

PARÇACIK VE FİBER TAKVİYELİ POLİMER KOMPOZİTLERİN YOĞUNLUK VE BASMA DAYANIMI ÖZELLİKLERİ

Ergun ATEŞ ve Kadir AZTEKİN*

Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 10145, Balıkesir.

*Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği A.B.D., 10145, Balıkesir.

eates@balikesir.edu.tr , kadiraztekin@bau.edu.tr

(Geliş/Received: 20.09.2010; Kabul/Accepted: 28.03.2011)

ÖZET

Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan reçine, hızlandırıcı ve sertleştirici oranları için firmalar bazı tavsiye değerleri vermektedir. İmalat aşamasında farklı uygulamalar ve ortam şartları nihai ürünün mekanik özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Nihai üretimden önce bazı testlerin yapılması yararlıdır. Çalışmada matris yapı için belirlenmiş değerler; % 98,5 polyester, % 1 sertleştirici ve % 0,5 hızlandırıcı şeklindedir. Basma deney numune boyutları sırasıyla çap ve yüksekliği 50x100 mm'dir. Takviye malzemesi kırpık E cam elyafı 6 mm uzunlukta % 22'den % 88'e % 11 artımla 7 farklı hacim miktarı olarak kullanılmıştır. Diğer takviye elemanı parçacık kuvars ise boyutları 0-0,125 mm aralığında % 5'ten % 45'e % 5 artımla 9 farklı hacim miktarı olarak kullanılmıştır. Hazırlanan elyaf ve parçacık takviyeli kompozit numunelerin 7 gün bekleme süresi sonunda yoğunlukları belirlenmiş ve basma deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda en yüksek basma dayanımı, "elyaf kompozitte" %55 hacim miktarıyla 45,190 N/mm² ve "parçacık kuvars kompozitte" ise % 10 hacim miktarıyla 131,009 N/mm² olarak elde edilmiştir. Bu hacim miktarlarında en düşük yoğunluklar sırasıyla "elyaf kompozitte" 1,142 g/cm³ ve "parçacık kuvars kompozitte" 1,351 g/cm³ olarak elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Polimer kompozitler, polyester reçine, basma dayanımı, yoğunluk.

DENSITY AND COMPRESSION STRENGTH PROPERTIES OF PARTICULATED AND FIBER REINFORCED POLYMER COMPOSITES

ABSTRACT

The companies give advice values for the resin, accelerator and hardener ratio used in the production of composite materials. Different practices and environmental conditions during the manufacturing stages are effective on the mechanical properties of the final product. It is useful to perform some tests before the final production. In this study, the determined values for the matrix structure are 98.5% polyester, 1% hardener and 0.5% accelerator. The compression test specimen dimensions are respectively diameter and height of 50x100 mm. The reinforcement material chopped strand E glass fiber of 6 mm in length has been used starting from 22% to 88% in 11% increments in 7 different amount of volume. The other reinforcement material of quartz particles with the sizes in the range of 0 to 0.125 mm, have been used starting from 5% to 45% in 5% increments up to 9 different amount of volume. The densities of the prepared samples of fiber and particle reinforced composites at the end of the determined standby time of 7 days and the compressive tests have been carried out. As a result of the experiments, the highest compressive strengths obtained of "fiber composite" with 55% amount of volume was 45.190 N/mm² and of "the particle quartz composite" with 10% amount of volume was 131.009 N/mm². The lowest densities in these amounts of volume have been obtained respectively, 1.142 g/cm³ in "fiber composite" and 1.351 g/cm³ in "quartz particle composite".

Keywords: Polymer composites, polyester resin, compression strength, density.

1.GİRİŞ (INRODUCTION)

Kompozit malzemelerde takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaflar, kılcal

kristaller, kırılmış ve parçacıklı seramikler kullanılabilir. Bunların temel fonksiyonu gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını arttırmaktır. Matrisin fonksiyonu ise elyaflara yük ve gerilim

