

ATIK MERMER TOZU İKAMELİ ÇİMENTOLARIN BAZI ÖZELLİKLERİNE SODYUM SÜLFAT ÇÖZELTİSİNİN ETKİSİ

Emre SANCAK*, Şükrü ÖZKAN

Özet

Bu deneysel çalışmada, Isparta ili ve çevresindeki mermer fabrikalarında işlenen mermerlerden atık olarak ortaya çıkan mermer tozlarının, %10-20-30 oranlarında çimento klinkeri ile ikame edildiği ve ayrıca pomza ve uçucu külün sabit olarak % 10 oranında kullanıldığı katkılı çimentoların sülfat dirençleri ve bazı çimento özellikleri, normal Portland çimento klinkeri kullanılarak üretilen çimento harç çubuklarıyla karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir.

Bu amaçla temin edilen mermer tozu, çimento üretimi için çeşitli aşamalardan geçirilerek çimentonun ana malzemeleri olan ve Isparta Göltaş Çimento Fabrikası'ndan temin edilen klinker ve alçıtaşıyla çeşitli oranlarda harmanlanmıştır. Çimentoların performansları çimento hamuru, harç olmak üzere iki farklı aşamada incelenmiştir. Hazırlanan harç numuneler 28 gün suda kürlendikten sonra 90 gün boyunca üç farklı orandaki sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılmışlar. Bu işlem tamamlandıktan sonra harç çubuklarında basınç ve eğilme dayanımı değerleri belirlenmiştir.

Sonuç olarak, çimento deneylerinde kullanılan atık mermer tozunun çimento klinkerinin % 10'u yerine kullanımı ile üretilen çimentoların, standart çimento testlerinde, bütün çözelti derişimlerinde referans (Portland çimento harç çubuğu) çimento örneklerine en yakın dayanım değerlerini verdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık mermer tozu, pomza, uçucu kül, klinker, katkılı çimento, sülfat direnci, sodyum sülfat.

IMPACT OF SODIUM SULPHATE SOLUTION ON SOME PROPERTIES OF CEMENT PRODUCED BY REPLACING WITH WASTE MARBLE POWDER

Abstract

In this experimental study, the blended cements produced by replacing with waste marble powder obtained from Isparta city at the percentages of 10, 20 and 30 and in addition to this, pumice and fly ash at a constant ratio of 10 % instead of clinker are compared with mortar bars produced by using normal Portland cement clinker. In this comparison, the sulfate resistance and some other cement properties are examined.

The waste marble powder which undergone various procedures are blended with clinker obtained from Isparta Goltas Cement Factory and gypsum under different proportions, which are main cement compounds.

Prepared mortar specimens cured in the water for 28 days and then they were exposed to three different concentrations of sodium sulphate solution for 90 days. After this process completed, the compressive and flexural strength values were determined on the mortar bars.

Consequently, cements that produced by using waste marble powder of 10 % instead of cement clinker gave the closest results in strength values in all solution concentrations when compared with reference (Portland cement mortar bar) samples in standards cement tests.

Keywords: Waste Marble Powder, Pumice, Fly ash, Clinker, Blended Cement, Sulfate Resistant, Sodium Sulfate.

* Süleyman Demirel Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Isparta
E-posta: emresancak@sdu.edu.tr

1. GİRİŞ

Çimentoların özelliklerini olumlu yönde etkilemesi beklenen ikame malzemeler hem ekonomik hem de teknolojik olarak ele alındığında çimento sektöründe meydana getireceği yenilikler bugün ve gelecekte önemli bir role sahip olacaklardır. Betonun kalitesi çimentoların özelliklerine doğrudan veya dolaylı bağlıdır. Katkılar serbest halde katı veya çözelti olarak çimento yapısında kalabilir, yüzey ile etkileşime girebilir ve çimento hamuru veya çimento bileşenleri ile birleşebilir. Etkileşim tipi ve boyutu; su ihtiyacı, hidrasyon ısı, oluşan hidrasyon ürünlerinin kompozisyonu, priz süresi, mikro yapı ve durabilite gibi betonun fizikokimyasal özelliklerini etkileyebilir (Aydın vd., 2005)

Günümüzde mermer talebin artması sonucu hem ülkemizde hem de dünyada mermer işletmelerinin de sayısı artmıştır. Bu üretim artışının sonucunda, tesislerde işlenen mermer bloklarının toz ve kırıntı atıkları, tesislerin atık sahalarına veya tesislerin yakınından geçen akarsulara dökülmektedir. Bunun doğal bir sonucu olarak da, özellikle mermer işletme tesislerinin yoğunlaştığı bölgelerde, kamuoyu gözü önünde çevrecilik ve tabii güzelliği bozması sebebiyle olumsuz bir tepki oluşturan mermer atık sahalarının yaygınlaşmasına neden olmuştur (Cengiz ve Kulaksız, 1996; Şentürk vd, 1996).

Mermer İşletmelerinde açığa çıkan ve değerlendirilemeyen mermer havuz çökelti malzemesi, yapısal olarak filler malzemesine benzemektedir. Bu açıdan, havuz çökeltileri ve diğer kırıntı mermerlerin çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi ekonomi ve çevresel kirliliği önlemesi açısından önemli yarar sağlayabilir. Mermer atıkları ekolojik dengeyi bozmayan, hava kirliliğine neden olmayan, iklim değişikliklerini etkilemeyen, su kirliliği oluşturmayan radyoaktif olmayan inşaat sektöründe değerlendirilebilen bir yan üründür (Ünal ve Kibici, 2001).

