

---

*Araştırma Makalesi / Research Article*

---

## **Mermer Tozu Katkısının Çimento Harcı Donma-Çözünme Özellikleri Üzerine Etkisi**

R. Tuğrul ERDEM<sup>1\*</sup>, A. Uğur ÖZTÜRK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa*

<sup>2</sup>*Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa*

---

### **Özet**

Bu çalışmada, mermerlerin fabrikalarda işlenmesi sırasında açığa çıkan önemli bir çevre sorununa sebep olan mermer tozunun belirli oranlarda karışıma ilave edilmesiyle üretilen çimento harçlarının donma-çözünme çevrimleri sonundaki dayanıklılık özellikleri araştırılmıştır. Mermer tozunun işlenebilirlik üzerindeki etkileri ve üretilen numunelerin yayılma değerleri ile basınç ve eğilme dayanımlarının ölçülmesi hedeflenmiştir. Yapılan deneylerde mermer tozu ağırlıkça % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında karışımda çimento yerine kullanılmıştır. Farklı oranlarda mermer tozu kullanılarak üretilen harç numunelerinin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, numuneler 28 gün kür sonunda iklimlendirme kabineye konarak mermer tozu katkılı elemanların donma-çözünme dirençleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, mermer tozu ilavesinin dayanım üzerindeki olumlu etkisi gözlemlenmiştir. Böylece, mermer işletme tesislerinde işlenen mermer sonucu ortaya çıkan ve çevre kirliliğine neden olan mermer tozunun, üretilen harç ve beton elemanlarda belli oranlarda puzolan malzeme olarak kullanılması ile çevresel kirliliğin önüne geçmek ve doğal kaynakları daha az tüketmek mümkün olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Mermer tozu, çimento harcı, mekanik özellikler, donma-çözünme

---

## **Effect of Marble Powder Additive on Freezing-Thawing Properties of Cement Mortar**

---

### **Abstract**

In this study, strength properties after freezing-thawing cycles of cement mortars that are produced by marble powder coming out during process of marbles in factories and causing a significant environmental problem are investigated. Effects of the marble powder on workability and measurement of the compressive and bending strengths with flowing values of produced samples are purposed. Marble powder has been used instead of cement by 0%, 10%, 20% and 30% ratios in the mix design. Mechanical properties of cement mortars produced with marble powder in different ratios are determined. In addition, freezing-thawing resistances of marble powder samples and control mortar sample are stated in air conditioner after 28 days curing period. Finally, positive effect of marble powder on the strength properties is observed. In this way, it will be possible to prevent environmental pollution caused by marble powder which is processed in marble production facilities and used as pozzolanic material in mortar and concrete production in certain extents and also be possible to consume natural resources lesser.

**Keywords:** Marble powder, cement mortar, mechanical properties, freezing-thawing

---

### **1. Giriş**

Çimento esaslı malzemeler dünya üzerinde en çok kullanılan yapı malzemeleridir. Özellikle beton; inşaat sektöründe sıklıkla kullanılan ve kum, çakıl (veya kırma taş, hafif agrega v.b.), çimento ve suyun belirli oranlarda karıştırılmasından elde edilen geleneksel bir yapı malzemesidir. Çimento esaslı malzemelerin, üretim aşamalarındaki kolay işlenebilir ve yerleştirilebilir olması gibi avantajlarının yanı sıra, uygun üretim prosedürlerine uyularak üretilen malzemelerin servis ömürleri boyunca yüksek

---

\* Sorumlu yazar: tugrul.erdem@cbu.edu.tr

dayanıma sahip olması ve çevresel etkiler karşısında dayanıklılık özellikleri göstermesi diğer önemli özelliklerindedir. Ayrıca, çimento esaslı malzemeleri diğer yapı malzemelerine göre üstün kılan en önemli özelliklerinden biri, istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır.

Çimento esaslı malzemelerin en yaygın kullanılan yapı malzemesi olmasının başlıca nedenleri; ekonomik olması, yüksek basınç dayanımına sahip olması, çok düşük olan çekme dayanımının tasarım ve uygulamada çelik donatı ile dengelenebilmesi, yangına dayanıklı olması, şekil verilebilme kolaylığına sahip olması ve istenen her yerde üretilebilir olması olarak sayılabilir [1].

