

**DETERMINATION OF THE DENSITY AND COMPRESSION STRENGTH
OPTIMIZATION OF WITHOUT FILLING MATERIAL COMPOSITES**

Ergun ATEŞ*¹, Kadir AZTEKİN², Recep ÇAKIR²

¹Balıkesir Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, BALIKESİR

²Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, BALIKESİR

Received/Geliş: 11.02.2010 Revised/Düzeltilme: 08.07.2010 Accepted/Kabul: 21.09.2010

ABSTRACT

Composites materials can be prepared with different content for many applications. Although firms give some recommendation values for mix ratio, different applications during manufacturing process and environmental conditions effects on mechanical properties of end product. Some pre-test must be done before end product when the type, content, and product method of end product determined. The diameter and height of the compression test specimens used in this study are 50 mm and 100 mm, respectively. After a detailed plan included recommendation values of firms, the without filling material composite samples were prepared in current environmental conditions. The polyester resin which is the components of material is taken two different firm products as PA and PB. The hardener and catalyzer are applied for two groups as the same products in different amounts. The compression tests of prepared samples were performed after 7 days. It is observed from the experiment that the PB polyester resin has higher compression strength and lower density value when compared to PA polyester resin. The structural damages were observed in the samples in which less and much more hardener and catalyzer ratios than firm recommendation values. The determined value of upper limit as %3 of hardener cause to certain cracks in the samples during hardening process. On the other hand, the lower limit as %0,5 of hardener cause to hardening problems in the samples. It can be said that, performing a pre-study for hardener and catalyzer should be useful in spite of recommendation values of firm. It is obtained that the resin type effects the compression strength and density value.

Keywords: Composites, polyester resin, compression strength, density.

DOLGU MALZEMESİZ KOMPOZİTLERİN YOĞUNLUĞUNUN BELİRLENMESİ VE BASMA DAYANIMI OPTİMİZASYONU

ÖZET

Kompozit malzemeler, birçok uygulama alanı için farklı bileşimlerde hazırlanabilir. Firmalar karışım oranları için bazı tavsiye değerleri vermelerine rağmen, imalat aşamasındaki farklı uygulamalar ve ortam şartları nihai ürünün mekanik özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Nihai ürün tipi, bileşimi ve üretim metodu belirlendiğinde nihai üretimden önce bazı ön testlerin yapılması gereklidir. Bu çalışmada kullanılan basma deney numunelerinin çapı ve yüksekliği sırasıyla 50 mm ve 100 mm dir. Firma tavsiye değerlerini de içeren detaylı bir planlamadan sonra, mevcut ortam şartlarında dolgu malzemesiz kompozit numuneler hazırlanmıştır. Malzeme bileşenlerinden polyester reçine PA ve PB şeklinde iki farklı firma ürünü olarak alınmıştır. Sertleştirici ve hızlandırıcı ise iki grup için aynı ürünler olarak farklı miktarlarda uygulanmıştır. Hazırlanan numunelerin basma deneyleri 7 gün sonra yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, PB polyester reçinenin PA polyester reçineye göre daha yüksek basma dayanımına ve daha düşük yoğunluk değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Firma tavsiye değerlerinin altında ve çok üzerindeki sertleştirici ve hızlandırıcı oranlarındaki numunelerde yapısal hasarlar gözlenmiştir. Sertleştiricinin üst sınırı olarak belirlenmiş %3 değeri, sertleşme anında belirgin çatlamalara sebep olurken alt seviye olarak alınan %0,5 değerinde ise katılaşmada problemler ortaya çıkmıştır. Sertleştirici ve hızlandırıcı için firma tavsiye değerleri olsa da bir ön çalışma yapmanın yararlı olacağı söylenebilir. Reçine tipinin basma dayanımı ve yoğunluk değerlerini etkilediği belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Kompozitler, polyester reçine, basma dayanımı, yoğunluk.

* Corresponding Author/Sorumlu Yazar: e-mail/e-ileti:eates@balikesir.edu.tr, tel: (266) 612 11 94 / 5103

1. GİRİŞ

Metaller, seramikler ve plastikler gibi malzemelerin birbirlerine göre zayıf ve üstün tarafları vardır. Bu malzemeler yanında, aynı ya da farklı iki ya da daha fazla malzemenin uygun olan özelliklerini tek malzemedeki toplamak, ya da yeni bir özellik ortaya çıkarmak amacıyla makro düzeyde birleştirilmesi ile oluşturulan malzemeler kompozit olarak adlandırılırlar. Atomal veya molekül düzeyde birleştirilen malzemeler (örneğin alaşımlar) makroskobik olarak homojen oldukları için kompozit malzeme olarak değerlendirilmezler. Bu sayılan özelliklerin hepsi aynı anda iyileşmez. Bileşenlerinin özellikleri bilinen bir kompozit malzemenin, bazı özellikleri hesaplanarak bulunabilir. Bazı özellikler içinse bu zordur, özellikle tasarımı yüksek emniyet katsayıları gerekebilir [1]. Bir kompozit malzeme genelde düşük modül ve dayanıma sahip reçine veya metalik matris ana fazı ile bunun içine dağılmış daha az oranda kullanılan tali fazı olan takviye elemanından oluşmaktadır. Takviye elemanı olarak değişik morfolojiye sahip kısa ve uzun elyaf, kılcal kristaller, kırılmış ve parçacıklı seramikler kullanılmaktadır. Bunların temel fonksiyonu gelen yükü taşımak ve matrisin rijitlik ve dayanımını artırmaktır. Matrisin fonksiyonu ise elyaflara yük ve gerilim transferi sağlayabilmek için elyaf ile matrisi bir arada tutmak yanında çoğu takviye elemanları çok gevrek ve kırılabilir olduğundan onların yüzeylerini dış ve çevresel etkilere karşı korumaktır. Ayrıca plastik ve süneklik üstünlüğü ile elyaflarda kırılma çatlakların yayılmasını önler [2]. Kompozit malzemelerin yorulma, aşınma ve korozyon dayanımı, kırılma tokluğu, yüksek sıcaklık, ısı iletkenlik, elektrik iletkenliği, akustik iletkenlik, rijitlik, ağırlık, fiyat, estetik görünüm vb. özelliklerin biri veya birkaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır [3].

