

# PARTİKÜL TAKVİYELİ POLYESTER KOMPOZİTLERİN EĞİLME VE BASMA ÖZELLİKLERİ

**Ali BAYRAM, Murat YAZICI**

Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Görükle, Bursa

## ÖZET

Bu çalışmada, polyeester matriksin farklı oranlarda  $Al_2O_3$  ve grafit partikülleri takviyesi ile kompozit malzemeler üretilmiştir. İmal edilen her iki kompozitte  $Al_2O_3$  ve grafit partiküllerinin hacimsel oranları %1, 2, 3, 4 şeklinde değiştirilerek hacimsel oran bir parametre olarak ele alınmıştır.  $Al_2O_3$  ve grafit partiküllerinin takviyesi ile üretilen kompozit malzemelerin hacimsel oranlarına bağlı olarak eğilme dayanımı, modülü ve bası dayanımındaki değişimlerin eldesi için bir dizi test gerçekleştirilmiştir. Aynı malzeme çiftlerine ait çekme ve aşınma özellikleri literatürden alınarak, üretilen kompozit malzemeler için mekanik özellikleri sunma bakımından bir bütünlük elde edilmiştir. Bu sayede, tasarımcı için alternatif malzeme olması, ekonomikliği ve kolay üretilebilirliği gibi avantajlarının yanında, bahsedilen malzeme çiftlerinin hangi şartlarda seçiminin mümkün olabileceği mekanik özellikler açısından değerlendirilebilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit, Partikül, Eğilme, Basma.

## FLEXURAL AND COMPRESSION PROPERTIES OF PARTICULATE REINFORCED POLYESTER COMPOSITES

### ABSRTACT

In this study, having reinforced polyester matrix with various of compositions  $Al_2O_3$  and graphite particulate, the composites materials was manufactured. It was taken as a parameter volume fraction of  $Al_2O_3$  and graphite particulate which is varied 1, 2, 3, 4 % at manufactured both composites. A series tests were carried out examining changes of flexural and compression strengths depending on volume fraction reinforced with  $Al_2O_3$  and graphite particulate. Having taken from the literature the tensile strength and wear resistance of the same materials, in order to present mechanical properties of manufactured composite materials were obtained all the data. In this manner, being alternative materials for designers and having advantages of being cheap and easy manufactured, the materials mentioned above will be chosen under the conditions evaluated depending on mechanical properties.

**Key Words:** Composit, Particul, Bending, Compression.

## 1. GİRİŞ

Partikül takviyeli kompozitler üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda, gerek deneysel verilerle, gerekse analitik yaklaşımlarla mekanik ve diğer fiziksel özellikleri belirlenmeye

çalışılmaktadır. Bu hususta yapılan ilk çalışmalar, 1873'de J.C. Maxwell ve 1892'de Lord Rayleigh'in

küresel partiküllerle takviyeli kompozitlerin ısı iletkenlik katsayılarının bulunmasına yönelik yaptıkları analitik çalışmalarıdır (Hashin, 1983).

Mekanik davranışların belirlenmesine yönelik ilk çalışma, 1906'da yayınlanan sıvı içerisindeki küçük rijit bir küre civarındaki efektif viskoziteyi hesaplayan Albert Einstein'ın meşhur çalışması kabul edilmektedir (Hashin, 1983).

