



**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARDA
DONMA-ÇÖZÜNME ETKİSİ**

Rumeysa GÜRGÖZE

Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

2023

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARDA DONMA-ÇÖZÜNME ETKİSİ

(Freeze Thaw Effect on Self Setting Mortars)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rumeysa GÜRGÖZE

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

Erzurum
Temmuz, 2023

KABUL VE ONAY TUTANAĞI

Rumeysa GÜRGÖZE tarafından hazırlanan “Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Donma-Çözünme Etkisi” başlıklı çalışması 31 / 07 / 2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yapı Malzemeleri Bilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı: Prof. Dr. A. Ferhat BİNGÖL

Atatürk Üniversitesi

Aslı ıslak imzalıdır

Jüri Üyesi: Dr. Öğretim Üyesi Zinnur ÇELİK

Atatürk Üniversitesi

Aslı ıslak imzalıdır

Jüri Üyesi: Dr. Öğretim Üyesi Dilek OKUYUCU

Erzurum Teknik Üniversitesi

Aslı ıslak imzalıdır

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabiidir.

ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI

Yüksek Lisans Tezi olarak Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL danışmanlığında sunulan “Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Donma-Çözünme Etkisi” başlıklı çalışmanın tarafımdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	10	30
Kuramsal Temeller	15	30
Materyal ve Metot	4	35
Araştırma Bulguları ve Tartışma	3	20
Sonuçlar	0	20
Tezin Geneli	9	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Beyan edilen bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ve beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Rumeysa GÜRGÖZE	Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL
31.7.2023	31.7.2023
İmza: Aslı Islak İmzalıdır	İmza: Aslı Islak İmzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez süresi boyunca çalışmalarımın her aşamasında bilgi, tecrübesi ve önerileriyle katkıda bulunan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL'e ve laboratuvar deneme dökümleri, deney programları ve uygulamalarında her türlü desteği veren Sayın Dr. Öğretim Üyesi Zinnur ÇELİK'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Tez süresi boyunca bilgi ve birikimlerinden faydalandığım, her türlü yardımı sağlayan arkadaşım İnş. Müh. Gamze YILMAZ'a teşekkür ederim.

Bugününe kadar beni hiç yalnız bırakmayan, her zaman yanımda olan ve beni destekleyen, bugünlere gelmemde emeği olan canım aileme şükranlarımı sunarım.

Rumeysa GÜRGÖZE

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN HARÇLARDA DONMA-ÇÖZÜNME ETKİSİ

Rumeysa GÜRGÖZE

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

Amaç: Bu tez çalışmasında, endüstriyel atıklar olarak değerlendirilen silis dumanı ve mermer tozu kullanımının yanı sıra Portland çimentosuna nazaran daha az CO₂ salgılayan kalsiyum alüminat çimentosu kullanarak çevre dostu KYB üretilmesi hedeflenmiştir. Bu amaç doğrultusunda üretilen harç numuneler üç farklı donma çözünme çevrimine maruz bırakılmıştır. Mermer tozunun kullanılan farklı çimento türleri ile etkileşiminin KYB'ye donma çözünme direnci bakımından etkisini gözlemlemek amacıyla çevrimlerin öncesi ve sonrasında numunelerin basınç, eğilme ve kılcallık değerleri ölçülmüştür.

Yöntem: Mermer tozu %5, %10, %15 oranlarında ve silis dumanı %10 oranında sabit tutularak kendiliğinden yerleşen harç üretimi gerçekleştirilmiştir. Numuneler 30, 60, 90 olmak üzere 3 farklı donma çözünme çevrimine maruz bırakıldıktan sonra basınç ve eğilme dayanımları test edilmiş ve kılcallık değerleri ölçülmüştür.

