Presentation ID / Sunum No: 75

Oral Presentation / Sözlü Sunum

ORCID ID: Öznur Biricik 0000-0003-4884-7350
Burcu Aytekin 0000-0002-4059-8559
Ali Mardani 0000-0003-0326-5015

Farklı Tür Atık Toz Malzeme Kullanımının Çimentolu Sistemlerin Priz Süresi ve Akış Özelliklerine Etkisi

Arş. Gör. Öznur Biricik[1], Arş. Gör. Burcu Aytekin[1], Doç. Dr. Ali Mardani[1]
[1] *Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Bursa Uludag University, Nilüfer-Bursa, Turkey*

Corresponding author: öznur Biricik

Özet

Bu çalışmada, çimentolu sistemlerde çimento yerine alternatif olarak kullanılabilecek inşaat ve endüstriyel atıkların değerlendirilmesi hakkında deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Bu bağlamda inşaat ve yıkıntı atığı olarak kireçtaşı, beton ve mermer, endüstriyel atık olarak ise cam atıkları değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, tüm karışımların toplam bağlayıcı hacmi sabit tutularak toz haline (<0.075 mm) getirilmiş geri dönüştürülmüş beton, mermer, kireçtaşı ve cam atıkları toplam bağlayıcı hacminin %30'u oranında çimento yerine ikame edilerek 5 farklı hamur karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımların, priz süresi, marsh hunisi akış süresi ve mini-çökme değerleri ölçülmüştür. Gözenekli yapısından dolayı maksimum su ihtiyacı geri dönüştürülmüş beton tozu içeren karışımında gözlemlenirken, Blaine incelik değeri en yüksek olan mermer tozu içeren karışımda en kısa priz süresi ölçülmüştür. Ayrıca, cam tozu içeren karışımda, su azaltıcı katkı doygunluk noktasının toplam bağlayıcı hacminin %2,7 oranında katkı kullanıldığı durumda olduğu anlaşılmıştır. Diğer karışımlara kıyasla, katkı doygunluk açısından cam tozu kullanımının daha ekonomik olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: *İnşaat ve yıkıntı atıkları, endüstriyel atıklar, , Marsh-hunisi akış süresi, priz süresi*

1.GİRİŞ

Enerji ve çevre sorunlarının dünya çapında kritik hale gelmesiyle; çevre koruma, enerji tasarrufu ve sürdürülebilir kalkınma kavramları ön plana çıkmıştır. İnşaat sektöründe de söz konusu tasarrufların arttırılarak sürdürülebilir kalkınmanın gerçekleştirilmesi hedeflenmektedir. Bu amaçla, öncelikle katı atıklar içerisinde en büyük paya sahip olan inşaat ve endüstriyel atıkların değerlendirilmesi gerekmektedir (Mardani ve ark., 2019; Aytekin ve Mardani, 2022). Örneğin, mermer fabrikalarında işlenen mermerin yaklaşık % 30'unun toz atık olarak ortaya çıktığı ve Türkiye'de günlük 1400 ton tozun (1 mm'den küçük) atık olarak depo alanlarında depolandığı bildirilmiştir (Unal, 2006). Atıklar doğal ortama kontrolsüz bir şekilde bırakıldığında, toprağın su süzme kapasitesini azaltılması, bitki örtüsünün gelişimini önlemesi, dere yataklarını doldurması ve yeraltı suyuna bu atıkların karışması gibi bir takım çevre sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda söz konusu atık malzemelerin çimento yerine ikame edilmesi ile atık

malzemeler geri dönüştürülmüş ve çimento tüketimi azaltılmış olacaktır. Bir ton çimento üretimi esnasında gerekli 1.2 ton hammadde ve 130 kWh enerjiye ilaveten ortaya çıkan yaklaşık 1 ton CO2 dikkate alındığında, çimento tüketiminin azaltılması çevre duyarlılığı bakımından ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır (Mardani-Aghabaglou ve ark, 2015). İnşaat atıklarının çimentolu sistemlerde agrega yerine (Mardani ve ark., 2019; Yüksel ve ark., 2016) veya toz haline getirilerek çimento yerine ikame edilmesi ile daha ekonomik ve çevreye duyarlı çimentolu karışımlar elde edilmektedir.