Bir katı içerisinde bulunan yabancı bir cismin civarındaki gerilme alanının bulunmasına yönelik çalışmalar ise, kompozit malzeme problemi ile daha yakından ilgilidir. Bu konudaki ilk çalışma Eshelby tarafından 1957 yılında yapılan eliptik bir takviye problemini, mükemmel arabirim şartları altında çözümüdür (Eshelby, 1957). Bunu takip eden yıllarda 1962'de, Hashin tarafından iki veya daha çok fazlı homojen olmayan malzemelerin elastisite modülleri, elastisite teorisinin varyasyonel yaklaşımlarından ve partikül takviyeli kompoziti her bir partikül etrafında belli yarıçapta matriks içeren küreler olduğunu kabul eden bir model yardımıyla, mükemmel arabirim şartları altında elde etmiştir (Hashin, 1962). 1964'de Hashin ve Rosen tarafından, içi partikül veya lif doldurulmuş matriksten oluşan küresel veya silindirik, üç fazlı kompozit elemanlar üzerine bir çalışma yapmışlardır (Qui ve Wieng, 1991). Daha sonra mikro yapıyla ilgili bir çok analitik çalışma yapılmıştır (Lee ve Wetmann, 1970; Walpoe, 1978; Chen ve Acrivos, 1978). Ancak bunlar genelde kaplanmış ve kısmen mükemmel arabirim şartları altındadır. Bu konuda yapılmış son çalışmalardan bir tanesi de, Hashin tarafından mükemmel olmayan arabirim şartları altında küresel takviye etrafındaki gerilme dağılımını bulmaya yöneliktir. Bu çalışmasında Hashin, partikül civarındaki gerilme dağılımının arabirim özelliklerini büyük oranda etkilediğini göstermektedir (Hashin, 1991). Yine son çalışmalardan bir diğerinde, kalınca kaplanmış partikülün elastisite modülünü veren analitik yaklaşımlarda bulunulmuştur (Qui ve Wieng, 1991).

Yukarıda bahsedilen çalışmaların tümünde mekanik davranışa ait direkt yaklaşımlar mevcuttur. Mikro yapıdaki bu analizlerin yanında başka yaklaşımlar vardır. Bir tanesi, tek yönlü elyaf takviyeli kompozitlerde, elyafa dik doğrultudaki modülü veya gerilmeyi veren yaklaşımların kullanılmasıdır (Phillips, 1992; Halpin ve Pagano, 1969). Bunun yanında rastgele yerleştirilmiş uzun partiküller (kısa elyaflar), hava kabarcıkları gibi iki fazın rastgele karışımından oluşan kompozitlerin, mekanik davranışlarını ve hasar durumlarını bulmaya yönelik istatistikî yaklaşımların kullanıldığı bir çok çalışma mevcuttur (Chiang, 1994; Bourgain ve Masson, 1992;

Hahn, 1975). Bunların çoğunda Weibull dağılımı kullanılmaktadır.

Çok rijit partiküllerle takviye edilmiş matriksin modülünün 4-5 kat yükselmesi bekleneceği gibi aksine mukavemeti, ya matriksin mukavemeti civarında olması ya da daha düşük değerlerde çıkabileceği beklenmektedir (Hashin, 1983). Benzer türde yaklaşımlar, yine cam küre takviyeli kompozitler için Nielsen ve Leidner-Woodhaus tarafından çıkarılmış iki amprik ifadede görülmektedir. Bu ifadelerde kompozit malzemenin mukavemeti partikül hacimsel oranının fonksiyonu olarak azalmaktadır (Yılmaz, 1992).

1968 yılında yapılan bir deneysel çalışmada cam boncuklar ile takviyeli polyphenyleneoxit kompozitlerinin akma gerilmesi ve modülleri, takviye hacimsel oranına bağlı olarak elde edilmiş ve cam boncuklar A-silan 100 ile etkilenmek suretiyle arabirim mukavemeti artırılarak, yapışmanın kırılma tokluğu üzerine etkisi araştırılmıştır (Wambach et al., 1968).

Bütün bu çalışmalardan partikül takviyesinde tıpkı elyaf takviyesindeki gibi arabirim mukavemetinin önemli bir parametre olduğu, istatistikî homojen kabul edilebileceği, kompozit modülünü büyük oranda artıracığı ve mukavemette bir düşüş beklenmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Verilen bu çalışmada,  $Al_2O_3$  ve grafit partikül takviyeli polyester kompozitlerde eğilme ve basma davranışının hacimsel orana bağlı olarak nasıl değiştiği araştırılmıştır. Sonuçlar, incelenen bu kaynakların ışığı altında yorumlanmaya çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada, ortalama 40  $\mu m$  tane boyutunda  $Al_2O_3$  ve grafit partikülleri kullanılmıştır.  $Al_2O_3$  ve grafit partikülleri, hacimce % 1, 2, 3, 4 oranlarında polyester reçineye ilave edilip, el ile karıştırılarak kompozit malzemeler üretilmiştir. Rastgele dağılım söz konusu olduğu için bu malzemeler, istatistikî homojen kabul edilmiştir. Üç noktalı eğilme testlerinde, deney numuneleri ASTM 790 standardına ve basma deney numuneleri ASTM D-695M-89 standardına göre hazırlanmıştır.

