

# MERMER TOZUNUN GAZBETON ÜRETİMİNDE GERİ DÖNÜŞÜM MALZEMESİ OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

İsmail DEMİR<sup>\*1</sup>, M. Serhat BAŞPINAR<sup>2</sup>, Senem ABADAN<sup>3</sup>, Erhan KAHRAMAN<sup>1</sup>, Osman ÜNAL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Afyon, TÜRKİYE.  
idemir@aku.edu.tr

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Malzeme ve Metalürji Müh., Afyon, TÜRKİYE.

<sup>3</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, TÜRKİYE.  
Afyonkarahisar. abadansenem@hotmail.com

## Özet

Gazbeton esas olarak ince toz haline getirilmiş silis kumu ile kimyasal (Al tozu vb.) olarak bünyede hava boşluğu oluşturulması sonucu yoğunluğu önemli ölçüde azaltılmış bir hafif betondur. Sulu kıvamdaki harç karıştırılıp kalıba dökülür ve kabarma süreci başlar. Kabaran beton kütle uygun boyutlarda kesildikten sonra kür işlemi uygulanır. Bu çalışmada, gazbetonun ana hammaddesi olarak silis kumu yerine atık mermer tozu kullanılarak gazbeton blok örnekler üretilmiştir. Mermer tozunun kimyasal yapısında yüksek oranda  $\text{CaCO}_3$  içermektedir. Mermer işleme tesislerinde kesim atığı olarak mikronize boyutlardaki mermer tozu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada gazbeton üretiminde ana hammadde olarak mermer işleme tesis atığı mermer tozu kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak CEM II 52,5 R tipi çimento, harcının genişerek gözenek oluşumunu sağlamak için alüminyum tozu ve sönmemiş kireç, priz süresini düzenlemek için ham alçı kullanılmıştır. Deney örneklerine otoklav kürü uygulanarak mukavemet kazanmaları sağlanmıştır. Örnekler üzerinde fiziksel ve mekanik testler yürütülerek uygunlukları değerlendirilmiştir. Sonuçta bir atık olan mermer tozunun gazbeton üretiminde hammadde olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Atık mermer tozu, gazbeton, geri dönüşüm, sürdürülebilir üretim.

## Abstract

Aerated concrete is a kind of light weight concrete which is produced by fine siliceous materials and addition of chemicals such as Aluminum powder for air bubbles. After casting of the slurry mortar into the mold, blowing period starts. Blowed concrete mass is cut into required pieces after blowing period and curing applied to the concrete. In this study, waste marble cutting powders were used instead of siliceous material and aerated concrete blocks were produced. Marble powder is composed from mainly  $\text{CaCO}_3$ . Marble block cutting plants produces important amount of micronized waste marble powder. This marble powder waste was used in the experiments. CEM II 52,5 R type cement, aluminum powder for pore forming, lime and gypsum for the set regulator were used for the sample production. Autoclave curing was applied to the samples to gain strength. Physical and mechanical tests were conducted on the samples and test results were evaluated. It was concluded that, waste marble powders can be used as a raw material in the aerated concrete production.

**Key Words:** Waste marble powder, aerated concrete, recycling, sustainable production.

\*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Afyon Kocatepe University, 03200, Afyon TURKEY. E-mail address: idemir@aku.edu.tr, Phone: +902722281423 Fax: +902722281422

