

**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇEVRESEL ETKİLERE MARUZ KOMPOZİT MALZEMELERİN  
AŞINMASI**

**Deniz DEĞİRMENCİ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2016**



**T.C.  
HARRAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇEVRESEL ETKİLERE MARUZ KOMPOZİT MALZEMELERİN  
AŞINMASI**

**Deniz DEĞİRMENCİ**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ŞANLIURFA  
2016**

Prof. Dr. Murat KISA danışmanlığında, Deniz DEĞİRMENCİ'nin hazırladığı “Çevresel Etkilere Maruz Kompozit Malzemelerin Aşınması” konulu bu çalışma 13/12/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. Murat KISA .....

Üye : Doç. Dr. Bülent AKTAŞ .....

Üye : Yrd. Doç. Dr. M. Emin DENİZ .....

**Bu Tezin Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım**

**Prof. Dr. Murat Kısa**  
**Enstitü Müdürü**

**Bu çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.**  
**Proje No: 16035**

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....	3
2.1. Sürtünme .....	7
2.1.1. Sürtünme teorisi .....	7
2.2. Aşınma .....	10
2.2.1. Aşınmayı etkileyen faktörler .....	11
2.2.2. Triboloji .....	12
2.2.2.1. Tribolojik sistemi meydana getiren temel unsurlar .....	13
2.3. Aşınma Çeşitleri .....	14
2.3.1. Adhezif aşınma .....	15
2.3.2. Abrasif aşınma .....	15
2.3.3. Yorulma aşınması .....	16
2.3.4. Korozif aşınması .....	17
2.4. Kompozit Malzemeler .....	17
2.4.1. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları .....	18
2.4.2. Kompozitlerin kullanım alanları .....	19
2.5. Kompozit Malzeme Yapımında Kullanılan Temel Maddeler .....	20
2.5.1. Matris malzemeleri .....	20
2.5.2. Reçineler ve özellikleri .....	21
2.5.2.1. Epoksi reçineler .....	21
2.5.2.2. Polyesterler .....	21
2.5.2.3. Üretan reçineleri .....	21
2.5.2.4. Fenolik reçineler .....	21
2.5.3. Kompozit üretiminde takviye edilen fazlar .....	22
2.5.3.1. Metal matrisli kompozitler .....	22
2.5.3.2. Seramik matrisli kompozitler .....	22
2.5.3.3. Polimer matrisli kompozitler .....	22
2.5.4. Kompozit üretiminde takviye eden fazlar .....	23
2.5.4.1. Karbon elyafı .....	23
2.5.4.2. Aramid elyafı .....	24
2.6. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri .....	24
2.6.1. Vakum destekli reçine infüzyon tekniği (VDRİT) .....	25
3. MATERYAL ve YÖNTEM .....	27
3.1. Polimer Matrisli Kompozit Malzemenin İmalat .....	27
3.2. Deneyde Kullanılan Kompozit Numunelerin Hazırlanması .....	34
3.3. Kompozit Numunelere ait Ağırlıkların Hassas Terazilerle Belirlenmesi .....	34
3.4. Deney Numunesinin Aşınma Düzenine Yerleştirilmesi .....	35
3.5. Deney İçin Gerekli Devir Sayısı, Uygulanacak Yük, İz Çapı ve Zaman Değerinin Belirlenmesi .....	36
3.6. Aşınma Deneyi .....	37
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA .....	39
4.1. Aramid Elyaf Kompozitin Mikroyapısı .....	39
4.2. Aramid Elyaflı Kompozitlerin Aşınma Deneyleri .....	40
4.2.1. Çevresel etkilere maruz kalmadan önce aramid elyaflı kompozit numunelerin 10N kuvvet etkisinde aşınma deneyi .....	40
4.2.2. Çevresel etkilere maruz kalmadan önce aramid elyaflı kompozit numunelerin 20N kuvvet etkisinde aşınma deneyi .....	42
4.2.3. Çevresel etkilere maruz kalmadan önce aramid elyaflı kompozit numunelerin 30N kuvvet etkisinde aşınma deneyi .....	44
4.3. Çevresel Şartlara Maruz Kalan Aramid Elyaflı Kompozitlerin Aşınma Davranışı .....	48

4.3.1. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyafli kompozitlerin mikroyapisi.....	48
4.3.2. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz kalan aramid elyafli kompozit 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisinde aşınma deneyi.....	49
4.3.3. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozitlerin mikroyapisi.....	54
4.3.4. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisindeki aşınma davranışları.....	55
4.3.5. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozitlerin mikroyapisi.....	60
4.3.6. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisindeki aşınma deneyi.....	60
4.4. Karbon Elyaf Kompozitin Mikroyapisi.....	67
4.5. Karbon Elyafli Kompozitlerin Aşınma Deneyleri.....	68
4.5.1. Çevresel etkilere maruz kalmadan önce karbon elyafli kompozit numunelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisinde aşınma deneyleri.....	68
4.5.2. Çevresel şartlara maruz kalan karbon elyafli kompozitlerin aşınma davranışı.....	72
4.5.3. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozitlerin mikroyapisi.....	73
4.5.4. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz kalan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisinde aşınma deneyi.....	74
4.5.5. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozitlerin mikroyapisi.....	77
4.5.6. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisindeki aşınma davranışları.....	77
4.5.7. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozitlerin mikroyapisi.....	81
4.5.8. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisindeki aşınma deneyi.....	81
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	88
5.1. Sonuçlar.....	88
5.2. Öneriler.....	93
KAYNAKLAR.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	97

# ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

**ÇEVRESEL ETKİLERE MARUZ KOMPOZİT MALZEMELERİN AŞINMASI**

**Deniz DEĞİRMENCI**

**Harran Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Prof. Dr. Murat KISA  
YIL: 2016, Sayfa: 97**

Günümüzde, endüstriyel uygulamaların her geçen gün artması daha iyi özellikleri taşıyan malzeme gereksiniminin doğmasına neden olmuştur. Bu gereksinimler, daha iyi özelliklere sahip kompozit malzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır. Özellikle son yarım yüzyılda kompozit malzemelerdeki üretim büyük ölçüde artmıştır. Kompozit malzemeler geleneksel malzemelere göre daha yüksek dayanım/yoğunluk ve elastisite modülü/yoğunluk oranlarına sahip olduklarından dolayı tercih edilirler. Birbirleriyle temas halinde çalışan tüm makine elemanlarında ve yapılarda yüzey pürüzlülüğü nedeniyle aşınma olayının meydana gelmesi kaçınılmazdır. Aşınma neticesinde bu elemanlar kendilerinden beklenen fonksiyonları tam olarak yerine getiremezler. Makine parçalarının yapımında kullanılan malzemelerde, çalışma koşullarında beklenen en önemli özelliklerden bir tanesi de aşınmaya karşı gösterdikleri dirençtir. Günümüzde hemen hemen sanayinin tüm alanlarında sıklıkla kullanılan kompozitlerin çalıştıkları ortamlarda aşınma etkileri altında nasıl davranış göstereceklerinin önceden tespiti önem arz etmektedir. Bu çalışmada, farklı çevresel (toprak, su, güneş) etkilere maruz karbon ve aramid elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kuru kayma şartlarında mikroyapıları ve aşınma davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Kompozit malzemelerin üretiminde Vakum Destekli Reçine Infüzyon Tekniği(VDRIT) kullanılmıştır. Çevresel koşullar etkisindeki aramid ve karbon elyafli kompozit malzemelere uygulanan yükün, çevre faktörünün ve bu etkilere maruziyet sürelerinin sürtünme katsayılarına ve aşınma miktarlarına olan etkileri bu çalışma ile ortaya konarak çevresel koşullara maruz kompozitlerin aşınma davranışları hususunda önemli bilgiler elde edilmiştir. Aşınma deneyleri, 10N, 20N, 30 N gibi üç farklı yük altında ve 0,2 m/s hızında yapılmıştır. Deneylerdeki aşınma ağırlık kaybı olarak tespit edilmiştir. Ağırlık kayıpları 10N, 20N, 30 N yükler uygulandıktan sonra ölçülmüştür. Testler üç benzer numune üzerinde yapılarak ortalama değerleri alınmıştır. Literatürde bulunan sonuçlara benzer olarak bu çalışmada da, aramid ve karbon elyaf takviyeli kompozit malzemelerin farklı çevresel etkilere maruz bırakıldıklarında sürtünme katsayılarında azalmalar, ağırlıkça aşınma miktarlarında ise artışlar tespit edilmiştir. Bu değişimlerde maruziyet süresine bağlı olarak artışlar görülmüştür. Bu çalışmayla elde edilen bilgi ve verilerin kullanımı, kompozitten üretilmiş olan makina elemanlarının farklı çevre şartlarında kullanımı ve malzeme seçimi konularında yol gösterici olacaktır.

**ANAHTAR KELİMELER:** Kompozit malzemeler, Çevresel etkiler, Aşınma, Kuru sürtünme.

## **ABSTRACT**

**MSc Thesis**

### **ABRASION OF COMPOSITE MATERIALS EXPOSED TO ENVIRONMENTAL EFFECTS**

**Deniz DEĞİRMENÇİ**

**Harran University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Murat KISA  
YEAR: 2016, Page: 97**

Today, the ever-increasing number of industrial applications has led to the need for materials with better characteristics. These requirements have led to the development of composite materials with better properties. Especially in the last half century, the production in composite materials has increased to a great extent. Composite materials are preferred because of having higher strength / density and modulus / density ratios than conventional materials. Due to the surface roughness, occurrence of the abrasion is inevitable in all machine elements and structures which are in contact. As a result of abrasion, these elements can not fulfill the functions expected from them. One of the most important properties expected in working conditions in the materials used in producing machine parts is the resistance against abrasion. Presently, it is important to know how composites that are used frequently in almost all areas of the industry will behave under the effects of abrasion in the environments they work in. In this study, microstructures and abrasion behaviors of carbon and aramide fiber reinforced composites subjected to different environmental (soil, water, solar) influences under dry shear conditions were experimentally investigated. Vacuum Assisted Resin Infusion Technique (VDRIT) was used for the production of composite materials. The effects of load applied to aramid and carbon fiber composites under environmental conditions, environmental factors and exposure times of these effects on friction coefficients and abrasion amounts were investigated in this study to obtain important information on abrasion behaviors of composites exposed to environmental conditions. The abrasion tests were carried out under three different loads of 10N, 20N, 30N and at a speed of 0,2 m/s. The abrasion in the experiments was determined as weight loss. Weight losses were measured after application of 10N, 20N, 30N loads. The tests were carried out on three similar samples and their mean values were taken. Similar to the results in the literature, in this study, the friction coefficients of the aramid and carbon fiber-reinforced composite materials were reduced when they were subjected to different environmental influences, as the increase in the amount of abrasion by weight was found. Increases in these changes were observed, depending on the duration of exposure. The use of information and data obtained through this study will guide the selection of composite materials and the selection of materials for use in different environmental conditions.

**KEYWORDS:** Composite materials, Environmental effects, Abrasion, Dry friction



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam süresince bana yol gösteren, yakın ilgisini ve alakasını esirgemeyen ve bu sahada bilgilerinden son derece yararlandığım danışman hocam Prof. Dr. Murat KISA'ya teşekkürlerimi sunarım.

Malzemelerin alınımında bana imkân sağlayan HÜBAK'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmamızda kullandığımız kompozit malzemenin yapımında yardımcı olan Zekeriya ARSLAN ve Mehmet ALBAŐKARA'ya verdikleri emeklerden dolayı teşekkür ederim.

Tüm çalışmam boyunca her türlü maddi, manevi destekleri ve dualarıyla yanımda olan anneme, babama ve kardeşlerime en içten duygularıyla minnettarım.



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Sürtünme kuvveti.....	8
Şekil 2.2. Statik sürtünme kuvveti.....	8
Şekil 2.3. Birbiri üzerinde hareket eden yüzeyler arasındaki teorik kuru sürtünmenin şeması.....	10
Şekil 2.4. Yüzey topoğrafyası.....	12
Şekil 2.5. Sürtünme ve aşınmayı etkileyen temel unsurlar.....	13
Şekil 2.6. İyi yüzey işlemi görmüş bir yüzeyin mikroskop ile alınmış şematik görünüşü.....	14
Şekil 2.7. Dört aşınma mekanizmasının şematik gösterimi.....	14
Şekil 2.8. İki elemanlı ve üç elemanlı abrasif aşınma oluşum ekileri.....	16
Şekil 2.9. Yorulma aşınmasının mekanizması.....	16
Şekil 2.10. Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Tekniği (VDRİT).....	25
Şekil 3.1. Ayırıcı film.....	26
Şekil 3.2. Sızdırmazlık bandının ayırıcı filmin etrafına yapıştırılması.....	28
Şekil 3.3. Elyaf kumaşın ayırıcı film üzerine serilişi.....	28
Şekil 3.4. Soyma kumaşının serilişi.....	29
Şekil 3.5. İnfüzyon filesinin soyma kumaşının üstüne konulmuş hali.....	29
Şekil 3.6. Spiral hortum ve t bağlantı borusunun plaka üzerine yerleştirilmesi.....	30
Şekil 3.7. Vakum naylonunun hazırlanan plaka üzerine serilişi.....	30
Şekil 3.8. T borularının ağız kısımları infüzyon hortumu ile bağlantısının sağlanması.....	31
Şekil 3.9. Plakanın vakumlanmaya hazır son hali.....	31
Şekil 3.10. Epoksi reçinenin hazırlanışı.....	32
Şekil 3.11. Reçinenin vakumla ilerleyişi.....	32
Şekil 3.12. Soyma kumaşının sökülme işlemi.....	33
Şekil 3.13. Plakanın numune ölçülerinde kesim aşaması.....	33
Şekil 3.14. Deney numunelerinin kesme tezgâhında kesilmesi.....	34
Şekil 3.15. Deney numunelerinin son hali (numunenin kalınlığı =10mm).....	34
Şekil 3.16. Kompozit Malzemenin Hassas Terazî İle Ölçülmesi.....	35
Şekil 3.17. Deney numunesinin aşınma düzeneğine yerleştirilmesi.....	35
Şekil 3.18. İz çapı değerinin belirlenmesi.....	36
Şekil 3.19. Deney düzeneği.....	37
Şekil 3.20. Aşınma test cihazı bilgisayar yazılımı.....	38
Şekil 4.1. Aramid elyaf kompozitin mikroyapısı; a) kompozit numunenin deney öncesi mikroyapısı b) kuvvet etkisindeki kompozit numunenin mikroyapısı.....	40
Şekil 4.2. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 10 N kuvvet uygulandığında elde edilen sonuçlar.....	41
Şekil 4.3. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 20 N kuvvet uygulandığında elde edilen sonuçlar.....	43
Şekil 4.4. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 30 N kuvvet uygulandığında elde edilen sonuçlar.....	45
Şekil 4.5. Herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yüke bağlı değişimi.....	47
Şekil 4.6. Herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan aramid elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının uygulanan yüke bağlı değişimi.....	47
Şekil 4.7. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyafli kompozitlerin mikroyapısı; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N.....	49
Şekil 4.8. 100 gün süre ile güneşe maruz kalan aramid elyafli kompozit malzemelerin sürtünme değişim; a)10N, b)20N, c)30N.....	50
Şekil 4.9. 200 gün süre ile güneşe maruz kalan aramid elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayılarındaki değişim; a)10N, b)20N, c)30N.....	51
Şekil 4.10. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları.....	53

Şekil 4.11. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları.....	53
Şekil 4.12. 100 ve 200 gün süre ile toprağa maruz bırakılan aramid elyafli kompozitlerin a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün -20N, f)200 gün-30N.....	55
Şekil 4.13. 100 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayılarındaki değişim; a)10N, b)20N, c)30N.....	56
Şekil 4.14. 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit sürtünme katsayılarındaki değişim;a)10N,b)20N,c)30N.....	57
Şekil 4.15. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları.....	58
Şekil 4.16. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları.....	59
Şekil 4.17. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozitlerin aşınma a)100 gün- sonrası mikroyapısı; 10N, b)100 gün-20N, c) 100 gün-30N, d) 200 gün-10N, e)200gün-20N,f)200gün-30N.....	60
Şekil 4.18. 100 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin sürtünme değişim; a)10N, b)20N, c)30N.....	61
Şekil 4.19. 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayılarındaki değişim; a)10N, b)20N, c)30N.....	62
Şekil 4.20. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları.....	63
Şekil 4.21. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları.....	64
Şekil 4.22. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün güneş, toprak ve suya maruz kalan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları.....	65
Şekil 4.23. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün güneş, toprak ve suya maruz kalan aramid elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları.....	66
Şekil 4.24. Karbon elyaf kompozitin mikroyapısı;a) kompozit numunenin mikroyapısı, b) kuvvet etkisindeki kompozit numunenin mikroyapısı.....	68
Şekil 4.25. Karbon kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin farklı kuvvet elde uygulandığında edilen sürtünme katsayısı-zaman grafikleri;a)10N, b)20N c)30N.....	69
Şekil 4.26. Herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yüke bağlı değişimi.....	71
Şekil 4.27. Herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan karbon elyafli kompozit numunelere ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının uygulanan yüke bağlı değişimi.....	72
Şekil.4.28. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozitlerin mikroyapısı a)100gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N.....	73
Şekil 4.29. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz kalan karbon elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün -20N, f)200 gün-30N.....	74
Şekil 4.30. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları.....	76
Şekil 4.31. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları.....	76
Şekil.4.32. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozitlerin mikroyapısı; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N.....	77
Şekil 4.33. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N.....	78
Şekil 4.34. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları.....	80
Şekil 4.35. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları.....	80

Şekil.4.36. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozitlerin mikroyapısı; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N.....	81
Şekil 4.37. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları ; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N.....	82
Şekil 4.38. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları.....	84
Şekil 4.39. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları.....	84
Şekil 4.40. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün güneş, toprak ve suya maruz kalan karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları.....	85
Şekil 4.41. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün güneş, toprak ve suya maruz kalan karbon elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları.....	86



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Kompozitlerde kullanılan elyaf çeşitlerinin mekanik özellikleri .....	24
Çizelge 4.1. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 10 N kuvvet uygulandığında elde edilen sürtünme katsayıları.....	42
Çizelge 4.2. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 10 N kuvvet uygulandığında elde edilen aşınma miktarları.....	42
Çizelge 4.3. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 20 N kuvvet uygulandığında elde edilen sürtünme katsayısı.....	44
Çizelge 4.4. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 20 N kuvvet uygulandığında elde edilen aşınma miktarları.....	44
Çizelge 4.5. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 30 N kuvvet uygulandığında elde edilen sürtünme katsayısı.....	46
Çizelge 4.6. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 30 N kuvvet uygulandığında elde edilen aşınma miktarları.....	46
Çizelge 4.7. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz kalan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde sürtünme katsayıları.....	52
Çizelge 4.8. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz kalan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde aşınma miktarları.....	52
Çizelge 4.9. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde sürtünme katsayısı.....	58
Çizelge 4.10. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde aşınma miktarları.....	58
Çizelge 4.11. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde sürtünme katsayısı.....	62
Çizelge 4.12. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde aşınma miktarları.....	63
Çizelge 4.13. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 10 N, 20 N, ve 30 N kuvvet uygulandığında elde edilen sürtünme katsayıları.....	70
Çizelge 4.14. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 10 N, 20 N, 30N kuvvet uygulandığında elde edilen aşınma miktarları.....	71
Çizelge 4.15. 100 ve 200 gün süre ile güneş'e maruz kalan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde sürtünme katsayıları.....	75
Çizelge 4.16. 100 ve 200 gün süre ile güneş'e maruz kalan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde aşınma miktarları.....	75
Çizelge 4.17. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde sürtünme katsayısı.....	79
Çizilge 4.18. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde aşınma miktarları.....	79
Çizelge 4.19. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde sürtünme katsayısı.....	83
Çizilge 4.20. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde aşınma miktarları.....	83

## 1.GİRİŞ

Aşınma, çoğunlukla mekanik olarak zorlanmalar, bazı durumlarda ise kimyasal etkiler sonucunda malzeme yüzeylerinden, küçük parçacıkların ayrılması sonucu oluşan şekil değişmesidir (Demirci, 1982). Bunun yanında aşınma olayı, kullarındaki makine elemanlarının yüzeylerinden genellikle mekanik etkiler neticesinde oluşan küçük parçaların kopması neticesinde ortaya çıkan şekil değişikliği olarak tanımlanmıştır (Köksal, 1985).

Endüstriyel uygulamaların her geçen gün artması daha iyi özellikleri taşıyan malzeme gereksiniminin doğmasına neden olmuştur. Bu gereksinimler, daha iyi özelliklere sahip kompozit malzemelerin geliştirilmesine yol açmıştır. Özellikle son çeyrek yüz yılda kompozit malzemelerdeki üretim büyük ölçüde artmıştır. Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelerle karşılaştırılmasında bu malzemelerin dayanım/yoğunluk ve elastisite modülü/yoğunluk oranlarının yüksek olmasından dolayı tercih edilir. Kompozit malzemelerin daha yüksek dayanım ve rijitliğe sahip olması, makine elemanının ağırlığının azalması demektir. Bu durum, endüstriyel uygulamalardaki malzeme seçiminde çok önemli bir faktör olup ağırlıktaki azalmalar enerji tasarrufuna ve verimliliğin artmasına yol açmaktadır. Kompozit malzemelerin, aşınmanın yoğun görüldüğü sektörlerde kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Polimerlerin metaller ve seramiklere göre bazı mekanik özellikleri göreceli olarak zayıftır. Bu durumu aşabilmek ve mekanik özellikleri iyileştirmek için çoğu zaman elyaf takviyesi kullanılmaktadır. Takviye kullanımı; uzay uygulamaları, otomotiv sektörü ve kimya endüstrisi gibi değişik uygulama alanlarında zaman, malzeme, enerji ve maddikayıplara sebep olan aşınma ve sürtünme kontrolünü geliştirmek içinde yapılmaktadır.

Kompozit bir malzemenin normal mekanik dayanımı ne kadar iyi olursa olsun, aşınma bu kompozitin işlevlerini yerine getiremez hale gelmesine, hatta dinamik zorlama altında yorulma hasarının başlamasına neden olabilir.

Nükleer santraller, aşınma olayının en yoğun olarak görüldüğü yerler arasında gösterilir. Bu santrallerde kullanılan ve fiyat olarak oldukça pahalı olan bazı makine ve aksamalarının aşınma sonucunda kullanılamaz hale gelerek değiştirilmeleri çoğu zaman kaçınılmazdır. Parça değişimi; zaman, enerji ve emek kaybına sebep olacaktır. Bundan dolayı malzeme seçimi aşamasında göz önünde tutulması gereken en temel unsurlardan birisinin aşınma olduğu sonucuna gidilebilir (Büyükkelleci, 2008).

Bu çalışmanın amacı; çevresel şartlar etkisindeki kompozit malzemelerin aşınma davranışını deneysel olarak tespit etmektir. Bu çalışmada kullanılan karbon ve aramid elyaf takviyeli kompozit malzemeler VDRIT (Vakum Destekli Reçine Infüzyon Tekniği) ile üretilmiştir.

Çalışmada farklı çevre şartlarına maruz bırakılan kompozit malzemelerin belli periyotlarla aşınma deneyi yapıp bunlar arasındaki farklar tespit edilerek kompozit malzemelerin tribolojik özellikleri araştırılmıştır. Farklı çevresel (toprak, su, güneş) etkilere maruz kompozit malzemelerin kuru kayma şartlarında aşındırıcı kalem ucu ile pin-on-disc aşınma cihazında aşınma deneyleri yapılmıştır.

Bu çalışma; mühendislere, makine uygulamalarında kullanılan kompozit malzemelerin kuru sürtünme şartlarında aşınma davranışları ve yükleme şartlarına göre aşınma mekanizmasındaki değişim hakkında bilgi vererek çeşitli çevresel şartlar için malzeme seçiminde yol gösterecektir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kompozit malzemeler günümüzde çok yaygın bir şekilde kullanıldığından, kompozit malzemedan yapılan makine parçalarının da çalıştığı ortama uygun olması gerekmektedir. Yani, istenilen mekanik dayanıma, aşınma dayanımına, korozyona v.s. uygun olması gerekmektedir.

Makine ve konstrüksiyon elemanlarının tasarım aşamasında aşınmayı önleyici-yavaşlatıcı modelleri geliştirilmeli, üretildikten sonra bu elemanların kullanımı sırasında özellikle malzeme yüzeylerinde aşınmaya karşı tedbirlerin belirlenerek bu tedbirlerin uygulamaya konması, sistemin problemsiz çalışması ve gereksiz maddi kayıpların ortaya çıkmaması için bir gerekliliktir (Nair ve ark., 2000; Yıldızlı, 2002).

Suresha ve ark. (2007), takviye malzemesi olarak karbon elyafını kullanarak epoksi matrisli kompozit malzemelerin sürtünme ve aşınma davranışlarına normal yükün ve kayma hızının etkilerini incelemiştir. Uygulanan yük ve kayma hızının artmasıyla kompozit malzemenin ağırlık kaybının arttığını belirlemiştir.

Suresha ve ark. (2007), karbon ve cam takviyeli kompozit malzemelerdeki aşınmayı incelemiştir. Aşınma hacim kaybının her iki tip kompozit malzemedan artan yük ve kayma mesafesiyle arttığını belirlemiştir. Ayrıca, karbon takviyeli kompozitlerin abraziv aşınma dayanımının, cam takviyeli kompozitlerin abraziv aşınma dayanımından daha yüksek olduğunu tespit etmiştir.

Tewari ve ark. (2003), 150 –90° aralığındaki farklı çarpma açılarında ayrıca 0°– 45°ve 90°olan üç ayrı elyaf doğrultusunda yapmış oldukları deneylerle, tek yönlü karbon ve cam takviyeli kompozit malzemelerdeki katı parçacık aşınma davranışını incelemiştir. Deneyler; 45 m/s çarpma hızına sahip 300–500 µm çapındaki çelik bilyelerle yapılmıştır. Çalışmalarında çarpma açısının 60° olması durumunda maksimum aşınmanın ortaya çıktığını belirtmişlerdir (Tewari ve ark. 2003).



Suresha ve ark. (2006), iki yönlü (dokuma, 0° / 90°) karbon ve cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kuru ortamda aşınmaları ile ilgili araştırma yapmışlardır. Çalışmalarının sonucunda cam elyaf takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemelerin kayma hızının ve uygulanan yükün artmasıyla aşınma kaybının arttığını bulmuşlardır.

Sumer ve ark. (2008), %30 cam elyaf takviyeli PEEKmatrisle, saf PEEK matrisli malzemelerin tribolojik davranışlarını sulu ve kuru ortamlarda incelemiştir. Uygulanan yükün artmasıyla sürtünme katsayılarının ve aşınma miktarlarının arttığı belirlenmiştir. Sulu ortamlarda yapılan deneylerde kompozit malzemelerin aşınma dayanımının daha yüksek olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Larsen ve ark. (2008), epoksi reçine matrisi hepsinde aynı olmak üzere CuO nano partikül, cam elyaf takviyeli, karbon/aramid dokuma malzemelerin değişik hız ve yük altında aşınma performanslarını incelemiştir. Kompozit malzemelerde elyaf oryantasyonunun kayma yönüyle aşınma performansını etkilediği belirtilmiştir. PTFE partikülünün ve CuO nano partikül ilavesinin ise aşınma performansı üzerine düşük etkisinin olduğu bulunmuştur. Ayrıca, cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerde karbon/aramid takviyeli kompozit malzemelerin aşınma performansına göre daha kararlı olduğunu ifade etmektedirler.

Pıhtılı ve Tosun (2002), dokuma cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozit malzeme ile aramid elyaf takviyeli epoksi reçine matrisli kompozit malzemelerin blok-bilezik aşınma deney cihazındaki değişik kayma mesafeleri, hızları ve uygulama yüklerinde aşınma davranışlarını incelemiştir. Numunelerin aşınma kayıplarına uygulama yükünün hızdan daha etkili olduğunu ayrıca aramid elyaf takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemedeki aşınma kayıplarının diğer kompozit malzemedeki aşınma kayıplarından daha düşük olduğunu belirtmektedirler.

Özay ve Hasçalık (2003), 30 m kayma mesafesinde 10N, 20N ve 30N'luk yükler uygulayarak yaptığı deneylerle, karbon miktarının toz metalurjisi metoduyla elde edilen Cu-C-Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> kompozitin aşınma davranışı üzerindeki

etkilerini incelemişlerdir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve mikroskop kullanılarak, kompozit deney örneklerinin mikro yapıları gözlenmiştir. Hacimce C takviye parçacıkları ve uygulanan dış kuvvetin artırılmasıyla, ağırlıkça aşınma miktarında yükselmeler gözlemlenmiştir.

Srivastava ve Pawar (2006), araştırmalarında 150–250 µm aralığında değişik boyutlara sahip silis kumlarını aşındırıcı olarak kullanarak, değişik parçacık hızları (24m/s, 35m/s, 52 m/s) ve çarpma açılarında (30<sup>0</sup> ve 90<sup>0</sup>) flyash katkı maddesi içeren E–cam elyafli kompozitlerin (GFRP) aşınmasını incelemişlerdir. Çalışmalarında çarpma açısının 60<sup>0</sup> olması durumunda maksimum aşınma miktarının meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Ramesh ve ark. (1983), kuru bir ortamda sürekli cam elyaf kompozitlerin aşınmasını araştırmışlardır. 200 mm uzunluk ve 10 mm çapa sahip cam elyaf demetleri epoksi reçine içerisine yerleştirilmek ve preslenmek suretiyle kompozit numuneleri elde edilmiştir. Saf epoksi matrisli kompozit numuneler ile yapılan deneylerde kayma hızındaki artış, ağırlık kayıplarında yüksek miktarlarda kayıba sebebiyet vermiştir. Bunun yanında kayma hızında yapılan artışlar ile cam elyafli kompozit numunelerde ilk önce ağırlıkta bir azalma görülmüş daha sonra ise ağırlıkta bir yükseliş gözlenmiştir.

Kishore ve ark. (2001), cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin kuru kayma aşınması durumunda aşınma yüzeylerini SEM mikroskobu ile incelemişlerdir. Artan kayma mesafesiyle aşınma yüzeylerinde elyaf ile matris ara yüzeylerinde ayrılmanın meydana geldiğini belirlemişlerdir.

Kishore ve ark. (1999), iki yönlü (dokuma, 0° / 90°) cam elyaf takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemeyi basma kalıplama prosesi ile el yatırma tekniğini kullanarak üretmiş ve kayma hızının ve yükteki değişimin kompozit malzemenin aşınma davranışına olan etkilerini kuru ortamda incelemişlerdir. Numunelerde uygulanan yükün ve kayma hızının artmasıyla ağırlık kaybının arttığını tespit etmişlerdir.

Vishwanath ve ark. (1991), üç farklı dokuma şeklindeki cam elyaflarını PVB (poly-vinyl - butyral) reçine ile kompozit malzeme üretmiş ve pim-disk cihazı ile aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Numuneler üzerindeki deneyler kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Aşınma miktarlarının ve sürtünme kayıplarının cam elyaflarının dokuma türüne bağlı olduğunu bulmuşlardır.

El-Tayeb ve Gadelrab (1996), tekyönlü düzenlenmiş cam elyaflı kompozit malzemelerin farklı kayma temas koşulları altında sürtünme ve aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Su ile temaslı koşullar altındaki sürtünme katsayısında ve aşınma miktarında azalma meydana geldiğini bulmuşlardır. Kompozit malzemelerin aşınma dayanımını artırmak için özellikle matris malzemesinin içine değişik makro ve nano seviyesinde partiküller ilave edilerek çalışmalar yapılmıştır.

Srivasta ve arkadaşları (1992), tekyönlü cam elyaf takviyeli epoksi reçineli kompozit malzemeye mika ilave ederek aşınma ve sürtünme karakteristiklerini incelemişlerdir. Mika partiküllerinin kompozit malzemenin sertliğini ve basma mukavemetini artırdığını ve daha iyi tribolojik özellikler sergilediğini bulmuşlardır.

Suresha ve ark. (2007), cam elyaf takviyeli epoksi kompozit malzemenin içine SiC ilave ederek mekanik ve tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmaları sonucunda, SiC ilave edilen kompozit malzemenin aşınma dayanımının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Makine parçalarının yapımında kullanılan malzemelerde, çalışma koşullarında beklenen en önemli özelliklerden bir tanesinde aşınmaya karşı gösterilen dirençtir. Günümüzde hemen hemen sanayinin tüm alanlarında sıklıkla kullanılan kompozitlerin çalıştıkları ortamlarda aşınma etkileri altında nasıl davranış göstereceklerinin önceden tespiti önem arz etmektedir. Çevre şartlarının aramid ve karbon takviyeli kompozitlerin aşınma direnci üzerindeki etkileri ile alakalı sınırlı sayıda araştırmaya rastlanmıştır (Aslan ve ark., 2016). Yapılan tez çalışması bu yönüyle özgünlük taşımakta olup, bu çalışma ile elde edilen sonuçların alandaki literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

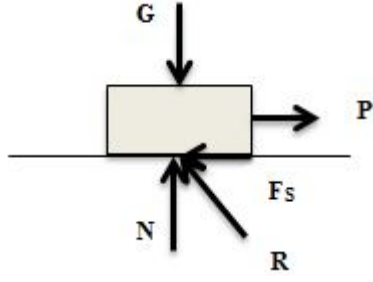
## 2.1. Sürtünme

Temas halindeki cisimler birbirleri üzerinde harekete zorlandıklarında yüzey pürüzlülüklerine bağlı olarak karşılıklı olarak harekete direnç gösterirler bu dirence sürtünme adı verilmektedir. Harekete zorlanan cisimler arasında sürtünme kuvveti meydana gelecektir. Sürtünme kuvveti hareket yönüne zıt olarak ortaya çıkacak olup hareketi engellemeye çalışacaktır. Beraber çalışan cisimler arasındaki sürtünme; yuvarlanma, kayma veya bunların bileşimi olarak ortaya çıkabilir. Temas halinde olan ve birbirlerine göre harekete zorlanan cisimlerin yüzeyleri arasında yağlama olup olmamasına göre kuru, sıvı veya sınır sürtünmesi olarak adlandırılan üç tür sürtünme ortaya çıkabilir (Can, 2006).