Testler, bilgisayar bağlantılı INSTRON 4301 cihazında gerçekleştirilmiştir.

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Eğilme Gerilmesi ve Modülü

Seramikler gibi kırılğan malzemelerin mekanik performansını belirlemede kullanılan çekme testlerinde karşılaşılan zorluklar nedeniyle, bu malzemelerin tek eksenli mukavemet değerlerini belirlemek için, eğilme testleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Quinn ve Morell, 1991). Numune hazırlama sırasındaki işleme maliyetinin düşüklüğü, kolay numune hazırlayabilme, basit ve çok yönlü bir test metodu olması nedeniyle üç-noktalı eğilme testleri, kompozit malzeme endüstrisinde malzeme performansının ölçümü için geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Mallick, 1988).

Bütün bunların yanında pratikte, malzemelerin maruz kaldıkları zorlamaların başında eğilmeye zorlanma gelmektedir. Üretilen malzeme çiftlerinin kullanılacağı şartlara göre, tasarım mühendislerine eğilme davranışı ile ilgili bilgilerin verilmesi gerekir. Bir çok araştırmacı bu nedenle mekanik performansla ilgili çalışmalarında, eğilme test verilerini sunmuştur (Yılmaz, 1992, Ulçay ve Yazıcı, 1994; Ulçay ve Pourdeyhimi, 1994;).

Homojen kiriş teorisinden basit eğilmeye zorlanan kirişlerin tarafsız eksenin alt ve üst kısımlarında çeki ve bası olmak üzere farklı zorlamalara maruz kaldığı bilinmektedir. Kiriş aynı zamanda kesmeye zorlanarak kayma gerilmelerine de maruz kalmaktadır. Bütün bunların etkisi altında, eğilme deneyi sonuçlarının yorumlanması gerekir.

Partikül takviyeli kompozit malzemelerin eğilme gerilmeleri ve eğilme modülleri, homojen kiriş teorisine göre çıkarılan aşağıdaki ifadelerle hesaplanarak elde edilmiştir (Mallick, 1985; Cui ve Wisnom, 1992).

$$\sigma_{KM} = \frac{3F_{max}L}{2bt^2}$$

$$E_{KM} = \frac{mL^3}{4bt^3}$$

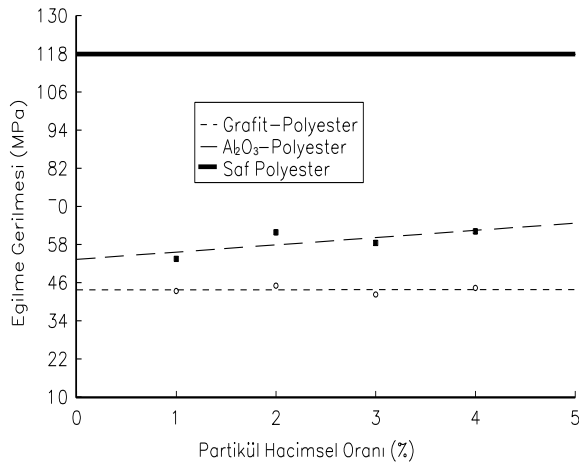
Burada,  $F_{max}$  maksimum kırılma yükü,  $b$ : numune genişliği,  $t$ : numune kalınlığı,  $L$ : mesnetler arası mesafe,  $m$ : yük-deplasman eğrisinin başlangıç eğimidir. Eğilme deneyi test sonuçları Tablo 1'de görülmektedir.

