



Investigation of wear properties of quartz filled polyester composites

Ergun Ateş*

Department of Mechanical Engineering, Balıkesir University, Altıeylül, Balıkesir, 10050, Turkey

Highlights:

- Experimental research of wear in polyester resin and quartz based composites.
- Identification of weight losses and wear resistance under the effect of different load and time parameters in wear.
- Review of optical microscope and SEM images taken from the surfaces of composites.

Keywords:

- Wear test
- Wear resistance
- Friction coefficient
- Polymer matrix
- Kompozitler

Article Info:

Research Article
Received: 18.05.2020
Accepted: 07.01.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.738671

Correspondence:

Author: Ergun Ateş
e-mail:
ergunates@gmail.com
phone: +90 266 612 1194

Graphical/Tabular Abstract

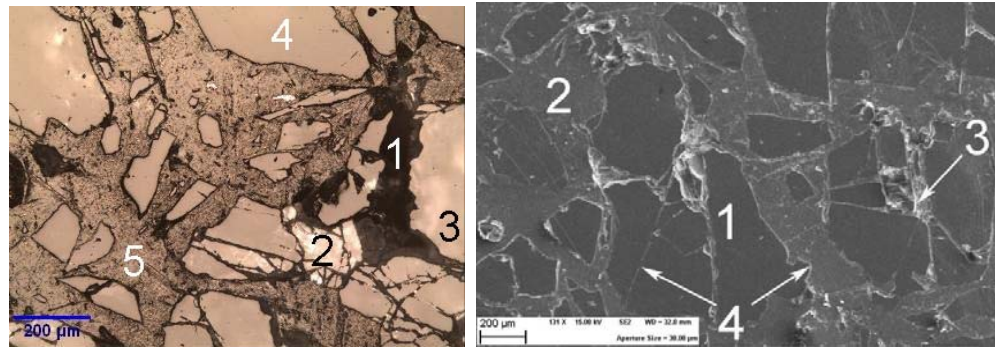


Figure A. Internal structure images of B type composite taken with optical microscope and SEM

Purpose: Following the identification of weight loss values in wear of composites produced with quartz filling and polyester resin in an experimental study, wear resistance of composites was calculated and wear mechanism of composites was examined in this type of load effects.

Theory and Methods:

In this study, a wear machine was used with the principle of an abrasive paper (80 number SiO₂) attached to the plate, which has an adjustable stroke (74 mm) and is able to carry out linear reciprocating motion, applying pressure on composite surface with different loads (10, 20, 30 N) and abrading the composite. Wear times are 10, 20, 30, 40, 50 and 60 minutes. The disk that drives the linear motion in the study rotates in 157 cycles/minute. 148 mm linear distance is made as double stroke in each cycle of the disk on the composite. Weights of the abraded composites were measured with a scale that has 1x10⁻⁴ g sensitivity. A 0.02 mm sensitive caliper was used for the dimensional measurements of composites. For the vibrations applied in the production of composites, desk type vibrator shook the plate in 600 cycles/minute. A 250 °C oven was used for dehumidification processes. In this study, a total of nine samples were produced with three types of composition including a standard granulometric curve composition (B), and a lower area (LA) and upper area (CH) outside these curves.

Results:

Weight losses increased with the increasing load and time. According to the weight loss values of three types of composites produced following the wear experiments, composite type B had the lowest loss of weight and greatest wear resistance. These results show that granulometric curves can be used to produce composites with a good structure. In the reviews made on optical microscope and SEM images which taken from the surfaces of composites, it was seen that matrix structure and filling materials grain distribution of composites confirmed the % values of standard granulometry distribution curves. Methods of applied in the study can be accepted right for the composites to be produced in a suitable structural distribution. In the correlation study performed for composite type B, the fact that R² value is close to 1 shows that data is reliable. No gap was formed between the matrix structure and filling materials.

Conclusion:

Weight loss value range of composite defined as type B was 0.0254-0.1949 g for different loads and times. Wear resistance value range was calculated as 1.4153-4.4334 Nm/m³. Density, static friction coefficient and dynamic friction coefficient of composite B were 1946.1348 kg/m³, 0,783 and 0,728, respectively. It was seen that gap free and wear resistant composites can be produced based on the granulometry distribution.



Kuvars dolgulu polyester kompozitlerin aşınma özelliklerinin araştırılması

Ergun Ateş*^{ID}

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 10050, Altteylül, Balıkesir, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Polyester reçine ve kuvars esaslı kompozitlerin aşınma olayının deneysel araştırılması
- Aşınma olayında farklı yük ve zaman parametreleri etkisinde ağırlık kaybı ve aşınma direncinin belirlenmesi
- Kompozit yüzeylerinden alınan optik mikroskop ve SEM görüntülerinin incelenmesi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi
Geliş: 18.05.2020
Kabul: 07.01.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.738671

Anahtar Kelimeler:

Aşınma deneyi,
aşınma direnci,
sürtünme katsayısı,
polimer matris,
kompozitler

ÖZ

Kuvars dolgu malzemeli polyester kompozitlerin aşınma olayında ağırlık kaybı ve aşınma direnci incelenmiştir. Aşınma makinesinde numuneye uygulanan yük sistemi, numunenin yüzeyine yatay olarak baskı yapan bir çelik plakada bağlı bir aşındırıcının doğrusal gidip gelme hareketi yaparak, kompozit yüzeyine sürtünmesiyle çalışır. Çalışma yükleri 10, 20 ve 30 N'dur. Uygulanan süreler 10, 20, 30, 40, 50 ve 60 dakika'dır. Deneysel sonuçlarda artan yük ve süre ile ağırlık kayıplarının arttığı belirlenmiştir. Kompozit tiplerinden B, düşük ağırlık kaybı ve büyük aşınma direncine sahip olmuştur. B kompozit tipi için ağırlık kaybı ve aşınma direnci en büyük değerleri sırasıyla 0,1949 g ve 4,4334 Nm/m³ olmuştur.

Investigation of wear properties of quartz filled polyester composites

H I G H L I G H T S

- Experimental research of wear in polyester resin and quartz based composites
- Identification of weight losses and wear resistance under the effect of different load and time parameters in wear
- Review of optical microscope and SEM images taken from the surfaces of composites

Article Info

Research Article
Received: 18.05.2020
Accepted: 07.01.2021

DOI:

10.17341/gazimmfd.738671

Keywords:

Wear test,
wear resistance,
friction coefficient,
polymer matrix,
composites

ABSTRACT

Weight loss and wear resistance were examined in the wear of polyester composites with quartz filling. In the load system applied to the sample in wear machine, an abrasive attached to a steel plate that applies axial pressure on the surface of sample carries out a linear reciprocating motion and rubs on the composite surface. Working loads are 10, 20 and 30 N. Application times are 10, 20, 30, 40, 50 and 60 minutes. At the end of test, it was seen that weight losses increased with the increasing load and time. Composite type B had a low weight loss and great wear resistance. For composite B, max weight loss and abrasion resistance values were 0,1949 g and 4,4334 Nm/m³, respectively.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Aşınma deneyleri birlikte çalışan makine elemanlarının işlevlerini yerine getirebilmeleri için, temas noktalarındaki mekanik özelliklerin açıklanmasını sağlar. Makine yapımında kullanılacak kompozit yapı elemanlarının temas halinde yük etkileri dikkate alınarak konstrüksiyona karar verilebilir. Bu çalışmada, tezgah gövde yapı malzemesi olarak geleneksel yapı malzemeleri yerine kullanılacak kompozitlerin, aşınma deneyleri kapsamında bir literatür araştırması hedeflenmiştir.

