

# Sürekli Cam Elyaf Takviyeli Polyester Matrisli Kompozitlerde Elyaf Hacim Oranı ve Elyaf Doğrultusunun Tribolojik Özelliklere Etkisi

İbrahim YAŞAR, Fazlı ARSLAN  
Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü,  
Trabzon-TÜRKİYE

Geliş Tarihi 11.12.1998

## Özet

Bu çalışmada elyaf olarak silan kaplanmış sürekli cam elyaf (E-camı), matris olarak da polyester kullanılmak suretiyle sıcak presleme yöntemiyle kompozit üretimi yapılmıştır. Üretilen bu kompozitler kullanılarak elyaf hacim oranı ve elyaf doğrultusunun tribolojik özelliklere etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda en iyi aşınma dayanımı elyaflara paralel doğrultuda ve % 15 elyaf hacim oranında elde edilmiştir. Bu durum, farklı elyaf konumları için aşınma mekanizmalarının farklı olması ile açıklanabilir. Kayma hızı ve yüzey basıncı arttıkça, sürtünme katsayısı ve özgül aşınma hızı azalmaktadır. Elyaf hacim oranı ve elyaf yönlenmesindeki değişimlere bağlı olarak numunelerin aşınma yüzeylerinin Taramalı Elektron Mikroskobu'nda fotoğrafları çekilmiş ve aşınma mekanizmaları incelenmiştir.

**Anahtar Sözcükler:** Elyaf yönlenmesi, elyaf hacim oranı, plastik kompozitler, aşınma

## Effects of Fiber Volume Fraction and Fiber Orientation on the Tribological Behaviour of Unidirectionally Oriented Glass Fiber-Polyester Composites

### Abstract

In this study, a unidirectionally oriented fiber reinforced polymeric composite was produced by using silane coated glass fiber and polyester resin by means of the hot press method. The friction and wear behaviour of the composite was investigated as a function of fiber volume fraction and varying fiber orientations with respect to the sliding direction. The wear rate was minimum when the orientation of the fibers was parallel to the sliding surface and 15% volume fraction. This can be attributed to different wear mechanisms for different fiber directions. Coefficient of friction and wear rate were decreased with increasing sliding speed and contact force. Wear mechanisms were also examined in relation to the variation in fiber orientation and fiber volume fraction using SEM micrographs.

**Key Words:** Fiber orientation, fiber volume fraction, plastic composites, wear

## Giriş

Bilim ve teknolojinin büyük bir hızla ilerlediği günümüzde, her geçen gün yeni ve üstün özelliklere sahip malzeme ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu ihtiyaçlar, kompozit malzemelerin geliştirilmesi için itici gücü oluşturmuştur. Son yıllarda elyaf takviyeli

polimer matrisli kompozit malzemelerin üretimi ve endüstriyel uygulamalarda kullanımı büyük ölçüde artmıştır. Bu malzemelerin yüksek özgül mukavemet ve rijitliğe sahip olması uzay sanayi, otomotiv ve kimya endüstrisi gibi birçok alanda kullanılmasını

sağlamıştır. Ayrıca bu malzemelerden dişli, kam, tekerlek, fren ve debriyaj balataları, yataklar, muylular gibi aşınmaya maruz kalabilecek parçaların imali de gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır.

Plastik matrisli ve elyaf takviyeli kompozitlerin sürtünme ve aşınma özellikleri, büyük ölçüde kompoziti oluşturan bileşenlerin özelliklerine ve aralarında oluşan ara yüzey özelliklerine bağlıdır. Bunlar matrisin türü, takviye malzemesi türü, takviye elemanın yapı içerisindeki dağılımı, elyaf hacim oranı, elyaf şekli, elyaf kalınlığı, elyafın matris içerisindeki yönelmesi, karşı yüzey malzemenin özellikleri ve takviye malzemesinin matrise göre sertliği gibi özelliklerdir [Zum, 1987].

Plastik esaslı kompozit malzemelerin tribolojik özellikleri üzerine yoğun çalışmalar yapılmış ve yapılmaktadır [Zum, 1987]. Bahadır ve Zheng[1990] tarafından yapılan bir çalışmada, polyester esaslı ve süreksiz cam elyaf takviyeli kompozit malzemede en düşük sürtünme katsayısı ve en yüksek aşınma dayanımının %10 elyaf ağırlık oranında olduğu görülmüştür. Diğer taraftan farklı bileşenlerle yapılan dört ayrı çalışmada [Zum, 1987] en yüksek aşınma dayanımı %25-30 elyaf hacim oranlarında elde edilmiştir. Eleiche ve Amin[1986] tarafından pamuk lifleriyle takviye edilmiş polyester esaslı kompozit malzeme üzerine yapılan bir çalışmada ise en yüksek aşınma direncinin % 15 elyaf hacim oranında olduğu tesbit edilmiştir.

Elyaf yönelmesinin sürtünme katsayısı ve aşınma dayanımına etkileri üzerine yapılan çalışmaların çoğunluğunda en yüksek aşınma dayanımının elyaf doğrultusuna dik (D) konumda olduğu tesbit edilmiştir [Eleiche ve Amin, 1986]. Shim ve arkadaşları [1992] tarafından yapılan bir çalışmada, düşük hızlarda en yüksek aşınma dayanımı D konumda olurken, yüksek hızlarda bunun tam tersine olarak D konumunda en düşük aşınma dayanımı saptanmıştır.

Kayma hızı ve temas basıncı gibi çalışma şartları tribolojik özellikleri etkileyen diğer faktörlerdir. Yapılan bazı çalışmalarda [Lhymn, 1986; Tripathy ve Furey, 1993] kayma hızının artmasıyla sürtünme katsayısı ve özgül aşınma hızının düştüğü görülmüştür. Temas basıncının artması da benzer etki göstermektedir [Lhymn, 1986; Janczak ve arkadaşları, 1989; Bijwe ve arkadaşları, 1990].

## DeneySEL Çalışmalar

Bu çalışmada kullanılan kompozit malzeme, ülkemizde en yaygın olarak kullanılan cam elyaf-polyester kompozitidir. Kompozit üretimi

tarafımızdan gerçekleştirildi ve elyaf olarak silan kaplı E-camı (Şişe Cam Elyaf Grubu), matris olarak da polyester (Boytek, BRE-314EE) kullanıldı [Tablo 1]. Sertleşmenin sağlanması için hızlandırıcı olarak %2 oranında kobalt katalizör, % 1 hacim oranında ise sertleştirici (stiren) katıldı. Üretilen kompozitin mekanik özellikleri Tablo 2' de verilmiştir.