transferi sağlayabilmek için elyaf ile matrisi bir arada tutmaktır [1]. Kompozit malzemeden yapılacak makina elemanlarında, kompozite has tasarım, üretim ve hesaplama şartları vardır. Bunların dikkate alınması, araştırılması ve uygulamaya konulması gerekmektedir. Anizotropik malzemelerle ilgili çalışmaların geliştirilmesi gereği açıktır [2]. Parçacık cam fiber takviyeli polimer kompozitlerin mod-I, 3 nokta eğme deneyleri yapılmıştır. Farklı hacim ve çentik-derinlik oranı değişimleri araştırılmıştır. Üretimde polyester reçine, cam elyaf ve 3 farklı grup kum kullanılmıştır. Polimer kompozitin eğilme dayanımı polyester ve fiber miktarları artışıyla artmıştır. Elyaf takviyeli polimer kompozitlerin elastisite modülü %13-%16,5 polyester miktarında artmış, takviyesiz yapıda ise %16,5 'da pik yaparak azalmıştır. Kritik gerilme şiddeti faktörü 3 farklı yöntem içinde artan cam elyaf oranı ile artmış, fakat çentik-derinlik oranından etkilenmediği belirlenmiştir [3]. Parçacık cam elyaf dolgu polimer kompozitlerin, mod-I ve III, 3 nokta eğme deneyleri yapılarak kırılma tokluğu çalışılmıştır. Üretimde polyester reçine, cam elyaf ve kum kullanılmıştır. Kompozit numuneler, 2 gün baskı uygulanarak oda sıcaklığında kemikleşmiş ve 24 saat 80°C ısı kürü etkisinde bırakılmıştır. Geleneksel 90° açı ile belirlenmiş olan KIC ve JIC değerleri, numune eksenine 30°, 45°, 60° ve 75° açılardaki yüklemeye elde edilen değerleriyle karşılaştırılmıştır. Mod-I için KIC ve JIC açının 30° den 90° ye değişiminde sürekli artmış, fakat mod-III için ise azalmıştır. Açının 45° olduğu deneyde mod-I ve III için KIC ve JIC değerleri benzerdir [4]. Kuvars tozları ile üretilmiş epoksi kompozitlerin dinamik özellikleri araştırılmıştır. Kuvars malzeme elek analizi yapılarak 106 µm ve 125 µm parçacık boyutlarında kullanılmıştır. Kuvars parçacıklar epoksi reçine ile oda sıcaklığında 30 dakika vakum etkisinde ve hızlandırıcı ilavesi ile 2 dakika daha karıştırılmıştır. Çalışmada, oda sıcaklığından 187 °C sıcaklığına kadar 5 ve 323 Hz arasındaki frekanslarda elastisite modülü ölçülmüştür. Camsı geçiş sıcaklığı ve aktivasyon enerjisi dolgu içeriğinin artmasıyla artmıştır. Kuvars toz miktarının artışıyla elastisite modülü artmıştır [5]. Poliamin sertleştirici ile termoset epoksi reçinelerin çatlak davranışları ve mekanizmaları üzerinde yük etkisinin araştırıldığı bir çalışmada, yük artışıyla çatlak yer değişiminin azaldığı ve yüksek yüklerde kararlı hale geldiği belirlenmiştir [6]. E-cam/poliüretan ve E-cam/epoksi kompozitler hazırlanmıştır. Zamana bağlı sürünme davranışı ve sürünme-kopma özellikleri araştırılmıştır. İki kompozitte de kısa süreli mekanik özellikler benzerlik göstermiş, fakat zamana bağlı sürünme özellikleri ise tamamen farklı bulunmuştur. Sürünme testinde malzeme özelliklerinin etkili olduğu dolayısıyla malzeme seçiminin önemli olduğu belirlenmiştir. Üç nokta eğilme testinin sürünme-kopma özelliklerinin belirlenmesinde uygun bir deney yöntemi olduğuna değerlendirilmiştir. Sürünme-kopmasını yüksek oranda

matris ve fiber/matris ara yüzey tipinin etkilediği belirlenmiştir [7]. Yük değişimiyle gerilme değerlerinin belirlendiği bir çalışmada, gevrek termoset reçinelerin kırılma dayanımının bağ yapan sert, kısa fiberler ile çatlağın önü kesilerek geliştirileceği belirlenmiştir. Kırılma dayanımı fiberin hacim olarak artışı ile artmıştır [8]. Mermer tozları ile polyester kullanılarak üretilmiş, polyester matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Mermer-polyester oranları kütlece 3; 3,5; 4; 4,5 ve 5 olarak alınmıştır. Test sonuçları mermer-polyester oranının 4 olduğu halde malzemenin diğerlerine göre daha yüksek mukavemet ve sertlik değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Optimum oranda elde edilen numuneden ölçülen sertlik Shore A cinsinden 96, üç nokta eğilme dayanımı ise 60,17 N/mm² olarak bulunmuştur [9]. Polyester reçine esaslı polimer beton olarak hazırlanmış malzemelerin destek elemanı olarak kullanımı çalışılmıştır. Polyester, epoksi ve Poli Metil Metakrilat (PMMA) reçineli betonların büzülmesi 500x90x10 mm boyutlu numunelerde incelenmiştir. Reçine %20 oranında kullanılmıştır. Deney sonuçları, büzülme ve zamana bağlı olarak epoksi reçineli betonda 0,5 mm/m, PMMA reçineli betonda 1 mm/m ve polyester reçineli betonda ise 5 mm/m değerlerinde olmuştur. Bu nedenle hassas parça imalatında epoksi reçine tavsiye edilmiştir [10]. Polyester reçine, hızlandırıcı, sertleştirici ve 0-8 mm tane büyüklüğünde kuvars dolgu malzemesinin kullanıldığı çalışmalarda, standart granülometri eğrileri dikkate alınarak oda sıcaklığında hazırlanmış numunelerle, eğilme ve basma dayanımı optimizasyonları yapılmıştır. Çalışmalarda standart granülometri eğrilerinin ideal bileşimini veren bölgesi ile bir üst bölgenin, kompozit numune için dayanımı yüksek değerler veren bileşimler için kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Eğilme dayanımı için %22 reçine oranıyla 33,1 N/mm² ve basma dayanımı için ise % 18 reçine oranıyla 61,58 N/mm² elde edilmiştir [11,12]. Polyester reçine esaslı fakat dolgu malzemesi kullanılmadan üretilmiş kompozitlerle yapılmış bir optimizasyon çalışmasında, basma dayanımı ve yoğunluk özellikleri incelenmiştir. Bu değerlerin belirlenmesinde, piyasada iki farklı firma ürünü olarak satılan polyester reçineler PA ve PB şeklinde kodlanmıştır. Katalizör olarak sertleştirici Metil Etil Keton Peroksit (MEKP) ve hızlandırıcı Kobalt Oktoat (CoOC) kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre en yüksek basma dayanımı % 98,5 polyester, % 1 sertleştirici ve % 0,5 hızlandırıcının olduğu PB grubu için 133,747 N/mm² olarak elde edilmiştir. PA grubu için ise en yüksek basma dayanımı 126,493 N/mm² olarak elde edilmiştir. Yoğunluklar ise en küçük ve büyük değer aralıkları olarak sırasıyla PA ve PB için; 1,191-1,215 g/cm³, 1,189-1,211 g/cm³ bulunmuştur [13].

