



# Alternatif puzolan kalsine marn içeren sürdürülebilir katkılı çimentolar

**Yasemin AKGÜN\***

Ordu University, Department of Construction, Ordu

[yakgun@odu.edu.tr](mailto:yakgun@odu.edu.tr) ORCID: 0000-0002-4178-5233, Tel: (452) 2334865 (4163)

Geliş: 04.12.2018, Kabul Tarihi: 15.02.2019

## Öz

Çimento klinkerine yer değiştirme malzemesi olarak belirli oranlarda ilave edilen puzolanlar, azalan klinker miktarı sayesinde, ürün performansından taviz vermeden daha az enerji tüketimi ve daha az CO<sub>2</sub> emisyonu anlamına gelmektedir. Doğal marnlar, uygun sıcaklıkta kalsine edilirse alternatif bir puzolana dönüşebilmektedir. Bu çalışmada, diğer puzolanlara göre doğada daha bol miktarda bulunabilen marn, 600°C ve 800°C' de kalsine edilmiş olup, puzolanik aktivitesi belirlenmiştir. Kalsine edilen marn, çimento ağırlığının %0, %10, %30 ve %50'si oranlarında Portland çimentosu ile yer değiştirilerek katkılı çimentolar elde edilmiştir. Elde edilen katkılı çimentolar ve bu çimentolarla üretilen harç numuneler üzerinde, priz süreleri, normal kıvam, hacim genleşmesi, eğilme-basınç dayanımı gibi deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre; kalsine doğal marn katkılı çimentoların puzolanik aktivite ve çimento özelliklerinin, TS 25 ve TS EN 197-1 limit değerleri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan, optimum sıcaklıkla (800°C) kalsine edilen marn katkılı çimento içeren harçların, eğilme-basınç dayanımları, %50 yer değiştirme oranına kadar iyileşmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kalsine marn, Katkılı Çimento, Harç, Puzolan

\* Yazışmaların yapılacağı yazar

## Giriş

Dünyada, en yaygın kullanılan yapı malzemesi olan çimentonun, gelecekte de inşaat sektörü için önemli bir potansiyeli bulunmaktadır. Ancak çimento, yoğun enerji tüketiminden ve insan kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık %5-8'inden sorumlu olması nedeniyle, yenilikçi ve sürdürülebilir çalışmalara ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaca yönelik olarak, çimento klinkerine yer değiştirme malzemesi olarak belirli oranlarda ilave edilen puzolanların kullanımı, sürdürülebilirlik çalışmalarındaki en kolay çözüm olmaktadır. Bu çözüm, azalan klinker miktarı sayesinde daha az enerji tüketimi ve daha az CO<sub>2</sub> emisyonu anlamına gelmektedir. Aynı zamanda, puzolan katkılı çimento kullanımıyla üretilen harç/betonların performansları da önemli ölçüde iyileşmektedir.

Çimentonun sürdürülebilirliğini sağlamak için uygun malzeme arayışları devam etmektedir. Genel olarak, birçok doğal ve sentetik katkı malzemesi (fırın cürufları, uçucu küller gibi), klinker miktarının azaltılması ve performansların iyileştirilmesi için kullanılmaktadır. Ancak, gelecekte, çimentoya olan artan talebe bağlı olarak piyasadaki katkı malzemelerinin talebi karşılayamaması ya da yüksek miktarda katkı malzemesi kullanma ihtiyacı söz konusu olabilecektir. Dolayısıyla, bu talebin karşılanabilmesi için, mevcut malzemelere alternatif olabilecek ve özellikleri tanımlı katkı malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Günümüz inşaat endüstrisinde, kalsine killer üzerindeki çalışmalar, bu alternatif arayışlardan birisidir. Kil, doğada büyük miktarda bulunabilen bir malzemedir. Katkılı çimento üretimi için killer (metakaolinler gibi), kalsinasyon sonrasında etkili bir yer değiştirme malzemesi olabilmektedir (Mikhailenko vd. 2018; Andrade vd. 2018). Üstelik literatürde, uçucu kül-kalker (De Weerd ve Justnes 2008; 2009; De Weerd vd. 2010; 2011a; 2011b), metakaolin-kalker (Antoni vd. 2012) gibi çoklu katkı kullanımı üzerinde yapılmış çalışmalar da mevcuttur. Bu çalışmalarda beklenenler, geleneksel çimento reaksiyonları sonucu oluşan bağlayıcıların yanı sıra ilave bağlayıcı bileşikler elde ederek,

dayanım ve dayanıklılık yönünden performans iyileştirmesi sağlamaktır.

Marn, doğada kil ve kalkerin bir arada bulunduğu bir oluşum olup, %35-85 kil ve %15-65 kalkerden meydana gelmektedir. Marn, aslında karakteri kil olan ancak kalker tarafından kirlenmiş bir malzemedir. Bu özelliği sebebi ile, kilin geleneksel kullanımlarında tercih edilmez. Ancak, kalsine edilen marn, kalsine kil yapısı gereği, puzolanik özellik gösterebilmektedir (Justnes vd. 2011; Danner vd. 2012).

