



# İNCE MALZEME OLARAK KULLANILAN ATIK MERMER TOZUNUN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİSİ

## THE EFFECT OF THE WASTE MARBLE DUST USED AS FINE MATERIAL ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF CONCRETE

Bahar Demirel<sup>a,\*</sup>, Salih Yazıcıoğlu<sup>b</sup>

<sup>a\*</sup> Firat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Elazığ, Türkiye, bdemirel@firat.edu.tr

<sup>b</sup> Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü, Ankara, Türkiye, yazicioglus@gmail.com

### Özet

Yapılan bu deneysel çalışmada, mermerlerin fabrikalarda işlenmesi sırasında açığa çıkan atık mermer tozlarının betonda ince malzeme olarak kullanımı incelenmiştir. Bu amaçla atık mermer tozları, % 0, % 25, % 50 ve % 100 oranlarında 0,25 mm'lik elekten geçen ince malzeme ile ağırlıkça yer değiştirilerek farklı beton serileri oluşturulmuştur. Kür yaşına bağlı olarak numunelerin basınç dayanımlarında meydana gelen değişimi gözleyebilmek için tüm serilerin 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri de belirlenmiştir. Ayrıca, serilerin ultrases geçiş hızları, poroziteleri, birim ağırlıkları ve dinamik elastisite modülleri tespit edilerek, sonuçlar birbirleriyle ve basınç dayanımı değerleri ile kıyaslanmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda, betona 0,25 mm lik elekten geçen ince malzeme ile ikame olacak şekilde belirli oranlarda atık mermer tozu ilavesinin tüm kür yaşlarında basınç dayanımını artırıcı etkisi olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, mermer işletme tesislerinin atığı olan ve büyük çaplı çevresel kirlilik oluşturan mermer tozunu, normal dayanımlı betonlarda ince malzeme yerine kullanarak özellikle mermer üretiminin fazla olduğu bölgelerde çevresel kirliliği önlemek ve doğal kaynakları daha az tüketmek mümkün olabilecektir.

**Anahtar kelimeler:** Atık mermer tozu, çimento, beton, çevre kirliliği, basınç dayanımı

### Abstract

In this experimental study, the effects of using waste marble dust which is obtained as a by-product of marble sawing and shaping processes in the factories as a fine material on the mechanical properties of the concrete have been investigated. For this purpose four different series of concrete-mixtures were prepared by replacing the fine material with waste marble dust passing 0,25 mm sieve at proportions of 0%, 25%, 50% and 100% by weight. In order to determine the effect of the waste marble dust on the compressive strength with respect to the curing age, compressive strengths of the samples were determined at the curing ages of 3, 7 and 28 days. In addition, the porosity values, ultrasonic pulse velocity (UPV), dynamic elasticity ( $E_{din}$ ) modulus and the unit weights of the series were also determined and all of the data were compared with each other. At the end of this study, it was observed that the addition of waste marble dust such that would replace the fine material passing through a 0,25 mm sieve at particular proportions has displayed an enhancing effect on compressive strength. Marble dust is a by-product of marble production facilities and also creates large scale environmental pollution. Therefore, it could be possible to prevent the environmental pollution especially in the regions with excessive marble production and to consume fewer natural resources as well through its utilization in normal strength concretes as a substitute for the fine material.

**Keywords:** Waste marble dust, cement, concrete, environmental pollution, compressive strength

### 1. Giriş

Mermer ilk çağlardan beri yapılar da yaygın olarak kullanılan ve her geçen gün daha fazla rağbet görmeye başlayan bir yapı malzemesidir. Mermere talep arttıkça, bu talebi karşılamak amacıyla, mermer işleme tesislerinin sayısında

da bir artış meydana gelmiştir. Bunun doğal bir sonucu olarak da, mermer işleme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerde, mermer atık sahalarının yaygınlaştığı görülmektedir.