Bulgular: Çalışma kapsamında kullanılan çimento türlerinin tümünde optimum atık mermer tozu oranının %10 olduğu saptanmıştır. Kalsiyum alüminatlı karışımların fiziksel özellikleri donma çözünmeye maruz bırakılmadan önce diğer çimento türlerine kıyasla daha yüksek olmuştur. Bununla beraber donma-çözünme döngülerinin artışına bağlı olarak daha fazla dayanım kayıpları görülmüştür.

Sonuç: Harç numunelerin kılcal su emme oranları, basınç dayanımları ve eğilme dayanımları incelendiğinde; tüm çimento türleri için optimum oranda mermer tozu kullanılarak çevre dostu KYB üretiminin mümkün olduğu düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: : Atık mermer tozu, kalsiyum alüminat çimentosu, donma-çözünme

Temmuz 2023, 71 Sayfa

ABSTRACT

MASTER'S THESIS

FREEZE THAW EFFECT ON SELF SETTING MORTARS

Rumeysa GÜRGÖZE

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

Purpose: In this thesis, it is aimed to produce environmentally friendly SCC by using calcium aluminate cement, which emits less CO₂ than Portland cement, in addition to the use of silica fume and marble dust, which are considered as industrial wastes. Mortar samples produced for this purpose were exposed to three different freeze-thaw cycles. The pressure, bending and capillarity values of the samples were measured before and after the cycles in order to observe the effect of the interaction of the marble powder with the different cement types used on the SCC in terms of freeze-thaw resistance.

Method: Self-compacting mortar was produced by keeping the marble dust at 5%, 10%, 15% and silica fume at 10%. After the samples were exposed to 3 different freeze-thaw cycles as 30, 60, 90, compressive and bending strengths were tested and capillarity values were measured.

Findings: It was determined that the optimum waste marble dust ratio was 10% in all cement types used in the study. The physical properties of mixtures with calcium aluminate were higher than other cement types before exposure to freeze-thaw. However, more strength losses were observed due to the increase in freeze-thaw cycles.

Conclusions: When the capillary water absorption rates, compressive strengths and bending strengths of the mortar samples were examined; It is thought that it is possible to produce environmentally friendly KYB by using the optimum ratio of marble dust for all cement types.

Keywords: Waste marble dust, calcium aluminate cement, freeze-thaw

July 2023, 71 Page

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK VE BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ	x
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	4
Kendiliğinden Yerleşen Beton	4
KYB Kullanım Alanları	4
KYB'nin Avantajları ve Dezavantajları.....	5
KYB'nin Taze Beton Özellikleri	6
İşlenebilirlik	6
Yerleşebilirlik.....	7
Ayrışmaya Karşı Direnç.....	7
KYB'nin Dayanım ve Dayanıklılık (Durabilite) Özellikleri	8
Donma Çözülme Etkisi	9
Çevre Dostu Beton Üretimi.....	9
Mermer Tozu.....	10
Literatürde Mermer Tozu Kullanımına İlişkin Çalışmalar	11
MATERYAL ve YÖNTEM	23
Materyal	23
Çimento	23
Kum.....	24
Karışım suyu	25
Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı	25
Silis dumanı.....	25
Mermer Tozu.....	26
Deneylerde Kullanılan Aletler	26
Betonyer	26

Numune Kalıpları.....	27
Beton Basınç ve Eğilme Deneyi Test Cihazı	27
Su Kürü Havuzu.....	28
Çökme- Yayılma Deney Aleti.....	28
Hava Dolaşımli Etüv	29
Donma Çözünme Cihazı	29
Karışım Oranları.....	30
Deney Yöntemleri	31
Çökme- Yayılma Deneyi.....	31
Basınç Dayanımı Deneyi.....	31
Eğilmede Çekme Deneyi.....	32
Kılcal Su Emme Deneyi.....	32
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	33
Çökme-Yayılma Deney Sonuçları	33
Donma Çözünme Deneyi	34
Kılcal Su Emme Ölçümleri	35
Basınç Dayanım Sonuçları.....	41
Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları.....	46
SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKÇA	53
ÖZGEÇMİŞ.....	59