Matris yapıyı oluşturan polyester reçineye sertleştirici ve hızlandırıcının hangi oranlarda kullanılacağı ve

reçinenin yapıya ilave takviye malzemesiyle bağ oluşturabilme yeteneği oldukça önemlidir. Matris fazın oluşumunda en iyi bileşim oranları, genelde hedeflenen yeterlilikte bir yapı oluşumu sağlayabilir. Çalışmada parçacık kuvars takviyeli ve elyaf takviyeli kompozit yapıların bir nihai ürün olarak üretiminde malzeme yapı bileşenlerinin optimizasyonu hedeflenmiştir.

2. YÖNTEM (METHOD)

Bu çalışmada kullanılan matris yapı malzemesi polyster reçine olup, yapılmış bir optimizasyon çalışması sonuç değerleri kullanılmıştır. Bu oranlar en büyük basma dayanımını veren değerler olup, % 98,5 polyster, % 1 sertleştirici (MEKP) ve % 0,5 hızlandırıcı (CaOC) şeklindedir [13]. Polyster reçine için bazı katalog değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Polyster reçinenin kimyasal özellikleri (Chemical properties of the polyster resin)

Yoğunluk (g/cm ³)	Jel süresi (dakika)	Toplam hacimsel çekme (%)
(±%5)	(±%40)	(±%10)
1,121	11	%7,68
(ISO 1675)	(ISO 2114)	(ISO 2114)

Basma deney numune boyutu, polimer beton ve uygulamaları DIN 51290 – Bölüm 3, ISO 2736- 2, ISO 4012 standartlarındaki gibi, çap ve yükseklik olmak üzere 50mm ve 100 mm olarak belirlenmiştir. Kompozit deney numuneleri, çelik ve kestamit malzemelerden imal edilen kalıplara dökülerek üretilmiştir. Kalıpların temiz yüzeyleri 2 kez vaks uygulandıktan ve 20 dakika beklendikten sonra parlatılmışlardır. Döküm anında hava kabarcıklarının çıkışı sağlanıp boşluksuz bir yapı oluşturulduğunda daha dayanımlı ürünler elde edildiği bilinmektedir. Bu amaçla masa tipi bir vibratör kullanılmıştır. Vibrasyon, dökümde jelleşme başlamadan önce kesilmelidir. Polyster reçine, hızlandırıcı ve takviye elemanlarının homojen bir karışımı sağlandıktan sonra buna sertleştirici ilave edilerek elde edilen harç malzemesi kalıplara dökülmüştür. Bu işlemler 50 Hz frekans ve 8 dakika süreli vibrasyon ile tamamlanmıştır. Masa tipi vibratör üst tablası, döküm anında kalıpların tablaya rijit bir şekilde bağlanabilmesi için gerekli aparatlara sahiptir. Çalışmada tüm tartım işlemleri 0,05 g hassasiyetli 3 kg kapasiteli dijital tartı ile yapılmıştır. Dökülen numuneler oda sıcaklığında 7 gün bekletilmişlerdir. Basma deneyleri 3000 kN kapasiteli basma deney makinesi ile yapılmıştır. Deneysel çalışmada tüm numuneler için 50 daN/sn’lik yükleme hızı uygulanmıştır.

Kırpıntı elyaf takviyeli hacim miktarları % 22’den % 88’e, % 11 artımla 7 grup belirlenmiştir. Bu uygulamada kalıplar harç malzeme ile tam olarak dolmamış ve farklı hacimler için farklı numune yükseklikleri elde edilmiştir. Basma dayanımı için

gerekli standart numune yüksekliği elde edilemediğinden, bu numunelerin basma deneyleri yapılmamıştır. İlk uygulamadaki her bir elyaf hacim grubu için elyafın reçineyi emmesi de göz önüne alınarak, burada matris hacim miktarı % 100 tutulmak suretiyle 7 grup tekrar çalışılmıştır. Hacim miktarlarına karşılık gelen kırpıntı elyaf, ölçekli behere kendi ağırlığı etkisiyle ve herhangi bir baskı uygulanmadan konarak, dijital terazi ile 10 kez tartımı yapılmış ve sonuçta her grup için bir ortalama kırpıntı ağırlığı belirlenmiştir (Tablo 2). Bu miktarlara göre hazırlanmış olan elyaf takviyeli polimer kompozit basma deney numuneleri Şekil 1’de görülmektedir.