### 2.1.1. Sürtünme teorisi

Kuru ve pürüzlü bir yüzey üzerinde duran ve ağırlığı  $G$  olan bir cisim ele alınsın. Düşey yönlü kuvvetlerin dengesi gereği cismin ağırlığı, yüzey tarafından  $N$  normal kuvveti ile karşılanacaktır. Cisme zamanla artacak şekilde yatay  $P$  kuvveti uygulandığında yatay kuvvetlerin dengesi gereği olarak uygulanan  $P$  kuvvetini karşılayacak olan bir kuvvet olması bir gerekliliktir. Yatay yöndeki dengeyi sağlayacak olan ve cisim ile yüzey arasında meydana gelen aynı zamanda  $P$  kuvvetine zıt yönlü olan kuvvet sürtünme kuvveti ( $F_s$ ) olarak adlandırılmaktadır.

Cisme uygulanan  $P$  kuvveti belirli değere ulaşınca kadar hareket başlamayacak olup  $P$  kuvveti  $F_s$  değerine eşit olacaktır. Ancak  $F_s$  sürtünme kuvvetinin sahip olabileceği maksimum bir değer vardır ve  $P$  kuvveti bu değere ulaştığında cisim harekete başlayacaktır. Hareket başlangıcına kadar statik sürtünme kuvveti hareketi engellemeye çalışır, hareket başladıktan sonra statik sürtünme kuvveti kinetik sürtünme kuvvetine dönüşerek büyüklüğü bir miktar düşerek sabit kalır ve hareket boyunca harekete zıt yönlü olarak etki eder (Şekil 2.1.). Hareket durumundaki kinetik sürtünme kuvvetinin ( $F_k$ ) uygulanan  $P$  kuvvetinden düşük olacağı açıktır.



Şekil 2.1. Sürtünme kuvveti

Harekete başlayıncaya kadar yüzey ile cisim arasında statik sürtünme katsayısından ( $\mu_s$ ) bahsedilirken, hareket başlangıcından itibaren kinetik sürtünme katsayısından ( $\mu_k$ ) bahsedilecektir. Kinetik sürtünme katsayısı yüzey yapısına bağlı olup genellikle statik sürtünme katsayısının yüzde 80'i kadardır.

Denklem (2.1)'e göre gerçekleştirilen deneyler neticesinde  $F_s$  sürtünme kuvveti ile yüzey tepkisi  $N$  arasındaki oranın sabite yakın olduğu bulunabilir. Bu oran statik sürtünme katsayısı olarak adlandırılır. Şekil 2.2.'de statik sürtünme kuvveti görülmektedir.

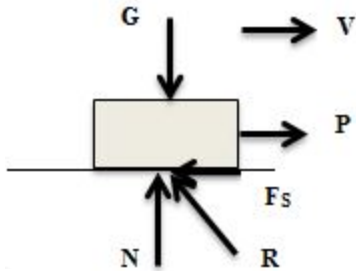
$$F_s = N \cdot \mu_s \quad (2.1)$$

Burada;

**N:** Yüzey kuvveti

**$\mu_s$  :** Statik sürtünme katsayısı

**$F_s$  :** Statik sürtünme kuvvetidir.



Şekil 2.2. Statik sürtünme kuvveti

Hareket halindeki kinetik sürtünme kuvveti ile yüzey tepki kuvveti arasındaki oranın da sabite yakın olduğu görülür. Bu oran kinetik sürtünme katsayısı olarak

adlandırılır. Kinetik sürtünme kuvveti ile yüzey tepki kuvveti arasındaki eşitlik denklem (2.2)'de verilmiştir.

$$F_k = N \cdot \mu_k \quad (2.2)$$

Burada;

$\mu_k$ : Kinetik sürtünme katsayısı

$F_k$ : Kinetik sürtünme kuvvetidir.

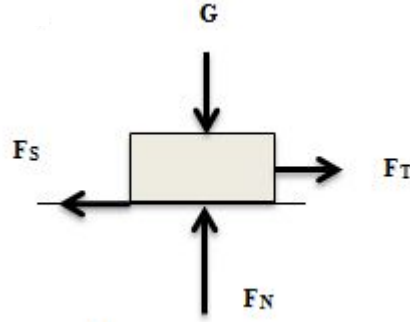
Karşılıklı olarak harekete zorlanan temas halindeki cisimler arasında meydana gelen sürtünme olayını açıklamaya çalışan birçok teori bulunmaktadır (Bowden ve Tabor, 1950; Bhushan, 2000). Temas eden cisimler arasında sürtünme olayının meydana gelmesindeki en büyük etken, yüzeylerde bulunan tepecikler arasında adhezif ve kohezif olarak adlandırılan bağların oluşumudur. Yüzeylerde bulunan tepecikler hareketi önlemeye çalışacak olup artan kesme kuvveti ile ortaya çıkan ısı neticesinde tepecikler arasında bağlar oluşacaktır. Kesme kuvveti arttıkça tepeciklerdeki deformasyonlar artacak belirli bir kesme kuvvetinden sonra ise bu tepecikler koparak yüzeyler arasında hareket meydana gelecektir. Yüzeyler arasındaki pürüzlülük arttıkça yüksek sürtünme kuvvetleri ortaya çıkacak olup buna bağlı olarak statik sürtünme katsayısı da artacaktır.

Amonton, sürtünme kuvvetinin uygulanan yük ile doğru orantılı olarak artacağını, ayrıca sürtünme kuvvetinin temas halindeki cisimlerin yüzey alanlarına bağlı olmadığını gösteren kanunları ortaya koymuştur. Coulomb ise kinetik sürtünme kuvvetinin kayma hızından bağımsız olduğunu gösteren kanunu ortaya koymuştur.

Sürtünme çeşitli şekillerde ortaya çıkabilir ancak aşınmaya sebep olan sürütünme genellikle kuru sürtünmedir. Temas eden pürüzlü yüzeylere sahip cisimler arasındaki kuru sürtünme neticesinde malzeme ve kütle kaybı olarak aşınma olayı ortaya çıkmaktadır. Kuru sürtünme olayının meydana geldiği yüzeyler arasında yağlanma bulunmamaktadır, bu yüzeyler genelde kirli olup temiz değildirler. Temas eden yüzeylerde pürüzler mevcut olup esasında temas bu pürüzler üzerinden gerçekleşir. Dolayısı ile gerçek temas alanı küçük olacak buna bağlı olarak uygulanan yük sonucunda büyük basınçlar meydana gelecektir. Yüksek basınçlar ile plastik

deformasyon meydana gelecek ve neticesinde de temas eden tepecikler arasında kaynak bağları ortaya çıkacaktır.

Hareket boyunca bu kaynak bölgelerinin kopmasına neden olan yüksek kesme kuvvetleri ortaya çıkacak olup bu kesme kuvvetleri de sürtünmeyi meydana getirecektir. Birbiri üzerinde hareket eden yüzeyler arasındaki teorik kuru sürtünme Şekil 2.3.'de görülmektedir. Burada  $F_T$  teğetsel kuvvettir.



Şekil 2.3. Birbiri üzerinde hareket eden yüzeyler arasındaki teorik kuru sürtünmenin şematik gösterimi.

## 2.2. Aşınma

Aşınma değişik şekillerde tanımlanmıştır. ASLE (American Society of Lubrication Engineers) aşınmayı; “mekanik etkilerle malzeme kaybı” olarak tanımlarken, OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) araştırma grubu ise aşınma olayını, “yüzeyde relatif hareketin sonucu olarak cisimden sürekli malzeme kaybı” şeklinde ifade etmiştir. Alman DIN 50320 normuna göre aşınma, “kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenilmeyen yüzey bozulması” olarak tanımlanmıştır (Peterson, 1976; Aydın, 2009).

Birbirleriyle temas halinde çalışan tüm makine elemanlarında ve yapılarda yüzey pürüzlülüğü nedeniyle aşınma olayının meydana gelmesi kaçınılmazdır. Aşınma neticesinde malzeme yüzeylerinde bozulmalar meydana gelerek bu elemanlar artık yerine getirmeleri gereken fonksiyonları tam olarak yerine getiremezler. Aşınma arttıkça makine elemanları tam hasara uğrayarak sistemin

durmasına ve neticesinde de büyük parasal ve zaman kayıplarına sebebiyet verecektir. Bundan dolayı sürtünmeyi ve dolayısıyla aşınmayı azaltma ve kontrol etme amaçlı yapılan araştırma sayıları gün geçtikçe hızlı bir şekilde artmaktadır.

Bir yapının sağlıklı ve güvenli olarak çalışabilmesi için aşınmaya karşı gerekli tedbirler alınarak bu yapının korunması gerekmekte olup böylelikle artan enerji sarfiyatı gibi gereksiz işletme giderlerinin artışı önlenmiş olacaktır. Aşınma olayı eleman yüzeylerinde meydana geldiğinden aşınmaya karşı alınacak tedbirlerin malzeme yüzeyinde yoğunlaştırılması gerekmektedir (Nair ve ark., 2000; Yıldızlı, 2002).

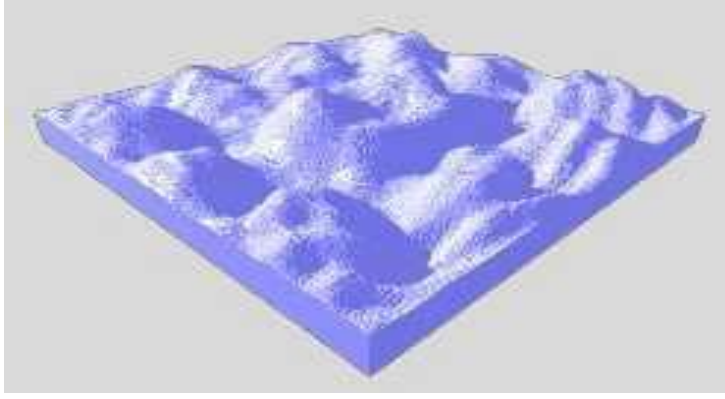
Özellikle son yıllarda, aşınma dayanımını arttırmaya yönelik yüzey kaplama tekniklerinde büyük ilerlemeler kaydedilmiş olması, mühendislik elemanlarının tasarımı ve seçiminde önemli değişikliklere yol açmıştır (Güneş, 2006; Aydın, 2009). Alınan tedbirler ile aşınmanın tamamen önlenmesi veya ortadan kalkması mümkün değildir, ancak bu tedbirler ile aşınma hızı minimuma indirilerek makine elemanlarının çalışma ömürleri uzatılabilmektedir (Nair ve ark., 2000; Yıldızlı, 2002).

### 2.2.1. Aşınmayı etkileyen faktörler

Endüstriyel uygulamalarda korozyon ve yorulma sorunlarıyla birlikte en çok görülen problem aşınmadır. Aşınmayı etkileyen birçok parametre bulunmaktadır. Bunlar; ilk yüzey durumu (Şekil 2.4.), yükleme ve kayma hızı, yük, deney süresi, kompozit malzemenin yapısı, yük altında pürüzlerin davranışı, sıcaklık, nem ve diğer çevresel faktörlerdir.

Aşınma direncini etkileyen faktörlerden bir tanesi de kompozit malzemelerde kullanılan matris malzemesinin sertliğidir. Yoğun aşınmanın meydana gelen ortamlarda kullanılmayan alüminyum ve alaşımları diğer malzemelerle kıyaslandığında daha düşük sertliktedirler.





Şekil 2.4. Yüzey topoğrafyası

Takviye elemanı ilave edilmek sureti ile kompozit malzemelerin aşınma direncinde önemli artışlar sağlanabilmekte ve böylelikle bu malzemelerin kullanım alanları özellikle de endüstriyel uygulamalarda gün geçtikçe artmaktadır. Birbirine temas ederek fonksiyonlarını yerine getiren bütün makine parçalarında ortaya çıkması kaçınılmaz olan aşınma büyük bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.

Malzeme, zaman, iş gücü ve enerji kayıplarının önlenmesi için sürtünme ve aşınmayı azaltma ve kontrol etme ile ilgili konularda çalışmalarının artarak yapılması gerekmektedir (Karamış, 1988).

### 2.2.2. Triboloji

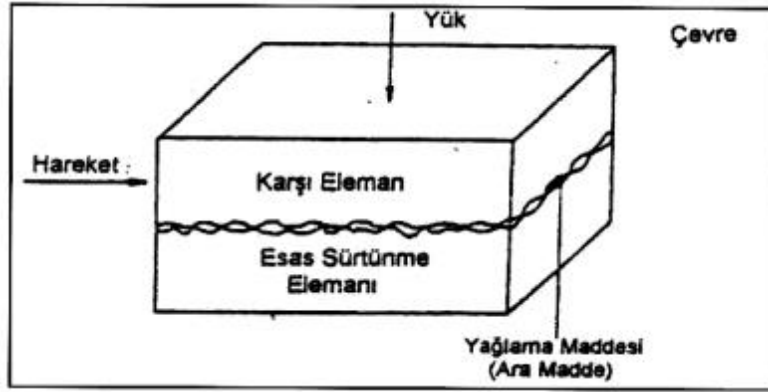
Triboloji, birbirine sürtünerek hareket eden ve temas halinde olan cisim yüzeylerindeki sürtünme, aşınma ve yağlama konularını araştıran bilim dalıdır. Yeni bir bilim dalı olan Triboloji gelişimini sürdürmektedir. Aşınma ve sürtünme problemlerini azaltma ve kontrol etmek için geliştirilmiş olan bir bilim dalı olarak triboloji, ilk defa 1966 yılında İngilterede ele alınmıştır. Çalışmada triboloji esaslarının uygulanması halinde elde edilecek tasarruf araştırılmıştır.

1966'da Peter Jos yaptığı araştırmalarıyla tribolojik tasarım ile elde edilecek olan tasarruf miktarının yılda 515 milyon sterlini bulacağını ortaya koymuştur. Benzer çalışmalarda aynı durumların Almanya ve Amerika için de geçerli olduğunu göstermiştir (Stachowiak ve ark., 1993). Aşınmanın iyi anlaşılması ve önlenmesi ile

ilgili tedbirlerin alınması durumunda yüksek bir artış hızına sahip dünya nüfusunun ihtiyaçları için zaten yetersiz olan kaynakların ekonomik olarak kullanılması sağlanacaktır (Ghasemi, 2012).

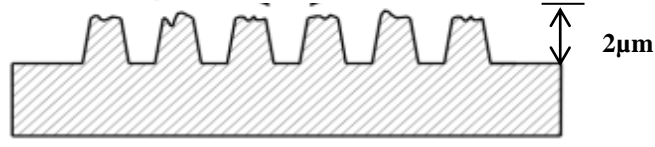
### 2.2.2.1. Tiribolojik sistemi meydana getiren temel unsurlar

En temel 6 faktör aşınma olayını etkilemektedir. Bu faktörler sırasıyla; temel sürtünme elemanı, karşı sürtünme elemanı, ara maddesi, çevre ve hareket olarak verilebilir (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Sürtünme ve aşınmayı etkileyen temel unsurlar.

Birbirine sürtünen cisimlerin varlığı aşınmanın başlaması ve devamı için bir gerekliliktir. Temas eden yüzeylerde malzeme kaybı olacağından geometrik olarak küçülür. Bu nedenle yüzeyden bağımsız fakat gerçek olan temas yüzeyleri pürüzlülüğe bağlıdır. Temas eden yüzeylerde oluşan basınç, birbirine temas eden noktalarda malzemenin akma sınırını aşabilmekte ve böylece de gerçek değme yüzeylerindeki pürüzler normal kuvvetin etkisiyle sıkışarak malzeme yüzeyi deforme olur ve bunun sonucunda temas eden yüzeylerde büyüme olur. Ne kadar iyi işlenirse işlensiz pürüzsüz gibi görünen yüzeylerde dahi bir çok girinti ve çıkıntı bulunacaktır (Şekil 2.6.-Yılmaz, 1997).

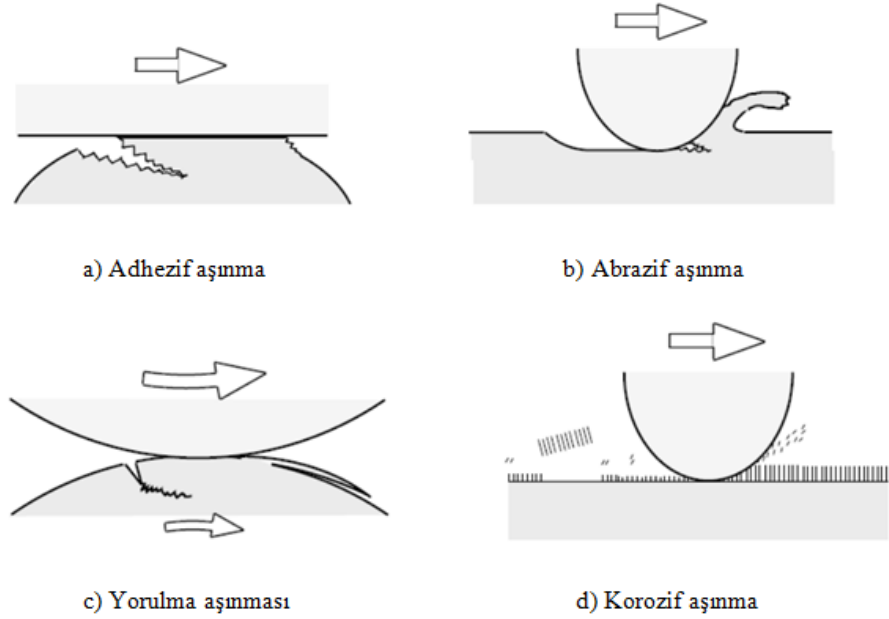


Şekil 3.6. İyi yüzey işleme görmüş bir yüzeyin mikroskop ile alınmış şematik görünüşü.

### 2.3.Aşınma Çeşitleri

Adhezif, abrazif, yorulma ve korozyon aşınma olarak adlandırılan dört temel aşınma mekanizması bulunmaktadır(Şekil 2.7.).

Endüstriyel uygulamalarda; %50abrazif, %15adhezif, %8erozif, %8korozyon, %5kimyasal ve %14 diğer aşınma mekanizmaları ortaya çıkmaktadır. Abrazif aşınma en yüksek oranda karşılaşılan aşınma mekanizmasıdır(TMMOB, 2003).



Şekil 2.7. Dört aşınma mekanizmasının şematik gösterimi

**2.3.1. Adhezif aşınma**

Adhezif aşınmada beraber çalışan cisimlerin temas eden yüzeylerinde büyük basınç oluşur. Bundan dolayı plastik deformasyon oluşur ve temas eden iki yüzey arasında adhezif bağlar meydana gelir. Devam eden kayma hareketi ile temas olan bölgelerdeki kesme gerilimi malzemenin akma mukavemetini aşılmasına kadar artar, yüzeyden mazleme kopması ve bazı kısımlarda kaynama meydana gelerek aşınma olayı ortaya çıkar.

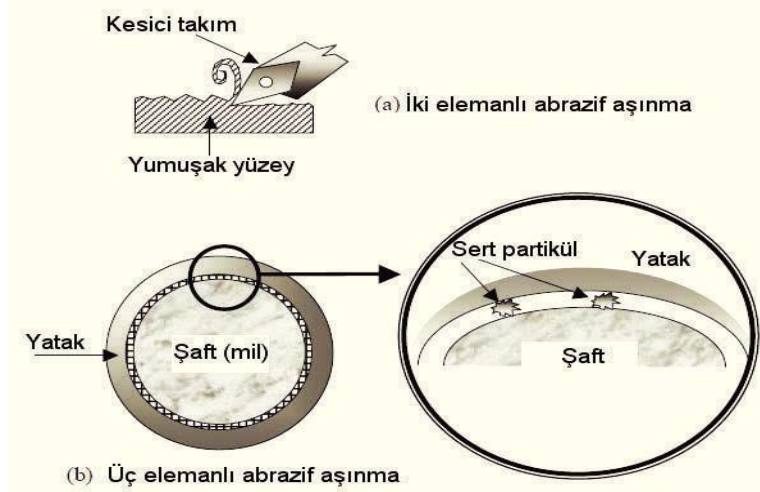
Hasarı hızlandırıcı etkisi genellikle az olan adhezif aşınma, mühendislik uygulamalarında en sık rastlanan aşınma türüdür. Bu aşınma tipinde birbirine göre bağıl hareket yapan cisim yüzeylerindeki yüksek basınçtan dolayı birbirine kaynamış olan bağların kesme kuvveti etkisiyle kopması neticesinde yüzeylerde oyuklar oluşmaktadır.

**2.3.2. Abrazif aşınma**

Sert parçacıklar veya sert çıkıntılı mineral tanelerinin birbiri üzerinde hareket eden cisim yüzeylerini mikroskopik bölgede çizmek suretiyle talaş kopartılması ve malzeme derinliklerinde değişikliğe neden olmasına abrazif aşınma denir (Şekil 2.8.).

Abrazif aşınmamekanizmasını oluşturan temas yüzeylerinde kaynaklaşma olayı oluşmaz ve temas eden yüzeylerin arasındaki izafi hareketten dolayı sürekli yumuşak parçadan malzeme kaybı olur. Aşınmayı gerçekleştiren metal parçacıkların sertliği abrazif aşınmanın direncini etkiler. Aşınmayı oluşturan metal sertliği arttıkça aşınma hızında düşüş görülür (TMMOB, 2003).

Abrazif aşınma malzeme ve makine elemanlarının taşınma, stok, yüklenme ve boşaltılma işlemlerinde görülmektedir. Endüstriyel uygulamalarda yaygın olan aşınma türü olan abrazif aşınması genel olarak tarım, iş ve nakil makinelerinde görülmektedir.

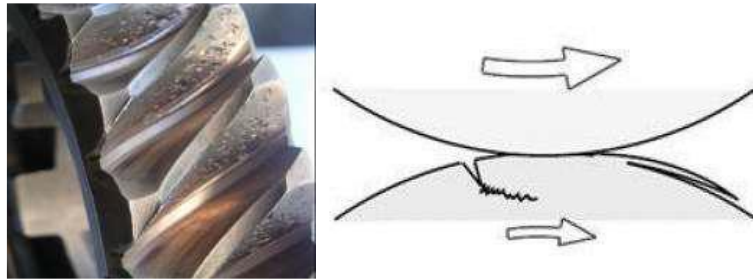


Şekil 2.8. İki elemanlı ve üç elemanlı abrasif aşınma oluşum ekileri.

### 2.3.3. Yorulma aşınması

Makine parçalarında tekrarlı yüklerden veya titreşimden dolayı yüksek bölgesel gerilme oluşarak zamanla yorulma meydana gelir. Tekrarlanan yüklenmesinde yüzey altı çatlak oluşumu ve ilerlemesi çoğu zaman mazleme yüzeyinde parçacıkların kopması olarak adlandırılır. Yorulma aşınmasında mikro çatlaklar zaman içerisinde ilerler ve cisim yüzeyinde çok küçük partiküllerin kopmasına neden olur (Büyükkelleci, 2008). Beraber çalışan ve tekrarlı yüklere maruz cisim yüzeyleri arasında sadece adhezif aşınma meydana gelmez, bu aşınma mekanizması ile beraber yorulma aşınması da ortaya çıkabilir (Bhushan, 2000).

Tekrarlı yüklere maruz cisim yüzeyleri arasında yorulma aşınması meydana gelir(Şekil 2.9.) ve aşınma neticesinde malzeme yüzeylerinde küçük parça kopmaları ve bazı çukur bölgelerin oluşumu görülür (Holberg ve ark., 1994).



Şekil 2.9. Yorulma aşınmasının mekanizması

### 2.3.4. Korozyon aşınma

Kimyasal ve elektrokimyasal nedenlerle malzeme yüzeylerinde görülen aşınma türüdür. Beraber çalışan cisim yüzeylerinde farklı çevre şartlarından kaynaklanan kimyasal, elektrokimyasal veya metalürjik etkilerle değişik yapılara sahip katmanlar oluşur, bu katmanlar hareket neticesinde oluşan sürtünme etkisiyle parçalanmakta ve zamanla yüzeyden ayrılarak malzeme kaybına yol açmaktadır (İpek, 1987).

Temasta olan malzeme yüzeylerinde ortaya çıkan ve parçalanma şeklinde yüzeyden ayrılan reaksiyon ürünlerinin ayrılma hızı korozyon aşınmanın hızını belirleyecektir (Kobrick, 2010).

### 2.4. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzemeler; aynı veya farklı gruptaki malzemelerin en iyi özelliklerini, yeni ve tek bir malzemede toplamak amacıyla, makro-düzeyde birleştirilmesiyle oluşturulan malzemelerdir. Kompozit malzeme, temel olarak birbiri içerisinde çözünmeyen ve birbirinden farklı şekil ve/veya malzeme kompozisyonuna sahip iki veya daha fazla bileşenin karışımından veya birleşmesinden oluşan bir malzeme sistemidir. Kompozit malzemeler, doğrudan doğruya istenilen maksatta kullanılmayan en az iki ayrı malzemedan belli olan bir özelliği elde edebilmek için, bu malzemelerin belli şartlar altında ve belli bir oranda fiziksel olarak birleştirilmesiyle elde edilirler. Bir kompozit malzeme genelde düşük parça ve dayanıma sahip reçine veya metalik matris ana fazı ile bunun içinde dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye elemanından oluşmaktadır. Ancak, molekül ve atomal düzeyde birleştirilen malzemeler alaşımlar mikroskopik olarak homojen olduklarından kompozit malzeme olarak sınıflandırılmaz (Şahin, 2000).

Son zamanlarda yüksek mukavemet/ağırlık ve katılık/ağırlık oranlarına sahip olan fiber takviyeli reçine kompozitleri uçak ve uzay taşıtları gibi ağırlığa hassas uygulamalarda önemli kullanım sahaları bulmuşlardır. Düne kadar saçtan, tahtadan

yapılan tekneler, yatlar, kotralar yerlerini artık polyester-cam elyaftan yapılan benzerlerine bırakmaktadır. Bakım ve onarım bakımından daha avantajlı olan kompozit malzemeler aynı zamanda hafif ve uzun ömürlü olmaları nedeniyle tercih edilmektedir.

Kompozit malzeme kullanımı ile iyileştirilebilecek özelliklere örnek olarak; mukavemet, rijitlik, korozyon direnci, aşınma direnci, görünüm güzelliği, ağırlık, yorulma ömrü, ısı yalıtımı, ısıya karşı direnç, akustik yalıtım ve üretim kolaylığı sayılabilir. Ancak bu avantajların tümü aynı anda elde edilemez. Esasta tüm bu özelliklerin kontrol edilmesine ve belli değerlerde olmasına ihtiyaç yoktur. Kullanım yerine ve özelliklerine bağlı olarak ihtiyaç duyulan özellikler artırılır, kontrol edilir ve böylece uygun kompozit malzemeler, kullanılan matris ve tali fazın özelliklerinin bileşimini taşıyacak şekilde yapılır ( Sayman, 1978 ).

#### **2.4.1. Kompozit malzemelerin avantaj ve dezavantajları**

Kompozit malzemelerin sahip oldukları avantajlar özet olarak aşağıdaki gibi verilebilir.

Yüksek mukavemet, şekillendirilme işlemlerinin kolay olması, elektriksel özelliklerinin iyi olması, ateş ve ısıya maruziyet durumunda yüksek dayanıklılık, iyi titreşim sönümleme özelliği, aşındırıcı etkilere karşı yüksek dayanıklılık. Sıralanan üstün özellikleri sayesinde kompozit malzemeler her türlü sanayi alanında sıklıkla kullanılmaktadır.

Kompozit malzemeler sahip oldukları avantajların yanında bir takım dezavantajları da vardır bunlar şöyle sıralanabilir;

Kompozitlerde kullanılan hammadden pahalı olup. kompozit malzeme kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır. Kırılgan bir yapıya sahip olan kompozitler kolayca zarar görebilirler ve tamir edilmeleri yeni sorunlara neden olabilir. Soğutulmuş depo edilmesi gereken bazı kompozitlerin çok uzun olmayan raf ömürleri bulunmaktadır. Üretim sürecinde kurutma işleminin sıcaklık altında

yapılması gerekmekte olupbazen uzun zaman alabilmektedir. Kompozitlerin tamir edilmeden hassasiyetle temizlenme ve kurutulmaları gerekmekte olup bazen bu çok zor olabilmektedir (Vatangül, 2008).

#### **2.4.2. Kompozitlerin kullanım alanları**

Kompozit malzemelerin dayanım/yoğunluk oranının yüksek olması, korozyona karşı dayanıklı olmalarından dolayı günlük ve ticari hayatta kullanımları çok yaygındır. Özellikle, taşıt, tekne, yüzme havuzu, depolar, borular ve ev aletlerinde çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Yüksek dayanım gerektiren yerlerde karbon takviyeli epoksi matrisli kompozit malzemeler daha çok kullanılmaktadır. Taşımacılıkta (yaprak yaylar, miller, köprüler), spor malzemelerinde (sörf, kayak, olta, raket gibi), tekerli sandalye ve protez gibi tıp alanında çok yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Spor malzemeleri üretiminde bor takviyeli kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Tenis raketleri, yaylar, kayaklar, yarış bisikleti gövdeleri, yelken direkleri genellikle bunlarda imal edilmektedir (Mallick, 1993).

Aramid elyaf takviyeli kompozit malzemenin yoğunluğunun, cam ve karbon takviyeli kompozit malzemelere kıyasla daha düşük olması ve darbe dayanımlarının yüksek olması nedeniyle spor malzemelerin yapımında ( tenis raketleri, kayaklar, golf sopaları), gemi yapımında, otomotiv sanayinde (yaylar, miller, fren ve debriyaj balataları) yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Kompozit malzemelerin hafiflik ve dayanım değerlerinin diğer malzemelere göre daha iyi olmasından dolayı uzay ve havacılık sanayinde kullanımı çok daha yaygındır (Jones, 1999). Hafif malzemedен yapılması, daha az yakıt harcamayı, daha yüksek hıza ulaşmayı ve verimliliğe ulaşmayı sağlamaktadır. Yüksek termal, yorulma ve titreşim dayanımları kompozit malzemelerin uzay ve havacılık sanayinde sıkça kullanılmasını sağlayan avantajlarıdır.



Karbon takviyeli kompozit malzemeler özellikle havacılık sanayisinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Uzak mekiğinin kargo kapılarında, roket gövdelerinde, uçaklarda iniş takımlarında, çeşitli kanatçıklarda kullanılmaktadır (Gay ve ark., 2003).

Yorulma, sürünme, korozyon ve darbe dayanımları ile titreşimleri söndürme kabiliyetinin yüksek olması nedeniyle aramid (kevlar) takviyeli kompozit malzemeler, roket motoru gövdeleri, uzay mekiğindeki gaz depoları, uçak sanayiinde kanatçıklarda, iniş takımlarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar.

Günümüzde hafiflik ve dayanım bakımından kompozit malzemeler silah sektöründe çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Roket üretiminde önemli bir yere sahiptirler. Miğfer ve kurşungeçirmez yelekler, zırhlı taşıtlarda kevlar takviyeli kompozit malzemeler çok yaygın olarak kullanılmaktadır.

## **2.5. Kompozit Malzeme Yapımında Kullanılan Temel Maddeler**

### **2.5.1. Matris malzemeleri**

Kompozit malzemelerde matrisin; takviye elemanlarını (elyaflar) bir arada tutmak, uygulanan yükü takviye elemanına iletmek ve takviye elemanını her türlü çevre şartına karşı korumak şeklinde özetlenebilecek en temel üç görevi bulunmaktadır.

Başlangıçta düşük akışkanlığa sahip matris malzemesi daha sonradaki takviye elemanlarını sağlam ve uygun bir şekilde sarabilecekleri katı hale sorunsuz ve kolayca geçebilmelidir.

Takviye elemanına göre daha zayıf ve esnek olan, daha düşük mukavemet değerlere sahip olan matrisin uygulanan yükü tüm elyaflara olması gerektiği gibi eşit şekilde iletebilmesi için matris ve elyaf malzemelerinin kimyasal olarak uyumlu olması ayrıca matris ve elyaf arasında çok iyi bağ oluşması gerekmektedir.

## 2.5.2. Reçineler ve özellikleri

### 2.5.2.1. Epoksi reçineler

Bifenol A ile epiklorhidridin reaksiyon ürünüdür. 70 – 90 derece sıcaklıkta fırınlama ile sertleştirici ile karıştırıldığında belli bir sürede sertleşerek plastik formunu alırlar. Depolarda saklanma süreleri oda sıcaklığında 24 ay olan epoksi reçinelerin bazı özellikleri; katı, sıvı ve vizkoz sıvı formlarda bulunabilmeleri, yüksek mekanik özelliklerinin yanında yüksek elektrik, ısı ve kimyasal dirence sahip olmaları, hava şartlarından etkilenmemeleri olarak verilebilir.

### 2.5.2.2. Polyesterler

Dibazik asitlerle gliserin, glikol gibi polialkollerin reaksiyonundan elde edilirler. Termostat, termoplast gibi türlerde bulunur. Sıvı polyesterler, katalist ve hızlandırıcı kullanılarak kür edilirler. Sert, kimyasal maddelere ve hava şartlarına direnci çok yüksektir. Katı polisterler (LPET gibi) darbe dayanımlıdır.