Geri dönüştürülmüş malzemelerin çimentolu sistemlerde kullanılmasının ekonomik ve çevresel etkisinin yanı sıra çok sayıda avantajı bulunmaktadır. Mermer tozunun köşeli, pürüzlü bir yapıya sahip olması nedeniyle taneler arasındaki içsel sürtünmenin artmasına ve çimento hamurunun daha yoğun ve boşluksuz hale gelmesini sağladığı bildirilmiştir (Alyousef ve ark., 2018). Geri dönüştürülmüş beton tozunun sahip olduğu mikro dolgu ve bağlayıcı etkisi nedeniyle otojen iyileşmeye olanak sağladığı, gözeneklerin azalarak elastisite modülünün iyileştiği ve eğilme dayanımının önemli mertebede azalmadığı beyan edilmiştir (Topič ve ark., 2017). Araştırmacılar tarafından geri dönüştürülmüş beton tozunun %30 oranına (Manzi ve ark., 2017, Pandaa ve Bal, 2013), mermer tozunun %36 oranına kadar (Topcu ve ark., 2009) çimento yerine ikame edilerek kullanımının kendiliğinden yerleşen betonların akışkanlık ve dayanım özellikleri açısından uygun olduğu vurgulanmıştır. Ancak, çimento yerine ikame edilen geri dönüştürülmüş beton tozunun inceliğine bağlı olarak optimum kullanım oranının %15-45 arasında değişkenlik gösterdiği anlaşılmıştır (Kim ve Choi, 2012; Guo ve ark., 2020). Bir diğer inşaat atığı olan cam tozunun çimento harç karışımlarına ilave edilmesi ile plastik büzülmenin neden olduğu çatlak miktarının azaldığı (Gorospe ve ark. 2019), sülfat ve asit saldırısına karşı dayanımının arttığı (Jain ve ark., 2020) beyan edilmiştir. Bu olumlu etkinin camın su emme kapasitesinin düşük olmasından kaynaklandığı beyan edilmiştir (Gorospe ve ark., 2019). Ayrıca cam tozu ikamesinin yüksek puzolanik aktivitesi sayesinde betonun basınç dayanımını arttırdığı çeşitli araştırmacılar tarafından beyan edilmiştir (Gupta ve Vyas, 2018; Jain ve ark., 2020). Ancak, çimento yerine ikame edilen cam tozunun inceliğine bağlı olarak optimum kullanım oranının %10-20 arasında değişkenlik gösterdiği anlaşılmıştır (Patel ve ark., 2019). Kireçtaşı tozunun agrega-çimento hamur arayüzünde bulunan boşlukları doldurararak dayanımı arttırdığı (Yang ve ark., 2018), kuruma büzülme davranışını (Courard ve Michel, 2014) ve geçirgenliği (Li ve Kwan, 2015) azalttığı bildirilmiştir.

Atık malzemelerin toz haline getirilerek çimento yerine kullanımının çok sayıda avantajının yanında söz konusu malzemelerin inceliğinin yüksek olması nedeniyle optimum kullanım oranının aşılması sonucunda çimentolu sistemlerin akışkanlığının istenmeyen seviyede azalması ve priz süresinin artması dezavantaj olarak bilinmektedir. Çimentoya kıyasla inceliği daha yüksek olan mermer tozunun kullanımı ile hamur karışımlarının su ihtiyacının azaldığı ancak priz süresi değerlerinin artış gösterdiği bildirilmiştir (Vardhan ve ark., 2015). Çimentonun inceliğine yakın mermer tozu ikamesi durumunda ise akışkanlığının ve priz süresindeki değişimin ihmal edilebilir seviyede olduğu beyan edilmiştir (Seghir ve ark., 2018). Geri dönüştürülmüş beton tozunun yüksek gözenekliliğe sahip olması nedeniyle çimento yerine ikame edilmesi ile akışkanlığının ve priz süresinin azaldığı beyan edilmiştir (Chen ve ark., 2021; Wu ve ark., 2022). Çimentoya kıyasla inceliği daha yüksek olan cam tozunun %20 oranında çimento yerine ikame edilmesi ile hamur karışımlarının priz süresinin ve harç karışımlarının yayılma değerlerinin arttığı beyan edilmiştir (Patel ve ark. 2019). Chu ve ark. (2022) tarafından ise çimento hamur karışımlarının yayılma değerlerinin %10 cam tozu ikame oranına kadar arttığı, ancak bu değerden sonra azaldığı bildirilmiştir. Kireçtaşı tozunun eklenmesi ile Marzouki ve ark. (2013) tarafından hidratasyonun hızlandığı ve priz süresinin kısaldığı bildirilirken Meddah ve ark. (2014) tarafından priz süresinin uzadığı bildirilmiştir. Partikül boyutu çimentoya kıyasla daha büyük olan kireçtaşı tozunun ikamesi ile normal kıvam için su ihtiyacı artarken, kireçtaşı tozu partikül boyutunun küçülmesi ile su ihtiyacının arttığı beyan edilmiştir (Ren ve ark., 2020). Toz malzemelerin türü ve inceliğine

bağlı olarak, çimentolu sistemlere eklenmesi ile karışımların taze hal ve reolojik özelliklerinin değişkenlik gösterdiği anlaşılmıştır (Biricik ve Mardani, 2022).

Çimentolu sistemlerin pompalanabilirlik ve yerleştirme süreçlerini doğrudan etkilediğinden akışkanlığı belirleyen taze hal özelliklerinin incelenmesi oldukça önemlidir. Literatür taramasında atık malzeme kullanımının çimentolu sistemlerin taze hal özelliğini ne mertebede etkilediğinin tam olarak anlaşılamaması sonucunda söz konusu özelliğin araştırılması gerektiği anlaşılmıştır. Bu çalışmada inşaat yıkıntılarından elde edilen beton atıkları, mermer üretiminde ortaya çıkan mermer atıkları, agrega üretiminde ortaya çıkan kireçtaşı atıkları ve ömrünü tamamlamış cam şişe atıkları geri dönüştürülerek kullanılmıştır. Bu amaçla malzemeler toz haline (<0.075 mm) getirilerek toplam bağlayıcı hacminin %30'u oranında çimento yerine ikame edilerek hamur karışımları hazırlanmıştır. Çalışma kapsamında, çimento hamur karışımlarına söz konusu atıkların eklenmesi ile priz süresi, Marsh-hunisi akış süresi ve mini-çökme değerlerinin ne mertebede etkilendiği incelenmiştir.

