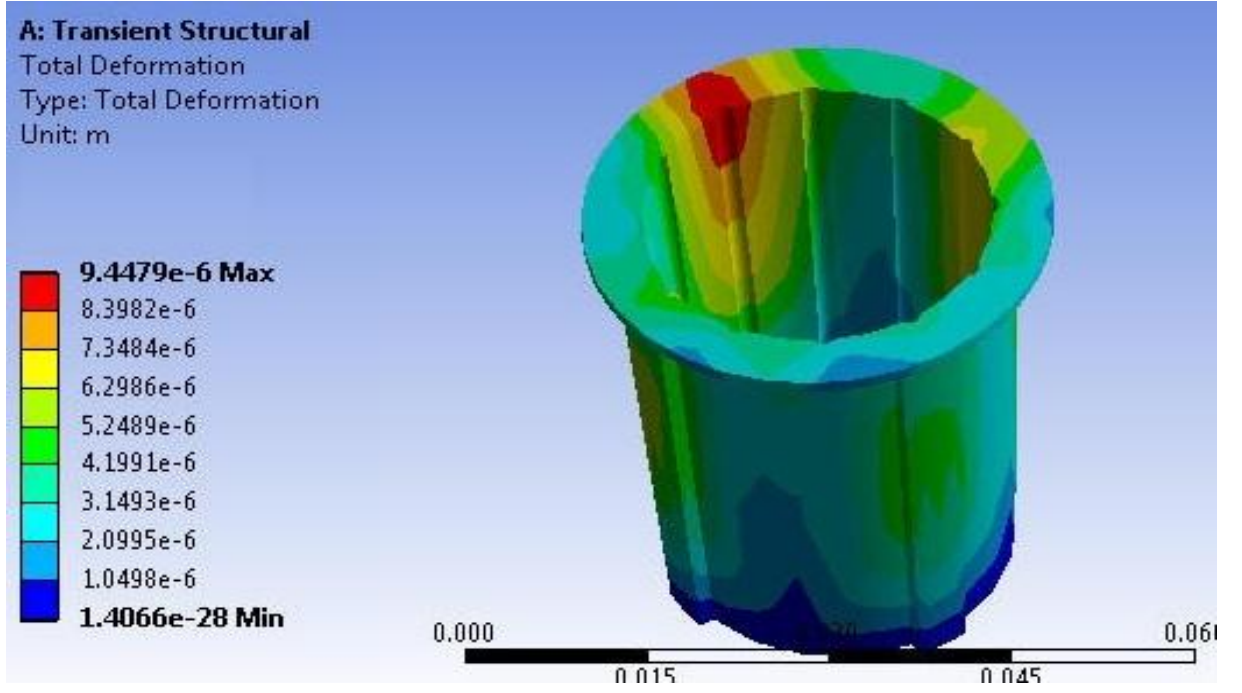
Şekil 4.24. YYPE numunesinin analiz görüntüsü



Şekil 4.25. YYPE 15 CB numunesinin analiz görüntüsü



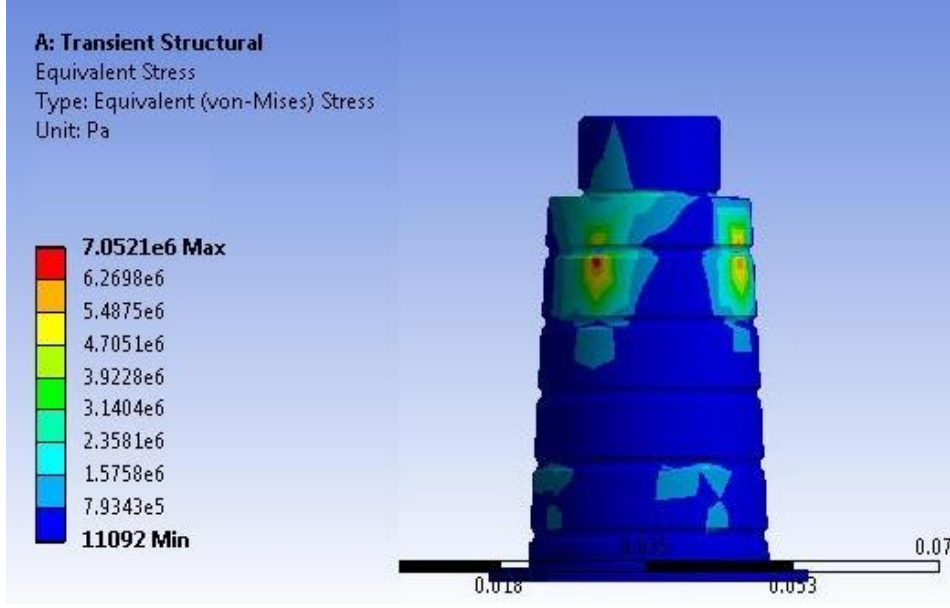
Şekil 4.26. YYPE 15 CE numunesinin analiz görüntüsü



Şekil 4.27. POM 15 CE numunesinin analiz görüntüsü



Şekil 4.28. POM 15 CE numunesinin deneysel (test) görüntüsü



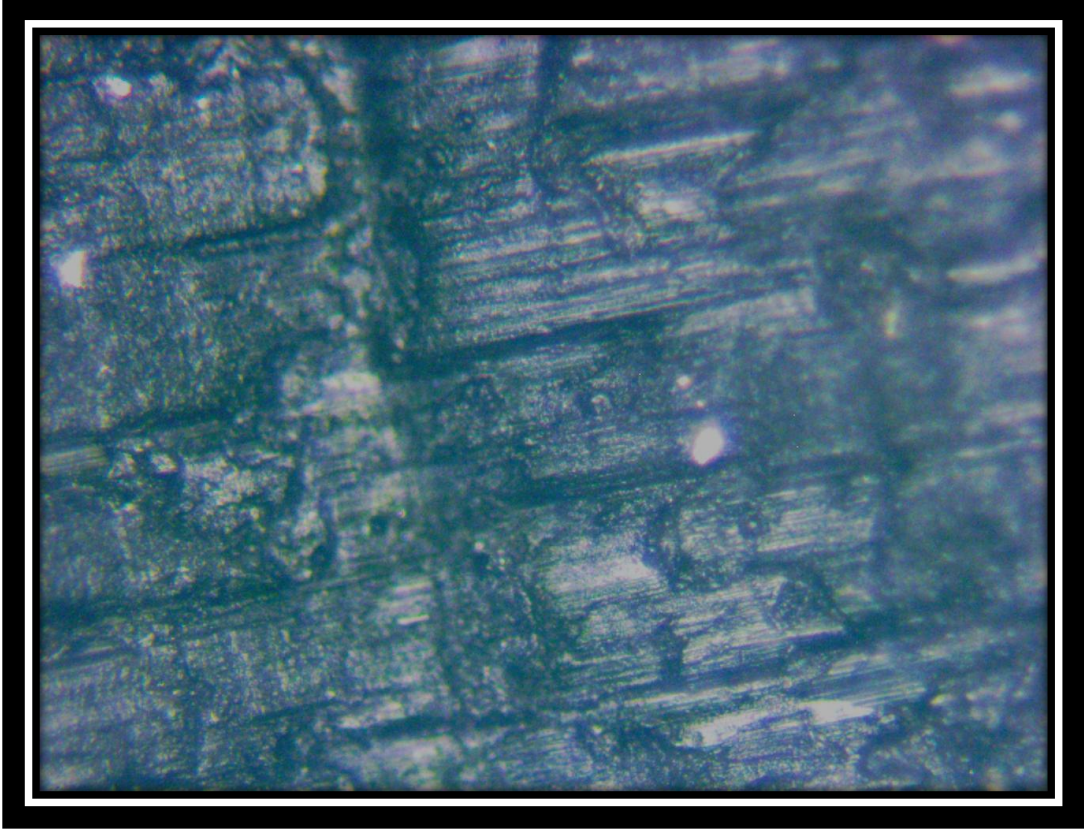
Şekil 4.29. POM 15 CE numunesine karşı çalışmış metal burcun analiz görüntüsü



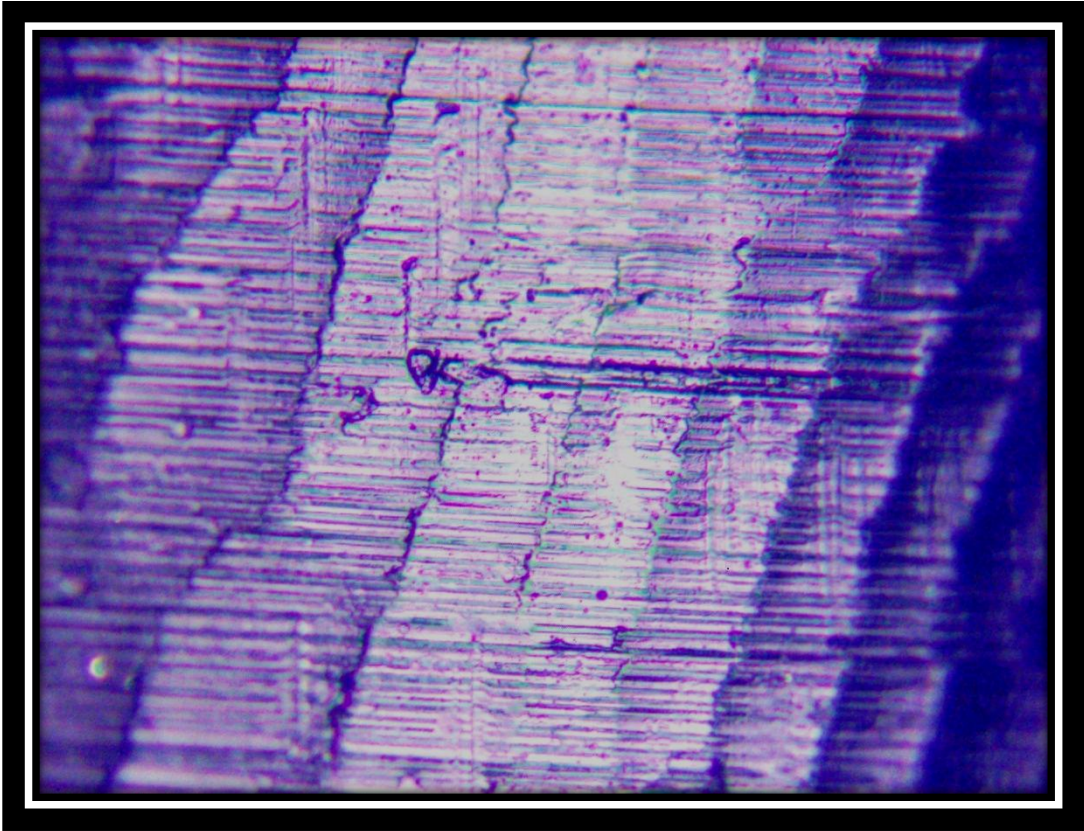
Şekil 4.30. POM 15 CE numunesine karşı çalışmış metal burcun deneysel (test) görüntüsü

4.6. Numunelerin Mikroskop Görüntüleri

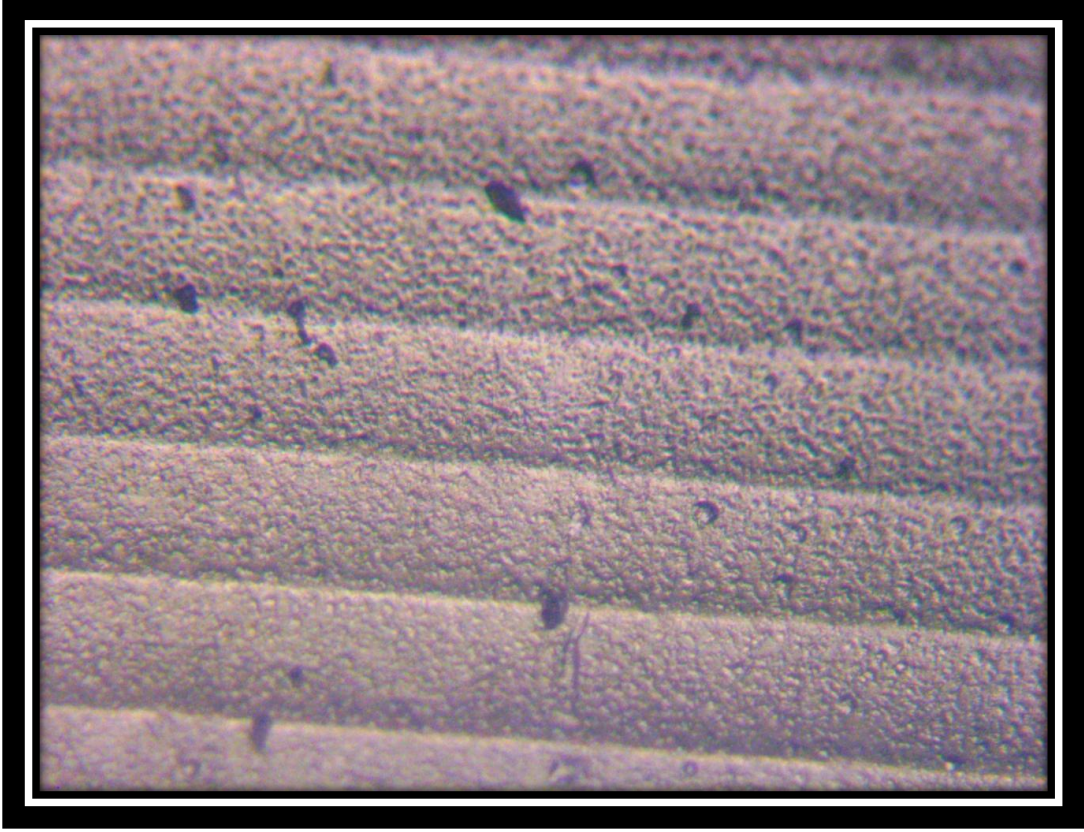
Aşınan plastik burçların ters metal mikroskobu kullanılarak aşınmış yüzeylerinin, aşınmamış yüzeylerinin ve metal burç yüzeylerinin fotoğrafları çekilmiştir. Fotoğraflar aşağıda verilmiştir.