Üretilen  $Al_2O_3$  ve grafit partikül takviyeli kompozitlerin üç-noktalı eğilme deneyinden elde

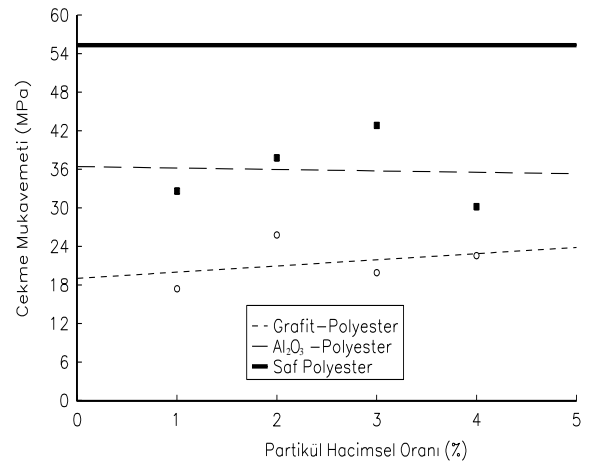
edilen sonuçları regrasyon analizi ile Şekil 1 ve Şekil 2'de görülmektedir. Şekil 1'de  $Al_2O_3$  ve grafit partiküllerinin hacimsel oranlarındaki artış ile eğilme gerilmelerindeki değişimi verilmektedir. Şekil 1 incelendiğinde  $Al_2O_3$  partikül takviyesinin, eğilme gerilmelerinin grafit partikül takviyesindeki eğilme gerilmelerine göre daha büyük değerlerde olduğu görülmektedir. Buradan, her ne kadar her iki partikül takviyesi de saf polyester matriksin eğilme mukavemetlerinde büyük düşüşlere ( $\approx$  %50 ve %60) neden olsa da,  $Al_2O_3$  partiküllerinin grafitte göre polyester matriks ile daha iyi bir yapışma gösterdiği ya da arabirim mukavemetinin (partikül boyutlarının aynı olduklarını da göz önüne alarak) daha fazla olduğunu söylemek mümkündür. Aynı malzeme çiftleri için,  $Al_2O_3$  oranına bağlı olarak çekme mukavemetinde de yükselme temayülü beklenir (Bayram, 1995). Ancak bu yükselme, çekme test sonuçlarında gözlenmemiştir. Bu durum, %4  $Al_2O_3$  partikül takviyedeki temayüle uymayan çekme gerilmesi değeri gözönüne alındığında anlaşılabilir. Bu değerlerin konsantrasyon farklılıkları doğrulayabileceği düşünülebilir. Sonuçlar Tablo 2'de ve Şekil 3' de görülmektedir. Yukarıda bahsedilen görüşü, aşınma deneyi sonuçları da doğrulamaktadır. Şekil 4'de görülen değişime ve Tablo 3'de verilen değerlerden  $Al_2O_3$ -Polyester hem saf polyester hem de Grafit-Polyester'e göre daha yüksek aşınma direnci gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu, karşı sürtünme elemanının (500 numara zımpara kağıdı) sert ve sivri parçacıklarının, matriks içerisinde  $Al_2O_3$