Uygun sıcaklıkta kalsine edilen kil ve kalker içeren doğal marn, kalsinasyon sonrasında hem kalsine kil hem de kalsine kalker içerdiği için yukarıda açıklanan beklentileri karşılayan bir yapıda olabilmektedir. Diğer taraftan, kalsine marn, klinker miktarı azaltmak amaçlı kullanılan diğer puzolanlardan daha fazla miktarda doğal olarak ve kolay elde edilebilmektedir. Bu nedenle, kalsine edilmiş marn, sürdürülebilir katkı çimento üretimlerinde kullanılabilir, yüksek potansiyelli ve keşfedilmeye açık, alternatif çimento katkı malzemesi kaynağıdır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'deki potansiyel mevcut yerel doğal marnın, alternatif bir puzolan olarak, katkı çimento endüstrisinde optimum değerlerle aktif kullanımını sağlayabilmek için bilimsel veri oluşturmaktır. Bu amaç doğrultusunda, öncelikle Sinop/Erfelek'ten elde edilen yerel doğal marnın, termogravimetrik (TGA) analizler sonucunda karar verilen farklı kalsinasyon sıcaklıklarında (600°C ve 800°C) kalsine edilerek, puzolanik aktiviteleri belirlenmiştir. Ardından, kalsine marn, farklı (%10, %30 ve %50) oranlarda Portland çimentosu ile yer değiştirilerek elde edilen katkı çimento ve bu çimentolarla üretilen harç numuneler üzerinde priz, kıvam, genleşme, dayanım gibi çimento özellikleri tespit edilmiştir. Deney sonuçları, kendi aralarında ve portland çimentosu ile karşılaştırılmıştır.

## Materyal ve Yöntem

### Materyal

Çalışmada, çimento ile yer değiştirme malzemesi olarak, Sinop ili Erfelek ilçesinden temin edilen kalsine edilmiş doğal marn (M) kullanılmıştır. Doğal marn numunesi, bilyalı değirmende marn kayaçlarından öğütülerek elde edilmiştir. Puzolanik aktivite testlerinde, TS 25 (TSE, 2008)'e uygun CEN standard kumu ve sönmüş kireç ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) kullanılmıştır. Çimento deneylerinde ise, Ünye Çimento Fabrikası'ndan temin edilen TS EN 197-1 (TSE, 2012)'e uygun CEM I 42.5R Portland çimentosu (PÇ) kullanılmıştır. Katkılı çimentolarla üretilen harç numunelerinde, marnın sebep olduğu olumsuz etkinin telafisi için süper akışkanlaştırıcı, karışım suyuna ilave edilerek kullanılmıştır. Tüm numunelerin üretiminde, zararlı olabilecek organik madde ve mineral tuzları içermeyen su kullanılmıştır.

### Yöntem

Puzolan olarak kullanılan malzemelerin özgül yüzeyleri (Blaine), özgül ağırlıkları, kimyasal bileşimleri ve mineralojik yapıları, puzolanik aktivite üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çalışmada kullanılan doğal marnın puzolanik aktivitesine etki eden bu parametrelerin belirlenmesinde, aşağıdaki yöntemler kullanılmıştır. Öncelikle doğal marnın özgül ağırlığı TS EN 197-1'e göre, özgül yüzeyi (Blaine) ise TS EN 196-6 (TSE, 2010)'ya göre belirlenmiştir. Doğal marnın kimyasal bileşimini belirlemek için X-Rays Fluorescence Spectrometer (XRF) analizi yapılmıştır. Doğal marnın mineralojik analizi polarizan mikroskop ile belirlenmiştir.

### Puzolanik aktivite deneyleri ve numunelerin hazırlanışı

Puzolanlar, kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya bağlayıcılık değeri çok az olan, fakat ince taneli durumdayken, sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özelliği kazanan silisli veya silikalı ve alüminalı malzemeler olarak tanımlanırlar. Puzolanik aktivite ise, puzolanın içindeki aktif silisin çimento hidrasyon atığı  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ve su ile reaksiyona girebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Bu reaksiyon ile puzolan sayesinde yeni kalsiyum hidrat (CSH) jellerinin oluşmasına bağlı dayanım artışı meydana gelmektedir. (Erdoğan, 2013). Diğer bir deyişle, bu reaksiyon sonunda portlandit ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) miktarı azalır, CSH miktarı artar (Massazza, 1993).

Doğal marnın puzolanik aktivitelerini belirleme yöntemi, TS 25' e göre, kireç-puzolan harçların basınç dayanımları ile belirlenen mekanik deney yöntemidir. Puzolanik aktivite üzerine gerçekleştirilen deneylerde, üç adet numune hazırlamak için gereken malzeme miktarı Tablo 1'de verilmektedir. Hazırlanan numunelere ait kalıpların üstü, buharlaşmayı önleyecek şekilde cam plaka ile kapatılmıştır. Numuneler 24 saat ( $23 \pm 2$ )°C'lik oda sıcaklığında bekletildikten sonra kalıplar sökülmeden ( $55 \pm 2$ ) °C sıcaklıktaki bir etüv içinde 6 gün daha bekletilmiştir. Numuneler etüvden çıkartılarak oda sıcaklığına gelinceye kadar soğumaya bırakılmış ve TS EN 196-1 (TSE, 2016)'ya göre basınç dayanımı tayini deneyine tabi tutulmuştur.