Mermerlerin düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi gerekmektedir. Kesme işlemi sonunda mermer tozu ortaya çıkmaktadır. Mermer tozları sedimantasyon yöntemi ile çöktürülmekte veya doğrudan araziye bırakılmaktadır. Dolayısıyla çevre kirliliğinin azaltılması için mermer tozlarının farklı endüstri alanlarında değerlendirilmesi faydalı olacaktır[1]. Burada, önemle üzerinde durulması gereken husus, gerek mermerin ocakta üretiminde ve gerekse tesislerde işlenmesi sürecindeki zorluklar ve ilk yatırım maliyetlerinin yüksekliği dikkate alındığında, bu atık malzemelerin büyük bir milli kayıp olduğudur. Bu nedenle mermer işleme tesislerine ait bu atıkların belirli sektörlerde yeniden değerlendirilebilmesi için yapılacak çalışmalar ülkemiz mermerciliğine yararlı bir katkı sağlayacaktır. Mermer toz atıklarının değerlendirilmesine yönelik olarak uygulamaya sokulabilecek alternatifler, mermer fabrika işletmecilerine ve ülke ekonomisine kazançlar sağlayabileceği gibi, bu fabrikaların çevreye verdikleri zararları da büyük ölçüde azaltacaktır [2].

Atık toplama sahalarında depolanan malzemelerin değerlendirilebilirliği üzerine yapılan literatür çalışmaları, mermer işleme tesis atıklarının yapı malzemesi olarak kullanımı haricinde, farklı boyut fraksiyonlarına indirilmiş toz atıkların, mimaride süsleme hammaddesi, dolgu malzemesi ve/veya tarımsal amaçlı katkı malzemesi gibi kullanımını göstermektedir [3].

Atık mermer tozunun betonda ince agrega veya mineral katkı olarak kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla literatürde çeşitli çalışmalar mevcuttur. Örneğin Alyamaç ve İnce [4], kendiliğinden yerleşen betonda atık mermer tozunu filler malzeme olarak değerlendirmişlerdir. Yine Güneysi vd. [5], kendiliğinden yerleşen harç numunelerde, mermer tozunu çimento ile yer değiştirecek şekilde kullanmışlardır. Aruntaş vd. [6], mermer toz atıklarını kendiliğinden yerleşen betonda çimento ile belli oranlarda yer değiştirerek kullanmış ve kendiliğinden yerleşen betonun maliyetini düşürdüğünden dolayı %15-20 oranlarında atık mermer tozunun kullanılabilirliğini belirtmişlerdir. Bir diğer çalışmada, mermer tozu ince malzeme ile belirli oranlarda yer değiştirerek normal betona ilave edilmiş ve donma-çözülme davranışı araştırılmıştır [7]. Bunlara ilaveten, asfalt beton karışımlarında atık mermer kırıklarının agrega olarak kullanımı veya mermer tozunun filler malzeme olarak kullanımının incelendiği çeşitli çalışmalara da literatürde rastlanmaktadır. [8-10].

Atık mermer tozunun normal dayanımlı betonda ince malzeme olarak kullanılması konusunun literatürde yeterince tartışılmadığı ve çalışmaya açık bir konu olduğu düşünüldüğünden, sunulan bu çalışma 0,25 mm lik elekten geçen ince malzeme ile ağırlıkça yer değiştirerek ilave edilen atık mermer tozunun betonda kullanılabilirliğini araştırmak üzere tertiplenmiştir.

### 2. Malzeme ve Metot

#### 2.1 Malzeme

Yapılan deneysel çalışmada, ÇİMENTAŞ Elazığ çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42,5 N portland çimentosu kullanılmıştır [11]. Kullanılan agreganın maksimum tane çapı 16 mm olarak alınmıştır. Toplam agrega hacminin % 53'ü yoğunluğu 2780 kg/m<sup>3</sup> olan Elazığ yöresi Palu nehir kumu (0-4 mm), % 47'si ise yoğunluğu 2730 kg/m<sup>3</sup> olan Palu iri agregası (4-16 mm) olarak kullanılmıştır. Agregaya ait tane dağılımı Çizelge 1'de verilmiştir. Karışımlar hazırlanırken şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

