

AKÜ FEMÜBİD 18 (2018) 015605 (295- 305)

AKU J. Sci. Eng. 18 (2018) 015605 (295-305)

DOI: 10.5578/fmbd.66676

Atık Mermer Tozlarının Seramik Yapıştırma Harcı Olarak Değerlendirilmesi

Gökhan Kürklü, Gökhan Görhan, Ahmet Raif Boğa*Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.**e-posta: kurklu@aku.edu.tr*

Geliş Tarihi:25.08.2017

; Kabul Tarihi:16.04.2018

Özet

Bu çalışmada, mermer fabrikalarından üretim atığı olarak ortaya çıkan mermer tozunun seramik yapıştırma harcı üretiminde hammadde olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmanın esas amacı seramik yapıştırma harcında kullanılan mermer tozunun, yapışmada çekme dayanımına olan etkisi ve optimum kullanım oranının belirlenmesidir. Çalışmada kullanılacak olan mermer tozunun kimyasal analizi XRF yöntemiyle, tane boyutu ise lazer tane boyut analizi yöntemiyle belirlenmiştir. Ardından örneklerin üretimi sırasında mermer tozu çimento ve kum yerine ayrı ayrı ikame edilerek 4x4x16 cm ebatlarında harç örnekleri üretilmiş ve seramik yapıştırma harçlarından elde edilen mekanik özellikler arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Yüksek CaCO₃ içerikli mermer tozları hem çimento hem de kuma ağırlıkça % 30 - % 60 arasında dört farklı oranda ikame edilmiş ve fayans yapıştırma harçlarından istenilen özelliklerin kazanabilmesi için belli oranlarda selülozik eter ve dispersiyon tozu kullanılmıştır. Çalışmada referans örnekler dahil olmak üzere toplam 10 örnek grubu hazırlanmıştır. Seramik yapıştırma harcının 7 ve 28 günlük eğilme, basınç ve yapışmada çekme dayanımları ile fiziksel özelliklerinden görünen porozite, görünür yoğunluk ve birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Ardından örneklerin ultrases ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, yapışmada çekme dayanımı dikkate alındığında çimento ve kuma % 30 mermer tozu ikamesinin en iyi sonucu verdiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Seramik yapıştırma harcı; mermer tozu; geri dönüşüm.

Evaluation of Waste Marble Dust as Ceramic Adhesive Mortar

Abstract

In this study, it was investigated usage of marble dust occurred from marble factories as a raw material on the production of ceramic adhesive mortar. The main objective of this study is determined of the optimum utilization ratio and the effect on the tensile adhesion of the marble dust. The chemical analysis of marble dust that it usage of this study was determined by using XRF. The particle size of marble dust was determined by laser particle size distribution method. Then, the marble dust was substituted to mortar instead of cement and sand. The samples were shaped with 4x4x16 cm in size, and it were investigated the relationship among mechanical properties which obtained from the tile adhesive mortar samples. Marble dust with high content CaCO₃, was substituted into cement and sand at four different ratios for 30%-60%. The cellulose ether and dispersion powder with certain ratios was used for to obtain the desired properties of tile adhesive mortar. The ten sample groups were prepared along with the reference samples. The flexural, compressive and tensile adhesion strengths and the physical properties such as porosity, apparent density and unite weight was determined for 7 and 28 days of tile adhesive mortar samples. After that, the ultrasound measurements of samples were made. As the result, in terms of the adhesion tensile strength, it was concluded that the best results were obtained from the samples that substituted 30% marble dust on cement and sand.

Keywords

Tile adhesive mortar; marble dust; recycle.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Doğal kaynakların daha az tüketilmesi, çevre kirliliğinin daha aza indirgenmesi ve enerji maliyetlerinin azaltılması amacıyla endüstriyel atık kullanımı gün geçtikçe daha fazla ilgi çeken bir konu

olmaktadır (Çelik, 2004). Çevre kirliliğine neden olan bu atıkları sanayi kuruluşları için depolanması ve uzaklaştırılması noktasında ilave maliyetler doğurmaktadır. Bu sıkıntıların yaşandığı sektörlerden bir tanesi de mermerciliklerdir.

Türkiye'nin birçok bölgesi, mermercilik sektörü açısından büyük öneme sahiptir. Bu bölgelerde bulunan işletmelerde üretim ve imalat sonrası pek çok mermer atığı açığa çıkmaktadır. Bu tip işletmelerde ortaya çıkan atık miktarı kesilen blok miktarının yaklaşık %30'u kadardır (Yıldız ve Eskikaya, 1995). Mermerlerin ocaktan çıkarılması, blok mermerin fabrikada işlenmesi esnasında ortaya çıkan ve mamul mermer üretiminden geriye kalan bütün mermer parça ve tozları mermer atığı olarak kabul edilmektedir (Demir, 2009). En küçük boydaki mermer atığı olan mermer tozunun geri dönüşümünde kullanılan yöntemlerde bu atığın değerlendirme miktarı %15 seviyelerini geçmemektedir.

Global ölçekte ortaya çıkan endüstriyel atıklar başta çevre olmak üzere ekonomik bakımdan da dünyamızı tehdit edilmektedir. Bu atık kaynaklarından birisi olan mermer, kalker ve dolomit kalkerlerin ısı ve basınç altında metamorfizmaya uğrayarak tekrar kristalleşmesi sonucunda yeni bir yapı kazanmalarıyla meydana gelen bir kayadır. Bu kayaların düzgün geometrik şekil alabilmeleri için kesilmesi gerekmektedir. Bu işlemler sırasında molozlar, kapaklar, paledyenler ve en küçük boyutlu mermer atığı olarak tozlar meydana gelmektedir. Kesim sırasında meydana gelen bu tozlar yaş metotlardan ötürü başlangıçta ıslak olarak depolanmakta veya doğrudan araziye bırakılmaktadır. Mermer fabrikalarından üretim atığı olarak çıkan toz atıklar genellikle değerlendirilememekte, üstelik çevre kirliliği açısından da sorunlar yaratmaktadır.

Mermer işleme tesislerine blokların ve plakaların kesilmesi esnasında açığa çıkan ve büyük çoğunluğu 250 µm'nin altında mermer tanelerinden oluşan mermer atığı tozlar, kesme işleminin su ile yapılması sebebiyle direkt olarak suya karışır ve şlam halinde çöktürme havuzlarında biriktirilerek arıtma tesislerinden alınır. Bu atıkların değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler kısıtlı ve tüketilebilen atık miktarı ise azdır (Görhan vd. 2010).

