



Tabanca Gövdeleri İçin Polimer Kompozit Malzeme Geliştirilmesi

Mahmutcan KARSLI*, Yaşar SERT**, Tevfik KÜÇÜKÖMEROĞLU***

Öz

Ülkemiz stratejik konumu itibari ile savunma sanayisine büyük önem vermektedir. Son yıllarda hafif silahlardan beklenen özelliklerin, gelişen teknoloji ve artan rekabet koşulları ile doğru orantılı olarak artması, yurtiçi ve yurtdışı silah alım şartnamelerinde silah atım ömürlerinin daha yüksek rakamlara ulaşmasını ortaya çıkarmaktadır. Bu doğrultuda kompozit malzeme kullanımı gibi malzeme teknolojisinde yaşanan gelişmelerin savunma sanayisine sürekli adapte edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, tabanca gövdelerinde kullanılmak üzere optimum özelliklere sahip polimer kompozit malzeme seçiminin yapılması amaçlanmıştır. Hafif silahlar için uygun matris özelliklerine sahip olduğu belirlenen poliamid 66 (PA66) ve polikarbonat (PC) malzemeler cam ve karbon elyaf kullanılarak takviye edilmişlerdir. Enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilen kompozit malzemelerde takviye oranı %15 - %40 aralığında kullanılmıştır. Kompozit malzeme numuneleri, bir silah malzemesinde aranan özellikler açısından, fiziksel, mekanik ve tribolojik olarak incelenmiş ve analizleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen mekanik deneyler, kompozit malzemelerin mukavemet değerlerinin ve sertliklerinin elyaf takviyesinin artışıyla birlikte yaklaşık %50 oranında arttığını ve elyaf türünün kompozit malzemelerin elastik davranışı, mukavemet değeri ve sıcaklığa bağlılığını önemli oranda etkilediğini göstermiştir. İncelenen polimer kompozit malzemelerin su emme kabiliyetlerinin ve korozyon dirençlerinin elyaf türünden çok matris türüne bağlı olduğunu ortaya konulmuştur. Kompozit malzemelerde aşınma direncinin elyaf tipinden kısmen etkilenmesine rağmen baskın olarak matris türüne bağlı olduğu belirlenmiştir. Gerçekleştirilen incelemeler sonucunda hafif silahlarda gövde

* Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, mahmut.cann@hotmail.com, ORCID: 0000-0002-8729-7497

** Arş.Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, ysert0015@gmail.com, ORCID: 0000-0001-7742-0335

*** Prof.Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, tkomer@ktu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4392-9966

malzemesi olarak kullanılacak en uygun kompozit malzemenin %40 oranında karbon elyaf içeren PA66 olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Tabanca Gövdesi, Poliamid 66, Polikarbonat, Cam Elyaf, Karbon Elyaf, Polimer Kompozit, Aşınma.

Development of Polymer Composite Material for Gun Frames

Abstract

Our country attaches great importance to the defense industry due to its strategic location. The increase in the properties expected from light weapons in recent years in direct proportion with the developing technology and increasing competition conditions reveals that the gun shooting lifetimes reach higher figures in domestic and international arms purchase specifications. Accordingly, developments in material technology, such as the use of composite materials, must be constantly adapted to the defense industry. In this study, it was aimed to select polymer composite materials with optimum properties to be used in gun bodies. Polyamide 66 (PA66) and polycarbonate (PC) materials determined to have suitable matrix properties for light weapons were reinforced using glass and carbon fiber. In composite materials produced by injection molding method, the rate of reinforcement was used in the range of 15% - 40%. Composite material samples were examined physically, mechanically and tribologically and analyzed in terms of the properties sought in a weapon material. In the mechanical experiments, it has been shown that the strength values and hardness of composite materials increase approximately 50% with the increase of fiber reinforcement, and the fiber type significantly affects the elastic behavior, strength value and temperature dependence of the composite materials. It has been revealed that the water absorbency and corrosion resistance of the polymer composite materials examined depend on the matrix type rather than the fiber type. It is determined that the abrasion resistance in composite materials is predominantly dependent on the matrix type although it is partially affected by the fiber type. As a result of the examinations carried out, it was concluded that the most suitable composite material that can be used as gun frame material in light weapons is PA66, which contains 40% carbon fiber.

Keywords: *Gun Frame, Poliamid 66, Polycarbonate, Glass Fiber, Carbon Fiber, Polymer Composite, Corrosion.*

Giriş

Silah, insanların diğer canlı varlıklara karşı kendilerini savunma veya avlanma amacıyla kullandığı araçlar olup ateşli ve ateşsiz silahlar olmak üzere iki türdür. Ateşsiz silahlara örnekler mızrak, bıçak, kılıç, hançer, kalkan, zırh ve ok olarak söylenebilir. Ateşli silahlar ise barut gazının basıncı ile mermiyi tabanca namlusu içerisinden hedefe hızla atabilen silahlardır. Ateşli silahların kişisel taşınabilir özellikte olan türleri tabanca ve tüfek, hafif silahlar grubuna ait olan ve en yaygın kullanılan silahlardır. Taşınabilir özellikteki silahlarda aranan en önemli özelliklerin başında gelen hafiflik, düşük maliyet, yüksek dayanım ve korozyon direnci özelliklerini sağlayabilmek için bu silahların imalatında kullanılan kompozit malzemelerin kullanımı hızla artmaktadır. Son yıllarda tabancalarda ana gövde parçaları da dâhil olmak üzere çoğu metalik ve ahşap parçanın yerini polimer kompozit malzemeler almaktadır (Arıcasoy, 2006; Eryıldız ve Eker, 2015; Rutçi, 2019).

Kompozit malzemelerin avantajları bileşenlerinin üstün özelliklerinin bir arada toplanmasıdır. Bu sayede kullanım alanına göre beklenen özellikleri sağlama amacıyla kompozit malzemeler sıklıkla kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler, düşük özgül ağırlıkları sayesinde taşınması gereken zırh, silah gibi aletlerin üretiminde kullanıldıkları takımların daha hafif olmalarını ve kullanıcılarının daha yüksek kabiliyete sahip olmalarını sağlamaktadır. Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte ileri kompozitlerin savunma sanayindeki yeri ve uygulama alanları hızla artmaktadır. Klasik tabancalara ana gövde ağırlıkları olarak bakıldığında; çelik tabanca gövdeleri ortalama 400 gr, alüminyum alaşımlı tabanca gövdeleri ortalama 200 gr, polimer kompozit gövde (%30 cam elyaf takviyeli PA66 malzeme) ise yaklaşık 120 gr ağırlığındadır. Buna bağlı olarak çelik gövdeli tabancalar ortalama 1200 gr, alüminyum alaşımlı tabancalar ortalama 1000 gr iken polimer kompozit esaslı tabancalar yaklaşık 750 gr'lık ağırlığa sahiptirler (Arıcasoy, 2006; Eryıldız ve Eker, 2015; Karlı, 2016).

Silahlar yüksek şiddetli ve tekrarlı darbe yükleri altında çalışmaktadırlar. Bu nedenle parçaların imalatlarında kullanılacak malzemelerin öncelikle yüksek mukavemet ve elastisite modülüne sahip olması istenir. Savunma sanayinde

kullanılmak amacıyla üretilen kompozit malzemelerden beklenen özellikler, yüksek mukavemet/yoğunluk oranı, kolay şekillendirilebilme, korozyona ve kimyasal etkilere karşı mukavemet, renklendirilebilme ve titreşim sönümlendirir (Yaşar, 2001; Eryıldız ve Eker, 2015).