## 1. Giriş

Türkiye' de doğal taş sektörü, 1100 adet ocak işletmesi 1500 adet fabrika, 7500 adet atölye ile doğrudan 200.000 kişiye istihdam sağlamaktadır. 2011 yılında maden ihracatı, 2010 yılının aynı dönemine göre miktarda % 4.6, değerinde ise % 6 artışla, 19.7 milyon ton ve 3 milyar 876 milyon \$ olarak gerçekleşmiştir. Ülkemizin 2011 yılı doğal taş ihracatı 1,7 milyar \$'dır. Madencilik sektörünün 2012 yılında ihracat artışının % 10 seviyelerinde olması beklenmektedir. Bu doğrultuda 2012 yılı maden sektörü ihracatının 4.2 milyar \$, doğal taş ihracatının ise 1.85 milyar \$ düzeyinde olacağı tahmin edilmektedir [1]. Gelişen endüstri ve teknoloji ile mermer yaygın kullanım alanına sahiptir. Dünyadaki kaliteli ve en zengin mermer yatakları Akdeniz ülkelerinde yer almaktadır. Mermer ve diğer yapı taşları ülkemizde her bölgede bulunan yer altı zenginliklerindedir [2-3]. Dünya doğal taş pazarında Türkiye 10 milyon ton/yıllık üretime sahiptir. Mermer bloklar işlendikten sonra yaklaşık %25-40 oranında toz atık/artık oluşmaktadır [4]. Mermer fabrikalarında üretim sonucu parça ve toz olmak üzere iki tür artık oluşmaktadır. Parça artıklar, genellikle fabrika sahasında ayrılmış yerlere stoklanmakta ve talep olduğunda satılmaktadır. Toz artıklar ise üretim aşamasında kullanılan su ile birlikte çamur oluşturmaktadır. Bu çamur, arıtma tesislerine gönderilerek su ve toz parçacıkları birbirinden ayrıştırılmaktadır. Daha sonra toz parçacıkları preslenerek, olabildiğince susuzlaştırılmakta, kek haline getirilerek artık depo alanlarına taşınmaktadır [5]. Mermer ocak işletmeciliği ve üretim tesislerinde ortaya çıkan parça ve toz boyutundaki, artıkların miktarı yaklaşık %30'u toz atık olarak çıkmaktadır. Büyük oranlardaki bu atıkların geri kazanımı ve yeniden kullanımı hem çevrenin ve hem de doğal kaynakların korunması bakımından önem taşımaktadır [6]. Mermerlerin kesiminde ortaya çıkan ince şlam boyutundaki parçacıklar başlangıçta ıslak olarak depo edilmekte veya doğrudan araziye bırakılmaktadır. Mermer atıkları, oluşum yerlerine göre ocakta oluşan ve fabrikada oluşan atıklar olarak, boyutlarına göre ise; Molozlar, Kapaklar, Paledyenler ve Tozlar olarak gruplandırılır. Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan, öğütme işlemine tabi tutulmadan kolloidal yapıda bulunan ve büyük çoğunluğu da 250 µm'nin altında olan mermer tanecikleridir [7]. Mermer tozu yer altı su yollarını bloke ettiğinden yeraltı su seviyesinin düşmesine; yeraltı suyuna karışan ince malzeme yeraltı su kalitesinin düşmesine ve çok ince bir yapıya sahip olan toz atıklar kuruduktan sonra havada uçarak insanlarda solunum yollarının tıkanmasına neden olmaktadır. Topraktaki gözenekleri tıkayarak toprağın havalanmasını önlemektedir [8].

Günümüzde artan sanayi faaliyetleri ve nüfus artışına bağlı olarak doğal kaynakların tüketimi ile birlikte atık miktarları da ciddi artış göstermiştir. Üretim sonrası oluşan atıklar; hammadde ve ürün kaybının yanı sıra bu atıkların taşınması, depolanması ve bertarafı da işletmeler için ciddi maliyetler oluşturmaktadır. AB uyum süreci yaşayan Türkiye'de yasalar, atık üreticilerine çeşitli sorumluluklar ve yükümlülükler getirmektedir. Atıkların uygun olarak toplanması, ayrılması ve depolanması, uygun bertaraf yöntemlerinin uygulanması, bu konudaki mevzuata uyulmasını gerektirmektedir [9].

Mermer atıkları parça boyutu olarak işleme tesisinden iki farklı ürün olarak çıkabilmektedir. Birinci ürün, iri boyutlu parça mermer atıkları, ikinci ürün ise koloidal yapıda büyük miktarı 150 mikronun altında olan maksimum parça boyutu 2 mm'ye ulaşabilen kesim toz atığı olmaktadır. Bunların değerlendirme alanları farklılık göstermektedir. iri boyutlu parça atıklar, inşaat sektöründe yapı elemanı olarak kullanılabilirken, toz atıklar ise doğrudan farklı endüstri dallarında kullanılabilme imkânı bulmaktadır [10]. Mermer atıklarının betonda ince malzeme olarak da kullanıldığı çalışmalarda mermer tozunun ince malzeme olarak mekanik özellikleri olumlu etkilediği görülmüştür [11].