**Tablo 1.** Puzolanik aktivite deneyleri için malzeme miktarları

Malzemeler	TS 25	Miktarlar
Sönmüş kireç ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )	150g	150g
Puzolan	$2 \times 150 \times (\text{puzolanın öz. ağı.} / \text{Ca}(\text{OH})_2 \text{'in öz. ağı. (g)})$	$2 \times 150 \times (2.7/2.15) = 376.74\text{g}$
Standard kum	1350g	1350g
Su	$0.5 \times (150 + \text{puzolan})$ (g)	$0.5 \times (150 + 376.74) = 263.372\text{g}$

### Doğal Marnın Kalsinasyonu

Puzolanik aktiviteye sahip olmayan killer, 500°C den 800°C'ye değişen sıcaklıklarda yandıktan sonra aktif hale gelirler. Bu amaçla

kil, saf ise; 600°C-700°C'ye kadar, marn ihtiva ediyorsa; 800°C'ye kadar ısıtılır. Malzemelerde orijinal kristal yapının tamamen bozulması istendiği zaman, yanma sıcaklığı,

kullanılan maddeye göre dikkatle seçilmelidir. Aynı zamanda, silisin ve alüminyum oksitlerinin birbirleriyle reaksiyona girip termodinamik olarak daha kararlı bileşikler (tridimit-müllit) oluşturmaları ve dolayısıyla kirece karşı çok az ya da hiç reaksiyon gösteremez hale gelmeleri engellenmelidir (Daştan, 2005). Bu gibi bilgiler ışığında, kalsinasyon sıcaklığının belirlenebilmesi için marnın TGA'sı yapılmıştır.

#### ***Kalsine marn katkılı çimento numunelerin hazırlanışı ve deneyleri***

Farklı sıcaklıklarda (600°C ve 800°C) kalsine edilen marn ve farklı (%0, %10, %30 ve %50) oranlarda portland çimentosu ile yer değiştirilerek elde edilen katkılı çimento numuneleri üzerinde, normal kıvam suyu ihtiyacı, priz süreleri ve hacim sabitliği deneyleri, TS EN 196-3 (TSE, 2017) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri PÇ, M610, M630, M650, M810, M830 ve M850 etiket isimleriyle toplam 7 seri olmak üzere üretilmişlerdir.

#### ***Kalsine marn katkılı çimento içeren harçların hazırlanışı ve eğilme-basınç dayanımı deneyleri***

Harç numuneler, sıcaklığı 20±2°C ve rölatif nemi %60±5 olan laboratuvar şartlarında, 40x40x160mm prizmatik numuneler olarak üretilmiştir. Marnın kalsinasyon sıcaklıkları, 600°C ve 800°C'dir. Marnın Portland çimentosu ile yer değiştirme oranları ise %0, %10, %30 ve %50'dir. Deney numuneleri PÇ, MH610, MH630, MH650, MH810, MH830 ve MH850 etiket isimleriyle toplam 7 seridir. Harç karışımlarının su/bağlayıcı oranı 0.5, Kum/bağlayıcı oranı 3.0 ve Süper akışkanlaştırıcı oranları ise %3, %4 ve %5'tir. Karışımların akıcılık miktarı, yaklaşık 170±20mm'dir. Üretimlerinden 24 saat sonra kalıplarından çıkartılan numuneler, sıcaklığı 21±1°C olan kür tankında 28 gün bekletilmişlerdir. Numunelerin eğilme ve basınç dayanımı deneyleri, TS EN 196-1'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

## **Bulgular ve Tartışma**

### **Portland çimentosu, marn ve katkılı çimentoların bazı özellikleri**

Portland çimentosu, marn ve katkılı çimentoların bazı özellikleri Tablo 2, 3, 4 ve 5'te verilmektedir. Marnın özgül ağırlığı, Portland çimentosundan %13.46 daha düşüktür. Marnın özgül yüzeyi, Portland çimentosundan %44.24 daha yüksektir. Bu durum, marnın mineral yapısı, boşluk durumu ve kırılgenliğine bağlıdır. Portland çimentosu ve marnın 45 µm elekten kümülatif geçen yüzdesi, sırasıyla %67.11 ve %78.64'dir. Katkılı çimentoların özgül ağırlığı, marn oranının artmasıyla azalmaktadır. Marn içeren katkılı çimentoların inceliği ise marn oranının artmasıyla yükselmektedir.