Silah parçaları, atım sayısına bağlı olarak ortaya çıkan aşınma etkileri, farklı iklim ve doğa koşullarında kullanım ihtiyacı, çevresel koşullara bağlı olarak ortaya çıkan korozyon etkileri, taşınabilirliğin ve kullanımın kolay olması gibi çeşitli koşulları sağlayabilmelidir. Silah üreticilerinin en üstün performansa sahip silah imal edebilmeleri için bu parametreleri en uygun oranda sağlayacak olan malzemeyi kullanmaları gereklidir. Aranılan bu parametrelerin öncelikleri belirlenerek kullanılacak malzeme tespit edilmelidir. Bu önceliklerin belirlenmesi ile ilgili oluşturulan malzeme özelliği önem sırası belirleme matrisi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Malzeme Özelliği Önem Sırası (Karlı, 2016)

	MUKAVEMET	ELASTISİTE MODÜLÜ	DARBE DAYANIMI	MALİYET	AŞINMA DİRENCİ	SERTLİK	SICAKLIKTA KARARLILIK	SU EMME DİRENCİ	KOROZYON DİRENCİ	YOĞUNLUK
MUKAVEMET		+	-	-	-	-	-	-	-	-
ELASTISİTE MODÜLÜ	-		-	-	-	-	-	-	-	-
DARBE DAYANIMI	+	+		-	-	-	-	-	-	-
MALİYET	+++	+++	+++		+++	++	+++	++	++	+
AŞINMA DİRENCİ	+	+	+	-		-	-	-	-	-
SERTLİK	++	++	++	-	++		++	-	-	-
SICAKLIKTA KARARLILIK	++	++	+	-	+	-		-	-	-
SU EMME DİRENCİ	++	++	+++	-	+	+	+		-	-
KOROZYON DİRENCİ	+++	+++	++	-	+	+	++	+		-
YOĞUNLUK	+++	+++	++	-	++	++	++	+	+	
TOPLAM	17+	18+	14+	0	11+	6+	10+	4+	3+	1+

Tablo 1 incelendiğinde silah parçalarının üretimi için kullanılması düşünülen polimer matrisli kompozit malzemelerden beklenen özelliklerin önem sıralaması en önemliden başlayarak sırasıyla; elastisite modülü, mukavemet, darbe dayanımı, aşınma direnci, sıcaklıkta kararlılık, sertlik, su emme direnci, korozyon direnci,

yoğunluk ve maliyet şeklinde elde edilmiştir. Geleneksel polimer kompozit esaslı tabancaların imalatında cam elyaf ile güçlendirilmiş PA66 malzeme kullanılmaktadır. Tabancada kritik öneme sahip olan ve tabancanın çalışma sistemine bağlı olarak yüksek şiddette tekrarlı darbelere maruz kalan ana gövde parçasında cam elyaf takviye oranı %25 - %30 mertebelerine çıkarılırken, diğer parçalarda ise %15 - %25 aralığında cam elyaf takviyesi yapılmaktadır. Bu bölümde polimer kompozit malzemeler üzerine yapılmış çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Sabancı'nın yaptığı çalışmada, %0 ile %30 aralığında kısa cam elyaf takviyesi içeren PA6 ve yine aynı oran aralığında kısa cam elyaf takviyeli polipropilen matrisli kompozit malzemeler incelenmiştir. Elyaf takviyesinin matrisin mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Elyafın kullanılan enjeksiyon yönünde matris içinde homojen olarak dağıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca üretim yöntemi olarak kullanılan plastik enjeksiyon yönteminin daha seri ve daha düşük maliyetli üretim yapılabilmesine olanak sağladığı belirtilmiştir (Sabancı, 2005).

Cam elyaf ile takviyelendirilmiş PA66 malzeme ile yapılan bir çalışmada, bu kompozit malzemeye %30 hacim oranına kadar cam elyaf takviyesinin malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine olumlu katkı yaptığını fakat bu orandan daha yüksek elyaf katkısının malzemelerin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği ifade edilmiştir (Erbay, 2009).

Cam elyaf takviyeli kauçukla güçlendirilmiş PA66 malzeme ile ilgili yapılmış bir diğer çalışmada, enjeksiyon ve ekstrüzyon yöntemiyle hazırlanan farklı oranlarda (%0 - %40 aralığında) cam elyaf ile takviye edilmiş PA66 matris malzemesinin çekme dayanımı ve tokluğunun artan takviye oranına bağlı olarak lineer bir artış sergilediği tespit edilmiştir. Ayrıca enjeksiyonla kalıplamada çekme dayanımı 85 MPa ve elastisite modülü 7 GPa olarak elde edilirken, ekstrüzyon yönteminde çekme dayanımı 70 MPa ve elastisite modülü 5 GPa bulunmuştur (Sui vd., 2001).

Thomason yaptığı çalışmalarda, enjeksiyon kalıplama tekniğinde elyaf boyunun, çapının ve miktarının PA66 matrisli kompozitin mekanik özelliklerini önemli oranda etkilediğini, ağırlıkça % 35 elyaf oranında azalan elyaf çapı ile birlikte maksimum değerine ulaştığını ifade etmiştir. Yaptığı diğer bir çalışmada, enjeksiyon kalıplamada kullanılan elyaf boylarının artması durumunda elde edilen

kompozit malzemenin elastisite modülünü etkilemediğini belirtmiştir (Thomason, 2008a, 2008b).

Pegoretti ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, cam elyaf takviyeli PA6 kompozit malzemede artan ortam sıcaklığının kesme dayanımı ve elastisite modülünü azalttığını ifade etmişlerdir (Pegoretti vd., 1998). İncelenen çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda gerçekleştirilecek çalışmanın amacı aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

Ülkemizin coğrafi ve stratejik konumu itibari ile savunma sanayisinin gelişimi büyük önem taşımaktadır. Son yıllarda hafif silahlardan beklenen özellikler, gelişen teknoloji ve artan rekabet koşulları ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Dünyada hafif silah endüstrisinde kullanılan malzeme teknolojisinde yaşanan gelişmelerden ülkemizin de faydalanabilmesi ve bu alanda dışa bağımlılığımızın azalması için yurtiçi AR-GE çalışmalarına daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır.

Yukarıdaki literatür incelemelerine de bakıldığında, çalışmalar karbon ve cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme üzerine yoğunlaşmıştır. Takviyeli PC kompozit malzeme üzerine sınırlı sayıda çalışma olup, literatürde bu alanın sistematik bir çalışma ile geliştirilmesi gerektiği düşünülmüştür. Ayrıca geliştirilen 3 kompozit malzemenin birbiriyle aynı şartlarda kıyaslanarak incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Çalışmamızın özgünlük noktası, literatürdeki bu boşluğu gidererek, elde edilen bulguların ülkemiz savunma sanayisine yeni bir bakış açısı kazandıracak olmasıdır.

Ülkemiz savunma sanayisinde silah gövde malzemesi olarak genellikle AA7075-T6 alaşımı ve cam elyaf takviyeli PA66 kompozit malzemesi kullanılmaktadır. Gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında cam elyaf takviyeli PA66 ve PC kompozitlerinin de mekanik ve aşınma özellikleri kıyaslamalı olarak incelenerek, elde edilen bulgular sayesinde, sanayide karbon elyaf takviyeli kompozitlerin yerini alıp alamayacağı değerlendirilecektir. Dolayısıyla, bu çalışmanın amacı, malzeme teknolojisinde yaşanan gelişmelerin ülkemiz savunma sanayisine aktararak, savunma sanayi alanındaki bilgi birikimine katkı sağlamaktır. Bu amaca ulaşabilmek için bir silahtan beklenen özellikleri optimum şekilde karşılayacak polimer esaslı kompozit malzeme çiftlerinin (matris malzeme ve takviye edici malzeme) tespit edilmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda uygunluk testleri ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiş ve deneysel sonuçlar, silahlardan beklenen özellikler kapsamında değerlendirilmiştir.

Bu çalışma ile ülkemiz silah sektöründe hafif silahlar konusundaki bilimsel alt yapının artırılması ile bilimsel yayın sayısına katkıda bulunmak amaçlanmıştır.

Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada, hafif ateşli silahlar grubuna giren tabanca ve tüfek gövde malzemesi olarak kullanılmak üzere poliamid 66 (PA66) ve polikarbonat (PC) matris yapılarına farklı oranlarda cam ve karbon elyaf takviye edilerek Şekil 1’de görülen ARBURG marka enjeksiyon kalıplama yöntemi kullanılarak kompozit malzemeler üretilmiştir. Söz konusu kompozit malzeme üretiminde kullanılan cam ve karbon elyafların boyutsal özellikleri ve takviye yüzde oranları Tablo 2’de verilmiştir.



Şekil 1. Arburg 370S Enjeksiyon Kalıplama Cihazı

Tablo 2. Kompozit Malzeme Üretiminde Kullanılan Matris ve Takviye Malzemeler

Matris Malzemesi	Takviye Malzemesi	Boyut	Takviye Oranı (%)
Poliamid 66 (PA66)	Cam Elyaf	Elyaf Çapı: 10µm Elyaf Boyu: 4,5mm	15
			30
			40
	Karbon Elyaf	Elyaf Çapı: 8µm Elyaf Boyu: 6mm	30
			40
			40
Polikarbonat (PC)	Cam Elyaf	Elyaf Çapı: 10µm Elyaf Boyu: 4mm	15
			25
			30

Üretilen kompozit malzemelerin, hafif silahların gövdelerindeki kullanım performanslarını belirlemek amacıyla laboratuvar ortamında bir takım incelemeler ve mekanik deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu inceleme ve deneylerin başında sertlik ölçümü gelmektedir.