Mermer tozunun bir geri dönüşüm malzemesi olarak kullanıldığı çalışmalar arasında; asfalt

karışımında dolgu malzemesi (Karaşahin ve Terzi 2007), portland çimentosunda ikame malzemesi (Agarwal and Gulati, 2006) ve zeminlerde uygulanan stabilize uygulamalarında katkı olarak kullanıldığı (Okagbue and Onveobi, 1999) çalışmalar mevcuttur. Bunun yanında Hebhou et al. (2011) yapmış oldukları çalışmada beton içerisinde agrega olarak mermer atıkları kullanarak beton üretmiş ve %75'e kadar doğal agrega ile mermer agregası ikamesinin uygun olacağını belirlemişlerdir. Topçu et al. (2009), kendiliğinden yerleşen betonda filler malzemesi olarak atık mermer tozlarını kullanarak yapmış oldukları çalışmada bağlayıcı yerine; 0, 50, 100, 150, 200, 250 ve 300 kg/m³ mermer tozu ikame edilerek elde ettikleri karışımlarda en ideal sonucu 200 kg/m³'lük serilerde elde ettiğini bildirmiştir. Gencil et. al. (2012) yapmış oldukları çalışmada iki farklı çimento kullanarak mermer atıklarının agrega ile ikame edilmesi ile kaplama bloklarının üretimini araştırmışlardır. Kaplama bloklarının üretiminde agrega olarak atık mermerlerin kullanılabileceğini fakat çimento tipinin önemli bir faktör olduğunu ortaya koymuşlardır. Tawfik and Eskander (2006) polimer beton üretiminde filler malzemesi olarak stirene edilmiş polyester ve mermer atıklarını kullanmışlardır. İlgili örnekler %20 Na₂CO₃ ve %10 NaOH için iyi kimyasal direnç göstermiştir. Binici et. al. (2008) mermer atıklarını kullandıkları çalışmada iri agrega olarak mermer ve granit atıklarını ince agrega olarak dere kumu ve yüksek fırın cürufunu kullanmışlardır. Sonuçlar geleneksel beton ile kıyaslanmış ve mermer granit agregalı betonun kontrol betonuna göre daha iyi özellikler sergilediği belirtilmiştir.

Shirule et al. (2012) mermer tozunu çimentoya %0 - %20 oranları arasında ikame ederek küp ve beton örnekleri üretmiştir. Örneklerden elde edilen mekanik özelliklere göre, %10 oranına kadar yapılan mermer tozu ikamesinin basınç ve yarmada çekme dayanımlarını referans betonlara göre bir miktar arttırdığını fakat %20 ikame oranlarına kadar daha yüksek ikame oranlarında ise dayanım değerlerinin referans örneklerden daha düşük seviyelerde kaldıkları tespit edilmiştir. Aliabdo et al. (2014), çimento ve kuma %15'e kadar değişen oranlarda mermer tozu ikamesi yaparak beton üretmişlerdir.

Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre beton üretiminde kum olarak mermer tozu ikamesi ile elde edilen sonuçların çimentoya ikame edilen sonuçlardan daha iyi olduğunu belirtmişlerdir. Başka bir çalışmada ise çimento üretiminde mermer tozunun %10 oranına kadar kullanılabilmesi belirtilmektedir (Aruntaş vd. 2010).

Seramik yapıştırma harcı ile ilgili çalışmalara bakıldığında; Jenni et al. (2005) yapmış oldukları çalışmada, çimento esaslı harçların fiziksel özelliklerine polimer modifikasyonun etkisini multithread yaklaşım kullanılarak incelemiştir. Araştırmanın ağırlığı çimento matris içinde eklenen farklı polimer bileşenlerinin tanımlanması ve ölçümü üzerinedir. Ortaya çıkan mikro yapı ve hata modları fayans yapıştırıcısının son yapıştırma gücü ile ilişkilendirilmiştir. Sonuçlar fayans kalkma öncesinde ara yüzeyindeki ıslatmanın düşürülmesi son yapıştırma gücü ve taze harçların özellikleri ciddi bir oranda azalabileceğini göstermiştir. Wetzel et al. (2012)'a göre fayans yapıştırma harçları gibi çimentolu malzemelerin genleşmesi ve büzülmesinin hem suyun basıncına hem de kuruma ve tekrar ıslanma geçmişine bağlı olduğu belirlenmiştir. Fayans-harç ara yüzlerindeki çatlaklar, mekanik zayıflığın yansıdığı bölgeleri göstermektedir. Bu süreçler, dış koşullar altında olduğu gibi ıslanma kuruma döngüsü sırasında da önemli artışları açığa vurduğu ve arızalara yol açtıkları belirtilmiştir. Zhao and Zhang (1997) çalışmalarında fayans duvarların dayanımında işçilik etkisini araştırmıştır. İşçiliğin üç tipi dış duvardaki fayansların kenetlenme dayanımı ve işçilik arasındaki ilişkiyi araştırmak için laboratuvar ortamındaki koşullarda simüle edilmiştir. Fayanslı duvarların dayanımı pull-off deneyi ile değerlendirilmiştir. Test sonuçları, fayans ayar basıncı olarak adlandırılan her üç faktöründe (fayans ayar basıncı, yapışkan iç boşluğu ve yapışkan açık zaman) fayans yapıştırma gücü üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Daha önce yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde mermer tozu atıklarının değerlendirilmesinde kullanılan yöntemler ve kullanıldığı sektörler açısından amaç, mermer tozundan faydalanmaktan

ziyade bu atığın tüketilmesi noktasında kalmakta; hammadde ve katkı şeklinde kullanımında ağırlıkça oran çok sınırlı seviyede olmaktadır. Bu çalışma ile birlikte seramik yapıştırma harcında yüksek miktarda mermer atık tozunun kum veya çimento ile ikame edilerek bir hammadde olarak kullanılması amaçlanmaktadır.

Literatürde seramik fayans yapıştırıcısı üzerine yapılmış birçok çalışma içerisinde kullanım oranı mermer tozu atığına oranla daha fazla olan atıkların değerlendirilmesi noktasında yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu atıklardan uçucu kül ve silis dumanı gibi atıkların yapıştırma harcı olarak kullanılmasındaki temel amaç bu atıkların puzolanik özelliklerinde faydalanılarak çimento miktarını azaltmaya yöneliktir. Mermer tozu atıklarının seramik yapıştırma harcından ziyade fayans derz dolgusu olan fuga harcının imalatında kullanılabilirliğinin araştırıldığı çalışmalara rastlanılmış fakat yapıştırma harcı üretiminde kullanımına rastlanılmamıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan mermer atıkları Afyonkarahisar sanayi bölgesinden havuz çökeltisi şeklinde elde edilmiştir. Mermer atıkları, laboratuvar ortamında etüvde kurutulmasının ardından laboratuvar tipi bilyeli öğütme değirmeninde yeterli inceliğe gelinceye kadar öğütülmüş ve ardından öğütülen mermer tozları 250 µm elekten elendikten sonra kullanılmıştır. Kum olarak Afyonkarahisar Işıklar Bölgesinde bulunan taş ocağından elde edilmiş kırma kum 2 mm'lik elekten elenerek kullanılmıştır.