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. CEM I 42,5R Çimentonun Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri.....	23
Tablo 2. Alüminli Çimentonun Kimyasal Özellikleri.....	24
Tablo 3. Alüminli Çimentonun Fiziksel Özellikleri	24
Tablo 4. Beyaz Çimentonun Kimyasal Özellikleri	24
Tablo 5. Beyaz Çimentonun Fiziksel Özellikleri.....	24
Tablo 6. Silis Dumanı Kimyasal Özellikleri.....	25
Tablo 7. Silis Dumanı Fiziksel Özellikleri	25
Tablo 8. Mermer Tozu Kimyasal Özellikleri.....	26
Tablo 9. Mermer Tozu Fiziksel Özellikleri	26
Tablo 10. Karışım Hesabı	31
Tablo 11. Çökme-Yayılma Değerleri	34
Tablo 12. Kılcal Su Emme 0 Çevrim Değerleri.....	35
Tablo 13. Kılcal Su Emme 30 Çevrim Değerleri.....	37
Tablo 14. Kılcal Su Emme 60 Çevrim Değerleri.....	38
Tablo 15. Kılcal Su Emme 90 Çevrim Değerleri.....	40
Tablo 16. Basınç Dayanımı Değerleri	42
Tablo 17. Eğilme Dayanımı Değerleri.....	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. KYB dökümü.	5
Şekil 2. KYB ile geleneksek beton oluşumunun bileşen oranlarının karşılaştırılması (Felekoğlu 2003).	6
Şekil 3. KYB dizaynı.	7
Şekil 4. Betonun durabilitesini bozan etmenler (Baradan ve Aydın, 2013).	8
Şekil 5. Karışımlarda kullanılan kum.	25
Şekil 6. Mermer tozu.	26
Şekil 7. Harç karma makinesi.	27
Şekil 8. 50x50x50 mm küp kalıplar ve 40x40x160 mm kiriş kalıplar.	27
Şekil 9. Basınç ve eğilmede çekme dayanımı deney cihazları.	28
Şekil 10. Kür havuzu.	28
Şekil 11. Çökme-yayılma testi deney düzeneği.	29
Şekil 12. Etüv cihazı.	29
Şekil 13. Donma çözünme kabini.	30
Şekil 14. Çökme yayılma deney aşamaları.	31
Şekil 15. Kılcallık deneyi aşamaları.	32
Şekil 16. Çökme-yayılma değerleri.	34
Şekil 17. Donma çözünme çevriminin numunelere etkisi.	35
Şekil 18. Kılcal su emme deney safhası.	35
Şekil 19. Kılcal su emme 0 çevrim değerleri.	36
Şekil 20. Kılcal su emme 30 çevrim değerleri.	38
Şekil 21. Kılcal su emme 60 çevrim değerleri.	39
Şekil 22. Kılcal su emme 90 çevrim değerleri.	40
Şekil 23. Basınç dayanım testi aşaması.	41
Şekil 24. Basınç dayanımı değerleri.	42
Şekil 25. Portland çimentolu harçların basınç dayanımı değerleri.	43
Şekil 26. Beyaz çimentolu harçların basınç dayanımı değerleri.	44
Şekil 27. Alüminli çimentolu harçların basınç dayanımı değerleri.	45
Şekil 28. Eğilme dayanım testi safhası.	47
Şekil 29. Eğilme dayanımı değerleri.	47
Şekil 30. Portland çimentolu harçların eğilme dayanımı değerleri.	48
Şekil 31. Beyaz çimentolu harçların eğilme dayanımı değerleri.	49
Şekil 32. Alüminli çimentolu harçların eğilme dayanımı değerleri.	50