Takviyeli kompozitlerin farklı ortam şartlarındaki sertlik özelliklerini belirlemek amacıyla sertlik ölçümleri ASTM D785-60T standartlarına uygun olarak -40°C, +22°C ve +60°C olmak üzere 3 farklı ortamda gerçekleştirilmiştir. Numunelerin sertlikleri 6 saat süreyle ortam sağlayıcı ile istenilen sıcaklığa getirildikten sonra, sertlik ölçümleri $\pm 3^\circ\text{C}$ 'lik ısınma ve soğuma payı ile birlikte plastik esaslı polimer kompozit malzemelerin sertlik ölçümlerinde kullanılan HRE skalası kullanılarak belirlenmiştir. Farklı sıcaklıklardaki sertlik değişimleri karşılaştırmalı grafikler oluşturularak incelenmiş olup, performansı en yüksek takviyeli kompozit malzeme tespit edilmiştir.

Numunelerin mekanik özellikleri çekme ve darbe deneyi kullanılarak belirlenmiştir. Çekme deneyine tabi tutulmak üzere numuneler ASTM D638-03 standardına uygun şekilde hazırlanmıştır. Instron marka çekme cihazında gerçekleştirilen deneyler neticesinde her bir numunenin akma-çekme dayanımı ve kopma uzaması gibi mekanik özellikleri belirlenerek, karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Numunelerin darbe etkisiyle kırılma davranışlarının (darbe mukavemeti) belirlenmesi amacıyla ise CEAST marka Charpy tipi darbe deney cihazı kullanılmıştır. Deney neticesinde numunelerin kırılma yüzeyleri taramalı elektron mikroskobu (SEM) vasıtasıyla incelenmiştir.

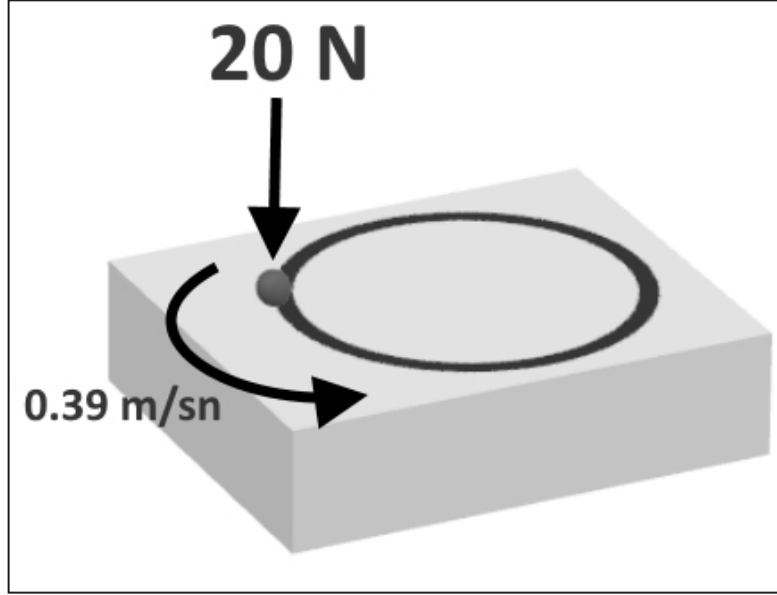
Ülkemiz ve dünya savunma sanayisinde üretilen silahların ıslak ortam şartlarında boyutsal analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla üretilen takviyeli kompozit numunelerin su emme (absorpsiyon) deneyleri gerçekleştirilmiştir. Söz konusu bu deneyde, ASTM D 570-81 standartlarına uygun hazırlanan numunelerin 20 °C’de su içerisinde 24 saat bekletilmesiyle birlikte hacimsel su emme değerleri hesaplanmıştır. Hesaplamalarda aşağıda verilen formül kullanılmıştır.

$$\text{Hacimsel Absorpsiyon (\%)}: [\text{Ağırlıkça absorpsiyon (\%)} / \rho_{\text{su}}] \times \rho_{\text{kompozit}} \quad [1]$$

Üretilen takviyeli kompozitlerin aşınma deneyleri bilye disk esaslı DUCOM marka aşınma deney düzeneği kullanılarak ASTM G99–05 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Aşınma deneylerinde kullanılan parametreler Tablo 3’te verilmiştir. Aşınma deneyi ve iz oluşumunun şematiği Şekil 2’de görülmektedir. Deneyler neticesinde numune yüzeylerinde Şekil 2’de görüldüğü gibi oluşan aşınma izlerinin NANOFOCUS marka optik profilometre ile incelenmesiyle birlikte aşınma hacimleri tespit edilerek, kuru sürtünme şartlarında aşınma performansı en yüksek olan malzeme belirlenmiştir. Ayrıca aşınma izleri optik mikroskop ve SEM ile incelenmesiyle karakterize edilerek numunelerde meydana gelen aşınma mekanizmaları tespit edilmiştir.

Tablo 3. Aşınma Deney Parametreleri

Aşındırıcı Karşı Yüzey	100 Cr6 Bilye
Bilye Çapı	6 mm
Uygulanan Yük	20 N
İz Çapı	25 mm
Çevresel Hız	0,39 m/sn
Çevrem Sayısı	2000
Kayma mesafesi	157 m
Ortam	Atmosfer



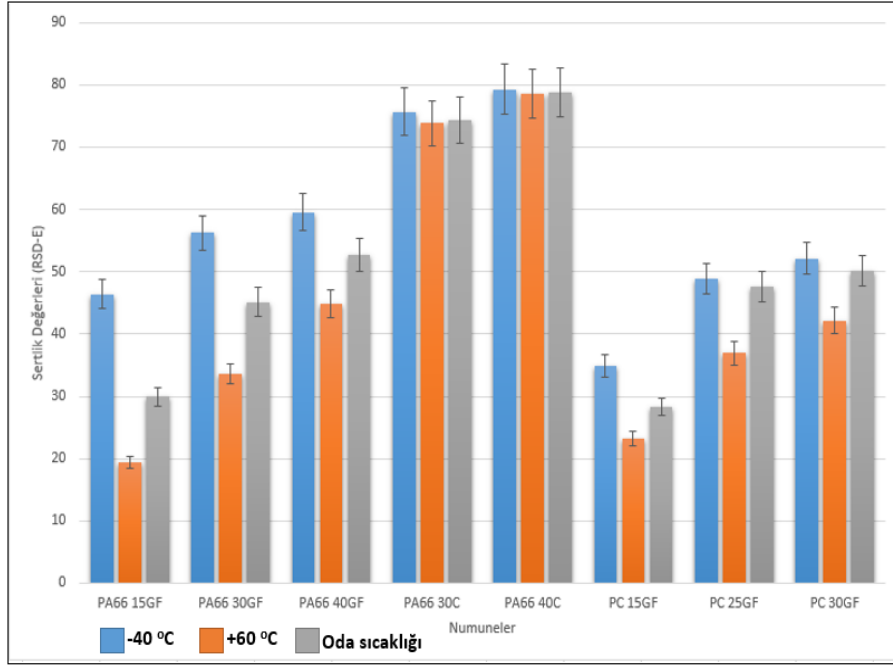
Şekil 2. Aşınma Deneyi ve Aşınma İz Oluşumunun Şematik Görünümü

Bulgular ve Tartışma

1. Sertlik Testi Bulguları

Üretilen polimer kompozit numunelerin oda sıcaklığında gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinde elde edilen değerler Şekil 3'te karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Şekil 3'te de görüldüğü üzere, numuneler arasında %40 oranında karbon elyaf takviyeli PA66 numunesi en yüksek sertliğe sahiptir. Bununla birlikte en düşük sertlik değeri ise PC 15GF (%15 cam elyaf takviye) numunesinde 28,36 RSD-E olarak elde edilmiştir. Ayrıca matris malzemesi gruplarına bakıldığında, takviye oranı arttıkça numune sertliklerinin artış trendine sahip oldukları tespit edilmiştir. Takviye oranının artmasıyla meydana gelen sertlik olduğu sebebi, sıkıştırma kuvvetinin etkisiyle birlikte, termoplastik matris fazı ve takviye edilen elyaf dolgusu birbirine bastırılarak deformasyona karşı dayanımı artırmasıdır. Bu nedenle ara yüzey bağı zayıf olsa da, yükü daha etkili bir şekilde aktarabilmekte ve sertliğin artmasına neden olabilmektedir. Elde edilen söz konusu bu bulgu, literatürdeki çalışmalarla da paralellik göstermektedir (Zhou, 2013). Ayrıca üretilen polimer kompozit numunelerin sertlik değerlerinin sıcaklıkla birlikte değişiminin gözlenmesi

amacıyla -40°C ve $+60^{\circ}\text{C}$ sıcaklıklarda bekletildikten sonra gerçekleştirilen sertlik testlerinde elde edilen değerler Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Numunelerin 3 Farklı Sıcaklıktaki Sertlik Değerleri