Nitekim, çimento esaslı yapı malzemeleri servis ömrü boyunca fiziksel, kimyasal veya biyolojik agresif ortamlar ile hasara uğrayabilir [2-4]. Özellikle, bu etkiler betonun performansının zamanla azalmasına, proje ömründen önce işlevini ve dayanımını yitirmesine yol açabilir. Tekrarlı donma-çözünme etkisi, fiziksel etkilerden bir tanesidir. Donma-çözünme çevrimlerinin şiddeti betonun bulunduğu ortama, oluşan sıcaklık farklarına, betonun nem durumuna, suyun donma hızı gibi etkenlere bağlı olarak değişir. Sürekli tekrarlayan donma-çözünme ile birlikte betonda hasar oluşmaya başlar. Betondaki hasar oluşumu betonun çatlaması veya yüzeyde oluşan soyulma ve dökülmeler olarak kendini gösterir. Betonun kesiti boyunca çatlaması durumu çok şiddetli ve uzun süreli donma-çözünme etkisinde olurken, yüzey hasarları çevremizde en çok karşılaşılan durumdur. Beton yollar, kaplamalar veya beton duvarlar büyük oranlarda yüzey hasarlarına uğrayabilirler. Betonun donma-çözünme dayanımı ve yüzeylerde oluşabilecek soyulma, dökülme miktarlarını belirleyebilmek için değişik deney yöntemleri ve değerlendirme teknikleri vardır [5-7]. Betonun taze halde iken don olayının gerçekleşmesi durumunda dayanım kayıpları olabilir. Gerçekte tam priz başlangıcında don olayı tehlikelidir, bu nedenle soğuk havalarda beton dökülürken gerekli önlemler alınmalıdır.

Günümüzde, atık olarak meydana çıkan malzemelerin yeniden kullanımı ve geri dönüşümü konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda atıklardan yeni ürünler elde edilmesi ve/veya bunların katkı maddesi olarak kullanılması amaçlanmaktadır. Önemli çevre sorunları haline gelen, atık araç lastikleri, uçucu küller, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu ve mermer tozu gibi endüstriyel atıkların inşaat sektöründe kullanılması ile olumsuz etkiler azaltılmaktadır. Atıkların yeniden kullanımı veya geri dönüşümü; sınırlı olan doğal kaynakların kullanımını azaltarak, doğanın tahrip edilmesini önlemekte, üretimde verimliliği arttırmakta ve atık depolanması sonucu oluşacak çevre problemlerini en aza indirmektedir [8].

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. Gri boyutlu parça atıklar, inşaat sektöründe yapı elemanı olarak kullanılabilirken, toz atıklar ise doğrudan farklı endüstri dallarında kullanılabilme imkânı bulmaktadır. Son yıllarda mermer atıklarının betonda ince malzeme olarak da kullanıldığı çalışmalarda görülmektedir. Birçok ülkede mermer tozları ve mermer toz atıkları, seramik, çimento, boya, cam ve yapı malzemesi gibi çeşitli sektörlerde değerlendirilmektedir [9-13].

Bu çalışmada, önemli bir çevre sorununa neden olan mermer tozları ve atıklarının çimento esaslı yapı malzemeleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla, mermer tozu atıklarının çimento esaslı yapı malzemelerinin üretiminde kullanılabilirliği ve donma-çözünme direnci açısından katkılarının belirlenmesi için deneysel bir çalışma yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada, karışıma ağırlıkça belirli oranlarda eklenen mermer tozu ile üretilen çimento harçlarının mekanik özellikleri incelenmiştir. Mermer tozunun işlenebilirlik üzerindeki etkileri ve numunelerin yayılma değerleri ile basınç ve eğilme dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca, üretilen numuneler 28 gün kür sonunda iklimlendirme kabineye konarak mermer tozu etkisinde donma-çözünme direnci belirlenmiştir. Deneylerde standart kum kullanılmıştır. Kimyasal içerikleri Tablo 1'de verilen CEM I42.5 tipi çimento ve üç değişik oranda mermer tozu kullanılmıştır. Deneylerdeki malzeme miktarları Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 1.** CEM I 42.5 tip çimento ve mermer tozu malzemelerinin kimyasal içeriği

Kimyasal bileşen	Miktar (%)	
	CEM I 42.5	Mermer tozu
SiO <sub>2</sub>	21.15	27.65
AlO <sub>2</sub>	5.72	1.08
Fe <sub>2</sub> O	3.21	8.35
MgO	2.75	21.87
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	3430	2105
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	3.10	2.85