Kavas (2003), geleneksel yöntemlerle kalsiyum alümina (CA) çimentosu üretimi yapılırken kalsiyum kaynağı olarak kullanılan kireç hammaddesi yerine mermer atıkları ve alüminyum kaynağı olarak kullanılan boksit cevheri yerine de alüminyum hidroksit kullanarak üretim şemasını değiştirmiştir. Bu sayede ocaktan ham madde üretme, nakliye, kırma, öğütme ve eleme gibi süreçler kullanılan ham maddelerin daha önce bir takım süreçlerden geçmiş ham maddeler olması nedeni ile doğrudan CA çimentosu üretimine başlanabilmiş ve büyük oranda enerji tasarrufu sağlamıştır.

Türker v.d. (2003), mermer tozlarının çimentonun hidrasyonu ve mikro yapısı üzerine etkilerinin incelendiği çalışmada % 5 - % 30 mermer katkılı üretilen dört adet çimentonun 2 ve 28 gündeki SEM görüntüleri ile basınç dayanımları, priz süreleri ve normal kıvamlarını incelemiştir. Sonuç olarak mermerli çimentolardaki reaksiyon ürünlerinin kalsit kristallerinin çevresinde birikmeye meyilli olduğu ve CH morfolojisinin portland çimentosundan tamamen farklı olduğu belirtilmiştir. 2, 7 ve 28 günde yapılan testlerde çimentodaki mermer artışı ile dayanımın azaldığını ve dayanım kaybının erken yaşlarda daha az olduğu açıklanmıştır. Ayrıca çimentodaki mermer miktarının artışının priz sürelerini artırdığı belirtilmiştir.

Erdem ve Öztürk (2012), mermerlerin fabrikalarda işlenmesi sırasında açığa çıkan önemli mermer tozunu % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında karışıma çimento yerine kullanılarak üretilen çimento harçlarının donma-çözünme çevrimleri sonundaki dayanıklılık özelliklerini araştırmışlardır. Karışımlara %10, %20 ve %30 oranlarında ilave edilen numunelerde 28. Gün sonunda sırasıyla, 46.65, 45.1 ve 39.12 MPa basınç dayanımı değerleri elde etmişlerdir.

İkinci bir husus da çimentolar ve bunlardan üretilen betonların sülfatlı ortamlara maruz kalmalarıdır. Sülfat yüklü ortamlar betonun dayanıklılığını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Doğada sülfat temel olarak yeraltı sularında, deniz suyunda ve toprakta bulunur. Bu kaynaklardan gelen sülfat iyonlarının beton içerisine nüfuz etmesi “sülfat hücumu” olarak tanımlanır. Bu penetrasyon, betonun bozulmasına yol açar ve genleşme, dayanım kaybı, pullanma ve çatlakların oluşmasıyla sonuçlanır (Kutlu ve Demiriz, 2007).

Mermer toz atıklarının değişken oranlarda; %10, 20 ve 30 oranlarında çimento klinkeriyle ikame edilerek, sabit oranda % 10 pomza ve uçucu kül ile birlikte katkılı çimento üretiminde kullanıldığı harç çubuğu örneklerine, sodyum sülfat etkisinin araştırılmadığı görülmüştür. Bu nedenle, bu çalışmada, atık mermer atık tozlarının, sabit oranlarda pomza ve uçucu kül içeren katkılı çimentolardan elde edilen harç çubuklarının üç farklı konsantrasyonda sodyum sülfat ortamlarındaki davranışları araştırılmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

Çalışmanın bu bölümünde deneysel araştırma çalışmasında kullanılan malzemeler ve uygulanan deney yöntemleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

2.1. Materyal

Çalışmada Isparta Göltaş Çimento Fabrikası’ndan temin edilen klinker kullanılmıştır. Ayrıca, sabit olarak % 10 oranında klinker ile yer değiştirilerek Çayırhan termik santralinden temin edilen F sınıfı Uçucu kül ve % 10 oranında Isparta ISBAŞ Bimsblok işletmesinden temin edilen pomza öğütülerek kullanılmıştır. MC1, MC2 ve MC3 numaralı mermer tozu ikameli çimentolar üretiminde Isparta Sav Kasabasında bulunan METAMAR mermer işleme tesisinde atık havuzunda toplanılan mermer toz (MT) atıkları kullanılmıştır Klinker, uçucu kül, pomza ve mermer tozunun kimyasal özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Klinker, uçucu kül, pomza ve mermer tozunun kimyasal özellikleri

Bileşenler (%)	Klinker	UK	TS EN 197-1	Pomza	Mermer Tozu
SiO ₂ (S)	21.01	53.23		60.50	4.67
Al ₂ O ₃ (A)	4.61	19.34	> 70	17.15	---
Fe ₂ O ₃ (F)	4.24	10.21		3.38	0.03
CaO	65.96	4.42		4.68	51.8
MgO	2.44	0.88	< 5	2.09	0.4
SO ₃	1.93	0.13	< 5	0.16	---
Na ₂ O	---	0.55		4.30	---
TiO ₂	---	---		0.41	---
K ₂ O	---	2.85		4.54	---
Cl	0.033	0,005		---	---
P ₂ O ₅	---	0.08		---	---
Kızdırma kaybı	1.18	8.30	< 10	< 2.64	41.16

Kum: Harç örneklerinin hazırlanmasında TS EN 196-1’e uygun SET Trakya Çimento Sanayi tarafından üretilen % 94,05 oranında SiO₂, % 0,57 kızdırma kaybı olan CEN referans kumu kullanılmıştır.