2. MALZEME ve METOT

2.1. Malzeme

Çalışma kapsamında OYAK Çimento tarafından üretilen CEM I 42.5R tipi çimentosu (PÇ) kullanılmıştır. Üretici firma tarafından temin edilen çimentoya ait bazı kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri.

Kimyasal Özellikler		**Fiziksel Özellikler**		
Oksit	(%)	Özgül ağırlık		3,15
SiO_2	18,74	Özgül yüzey alanı (Blaine)	cm^2/g	3600
Al_2O_3	5,37	İncelik	45 µ %	7,4
Fe_2O_3	3,04		90 µ %	0,4
CaO	64,11	Priz süresi	dk	180
MgO	1,21	Hacim genleşmesi	mm	1
SO_3	2,68	**Mekanik Özellikler**		
Na_2O	0,34	Basınç dayanımı (MPa)	1-Gün	28,8
K_2O	0,62		28-Gün	56
Cl^-	0,038			
Serbest CaO	2,12			
Kızdırma kaybı	3,6			

Atık toz malzemeler

Çalışma kapsamında kullanılan kireçtaşı tozu, geri dönüştürülmüş beton, mermer ve cam atıkları sırasıyla, Bursa Beton Kayapa Agrega Ocağı, Bursa Büyükşehir Belediyesi Küçükbalıklı Geri Dönüşüm Tesisi, Efendioğlu Mermer ve atık maden suyu şişelerinden temin edilmiştir. Temin edilen atıklar öğütülerek 0.075 mm altında toz haline getirilmiştir. Farklı atık toz malzemelerin Bursa Çimento Fabrikası tarafından temin edilen kimyasal bileşimi ve bazı fiziksel özellikleri

Tablo 2'de verilmiştir. Kullanılan cam atıklarının kimyasal bileşimi deney esnasında atıkların köpürmesi nedeniyle belirlenememiştir.

Tablo 2. Farklı atık toz malzemelerin kimyasal bileşimi ve bazı fiziksel özellikleri

Kimyasal Özellikler					
Oksit	**Birim**	**Kireçtaşı Tozu**	**Geri Dönüştürülmüş Beton Tozu**	**Mermer Tozu**	**Cam Tozu**
SiO_2	(%)	1,54	21,84	0,39	-
Al_2O_3	(%)	0,66	4,97	0,18	-
Fe_2O_3	(%)	0,25	2,75	0,09	-
CaO	(%)	53,43	35,61	47,86	-
MgO	(%)	0,48	1,44	4,41	-
SO_3	(%)	0,12	0,96	0,16	-
Na_2O	(%)	0,05	0,64	0,02	-
K_2O	(%)	0,12	0,71	0,05	-
Kızdırma Kaybı	(%)	42,77	28,66	43,81	0,59
Fiziksel Özellikler					
Özgül Ağırlık		2,66	2,57	3,06	2,52
Blaine İnceliği	cm^2/g	2570	4410	5140	2140
45 mμ Üstü	(%)	50	50,2	22,2	50,2
90 mμ Üstü	(%)	24,8	24,4	80	24,6
200 mμ Üstü	(%)	0	0	0	0

Kimyasal katkı

Karışımlarda istenilen akışkanlığı sağlamak için tek tip Polikarboksilat eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal katkının üretici firma tarafından temin edilen bazı teknik özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Polikarboksilat eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı özelikleri

Yoğunluk (g/cm^3)	**Katı Madde İçeriği (%)**	**pH Değeri**	**Klorür İçeriği (%)**	**Alkali Oranı, Na_2O (%)**
1,023-1,063	32	58	<0,1	<10

2.2. Karışımların hazırlanması

Çalışma kapsamında, tüm karışımların toplam bağlayıcı hacmi sabit tutularak geri dönüştürülmüş beton tozu, mermer tozu, kireçtaşı tozu ve cam tozu toplam bağlayıcı hacminin %30'u oranında çimento yerine ikame edilerek 5 farklı hamur karışımı hazırlanmıştır. Karışımların isimlendirilmesi kullanılan atık türüne göre yapılmıştır. Örneğin, mermer tozu içeren karışım MT, kireçtaşı tozu içeren karışım ise KT olarak isimlendirilmiştir. EN 196-3 Standardına (2017)

uygun olacak şekilde su/bağlayıcı (s/b) oranı belirlenen karışımların priz süresi tayini için üretiminde kullanılan malzeme miktarları Tablo 4'te verilmiştir. Marsh-hunisi ve mini-çökme deneyleri için malzeme miktarları ise Tablo 5'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Priz süresinin tayininde üretilen hamur karışımlarının içerdiği malzeme miktarı