Tablo 1 Üç Noktalı Eğilme Deneyi Sonuçları

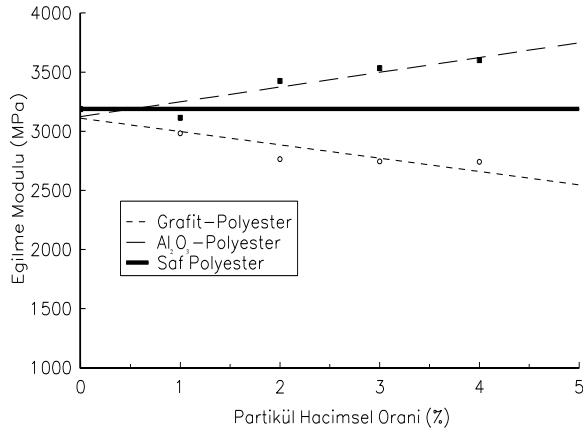
Hacimsel Oran (%)	Takviye Malzemesi	Eğilme Gerilmesi (MPa)	Eğilme Modülü (MPa)
% 1	$Al_2O_3$	53.50±16.1	3114±616
	Grafit	43.36±7.89	2982± 238
% 2	$Al_2O_3$	61.84±11.8	3425±190
	Grafit	45.07± 6.25	2765±278
% 3	$Al_2O_3$	58.5±14.52	3533±235
	Grafit	42.29±6.48	2744±651
% 4	$Al_2O_3$	62.18±10.3	3601±395
	Grafit	44.36±8.61	2741±385
-	Saf Polyester	117.8± 29	3187±422



Şekil 1 Eğilme gerilmesinin partikül hacimsel oranına bağlı olarak değişimi



Şekil 3 Çekme gerilmesinin partikül hacimsel oranına bağlı olarak değişimi



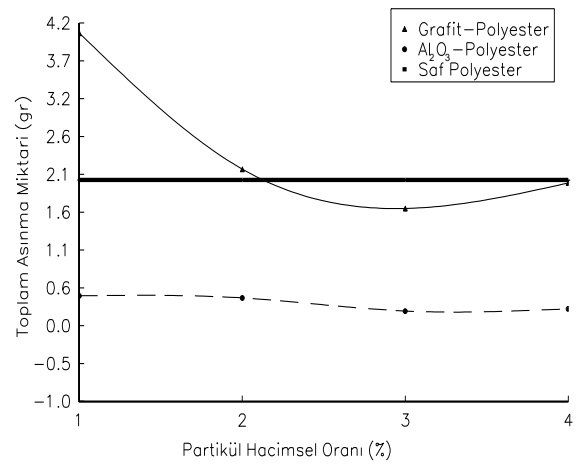
Şekil 2 Eğilme modüllerinin partikül hacimsel oranına bağlı olarak değişimi

Tablo 3 Aşınma Deneyi Sonuçları (Bayram, 1995)

Hacimsel Oranı (%)	Takviye Malzemesi	Toplam Aşınma Miktarı (mgr).
% 1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	445
	Grafit	4055
% 2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	418
	Grafit	2193
% 3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	243
	Grafit	1654
% 4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	266
	Grafit	2004
-	Saf Polyester	2043

Tablo 2 Çekme Deneyi Sonuçları (Bayram, 1995)

Hacimsel Oran (%)	Takviye Malzemesi	Çekme Gerilmesi (MPa)	Çekme Modülü (MPa)
% 1	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.60± 5.47	717 ± 19
	Grafit	17.39± 3.66	488 ± 29
% 2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37.78± 4.16	760 ± 151
	Grafit	25.78± 5.55	613 ± 52
% 3	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	42.83± 5.20	791 ± 114
	Grafit	19.92± 2.75	563 ± 37
% 4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.17± 7.41	798 ± 148
	Grafit	22.55± 1.96	496 ± 106
-	Saf Polyester	55.35± 6.69	941 ± 48.5



Şekil 4 Aşınma miktarının partikül hacimsel oranına bağlı olarak değişimi

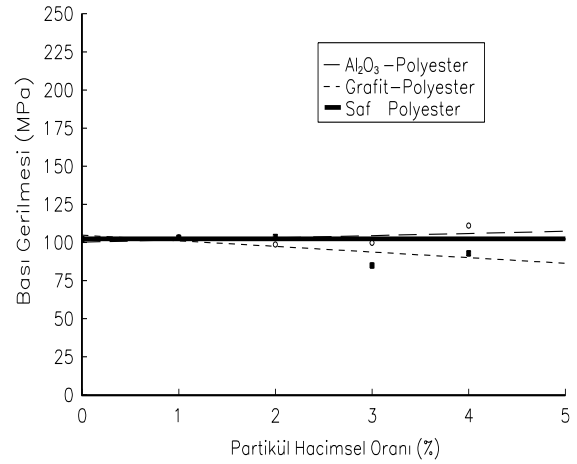
partiküllerini kolayca çıkaramadığı anlamına gelir ve arabirim mukavemetinin etkisi ile izah edilebilir. Şekil 1’de partikül hacimsel oranının artmasına bağlı olarak  $Al_2O_3$ -Polyester kompozitin, eğilme mukavemetinde bir artma temayülü Grafit-Polyesterin eğilme mukavemetinde de bir düşüş temayülü görülmektedir. Şekil 2’de ise  $Al_2O_3$ -Polyester ve Grafit-Polyester kompozitlerin eğilme modüllerindeki değişim görülmektedir.