Çökeltme havuzundan alınan, kurutulan ve sonrasında öğütülerek harçta kullanılacak hale getirilen mermer tozunun özgül ağırlığı 2.59, özgül yüzeyi ise 6740 cm²/gr'dır. Mermer tozunun XRD analizi sonuçları Şekil 1'de ve lazer tane boyut analizi sonucu ise Şekil 2'de verilmiştir.

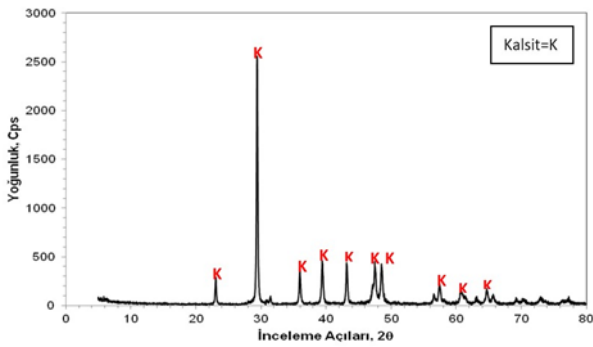
Yapıştırma harcı üretiminde çimento olarak Afyon Çimento Fabrikası'nın (ÇİMSA) ürettiği TS EN 197-1 standartlı CEM I 42.5 R Portland Çimentosu

kullanılmıştır. Çimentoya ait tane boyut analizi Şekil 3'de gösterilmiştir.

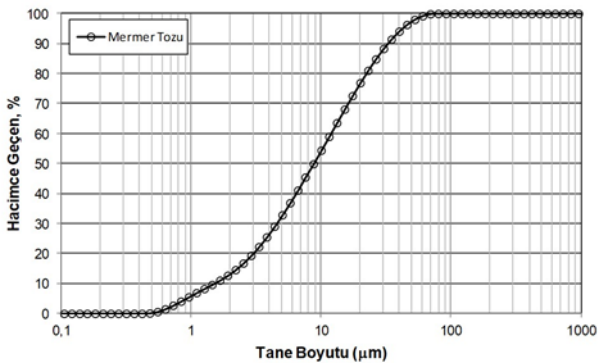
Yapıştırma harcı üretiminde kullanılan kırma kumun özgül ağırlığı 2.641, su emmesi %1.83, incelik modülü 2.17'dir. Yapıştırma harcı üretiminde kullanılan malzemelerin XRF analizi sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Karışımdaki malzemelerin XRF sonuçları.

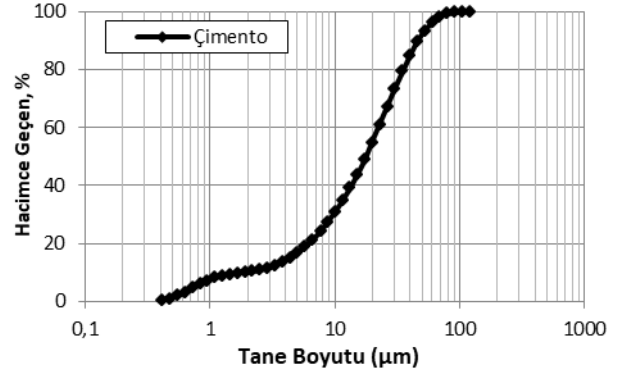
Oksit (%)	Mermer	Çimento	Kum
SiO ₂	0.17	16.80	1.72
Al ₂ O ₃	0.07	4.81	0.82
Fe ₂ O ₃	0.07	3.55	0.15
MgO	0.39	1.94	1.63
Na ₂ O	0.05	0.74	0.03
K ₂ O	0.01	1.24	0.08
SO ₃	0,08	3.02	0.02
CaO	55.10	63.90	52.5
K.K	44.00	1.24	42.9
Toplam	99.94	97.24	99.85



Şekil 1. Mermer tozunun XRD analizi.



Şekil 2. Mermer tozu tane boyut dağılımı.



Şekil 3. Çimentonun tane boyut dağılımı.

2.2. Metot

Yapılan bu çalışmada, seramik yapıştırma harçlarında esas hammadde olarak kullanılan çimentodan tasarruf edebilmek amacıyla atık maddelerden biri olan mermer tozu, harçların üretiminde çimentoya ikame edilmiştir. Bu noktada mermer tozunun örneklerde mekanik özellikleri geliştirmesi beklenmemiştir. Atık mermer tozunun geri dönüşümünde yapıştırma harcı olarak kullanılması hedeflendiğinden karışım hesabı yapılırken iki farklı yaklaşımla ikame gerçekleştirilmiştir. Standart harç numunesinin karışım oranı olan 450 gr çimento ve 1350 gr kum dikkate alınarak; A olarak adlandırılan serilerde sırasıyla %30, 40, 50 ve 60 oranında çimentoya mermer tozunun ikamesi gerçekleştirilmiştir. B serilerinde ise sırasıyla %30, 40, 50, 60 ve 100 olmak üzere kum malzemesine mermer tozu ikame edilmiştir. Su/Çimento oranı 0.5 olarak kullanılmış fakat ikame edilen mermer tozu miktarına bağlı olarak karışım suyu ilavesi yapılmıştır. Referans olarak piyasada kullanılan ve satılan bir seramik yapıştırma harcı kullanılmıştır. Ürünün talimatına göre 1800 gr yapıştırma harcı ve 360 gr su ile referans harç hazırlanmıştır. Bu sebeple referans harcın hazırlanmasında kullanılan su/bağlayıcı oranı 0.2'dir. Mermer atığı ile hazırlanan seramik yapıştırma harcı serilerinin karışım oranları Çizelge 2'de verilmiştir.

Harç numunelerinin üretiminde 40 x 40 x 160 mm ölçülerinde prizmatik çelik kalıplardan faydalanılmıştır. Vibrasyon yöntemi ile sıkıştırılarak üretilen numunelerde her bir seri için 3'er adet

olmak üzere toplam 30 adet prizmatik numune üretilmiştir.

Çizelge 2. Yapıştırma harcı karışım oranları.

Seri No	Seramik yapıştırma	Çimento (gr)	Kum (gr)	İlave Su (ml)	Mermer Tozu (gr)	Dispersiyon	Selüloz Eter
R	1800	-	-	-	-	-	-
A30	-	315	1350	68	135	2.7	2.7
A40	-	270	1350	83	180	2.7	2.7
A50	-	225	1350	88	225	2.7	2.7
A60	-	180	1350	82	270	2.7	2.7
B30	-	450	945	91	405	2.7	2.7
B40	-	450	810	114	540	2.7	2.7
B50	-	450	675	138	675	2.7	2.7
B60	-	450	540	170	810	2.7	2.7
B100	-	450	-	260	1350	2.7	2.7

Laboratuvar ortamında su içerisinde 28 gün kür edilen numuneler fiziksel özelliklerin belirlenmesi için Arşimet prensibinden faydalanılmıştır. TS EN 772-4 (2000)'e uygun olarak yapılan deney sayesinde harçların, görünen porozitesi, birim hacim ağırlığı ve görünür yoğunluğu hesaplanmıştır. TS EN 771-1 (2005) standardı kullanılarak da harç numunelerinin su emmesi belirlenmiştir.