Mermer atıklarının taşınma ve depolanma giderleri ve çevreye verdiği zararların azaltılabilmesi için kullanım alanlarının oldukça geniş olduğu görülmüştür. Mermer atıkları yeniden kullanıldığında olumsuz yönlerinin azalacağı ve mermer sektörü dışında da önemli ekonomik değerler oluşturacaktır. Bununla birlikte hem toz ve hem de parça atıkların büyük bölümünün geri kazanımının yapılmadığı anlaşılmaktadır. Mermer atık ve artıkların daha yüksek oranda geri kazanımı için bu alanda yapılacak Ar-Ge çalışmaları önem taşımaktadır.

Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan ve çoğunluğu 200 mikron altı mermer tanecikleridir. Kesme işlemi su kullanılması nedeniyle suyla birlikte çökeltme havuzlarına taşınır. Havuzlarda çökelen mermer tozu daha sonra atık sahalarına alınmaktadır [12]. Mermer tozu atıkları; inşaat sektöründe mozaik, harç, sıva, karo vb. üretiminde, seramik sanayinde sır üretiminde, çimento sanayinde beyaz çimento üretiminde ve kağıt sanayi, tarım ve gübre sanayi, yem sanayi, diğer bazı sanayi sektörlerinde katkı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Buna rağmen katılan miktarın düşük oranlarda olması, atık sahalarında büyük yığınlar oluşmasına neden olmaktadır [13].

Türkiye'de enerji tüketiminin %70'lik ve en büyük kısmını konutlar ve sanayi oluşturmaktadır. Türkiye'de 2009'da yürürlüğe giren Enerji Performansı Yönetmeliği'nin amacı "Enerjinin etkin kullanılması, israfın önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır" şeklinde ifade edilmiştir.

Türkiye'de inşaat sektöründe kullanılmak üzere hafif bünyeli, ısı yalıtım değeri yüksek yalıtım malzemeleri üretimi ve çeşitlendirilmesi önemlidir. Halen inşaat sektöründe duvar malzemesi olarak başta tuğla olmak üzere, bims blok, gazbeton vb duvar blokları kullanılmaktadır.

Türkiye, Avrupa Birliği uyum süreci içinde uyum taahhüdü verdiği birçok konuda (çevre, tarım, enerji, eğitim, sağlık, yargı, savunma, v.b.) düzenlemeleri yapmak ile yükümlüdür. Bunlardan en sorunlu olarak görülenlerden "Çevre" konusu ve alt başlığı olan "Atıklar" konusunda ülkemizde gerçekleştirilen bilimsel ve endüstriyel çalışmalar yeterli düzeyde görülmemektedir. Bununla birlikte Türkiye üyesi olduğu AB-Avrupa Çevre Ajansının uyguladığı çevre ve atıklarla ilgili stratejilere de uymak zorundadır. Özellikle teknolojik ve ekonomik değeri olan mermer

atıklarının değerlendirilmesi maalesef çok düşük seviyede kalmaktadır. Maden sektöründe de geri dönüşüm stratejilerini uygulamak ve hayata geçirmek Türkiye'nin önemli görevleri arasındadır. Atıkların yeniden kullanımı veya geri dönüşümü; sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltarak, doğanın tahrip edilmesini önlemekte, üretimde verimliliği artırmakta ve atık depolanması sonucu oluşacak çevre problemlerini en aza indirmektedir.