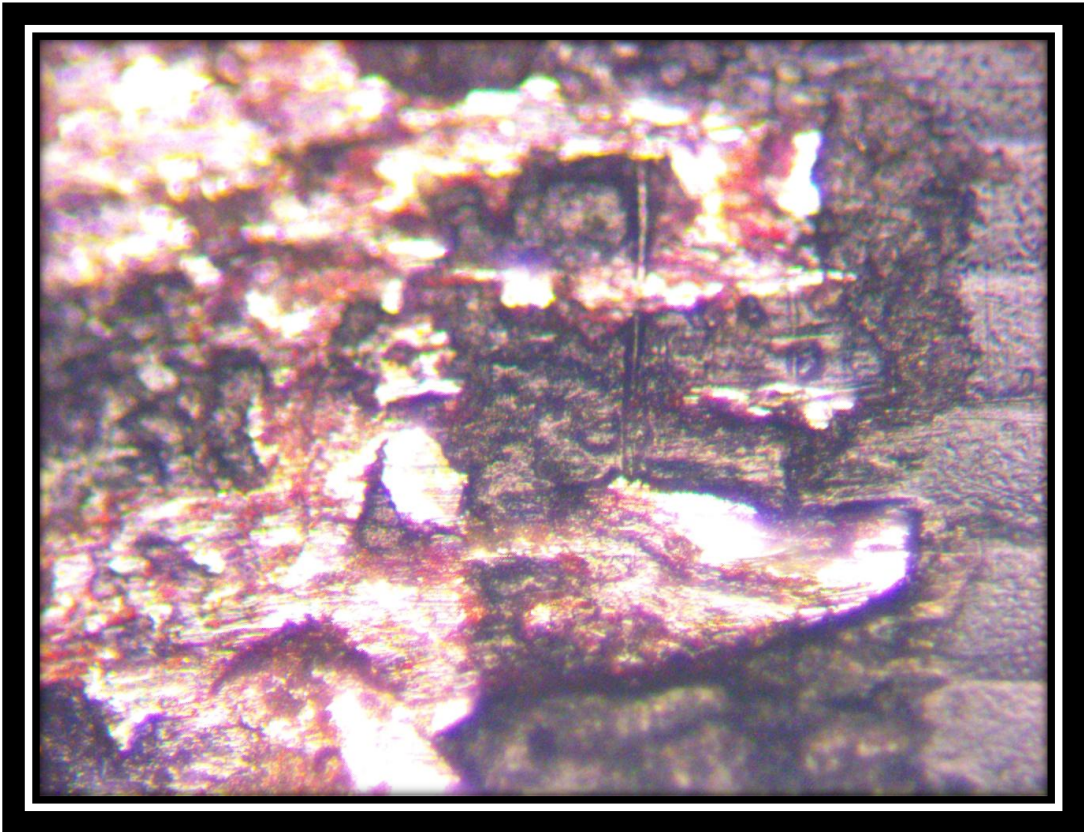
Şekil 4.31. Aşınmaya uğramamış PA66 numunesinden alınmış bir görüntü



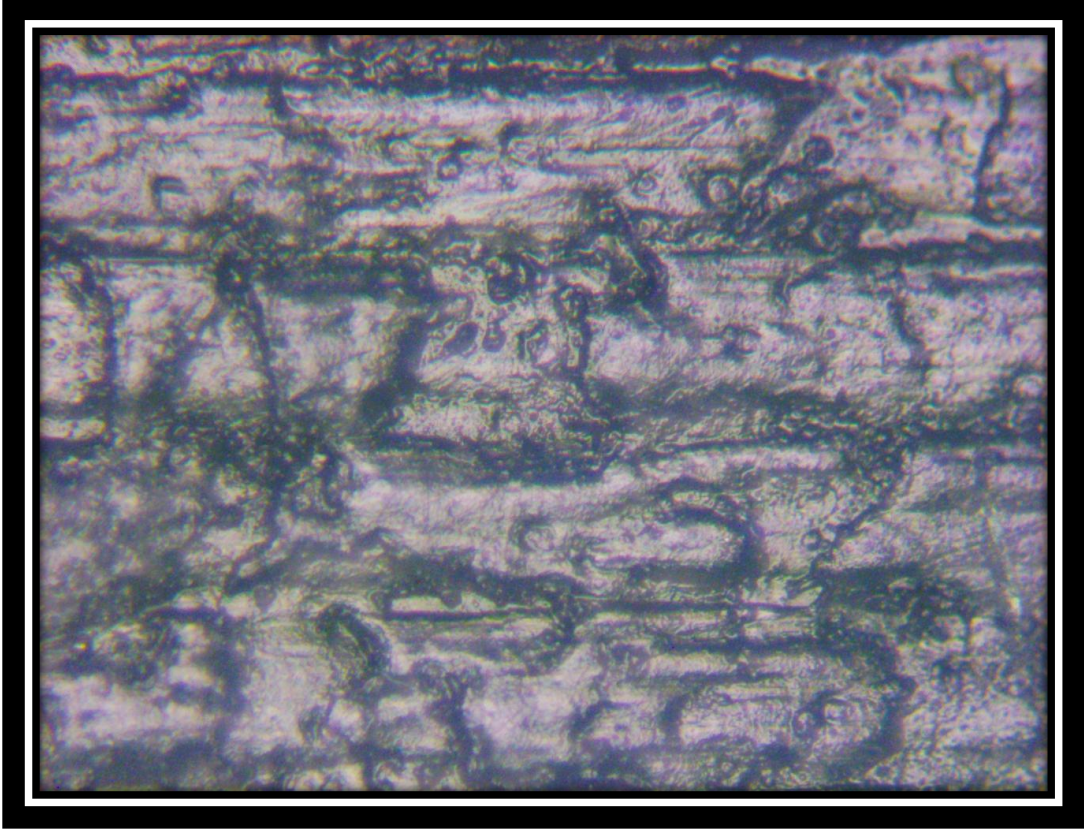
Şekil 4.32. Aşınmış bir PA66 numunesinden bir görüntü



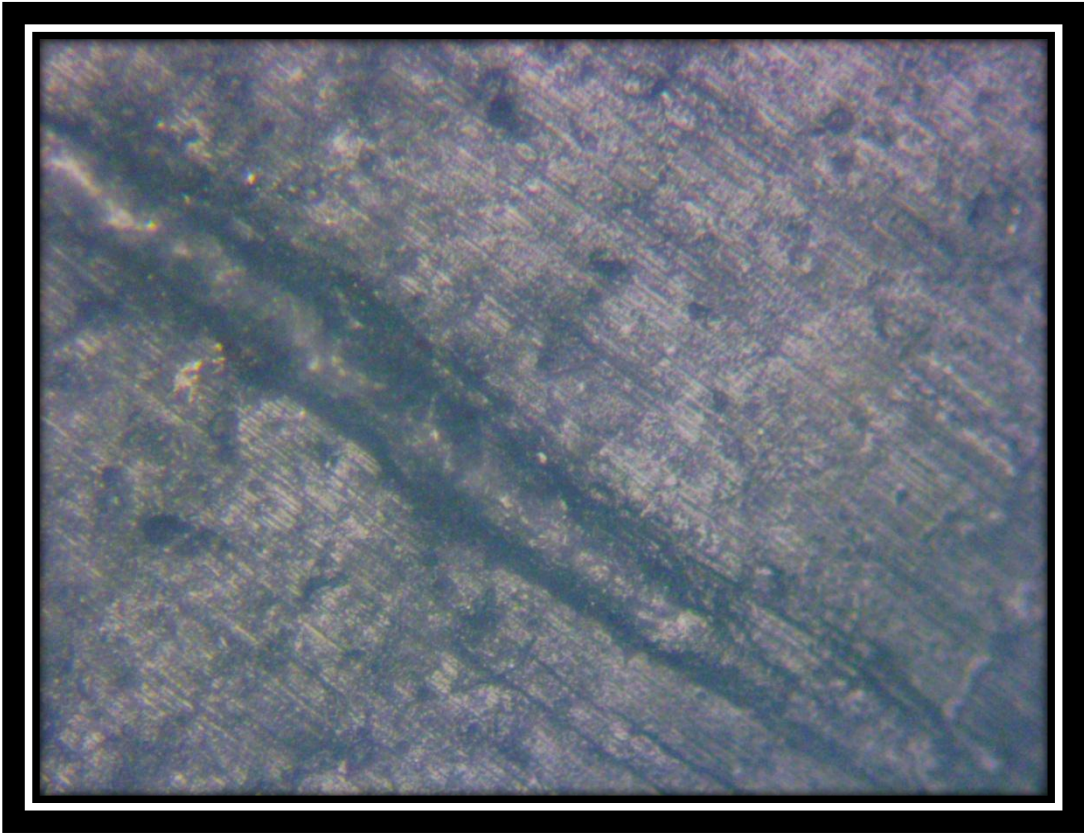
Şekil 4.33. Metal burcun aşınmayan kısmından bir görüntü



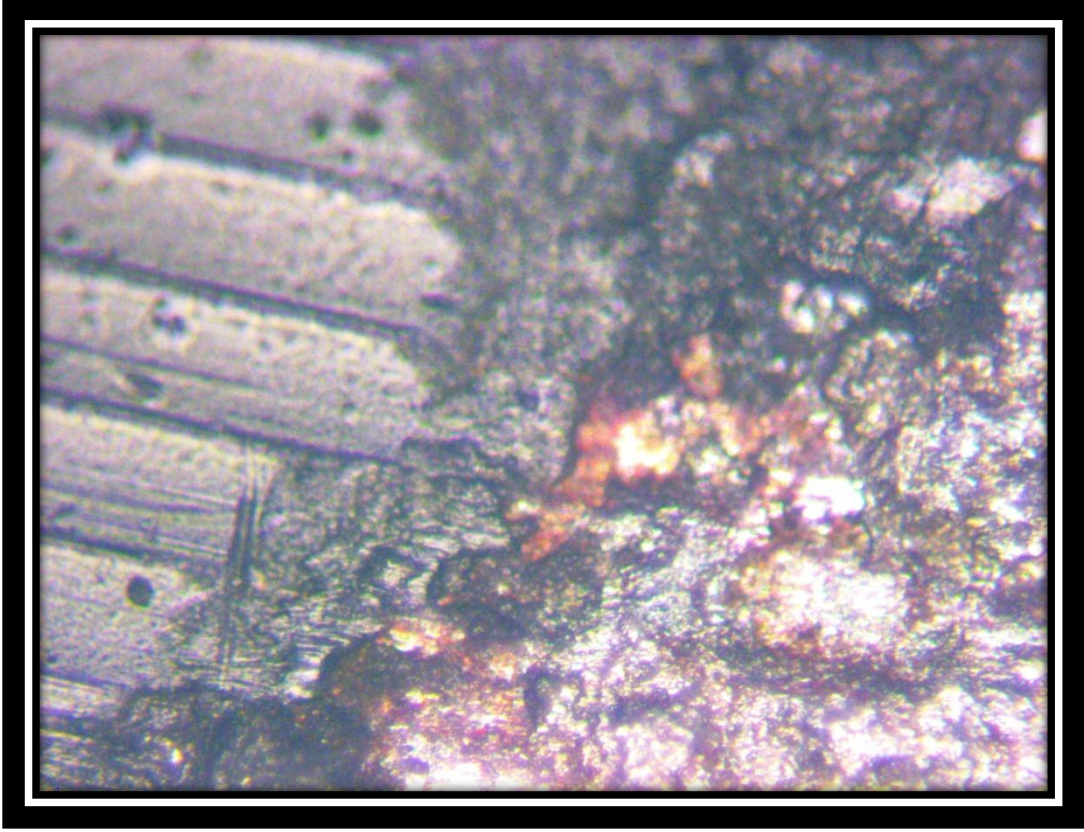
Şekil 4.34. PA66 numunesine karşı çalışmış aşınmış metal burç yüzeyinden bir görüntü



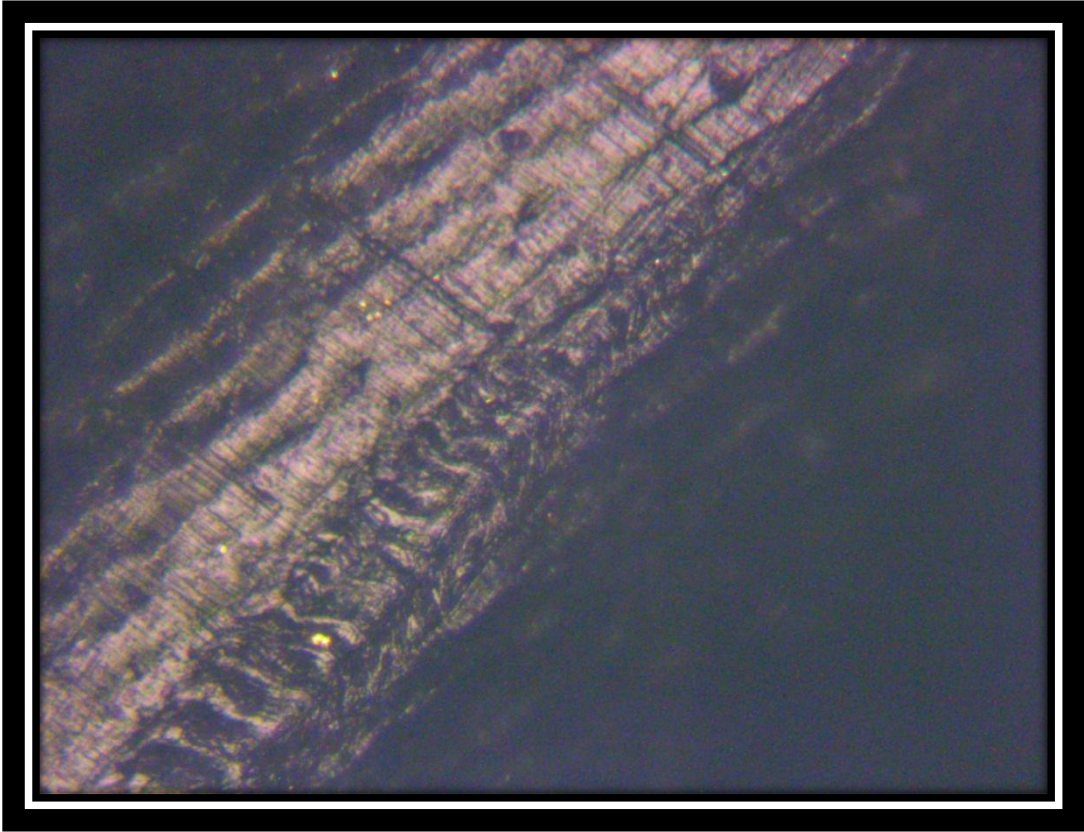
Şekil 4.35. PA66 % 15 CB aşınmamış numunesinden bir görüntü