Çimento esaslı malzemelerde kılcal su emme, numunenin suya değen yüzünden zamanla emilen su miktarı ile belirlenir. Kılcal su emme deneyinde 40 x 40 x 160 mm boyutlarında örnekler kullanılmıştır. Örnekler yan yüzeylerinden su emmeleri için parafinlenmiştir. Numuneler alt yüzünün 5 mm'lik kısmı su içerisinde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Belirli aralıklarda, 4 gün süresince numunelerin ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür. Ardından Fagerlund yaklaşımına göre hesaplamalar yapılmıştır (Saran, 2007).

Mekanik deneylerden eğilme dayanımı deneyi için üç, basınç dayanımı deneyi için ise altı adet örnek kullanılarak ortalamaları alınmıştır. Harçlar üzerinde yapılan mekanik deneyler TS EN 196-1 (2002)'ye uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Fayans yapıştırma harçlarından beklenen en büyük özellik yapışma yani beton ile fayans arasında bir ara

yüzey oluşturarak kenetlenme özelliğidir. Bunun belirlenebilmesi için fayanslara, fayansların yapıştırılacağı beton yüzeyine ve ağırlıklara ihtiyaç vardır. Ağırlık olarak en kesit alanına 50 mm kenar uzunluğunda, $20 \pm 0,05$ N bir kuvvet veren ağırlıklar kullanılmıştır. Beton plaka olarak TS EN 1323 (1997) standardına uygun beton plakalar üretilmiş ve kullanılmıştır. Bu çalışmada, 50 x 50 mm yüzey ebadında, sırsız ve düz bir yapışma yüzeyli, su emmesi kütlece $\leq \% 0,2$ olan, tam vitrifiye, TS EN 176 (1995)'ya uygun Tip VI karolar kullanılmıştır (Şekil 4).



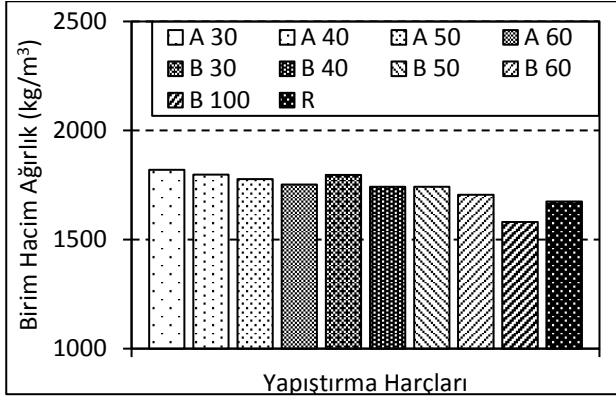
Şekil 4. Fayans çekme cihazı.

3. Bulgular

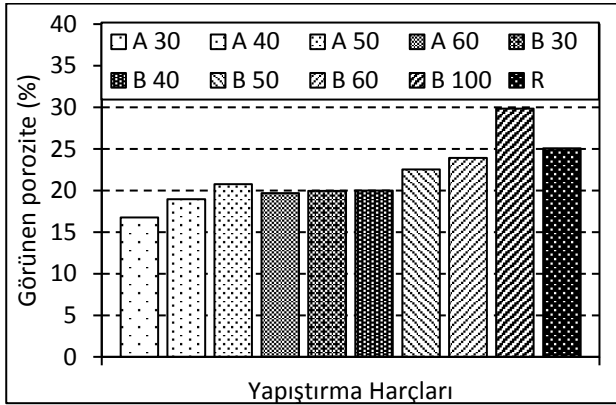
3.1. Seramik yapıştırma harçlarının fiziksel test bulguları

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen birim hacim ağırlık değerleri Şekil 5'de verilmiştir. Birim hacim ağırlık değerinde seriler arasında bariz bir farklılık gözlenmemekle birlikte mermer tozu miktarının artmasıyla harçların birim hacim ağırlıkları azalma göstermiş ve 1820 kg/m^3 - 1580 kg/m^3 arasında değişkenlik göstermiştir.

Yapıştırma harçlarına ait görünen porozite değerlerinin verildiği Şekil 6 incelendiğinde $\%16.7$ - $\%29.9$ arasında değişen görünen porozite değerleri belirlenmiştir. Mermer tozu miktarının artması su emme ve porozite değerlerini arttırmıştır. Bunun yanında $\% 100$ kum ikamesinin dışında tüm seriler referans değerinin altında kalmıştır.

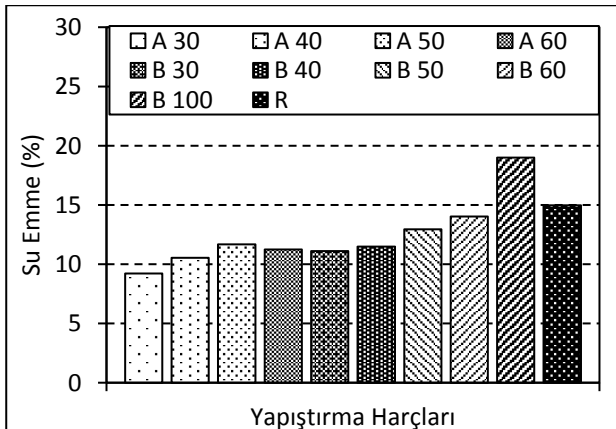


Şekil 5. Yapıştırma harçlarının birim hacim ağırlığı.



Şekil 6. Yapıştırma harçlarının görünen porozitesi.

Numunelerin su emme oranları incelendiğinde ise %9.2 - %19 arasında değişen değerler almıştır. Çimentoya mermer tozu ikamesi yapılarak elde edilen A serileri daha düşük değerler sergilerken, kuma mermer tozunun ikamesi ile üretilen B serileri daha yüksek değerler vermiştir (Şekil 7).

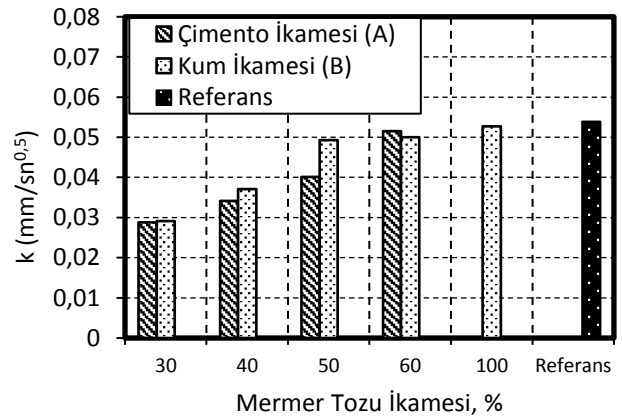


Şekil 7. Yapıştırma harçlarının su emme değerleri.