Çizelge 1. Kullanılan agreganın tane dağılımı

Elek Çapı (mm)	16	8	4	2	1	0.50	0.25
Geçen (%)	100	67	53	44	32	19	10

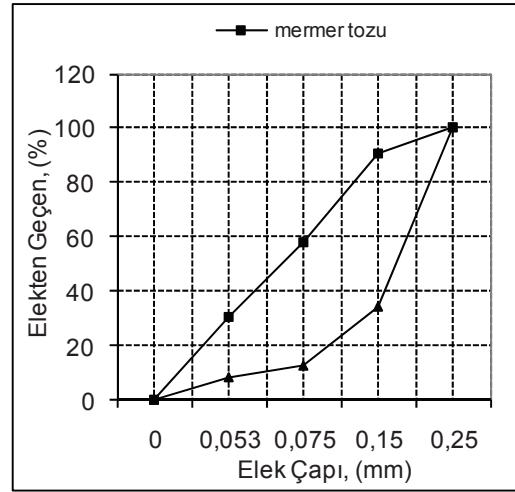
Mermer çamuru, mermerlerin su ile kesimi ve parlatılması sırasında açığa çıkan bir atık olarak. Elazığ'daki mermer işleme tesislerinden ıslak halde temin edildi. Bu çamur, beton serilerde kullanılmadan önce etüvde kurutuldu. 0.25 mm lik elekten elenerek deneylerde kullanılacak mermer tozu elde edildi. Kullanılan çimentonun ve mermer tozunun kimyasal özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Çimento ve mermer tozunun kimyasal özellikleri

	CEM I 42.5 N	Mermer Tozu
SiO <sub>2</sub>	21.12	28.35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.62	0.42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.24	9.70
CaO	62.94	40.45
MgO	2.73	16.25
Yoğunluk. (gr/cm <sup>3</sup> )	3.10	2.80

## 2.2. Metot

Bu çalışma için biri kontrol (MTO) olmak üzere, 0.25 mm lik elekten geçen ince agreganın yerine ağırlıkça %25, %50 ve %100 oranlarında mermer tozu içeren toplam 4 beton serisi hazırlandı.



Şekil 1. Mermer tozu ve ince kum agreganın granülometrisi

Yapılan elek analizi sonucunda Çizelge 1'de de görüldüğü gibi 0.25 mm elekten geçen miktarın toplam agrega ağırlığının %10'u kadar olduğu belirlendi. Bu ince malzeme, ağırlıkça %25, %50 ve %100 oranlarında mermer tozu ile yer değiştirildi. Kullanılan mermer tozunun ve 0.25 mm lik elekten geçen ince agreganın granülometrik dağılımı Şekil 1'de görülmektedir. Çizelge 3'e göre tertiplenen 4 farklı serinin farklı kür yaşlarında basınç dayanımlarını, ayrıca 28 günlük numunelerin porozite, ultrases geçiş hızı ve dinamik elastisite gibi değerlerini belirleyebilmek için toplam 60 adet 10 cm lik küp numuneler hazırlandı. 24 saat kalıpta bekletilen numuneler daha sonra kalıptan çıkarılarak 3, 7 ve 28 günlük kür sürelerini tamamlamaları için kirece doygun su ile dolu kür tankı içerisinde bekletildi.

Çizelge 3. Beton karışımları (kg/m<sup>3</sup>)

Seriler	Su	Çimento	Kum		Çakıl (4-16 mm)	Mermer tozu
			(0-0.25mm)	(0.25-4mm)		
MTO	255	500	156	680	725	-
MT25	255	500	117	680	725	39
MT50	255	500	78	680	725	78
MT100	255	500	-	680	725	156

## 2.3 Sertleşmiş Beton Deneyleri

28 günlük kürünü tamamlayan her bir seriden 5 adet numune alınarak sırasıyla porozite ve ultrases geçiş hızı deneylerine tabi tutuldu. Porozitenin tespiti için (1) numaralı denklem kullanıldı.

$$P = \frac{(W_{dyk} - W_{kuru})}{(W_{dyk} - W_{su})} \cdot 100 \quad (1)$$

(1) numaralı denklemdeki; P= Porozite (%), W<sub>dyk</sub> = Numunenin doygun yüzey kuru ağırlığı, (kg), W<sub>kuru</sub> = Numunenin etüvde kurutulduktan sonraki ağırlığı, (kg) W<sub>su</sub> = Numunenin su altındaki ağırlığı, (kg) ifade etmektedir.