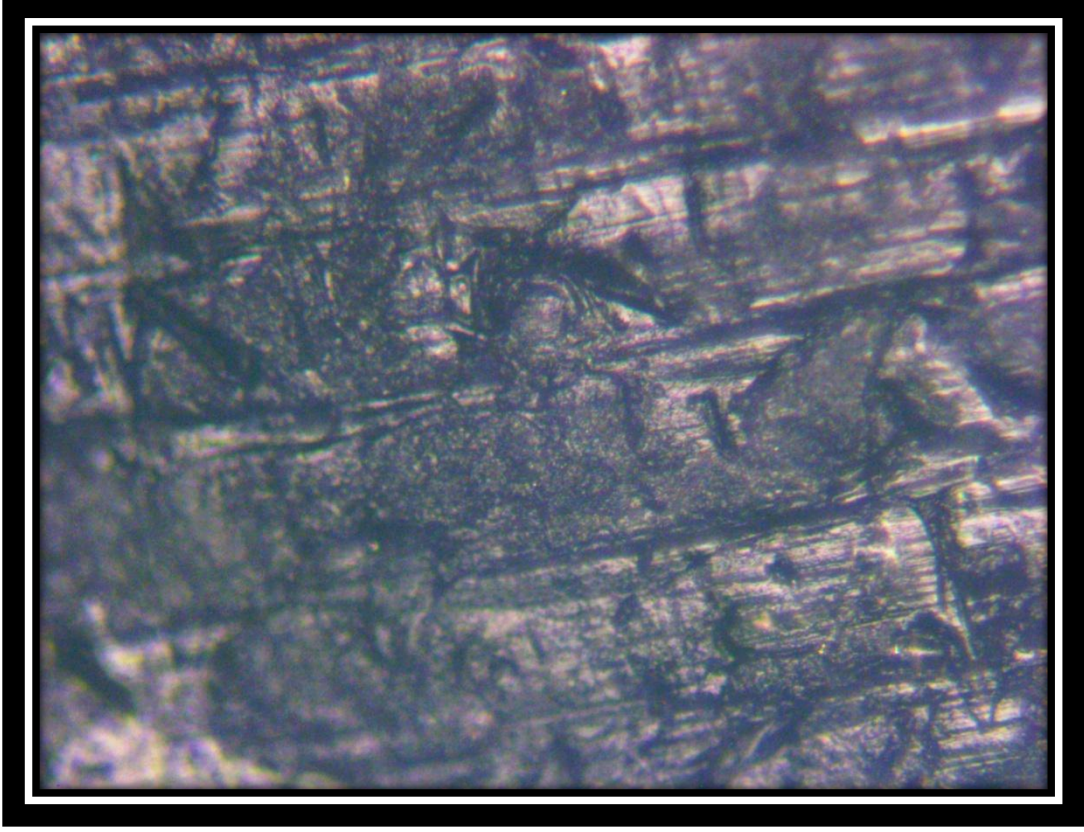
Şekil 4.36. Aşınmış PA66 % 15 CB numunesinden bir görüntü



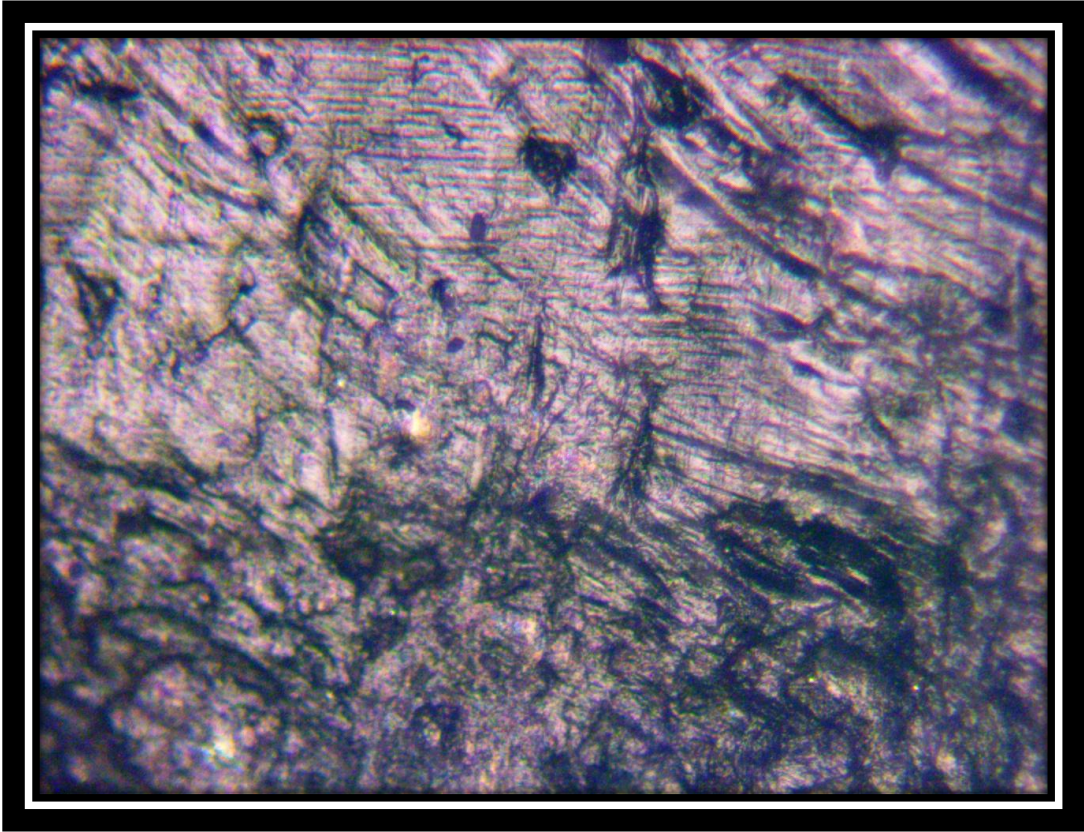
Şekil 4.37. PA66 % 15 CB numunesine karşı çalışmış metal burç görüntüsü



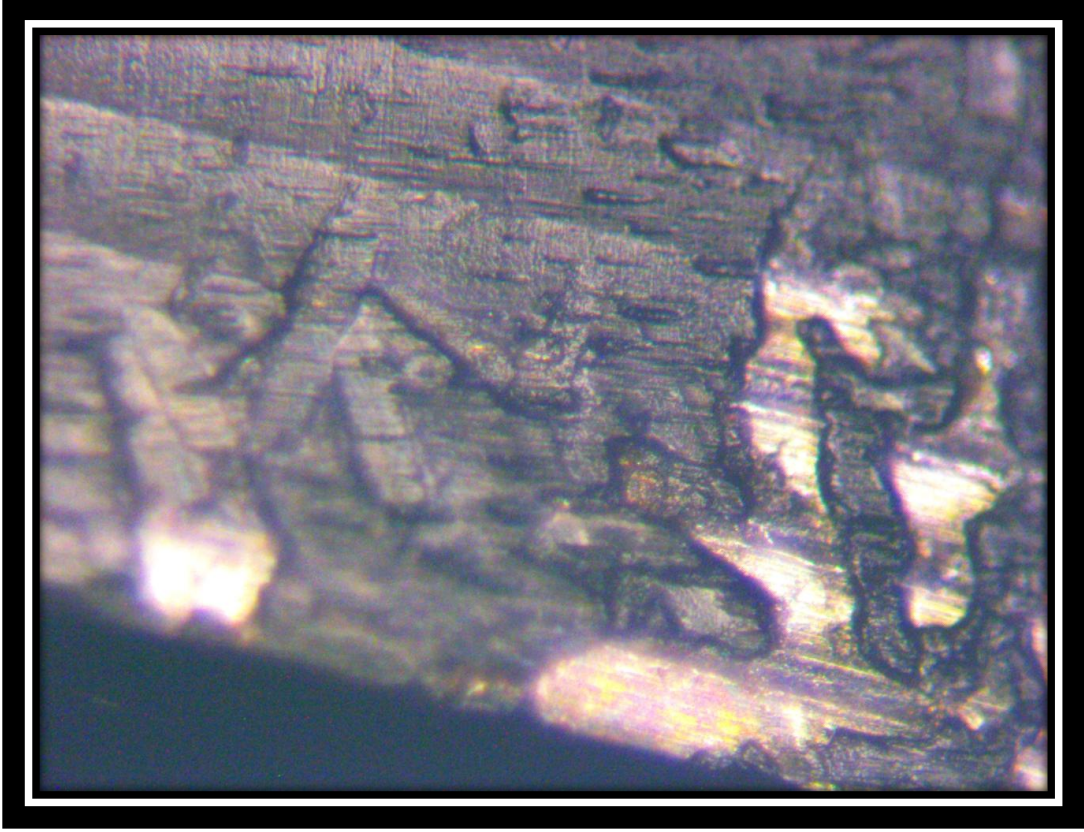
Şekil 4.38. Aşınmış PA66 % 15CB numunesinin içindeki cam bilyelerden bir görüntü



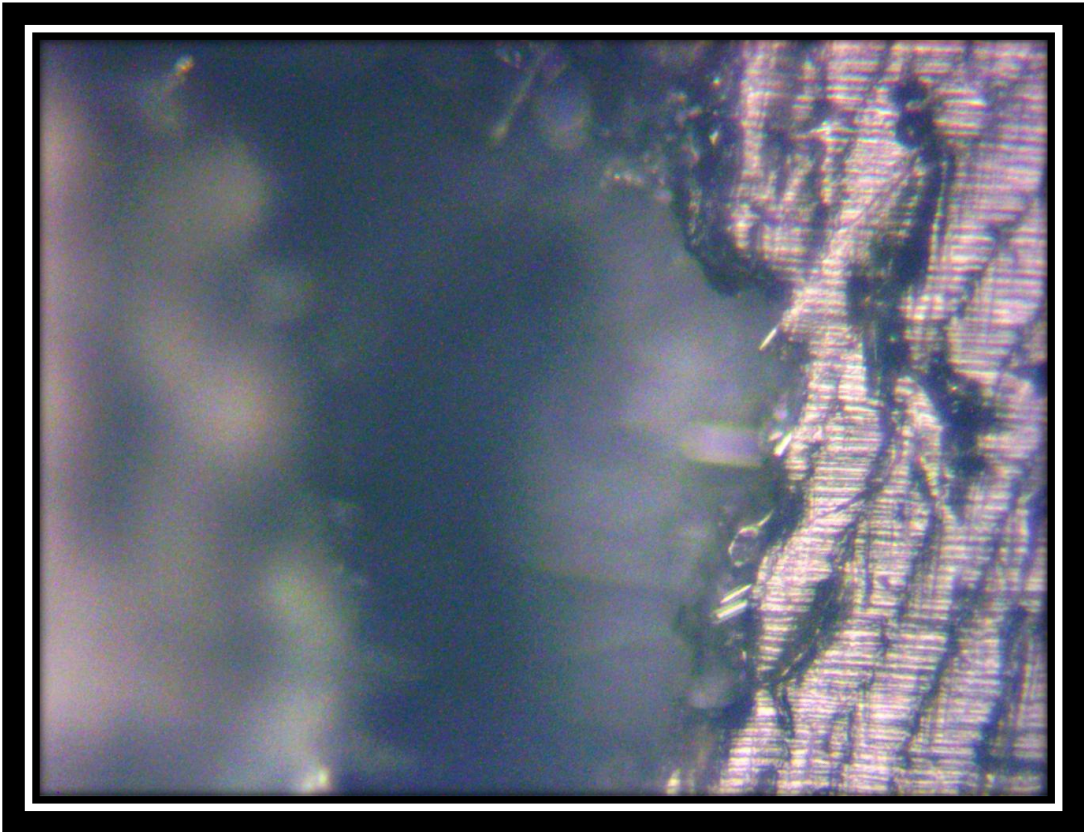
Şekil 4.39. Aşınmaya uğramamış PA66 %15 CE numunesinden bir görüntü



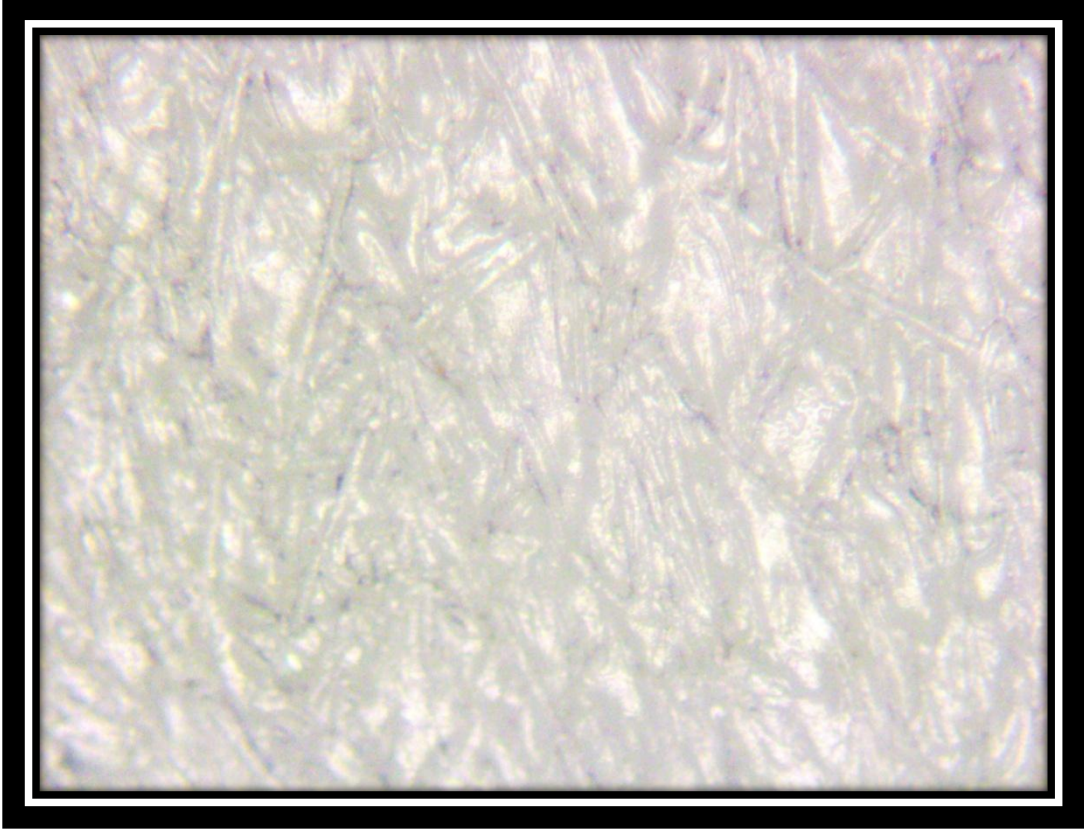
Şekil 4.40. Aşınmaya uğramış PA66 %15 CE numunesinden bir görüntü