Kompozitlerle ilgili farklı hedefler doğrultusunda birçok çalışma yapılmaktadır. Çalışmamız kapsamına uygun literatür verileri de oldukça değerlidir. Genel kompozitlerin değerlendirilmesinin yapıldığı bir çalışmada; kompozit malzemelerin her türlü endüstri alanında gün geçtikçe daha fazla miktarda kullanılmakta olduğu ve bu durumun, izotropik malzeme şartlarında tasarım ve üretime alışmış mühendis ve imalatçılar için oldukça farklı bir ortam oluşturduğuna değinilmiştir. Bu makalede, önce konuya genel bir giriş yapılmış daha sonra da kompozit malzeme kullanılarak imal edilmesi düşünülen bir makine elemanında göz önüne alınması gereken faktörler için genel bir sınıflamaya gidilmiştir. Kompozit malzemedeki yapılacak makine elemanlarında, kompozite has tasarım, üretim ve hesaplama şartları vardır. Bunların da dikkate alınması, araştırılması ve uygulamaya konulması gerekmektedir. Anizotropik malzemelerle ilgili çalışmaların geliştirilmesi gereği ifade edilmiştir [4].

Elyaf takviyeli ve polyeester reçineli bir çalışmada; elyaf olarak silan kaplanmış sürekli cam elyaf (E-camı), matris olarak da polyeester kullanmak suretiyle sıcak presleme yöntemiyle kompozit üretimi yapılmıştır. Üretilen bu kompozitler ile 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 halin oluşumundaki şartlar ise; $P=0,32-1,4$ MPa ve $V=5-14$ m/s dir. Bu durum, farklı elyaf konumları için aşınma mekanizmalarının farklı olması ile açıklanmıştır. Kayma hızı ve yüzey basıncı arttıkça, sürtünme katsayısı ve özgül aşınma hızı azalmaktadır. Sürtünme katsayısı; elyafların anti paralel konumunda $\mu=0,18$; dik $\mu=0,40$; paralel $\mu=0,25$ değerlerini almıştır [5].

Mermer tozları ile polyeesterin kullanıldığı bir çalışmada; mermer işletmelerinde açığa çıkan atık tozlar gerek ekonomik, gerekse çevresel yönden önemli etkilere sahiptir. Atık mermer tozlarının sanayinin çeşitli dallarında değerlendirilmesi mümkündür. Çalışmada üretilmiş polyeester matrisli kompozit malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Mermer/polyeester oranları kütlece 3; 3,5; 4; 4,5 ve 5 olarak değiştirilmiştir. Test sonuçları mermer/polyeester oranının 4 olduğu durumda malzemenin diğerlerine göre daha yüksek mukavemet ve sertlik değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Optimum oranda elde edilen numunedeki ölçülen sertlik Shore A cinsinden 96; üç noktadan eğmede çekme mukavemeti değeri ise 60,17 N/mm² olarak bulunmuştur. Tarım alanlarına, sağlığa ve çevreye olumsuz etkileri olan mermer tozlarının bu araştırma sonucunda elde edilen polyeester esaslı kompozit malzeme ile bir taraftan kirlilik

önlendirken diğer taraftan ekonomiye önemli kazançlar sağlanabilecektir [6]. Taş ve betonlar için polyester reçine bağlayıcılar, isimli çalışmada; reçine miktarındaki artışın polimer betonda büzülme ve çatlama oranını artıracağı belirlenmiştir [7]. Polimer beton makine parçaları, isimli bir çalışmada; vites kutularındaki dişlilerin birbirlerine geçişlerinde kuvvetli titreşimler olduğu, bu kutuların polimer betondan imal edilmesiyle titreşimlerin azaldığını dolayısıyla polimer betonun dişli kutuları için de uygun bir malzeme olduğu belirlenmiştir [8]. Polyester reçine esaslı polimer beton ile hazırlanmış malzemelerin destek elemanı olarak kullanımı, isimli çalışmada; UP, EP ve PMMA reçineli betonların büzülmesi 500x90x10 mm boyutlu numunelerde incelenmiştir. Reçine %20 oranında kullanılmıştır. Deneysel sonuçları, büzülme ve zamana bağlı olarak epoksi reçineli betonda 0,5 mm/m; PMMA reçineli betonda 1 mm/m ve UP reçineli betonda ise 5 mm/m değerlerinde olmuştur. Bu nedenle hassas parça imalatında EP reçine tavsiye edilmiştir [9]. Polimer beton, isimli bir çalışmada; genel olarak polimer betonun tanıtımı, reçineler, dolgu malzemeleri ve tasarım konusunda açıklamalarda bulunmuştur. Polimer betonun izolatör, endüstriyel sulama kanallarında, optik aletlerde, takım tezgahları gövdelerinde, kimya endüstrisinde, robot kolları, besicilik gibi birçok uygulama alanında kullanılabilirliği belirtilmiştir [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 [11] ve basma [12] dayanımı optimizasyonları yapılmıştır. Çalışmalarda standart granülometri eğrilerinin ideal birleşimi veren bölgesinin ve bir üst bölgenin, kompozit numune içinde dayanımı yüksek değerler veren bileşimlerde kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Eğilme dayanımı için %22 reçine oranıyla 33,1 N/mm² ve basma dayanımı için ise % 18 reçine oranıyla 61,31 N/mm² elde edilmiştir.