Etüvde kurutulan numunelerin ultrases geçiş hızlarının tespiti için, sesüstü dalgaların betonun içerisinde geçme süresini ölçmek üzere tertiplenen pundit cihazı kullanıldı. Bu cihaz ile dalga gönderici ve alıcı başlıklar arasında kalan, yüzeyleri temiz numunelerden sesüstü dalgaların ne kadar zamanda geçtiği otomatik olarak belirlendi ve (2) numaralı formül ile dalga hızı hesaplandı.

$$V = (S / t)10^6 \quad (2)$$

(2) numaralı formülde yer alan; V = Ultrases geçiş hızı, (metre/saniye), S = Beton bloğun sesüstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe, (metre), t = Sesüstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden alındığı yüzeye kadar geçen zaman, (mikrosaniye) dir.

Numunelerin dinamik elastisite modülleri (3) numaralı formül ile belirlendi. [12,13]:

$$E_d = \frac{V^2 n(1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu} (10^{-6}) \quad (3)$$

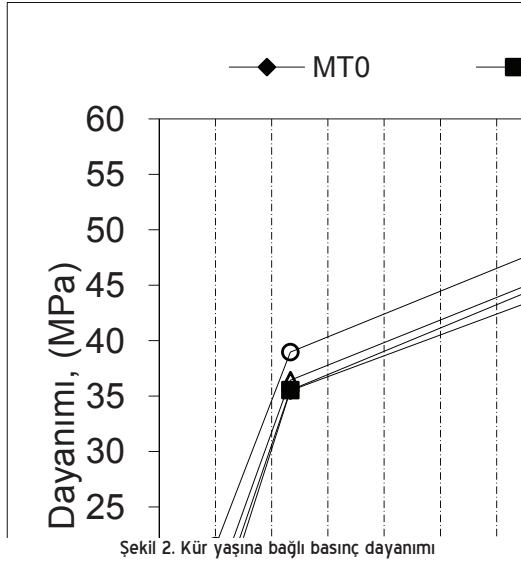
(3) numaralı formüldeki E<sub>d</sub>= Dinamik Elastisite Modülü, (MPa), μ= poisson oranı, n= birim ağırlık (kg/m<sup>3</sup>) ve V= Ultrases geçiş hızı (m/s) dir. Formülde kullanılan poisson oranı değeri, çok düşük kalitedeki betonlarda 0.3, yüksek kaliteli betonlarda 0.15 olarak kabul edilmektedir [12]. Bu çalışmada μ değeri 0.2 alınmıştır. 3, 7 ve 28 günlük kür yaşına ulaşan her seriden 5 adet numune alınarak, Autotest 3000 Beton Basınç Dayanım Presinde, TS EN 12390-3'e göre, 3 kN/sn yükleme hızı ile kırıldı ve basınç dayanımları tespit edildi [14].

## 3. Bulgular ve Tartışma

Tüm seriler için kür yaşına bağlı olarak basınç dayanımının değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi mermer tozunun miktarı arttıkça, her kür yaşında da basınç dayanımı artış göstermiştir. 3, 7 ve 28 günlük kürlerde en yüksek basınç dayanımı değeri MT100 kodlu seride elde edilmiştir.

Bu durum kalker esaslı bir malzeme olan mermer tozunun hem boşluk doldurucu etki yaptığı hem de hidrolik açıdan bağlayıcılık özelliği sergilediği şeklinde açıklanabilir. Literatürde kireçtaşının fiziksel olarak çimento pastasındaki boşlukları doldurma özelliğinden başka hidrolik bağlayıcılık özelliği göstermek suretiyle kimyasal etkisinin de olduğuna değinilmiştir [15,16].

Yine Binici vd. mermer tozunu 1mm lik elekten geçen agrega ile ağırlıkça yer değiştirecek şekilde kullanarak yapmış oldukları bir çalışmada, artan mermer tozu yüzdesi ile basınç dayanımında belirgin bir artış tespit etmişlerdir [10].