Karışım suyu: Afyonkarahisar ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Afyonkarahisar İçme Kullanma Suları Analiz Raporu (Halk Sağ. Lab, 2008)

Kimyasal Parametreler	Metod-Cihaz	Mevzuat Değeri	Analiz Sonuçları	Analiz Yorumu
Amonyum	Fotometrik	Maks.	<0.04	Uygun
Alüminyum	Fotometrik	Maks. 200 mg./lt	74	Uygun
Demir	Fotometrik	Maks. 200	55	Uygun
Tat	Organoleptik	Tüketicilerce	Normal	Uygun
Koku	Organoleptik	Tüketicilerce	Normal	Uygun
Bulanıklık (NTU)	Türbidimetrik	Maks. 0.5	0.1	Uygun
İletkenlik	Elektrikmetrik	Maks. 2500	333	Uygun
pH	Elektrikmetrik	> 6.5 ve <9.5	6.92	Uygun

2.2. Metot

2.2.1. Deney numunelerinin hazırlanması

Numuneler hazırlanırken karışım içerisinde %10, %20 ve %30 oranlarında Isparta çevresinden temin edilen atık MT ve ayrıca sabit oranda olmak üzere % 10 pomza ve % 10 uçucu kül de çimento ile ikame edilerek, her bir karışım için 3 adet 40x40x160 mm boyutlarında prizma örnekleri hazırlanmıştır. MT ikameli çimentolarda kullanılan karışım oranları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Mermer ikameli çimentoların üretimi için kullanılan karışım oranları

PUZOLAN TÜRÜ (%)	ÖRNEK KODU			
	RC	MC1	MC2	MC3
KLİNKER	96	66	56	46
ALÇITAŞI	4	4	4	4
POMZA		10	10	10
MERMER	-	10	20	30
UÇUCU KÜL	-	10	10	10

Her bir atık MT ikame oranı için karışımda kullanılacak su miktarı ASTM C230 standardında belirtilen akma çapına göre akma tablası deneyi gerçekleştirilerek belirlenmiştir (Anonim, 2004).

2.2.2. Çimento basınç ve eğilme dayanımı tayini

Çimento basınç ve eğilme dayanımı deneyleri, suda kürlenmiş numuneler için 7., 28. ve 56. günlerde her bir grup için 40x40x160 mm boyutlarında hazırlanan 3'er adet numune üzerinde,

sodyum sülfat çözeltilerinde ise 90 gün sonunda çözeltilerden çıkartılan numuneler içinse 3 farklı çözeltinin (1500mg/l, 9000 mg/l, 13000 mg/l) her biri için hazırlanmış olan (her bir harç grubundan 9 adet üretilen numunelerin 3 tanesi az etkili, 3 tanesi orta etkili, 3 tanesi de çok etkili çözeltilerde) numunelerin deneyi yapılarak gerçekleştirilmiştir. Basınç ve eğilme dayanımı deneyleri TS EN 196-1 ve ASTM C109 standartlarına uygun olarak yapılmıştır (Anonim, 2002 ve 2004).

Basınç dayanımı R_c , aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Burada;

R_c : Basınç dayanımı (N/mm²),

F_c : Kırılmadaki en büyük yük (N),

1600 : Numune alanıdır (mm²).

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

3.1. Çimentonun Kimyasal Bileşimine- Fiziksel Özelliklerine MT Kullanımının Etkisi

Pomza, MT ve uçucu külün klinker ile ikameli olarak kullanılmasıyla elde edilen çimentoların kimyasal kompozisyonları ve özgül ağırlıkları Tablo 4'te verilmiştir. Üretilen çimentoların kimyasal özelliklerine ait sayısal veriler TS EN 197-1'de belirtilen $SO_3 < 4.0$ ve $Cl < 0.1$ sınır değerlerine uygun olduğundan katkılı çimentoların üretiminde MT atığı ikamesinin araştırılmasında yarar vardır.

Tablo 4. Referans ve MT içeren çimentolarda özgül ağırlık ve özgül yüzey değerleri

Bileşen (%)	RC	Örnek Kodu		
		MC1	MC2	MC3
SiO ₂	19.207	23,71	22,086	20,58
Al ₂ O ₃	4.236	5,67	5,33	5,08
Fe ₂ O ₃	3.444	5,67	5,22	4,86
CaO	58.572	54,58	55,18	55,56
MgO	3.009	4,23	3,46	2,7
SO ₃	3.181	2,57	2,41	2,3
S.CaO	0.894	0,67	0,54	0,4
Cl	-0.001	0,006	0,007	0,007
CaCO ₃	-0.329	13,54	23,44	33,43
Kızdırma Kaybı	0,18	0,52	0,8	1,11
Özgül Ağırlık (g/cm³)	2.86	2.66	2.55	2.50
Blaine özgül yüzey (cm²/gr)	2733	3696	3993	3999

Tablo 4'e göre pomza, mermer ve uçucu kül ile üretilen çimentolarda, MT kullanım oranının artışına bağlı olarak özgül yüzey değerlerinin artış eğilimi sergilediği görülmüştür. Bunun sebebi mermer işleme/kesim işlemi sırasında atık olarak ortaya çıkan tozların çok ince olmasından kaynaklanmaktadır (Ünal ve Kibici, 2001; Kavas, 2003).