Literatür çalışmalarında değişik amaçlar için farklı bileşimlerde birçok kompozit malzemenin üretildiği görülmektedir. Bu malzemelerin işlevlerini yerine getirebilmeleri beklenir ve bu amaçla da karakteristik özellikleriyle ilgili birçok deney yapılmasına ihtiyaç vardır. Deneysel çalışmalar için nihai ürün gereklidir. Nihai ürüne gelmeden önce ise özellikle matris yapıyı oluşturacak olan polyester, sertleştirici ve hızlandırıcının hangi oranlarda kullanılacağı çok önemlidir. Matris reçinenin yapıya ilave katkı malzemesiyle olan bağ oluşturabilme yeteneği de elbette önemlidir. Fakat matris fazın oluşumundaki en iyi birleşim oranları, genelde en iyi nihai yapı oluşumunu da sağlayabilmektedir. Bu nedenle çalışmamız bir nihai ürünün eldesindeki bu başlangıç safhasında, iki farklı polyester reçine, sertleştirici ve hızlandırıcı oranlarının değiştirilmesiyle, en yüksek basma dayanımını verecek yapı oluşumunun belirlenebilmesi hedeflenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Kullanılan polyester reçineler iki farklı firma ürünü olup çalışmada PA ve PB simgeleriyle gösterilmiştir. İki polyester reçinenin katalizörleri sertleştirici olarak "Metil Etil Keton Peroksit" (MEKP) ve hızlandırıcı olarak ise "Kobalt Oktalat" kullanılmıştır. Çalışmada hazırlanan numuneyi oluşturan her bir bileşimi kodlamak için hızlandırıcı "C", sertleştirici "M" ve reçine ise "P" simgeleri ile gösterilmiştir. PB reçine için bazı katalog değerleri; (ISO 1675) yoğunluk ($\pm\%5$) 1,121 g/cm³, (ISO 2535) jel süresi ($\pm\%40$) 11 dakika, (ISO 2114) toplam hacimsel çekme ($\pm\%10$) %7,68 dir. PA reçine için; jel süresi 8 dakika (± 2) dir.

Basma deney numune boyutları, polimer beton ve uygulamalarında DIN 51290 – Bölüm 3, ISO 2736-2, ISO 4012 standartlarında verildiği halde Ø50x100 mm olarak belirlenmiştir. Çalışmada çelik ve kestantit malzemelerden imal edilen kalıplar ve kalıp ayırıcı malzeme olarak "Polivaks SV-6" kullanılmıştır. Kalıp ayırıcı kullanımı önemlidir ve temiz kalıp yüzeylerine 1 veya daha fazla sürülerek, 15~30 dakika bekledikten sonra parlatılan kalıplar kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Döküm anında hava kabarcıklarının çıkışı sağlanıp boşluksuz bir yapı oluşturulabilirse daha dayanımlı ürünler elde edilebileceği bilinmektedir. Dolayısıyla vibrasyon önemlidir ve bu

amaçla masa tipi bir vibratör kullanılmıştır. Vibrasyon, dökümde jelleşme başlamadan önce 7 dakika süreyle ve 3000 devir/dakika olarak uygulanmıştır. Masa tipi vibratör üst tablası, döküm anında kalıpların tablaya rijit bir şekilde bağlanabilmesi için gerekli aparatlara sahiptir. Çalışmada gerekli diğer ekipman lar olarak; 0,05 g hassasiyetli 3 kg kapasiteli bir tartı, plastik kaplar, kürek, mala, spatula, plastik eldivenler, çalışma elbiseleri, maskeler, enjektörler, atıkları temizlemek için uygun çözücü kimyasallar kullanılmıştır. Basma deneyleri ADR 3000 Ele Int. Ltd. İngiltere basma deney makinesi ile yapılmıştır. Deneysel çalışmada tüm numuneler için 50 daN/s yükleme hızı kullanılmıştır.

PA ve PB deney numuneleri ilk etapta % hacim oranları olarak; “hızlandırıcı 1 / 2 / 3”; “sertleştirici 1 / 2 / 3” ve kalan kısım ise matris malzemesi (dolgu veya herhangi bir takviye malzemesi kullanılmadığı halde) % 100 hacim tamamlanacak şekilde polyester reçineler ile hazırlanmıştır. Deneyi yapılan toplam numune sayısı 90 olup her bir nokta için 5 ‘er adet olarak hazırlanmıştır. Her bir gruba ait 5 numunenin basma deneyi yük değerlerinden en büyük ve en küçük olanları devre dışı bırakılmış ve kalan üç değer ortalamaları olarak hesaplamalar yapılmıştır.

PA ve PB numuneler olarak ikinci etap çalışmada % hacim oranları olarak; “hızlandırıcı 0 / 0,5 “, “sertleştirici 0,5 / 1 / 1,5” ve “polyester reçine için ise kalan kısmı %100 hacim tamamlanacak şekilde” hazırlanmışlardır. Bu aşamada toplam numune sayısı 36 olup, her bir nokta için 3 ‘er adet olarak hazırlanmışlardır.