Mermerlerin düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi gerekmektedir. Kesme işlemi sonunda mermer tozu ortaya çıkmaktadır. 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. Mermer atıkları, oluşum yerlerine göre ocaklarda ve fabrikalarda oluşan atıklar, boyutlarına göre; molozlar, kapaklar, paledyenler ve toz atıkları olarak adlandırılıp sınıflandırılmaktadırlar. Tesislerde işlenen mermerlerden toz ve kırıntı artıkları, işlenen mermerlerin yaklaşık olarak % 30'unu oluşturmaktadır. Mermer fabrikalarında üretim atığı olarak çıkan toz atıklar genellikle değerlendirilememekte ve çevre kirliliği açısından da sorunlar yaratmaktadır [14]

Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü tarafından yapılan araştırma ve jeolojik etüd raporlarına göre Türkiye'nin mermer rezerv toplamı (görünür + muhtemel + mümkün) 5.161 milyon m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir[15]. Madencilik faaliyetleri esnasında madenin işletme yöntemi, bulunduğu konum, formasyon ve istife bağlı olarak az veya çok atık (artık) oluşabilmektedir. Madencilik sektörünün önemli bir alt sektörü olan mermer sektöründe atık yönetimi ve izlenmesi ile ilgili sürece önem kazanmıştır.

Mermer tozu, en küçük boyutlu mermer atıklarıdır. Mermer işleme tesislerinde blokların ve plakaların kesilmesi sırasında oluşan, öğütme işlemine tabi tutulmadan koloidal yapıda bulunan ve büyük çoğunluğu da 250 µm'nin altında olan mermer tanecikleridir. Kesme işleminde su kullanılması nedeniyle suyla birlikte çökeltme havuzlarına taşınır. Havuzlarda çökelen mermer tozu daha sonra atık sahalarına alınmaktadır. Afyon bölgesinde faaliyet gösteren mermer işletmeleri toz boyutundaki atıkları farklı depolama alanlarına dökmektedirler. Bu alanların en büyüğü İscehisar ilçesinde bulunmakta olup 25 Milyon ton mermer tozu atığı biriktiği tahmin edilmektedir.

Mermer tozu atıklarının endüstriyel ürünlerde ana hammadde olarak kullanımı amacıyla, yürütülen Ar-Ge çalışmasında özellikle enerji verimlilik değeri yüksek ve yapı sektöründe hafif duvar blok elemanların üretiminde mermer tozunun köpük beton ve gazbeton üretiminde ana hammadde olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir. Kâgir duvar elemanı hafif beton blok üretmek konusunda geçmiş yıllarda başlıca iki yöntem geliştirilmiştir: Hava sürüklenmiş ve otoklavlanmış beton blok (Gazbeton Blok) ve hafif ağırlıklı hücresel beton blok (Köpük Beton Blok Elemanları). Her iki yöntemde üretim sırasında, harcın içersine hava kabarcıklarının yerleştirilmesiyle ağırlığının düşürülmesi esastır. Gazbeton blok ile köpük beton blok arasındaki

temel fark; beton harcı içindeki hava kabarcıklarının üretim yöntemidir. Gazbeton üretiminde alüminyum tozu kullanılır ve reaksiyon sonucunda hidrojen gazı açığa çıkarak kabarcıklar oluşturur. Köpük beton blok elemanları üretiminde ise, hava kabarcıkları köpük olarak üretilir ve bu köpük, çimento/kum harcına ilave edilerek kalıplara dökülür. Köpük beton blok harcı mukavemet kazanması için otoklav kürü yerine, atmosfer basıncında buhar kürü uygulanır. Sonuçta mermer tozu hem gazbeton üretiminde ve hem de köpük beton üretiminde silis kumu yerine ana hammadde olarak kullanılabilir [16]. Türkiye'deki mermer rezervlerinin büyüklüğü ve günümüzde mermer kullanımının yaygınlaşması, mermer fabrika ve işleme tesislerinin hızla artmasına sebep olmuştur. Artan üretim ile birlikte fabrika ve işleme tesislerinde mermer atıklarının miktarında da artış gerçekleşmiştir. Ülkemizde kesilen ve işlenen doğal taşların % 30'u atık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu atıkların çevreye olumsuz etkilerinin yanında ekonomik olarak kullanılabilir hammadde kaybı anlamına gelmektedir. Bu çalışmada mermer kesimi sırasında ortaya çıkan ve çökeltme havuzlarında toplanan ince tane boyutundaki atık mermer tozları ana hammadde olarak kullanılacaktır. Bu özellikteki mermer tozları halen mermer işleme sahasına yakın bölgelerde oluşturulan depolama alanlarına atık olarak atılmaktadır [17].