Bunun tam tersine, MT'nun klinker yerine kullanımının oransal artışına bağlı olarak çimentoların özgül ağırlıkları azalmaktadır. Sadece klinker ve alçı taşı (% 96 klinker, % 4 alçı taşı) ile üretilen RC kodlu çimentonun, MT ikameli çimentoların özgül ağırlıklarından yüksek olduğu görülmektedir.

3.2. Çimentonun Priz Başlama ve Bitiş Sürelerine MT Atığı Kullanımının Etkisi

Kullanılan MT atığının priz başlama ve bitiş sürelerine olan etkilerine ilişkin bulgular Tablo 5'de sunulmuştur. Tablo 5'e göre MT ikameli bütün çimento türlerinde atık malzeme katkı oranına bağlı olarak ikame oranının artışı ile birlikte priz başlangıç sürelerinde bir kısalma eğilimi vardır.

Bunun nedenlerinden birisi Tablo 4'den de görüleceği gibi MT içeriğinin artışına bağlı olarak özgül yüzey değerlerinin de artmasıdır. Ayrıca RC'ye nazaran daha fazla C₃S içeriğine bağlı olarak daha kısa priz başlangıcı ve bitiş süreleri gözlenmektedir(Erdoğan, 2003).

Üretilen çimentolara sabit bir kıvam kazandırmak için (ASTM C 109'a göre %110 ± 5 akma sağlanmalı.) gerekli olan su ihtiyacı değerleri Tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 5. Çimentoların priz başlangıcı, sonu ve hacim genişmesi deney sonuçları

Özellik	Örnek kodu			
	RC	MC1	MC2	MC3
Priz Başlama (saat:dakika)	3:40	2:32	2:23	2:18
Priz Bitiş (saat:dakika)	4:05	2:57	2:48	2:44
Hacim genişmesi (mm)	1	1.5	1	1
Su Miktarı (%)	24.86	29.71	31.43	32

Priz bitiş süreleri için de genel olarak benzer bir eğilim sergilenmektedir. Diğer taraftan %20 oranında MT içeren harçlarda çimentonun inceliğinin fazla olmasına rağmen priz başlangıcının RC'ye nazaran geciktiği belirtilmiştir(CSA A 3000). En kısa priz başlangıç süresi % 30 mermer katkılı MC3 çimentolarında 2:18 (saat:dakika) olarak kaydedilmiştir.

Tablo 5' de görüldüğü üzere hacim genleşmeleri TS EN 197-1'de verilen sınır değerinin (<10 mm.) çok altında bulunduğundan standarda uygundur. Bu sebeple çimentoda ikame edilerek kullanılan MT atıklarının katkılı çimento üretiminde; hacim genleşmesi bakımından olumsuz bir etkisi olmadığı söylenebilir.

3.3.Basınç ve Eğilme Dayanımı

Çimento numuneleri üzerinde 2.,7. ve 28. günlük su kürleri tamamlandıktan sonra aynı gün hava kurusu hale getirildikten sonra gerçekleştirilen eğilme ve basınç dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar Tablo 6'da verilmiştir.

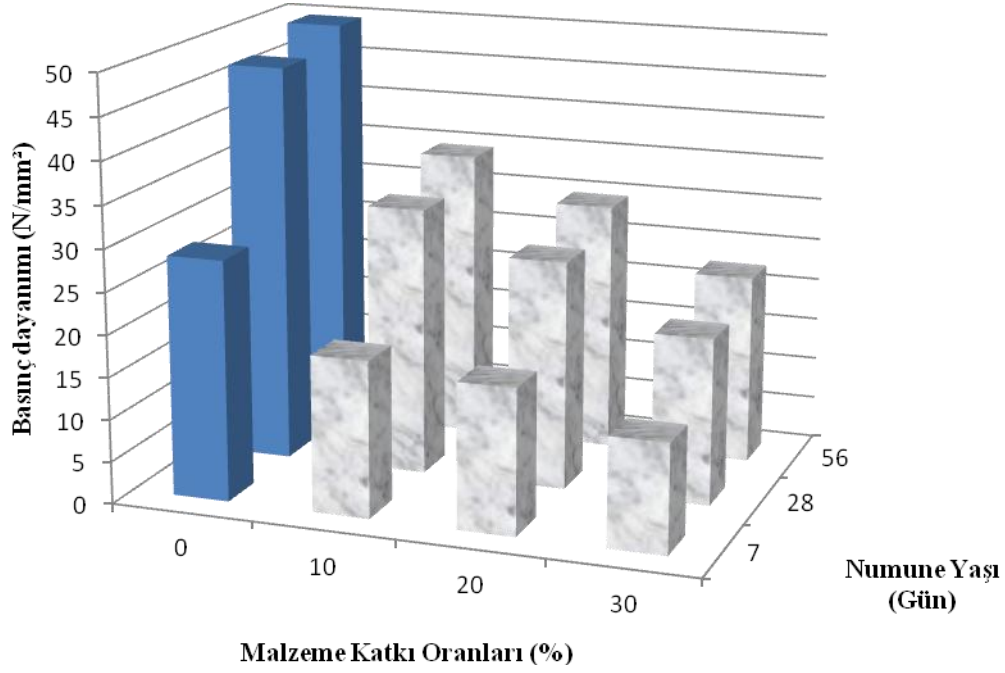
Tablo 6. Çimento harç çubuklarına ait 7, 28 ve 56 günlük eğilme ve basınç dayanımı değerleri