Çalışmada dikkate alınan kalsine marn katkılı çimentoların normal kıvam suyu ihtiyaçları, içeriklerindeki katkı miktarıyla doğru orantılı olarak artmıştır. Kalsine marn içeren katkılı çimentolarda, Portland çimento hidratlarının daha fazla yüzey alanı bulması ve karışım suyunun bir kısmının zamanla kalsine marn tarafından emilmesi sebebiyle, priz süreleri Portland çimentosuna oranla bir miktar daha kısalmıştır. Katkı oranı arttıkça hacim genişmesi değerleri artmıştır. İncelenen kalsine marn katkılı çimentoların priz süreleri ve hacim sabitliği değerlerindeki değişim sonuçları, beklenen bir durum olmakla beraber TS EN 197-1'deki limit değerler ile uyumludur.

Doğal marnın TGA grafiği Şekil 1'de verilmektedir. Şekil 1'den görüldüğü gibi, marn malzemesinde bozulmamış kalsiyum karbonatların büyük bir bölümünde, ayrışmanın olduğu eğrinin oldukça düzgün dağılımlı sonuçlandığı görülmektedir. Bunun da; puzolanik aktiviteye ve dolayısıyla da harç numunelerin dayanım değerlerine olumlu etki yapacağı kanaati oluşmaktadır.

**Tablo 2.** Portland çimentosu özellikleri (PÇ)

Kimyasal kompozisyon	(Ağırlıkça %)	Fiziksel ve mekanik özellikler			
SiO <sub>2</sub>	19.53	Özgül ağırlık, (g/cm <sup>3</sup> )	3.12		
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.33	Priz başlangıcı, (saat)	2.50		
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.56	Priz sonu, (saat)	4.15		
CaO	62.26	Hacim genişmesi, mm	2.00		
MgO	0.99	Özgül yüzey (Blaine) (cm <sup>2</sup> /g)	3210		
SO <sub>3</sub>	3.02	Basınç dayanımları	2 gün	7 gün	28 gün
Kızdırma kaybı	3.06	(MPa)	32.30	44.60	53.00
		Elek üstü	45µm	90 µm	200 µm
		(%)	32.89	12.15	2.73

**Table 3.** Doğal marnın özellikleri

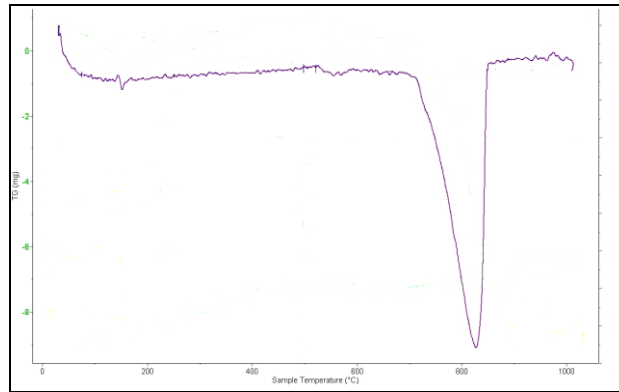
Kimyasal kompozisyon	(Ağırlıkça .%)	Fiziksel özellikler	
SiO <sub>2</sub>	56.63	Özgül ağırlık, (g/cm <sup>3</sup> )	2.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.34	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4630
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.46	Elek üstü (%)	
CaO	12.91	45µm	21.36
MgO	2.83	90 µm	7.80
Kızdırma kaybı	7.03	200 µm	1.57

**Table 4.** Marn katkılı çimentoların özellikleri

Fiziksel özellikler	PC	M10	M30	M50
Özgül yüzey (cm <sup>2</sup> /g) (Blaine inceliği)	3210	3305	3610	3990
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	3.12	2.95	2.82	2.76

**Table 5.** Marn katkılı çimentoların normal kıvam suyu, priz süreleri ve hacim genişmesi

Çimento	Su/bağlayıcı oranı	İlk Priz (dk)	Son Priz (dk)	Hacim Genişmesi (mm)
Standard limitleri	-	>45	>75	≤10
PÇ	0.30	170	255	2.00
M610	0.36	150	243	3.00
M630	0.39	160	251	4.50
M650	0.43	162	254	5.00
M810	0.38	153	238	3.50
M830	0.41	155	245	4.00
M850	0.45	165	252	5.50

**Şekil 1.** Doğal marn için termogravimetrik analiz (TGA) grafiği

**Kalsine Marnın Puzolanik Aktivitesi**

Kalsine marnın puzolanik aktivite değerleri, Tablo 6'da verilmektedir. Tablo 6'ya göre, TS 25'de, puzolanlar için uygunluk kriterlerinden biri, kireç-doğal puzolan karışımı ile hazırlanan numunelerin 7 günlük basınç dayanımının en az 4 MPa olmasıdır. Farklı sıcaklıklarda kalsine edilen marn için gerçekleştirilen deneylerde, ortalama basınç dayanımı değerleri 0°C için 0 MPa (kalsine edilmeyen marn numunesi, neredeyse hiç yük almadan kırılmıştır), 600°C için 3.80 MPa ve 800°C için 8.10 MPa'dır. TS 25'te diğer bir uygunluk kriteri, puzolanın  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  toplam içerikleri en az %70 olmalıdır. Bu toplam değer, doğal marn için %76.43'tür. Aynı zamanda, puzolanın

özgül yüzeyi,  $3000\text{cm}^2/\text{g}$ 'den daha fazla olmalıdır. Bu çalışmadaki marn için Blaine özgül yüzeyi,  $4630\text{ cm}^2/\text{g}$  olarak tespit edilmiştir.