Deney numunelerinin iki aşamalı dökümleri sonucu, % hacim miktarlarının farklı değerleriyle hazırlanmış tüm yapılar değerlendirilmiştir.

Döküm esnasında herhangi bir baskı kuvveti uygulanmamıştır. Numuneler 1. gün kalıpta kalmış, 2. gün kalıptan alınmış ve dökümden itibaren toplam 7 gün oda sıcaklığında bekletilmişlerdir. Numunelerin basma deneyleri 8. günde yapılmıştır. Kalıptan alınan numuneler polyester reçine, sertleştirici ve hızlandırıcı miktarlarına bağlı olarak çok az da olsa çaptan ve uzunluktan olmak üzere çekme göstermektedir. Her ne kadar ortam sıcaklığı, kalıbın şekli, döküm tekniği, ürünün boyutlarıyla değişiklik gösterse de, ilgili ürünlerin kataloglarında ortalama bir hacimsel çekme değeri de verilmektedir. Dolayısıyla bu çalışmada belirlenen kalıpların iç boşluk standart ölçüsü olan Ø50x100 mm değerine göre, hazırlanan numune boyutlarında küçük farklılıklar görülebilmektedir. Basma deneyi uygulanmasında cihazdan alınan basma yükü değerlerinin, bu boyut farklılıklarını dikkate alarak doğru şekilde basma dayanımını birim kesite göre açıklayabilmek adına, deneyden önce tüm numunelerin üzerinden bazı ölçümler yapmak gerekmektedir. Bu ölçüm işlemlerinde 1/50 hassasiyette kumpas kullanılarak çapta 120° ‘de bir olmak üzere 3 numune yükseklik ölçüsü alınmıştır. Benzer şekilde numune yüksekliğinden olmak üzere üst, alt ve orta noktalarından 3 çap ölçüsü alınmıştır. Alınan bu ölçümlerin ortalamaları, bir numune için bir çap ve bir uzunluk değeri olarak, basma yüklerinden basma dayanımı hesabının yapılabilmesi için kullanılmıştır. Her bir numunenin boyut ölçümleri sonunda tartımları da yapılarak, ilgili değerlere göre numunelerin yoğunlukları hesaplanmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Basma deneyinden elde edilen basma yükü değerleriyle, numunelerin boyutlarıyla ilgili ölçümler ve tartım işlemleri sonrası hesaplanan yoğunluk ve basma dayanım değerleri PA1, PA2, PB1 ve PB2 için sırasıyla Çizelge 1, 2, 3 ve 4 ‘de verilmiştir. Çizelge 1’de PA1 numunelerden; “Co-Oktalat %1-Metiletilketonperoksit %1-Polyester %98” oranları ile basma dayanımı 104,606 N/mm² ile en büyük değeri vermiştir. Aynı bileşimin yoğunluk değeri ise 1,203 g/cm³ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 1. PA1 numunelerin basma yükü, yoğunluk ve basma dayanımı değerleri

bileşim oranları % hacim C-M-P	basma yükü (daN)	yoğunluk (g/cm ³)	yoğunluk ortalaması (g/cm ³)	basma dayanımı (N/mm ²)	basma dayanımı ortalaması (N/mm ²)
PA1-C1-M1-P98	19820 20940 21420	1,208 1,181 1,221	1,203	99,474 106,173 108,171	104,606
PA1-C1-M2-P97	16360 17510 17970	1,204 1,213 1,192	1,203	84,462 89,839 92,601	88,967
PA1-C1-M3-P96	12040 12400 13090	1,211 1,207 1,215	1,211	62,076 64,226 67,635	64,646
PA1-C2-M1-P97	18140 19490 20010	1,210 1,200 1,205	1,205	94,187 100,568 103,744	99,500
PA1-C2-M2-P96	15350 16680 16690	1,199 1,199 1,205	1,201	79,367 86,128 87,120	84,205
PA1-C2-M3-P95	10070 10450 11540	1,208 1,214 1,211	1,211	53,472 55,519 59,870	56,287
PA1-C3-M1-P96	16090 16170 17630	1,203 1,205 1,204	1,204	81,911 83,324 89,509	84,915
PA1-C3-M2-P95	10890 11540 12250	1,206 1,200 1,206	1,204	55,483 59,065 63,176	59,241
PA1-C3-M3-P94	6570 6680 6980	1,186 1,205 1,195	1,195	34,076 35,539 37,064	35,560

Çalışmanın 2. kısmında ise Co-Ortalat 'ın kullanılmadığı ve sadece sertleştirici kullanılan bileşimlerde de çalışılmıştır. Burada sertleştiricinin bileşimdeki % miktarları Co %0 iken; MEKP %0,5-%1-%1,5 olarak alınmıştır. Devamında bu kez Co %0,5 iken; MEKP %0,5-%1-%1,5 değerleriyle çalışılmıştır. Her iki uygulamada Polyester % miktarları ise hızlandırıcı ve sertleştirici değerleri sonrası hacim %100 'e tamamlanacak şekilde tüm bileşenler hazırlanarak numuneler üretilmiştir. Bu ikinci aşama çalışma sonuçları ise Çizelge 2 'de verilmiştir. Çizelge 2'den Co %0,5-MEKP %0,5-P %99 için en büyük basma dayanımı değeri 126,493 N/mm² ve yoğunluğu ise 1,215 g/cm³ olarak elde edilmiştir.