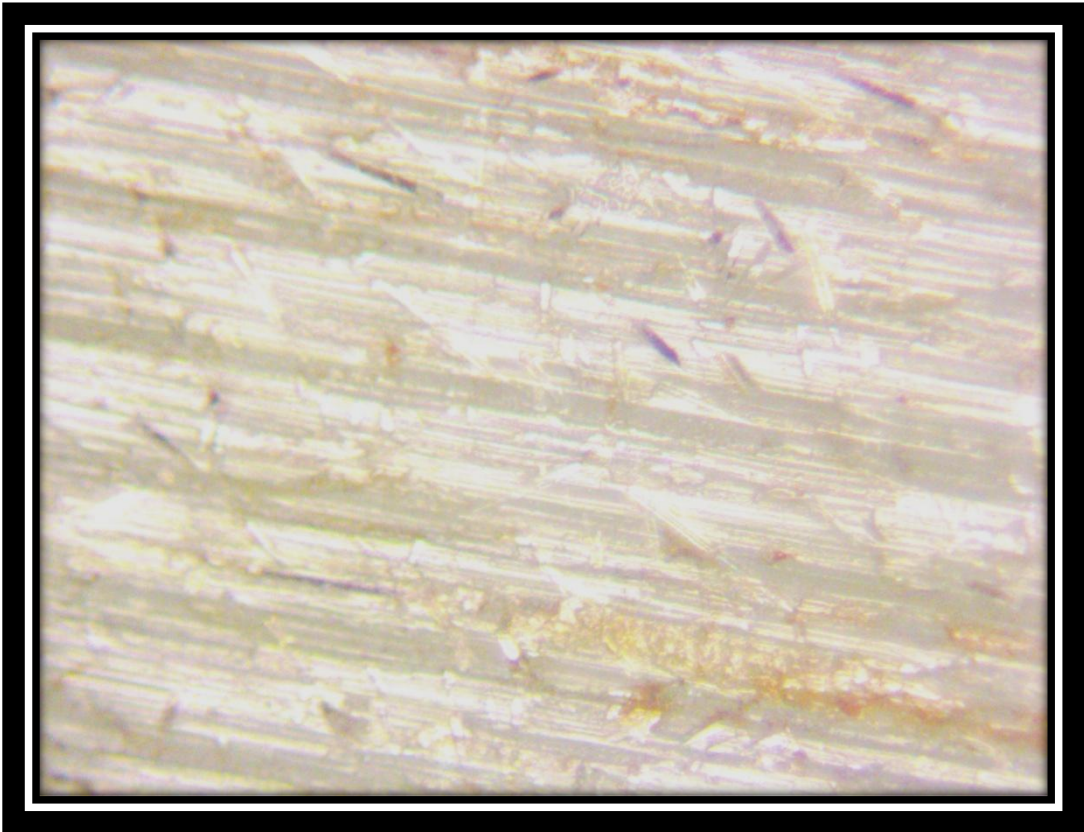
Şekil 4.41. PA66 % 15 CE numunesine karşı çalışmış metal burçtan bir görüntü



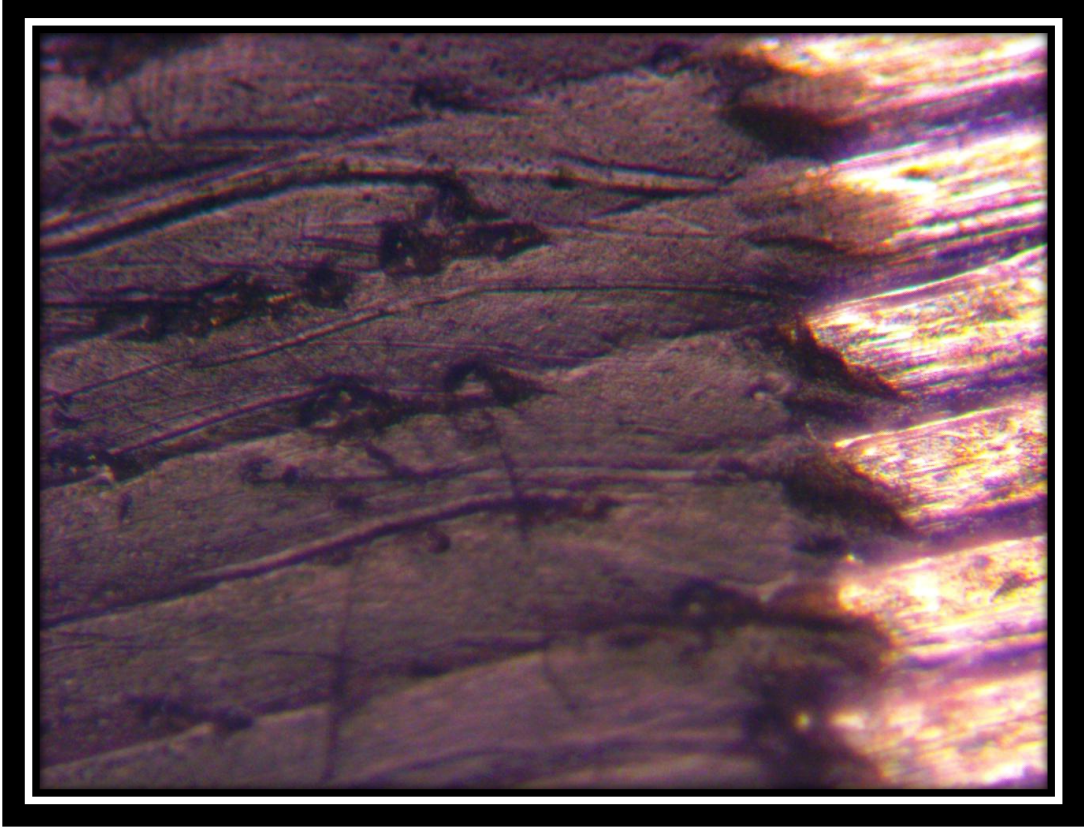
Şekil 4.42. Aşınmış PA66%15 CE numunesindeki elyaf parçacıkları



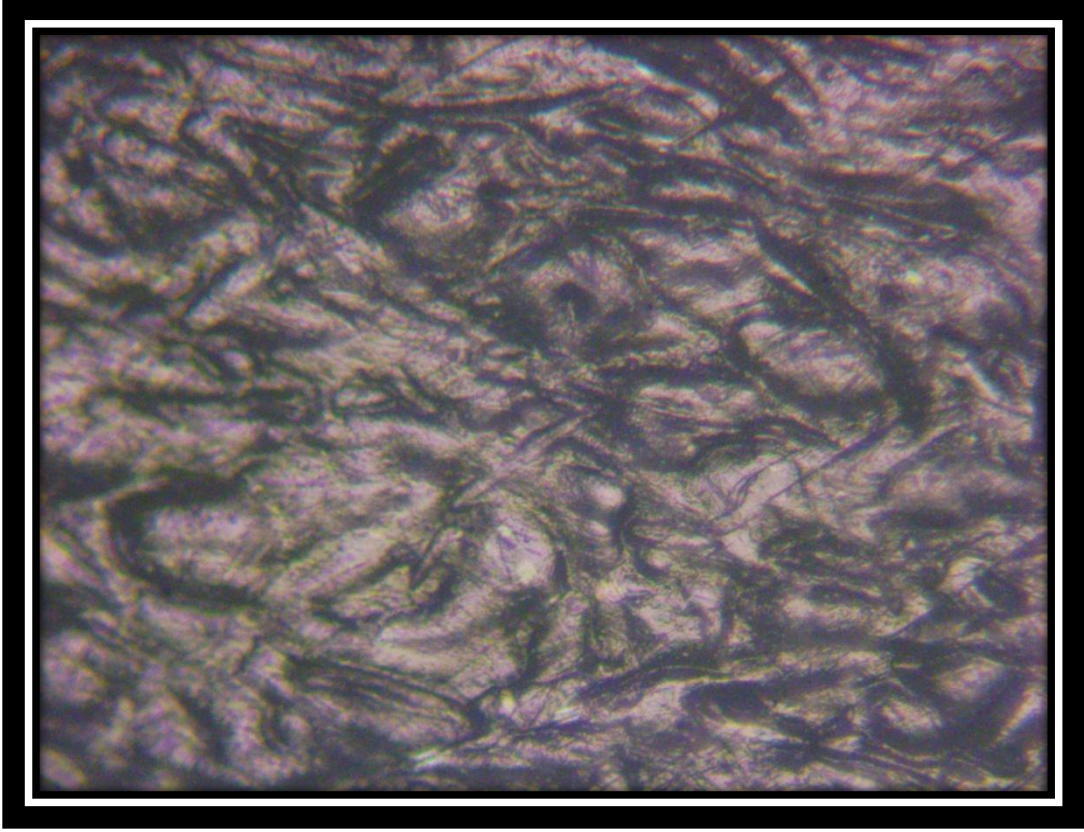
Şekil 4.43. Aşınmaya uğramamış POM numunesinden bir görüntü



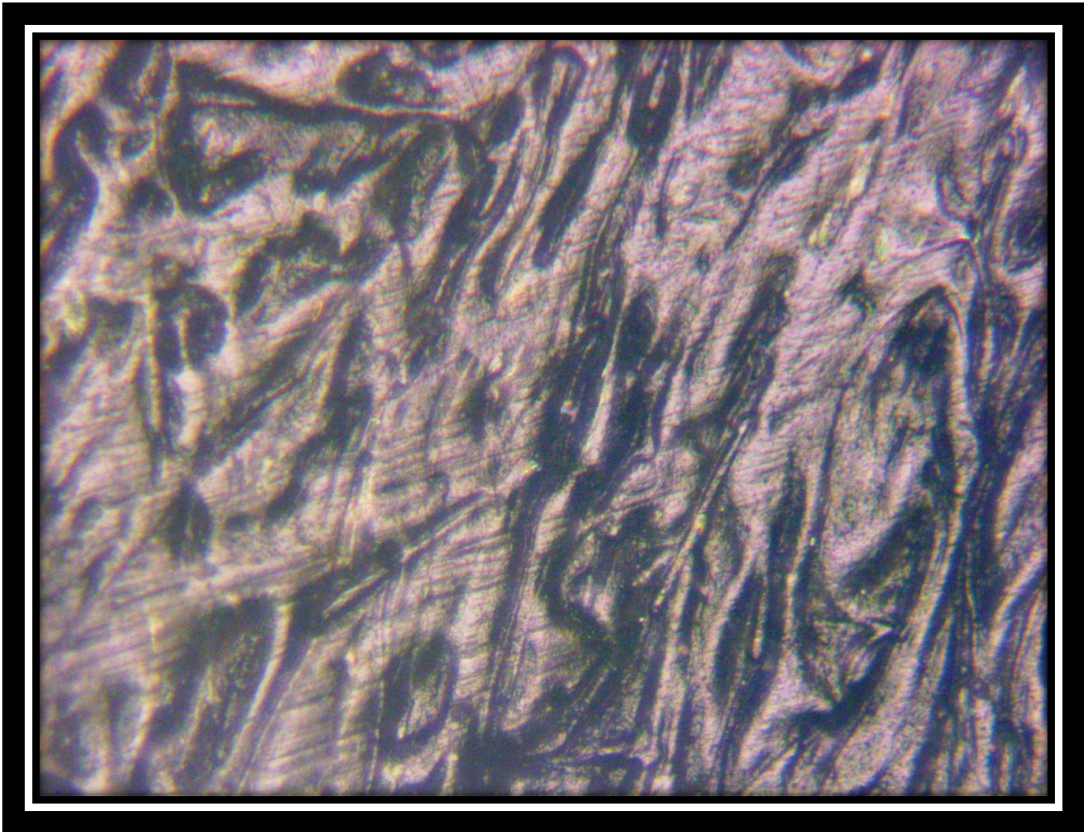
Şekil 4.44. Aşınmaya uğramış POM numunesinden bir görüntü



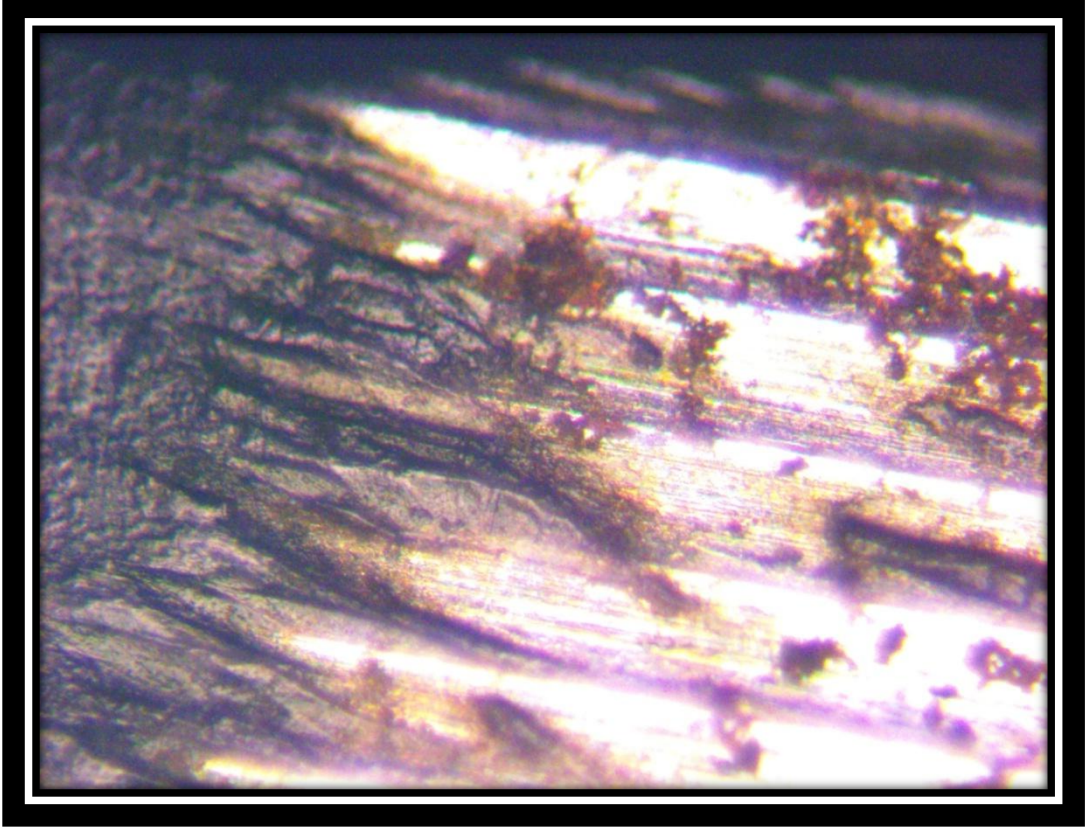
Şekil 4.45. POM numunesine karşı aşınmaya uğramış metal burçtan bir görüntü