### 2.5.2.3. Üretan reçineleri

Üretanlar, oda sıcaklığında bir izosiyanatla bir polialkolün polimerizasyonu ile elde edilirler. Kimyasal direnç ve yazılım zellikleri çok iyi olan Üretanlar köpük lastik üretiminde sıklıkla kullanılırlar.

### 2.5.2.4. Fenolik reçineler

Katı ve sıvı cinsleri bulunan ve ülkemizde sıvı reçine üretimi bulunan Fenolik reçineler Fenol formaldehit kondenzasyon ürünüdür (Sayman, 2007; Vatangül, 2008).

### 2.5.3. Kompozit üretiminde takviye edilen fazlar

Kompozitin mukavemet, darbe, aşınma, tokluk gibi mekanik özelliklerine etkisi çok fazla olan matris malzemesine göre kompozit malzemeler üç kategoriye ayrılır bunlar metal, seramik ve polimer matrisli kompozit malzemelerdir.

#### 2.5.3.1. Metal matrisli kompozitler

Metal matrisli kompozit malzemelerde matris fazı metallere meydana gelir böylelikle yüke maruz kaldıklarında sünek yapılarından dolayı hemen kopmayan metallere kullanımı ile üretilen kompozit malzemelerin kullanımı daha güvenli hale gelecektir.

Yüksek mukavemetli liflerle takviye edilmiş metal alaşım matrisli bazı kompozitler çok iyi mekanik özelliklere sahip olabilmektedirler (Şahin, 2000).

#### 2.5.3.2. Seramik matrisli kompozitler

Yüksek maliyetli, plastik olarak akmayıp oldukça gevrek olan dolayısı ile oldukça zor işlenebilen seramikler, düşük yoğunluklu ve yüksek mukavemetli olup yüksek bir termal ve kimyasal dirence sahiptirler

Seramik kompozitler  $\text{Li}_2\text{O}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{BaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Si}_3\text{N}_4$  gibi matrislerden hazırlanır. Takviye edici olarak ise daha çok  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$  kullanılır (Şahin, 2000).

#### 2.5.3.3. Polimer matrisli kompozitler

Ana maddesini organik polimerler olan ve yapay malzeme grubunda olan plastikler, belirli biçimlerde şekillendirilir veya kalıplanırlar. Bunlar genellikle büyük moleküllü organik bileşiklerdir. Yapılarında genel olarak karbon, silisyum, azot, hidrojen, oksijen, flor, kükürt ve klor ihtiva etmektedirler.

#### 2.5.4. Kompozit üretiminde takviye eden fazlar

Kompozit malzemelerde uygulanan yükün büyük çoğunluğunu (%70-80) takviye eden fazlar(elyaf) taşımaktadır. Tanecik veya elyaf formunda olabilen takviye eden fazlar kompozitin mukavemetini artıran en önemli unsurdur. Matris ve elyaf malzemelerinin kimyasal uyumu ve bunlar arasında oluşacak bağın (ıslanma) çok iyi olması gerekmektedir.

Kompozit malzemenin mukavemeti elyaf tipi, oranı ve oryantasyonuna bağlıdır. Kompozitlerde kullanılan bazı takviye elemanı(elyaf) çeşitleri; Cam, Karbon, Aramid, Bor, Oksit, Polyetilen, Poliamid, Polyester, Doğal organik, Seramik elyaflardır.

##### 2.5.4.1. Karbon elyafı

Çoğunlukla, iyi olmayan mekanik özelliklere sahip ziftten veya yüksek mekanik özellikli PAN'den (Poliakrilonitril) elde edilen karbon elyafları çok yüksek ısı işlem uygulandığında elyaf tam anlamıyla karbonlaşırlar ve bu elyaflara grafit elyafı denir. Uçak sanayinde, spor veya tıbbi gereçlerin üretiminde sıklıkla kullanılan ayrıca piyasada sürekli ve kırılmış olarak bulunan karbon elyafı, epoksi matrisler ile birleştirildiğinde çok yüksek özellikli kompozit malzemeler elde edilmektedir.

PAN'ın karbon elyafı formuna geçişi dört aşamalıdır. Bunlar; oksidasyon, karbonizasyon, yüzey iyileştirmesi ve kaplama aşamalarıdır.

Karbon elyafının diğer tüm elyaflara göre en önemli avantajı yüksek elastik modüle sahip olma özelliğidir. Karbon elyafı bilinen tüm malzemelerle eşit ağırlıklı olarak karşılaştırıldığında en sert malzemedir. Buna rağmen karbon elyafının bazı dezavantajları vardır, bunlar; etkili bir bağlayıcı ajanın bulunmaması, yüksek sıcaklıklarda oksitlenmesi, göreceli olarak yüksek maliyetli olmasıdır (Hancox ve ark., 1994).

### 2.5.4.2. Aramid elyafı

Naylon olan aromatik poliamid'den adını alan aramid elyafı piyasada daha çok Kevlar (DuPont) ve Twaron (Akzo Nobel) ticari adları ile tanınmaktadır. Önemli özellikleri; yüksek çekme-darbe-aşınma-kimyasal dayanım, diğer kompozitlere oranla daha hafif olmaları, genellikle renginin sarı oluşu ve düşük yoğunluklu olmasıdır.

Dezavantajları; bazı cins aramid elyaflarının ultraviyole ışınları etkisinde bozulmaları dolayısı ile devamlı olarak karanlıkta stoklanma gerekliliği ayrıca aramid elyafların çok iyi birleşmeyebilmeleridir. Bu durumda reçinede malzeme yorulduğunda su emişine yol açacak olan mikroskopik çatlaklar oluşabilmektedir.

Aramid elyafının bazı kullanım alanları; balistik uygulamalar, deniz ve hava taşıtları, koruyucu giysiler, ileri özellikli(fiberoptik) kablolar, fren sistemi aksamlarıdır.

Çizelge3.1. Kompozitlerde kullanılan elyaf çeşitlerinin mekanik özellikleri

Özellik	E Camı	Karbon	Aramid
Çekme dayanımı, MPa	2410	3100	3617
Çekme modülü, GPa	69	220	124
Kopmada uzama %	3.5	1.4	2.5
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	2.54	1.75	1.48
Fiyat (USD/lb)	1	12	19

## 2.6. Polimer Matrisli Kompozitlerin Üretim Yöntemleri

Kompozit malzemenin özelliklerinin belirlenmesinde, kullanılan matris ve takviye elemanın cinsi yanında üretim aşamasında kullanılacak olan üretim yöntemi de çok önemli bir rol oynamaktadır. Bir çok kompozit üretim yöntemi bulunmaktadır bunlardan bazıları;

- Elle yatırma (hand lay-up),
- Püskürtme (spray-up),
- Elyaf sarma (filament winding),

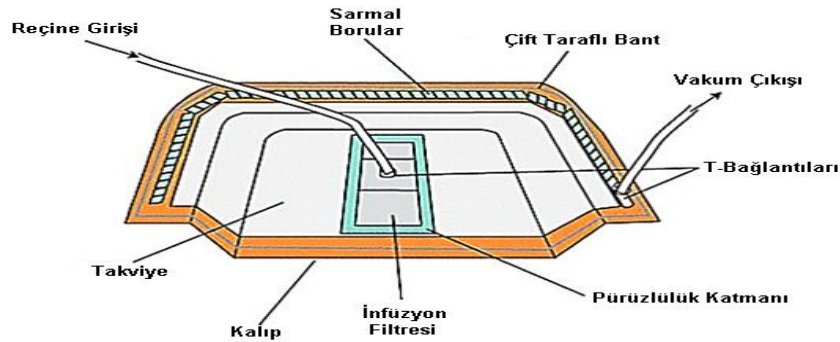
- Reçine transfer kalıplama RTM / reçine enjeksiyonu,
- Profil çekme / pultrüzyon (pultrusion),
- Hazır kalıplama / compression molding (SMC, BMC),
- Otoklav / autoclave bonding,
- Vakum destekli infüzyon tekniği (VDRİT) yöntemleridir.

Bu çalışmada kullanılan kompozit plakaların üretiminde VDRİT yöntemi kullanıldığı için yalnızca VDRİT yöntemi ile ilgili açıklayıcı bilgiler aşağıda verilmiştir.

### 2.6.1. Vakum destekli reçine infüzyon tekniği (VDRİT)

Yöntem 1980'li yıllardan başlamak üzere özellikle A.B.D. başta olmak üzere tüm dünyada, endüstriyel uygulamalarda kompozit imalatında uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntem; özellikle karmaşık yapılara sahip, yüksek mekanik özelliklere sahip, ebat olarak daha büyük kompozit elemanların üretiminde kullanılmaktadır.

Kompozit malzeme üretim yönteminde ilk önce bir ayırıcı ile kalıp yüzeyi kaplanır. Daha sonra takviye elemanı belirli bir dizilişte kalıba serilir. Kumaşın üzerine sırası ile soyma kumaşı, ayırıcı ve reçine dağıtıcı filmler konur. Üstüste sıralanmış kumaşları çevreden izole etmek için, bir vakum naylonu ve çift taraflı yapışkan sızdırmazlık macunları kullanılır. Vakum ile reçine kuru kumaşlara tamamen emdirilir ve son ürün belirli bir sıcaklıkta pişmeye bırakılır ( Şekil 2.10.).



Şekil 2.10. Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Tekniği (VDRİT)

Diğer kompozit üretim metotlarına göre, infüzyon yönteminin bazı avantajları vardır. Bunlar; düşük reçine-elyaf karışım oranının olması, tutarlı reçine kullanımı, homojen ürün eldesi, temiz imalat, tek taraflı bir kalıba ihtiyaç duyulması, kalıbın yüksek mukavemetli bir malzemeden yapılmasına gerek olmaması, kalıp ve üretim maliyetinin göreceli olarak daha düşük olması, daha büyük parçaların üretilebilmesi, el yatırma yönteminde kullanılan kalıpların modifiye edilerek bu yöntemde de kullanılabilmesidir.

Yöntemin bazı dezavantajları; diğer basit yöntemlere göre kullanılan donanım sayısının fazla olması, işlem aşamalarının göreceli olarak daha karmaşık olması, reçine ile ıslanmamış bölgelerin kalma riskleridir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Polimer Matrisli Kompozit Malzemenin İmalatı

İlk olarak Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Tekniği kullanılarak kompozit plaka üretimine başlamadan önce yağ ya da toz gibi yabancı maddeler bulunmayacak şekilde kalıp yüzeyi temizlenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken diğer bir hususta kalıp daha önce kullanılmışsa kalıp yüzeyinde bulunan kalıp ayırıcı kalıntılarında temizlenmesi gerekliliğidir. Temizlik işleminden sonra, tablanın üzerine Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi yanmaz ve yapışmaz özellikteki ayırıcı film kumaşı serilir.



Şekil 3.1. Ayırıcı film

İkinci aşamada örgülüflü kumaş malzemesinin serileceği yerin etrafı hava sızdırmazlığını sağlayan çift taraflı sızdırmazlık bandı ile Şekil 3.2.'de gibi tamamiyle bantlanır.





Şekil 3.2.Sızdırmazlık bandının ayırıcı filmin etrafına yapıştırılışı

Aşınma deneyinde kullanılacak olan kompozit plakanın üretimi için kalıp yüzeyleri ayarlandıktan sonrakumaş malzemesi düzgünce yerleştirilir(Şekil 3.3.). Bu işlem yapılırken kumaşların ayırıcı film üzerinden kaymaması sağlanır. Kumaşların kaymaması için fırça ile reçine sürülebilir.



Şekil 3.3. Elyaf kumaşın ayırıcı film üzerine serilişi

Kumaş serme işlemi tamamlandıktan sonra yüzey pürüzlüğünü sağlayan katman tüm kalıp üzerine serilir ve yapıştırıcı ile takviye malzemesinin üzerine yapıştırılır.



Şekil 3.4. Soyma kumaşının serilişi

Elyaf kumaş üzerine soyma kumaşı konulmaktadır. Soyma kumaşı karbon veya aramid elyaf üzerine serilip aynı ölçülerde kesildikten sonra üzerine reçine geçirgenliğini sağlayan infüzyon filesi serilmektedir. İnfüzyon filesini sermekteki amaç reçinenin tüm kumaş elyaf yüzeyine homojen olarak emilimini sağlamaktır. Ayrıca infüzyon filesinin geçirgen yapısı sayesinde elyaf kumaş üzerine sürülen fazla reçinenin vakum yardımıyla dışarı alınmasını sağlamaktadır (Şekil 3.5.).



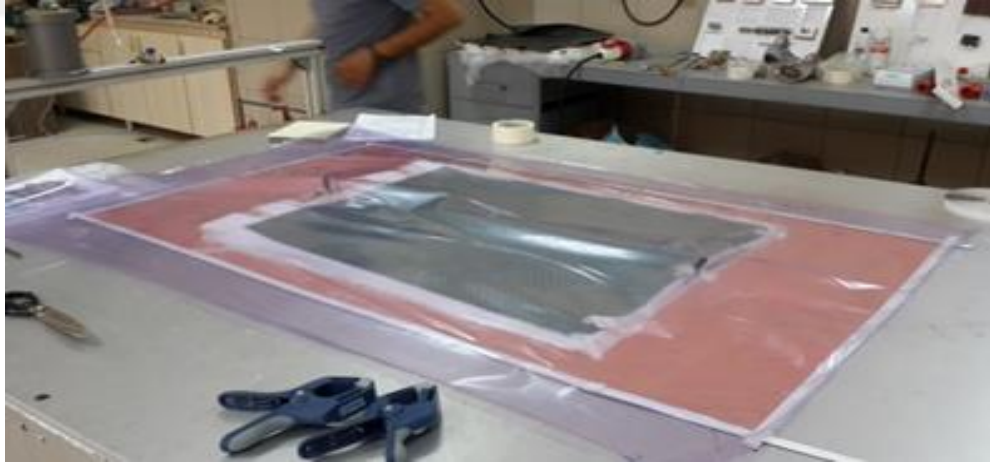
Şekil 3.5. İnfüzyon filesinin soyma kumaşının üstüne konulmuş hali

İnfüzyon filesi soyma kumaşının üstüne serildikten sonra karşılıklı iki kenarına vakum hortumunun bağlantısını sağlamak için spiral hortum ve t bağlantı boruları yerleştirilir (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6.Spiral hortum ve t bağlantı borusunun plaka üzerine yerleştirilmesi

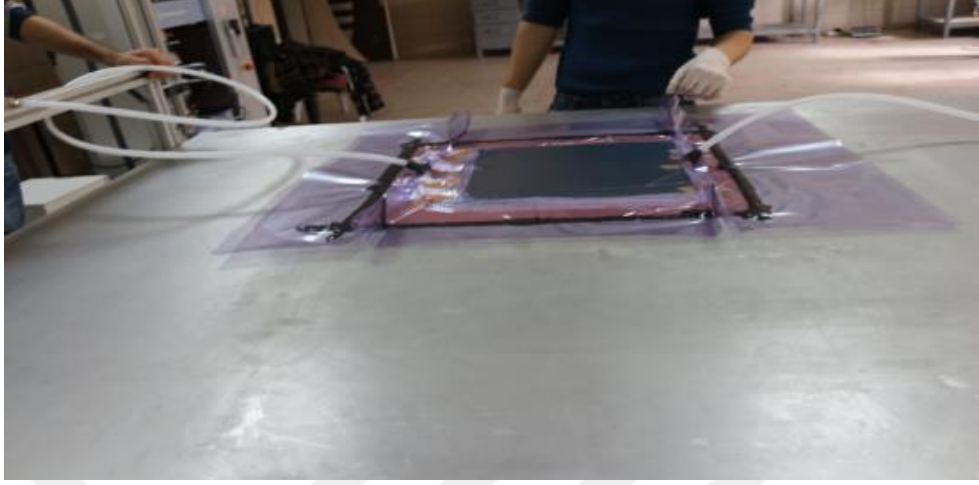
Sonraki aşamada, hava geçirmeyen vakum torbası tüm yüzeyi genişçe kaplıyacak şekilde yerleştirilip en alt katta kullandığımız çift taraflı sızdırmazlık bandı ile zemine hava geçirmeyecek şekilde yapıştırılmıştır. Bu bantların üst yüzeyleri, vakum torbasının yapıştırılma sırası gelene kadar sökülmemelidir. Ayrıca bantlardaki olası bir hava kaçıışını önlemek için vakum torbasının bütün kenarları sırasıyla başlanarak yapıştırılmalıdır (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7.Vakum naylonunun hazırlanan plaka üzerine serilişi

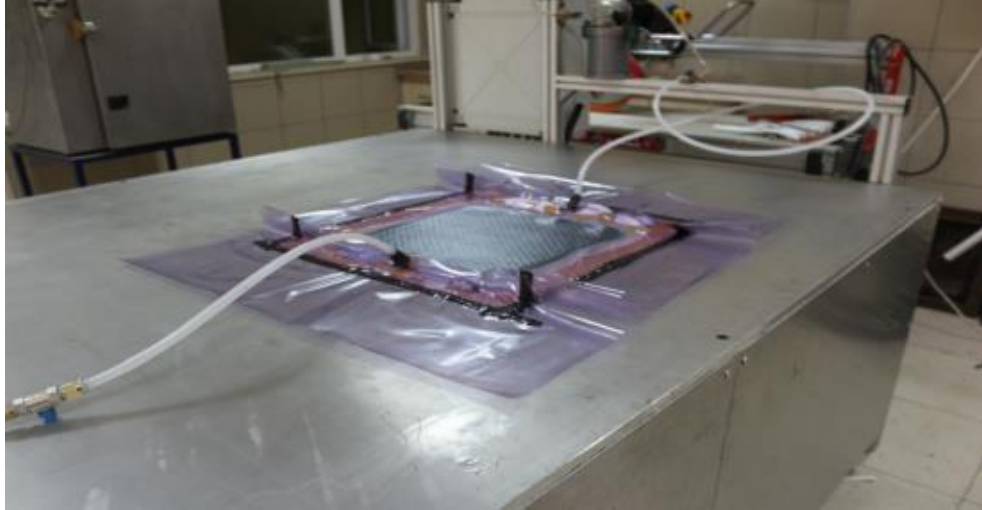
Bu işlem tamamlandıktan sonra altta kalan t borularının ağız kısımları infüzyon hortumu ile sızdırmazlığı sağlayacak şekilde bağlantısı yapılır. İnfüzyon hortumu, vakum torbasının kalıp üzerine yeterli seviyede basınç uygulayabilmesini temin için kalıp boyutlarına uygun olarak (özellikle derin kalıplarda derinlik hesaba katılarak) kesilir. Kesim işlemi tamamlan hortum, infüzyon macunu vasıtası ile sızdırmazlığı

sağlanacak şekilde kalıp etrafına yapıştırılır (Şekil 3.8. ).



Şekil 3.8.T borularının ağız kısımları infüzyon hortumu ile bağlantısının sağlanması

Tüm bu işlemlerden sonra, vakum göstergesi infüzyon düzeneğine bağlanarak vakum pompası açılır. Vakum torbasındaki olası bir hava kaçağı kontrol edilmelidir. Hava kaçağı tespit edildiğinde yapışkan bantı ile kaçak olan bölge yapıştırılır. Artık kompozit plaka vakum desteğiyle infüzyon yaparak epoksi emilimine hazır hale gelmiştir (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. Plakanın vakumlanmaya hazır son hali

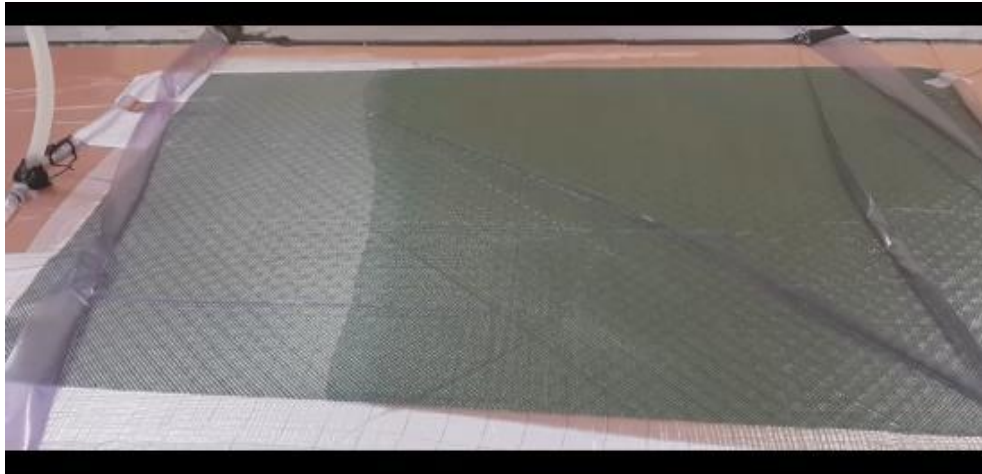
Kompozit plakaların üretimi amacıyla öncelikli olarak yapıştırıcı ile sertleştirici malzemedan belli oranlarda karıştırılarak matris elemanı hazırlanmıştır (Şekil 3.9.).





Şekil 3.10. Epoksi reçinenin hazırlanışı

Bu işlemler tamamlandıktan sonra Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Tekniği ile hazırlanan reçinenin, vakum pompasının kapasitesine bağlı olarak yaklaşık -1 ATM basınç altında vakumlayarak tüm plaka üzerine homojen olarak emilimi gerçekleştirilmiştir. Daha sonra reçine ile ıslanma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem esnasında kalıbın her noktasının yeterlice ıslanmış olduğuna dikkat edilmiştir. Kalıbın köşe noktaları da dahil tüm noktalar ıslandıktan sonra tüm reçine besleme hatları klemp ile kapatılarak reçine karbon elyaf içerisinde sıcaklığın etkisiyle sertleşmiş ve 2 saatin sonunda soğumaya terk edilerek bir gün süre ile o vaziyette kalması sağlanmıştır(Şekil 3.11.).



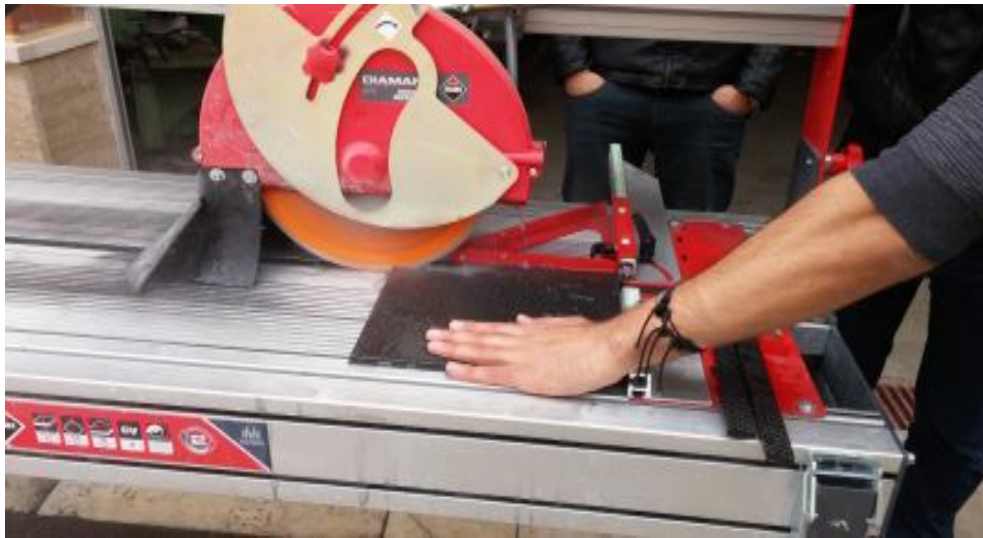
Şekil 3.11.Reçinenin vakumla ilerleyişi

Kompozit plaka 1 gün bekletildikten sonra, vakum torbası ile soyma kumaşı sökülmüştür. Sökme işleminin kolaylıkla yapılabilmesi için, maket bıçağı veya spatula benzeri bir alet yardımıyla, kompozit plaka altına kenardan girilerek malzeme yüzeyden ayrılmıştır (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12.Soyma kumaşının sökülme işlemi.

Vakum destekli reçine infüzyon tekniği ile üretimi yapılmış olan kompozit plakaların kenarları düzeltilerek gerekli olan boyutlarda kesilerek deneye hazır numuneler elde edilmiştir (Şekil 3.13.).



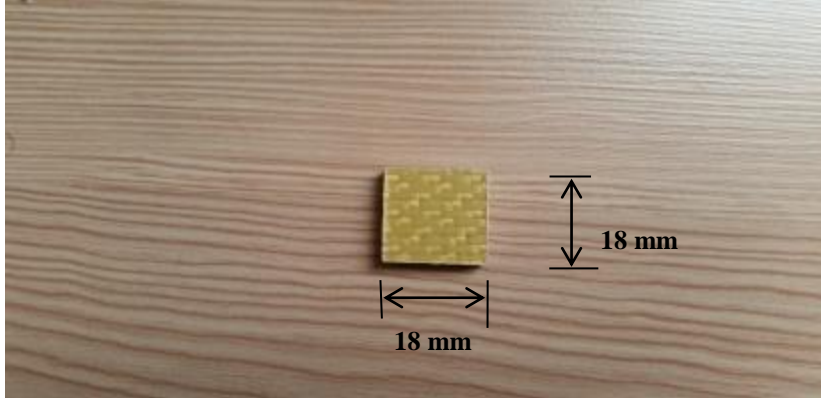
Şekil 3.13.Plakanın numune ölçülerinde kesim aşaması

### 3.2. Deneyde Kullanılan Kompozit Numunelerin Hazırlanması

Bu deneysel çalışma ile çevresel şartlara maruz kompozit malzemelerin aşınma deneyi yardımı ile aşınma davranışları tespit edilmeye çalışılmıştır. Numuneler hazırlanırken ilk olarak tablaya kompozit plaka yerleştirilip 200mm çapında 0.75Kw gücünde çizici testere ile boyutları 18x18x10 mm olan numuneler kesilmiştir (Şekil 3.15.). Kesim yaparken soğutma suyu kullanılır, soğutma suyu temiz olmalıdır. Soğutma suyu hem testerenin ısınmasını önlemekte hemde kesilen parçacıkların taşınarak kesim alanının dışına atılmasını sağlamaktadır (Şekil 3.14.).



Şekil 3.14. Deney numunelerinin kesme tezgâhında kesilmesi



Şekil 3.15. Deney numunelerinin son hali (numunenin kalınlığı =10mm)

### 3.3. Kompozit Numunelere ait Ağırlıkların Hassas Terazilerle Belirlenmesi

Deney öncesi ve sonrası numunelerin ağırlıkları hassasiyeti  $10^5$  olan terazi ile ölçülerek kütle kaybı tespiti yapılmıştır. Ölçüm yapmadan önce denge ayaklarının ayarlanması yapılmıştır. Ölçüm yaparken aşınmada kopan lifler yüzeyden

temizlenerek terazinin kefesine yerleştirilmiştir. Böylelikle kompozit malzemelerdeki aşınma miktarı tespit edilmiştir (Şekil 3.16.).



Şekil 4.16. Kompozit Malzemenin Hassas Terazi İle Ölçülmesi

#### 3.4. Deney Numunesinin Aşınma Düzenine Yerleştirilmesi

Deney numunesi aşınma düzenine test cihazı üzerindeki üçayaklı ayna yardımıyla bağlanmıştır. Aynaların sıkılma miktarı iyi ayarlanmalıdır. Aynaların sıkma işlemi oldukça önemli olup sıkma işlemi yapılmadan deneye başlanması durumunda numune fırlaması neticesinde önemli kazalara neden olacaktır ayrıca üzerinde unutulmuş sıkma aparatının aşınma cihazına isabet etmesi durumunda ise cihazda hasara sebebiyet verecektir (Şekil 3.17.).



Şekil 4.17. Deney numunesinin aşınma düzenine yerleştirilmesi



### 3.5. Deney İçin Gerekli Devir Sayısı, Uygulanacak Yük, İz Çapı ve ZamanDeğerinin Belirlenmesi

Çevresel şartlara maruz kompozit numunelerin aşınma deneyinde aşağıda verilen devir sayısı, uygulanacak yük, iz çapı parametreleri programa yüklendikten sonra deneye başlanmıştır.

İz çapının tespiti için ilk önce parametreler programa girilir daha sonra kısa bir süreliğine cihaz çalıştırılıp numune iz oluşturulur. Oluşan bu iz kumpasla ölçülerek iz çapı bulunur (Şekil 3.18.).

Devir sayısı: İz çapına göre değişkenlik gösterir.

Hız: 0,2 m/sn,

Uygulanan yükler: 10N, 20N, 30N,

Zaman: 2 saat 46 dakika.

Tüm bu değerler birkaç denemeden sonra tespit edilmiştir. Bu değerler programa yüklendikten sonra deneylere başlanmıştır.



Şekil 3.18. İz çapı değerinin belirlenmesi

### 3.6. Aşınma Deneyi

Deneyler yukarıda verilen program parametreleri kullanılarak yapılmıştır. Aşınma cihazının çalıştırılması ve istenen değerlerin alınmasına başlamadan önce cihaz numune yüzeyine temas ettirilerek kısa bir test yapılmış ve daha sonra deneylere başlanmıştır. Deneyler neticesinde uygulanan değişik kuvvetlerin (10N, 20N, 30N) ve çevresel faktörlerin (su, toprak, güneş) etkisiyle kompozit numunelerde meydana gelen aşınma miktarları ve sürtünme katsayıları tespit edilerek bunlarda görülen değişim irdelenmiştir.

Bu çalışmada test malzemesi olarak aramid ve karbon elyafli kompozit numuneler kullanılarak bu numunelere sırasıyla 10N, 20N, 30N'luk kuvvetler uygulanmıştır. Kompozit numunelere karşı sürtünme elemanı olarak torna kalem ucu kullanılmıştır. Aşınma deneylerine başlamadan önce numuneler hassas terazide tartılmıştır. Numunelerin aşınma testleri, Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümündeki TRD aşınma test cihazı kullanılarak kayma hızı 0.2 m/s, kayma mesafesi 2000m alınmak suretiyle oda sıcaklığında ve kuru sürtünme koşullarında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.19.).



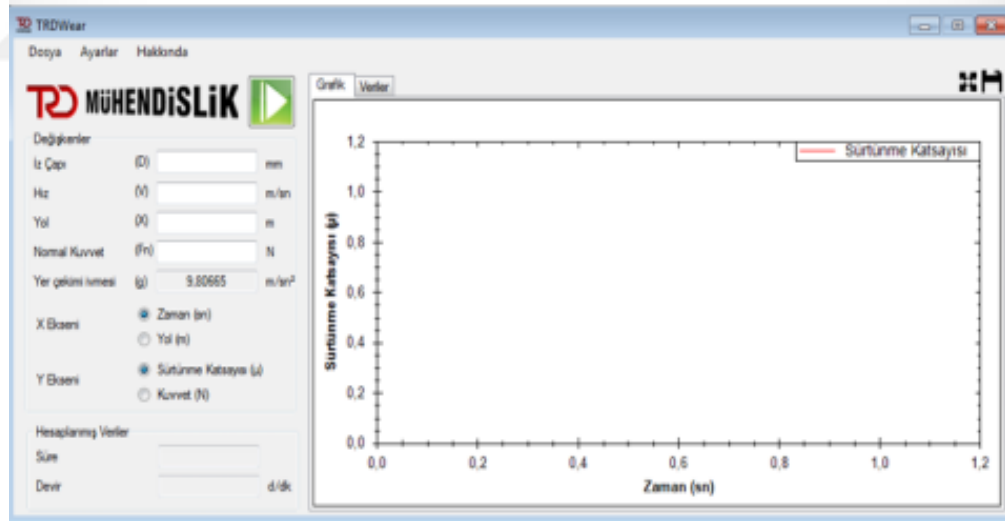
Şekil 3.19. Deney düzeneği

Pim-disk ve ball-disk metotları malzemelerin aşınma karakteristiklerinin bulunmasında sıklıkla kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir.

Aşınma cihazında, düşey olarak pim bulunmakta olup pimin ucuna ball sample holder takılabilmekte ayrıca yükleme pim üzerine uygulanabilmektedir. Disk (örnek numune) yatay olarak yerleştirilmekte ve belirli bir devirde dönmektedir. Uygulanan yük pinm üzerinde olan bir load cell ile tespit edilmektedir. Deney süresince tüm veriler cihaza bağlı bilgisayarda yüklü bulunan program yardımıyla kaydedilmektedir.

Şekil 3.20.'de verilen TRD Wear programına iz çapı, hız, yol ve uygulanan kuvvet değerleri girilerek, test cihazı otomatik olarak başlatılmıştır. Karbon ve aramid elyafli kompozit numunelerinin aşınma deneyleri süresince elde edilen tüm veriler yukarıda da belirtildiği gibi, cihaza bağlı bilgisayarda yüklü bulunan program yardımıyla kaydedilmiştir.

Bu yazılımın kullanımı ile yapılan deneylerden daha hassas ve doğru sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3.20. Aşınma test cihazı bilgisayar yazılımı

**4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARŞMA**

Tez çalışmasında, ilk önce aramid ve karbon elyafı kompozit plakaların üretimi yapılmıştır. Daha sonra üretimi yapılmış olan kompozit plakalardan yeterli sayıda numune, kesim yoluyla elde edilmiştir. Numuneler herhangi bir çevresel şarta maruz bırakılmadan ilk aşınma deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler 10N, 20N ve 30N'luk yükler uygulanarak gerçekleştirilmiştir.