Çizelge 1 ve Çizelge 2 'deki çalışma aynı şekilde Çizelge 3 ve Çizelge 4 için de uygulanmıştır. Çizelge 1 ve 2 'nin, Çizelge 3 ve 4 'den farkı kullanılan Polyester reçinenin farklı olmasıdır. Çizelge 3 'de görülen; Co %1-MEKP %1-P %98 miktarlarıyla en büyük basma dayanımı değeri 113,243 N/mm² ve bu bileşimin yoğunluğu 1,205 g/cm³ olarak elde edilmiştir. Çizelge 4 'de görüldüğü üzere; Co %0,5-MEKP %1-P %98,5 miktarlarıyla en büyük basma dayanımı değeri 133,747 N/mm² ve yoğunluğu ise 1,211 g/cm³ olarak bulunmuştur.

Çizelge 2. PA2 numunelerin basma yükü, yoğunluk ve basma dayanımı değerleri

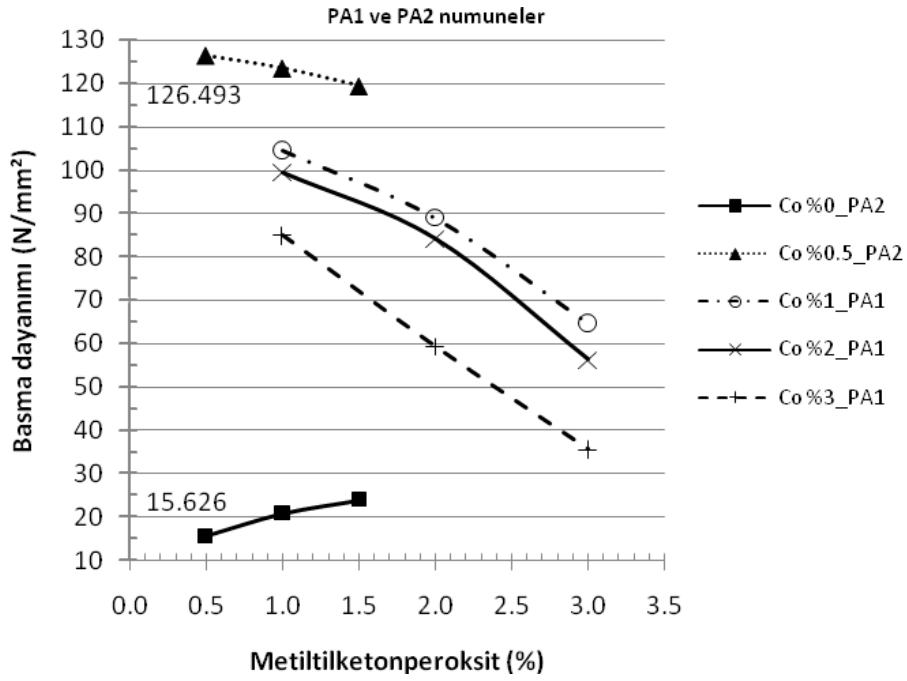
bileşim oranları % hacim C-M-P	basma yükü (daN)	yoğunluk (g/cm ³)	yoğunluk ortalaması (g/cm ³)	basma dayanımı (N/mm ²)	basma dayanımı ortalaması (N/mm ²)
PA2-C0-M0,5-P99,5	2750 2940 3700	1,217 1,221 1,202	1,213	13,924 14,797 18,158	15,626
PA2-C0-M1-P99	4070 4150 4370	1,197 1,189 1,186	1,191	19,947 20,873 21,660	20,827
PA2-C0-M1,5-P98,5	4360 4550 5320	1,198 1,194 1,200	1,197	21,974 22,839 26,848	23,887
PA2-C0,5-M0,5-P99	23410 25060 25120	1,221 1,213 1,212	1,215	120,896 128,874 129,709	126,493
PA2-C0,5-M1-P98,5	23230 24280 24360	1,213 1,209 1,213	1,212	124,777 120,577 125,356	123,550
PA2-C0,5-M1,5-P98	21700 22940 23050	1,207 1,215 1,214	1,212	115,071 121,146 122,058	119,425