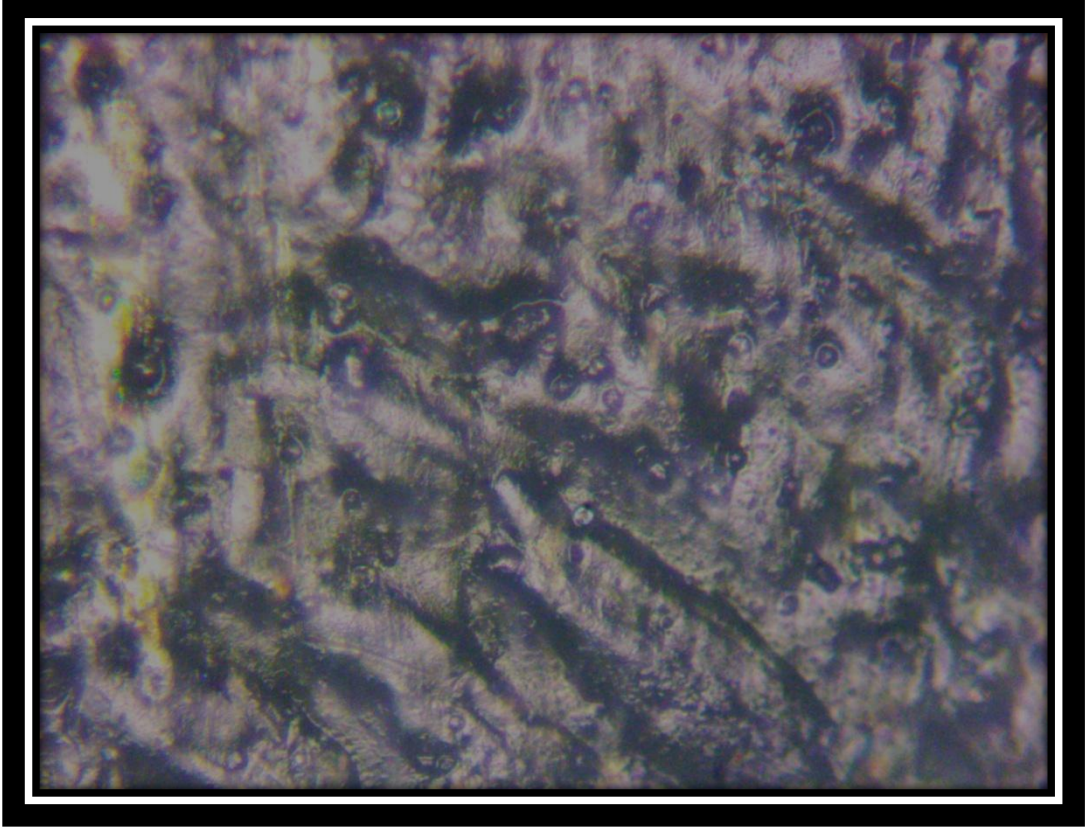
Şekil 4.46. Aşınmaya uğramamış POM%15 CE numunesinden bir görüntü



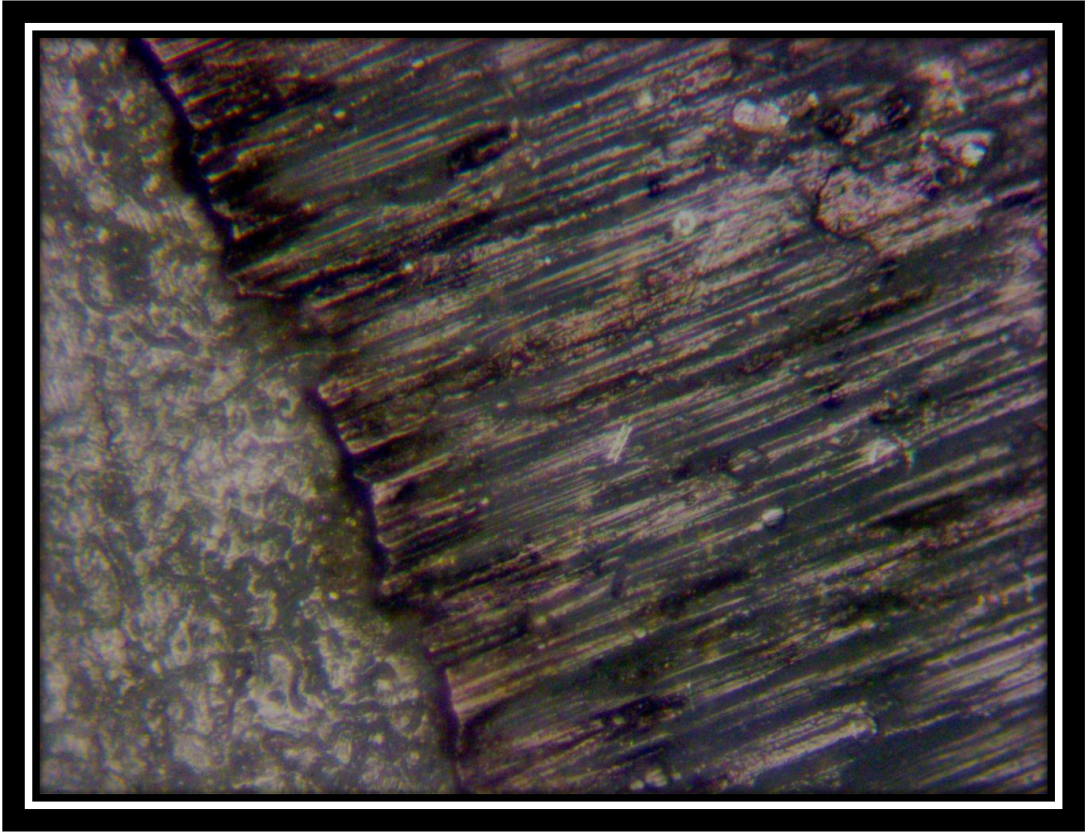
Şekil 4.47. Aşınmaya uğramış POM%15 CE numunesinden bir görüntü



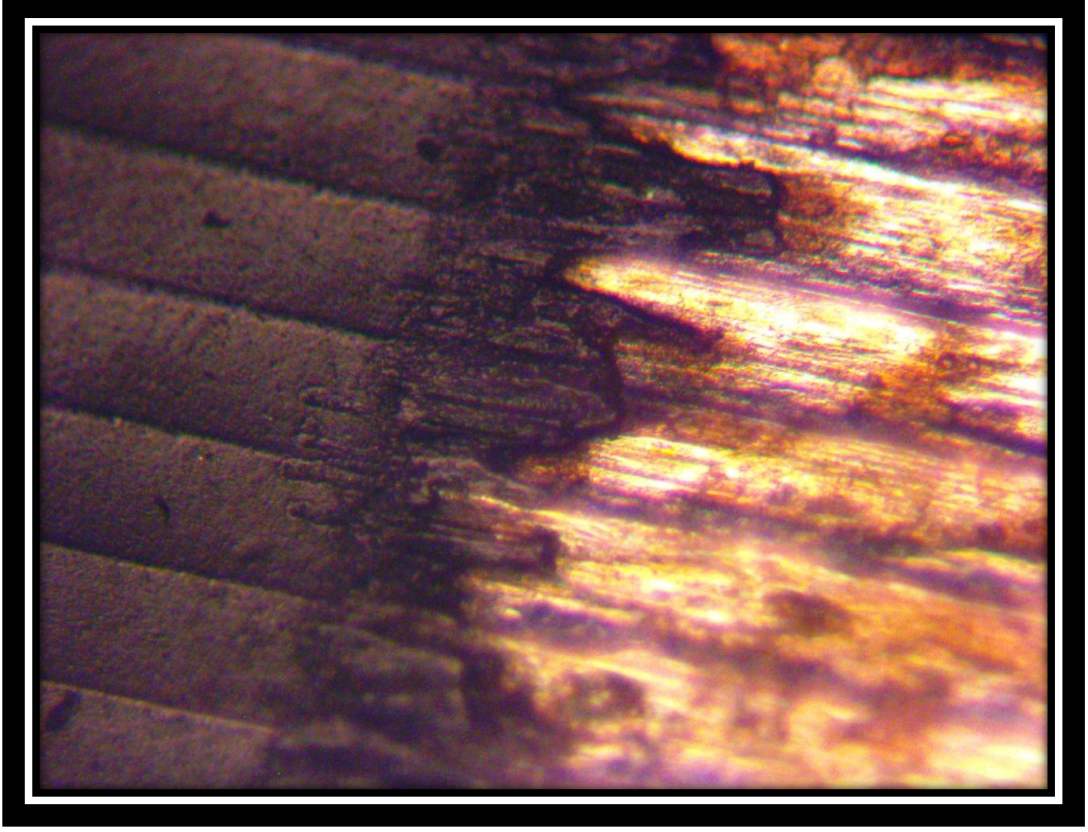
Şekil 4.48.POM %15 CE numunesi karşısında aşınmış metal burçtan bir görüntü



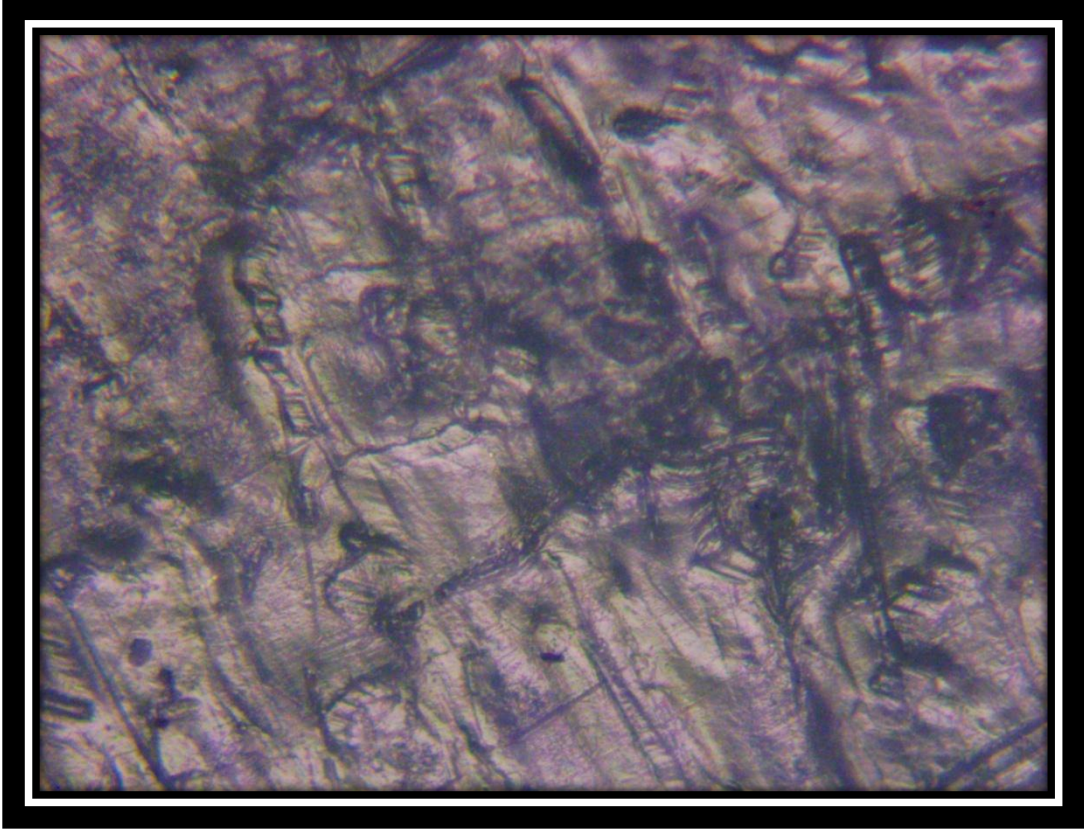
Şekil 4.49. Aşınmaya uğramamış POM%15 CB numunesinden bir görüntü



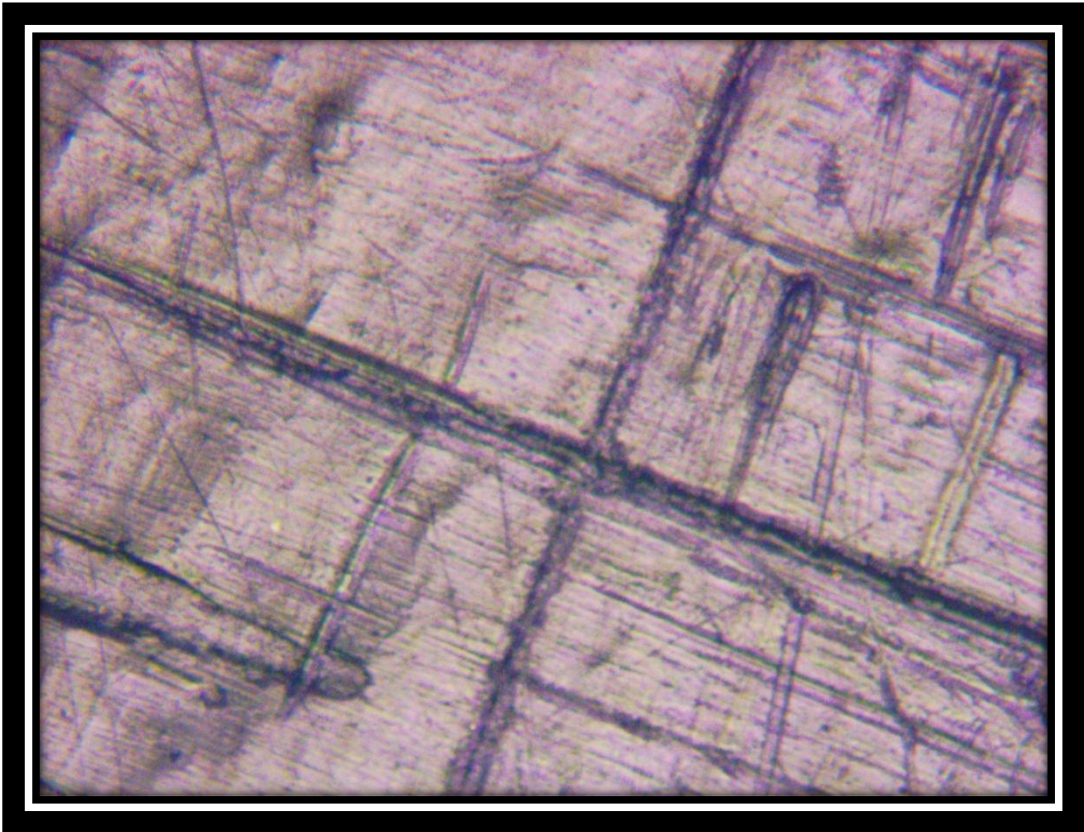
Şekil 4.50. Aşınmaya uğramış POM%15 CB numunesinden bir görüntü



