

Polyester Matrisli Kompozit Özeliklerine Vitrikiye Seramik Sağlık Gereci Atık Miktarının Etkisi

Effect of Vitreous China Sanitaryware Waste Amount on Polyester Matrix Composite Properties

*^{1,2}Gökhan Açıkbaş and ²Hasan Göçmez

1. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Metalurji Programı, 11210, Bilecik, Turkey
2. Dumlupınar Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, 43266, Kütahya, Turkey

Özet

Seramik sağlık gereçleri alanında Türkiye, Avrupada en çok üretim yapan ülke konumundadır. Senelik 320.000 tonluk üretim miktarı, 21,3 milyonluk üretim adediyle ve üretiminin %60'ını ihraç etmesi nedeniyle ülke ekonomisinde önemli bir konuma sahiptir. Bu nedenle üretim esnasında oluşan atıkların miktarı ve çevreye olan etkisi düşünüldüğünde bu atıkların etkili bir şekilde değerlendirilmesi büyük bir önem arz etmektedir. Üretici firmalar oluşan yaş atığın büyük bir bölümünü değerlendirebilselerde sinterlenmiş ürünün değerlendirilmesinde üretim kısıtlamaları nedeniyle bu mümkün olamamaktadır. Bu durum atıkların farklı alanlarda fayda sağlayacak şekilde değerlendirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışmada seramik sağlık gereçleri alanında üretim yapan bir firmanın atık vitreous china bünyeli sinterlenmiş ürünleri, belirli bir boyut aralığında olacak şekilde öğütülerek polyester matris içerisine farklı oranlarda katılarak kompozit ürünler elde edilmiştir. Elde edilen kompozit ürünün mekanik ve fiziksel özelliklerine atık sağlık gereci seramik ürün miktarının etkisi tartışılmıştır. Kompozit ürüne, üç nokta eğme, elastik modül, sertlik, % su emme, % toplam porozite, bulk yoğunluk, teorik yoğunluk, % açık porozite testleri yapılmıştır. Elde edilen ürünlerin mikro yapıları, kullanılan tozların tane şekilleri Taramalı Elektron Mikroskobu(SEM)-İkincil Electron(SE) dedektörü kullanılarak analiz edilmiştir. Artan atık seramik miktarı ile kompozit ürünlerde eğme mukavemetinde belirgin bir değişim görülmezken, sertlik ve elastik modül değerleri artmıştır. Artan seramik atık miktarı ile % su emme değerleri benzer iken % açık porozite, % toplam porozite, bulk yoğunluk değerleri artmıştır.

Anahtar Kelime: polyester, kompozit, sağlık gereci, atık

Abstract

The manufacturing of 320000 tons with 21.3 million pieces and exporting 60 % of them make Turkey as leading country at the production of sanitaryware field in the Europa. In the meantime, high amount of santiaryware production and subsequent effect on the environment requires effective essesmant of waste. Although manufacturer effectively utilize wet waste, sintered waste is difficult to regain due to some processing technical hitches. In this respect, the evaluation of waste materials in the various field needs to be investigated.

In this study, polyester composite were obtained by adding certain size of vitreous china body waste from company produced sanitaryware. The mechanical and physical properties of composites were determined in terms of effect of the amount of ceramic waste added into matrix. Elastic module, bending strength, hardness, water absorption, porosity and density were attained. Scanning Electron Microscopy (SEM) determined the grain size and morphology of samples. While the content of ceramic waste addition in the composites increased, bending strength did not change significantly but hardness and elastic modulus improved. Water absorption of composites did not changed whereas open and total porosity and bulk density were increased upon the addition of ceramic waste into polymer matrix.

Key words: polyester, composites, sanitaryware, waste

*Corresponding author: Address: Vocational School, Metallurgy Program, Bilecik Şeyh Edebali University, 11230, Bilecik, TURKEY. E-mail address: gokhan.acikbas@bilecik.edu.tr, Phone: +902282141623

1. Giriş

Polimer matrisli kompozitler, günlük yaşantıdan, sanayinin her alanında kullanım imkanı bulan geleceğin malzemeleridir. Seramik sağlık gereği ürünleri, mutfak, banyo, tuvalet, gibi alanlarda kullanılan, rezervuar, bide, helataşı, pisuar, lavabo, eviye, klozet, duş teknesi vb. Sırlı yada sırsız, beyaz yada renkli ürünlerin genel adıdır [1]. Bu alanda seramiklerin kullanım nedenlerinin başında, yüksek sertlik ve mukavemet özellikleri, yaygın bir şekilde bulunan ekonomik hammaddelerden üretilmesi, polimer matrisli kompozitlerin hafiflik, kolay üretim, yüksek miktarda atık kullanımına imkan tanınması ve elde edilebilir geniş fonksiyonel özellikler vb. sağlaması, metaller ise sahip olduğu yüksek tokluk ve mukavemet değerleri vb. nedenlerle kullanım imkanı bulmaktadır. Ancak soğukluk hissi vermesi (termal iletkenliği yüksek), pahalı olmaları, seramiklere ve polimerlere göre düşük korozyon direnci, estetik açıdan zayıf olmaları, nedeniyle kullanımları kısıtlıdır [2-3]. Kompozit döküm endüstrisi, mühendislik kompozitleri, masif yüzeyler ve mühendislik taşları olmak üzere üretim şekli, polimer/dolgu-takviye oranı ve çeşidi ve dış yüzey jelkot uygulanmasına bağlı olarak üç grupta incelenmektedir. Bu ürünler makine parçalarında kullanımdan banyo ve mutfak gereçlerine kadar çok geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Dünya üzerinde bulunan en genel kompozit malzemeler olan ağaç ve kemik doğal kompozit malzemelerdir. Diğer taraftan kompozit malzemeler, havacılık sanayinde, taşımacılıkta, yapı malzemeleri endüstrisinde, gemi yapımı endüstrisinde, korozyona dayanıklı ekipman yapımında, elektrik ve elektronik sektöründe, çok sayıda spor ekipmanında ve malzemesinde, tarımda, balıkçılıkta ve mekanik üretim sistemleri olmak üzere çok sayıda endüstride sahip olduğu üstün özellikler nedeniyle kullanım alanı bulmaktadır[4-6].