Bir çalışmada kompozit malzeme bileşenleri poliamid (PA), kısa cam elyaf, politetrafloroetilen (PTFE), bakır ve bronz metal tozlarıdır. Kompozitler çeşitli yükler altında silikon karbür esaslı (SiC) aşındırıcı kağıt temasıdır. Gerilme mukavemeti, % uzama, eğilme mukavemeti, sertlik ve darbe mukavemeti özellikleri laboratuvar koşullarında incelenmiştir [1]. Kompozit üretimi için, matris malzemesi epoksi reçine (EP) ve dolgu malzemesi olarak sisal kenevirini kullanılan bir çalışmada, sisal kenevirinin üç yönlü yerleşiminde (paralel, yatay, dikey) ve farklı yükler etkisinde aşınma özellikleri incelenmiştir. Aşındırıcı yük ve hareket yönü dikkate alındığında, dikey yerleşim yönlü kompozitlerden düşük aşınma değerleri alınmıştır. Kayma doğrultusunda artan yük ile kompozitlerin aşınma hacimlerinin de arttığı belirlenmiştir [2]. Grafit dolgu ve dolgunsuz E-cam-epoksi kompozitlerin tribolojik davranışını açıklamak için aşınma ve sürtünme özellikleri incelenmiştir [3]. Kısa cam elyaf takviyeli poliüretan kompozitlerin aşınma davranışları incelenmiştir. Deney sistemi, kauçuk ve döner çelik bir tekere sarılı kompozit numuneler arasındaki aşındırıcı parçacıkların sürtünmesi şeklindedir. Deney parametreleri olarak yük 22 ve 32 N, aşınma yolu 150, 300, 450 ve 600 m olarak uygulanmıştır. Cam elyaf içeriğindeki artış ile gerilme dayanımı artmıştır. Numunelerin yoğunluk ve sertlik değerleri sırasıyla 1,26-1,50 g/cm³ ve 41-50 shore-D olarak belirlenmiştir [4]. Polistiren (PS) esaslı ve SiO₂ kuvars dolgu malzemeli kompozitlerin yüzey özellikleri pin-on disk aşınma yöntemiyle incelenmiştir. Dolgu malzemesi ağırlık olarak %0, 5, 25 ve 50 olarak uygulanmıştır. Çalışma parametreleri; aşındırıcı eleman olarak 250 numara SiC esaslı aşındırıcı kağıt, yük olarak 10, 15, 20 ve 25 N ve süre olarak ise 15, 30, 45 ve 60 dakika kullanılmıştır. PS'nin aşınma direnci yapıya ilave edilen SiO₂ miktarıyla birlikte artmaktadır. Yük, hız ve zaman parametrelerindeki artışla birlikte büyük aşınma değerleri elde edilmiştir [5]. Ultra yüksek moleküler ağırlıklı polietilen (UHMWPE) malzeme ile toz kuvars kullanılarak 60 mm çap ve 6 mm kalınlıkta kompozit numuneler hazırlanmıştır. Aşınma deneyleri pin-on-disk test cihazı ile yapılmıştır. Organosiloksan'ın 0,5 phr değeri kompozit malzeme için önemli etkilere sebep olmuş ve bu değerde çekme dayanımı ile izod darbe dayanımı en büyük, aşınma ağırlık kaybı ise en düşük değer olarak elde edilmiştir [6]. Epoksi reçine (EP), doymamış polyester (UP), polimetilmetakrilat (PMMA) ve vinilester (VE) gibi reçineler ve dolgu malzemesi olarak kum, granit ve kuvars kullanılarak üretilen kompozit tezgah gövde yapısının,

mekanik ve fiziksel özellikleri yanında en iyi dolgu malzemesi-reçine bağ oluşumu araştırılmıştır. EP veya PE reçineli ve kuvars dolgu malzemeli kompozit yapılar yüksek dayanıma sahip olmuşlardır [7]. PMMA matris ve PTFE ile hazırlanan kompozitlerin, sürtünme ve aşınma özellikleri incelenmiştir. Çalışmada dolgu malzemesi sıvı ve toz oranları dikkate alınmıştır. Yöntem, disk üzerinde çelik pin sürtünmesi şeklindedir. PMMA ve PTFE / PMMA kompozitin sürtünme katsayısı ve aşınma oranının, P/L oranının artışı ile azaldığı belirlenmiştir [8]. Tarım makineleri ile bitki ve toprak parçacıkları arasındaki sürtünme nedeniyle temaslı aşınan parçacıklarda kayıplar olduğundan, çelik parçacıklar yerine, beş tip kompozit malzeme önerilmiştir. Pin-on disk deneyleri ile bu tiplerden biri olan PA6G ile simgelenmiş kompozitin, en düşük aşınma oranına sahip olduğu belirlenmiştir [9]. EP polimerlerin kaymada sürtünme katsayısının, dolgu malzemesine ve polimer bileşimindeki içeriğine bağlı olarak incelenmiştir. EP polimer kompozit malzemelerin kayma sürtünmesi değerleri, artan yük ile artmıştır [10]. Karbon fiber takviyeli poliviniliden florid (PVDF) kompozitin kuru sürtünme testlerinde, numuneye uygulanan radyasyon modifikasyonu sonucunda aşınma direncinin arttığı belirlenmiştir [11]. EP matris malzeme ve karbon fiber dolgu malzemeli kompozitlerin aşınma mekanizması ve sürtünme katsayısı incelenmiştir. Sürtünme katsayısı değeri başlangıçta 0,65 ve aşınma sonrası ise 0,74 olarak belirlenmiştir. Aşınma mekanizmasının kompozitin matris yüzeyinde oluştuğu, fiber-matris ara yüzeylerinde parçalanma olmaması nedeniyle olabildiğince yavaş geliştiği açıklanmıştır [12]. Bir çalışmada 1, 5 ve 10 mm uzunlukta parçalı şeker kamışı takviyeli, matris malzemesi polyester reçineli, tek doğrultuda düzenlenmiş ve hasır örgülü cam fiber takviyeli olmak üzere hazırlanmış kompozit numuneler, 400 numara SiC esaslı aşındırıcı kağıt kullanılarak yük ve hız değişkenlerine göre pin-on disk tipi aşınma deneyleri yapılmıştır. Aşınma yönüne paralel ve dik doğrultuda yerleştirilen numunelerin sürtünme katsayısı 0,1-0,35 değer aralığında bulunmuştur. Dik doğrultulu yerleşimli yapıdan alınan aşınma dayanımının, paralel yerleşimli duruma göre daha iyi (2-5 kat) olduğu belirlenmiştir [13]. Çimento betonu granülometri eğrilerinin esas alındığı farklı agrega dağılımları belirlenmiş ve bu dağılıma göre, matris olarak doymamış polyester ve dolgu malzemesi olarak kuvars kullanılarak, polimer beton kompozitler hazırlanmıştır. Kompozit numuneler oda sıcaklığında, 50°C, 75°C ve 100°C sıcaklıklarda kemikleştikten sonra eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sıcak atmosferde kemikleşmenin, belirli sıcaklık ve bileşim değerlerinde eğilme dayanımını arttığı belirlenmiştir [14]. Çimento betonu granülometri eğrileri üzerinden seçilen 7 grup için, bağlayıcı olarak UP, EP ve dolgu malzemesi kuvars kullanarak kompozit numuneler hazırlanmış ve bunların basma dayanımları incelenmiştir. Polyester ve epoksi reçineli kompozitler ile en büyük basma dayanımları olarak sırasıyla 625 daN/cm² ve 950 daN/cm² değerleri elde edilmiştir. Dolgu malzemelerini matris malzeme olarak çevreleyebilen doymamış polyester oranı olarak %22 kabul

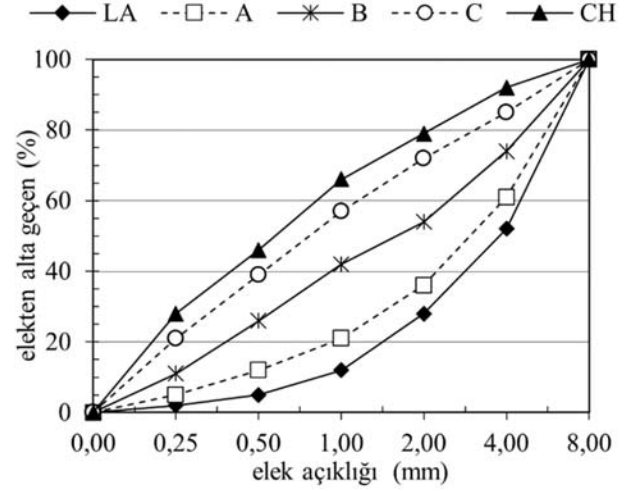
edilmiştir [15]. Reçineli kompozit üretimi için Şekil 1'de B grubu (TS 802 ve DIN 1045) oranlarının seçimi ve oda sıcaklığında kemikleşme sonucu, iyi bir yapı oluşumu elde edilebileceği açıklanmıştır [16, 17]. Katkısız ve vaks katkılı poliamid 6 (PA6) malzemelerin birbirleriyle temaslı pin-on disk aşınma ile 10-250 N arasındaki farklı yüklerde ve 0,5m/s kayma hızıyla yapılan deneyleri sonucu katı yağlayıcı vaks'lı PA6 polimerlerin katkısız nazaran sürtünme katsayısı ve aşınma hızı parametrelerinin iyileştiği belirlenmiştir [18]. Bir pin-on/düzlemsel gidip-gelme hareketli aşınma deneyinde çapı 6,5mm ve 12 mm olan iki pin ve pin-on/düzlemsel malzemeleri olarak Ti-6Al-4V/Ti-6Al-4V kullanılmıştır. Deneyde sürtünme katsayısı başlangıçta 0,314 devamında ise 0,265 olarak kaydedilmiştir. Çapı 6,5mm olan pin ile küçük baskı alanında yüksek basınç ve yüksek aşınma derinliği elde edilmiştir [19].

Kompozitlerin aşınmaları ile ilgili çalışmaların çoğunda pin-on disk yöntemi ve aşındırıcı karşı eleman olarak ise SiC esaslı aşındırıcı kağıt kullanılmıştır. Bunların dışında kompozitin çelik bir eleman ile aşındırıldığı veya dönen bir diskte yer alan kompozitlerin temas ettiği malzemeler ile aşınma veya doğrusal gidip-gelme hareketli aşınma yöntemlerinin de kullanıldığı görülmektedir. Çalışmalarda kompozit yapı malzemelerinde matris yapı bileşenleri olarak EP, PE, UHMWPE, PMMA, PS, PA gibi malzemelerin alındığı görülmektedir. Takviye veya dolgu malzemeleri olarak ise cam elyaf, karbon fiber, şeker kamışı, granit ve kuvars kullanılan malzemelerdir. Çalışmalarda çıktı olarak aşınma hacmi, sürtünme katsayısı ve aşınma kaybı gibi parametreler belirlenmiştir. Bu çalışmada kompozit için iyi bir yapı oluşumuna sebep olduğundan matris-dolgu malzemeleri olarak polyester-kuvars malzemelerinin kullanılmasına, kompozit yapı bileşenleri oranlarının belirlenmesinde granulometri dağılımının dikkate alınmasına [7, 14, 15] ve uygulanacak aşınma test yönteminin ise pin-on/düzlem gidip-gelme hareketiyle olmasına karar verilmiştir [19].