Her bir yük uygulandığında üç ayrı deney yapılmış ve elde edilen sonuçların ortalama değeri alınarak, daha sonra çevresel koşullara bırakılarak yaşlandırma işlemi yapılan numune deneylerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırma yapmak üzere gerekli olan kontrol (ilk hal) değerleri elde edilmiştir.

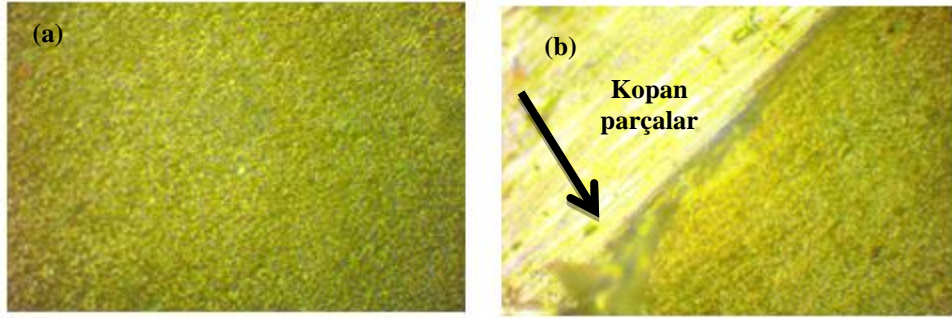
Her bir deney plakanın herhangi bir bölgesinden rastgele alınan numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tüm kompozit plakanın aynı mikro ve yüzey yapısına sahip olmadığı düşünülürse bazı deneylerden elde edilen sonuçlar ortalama değerlerden farklı çıkmıştır. Bazı deneylerde ise aşındırıcı ucun sıçrama şeklinde numuneden ayrıldığı durumlar gözlemlenmiştir. Bu gibi durumlarda sonuçlar çok farklı elde edilmiştir. Sonuçların ortalama değerden çok farklı olduğu deneyler ortalamaya katılmamıştır.

**4.1. Aramid Elyaf Kompozitin Mikroyapısı**

Aramid elyafı kompozit numuneler aynada tutturularak sabitlenip sırasıyla 10N,20N ve 30N kuvvetleri uygulanarak aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda numune yüzeylerinde aşınmalar meydana gelmiş ve numunelerin yüzey mikro yapılarında değişimler ortaya çıkmıştır.

Bu değişimleri tespit edebilmek amacıyla her bir numunenin deneyden önce ve sonra olmak üzere, mikroyapılarını gösteren resimler mikroskop yardımıyla alınmıştır.

Şekil 4.1.'de ilk numunelere ait aşınma deneyi öncesi ve sonrasında alınmış olan iki resim görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere aşınma deneyi sonrası numune yüzeylerindeki aşınma açık renkli alanda olup bu bölgede dislokasyonlar neticesinde gelişen matris elyaf ayrılmaları açıkça görülmektedir. Aşınma yüzeyindeki kayma izleri abrazif aşınma mekanizması ile aşınmanın meydana geldiğini göstermektedir.



Şekil. 4.1. Aramid elyaf kompozitinin mikroyapısı; a) kompozit numunenin deney öncesi mikroyapısı, b) kuvvet etkisindeki kompozit numunenin mikroyapısı

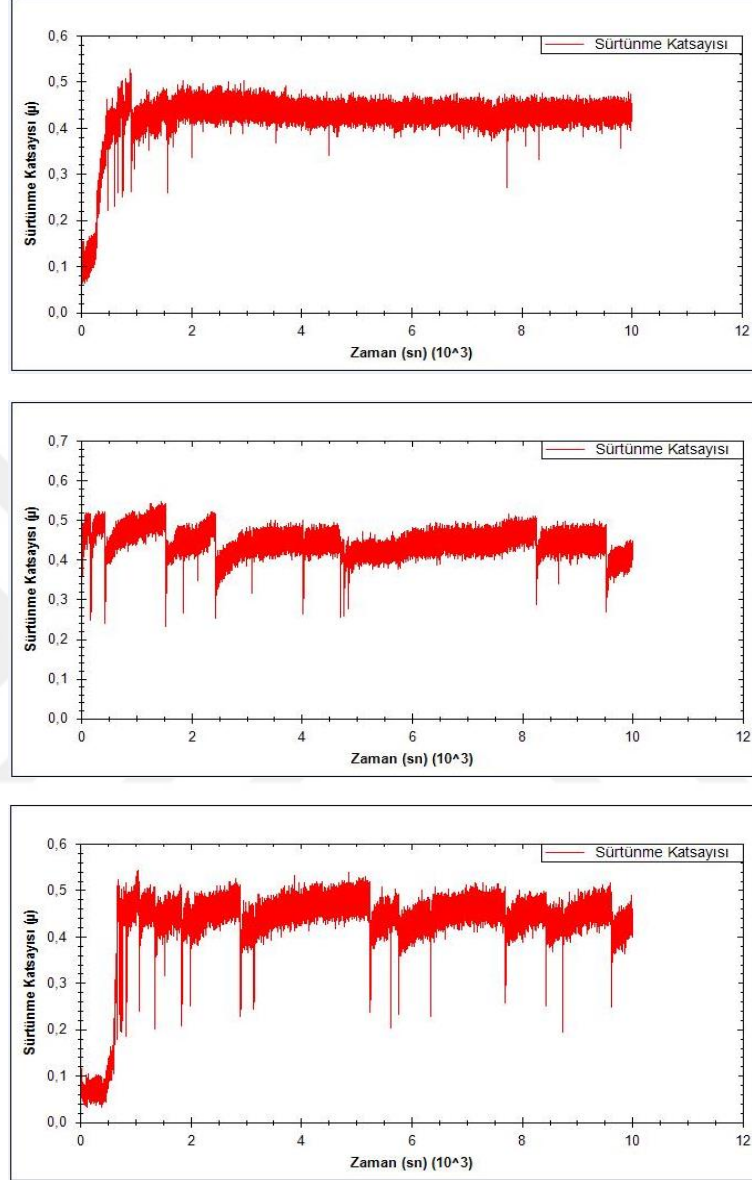
## 4.2. Aramid Elyaflı Kompozitlerin Aşınma Deneyleri

Aramid elyaflı kompozit malzemenin aşınma testi için pin-on-disc yöntemi kullanılmıştır. Aramid elyaflı kompoziti aşındıracak olan karşı eleman olarak 10 mm çapında kalem ucu kullanılmıştır. İlk aşınma deneyleri; üretilen kompozit numuneler çevresel etkilere maruz bırakılmadan önce sırasıyla 10N,20N ve 30N'luk kuvvetler uygulanarakayrıca kayma hızı 0.2m/s, kayma mesafesi 2000m alınmak suretiyle oda sıcaklığında ve kuru sürtünme koşullarında gerçekleştirilmiştir. Her kuvvet için üç ayrı deney yapılmıştır. Deneylerden sonra elde edilen sonuçların ortalaması alınarak sürtünme katsayıları ve yüzde olarak (%) ağırlıkça aşınma miktarları tespit edilmiştir.

### 4.2.1. Çevresel etkilere maruz kalmadan önce aramid elyaflı kompozit numunelerin 10 N kuvvet etkisinde aşınma deneyi

Deneyde herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan aramid elyaflı kompozit numuneler aynada tutturularak sabitlenip 10 N kuvvet uygulanmak suretiyle üç ayrı aşınma deneyi yapılmıştır. Her bir deney plakanın herhangi bir bölgesinden rastgele alınan bir numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Üç numuneye

ait, deney süresince elde edilmiş olan sürtünme-zaman grafikleri Şekil 4.2.'de görülmektedir.



Şekil.4.2. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 10 N kuvvet uygulandığında elde edilen sonuçlar

Buradaki grafiklerde, deneylerin aynı şartlar altında yapılmış olmasına rağmen bazı küçük değişiklikler görülmektedir. Bunun nedeni önceden de belirtildiği gibi numunelerin plaka üzerindeki farklı bölgelerden rasgele alındığından mikroyapı ve numune yüzey pürüzlülüklerinde görülen farklılıklardandır.

Her bir grafikten elde edilen sürtünme katsayıları ve ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği üzere her üç numuneye ait deneyde de birbirine yakın sürtünme katsayıları elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 10 N kuvvet uygulandığında elde edilen sürtünme katsayıları

Ortam	Ortalama Sürtünme Katsayıları			
	1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
Çevresel Şartlara Maruz Kalmayan Kompozit Numuneler	0,42	0,42	0,44	0,427

10 N kuvvet etkisinde olan aramid elyafli kompozit numuneler ile üç ayrı deney yapılmıştır. Deneylerden önce ve sonra olmak üzere her bir numunenin ağırlığı ölçülmüştür. Ağırlık farkları tespit edilerek aşınma miktarları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların ortalaması alınarak yüzde olarak ağırlıkça aşınma miktarları (%'de aşınma = (aşınma miktarı/ilk ağırlık)\*100) bulunmuştur (Çizelge 4.2.). Çizelgeden görüleceği üzere her üç numuneye ait deney sonucunda elde edilen aşınma miktarları birbirine çok yakın çıkmıştır. Üç numuneye ait yüzde aşınma miktarlarının ortalaması alınarak ağırlıkça yüzde aşınma miktarı bulunmuştur.

Çizelge 4.2. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 10 N kuvvet uygulandığında elde edilen aşınma miktarları

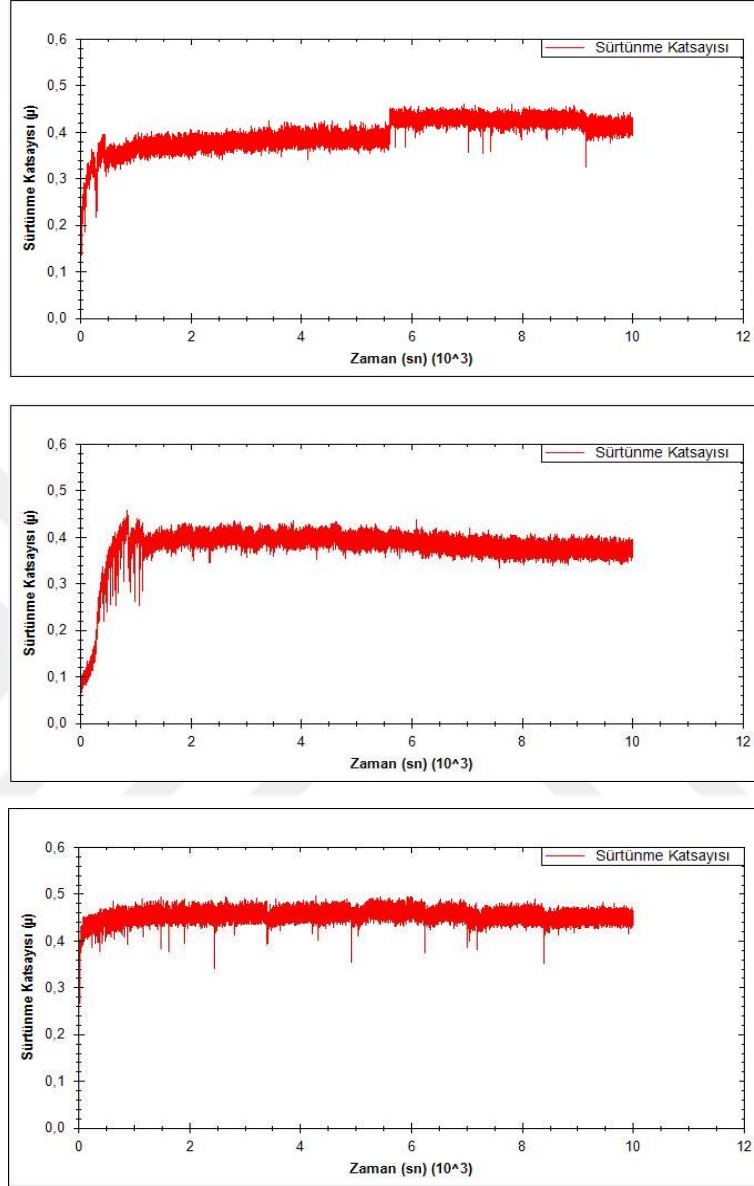
Ortam	Numune	Aşınma miktarı			
		İlk ağırlık (mg)	Son ağırlık (mg)	Aşınma miktarı (mg)	Aşınma miktarı %
Çevresel Şartlara Maruz Kalmayan Kompozit Numuneler	1.Numune	3,12810	3,12686	124*10 <sup>-5</sup>	0,039
	2.Numune	2,96376	2,96512	136*10 <sup>-5</sup>	0,040
	3.Numune	3,03903	3,03758	145*10 <sup>-5</sup>	0,040
	Ortalama	3,04363	3,04318	135*10 <sup>-5</sup>	0,0396

#### 4.2.2. Çevresel etkilere maruz kalmadan önce aramid elyafli kompozit numunelerin 20 N kuvvet etkisinde aşınma deneyi

Herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan aramid elyafli kompozit numuneler aynada tutturularak sabitlenip 20 N kuvvet uygulanmak suretiyle üç ayrı aşınma deneyi yapılmıştır. Her bir deney plakanın herhangi bir bölgesinden rastgele



alınan bir numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Üç numuneye ait, deney süresince elde edilmiş olan sürtünme-zaman grafikleri Şekil 4.3.'de görülmektedir.



Şekil 4.3. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 20 N kuvvet uygulandığında elde edilen sonuçlar

Her bir grafikten elde edilen sürtünme katsayıları ve ortalama sürtünme katsayısı Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelgeden de görüleceği üzere her üç numuneye ait deneyde birbirinden farklı olan sürtünme katsayıları elde edilmiştir.



Çizelge 4.3. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 20 N kuvvet uygulandığında elde edilen sürtünme katsayısı

Ortam	Ortalama Sürtünme Katsayıları			
	1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
Çevresel Şartlara Maruz Kalmayan Kompozit Numuneler	0,39	0,37	0,45	0,403

20 N kuvvet etkisinde olan aramid elyafli kompozit numuneler ile üç ayrı deney yapılmıştır. Deneylerden önce ve sonra olmak üzere her bir numunenin ağırlığı ölçülmüştür. Ağırlık farkları tespit edilerek aşınma miktarları tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçların ortalaması alınarak yüzde olarak ağırlıkça aşınma miktarları bulunmuştur (Çizelge 4.4.). Üç numuneye ait yüzde aşınma miktarlarının ortalaması alınarak ağırlıkça yüzde aşınma miktarı bulunmuştur.

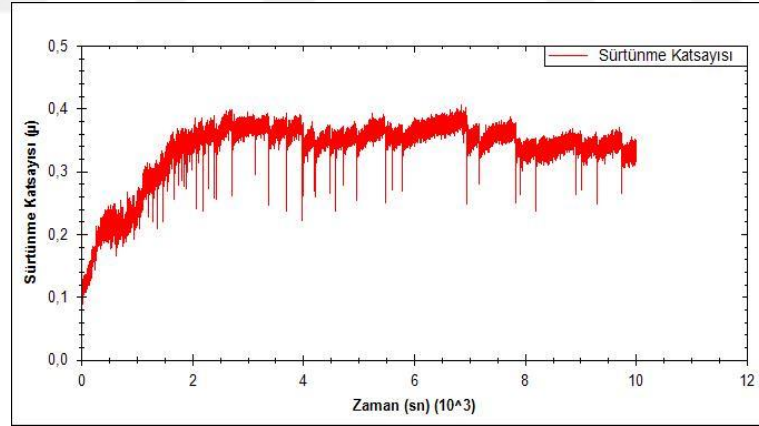
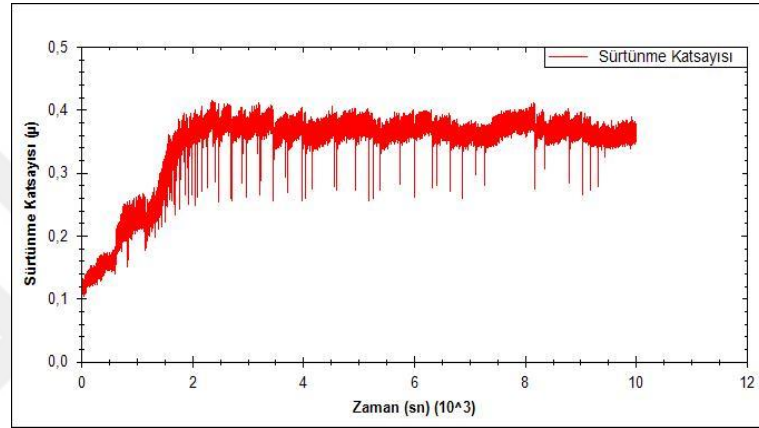
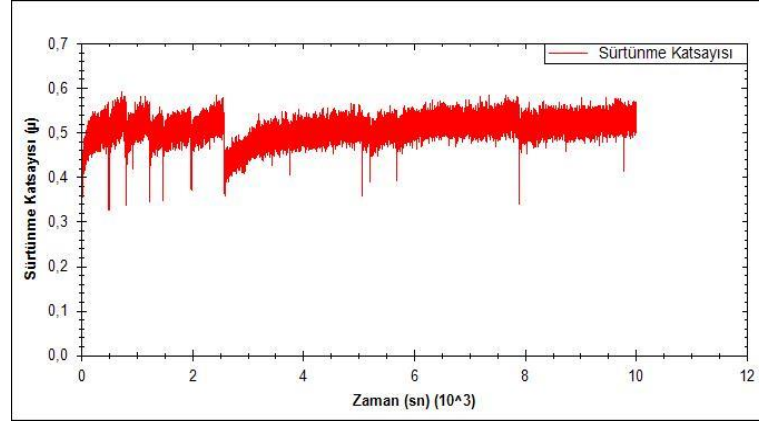
Çizelge 4.4. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 20 N kuvvet uygulandığında elde edilen aşınma miktarları

Ortam	Numune	Aşınma miktarı			
		İlk ağırlık (mg)	Son ağırlık (mg)	Aşınma miktarı (mg)	Aşınma miktarı %
Çevresel Şartlara Maruz Kalmayan Kompozit Numuneler	1.Numune	2,91872	2,91602	270*10 <sup>-5</sup>	0,091
	2.Numune	3,23318	3,23205	231*10 <sup>-5</sup>	0,071
	3.Numune	3,24088	3,23832	256*10 <sup>-5</sup>	0,078
	Ortalama	3,13092	3,12879	252*10 <sup>-5</sup>	0,08

#### 4.2.3. Çevresel etkilere maruz kalmadan önce aramid elyafli kompozit numunelerin 30 N kuvvet etkisinde aşınma deneyi

10 N ve 20 N kuvvet uygulanarak yapılan deneylerde olduğu gibi herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan aramid elyafli kompozit numuneler aynada tutturularak sabitlenip 30 N kuvvet uygulanmak suretiyle üç ayrı aşınma deneyi yapılmıştır.

Her bir deney plakanın herhangi bir bölgesinden rastgele alınan bir numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Üç numuneye ait, deney süresince elde edilmiş olan sürtünme-zaman grafikleri Şekil 4.4.'te görülmektedir.



Şekil 4.4. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 30 N kuvvet uygulandığında elde edilen sonuçlar

Her bir grafikten elde edilen sürtünme katsayıları ve ortalama sürtünme katsayısı Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 30 N kuvvet uygulandığında elde edilen sürtünme katsayısı

Ortam	Ortalama Sürtünme Katsayıları			
	1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
Çevresel Şartlara Maruz Kalmayan Kompozit Numuneler	0,34	0,33	0,50	0,39

30 N kuvvet etkisinde olan aramid elyafli kompozit numuneler ile üç ayrı deney yapılmıştır. Deneylerden önce ve sonra olmak üzere her bir numunenin ağırlığı ölçülmüştür.

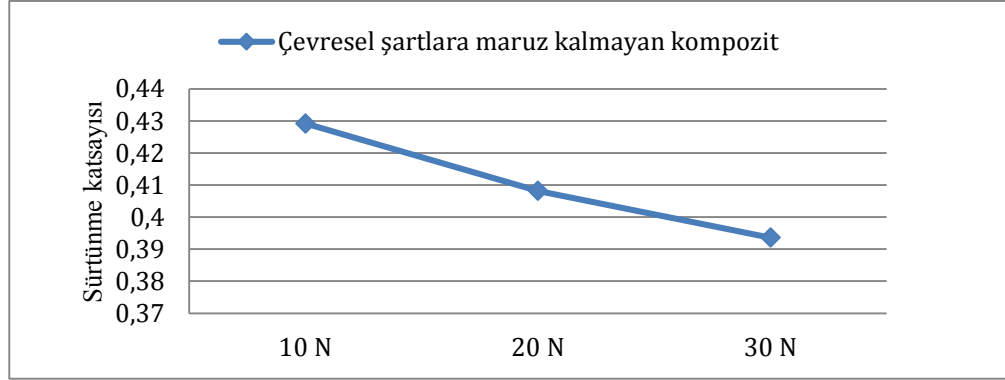
Ağırlık farkları tespit edilerek aşınma miktarları tespit edilmiş ve sonrasında ise yüzde olarak ağırlıkça aşınma miktarları hesaplanmıştır (Çizelge 4.6.).Üç numuneye ait yüzde aşınma miktarlarının ortalaması alınarak ağırlıkça yüzde aşınma miktarı bulunmuştur.

Çizelge 4.6. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 30 N kuvvet uygulandığında elde edilen aşınma miktarları

Ortam	Numune	Aşınma miktarı			
		İlk ağırlık (mg)	Son ağırlık (mg)	Aşınma miktarı (mg)	Aşınma miktarı %
Çevresel Şartlara Maruz Kalmayan Kompozit Numuneler	1.Numune	3,05665	3,05296	369*10 <sup>-5</sup>	0,120
	2.Numune	2,94009	2,93629	380*10 <sup>-5</sup>	0,129
	3.Numune	3,31242	3,30892	350*10 <sup>-5</sup>	0,105
	Ortalama	3,18605	3,09939	366*10 <sup>-5</sup>	0,118

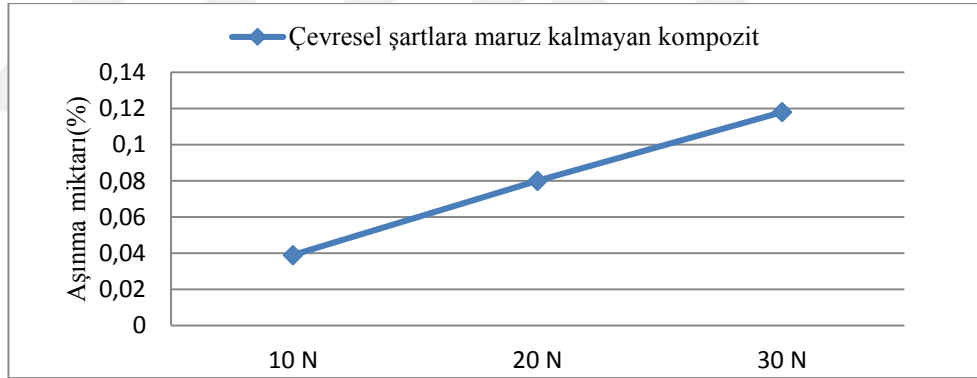
Herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan aramid elyafli kompozit numuneler aynada tutturularak sabitlenip ayrı ayrı 10N, 20N ve 30 N kuvvet uygulanmak suretiyle üç ayrı aşınma deneyleri tamamlanmıştır.

Üç yükleme durumunda elde edilen ortalama sürtünme katsayılarının ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının yüke bağlı değişimi Şekil 4.5. ve 4.6.'da verilmiştir.



Şekil 4.5. Herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yüke bağlı değişimi

Şekil 4.5. incelendiğinde herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yük miktarı arttıkça düştüğü görülmüştür. 20N ve 30N yük uygulandığında sürtünme katsayıları 10 N'a göre % 4.89 ve % 8.29 düşüş göstermiştir.



Şekil 4.6. Herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan aramid elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının uygulanan yüke bağlı değişimi

Şekil 4.6. incelendiğinde herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan aramid elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının uygulanan yük miktarı arttıkça attığı görülmüştür. Bu değişimin lineere yakın olduğu görülmektedir. Şekil 4.5. ve 4.6. beraberce değerlendirildiğinde artan yükte sürtünme katsayısında düşüşün meydana geldiği ayrıca ağırlıkça yüzde aşınma miktarında ise artma meydana geldiği tespit edilmiştir. Yük miktarı arttıkça aşınmanın artması

beklendiğinden deneylerden elde edilen ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının yükün aşınmaya olan etkilerini daha açık olarak ortaya koyduğu söylenebilir.

### **4.3. Çevresel Şartlara Maruz Kalan Aramid Elyafı Kompozitlerin Aşınma Davranışı**

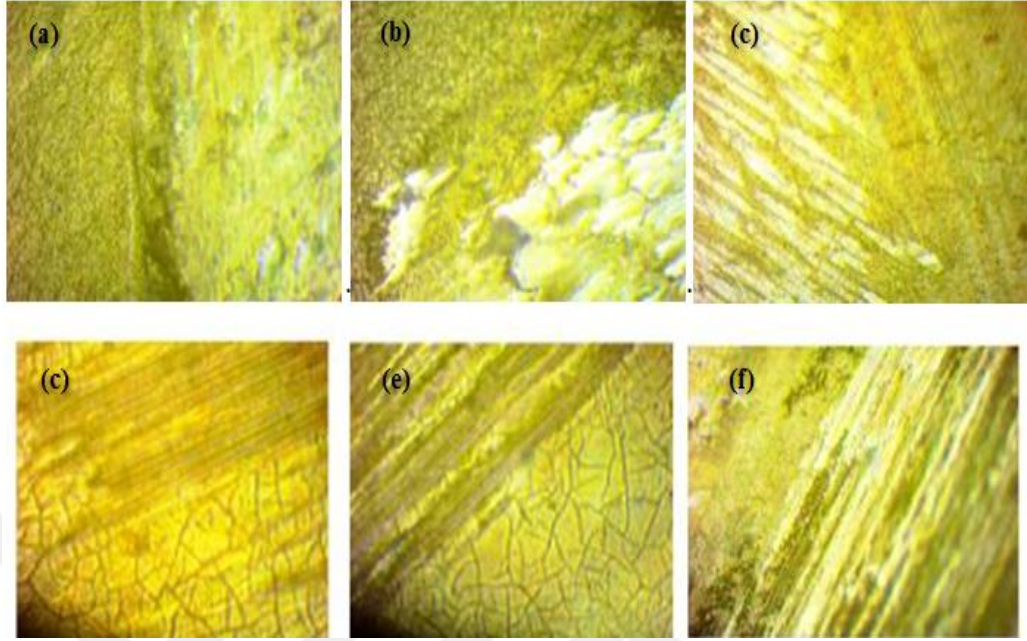
Çevresel etkilere maruz kalan 9 adet aramid elyaf kompozit numunesi üzerinde sırası ile 10N, 20N, 30N'luk kuvvetler uygulanarak sürtünme katsayısı, aşınma miktarları ve bunların uygulanan kuvvet ile değişimi belirlenmiştir. Çevresel etkiler sırası ile toprak altı, su altı ve güneş etkisinde geçirilen 100 ve 200 günlük sürelerdir. Her bir çevre şartına maruz kalmış 3 adet numune sırası ile 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetlere maruz bırakılmış ve deney yapılarak sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarları tespit edilerek bu değerlerin uygulanan kuvvete ve çevre şartlarına göre değişimleri incelenmiştir. Her bir deney plakanın herhangi bir bölgesinden rastgele alınan bir numune üzerinde gerçekleştirilmiştir.

#### **4.3.1. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyafı kompozitlerin mikroyapısı**

100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyafı kompozit numuneler aynada tutturularak sabitlenip sırasıyla 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetler uygulanarak aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda numune yüzeylerinde aşınmalar meydana gelmiş ve numunelerin yüzey mikro yapılarında değişimler ortaya çıkmıştır. Bu değişimleri tespit edebilmek amacıyla her bir numunenin 10N, 20N ve 30N kuvvet etkisinde deneyler tamamlandıktan sonra mikroyapılarını gösteren resimler mikroskop yardımıyla alınmıştır.

Şekil 4.7.'de 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyafı kompozit numunelere ait; 10N, 20N ve 30N kuvvet uygulanması durumunda, aşınma deneyi sonrasında alınmış olan ve mikroyapılarını gösteren resimler verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere uygulanan yük ve çevresel şartlara maruziyet süresi arttıkça aşınma şekillerinde değişiklikler meydana gelmiştir. Şekilde, güneşte kalma süresinin artması ile mikroyapıda görülen değişiklikler daha açık görülmektedir. Yük arttıkça aşınma miktarlarının da arttığı gözlenmiş olup aşınma neticesinde gelişen

matris elyaf ayrılmaları açıkça görülmektedir.

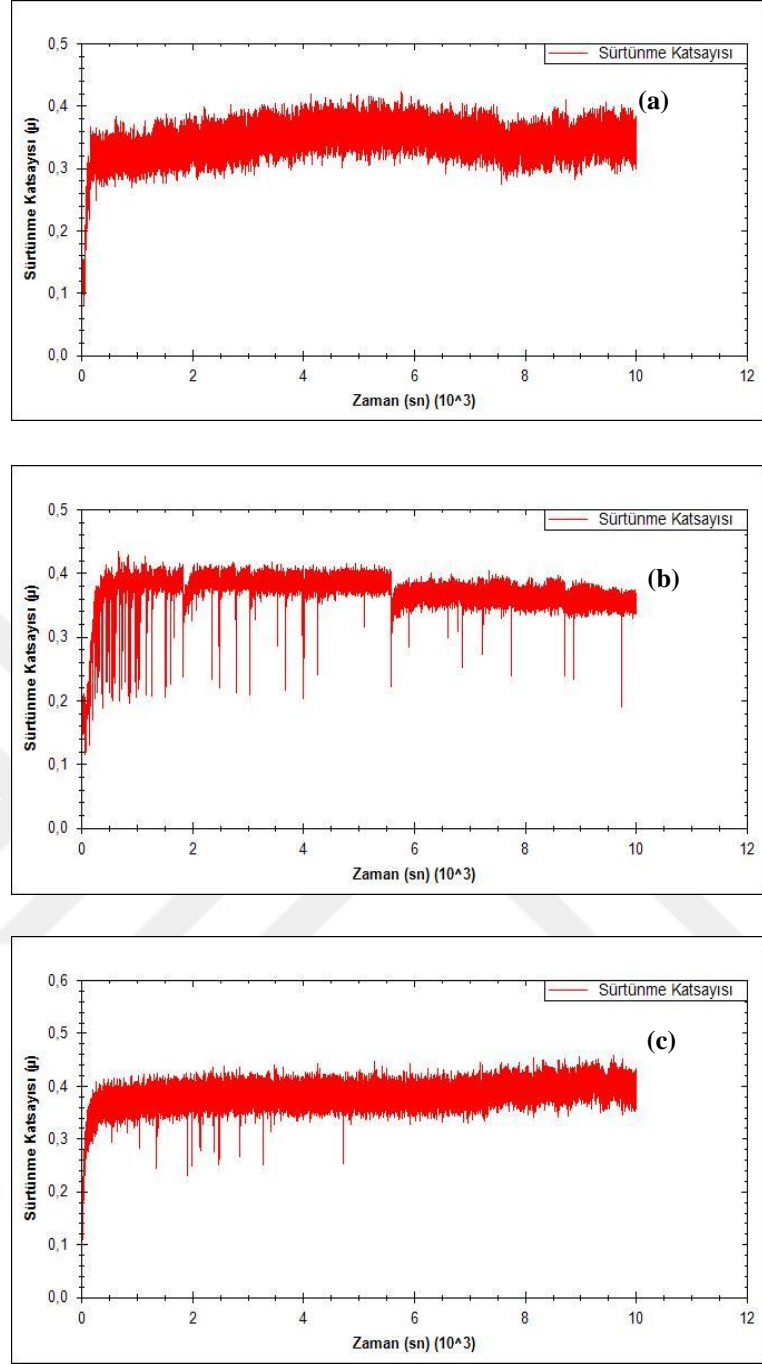


Şekil4.7. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyafli kompozitlerin mikroyapısı; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N,d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N

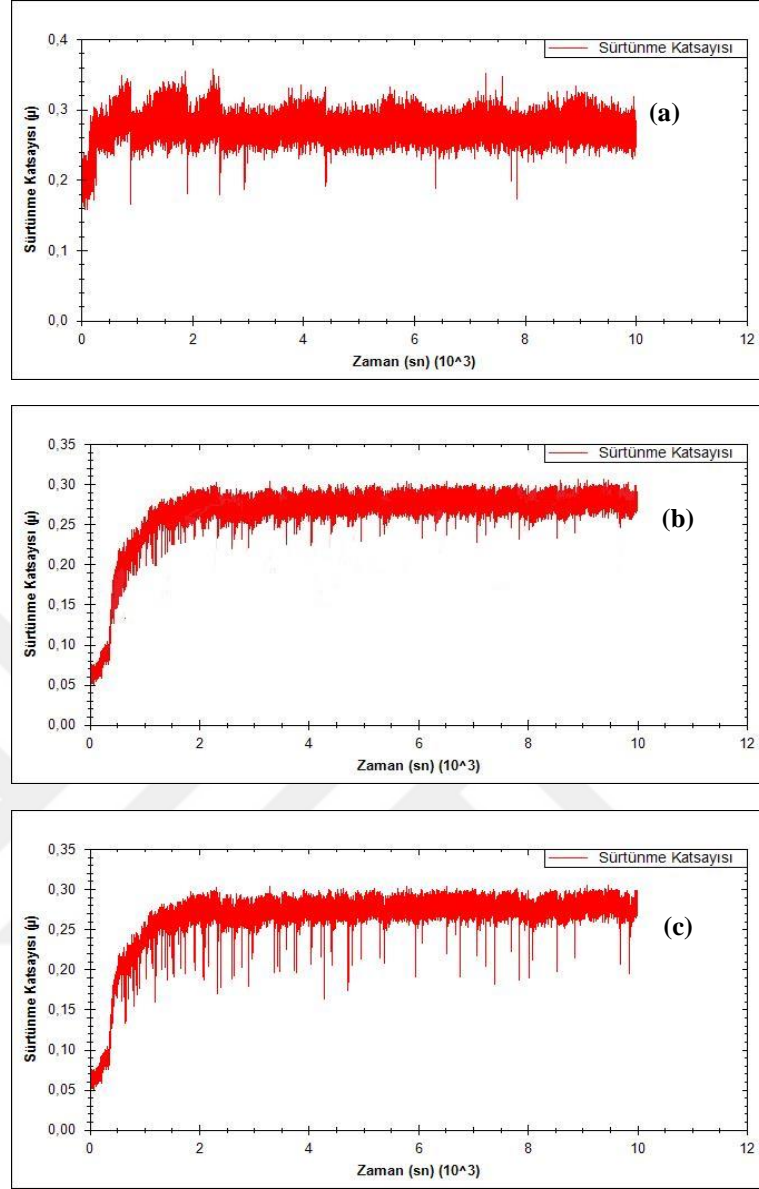
#### 4.3.2. 100ve 200 gün süre ile güneşe maruz kalan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisinde aşınma deneyi

Her bir çevre şartına maruz kalmış 3 adet numune sırası ile 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetlere maruz bırakılmış ve deney yapılarak sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarları tespit edilerek bu değerlerin uygulanan kuvvete ve çevre şartlarına göre değişimleri incelenmiştir.