Polimer matrisli kompozit malzemelerde, matris tipi, takviye/dolgu tipi, arayüz etkileşimi üzerine çok sayıda çalışma yer almaktadır. Gürü ve ark.'nın yaptığı çalışmada polyester matrisli kompozit malzeme üretimi gerçekleştirilmiş ve elde edilen malzemelerin mekanik özellikleri incelenmiştir. Mermer/polyester oranları kütlece 3; 3,5; 4; 4,5 ve 5 olarak değiştirilmiştir. Test sonuçları mermer/polyester oranının 4 olduğu durumda malzemenin diğerlerine göre daha yüksek mukavemet ve sertlik değerlerine sahip olduğunu elde etmişlerdir. Optimum oranda elde edilen numunedeki ölçülen sertlik Shore A cinsinden 96, Vickers sertliği 186,3 kg/mm² ve üç noktadan eğmede çekme mukavemeti değeri ise 60,17 N/mm² olarak bulunmuştur [7]. Sarıbiyık ve ark.'nın yaptığı çalışmada kuvars takviyeli polimer kompozitlerde kuvarsın yerine 10%, 20%, 30%, 40% and 47% oranlarında atık cam tozu kullanımının basma ve eğme mukavemetine etkisi araştırılmıştır. Atık cam tozu miktarının artışıyla eğme ve basma mukavemeti artmıştır. Reçinenin viskozitesine, partiküllerin şekline, boyutuna ve miktarına bağlı olarak kompozitin proses edilebilirliği değişmiştir[8]. Dong ve Davies, fındık kabuğunu dolgu elemanı olarak kullanarak (ağ. %10, 20, 30 ve 40) polyester matrisli kompozitlerin eğme dayanımına etkisini araştırmışlardır. Proses kaynaklı gözeneklerin oluşumu ve eğme dayanımına olumsuz etkisi olduğunu belirlemişlerdir. Gözenek içeren numunelerin eğme dayanımları mikro-mekanik modele göre hesaplanmıştır. Deneysel sonuçlar ve teorik hesaplanan eğme dayanımları değerlerinin dolgu elemanı miktarı arttıkça arttığı ve gözenek miktarı arttıkça azaldığı görülmüştür [9].

Doğal yada yapay organik ve inorganik atıkların takviye/dolgu elamanı olarak polimer matrisli kompozit ürünlerin üretimine yönelik çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Daha önceki çalışmalarımızda porselen, bor, üreformaldehit, uçucu kül ve mermer tozu atıklarının miktarları ve tane boyut dağılımlarının mekanik ve fiziksel özelliklere etkisi epoksi ve polyester matrislerde kullanımı gerçekleştirilerek araştırılmış, farklı teknikler ile yapı özellik ilişkileri değerlendirilmiştir[10-12]. Diğer çalışmalarımızda ise organik ve inorganik atıkların kompozit yapımında kullanımının etkisi araştırılmış bu bağlamda şerbetçi otu ve mermer tozu ile çam kozalağı ve mermer tozunun polyester matrisde kullanımının kompozitlerin mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi araştırılmış ve farklı teknikler ile yapı özellik ilişkileri incelenmiştir[13,14].