Gazbeton ile ilgili ilk patent 1923 yılında İsveçli mimar Johann Erikson tarafından alınmıştır. Bu patent otoklav kürü ve buhar kürü uygulanan betonlarda alüminyum tozu kullanmayı kapsamaktaydı. Geniş kullanım özelliği ve hafifliği nedeni ile gazbeton inşaat sektöründe önemli bir yere sahiptir. İlk ticari gazbeton 1929 yılında İsveç'te üretilmeye başlanmıştır [18-19]. İsveç kaynaklı olan gazbeton 2. Dünya savaşı sonrasında dünyanın diğer bölgelerine hızla yayılmıştır [20]. Günümüzde birçok ülkede farklı tip ve metotlarla üretilmektedir. Hafif oluşu, yapıdaki ölü yükleri azaltması nedeniyle gazbeton çok ekonomik planlama sağlamaktadır [19-21]. Yapı projesin çok ekonomik üretimi, malzeme kullanımını azaltarak nihai maliyeti azaltıp yapımcıların karını artırmaktadır. Bunun yanı sıra gazbeton hafif bünye yapısı sebebi ile taşıma ve uygulama maliyetlerini azaltır [18]. Yukarıda belirtilen özelliklere ilave olarak gazbeton kesilebilmesi, yontulabilmesi, vidalanabilme ve çivi çakılabilme gibi özelliklere sahiptir [19,22]. Diğer bir deyimle gazbeton elemanlar uygulayıcılara normal betonlarda olmayan çok büyük esneklikler ve kolaylıklar sağlar. Önceki araştırmacılara göre bu tip beton esas olarak çimento hamuru ya da harç karışımına karışım sırasında hava veya gaz salınarak çimento hamuru veya harçta küçük kabarcıklar (çapları 0,1 – 1,0 mm) oluşturmak suretiyle üretilen gözenekli bir betondur. Hava kabarcıkları homojen bir dağılıma sahip olup priz ve sertleşme sürecinde gözenekli bir bünye oluşturmak üzere matris içinde hapsolmüştür. Gaz oluşturucu malzemeler sıvı ya da plastik durumda sönmemiş kireç içine veya çimento harcına katılarak hacimsel bir genişleme sağlayıp gaz uzaklaşırken gözenekli bir bünye yapısı oluşturması sonucu gazbeton üretimi gerçekleşir [18,21]. Bu çalışmada geleneksel gazbeton üretiminde kullanılan silis kumu vb ince taneleri malzemeler yerine ana hammadde olarak atık mermer tozu kullanılarak gazbeton örnekler üretilmiştir. Gazbeton üretiminde bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R tipi portlant çimentosu, ince kum yerine mermer tozu kullanılmıştır. Puzolanik özelliği nedeniyle uçucu kül çimento ile belli

oranlarda ikame edilmiştir. Uçucu külün yavaş reaksiyonundan kaynaklanabilecek mukavemet artışındaki gecikmeleri önlemek için priz hızlandırıcı/erken mukavemet sağlayıcı yapı kimyasalları kullanılmıştır.