Şekil 4.51.POM %15 CB numunesi karşısında aşınmış metal burçtan bir görüntü



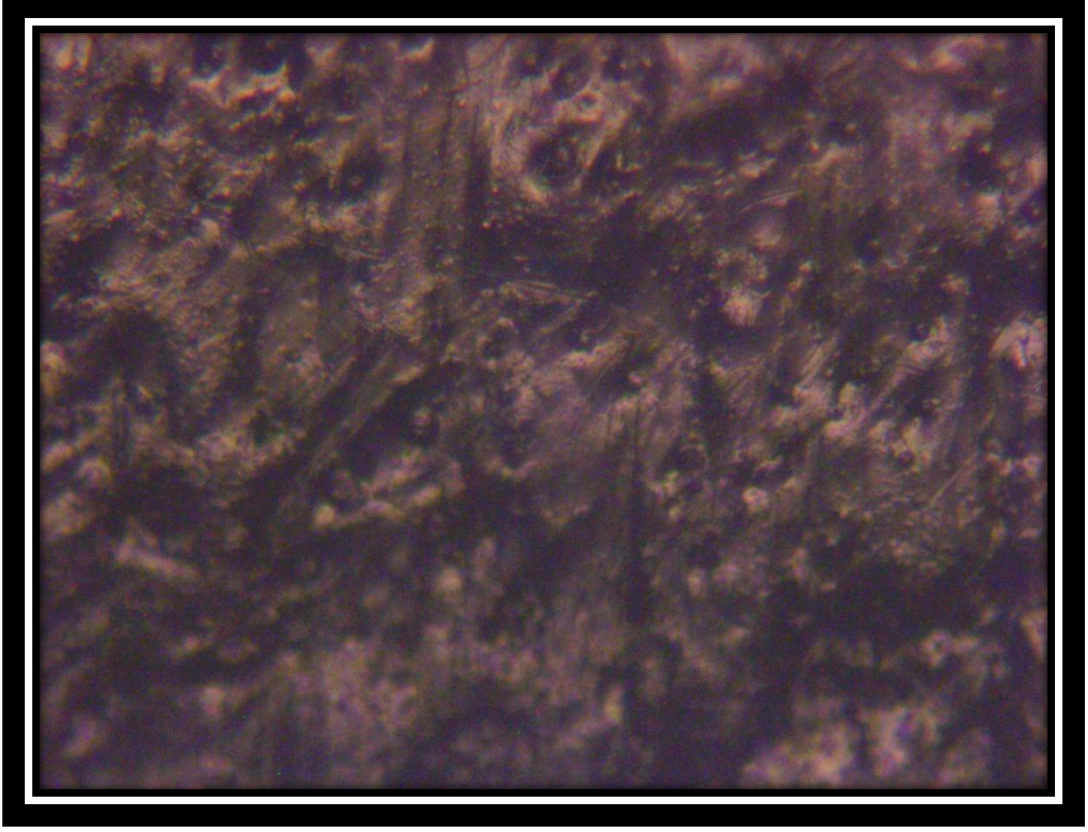
Şekil 4.52. Aşınmaya uğramamış YYPE numunesinden bir görünü



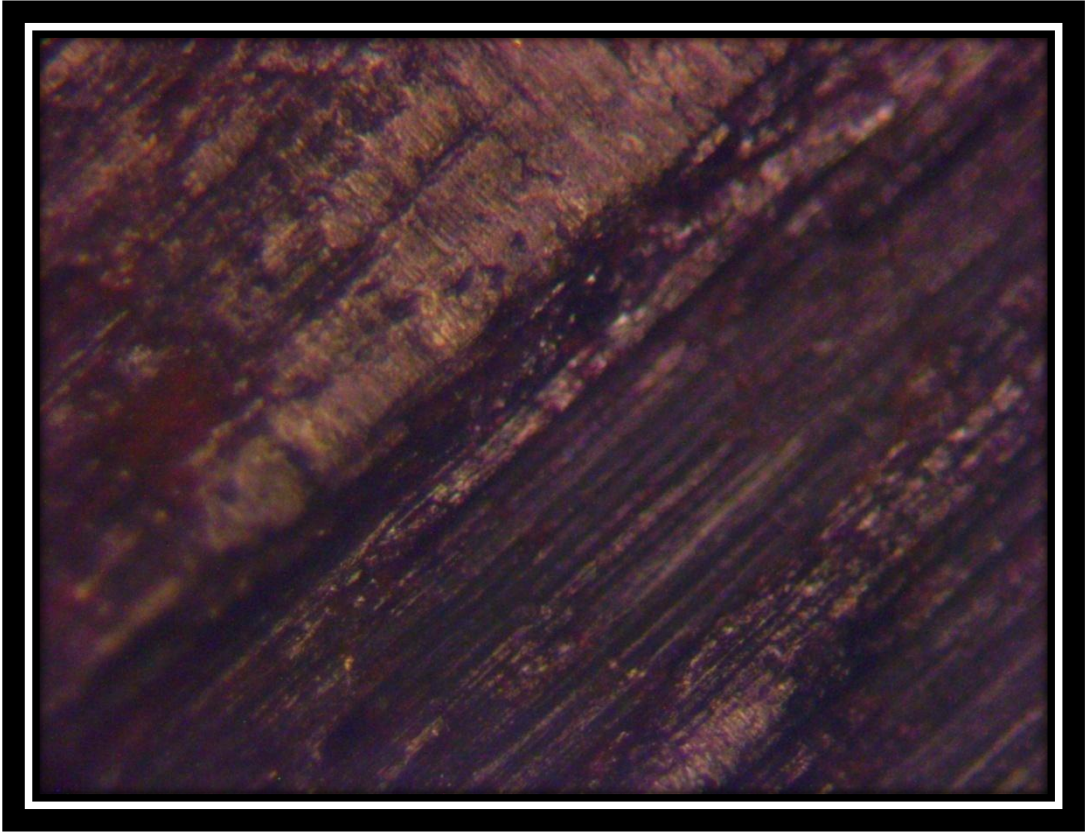
Şekil 4.53. Aşınmaya uğramış YYPE numunesinden bir görüntü



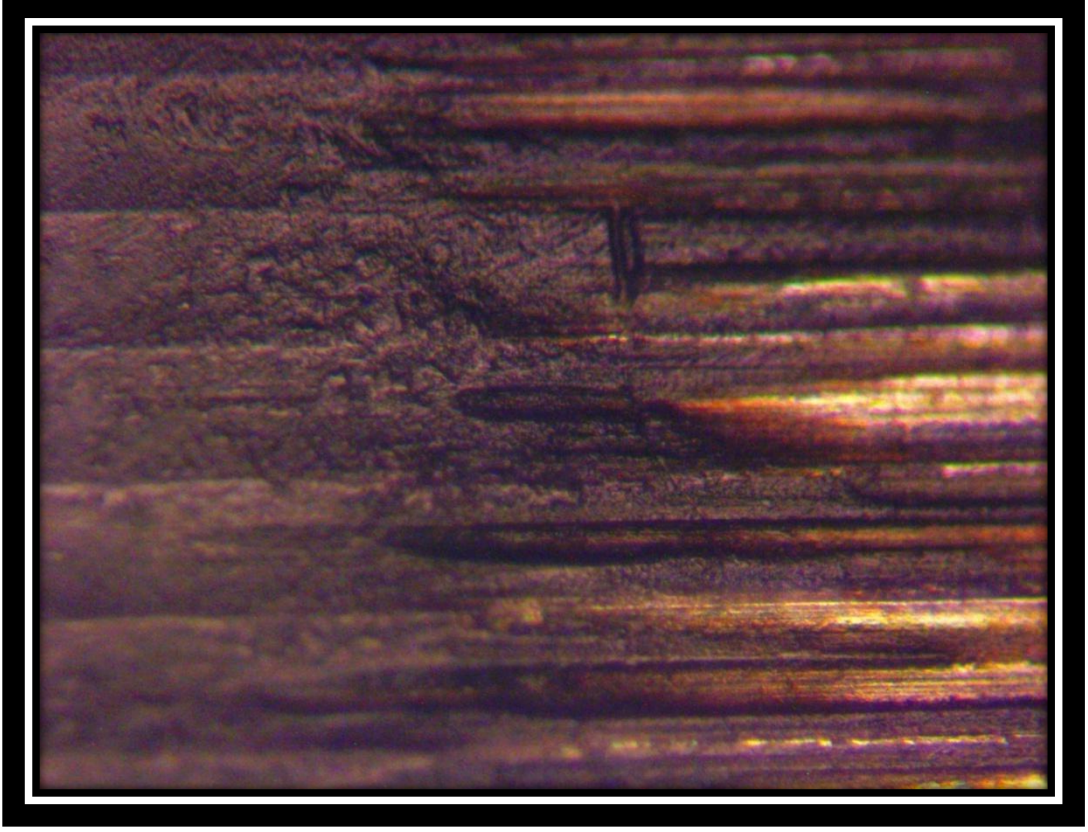
Şekil 4.54.YYPE numunesi karşısında aşınmaya uğramış metal burçtan bir görüntü



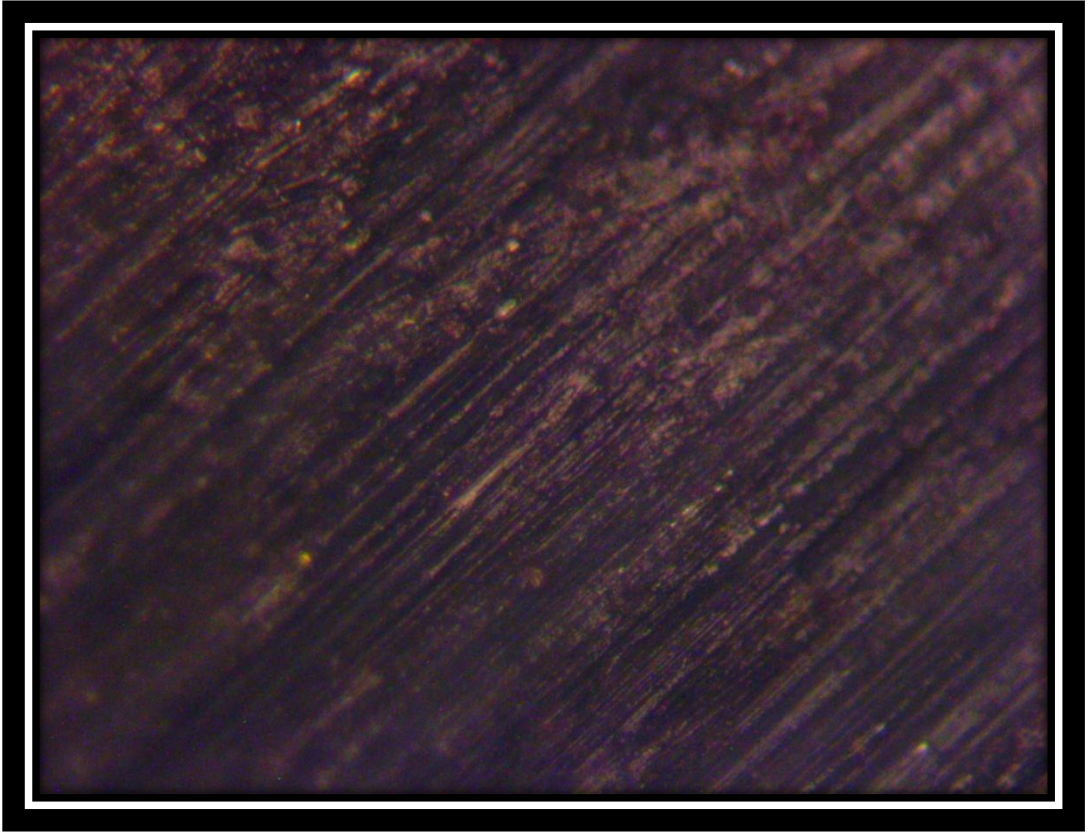
Şekil 4.55.Aşınmaya uğramamış YYPE %15 CB numunesinden bir görüntü



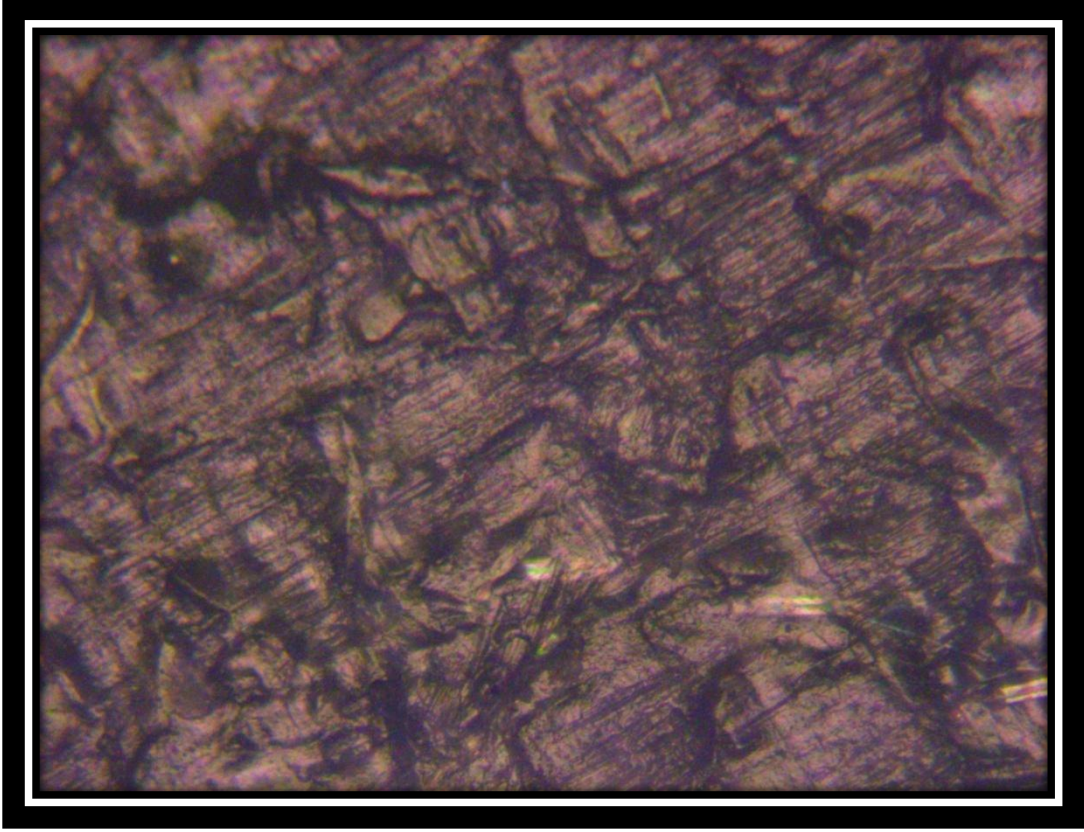
Şekil 4.56.Aşınmaya uğramış YYPE %15 CB numunesinden bir görüntü