Tablo 2. Hacim miktarlarına göre ortalama kırpıntı elyaf ağırlıkları (Average weights of chopped strand fibers according to the volume rates)

Hacim miktarı (%)	22	33	44	55	66	77	88
Tartım ağırlıkları ortalaması (g)	17,41	26,70	36,18	44,85	53,86	62,45	70,80



Şekil 1. Basma deneyi öncesi elyaf takviyeli kompozit numuneler (The fiber reinforced composite samples before the compression test)



Şekil 2. Basma deneyi öncesi kuvars takviyeli kompozit numuneler (The quartz reinforced composite samples before the compression test)

Tablo 3. Hacim miktarlarına göre ortalama kuvars ağırlıkları (Average weights of quartz according to the volume rates)

Hacim miktarı (%)	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Ağırlıkları ortalaması (g)	28,618	57,236	85,854	114,472	143,090	171,708	200,326	228,944	257,562

Parçacık takviyeli eleman olarak kuvars, Nazilli yöresinden temin edilmiş ve öğütme cihazında öğütülmüştür. Daha sonra vibratör cihazına tespit edilmiş "BS 410" serisi elek takımıyla yapılan elek analiziyle gruplarına ayrılmıştır. Kullanılan eleklerin kare göz açıklıkları üstten alta doğru sırasıyla 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25 ve 0,125 mm'dir.

Elek analizi yapılarak sınıflandırılan kuvars taneciklerinden 0-0,125 mm boyutlarında en alt tablada kalanlar çalışma için seçilmişlerdir. Kuvars hacim miktarları % 5'ten % 45'e, % 11 artımla 9 grup belirlenmiştir. Tablo 3'te kuvars hacim miktarlarına karşılık gelen kuvars ağırlıkları verilmiştir. Şekil 2'de ise bu değerlerle hazırlanmış parçacıklı kuvars takviyeli polimer kompozit basma deney numuneleri görülmektedir.

Üretilen deney numunelerinin yoğunluk tayini için 1/50 hassasiyetli bir kumpas kullanılarak çap ve boy ölçümleri yapılmıştır. Çap ölçümü; uzunluktan olmak üzere numunenin üst, orta ve alt kısmından alınan üç çap ölçüm değerinin ortalamasıdır. Uzunluk ölçümü ise; çaptan 120° 'de bir olmak üzere 3 uzunluk ölçüm değerinin ortalamasıdır. Bu değerler ile her bir numunenin hacim değeri hesaplanmış ve ölçülmüş ağırlık ortalamaları ile yoğunluklar hesaplanmıştır.

3. BULGULAR (RESULTS OF EXPERIMENTS)

Elyaf ve kuvars takviyeli polimer kompozitlerde beş basma dayanımı ve yoğunluk değerinden en yüksek ve en düşük değerler çıkarılarak kalan üç değer ortalaması alınmıştır. Tablo 4'te elyaf takviyeli kompozitlerin yoğunluk ve basma deney sonuçları verilmiştir.

Basma dayanımları % 22 ile % 44 hacim miktarlarında 19-27 N/mm² aralığında ve % 55 ile % 88 hacim miktarlarında ise 39-45 N/mm² aralığında elde edilmiştir. En yüksek basma dayanımı ortalaması, % 55 hacim miktarına sahip grupta 45,190 N/mm² olarak elde edilmiştir. Yoğunluklar ise 1,142-1,738 g/cm³ arası değişmiştir. En küçük yoğunluk 1,142 g/cm³ olarak, en yüksek basma dayanımının elde edildiği %55 hacim miktarında elde edilmiştir. Elyaf takviyeli kompozitlerin basma deneyi sonrası görüntüleri Şekil 3'de verilmiştir.

Elyaf numuneler dağılmamış ve yükseklikte kısılmayla deneyler tamamlanmıştır. Elyaf takviyenin yapı içerisindeki farklı miktarlarının buna sebep olduğu söylenebilir. Hacimde artan matris yapı miktarı boydaki kısılmayı azaltmaktadır. Genel görüntü numunelerin orta bölgelerinde üst üste binmiş bir yığılma ile ortaya çıkan deformasyon şeklindedir.

Tablo 4. Elyaf takviyeli kompozitlerin basma deney sonuçları (Compression test results of the fiber reinforced composites)

Elyaf hacim miktarı %	Basma yükü (daN)	Yoğunluk (g/cm ³)	Yoğunluk ortalaması (g/cm ³)	Basma dayanımı (N/mm ²)	Basma dayanımı ortalaması (N/mm ²)
22	3410	1,525	1,318	16,969	19,858
	3560	1,218		18,123	
	4900	1,211		24,481	
33	3840	1,410	1,383	19,575	23,330
	4980	1,387		25,182	
	4980	1,352		25,233	
44	3970	2,005	1,738	20,143	26,204
	4850	1,521		24,410	
	6740	1,688		34,059	
55	8110	1,117	1,142	39,826	45,190
	8940	1,136		43,384	
	10320	1,173		52,360	
66	6280	1,119	1,144	30,941	39,504
	7780	1,137		38,819	
	9810	1,176		48,752	
77	6720	1,110	1,166	33,574	40,476
	8400	1,208		41,940	
	9190	1,179		45,915	
88	6000	1,169	1,195	30,855	43,875
	8460	1,204		43,272	
	11310	1,211		57,499	