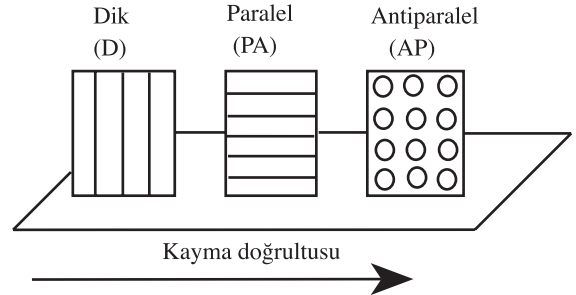
**Tablo 1.** Kompozit bileşenleri ve özellikleri.

Özellikler	Polyester (BRE-314 EE)	E - camı (CE-WR)
Çekme dayanımı (MPa)	45	3445
Elastiklik modülü (GPa)	3	76
Çekme uzaması (%)	1,4	2,75
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	1,2	2,56
Elyaf çapı (µm)	-	12,5
Sertlik (Barcol)	45	-

Deneylerde kullanılan numunelerin üretimi ve mekanik özellikleri hakkında daha geniş bilgi başka yerde verilmiştir [Yaşar, 1996]. 150×25×25 mm boyutlarında üretilen malzemeden elmas diske 25×25×25 mm boyutlarında numuneler kesilerek, liflerin kayma yüzeyine göre üç değişik konumda (Şekil 1) deneylere tabi tutulmuştur.

Bu çalışmada cam takviyeli polyester malzemenin elyaf hacim oranı, elyaf yönü, kayma hızı ve yüzey basıncına bağlı olarak sürtünme katsayısı ve aşınma dayanımı ölçülmüştür. Deneylerde kullanılan yüzey basınçları ve kayma hızları kaynaklarda verilenlerden daha yüksek seçilmiştir. Bunun nedeni, bu çalışmanın asbestsiz balata üretimi ile ilgili çalışmaya katkı yapmak amacıyla yapılmasındandır. Balata testleri nisbeten ağır şartlarda yapıldığından, burada da ağır şartlar kullanılmıştır.

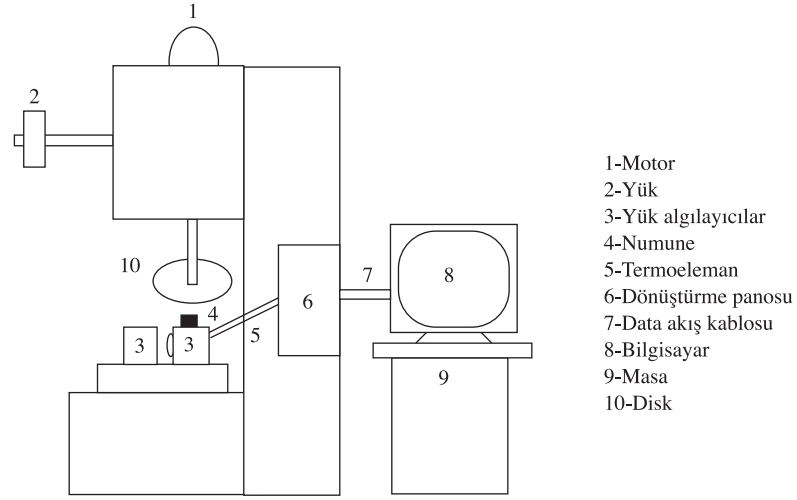
Karşı yüzey olarak kullanılan disk, kır dökme demir olup, sertliği 240 BSD ve yüzey pürüzlülüğü ~0.4 mm'dir. Deney numuneleri ve disk yüzeyleri deney öncesi 600 numaralı zımpara ile zımparalanarak alkolle temizlenip, numuneler 1 mg hassasiyetle tartılmıştır.



**Şekil 1.** Numunelerin kayma doğrultusuna göre konumları

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan kompozit numunelerinin bazı özellikleri.

Elyaf hacim oranı [%]	Yoğunluk $\rho$ , [gr/cm <sup>3</sup> ]	Özgül mukavemet $\sigma/\rho$ [m <sup>2</sup> × 10 <sup>-3</sup> /s <sup>2</sup> ]	Çekme dayanımı $\sigma$ , [MPa]
0	1,21	20,83	25
3	1,23	31,7	39
12	1,36	88,23	120
15	1,41	68,79	142
18	1,45	117,93	171
30	1,60	205,00	328
33	1,64	221,95	364
42	1,69	314,37	525
55	1,89	305,82	578
67	2,12	309,52	650

**Şekil 2.** Pim-disk tipi sürtünme ve aşınma deney düzeneği şematik görünümü.

Deneyler pim-disk tipi, bilgisayar kontrollü deney düzeneğinde yapılmıştır (Şekil 2). Bir bilgisayar yazılımı kullanılarak dakikada yüzlerce veri alınmış, bu verilerin ortalaması hesaplanarak sürtünme katsayısı ( $\mu$ ), sürtünme kuvvetinin ( $F_s$ ) dik kuvvete ( $F_n$ ) bölümü ile elde edilmiş ve ekranda gerçek zamanlı olarak izlenmiştir. Özgül aşınma hızı ise;

$$W = \Delta m / (\rho \cdot F_n \cdot S)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır. Burada;  $\rho$  : Malzeme yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>),  $\Delta m$ : Ağırlık kaybı (gr),  $F_n$ : Normal kuvvet (N),  $S$ : Alınan yol (m)'dir.

Deneylerde basınç 0.32 ile 1.4 MPa arasında, kayma hızı ise 5 ile 14 m/s arasında değiştirilerek bu parametrelerin etkileri incelenmiştir. Deneylere tabi tutulan numunelerin aşınan yüzeyleri Tara-

malı Elektron Mikroskobu (SEM)'nda incelenerek farklı büyütmelerde fotoğrafları çekilmiş ve aşınma mekanizmaları değerlendirilmiştir.