Seramik yapıştırma harçlarının su emmeye bağlı kütle artışlarının daha anlamlı bir şekilde izah edilebilmesi için hesaplanan kılcallık katsayılarına ait bilgiler Şekil 8'deki grafikte verilmiştir. Mermer

tozun çimentoya ikamesi ile üretilen A serilerinde mermer tozuna bağlı olarak kılcallık katsayısında lineer bir artış meydana gelmiştir. Bu durum mermer tozunun artışıyla doğru orantılıdır. A serileri için mermer tozunun artışı dayanımlarda da lineer bir azalma meydana getirmiştir. Bu durum mermer tozunun puzolanik aktiviteye sahip olmaması, bağlayıcı malzeme olan çimentonun azaltılması ve mermer tozunun harç hazırlanırken ilave su gerektirmesinden kaynaklanmaktadır.

Kum malzemesine mermer tozunun ikame edildiği serilerde ise %50 ikame oranına kadar lineer olan kılcallık katsayısı artışı, ikame oranının %50'den sonrasında çok az bir değişim göstererek yatay bir seyir izlemiştir. Yapılan deneyler sonucunda, bütün mermer tozlu serilerin referans seramik yapıştırma harcından daha az kılcallık kat sayısına sahip olduğunu ortaya koymuştur.



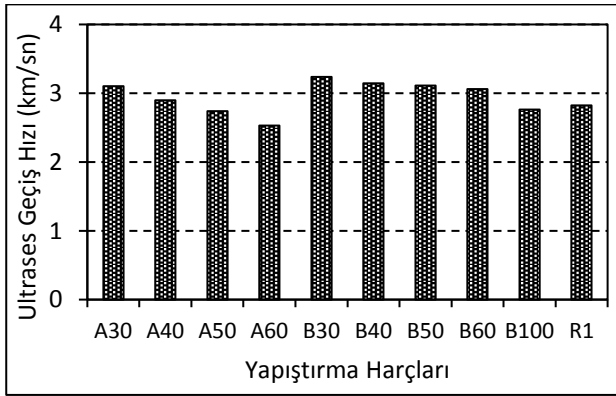
Şekil 8. Yapıştırma harçlarının kılcallık katsayıları.

3.2. Seramik Yapıştırma harçlarının mekanik test bulguları

Seramik yapıştırma harçlarının mekanik özelliklerine bakıldığında bu konu ile ilgili üç deney gerçekleştirilmiştir. Bunlar ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımıdır. Malzemenin mekanik özellikleri hakkında dolaylı bir bilgi veren ultrases geçiş hızı deney sonuçları Şekil 9'da verilmiştir. Ultrases geçiş hızı değerleri mermer tozu miktarına bağlı olarak değişim göstermiştir. Harç karışımı içerisindeki mermer tozu miktarı arttıkça ultrases geçiş hızında azalma gözlenmiştir. 2.5 ile 3.2 Km/sn arasında değişen değerlere bakıldığında

mermer tozunun çimentoya ikame edildiği A serilerinde daha belirgin bir azalış gözlenirken, mermer tozunun kuma ikame ile elde edilen B serilerinde değişim çok düşük seviyelerde gerçekleşmiştir.

Örneklerin görünen porozite değerleri ile ultrases değerleri bir arada değerlendirildiğinde, mermer tozu ikamesinin artması ile örneklerin görünen porozite oranları artmıştır. Artan görünen porozite oranları ise birim hacim ağırlıkları azaltarak malzeme bünyesinde daha boşluklu bir yapının oluşmasına sebep olmuştur. Bu nedenle de ultrases değerlerinde düşüşlerin gerçekleştiği Şekil 9'da açıkça görülmektedir.

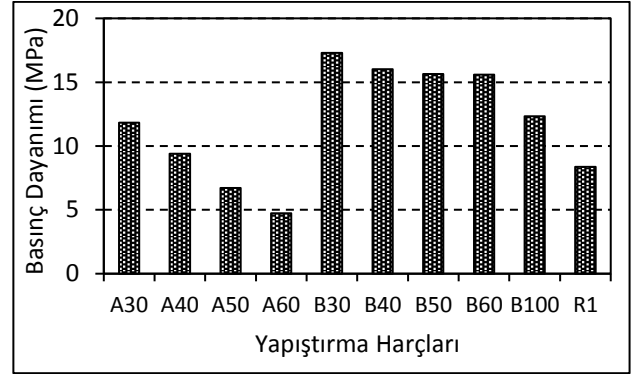


Şekil 9. Yapıştırma harçlarının ultrases geçiş hızları.

Şekil 10'daki basınç dayanımı değişimleri incelendiğinde A serileri, B serilerinden daha az bir basınç dayanımı sergilemiştir. Bu serilere kendi içinde bakıldığında mermer tozu miktarının artması basınç dayanımında azalmalara neden olmuş fakat bu azalma A serilerinde lineer şekilde gerçekleşirken, B serilerinde kademeli olarak gerçekleşmiştir.

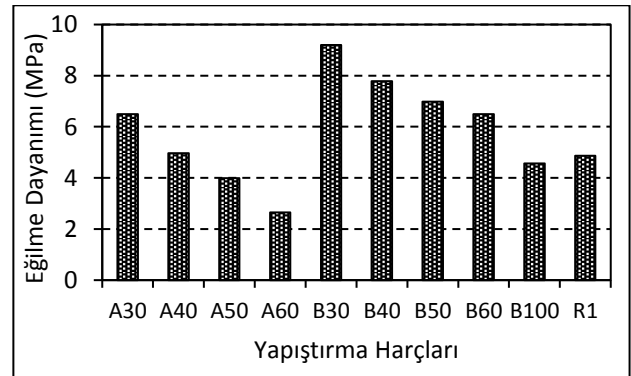
A serilerinde basınç dayanım değerleri 11.8 ila 4.7 MPa arasında değerler alırken çimento ile %30 ve %40 mermer tozu ikameli örneklerden elde edilen değerler referansın üzerinde yer alırken; %50 ve %60 mermer tozu ikameli örneklerin dayanım değerleri referanstan daha düşük seviyelerde kalmıştır. Kum ile ikame edilen B serilerinde ise 17.3 ila 12.3 MPa arasında değişen değerler alan harç numunelerinin tamamı 8.4 MPa olan referans

numunenin dayanım değerinden daha yüksek bir basınç dayanımı değerine sahiptir.



Şekil 10. Yapıştırma harçlarının basınç dayanımları.

Eğilme dayanımlarının gösterildiği Şekil 11'de hem A hem de B serilerinde mermer tozunun artışına bağlı olarak dayanımlarda lineer bir azalma gözlenmiştir. Mermer tozunun çimentoya ikame edildiği A serilerinde eğilme dayanımı değerleri 6.5 ile 2.6 MPa arasında değişmektedir. B serilerinde ise değerler 9.2 ile 4.6 MPa arasında değişim göstermektedir. Bununla birlikte referans seramik yapıştırma harcı örneklerinden de 4.9 MPa'lık eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir.