Karışım	Çimento (g)	GDBT (g)	MT (g)	CT (g)	KT (g)	Toplam bağlayıcı hacmi	Su (g)	Su/Bağlayıcı
Kontrol	550	-	-	-	-		165,2	0,30
GDBT	385	134,6	-	-	-		169,8	0,33
MT	385	-	160,3	-	-	174,6	155,1	0,28
CT	385	-	-	132	-		158,2	0,31
KT	385	-	-	-	139,3		146,1	0,28

Tablo 5. Marsh-hunisi ve mini-çökme deneyi için üretilen hamur karışımlarının içerdiği malzeme miktarı

Karışım	Çimento (g)	GDBT (g)	MT (g)	CT (g)	KT (g)	Toplam bağlayıcı hacmi	Su (g)	Su/Bağlayıcı
Kontrol	800	-	-	-	-		280	
GDBT	560	195,8	-	-	-		264,5	
MT	560	-	233,1	-	-	254	277,6	0,35
CT	560	-	-	192	-		263,2	
KT	560	-	-	-	202,7		266,9	

2.3. Yöntem

Çalışma kapsamında hazırlanan hamur karışımlarının kıvam ve priz süresi belirleme deneyleri TS-EN 196-3 (2017) Standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kıvam belirleme deneyi Şekil 2a'da gösterilen manuel vikat aracılığı ile gerçekleştirilmiştir. Hamur karışımlarının priz başlangıç ve priz bitiş süreleri ise Şekil 2b'de gösterilen otomatik vikat cihazı kullanılarak belirlenmiştir.



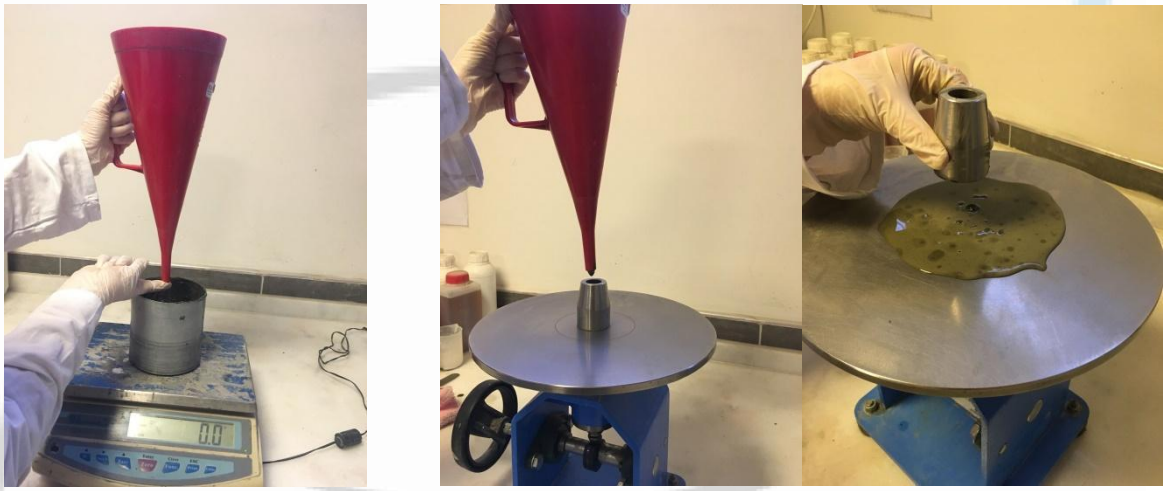
(a) **(b)**

Şekil 2. Çalışmada kullanılan a) manuel vikat ve b) otomatik vikat cihazı

Çalışma kapsamında hazırlanan hamur karışımlarının Marsh-hunisi akış süresi ve mini-çökme değerleri deneyleri Aïtcin (2004)'in önerisi dikkate alınarak belirlenmiştir. Her karışım için

bağlayıcı hacminin %1,5'u ile %9,9'u arasında değişen 7 farklı oranda yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Marsh hunisinden geçiş süresinin belirlenmesi deneyinde katkı dozajının artışı ile akış süresinin değişimi incelenmiştir. Yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanım oranının artışı ile Marsh hunisi akış süresinin azaldığı, ancak doygunluk noktası olarak adlandırılan katkı kullanım oranından sonra akışkanlığın ihmal edilebilir derecede arttığı, Marsh Hunisi akış sürelerinde önemli bir azalma olmadığı vurgulanmıştır (Mardani, 2016; Biricik, 2022). Her bir katkı dozajının eklenmesinin ardından tekrar karıştırılan akış süresi ölçülecek hamur karışımları Marsh hunisinde belirli bir seviyeye kadar doldurularak eşit hacimde olması sağlanmıştır. Şekil 3a'da gösterildiği gibi işaret parmağı ile kapatılan Marsh hunisi ucu açılarak içindeki karışımın boşalma süresi kronometre yardımı ile ölçülmüştür. Söz konusu sürenin bir önceki katkı miktarında yapılan ölçüm ile arasındaki fark 1 saniyenin altına düştüğü nokta "doygunluk noktası" olarak adlandırılmıştır.

Karışımların mini çökme değerleri Kantro (1980) tarafından önerilen yönteme uygun olarak belirlenmiştir. Şekil 3b'de gösterilen yayılma tablası üzerine yerleştirilen mini-çökme konisinin içine hamur karışımı yerleştirilmiştir. Koninin hızlıca kaldırılmasının ardından karışımın yayılma çapı ölçülmüştür.