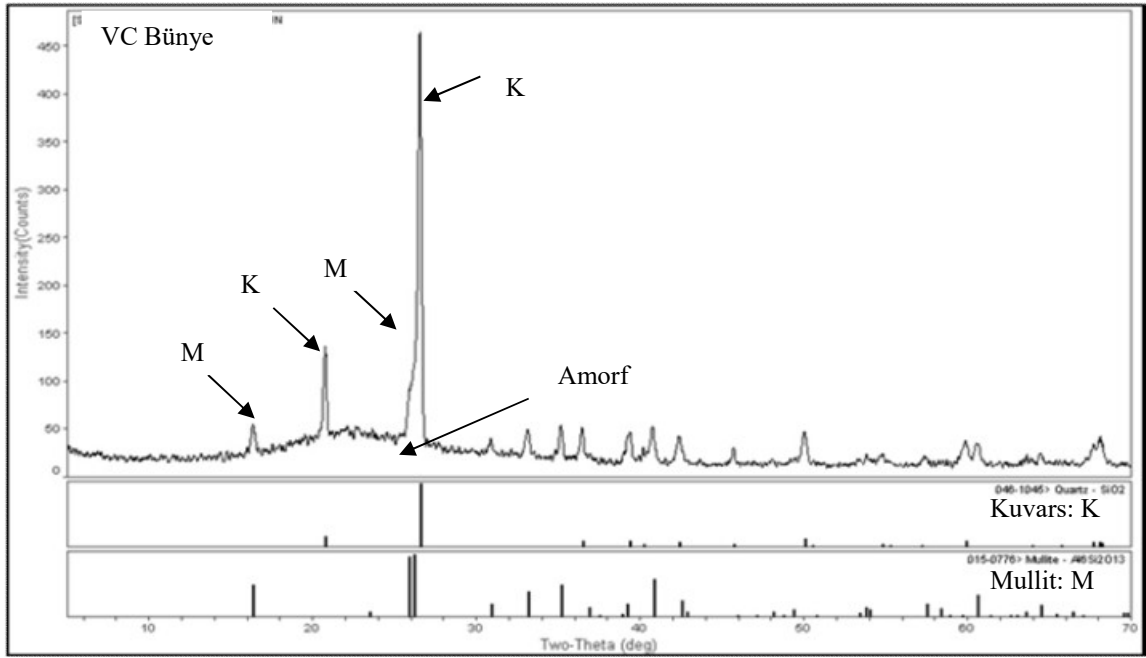
2. Malzeme ve Metot

2.1. Malzemeler

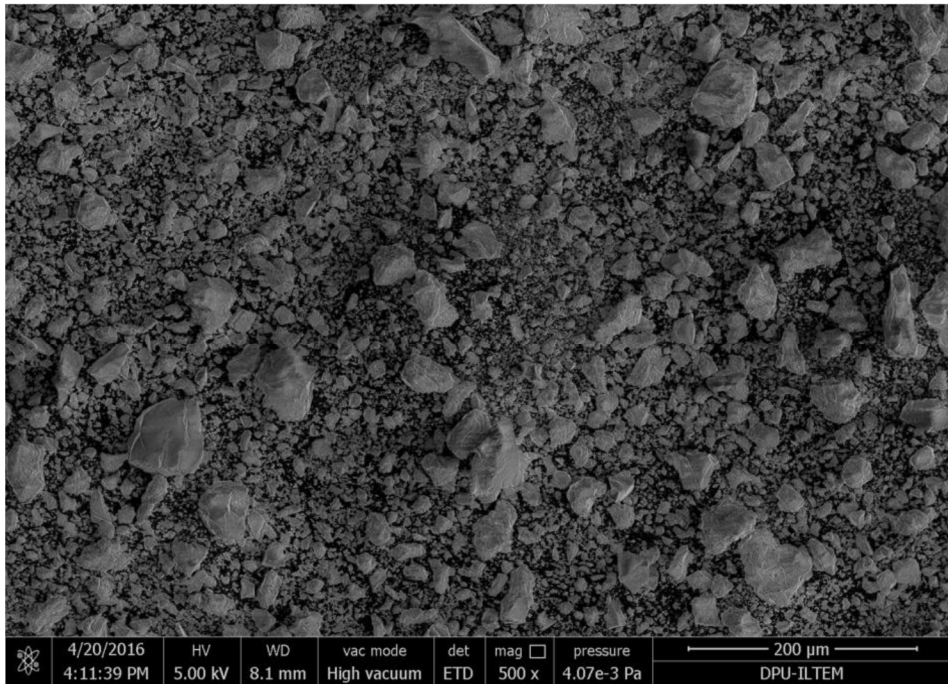
Polyester malzeme, katalizörleri(hızlandırıcı ve sertleştiricisi) ve kalıp ayırıcısı ile birlikte Poliya, Türkiye firmasından temin edilmiştir. Polyester miktarına bağlı olarak sertleştirici ve hızlandırıcı kompozit karışıma ağırlık oranında katılmıştır. Polyesterin yoğunluğu $1,076 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Dolgu elemanı olarak seramik sağlık gereçleri firmalarına ait vitreous china (VC) pişmiş seramik kırık atığı kullanılmıştır. Seramik kırıkları Fritsch Pulverisette model halkalı öğütücü kullanılarak toz haline getirilmiştir. Öğütülerek hazırlanmış tozlar farklı partikül boyutlarının özelliklere etkisini incelemek için 90 μm , 150 μm ve 300 μm 'lik eleklerden elenmiştir. Seramik atığının teorik yoğunluğu Micromeritics marka Accupyc II 1340 model He-gaz piknometresiyle ölçülerek $2,60 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur. VC seramik atığına ait kimyasal ve mineralojik analizler sırası ile Rigaku marka Primus model XRF (Çizelge 1.) ve Panalytical marka Empyrean model XRD(Şekil-1.) cihazı kullanılarak tespit edilmiştir. VC seramik atığında amorf, kuvars ve mullit fazları tespit edilmiştir. Mullit fazı iğnemsiz tane şeklinden dolayı mekanik özelliklere olumlu katkısı olan bir fazdır. Şekil 2'de VC seramik atığının SEM-SE görüntüsü verilmiştir. VC seramik atığının düzensiz, keskin köşeli ve kısmen küresel şekilli tanelere sahip olduğu belirlenmiştir. Testlerde kullanılan metal ve polimer kalıplar döküm öncesi kalıp ayırıcı uygulaması yapılarak hazır hale getirilmiştir.