Şekil 3'te görüldüğü üzere $+60^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta numunelerin tümünde sertlik değeri düşmüş, -40°C sıcaklıkta ise numunelerin tümünde sertlik değeri artmıştır. Ancak en büyük değişimin PA66 polimer matrisli %15 cam takviyeli kompozit malzemede olduğu tespit edilmiş, bu grup numunelerin sertlik değerlerinin sıcaklık değişiminden belirgin bir şekilde etkilendiği görülmüştür. Sertlik değerlerinin sıcaklık değişiminden en az etkilenen numune grubunun ise karbon elyaf takviyeli PA66 kompozitler olduğu tespit edilmiştir. Bu numune grubunda sıcaklığa bağlı plastik deformasyon dayanımının yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca farklı şartlarda gerçekleştirilen sertlik deneylerinde elde edilen değerlere bakıldığında, 3 farklı şartta da numune gruplarında sertlik artış trendinin aynı olduğu gözlenmiştir.

2. Çekme ve Darbe Testi Bulguları

Bu çalışmada numunelere çekme ve darbe deneyleri uygulanarak mekanik ve fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler Tablo 4'te, bu değerlere ait grafikler Şekil 4a ve 4b ile Şekil 5'te verilmiştir.

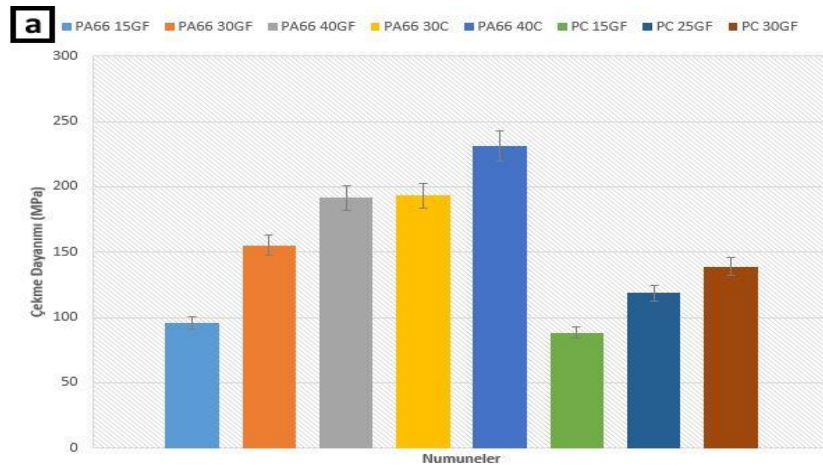
Tablo 4. Numunelerin Bazı Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Numune Adı	Elastisite Modülü (GPa)	Akma Sınırı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması (%)	Darbe Dayanımı (J)
PA66 15GF	7,21	93,1	95,7	2,09	1,02
PA66 30GF	11,27	127,2	155	2,74	2,31
PA66 40GF	14,56	151,2	191,4	2,91	2,71
PA66 30C	17,72	161,4	193,1	2,12	2,59
PA66 40C	24,63	201,1	231,3	1,34	2,91
PC 15GF	4,83	79,5	88,2	2,14	1,80
PC 25GF	6,81	116,3	118,8	2,58	2,15
PC 30GF	8,42	118,5	138,8	2,76	2,41

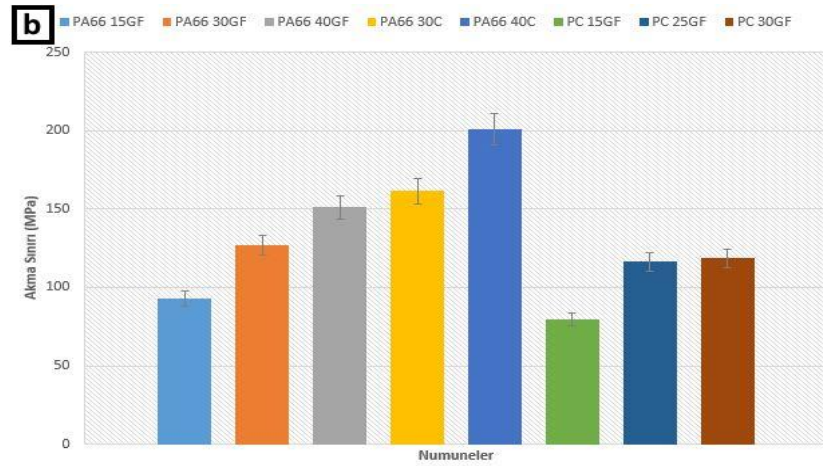
Çekme deneyi sonucuna göre tüm numuneler arasında en yüksek akma sınırı (201 MPa) ve en yüksek çekme mukavemeti (231 MPa) %40 karbon elyaf takviyeli PA66 polimer kompozit malzemede elde edilmiştir. Numunelerin kopma uzaması değerleri incelendiğinde ise mukavemet değerleri yüksek olan karbon elyaf takviyeli numunelerin uzama değerlerinin oldukça düşük değerlerde olduğu görülmektedir. En düşük kopma uzamasına sahip numune, en yüksek mukavemet değerine sahip olan %40 karbon elyaf takviyeli PA66 numunenin olduğu tespit edilmiştir. Tokluk değerleri incelendiğinde ise en yüksek tokluk değerinin aynı zamanda en yüksek mukavemet değerine sahip olan %40 karbon elyaf takviyelendirilmiş PA66 malzemede olduğu belirlenmiştir.

Şekil 4'te numunelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen mukavemet değerleri görülmektedir. Çekme mukavemeti değerleri incelendiğinde, aynı türdeki kompozit malzemelerin kendi içlerinde artan takviye oranına göre mukavemet değerlerinin de artmakta olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise polimer matrise takviye edilen cam ve karbon elyafların matris yapısıyla güçlü bir bağ oluşturarak

fiberlerin yani elyafların yük çekme (yükü paylaşma) kapasitelerinin artmasıdır. Dolayısıyla söz konusu bu durum mukavemetin artmasına neden olmaktadır (Lingesh vd., 2014). Yapılan bir çalışmada, PA66 malzemenin çekme dayanımlarının ve rijitliğinin artan cam elyaf takviyesi ile lineer olarak arttığı tespit edilmiştir (Sui vd., 2001). Başka bir çalışmada, polimer kompozit malzemelerin maksimum gerilme, çekme uzama ve elastik modülü gibi mekanik özelliklerinin, artan cam elyaf takviyesi ile iyileştiği görülmüştür (Çakır ve Berberoğlu, 2018).



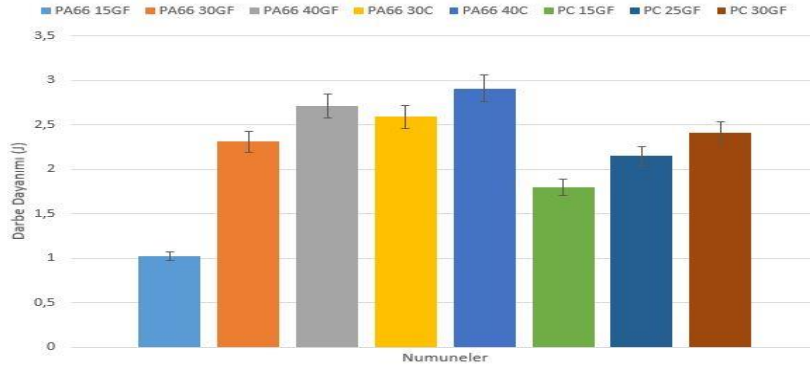
Şekil 4. (a) Numunelerin Çekme Mukavemeti Değerleri



Şekil 4. (b) Numunelerin Akma Sınırı Değerleri

Şekil 5'te numunelere uygulanan darbe deneyinin sonuçları verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, aynı türdeki kompozit malzemelerin kendi içlerinde artan takviye oranına göre darbe dayanımlarının da arttığı görülmektedir. En yüksek darbe dayanımına (2,91 J) sahip kompozit malzemenin %40 karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada yapılan darbe deney sonuçlarını destekler nitelikte olan bir başka çalışmada da cam elyaf takviyeli polimer kompozit malzemelerin elyaf oranındaki artış ile birlikte darbe dayanımı özelliklerinin de yükseldiği tespit edilmiştir (Çakır ve Berberoğlu, 2018).