(a) **(b)**

Şekil 3. Çalışmada kullanılan a) Marsh hunisi akış süresi b) Mini-çökme deneylerinin yapılışı

3. TARTIŞMA ve SONUÇ

Kıvam belirleme ve priz süresi

Hamur karışımlarının priz süresi tayini deney sonuçları Tablo 6'da gösterilmiştir. Normal kıvamı sağlanması için en yüksek su ihtiyacının GDBT karışımında olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun, GDBT'nin gözenekli yapısından, içerdiği hidrate olmayan çimento parçacıklarından ve yüksek Blaine incelik değerine sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ghiasvand ve ark. (2015), matriste ince malzeme miktarının artması ile toplam yüzey alanını artması sonucu tane yüzeylerinin ıslanması için su gereksiniminin arttığını beyan etmiştir. En düşük su ihtiyacının ise KT karışımına ait olduğu Tablo 6'dan anlaşılmıştır. Bu durumun, KT'nin hidratasyon potansiyelinin ve incelik değerinin düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Hamur karışımlarının priz süresi değerleri incelendiğinde en düşük priz süresi değerinin MT karışımına ait olduğu gözlemlenmiştir. Mermer tozunun en yüksek Blaine incelik değerine sahip olduğu Tablo 6'dan da anlaşılmıştır. Ayrıca, söz konusu karışımda, normal kıvamı belirlemek için su gereksiniminin en düşük olduğu tespit edilmiştir. En yüksek priz süresi değerinin ise CT karışımına ait olduğu sonuçlardan anlaşılmıştır. Bu durum, CT'nin en düşük incelik değerine sahip olmasından ve normal kıvamı sağlamak için su gereksiniminin nispeten daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu bağlamda, incelik değerinin priz süresi üzerinde etken bir parametre olduğu tespit edilmiştir. KT'nin cam tozundan sonra en düşük incelik değerine sahip olmasına rağmen priz süresi değerinin, nispeten düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, KT karışımında normal kıvamı sağlamak için su gereksiniminin az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 6. Karışımların kıvam ve priz süresi değerleri

Karışım	Kıvam Belirleme		Priz Süresi Belirleme	
	Taban plakası-sonda arasındaki mesafe (mm)	Su/bağlayıcı	Başlangıç (Dakika	Bitiş (Dakika)
Kontrol	7	0,30	201	321
GDBT	5,5	0,33	201	341
MT	6,5	0,28	185	305
CT	5	0,31	225	405
KT	5	0,28	201	310

Marsh-hunisi ve mini-çökme

Çalışma kapsamında hazırlanan çimento hamuru karışımlarının Marsh-hunisi akış süresi değerleri Tablo 7'de verilmiştir. GDBT karışımına bağlayıcı hacminin %3.8'i oranında yüksek oranda su azaltıcı katkı eklendiği durumda Marsh hunisinden akış gerçekleşmediğinden ölçüm alınamamıştır. Tablo 7'den de görüldüğü gibi, kullanılan atık toz malzeme türünden bağımsız olarak, yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanım oranının artmasıyla hamur karışımlarının akış süreleri beklendiği gibi azalmıştır. Kontrol karışımına atıkların eklenmesi ile Marsh-hunisi akış performansı olumsuz etkilenmiştir. Bu doğrultuda, kontrol ve GDBT karışımlarının Marsh-hunisi akış davranışı açısından sırasıyla, en üstün ve en düşük performansı sergileyen karışımlar olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun, geri dönüştürülmüş beton tozunun Blaine incelik değerinin yüksek olması, gözenekli yapıya sahip olması ve hidrate olmamış çimento taneleri içerebilmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Wu ve ark. (2022), geri dönüştürülmüş beton tozunun düzensiz mikro yapıya sahip olduğunu ve bir miktar serbest suyu emen ve hamur karışımının akışkanlığını azaltan büyük gözenekli C-S-H jeli içerdiğini vurgulamıştır. CT karışımının atık içeren karışımlar arasında en üstün performansa sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu durumun cam tozunun düşük incelik değerinden ve pürüzsüz yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, MT karışımı mermer tozunun en yüksek Blaine incelik değerine sahip olmasına rağmen en düşük performansı göstermediği anlaşılmıştır. Bu bağlamda, çimentolu sistemlerin akışkanlık performansında iki farklı mekanizmanın etkili olduğu görülmektedir. İnceliğin artışı ile su ihtiyacı artarak daha yoğun bir yapı oluşup akışkanlık olumsuz etkilenirken, inceliğin artışı ile yüksek oranda su azaltıcı katkıların daha fazla adsorbe olacak alan bulması sonucunda akışkanlık olumlu etkilenmektedir (Mardani ve ark., 2017; Karakuzu ve ark., 2021).