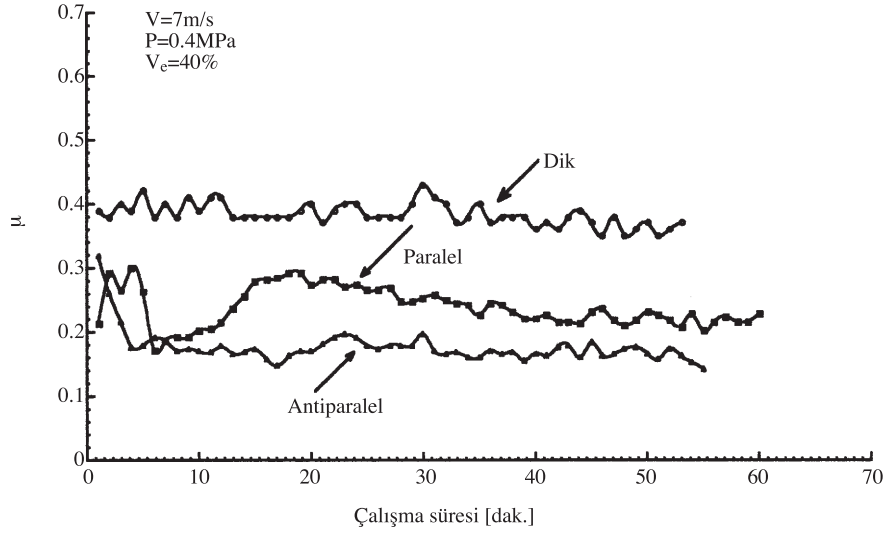
## Bulgular ve İrdeme

### Elyaf Yönünün Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Hızına Etkisi

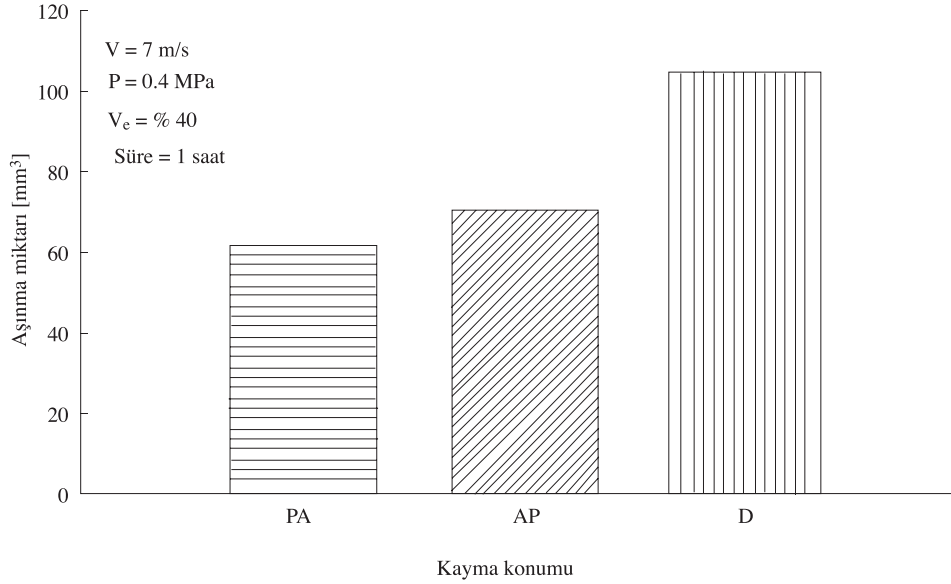
Kompozit içinde bulunan elyafların kayma yüzeyine göre konumları, sürtünme ve aşınma özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir. Tek yönlü olarak üretilen malzemeden deney numuneleri kesilmiş ve kayma yönüne paralel (PA), antiparalel (AP) ve dik (D) doğrultularda deneylere tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi en yüksek sürtünme katsayısı ve özgül aşınma hızı D konumunda,

en düşük sürtünme katsayısı ise AP konumunda elde edilmiştir. PA konumunda sürtünme katsayısı AP ko-

numuna göre daha yüksek olmasına rağmen, aşınma hızı daha düşük çıkmıştır.



Şekil 3. Sürtünme katsayısının elyaf konumuna göre değişimi.



Şekil 4. Aşınma miktarının elyaf konumuna göre değişimi

En iyi aşınma dayanımı PA konumunda gözlenmiştir. D konumunda en iyi aşınma dayanımı beklenirken yüksek çıkmasının nedeni, sürtünme katsayısı ve temas basıncının yüksek olması nedeniyle sürtünme yüzeyinde yanma ve parçalanma meydana gelmesidir. D konumunda deney yapılırken çok fazla gürültü oluşmuştur. Polimer matrisli kompozit malzemelere uygulanan aşınma deneylerinde

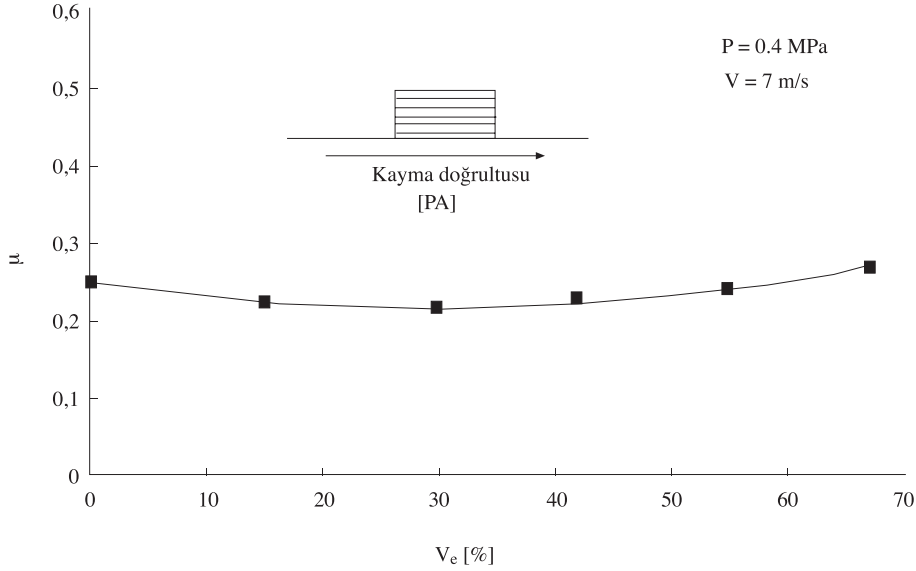
karşı yüzeyde film oluşumu gözlenmektedir [Bijwe, J]. Oluşan bu film sürtünmenin polimer-polimer sürtünmesine dönüşmesine yol açmakta, bu durum aşınma hızını azaltma yönünde etki etmektedir. Dik konumunda sürtünme katsayısının yüksek olması ve deneyler sırasında gürültü oluşması, karşı yüzeyde film oluşmadığını göstermektedir. Ayrıca sürtünme

katsayısının yüksek olması nedeniyle oluşan aşırı ısınmanın sonucu olarak termal aşınma mekanizması daha etkin olmaktadır [Bijwe, J]. Aşınmaya maruz kalmış numune yüzeyinde kömürleşme görülmesi bu yargıyı güçlendirmektedir (Şekil 12.c).