Şekil 5. Numunelerin Darbe Dayanımları

3. Su Emme Deneyi Bulguları

Su emme deneyi sonucunda hesaplanan % su emme değerleri ağırlık ve hacim olarak iki türde Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Numunelerin Su Emme (Absorpsiyon) Değerleri

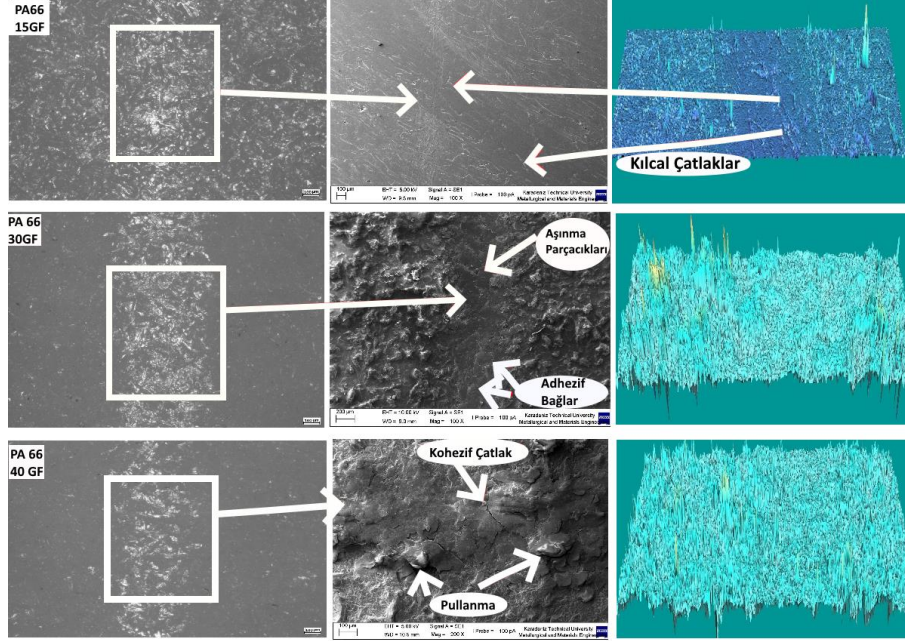
Numune	PA66 15GF	PA66 30GF	PA66 40GF	PA66 30C	PA66 40C	PC 15GF	PC 25GF	PC 30GF
Su Emme (24s,20°C) % ağırlık	1,308	1,294	1,287	1,31	1,305	0,104	0,098	0,092
Su Emme (24s,20°C) % hacim	1,635	1,773	1,943	1,677	1,736	0,135	0,134	0,132

Su emme deney sonuçlarına göre PA66 matrisli kompozit malzemenin, su emme oranları ağırlık ve hacimsel olarak PC matrisli kompozit malzemelere oranla daha yüksektir. Bu davranış, takviye elyaflar ile su emilimi için mikro kanallar sağlayan PA66 matrisinin ara yüzleri ile ilişkilidir. Şöyle ki, su emilimi esas olarak PA66 matris ile takviye elyaflar arasındaki ara yüzlerdeki mikro kanallar tarafından desteklenmektedir (Kim vd., 2014). Ayrıca PA66 matrisinde takviye oranının artmasıyla su emme özelliğindeki kötüleşme söz konusu mikro kanallar kaynaklıdır. Ayrıca literatürdeki çalışmalarda, su emilimi ile bozulmanın, kusurlu ara yüzler arasındaki bağlanma nedeniyle polimer takviye ara yüzü kompozitler arasında yaygın olduğu ileri sürülmüştür (Tsenoglou vd., 2006).

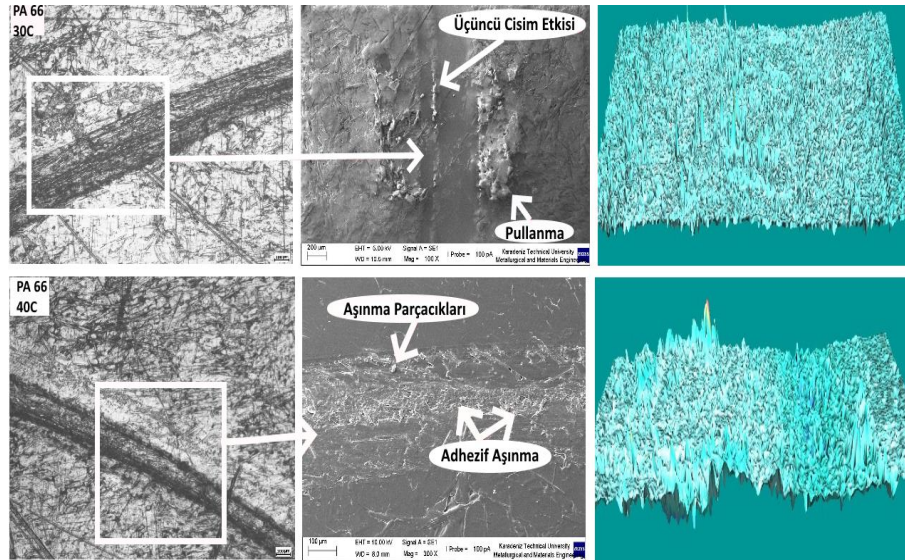
PC matrisli malzemelerin su emme oranlarının meydana getirdikleri hacimsel değişimlerin PA66 matrisli kompozit malzemeye oranla oldukça düşük olması bu matris malzemesiyle üretilen kompozit ekipmanların nemli ortamlardaki boyutsal kararlılıklarının daha yüksek olacağını göstermektedir. Buna karşılık, emilen su miktarına bağlı olarak kompozit malzemenin kalınlığında meydana gelecek hacimsel değişimin (%0,13 - %1,94), parça kalınlıklarının birkaç mm olduğu düşünüldüğünde, parçalarda oluşacak hacimsel değişimin ortalama 0,015 mm mertebelerinde olacağı hesaplanmaktadır. Bu parçaların imalat işleminde kullanılan imalat toleranslarının ($\pm 0,05$ mm) altında kaldığını göstermektedir. Bu nedenlerle, oluşacak olan su emme etkisinin ihmal edilebilir mertebelerde olduğu tespit edilmiştir.

4. Aşınma Deneyi Bulguları

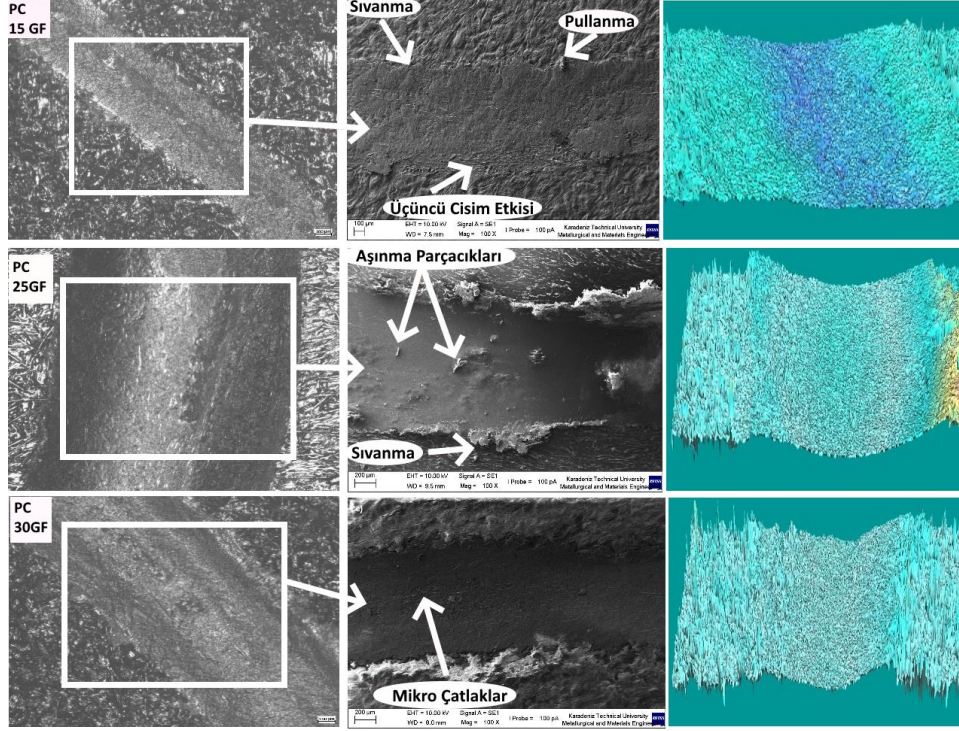
Numunelere uygulanan aşınma deneyleri neticesinde meydana gelen aşınma izleri optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu ve optik profilometre kullanılarak karakterize edilmiştir. Ayrıca aşınma derinliklerinin optik profilometre ile incelenmesiyle birlikte numunelerin aşınma hacimleri belirlenmiştir. Söz konusu görüntüler Şekil 6, 7 ve 8'de verilmiştir.