Deneyde 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyafli kompozit numuneler aynada tutturularak sabitlenip sırasıyla 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetler uygulanmak suretiyle, sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarları tespit edilmiş ve bu katsayıların uygulan kuvvete göre değişimleri incelenmiştir.



Şekil 4.8. 100 gün süre ile güneşe maruz kalan aramid elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayılarındaki değişim; a)10N, b)20N, c)30N



Şekil 4.9. 200 gün süre ile güneşe maruz kalan aramid elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayılarındaki değişim; a)10N, b)20N, c)30N

Şekil 4.8. ve Şekil 4.9.'da 100 ve 200 gün süre ile güneş'e maruz kalan aramid elyafli kompozit malzemelerin farklı kuvvet etkisindeki sürtünme katsayıları gösterilmiştir. Herbir kuvvet uygulandığında üç numune üzerinde deney yapılmış olup şekilde bu üç deneyden yalnızca bir tanesine ait grafik verilmiştir. Şekil 4.8. ve Şekil 4.9'da sırasıyla 10N, 20N, 30N uygulanan üç numuneden sadece birisine ait sonuç verilmiştir.



100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan ve değişik kuvvetler uygulanan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 4.7.'de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere 100 gün süre ile güneşe maruz bırakılan numunelerde uygulanan yük arttıkça sürtünme katsayılarında da çok küçük olsa da artışlar görülürken 200 gün güneşe maruz bırakılan numunelerde düşüş görülmüştür.

Çizelge 4.7. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz kalan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde sürtünme katsayıları

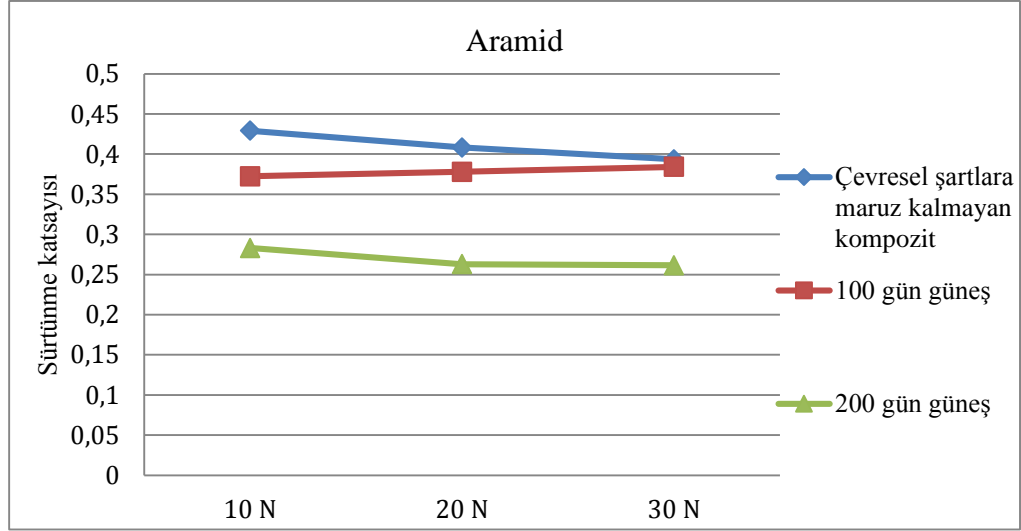
Ortam	Yük	Ortalama Sürtünme Katsayıları			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
100 gün güneş	10 N	0,38	0,34	0,39	0,37
	20 N	0,36	0,36	0,40	0,37
	30 N	0,38	0,38	0,38	0,38
200 gün güneş	10 N	0,27	0,27	0,30	0,28
	20 N	0,26	0,25	0,27	0,26
	30 N	0,26	0,27	0,24	0,25

100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları Çizelge 4.8.'de verilmiştir. Uygulanan yük arttıkça ağırlıkça yüzde aşınma miktarları da artmıştır. Güneş'e maruziyet süresi arttıkça aşınma miktarı daha da artmıştır.

Çizelge 4.8. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz kalan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde aşınma miktarları

Ortam	Yük	Aşınma miktarı(%)			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
100 gün güneş	10 N	0,058	0,077	0,059	0,064
	20 N	0,092	0,098	0,107	0,099
	30 N	0,130	0,121	0,126	0,125
200 gün güneş	10 N	0,112	0,107	0,102	0,111
	20 N	0,127	0,118	0,129	0,125
	30 N	0,140	0,129	0,148	0,139

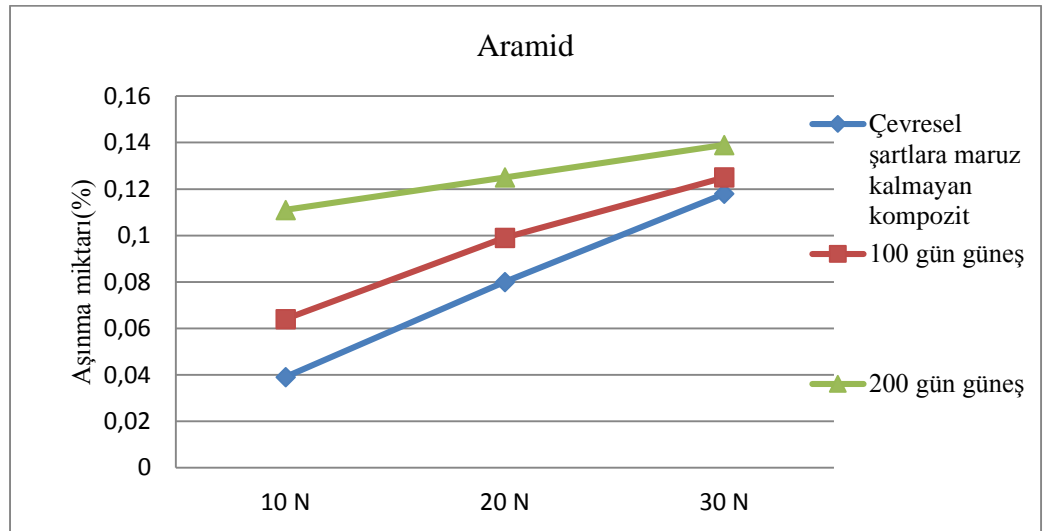
Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 gün ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyafli kompozit numunelere farklı kuvvet uygulanması durumunda elde edilen ortalama sürtünme katsayılarının ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının yüke bağlı değişimi Şekil 4.10. ve 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.10. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyaflı kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları

Şekilden görüleceği gibi 100 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyaflı kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yük miktarı arttıkça çok küçük miktarda arttığı; 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyaflı kompozit numunelerde sürtünme katsayılarının azaldığı görülmüştür.

Aynı yükün uygulanması durumunda çevre şartlarına maruziyet süresi arttıkça sürtünme katsayısında düşüş görülmektedir.



Şekil 4.11. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan aramid elyaflı kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları

Şekilden görüleceği gibi ağırlıkça yüzde aşınma miktarları uygulanan yük artarken artmıştır. Aynı yükün uygulanması durumunda çevre şartlarına maruziyet süresi arttıkça ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarında artış görülmektedir.

Deneylerden elde edilen ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının yükün aşınmaya olan etkilerini daha açık olarak ortaya koyduğu söylenebilir.

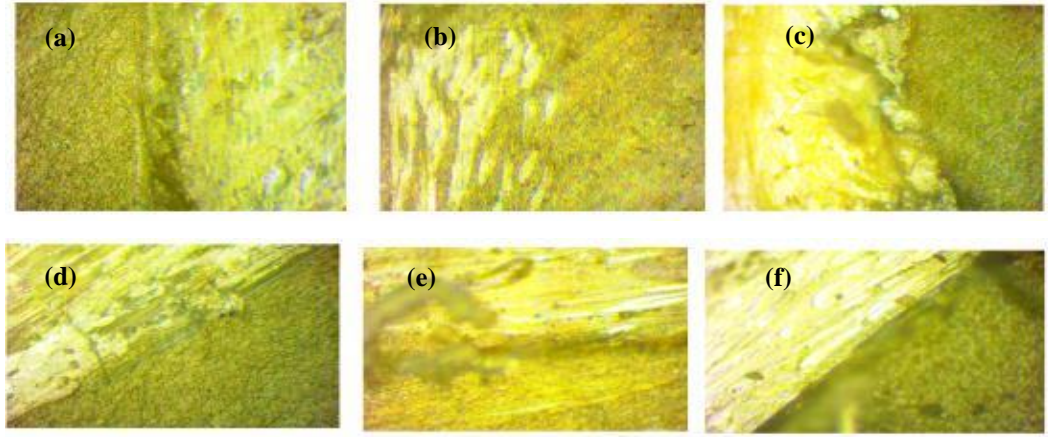
#### **4.3.3. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozitlerin mikroyapısı**

100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit numuneler üzerine farklı kuvvetler uygulanarak aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda numune yüzeylerinde aşınmalar meydana gelmiş ve numunelerin yüzey mikro yapılarında değişimler ortaya çıkmıştır.

Bu değişimleri tespit edebilmek amacıyla her bir numunenin 10N, 20N ve 30N kuvvet etkisinde deneyler tamamlandıktan sonra mikroyapılarını gösteren resimler mikroskop yardımıyla alınmıştır.

Şekil 4.12.'de 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait; 10N, 20N ve 30N kuvvet uygulanması durumunda, aşınma deneyi sonrasında alınmış olan ve mikroyapılarını gösteren resimler verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere uygulanan yük arttıkça aşınma şekillerinde değişiklikler meydana gelmiştir.

Toprak altında kalma süresinin artması ile mikroyapıda görülen değişiklikler daha belirgindir. Yük arttıkça aşınma miktarlarının da arttığı gözlenmiş olup aşınma neticesinde gelişen matris elyaf ayrılmaları da açıkça görülebilmektedir.



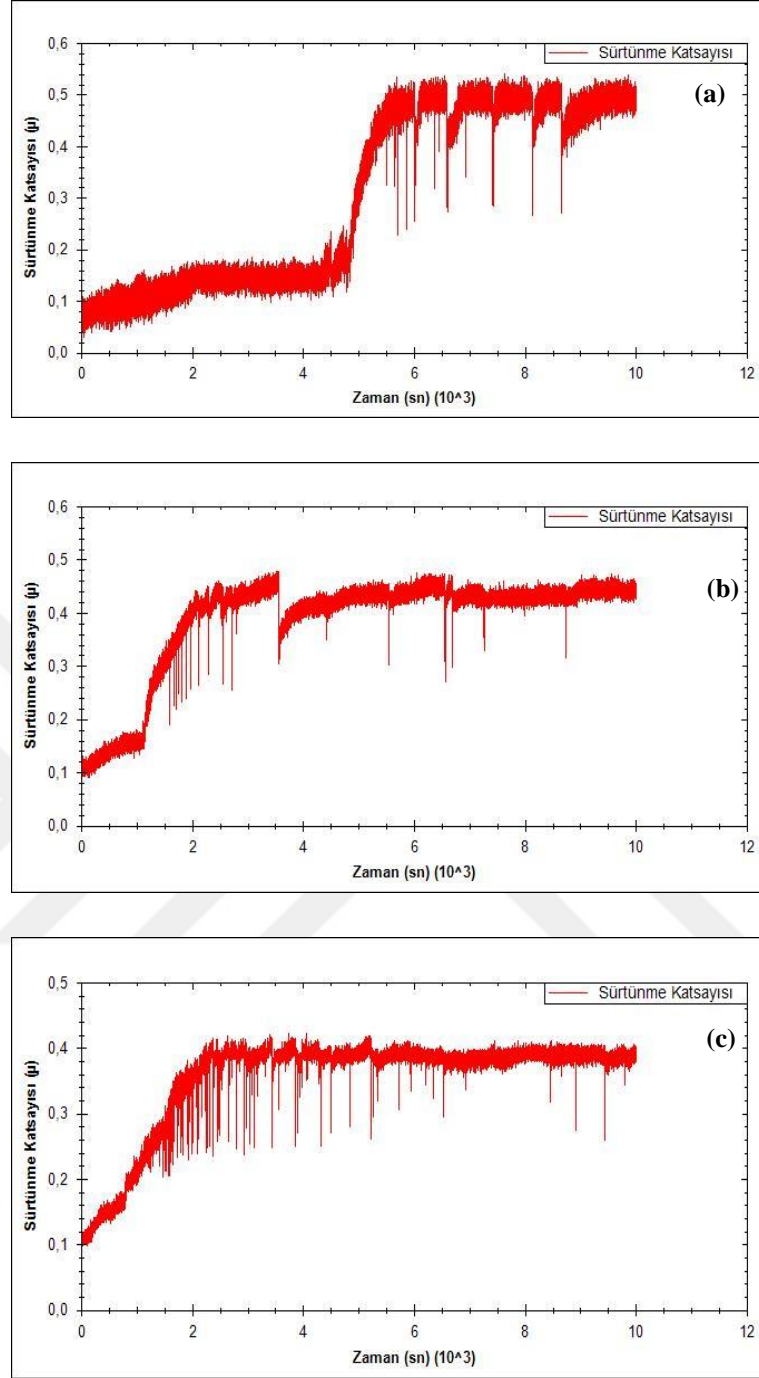
Şekil 4.12. 100 ve 200 gün süre ile toprağa maruz bırakılan aramid elyafli kompozitlerin mikroyapısı; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N

#### 4.3.4. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisindeki aşınma davranışları

Her bir çevre şartına maruz kalmış 3 adet numune sırası ile 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetlere maruz bırakılmış ve deney yapılarak sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarları tespit edilerek bu değerlerin uygulanan kuvvete ve çevre şartlarına göre değişimleri incelenmiştir.

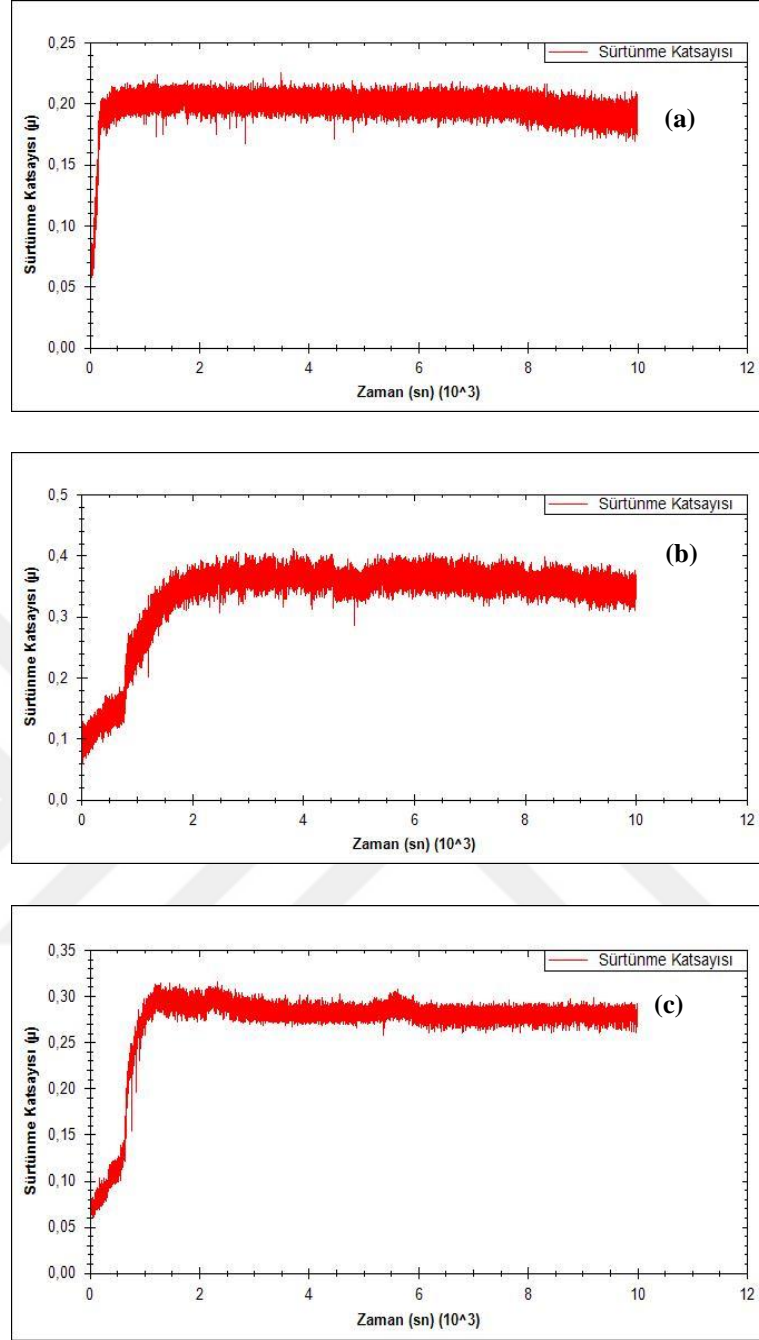
Deneyde 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit numuneler aynada tutturularak sabitlenip sırasıyla 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetler uygulanmak suretiyle, sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarları tespit edilmiş ve bu değerlerin uygulanan kuvvete göre değişimleri incelenmiştir.

Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.'de 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 100 gün süre ile toprak altındatutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayılarındaki değişim; a)10N, b)20N, c)30N

100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan ve aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 4.9’da verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere uygulanan yük arttıkça sürtünme katsayılarında da artışlar görülmüştür.



Şekil 4.14. 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit sürtünme katsayılarındaki değişim; a)10N, b)20N, c)30N

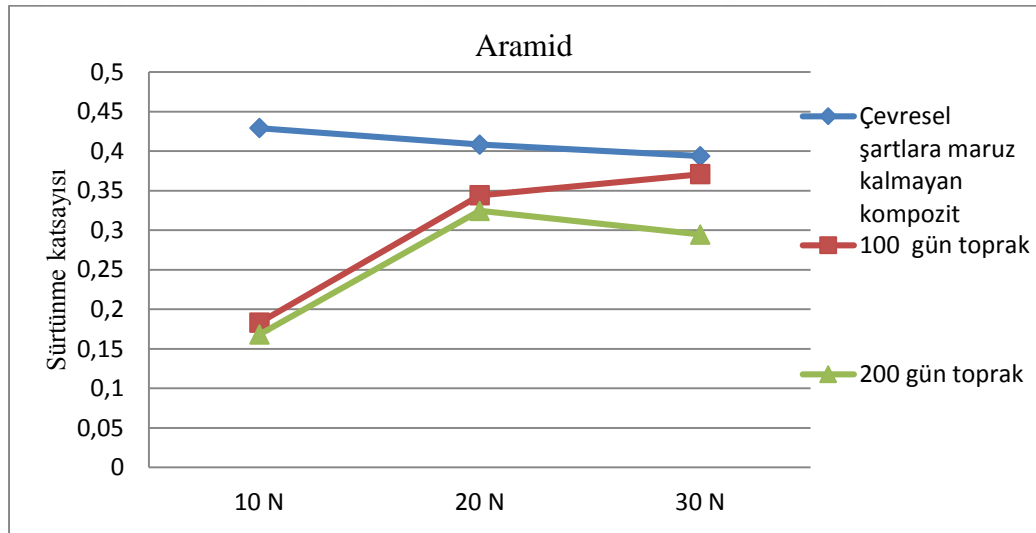
100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan ve 10N, 20, 30N'luk kuvvetler uygulanan aramid elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları Çizelge 4.10.'da verilmiştir. Uygulanan yük arttıkça, ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının da arttığı gözlenmiştir.

Çizelge 4.9. 100ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyaflı kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde sürtünme katsayısı

Ortam	Yük	Ortalama Sürtünme Katsayıları			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
100 gün Toprak	10 N	0,15	0,15	0,24	0,18
	20 N	0,34	0,30	0,38	0,34
	30 N	0,35	0,36	0,39	0,37
200 gün Toprak	10 N	0,19	0,18	0,11	0,16
	20 N	0,31	0,33	0,32	0,32
	30 N	0,28	0,33	0,27	0,30

Çizelge 4.10. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyaflı kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde aşınma miktarları

Ortam	Yük	Aşınma miktarı(%)			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
100 gün Toprak	10 N	0,083	0,063	0,086	0,077
	20 N	0,126	0,118	0,133	0,125
	30 N	0,149	0,150	0,153	0,151
200 gün Toprak	10 N	0,103	0,139	0,129	0,124
	20 N	0,168	0,154	0,149	0,157
	30 N	0,161	0,182	0,175	0,172



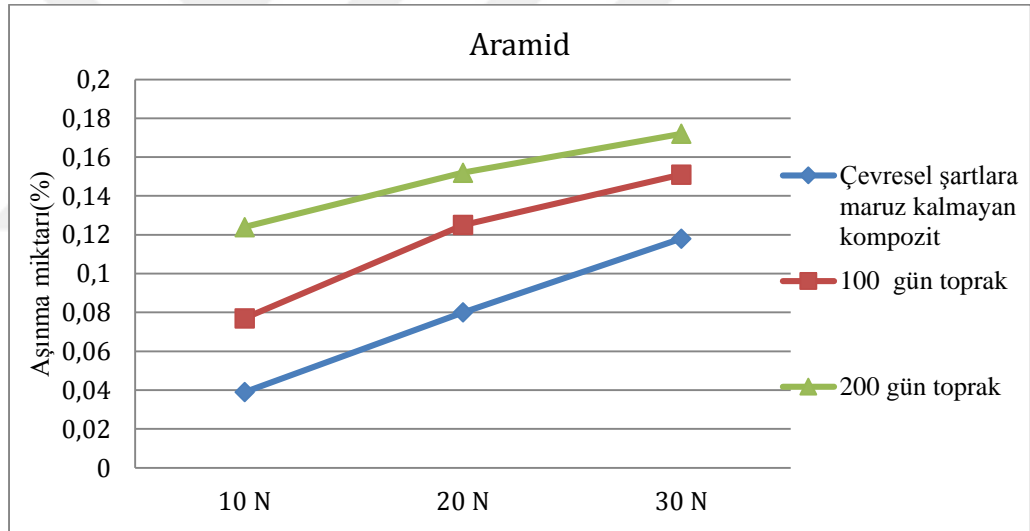
Şekil 4.15. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyaflı kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları

Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyaflı kompozit numunelere değişik kuvvet uygulanması durumunda elde edilen ortalama sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının

yüke ve çevresel şarta maruziyet süresine bağlı olarak değişimleri, Şekil 4.15. ve 4.16.'da verilmiştir.

Şekilden görüleceği gibi 100 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yük miktarı arttıkça arttığı görülmüştür.

Buna karşın 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yük miktarı arttıkça önce arttığı sonra azaldığı görülmüştür. Aynı yükün uygulanması durumunda çevre şartlarına maruziyet süresi arttıkça bütün yükleme durumlarında sürtünme katsayısında düşüş görülmektedir.



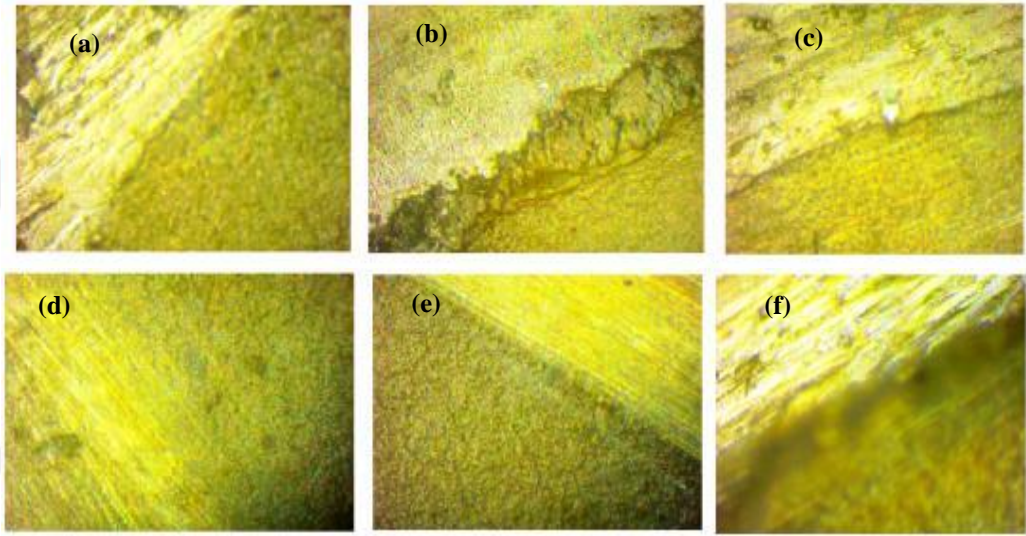
Şekil 4.16. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları

Şekilden görüleceği gibi ağırlıkça yüzde aşınma miktarları uygulanan yük artarken artmıştır. Aynı yükün uygulanması durumunda çevre şartlarına maruziyet süresi arttıkça ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarında artış görülmektedir. Deneylerden elde edilen ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının yükün aşınmaya olan etkilerini daha açık olarak ortaya koymaktadır.



#### 4.3.5. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozitlerin mikroyapısı

Şekil 4.17.'de 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait; 10N, 20N ve 30N kuvvet uygulanması durumunda, aşınma deneyi sonrasında alınmış olan ve mikroyapılarını gösteren resimler verilmiştir. Toprak altında kalma süresinin artması ile mikroyapıda görülen değişiklikler daha açık görülmektedir.

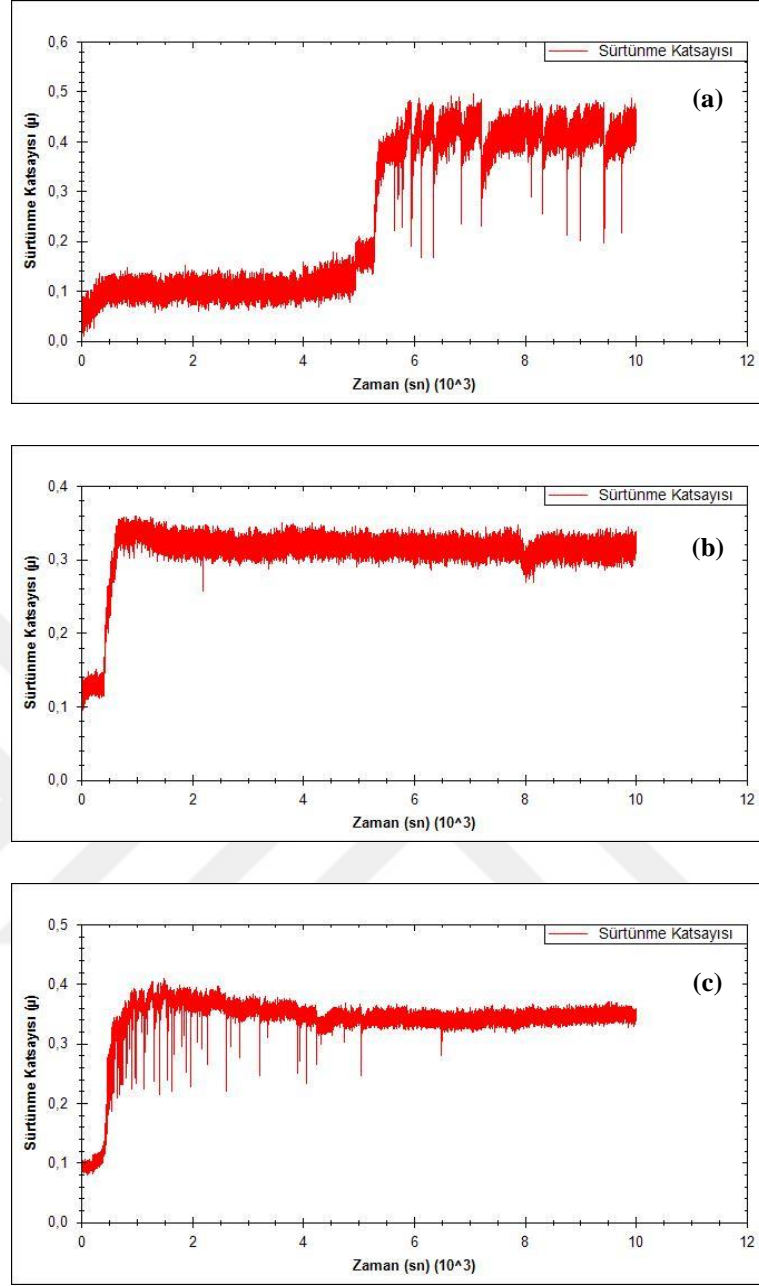


Şekil 4.17. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozitlerin aşınma sonrası mikroyapısı; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N

#### 4.3.6. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisindeki aşınma deneyi

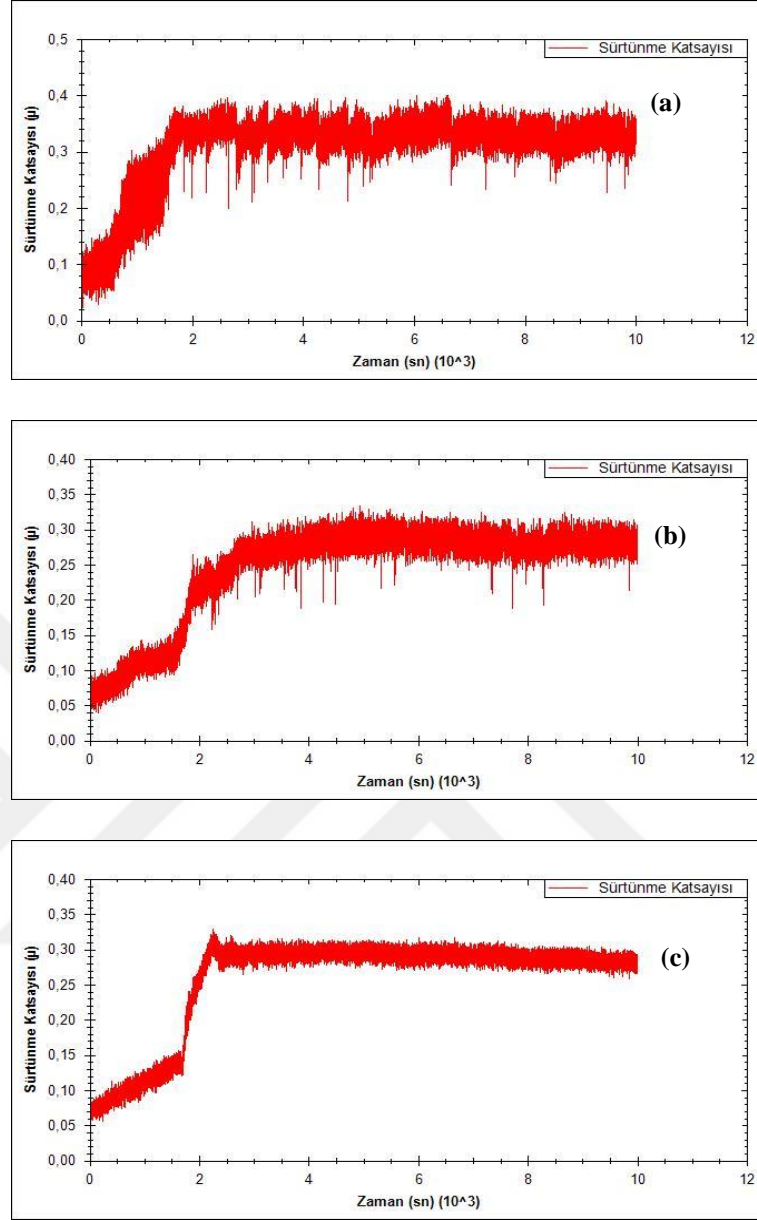
Deneyde 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit numuneler aynada tutturularak sabitlenip sırasıyla 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetler uygulanmak suretiyle, sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarları tespit edilmiş ve bu katsayıların uygulan kuvvete göre değişimleri incelenmiştir.

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19.'da 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10N, 20N ve 30N kuvvet etkisindeki sürtünme katsayıları gösterilmiştir.



Şekil 4.18. 100 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayılarındaki değişim; a)10N, b)20N,c)30N

100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan ve 10N, 20, 30N'luk kuvvetler uygulanan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 4.11.'de verilmiştir. 100 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yük miktarı arttıkça arttığı görülmüştür. Buna karşın, 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yük miktarı arttıkça önce azaldığı sonra arttığı görülmüştür.