SUDA KÜRLENEN ÇİMENTO HARÇ KALIPLARI					
Deney	Numune Yaşı	RC	MC1	MC2	MC3
Basınç	7	28.5	18.5	17.2	12.9
Dayanımı	28	47.4	31.8	27.1	19.75
(N/mm²)	56	49.7	34.55	29.7	22.5
Eğilme	7	4.31	3.1	3.08	2.35
Dayanımı	28	7.56	4.8	3.9	2.95
(N/mm²)	56	8.59	5.6	5.32	4.79

7, 28 ve 56 gün suda kürlenmiş MT ikameli numunelerden basınç dayanımı deneyi sonucunda elde edilen verilere göre;

- 7, 28 ve 56. günlerde referans (RC) numunelerden yüksek bir değere ulaşamamıştır.

Suda kürlenmiş numunelerin farklı yaşlarda ve ikame oranlarında sahip olduğu basınç dayanımı değerleri Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Suda Kürlenmiş Mermerli çimento numunelerinin şahit numune ile kıyaslamalı malzeme katkı oranı-numune yaşı-basınç dayanımı ilişkisi

- Basınç dayanımlarında da eğilme dayanımında olduğu gibi, kullanılan malzemelerin katkı oranındaki artışla beraber bir azalmanın olduğu görülmüştür. Bu azalma eğilimi, atık ikame malzemesinin artışına bağlı olarak çimentonun dayanım kazanmasından sorumlu olan C₃S ve C₂S bileşenlerinin kütle içeriğindeki miktarının azalmasından kaynaklanmış olabilir (Erdoğan, 2003, Awol, 2011).

3.2. Sülfatın Dayanımlara Etkisi

3.2.1. Sülfatın Eğilme Dayanımına Etkisi

Na₂SO₄ çözeltilerinde 90 gün boyunca bekletilen harç çubuğu numunelerde yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleri sonucunda elde edilen değerler Tablo 7. de verilmiştir.

Eğilme dayanımı deney sonuçlarını 90 günlük üç farklı orandaki Na₂SO₄ çözeltilerinde bekletilen numunelerin eğilme dayanımı deney sonuçlarını irdelediğimizde;

- Genel bir değerlendirme yapıldığında RC numuneleri her durumda MT ikameli numunelere nazaran daha üstün bir performans sergilemiştir. Bunun nedeni RC harçlarının üretiminde

kullanılan çimentoların Bogue formülü yardımı ile hesaplanan C_3S içeriğinin % 50 olması ve sülfat etkisine karşı dayanımı düşüren C_3A içeriğinin MT içeren harçların üretiminde kullanılan çimentolarda (%3-5 arasında olması önerilen)%5 düzeyinden fazla bulunması olabilir(Rodríguez-Camacho and Uribe-Afif 2002).

Tablo 7. 90 gün sodyum sülfat (Na_2SO_4) çözeltisinde bekletilen çimento harç çubuklarının eğilme ve basınç dayanımı değerleri