Şekil 6. Cam Elyaf Takviyeli PA66 Numunelerin Aşınma İzlerinin Optik-Taramalı Mikroskop ve Optik Profilometre Görüntüleri



Şekil 7. Karbon Elyaf Takviyeli PA66 Numunelerin Aşınma İzlerinin Optik-Taramalı Mikroskop ve Optik Profilometre Görüntüleri



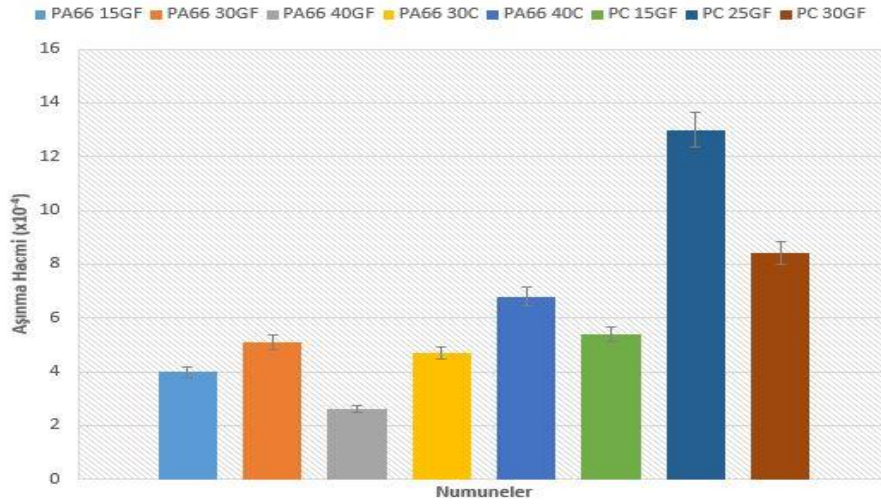
Şekil 8. Cam Elyaf Takviyeli PC Numunelerin Aşınma İzlerinin Optik-Taramalı Mikroskop Ve Optik Profilometre Görüntüleri

Şekillerde de görüldüğü üzere tüm numunelerde genel olarak baskın aşınma mekanizmasının adhezif aşınma olduğu belirlenmiştir. Ayrıca aşındırıcı yüzey ile takviyeli matris arasında oluşan adhezif bağların, deney ilerledikçe koptuğu ve yüksek şekil değiştirme ve yük taşıma kabiliyetleri nedeniyle tekrar matris yüzeyine sıvandığı tespit edilmiştir. 20 N yük altında matris yüzeyinden kılcak çatlaklar şeklinde kopan takviye elemanları, aşındırıcı yüzeyin baskısıyla birlikte tekrar matris yüzeyine sıvanarak kendinden yağlayıcı bir film gibi davranmaktadır (Friedrich, 1986; Burris, 2007). Bundan dolayı da yüzeyde meydana gelen aşınma oldukça düşük mertebededir. Bununla birlikte PA66 30C numunesinde söz konusu kopan adhezif bağ parçacıkları matris yüzeyinde üçüncü cisim etkisine neden olarak abrazyif çiziklere neden olmuştur.

PC matrisli kompozitlerde ise aşınma mekanizmasının aynı olmasıyla birlikte matrisin plastik deformasyona olan dayanımı daha düşük olduğu için sıvama etkisi

aşınma izinin kenarlarında pullanma şeklinde kendini göstermiştir. Bu nedenden dolayı aşınma izi derinliği ve dolayısıyla aşınma dayanımı PA66 matrisine göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Şekil 9'da verilen aşınma hacim değerlerine bakıldığında, PA66 matrislerinin aşınma dayanımlarının PC matrisli aynı takviye oranlarındaki numunelere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli PA66 numunelerinde Şekil 6 ve 7'de görüleceği üzere aşınma yollarının çok derin olmayıp sadece bir aşınma izi şeklinde oluştuğu, özellikle de karbon elyaf takviyeli PA66 numunelerde aşınma yollarının çok derin olmayan çizgisel bir hat şeklinde oluşmuş olduğu görülmektedir. Cam elyaf takviyeli PC malzemelerde ise aşınma yollarının cam elyaf ve karbon elyaf takviyeli PA66 numunelere göre çok daha belirgin oluştuğu gözlemlenmektedir.



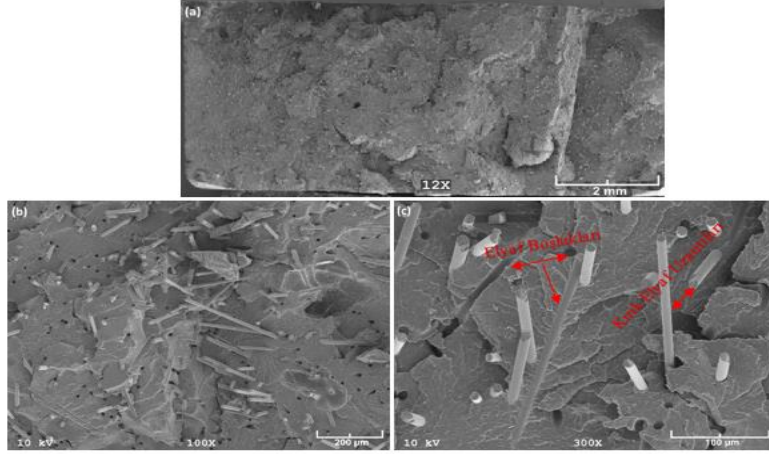
Şekil 9. Numunelerin Aşınma Hacimleri

5. Kırık Yüzeylerin SEM İncelemesi

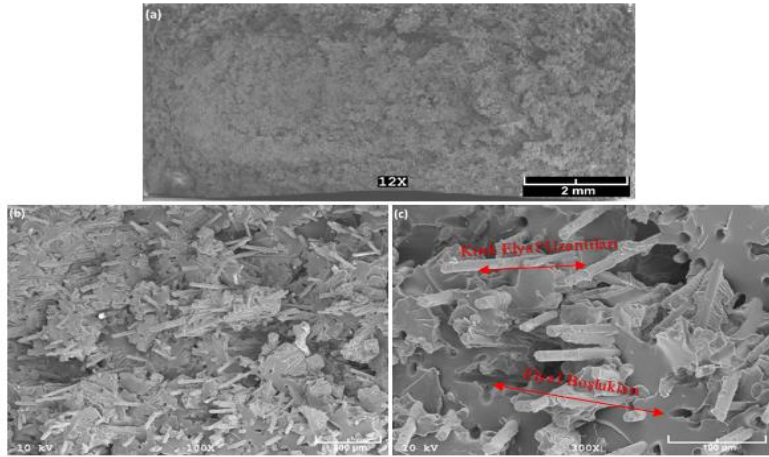
Bu çalışmada charpy darbe deneyine tabi tutulan numunelerin kırılma yüzeylerinin ve elyafların dağılımlarının incelenmesi amacıyla SEM görüntüleri Şekil 10, 11 ve 12'de verilmiştir.