KISALTMALAR VE SİMGELER DİZİNİ

KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
M0N	: Yüzde Sıfır Mermer Tozu İçerikli Portland Çimentolu Numune
M5N	: Yüzde Beş Mermer Tozu İçerikli Portland Çimentolu Numune
M10N	: Yüzde On Mermer Tozu İçerikli Portland Çimentolu Numune
M15N	: Yüzde On Beş Mermer Tozu İçerikli Portland Çimentolu Numune
M0B	: Yüzde Sıfır Mermer Tozu İçerikli Beyaz Çimentolu Numune
M5B	: Yüzde Beş Mermer Tozu İçerikli Beyaz Çimentolu Numune
M10B	: Yüzde On Mermer Tozu İçerikli Beyaz Çimentolu Numune
M15B	: Yüzde On Beş Mermer Tozu İçerikli Beyaz Çimentolu Numune
M0A	: Yüzde Sıfır Mermer Tozu İçerikli Alüminli Çimentolu Numune
M5A	: Yüzde Beş Mermer Tozu İçerikli Alüminli Çimentolu Numune
M10A	: Yüzde On Mermer Tozu İçerikli Alüminli Çimentolu Numune
M15A	: Yüzde On Beş Mermer Tozu İçerikli Alüminli Çimentolu Numune
SD	: Silis Dumanı
MT	: Mermer Tozu
SCC	: Self compacting concrete
UK	: Uçucu Kül

GİRİŞ

Beton; su, çimento, agrega (kum-çakıl) ve gerektiğinde kimyasal katkı ve mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilen başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu sonucu katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan kompozit bir yapı malzemesidir (Anonim 2009). Beton maliyetinin düşük olması, istenen şeklin verilebilmesi, dayanıklılığı gibi özellikleri sebebiyle en çok kullanılan malzemedir. Fakat bununla birlikte beton kullanım süresi boyunca çeşitli etkilere maruz kalmaktadır. Donma çözünme etkisi betonun maruz kaldığı durabilite sorunlarından biridir. Bu sebeple sert iklim bölgelerinde ele alınması gereken bir sorundur.

Geleneksel beton birçok olumlu özelliği bünyesinde barındırsa da uygulama ve kullanım esnasında bazı durumlarda yetersiz kalınması sebebiyle özel beton türlerine ihtiyaç duyulmuştur. Teknolojinin gelişmesi ile birlikte geleneksel betonun dezavantajlarını ortadan kaldıracı farklı ihtiyaçları karşılayabilecek birçok beton çeşidi üretilmiştir. Bu beton türlerine hafif beton, yüksek performanslı beton, lifli beton, vakumlu beton, ön gerilmeli beton, hazır beton ve kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) örnek verilebilir (Aruntaş ve ark. 2007).

Bir özel beton türü olan Kendiliğinden Yerleşen Beton 1980'li yılların sonlarına doğru Japonya'da depremler, betonun kalıcılığı ile ilgili sorunlar ve kalifiye işçilerin azalması gibi sebeplerle gündeme gelmiştir. Bu sorunların çözümüne ilişkin yapılan araştırmalar sonucunda Japonya'da dar ve sık donatılı kısımlarda vibrasyon uygulamasına ihtiyaç duymayan, kendi ağırlığı altında işlenebilen, akıcı kıvamda ve aynı zamandan ayrışmaya dirençli bir beton türü olan kendiliğinden yerleşen beton teknolojisi geliştirilmiştir (Okamura and Ouchi 1999).

KYB bu özelliklerinin yanı sıra işçi ihtiyacını düşürmesi, betonun kalıplara vibrasyon işlemi yapılmadan yerleştirilmesi, dayanımı arttırması, inşaat süresini kısaltması, ses ve gürültü kirliliğini önlemesi gibi avantajlar da sağlamaktadır (Baradan vd 2012).

KYB'nin istenen özellikleri sağlaması için yüksek akıcılıkta olması, şekil değiştirme yeteneğine sahip olması, yüksek ayrışma direncine sahip olması gerekmektedir. Bu özelliklere uygun KYB üretilmesi için yüksek akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları kullanmak ve su/bağlayıcı oranının düşük tutulması gerekmektedir. Düşük su/ince malzeme oranlarında üretilen betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin arttığı görülmüştür (Özkul ve ark., 2002).