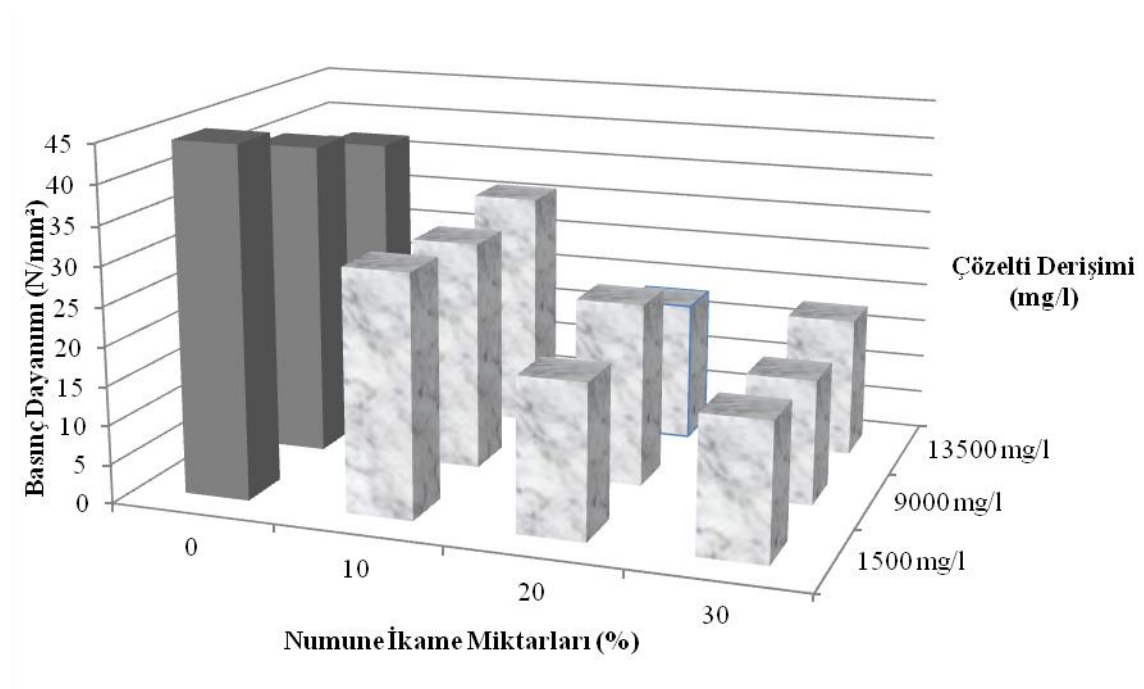
Deney	Çözelti Derişimi	RC	MC1	MC2	MC3
Basınç	1500 mg/l	44.7	30.82	19.61	17.36
Dayanımı	9000 mg/l	40.5	29.49	23.51	15.95
(N/mm ²)	13500 mg/l	37.05	30.99	18.11	17.95
Eğilme	1500 mg/l	11.14	6.14	6.16	6
Dayanımı	9000 mg/l	10.96	4.37	6.5	5.84
(N/mm ²)	13500 mg/l	10.8	6.46	6.04	5.95

- 90 gün sonunda az etkili çözeltide (1500 mg/l) bekletilen numuneler arasında RC hariç tutulduğunda en yüksek eğilme dayanımı değerini % 20 MT ikameli MC1 numunesinin verdiği (6.14 N/mm²),
- Orta etkili çözeltide (9000 mg/l) % 20 MT ikamesi (6.5 N/mm²), çok etkili çözeltide ise % 10 MT ikamesinin en yüksek eğilme dayanımı değerini (6.46 N/mm²) verdiği görülmektedir.
- Bütün çözelti türlerinde sülfata karşı en az eğilme dayanımı değeri az ve çok etkili çözeltilerde (1500 mg/l, 9000 mg/l) % 30 MT ikameli MC3 numunesinin, orta etkili çözeltide ise (13500 mg/l) % 10 MT içeren MC1 örneklerinden elde edilmiştir.
- İstisnalar olmakla birlikte genelde kullanılan malzemelerin katkı oranları ile eğilme dayanımları arasında ters bir orantının varlığından söz edilebilir. Yani ikame oranı arttıkça sülfat etkisi altındaki örneklerin eğilme dayanımlarında bir azalma görülmektedir. Bunun nedeni sülfat saldırısı neticesinde C_3A bileşenlerinin SO_3 ile reaksiyona girerek “etrenjit” olarak isimlendirilen genleşen tuzların oluşmasına neden olmasıdır. Portland çimentosunun yapısında bulunan normal olarak bulunan bu kristaller, MT atığı kullanımı ile elde edilen çimentoda mermerin kimyasal bileşiminden dolayı daha fazla etrenjit kristalinin oluşmasına neden olur (Erdoğan, 2003; CSA A 3000).

3.2.2. Sülfatın Basınç Dayanımına Etkisi

Tablo 7.'den de görüleceği üzere, katkılı çimentolar üzerinde, sodyum sülfat etkisinin anlaşılmasına yardımcı olan basınç dayanımı deneylerinde, 90 günlük Na_2SO_4 çözeltisinden çıkartılan numunelere ait basınç dayanımları, suda kürlenmiş 28 ve 56 günlük şahit numunelerde elde edilen dayanım değerlerine oranla beklendiği gibi düşük sonuçlar vermiştir.

Sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakılan harç çubuğu örneklerden elde edilen basınç dayanımı değerleri (N/mm^2) grafik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. 90 gün sonunda mermer grubu çimento numunelerinin farklı derişimdeki sodyum sülfat çözeltilerindeki basınç dayanımı değerleri

90 gün boyunca sodyum sülfat çözeltilerine maruz bırakılan çimento harç çubuklarını basınç dayanımlarından elde edilen verilere göre;

- Bütün çözeltilerde, en iyi performansı referans numuneleri (RC) göstermiştir,
- Az etkili çözeltide (1500 mg/l) beklenen numunelerde sülfata karşı RC hariç tutulduğunda en yüksek dayanım değeri, $30.82 \text{ N}/\text{mm}^2$ ile %10 mermer katkılı MC1 numunelerinden elde edilmiştir,

- Orta etkili çözeltilerde (9000 mg/l) bekletilen numunelerde en yüksek dayanım değerini, az etkili çözeltilerde olduğu gibi %10 mermer katkılı MC1 numunesi vermiş olup (29.49 N/mm²), daha sonra sırasıyla %20 ve %30 katkı oranlarında mermer tozu katkılı numuneler sıralanmıştır,
- Çok etkili çözeltilere (13500 mg/l) maruz bırakılan numuneler içerisinde en yüksek dayanımları yine %10 mermer katkılı MC1 numuneleri göstermiş olmakla birlikte (yaklaşık 31 N/mm²) sırasıyla %20 (MC2) ve %30 atık mermer tozu (MC3) katkılı örnekler, bunu takip etmişlerdir.