Kırılma yüzeylerine ait SEM görüntüleri incelendiğinde takviye elyafların matris yapı içerisinde farklı yönlerde gelişmiş güzel dağılımı olarak, matris yapının özellikleri yönünden bağımsız olmasını sağlayacak şekilde buldukları tespit

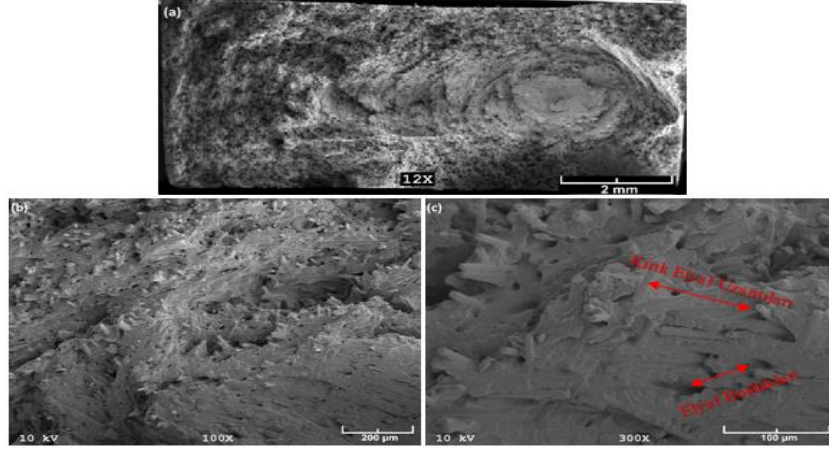
edilmiştir. Ayrıca SEM görüntülerinde elyaf yoğunluklarının takviye oranlarını kanıtlayacak biçimde, takviye oranı arttıkça elyaf yoğunluklarının da artma eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 10. %15 Cam Elyaf Takviyeli PA66 Numunesine Ait SEM Görüntüsü



Şekil 11. %30 Cam Elyaf Takviyeli PC Numunesine Ait SEM Görüntüsü



Şekil 12. %40 Karbon Elyaf Takviyeli PA66 Numunesine Ait SEM Görüntüsü

Darbe deney numunelerinin kırık yüzeylerinden görüldüğü üzere elyaf malzemelerinin yapısal bir fark oluşturmadığı ve numunelerin tümünün kırılma davranışlarının birbirlerine benzer yapıda olduğu genel olarak gevrek karakterde kırıldıkları tespit edilmiştir. Elyafların numunelerin kırılma yüzeylerinden koparak ayrılma ve sıyrılma şeklinde olmak üzere 2 tip ayrılmanın olduğu görülmektedir.

Numunelerin incelenen SEM görüntülerinden matris yapılarından ayrılan elyafların önemli miktarda plastik deformasyon oluşturmadan ayrılma ile kırılma yüzeylerini oluşturduğu görülmektedir. Elyafların darbe etkisiyle matris yapı içerisinde sıyrılarak çıkmış durumdaki uzantılarında görülen matris yapı kalıntıları elyaf-matris bağının etkin olarak gerçekleşmiş olduğunu tam olarak göstermektedir. Kırık yüzeylerde görülen derin elyaf boşlukları ve kırık elyaf uzantıları (ölçülen en uzun elyaf uzantısı yaklaşık 200 µm'dir) matris yapının uygulanan yükü elyaflara etkin şekilde aktarmakta olduğunu kanıtlamaktadır. Görüntülerde matris malzemesinin oluşturmuş olduğu yapısal bir fark belirlenmemiştir. Artan takviye oranları ise kırılma şeklinin daha gevrek karakterde oluşmasını sağlamıştır.

Sonuçlar

Bu çalışmada, enjeksiyon kalıplama yöntemiyle üretilmiş cam ve karbon elyaf takviyeli PA66 ve PC kompozit malzemeler için mekanik deneyler ve incelemeler yapılarak sonuçlar aşağıda verilmiştir.

1. Çalışma kapsamında yapılan mekanik deneyler, polimer kompozit malzemelerde elyaf takviyesi artışının, kompozit malzemenin mukavemet değerlerini ve sertliklerini lineer bir şekilde arttırdığını göstermiştir. Ayrıca kompozit malzemeler içerisinde sertlik değerleri sıcaklıktan en az etkilenen numunelerin, karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme olduğu belirlenmiştir.

2. Kompozit malzemelerin darbe dayanımları artan elyaf takviyesiyle doğru orantılı olarak artmaktadır. En yüksek darbe dayanımının %40 karbon elyaf takviyeli PA66 kompozit malzeme olduğu tespit edilmiştir.

3. PA66 kompozit malzemelerin aşınma dirençleri genel olarak PC kompozit malzemelere oranla daha yüksektir. Buna karşılık en düşük su emme değeri PC matrisli kompozit malzemelerde tespit edilmiştir.

4. Hafif silah imalatında gövde malzemesi olarak kullanılacak en uygun malzeme %40 oranında karbon elyaf ile takviye edilmiş olan PA66 malzemedir.

5. Geliştirilen karbon %40 karbon elyaf takviyeli PA66, piyasada silah gövde malzemesi olarak yaygın bir şekilde kullanılan cam elyaf takviyeli PA66'dan daha yüksek mekanik ve aşınma özellikleri sergilemiştir.

6. Geliştirilen tüm cam ve karbon elyaf kompozitlerin aşınma performansı, hali hazırda savunma sanayisinde silah gövde malzemesi olarak kullanılan AA7075-T6 alaşımından daha yüksektir.

7. Geliştirilen kompozit malzemelerin, hali hazırda kullanılan silah gövde malzemelerinin yerini alması konusunda, sanayide üretim gerçekleştiren firmalara yeni bir bakış açısı katacağı öngörülmektedir.

Extended Summary

Introduction

The development of the defense industry is a great importance due to the geographical and strategic location of our country. It is essential to renew the weapons to be used both in ensuring domestic security and in ensuring country security against external threats, depending on the developing technology. Accordingly, developments in material technology, such as the use of composite materials, must be constantly adapted to the defense industry. The increase in the properties expected from light weapons in the last years in direct proportion with the developing technology and increasing competition conditions reveals that the gun

shooting lives reach higher figures in domestic and international arms purchase specifications. In order for our country to benefit from the developments in material technology used in the light arms industry in the world and to decrease our foreign dependency in this field, domestic R&D studies are needed more.

The aim of this study is to transfer the developments in material technology to the defense industry of our country and contribute to the knowledge of the defense industry. To achieve this goal, it is aimed to identify polymer-based composite material pairs (matrix material and reinforcing material) that will optimally meet the characteristics expected from a weapon. In this context, conformity tests and mechanical experiments were carried out and the experimental results were evaluated within the scope of the features expected from the weapons.

Experimental Study

In this study, physical, mechanical and tribological properties of PA66 and PC composites reinforced with glass fiber and carbon fiber by using injection method between 15% and 40% have been investigated in order to select proper material for light weapons. Composite material samples were examined physical, mechanical and tribological and analyzed in terms of the properties sought in a weapon material. The prepared samples were examined in terms of elasticity, strength, impact resistance, wear resistance, stability at temperature, hardness, water absorption resistance, corrosion resistance, density and cost.

In order to determine the hardness properties of reinforced composites in different environmental conditions, hardness measurements were carried out in 3 different environments as $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $+22\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ in accordance with ASTM D785-60T standards. After the hardness of the samples were brought to the desired temperature with the media provider given in Figure 2 for 6 hours, the hardness measurements were determined using the HRE scale together with the heating and cooling share of $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Hardness changes at different temperatures were examined by creating comparative graphics and the highest reinforced composite material was determined.

Mechanical properties of samples were determined by using tensile and impact tests. Samples were prepared in accordance with ASTM D638-03 standard for tensile testing. As a result of the experiments carried out on the Instron brand tensile device, the mechanical properties of each sample such as yield-tensile

strength and tensile elongation were determined and examined comparatively. In order to determine the breaking behaviors (impact strength) of the samples under the impact of impact, the CEAST Charpy type impact test device was used. As a result of the experiment, the fracture surfaces of the samples were examined by Scanning Electron Microscope (SEM).

Water absorption tests of reinforced composite samples produced in order to carry out dimensional analysis of weapons produced in our country and world defense industry in wet environment conditions were carried out. In this experiment, volumetric water absorption values were calculated by keeping the samples prepared in accordance with ASTM D 570-81 standards in water at 20 °C for 24 hours.

The abrasion tests of the reinforced composites produced were carried out using a ball disc based DUCOM brand abrasion test apparatus. The parameters used in the wear tests are given in Table 3. The schematic of the wear test and scar formation is shown in Figure 2. As a result of the experiments, as seen on the sample surfaces, the wear traces were determined with the NANOFOCUS brand optical profilometer and the most abrasion performance material was determined in dry friction conditions. In addition, abrasion mechanisms occurring in the samples have been identified by characterizing the traces of wear with an optical microscope and SEM.