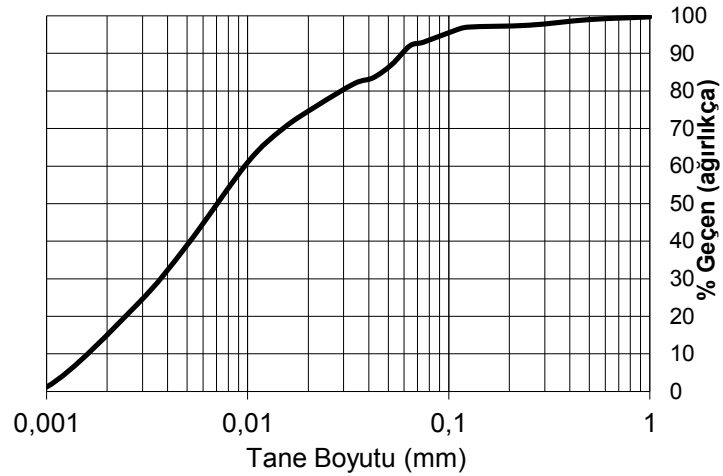
Mermer atıklarının belirlenen alanlarda kullanıldığı takdirde olumsuz yönlerinin çok düşük bir düzeye gerileyeceği ve mermer sektörüne büyük faydalar sağlayacağı ve bununla birlikte ekonomik kazanımları da beraberinde getireceği düşünülmektedir. Bununla birlikte hem toz ve hem de parça atıkların büyük bölümünün geri kazanımının yapılamadığı anlaşılmaktadır. Söz konusu atık ve artıkların daha yüksek oranda geri kazanımı için bu alanda yapılacak AR-GE çalışmaları önem taşımaktadır (İnt kyn. 1).

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada kullanılan malzemeler ve özellikleri aşağıda sunulmuştur. Çalışmada ana hammadde olarak mermer tozu ve katkı olarak öğütülmüş diatomit kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak CEM I 42,5.R tipi portland çimentosu, sönmemiş kireç, ham alçı, genişletirici katkı olarak alüminyum tozu kullanılmıştır. Mermer tozunun kimyasal analizinde CaO oranı %50'yi geçmiş olup kızdırma kaybı %40 olarak belirlenmiştir (Çiz. 1). Tane boyutu analizinde mermer tozunun % 97'si 100 µm' den geçmiştir (Şekil 2).

Çizelge 1. Mermer tozunun kimyasal bileşimi.

Oksit	(%)
SiO <sub>2</sub>	4,67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-
CaO	51,80
MgO	0,40
K <sub>2</sub> O	-
Na <sub>2</sub> O	-
SO <sub>3</sub>	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,03
TiO <sub>2</sub>	-
Kızdırma Kaybı	41,16
TOPLAM	98,06



Şekil 2. Mermer tozunun tane boyutu dağılımı.

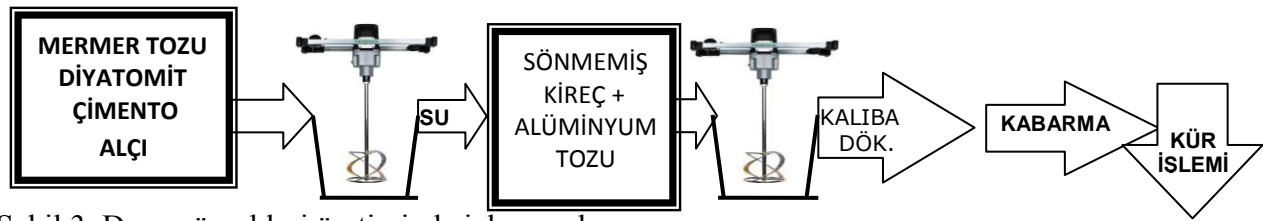
Çalışmada kullanılan malzemelerin özgül ağırlık ve Blain inceliği değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Kullanılan malzemelerin özgül ağırlık ve Blain inceliği değerleri.

Numune Adı	Özgül Ağırlık	Blaine Değeri (cm <sup>2</sup> /gr)
Çimento CEM I 42,5 R	3,07	3055
Mermer tozu	2,72	2830
Sönmemiş Kireç	3,25	5224
Gazbeton Alçısı	2,21	5404

Ana malzeme olarak mermer tozu kullanılarak üretilen deney örneklerinin karışım oranları Çizelge 3'te verilmiştir. Karışımlarda ana malzeme olarak mermer tozu kullanılmış, bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Genleşmeyi sağlamak amacı ile sönmemiş kireç ve alüminyum tozu kullanılmıştır. Priz düzenleyici olarak ham alçı kullanılmış, tanelerin akışkanlığını sağlamak amacı ile akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır.