Az etkili çözeltilerde (1500 mg/l) en büyük basınç dayanımına sahip olan referans numune (44.7 N/mm²) atık mermer tozu ikameli numunelerde en büyük dayanıma sahip %10 ikameli numunelere (30.82 N/mm²) göre %31.05 oranında daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu, orta etkili çözeltilerde (9000 mg/l) en büyük basınç dayanımı değeri elde edilen referans numune (40.5 N/mm²) %10 ikameli numuneye göre %27.18 oranında daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Çok etkili çözeltiler olarak adlandırılan çözeltilerde ise, diğer derişimlerdeki çözeltilerde olduğu gibi en yüksek dayanım değerinin elde edildiği referans numune (37.05 N/mm²), bu çözeltilerde ikame oranları arasında daha yüksek dayanım değeri veren %10 atık mermer tozu ikameli örneklere oranla %16.35'lik daha fazla bir dayanım sergilemiştir.

Yukarıda bahsedildiği üzere hem referans numuneye kıyasla hem de atık mermer tozu ikameli çimentoların kendi aralarında, %10 oranında atık mermer tozu ikameli çimentoların üç farklı derişimdeki sülfat çözeltileri ortamına karşı da daha düşük dayanım kaybı gösterdiği ve daha iyi bir performans ortaya koydukları söylenebilir. Mermer tozunun çimento içeriğinde kullanımının, Bölüm 3.2.1'de açıklandığı gibi C₃A bileşenlerinin SO₃ ile reaksiyona girerek "etrenjit" isimli genleşen tuzların oluşmasına neden olması, sülfat saldırısı neticesinde bunun daha da artarak, mikroyapıda tehlikeli düzeyde mikro çatlaklar oluşturması nedeni ile dayanımı düşürmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. SONUÇLAR

Araştırma kapsamında sabit %10 oranında pomza ve uçucu kül içeren katkılı çimentoya, Isparta'da bulunan bir mermer işleme tesisinden temin edilen atık mermer tozu; ağırlıkça %10, %20 ve %30 oranlarında ikame edilmiştir. Her bir oran için hazırlanan 3'er adet prizma

örnekler su kürüne tabi tutularak üzerlerinde 7, 28 ve 56 gün sonunda eğilme ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 90 gün boyunca 3 farklı derişimdeki Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılan aynı içerikteki çimento harç çubuklarına eğilme ve basınç deneyleri uygulanarak sülfat etkisi dayanımlarla ilişkilendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Suda kürlenen numunelerde 7., 28., ve 56. günlerde en yüksek eğilme dayanımı değerlerine %10 atık mermer tozu ikameli numunelerde ulaşıldığı (3.1 N/mm^2 , 4.8 N/mm^2 , 5.6 N/mm^2) bununla birlikte bütün yaşlarda RC kodlu referans çimento numunelerinin atık mermer tozu ikameli numunelere göre daha büyük değerlere sahip olduğu (4.31 N/mm^2 , 7.56 N/mm^2 , 8.59 N/mm^2),
- Referans numunelerin, mermer grubundaki daha yüksek eğilme dayanımı değerine sahip olan %10 atık mermer tozu ikameli numunelere göre eğilme değerleri bakımından 7., 28. ve 56. günlerde sırasıyla %28.07, %36.50 ve %34.80 oranlarında daha büyük değerlere sahip olduğu,
- Referans numunelerin, basınç dayanımı değerleri bakımından diğer ikame oranlarına göre daha yüksek değerler elde edilen %10 ikameli numunelere göre basınç değerleri bakımından sırasıyla %35.08, %32.91 ve %30.48 oranlarında daha büyük değerlere sahip olduğu görülmüştür.
- Sülfatın etkisini daha iyi analiz etmek için hazırlanan üç farklı ortamdaki az etkili (1500 gr/ml), orta etkili (9000 gr/ml), çok etkili (13500 mg/l) çözeltilerde 90 gün boyunca bekletilen sırasıyla %10, %20 ve %30 atık mermer tozu ikameli çimento örneklerine uygulanan eğilme ve basınç dayanımı sonuçlarına göre bütün çözeltilerde referans numunelerinden daha küçük değerler elde edildiği,
- Referans numunelerin, mermer grubundaki daha yüksek eğilme dayanımı değerine sahip olan %20 atık mermer tozu ikameli numunelere oranla az ve orta etkili çözeltilerde eğilme değerleri bakımından sırasıyla %44.7, %40.7, çok etkili çözeltide ise %10 mermer ikameli numunelerden % 40.18 oranlarında daha büyük değerlere sahip olduğu,
- Referans numunelerin, basınç dayanımı değerleri bakımından diğer ikame oranlarına göre daha yüksek değerler elde edilen %10 ikameli numunelere göre basınç değerleri bakımından bütün çözelti türlerinde (1500 mg/l, 9000 mg/l, 13500 mg/l) sırasıyla %31.05, %27.18 ve %16.35 oranlarında daha büyük değerlere sahip olduğu görülmüştür.