Çizelge 3. PB1 numunelerin basma yükü, yoğunluk ve basma dayanımı değerleri

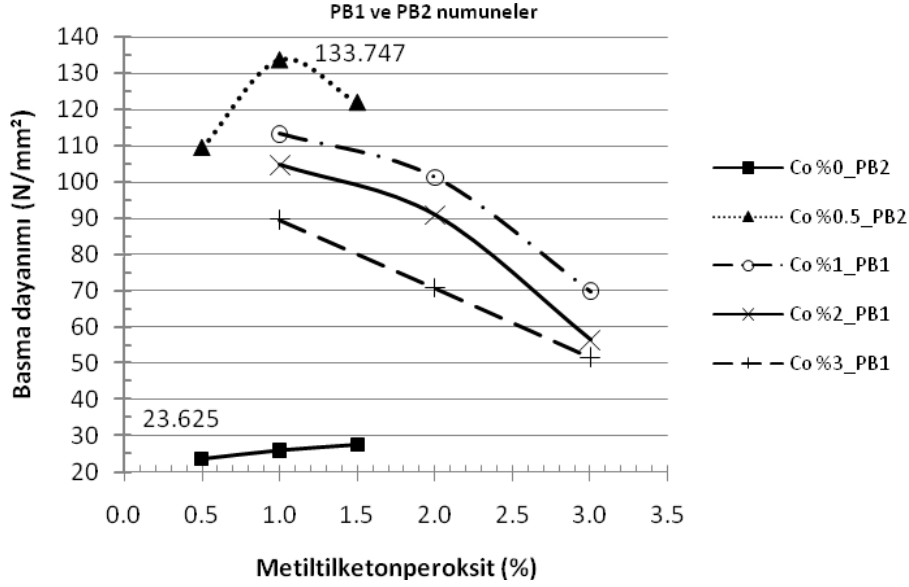
bileşim oranları % hacim C-M-P	basma yükü (daN)	yoğunluk (g/cm ³)	yoğunluk ortalaması (g/cm ³)	basma dayanımı (N/mm ²)	basma dayanımı ortalaması (N/mm ²)
PB1-C1-M1-P98	21910 21910 22230	1,211 1,203 1,200	1,205	112,721 115,422 111,587	113,243
PB1-C1-M2-P97	18280 19460 21010	1,205 1,211 1,206	1,207	94,644 100,413 108,707	101,255
PB1-C1-M3-P96	13010 13440 14330	1,212 1,203 1,184	1,200	67,276 68,882 73,494	69,884
PB1-C2-M1-P97	19800 20350 20400	1,206 1,202 1,202	1,203	102,310 106,007 105,693	104,670
PB1-C2-M2-P96	16560 17960 18110	1,215 1,210 1,205	1,210	85,913 93,496 93,133	90,847
PB1-C2-M3-P95	10050 10320 11720	1,176 1,206 1,194	1,192	52,567 54,845 61,774	56,395
PB1-C3-M1-P96	16870 17390 17880	1,201 1,199 1,201	1,200	86,206 88,316 94,269	89,597
PB1-C3-M2-P95	9960 15350 16340	1,196 1,205 1,204	1,202	50,746 78,417 83,184	70,782
PB1-C3-M3-P94	9340 9990 10430	1,195 1,191 1,200	1,195	48,052 51,479 55,367	51,633

Çizelge 4. PB2 numunelerin basma yükü, yoğunluk ve basma dayanımı değerleri

bileşim oranları % hacim C-M-P	basma yükü (daN)	yoğunluk (g/cm ³)	yoğunluk ortalaması (g/cm ³)	basma dayanımı (N/mm ²)	basma dayanımı ortalaması (N/mm ²)
PB2-C0-M0,5-P99,5	4740	1,186	1,189	23,215	23,625
	4740	1,196		23,370	
	4800	1,185		24,289	
PB2-C0-M1-P99	5060	1,192	1,189	25,047	25,983
	5240	1,178		25,664	
	5470	1,198		27,239	
PB2-C0-M1,5-P98,5	5110	1,190	1,194	26,243	27,534
	5350	1,208		27,309	
	5630	1,185		29,051	
PB2-C0,5-M0,5-P99	15760	1,207	1,206	80,992	109,475
	23300	1,205		123,129	
	24820	1,205		124,304	
PB2-C0,5-M1-P98,5	25450	1,208	1,211	130,790	133,747
	26000	1,211		134,614	
	26200	1,213		135,837	
PB2-C0,5-M1,5-P98	21110	1,207	1,209	108,781	122,000
	24790	1,211		128,700	
	24940	1,209		128,518	



Şekil 1. PA1 ve PA2 numunelerde sertleştirici miktarları % değişimine göre basma dayanımı değerleri



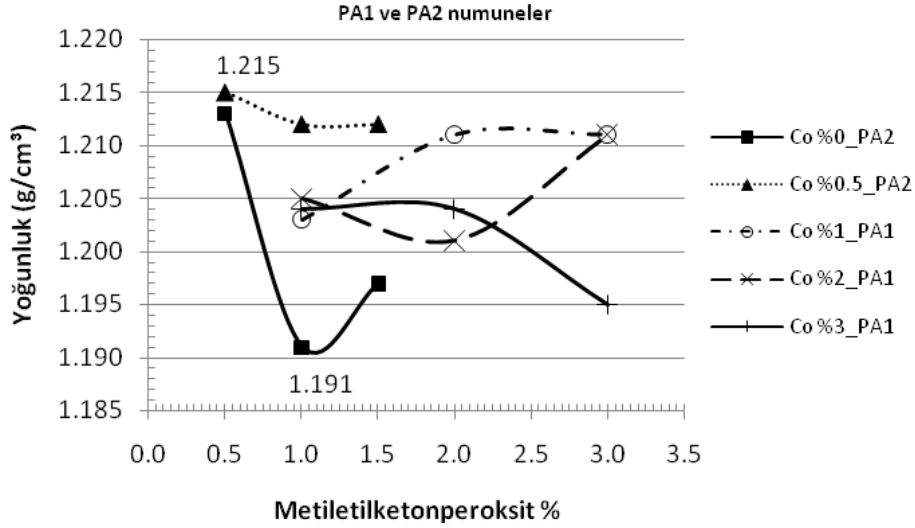
Şekil 2. PB1 ve PB2 numunelerde sertleştirici miktarları % değişimine göre basma dayanımı değerleri

Çizelge 1 ve Çizelge 2 'deki PA1 ve PA2 numunelerin basma dayanımı değerleri ortalamaları ile "sertleştirici-basma dayanımı" eksenlerinde, hızlandırıcı miktarlarına göre sınıflanmış numunelerin grafiği Şekil 1 'de verilmiştir. Şekilde en büyük ve en küçük basma dayanımı değerleri ilgili karışım miktarları için gösterilmiştir. Hızlandırıcının kullanılmadığı numuneler çok düşük basma dayanımı değerleri vermiştir. Hızlandırıcının %0,5 miktarı olduğu numuneler ise bariz şekilde en büyük dayanım değerini vermiştir. Çizelge 2 ve Çizelge 3 'deki PB1 ve PB2 numunelerin basma dayanımı değerleri ortalamaları ile "sertleştirici-basma dayanımı" eksenlerinde, hızlandırıcı miktarlarına göre sınıflanmış numunelerin grafiği Şekil 2 'de verilmiştir. Şekilde yukarıdaki duruma benzer şekilde hızlandırıcının kullanılmadığı %0 miktarında en düşük ve hızlandırıcının %0,5 olarak kullanıldığı numunelerde ise en büyük basma dayanımı değerleri alınmıştır.