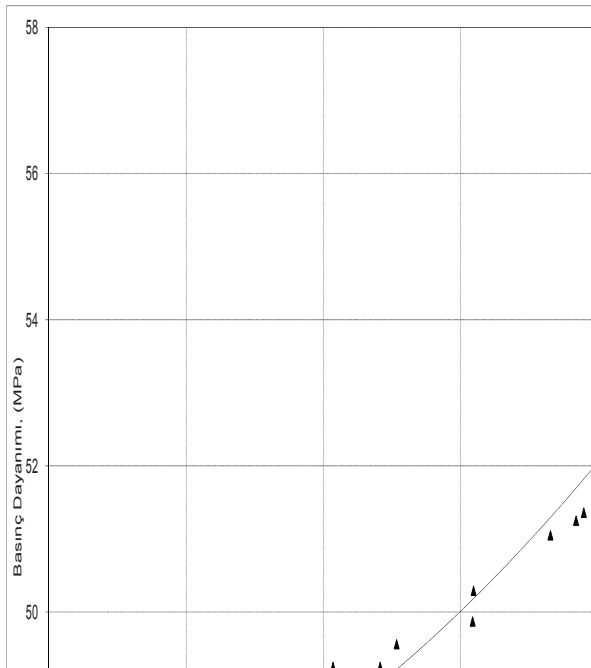
Şekil 2. Kür yaşına bağlı basınç dayanımı

Her seri ve her kür yaşı için 5 adet numune üzerinde yapılan deneyler sonucu, bu değerlerin ortalamaları alınarak toplu halde Çizelge 4'te verilmiştir. Çizelge 4'te, mermer tozu miktarının artması ile serilerin birim ağırlığın arttığı görülmektedir. Mermer tozunun birim ağırlığının, kullanılan ince agrega birim ağırlığından büyük olması bu durumu açıklamaktadır. Yine serilerin mermer tozu miktarı arttıkça, buna bağlı olarak porozitenin düştüğü, ultrases geçiş hızının ise arttığı görülmektedir. Mermer tozunun çimento pastasında dolgu malzemesi görevi görmesi, poroziteyi düşüren bir etkidir [17]. Bunun doğal sonucu olarak da ultrases dalgaları beton içerisinde daha az boşluğa rastlayarak daha hızlı ilerlemiştir. Hem porozite hem de ultrases hızı sonuçları, basınç dayanımındaki artış destekler niteliktedir.

Çizelge 4. Deney Sonuçları

Seriler	$f_c$ (MPa)			Birim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Porozite (%)	$E_{din}$ (GPa)	Ultrases geçiş hızı (Km/sn)
	3d	7d	28d				
MT0	14.32	35.5	48.68	2235	7.125	36.03	4.233
MT25	15.8	35.54	50.25	2252	7.085	41.45	4.521
MT50	17.66	36.43	50.69	2284	6.729	43.35	4.592
MT100	21.46	38.97	53.39	2305	6.596	45.01	4.658

Elde edilen ultrases geçiş hızı değerleri yardımı ile serilerin dinamik elastisite modülleri hesaplanmıştır. Serilerin 28 günlük basınç dayanımı değerleri ile dinamik elastisite modülleri arasındaki ilişki, Şekil 3'te gösterilmiştir. İstatistikte serpilme diyagramı olarak da adlandırılan Şekil 3, iki değer arasında pozitif bir korelasyon bulunduğunu göstermektedir [18]. İki değişken arasında iyi bir korelasyon bulunduğu, bu ilişkiyi denklem ve grafik ile gösterebilmek için regresyon analizi yapılır. Yapılan regresyon analizi sonucunda eğrinin denklemi  $y = 0.0251x^2 - 1.4546x + 67.426$  olarak, regresyon katsayısı ( $R^2$ ) ise 0.9797 olarak belirlenmiştir. Bu denklemde,  $y$ - Basınç dayanımını,  $x$ - Dinamik elastisite modülünü ifade etmektedir. Bu denklem kullanılarak, tahribatsız deney yöntemi ile hesaplanmış olan dinamik elastisite değerinden, numuneler kırılmadan basınç dayanımı tahmin edilebilir.



Şekil 3. Basınç dayanımı-Elastisite modülü arasındaki ilişki

#### 4. Sonuçlar

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki neticeler elde edilmiştir.