- Benzer katkı oranı – basınç dayanımı ters orantısı sülfatlı çözeltilerde de görülmekle beraber Na_2SO_4 miktarının çözeltilerde artırılması sonucunda numunelerin dayanımlarının da sayısal olarak önemli bir düşüş görülmemiştir (30.82 N/mm^2 , 29.49 N/mm^2 , 30.99 N/mm^2). Bu çözeltilerde malzemelerin katkı oranının az olduğu (% 10 malzeme ikamesi içeren) numunelerde daha iyi neticeler alınmıştır. Sonuçta suda kürlenmiş numunelere oranla bütün katkı türlerinde bir dayanım düşüşü gözlenmiştir.
- Sülfatlı çözeltilere maruz bırakılan, mermer tozu atığı içeren çimentolu harçlarla üretilen numunelerin, mermer tozu içermeyen referans harçlarla elde edilen numunelerle basınç ve eğilme dayanımı bakımından karşılaştırıldığı bu çalışma sonucunda; mermer tozunun bahsedilen özelliklere beklenen olumlu katkıyı sağlamadığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, S.D.Ü. B.A.P. Koordinasyon Birimine "Kimyasal Etkilere Dayanıklı Katkılı Çimento Üretimi Üzerine Bir Araştırma" başlıklı 1622-YL-08 kod numaralı çalışmaya desteklerinden dolayı teşekkürlerini sunarlar. Ayrıca araştırmayı "İz Bırakanlar" bursuyla destekleyen Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğine teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

Afyonkarahisar Valiliği Halk Sağlığı Müdürlüğü Halk Sağlığı Laboratuvarı, (2008). İçme Kullanma Suları Analiz Raporu. Erişim Tarihi: 03.04.2009. <http://www.afyonkarahisar.bel.tr>

Anonim, American Standards of Testing Materials (ASTM), (2004). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens), ASTM C109/C109M-99, 1-9, West Conshohocken.

Anonim, American Standards of Testing Materials (ASTM), (2004). Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement ASTM C230/C230M-98e2, 1-6, West Conshohocken.

Anonim, TS EN 196-1, (2002). Çimento deney metotları-Bölüm 1: Dayanım tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Awol, A. (2011). "Using Marble Waste Powder in Cement and Concrete Production" MSc thesis in Construction Technology and Management, The School of Graduate Studies of Addis Ababa University, Ethiopia.

Aydın S., Aytaç, A. H., Ramyar, K., (2005). Çimento kompozisyonu ve kimyasal katkı kökeninin beton özelliklerine etkisi. Yapılarda kimyasal katkılar sempozyumu, 14-25 Mart, İstanbul, Ankara, 1-34.

Cengiz, A.K., Kulaksız, S., (1996). Mermer İşletme Tesislerindeki Atıkların Değerlendirilmesi. Türkiye'de Mermer Yapı ve Dekorasyon, Sayı 47, s. 24.

Çelik, M.Y., (1996). Mermer Atıklarının (Parça-Tozlarının) Değerlendirilmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y Lisans Tezi, Afyon.

Erdem, T., ve Öztürk, A.U., (2012). Mermer Tozu Katkısının Çimento Harcı Donma-Çözünme Özellikleri Üzerine Etkisi. BEÜ Fen Bilimleri Dergisi, 1(2), 85-91.

Erdoğan, T.Y., (2003). Beton. Ankara, Semih Ofset Matbaacılık yayıncılık ve Ambalaj San. Tic. Ltd. Şti., ISBN 975-7064-67-X, 760 s., Ankara.

Kavas, T., (2003). Atık mermer ve alüminyum hidroksit kullanarak refrakter çimento üretimi. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi 126s, Eskişehir.

Kutlu, O. ve Demiriz, M. (2007). Cem III tipi Çimentoların Betonda Kullanımının Teknik ve Ekonomik Yönlerinin Değerlendirilmesi, 7. Ulusal Beton Kongresi, 28-30 Kasım, İstanbul.

Portland-Limestone Cement: State-of-the-Art Report and Gap Analysis for CSA A 3000, www.bcrnca.bc.ca/media/CSA/20A3000.pdf

Rodri'guez-Camacho R.E. and Uribe-Afif R. (2002). "Importance of using the natural pozzolans on concrete durability" Cement and Concrete Research, 32, 1851–1858.

Şentürk, A. (Ed.), Gündüz, L., Tosun, İ.Y., Sarıışık, A., (1996). Mermer Teknolojisi. Tuğra Ofset, 245 s, Isparta.

Türker, P., Erdoğan B., Katnaş F., Yağınobalı A., (2003). Türkiye'deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Yayınları, Ankara, 76 s.

Ulus, H., (2006), Erzincan ve Nevşehir Yöresi Pomzalarının Çimentolu Sistemlerde Kullanılabilirliği, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 177 s., Ankara.

Ünal O. ve Kibici Y., (2001), "Mermer Tozu Atıklarının Beton Üretiminde Kullanılmasının Araştırılması" Türkiye III. Mermer Sempozyumu (MERSEM '2001), 317-325, Afyon.

Zorluer, İ. ve Usta, M., (2003). Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi, Türkiye IV Mermer Sempozyumu (MERSEM '2003) Bildiriler Kitabı, 305-311, Afyon.