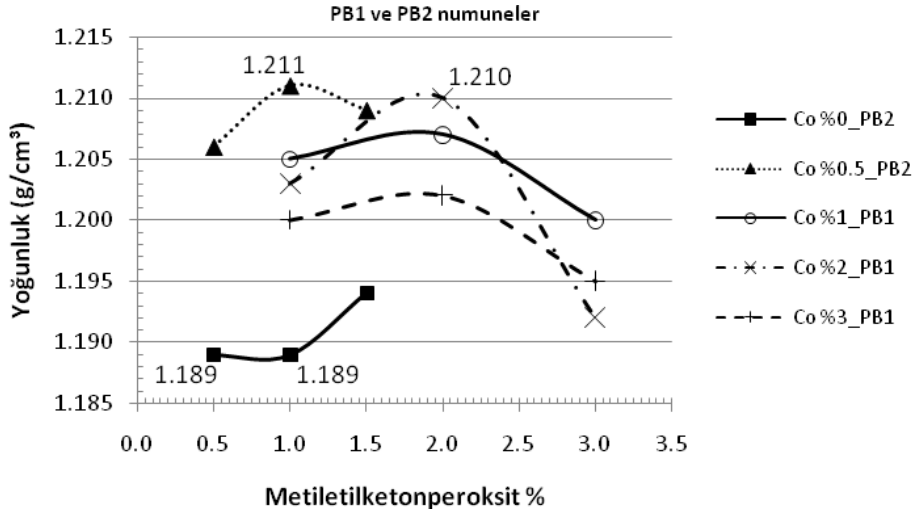
Buradaki en önemli fark PA2 numune % miktarları Co %0,5-MEKP % 0,5-P %99 ile elde edilirken, PB2 numunede ise % miktarları Co %0,5-MEKP %1-P %98,5 ile elde edilmiş olmasıdır.

En düşük değerler ise sırasıyla PA2 için 15,626 N/mm² ve PB2 için ise 23,625 N/mm² olmuştur. Buradaki değerlerin ikisi de üretilen numunelerin aynı % miktarları için Co %0-MEKP %0,5-P %99 bileşimiyle alınmıştır. Şekil 1 ve Şekil 2 den ortak görülen iki polyester tipi için hızlandırıcının %1-%2-%3 olarak kullanılan numuneler benzer eğilim göstermişlerdir.

PB numuneler genelde PA numunelere göre daha büyük basma dayanım değerleri vermiştir. Polyester tipinin değişimiyle basma dayanımı değerlerinin değiştiği söylenebilir. Bu çalışmadaki değişimin seviyesi için ise aynı tipte üretilmiş ve aynı mekanik özellikleri incelenmiş numunelerde oran olarak büyük değerlere göre (PB_{max} / PA_{max}) 1,057 ile ~ %6 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 3. PA1 ve PA2 numunelerde sertleştirici miktarları % değişimine göre yoğunluk değerleri



Şekil 4. PB1 ve PB2 numunelerde sertleştirici miktarları % değişimine göre yoğunluk değerleri

Şekil 3 ve Şekil 4 'de ("Yoğunluk-Sertleştirici" eksenlerinde) PA ve PB numunelerin hızlandırıcı % miktarlarıyla sınıflandırılmış numunelerin sertleştirici % miktarlarına göre yoğunluk değerleri verilmiştir. Şekil 3 'de PA numunelerde 1,191 ile 1,215 g/cm³ aralığında bir değişim elde edilmiştir. Hızlandırıcı % miktarının %0 olduğu grupta en küçük ve %0,5 olduğu grupta ise en büyük değerler alınmıştır. Co % miktarları %1-%2-%3 olan gruplar ise belirtilen aralıkta değerler vermiştir. Basma dayanımının en büyük olduğu grup en büyük yoğunluk değerine sahip olmuştur. Değerler arasındaki seviye farkı oldukça azdır. Şekil 4 'de PB numunelerde 1,211 ile 1,189 g/cm³ aralığında bir değişim elde edilmiştir. PB numunelerde PA

numunelere benzer şekilde bir eğilim ile en büyük basma dayanımı elde edilmiş numunelerden en büyük yoğunluk değeri ve hızlandırıcı % miktarı %0 olan numunelerle de en düşük yoğunluk değeri alınmıştır. Burada da değerler arasındaki seviye farkı oldukça azdır. PB numunelerin daha yüksek basma dayanımı için PA 'ya nazaran daha düşük yoğunluk değeri vermesi önemlidir. Bu fark (PAMax / PBmax) 1,0033 ile % 0,33 olarak gerçekleşmiştir. Genelde tüm PA ve PB numuneler için 0,1 hassasiyette yoğunluk değeri olarak 1,2 g/cm³ değerinin kullanılacağı söylenebilir. Buradan polyester tipi farklılığının yoğunluk değerleri üzerinde küçük farklar oluşsa da etkili olduğu söylenebilir. Çalışmada elde edilen genel çıkarımları aşağıdaki gibi sıralayabiliriz;