Doğal marnın özgül yüzeyinin Portland çimentosundan daha ince olmasının puzolanik aktivite değerini yükselttiği düşünülmektedir. Kalsinasyon sıcaklığı, özgül yüzey ve  $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$  içeriğinin bir etkisi olarak  $800^\circ\text{C}$ 'de kalsine edilen marnın puzolanik aktivitesi, TS 25'te istenilen değer iki katından daha fazladır. Bu artış,  $800^\circ\text{C}$ 'de karbonatların ayrışması ile açıklanabilmektedir. Ayrışma, yaklaşık  $600^\circ\text{C}$ 'de başlar ve  $800^\circ\text{C}$ 'de optimum değerini alır. Bunlar, çalışmada kullanılan marnın, puzolan olarak kullanılabilirlik potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

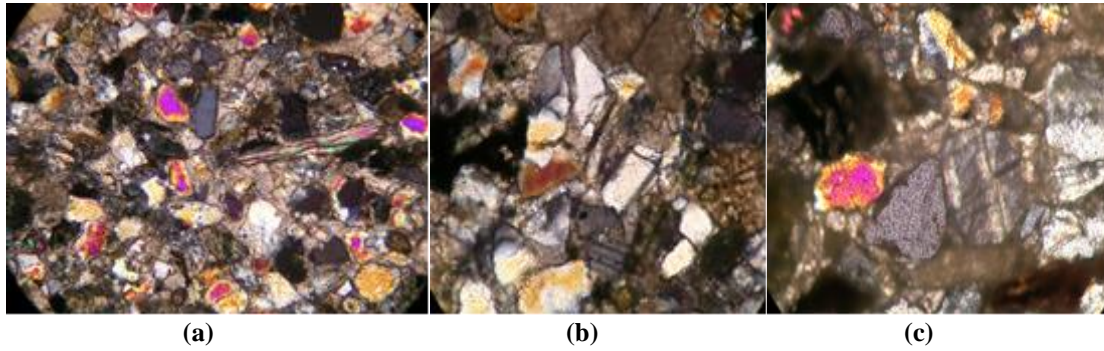
**Table 6.** Doğal marnın puzolanik aktivitesi

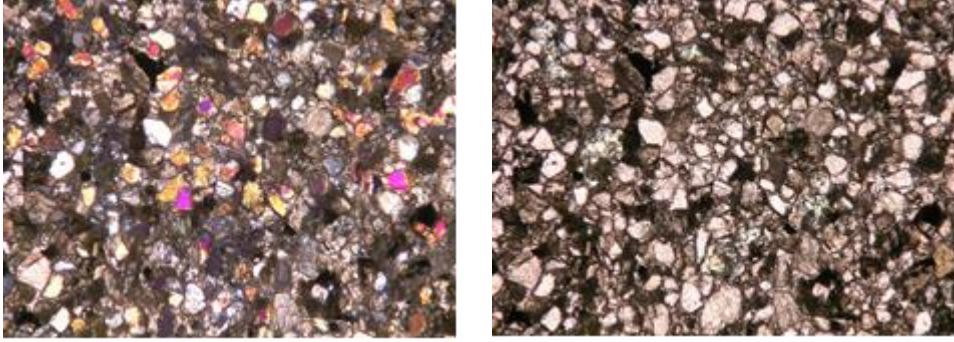
TS 25 limit değerleri	Doğal marn
Kireç-puzolan karışımı, 7 günlük basınç dayanımı > 4MPa	8.10MPa
$\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ ağırlıkça içerik >%70	%76.43
Özgül yüzey alanı > $3000\text{cm}^2/\text{g}$	$4630\text{ cm}^2/\text{g}$

**Marnın mineralojik yapısı**

Marn numunesi üzerinde gerçekleştirilen mineralojik analizlerden elde edilen sonuçlara göre, kayacın doğal çimentosu kalsittir. Kuvars ( $\text{SiO}_2$ ): %12. Feldspat (K, Na) ( $\text{AlSi}_3\text{O}_8$ ): %4. Plajiyoklas: Na ( $\text{AlSi}_3\text{O}_8$ )-Ca ( $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ): %46 kayaçta en çok bulunan mineraldir. Piroksen

(Mg, Fe, Al) (Ca, Na)  $\text{Si}_2\text{O}_6$ : %12. Biotit (Mg, Fe, Al, Ti) $_2$  ( $\text{Si}_6\text{Al}_3\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ ): %2. Manyetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ): %3. Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ): %17. Yabancı kayaç kırıntıları (kireçtaşı, kuvarsit ve bazalt): %4. Marn kayaç numunesinin Polarizan mikroskoptan alınan görüntüleri Şekil 2 ve 3'te verilmektedir.