Çizelge 1. VC seramik atığına ait XRF ile yapılmış kimyasal analiz sonucu

Numune İsmi	K.K.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Diğer
	Ağ.%	Ağ.%	Ağ.%	Ağ.%	Ağ.%	Ağ.%	Ağ.%	Ağ.%	Ağ.%	Ağ.%
VC Bünye	0,05	67,41	25,38	0,67	1,04	0,47	0,30	3,76	0,76	0,16



Şekil 1. VC seramik atığına ait mineralojik analiz sonucu



Şekil 2. VC seramik atığına ait SEM-SE görüntüsü, (<90 µm)

2.2.Kompozit Karışımlarının Hazırlanması

2.2.1.Dolgunun Hazırlanması

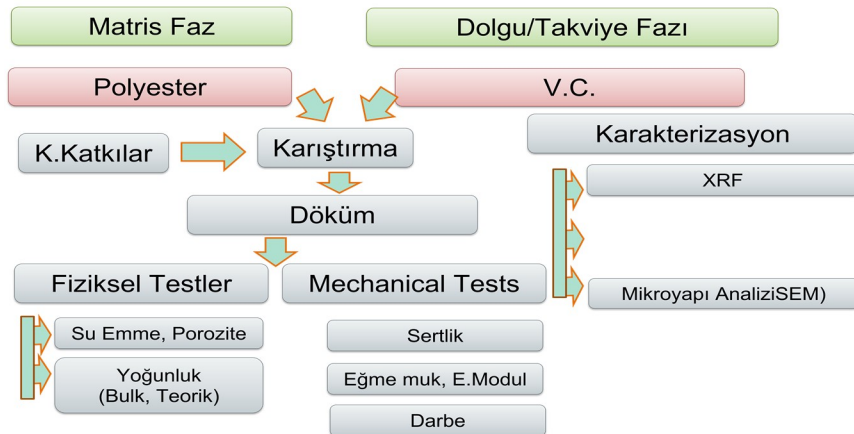
Kompozit yapıda kullanılacak, VC seramik kırıkları Fritsch Pulverisette model halkalı öğütücü kullanılarak 1-5 dakika süre ile 1000 rpm’de toz haline getirilmiştir. Öğütülerek hazırlanmış tozlar farklı partikül boyutlarının özelliklere etkisini incelemek için 90 µm, 150 µm ve 300 µm’lik eleklerden elenmiştir.

2.2.2.Kompozit Karışımlarının Hazırlanması ve Döküm

Çalışmada 90 µm altı, 90-150µm arası ve 150-300µm arası olacak şekilde 3 farklı tane boyutunda, ve 90 µm altı toz ile 4 farklı dolgu:reçine oranında karışımlar hazırlanmıştır. Çizelge 2.’de bu karışımlara ait reçete bileşimleri gösterilmiştir. İşlem sırasında belirtilen oranlarda ve tane boyutlarında dolgu malzemesi ve polyester reçine ilk olarak karıştırılmıştır.300-1500 ppm’de hızlarında toplamda 15 dakika, 4 kanatlı karıştırıcı kullanılarak karıştırma işlemi yapılmıştır. Karıştırma işlemi esnasında yapıya hızlandırıcı ilavesi ve vakum işlemi yapılmış olup sertleştirici en son aşamada ilave edilip karışım döküm işlemi için hazır hale getirilmiştir. Bu işlemden sonra karışımlar yapılacak testlere göre hazırlanmış kalıplara dökülmüştür. Şekil 3’de kompozit üretim ve analiz akış şeması gösterilmiştir.

Çizelge 2. Hazırlanan kompozit karışımlarına ait reçete kodları ve bileşimleri

Reçete Kodu	Ağırlıkça %						
	KVC1	KVC2	KVC3	KVC4	KVC5	KVC6	KVC7
Tane Boyut Aralığı, µm	<90	<90	<90	<90	<90	90-150	150-300
Dolgu:Polimer Oranı	1,50	1,22	1,00	0,67	0,43	1,22	1,22



Şekil-3:Kompozit üretim ve analiz akış şeması

2.3. Eğme Deneyi

Üretilen kompozitlerin 3 noktalı eğme dayanımı TS 985 EN ISO 178 standardına göre Shimadzu marka cihazda yapılmıştır. Numuneye üç noktadan uygulanan 2 mm/s hızdaki yük ile eğme mukavemeti, % uzaması ve belirli alana uygulanan maksimum kuvvet belirlenmiştir. Testler 5'er adet numuneye uygulanıp ortalama değerler alınmıştır. Eşitlik A.1' göre eğme mukavemeti (MPa)cinsinden hesaplanmıştır. Eşitlik A.1' de, P = Uygulanan yük (N), L = Mesnetler arası uzaklık (mm), b = Dörtgen kesitli numunenin eni (mm), h = Dörtgen kesitli numunenin yüksekliği (mm) dir.