Findings and Discussion

Hardness Test Findings

According to the hardness measurement result, 40% carbon fiber reinforced PA66 sample has the highest hardness among the samples. However, the lowest hardness value was obtained as 28.36 RSD-E in PC 15GF (15% glass fiber reinforcement) sample. Also, when looking at the matrix material groups, it was determined that the sample stiffness had an increasing trend as the rate of reinforcement increased. The sample group with the lowest hardness change with varying temperature is carbon fiber reinforced PA66 composites. In this sample group, it is determined that the resistance to plastic deformation is high.

Mechanical Tests Findings

According to the tensile test results, it was determined that the highest yield limit (201 MPa) and highest tensile strength (231 MPa) were obtained in 40% carbon

fiber reinforced PA66 polymer composite material. When the elongation values of the samples are analyzed, it can be seen that the elongation values of the carbon fiber reinforced samples with high strength values are quite low. It has been determined that the sample with the lowest tensile elongation, PA66 sample with the highest strength is 40% carbon fiber reinforced. When the toughness values were examined, it was determined that the highest toughness value was also formed in 40% carbon fiber reinforced PA66 material, which has the highest strength value.

Water Absorption Test Findings

Water absorption rates of PA66 matrix composite material are higher in weight and volume compared to composite materials with PC matrix. The volumetric changes caused by the water absorption rates of PC matrix materials compared to the composite material with PA66 matrix show that the composite equipment produced with this matrix material will have higher dimensional stability in humid environments. In contrast, depending on the amount of water absorbed, it is calculated that the volume change (0.13% - 1.94%) that will occur in the thickness of the composite material will be in the range of an average of 0.015 mm in the parts. It is understood that these parts will remain below the manufacturing tolerances (± 0.05 mm) used in the manufacturing process. For these reasons, it has been determined that the water absorption effect will be negligible.

Wear Test Findings

The abrasion test results showed us that the dominant abrasion mechanism in general was adhesive wear in all samples. In addition, it has been found that the adhesive bonds formed between the abrasive surface and the reinforced matrix are broken as the experiment progresses and are again plastered on the matrix surface due to their high deformation and load carrying capabilities.

Composers with PC matrix, on the other hand, have the same wear mechanism and flaking effect on the edges of the wear mark as the matrix has less resistance to plastic deformation. For this reason, it is determined that the depth of abrasion and therefore abrasion resistance is lower than the PA66 matrix. Confirming this result, it is seen that the abrasion paths are not very deep in glass fiber and carbon fiber reinforced PA66 samples, but only in the form of a wear trace, especially in carbon fiber reinforced PA66 samples, the abrasion paths are formed as a not too deep linear

line. In glass fiber reinforced PC materials, it is observed that the abrasion paths are much more evident than glass fiber and carbon fiber reinforced PA66 samples.

SEM Analysis

When the SEM images of the fracture surfaces were examined, it was determined that the reinforced fibers were found in different ways in the matrix structure and they were found to be independent of the properties of the matrix structure. In addition, it is observed in the SEM images that the fiber densities increase as the reinforcement rate increases, which prove the reinforcement rates of the fiber densities.

As seen from the broken surfaces of the impact test samples, it was determined that the fiber materials did not make a structural difference and the breaking behaviors of all the samples were similar and were generally crunchy. It is seen that there are two types of separation as the separation and stripping of the fibers by breaking from the breaking surfaces of the samples.

It is seen that the fibers separated from the matrix structures from the SEM images of the samples analyzed from the fracture surfaces by separation without creating a significant amount of plastic deformation. The matrix structure residues seen in the extensions of the fibers, which have been stripped out of the matrix structure show that the fiber-matrix bond has been effectively realized. Deep fiber voids and broken fiber extensions on broken surfaces prove that the matrix structure effectively transfers the applied load to the fibers.

Results

Mechanical experiments conducted within the scope of the study showed that the increase of fiber reinforcement in polymer composite materials linearly increased the strength values and hardness of the composite material. In addition, it has been determined that the samples whose hardness values are the least affected by the composite materials are carbon fiber reinforced PA66 composite materials. The impact strength of composite materials increases in direct proportion with increasing fiber reinforcement. The highest impact resistance was determined in 40% carbon fiber reinforced PA66 composite material. The abrasion resistance of PA66 composite materials is generally higher than PC composite materials. In contrast, the lowest water absorption value was determined in PC matrix composite materials.

The most suitable material that can be used as a body material in light arms manufacturing is PA66 material, which is reinforced with 40% carbon fiber.

Kaynakça

Kitaplar

- Arıcasoy, O., (2006). “Kompozit Sektör Raporu”, İstanbul Ticaret Odası, 4-22.
Yaşar H., (2001). *Plastikler Dünyası*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Ankara.

Makaleler

- Burris, D.L, Boesl, B, Bourne, G.R., Sawyer, W.G. (2007). Polymeric nanocomposites for tribological applications. *Macromol Mater Eng.*, 292, 387–402.
- Çakır, M., Berberoğlu, B. (2018). E-Cam Elyaf Takviyeli Epoksi Matrisli Kompozit Malzemelerin Elyaf Oranındaki Artış İle Mekanik Özelliklerindeki Değişimlerin İncelenmesi. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5 (3), 734-740.
- Eryıldız, E., Eker, A. (2015). Savunma Sanayinde Kullanılan İleri Kompozit Malzemeler ve Uygulama Alanları. *International Journal of Engineering Research and Development*, 7 (4), 8-12.
- Friedrich, K. (1986). Wear of Reinforced Polymers by Different Abrasive Counterparts. *Composite Materials Series*, 1, 233-287.
- Kim, J. W., Jang, H., Kim, J. W. (2014). Friction and Wear of Monolithic and Glass-Fiber Reinforced PA66 in Humid Conditions. *Wear*, 309, 82-88.
- Lingesh, B. V., Rudresh, B. M., Ravikumar, B. N. (2014). Effect of Short Glass Fibers on Mechanical Properties of Poyamide66 and Polypropylene (PA/PP) Thermoplastic Blend Composites. *Procedia Materials Science*, 5, 1231-1240.
- Pegoretti, A., Fidanza, M., Migliaresi, C. ve Di Benedetto, T. (1998). Toughness of the fiber/matrix interface in nylon-6/glass fiber composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 29 (3), 283-291.
- Sui, G., Wong, S. ve Yue, C. (2001). Effect of extrusion compounding on the mechanical properties of rubber-toughened polymers containing short glass fibers. *Journal of Materials Processing Technology*, 113 (1-3), 167-171.
- Thomason, J.L. (2008a). The influence of fibre length, diameter and concentration on the strength and strain to failure of glass fibre-reinforced polyamide 6.6.

Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 39 (10), 1618-1624.

Thomason, J.L. (2008b). The influence of fibre length, diameter and concentration on the modulus of glass fibre-reinforced polyamide 6.6. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39 (11), 1732-1738.

Tsenoglou, J. C., Pavlidou, S., Papaspyrides, C. D. (2006). Evaluation of Interfacial Relaxation Due to Water Absorption in Fiber-Polymer Composites. *Composites Science and Technology*, 66, 2855-2864.

Zhou, S., Zhang, Q., Wu, Chaoqun, Juang, J. (2013). Effect of carbon fiber reinforcement on the mechanical and tribological properties of polyamide6/polyphenylene sulfide composites, *Materials and Design*, 44, 493-499.

Tezler ve Standartlar

ASTM D638, (2003). *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics*, ASTM International, United States.

ASTM D256, (2004). *Method B, Standart Test for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics*, ASTM International, United State.

Aksulu, M. (2007). *Polimerlerin Aşınmasında Karşı Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Erbay, K. (2009). *Silah Gövdeleri İçin Polimer Esaslı Kompozit Malzeme Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Karlı, M. (2016). *Hafif Silahlar İçin Polimer Kompozit Malzeme Seçimi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Rutci, A. T. (2019). *Hafif Silahlarda Kullanılan Namlu Malzemesinin Geliştirilmesi ve İşleme Parametrelerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 75.

Sabancı, Ş. (2005). *Fiber Takviyeli Polimer Matrisli Kompozitlerin Enjeksiyon Yöntemi ile Üretim.*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Elektronik Kaynaklar

<http://girsan.com.tr/> 12.01.2016.