2. DENEYSEL METOT (EXPERIMENTAL METHOD)

Reçinelerin kompozit yapı elemanları oluşturulmasında kullanımları oldukça yaygındır. Çalışmada UP %0,25 oranında (%6'lık) kobalt oktoat ve %2 oranında (%50 aktif) metil etil keton peroksit (MEK-P) kullanılmıştır. Çalışmada iyi bir yapı oluşumuna sebep olduğundan seçilen UP oranı %22 olarak belirlenmiştir [15]. Reçinelerle iyi bir birleşim oluşturabilen kuvars ise dolgu malzemesi olarak seçilmiştir [7, 14, 15]. Bir çalışmada bir makine yapı elemanı olarak tasarlanmış kompozitler için dolgu malzemesi tane büyüklüğü dağılımında 0-8 mm boyutların tercih edildiği görülmektedir [20]. Diğer taraftan en büyük tane boyutu kararında elde edilecek nihai ürün boyutlarının da önemli olduğu bilinmektedir [17, 21]. Bu çalışmada da dolgu malzemesi parçalı kuvars olan taneler için granulometri dağılım eğrileri (EN12620) dikkate alınmıştır [21]. Dolgu malzemelerinin % oran olarak elekten alta geçen miktarları için en büyük 8 mm tane büyüklüğü dikkate alınarak, 0-8

mm tane dağılımı için olan eğriler standardında, yeni kuvars % oranları bileşimleri tanımlanmıştır (Şekil 1). Çalışmaya esas olacak elekten alta geçen dolgu malzemesi oranları ise Tablo 1'de verilmiştir.



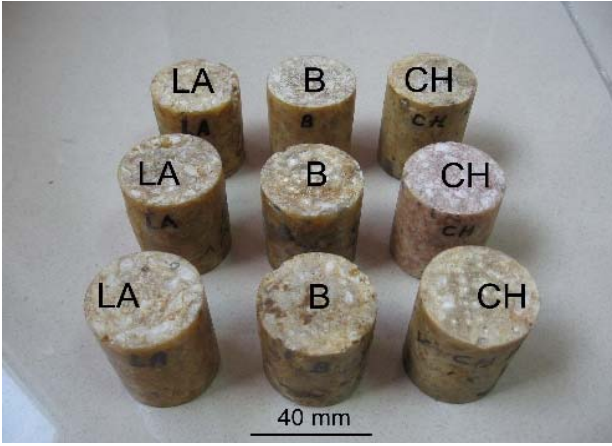
Şekil 1. LA, B ve CH numuneler için karışık agrega granulometri eğrileri
(Mixed aggregated granulometry curves for samples LA, B and CH)

Tablo 1. Granulometri dağılım gruplarının elekten alta geçen dolgu malzemesi (%) miktarları
(Sieved filling material granulometry distribution groups (%))

Elek numarası (mm)	Gruplar		
	LA	B	CH
8	100	100	100
4	52	74	92
2	28	54	79
1	12	42	66
0,5	5	26	46
0,25	2	11	28

Kuvars agreganın standart tane büyüklüklerinde gruplara ayrılabilmesi için, tel kafesli kare göz açıklıklı elekler ve elek sarsma makinesi kullanılmıştır. Kuvars agrega 0,25; 0,50; 1; 2; 4; 8 mm tane büyüklüklerinde (EN12620 ve ISO3310-1-2) gruplandırılmıştır [22]. Numuneler silindirik olup çap ve yükseklik olarak 40x40 mm'dir. Bileşimleri LA, B ve CH ile simgelenmiştir. Numune boyutlarına uygun miktarlarda kuvars malzeme, Tablo 1'de verilen % oranlardan, ağırlık olarak tartımları yapılarak gruplara ayrılmıştır. Hazırlanan agrega karışımı 15 dakika süreyle harmanlanmıştır. Hazırlanmış kuvars malzemenin neminin alınması için 250°C bir etüv kullanılmıştır. Etüvde malzeme değişmez ağırlığa ulaşmaya kadar (ASTM-C136-137'ye uygun 110 ±5°C 'da) bekletilerek nem alma işlemi tamamlanmıştır [23]. Numunelerin döküleceği kalıplar plastik kestamit malzemeden üretilmiştir. Kalıp ayırıcı, polivaks ve polivinil alkol bant uygulaması şeklinde kullanılmıştır. Kalıpların yüzeylerine kalıp ayırıcı uygulandıktan 30 dakika sonra parlatma işlemi yapılarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Karışım olarak hazırlanmış ve nemi alınmış kuvars dolgu

malzemesi, polyester reçine ile 15 dakika süreyle harmanlanmıştır. Hızlandırıcı ve sertleştirici döküm anında ilave edilmiştir. Numunelerin dökümünde hava kabarcıklarının çıkışının sağlanabilmesi ve boşluksuz bir yapı oluşturabilmek için 600 devir/dakika ile tahrik edilen masa tipi bir vibratör kullanılmıştır. Kullandığımız polyester reçine için referans jelleşme süresi 8 ± 2 dakika olarak verilmiştir. Burada pota ömrü önemlidir ve jelleşme başlamadan hemen önce titreşim kesilmelidir. Bu nedenle vibrasyon süresi 7 dakika olarak uygulanmıştır. Numuneler kalıpla birlikte oda sıcaklığında 7 gün kemikleşmeye bırakılmış ve 7 gün sonunda kalıptan çıkarılmıştır. Numuneler bu halde ilave 21 gün daha yine oda sıcaklığında bekletildikten toplam 28 gün sonrasında deneyler yapılmıştır. Her bir yük değeri için aynı bileşimden 3 adet olmak üzere toplam 9 adet numune üretilmiştir (Şekil 2).



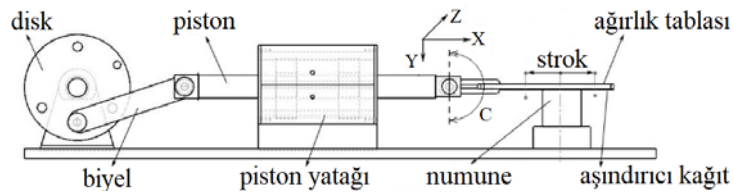
Şekil 2. Kompozit LA, B ve CH aşınma numuneleri (Composite LA, B and CH wear samples)

Kompozit malzeme için aşınma deneysel çalışma parametreleri olarak 10, 20, 30, 40, 50, 60 dakikalık sürelerde 10, 20, 30 N yük değeriyle toplam 54 adet ağırlık ölçüm sonuçları incelenmiştir. Ağırlık kaybı ölçümleri 1×10^{-4} hassasiyette en fazla 220 g tartabilen hassas (AND marka, yazılımı ile bilgisayara bağlanabilen) laboratuvar tipi tartı aletiyle yapılmıştır. Aşındırıcı malzeme olarak tüm numuneler için 80 numara SiC esaslı zımpara kullanılmıştır. Aşınma deney numunelerinde ilk aşınma ölçütü ile sonrakiler arasında farklılık olmaması önemlidir. Bu amaçla tüm kompozit numunelere 10 dakika süreyle değerlendirmeye katılmayan bir ön aşınma uygulandıktan sonra asıl deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Laboratuvarda deneylerin tamamlanabilme süreci bahar ve güz dönemlerine rastladığından, deneysel çalışmalarda

ortam sıcaklık değişiminin $20 \pm 5^\circ\text{C}$ olarak tanımlanması doğru olacaktır.