Sürtünme katsayısı AP konumuna göre daha yüksek çıkmasına rağmen aşınma dayanımının PA konumda daha iyi olması, liflerin PA konumdaki sürtünmede çekmeye, AP konumda ise eğilmeye maruz kalmalarındandır. Liflerin eğme mukavemetinin çekme mukavemetlerinden daha düşük olması, bu durumu ortaya çıkarmaktadır. Suh ve Sung (1979)'un açıklamalarında bu yöndedir. AP konumda sürtünme katsayısının düşük çıkması, aşınma yüzey fotoğraflarından da görüldüğü gibi aşınma sırasında ayrılan matris tozlarının elyafların üzerine sıvanmış olması nedeniyle yağlama etkisi göstermesidir (Şekil 12.b). Lhymn (1987)'in karbon elyaf takviyeli polifenilen sülfat matrisli kompozitler üzerine yaptığı bir çalışmada düşük kayma hızlarında (0.5 m/sye kadar)

paralel konumdaki aşınma hızı en yüksek iken, nispeten yüksek kayma hızlarında antiparalel konumdan daha düşük hale geldiğini gözlemiştir. Sung ve Suh (1979)'un grafit elyaf takviyeli epoksi kompozitinde 0.25 MPa yüzey basıncı ve 2.54 m/s kayma hızında yaptıkları deneylerde paralel konumdaki aşınma hızının antiparalel konumdan daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Bu bulgular, bu çalışmada elde edilen sonuçlarla uygunluk içindedir.

Sürtünme katsayısı ile aşınma hızı arasındaki ilişkiyi belirleyen belirli bir bağıntı bilinmemektedir. Bu eksiklik, sürtünme katsayısının yüzey özellikleriyle, aşınma hızının ise malzemenin yapı ve mikromekanik özellikleri ile ilgili olmasından ileri gelmektedir [Sung ve Suh,1979 ]. Aşınma hızıyla sürtünme katsayısının aynı eğilimde olması beklenmekle birlikte bir çok araştırmacı bunun her zaman geçerli olmadığını göstermiştir [Bijwe, J., 1997, Sung ve Suh ,1979].



Şekil 5. Sürtünme katsayısının elyaf hacim oranıyla değişimi.

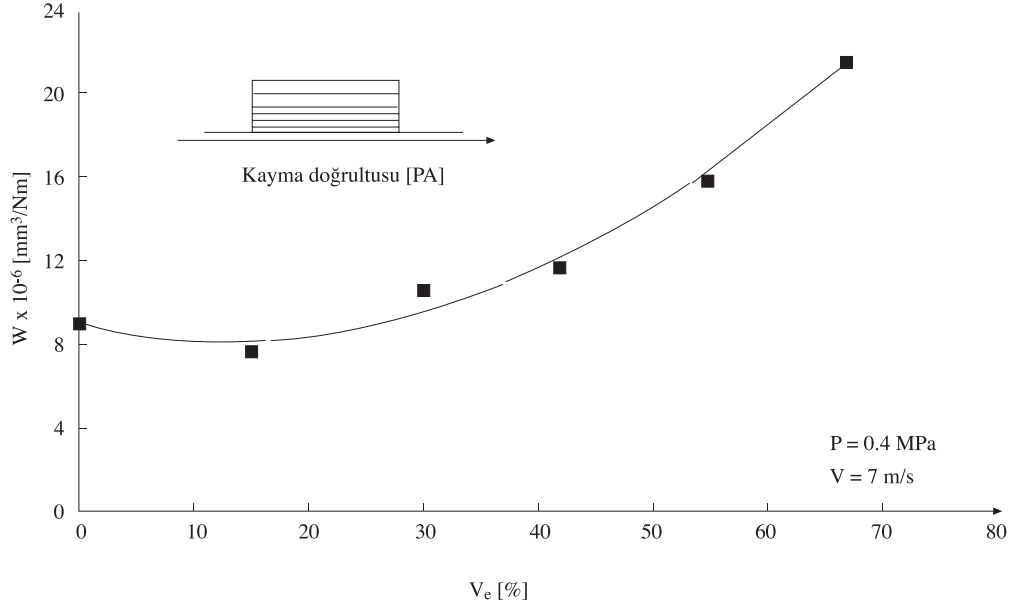
#### Elyaf Hacim Oranının Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Hızına Etkisi

Sürtünme katsayısı ve aşınma hızının elyaf hacim oranıyla değişimi sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6' da verilmiştir. Bu eğrilerden görüldüğü gibi malzemenin sürtünme katsayısı %15-30 elyaf hacim oranlarında en düşük değerindedir. % 30 elyaf hacim oranının üzerinde ise elyaf hacim oranı arttıkça sürtünme katsayısında da artış olduğu görülmektedir. Aşınma hızı ise elyaf hacim oranı arttıkça azalmakta ve % 15 elyaf

hacim oranında minimum olmakta ve bu orandan sonra tekrar artmaktadır. Elyaf hacim oranı arttıkça sürtünme katsayısı ve özgül aşınma hızı başlangıçta azalmakta, belirli bir oran (%15-30)'dan sonra tekrar artmaktadır. Elyaf hacim oranı arttıkça aşınma dayanımının artması beklenirken düşüş gözlenmesi, yüksek elyaf hacim oranlarında aşınma mekanizmasının değişmesinden kaynaklanmaktadır. Düşük elyaf hacim oranlarındaki yapıda daha az elyaf bu-

lunduğundan, elyaf kırılması ve matristen ayrılma daha az miktarda olmaktadır. Yüksek elyaf hacim oranlarında ise elyaf kopması ve elyafın matristen ayrılması en etkin aşınma mekanizmalarıdır. Ara yüzeyde daha yoğun parçalanmış elyaf bulun-

ması, karşı yüzeyde oluşan polimer filmi kaldırarak abrazif aşınmayı artırmakta ve aşınma hızının artmasına neden olmaktadır. Benzer sonuçlar Bahadur ve Zheng (1990) tarafından yapılan çalışmalarda da görülmüştür.