$$\sigma_{eğme} = \frac{3.P.L}{2.bd^2} \quad (\text{Eşitlik A.1})$$

2.4. Eğmede Elastik Modül

Kompozitlerin elastik modül değerleri Eşitlik B.1 kullanılarak yapılmıştır. Eğme deneyinden elde edilen grafiğin maksimum kuvvet noktasına kadar olan bölümünden eğim değeri elde edilmiştir.

$$E = \frac{L^3}{4WD^3} xm \quad (\text{Eşitlik B.1})$$

Denklem'de verilen, E-elastik modül, m-eğim, L-mesnetler arası mesafe, W-numunenin genişliği ve D-numunenin kalınlığıdır.

2.5. Sertlik Testi

Kare şeklinde 5*5 cm boyutlarında hazırlanmış numunelerin sertlik ölçümleri, 5 kg sabit yük uygulamalı shore-D sertlik düzeneği ile ölçülmüştür. 5 farklı noktadan ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır.

2.6. Kompozitlerin Teorik Yoğunluk, Bulk Yoğunluk ve Porozitelerinin Hesaplanması

Tüm numunelerin yoğunluğu, Arşimet'in su ile yer değiştirme prensibine göre ölçülmüştür. Bu prensibe göre, bir maddenin sıvı içindeki ağırlığı, o maddenin kuru ağırlığı ile batmaya karşı gösterdiği direnç kuvvetinin farkına eşittir. Eşitlik C.1'de yığmsal yoğunluk, Eşitlik C.2'de % Açık Porozite, Eşitlik C.3'te % TY ve Eşitlik C.4.'te %TP(toplam porozite) hesaplamaları gösterilmiştir. Kompozit malzemelerin teorik yoğunluğu polysterin yoğunluğu ve içerdiği dolgu fazın yoğunluğu ve hacim oranına bağlı olarak karışım kuralına göre hesaplanmıştır.

$$\text{Bulk Yoğunluk} = \frac{W_1}{W_3 - W_2} x \rho_{su} \quad (\text{Eşitlik C.1})$$

$$\% \text{ Açık Porozite} = \frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} .x100 \quad (\text{Eşitlik C.2})$$

$$\% \text{ TY} = \frac{B.Y}{T.Y} .x100 \quad (\text{Eşitlik C.3})$$

$$\% TP = 100 - \% T.D.$$

(Eşitlik C.4)