- Reçine tipinin farklı olması basma dayanımı ve yoğunluk değerlerini etkilemektedir.
- Hızlandırıcının kullanılmaması basma dayanımı ve yoğunluk değerlerinin düşmesine neden olmaktadır.
- Reçine, sertleştirici ve hızlandırıcı oranlarının değişimi basma dayanımı ve yoğunluk değerlerini etkilemektedir.
- Baskı uygulanmadan, kalıpla, döküm tekniği kullanılarak üretilmiş dolgu malzemesiz kompozitlerin en büyük basma dayanımı 133,747 N/mm² ve bu reçine tipiyle aynı oranlarda diğerine nazaran daha düşük 1,211 g/cm³ yoğunluk değeri elde edilmiştir.
- Farklı reçinelerin aynı bileşim miktarları için oran (%) olarak basma dayanımları 1,057-6 ve yoğunluk ise 1,0033-0,33 değerlerinde değişim göstermiştir.
- Çalışmada en büyük basma dayanımı değerini veren "Hızlandırıcı/Sertleştirici/Polyester" % oranları PB reçine tipi için, "0,5-1-98,5" olarak belirlenmiştir.

Firmalar ürünlerinin tanıtımında normal şartlar altında üretim için bazı tavsiyelerde bulunmaktadırlar. Fakat önemli bir konu, değişen ortam şartları ve ürünle birlikte kullanılan diğer dolgu malzemeleri için bazı ön deneylerin yapılması gereğini de açıklamaktadırlar. Bu çalışma bu kapsamda mutlaka dikkate alınması gereken asıl faaliyet öncesi yapılması gerekenlere örnektir. Çalışma sonuçlarından da görülebileceği üzere bileşenlerin değişimi yapının özelliklerini etkilemektedir. Dolayısıyla daha iyi bir yapı oluşumu sağlanabileceken, zayıf bağlarla oluşmuş bir ürünü kullanmanın anlamı olmayacaktır. Kaldı ki bu çalışmada dolgu malzemesiz en iyi yapı bileşenleri araştırılmış iken dolgu malzemeleri katıldığında durumun yine ayrıca incelenmesi gerektiği de bilinmelidir.

Çalışmada, farklı yoğunluklarda hızlandırıcı, sertleştirici ve iki tip polyester ile yekpare bir parça halinde hazırlanan deney numunelerinin, basma deneyi esas alınarak en büyük değeri veren bileşimin tayini yapılabilmektedir. Aynı zamanda farklı karışım miktarları söz konusu olsa da yoğunluklarda belirlenebilmektedir. Burada bahsi geçen yapı bir pleyt bir tezgah gövdesi veya 150°C üzeri sıcaklıkların söz konusu olmadığı, elde edilen basma dayanımı seviyelerinde ihtiyaç olan yerlerde rahatlıkla kullanılabilir. Bileşimdeki her bir eleman farklı amaçlarla birçok alanda kompozit üretimi için sıkça başvurulan malzemelerdir. Bu malzemelerle farklı biçimlere sahip yeni yapı elemanları olarak üretim de düşünülebilir. Bu takdirde farklı bir mekanik özellik için çalışma da uygulanmış yöntem izlenebilir.

Teşekkür / Acknowledgments

Bu çalışma 108M637 numaralı TÜBİTAK Projesi desteği ile gerçekleştirilmiştir.

REFERENCES / KAYNAKLAR

- [1] Aran A., "Elyaf Takviyeli Karma Malzemeler", İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı: 1420, Gümüşsuyu-İstanbul, 1990.
- [2] Şahin Y., "Kompozit Malzemelere Giriş", Gazi Kitapevi, Ankara, 2000.
- [3] Sayman O., Aksoy S., "Kompozit Malzemeler", Ege Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, İzmir, 1995.

- [4] 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.
- [5] Yaşar İ., Arslan F., “Sürekli cam elyaf takviyeli polyeester matrisli kompozitler de elyaf hacim oranı ve elyaf doğrultusunun tribolojik özelliklere etkisi”, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 24, 181-101, TÜBİTAK, 2000.
- [6] Gürü M., Akyüz Y., Akın E., “Mermer tozu/polyeester kompozitlerde dolgu oranının mekanik özelliklere etkileri”, Politeknik Dergisi, Cilt 8, Sayı 3, Sayfa 271-274, 2005.
- [7] Hornikel T., “Polyeester resins a binder for concrete and artifical Stone”, Kunststoffe im Bau, Vol 6, 1977.
- [8] Krausse J., Dey H., “Maschinenteile aus Polymerbeton”, Sonderdruck aus Maschine+Werkzeug, 13, 1984.
- [9] Stawowy J., “Schwingungsarm eingesteller polymerbeton auf polyeesterharzbasis und die sich daraus ergebenden möglichkeiten der bewehrung”, Darmstadt-Hüls AG, (1994).
- [10] Capuano T. D., “Polymer Concrete, An Engineering Material with an Identity Problem”, Machine Design, V.59, No.20, P.133-135, Sep, 1987.
- [11] Ateş E., “Epoksi ve Polyeester 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 Polyeester Resin Concrete”. Journal of Reinforced Plastics and Composites, Vol 28, No 2, p 235-246, 2009.