- Mermer tozu miktarının artışı, serilerin birim ağırlıklarını arttırmıştır. Bu durum, mermer tozu ile yer değiştiren ince agreganın birim ağırlığının mermer tozunun birim ağırlığından daha az olmasından kaynaklanmaktadır.
- Serilerdeki mermer tozu miktarı arttıkça, basınç dayanımlarının da arttığı gözlenmiştir. Bu durum kalker esaslı bir malzeme olan mermer tozunun hem boşluk doldurucu etki yaptığı hem de hidrolik açıdan bağlayıcılık özelliği sergilediği şeklinde açıklanabilir. Çünkü çimento miktarı her seride sabit iken basınç dayanımının artması, mermer tozunun da hidrasyon olayına katkıda bulunduğunu göstermektedir.
- Yine serilerin mermer tozu miktarı arttıkça, buna bağlı olarak porozite düşmüş, ultrases geçiş hızı ise artmıştır. Mermer tozunun çimento pastasında dolgu malzemesi görevi görmesi, poroziteyi düşüren bir etkidir. Bunun doğal sonucu olarak da, ultrases hızı da artmıştır.
- Serilerin ultrases geçiş hızlarından elde edilen dinamik elastisite modülleri ile basınç dayanımları arasında regresyon analizi yapılarak, iki değer arasında iyi bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Bu durumda, yapılan analiz sonucunda elde edilen eğri denklemi kullanılarak, betonlar tahrip edilmeden, sadece dinamik elastisite modülünün bulunması ile basınç dayanımlarının hesaplanması mümkün olabilecektir.

Tüm bu sonuçlar, mermer tozunun, geleneksel betonun mekanik ve fiziksel özelliklerini geliştirecek bir malzeme olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Mermer tozunun alternatif bir ince malzeme olarak kullanılması, çevresel kirlilik potansiyeli yüksek olan bu atığın değerlendirilmesine ve böylece sürdürülebilir bir çevreye katkı sağlayacaktır.

#### Kaynaklar

- [1] Terzi, S., Kardeşin M., "Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonunda Filler Malzemesi Olarak Kullanımı", İMO Teknik Dergi, 193: 2903-2922 (2003).
- [2] Beycioğlu, A., Başyigit, C., Subaşı, S., "Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması" Çevre Sorunlar Sempozyumu, 1386-1394, Kocaeli 2008.

- [3] Gündüz, L., Şentürk, A., "Mermer atıklarının maden işletmelerinde stabilizasyon amaçlı değerlendirilebilirliği" I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 125-138, İstanbul 1996.
- [4] Alyamaç K.E., İnce R., "A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders" *Construction and Building Materials*, 23: 1201-1210 (2009).
- [5] Güneyisi E., Gesoğlu M., Özbay E., "Effects of marble powder and slag on the properties of self compacting mortars". *Materials and Structures*, 42: 813-826 (2009).
- [6] Aruntaş, Y.H., Dayı, M., Tekin, İ., Birgül, R., Şimşek, O., "Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi", 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 173-180, Ankara 2007.
- [7] Ünal O., Uygunoğlu T., "Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması", Türkiye 4. Mermer Sempozyumu, 147-157, Aralık 2003.
- [8] Karasahin M., Terzi S., "Evaluation of marble dust in the mixture of asphaltic concrete", *Construction and Building Materials*, 21, 616-620 (2007).
- [9] Akbulut H., Gürer C., "Atık Mermerlerin Asfalt Kaplamalarda Agregat Olarak Değerlendirilmesi" İMO Teknik Dergi, 261 3943 -3960, (2006).
- [10] Binici H., Kaplan H., Yılmaz S., "Influence of marble and limestone dusts as additives on some mechanical properties of concrete". *Scientific Research and Essay*, 2(9), 372-379 (2007).
- [11] TS EN 197-1. 2002. Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, 25 s., Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [12] Erdoğan T., "Beton", METU Press. 741s. 2003.
- [13] Topçu İ.B., Isıkdağ B., "Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete", *Journal of Materials Processing Technology*, 204, 34-38 (2008).
- [14] TS EN 12390-3 TS EN 12390-3, (2003), Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [15] Türker P., Erdoğan B., Erdoğan K., "Mermer tozunun çimentonun hidratasyonuna ve mikroyapısına etkileri", *Çimento ve Beton Dünyası*, 7(38), 50-62 (2002).
- [16] L. Oopoczky, Problems relating to grinding technology and quality when grinding composite cements, *Zement Kalk Gips (English Version)* 5 (1993) 141-144.
- [17] Kristulovic P., Kamenic N., Popovic K., "A new approach in evaluation of filler effect in cement", *Cement and Concrete Research*, 24(4): 721-727 (1994).
- [18] Topçu, İ.B., "İnşaat Mühendisliğinde İstatistik", 153s. Eskişehir 2006.