**Tablo 2.** Malzeme miktarları

Deney Seti	Çimento (gr)	Mermer tozu (gr)	Kum (gr)	Su (gr)
CM	675.0	–	2025.0	340.0
M10	607.5	67.5	2025.0	340.0
M20	540.0	135.0	2025.0	340.0
M30	472.5	202.5	2025.0	340.0

## 2.2. Metot

Laboratuvar koşullarında, 20-22 °C’de yapılan deneysel çalışmada, farklı oranlarda mermer tozları kullanılarak hazırlanan çimento harcı karışımları eğilme ve basınç dayanımı değerlerinin belirlenmesi amacıyla 50x50x50 mm küp ve 40x40x160 mm prizma kalıplara dökülmüştür. Yayılma tablasında, hazırlanan karışımın işlenebilme özelliklerinin belirlenmesi için, yayılma değerleri TS EN 196-1’e uygun şekilde saptanmıştır.

Hazırlanan küp ve prizma numuneler laboratuvar ortamında 24 saat boyunca bekletildikten sonra, kalıplardan çıkartılarak 20-22 °C’de kür havuzuna yerleştirilmişlerdir. Hazırlanan 36’şar adet küp ve prizma örneklerin 12 tanesi 7 ve 12 tanesi 28 günlük eğilme ve basınç değerlerinin bulunması amacıyla kullanılmıştır. Geriye kalan 12’şer adet küp ve prizma örnekler donma-çözünme deneylerinin yapılması için, ±25 °C sıcaklığında istenen devir sayısında çalışan iklimlendirme kabineye konulmuştur. 1 saat süre boyunca -25 °C’ye indirilmiş ve 11 saat boyunca aynı sıcaklıkta tutulmuştur. Daha sonra, 1 saat süre boyunca 25 °C’de bekletilmiştir. 50 ve 100 devir sayılarında çimento harçlarının basınç ve eğilme dayanımları saptanarak donma-çözünme dirençleri belirlenmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Çimento ve çimento esaslı yapı malzemeleri, doğada kolaylıkla bulunabilen ham malzemelerin belirli oranlarda bir araya getirilmesiyle üretilen ve sıklıkla kullanılan yapı malzemeleridir. Çimento esaslı yapı malzemeleri tüm gerekli üretim koşullarının sağlanması durumunda, servis ömürleri boyunca özelliklerini yitirmeden hizmet verebilir. İşlenebilirlik, zamana bağlı olarak dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin gelişmesi en önemli özelliklerindedir. Nitekim bu nihai özelliklerinin iyileştirilmesi çimento esaslı yapı malzemelerinin taze kıvamdaki üretim proseslerine doğrudan bağlıdır. Üretim prosesinde uygun üretim koşullarına uyulmadan üretilen betonların nihai özelliklerinde istenmeyen sonuçlar doğabilir.

Örnek olarak, beton taze ve sertleşmiş durumlarda iken, birbirinden çok farklı ve bazen birbiriyle çelişen özelliklere sahip olması beklenir. Taze betonda aranan en önemli özellik işlenebilme iken, sertleşmiş durumda ise yüksek basınç dayanımıdır. Sertleşmiş betonda aranan diğer önemli özellikler, çekme mukavemeti, donma-çözünme çevrimlerine dayanıklılık, aşınmaya dayanıklılık, zararlı kimyasal etkilere dayanıklılık, yüksek sıcaklığa dayanıklılık gibi durabilite özellikleri ile su geçirmezlik ve ısı iletkenliğidir. Günümüzde atık malzemelerin ya da işletmelerde üretilen yan ürünlerin çimento esaslı malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılması artmıştır. Bu atık ve yan ürün olarak elde edilen malzemelerden mermer tozları genel olarak zeminlerin iyileştirilmesi, derz dolgu malzemesi, sıvı katkı malzemesi ve beton üretiminde kullanılmaktadır. Mermerlerin düzgün geometrik şekil alabilmesi için kesilmesi gerekmektedir. Kesme işlemi sonunda ise mermer tozu ortaya çıkmaktadır. Tesislerde işlenen mermer bloklarının toz ve kırıntı atıkları ile mermer kesimi