Teknolojik gelişmeler, endüstrinin ilerlemesi ve artan nüfus sebebiyle küresel katı atık üretimi her geçen zaman daha da ivme kazanmaktadır (Karimaei, 2020). Atık sorununa sebep olan en önemli sektörlerden biri de inşaat sektörüdür. Sağladığı kolaylıklar ve insan yaşamını kolaylaştırması sebebiyle beton kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Fakat bu kullanım belli çevresel ve ekolojik sorunları da beraberinde getirmiştir (Wang, 2020). İnşaat hacminin sürekli artmasıyla oluşan atıklar, doğal kaynakların sınırlı olması, betonun yapımında planlanan servis ömründen önce ömrünü yitirmesi ve buna istinaden bakım onarıma ihtiyaç duyularak ek maliyet oluşturmaları ve ek kaynak kullanımına sebep olması gibi sorunlar sebebiyle atıkların yeniden kullanılması son zamanlar da dikkat çeken bir konu haline gelmiştir. Bu atık malzemelerin inşaat sektöründe kullanılması üretilen betonların maliyetini düşürmede katkı sağlayacak hem de atık malzemelerin yeniden değerlendirilmesiyle doğadan uzaklaştırılarak çevreye katkı sunacaktır (Baikerikar, 2014).

Öte yandan atık malzemelerin beton üretiminde kullanılması ile sınırlı doğal kaynakların tüketimi azalacağı için doğa korunmuş olacaktır. Bu sebepler doğrultusunda çevre dostu beton üretimi daha da önem kazanmış ve yaygınlaşması adına çalışmalar yapılması gündeme gelmiştir (Karimaei, 2020).

Günümüz şartlarında çevre dostu beton imalatında farklı metotlar uygulanmaktadır (Sivakrishna, 2019). Servis ömrünü tamamlamış yapılardan ayrıştırılarak elde edilen agregaların geri dönüştürülmesiyle üretilen çevre dostu betonlar bunlara örnek verilebilir. Geri dönüştürülmüş agregalar ile üretilen bu çevre dostu betonlar sayesinde atık molozların oluşturacağı çevre kirliliği önlenmiş olacak ve yeni agreganın temin edilmesi için doğanın bozulmaması sağlanacaktır (Sagoe-Crentsil, 2001). Bu yöntem belirli katkılar sunmasına rağmen yeterli değildir. Çünkü bu uygulama yüksek teknoloji gerektirmesi ve beton üretiminde çevreye en çok zarar veren bileşen olan çimento kullanımını azaltmaması sebebiyle yeterli etkiyi sağlamamaktadır. Atık molozların geri dönüştürülerek kullanımının yanı sıra beton içerisinde kullanılan CO₂ emisyonlarının temel kaynağı olan çimento miktarının azaltılmasına yönelik uygulamaların yapılması ve geliştirilmesi daha fazla katkı sağlayacaktır (Assi, 2018). Literatürde, pirinç kabuğu, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, , atık katı kül, kireçtaşı tozu, uçucu kül, silika, kâğıt külü, duman vb. gibi malzemeler ile yapılmış olan birçok çalışma mevcuttur (Kırgız, 2016). Bunlara ilaveten son zamanlarda atık lastik agregalar ve atık mermer tozu ile üretilen çevre dostu betonlar ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Literatürde genellikle geleneksel betona filler malzeme olarak mermer tozu eklenmesine yönelik çalışmalar yapılmış olup KYB ile ilgili çalışmalar sınırlı sayıdadır. Bu özel beton türünün mermer tozu kullanılarak elde edilmesinin yanı sıra Portland çimentosuna kıyasla daha

az CO₂ emisyonu salgılayan kalsiyum alüminat çimentosu üzerinde etkilerini inceleyen bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenlerden dolayı tez çalışma kapsamında %5, %10, %15 oranlarında mermer tozu ve %10 silis dumanı katkılı kendiliğinden yerleşen harç üretiminde üç farklı tip çimento (Portland, Beyaz, Alüminli) kullanılarak karışımlar elde edilmiştir. Hazırlanan karışımlar üzerinde kendiliğinden yerleşebilirlik özellikleri test edilmiştir. Ayrıca, donma çözünme sonrası değişimleri görebilmek için basınç, eğilme, kılcallık parametreleri araştırılmıştır.