Şekil 4.19. 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayılarındaki değişim; a)10N, b)20N,c)30N

Çizelge 4.11. 100ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde sürtünme katsayısı

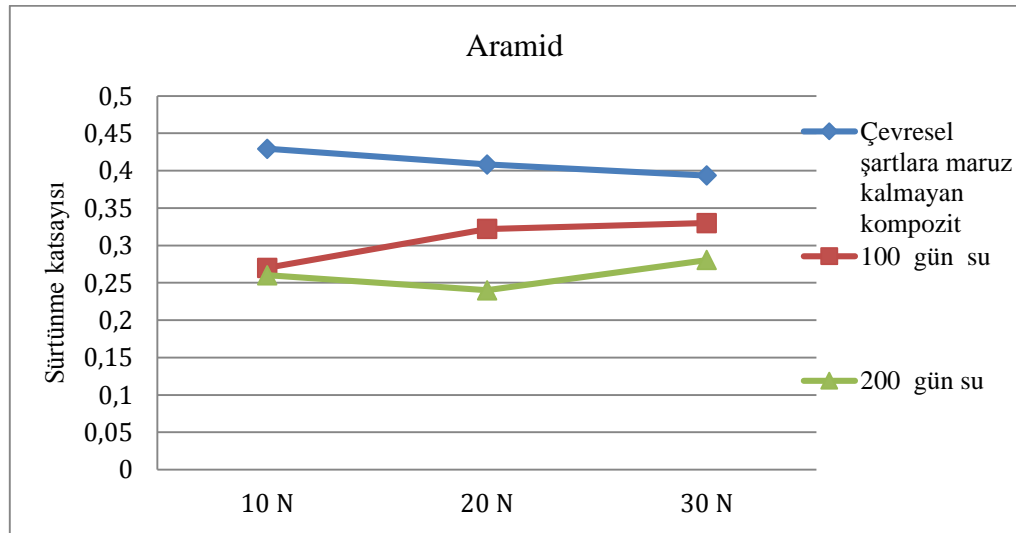
Ortam	Yük	Ortalama Sürtünme Katsayıları			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
100 gün su	10 N	0,24	0,30	0,26	0,27
	20 N	0,34	0,31	0,30	0,32
	30 N	0,33	0,33	0,34	0,33
200 gün su	10 N	0,30	0,35	0,13	0,26
	20 N	0,25	0,24	0,24	0,24
	30 N	0,31	0,27	0,25	0,28

100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan ve farklı kuvvetler uygulanan aramid elyaflı kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları Çizelge 4.12.'de verilmiştir. Uygulanan yük arttıkça ağırlıkça yüzde aşınma miktarları da artmıştır.

Çizelge 4.12. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyaflı kompozit malzemelerin 10 N,20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde aşınma miktarları

Ortam	Yük	Aşınma miktarı			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
100 gün su	10 N	0,106	0,082	0,086	0,091
	20 N	0,162	0,136	0,167	0,155
	30 N	0,22	0,185	0,184	0,196
200 gün su	10 N	0,147	0,124	0,139	0,137
	20 N	0,182	0,143	0,163	0,162
	30 N	0,194	0,203	0,206	0,201

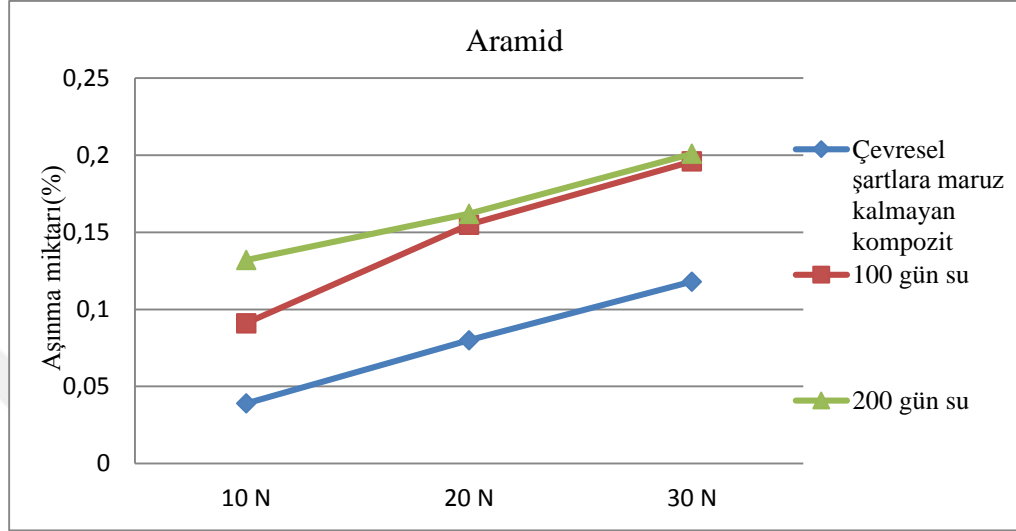
Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyaflı kompozit numunelere değişik kuvvet uygulanması durumunda elde edilen ortalama sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının yüke ve çevresel şarta maruziyet süresine bağlı olarak değişimleri, Şekil 4.20 ve 4.21.'de verilmiştir.



Şekil 4.20. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyaflı kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları

Şekilden görüleceği gibi 100 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyaflı kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yük miktarı

arttıkça, arttıkları; buna karşın 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait sürtünme katsayılarının önce azaldığı sonra arttığı görülmüştür. Aynı yükün uygulanması durumunda çevre şartlarına maruziyet süresi arttıkça sürtünme katsayısında düşüş görülmektedir.

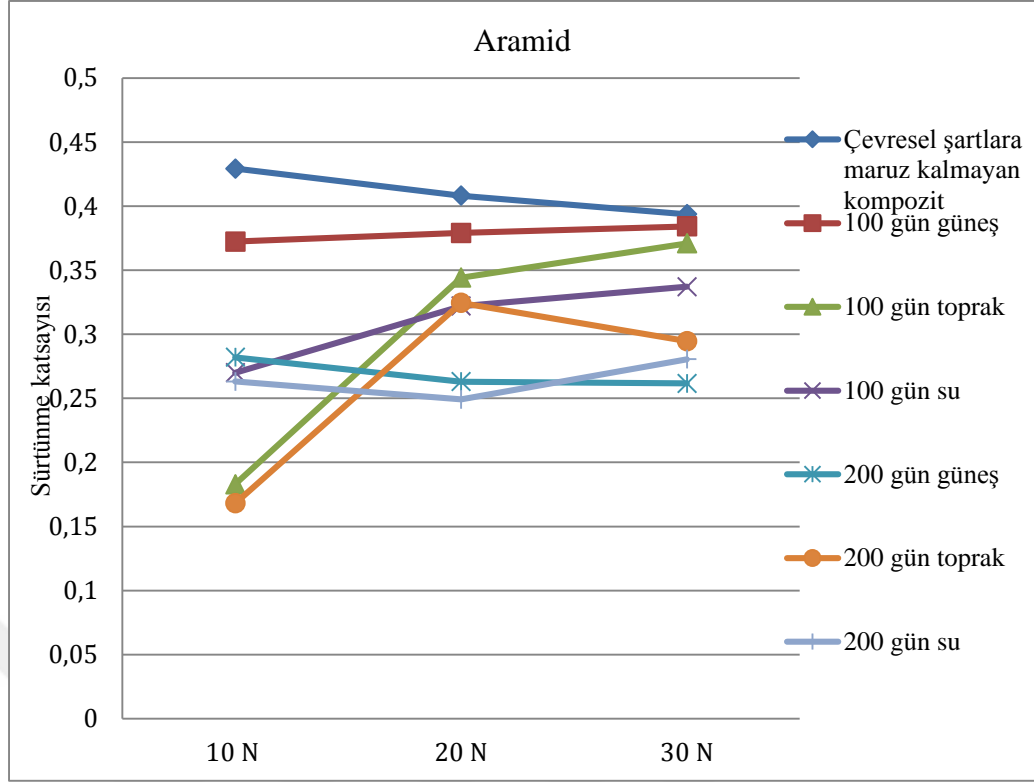


Şekil 4.21. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları.

Şekilden görüleceği gibi ağırlıkça yüzde aşınma miktarları uygulanan yük artarken artmıştır. Aynı yükün uygulanması durumunda çevre şartlarına maruziyet süresi arttıkça ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarında artış görülmektedir.

Çevresel koşullar etkisindeki aramid elyafli kompozit numunelere ait elde edilen tüm sonuçlar birleştirildiği takdirde, uygulanan yükün, çevre faktörünün ve bu etkilere maruziyet sürelerinin sürtünme katsayılarına ve aşınma miktarlarına olan etkileri daha açık görülebilecek olup çevresel koşullara maruz kompozitlerin aşınma davranışları hususunda önemli bilgiler elde edilecektir.

Çevresel şartlara maruz kalmayan (ilk hal), 100 ve 200 gün süre ile güneşe, toprağa ve suya maruz kalması durumunda aramid elyafli kompozit numunelere değişik kuvvet uygulanması durumunda elde edilen ortalama sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının değişimleri, Şekil 4.22. ve 4.23.'te verilmiştir.

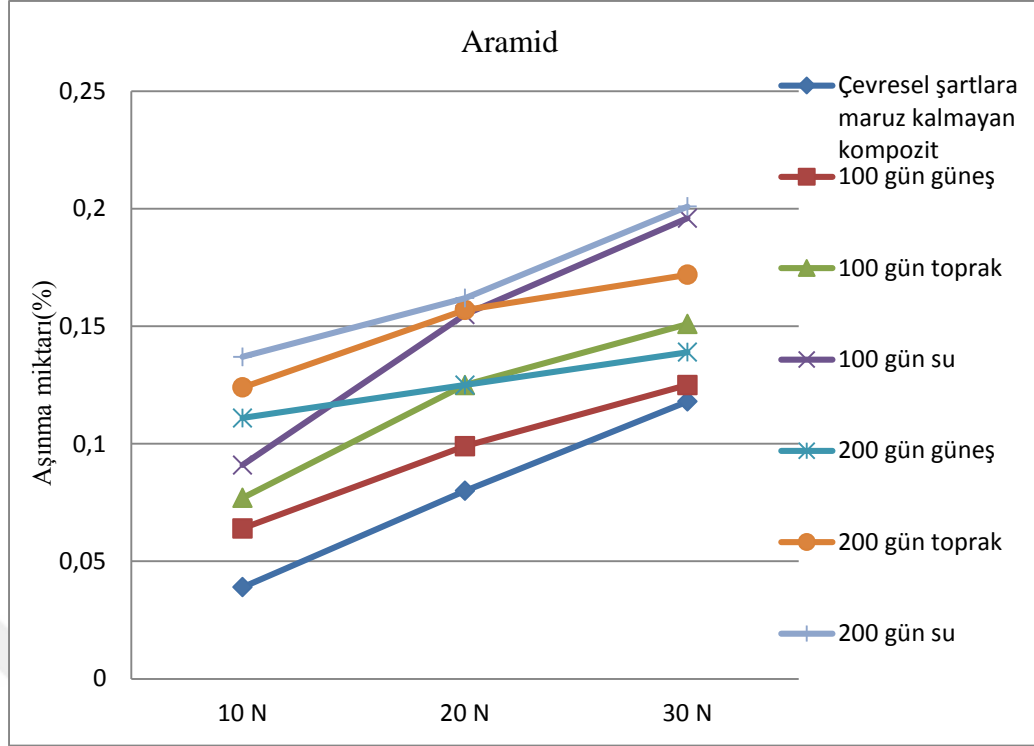


Şekil 4.22. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün güneş, toprak ve suya maruz kalan aramid elyaflı kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları.

Şekilden de görüleceği üzere ilk hal hariç çevresel şartlara 100 gün süreyle bırakılan kompozit numunelerde sürtünme katsayıları artan yük miktarıyla artmıştır. Bunun tabii sonucu olarak aşınma miktarları da artmıştır. 200 gün güneş ortamı için uygulanan yük artışı ile sürtünme katsayısında düşüş meydana gelmiştir.

200 gün süreyle toprak altında tutulan kompozit numunelerde sürtünme katsayıları önce artmış sonra düşerken su içerisinde 200 gün bekletilen numuneler için bu durumun tersi ortaya çıkmıştır.

Sürtünme katsayısındaki düşüşün nedeni başlangıçta pürüzlü olan aşındırıcı yüzeyin deney sürecinde daha pürüzsüz hale gelmesidir. Sürtünme katsayısındaki düşüş, deney sırasında sıcaklığın artması ile malzeme sertliğinin düşmesine bağlı olarak ta açıklanabilir.



Şekil 4.23. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün güneş, toprak ve suya maruz kalan aramid elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları

İlk haldeki numunelerde yük artımı ile meydana gelen aşınma miktarı artmakta olup bu durum bütün çevre şartlarına maruz numuneler için de geçerlidir. 10N yük altında aşınma miktarlarının, en düşükten yükseğe doğru; ilk hal, 100 gün güneşe, 100 gün toprağa, 100 gün suya, 200 gün güneşe, 200 gün toprağa ve 200 gün suya maruz numunelerde meydana geldiği görülmektedir. 20N yük altında aşınma miktarları, en düşükten yükseğe doğru; ilk hal, 100 gün güneşe, 100 gün toprağa, 200 gün güneşe, 100 gün suya, 200 gün toprağa ve 200 gün suya maruz numunelerde meydana gelmiştir. Son olarak; 30N yük altında aşınma miktarlarının, en düşükten yükseğe doğru; ilk hal, 100 gün güneşe, 200 gün güneşe, 100 gün toprağa, 200 gün toprağa, 100 gün suya ve 200 gün suya maruz numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit numunelerde zamana bağlı en büyük aşınma miktarının oluşacağı sonucu elde edilmiştir. Şekilden çevresel şartların aramid elyafli kompozit malzemelerin aşınma davranışları hakkında önemli bilgiler alınabilir. Bu tez çalışmasında çalışılan çevre şartları göz önüne alındığında en fazla su içerisinde bektilen numunelerde en fazla aşınma meydana geldiği görülmüştür.

Uygulanan yük artışı ve maruziyet süresi göz önüne alındığında sırasıyla en küçükten büyüğe doğru aşınma miktarları; güneşte, toprak altında ve su içerisinde bekletilen numunelerde ortaya çıkmıştır. Su içerisindeki aramid elyafli kompozitlerde aşınma çok olacağından, bu ortamda çalışması gereken malzemelerde aşınmaya karşı korunma tedbirleri alınması gerekmektedir.

Aramid yapısı itibarı ile nem almaya müsattir. O yüzden toprak ve su içerisinde tutulan bütün numunelerde nem miktarındaki artış neticesinde sürtünme katsayısı düşüş göstermiştir.

Aşınma miktarının arttığı görülmekle birlikte aşınma miktarında nem de bulunduğu gözden çıkarılmamalıdır. Deney öncesinde numune içerisinde nem bulunurken deney sonunda ısınma neticesinde nem buharlaşacaktır. Buna bağlı olarak ta ağırlıkça yüzde aşınma miktarı gerçek değerinden büyük olarak elde edilmiştir.

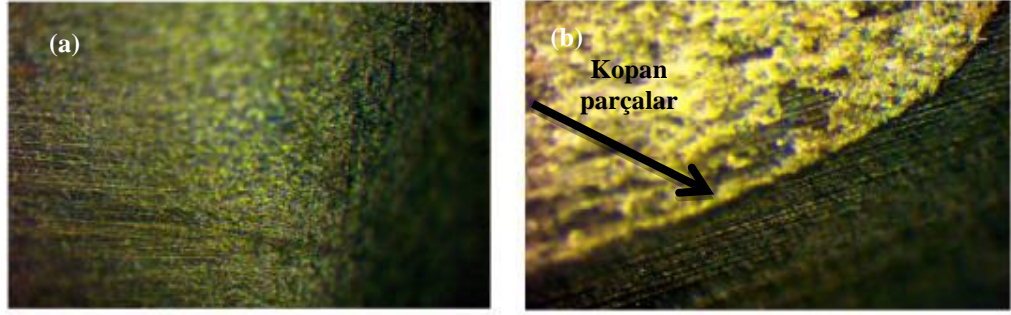
#### 4.4. Karbon Elyaf Kompozitin Mikroyapısı

Aramid elyafli kompozitler numunelerde gerçekleştirenden deneylerde tekrarlanmış olup değişik yük durumunda karbon elyafli kompozit aşınma deneyleri yapılmıştır.

Deneyler sonucunda numune yüzeylerinde aşınmalar meydana gelmiş ve numunelerin yüzey mikro yapılarında değişimler ortaya çıkmıştır. Bu değişimleri tespit edebilmek amacıyla her bir numunenin deneyden önce ve sonra olmak üzere mikroyapılarını gösteren resimler mikroskop yardımıyla alınmıştır.

Şekil 4.24.'te ilk numunelere ait aşınma deneyi öncesi ve sonrasında alınmış olan iki resim görülmektedir. Şekilden görüleceği üzere deney sonrası numune yüzeylerindeki aşınma açık renkli alanda olup bu bölgede dislokasyonlar neticesinde gelişen matris elyaf ayrılmaları açıkça görülmektedir.





Şekil 4.24. Karbon elyaf kompozitin mikroyapısı; a) kompozit numunenin mikroyapısı, b) kuvvet etkisindeki kompozit numunenin mikroyapısı

#### 4.5. Karbon Elyaflı Kompozitlerin Aşınma Deneyleri

Karbon elyaflı kompozit malzemenin aşınma testi için ball-on-disc yöntemi kullanılmıştır. Karbon elyaflı kompoziti aşındıracak olan karşı eleman olarak 10 mm çapında kalem ucu kullanılmıştır.

İlk aşınma deneyleri; üretilen kompozit numuneler çevresel etkilere maruz bırakılmadan önce sırasıyla 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetler uygulanarak 0.2 m/s kayma hızında, 2000 m kayma mesafesinde, oda sıcaklığında ve kuru sürtünme şartlarında yapılmıştır. Her kuvvet için üç ayrı deney yapılmıştır.

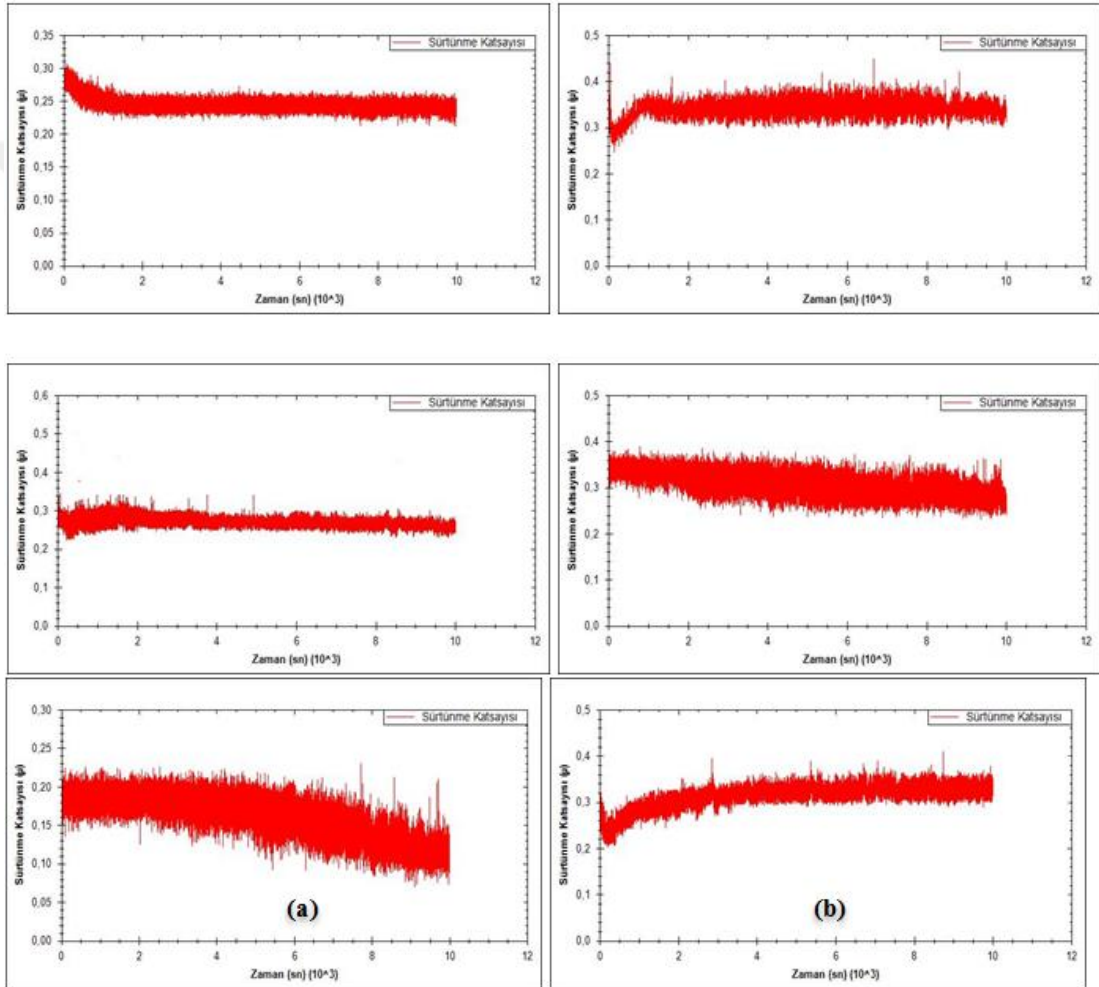
Deneylerden sonra elde edilen sonuçların ortalaması alınarak sürtünme katsayıları ve yüzde olarak (%) ağırlıkça aşınma miktarları tespit edilmiştir.

##### 5.5.1. Çevresel etkilere maruz kalmadan önce karbon elyaflı kompozit numunelerin 10N, 20N ve 30N kuvvet etkisinde aşınma deneyleri

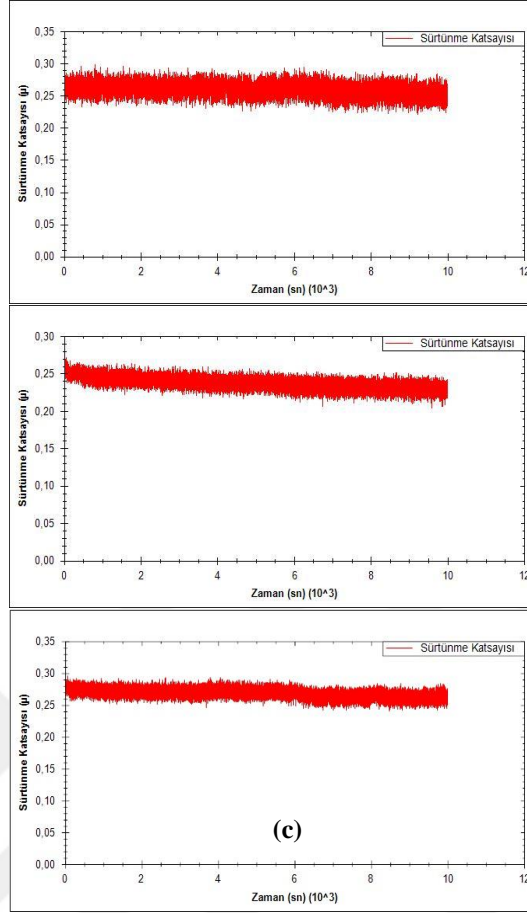
Çevresel etkilere maruz kalmadan önce karbon elyaflı kompozit numunelerin 10N, 20N ve 30N kuvvet etkisinde aşınma deneyleri yapılmıştır (Şekil 4.25.).

Buradaki grafiklerde, deneylerin aynı şartlar altında yapılmış olmasına rağmen bazı küçük değişiklikler görülmektedir bunun nedeni önceden de belirtildiği gibi numunelerin plaka üzerindeki farklı bölgelerden rasgele alındığından mikroyapının değişik olmasıdır.

Her bir grafikten elde edilen sürtünme katsayıları ve ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 4.13.'te verilmiştir



Şekil 4.25. Karbon kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin farklı kuvvet uygulandığında elde edilen sürtünme katsayısı-zaman grafikleri; a)10N, b)20N, c)30N.



Şekil 4.25.(devam)

Çizelge 4.13. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 10 N, 20 ve 30 N kuvvet uygulandığında elde edilen sürtünme katsayıları

Ortam	Yük	Ortalama Sürtünme Katsayıları			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
Çevresel şartlara maruz kalmayan kompozit numuneler	10N	0,27	0,16	0,24	0,22
	20N	0,31	0,33	0,30	0,32
	30N	0,26	0,24	0,27	0,26

10N, 20N ve 30N kuvvet etkisinde olan karbon elyafli kompozit numuneler ile her bir yük durumu için üç ayrı deney yapılmıştır. Deneylerden önce ve sonra olmak üzere her bir numunenin ağırlığı ölçülmüştür.

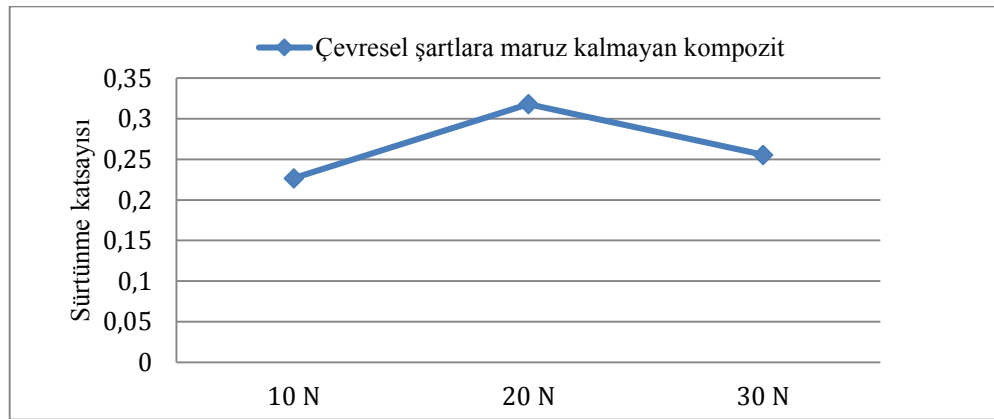
Elde edilen sonuçların ortalaması alınarak yüzde olarak ağırlıkça aşınma miktarları bulunmuştur (Çizelge 4.14.). Üç numuneye ait yüzde aşınma miktarlarının ortalaması alınarak ağırlıkça yüzde aşınma miktarı bulunmuştur.

Çizelge 4.14. Kompozit plakanın farklı yerlerinden alınan üç numunenin 10N,20N,30N kuvvet uygulandığında elde edilen aşınma miktarları

Ortam	Yük	Numune	Aşınma miktarı			
			İlk ağırlık (mg)	Son ağırlık (mg)	Aşınma miktarı (mg)	Aşınma miktarı %
Çevresel şartlara maruz kalmayan kompozit numuneler	10N	1.Numune	5,30272	5,29908	364*10 <sup>-5</sup>	0,068
	10N	2.Numune	5,43329	5,42950	379*10 <sup>-5</sup>	0,069
	10N	3.Numune	5,19600	5,19217	393*10 <sup>-5</sup>	0,070
	<b>10N</b>	<b>Ortalama</b>	<b>5,31067</b>	<b>5,26208</b>	<b>378*10<sup>-5</sup></b>	<b>0,069</b>
	20N	1.Numune	5,15903	5,15497	406*10 <sup>-5</sup>	0,079
	20N	2.Numune	5,20518	5,20102	416*10 <sup>-5</sup>	0,079
	20N	3.Numune	5,20740	5,20342	398*10 <sup>-5</sup>	0,076
	<b>20N</b>	<b>Ortalama</b>	<b>5,19053</b>	<b>5,18647</b>	<b>407*10<sup>-5</sup></b>	<b>0,078</b>
	30N	1.Numune	5,16305	5,15849	456*10 <sup>-5</sup>	0,090
	30N	2.Numune	5,15657	5,15189	468*10 <sup>-5</sup>	0,091
	30N	3.Numune	5,15518	5,15047	471*10 <sup>-5</sup>	0,092
	<b>30N</b>	<b>Ortalama</b>	<b>5,58266</b>	<b>5,15361</b>	<b>465*10<sup>-5</sup></b>	<b>0,091</b>

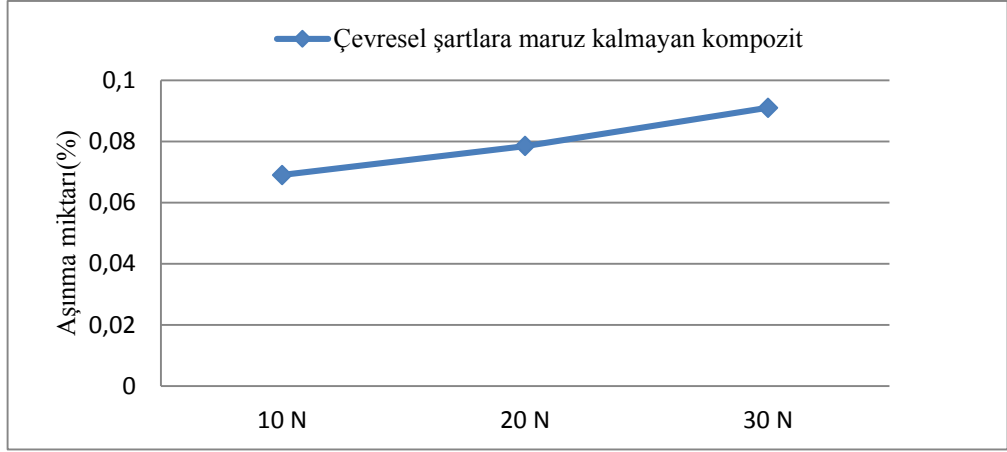
Herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan karbon elyafli kompozit numuneler farklı uygulanmak suretiyle üç ayrı aşınma deneyleri tamamlanmıştır.

Üç yükleme durumunda elde edilen ortalama sürtünme katsayılarının ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının yüke bağlı değişimi Şekil 4.26. ve 4.27.'de verilmiştir.



Şekil 4.26. Herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yüke bağlı değişimi

Şekil 4.26 incelendiğinde herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yük miktarı arttıkça ilkönce arttığı sonra düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.27. Herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan karbon elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının uygulanan yüke bağlı değişimi

Şekil 4.27. incelendiğinde herhangi bir çevre koşuluna maruz kalmamış olan karbon elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının uygulanan yük miktarı arttıkça attığı görülmüştür. Bu değişimin lineere yakın olduğu görülmektedir.

Şekil 4.26. ve 4.27. beraberce değerlendirildiğinde artan yük ile sürtünme katsayısında önce artış sonradan düşüşün meydana geldiği ayrıca ağırlıkça yüzde aşınma miktarında ise artma meydana geldiği tespit edilmiştir. Yük miktarı arttıkça aşınmanın artması beklendiğinden deneylerden elde edilen ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının yükün aşınmaya olan etkilerini daha açık olarak ortaya koyduğu görülmüştür.

#### 5.5.2. Çevresel şartlara maruz kalan karbon elyafli kompozitlerin aşınma davranışı

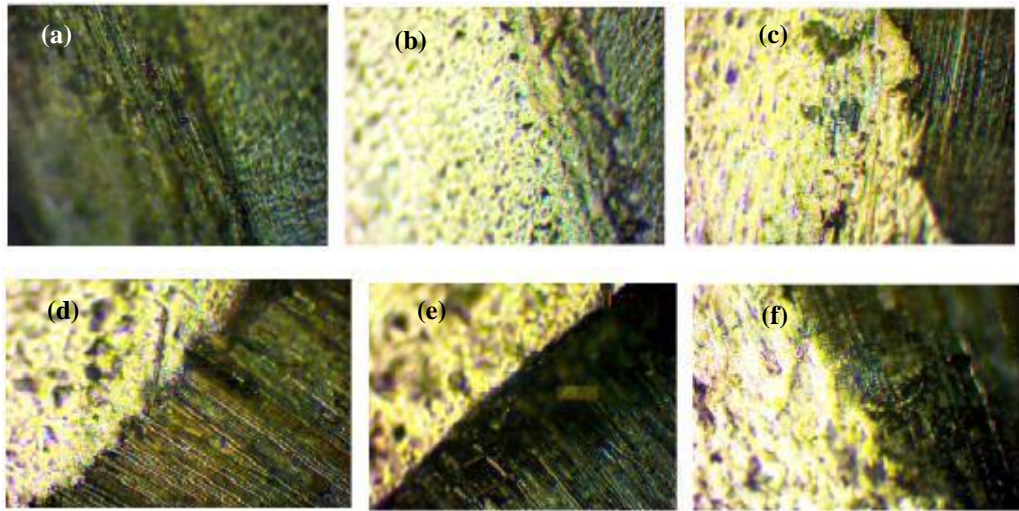
Çevresel etkilere maruz kalan 9 adet karbon elyaf kompozit numunesi üzerinde sırası ile 10N, 20N, 30N'luk kuvvetler uygulanarak sürtünme katsayısı, aşınma miktarları ve bunların uygulanan kuvvet ile değişimi belirlenmiştir. Çevresel etkiler sırası ile toprak altı, su altı ve güneş etkisinde geçirilen 100 ve 200 günlük sürelerdir.

Her bir çevre şartına maruz kalmış 3 adet numune sırası ile 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetlere maruz bırakılmış ve deney yapılarak sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarları tespit edilerek bu değerlerin uygulanan kuvvete ve çevre şartlarına göre değişimleri incelenmiştir.

### 5.5.3. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozitlerin mikroyapısı

100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozit numunelere 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetler uygulanarak aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda numune yüzeylerinde aşınmalar meydana gelmiş ve numunelerin yüzey mikro yapılarında değişimler ortaya çıkmıştır. Bu değişimleri tespit edebilmek amacıyla her bir numunenin deneyler tamamlandıktan sonra mikroyapılarını gösteren resimler mikroskop yardımıyla alınmıştır.