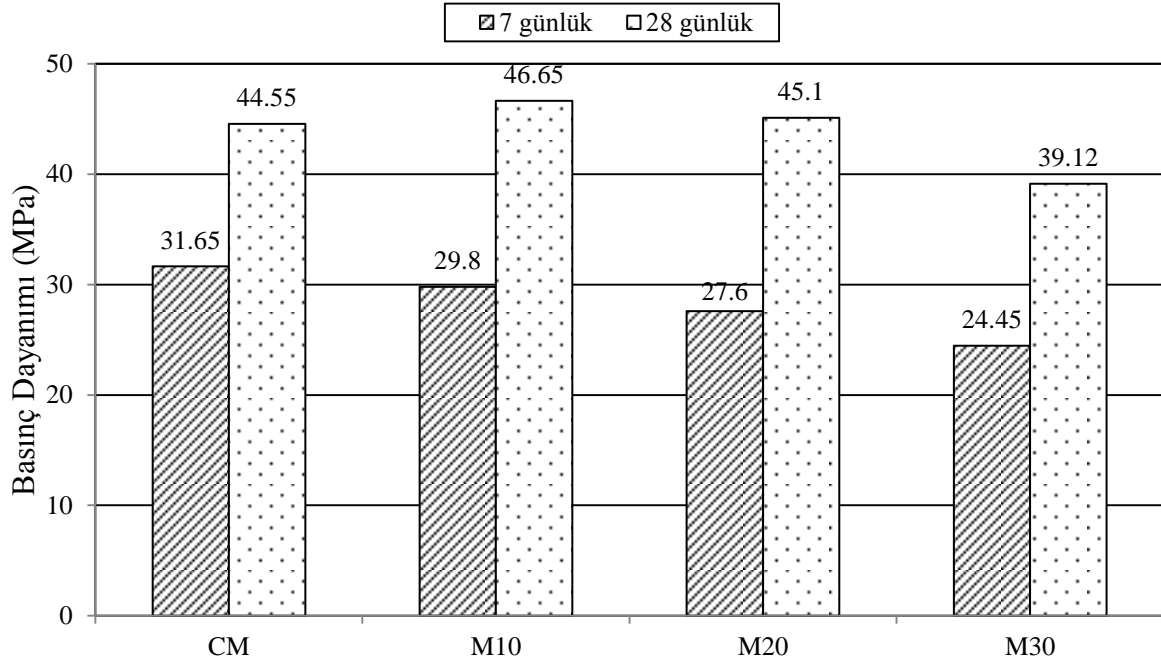
sırasında ortaya çıkan toz ve parçacıklar sonucu çevre kirliliği meydana gelmektedir. Bu nedenle, mermer atık sahaları yaygınlaşmaya başlamıştır.

Yapılan deneyler sonucunda, numunelerin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Yayılma değerleri, mermer tozu ikame oranı arasındaki ilişki, 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları ile donma-çözünme sonrası basınç ve eğilme dayanımları aşağıda verilmiştir.

**Tablo 3.** Yayılma değerleri

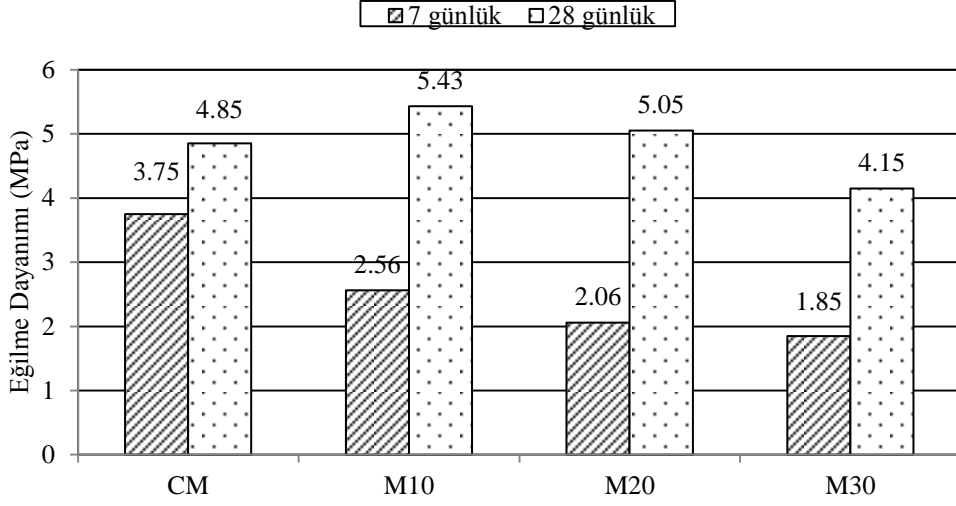
Deney Seti	Yayılma değeri (mm)
CM	132
M10	132
M20	127
M30	120

Mermer tozunun belirli oranlarda çimento yerine kullanılmasıyla elde edilen yayılma değerleri Tablo 3'te görülmektedir. Mermer tozunun miktarı arttıkça, yayılma değerleri azalmaktadır. Çimentoya kıyasla çok daha düşük özgül yüzey alanına sahip mermer tozu işlenebilirliği ters yönde etkilemiştir.