Kontrol ve CT karışımlarında, su azaltıcı doygunluk noktasının toplam bağlayıcı hacminin %2,7 oranında katkı eklendiği durumda olduğu belirlenirken, GDBT, KT ve MT karışımları için bu oranın %3 olduğu anlaşılmıştır. Böylece daha düşük katkı kullanım oranında doygunluğa ulaştığında

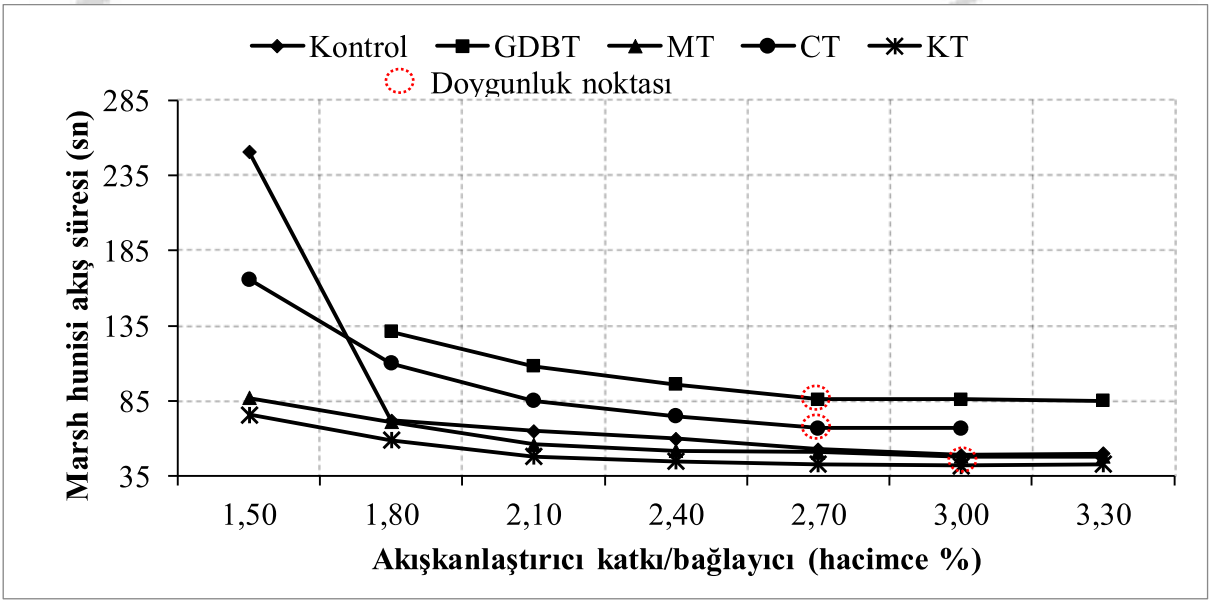
n cam tozunun kullanılmasının daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır.

Çalışma kapsamında hazırlanan çimento hamuru karışımlarının mini-çökme değerleri Tablo 8'de verilmiştir. Tablo 8'den de görüldüğü gibi, Marsh-hunisi akış sürelerine benzer olarak, kullanılan atık türünden bağımsız olarak, yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanım oranının artmasıyla hamur karışımlarının akışkanlığının arttığı anlaşılmıştır. En düşük katkı dozajında (%1,5) ölçülen mini-çökme değerleri incelendiğinde MT ve GDBT karışımlarının sırasıyla, en yüksek ve en düşük yayılma değerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Katkı kullanım oranının artışıyla yayılma değerindeki artış oranının MT ve GDBT karışımları için sırasıyla, en düşük ve en yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu bağlamda, mermer tozunun geri dönüştürülmüş beton tozuna kıyasla, daha yüksek Blaine incelik değerine sahip olması sonucunda yüksek oranda su azaltıcı katkının daha fazla adsorbe olarak akışkanlığın daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 7. Karışımların Marsh-hunisi akış süresi değerleri (sn)

Karışım	Katkı dozajı (toplam bağlayıcı hacminin yüzdesi olarak)								
	1,5	**1,8**	**2,1**	**2,4**	**2,7**	**3,0**	**3,3**	**3,6**	**3,9**
Kontrol	251	72	65	60	53	49	50	*	*
GDBT	* *	131	108	96	86	86	85	*	*
MT	87	71	56	52	51	48	48	*	*
CT	166	110	85	75	67	67	*	*	*
KT	76	59	48	45	43	42	43	*	*

*Ayrışmadan dolayı ölçüm alınamamıştır,
* *Huniden akış gerçekleşmediğinden ölçüm alınamamıştır.



Şekil 4. Hamur karışımlarının katkı dozajına bağlı olarak Marsh-hunisi akış süresi değerleri

Tablo 8. Karışımların mini-çökme değerleri (mm)

Karışım	Katkı dozajı (toplam bağlayıcı hacminin yüzdesi olarak)								
	1,5	**1,8**	**2,1**	**2,4**	**2,7**	**3,0**	**3,3**	**3,6**	**3,9**
Kontrol	175	175	180	190	200	205	200	*	*
GDBT	125	165	167,5	165	180	172,5	167,5	*	*
MT	180	180	175	180	182,5	182,5	182,5	*	*
CT	170	175	187,5	192,5	195	195	-	*	*
KT	167,5	182,5	190	170	170	172,5	165	*	*

*Ayrışmadan dolayı ölçüm alınamamıştır,

4. SONUÇ

Çalışma kapsamında kullanılan malzemeler ve uygulanan deneyler doğrultusunda aşağıda özetlenen sonuçlar elde edilmiştir:

- Normal kıvamı sağlamak için gerekli su ihtiyaçları karşılaştırıldığında maksimum su ihtiyacı geri dönüştürülmüş beton tozu içeren karışımda gözlemlenirken bunu cam tozu içeren, kontrol, mermer tozu ve kireçtaşı tozu içeren karışımlar izlemiştir.
- Blaine inceliği en yüksek olan mermer tozu içeren karışımda en düşük priz süresi değeri, en düşük Blaine inceliğine sahip cam tozu içeren karışımda ise en yüksek priz süresi değeri ölçülmüştür.
- Kullanılan atık tozu türünden bağımsız olarak, karışıma toz malzeme ilavesi ile akış performansı olumsuz etkilenmiştir. Bu davranışın, geri dönüştürülmüş beton tozu ilavesi durumunda daha baskın olduğu tespit edilmiştir.
- İncelik değerinin düşük olması ve pürüzsüz bir yüzeye sahip olması nedeniyle cam tozu içeren karışım, Marsh-hunisi akış süresi açısından en üstün performansı sergilemiştir. Ayrıca, diğer karışımlara kıyasal, cam tozu içeren karışımda, katkı doygunluk noktası daha az katkı kullanılarak sağlanmıştır. Bu bağlamda, cam tozu kullanımı ile daha ekonomik karışımların hazırlanmasının mümkün olduğu gözlemlenmiştir.

REFERANSLAR

Aïtcin, P.C., (2004). High Performance Concrete, E&FN SPON, New York.

Alyousef, R., Benjeddou, O., Khadimallah, M. A., Mohamed, A. M., & Soussi, C. (2018). Study of the effects of marble powder amount on the self-compacting concretes properties by microstructure analysis on cement-marble powder pastes. Advances in Civil Engineering, 2018.

Aytekin, B., & Mardani-Aghabaglou, A. (2022). Sustainable Materials: A Review of Recycled Concrete Aggregate Utilization as Pavement Material. Transportation Research Record, 2676(3), 468-491.

Biricik, Ö., & Mardani, A. (2022). Parameters affecting thixotropic behavior of self compacting concrete and 3D printable concrete; a state-of-the-art review. Construction and Building Materials, 339, 127688.

Biricik, Ö. (2022). Metakaolin içeren farklı c3a içeriğine sahip çimentolu sistemlerin tiksotropik özelliklerinin araştırılması (Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi).

British Standard, E. N. 196-3 (2016) Method of testing Cement: Physical Test. BSI, London.

Chen, X., Li, Y., Bai, H., & Ma, L. (2021). Utilization of Recycled Concrete Powder in Cement Composite: Strength, Microstructure and Hydration Characteristics. Journal of Renewable Materials, 9(12), 2189.

Chu, S. H., Li, L., Shen, P. L., Lu, J. X., & Poon, C. S. (2022). Recycling of waste glass powder as paste replacement in green UHPFRC. Construction and Building Materials, 316, 125719.

Courard, L., & Michel, F. (2014). Limestone fillers cement based composites: Effects of blast furnace slags on fresh and hardened properties. Construction and Building Materials, 51, 439-445.

Ghiasvand, E., Ramezanianpour, A. A., & Ramezanianpour, A. M. (2015). Influence of grinding method and particle size distribution on the properties of Portland-limestone cements. Materials and Structures, 48(5), 1273-1283.

Gorospe, K., Booya, E., Ghaednia, H., & Das, S. (2019). Effect of various glass aggregates on the shrinkage and expansion of cement mortar. Construction and Building Materials, 210, 301-311.

Guo, Z., Jiang, T., Zhang, J., Kong, X., Chen, C., & Lehman, D. E. (2020). Mechanical and durability properties of sustainable self-compacting concrete with recycled concrete aggregate and fly ash, slag and silica fume. Construction and Building Materials, 231, 117115.

Gupta, L. K., & Vyas, A. K. (2018). Impact on mechanical properties of cement sand mortar containing waste granite powder. Construction and Building Materials, 191, 155-164.

Jain, K. L., Sancheti, G., & Gupta, L. K. (2020). Durability performance of waste granite and glass powder added concrete. Construction and Building Materials, 252, 119075.

Kantro, DL., (1980). Influence of water reducing admixtures on properties of cement paste-a miniature slump test, Cement, Concrete and Aggregates, 2:95-102 pp.

Karakuzu, K., Kobya, V., Mardani-Aghabaglou, A., Felekoğlu, B., & Ramyar, K. (2021). Adsorption properties of polycarboxylate ether-based high range water reducing admixture on cementitious systems: A review. Construction and Building Materials, 312, 125366.

Kim, Y. J., & Choi, Y. W. (2012). Utilization of waste concrete powder as a substitution material for cement. Construction and building materials, 30, 500-504.

Li, L. G., & Kwan, A. K. (2015). Adding limestone fines as cementitious paste replacement to improve tensile strength, stiffness and durability of concrete. Cement and Concrete Composites, 60, 17-24.

Manzi, S., Mazzotti, C., & Bignozzi, M. C. (2017). Self-compacting concrete with recycled concrete aggregate: Study of the long-term properties. Construction and Building Materials, 157, 582-590.