Şekil 2. Doğal marnın Polarizan mikroskop fotoğrafları (a) ( $1\text{cm}=100\mu$ ), (b and c) ( $1\text{cm}=300\mu$ )



Şekil 3. Doğal marnın geniş alan çift ve tek nikolde çekilmiş mikro fotoğrafları (1cm=80µ)

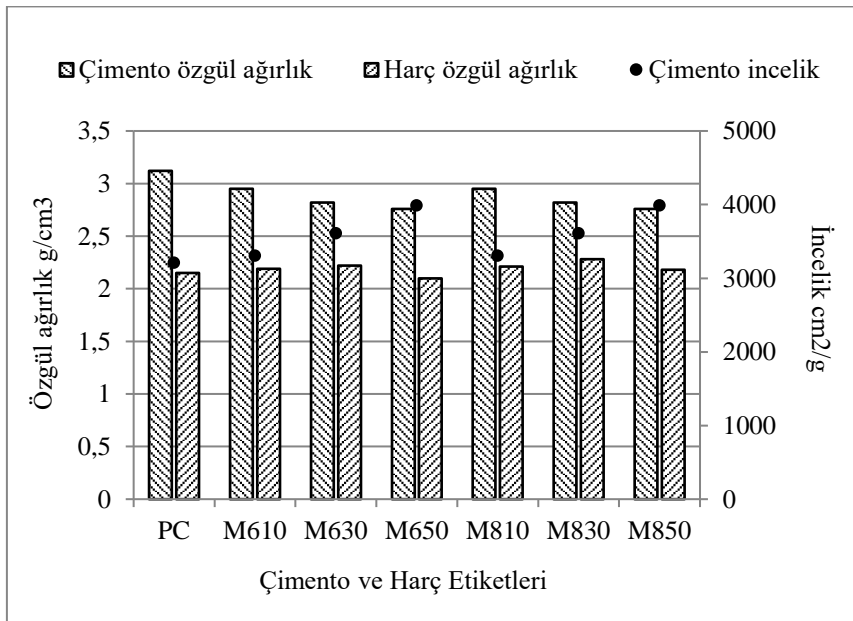
### Kalsine marn katkılı çimento içeren harçların eğilme-basınç dayanımları

Kalsine marn katkılı çimento içeren harçların 28 günlük ortalama prizmatik eğilme-basınç dayanımları ve özgül ağırlıkları, Tablo 7’de verilmektedir. Katkılı çimentolar/harçların özgül ağırlık ve özgül yüzey ilişkileri, Şekil 4’te verilmektedir. Harçların özgül ağırlık ile ortalama eğilme dayanımlarının değişimleri, Şekil 5’te, ortalama basınç dayanımlarının

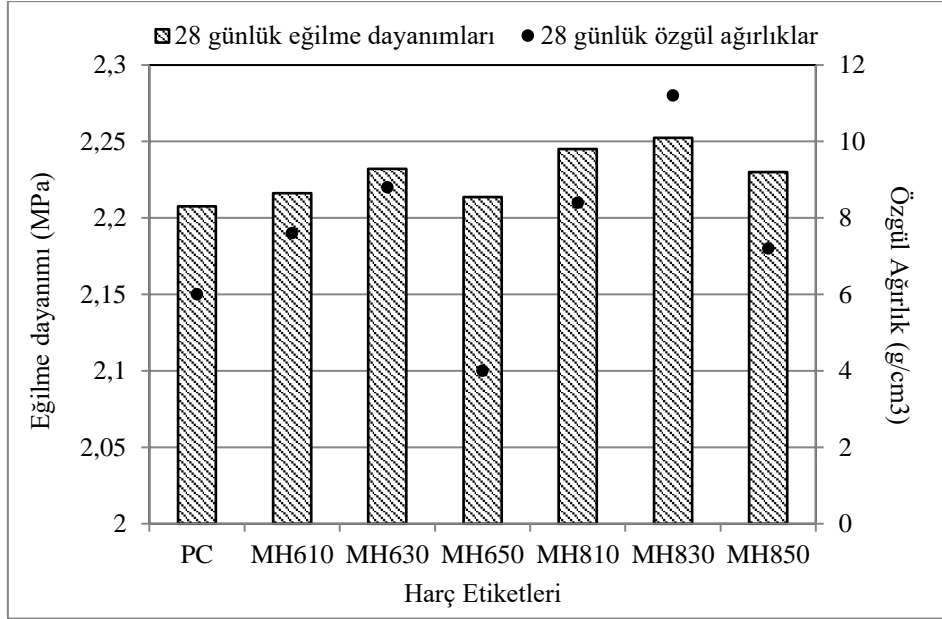
değişimleri ise Şekil 6’da verilmektedir. Tablo 7’ye göre, M610, M630, M650 etiketli harçların eğilme-basınç dayanımları PÇ ile yaklaşık benzerdir. Fakat M810, M830, M850 etiketli harçların eğilme-basınç dayanımları, PÇ’den daha yüksektir. Bu durum, kalsinasyon sıcaklığı ile ilişkilidir. Değişim grafikleri incelendiğinde, kalsine marn katkılı çimento içeren harçların eğilme-basınç dayanımları, puzolanik aktivitenin artmasıyla %50 yer değiştirme oranına kadar iyileşmektedir.