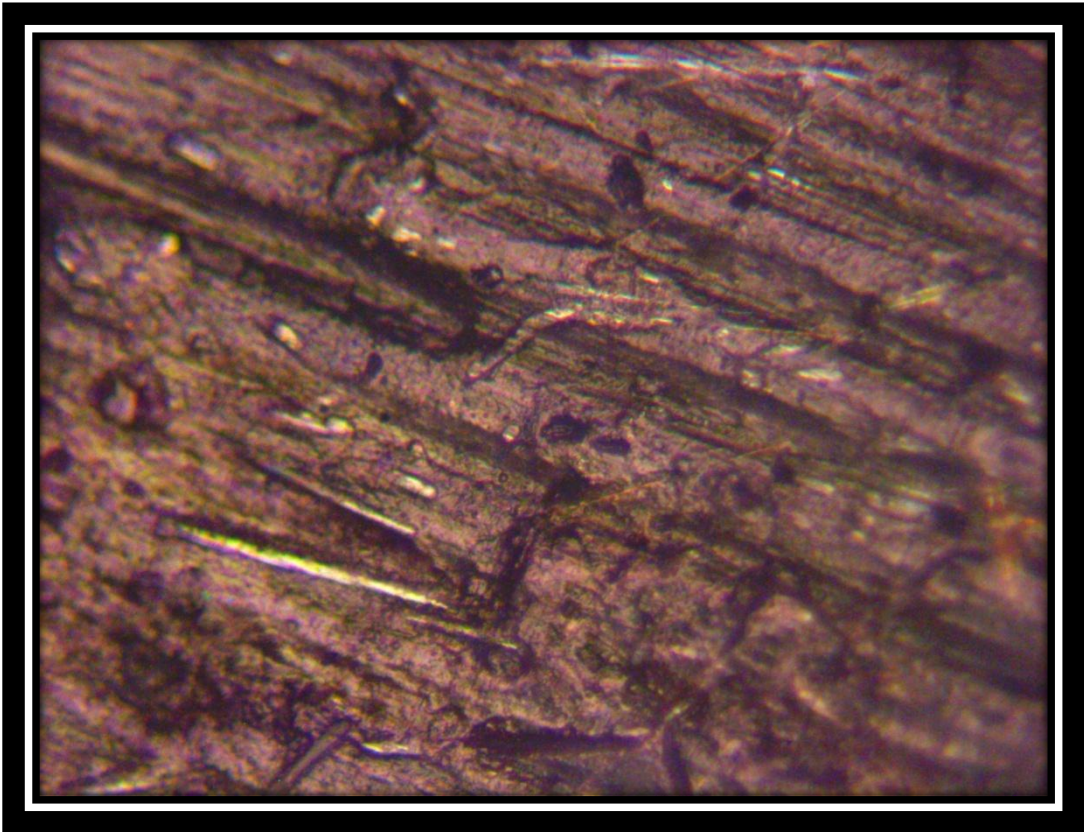
Şekil 4.57.YYPE %15 CB numunesi karşısında aşınmış metal burçtan bir görüntü



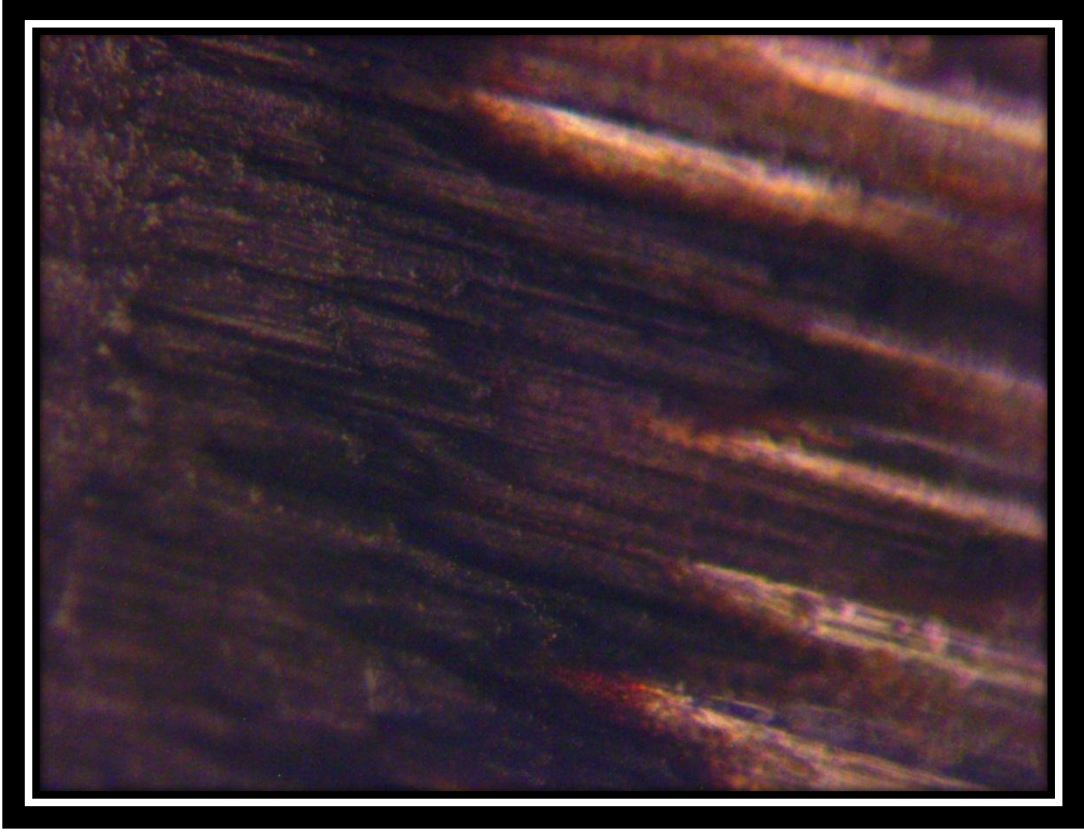
Şekil 4.58.Aşınmaya uğramış YYPE %15 CB numunesinde görülen cam bilyeler



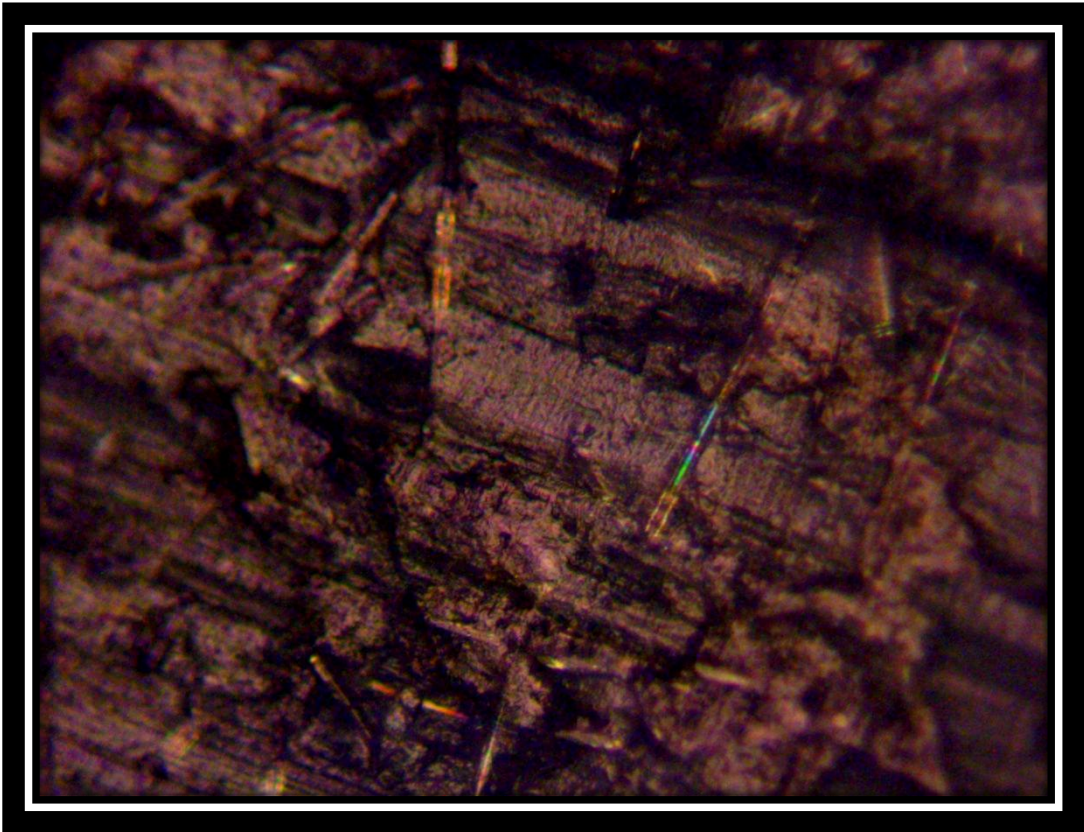
Şekil 4.59. Aşınmaya uğramamış YYPE % 15 CE numunesinden bir görüntü



Şekil 4.60. Aşınmaya uğramış YYPE % 15 CE numunesinden bir görüntü



Şekil 4.61. Aşınmaya uğrayan YYPE % 15 CE numunesi karşısında aşınmış metal burç



Şekil 4.62. Aşınmaya uğrayan YYPE % 15 CE numunesindeki elyaf parçacıkları

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada otomatik gergi rulmanının içindeki Poliamid (PA), Polioksümetilen (POM) ve Yüksek yoğunluklu Polietilen (YYPE)'in cam elyaf ve cam bilye takviye edilmesiyle elde edilen kompozit burç malzemesinin ve birlikte çalıştığı metal burcun aşınma davranışları araştırılmıştır. Ayrıca analiz yapılarak toplam deformasyon ve eşdeğer gerilmeleri bulunmuştur. Aşınma, toplam deformasyon ve eşdeğer gerilme arasındaki ilişki incelenmiştir.

Analiz sonuçlarına göre kompozit burçlar için toplam deformasyon sıralaması çoktan aza doğru PA66 15 CB, PA66 ve PA66 15 CE şeklinde olmuştur. Bunun sebebi PA66 15 CB numunesinde bulunan cam bilye parçacıklarının sertliklerinden ve aşınma direncinin çok yüksek olmamasından dolayı PA66 15 CB numunesinin çabuk aşınmasıdır. Teoride elyaf takviyesinin aşınma dayanımını üzerinde olumlu katkısının bulunduğu, bu yüzden PA66 15 CE numunesinin katkısız PA numunesine göre yüksek aşınma dayanımını göstermiştir.

Deneysel sonuçlara göre kompozit burçlar için aşınma sıralaması çoktan aza doğru PA66 15 CB, PA66 15 CE ve PA66 şeklinde olmuştur. PA66 15 CB numunesinde bulunan cam bilye parçacıklarının sertliklerinden ve aşınma direncinin çok yüksek olmamasından dolayı analiz sonuçlarında olduğu gibi deneysel olarak da en çok aşınan numune PA66 15 CB olmuştur. PA66 15 CE numunesinin PA numunesinden daha fazla aşınmaya uğramasının sebebi ise deneysel çalışmadaki aşınma çiftinin arasındaki çok fazla olmayan çalışma boşluğundaki elyaf demetlerinin hacimlerinin büyük olmasıdır. Bu sebeple sonuç olarak elyaf demetleri metal burç tarafından daha çok aşınmaya uğrar.

Analiz sonuçlarına göre metal burçlar için sıralama çoktan aza doğru PA66 15 CE, PA66 15 CB ve PA66 şeklinde olmuştur. Bunun sebebi PA66 15 CE numunesi elyaf takviyesinin ona kattığı özelliklerden dolayı, PA 66 15 CE numunesinin aşınma çiftinde aşındırıcı olan taraf olmasıdır. PA66 15 CB numunesindeki metal burcun PA66 numunesindeki metal burca göre daha çok aşınmasının sebebi ise PA66 15 CB numunesinde bulunan bilye parçacıklarının sert olmasıdır ve sonuç olarak metal burcu daha çok aşındırmasıdır.

Deneysel sonuçlara göre metal burçlar için aşınma sıralaması çoktan aza doğru PA66 15 CB, PA66 15 CE ve PA66 şeklinde olmuştur. PA66 15 CB numunesine karşı çalışan metal burcun en çok aşınmaya uğrayan metal burç olmasının sebebi deneysel çalışmadaki aşınma çifti arasındaki çok fazla olmayan çalışma boşluğundaki cam bilye parçalarının sertlikleridir. Bundan dolayı sonuç olarak PA66 15 CB numunesindeki cam bilye parçacıkları birlikte çalıştığı metal burcu daha fazla aşındırır. PA66 15 CE numunesinin birlikte çalıştığı metal

burcun PA66 numunesinin birlikte çalıştığı metal burca göre daha fazla aşınmasının sebebi ise elyaf katkısından kaynaklanmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre kompozit burçlar için toplam deformasyon sıralaması çoktan aza doğru POM, POM 15 CB ve POM 15 CE şeklindedir. Bunun sebebi elyaf ve bilye takviyelerinin POM reçinesiyle birleştiğinde aşınma üzerinde olumlu katkıda bulunmasından dolayıdır. Beklenildiği gibi POM 15 CE numunesi elyaf takviyesinden dolayı aşınma dayanımı en yüksek numune olmuştur.

Deneysel sonuçlara göre kompozit burçlar için aşınma sıralaması çoktan aza doğru POM, POM 15 CE ve POM 15 CB şeklinde olmuştur. En çok aşınmanın analiz sonuçlarında da görüldüğü gibi katkısız POM numunesinde olduğu, elyaf ve bilye takviyelerinin aşınma dayanımını arttırdığı gözlemlenmiştir. Beklenilenin aksine PA 15 CE numunesi PA 15 CB numunesinden daha fazla aşınmıştır. Bunun sebebi ise POM numunelerinin yuvalarına sıkı geçme metoduyla takılmasından dolayı çalışma boşluğu çok az olduğu için POM reçinesi diğer reçinelere göre daha çabuk aşınmış olup içerisindeki cam elyaf ve cam bilye takviyeleri ortaya çıkmıştır. Elyaf demetlerinin hacimlerinin bilye parçacıklarının hacimlerinden büyük olmasından dolayı elyaf demetleri daha çok aşınmaya uğramıştır.

Analiz sonuçlarına göre metal burçlar için sıralama çoktan aza doğru POM 15 CE, POM 15 CB ve POM şeklinde olmuştur. Bunun sebebi ise POM 15 CE numunesindeki elyaf katkısından dolayı POM 15 CE numunesinin aşınma çiftinde aşındırıcı taraf olmasıdır. POM 15 CB numunesinin birlikte çalıştığı metal burcun POM numunesinin birlikte çalıştığı metal burca göre daha fazla aşınmasının sebebi ise POM 15 CB numunesindeki bilye parçacıklarının sert olmasıdır. Sonuç olarak birlikte çalıştığı metal burcu daha çok aşındırır.

Deneysel sonuçlara göre metal burçlar için aşınma sıralaması çoktan aza doğru POM, POM 15 CE ve POM 15 CB şeklinde olmuştur. Sonucun beklenilenin aksine çıkmasının sebebi ise POM numunesinin, yuvasına sıkı geçme metoduyla takılmasından dolayı birlikte çalışmaya başladıklarında POM reçinesi metal burca yapışmıştır (sürtünme yapışması) ve bu sebepten dolayı da katkısız POM numunesine karşı çalışan metal burçtaki aşınma miktarı en çok olmuştur. Beklenilenin aksine POM 15 CE numunesine karşı çalışan metal burçtaki aşınmanın POM 15 CB numunesine karşı çalışan metal burçtan fazla olmasının sebebi POM numunelerindeki sıkı geçmeden dolayı oluşan çalışma boşluğunun çok az olduğu için bilye tanelerine göre hacmi büyük olan elyaf demetlerinin metal burca daha çok sürtünmesidir. Bundan dolayı da POM 15 CE numunesine karşı çalışan metal burç daha çok aşınmıştır.

Analiz sonuçlarına göre kompozit burçlar için toplam deformasyon sıralaması çoktan aza doğru YYPE 15 CB, YYPE ve YYPE 15 CE şeklinde olmuştur. Bunun sebebi YYPE 15 CB numunesindeki bilye tanelerinin sertliklerinden ve aşınma direncinin çok yüksek olmamasından dolayı çabuk aşınmasıdır. YYPE 15 CE numunesinin katkısız YYPE numunesine göre daha az aşınmasının sebebi ise elyaf katkısının aşınma dayanımını artırmasından dolayıdır.