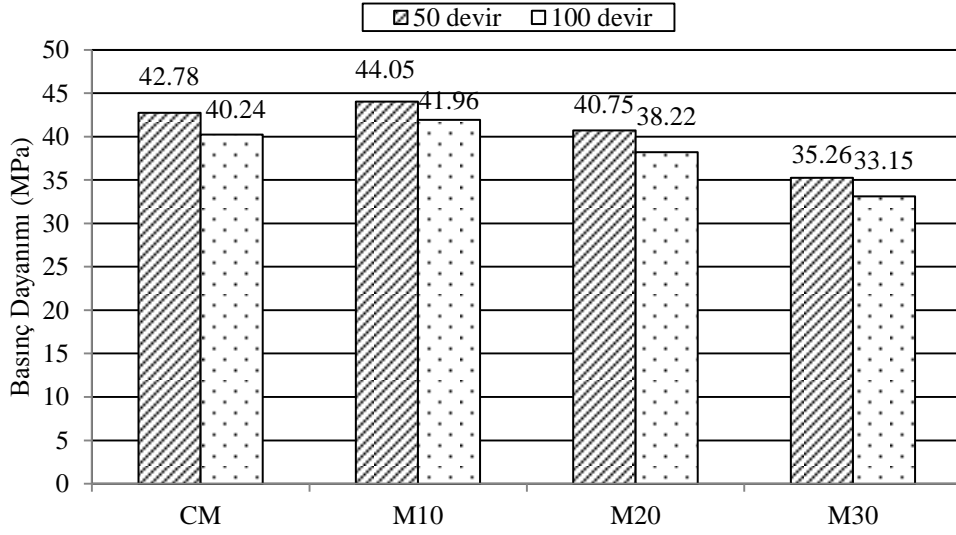


**Şekil 1.** Tüm setlere ait basınç dayanımları

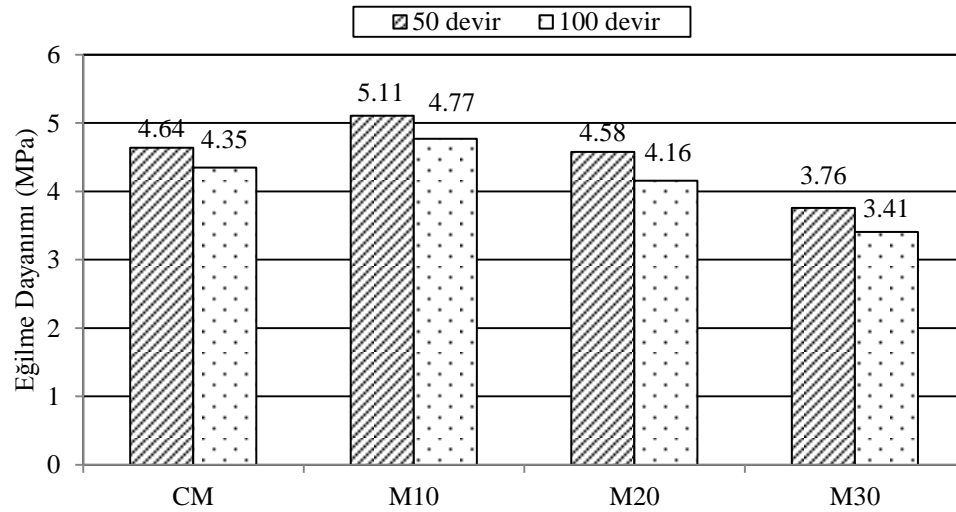
Yapılan deneyler sonucunda mermer tozunun belirli (%10, %20 ve %30) oranlarda çimento yerine kullanılmasıyla birlikte, yalnız %10 mermer katkısı ile üretilen çimento harçlarının dayanımda artışlar görülmüştür. Mermer tozunun dayanım üzerindeki olumlu etkisi, 28 günlük basınç dayanım sonuçlarından açıkça görülmektedir. Bu durum, yüksek silis içeriğine sahip mermer tozlarının çimento ve su arasındaki hidratasyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkan  $\text{Ca(OH)}_2$  ile reaksiyona girerek ekstra puzolanik reaksiyon yapması ve bu reaksiyon sonucu ekstra bağlayıcı fazının oluşması olarak açıklanabilir. Ancak mermer tozları ile üretilen ve daha boşluklu bir yapıya sahip örneklerde yüksek katkı oranı dayanımı düşürmektedir.