Şekil 11. Yapıştırma harçlarının eğilme dayanımları.

Referans seramik yapıştırma harcı ile mermer tozu ikameli yapıştırma harçları kıyaslandığında değerlerin kabul edilebilir olduğu görülmektedir. Eğilme dayanımı, basınç dayanımı, ultrases değerleri ve ikame oranları dikkate alındığında referans değere yakın ve daha yüksek olan A30 dikkate alınmıştır. Çimentoya %30 oranında mermer tozu ikamesinin gerçekleştirildiği bu serinin yanına, kum malzemesine %30 mermer tozu ikamesinin yapıldığı B30 serisi seçilmiştir. Birde referans seviyesine en

yakın ve en yüksek ikamenin gerçekleştirildiği B100 serisi çekme yapışma deneyleri için seçilmiştir.

3.3. Seramik yapıştırma harçlarının çekme yapışma test bulguları

TS EN 12004 (2009)'e uygun olarak yapılan çekme yapışma deneyi sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir. Burada A30-1, B30-1 ve B100-1 olarak ifade edilen seriler ilk yapışma mukavemetinin belirlenmesinde kullanılan serileri ifade eder. A30-2, B30-2 ve B100-2 seriler ise suya daldırmadan sonraki yapışma mukavemetini belirlemede kullanılan numunelerdir. A30-3, B30-3 ve B100-3 serileri sıcaklıkla yaşlandırmadan sonra çekme deneyi için kullanılan numunelerdir.

Bu sonuçlara göre çimento ile %30 ikame yapılmış A30 serileri en iyi çekme yapışma performansını sergilemiştir. Kum ile ikame yapılarak elde edilmiş B30 serisi ise sınır değer olan 0.5 MPa'a yakın değerler sergilemiş ve uygun sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek mermer tozunun kullanıldığı B100 serileri basınç ve eğilme dayanımlarında referans seviyeye yakın sonuçlar verse de çok düşük kenetlenme yeteneğinden ötürü çekme yapışma deneyinden uygun olmayan sonuç almıştır.

Çizelge 3. Yapıştırma harçları çekme-yapışma sonuçları.

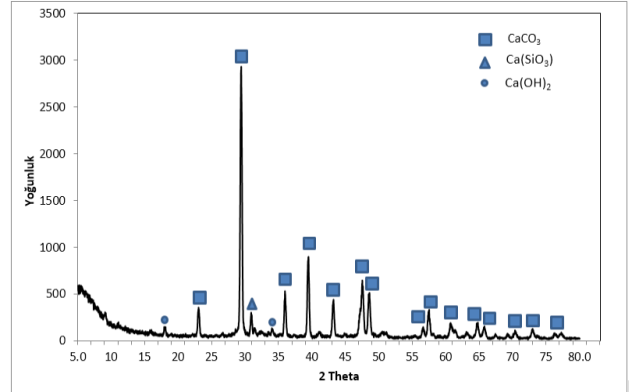
Seri No	Ort. Yapışma Mukavemeti (MPa)	Kusur Çeşidi	Standarda Uygunluk
A30-1	1.0	AF-T	Uygun
A30-2	1.4	AF-S	Uygun
A30-3	0.8	AF-T	Uygun
B30-1	0.5	BT	Uygun
B30-2	1.2	AF-T	Uygun
B30-3	0.6	AF-T	Uygun
B100-1	0.1	AF-S	Değil
B100-2	0.1	AF-S	Değil
B100-3	0.1	AF-S	Değil

Yapışma deneyi sonrası ortaya çıkan kusurlar standarda göre belirlenir ve farklı şekillerde adlandırılması gerçekleştirilir. Yapışma kusuru yapıştırıcı ve taban malzeme arasındaki ara yüzeyde oluştuğunda, AF-S işareti kullanılır. Kusur, karo ve yapıştırıcı arasında oluşursa, AF-T işareti kullanılır ve her iki durumda da deney değerleri yapışma

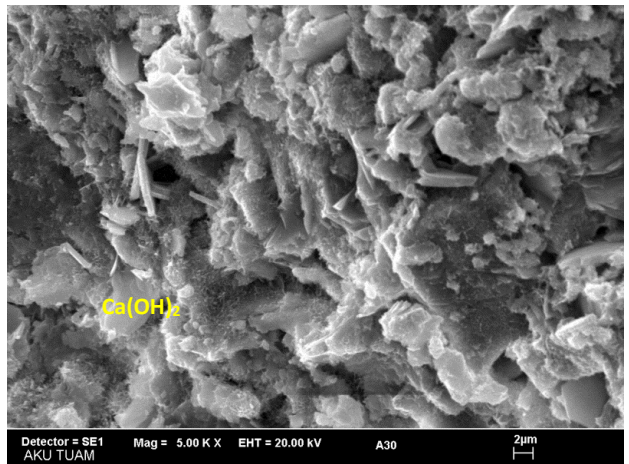
mukavemetine eşittir. Bazı durumlarda kusur, karo ile çekme kafası plâkası arasındaki yapıştırıcı tabakada oluşabilir. Bu gibi durumda, BT işareti kullanılır ve yapışma mukavemeti deney değerinden daha büyüktür.

3.4. Seramik yapıştırma harçlarının XRD ve SEM analizi bulguları

Seramik yapıştırma harçlarından XDR ve SEM analizleri için çekme yapışma deneyi yapılan A30-1, B30-1 ve B100-1 serileri kullanılmıştır. Şekil 12'de görüldüğü üzere A30-1 yapıştırma harcında; Kalsit (CaCO_3), $\text{Ca}(\text{SiO}_3)$ ve Portlantid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) varlığı tespit edilmiştir. Çimento ile mermer tozunun ikame edildiği bu serilerde mermer tozu miktarı görece diğer serilerden daha az miktardadır.



Şekil 12. Yapıştırma harcı A30-1 serisinin XRD difraktogramı.