Çalışmada aşınma deneyleri için kullanılan makina 1,5 kw gücünde bir elektrik motoru ile tahrik edilmekte ve kayış-kasnak sistemi aracılığıyla dönme hareketi üst bir mile aktarılmaktadır. Kasnağın bağlı olduğu milin iki tarafında iki disk mevcuttur. Disklerden birine hareketli bağlanmış bir biyel (disk-biyel) ve biyelin diğer ucuna da yine hareketli olacak şekilde bağlanmış rijit yatağı içerisinde doğrusal hareket etmekte olan bir piston (biyel-piston) mevcuttur. Dolayısıyla elektrik motorundan alınan dairesel hareket, (disk-biyel-piston aracılığıyla) doğrusal harekete çevrilmektedir. Pistonun uç kısmında bir ağırlık üst tablası mevcuttur. Üst tabla bir tarafından pistonu hareketli bağlanmış ve diğer tarafı ise numune tarafından kayar bir mesnet olarak desteklenmiş şekilde boşta. Bu hareket serbestliği, üst tabla ve üzerindeki ağırlığın numunenin aşındırılacak yüzeyi üzerine etki edebilmesi için gereklidir. Numunede bir aşınma olduğunda, ağırlık tablası sabit mafsals noktasından aşağıya doğru, (Şekil 3'de C ile gösterilen, 180°) açılabilir bir dönme hareketi yapabilir. Mafsallı bağlantı noktasında Y ve Z eksenlerinde yer değişimleri yoktur, buna karşın ağırlık tablası-pistonla birlikte X ekseninde doğrusal hareket edebilir haldedir. Üst tabla deney öncesi yer düzlemine paralel terazide olacak şekilde ayarlanmaktadır. Bu halde aşınma kaybı değerlendirmesi için 1×10^{-4} hassasiyette tartım yapıldığından, Y eksenindeki seviye farkı ihmal edilecek düzeydir, çünkü kompozit malzeme yüzeyine sürtünmekte olan aşındırıcı daima temasta kalmaktadır. Üst tablanın alt yüzeyine farklı büyüklüklerde aşındırıcı taneciklerden oluşan aşındırıcı kağıtlar bağlanabilir ve kullanım sonrası kolaylıkla değiştirilebilir durumdadır. Aşındırıcı kağıt strok mesafesinde çalışma sırasında numune yüzeyine tam temas edecek ölçüde bağlanır. Üst tabla üzerine değişik ağırlıklar yerleştirilebilir. Bu amaçla ağırlıkları bilinen ve üst üste gelecek şekilde yerleştirilebilen (yayıllı yük hali) saç plakalar olarak uygulanmıştır. Diğer bir donanım elemanı da gidip-gelme hareketini yapmakta olan ağırlık üst tablasının altındaki hareketsiz alt tabladır. Alt tablada mevcut bir mengene sistemi üç noktadan temastı olarak deney numunelerini rijit bir şekilde tutar. Alt tabla, piston yatağı ile birlikte yer değişimi olmayacak şekilde gövdeye bağlanmıştır.

Şekil 3'de şematik aşınma işlemi, strok ve hareketler gösterilmiştir. Aşındırılacak silindirik numune yüzeyinin merkezi ile strok (gidiş veya dönüş anında olabilir) mesafesi tam ortada iken, deney numunesi tablaya bağlanır. Disk (krank) yarıçapı 37 mm olup strok mesafesi 74 mm ve disk



Şekil 3. Aşınma işlemi ve strok (Wear Process and stroke)

devir sayısı 157 devir/dakika'dır. Strok mesafesi silindirik numune merkezine göre belirlenir ve bu ölçüde kompozit yüzeyi üzerinde aşındırıcı kağıdın sürekli bir teması vardır. Piston-tabla mafsallı bağlantı noktasından itibaren ileri-geri strok hareketinde (diskin 1 devrinde) numune üzerindeki belirli bir nokta için kesme kuvveti ve eğilme momenti diyagramları çizildiğinde, mafsallı noktaya yakın veya uzak olma hallerinde tablanın (ağırlığıyla birlikte) numune üzerine uyguladığı moment değerleri farklılık göstermektedir. Diskin bir devri için, çalışmada yük olarak belirlenmiş 10, 20 veya 30 N yükleri, en küçük ve en büyük moment değişiminde yük karşılığı ortalamalardır.

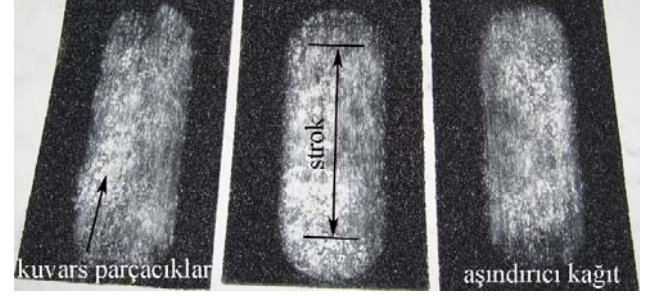
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSION)

Aşınma deneyleri yapılan kompozitlerin zımpara üzerinde strok boyunca bıraktığı izler Şekil 4'de verilmiştir. Şekildeki beyaz renkli belirginleşmiş izler, kompozit numunenin matris fazı polyeşter reçineli bölümüyle birlikte özellikle dolgu malzemesi kuvars taneciklerinin de belirli bir katmandaki deformasyonu sonrası, kompozit malzemelerin aşındığı görülmektedir.

Aşınma çalışmasında yük etkisinde verilmiş sürelerde aşınmış kompozit numunelerin ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Bu veriler ile kompozitlerin aşınma dirençleri hesaplanmıştır. Devamında kompozitlerin aşınma olayında sürtünme katsayıları ve yoğunlukları belirlenmiştir. Aşınma deneyi sonrası kompozit numunelerin aşınmış yüzeylerindeki yapısal değişim de incelenmiştir. Kompozit numunelerin deneysel çalışma öncesi ve sonrası hassas laboratuvar terazisi ile ağırlıkları belirlenmiştir.

Ağırlık kaybı değerleri kompozit numunelerden LA, B ve CH için Tablo 2'de verilmiştir. Uygulanan yük ve zamanın artışı ile ağırlık kayıplarının arttığı görülmektedir. Tüm kompozitlerin ağırlık kaybı değer aralığı 10-30 N yük ve 10-60 dakika sürelerinde, en küçük ve en büyük olmak üzere sırasıyla 0,0541-0,2941 g olarak elde edilmiştir. Yük ve zaman değişkenlerine göre LA, B ve CH kompozitlerin her birinin ağırlık kaybı değerleri incelendiğinde, sırasıyla en küçük ve en büyük değerler olarak; LA için 0,0541-0,2941

g, B için 0,0254-0,1949 g ve CH için 0,0216-0,2552 g değerlerinde değişim belirlenmiştir. Ağırlık kaybı değerlerinden, kendi gruplarında aşınma kaybı farkları küçük olandan, büyük olana doğru bir sıralama, B (0,1695 g) < CH (0,2336 g) < LA (0,2400 g) kompozitler şeklinde oluşmaktadır. B kompozit tipi en az ağırlık kaybı farkına sahip olmuştur.



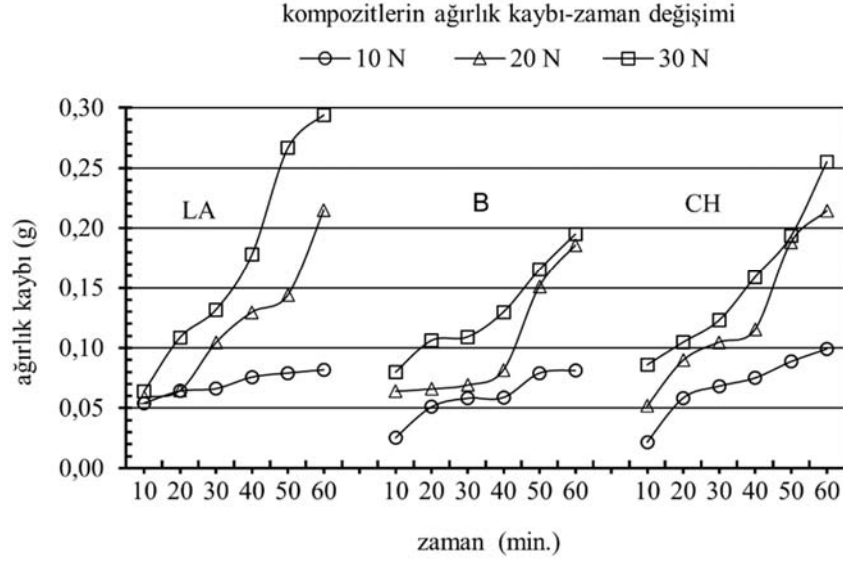
Şekil 4. Zımpara üzerinde kompozit numunenin aşınma izleri (Wear marks of composite sample on sandpaper)

LA, B ve CH kompozit numunelerin Tablo 2'deki verilere göre çizilmiş ağırlık kaybı-zaman grafiği ise Şekil 5'de verilmiştir. Şekilden görülen, yük ve zaman artışı ile aşınma miktarının artmış olmasıdır. Her bir yük için bir değerlendirme yapılırsa, diğerlerine göre B kompozit tipinin ağırlık kaybı eğrilerinin daha küçük değerlerde kaldığı grafikten görülmektedir. Standartta, çimento betonu granülometri eğrilerinden LA ve CH bölgeleri % oranlar karşılığı miktarlardaki dolgu malzemeleriyle oluşturulmuş bir kompozitin yapısal olarak uygun olmayacağı ve tavsiye edilen çalışma bölgesinin B bölgesi olduğunu açıklanmaktadır [21, 23]. Bu kompozitlerin aşınma çalışmasında, B tipinin yapısal olarak diğer iki tip LA ve CH'a göre daha uygun olması, bu bilgiyi teyit etmesi açısından önemlidir.