Mardani-Aghabaglou, A., Beglarigale, A., & Ramyar, K. (2016). Microstructural Analyses of Recycled Aggregate-Bearing Mortar Mixture. ACI Materials Journal, 113(6).

Mardani-Aghabaglou, A., Beglarigale, A., Yazıcı, H., & Ramyar, K. (2019). Transport properties and freeze-thaw resistance of mortar mixtures containing recycled concrete and glass aggregates. European Journal of Environmental and Civil Engineering, 23(1), 53-69.

Mardani-Aghabaglou, A., Son, A. E., Felekoglu, B., & Ramyar, K. (2017). Effect of cement fineness on properties of cementitious materials containing high range water reducing admixture. Journal of Green Building, 12(1), 142-167.

Mardani-Aghabaglou, A., Tuyan, M., & Ramyar, K. (2015). Mechanical and durability performance of concrete incorporating fine recycled concrete and glass aggregates. Materials and Structures, 48(8), 2629-2640.

Mardani-Aghabaglou, A. (2016). Portland çimentosu ve süper akışkanlaştırıcı katkı uyumunun incelenmesi (Doctoral dissertation, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir).

Mardani-Aghabaglou, A., Yüksel, C., Beglarigale, A., & Ramyar, K. (2019). Improving the mechanical and durability performance of recycled concrete aggregate-bearing mortar mixtures by using binary and ternary cementitious systems. Construction and Building Materials, 196, 295-306.

Marzouki, A., Lecomte, A., Beddey, A., Diliberto, C., & Ouezdou, M. B. (2013). The effects of grinding on the properties of Portland-limestone cement. Construction and Building Materials, 48, 1145-1155.

Meddah, M. S., Lmbachiya, M. C., & Dhir, R. K. (2014). Potential use of binary and composite limestone cements in concrete production. Construction and Building Materials, 58, 193-205.

Panda, K. C., & Bal, P. K. (2013). Properties of self compacting concrete using recycled coarse aggregate. Procedia Engineering, 51, 159-164.

Patel, D., Tiwari, R. P., Shrivastava, R., & Yadav, R. K. (2019). Effective utilization of waste glass powder as the substitution of cement in making paste and mortar. Construction and Building Materials, 199, 406-415.

Ren, Q., Xie, M., Zhu, X., Zhang, Y., & Jiang, Z. (2020). Role of limestone powder in early-age cement paste considering fineness effects. Journal of Materials in Civil Engineering, 32(10), 04020289.

Seghir, N. T., Mellas, M., Sadowski, Ł., & Żak, A. (2018). Effects of marble powder on the properties of the air-cured blended cement paste. Journal of Cleaner Production, 183, 858-868.

Topcu, I. B., Bilir, T., & Uygunoğlu, T. (2009). Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete. Construction and building Materials, 23(5), 1947-1953.

Topič, J., & Prošek, Z. (2017). Properties and microstructure of cement paste including recycled concrete powder. Acta Polytechnica, 57(1), 49-57.

Unal, O., Topcu, I. B., & Uygunoglu, T. (2006). Use of marble dust in self compacting concrete. In Proceedings of V symposium MERSEM0 (pp. 413-420).

Vardhan, K., Goyal, S., Siddique, R., & Singh, M. (2015). Mechanical properties and microstructural analysis of cement mortar incorporating marble powder as partial replacement of cement. Construction and Building Materials, 96, 615-621.

Wu, H., Liang, C., Xiao, J., Xu, J., & Ma, Z. (2022). Early- age behavior and mechanical properties of cement- based materials with various types and fineness of recycled powder. Structural Concrete, 23(2), 1253-1272.

Yang, S., Cui, H., & Poon, C. S. (2018). Assessment of in-situ alkali-silica reaction (ASR) development of glass aggregate concrete prepared with dry-mix and conventional wet-mix methods by X-ray computed micro-tomography. Cement and Concrete Composites, 90, 266-276.

Yüksel, C., Mardani-Aghabaglou, A., Beglarigale, A., Ramyar, K., & Andiç-Çakır, Ö. (2016). Influence of water/powder ratio and powder type on alkali–silica reactivity and transport properties of self-consolidating concrete. Materials and Structures, 49(1), 289-299.

Teşekkür
Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Birimi (BAP)'ne FHIZ-2021-612 nolu Hızlı Destek projesi kapsamında sunmuş oldukları katkılarından dolayı teşekkür ederiz. Polisan Yapı Kimyasalları Şirketi, Oyak Fabrikası-Bolu Kalite Kontrol Laboratuvarı, Bursa Çimento Fabrikası'na yüksek oranda su azaltıcı katkı ve çimento sağlamada ve bu ürünlerin teknik özelliklerini belirlemede yardımcı oldukları için teşekkür ederiz. Atık malzeme temininde desteklerinden dolayı Bursa Büyükşehir Belediyesi Küçük Balıklı Geri Dönüşüm Tesisi ve Efendioğlu Mermer Fabrikası'na teşekkür ederiz. Ayrıca, kireçtaşı, mermer ve cam atıklarının öğütülmesindeki desteklerinden dolayı Bursa Uludağ Üniversitesi Çevre Mühendisliği Laboratuvarı'na teşekkür ederiz.