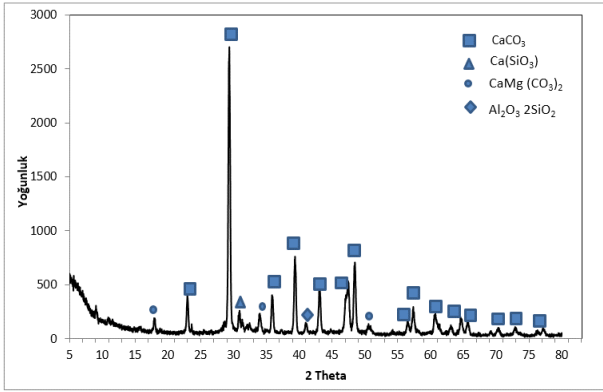


Şekil 13. Yapıştırma harcı A30-1 serisinin SEM görüntüsü

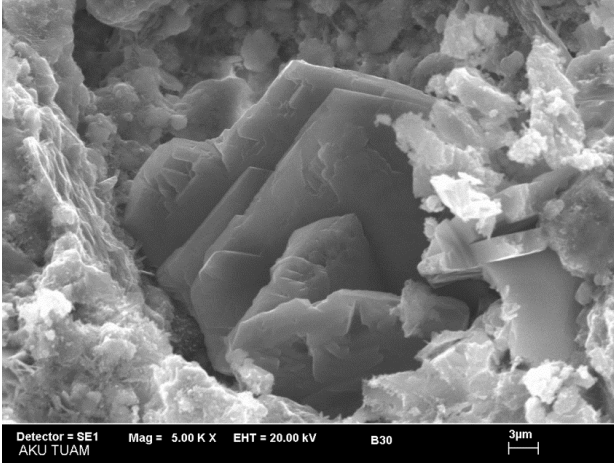
A30-1 serisine ait SEM görüntüsü incelendiğinde bünyede 2 µm civarında boşlukların oluştuğu ve içyapının iyi bir yapılanma gösterdiği görülebilmektedir (Şekil 13). Bunun yanında

örneklerin hazırlanmasında kullanılan mermer tozunun etkisiyle bünyede kimyasal reaksiyonlara girmeyen artık portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) varlığının olduğu tespit edilmiştir (Şekil 13).

Şekil 14'de görüldüğü üzere B30-1 yapıştırma harcında; Kalsit (CaCO_3), Mullit ($\text{Al}_2\text{O}_3\text{2SiO}_2$) ve Dolomit ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) varlığı tespit edilmiştir. Kum ile mermer tozunun ikame edildiği bu serilerde mermer tozu miktarı A serilerine oranla daha fazla miktardadır.



Şekil 14. Yapıştırma harcı B30-1 serisinin XRD difraktogramı.

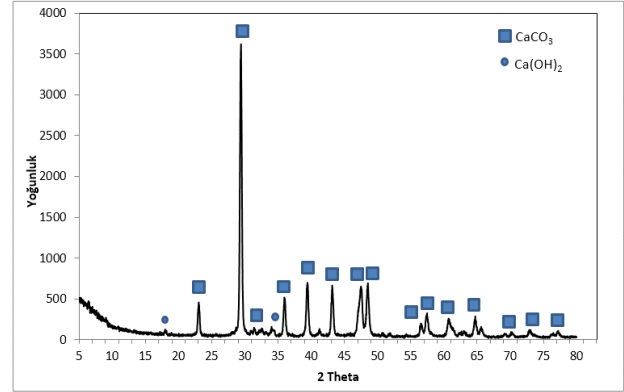


Şekil 15. Yapıştırma harcı B30-1 serisinin SEM görüntüsü.

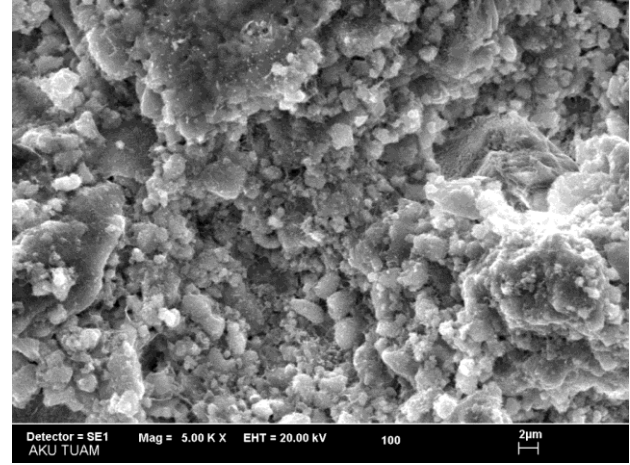
Şekil 15'de B30-1'e ait SEM görüntüleri yer almaktadır. Bu örneklerde A30-1 örneklerine ait SEM görüntülerinde görülen yapıya göre daha yoğun bir içyapı oluşumu gözlenmiş ve yaklaşık 3-4 µm arasında değişen boşlukların varlığı gözlenmiştir. B30-1 örneklerinin hazırlanmasında A30-1 örneklerine nazaran daha fazla miktarda mermer tozu kullanılmış ve dolayısıyla içyapı da bulunan portlandit varlığının arttığı tahmin edilmektedir. Bu örneklerde yoğun kalsit tabakaları arasında 2µm

civarında boyutlarda iğnemi yapıda kristallerin yüzeye yayıldığı da gözlenmiştir.

Şekil 16'da görüldüğü üzere B100-1 yapıştırma harcında; Kalsit (CaCO_3) ve Portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) varlığı tespit edilmiştir. Kum ile mermer tozunun ikame edildiği bu serilerde kum yerine tamamen mermer tozu kullanıldığı için malzeme bünyesinde kalsit miktarının en fazla olduğu seridir.



Şekil 16. Yapıştırma harcı B100-1 serisinin XRD difraktogramı.



Şekil 17. Yapıştırma harcı B100-1 serisinin SEM görüntüsü.

Şekil 17'de B100-1'e ait SEM görüntüsü yer almaktadır. Bu örneklerde A30-1 örneklerine benzer bir içyapı oluşumu gerçekleştiği söylenebilir. Bu örneklerde diğer örneklere nazaran bünyelerinde kum bulunmaması nedeniyle, mermer tozunun ve çimentonun varlığı nedeniyle ortamda portlandit oluşumuna rastlanmamış olup XRD verileri de, portlandit varlığının az seviyelerde olduğunu doğrulamaktadır.

4. Tartışma ve Sonuç

Yapılan bu çalışma ile seramik yapıştırma harcı üretiminde mermer tozlarının kum ve çimento ile ikame edilebilirliği ele alınmıştır.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, çimentoya göre daha düşük yoğunluğa sahip olan mermer tozunun ikame oranlarının arttırılması ile birlikte örneklerin birim hacim ağırlıklarının azaldığı gözlenmiştir. Bu sebeple birim hacim ağırlıkları azalan örneklerin görünen poroziteleri ve su emme değerlerinde artışlar gerçekleşmiştir. Görünen porozite ve su emme oranlarındaki bu artışlar kum yerine %100 mermer tozu kullanılan seriler (B100) hariç diğer serilerde referans değerinin altında kalmıştır.

Çimentoya % 30 mermer tozu ikamesinin yapıldığı harçlarda en yüksek birim hacim ağırlık değerleri (1820 kg/m³) elde edilmiştir. Dolayısıyla çimentoya ikame edilen mermer tozlarının bünyede ilave bağlayıcı ürünler oluşturmaması sebebiyle örneklerin birim hacim ağırlıklarının azaldığı düşünülmektedir. Benzer durum mermer tozlarının kuma ikame edildiği örneklerde de gözlenmiştir.