Şekil 6. Aşınma hızının elyaf hacim oranıyla değişimi.

#### Kayma Hızının Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Hızına Etkisi

Disk dönme hızı değiştirilerek PA ve AP konumlarında deneyler yapılmış, elde edilen sonuçlar Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Kayma hızının artmasıyla birlikte sürtünme katsayısı her iki konumda da azalmakta, fakat azalma miktarı PA konumda daha yüksek olmaktadır. Yaklaşık 13 m/s kayma hızında PA ve AP konumlarıdaki sürtünme katsayısı değerleri eşitlenmektedir. Aşınma hızı, kayma hızının artmasıyla PA konumda belirgin olarak düşerken, AP konumda ise önce artış sonra az miktarda düşüş göstermektedir. Aşınma hızında meydana gelen düşüşün nedeni olarak, kayma hızının artmasıyla sürtünme katsayısında meydana gelen düşmenin sonucu olarak aşındırıcı kuvvetler ( $F_s = \mu \cdot F_n$ ) de meydana gelen azalmanın yanında, yüksek hızlarda karşı yüzeyde daha iyi film oluşması gösterilebilir. Tripathy ve Furey (1993)'de bu durumu, düşük hızlarda karşı yüzeyde belirgin bir film (film transferi) oluşumu yokken, yüksek hızlarda daha çok polimer transferi (film oluşumu) olmasına bağlamışlardır. Film transferinin oluşumunu ise

yüzey sıcaklığındaki artışla açıklamışlardır. Benzer sonuçlara Lhymn (1986) in yaptığı çalışmalarda da rastlanmaktadır.

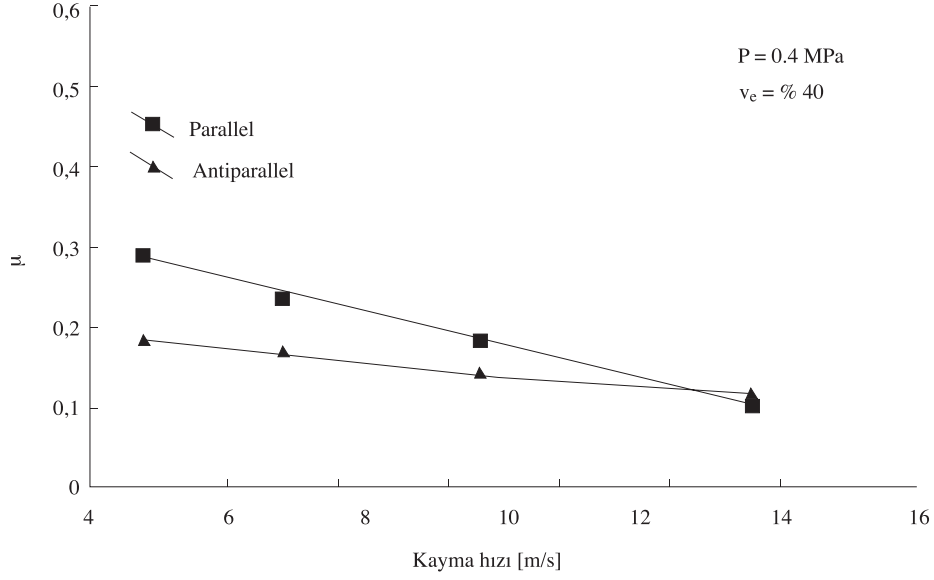
#### Yüzey Basıncının Sürtünme Katsayısı ve Aşınma Hızına Etkisi

Yüzey basıncının sürtünme katsayısı ve aşınma hızına etkisi değişik elyaf hacim oranlarında numuneler kullanılarak araştırılmıştır. Şekil 9 ve Şekil 10'dan görüldüğü gibi temas basıncı arttıkça sürtünme katsayısı ve aşınma hızında düşme olmaktadır. Takviye miktarı fazla olan malzemelerde aşınma hızının temas basıncına daha duyarlı olduğu görülmektedir. Sürtünme katsayısı ve aşınma hızında meydana gelen bu düşme, fenolik-cam elyaf kompozitiyle yapılan çalışmada [Bijwe, J., 1997] temas yüzeyinde termal etkiyle film (film transferi) oluşumu ile açıklanmıştır. Yüksek yük ve kayma hızlarında sürtünme yüzeylerinde sıcaklığın daha fazla yükselmesi beklendiğinden biz de bu açıklamaya katılıyoruz. Aynı durum başka araştırmacılarca da gözlenmiştir [Lhymn, 1986 ; Janczak ve arkadaşları, 1989; Bijwe ve arkadaşları, 1990].