Deney örnekleri aşağıdaki süreç takip edilerek üretilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Deney örnekleri üretiminde izlenen akım şeması.

**Çizelge 3.** Gazbeton örneklerinin karışım oranları.

Seri No	Mermer Tozu (g)	Çimento (42,5)	Alçı (g)	Kireç (g)	Akışkan Katkı	Al. Tozu (g)
A	1500	840	150	510	25 ml	2,5
B	1500	840	150	300	25 ml	2,5
C	1500	840	150	300	25 ml	2,5
D	1500	840	150	300	25 ml	2,5
E	1500	840	150	300	25 ml	2,5
F	1500	840	150	300	25 ml	2
G	1400	840	150	300	25 ml	2
H	3000	1680	300	600	25 ml	5
I	3000	1000	200	500	25 ml	4
J	3000	1000	200	500	25 ml	5
K	2500	1000	300	500	25 ml	4

Çalışmada ana malzeme olarak kullanılan mermer tozu 100 µm'nin altında elenerek kullanılmıştır. Çimento, sönmemiş kireç, ham alçı, ve metalik alüminyum tozu sırasıyla mikser

konularak homojen ve sulu kıvamda harç elde edilmiştir. Harç bekletilmeden kalıba dökülerek kabarması sağlanmıştır. Kabarma sürecinden sonra uygun ölçülerde kesilerek kür işlemi uygulanmıştır.



Şekil 4. Atmosferik buhar kür makinası (solda), ve plastik kalıba döküm (sağda).

Kabarma ve ön hidrasyon sonrasında örnekler 10x10x10 cm küp numuneler olarak kesilmiş ve otoklav işlemi uygulanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışmada kullanılan otoklav cihazı ve üretilen gazbeton örnekler.



### 3. Sonuçlar ve Tartışma

Kür süreci tamamlana gazbeton deney örnekleri fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile birim ağırlık ve basınç mukavemeti deneyleri uygulanmıştır. Her bir seri için 4 adet deney numunesi kullanılarak sonuçların ortalaması alınmıştır.

**Çizelge 4.** Gazbeton deney örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri.

Seri No	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m <sup>3</sup> )	Ortalama Basınç Dayanımı(MPa)
A	475	1,45
B	430	1,05
C	560	1,55
D	576	1,60
E	470	1,05
F	715	2,25
G	710	2,10
H	710	2,20
I	575	1,65
K	520	1,25

Örneklerin birim ağırlıkları 430 ile 715 kg/m<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Basınç mukavemeti değerleri 1,05 ile 2,25 MPa olarak değişmektedir. Birim ağırlık değerleri ile basınç mukavemeti değerleri arasında doğrusal ilişki belirlenmiştir. Birim ağırlık değerleri arttıkça buna bağlı olarak basınç dayanımı değerleri de artış göstermiştir. Örneklerin birim ağırlık ve basınç mukavemeti değerleri Standart değerlere uyum sağlamaktadır [23].

Mermer üretiminde önemli oranda ortaya çıkan mermer tozlarının gazbeton üretiminde kullanılarak hem hammadde olarak kullanımı, hemde doğal çevrenin korunmasına katkı sağlanacaktır.

### KAYNAKLAR

- [1] Torun M., Mermer ve Doğal Taş Sektörünün Durumu, Standard, 2012, Standard, 606, s. 26-28, Ankara.
- [2] Onargan T., 2005, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi Mermer Sektörünün Türkiye Mermer Sektöründeki Konumu, Doğu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi Doğal Taş Katalogu, EASTONE, s. 10-11.
- [3] Yüçetürk, G., Göller Yöresindeki Kayaçların Mineralojik ve Petrografik Özelliklerinin Yapay Mermer Kalitesine Etkileri, Doktora tezi, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, (2010).
- [4] Büyüksağış İ. S., Doğal taş işletme tesislerinde yoz atıkların oluşumu ve azaltma yöntemlerinin irdelenmesi, Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması Sempozyumu, 180-193, Diyarbakır, 2009.
- [5] Onur S., Mermer ve Doğal Taş İşletmelerinden Türeyen Artıkların Değerlendirilmesi, 2012, Standard, 606, 70-74, Ankara.
- [6] Ayhan M., Karakuş A., Ayhan F. D. ve Abakay T., 2009, Mermer Atıklarının Değerlendirilmesi ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması Sempozyumu, 163-172, Diyarbakır.