Şekil 4.28.'de 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozit numunelere ait; 10N, 20N ve 30N kuvvet uygulanması durumunda, aşınma deneyi sonrasında alınmış olan ve mikroyapılarını gösteren resimler verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere uygulanan yük arttıkça aşınma şekillerinde değişiklikler meydana gelmiştir. Yük arttıkça aşınma miktarlarının da arttığı gözlenmiş olup aşınma neticesinde gelişen matris elyaf ayrılmaları da açıkça görülmektedir.

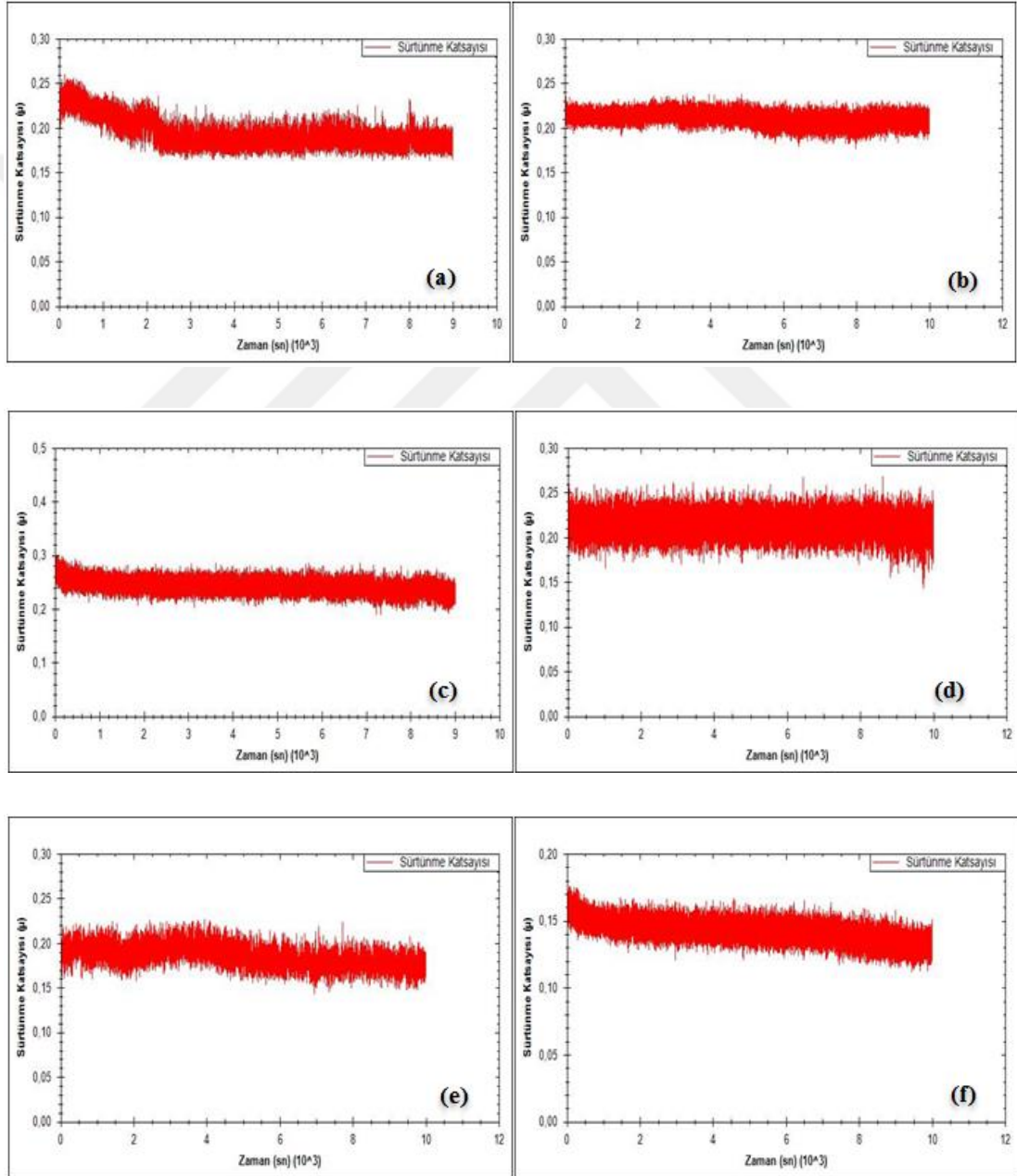


Şekil.4.28. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozitlerin mikroyapısı; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N



#### 4.5.4. 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz kalan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisinde aşınma deneyi

100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozit numunelere 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetler uygulanmak suretiyle, sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarları tespit edilmiş ve bu katsayıların uygulan kuvvete göre değişimleri incelenmiştir.



Şekil 4.29. 100 ve 200 gün süre ile güneş'e maruz kalan karbon elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N

Şekil 4.29.'da 100 ve 200 gün süre ile güneş'e maruz kalan karbon elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları gösterilmiştir. Herbir kuvvet uygulandığında üç numune üzerinde deney yapılmış olup şekilde bu üç deneyden yalnızca bir tanesine ait grafik verilmiştir.

100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan ve karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 4.15.'te verilmiştir.

Çizelge 4.15. 100 ve 200 gün süre ile güneş'e maruz kalan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde sürtünme katsayıları

Ortam	Yük	Ortalama Sürtünme Katsayıları			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
100 gün Güneş	10 N	0,25	0,21	0,19	0,22
	20 N	0,21	0,23	0,26	0,23
	30 N	0,24	0,24	0,23	0,24
200 gün Güneş	10 N	0,23	0,23	0,21	0,22
	20 N	0,19	0,15	0,23	0,19
	30 N	0,14	0,12	0,18	0,15

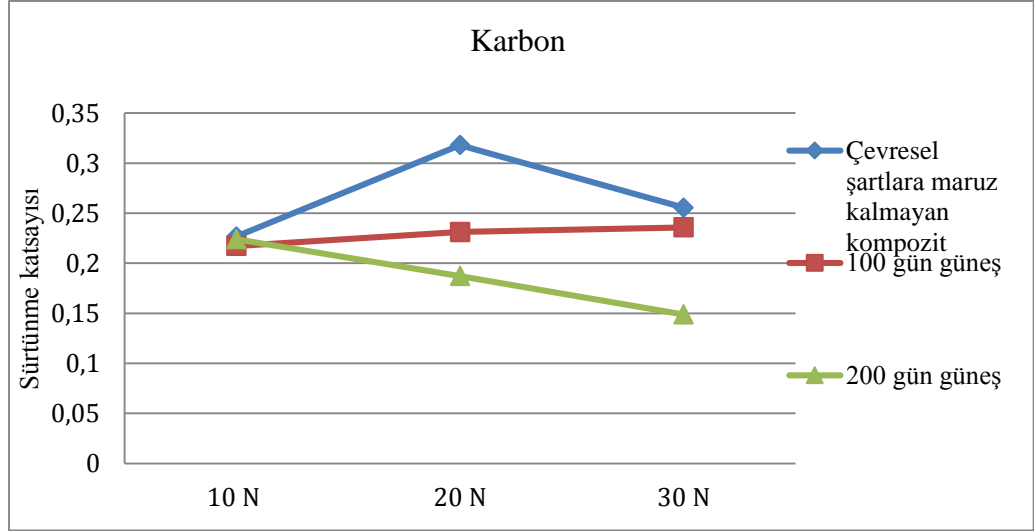
100 gün süre ile güneşe maruz bırakılan ve farklı kuvvetler uygulanan karbon elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları Çizelge 4.16.'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. 100 ve 200 gün süre ile güneş'e maruz kalan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde aşınma miktarları

Ortam	Yük	Aşınma miktarı( %)			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
100 gün Güneş	10 N	0,069	0,071	0,076	0,072
	20 N	0,097	0,096	0,103	0,098
	30 N	0,113	0,115	0,118	0,115
200 gün Güneş	10 N	0,079	0,081	0,086	0,082
	20 N	0,092	0,1088	0,103	0,102
	30 N	0,117	0,119	0,117	0,118

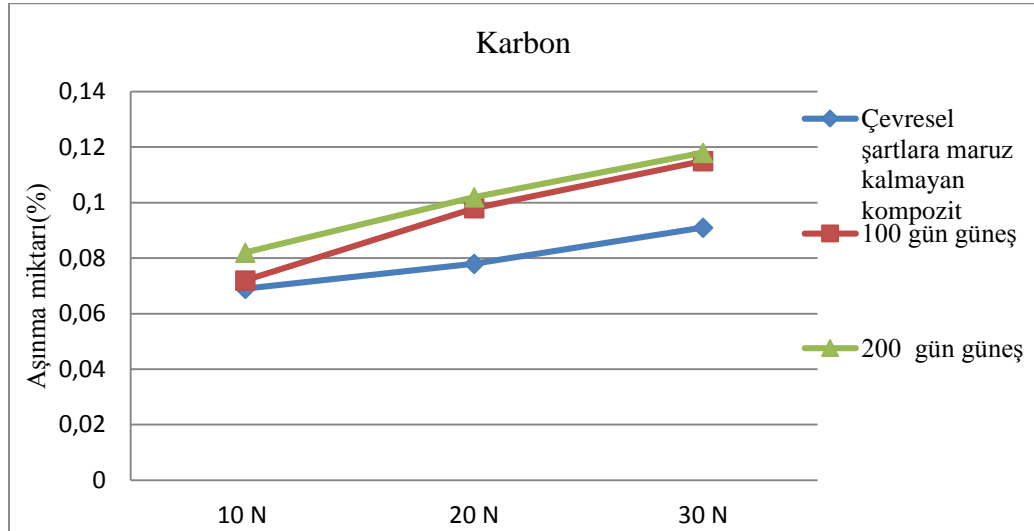
Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 gün ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozit numunelere değişik kuvvet uygulanması durumunda elde edilen ortalama sürtünme katsayılarının ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının yüke bağlı değişimi Şekil 4.30. ve 4.31.'de verilmiştir.





Şekil 4.30. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları

Şekilden görüleceği gibi 100 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yük miktarı arttıkça arttığı ancak 200 gün güneş etkisindeki numunelere ait sürtünme katsayısı sonuçlarında azalma görülmüştür. Aynı yükün uygulanması durumunda çevre şartlarına maruziyet süresi arttıkça sürtünme katsayısında düşüş görülmektedir.

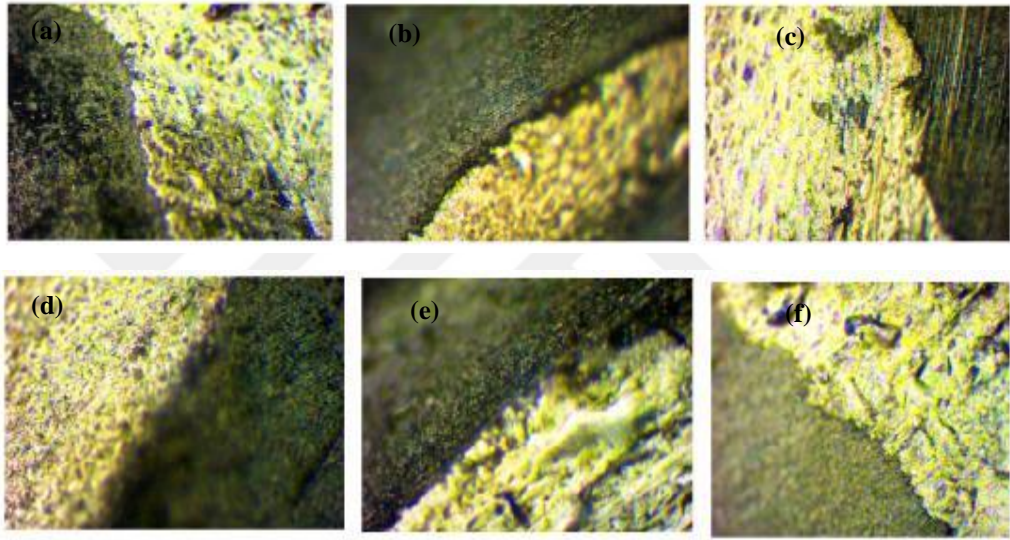


Şekil 4.31. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile güneşe maruz bırakılan karbon elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları.

Şekilden görüleceği gibi ağırlıkça yüzde aşınma miktarları uygulanan yük artarken artmıştır. Aynı yükün uygulanması durumunda çevre şartlarına maruziyet süresi arttıkça ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarında artış görülmektedir.

#### 4.5.5. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozitlerin mikroyapısı

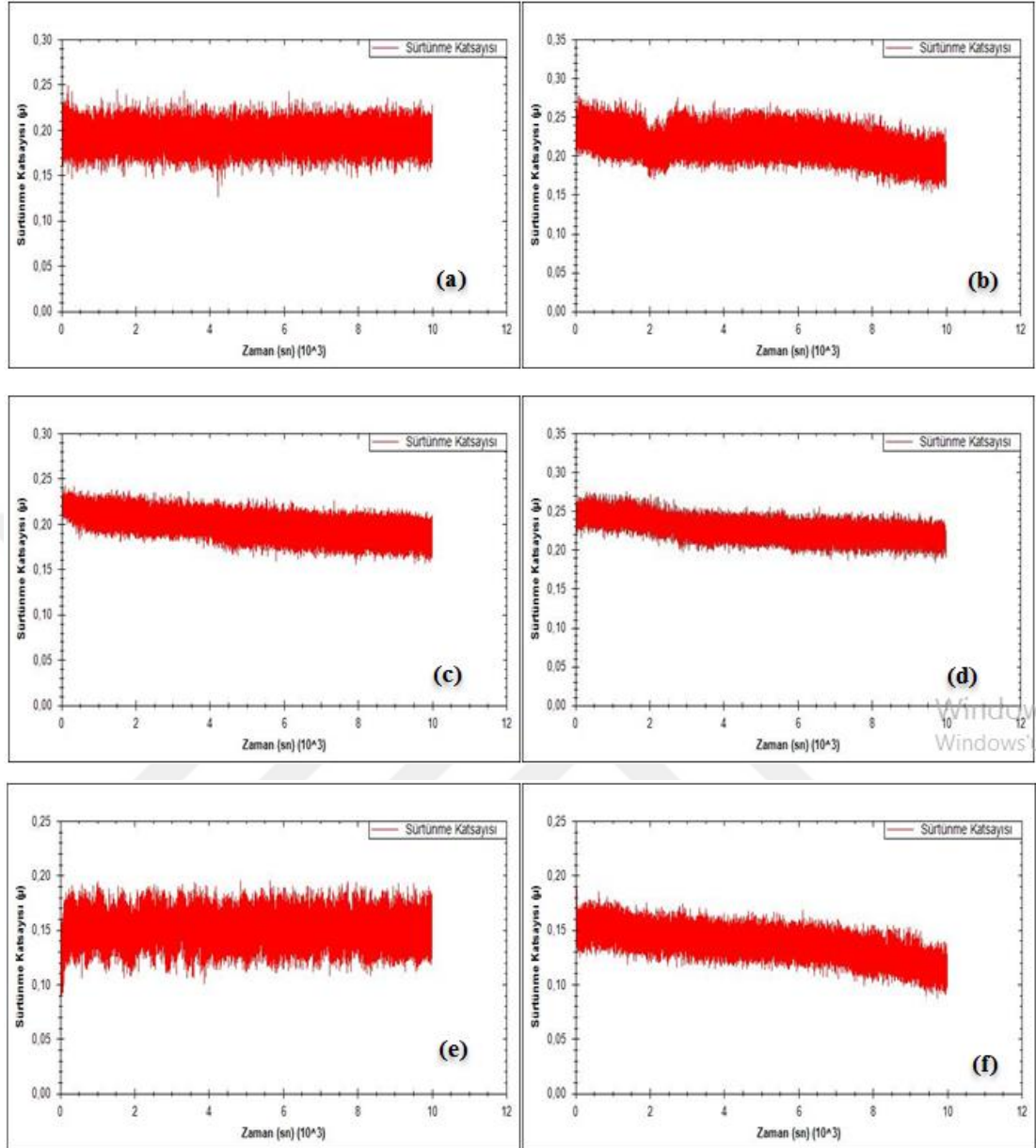
Şekil 4.32.'de 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit numunelere ait; 10N, 20N ve 30N kuvvet uygulanması durumunda, aşınma deneyi sonrasında alınmış olan ve mikroyapılarını gösteren resimler verilmiştir. Uygulanan yük arttıkça aşınma şekillerinde değişiklikler meydana gelmiştir. Toprak altında kalma süresinin artması ile mikroyapıda görülen değişiklikler daha açık görülmektedir. Yük arttıkça aşınma miktarlarının da arttığı gözlenmiştir.



Şekil.4.32.100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozitlerin mikroyapısı; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N

#### 4.5.6. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisindeki aşınma davranışları

100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit numuneleresirasıyla 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetler uygulanmak suretiyle, sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarları tespit edilmiş ve bu katsayıların uygulan kuvvete göre değişimleri incelenmiştir. Şekil 4.33.'te 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları gösterilmiştir. Herbir kuvvet uygulandığında üç numune üzerinde deney yapılmış olup şekilde bu üç deneyden yalnızca bir tanesine ait grafik verilmiştir.



Şekil 4.33. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N

100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan ve 10N, 20, 30N'luk kuvvetler uygulanan karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 4.17.'de verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere uygulanan yük arttıkça sürtünme katsayılarında önce azalma sonra artış görülmüştür.

Çizelge 4.17.100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde sürtünme katsayısı

Ortam	Yük	Ortalama Sürtünme Katsayıları			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
100 gün Toprak	10 N	0,22	0,18	0,20	0,20
	20 N	0,16	0,15	0,15	0,15
	30 N	0,14	0,18	0,20	0,17
200 gün Toprak	10 N	0,19	0,17	0,18	0,18
	20 N	0,23	0,19	0,21	0,21
	30 N	0,19	0,20	0,20	0,20

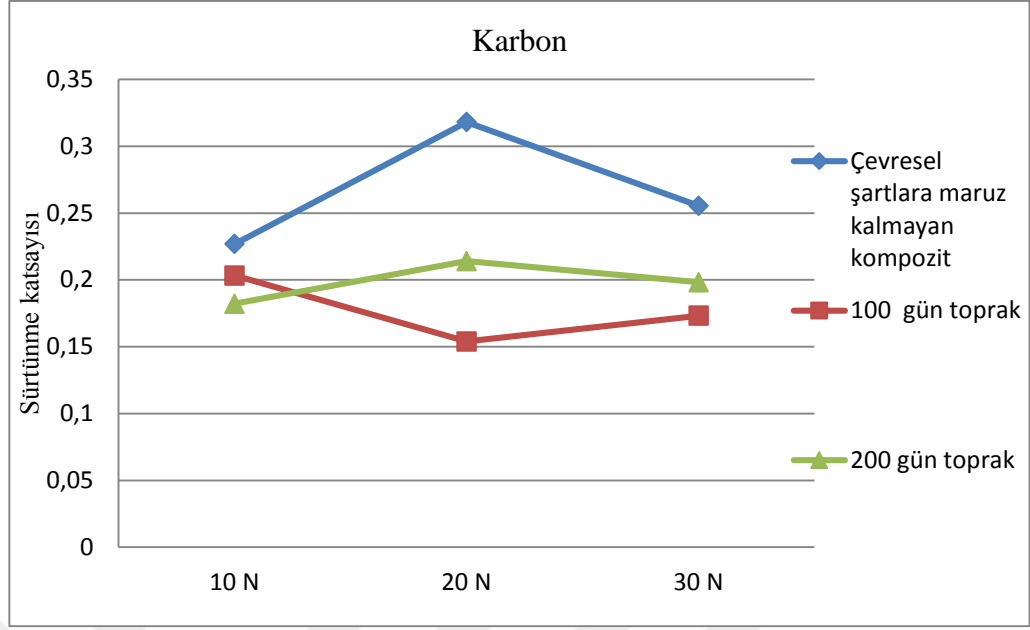
100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları Çizelge 4.18'de verilmiştir. Uygulanan yük arttıkça, ağırlıkça yüzde aşınma miktarları da arttığı gözlenmiştir.

Çizelge 4.18. 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde aşınma miktarları

Ortam	Yük	Aşınma miktarı (%)			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
100 gün Toprak	10 N	0,086	0,088	0,087	0,087
	20 N	0,102	0,104	0,098	0,101
	30 N	0,114	0,119	0,115	0,116
200 gün toprak	10 N	0,095	0,099	0,085	0,093
	20 N	0,103	0,109	0,107	0,106
	30 N	0,122	0,119	0,123	0,121

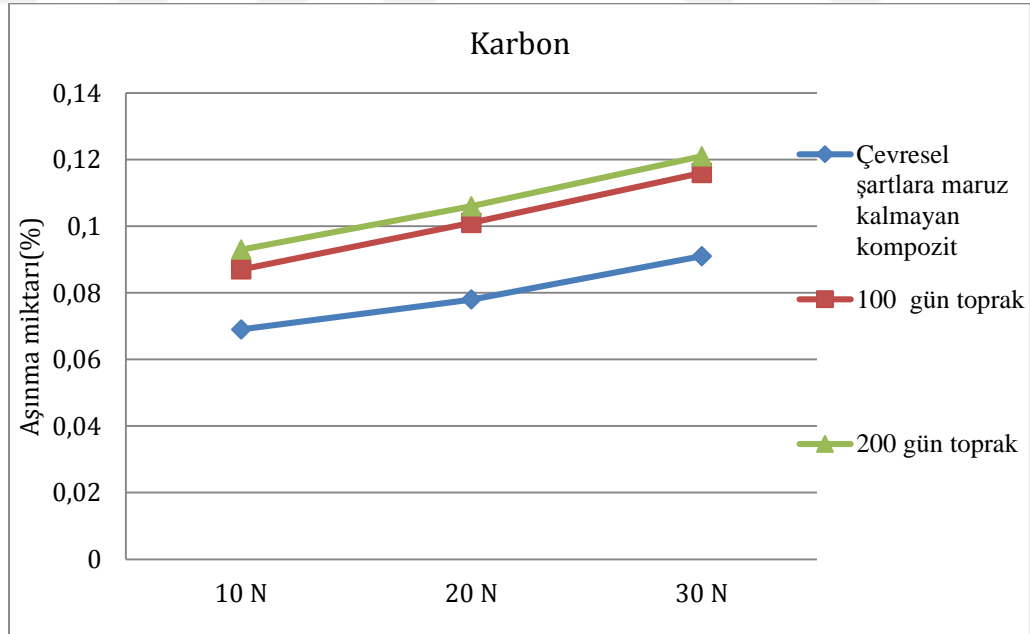
Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 gün ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit numunelere değişik kuvvet uygulanması durumunda elde edilen ortalama sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının yüke ve çevresel şarta maruziyet süresine bağlı olarak değişimleri, Şekil 4.34. ve 4.35.'te verilmiştir.

Şekilden görüleceği gibi 100 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yük miktarı arttıkça önce azaldığı sonra arttığı görülürken 200 gün süre için alınan sonuçlarda tam tersi değerler elde edilmiştir.



Şekil 4.34. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları

Aynı yükün uygulanması durumunda çevre şartlarına maruziyet süresi arttıkça sürtünme katsayısında 10N için düşüş, 20N ve 30N için artış görülmektedir.

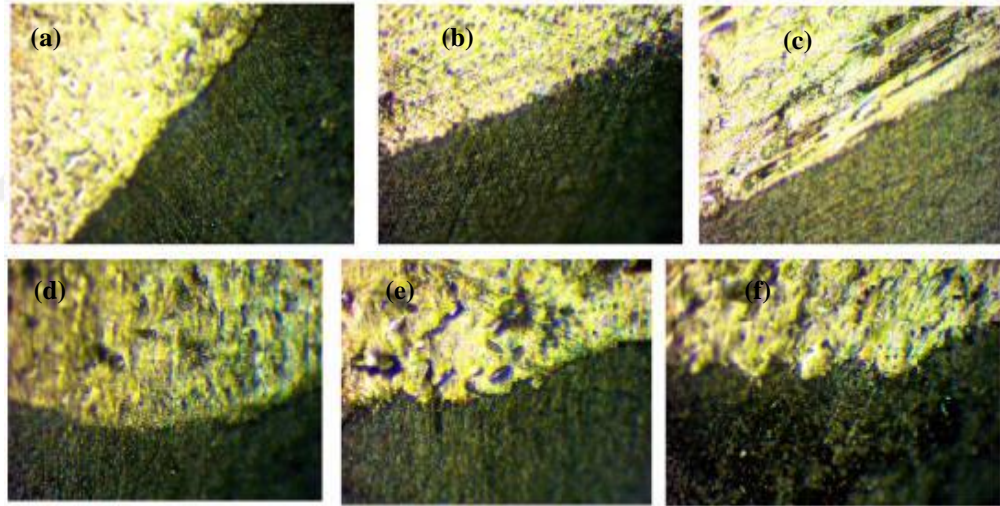


Şekil 4.35. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile toprak altında tutulan karbon elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları

Şekilden görüleceği gibi ağırlıkça yüzde aşınma miktarları uygulanan yük artarken artmıştır. Aynı yükün uygulanması durumunda çevre şartlarına maruziyet süresi arttıkça ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarında artış görülmektedir. Deneylerden elde edilen ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının yükün aşınmaya olan etkilerini daha açık olarak ortaya koyduğu söylenebilir.

#### 4.5.7. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozitlerin mikroyapısı

Şekil 4.36.'da 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit numunelere ait, aşınma deneyi sonrasında alınmış olan ve mikroyapılarını gösteren resimler verilmiştir. Şekilde, su içerisinde kalma süresinin artması ile mikroyapıda görülen değişiklikler daha açık görülmektedir.



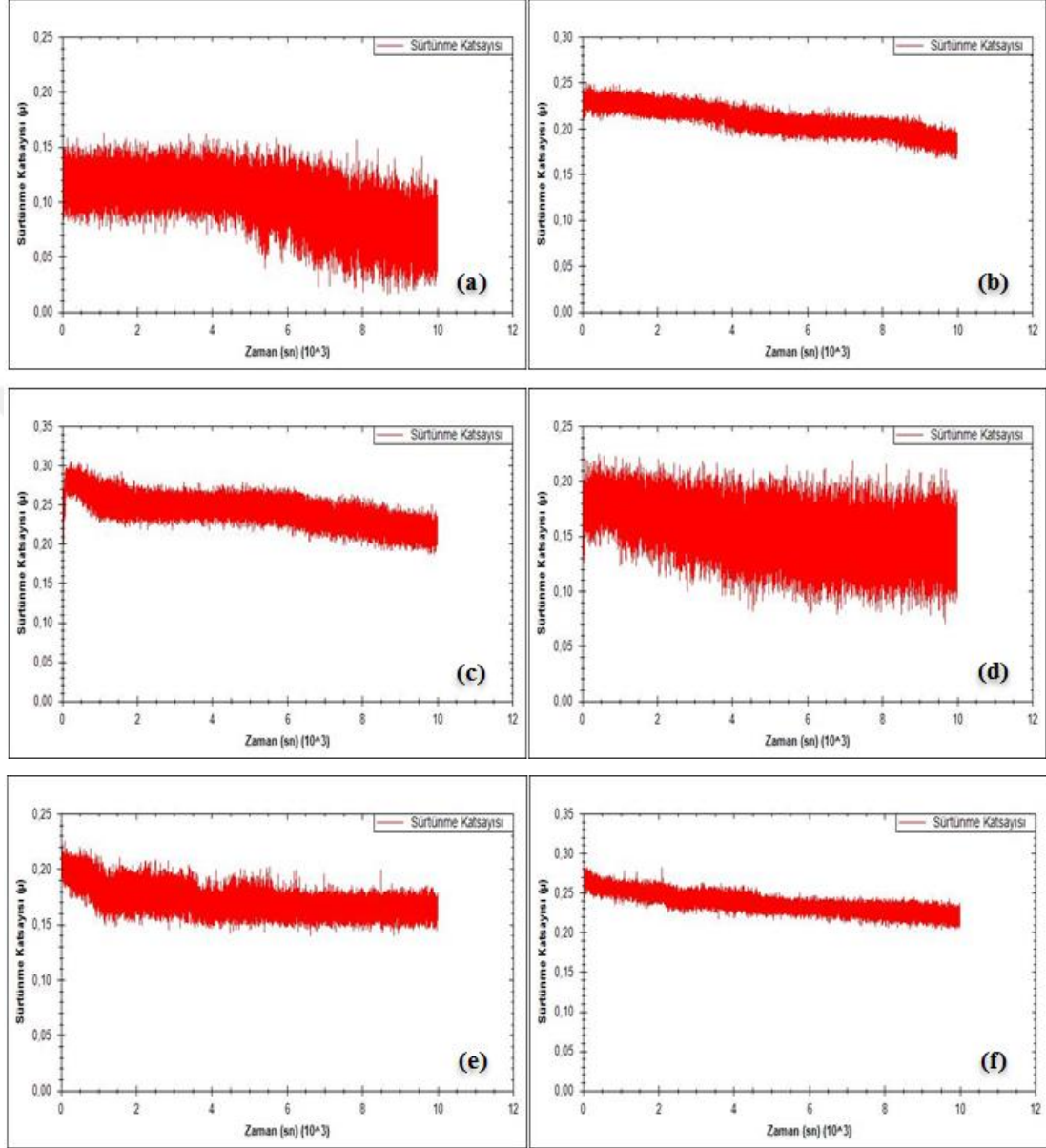
Şekil 4.36. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozitlerin mikroyapısı; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N

#### 4.5.8. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvet etkisindeki aşınma deneyi

100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit numuneler aynada tutturularak sabitlenip sırasıyla 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetler uygulanmak suretiyle, sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarları tespit edilmiş ve bu katsayıların uygulan kuvvete göre değişimleri incelenmiştir. Şekil 4.37.'de 100 ve



200 gün süre ile su içerisinde tutulankarbon elyafı kompozit malzemelerin 10N, 20N ve 30N kuvvet etkisindeki sürtünme katsayıları gösterilmiştir.



Şekil 4.37. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafı kompozit malzemelerin sürtünme katsayıları; a)100 gün-10N, b)100 gün-20N, c)100 gün-30N, d)200 gün-10N, e)200 gün-20N, f)200 gün-30N

100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulanve 10N, 20, 30N'luk kuvvetler uygulanan karbon elyafı kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları Çizelge 4.19.'da verilmiştir. Çizelgeden görüleceği üzere uygulanan yük arttıkça sürtünme katsayılarında da artışlar görülmüştür.

Çizelge 4.19. 100ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde sürtünme katsayısı

Ortam	Yük	Ortalama Sürtünme Katsayıları			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
100 gün su	10 N	0,13	0,19	0,1	0,14
	20 N	0,22	0,21	0,23	0,22
	30 N	0,23	0,25	0,24	0,24
200 gün su	10 N	0,16	0,16	0,21	0,18
	20 N	0,18	0,21	0,19	0,19
	30 N	0,24	0,24	0,23	0,24

100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulankarbon elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları Çizelge 4.20.'de verilmiştir. Uygulanan yük arttıkça ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının arttığı tespit edilmiştir.

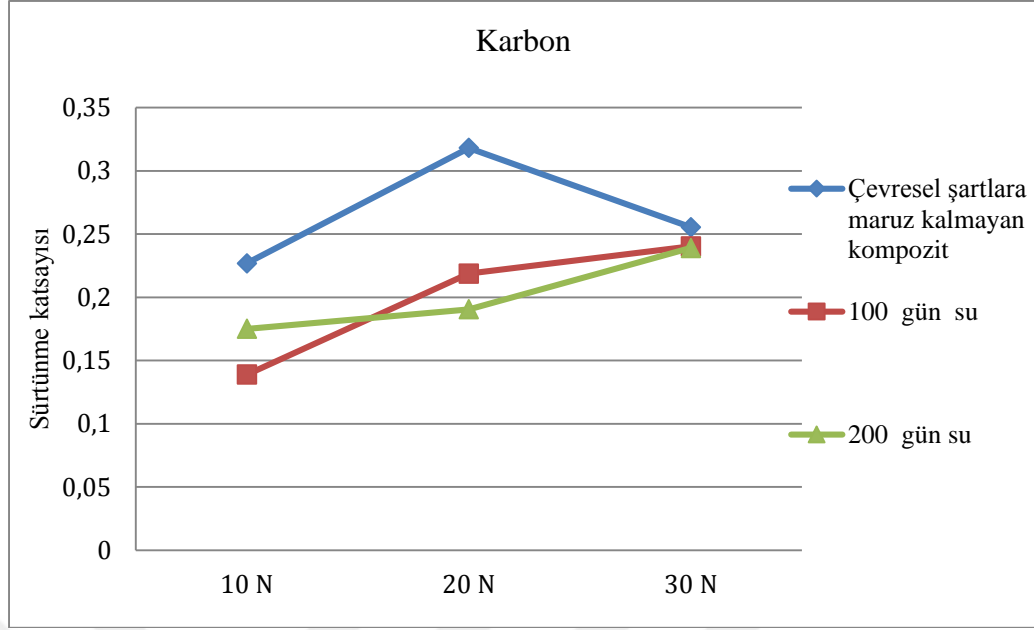
Çizilge 4.20. 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit malzemelerin 10 N, 20 N ve 30 N kuvvetlerin etkisinde aşınma miktarları

Ortam	Yük	Ortalama Aşınma Miktarı			
		1.Numune	2.Numune	3.Numune	Ortalama
100 gün su	10 N	0,103	0,099	0,101	0,101
	20 N	0,116	0,121	0,117	0,118
	30 N	0,129	0,133	0,136	0,132
200 gün su	10 N	0,105	0,108	0,107	0,107
	20 N	0,120	0,123	0,124	0,122
	30 N	0,150	0,137	0,145	0,144

Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 gün ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit numunelere değişik kuvvet uygulanması durumunda elde edilen ortalama sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının yüke ve çevresel şarta maruziyet süresine bağlı olarak değişimleri, Şekil 4.38. ve 4.39.'da gösterilmiştir.