$W_1 =$ Kuru ağırlık

$W_2 =$ Askıda ağırlık

$W_3 =$ Sıvı sızdırılmış haldeki ağırlıkları

$B.Y. =$ Bulk Yoğunluk

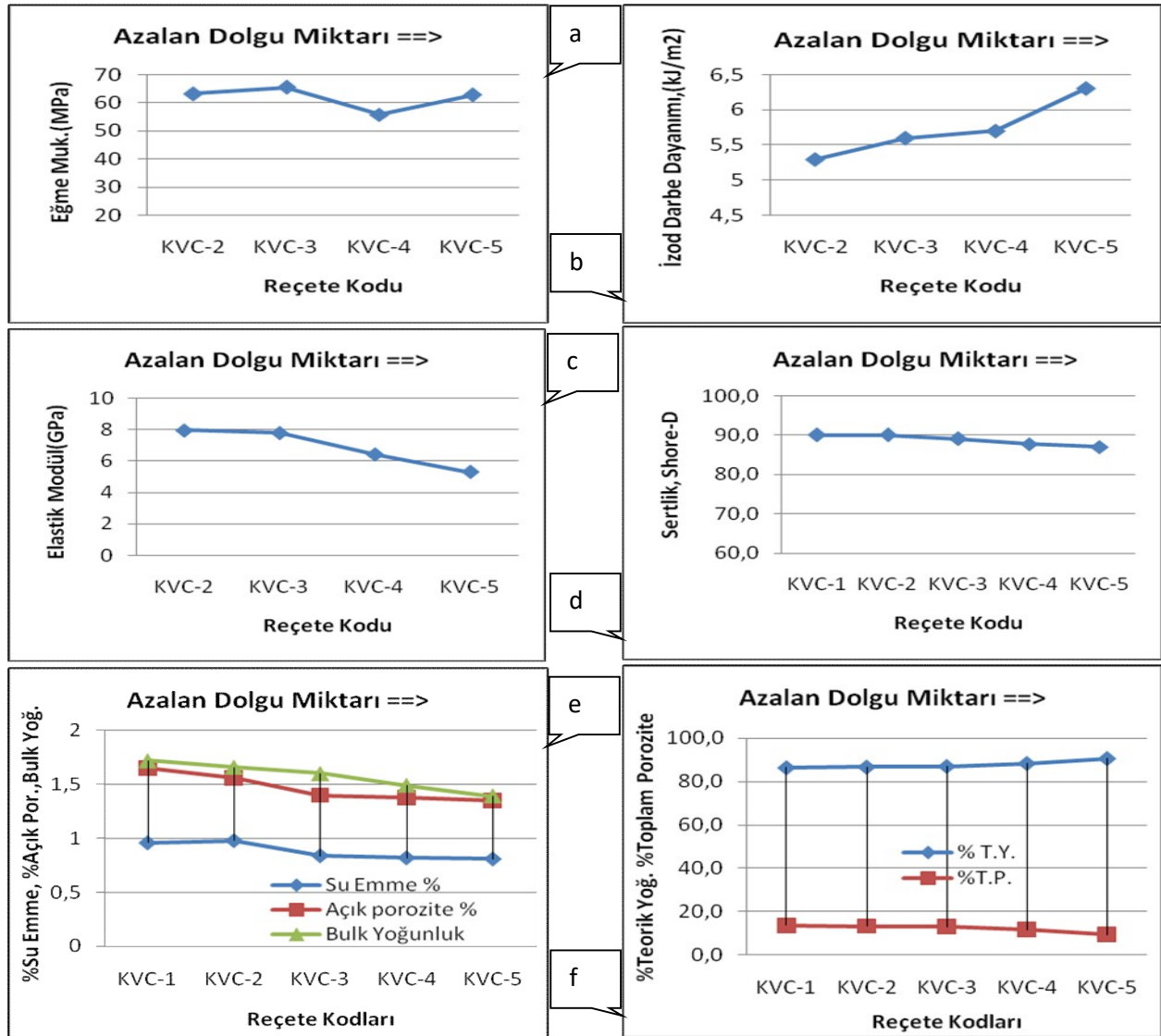
$T.Y. =$ Teorik Yoğunluk

3. Bulgular

Azalan dolgu:polyester oranlarında karışımlar hazırlanarak döküm ve son ürün özellikleri tartışılmıştır. Yapılan çalışmada kompozit yapıda polyester maliyeti daha yüksek olduğu için dolgu miktarı döküm özelliklerini ve malzemeden beklenen mekanik ve fiziksel özellikleri karşılayacak şekilde optimum bir değerde elde edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan denemelerde dolgu miktarı arttıkça döküm zorlaşırken, dolgu miktarı azaldıkça döküm işlemi kolaylaşmıştır. Döküm işlemi, mekanik ve fiziksel özellikler için ideal karışım oranı 1,22 olarak belirlenmiş bu oranda tane boyutunun özelliklere etkisinde tartışılmıştır.