Sürtünme katsayısını belirlemek için ölçüm sistemi uygulanan yükler (10 N, 20 N, 30 N), aşınma makinesi yük sistemi, kompozitin bağlandığı tertibat, aşındırıcı kağıt ve dinamometre'den oluşmaktadır. Dinamometre (UNI-COM marka olup) kg, g, lb, oz birimlerinde ölçüm yapabilen, dijital ve 40 kg ölçüm kapasitelidir. Sürtünme katsayısının

Tablo 2. Kompozit LA, B ve CH numunelerin belirlenen yükler ve etki sürelerinde ağırlık kaybı değerleri
(Weight loss values of composite LA, B and CH samples under the determined loads and test durations)

Kompozit yük (N)	Zaman (dakika)	Ağırlık kaybı (g)					
		10	20	30	40	50	60
LA	10	0,0541	0,0641	0,0661	0,0757	0,0791	0,0818
LA	20	0,0589	0,0646	0,1043	0,1296	0,1438	0,2149
LA	30	0,0638	0,1086	0,1317	0,1778	0,2665	0,2941
B	10	0,0254	0,0510	0,0581	0,0588	0,0790	0,0813
B	20	0,0639	0,0659	0,0691	0,0816	0,1512	0,1855
B	30	0,0798	0,1062	0,1091	0,1298	0,1652	0,1949
CH	10	0,0216	0,0583	0,0682	0,075	0,0886	0,0991
CH	20	0,0517	0,0897	0,1047	0,1152	0,1880	0,2143
CH	30	0,0859	0,1047	0,1229	0,1589	0,1933	0,2552



Şekil 5. LA, B ve CH kompozit malzemelerinin ağırlık kaybı değerleri (Weight loss values of LA, B and CH composite materials)

ölçüm işlemi için gidip-gelen tablanın pistonla bağlantısı kesilerek dinamometre tabla ile bağlı hale getirilmiştir. Kompozit numuneler yük etkisinde ve X eksenini doğrultusunda tabla dinamometreye bağlı olduğu halde, hareketsiz iken hareket etmeye başladığı anda ve devamında hareketin bitimine kadar, dinamometrenin dijital ekranında değişen kuvvet değerleri izlenebilmekte ve bunlar kaydedilebilmektedir. Dinamometredeki yük değerlerindeki değişim en büyük kuvvet değerleri ve devamında azalan fakat zamanla sabit bir yük değeri gösterdiği halde deney tamamlanmaktadır. Ölçümlerde hareketsiz ve hareketli halde belirlenen yük verileri kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda, statik ve dinamik sürtünme katsayısı değerleri belirlenmiştir. Deney her bir numune tipi ve yük için 10 defa tekrarlanmıştır. Hesaplanan statik ve dinamik sürtünme katsayıları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Statik ve dinamik sürtünme katsayısı
(The coefficient of friction static and dynamic)

Kompozit	Statik sürtünme katsayısı	Dinamik sürtünme katsayısı
LA	0,704	0,673
B	0,783	0,728
CH	0,847	0,801

Statik sürtünme katsayısı, dinamik sürtünme katsayısından daha yüksek olarak belirlenmiştir. Kompozitlerin dolgu malzemeleri tane dağılımı açısından, “kaba taneler çok-ince taneler az” LA yapı tipinden, “ince taneler çok-kaba taneler az” CH yapı tipine doğru bir değişim gösterirken, “sürtünme katsayılarının” LA tipinden CH tipine doğru büyüdüğü görülmektedir. Kompozit tiplerinde “küçük sürtünme katsayısı değerlerinden”, “büyük sürtünme katsayısı değerlerine” doğru olan değişimin LA < B < CH şeklinde olduğu belirlenmiştir.

İnce tane miktarı çok olan kompozitlerde, “iri taneli bir yüzeye kıyasla”, ince dolgu malzemesi partiküllerinin yapıda ve sürtünen yüzeylerde daha çok miktarda ve partiküllerin birbirine yakın yerleşimli olması doğaldır. İnce taneli malzeme yüzeyi zor aşındırılabilen dolgu malzemesi açısından daha zengindir. Matris yapı, kuvars’a nazaran daha kolay aşındırılabilen bir malzemedir. Bu nedenle aşındırıcı kağıt ile temas düşünüldüğünde, zor işlenebilen çok sayıda kuvars parçacıklı yerleşim, daha büyük bir temas alanı ortaya çıkarmaktadır. Bu sebeple kompozit malzemenin aşınması zorlaşır ve sürtünme katsayısındaki artışla birlikte hareketin de zorlaşacağı görülmektedir. Çalışmada kullanılan ölçüm zaman aralıkları 10 dakika yerine 30 dakika veya daha büyük bir değer olarak alınmış olsaydı, bu halde eğrilerin görünümünde, bazı yataya benzer eğilimlerin eğik-yükselen olabileceği görüldüğünden, daha da netleşebilirdi. Çalışmada uygulanan malzeme bileşenlerine göre dikkate alınan süre de henüz yeterli aşınmanın görsel anlamda belirginleşmediği, fakat hassas terazi ile ölçüm alındığından, aslında görsel grafiğe yansımayan bir yükselme olduğu görülmektedir. Bu durum ölçüm belirsizliği ile ilgili değildir ve eğilimin tekrar edip etmemesi konusunun ise tamamen kompozitin iç yapısına bağlı olduğu bilinmelidir.

Üretilen LA, B, CH kompozitler farklı %'lere göre farklı miktarlarda dolgu malzemesine sahip olduğundan, yoğunlukları da farklı olacaktır. Kompozitin yoğunluk bilgisi aşınma direnci hesabı için de gereklidir. Kompozitlerin yoğunlukları, yapılan (10^{-4} hassasiyette tartım ile) ağırlık ve boyut (0,02 mm hassasiyette kumpas ile) ölçüm sonuçlarına göre hesaplanan değerler, Tablo 4'de verilmiştir. İri taneli dolgu malzemesinin çok olduğu yapı (LA) en büyük yoğunluğa sahip olmuştur. İnce tanelerin çok olduğu yapı (CH) ise en düşük yoğunluk değerini vermiştir.

Kompozitlerin aşınma dayanımının anlaşılabilmesi için özgül aşınma oranlarının hesaplanması ve bunlardan elde

edilen aşınma dayanımlarıyla bir değerlendirme yapılması daha doğru olacaktır. Bu şekilde, özgül aşınma oranının tersi olarak bilinen aşınma dayanımı ifadesinde malzemeye ilgili yoğunluk parametresinin elimine edildiği halde, birim hacimdeki belirli bir aşınma mesafesinde etkiyen kuvvet cinsinden (Nm/m^3), malzemelerin aşınma davranışı daha net açıklanabilir. Aşınma direncinin hesaplanması için kullanılacak ifade Eşitlik (1) ile verilmiştir. Denkleme sembollerin anlamları F (N) uygulanan normal kuvvetin büyüklüğü, S (m) aşınma işleminde alınan yol, ΔW (kg) ağırlık kaybı, δ (kg/m^3) kompozit numunelerin yoğunluğu, WR (Nm/m^3) aşınma direncini gösterir. Aşınma direncinin hesaplanabilmesinde ağırlık kaybı değerleri kompozitler için Tablo 2'den alınmıştır. Kompozitler için yoğunluk değerleri Tablo 4'den alınmıştır. Aşınma yolu olarak kullanılan S parametresi değerleri Tablo 5'de verilmiştir. Eş. 1 ile hesaplanan aşınma direnci değerleri Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 4. Kompozit numunelerin yoğunluğu (kg/m^3)
(Density of composite samples (kg/m^3))

Yoğunluk (kg/m^3)		
LA	B	CH
1993,0435	1946,1348	1879,9318

$$WR = (F \cdot S) / (\Delta W / \delta) \quad (1)$$

Aşınma direnci, malzemenin aşınmaya karşı göstermiş olduğu dayanımı ifade etmektedir. Bu çalışmada elde edilen aşınma direnci değerlerinin (Nm/m^3) sayısal büyük olması, belirlenmiş olan zaman aralıklarında küçük aşınma fakları olsa da, aynı aşınma yolu ve malzeme için, artan yük değerine bağlı olarak (Eşitlik 1'de yerine yazıldığında) WR 'nin büyüyecek olmasıdır. Aynı yük etkisinde artan aşınma kaybı değeri ise aşınma direncini düşürecek. Bu sebepten dolayı Tablo 6'daki aşınma direnci değerleri hakkında bir değerlendirme yaparken, aynı yük değerinde, aynı ölçüm sürelerinde, (LA, B ve CH olmak üzere) farklı tipler değerlendirilmesi yapılabilir.