**Şekil 3.** Basma deneyi sonrası elyaf takviyeli kompozit numuneler (The fiber reinforced composite samples after the compression test)

Tablo 5'te parçacık kuvars kompozitlerin yoğunluk ve basma deney sonuçları verilmiştir. En yüksek basma dayanımları sırasıyla %10 kuvars hacim miktarında 131,009 N/mm² ile %5 kuvars hacim miktarında 120,850 N/mm² olarak elde edilmiştir. En düşük yoğunluk %5 kuvars hacim miktarında 1,259 g/cm³, en yüksek yoğunluk ise %45 kuvars hacim miktarında 1,810 g/cm³ olarak bulunmuştur. Çalışmada %35 parçacık hacim miktarlı kuvars basma dayanımı değeri

ise ikinci bir pik ile 105,252 N/mm² olarak bulunmuştur. Bunun yoğunluğu 1,791 g/cm³ olmuştur.

Tablo 5. Kuvars takviyeli kompozitlerin basma deney sonuçları (The compression test results of the quartz reinforced composites)

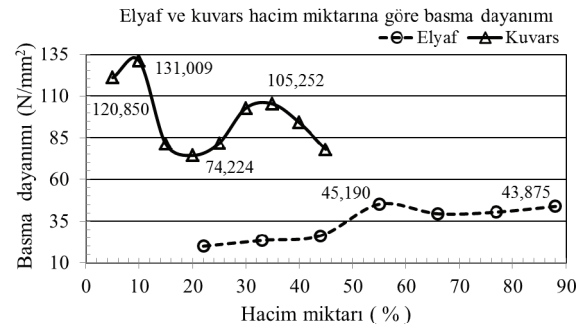
Kuvars hacim miktarı (%)	Basma yükü (daN)	Yoğunluk (g/cm ³)	Yoğunluk ortalaması (g/cm ³)	Basma dayanımı (N/mm ²)	Basma dayanımı ortalaması (N/mm ²)
5	16150	1,262	1,259	84,76	120,850
	26680	1,256		136,93	
	26820	1,259		140,86	
10	23280	1,354	1,351	114,25	131,009
	27420	1,348		140,44	
	27450	1,351		138,34	
15	14680	1,422	1,443	73,54	81,169
	15870	1,485		83,87	
	17050	1,421		86,10	
20	14260	1,487	1,478	73,68	74,224
	14390	1,468		73,70	
	14660	1,481		75,29	
25	15800	1,593	1,602	79,31	81,686
	15910	1,609		80,02	
	17090	1,602		85,73	
30	18640	1,644	1,647	96,05	102,724
	20950	1,648		106,29	
	20970	1,647		105,83	
35	19780	1,950	1,791	98,69	105,252
	21330	1,709		106,64	
	22190	1,714		110,42	
40	18790	1,768	1,776	93,50	94,032
	18880	1,779		94,27	
	18880	1,779		94,33	
45	14990	1,813	1,810	72,60	77,892
	15000	1,810		74,30	
	18000	1,808		86,78	

Parçacık takviyeli kompozitlerin basma deneyi sonrası görüntüleri Şekil 4'de verilmiştir. Basma deneyleri yapılmış olan kuvars takviyeli numune görüntülerinde ortak yön, numuneler deneyde dağılmamışlardır. Bazı numuneler fiçi şeklini alarak basma yönüne paralel yarıklarla deforme olmuşlardır. Fiçi şekilli tipin oluşumu, artan kuvars miktarıyla artmaktadır. Yapıda artan matris faz miktarlı numuneler, belirgin düşey yarıklarıyla fakat fiçi şekli görülmeyen tipte bir deformasyon göstermişlerdir.

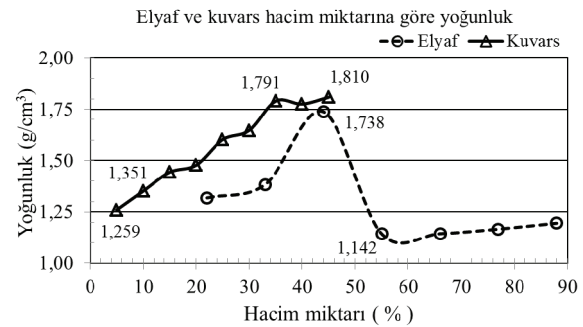


Şekil 4. Basma deneyi sonrası kuvars takviyeli kompozit numuneler (The quartz reinforced composite samples after the compression test)

Elyaf hacim miktarlarına göre basma dayanımı değişimleri grafiği Şekil 5'de görülmektedir. Elyaf hacim miktarı % 22-55 arası arttıkça basma dayanımı artmış ve %55 elyaf hacim miktarında en büyük basma dayanımı değeri alınmıştır. Elyaf hacim miktarı %55-77 arası azalmış fakat %88 değerinde ikinci pik değer olarak tekrar yükselmiştir. Elyaf takviyeli kompozit yapı çalışmasında %55 ile optimum bir nokta yakalanabilmiştir. Elyaf hacim miktarının %88 ve üzeri değerlerinde yapı oluşumu için uygun katı bir cisim elde edilememektedir. Nedeni bağlayıcı matris malzemenin azlığıdır. Elyaf hacim miktarı %22 ve altındaki değerlerde ise yapı oluşumu daha maliyetli olan bileşenlerle ancak sağlanabilmektedir. Hedef, bağlayıcıya ilave dolgu malzemesiyle birlikte yeterli dayanıma sahip bir yapı olduğunda, dolgu miktarı yüksek bir bileşimin daha uygun olacağı görülmektedir.