4. Sonuçlar ve Tartışma

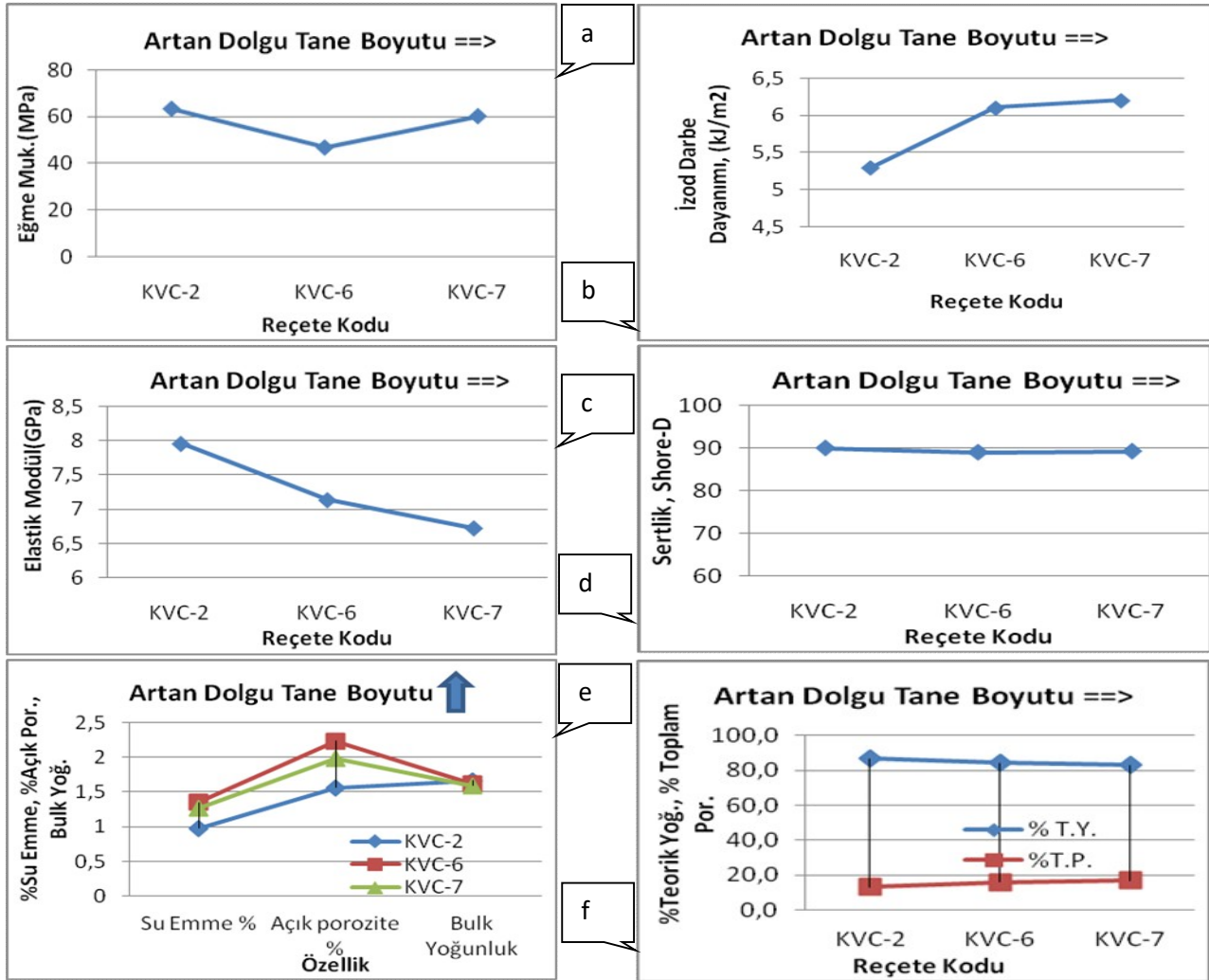
Yüksek dolgu miktarlarında, karışım viskozitesi artarak döküm işlemini zorlaştırmakta ve neticesinde ürünün kalıbı doldurmasını ve homojen yüzey elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Uygun olmayan yüzey, mekanik testlerde kompozit üründen beklenen performansın elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle KVC1 numunesinden istenen özellikte test numuneleri bazı testler için elde edilememiştir. Şekil 4.a'ya bakıldığında azalan dolgu miktarı ile eğme mukavemetinde belirgin bir artış görülmemiştir. Bu durumda test çubuklarının kırık yüzeyleri incelenmiş kırılma noktalarında porlar görülmüştür. Toplam porozite ve açık porozite değerlerinde belirgin bir değişim olmaması ve bu durumun ürünün orta bölgelerinde havanın kürlenme esnasında çıkamayıp birikmesi nedeniyle ürün performansını olumsuz etkilediği düşünülmüştür. İzod darbe dayanımında da(Şekil 4.b), azalan dolgu miktarı ile darbe dayanımının artması eğme mukavemetinde olması beklenen davranış olduğundan ve elde edilen sonuçlar eğme dayanımı ile tam olarak uyuşmadığından bu durum eğme çubuklarında proses kaynaklı olası bir hatayı gösterir niteliktedir. Dolgu fazı artışı ile daha elastik bir yapıya sahip polyester matris daha fazla rijitleşmekte ve daha düşük uzama değerlerinde kırılmaktadır. Bu durum seramik fazın kompozit yapı içerisinde kullanım miktarına bağlı olarak bölgesel gerilim bölgeleri yaratması ve ürünün darbe veya kuvvet uygulanması ile zarar görmesine neden olmaktadır. Elastik modül(Şekil 4.c) ve sertlik değerleri (Şekil 4.d) azalan dolgu fazı miktarı ile azalmıştır. Bu durum rijit ve daha sert olan seramik fazın miktarının azalmasından kaynaklanmaktadır. Azalan dolgu fazı miktarı ile döküm işlemi kolaylaştığı için ürünlerin fiziksel özelliklerinde de iyileşme görülmüş, su emme, açık porozite(Şekil 4.e) değerleri azalmış, %teorik yoğunluğa ulaşma değeri artarken % toplam porozite(Şekil 4.f) değerinde azalma görülmüştür.



Şekil 4. Farklı dolgu polimer oranlarına ait mekaniksel ve fiziksel analiz sonuçları, a) Eğme Muk., b) Darbe Dayanımı, c) Elastik modül, d) Sertlik, e ve f) Fiziksel özellikler

Optimum dolgu-polimer oranında artan dolgu tane boyutu ile birlikte eğme dayanımında 90 μm altı boyuta göre azalma görülmüştür (Şekil 5.a). Bu azalmanın nedeni ince partiküllerde matris-arayüz etkileşiminin kaba partiküllere göre daha iyi olması, kaba partiküllerin kısmende olsa döküm sırasında segregasyona uğraması nedeniyledir. İzod darbe dayanımı artan dolgu tane boyutu ile artmıştır (Şekil 5.b). Bu durum artan tane boyutu ile azalan tane yüzey alanı nedeniyle yapı daha sünek bir hale büründüğü içindir. Artan dolgu tane boyutu ile elastik modül ve sertlik değerleri azalmıştır (Şekil 5.c,d). Bu durum su emme, açık ve toplam porozite değerleri ile birlikte incelendiğinde, boyut artışıyla kompozit yapıda iri tanelerden dolayı segregasyon meydana gelerek mikroyapıda homojeniteyi bozup elastik modülün azalmasını sağlamıştır (Şekil 5.e). Ayrıca artan boyut ile %toplam porozite değeri (Şekil 5.f) artarak, daha gözenekli bir yapı

oluşturduğu için elastik modülün azalmasına neden olmuştur. Takviye-matris arayüzey bağlanma derecesi ince partiküllerde daha kuvvetli olduğundan, ince tane boyutunun elastik modül değerine olumlu katkısı olmuştur. Sertlikte artan tane boyutuyla azalma görülmüştür. Fakat değişim çok düşük düzeydedir. Düşük tane boyutunda (KVC-2), yüksek tane boyut (KVC-6, KVC-7) değerlerine göre daha düşük toplam porozite değerleri elde edilmiştir.