Şekil 2. Tüm setlere ait eğilme dayanımları

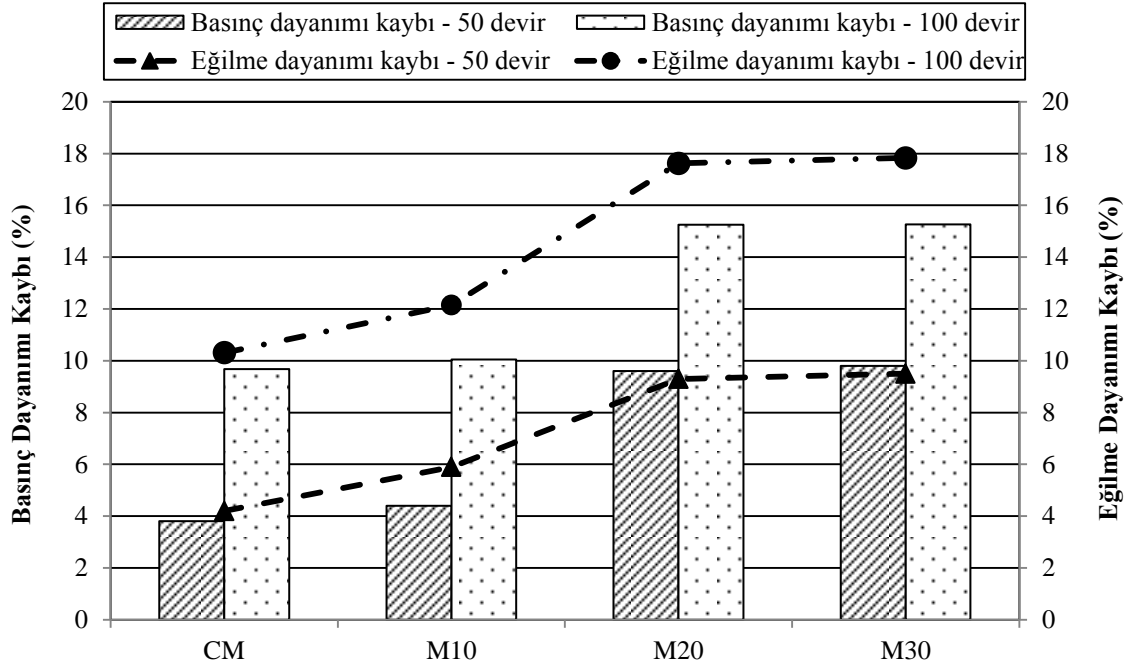


Şekil 3. Donma-çözünme devirleri sonrası tüm setlere ait basınç dayanımları



Şekil 4. Donma-çözünme devirleri sonrası tüm setlere ait eğilme dayanımları

Diğer yandan, donma-çözünme direncinin belirlenmesi amacıyla 50 ve 100 çevrim donma-çözünme testine tabi tutulan örneklerin dayanım değerleri incelenmiştir. Mermer tozu katılmış örnekler daha boşluklu yapıları ve hidrasyon süreçlerinin daha yavaş gelişmesinden dolayı bünyelerinde daha yüksek miktarda reaksiyona girmemiş karışım suyu bulunduracakları aşikârdır. Yapılan deneysel çalışmalardan açıkça görülebileceği gibi donma-çözünme devirleri sonunda daha fazla dayanım kayıp yüzdeleri mermer tozu katkılı örneklerde görülmektedir. Nitekim % 10 mermer tozu katkılı örnekler sahip oldukları yüksek 28 günlük dayanım değerleri göz önüne alındığında donma-çözünme çevrimleri sonucu daha yüksek dayanım değerlerine sahiptir. Şekil 5'te görüldüğü üzere, yapılan donma-çözünme devirleri sonunda mermer tozu katkılı numunelerde daha fazla basınç ve eğilme dayanım kayıpları meydana gelmektedir.