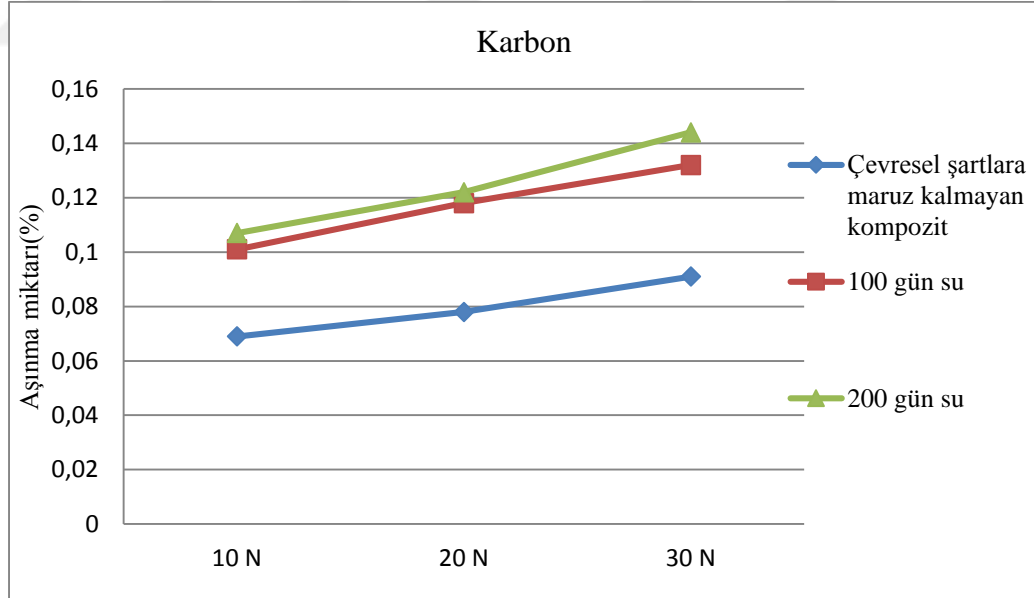
Şekilden görüleceği gibi 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulankarbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayılarının uygulanan yük miktarı arttıkça arttığı görülmüştür.





Şekil 4.38. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları

Aynı yükün uygulanması durumunda çevre şartlarına maruziyet süresi arttıkça sürtünme katsayısında 10N için artış, 20N ve 30N için düşüş görülmektedir.

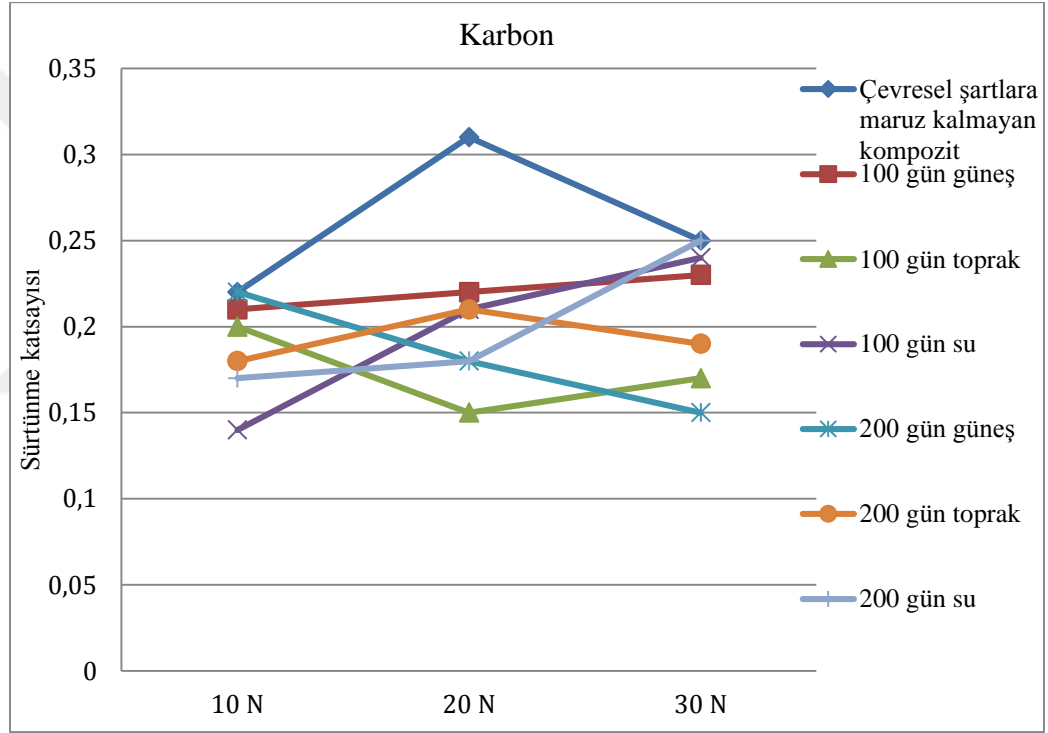


Şekil 4.39. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün süre ile su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları

Şekilden görüleceği gibi ağırlıkça yüzde aşınma miktarları uygulanan yük artarken artmıştır. Aynı yükün uygulanması durumunda çevre şartlarına maruziyet süresi arttıkça ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarında artış görülmektedir.

Çevresel koşullar etkisindeki karbon elyafı kompozit numunelere ait elde edilen tüm sonuçlar birleştirildiği takdirde, uygulanan yükün, çevre faktörünün ve bu etkilere maruziyet sürelerinin sürtünme katsayılarına ve aşınma miktarlarına olan etkileri daha açık görülebilecektir.

Çevresel şartlara maruz kalmayan(ilk hal), 100 ve 200 gün süre ile güneşe, toprağa ve suya maruz kalması durumunda karbon elyafı kompozit numunelere değişik kuvvet uygulanması durumunda elde edilen ortalama sürtünme katsayıları ve ağırlıkça yüzde aşınma miktarlarının değişimleri, Şekil 4.40 ve 4.41.'de verilmiştir.

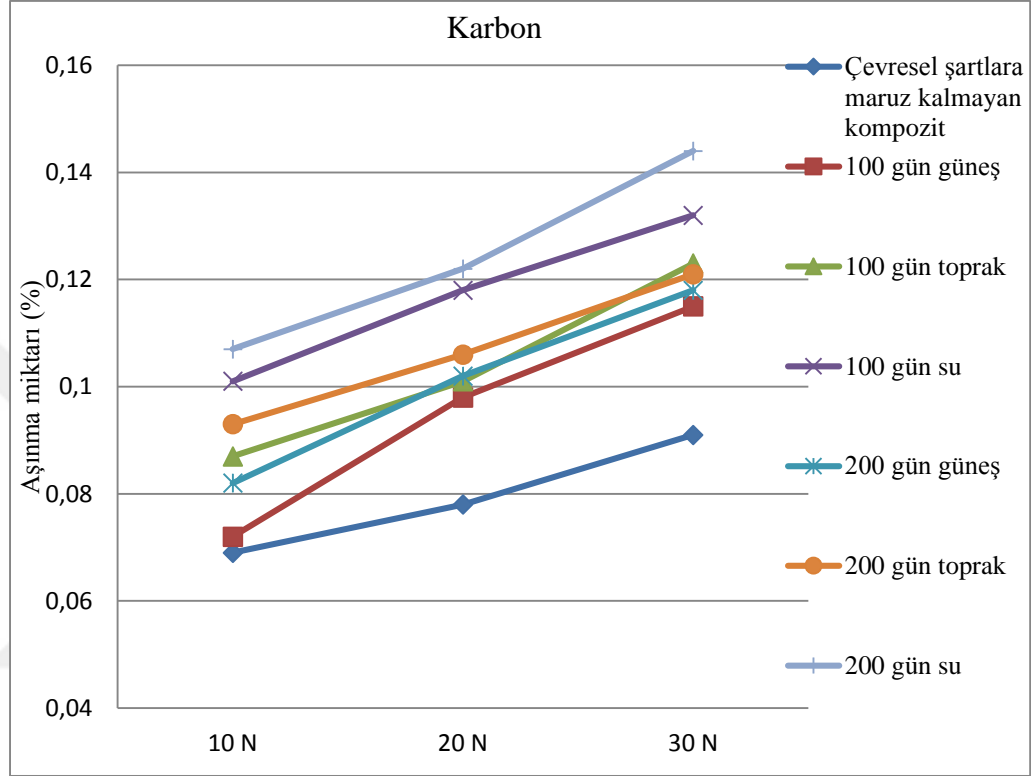


Şekil 4.40. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün güneş, toprak ve suya maruz kalan karbon elyafı kompozit numunelere ait ortalama sürtünme katsayıları

Herhangi bir çevresel etkiye maruz olmayan karbon elyafı kompozit numunelerde artan yük miktarı ile sürtünme katsayısı önce artmış sonra düşmüştür. Bu sonuç karbonun kendi kendini yağlaması ile açıklanabilir.

Şekilden de görüleceği üzere ilk hal ve 100 gün toprak altında tutulanlar hariç çevresel şartlara 100 gün süreyle bırakılan kompozit numunelerde sürtünme katsayıları artan yük miktarıyla artmıştır. 200 gün güneş ortamı için uygulanan yük

artışı ile sürtünme katsayısında düşüş meydana gelmiştir. 200 gün süreyle toprak altında tutulan kompozit numunelerde sürtünme katsayıları önce artmış sonra düşmüş, su içerisinde 200 gün bekletilen numuneler için bu durumun tersi ortaya çıkmıştır.



Şekil 4.41. Çevresel şartlara maruz kalmayan, 100 ve 200 gün güneş, toprak ve suya maruz kalan karbon elyaflı kompozit numunelere ait ağırlıkça yüzde aşınma miktarları.

İlk haldeki numunelerde yük artımı ile meydana gelen aşınma miktarı artmakta olup bu durum bütün çevre şartlarına maruz numuneler için de geçerlidir. 10N yük altında aşınma miktarlarının, en düşükten yükseğe doğru; ilk hal, 100 gün güneşe, 200 gün güneşe, 100 gün toprağa, 200 gün toprağa, 100 gün suya ve 200 gün suya maruz numunelerde meydana geldiği görülmektedir. 20N yük altında aşınma miktarları, en düşükten yükseğe doğru; ilk hal, 100 gün güneşe, 100 gün toprağa, 200 gün güneşe, 200 gün toprağa, 100 gün suya ve 200 gün suya maruz numunelerde meydana gelmiştir. Son olarak; 30N yük altında aşınma miktarlarının, en düşükten yükseğe doğru; ilk hal, 100 gün güneşe, 200 gün güneşe, 100 gün toprağa, 200 gün toprağa, 100 gün suya ve 200 gün suya maruz numunelerde meydana geldiği görülmektedir. Su içerisinde tutulan karbon elyaflı kompozit numunelerde de aramid

elyafli kompozitlerde olduğu gibi; zamana bağlı en bđyđk aşınma miktarının oluşacağı sonucu elde edilmiştir. şekilden çevresel şartların karbon elyafli kompozit malzemelerin aşınma davranışları hakkında önemli bilgiler edinilebilir. Bu tez çalışmasındaki çevre şartları göz önüne alındığında su içerisinde bektilen numunelerde en fazla aşınma meydana geldiği görđlmüřtür. Uygulanan yük artışı ve maruziyet süresi göz önüne alındığında sırasıyla en küçükten büyüğe doğru aşınma miktarlarının; güneşte, toprak altında ve su içerisinde bekletilen numunelerde ortaya çıktığı görđlmüřtür. Su içerisindeki karbon elyafli kompozitlerde aşınma çok olacağından, bu ortamda çalışması gereken malzemelerde aramid elyafli kompozitlerde olduğu gibi aşınmaya karşı daha fazla korunma tedbirlerinin alınması gerekmektedir.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Yapılan tez çalışması kapsamında çevresel etkilere maruz bırakılan aramid ve karbon elyafı kompozit malzemeler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile kompozit malzemelerin mikroyapısı ve tribolojik özellikleri araştırılmıştır.

100 ve 200 gün süre çevresel şartlara maruz bırakılan aramid ve karbon elyafı kompozit numuneler sırasıyla 10N, 20N ve 30N'luk kuvvetler uygulanarak aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda numune yüzeylerinde aşınmalar meydana gelmiş ve numunelerin yüzey yapılarında değişimler ortaya çıkmıştır. Bu değişimleri tespit edebilmek amacıyla her bir numunenin deneyler tamamlandıktan sonra mikroyapılarını gösteren resimler mikroskop yardımıyla alınmıştır. Uygulanan yük arttıkça aşınma şekillerinde değişiklikler meydana gelmiştir. Yük arttıkça aşınma miktarlarının da arttığı gözlenmiş olup aşınma neticesinde gelişen matris elyaf ayrılmaları da açıkça gözlemlenmiştir( Kishore ve ark., 2001).

Epoksi matrisli aramid ve karbon elyafı kompozit plakalarının üretiminde Vakum Destekli Reçine İnfüzyon Metodu kullanılmıştır. Kesme cihazı kullanılarak üretilen kompozit malzemeler 18x18x10 mm boyutlarında numuneler haline getirilmiştir. Farklı çevresel (güneş, toprak, su) etkilere maruz kompozit numunelerin belli periyotlarla kuru kayma şartlarında aşındırıcı kalem ucu ile pin-on-disc aşınma cihazında aşınma deneyi yapıp aşınma davranışları ve yükleme şartlarına göre aşınma mekanizmasındaki değişim tespit edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen bilgi ve verilerin kullanımı, kompozitten üretilmiş olan makina elamanlarının farklı çevre şartlarında kullanımı ve malzeme seçimi konularında yol gösterici olacaktır.

Aramid elyafı kompozit malzemelerin mukavemet, uzama ve sertlik gibi özelliklerinin yüksek olmasından dolayı diğer kompozit malzemelere göre daha yüksek sürtünme katsayısına sahiptir.

Aramid elyafli kompozit numunelerin sürtünme katsayısı-zaman grafikleri incelendiğinde; aşınma deneyi başlangıcında yüzey pürüzlülüğün daha az olması nedeniyle sürtünme katsayılarında ortalamadan daha az değerler görülmüş, belirli bir kayma mesafesinden sonra aramid liflerin mukavemetinin yüksek olmasından dolayı sürtünme katsayısında ani bir artış olacak şekilde bir geçiş bölgesi görülmüş ve son olarak kayma mesafesinin artışına paralel olarak yüzey pürüzlülüğünde bir artış oluşması ve numuneden kopan parçalardan dolayı sürtünme katsayı sabite yakın değerlere kavuştuğu bölge görülmüştür.

Değişik çevre şartlarının, bu etkilere maruz bırakılan aramid elyafli kompozit malzemenin sürtünme katsayında bir değişime neden olduğu görülmüştür. 10N' luk yük altında çevresel etkilere 100 gün süreyle maruz bırakılan numuneler içerisinde toprağa maruz numunelere ait sürtünme katsayılarında, güneş ve suya maruz numunelere oranla daha fazla düşüş görülmüştür.

20N ve 30N'luk yük altında çevresel etkilere 100 gün süreyle maruz bırakılan numuneler içerisinde nem oranı yüksekolan suya maruz numunelere ait sürtünme katsayılarında, toprak ve güneşe maruz numunelere oranla daha fazla düşüş görülmüştür.

10N, 20N ve 30N'luk yükler altında çevresel etkilere 100 gün süreyle maruz bırakılan numuneler içerisinde güneşe maruz numunelere ait sürtünme katsayılarında, güneşin etkisini zamanla gösterdiğinden dolayı 100 günlük süreçte en az düşme gözlenmiştir. 200 günlük süreçte, zaman ilerledikçe kompozit numunelerin güneşe maruz yüzeylerinde sıcaklık artışı nedeniyle oluşan yüzey sertliğinin düşmesine bağlı olarak sürtünme katsayısında büyük oranlarda düşme tespit edilmiştir.

Uygulanan yükün artışı(20N, 30N) ve kayma mesafesinin fazla olması, aşınma deneyi sırasında sürtünme yüzeyindeki sıcaklığın artışına sebebiyet vermektedir. Bu da aşındırıcı bilezikte ve numunede sıcaklık artışına dolayısı ile özellikle uygulanan büyük yüklerde(20N, 30N) sıcaklık artışının malzemenin mekanik yapısına etki ettiğinden ayrıca artan sıcaklıkla nem oranının da azalması nedenlerinden dolayı

düşük yüke(10N) oranla daha büyük sürtünme katsayıları görülmüştür.

Çeşitli çevresel şartlara maruz aramid elyafli kompozit malzemede nem ve sıcaklık etkisi yaptığımız aşınma deneylerinde açıkça görülmüştür.100 ve 200 günlük belli periyotlarla çevresel etkilere maruz bırakılan aramid elyafli kompozit numunelerde sürtünme katsayısında değişim gözlenmiştir.

Numunelerin çevre şartlarında bekleme sürelerindeki artışla birlikte sürtünme katsayılarında azalma olduğu tespit edilmiştir. Sürtünme katsayısının numunelerin çevresel etkilere maruz kalmasıyla kısmen ilişkili olduğu görülmüştür. Yapılan aşınma deneylerinde, ilk hal hariç çevresel şartlara 100 gün süreyle maruz bırakılan kompozit numunelerde sürtünme katsayıları artan yük miktarıyla artmıştır. Bunun tabii sonucu olarak aşınma miktarları da artmıştır.

Çevresel koşullar etkisindeki aramid elyafli kompozit numunelere ait elde edilen tüm sonuçlar birleştirildiği takdirde, uygulanan yükün, çevre faktörünün ve bu etkilere maruziyet sürelerinin sürtünme katsayılarına ve aşınma miktarlarına olan etkileri daha açık görülmüş olup çevresel koşullara maruz kompozitlerin aşınma davranışları hususunda önemli bilgiler elde edilmiştir.

İlk haldeki numunelerde yük artımı ile meydana gelen aşınma miktarı artmakta olup bu durum bütün çevre şartlarına maruz numuneler için de geçerli olduğu yapılan aşınma deneylerinde gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar litareaturdeki çalışma(Suresha ve ark., 2007).sonuçlarıyla uyuşmaktadır.

Su içerisinde tutulan aramid elyafli kompozit numunelerde zamana bağlı en büyük aşınma miktarının olduğu görülmüştür. Bu tez çalışmasında çalışılan çevre şartları göz önüne alındığında su içerisinde bektilen numunelerde en fazla aşınma meydana geldiği görülmüştür. Uygulanan yük artışı ve maruziyet süresi göz önüne alındığında sırasıyla en küçükten büyüğe doğru aşınma miktarları; güneşte, toprak altında ve su içerisinde bekletilen numunelerde ortaya çıkmıştır. Su içerisinde

bekletilen aramid elyafly kompozitlerde aşınma çok olacağından, bu ortamda çalışması gereken malzemelerde aşınmaya karşı korunma tedbirleri alınmalıdır.

Bu çalışmada yapılan aşınma deneylerinde, daha düşük mukavemet / ağırlık ve elastisite modülü / ağırlık oranına sahip olan karbon elyafly kompozit malzemelerin aramid elyafly kompozitlere göre daha düşük sürtünme katsayılarına sahip oldukları görülmüştür.

Karbon elyafly kompozit numunelerin sürtünme katsayısı-zaman grafikleri incelendiğinde; aramid elyafly kompozitlere benzer olarak, aşınma deneyi başlangıcında yüzey pürüzlülüğün daha az olması nedeniyle sürtünme katsayılarında düşük değerler görülmüş, belli bir kayma mesafesinden sonra karbon liflerin mukavemetinin yüksek olmasından dolayı sürtünme katsayısında ani bir artış olacak şekilde bir geçiş bölgesi görülmüş ve son olarak kayma mesafesinin artışıyla yüzey pürüzlülüğünde de bir artış oluşması ve numuneden kopan parçalardan dolayı sürtünme katsayı değerlerinin biraz daha yükselerek sabite yakın değerlere kavuştuğu gözlenmiştir.

Su içerisinde bekletilen aramid ve karbon elyafly kompozit numunelerin aşınma miktarı yüksek bulunmuştur. Su içerisinde tutulan kompozit numunelerin zamanla nem miktarları artmıştır. Deney öncesi yapılan ölçümde ağırlık nemi içermekte olup deney sürecinde ısınmadan kaynaklanan buharlaşma nedeniyle aşınma miktarı olması gerekenden daha yüksek çıkmıştır.

Çeşitli çevresel şartlara maruz karbon elyafly kompozit malzemede sıcaklık ve nem etkisi aşınma deneylerinde tespit edilmiştir. 100 ve 200 günlük belli periyotlarla çevresel etkilere maruz bırakılan karbon elyafly kompozit numunelerde sürtünme katsayısında değişim gözlenmiştir.

Numunelerin çevre şartlarında bekleme sürelerindeki artışla birlikte sürtünme katsayılarında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Sürtünme katsayısının numunelerin çevresel etkilere maruz kalmasıyla kısmen ilişkili olduğu görülmüştür. Yapılan aşınma deneylerinde, ilk hal ve 100 gün toprak altında tutulanlar hariç çevresel



şartlara 100 gün süreyle bırakılan kompozit numunelerde sürtünme katsayıları artan yük miktarıyla(10N, 20N, 30N) artmıştır. 200 gün güneş ortamı için uygulanan yük artışı ile sürtünme katsayısında düşüş meydana gelmiştir.200 gün süreyle toprak altında tutulan kompozit numunelerde sürtünme katsayıları önce artmış sonra düşmüş, su içerisinde 200 gün bekletilen numunelere ait sürtünme katsayılarında ise önce artış sonra düşüş görülmüştür.

İlk haldeki numunelerde yük artımı ile meydana gelen aşınma miktarı artmakta olup bu durum bütün çevre şartlarına maruz numuneler için de geçerlidir. 10N yük altında aşınma miktarlarının, en düşükten yükseğe doğru; ilk hal, 100 gün güneşe, 200 gün güneşe, 100 gün toprağa, 200 gün toprağa, 100 gün suya ve 200 gün suya maruz numunelerde meydana geldiği görülmektedir. 20N yük altında aşınma miktarları, en düşükten yükseğe doğru; ilk hal, 100 gün güneşe, 100 gün toprağa, 200 gün güneşe, 200 gün toprağa, 100 gün suya ve 200 gün suya maruz numunelerde meydana gelmiştir. Son olarak; 30N yük altında aşınma miktarlarının, en düşükten yükseğe doğru; ilk hal, 100 gün güneşe, 200 gün güneşe, 100 gün toprağa, 200 gün toprağa, 100 gün suya ve 200 gün suya maruz numunelerde meydana geldiği görülmüştür.

Bu tez çalışmasında çalışılan çevre şartları göz önüne alındığında, su içerisinde tutulan karbon elyafli kompozit numunelerde de aramid elyafli kompozitlerde olduğu gibi; zamana bağlı en büyük aşınma miktarının oluştuğu görülmüştür. Çünkü nem oranındaki artış, aşınma miktarında artışa sebebiyet vermektedir. Uygulanan yük artışı ve maruziyet süresi göz önüne alındığında sırasıyla en küçükten büyüğe doğru aşınma miktarları; güneşte, toprak altında ve su içerisinde bekletilen numunelerde ortaya çıkmıştır. Su içerisindeki karbon elyafli kompozitlerde aşınma çok olacağından, bu ortamda çalışması gereken malzemelerde aramid elyafli kompozitlerde olduğu gibi aşınmaya karşı daha fazla korunma tedbirleri alınması gerekmektedir.

Literatürde bulunan çalışma (Suresha ve ark., 2007).sonuçlarına benzer olarak bu çalışmada da karbon elyafli kompozitlerdeki aşınma miktarının, aramid elyafli

kompozitlere göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu da karbon elyaf takviyesinin, sürtünme katsayısını düşürmesiyle beraber zamanla aşınma direncini de arttırdığını göstermektedir. Yapılan aşınma deneyleri sonucunda çeşitli çevresel şartlara maruz farklı elyaf takviyeli kompozit malzemelerin sürtünme ve aşınma dayanımlarının belli oranlarda elyaf malzemesinin türüne bağlı olduğu görülmüştür.

## 6.2. Öneriler

Yapılan tez çalışması kapsamında çevresel etkilere maruz bırakılan aramid ve karbon elyafli kompozit malzemeler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ile kompozit malzemelerin mikroyapısı ve tribolojik özellikleri araştırılmıştır, aşağıdaki önerilen çalışmaların yapılması durumunda yapılmış olan bu çalışmanın daha da geliştirilebileceği düşünülmektedir.

- Kullanılan reçine ve takviye elemanları değiştirilerek mevcut çalışma farklı kompozit malzemelere uygulanabilir.
- Aşınma hızı, sıcaklık, farklı elyaf-matris oranı gibi değişik parametrelerin kompozitlerin aşınma davranışına etkileri incelenebilir.
- Değişik çevre şartları için yapılan bu çalışma geliştirilebilir.
- Çevre şartlarının, çatlak gibi yapısal kusurların kompozit malzemelerin aşınma davranışına olan etkileri araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- ASLAN, Z., KISA, M., ÖZEN, M., and KAYA, A. İ., 2016. Effects of Enviromental Factors on Mechanical Properties of Composite Materials, ISNASE'2016, Kilis, 2208-2218.
- AYDIN, G.Ç., 2009. Plazma Nitrülenmiş H11 Sıcak İş Takım Çeliğinin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 118s.
- BHUSHAN, B., 2000. Modern Tribology Handbook, CRC Yayınevi.
- BOWDEN, F.P., and TABOR, D., 1950. The Friction and Lubrication of Solids, At the Clarendon Press, Oxford.
- BÜYÜKKELLEÇİ, Ü., 2008. Yeni Bir Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve Bazı Metallerin Aşınma Davranışlarının Araştırılması. Fırat Üniversitesi, Metalurji Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisan Tezi, Elazığ.
- CAN A.Ç., 2006. Tasarımcı Mühendisler İçin Malzeme Bilgisi, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- DEMİRCİ, A. H., 1982. Ötektoidaltı Alaşımsız Çeliklerin Isıl İşlemlere Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi ve Optimizasyonu. E.Ü., Makina Fakültesi, Doçentlik Tezi, Kayseri, 8-44.
- EL-TAYEP N.S. and GADELRAH R.M., 1996. Friction and Wear Properties of E-Glass Fiber Reinforced Epoxy Composites Under Different Sliding Contact Conditions. Wear, 1192, 112-117.
- GAY D., HOA, S. V., and TSAI S. W., 2003. Composite Materials Design and Applications. CRC Pres. USA.
- GHASEMİ OWSALOU, R., 2012. Aşınmaya Maruz Parçaların Aşınma Dayanımlarının Artırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, İzmir.
- GÜNEŞ, D., 2006. Plazma Nitrüleme İle Çelikler Üzerinde Kompleks Kaplamaların Oluşturulması. Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon.
- HANCOX, NEIL L., MAYER., and RAYNER M., 1994. Design Data for Reinforced Plastics, Chapman & Hall, London.
- HOLBERG, K., and MATTHEWS, A., 1994. Coating Tribology. Elsevier Science B.V. 45-74.
- İPEK, R., 1987. Tren Fren Papuçlarının Aşınmasının Deneysel İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- JONES R. M., 1999, Mechanics of Composite Materials. Taylor & Francis, Philadelphia, USA.
- KARAMIŞ, M.B., 1988. Ötektoid Altı Çeliklerin Kayma Sürtünmesinde Adhesiv Aşınma Katsayısının Araştırılması. 3. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara, 155-163.
- KİSHORE, SAMAPTHKUMARAN P., SEETHARAMU S., MURALİ A., and KUMAR R.K., 1999. Dry Sliding Wear Behavior of Glass-Epoxy Composite. Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 18( 01):. 55-62.

- KİSHORE, SAMPATHKUMARAN P., SEETHARAMU S., MURALİ A., and KUMAR R.K. 2001. On the SEM Features of Glass-Epoxy Composite System Subjected to Dry Sliding Wear., *Wear*, 241: 208-213.
- KOBRİCK, R.L., 2010. Characterization and Measurement Standardization of Lunar Dust Abrasion for Spacecraft Design and Operations. A thesis submitted to the Faculty of the Graduate School of the University of Colorado, Doktora tezi, Uzay Bilimler Bölümü.
- KÖKSAL, B. A., 1985. İstatistik Analiz Metotları. Çağlayan Basımevi, İstanbul.
- LARSEN T., ANDERSEN T.L., THORNİNG and BVİGİLD M. E., 2008. The Effect of Particle Addition and Fibrous Reinforcement on Epoxy-Matrix Composite for Severe Sliding Conditions. *Wear*, 264:857-868.
- MALLİCK P.K., 1993. Fiber Reinforced Composites Materials, Manufacturing, and Design. Second Edition. Marcel Dekker, New York, USA.
- NAİR, F., KARAMIŞ, M.B., ve TAŞDEMİRÇİ, A., 2000. Endüstriyel Uygulamalarda Borlanmış Çeliklerin Aşınma Davranışının İncelenmesi. 8. Denizli Malzeme Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 334-343.
- ÖZAY, Ç., ve HAŞÇALIK.A., 2003. T/M Yöntemi İle Üretilen Cu- C- AL<sub>2</sub>-SİO<sub>2</sub> Kompozitinin Aşınma Abrazif Aşınma Dayanımı, Elazığ.
- PETERSON, M.B., 1976. Wear Testing Objectives And Approaches, Selection And Use Of Wear Tests For Metals. American Society for Testing and Materials STP 615, R.G. Bayer Edit. 3-11.
- PIHTİLİ H., and TOSUN N. 2002. Investigation of the Wear Behaviour of a Glass Fibre Reinforced Composite and Plain Polyester Resin. *Composite Science and Technology* 62, 367-370
- RAMESH R., KİSHORE., and RAO R.M.V.G.K. 1983. Dry Wear Studies on Glass-Fibre-Reinforced Epoxy Composites. *Wear*, 89, 131-136
- SAYMAN, O., 2007. Kompozit Malzemeler Ders Notları, Denizli Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü
- SRİVASTAVA V.K., PATHAK J.P. and TAHZİBİ K. 1992. Wear and Friction Characteristics of Mica-Filled Fibre-Reinforced Epoxy Resin Composites. *Wear*, 152:343-350.
- SRİVASTAVA, V.K., and PAWAR, A.G., 2006. Solid Particle Erosion Of Glass Fibre Reinforced Flyash Filled Epoxy Resin Composites. *Composites Science and Technology*, 66 (15): 3021–3028.
- STACHOWIAK, G.W., and STACHOWIAK, G.B., 1993. Environmental Effects on Wear And Friction Of Toughened Zirconia Ceramics. *Wear*, 160: 153–162.
- SUMER M., UNAL H., and MİMAROĞLU A., 2008. Evaluation of Tribological Behaviour of PEEK Composite Under Dry Sliding and Water lubricated Conditions. *Wear*, DOI:10.1016/j.wear.2008.02.008.
- SURESHA B., CHANDRAMOHAN G., SAMAPTKUMARAN P., and SEETHARAMU S., 2007. Investigation of the Friction and Wear Behavior of Glass-epoxy Composite With and Without Graphite Filler." *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Vol. 26, No 1, p. 81-93.
- SURESHA B., CHANDRAMOHAN G., SİDDARAMAIAH, SAMAPTKUMARA P., and SEETHARAMU S., 2007. Three-body Abrasive Wear Behaviour of Carbon and Glass Fiber Reinforced Epoxy Composites *Material Science and Engineering A*, 443: 285-291.

- SURESHA B., CHANDRAMOHAN G., SİDDARAMAIAH, SAMAPTKUMARAN P., and SEETHARAMU S., AND VYNATHEYA S., 2006. Friction and Wear Characteristics of Carbon-epoxy and glass-epoxy Woven Roving Fiber Composites. Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol. 25(7):771-782.
- ŞAHİN Y., 2006. Kompozit Malzemelere Giriş, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- ŞAHİN, Y., 2000. Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitapevi, Ankara.
- TEWARİ, U.S. HARSHA, A.P. HAGER, A.M. and FRIEDRİCH, K.,2003. Solid particle erosion of carbon fibre– and glass fibre–epoxy composites, Composites Science and Technology, 63 (3–4), 549–557.
- TMMOB., 2003. II. Ulusal Demir-Çelik Sempozyumu ve Sergisi: Bildiriler Kitabı, Yay. No: E/2003/336, Ankara.
- VATANGÜL ,E., 2008. Kompozit Malzemelerin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ve Ansys 10 Programı İle Isıl Gerilme Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği, Bitirme Projesi, İzmir.
- VİSHWANATH B., VERMA A.P. and KAMESWARA RAO C.V.S. 1991, "Effect of Fabric Geometry on Friction and Wear of Glass-Fibre-Reinforced Composites. Wear, 145:315-327.
- YILDIZLI, K., 2002. Borlamanın Çeliklerde Eroziv Aşınma Davranışına Olan Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi. Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi, Kayseri, 8-154.
- YILMAZ, F., 1997.9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi. 229-25.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** :Deniz DEĞİRMENCİ  
**Uyruğu** :T.C.  
**Doğum Yeri ve Tarihi** :Erzurum/18.05.1990  
**Telefon** :05392633549  
**Faks** :  
**e-mail** :mmsea25@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	:İ.M.K.B Lisesi	2007
Üniversite	:Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Merkez/Şanlıurfa	2013
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri	2016

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
-----	-------	--------

### UZMANLIK ALANI

**Kompozit Malzemeler, Katı Cisimler Mekaniği,**

**Makine Mühendisliği**

### YABANCI DİLLER