Deneysel sonuçlara göre kompozit burçlar için aşınma sıralaması çoktan aza doğru YYPE 15 CB, YYPE 15 CE ve YYPE şeklinde olmuştur. YYPE 15 CB numunesindeki bilye tanelerinin sertliklerinden dolayı ve aşınma direncinin çok yüksek olmamasından dolayı analiz sonuçlarında olduğu gibi deneysel olarak da en çok aşınmaya uğrayan numunedir. Beklenilenin aksine YYPE 15 CE numunesinin YYPE numunesinden daha çok aşınmaya uğramasının sebebi kompozit burç ve metal burç arasındaki çok fazla olmayan çalışma boşluğundaki elyaf demetlerinin hacimlerinin büyük olmasından dolayı daha çok aşınmaya uğramasıdır.

Analiz sonuçlarına göre metal burçlar için sıralama çoktan aza doğru YYPE 15 CE, YYPE 15 CB ve YYPE şeklinde olmuştur. Bunun sebebi ise YYPE 15 CE numunesindeki elyaf katkısından dolayı, YYPE 15 CE numunesinin aşınma çiftinde aşındırıcı taraf olmasıdır. YYPE 15 CB numunesiyle birlikte çalışan metal burç YYPE numunesiyle birlikte çalışan metal burca göre daha çok aşınmasının sebebi ise YYPE 15 CB numunesindeki bilye tanelerinin sertliklerinden dolayı metal burcu daha fazla aşındırmasıdır.

Deneysel sonuçlara göre metal burçlar için aşınma sıralaması çoktan aza doğru YYPE 15 CB, YYPE 15 CE ve YYPE şeklinde olmuştur. YYPE 15 CB numunesiyle birlikte çalışan metal burcun en çok aşınmaya uğrayan metal burç olmasının sebebi, deneysel çalışmadaki kompozit burç ile metal burç arasında olan çalışma boşluğunun çok fazla olmadığı için bilye taneciklerinin sertliklerinden dolayı birlikte çalıştığı metal burcu daha fazla aşındırmasıdır. YYPE 15 CE numunesinin birlikte çalıştığı metal burcun YYPE numunesinin birlikte çalıştığı metal burca göre daha fazla aşınmasının sebebi ise elyaf katkısından dolayıdır.

Analiz sonuçlarına göre kompozit burçlar için toplam deformasyon sıralaması çoktan aza göre YYPE 15 CB, YYPE, YYPE 15 CE, PA66 15 CB, POM, PA66, PA66 15 CE, POM 15 CB ve POM 15 CE şeklinde olmuştur. Bunun sebebi POM reçinesinin molekül zincirlerinin yapısının esnek bir yapıya sahip olmasından dolayı sürtünme katsayısının düşük ve aşınma dayanımı iyi olmasıdır. POM reçinesinin bu özelliği elyaf takviyesinin ona kattığı aşınma dayanımıyla birleştiğinde POM 15 CE numunesi aşınmaya karşı en dayanıklı numune olmuştur.

Aşınma dayanımı en düşük olan malzeme ise YYPE 15 CB numunesidir. Bunun sebebinin ise aşınma dayanımı en düşük olan reçine olan YYPE reçinesinin cam bilye tanecikleriyle birleştiğinde bilye ve reçinenin birlikte aşınmasıdır.

Deneysel sonuçlara göre kompozit burçlar için aşınma sıralaması çoktan aza göre POM, POM 15 CE, POM 15 CB, YYPE 15 CB, YYPE 15 CE, YYPE, PA66 15 CB, PA66 15 CE ve PA66 şeklinde olmuştur. Beklenenin aksine POM numunelerinin en çok aşınmaya uğrayan numuneler olmalarının sebebi, POM numunelerinin yuvalarına sıkı geçme metodu yoluyla takıldığı için aşınma çiftinde bulunan kompozit burç ve metal burç arasındaki çalışma boşluğunun çok az olmasıdır. Kalan diğer numuneler arasında ise analiz sonuçlarında olduğu deneysel sonuçlarda da YYPE 15 CB numunesi en çok aşınmaya uğrayan numune olmuştur. Bunun sebebi ise beklenildiği gibi aşınma dayanımı en düşük olan YYPE reçinesiyle bilye taneciklerinin aşınmaya uğramalarıdır.

Analiz sonuçlarına göre metal burçlar için sıralama çoktan aza göre POM 15 CE, POM 15 CB, PA66 15 CE, POM, PA66 15 CB, PA66, YYPE 15 CE, YYPE CB ve YYPE şeklinde olmuştur. Bunun sebebi ise POM 15 CE numunesine karşı çalışan metal burçta, POM 15 CE numunesinin elyaf takviyesinin aşınma dayanımından dolayı aşındırıcı taraf olarak davranış sergilemesidir. YYPE numunesine karşı çalışan metal burcun ise en az aşınmaya uğrayan metal burç olmasının sebebi ise YYPE reçinesinin en yumuşak malzeme olduğu için metal burçta en az aşınmaya yol açmasıdır.

Deneysel sonuçlara göre metal burçlar için aşınma sıralaması çoktan aza göre POM, POM 15 CB, POM 15 CE, PA66 15 CB, PA66 15 CE, PA66, YYPE 15 CB, YYPE 15 CE ve YYPE şeklinde olmuştur. POM numunesine karşı çalışan metal burcun en çok aşınmaya uğrayan metal burç olmasının sebebi POM numunesi olan kompozit burç, yuvasına sıkı geçme metoduyla takıldığı için çalışma boşluğu çok azdır. Bu yüzden POM reçinesi metal burca yapışarak bir sürtünme yapışması durumu ortaya çıkmıştır ve bu durumda birlikte çalıştıklarından dolayı en çok aşınmaya uğrayan metal burç olmuştur. Analiz sonuçlarında olduğu gibi en az aşınma uğrayan metal burç YYPE numunesine karşı çalışan metal burç olmasının sebebi ise YYPE reçinesinin en yumuşak reçine olmasından dolayıdır.

6. KAYNAKLAR

- Anderson JC (1982). High Density and Ultra-High Molecular Weight Polyethenes: Their Wear Properties and Bearing Applications. *Tribology International*. 15(1): 43-47.
- Bahadur A, Tabor D (1985). Role of fillers in the friction and wear behavior of high-density polyethylene, *Polymer Wear and Its Control*, ed: L-H. Lee. American Chemical Society Symposium Series. USA, 253-268.
- Briscoe BJ, Tabor D (1980). The sliding wear of polymers: a brief review. *Fundamentals of Tribology*, ed: N.P. Suh, N. Saka, The MIT Press, Massachusetts, 733-768.
- Can AÇ (2006). *Tasarımcı Mühendisler İçin Malzeme Bilgisi*. Birsen Yayınevi, 281s, İstanbul.
- Chang HW (1983). Wear Characteristics of Composites: Effect of Fiber Orientation. *Wear*, 85:81-91.
- Chang L, Zhang Z, Zhang H, Schlarb AK (2006). On the Sliding Wear of Nanoparticle Filled Polyamide 66 Composites. *Composites Science and Technology*. 66(16): 3188-3198.
- Chen YK, Kukureka SN, Hooke CJ, Rao M (2000). Surface Topography and Wear Mechanisms in Polyamide 66 and Its Composites. *Journal of Materials Science*. 35(5): 1269-1281.
- Chen YK, Modi OP, Mhay AS, Chrysanthou A, O'sullivan JM (2003). The Effect of Different Metallic Counterface Materials and Different Surface Treatments on the Wear and Friction of Polyamide 66 and Its Composite in Rolling-Sliding Contact. *Wear*. 255(1-6): 714-721.
- Chen J, Cao Y, Li H (2006a). An Investigation on Wear Mechanism of POM/LLDPE Blends. *Journal of Applied Polymer Science*. 101(1): 48-53.
- Clerico M (1969). A Study of the Friction and Wear of Nylon Against Metals. *Wear*. 13(3): 183-197.
- Clerico M (1980). Tribological Behaviour of Polyacetals. *Wear*. 64(2): 259-272.
- Davis JR (2001). *Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance*. ASM International, 279, United States.
- Dong Y, Zhu W, Zhang X, Guo J (2015). Design of Special Plastic Bearings and Their Application in Renewable Energy Conversion System. *The Open Materials Science Journal*. 9: 203-209.
- Kar MK, Bahadur S (1978). Micromechanism of Wear at Polymer-Metal Sliding Interface. *Wear*. 46(1978): 189-202.
- Kishore, Sampathkumaran P, Seetharamu S, Murali A ve Kumar R.K. (2001). On the SEM Features of Glass-Epoxy Composite System Subjected to Dry Sliding Wear. *Wear*, 241:208-213.
- Koç R (2011). Mühendislik Plastiklerinin Aşınma Davranışlarının Deneysel İncelenmesi. *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8:27-40.
- Kukureka SN, Chen YK, Hooke CJ, Liao P (1995). The Wear Mechanisms of Acetal in Unlubricated Rolling-Sliding Contact. *Wear*. 185(1-2): 1-8.

- Kumaresan K, Chandramohan G, Senthilkumar M, Suresha B, Indran S (2011). Dry sliding wear behaviour of carbon fabric reinforced epoxy composite with and without siliconcarbide. *Composite Interfaces*, 18:509-526.
- Li H, Zhang WZ (2000). Application Research of Modified POM Three Layers Composite. *Journal of Beijing University Chemical Technology*. 27(2): 39-41.
- Mariam M, Afendi M, Abdul Majid MS, Ridzuan MJM, Gibson A (2018). Tensile and fatigue properties of single lap joints of aluminium alloy/glass fibre reinforced composites fabricated with different joining methods. *Elsevier*, 200:647-658.
- Mejia OO, Brostow W, Buchman E (2010). Wear Resistance and Wear Mechanisms in Polymer + Metal Composites. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 10: 1-6.
- Nasır RMD, Azizan MM (2011). Adhesion and friction of E-glassfiber reinforced epoxy composites for tribo-applications. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 24:1-14.
- Palabiyik M, Bahadur S (2000). Mechanical and Tribological Properties of Polyamide 6 and High Density Polyethylene Polyblendswith and without Compatibilizer. *Wear*. 246(1-2): 149-158.
- Pihtili H (2009). An experimental investigation of wear of glassfibre–epoxyresin and glassfibre–polyester resin composite materials. *European Polymer Journal*, 45:149-154.
- Raju BR, Suresha B, Swamy RP, Kanthraju BSG (2013). Investigation on mechanical and tribologicalbehaviour of particulate filled glassfabric reinforced epoxy composites. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 1:160-167.
- Ramesh R, Kishore, RaoRMVGK (1983). Dry Wear Studies on Glass-Fibre-Reinfoced Epoxy Composites. *Wear*, 89:131-136.
- Rymuza Z (1990). Predicting Wear in Miniature Steel-Polymer Journal Bearings. *Wear*. 137(2): 211-249.
- Srivastava VK, Pathak JP, Tahzibi K (1992). Wear and Friction Characteristics of Mica-Filled Fibre-Reinforced Epoxy Resin Composites. *Wear*, 152:343-350.
- Sumer M, Unal H, Mimaroglu A (2008). Evaluation of Tribological Behaviour of PEEK Composite Under Dry Sliding and Water lubricated Conditions. *Wear*, 265:1061-1065.
- Sun LH, Yang ZG, Li XH (2008). Study on the Friction and Wear Behavior of POM/Al₂O₃ Nanocomposites. *Wear*. 264(7-8): 693-700.
- Suresha B, Chandramohan G, Samapthkumaran P, Seetharamu S, Vynatheya S (2006). Friction and Wear Characteristics of Carbon-epoxy and glass-epoxy Woven Roving Fiber Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25:771-782.
- Suresha B, Chandramohan G, Samapthkumaran P, Seetharamu S, (2007). Investigation of the Friction and Wear Behavior of Glass-epoxy Composite With and Without Graphite Filler. *Journal of Reinforced Plasticsand Composites*, 26:81-93.
- Tokoro H, Nakamura M, Sugiura N , Tani H , Yamamoto K , Shuku T (1998). Analysis of high frequency noise in engine timing belt. *Elsevier*, 19:33-38.

- Unal H, Sen A, Mimaroglu A (2004). Dry Sliding Wear Characteristics of Some Industrial Polymers Against Steel Counterface. *Tribology International*. 37(9): 727-732.
- Utkin VI, Chen DS, Zarei S, Miller J (2000). Nonlinear estimator desing of automotive alternator utilizing battery current and speed measurements. Elsevier, 6:135-149.
- Varol N, Yıldırım M (1995). Plastiklerin Aşınma Davranışları. 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, 488-497, Denizli.
- Vishwanath B, Verma AP, KameswaraRao CVS(1991). Effect of Fabric Geometry on Friction and Wear of Glass-Fibre-Reinforced Composites. *Wear*, 145:315-327.
- Wang J, Gu M, Songhao B, Ge S (2003). Investigation of the Influence of MoS₂ Filler on the Tribological Properties of Carbon Fiber Reinforced Nylon 1010 Composites. *Wear*. 255(1-6): 774-779.
- Watanabe M, Yamaguchi H (1986). The Friction and Wear Properties of Nylon. *Wear*. 110(3-4): 379-388.
- Wolf B, Mack S, Arneth R, Hartmann B, Hauck C, Rauch M (2015). Tensioning device for a belt drive and electric engine with such a tensioning device, US Grant US8968128B2, Schaeffler Technologies AG andCo KG.
- Xing Y, Zhang G, Ma T, Chen T, Zhao X (2009). Study on the Friction and Wear Behaviors of Modified PA66 Composites. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*. 48(6): 633-638.
- Yaşar İ, Arslan F (2000). Sürekli cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozitlerde elyaf hacim oranı ve elyaf doğrultusunun tribolojik özelliklere etkisi. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 24:181-191.
- Yu S, Hu H, Yin J (2008). Effect of Rubber on Tribological Behaviors of Polyamide 66 Under Dry and Water Lubricated Sliding. *Wear*. 265(3-4): 361-366.
- Zhang Z, Breidt C, Chang L, Hauptert F, Friedrich K (2004). Enhancement of the wear resistance of epoxy: short carbonfibre, graphite, PTFE and nano-TiO₂. Elsevier, Part A 35:1385-1392.

ÖZGEÇMİŞ

1991 Afyon doğumlu olan Osman YEŞEN lise öğrenimini Kırklareli Atatürk Anadolu Lisesi'nde tamamlamıştır. 2010-2015 yılları arasında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği bölümünden mezun olmuştur. 2016 yılında Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı. 2015-2016 yıllarında A.B.A AUTOMOTIVE'de AR-GE mühendisi olarak görev yapmıştır.2016-2018 yılları arasında yine aynı şirkette üretim sorumlusu olarak görev yapmıştır.