Görünen porozite ve su emme oranları açısından en düşük değerler, mermer tozunun % 30 oranında çimentoya ikame edildiği A30 örneklerinde elde edilmiştir. Bu örneklerde görünen porozite ve su emme oranları sırasıyla; % 16.7 ve %9.2'dir.

Mekanik özellikler incelendiğinde ise mermer tozunun çimentoya ikamesinin yapıldığı serilerde (A örnekleri) mermer tozunun puzolanik özelliği olmadığından dolayı ikame oranı arttıkça hem basınç hem de eğilme dayanımı değerlerinde sürekli bir azalış gözlenmiştir. Mermer tozunun kum ile ikame edilen serilerinde ise basınç ve eğilme dayanımları hem çimento ile ikame edilen harçlardan ve hem de referans harcından yüksek değerler elde edilmiştir. Bu örneklerde en yüksek basınç ve eğilme dayanımı değerleri sırasıyla, 17.3 MPa, 9.2 MPa'dır.

Seramik yapıştırma harcından beklenen en önemli özellik beton ve seramiğe yapışma kabiliyetinin

yüksek olmasıdır. Bu noktada hazırlanan harç örneklerinde çimentoya yapılan % 30 mermer tozu ikamesi ile hazırlanan harçlarda en iyi yapışma kabiliyeti sergilenirken; standart değerleri sağlayıp en çok mermer atığının kullanıldığı seri ise kum malzemesine % 30 oranında mermer tozunun ikame edildiği B30 örnekleridir.

Sonuç olarak, elde edilen veriler ışığında yapıştırma harçlarında kullanılan ve kuma %30 oranında mermer tozunun ikame edilmesiyle standart yapışma kabiliyetine sahip, yüksek basınç ve eğilme dayanımı gösteren; düşük su emme ve porozite özelliği olan seramik yapıştırma harçlarının üretilebileceği belirlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAPK) tarafından, 13.MUH.05 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- Agarwal, S. K, Gulati, D., 2006, "Utilization Of Industrial Wastes And Unprocessed Micro-Fillers For Making Cost Effective Mortars", Construction and Building Materials, 20 (10), .999-1004.
- Aliabdo, A. A., Elmoaty, A. E. M. A., Auda, E. M. 2014, "Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete", Construction and Building Materials, 50, 28-41.
- Aruntaş, H. Y., Gürü, M., Dayı, M., Tekin, İ., 2010, "Utilization of waste marble dust as an additive in cement production", Materials & Design, 31 (8), 4039-4042.
- Binici, H., Shah, T., Ahsogan, O., Kaplan, H., 2008, "Durability of Concrete Made With Granite and Marble as Recycle Aggregates", Journal of Materials Processing Technology, Vol 208, Issues 1-3, 299-308.
- Çelik, Ö., 2004, "Uçucu Kül, Silis Dumanı Ve Atık Çamur Katkılarının Çimento Dayanımlarına Etkileri" Beton 2004 Hazır Beton Kongresi Bildiriler Kitabı.
- Demir, İ., 2009, "Mermer Tozu Ve Atıklarının Kullanım Alanları", Mermer Sektörü ve Bilişim Çalıştayı", Afyonkarahisar, 4 Şubat.
- Gencel, O., Özel, C., Köksal, F., Erdoğan, E., Barrera, G. M., Brostow W., 2012, "Properties of Concrete Paving Blocks Made With Waste Marble" Journal of Cleaner Production, Vol 21, Issue 1, 62-70.
- Görhan, G., Kahraman, E., Başpınar, M. S., Demir, İ., 2010, "Mermer Tozu Atığının Hafif Blok Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması", MERSEM, 14-15 Ekim.

- Hebhoub, H., Aoun, H., Belachia, M., Houari, H., Ghorbel, E., 2011, "Use of Waste Marble Aggregates in Concrete", *Construction and Building Materials*, Volume 25, Issue 3, 1167-1171.
- Jenni, A., Holzer, L., Zurbriggen, R., Herwegha, M., 2005, "Influence Of Polymers On Microstructure And Adhesive Strength Of Cementitious Tile Adhesive Mortars", *Cement and Concrete Research* 35, 35– 50.
- Karaşahin, M, Terzi, S, 2007. "Evaluation Of Marble Waste Dust In The Mixture Of Asphaltic Concrete", *Construction and Building Materials*, 21(3), 616-620.
- Okagbue, C. O, Onyeobi, T. U. S, 1999, "Potential Of Marble Dust To Stabilise Red Tropical Soils For Road Construction", *Engineering Geology*, 53 (3-4), 371-380.
- Saran, A.G., 2007, "Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Durabilite Özelliklerine Etkisi", Yüksek lisans tezi, İTÜ, İstanbul.
- Shirule, P. A., Rahman, A., Gupta, R. D., 2012, "Partial Replacement of Cmenet With Marble Dust Powder", *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*, Vol. I (III), 175-177.
- Tawfik, M. E., Eskander, S. B., 2006, "Polymer Concrete from Marble Waste and Recycler Pol(ethylene terephthalate)" *Journal of Elastimers and Plastics*, Vol. 38, 65-79.
- Topçu, İ. B., Bilir, T., Uygunoğlu, T., 2009, "Effect of Waste Marble Dust Content as Filler on Properties of Self-Compacting Concrete", *Construction and Building Materials*, Volume 23, Issue 5, 1947-1953.
- Wetzel, A., Herwegh, M., Zurbriggen, R., Winnefeld, F., 2012, "Influence Of Shrinkage And Water Transport Mechanisms On Microstructure And Crack Formation Of Tile Adhesive Mortars", *Cement and Concrete Research* 42, 39–50.
- TS EN 176, 1995, Seramik karolar- Toz halinde preslenmiş- Düşük su emmeli (e %3) b 1 grubu, TSE, Ankara.
- TS EN 196-1, 2002, Çimento deney metotları- Bölüm 1: Dayanım, TSE, Ankara.
- TS EN 771-1, 2005, kâgir birimler - özellikler - Bölüm 1: kil kâgir birimler (tuğlalar), TSE, Ankara.
- TS EN 772-4, 2000, Kâgir birimler - deney metotları - Bölüm 4 : tabii taş kâgir birimlerin toplam ve görünen porozitesi ile boşluksuz ve boşluklu birim hacim kütlelerinin tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 1323, 1997, Yapıştırıcılar-Karo yapıştırıcıları- Deneylerde kullanılan beton plaka, TSE, Ankara.
- TS EN 12004, 2009, Yapıştırıcılar - Karo yapıştırıcıları - Özellikler, uygunluk değerlendirmesi, sınıflandırma ve gösteriliş, TSE, Ankara.
- Yıldız, Ö., Eskikaya, Ş., 1995, "Afyon Mermeri Toz Atıklarının Değerlendirilmesi", *Türkiye I. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 45-52.
- Zhao, Z. And Zhang, W. L., 1997, "Influence Of Workmanship On The Bonding Strength Of Tiles To External Walls", *Int. J. Adhesion and Adhesives* Volume 17.