Şekil 5. Elyaf ve kuvars takviyeli kompozitlerin hacim miktarına göre basma dayanımları (The compression strengths of the fiber and the quartz reinforced composites according to the volume rates)



Şekil 6. Elyaf ve kuvars takviyeli kompozitlerin hacim miktarına göre yoğunlukları (The densities of the fiber and the quartz reinforced composites according to the volume rates)

Parçacıklı kuvars takviyeli kompozit malzeme basma deneyi grafiği Şekil 5'de görülmektedir. Bazı düşüş ve yükselişler olmasına rağmen doğrusal bir yaklaşımla genel eğilim olarak, basma dayanımının artan kuvars hacim miktarıyla azaldığı söylenebilir. Grafikte üç büyük değer noktası elde edilmiştir. Kuvars hacim % miktarının, %45'in üzerinde alınmaması, bu miktarın üzerindeki kuvars taneçiklerinin kullanılan matris bağlayıcı yapı tarafından yeterince sarılamaması nedeniyledir. Bu

halde bir katı cisim olarak numunelerin elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Kuvars hacim % miktarı %5'in altında ise yapı üretilebilmekte fakat yapının neredeyse tamamı maliyeti yüksek bileşen matris fazı ile oluşmaktadır. Bu nedenle zaten basma dayanımı da düşen %5 hacim miktarı ve altı değerlerle elde edilen yapı bileşiminin burada da uygun olmadığı söylenebilir.

Elyaf hacim miktarlarına göre yoğunluk değişimleri Şekil 6'da görülmektedir. Şekilde eğilim bir pik noktası dışında genelde yatay bir seyir izlemektedir. Değerler birbirine yakındır. En büyük yoğunluk değer ortalaması %44 elyaf hacim oranıyla alınmıştır. Elyaf hacim miktarının %55 değeri ise en düşük yoğunluk değer ortalamasıdır. Yoğunluğun en düşük olduğu değerler ortalaması, basma dayanımının en yüksek değerini almıştır ve bu değer yoğunluk için en iyi bileşimi verdiği görülmektedir.

Kuvars hacim miktarlarına göre yoğunluk değişimleri Şekil 6'de görülmektedir. Genel eğilim artan kuvars hacim miktarıyla artan yoğunluk değeri şeklindedir. En büyük yoğunluk değerleri sırası ile kuvars hacim miktarları %45 ve %35 değerleriyle alınmıştır. Kuvars hacim miktarının % 5 değeri ise en düşük yoğunluğu vermiştir.

Şekil 5 ve Şekil 6'daki eğriler incelendiğinde, "elyaf takviyeli basma eğrisi" ve "kuvars takviyeli yoğunluk eğrisi" için veriler arasında "doğrusal bir yaklaşımla" kuvvetli bir ilişki olduğu, "kuvars takviyeli basma eğrisi" ve "elyaf takviyeli yoğunluk eğrisi" verileri arasında ise "parabolik yaklaşımı" veren bir ilişki olduğu görülmektedir.

Tablo 6. Deney sonuçları ortalamalarına göre standart sapmalar (Standard deviations according to the means of the test results)

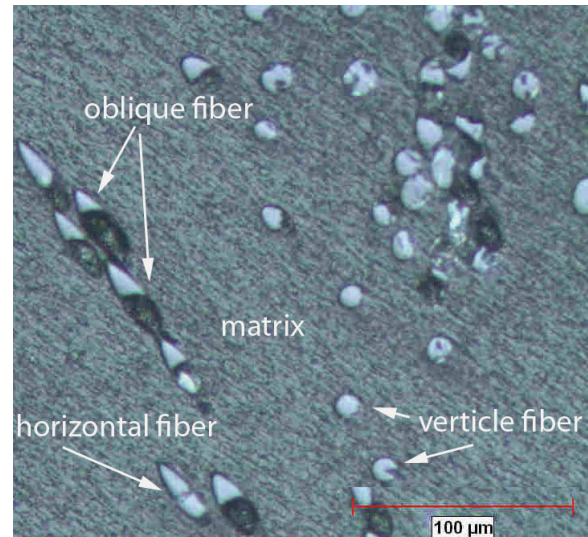
Deney tipi	Yoğunluk		Basma dayanımı	
	Elyaf	Kuvars	Elyaf	Kuvars
Toplam numune	7	9	7	9
Ortalama	1,298	1,573	34,062	96,538
Standart sapma	0,215	0,202	10,564	20,007
Güven aralığı	%68,27	6	4	6
	%95,45		Tüm	Tüm
	%99,73	Tüm		

Verilerin istatistiki değerlendirmesi Tablo 6 ile verilmiştir. Elyaf takviyeli yoğunluk deneylerinde 7 ortalama değer için güven aralığı %68,27 olmuştur. Tüm değerler için ise %99,73 güven aralığı geçerlidir. Bu verilerde sadece 1 numune veri ortalaması güven aralığının %99,73 olarak elde edilmesine neden olmuştur. Kuvars takviyeli yoğunluk deneylerinde 9 ortalama değer için güven aralığı %68,27 olmuştur. Tüm değerler ise % 95,45 güven aralığındadır.