- [7] Demir İ., Başpınar M.S., Görhan G., Kahraman, E., Mermer Tozu ve Atıklarının Kullanım Alanlarının Araştırılması , 6. Mermer ve Doğaltaş Sempozyumu, 327, 2008.
- [8] Karataş A., Burdur Gölü Havzası'nın Biyotik Özellikleri ile Mermer ve Taş Ocaklarının Burdur Gölü ve Ekosistem Üzerine Etkileri, Rapor, Doğa Derneği, 2013.
- [9] Gündüz E. ve Varınca K., 2007, Organize sanayi bölgelerinde katı atık tönnetimi ve Tuzla Mermerciler Organize Sanayi Bölgesi Örneği, AB Sürecinde katı atık yönetimi ve çevre sorunları sempozyumu, İstanbul.
- [10] Ersoy, B., Afyon Bölgesinde Bulunan Mermer işleme Tesisi Atık Suların Flokülasyon Yöntemiyle Arıtılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi, 2005.
- [11] Ünal O., Kibici Y., Mermer tozu atıklarının beton üretiminde kullanılmasının araştırılması, Türkiye III. Mermer Sempozyumu (Mersem '2001) bildiriler kitabı, s. 317-327, 2001.
- [12] Emrulloğlu Ö., F., ve Çelik M., Y., Mermer atıklarından polyester bağlayıcılı suni mermer blok ve levha üretiminin araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 1, sayı 1, s. 15-35, 1999.
- [13] Zorluer, İ., Usta, M., "Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi", Türkiye IV. Mermer Sempozyumu (Mersem '2003) Bildiriler Kitabı, 18-19 Aralık, 305-311, Afyon, (2003).
- [14] Görhan G., Kahraman E., Başpınar M. S. Ve Demir, İ., Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS), S 158-160, 26 - 28 Mayıs 2010, Ankara, Türkiye
- [15] DPT- Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013), Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, 2006.
- [16] Demir İ., M. S. Başpınar, Kahraman E., Diyatomitten gazbeton üretimi, TUBİTAK Proje no: 5120013, 2014.
- [17]. Demir İ., M. S. Başpınar, Kahraman E., Abadan S., Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP Proje no: 13 FEN. BİL. 19, 2014
- [18]. Abdullah K., Hussin M.W, F.Zakaria , R.Muhamad, Z.Abdul Hamid (2006). Pofa: a potential partial cement replacement material in aerated concrete. Proceedings of the 6th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference (APSEC 2006), 5 – 6 September 2006, Kuala Lumpur, Malaysia.
- [19]. Short, A. and Kinniburgh, W. (1978). Lightweight Concrete, 3rd Edition, Applied Science Publishers, London.
- [20]. Bave, G. (1983). Regional Climatic Conditions, Building Physics and Economics. Autoclaved Aerated Concrete, Moisture and Properties, Proceedings of the RILEM International Symposium on Autoclaved Aerated Concrete, Swiis. Development In Civil Engineering. Vol 25 1-12.
- [21]. Narayanan, N. and Ramamurthy, K. (2000), Influence of composition and curing on drying shrinkage of aerated Concrete, Materials and Structures/Matériaux et Constructions, 33: 243-250.
- [22]. Holt, E. and Raivio, P. (2005). Use of gasification residues in aerated autoclaved concrete, Cement and Concrete Research, 35, (4) 796-802.
- [23]. Anonim TSE 453 Gaz ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları, 1998, Ankara

Teşekkür: Bu yayın Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP Proje no: 13 FEN BİL 19 no'lu projeden üretilmiştir..