**Table 7.** Harçların özgül ağırlıkları ve eğilme-basınç dayanımları

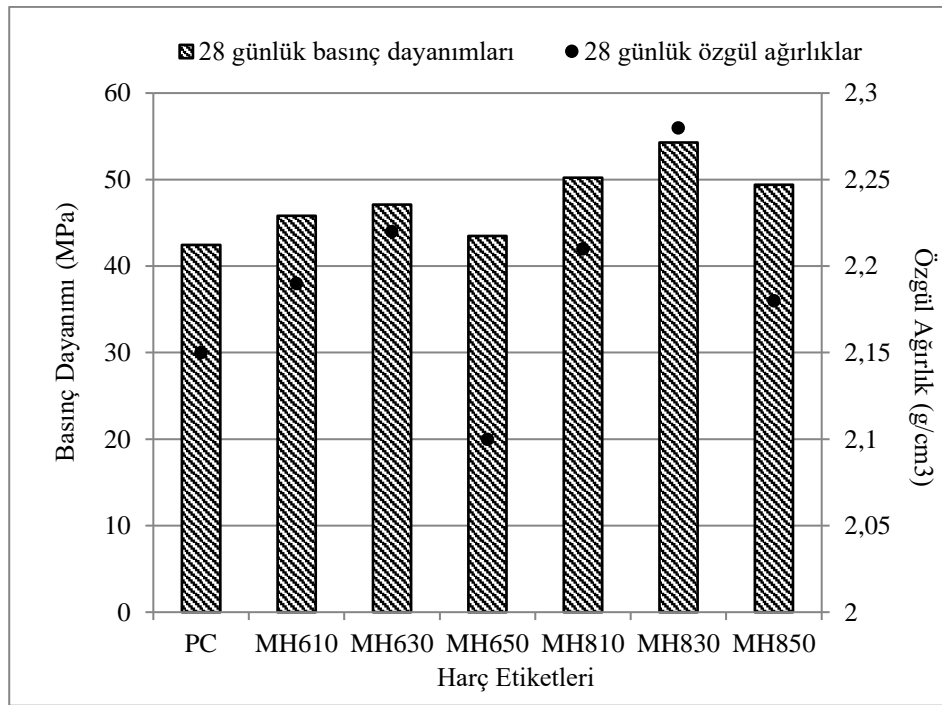
Harçlar	PC	MH610	MH630	MH650	MH810	MH830	MH850
Özgül ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	2.15	2.19	2.22	2.10	2.21	2.28	2.18
Eğilme Dayanımı (MPa)	8.30	8.65	9.28	8.55	9.80	10.10	9.20
Basınç Dayanımı (MPa)	42.44	45.80	47.10	43.50	50.20	54.30	49.40



Şekil 4. Katkılı çimento / harç özgül ağırlık ve özgül yüzey ilişkileri



Şekil 5. Harçların özgül ağırlıklar ile ortalama eğilme dayanımlarının değişimleri



Şekil 6. Harçların özgül ağırlıklar ile ortalama basınç dayanımlarının değişimleri

## Sonuçlar

Çimento üretimlerinde yer değiştirme malzemesi kullanarak klinker miktarını azaltmak, enerji kaynaklarını etkin kullanarak, ürün performansından ödün vermeden, enerji

tasarruflu, ekonomik ve çevre dostu çözümler sağlar.

Çalışmada üretilen katkılı çimentoların normal kıvam su ihtiyacı, priz süreleri ve hacim



genleşme değerleri, TS EN 197-1'deki limit değerler ile uyumludur.

Optimum sıcaklıkla (800°C) kalsine edilen marn katkılı çimento içeren harçların eğilme-basınç dayanımları ise %50 yer değiştirme oranına kadar iyileşmektedir.

Çalışmada incelenen kalsine marn, yüksek silis-alümin içeriği, mineralojik yapısı, priz süreleri, hacim sabitliği, düşük özgül ağırlığı, yüksek özgül yüzeye bağlı filler etkisi, puzolanik aktivitesi, harç dayanımları ve diğer puzolanlara göre daha bol miktarda doğada bulunuşu gibi olumlu özellikleri nedeniyle

## Kaynaklar

- Andradea, D., Rêgoa, J., Moraisb, P., Rojas, M., (2018). Chemical and mechanical characterization of ternary cement pastes containing metakaolin and nanosilica, *Construction and Building Materials*, 15, 918–26.
- Antoni, M., Rossen, J., Martirena, F., and Scrivener, K., (2012). Cement substitution by a combination of metakaoline and limestone, *Cement and Concrete Research* 42 (12), 1579–1589.
- Danner, T., Østnor T., and Justnes, H., (2012). Calcined marl as pozzolana for sustainable development of the cement and concrete industry, In *Proceedings of the 12th Canmet/ACI International Conference on Recent Advances in Concrete Technology and Sustainability Issues*, SP-289, 357–365.
- Daştan, A., (2005). Pişmiş killerin puzolanik özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık, İstanbul.
- De Weerd, K., and Justnes, H., (2008). Microstructure of binder from the pozzolanic reaction between lime and siliceous fly ash, and the effect of limestone addition, In *Proceedings of 1st International Conference on Microstructure Related Durability of Cementitious Composites*, Nanjing, China, Rilem Pro 61, 107–116.
- De Weerd, K., and Justnes, H., (2009). Synergic reactions in triple blended cements. In *Proceedings of the 11th NCB International*

sürdürülebilir katkılı çimento üretimlerinde alternatif puzolan olarak kullanılabilir bir potansiyele sahiptir.