Basma dayanımı, elyaf takviyeli deneylerde 7 ortalama değer için güven aralığı %68,27 olmuştur. Tüm değerler ise %95,45 güven aralığındadır. Basma dayanımı, kuvars takviyeli deneylerde 9 ortalama değer için güven aralığı %68,27 olmuştur. Tüm numuneler ise %95,45 güven aralığındadır.

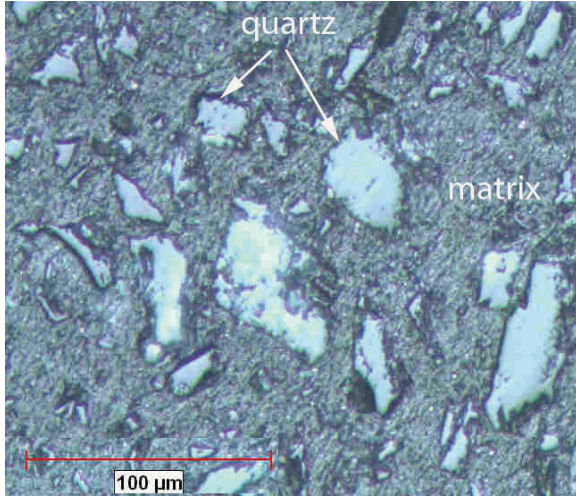
İstatistiki değerlendirmede dikkate alınan ortalama ve standart sapma değerlerine göre tüm deneylerin %99,73 güven aralığında olduğu görülmektedir. Çalışmada deneyler belirli bir güven aralığı hedeflenerek yapılmamıştır. Deney sonuçlarıyla ilgili durum açıklanmıştır. Sonuçlardan elyaf takviyeli yoğunluk verilerindeki tek pik değer dışında tüm verilerin %95,45 güven aralığında olduğu görülmektedir. Dolayısıyla çalışmada uygulanan deney sistematığı ve elde edilen veriler güvenilirdir.

Çalışmada hazırlanan elyaf takviyeli kompozit numune içyapısı Şekil 7'de 200X büyütme görüntüde verilmiştir. Dökümde cam elyaflar parçacık olup rastgele harmanlanmıştır. Görüntüdeki beyaz noktalar kesit yüzeyine dikey, paralel veya eğik olan elyaf parçacıklarıdır. Elyaf parçacıklarının yapıldığı yüzeyde farklı konumlardadır. Fiber parçacıklar altına rastgelen bazı daha koyu kısımlar ise görüntüleme için yüzey hazırlığında konumu nedeniyle elyafın bir kısmının koparak yerini terk etmesiyle kalan boşluklardır. Zemin ise termoset polyeester matris fazı göstermektedir.



Şekil 7. Elyaf takviyeli kompozitin içyapısı (The microstructure of the fiber reinforced composite)

Şekil 8'de kuvars parçacık takviyeli kompozitin 200X ile içyapı görüntüsü verilmiştir. Farklı büyüklükteki kuvars parçacıklar kesit yüzeyinde görülmektedir. Görüntüde daha küçük beyaz noktacıklar halinde olanlar ise yapıda 0-0,125 mm ye kadar döküm esnasında harmanlanmış ve matris yapıya dağılmış kuvars parçacıklarıdır. Kuvars tanecikleri yakınında



Şekil 8. Kuvars takviyeli kompozitin içyapısı (The microstructure of the quartz reinforced composite)

daha koyu olarak görülen kısımlar ise yüzey görüntüleme işlemine hazırlanırken yerini terk eden kuvars taneciklerinden kalan boşluklardır. Zemin ise polyester termoset matris fazı göstermektedir.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Kompozit malzemelerin üretiminde, kullanım yerindeki statik ve dinamik etkileri karşılayacak özellikte bir yapı oluşturulması önemlidir. Bu çalışmada, bir proje kapsamında kullanılacak olan polyester reçineli parçacık kuvars takviyeli kompozit malzeme ile elyaf takviyeli kompozit malzemenin, en büyük basma dayanımına sahip bileşimin % miktarlarının belirlenmesi çalışılmıştır. Hedef öncelikle basma dayanımının en büyük değeri olan % miktarlarıdır. İkinci olarak ise elde edilen ürünün olabildiğince ekonomik olması kriteri dikkate alınmıştır.

Deneysel çalışmalar aynı donanımla, aynı şartlarda gerçekleştirilmiş, bu halde değişen % miktarlarda farklı basma dayanımı ve yoğunluk değerleri elde edilmiştir.

Kuvars ve elyaf takviyeli kompozitlerin grafiklerinden görüldüğü üzere bazı değerlerde iç bükey veya dış bükey olma halleri nedeniyle, yeni bir kompozit yapı oluşturma konusunda mutlaka böyle bir çalışma yapılmasının gerekli olduğu söylenebilir.

Elyaf basma deneyi ve kuvars yoğunluk verileri arasında kuvvetli bir doğrusal ilişki görülmektedir. Kuvars basma deneyi ve elyaf yoğunluk verileri arasında ise kuvvetli bir parabolik ilişki belirgindir.