Şekil 5. Farklı dolgu tane boyutlarına ait mekaniksel ve fiziksel analiz sonuçları, a) Eğme Muk., b) Darbe Dayanımı, c) Elastik modül, d) Sertlik, e ve f) Fiziksel özellikler

Genel Sonuçlar

Kompozit bileşiminde optimum dolgu oranının 1,22 olduğu bu oranın üstündeki değerlerde kompozit dökümünün basınçsız bir şekilde hatasız ve hızlı olarak yapılamıyacağı belirlenmiş olup altındaki değerlerde ise hem üretim hemde mekanik ve teknik özellikler açısından uygun olmayacağına karar verilmiş olup 1,22 oranında tane boyutunun kompozit özelliklere etki incelenmiştir.

optimum boyut olarak 90 mikron ve altı boyut kullanılmasına karar verilmiştir. Polyester matrise ilave edilen Vitreous China pişmiş seramik atık dolgu miktarının ve tane boyutunun kompozit yapının özellikleri üzerine etkisi belirlenmiş olup bu atıkların kompozit yapımında kullanımının uygun olduğu görülmüştür. Bununla beraber bu dolgu ile farklı özellikler için hibrit kompozit yapılma imkanı bulunmaktadır. Bu sayede endüstriyel bir atık, kompozit makine parçasından, endüstriyel kompozit plakakalara, banyo gereçlerine kadar çeşitli ürünlerin üretimi gibi farklı alanlarda katma değer yaratacak bir kullanım alanına sahip olacaktır. VC dolgu içerdiği iğnemsiz mullit kristalleri nedeniyle kuvars dolguya alternatif atık bir malzemedir.

Kaynaklar

- [1] Fortuna D. Ceramic technology sanitaryware. Gruppo editorial efaenza editrice: SPA; 2000.
- [2] Bartusch R. Energy saving potentials in the ceramic industry. *Interceram* 2004; 53: 312-317.
- [3] Singer F, Singer SS. *Industrial Ceramics*, Chapman and Hall, London: U.K.; 1963.
- [4] Harris B. *Engineering composite materials*, The Institute of Materials, London: IOM; 1999.
- [5] Gay D. *Composite Materials: Design and Applications*. 3rd. ed. CRC Press-Taylor & Francis Group: Boca Raton; 2015.
- [6] Strong AB. *Fundamentals of composites manufacturing: materials, methods and applications*. Society of Manufacturing Engineers, 2nd. ed. Michigan: USA; 2008.
- [7] Gürü M, Akyüz Y, Akın E. Mermer Tozu/Polyester Kompozitlerde Dolgu Oranının Mekanik Özelliklere Etkileri. *Politeknik Dergisi* 2005; 8: 3: 271-74.
- [8] Sarıbiyık M, Piskin A, Sarıbiyık A. The effects of waste glass powder usage on polymer concrete properties. *Construction and Building Materials* 2013;47:840-44.
- [9] Dong C, Davies JJ. Flexural properties of macadamia nutshell particle reinforced polyester composites. *Composites: Part B* 2012; 43: 2751-56.
- [10] Acikbas G, Acikbas Calis N, İkizek E, Özel M, Eker AS. Characterization of green epoxy matrix composites filled with ceramic wastes. *ISITES2014 2nd International symposium on innovative technologies in engineering and science proceeding book*, Karabük, Turkey, 18-20 June 2014, pp. 597-606.
- [11] Açıkbş G, Açıkbş Çalış N. Epoxy Matrix Composites Containing Urea Formaldehyde Waste Particulate Filler. *Waste and Biomass Valorization* 2016; pp.1-10, DOI: 10.1007/s12649-016-9651-9.
- [12] Pehlivan T, Akbulut A, Furat Ç, Açıkbş G, Açıkgöz Ç. Mermer atıkları ve çinko oksit/külçe pirinç üretim tesisi cürufunun polyester matrisli kompozit malzemelerin özelliklerine etkisi. Ankara Üniversitesi, 2. Ulusal Kimya Mühendisliği Öğrenci Kongresi, 4-6 Mayıs 2013, Ankara, Türkiye.
- [13] Andoglu EM, Akpınar Borazan A, Acikbas G. Investigation of mechanical properties of polyester/marble dust and hop wastes reinforced composite material. 14th International conference on environmental science and technology(Cest2015), 3-5 Sep 2015, Rhodes, Greece.
- [14] Gokdai D, Akpınar Borazan A, Acikbas G. Effect of marble: pine cone waste ratios on mechanical properties of polyester matrix composites. 14th International conference on environmental science and technology(Cest2015), 3-5 Sep 2015, Rhodes, Greece.