Burada  $Al_2O_3$ -Polyester kompozitin eğilme modülünün saf polyestere göre daha yüksek olduğu, ayrıca hacimsel oranının artışı ile de yükselme temayülü gösterdiği görülmektedir. Bu yükselme,  $Al_2O_3$  partikülleri ilavesinin saf polyesterin rijitliğini artırdığı anlamına gelir. Bu artışa arabirim özelliklerinin etkisinin yanında,  $Al_2O_3$ ’in sert ve kırılabilir faz olmasının etkisi söz konusudur. Aynı diyagram üzerinde Grafit-Polyester kompozitin modülünde hacimsel orana bağlı olarak bir düşüş dikkat çekmektedir. Bu da grafit takviyenin polyesterin rijitliğini düşürdüğünü gösterir. Bu durum grafitin yağlayıcı özelliğinin ve arabirim mukavemetindeki zayıflığın iç yapıda kayma hareketlerine izin vermesi ile izah edilebilir.

Eğilme deneyi verilerinin sağladığı bir başka anlamlı sonuç da şu olabilir. Eğilme sırasında gevrek malzemelerin çekmeye çalışan kısmında bir çatlağın başlayacağı bilinmektedir. Basma deneyi sonuçlarından, takviyelerin saf polyesterin basma mukavemetini fazla etkilemediği de görülmektedir. Bunun sonucu olarak eğilmede hasarın, başlayan çatlağın ilerlemesinden olduğu anlaşılır.  $Al_2O_3$  partikül takviyesi ile, eğilme mukavemet ve modülünde hacimsel oranının artışı ile görülen yükselme temayülü, bu çatlağın ilerlemesini katılan  $Al_2O_3$  partiküllerinin nisbeten engellediğini ve yavaşlattığını ifade etmektedir.

### 3.2 Basma Dayanımı

Her iki partikül takviyesi için hacimsel orana bağlı olarak bası gerilmesinin değişimi, Şekil 5’de görülmektedir. Eğrilerin eğiminin çok düşük olması, partikül takviyeli kompozitin basma mukavemetinin, hem partikül hacimsel oranına hem de cisine fazlaca bağlı olmadığını ifade etmektedir. Üretilen kompozitlerin bası mukavemetinin, polyester matris malzemesinin değeri civarında olduğu da Tablo 4’de görülmektedir.



Şekil 5 Bası gerilmesinin partikül hacimsel oranına bağlı olarak değişimi

Tablo 4 Bası Deneyi Sonuçları

Hacimsel Oran (%)	Takviye Malzemesi	Bası Gerilmesi (MPa)
% 1	$Al_2O_3$	103.08 ± 2.90
	Grafit	103.4 ± 8.40
% 2	$Al_2O_3$	98.64 ± 11.4
	Grafit	103.6 ± 4.53
% 3	$Al_2O_3$	99.79 ± 4.40
	Grafit	84.93 ± 4.10
% 4	$Al_2O_3$	111.1 ± 7.21
	Grafit	92.94 ± 2.72
-	Saf Polyester	102.20 ± 1.10