Buradan hareketle, Tablo 6'da çalışma süresinin 10 dakika ve yükün 10 N olması halinde aşınma direnci değerleri

küçükten-büyüğe LA-B-CH olarak sıralanmıştır. Çalışma süresi 20 dakika ve yükün 10 N olması halinde küçükten-büyüğe LA-CH-B; 30 dakika için aynı yükte CH, LA, B; 40 dakika için aynı yükte CH, LA, B şeklinde olmuştur. Çalışma süresinin 50 ve 60 dakika ve yükün 10 N olması hallerinde küçükten-büyüğe sırasıyla CH-B-LA ve CH-B-LA şeklinde olmuştur. Değişime bakıldığında B bileşim grubunun altı çalışma süresinin üçünde büyük aşınma değerlerine sahip olduğu görülmüştür. LA iki ve CH ise bir büyük değere sahip olmuştur. Tablo 6'da çalışma süresinin 10 dakika ve yükün 20 N olması halinde aşınma direnci değerleri küçükten-büyüğe B-LA-CH olarak sıralanmıştır. Çalışma süresi 20 dakika ve yükün 20 N olması halinde küçükten-büyüğe CH-B-LA; 30 dakika için aynı yükte CH, LA, B; 40 dakika için aynı yükte LA-CH-B şeklinde olmuştur. Çalışma süresinin 50 ve 60 dakika ve yükün 20 N olması hallerinde küçükten-büyüğe sırasıyla CH-B-LA ve CH-LA-B şeklinde olmuştur. Değişime bakıldığında B bileşim grubunun altı çalışma süresinin üçünde (önceki 10 N yüklemeye değerleriyle benzer şekilde) büyük aşınma değerlerine sahip olduğu görülmüştür. Öncekiyle benzer LA iki ve CH bir büyük değere sahip olmuştur. Tablo 6'da çalışma süresinin 10 dakika ve yükün 30 N olması halinde aşınma direnci değerleri küçükten-büyüğe CH-B-LA olarak sıralanmışlardır. Çalışma süresi 20 dakika ve yükün 30 N olması halinde küçükten-büyüğe CH-B-LA; 30 dakika için aynı yükte LA-CH-B; 40 dakika için aynı yükte LA-CH-B şeklinde olmuştur. Çalışma süresinin 50 ve 60 dakika ve yükün 30 N olması hallerinde küçükten-büyüğe sırasıyla LA-CH-B ve LA-CH-B şeklinde olmuştur. Değişime bakıldığında B bileşim grubunun altı çalışma süresinin dördünde (önceki 10 N ve 20 N yüklemeye değerleriyle benzer şekilde) büyük aşınma değerlerine sahip olduğu görülmüştür. LA ise diğer iki büyük değere sahip olmuştur. Tablo 6'daki verilere göre aşınma direnci açısından yukarıda açıklandığı gibi değerlendirme yapıldığında, sonuçlar B kompozitin aşınma direncinin diğer iki tipe nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir.

Yük-zaman değerlerine göre bazı büyük veya küçük aşınma direnci değerinden sonraki deneyde tersine bir davranış

Tablo 5. Zaman-kayma mesafesi ilişkisi (Time-sliding distance relationship)

Zaman (dakika)	10	20	30	40	50	60
Kayma mesafesi (m)	232,36	464,72	697,08	929,44	1161,80	1394,16

Tablo 6. Aşınma direnci değerleri (Wear resistance values)

Aşınma direnci ($\times 10^{11} Nm/m^3$)									
Zaman (dakika)	Yük								
	LA			B			CH		
	10 N	20 N	30 N	10 N	20 N	30 N	10 N	20 N	30 N
10	0,8560	1,5725	2,1776	1,7803	1,4153	1,7000	2,0223	1,6898	1,5256
20	1,4449	2,8675	2,5586	1,7733	2,7448	2,5548	1,4985	1,9479	2,5033
30	2,1018	2,6641	3,1647	2,3350	3,9265	3,7304	1,9215	2,5033	3,1989
40	2,4470	2,8587	3,1256	3,0762	4,4334	4,1806	2,3297	3,0335	3,2988
50	2,9273	3,2205	2,6066	2,8620	2,9908	4,1060	2,4651	2,3235	3,3897
60	3,3968	2,5860	2,8344	3,3373	2,9253	4,1763	2,6447	2,4460	3,0810

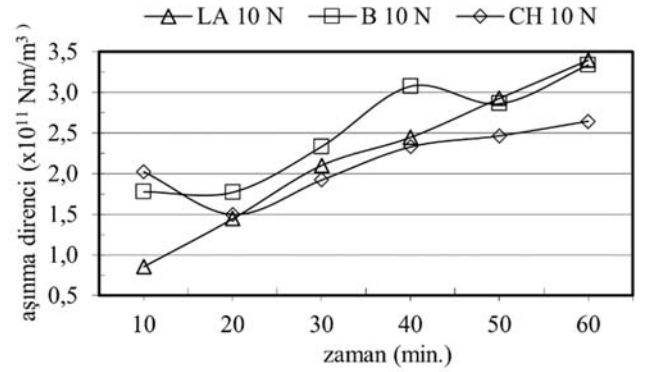
görülmüştür. Çalışmadan elde edilen bir çıktı olarak bu durumun sebebinin o an aşınmakta olan yüzeyde yer alan, yapıda rastgele dağılmış dolgu malzemeleri tane büyüklüklerinin yerleşim farklılıklarından kaynaklandığı şeklinde açıklanabilir. Matris yapı ve dolgu malzemeli bir yüzey aşındığında, yükseklik olarak devamında aşınacak olan yeni yüzey yapısında tane dağılımı farklılaşmaktadır. Bunların yanında, ilave olarak oda sıcaklığında başlayan ilk temas ve devamında sürtünme sebebiyle bölgesel temas noktalarındaki sıcaklık yükselmesi ve zamana bağlı öncelikle matris yapıda bozulmaların başlamasıyla bağ yapısının hasar görmesi neticesi, devam eden deneylerde aşınma direncinde bir miktar düşüş olabileceği şeklinde açıklanabilir. Bu durumun, Tablo 6 değerleri incelendiğinde bazı değerler arasında bir değişimin olduğu görülmektedir ve bunun bir deney hatası olmadığı ve tekrar edebilmesinin sebebi olarak yapı oluşumu ile yakından ilgili olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6 ile verilmiş olan aşınma direnci değerleri kullanılarak kompozit (LA, B, CH) tiplerinin sırasıyla 10 N, 20 N ve 30 N yüklere bağlı olarak grafikleri Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 6'da 10 N yük etkisinde LA, B ve CH kompozit tiplerinde artan zaman ile yükselen eğimli bir aşınma direnci görülmektedir. Bunun sebebi olarak artan aşınma süresinde alınan aşınma yolunun artması ve aynı zamanda yükün de artmış olması olarak açıklanabilir. Çünkü bu iki parametre de aşınma direnci denkleminde aşınma direnci değerinin büyümesine sebep olmaktadır (Eşitlik 1). Ağırılık kayıplarının çok büyük farklar içermemesi ve malzemelerin yoğunluk açısından küçük farklarla aynı olması buna katkı sağlamaktadır. B ve CH kompozitlerin değişim aralığı LA kompozite nazaran daha küçük olmuştur. Şekil 7'de 20 N yük etkisinde olan kompozitlerin grafiğinde ise 20 N yükün özellikle 30 ve 40 dakika aşınma zamanı değerlerinde B kompozit tipinin yüksek aşınma direncine sahip olması belirginleşmiştir. LA ve CH kompozitler de ise 20 N yüklemeye B'ye nazaran daha küçük bir aşınma direnci değişim aralığına sahip oldukları görülmektedir. Şekil 8'de, 30 N yük etkisinde B kompozitinin artan aşınma sürelerindeki aşınma direnci değerleri, diğer iki tip kompozitinin eğrilerine göre belirgin bir şekilde ayrılarak, büyük değerler almıştır. Özellikle 30 dakika sonrası devam eden aşınma sürelerinde kompozit tipleri büyükten küçüğe olarak B-CH-LA olarak sıralanmışlardır.

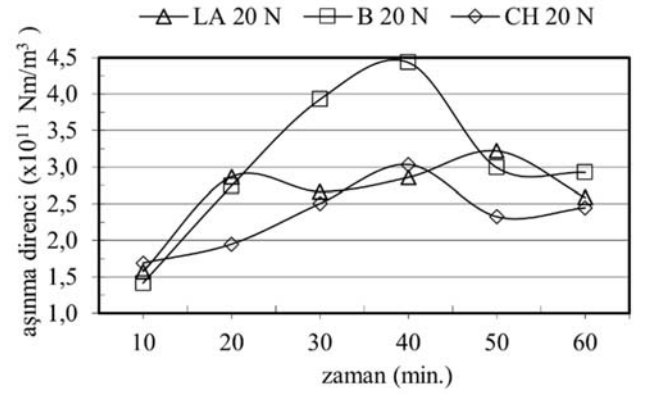
3.1. Kompozit Yüzeylerin İncelenmesi (Investigation of composite surfaces)

Şekil 9'da, LA kompozitinin hazırlanan yüzeyinden alınan bir optik mikroskop görüntüsü verilmiştir. Şekilde "1" rakamı ile gösterilen koyu renkli alan, polyeşter reçine, bağlayıcı ve hızlandırıcı'dan oluşan matris yapıdır. Hem dolgu maddesi hem de takviye elemanı olan kuvars, yapı boyunca rastgele dağılmıştır. Hem büyük hem de küçük kuvars parçacıklarının çevresindeki koyu renkli alanlar, parçacıkları çevreleyen matris yapıyı gösterir. Farklı boyutlardaki kuvars parçacıkları 2, 3 ve 4 ile işaretlenen alanlarda görülebilir. Rakam "5" olarak verilen alanda ve benzer görünüme sahip

bölgelerde daha küçük kuvars parçacıklarının dağılmış olduğu belirlenmiştir. Rakamlarla gösterilmiş kuvars parçacıklarının, koyu'dan açık renge doğru olan renk farklılığının, kompozit numunenin mikroskopta iyi bir görüntüsünün alınabilmesi için kompozit üzerine uygulanan sıralı (taşlama ve parlatma) hazırlık işlemlerinin bir sonucu olarak, kompozitinin alınan kesitinde farklı derinliklere sahip kuvars taneciklerinin olması ve bazı taneciklerin aşındırıcıyla çok temasta kalması sebebiyle, derindeki tanelere göre daha parlatılmış olarak görünmesi olarak söylenebilir.