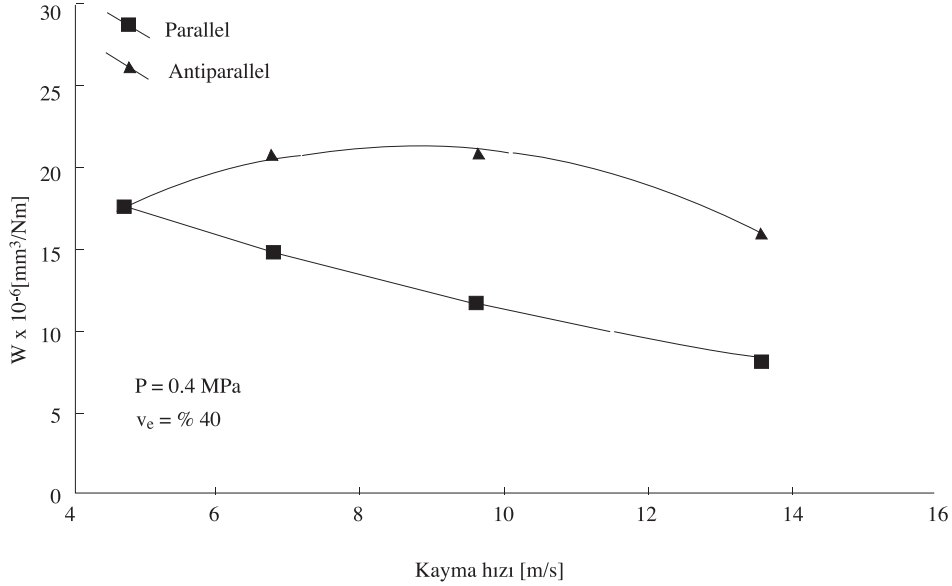
### Aşınma Yüzeyleri

Aşınma deneylerine tabi tutulmuş değişik elyaf hacim oranlarındaki numunelerin aşınma yüzeylerine ait SEM görüntüleri Şekil 11 ve Şekil 12'de verilmiştir. Düşük elyaf hacim oranlarında aşınma hızı daha düşük çıkarken, yüksek elyaf hacim oranlarında aşınma hızında artış görülmüştür. Bunun nedeni, aşınma mekanizmasındaki farklılıktır. Aşınma,

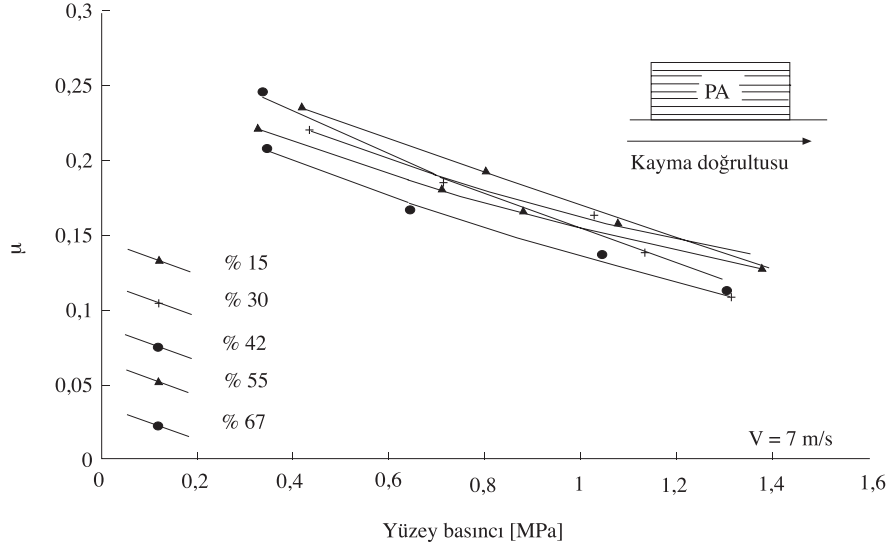
düşük elyaf hacim oranlarında daha çok matrisin koparak yapıdan ayrılması şeklinde olurken, yüksek elyaf hacim oranlarında aşınma mekanizması değişmekte ve elyaf kopması ve elyafın kırılarak matristen uzaklaşması daha etkin olmaktadır. Kopan sert elyaf parçacıkları, abrazyonun artırılmaktadır.



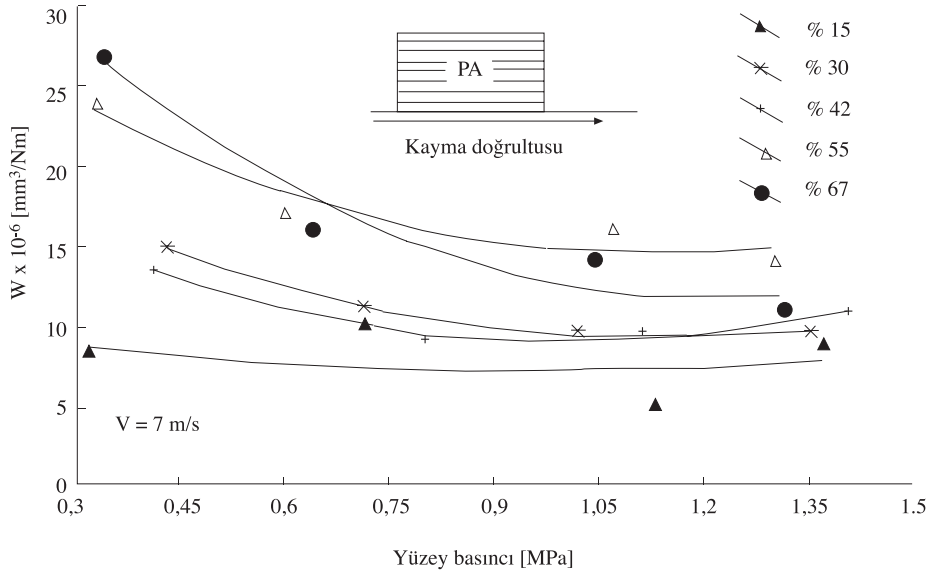
Şekil 7. Kayma hızının sürtünme katsayısına etkisi.



Şekil 8. Kayma hızının aşınma hızına etkisi.



Şekil 9. Değişik elyaf oranlarında temas basıncının sürtünme katsayısına etkisi.