## 4. SONUÇ

Partikül takviyesi ile ilgili yapılan çalışmalarda kullanılan yaklaşımlardan bir tanesi, kısa elyaf yaklaşımıdır. Kısa elyaflar uzun partiküller şeklinde düşünülmektedir (Hashin, 1983). Aynen kısa elyaflardaki gibi burada da arabirim mukavemeti (matris ve partikül arası yapışma) en önemli parametrelerden bir tanesidir (Piggot, 1991; Lacroix et al., 1992; Carman ve Reifsnieder, 1992). Ancak partikül-matris arabirim mukavemetini bulmak oldukça zor bir olaydır. Bu nedenle arabirim mukavemeti hakkında izafi olarak fikir sahibi olunabilir.  $Al_2O_3$ -Polyester’in Grafit-Polyester’e göre daha iyi bir arabirim mukavemeti olduğu sonucu bu ve Ali Bayram tarafından yapılan çalışmadan (Bayram, 1995) çıkarılan bir sonuçtur. Eğilme mukavemet ve modülünün, partiküllerin hacimsel oranındaki değişim ile farklı karakterler göstermesi,

arabirim özelliklerinin yanında, takviye malzemesi özelliklerinde mekanik özellikleri etkilediği sonucunu verir.

Partikül takviyesi, basma mukavemetine önemli oranda etki etmemektedir. Çekme mukavemetinde ise düşüşlere neden olmaktadır. Çekme mukavemetindeki düşüşü, arabirimdeki kopma ile izah etmek mümkündür. Partikül, arabirimdeki bu kopma sonucu hiçbir kuvvet taşımayacak ve matriks içerisinde bir boşluk gibi davranacaktır. Oluşan bu boşluklar etkili kesiti düşürdüğü gibi, büyük gerilme yığılmalarına neden olarak kompozit mukavemetine negatif yönde tesir etmektedir. Bu sonuçlar, literatürdeki yaklaşımlarla doğrulanmaktadır (Yılmaz, 1992). Eğilme gerilmesinde  $Al_2O_3$ 'ün hacimsel oranının artışı ile görülen yükselme temayülü, numunenin çekmeye çalışılan kısmında başlayan çatlağın ilerlemesinin,  $Al_2O_3$  takviyesindeki artışla nisbeten engellenebileceği gösterilebilir.

$Al_2O_3$  katkısı ile polyesterin modülündeki büyük oranda artışlar görülmektedir. Bu da  $Al_2O_3$  takviyesinin kompoziti daha rijit hale getirdiği anlamında olup, literatürdeki beklenti ile paralellik arzeder. Bu sonuç,  $Al_2O_3$  partiküllerin sert ve kırılgan faz oluşu ile izah edilebilir. Grafit takviyesinde görülen davranış, grafitin yağlayıcı özelliği nedeniyle iç yapıdaki kaymaların oluşması ile modülde düşüş gözlenmektedir. Bir başka deyişle, grafit takviyesi polysteri daha sünek hale getirmektedir.

Bütün bu özelliklerin yanında  $Al_2O_3$  takviyesi, saf polysterin aşınma miktarını % 740 gibi büyük bir oranda düşürmüş, aşınma mukavemetini artırma açısından grafit partiküllerine nazaran daha fazla katkısı söz konusudur (Bayram, 1995).

Bütün bu veriler tasarımcıya, bu malzeme çiftlerini hangi şartlarda kullanabileceğini vermesi açısından önem arz etmektedir.

## 5. KAYNAKLAR

Bayram, A. 1995. "Çeşitli Oranlardaki Grafit-Polyester ve  $Al_2O_3$ -Polyester Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikler Açısından Karşılaştırılması", **3. Balıkesir Mühendislik Sempozyumu**, 10-11, Nisan 1995. Balıkesir.

Bourgain, E. and Masson, J. J. 1992. A New Method of Modeling Strength Distribution for Ceramic Fibers, *Composites Sci. Tech.*, 43, 221-228.

Carman, G.P. and Reifsnieder, K.L. 1992. *Micromechanics of Short-Fiber Composites*, *Composites Sci. Tech.*, 43, 137-146.

Chen, H. S. and Acrivos, A. 1978. The Effective Elastic Module of Composite Materials Containing Spherical Inclusions at Non-Dilute Concentrations, *Int. J. of Solids Structures*, 14, 349-364.