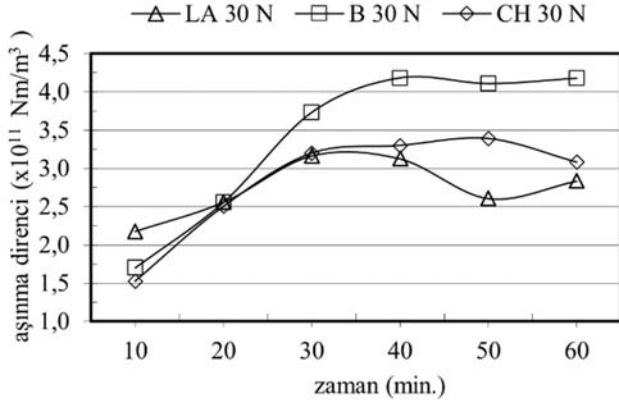
Şekil 6. Kompozitlerin 10 N yük için zaman-aşınma direnci değişimi (Time wear resistance change of composites for 10 N load)



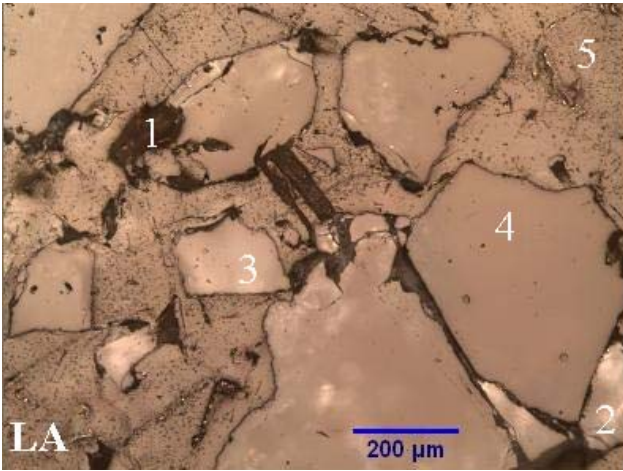
Şekil 7. Kompozitlerin 20 N yük için zaman-aşınma direnci değişimi (Time wear resistance change of composites for 20 N load)

Şekil 11'de, CH kompozit yüzeyinde, "1" ile gösterilen alan parçacıkları çevreleyen matris yapıyı göstermektedir. "2" ile gösterilen alan ise incelenen kesitte üst yüzeye daha yakın kalmış parçacık durumundadır. "3 ve "4" olarak gösterilenler farklı seviyelerdeki kuvars taneciklerdir. "5" ile işaretli alan küçük kuvars tanecikleri ile dolu olan bir yapıdır. Mikroskoptan alınan inceleme yüzeylerinden B kompozit, CH kompozit yüzeyi ile karşılaştırıldığında, CH kompozit yapısının çok daha küçük taneciklerden oluştuğu görülmektedir. İnce kuvars taneciklerini gösteren "5" alanları, tüm yapıda daha büyük bir alanı kapsamaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda Şekil 11'in mikroskop görüntüsünün, tane dağılımı açısından granülo-metrik dağılımı

doğruladığı söylenebilir. CH kompozitin yapısında, kuvars taneciklerin matris malzemesi tarafından sarılarak, boşluksuz bir yapı oluşturduğu görülmektedir.



Şekil 8. Kompozitlerin 30 N yük için zaman-aşınma direnci değişimi (Time wear resistance change of composites for 30 N load)

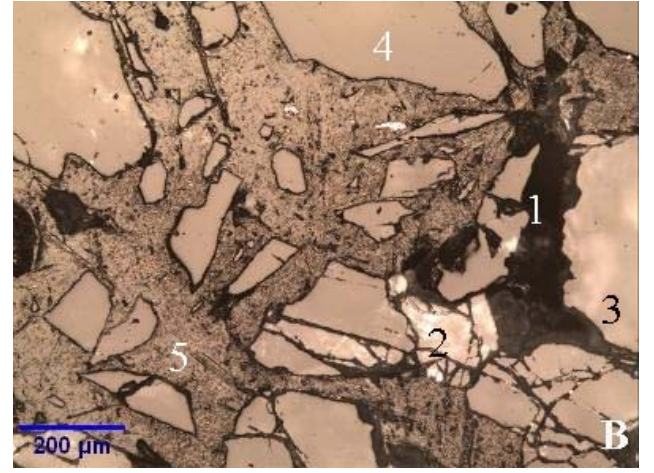


Şekil 9. LA kompozit yüzeyin optik mikroskop görüntüsü (Optical microscope image of LA composite surface)

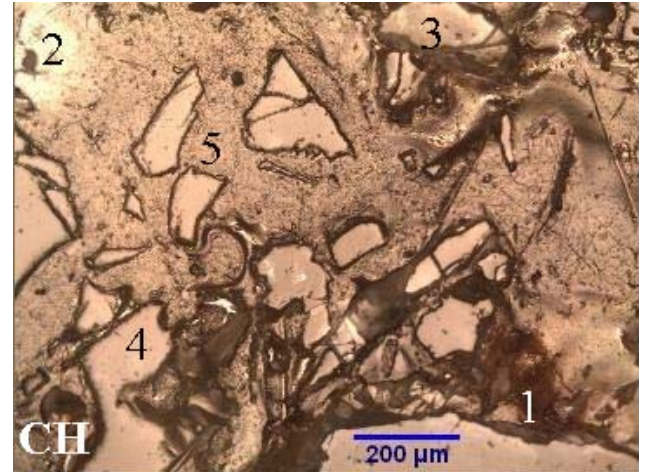
Şekil 10'da, B kompozitin mikroskop görüntüsü verilmiştir. Şekilde, "1" alanı farklı boyutlarda kuvars partiküllerini çevreleyen bir matris yapıdır. İncelenen yüzeyde, "2" ile gösterilen daha açık renkli alan üst yüzeye daha yakın olan kuvars partiküllerini gösterir. Şekilde, "3" ve "4" olarak işaretlenmiş alanlar kuvars partiküllerini göstermektedir. Şekilde, "3" olarak işaretlenmiş alan üst yüzeye "4" den daha yakındır. "5" olarak gösterilen alan, daha büyük parçacıklar arasındaki boşlukları dolduran toz haldeki kuvars parçacıklarını göstermektedir. Tüm yapı matris malzemesi ile çevrilidir ve boşluk görülmemektedir. Şekil 10'da, B kompozit büyük parçacıkları, Şekil 9'da LA ile karşılaştırıldığında, B kompozit yüzeyinde iri tanelerin daha azalarak dağıldığı görülmektedir. LA ve B'nin granülo-metrik dağılımı bu sonucu doğrulamaktadır.

Kompozit yapılardan B, LA ve CH kompozit yapılara göre, düşük "aşınma kaybı" ve yüksek "aşınma direnci"

değerlerine sahip olmuştur. Bu nedenle, burada B kompozitin taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile (Şekil 12) bir görüntüsü alınmıştır. Şekil 12'de, "1" alanı ve benzer renge sahip diğer alanlar, ana bağ malzemesi olan matris yapıyı oluşturmaktadır. Farklı boyutlardaki dolgu malzemesi kuvars taneciklerinin, bağ malzemesi tarafından boşluksuz sarılabildiği görülmektedir. Şekil 12'de "2" ile gösterilen alan bir kuvars partikülüdür. Matris yapı ve yapıda yer alan kuvars tanecikleri incelenen yüzeyde neredeyse eşit bir dağılıma sahiptir. Aynı şekilde "3" ile gösterilen alan, matris-kuvars kombinasyonunun sınırında çok küçük parçacıkların oluşturduğu kuvars tozlarını gösterir. Aynı şekilde "4" ile gösterilen alan, incelenen yüzeydeki matris-kuvars kombinasyonunun tane sınırlarını göstermektedir. Bu bölgelerde, sorunlara sebep olabilecek herhangi bir boşluk veya tanecikte çatlak olayı belirlenmemiştir.