Şekil 5. Donma-çözünme devirleri sonrası tüm setlere ait basınç ve eğilme dayanım kayıpları

#### 4. Sonuç

Yapılan çalışmada mermer tozunun işlenebilirlik üzerindeki etkileri ve numunelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu sebeple mermerlerin işlendiği zaman içerisinde açığa çıkan mermer tozu kullanılarak üretilen çimento harçları üzerinde deneyler yapılmıştır. Üretilen numunelerin yayılma değerleri, 7 ve 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları ile donma-çözünme çevrimleri karşısında mermer tozu ikamesi ile üretilen çimento esaslı malzemelerin durabilite özellikleri belirlenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda mermer tozunun belirli (%10, %20 ve %30) oranlarda çimento yerine kullanılmasıyla birlikte yalnız %10 mermer katkısı ile üretilen çimento harçlarının dayanımda artışlar görülmüştür, nitekim işlenebilirlik mermer tozu kullanımı ile azalmıştır. Buna ek olarak, 50 ve 100 çevrim donma-çözünme testine tabi tutulan örneklerinde, daha fazla dayanım kayıp yüzdeleri mermer tozu katkılı örneklerde görülmektedir.

Mermer tozunun endüstriyel atık olarak depolanması oldukça zordur. Bu atıkların geri dönüşümünün sağlanıp harç ve beton malzemesi olarak kullanılması, çevre kirliliğinin önlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca, eski çağlardan beri kullanılan mermerin geri dönüşüm özelliğinden faydalanarak, mühendislik alanında yapı malzemesi olarak kabul görmesi sağlanabilecektir. Yapılan çalışma, optimum oranlarda mermer tozunun çimento esaslı malzemelerde kullanılması ile dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin belli bir miktar iyileştirilebileceği görülmüştür.

## Kaynaklar

1. Bentz D.P. 2008. A Review of Early-Age Properties of Cement-Based Materials, Cement and Concrete Research, 38 (2): 196-204.
2. Binici H., Kaplan H., Yılmaz S. 2007. Influence of Marble and Limestone Dusts As Additives on Some Mechanical Properties of Concrete, Scientific Research and Essay, 2 (9): 372-379.
3. Gürü M., Akyüz Y., Akın E. 2005. Mermer Tozu/Polyester Kompozitlerde Dolgu Oranının Mekanik Özelliklere Etkileri, Politeknik Dergisi, 8 (3): 271-274.
4. Kristulovic P., Kamenic N., Popovic K. 1994. A New Approach in Evaluation of Filler Effect in Cement, Cement and Concrete Research, 24 (4): 721-727.
5. Sun W., Zhang Y.M., Yan H.D., Mu R. 1999. Damage and Damage Resistance of High Strength Concrete Under The Action of Load and Freeze-Thaw Cycles, Cement and Concrete Research, 29 (9): 1519-1523.
6. Ünal O., Uygunoğlu T. 2004. Afyon Mermer Tozu ve Soma Uçucu Kül Katkılı Betonların Donma-Çözülme Özellikleri ve Ekonomik Değerlendirilmesi, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 83-88, İzmir.
7. Ünal O., Uygunoğlu T. 2003. Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu, 147-157, Afyon.
8. Beycioğlu A., Başyigit C., Subaşı S. 2008. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı İle Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerin Azaltılması, Çevre Sorunlar Sempozyumu, 1386-1394, Kocaeli.
9. Terzi S., Karasahin M. 2003. Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı, İMO Teknik Dergi, Yazı 193: 2903-2922.
10. Karasahin M., Terzi S. 2007. Evaluation of Marble Dust in The Mixture of Asphaltic Concrete, Construction and Building Materials, 21 (3): 616-620.
11. Gündüz L., Şentürk A. 1996. Mermer Atıklarının Maden İşletmelerinde Stabilizasyon Amaçlı Değerlendirilebilirliği, I. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 125-138, İstanbul.
12. Aruntaş Y.H., Dayı M., Tekin, İ., Birgül R., Şimşek, O. 2007. Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi, 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, 173-180, Ankara.
13. Türker P., Erdoğan B., Erdoğan K. 2002. Mermer Tozunun Çimentonun Hidratasyonuna ve Mikro Yapısına Etkileri, Çimento ve Beton Dünyası, 7 (38): 50-62.