## Teşekkür

Bu çalışmayı, AR-1366 no'lu proje ile destekleyen Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje (BAP) birimine, malzeme analizlerindeki desteklerinden dolayı ise MTA Genel Müdürlüğü, Votorantim Çimento, Karadeniz Teknik Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'ne teşekkürlerimi sunarım.

Seminar on Cement and Building Materials, New Delhi, India, pp. 257–261.

- De Weerd, K., vd., (2010). Fly ash–limestone ternary composite cements: synergy effect at 28 days, *Nordic Concrete Research* 2, (42), 51–70.
- De Weerd, K., vd., (2011a). Synergy between fly ash and limestone powder in ternary cements. *Cement and Concrete Composites* 33(1), 30–38.
- De Weerd, K., vd., (2011b). Hydration mechanism of ternary Portland cements containing limestone powder and fly ash. *Cement and Concrete Research* 41(3), 279–291.
- Erdoğan, T. Y., (2013). Beton. ODTÜ Yayını. Ankara.
- Justnes H, Østnor, T., and Danner, T., (2011). Calcined marl as effective pozzolana. In *Proceedings of the International Rilem Conference on Advances in Construction Materials through Science and Engineering*, Hong Kong, China, Rilem Pro 79, pp. 750–758.
- Massazza, F., (1993). Pozzolanic Cement, *Cement and Concrete Composites*, 15, 185-214.
- Mikhailenko, P., Cassagnabère, F., Emam, A., and Lachemi M., (2018). Influence of physico-chemical characteristics on the carbonation of cement paste at high replacement rates of metakaolin, *Construction and Building Materials*, 158, 164–172.
- TS 25, (2008) Doğal puzolan (tras) - Çimento ve betonda kullanılan - tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 197-1 (2012) Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

- TS 196-6 (2010) Çimento deney yöntemleri -  
Bölüm 6: İncelik tayini, Türk Standartları  
Enstitüsü, Ankara
- TS 196-3 (2017) Çimento deney yöntemleri-  
Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini. Türk  
Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 196-1 (2016) Çimento deney metotları -  
Bölüm 1: Dayanım tayini. Türk Standartları  
Enstitüsü, Ankara

## **Sustainable blended cements containing alternative pozzolan calcined marl**

### **Extended abstract**

*The use of pozzolans which are added as replacement material to cement clinker in certain proportions means less energy consumption and less CO<sub>2</sub> emissions without compromising product performance due to the reduced amount of clinker.*

*The searches of replacement material for sustainability of cement are ongoing. In general, many natural and synthetic additives (such as furnace slag, fly ash) are used to reduce the amount of clinker and to improve performance of cement. However, depending on the increasing demand for cement in the future, additives in the market may not be able to meet the demand or additives may be used at high amounts. Therefore, in order to meet this demand, there is a need to alternate additive materials.*

*Marl is a combination of 35-85% clay and 15-65% limestone in nature. In fact, marl is clay character, but it is contaminated by limestone. Natural marls can be converted to an alternative pozzolan if calcined at the appropriate temperature. The natural marl containing calcined clay and limestone at the appropriate temperature can produce synergic reactions during hydration since it contains both calcined clay and calcined limestone after calcination. On the other hand, marl can be obtained naturally and as easy in a greater amount than other pozzolans. For this reason, calcined marl is an alternative source of cement additive that can be used in the production of sustainable blended cement with high potential and open to exploration.*

*The aim of this study is to create scientific data for using as an alternative pozzolan of local natural marl in the cement industry. Therefore, in this study, the natural marl obtained from Sinop/Erfelek was calcined at different calcination temperatures (600°C and 800°C) and its pozzolanic activity was determined. Blended cements were obtained where calcined marl replaces cement by weight at ratios of 0, 10, 30 and 50 wt.%. Tests such as setting times, normal consistency, volume expansion, flexural-compressive strength were performed on obtained blended cements and*

*mortar samples produced with these cements. The test results were compared with each other and with portland cement.*

*According to the results obtained from the tests, pozzolanic activity and cement properties of blended cements containing calcined natural marl are comply with limit values of TS 25 and TS EN 197-1. On the other hand, flexural-compressive strengths of mortars produced by blended cement containing calcined marl with optimum temperature (800°C) were improved up to replacement ratio 50%.*

**Keywords:** *Calcined marl, Blended Cement, Mortar, Pozzolan*