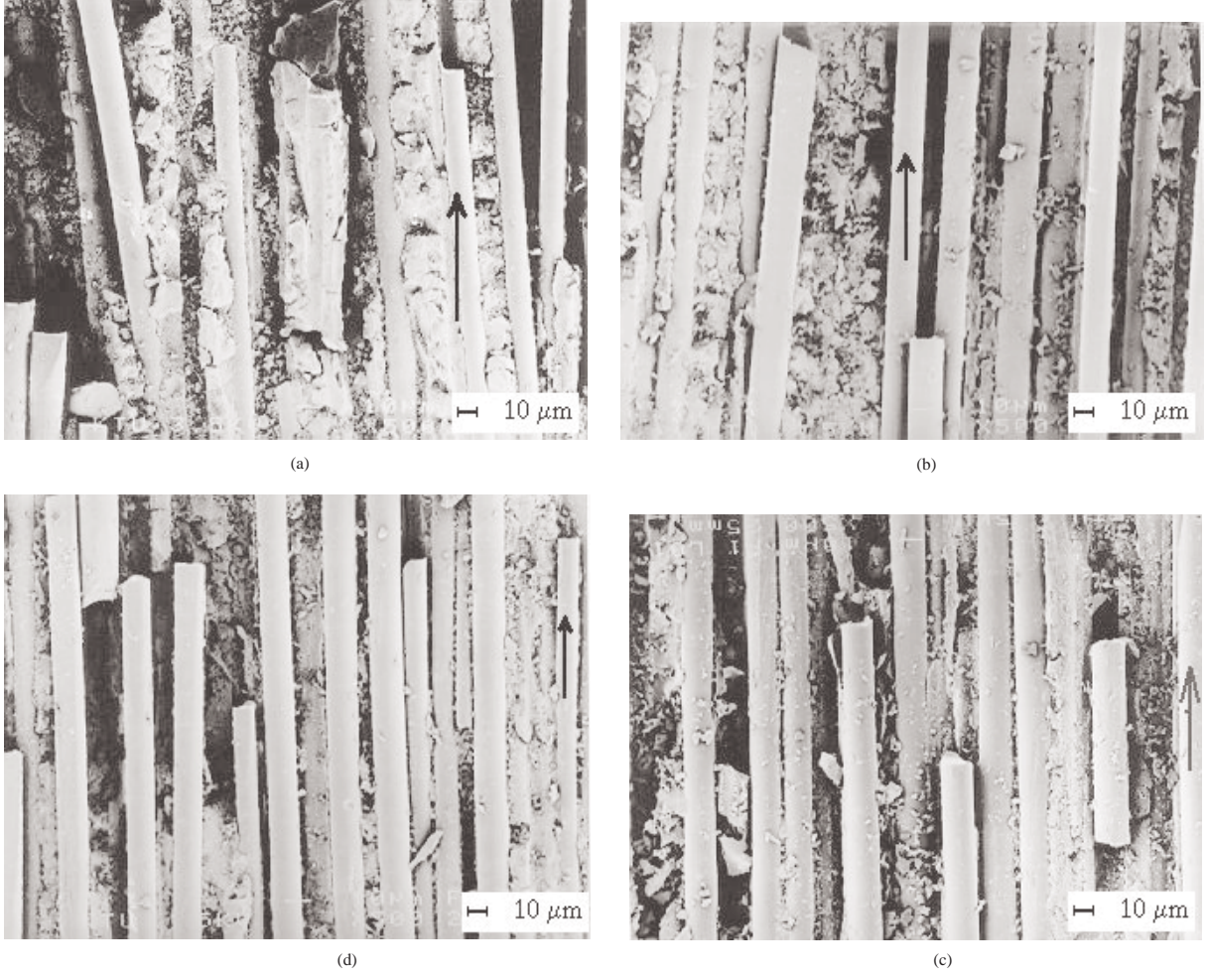


Şekil 10. Değişik elyaf oranlarında temas basıncının aşınma hızına etkisi.

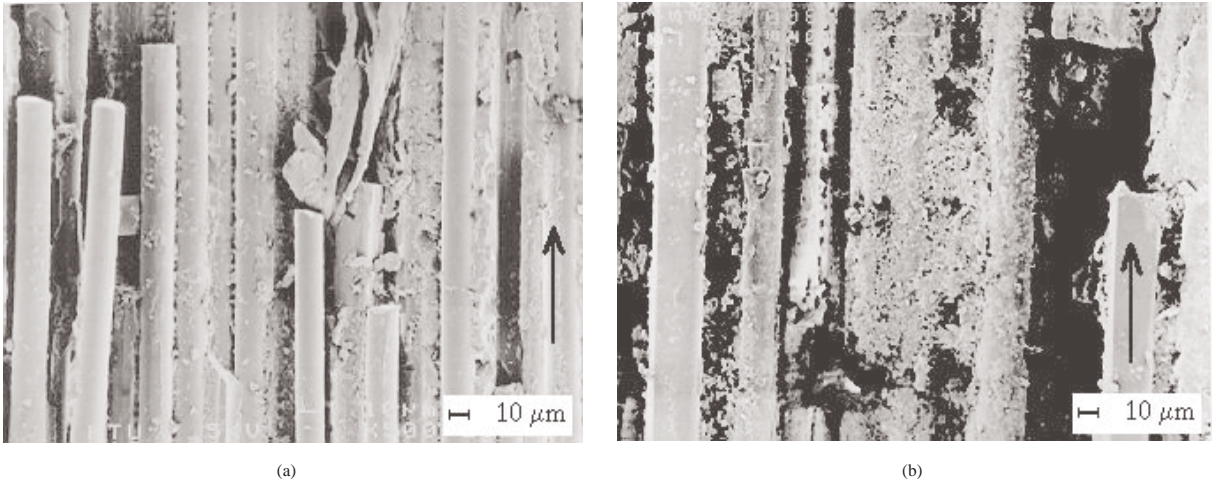
Paralel konumda sürtünme katsayısı Antiparalel konuma göre daha fazla çıkmıştır. Buna neden olarak, yapıdan kopan matris parçacıklarının lifler üzerine yapışarak yağlama etkisi yapması gösterilebilir. PA konumda aşınma, daha çok liflerin çekme sonucu kayma yönünde kopması şeklinde olmaktadır. Bu konumda lif yüzeyleri nisbeten temizdir ve lif yüzeylerinde aşınma izleri daha az

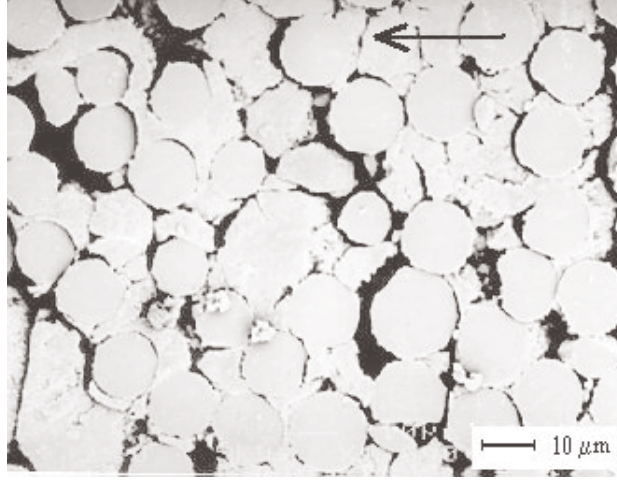
görülmektedir (Şekil 12.a). AP konumda ise aşınma liflerin eğme kuvvetinin etkisiyle kırılarak matristen uzaklaştırılması şeklinde olmaktadır. Bu tür aşınan yüzeylerdeki liflerde aşınma izleri belirgin bir şekilde görülmektedir. Elyaf yüzeyleri genel olarak kopan matris parçacıkları tarafından sıvanmıştır (Şekil 12.b).