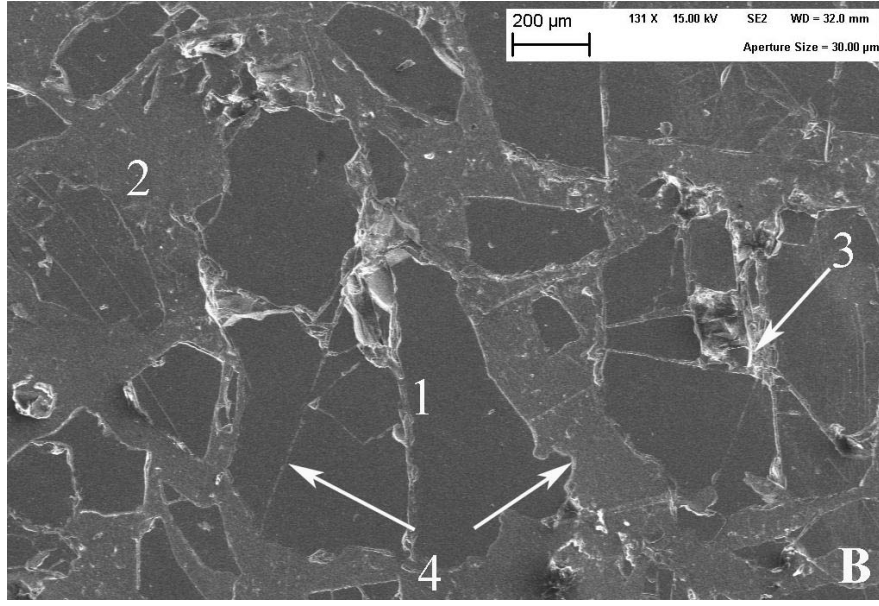


Şekil 10. B kompozit yüzeyin optik mikroskop görüntüsü (Optical microscope image of B composite surface)



Şekil 11. CH kompozit yüzeyin optik mikroskop görüntüsü (Optical microscope image of CH composite surface)

Birbiriyle temaslı ve hareket halinde olan malzeme çiftlerinde, artan yük ve zamana da bağlı olarak sürtünmenin etkisiyle farklı değerlerde ısı oluşur. B kompozit numune polyester reçine esaslı bir termoset malzeme olduğu için bu



Şekil 12. B kompozit yüzeyin taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü
(Scanning electron microscope (SEM) image of B composite surface)

tarz yapılarda genelde yanma oluşabileceği, 200°C ve üzerindeki değerlerde malzemenin oda sıcaklığındaki halinden daha esnek ve bağları zayıflamış hale gelebileceği söylenebilir. Böyle bir durum gerçekleştiğinde, matris fazın dolgu malzemesi taneciklerini rijit bir şekilde bir arada tutma yeteneğinin azalacağı da açıktır. B kompozit malzemenin aşınma direnç eğrilerinde 50 ve 60 dakika sürelerindeki düşük eğilimin bu etkene bağlı olarak geliştiği düşünülmektedir. Dolayısıyla matris fazı reçineli olan yapıların maruz kaldıkları sıcaklık artışı ile aşınma dayanımının olumsuz etkileneceği söylenebilir.

4. SİMGELER (SYMBOLS)

F	: Uygulanan normal kuvvetin büyüklüğü (N)
S	: Yol (m)
ΔW	: Ağırlık kaybı (Kg)
δ	: Yoğunluk (kg/m^3)
WR	: Aşınma direnci (Nm/m^3)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Kompozit B için statik ve dinamik sürtünme katsayıları sırasıyla 0,783 ve 0,728 değerlerinde elde edilmiştir. Farklı yükler ve zamanlar için B kompozit tipinde “ağırlık kaybı” sırasıyla en küçük ve en büyük değerler olarak 0,0254 ve 0,1949 g olmuştur. Farklı yükler ve zamanlar için B kompozit tipinde “aşınma direnci” sırasıyla en küçük ve en büyük değerleri B kompozit tipinde 1,4153 ve 4,4334 Nm/m^3 olmuştur. Kompozit B'nin ortalama yoğunluğu 1946,1348 kg/m^3 olarak hesaplanmıştır.

Aşınma çalışmasında küçük farklılıklar dışında “ağırlık kaybı” değerlerinin artan zaman ve yük etkisiyle arttığı görülmüştür. Çimento betonu için kullanılan granülometri eğrilerinin ve granülometri eğrilerindeki B kompozit tane

büyüküğü dağılımının iyi bir yapı oluşumu için polimer kompozitlerin üretiminde kullanılabileceği görülmektedir.

Çalışmada uygulanan yüklere göre, aşınma olayında matris faz polysterin, sarmış olduğu kuvars taneciklerinin yer değiştirmesine izin vermediği gözlenmiştir. İyi bir yapı oluşumu için, granülometri dağılımına göre tasnif edilen tanelerin iyi karıştırılması, karışım için titreşim uygulanması, yapının homojen olması adına oldukça önemlidir. Bu şekildeki bir yapı oluşumu ile hazırlanan kompozit malzemelerin aşınma olayında “ağırlık kaybının” düşük ve “aşınma direncinin” büyük olacağı bilinmelidir. Buna rağmen kompozitin yapısında dolgu malzemesi taneciklerinin yoğunlaştığı bazı bölgesel birikimler olabilmektedir. Üç boyutta düşünüldüğünde sadece kompozit malzemeden alınan bir kesit düzlemde değil bu kesit düzlemin dik doğrultusunda da yoğun yerleşimli taneler olabilmektedir. Bu bölgelerde, homojen dağılımlı bölgelere nazaran aşınmaya karşı gösterilen direncin arttığı ve aşınma ağırlık kaybı değerinin düştüğü gözlenmiştir. Bu gibi bir durumda, deneysel çalışmada uygulanan ölçüm zaman aralıklarının, uzatılmasının yararlı olacağı söylenebilir. Matris fazı reçine olan kompozitler, oda sıcaklığı üzerinde bir sıcaklığa maruz kalırlarsa, sıcaklığın artması ile oluşacak yapısal bozulma sebebiyle, aşınma dayanımının olumsuz etkileneceği söylenebilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Rajesh J.J., Bijwe J., Tewar U.S., Influence of fillers on abrasive wear of short glass fibre reinforced polyamide composites. Journal of Materials Science, 36, 351-356, 2001.
2. Chand N., Dwivedi U.K., Influence of fiber orientation on high stress wear behavior of sisal fiber reinforced epoxy composites. Polymer Composites, 4, 28, 437-441, 2007.

3. Suresha B., Chandramohan G., Samapthkumaran P., Seetharamu S., Investigation of the friction and wear behavior of glass-epoxy composite with and without graphite filler. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 26, 1, 81-93, 2007.
4. Suresha B., Chandramohan G., Jawali N.D., Siddaramaiah H., Effect of short glass fiber content on three-body abrasive wear behaviour of polyurethane composites. *Journal of Composite Materials*. 22, 41, 2701-2713, 2007.
5. Jalham I.S., The influence of process and material variables on the surface properties of polystyrene matrix reinforced with silica sand. *Journal of Thermoplastic Composite Materials*. 11, 18, 529-541, 2005.
6. Xie X.L., Tang C.Y., Chan K.Y.Y., Wu X.C., Tsui C.P., Cheung C.Y., Wear performance of ultrahigh molecular weight polyethylene quartz composites. *Biomaterials*, 11, 24, 889-1896, 2003.
7. Renker H.J., Stone based structural materials. *Precision Engineering*, 7, 3, 161-164, 1985.
8. Gu D., Zhang L., Chen S., Song K., Liu S., Significant reduction of the friction and wear of PMMA based composite by filling with PTFE. *Polymers*, 10, 966, 2018.
9. Muhandes H., Kalacska G., Kadi N., Skrifvars M., Pin-on-plate abrasive wear test for several composite materials. *Polymers, Proceedings, MDPI*, 2, 469, 6, 2018.
10. Lavrov N.A., Kiemov S.N., Kryzhanovskii V.K., Tribotechnical properties of composite materials based on epoxy polymers. *Polymer Science, Series D*, 12, 12, 182-185, 2019.
11. Selkin V.P., Kopylov S.V., Improving the wear resistance of carbon fiber reinforced polyvinylidene flouride by the method of radiation modification. *Journal of Friction and Wear*, 40, 2, 116-119, 2019.
12. Schön J., Coefficient of friction and wear of a carbon fiber epoxy matrix composite. *Wear*, 257, 395-407, 2004.
13. El-Tayeb, N.S.M., Two-body abrasive behaviour of untreated SC and R-G fibres polyester composites. *Wear*, 13, 2008.
14. Ateş E., The effect of temperature change on flexural strength of polymer concrete composites with polyester resin during hardening at furnace atmosphere. *Science and Engineering of Composite Materials*. 14 (3), 205-218, 2007.
15. Ateş E., Optimization of compression strength by granulometry and change of binder rates in epoxy and polyester resin concrete. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, Jan., 28 (2), 235-246, 2005.
16. TS 802, The Turkish Standards Institution, Design concrete mixes, 2016.
17. DIN 1045-2, Concrete, reinforced and prestressed concrete structures-Part 2. Concrete-Specification, performance, production and conformity-Application rules for DIN EN 206-1. 2008.
18. Ünal.H., Yetgin S.H., The investigation of tribological performance of polyamide 6 polymer and polyamide 6/wax blend against themselves. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (2), 457-463, 2016.
19. Nurarina A.N., Harun D.A., Mohd A.L.T., Nasir R.Md., Effect on pim size on reciprocating sliding wear test of Ti-6Al-4V. *Applied Mechanics and Materials*. 773-774, 237-241, 2015.
20. Schulz H., Reaktiosharzbeton im werkzeugmaschinenbau, *Industrie Anzeiger*, 21, 14, 41-42, 1986.
21. EN 12620, European Standard. Aggregates for concrete. 2003.
22. ISO 3310-1, International Organization for Standardization. Test sieves-technical requirements and testing-Part 1. Test sieves of metal wire cloth. 2016.
23. ASTM C136/C136M-19. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. ASTM International. West Conshohocken, PA, 2019.