Elyaf takviyeli polyester reçineli termoset kompozit malzeme için elyaf hacim % miktarı, %55 olarak belirlenmiştir. Bu bileşim en büyük basma dayanımı ($45,190 \text{ N/mm}^2$) ve aynı zamanda en düşük yoğunluk değerine ($1,142 \text{ g/cm}^3$) sahip yapı olmuştur.

Kuvars takviyeli numunelerin hacim % miktarı, %10 olarak belirlenmiştir. Bu bileşim en büyük basma dayanımını ($131,009 \text{ N/mm}^2$) ve yoğunluğu ikinci en düşük değer olarak ($1,351 \text{ g/cm}^3$) elde edilmiştir. Bu numunelerde en düşük yoğunluk değeri ise %5 kuvars hacim miktarıyla ($1,259 \text{ g/cm}^3$) olmuştur.

Elyaf takviyeli numunelerin basma deneyi sonrası yükseklikleri, yapı içeriğinde artan elyaf hacim miktarıyla artan bir kısalmayla, yığılarak ve dağılmadan deneyleri sonuçlanmaktadır.

Kuvars kompozitler ise deney sonrası orta bölgede, artan kuvars miktarıyla artan bir genişleme ile dağılmadan fıçı tipiyle deneyleri sonuçlanmıştır.

Basma dayanımı dikkate alındığında elyaf kompozitler kuvars kompozitlere nazaran daha zayıf bağlarla yapı oluşturmaktadır.

Elyaf ve kuvars kompozitlerin içyapılarındaki parçacıklar matris faz içerisinde homojen dağılabilmektedir. Elyaf yapıda görüntü alınan matris faz yüzeyinde, kesit yüzeyine paralel veya eğik durumda kalmış olan parçacıklar daha belirgin bir halde izlenebilmektedir. Kesit yüzeye dik parçacıklar ise farklı büyüklüklerde noktacıklar halinde tüm matris faz içerisinde yer almaktadır.

Deney verileri ortalama ve standart sapmalarına göre çalışmanın %95,45 güven aralığında gerçekleştiği belirlenmiştir.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

Hz	: Hertz
μm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
N	: Newton
Kg	: Kilogram
g	: Gram
PMMA	: Poli Metil Metakrilat
MEKP	: Metil Etil Keton Peroksit
CoOC	: Kobalt Oktoat

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma 108M637 numaralı TÜBİTAK Projesi desteği ile gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Şahin Y.; "Kompozit Malzemelere Giriş", Gazi Kitabevi, Ankara, 2000.
2. Topçu M.; Tarakçılar A. R.; Taşgetiren S.; "Kompozit malzemelerle konstrüksiyon-1, mühendislik malzemesi olarak kompozitler ve özelliklerini belirleyen faktörler", **Mühendis ve Makine**, Cilt 36, Sayı 420, Sayfa 23-27, Ocak, 1995.

3. Avcı A.; Arıkan H.; Akdemir A.; “Fracture behavior of glass fiber reinforced polymer composite”, **Cement and Concrete Research**, 34, 429-434, 2004.
4. Avcı A.; Akdemir A.; Arıkan H.; “Mixed-mode fracture behavior of glass fiber reinforced polymer concrete.”, **Cement and Concrete Research**, 35, 243-247, 2005.
5. Goyanes S. N.; Marconi J.D.; Königa P.G.; Martin M.D.; Mondragon I.; “Dynamical properties of epoxy composites filled with quartz powder”, **Journal of Alloys and Compounds**, 310, 374–377, 2000.
6. Kanchanomai C.; Rattananon S.; Soni M.; “Effects of loading rate on fracture behavior and mechanism of thermoset epoxy resin”, **Polymer Testing**, 24, 886–892, 2005.
7. Beckry Abdel-Magid; Roberto Lopez-Anido; Glenn Smith; Sara Trofka; “Flexure creep properties of E-glass reinforced polymers”, **Composite Structures**, 62, 247–253, 2003.
8. Yu Qiao; Xinguo Kong; Ernian Pan; “Fracture toughness of thermoset composites reinforced by perfectly bonded impenetrable short fibers”, **Engineering Fracture Mechanics**, 71, 2621–2633, 2004.
9. Gürü M.; Akyüz Y.; Akın E.; “Mermer tozu/polyester kompozitlerde dolgu oranının mekanik özelliklere etkileri”, **Politeknik Dergisi**, Cilt 8, Sayı 3, Sayfa 271-274, 2005.
10. Stawowy J; “Schwingsarm eingestellter polymerbeton auf polyesterharzbasis und die sich daraus ergebenden möglichkeiten der bewehrung”, **Darmstadt-Hüls AG**, 1994.
11. Ateş E.; “Epoksi ve polyester reçineli polimer betonda granülometri ve bağlayıcı oranları değişimiyle eğilme dayanımı optimizasyonu”, **Makine Tasarım ve İmalat Dergisi**, Cilt 8, Sayı 1, Sayfa 41-52, Mayıs 2006.
12. 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**, 28, 2, p. 235-246, 2009.
13. Ateş E.; Aztekin K.; Çakır R.; “Dolgu malzemesiz kompozitlerin yoğunluğunun belirlenmesi ve basma dayanımı optimizasyonu”, **Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, Cilt 28, Sayı 4, Sayfa 287-297, 2010.