**Şekil 11.** Farklı elyaf hacim oranları için aşınma yüzeyleri; (a)  $v_e$ =%15, (b)  $v_e$ =%30, (c)  $v_e$ =%42, d)  $v_e$ %67 (oklar kayma yönünü göstermektedir).





(c)

**Şekil 12.** Farklı kayma konumları için aşınma yüzeyleri; a) Paralel, b) Antiparalel, c) Dik (oklar kayma yönünü göstermektedir).

### Sonuçlar

Bu çalışmada, cam-polyester esaslı kompozit malzemenin elyaf hacim oranı, elyaf yönlenmesi ve çalışma şartlarına bağlı olarak tribolojik özellikleri incelenmiştir. Varılan sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1. Sürtünme katsayısı farklı elyaf konumları için farklı çıkmaktadır. Bunun sebebi sürtünme sırasında oluşan arayüzey özelliklerinin farklılaşmasından kaynaklanmaktadır. Antiparalel konumda aşınma matrisin elyaf üzerini kapatması yağlama etkisi yaptığından, sürtünme katsayısının ( $\mu = 0.18$ ) daha küçük çıkmasına neden olmuştur. Elyaf dik konumdayken yapılan testlerde numune yüzeyinde aşırı ısınma sonucu kömürleşme meydana gelmiştir. Bu durum karşı yüzeyde polimer filmi oluşmasını engellemiş ve sürtünme katsayısının yüksek ( $\mu = 0.40$ ) çıkmasına sebebiyet vermiştir. Bu konumda termal aşınma etkin olmuş ve aşınma hızı yüksek çıkmıştır. Paralel konumda ise sürtünme daha ziyade liflerle karşı yüzey arasında gerçekleşmiştir. Matrisin yağlama etkisi daha az olduğundan sürtünme katsayısı antiparalel konuma göre daha yüksek çıkmıştır ( $\mu = 0.25$ ).

2. Bu çalışmada uygulanan şartlar altında ( $P=0.32-1.4$  MPa ve  $V=5-14$  m/s) en iyi aşınma dayanımı elyaflara paralel konumda elde edilmiştir. Bunun nedeni karşı yüzey tarafından çekmeye zorlanan liflerin çekme mukavemetinin fazla olması nedeniyle kolayca kopmamaları ve matristen ayrılmamalarındandır. Antiparalel durumda ise liflerin daha ziyade eğilmeye

zorlanmaları sonucunda kırılmakta ve matristen daha kolay ayrılmaktadır. Elyaflara dik konumda ise yukarıda verilen nedenlerle aşırı gürültü, yüzeyde yanma ve parçalanma gözlenmiştir.

3. En düşük aşınma hızı %15 elyaf hacim oranında bulunmuştur. Bu orandan sonra aşınma hızında artış gözlenmektedir. Bu durum aşınma mekanizmasında meydana gelen değişimle açıklanmıştır.

4. Çalışılan aralıkta kayma hızı ve yüzey basıncı arttıkça sürtünme katsayısı ve özgül aşınma hızları azalmaktadır.

5. Aşınma olayı, elyaf ve matrisin aşınması yanında elyaf kopması ve kopan elyafların abrazif etkisi ile oluşmaktadır. Abrazif etkinin artması, aşınma hızını da artırmaktadır. Elyaflara dik konumda termal aşınma mekanizması daha etkin olmaktadır.

### Semboller

AP	Antiparalel kayma yönü
D	Dik kayma yönü
$F_n$	Normal kuvvet
P	Temas basıncı
PA	Paralel kayma yönü
S	Alınan yol
V	Kayma hızı
$v_e$	Elyaf hacim oranı
W	Özgül aşınma hızı
$\rho$	Yoğunluk
$\mu$	Sürtünme katsayısı
$\Delta m$	Kütle değişimi

**Kaynaklar**

- Bahadur, S. ve Zheng, Y., Mechanical and Tribological Behaviour of Polyester Reinforced with Short Glass Fibers, *Wear*, 137, 251-266, 1990
- Bijwe, J., Composites as Friction Materials: Recent Developments in Non-Asbestos Fiber Reinforced Friction Materials, *Polymer Composites*, 18, No.3, 1997.
- Bijwe, J., Logani, C. M., Tewari, U. S., "Influence of Fillers and Fibre Reinforcement on Abrasive Wear Resistance of Some Polymeric Composites, *Wear*" 138, 77-92, 1990.
- Eleiche, A.M. ve Amin, G.M., "The Effect of Unidirectional Cotton Fiber Reinforcement on The Friction and Wear Characteristics of Polyester", *Wear*, 112, 67-78, 1986.
- Janczak, K.J., Janczak, T. ve Slusarski, L., "Friction and Wear of Polymer Composite Material", *Wear*, 130, 93-101, 1989.
- Lhymn, C., "Tribological Properties of Unidirectional Poly-Pheylene Sulfide -Carbon Fiber Laminate Composites", *Wear*, 117, 147-159, 1987.
- Shim, H.H., Kwon, O.K. ve Youn, J.R., "Effects of Fiber Orientation and Humidity on Friction and Wear Properties of Graphite Fiber Composites", *Wear*, 157, 141-149, 1992.
- Sung, N.H. ve Suh, N.P., "Effect of Fiber Orientation on Friction and Wear of Fiber Reinforced Polimeric Composites", *Wear*, 53, 129-141, 1979.
- Tripathy, B.S. ve Furey M.J., "Tribological Behaviour of Unidirectional Graphite-Epoxy Carbon PEEK Composites", *Wear*, 162-164, 385-396, 1993.
- Yasar, İ., ve Arslan, F., Cam-Polyester Kompozitinde Elyaf Hacim Oranı ve Elyaf Doğrultusunun Çekme Dayanımına Etkisi, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, Cilt 1, İstanbul, 1997.
- Zum Gahr K.H., *Microstructure and Wear of Materials*, Elsevier, Amsterdam, 1987.