Chiang, C.R. 1994. A Statistical Theory The Tensile Strength of Short-Fiber-Reinforced Composites, *Composites Sci. Tech.*, 50, 479-482.

Cui, W. C. and Wisnom, M. R. 1992. Contact Finite Element Analysis of Three and Four Point Short Beam Bending of Unidirectional Composites, *Composites Sci. Tech.*, 45, 323-334.

Eshelby, J.D. 1957. "The Determination of The Elastic Field of an Ellipsoidal Inclusion and Related Problems", **Proceedings of The Royal Society**, Vol. A241, 376-396.

Hahn, H.T. 1975. On Approximations For Strength of Random Fiber Composites, *J. of Composite Materials*, 9, 316-327.

Halpin, J. C. and Pagano, N. J. 1969. The Laminate Approximation for Randomly Oriented Fibrous Composites, *J. of Composite Materials*, 3, 720-724.

Hashin, E. 1983. Analysis of Composite Materials-A Survey, *J. of Applied Mechanics*, 51, 481-505.

Hashin, Z. 1991. The Spherical Inclusion with Imperfect Interface, *J. of Applied Mechanics*, 58, 444-449.

Hashin, Z. 1962. The Elastic Moduli of Heterogeneous Materials, *J. of Applied Mechanics*, 143-150.

Lacroix, T., Tilmans, B., Keunings, R., Desaegeer, M and Verpoest, I. 1992. Modeling of Critical Fibre Length and Interfacial Debonding in The Fragmentation Testing of Polymer Composites, *Composites Sci. Tech.*, 43, 379-387.

Lee, K.J. and Wetmann, R.A. 1970. Elastic Properties of Hollow-Sphere-Reinforced Composites, *J. of Composite Materials*, 4, 242-251.

Mallik, P.K. . 1988. Fiber - Reinforced Composites, Marel Dekker.

Phillips, M. G. 1992. Simple Geometrical Models for Young's Modules of Fibrous and Particulate Composites, *Composites Sci. Tech.*, 43, 95-100.

Piggott, M. R. 1991. Failure Processes in The Fiber-Polymer Interphase, *Composites Sci. Tech.*, 42, 57-76.

Qui, Y. P., Wieng, G.J. 1991. Elastic Module of Thickly Coated Particle and Fiber-Reinforced Composite, *J. of Applied Mechanics*, 58, 388-398.

Quinn, G.D. and Morell, R.1991. Design Data for Engineering Ceramics: A Review of The Flexure Test, *J. of The American Ceramic Society*, 74, 2037-2066.

Ulcay, Y. and Yazıcı, M. 1994. "Effect of Notch Depth on The Elastic Properties of 3D Randomly Distributed E-Glass Fiber Reinforced Polyester Composites", **Proceeding of The ASME Second European Joint Conference on Engineering Systems Design and Analysis, Design and**

**Manufacturing of Composites**, (Ed. F. Veniali, A.Ertaş), 4-7 July, 1994, London.

Ulcay, Y. and Pourdeyhimi, B. 1994. "A Study of Reinforcement Selection for Poly (Methyl Methorlate) Bone Cement for Surgical Implantation", **Proceedings of ASME Second European Joint Conference on Engineering Systems Design and Analysis, Design and Manufacturing of Composites** (Ed. F. Veniali, A. Ertaş) , 4-7 July, 1994, London.

Walpoe, L. P. 1978. "Coated Inclusion in an Elastic medium", **Mathematical Proceedings of The Cambridge Philosophical Society**, Vol. 83, 495-506.

Wambach, A., Trachte, K. and Dibenedetto, A 1968. Fracture Properties of Glass Filled Polyphenylene Oxide Composites, *J. of Composite Materials*, 2, 266-283.

Yilmazer, U. 1992. Tensile, Flexural and Impact Properties of A Thermoplastic Matrix Reinforced by Glass Fiber and Glass Bead Hybrids, *Composites Sci. Tech.*, 44., 119-125.