KURAMSAL TEMELLER

Kendiliğinden Yerleşen Beton

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), akıcı kıvamı sayesinde kendi ağırlığı ile vibrasyon işlemine gerek duyulmadan ve ayrılmaya dirençli yapısıyla donatıların sık olduğu ve vibratörlerin ulaşamadığı elemanların üretimine imkan sağlaması sebebiyle tercih edilen özel bir beton türüdür (Özkul 2002). KYB'lerin yüksek dayanımlı beton sınıfında tanımlanmasında düşük su/bağlayıcı oranıyla, durabilitesinin yüksek olması ve yüksek mukavemet özellikleri etkili olmuştur (H. Okamura 1997).

Ayrılmaya karşı direnç ve doldurma yeteneği kendiliğinden yerleşen betonun yerleşme yeteneğini etkileyen iki temel özelliğidir. Viskozite düzenleyen katkı kullanılması ve ince malzeme miktarının fazla tutulması ayrışma direncine, süper akışkanlaştırıcılar ise doldurma yeteneğine olumlu yönde etki eder (Özkul 2002). Betonarme yapıların onarım ve güçlendirme işleri ile yüksek perdelerin üretimi esnasında KYB kullanılması yanı sıra son dönemlerde KYB kullanımı prefabrik sektöründe de yaygınlaşmıştır (Özkul vd. 2002).

KYB'nin dünyada ilk olarak ortaya çıkışının Japonya'da 1980'lerin ikinci yarısında olması, sismik bölgelerdeki sık donatılı betonarme elemanlarda sıkıştırmaya gerek duymadan yerleşebilen bir beton ihtiyacından doğmuştur. Literatürde kendiliğinden sıkışan beton (Self compacting concrete-SCC), kendiliğinden çöken beton (Self consolidating concrete-SCC) ve kendiliğinden düzeyeleşebilen beton (Self levelling concrete-SLC) tanımlarına sahip olan KYB'lere mineral ve kimyasal kökenli katkılar katılarak karışımdaki çimento miktarını azaltmak, kohezyonu sağlamak ve atık malzemelerle daha ekonomik betonlar elde etmek amaçlanmıştır (Yahia vd., 2005).

KYB Kullanım Alanları

KYB'lerin kullanım alanları genel olarak; tamir, bakım ve yenileme işleri, prefabrik sektörü, dar kesitli ve sık donatılı yapı elemanları, estetik amaçlı tasarlanan karmaşık şekilli ve detaylı kalıplar içeren yapı elemanları, cephe elemanları, saha betonları, geniş yapı elemanları ve mimar panellerden oluşmaktadır. Güçlendirme inşaatları, dar donatılı yapı elemanı olarak kolon-kiriş birleşim bölgeleri, vibrasyonun sebebiyle oluşan gürültünün insan sağlığını olumsuz etkilediği prefabrikasyon sektörü ve tünel inşaatlarında taze betonu sıkıştırmak çok zor olduğundan KYB kullanımına başvurulması fayda sağlar.

Prefabrike beton imalatında KYB kullanımı; betonun estetik görüntüsünü iyileştirmek, kalitesini arttırmak ve geleneksel beton üretim yöntemlerindeki dolaylı masrafları azaltmak

amacıyla da tercih sebebidir. Bunun yanı sıra KYB kullanımı vibrasyon kullanımını da gerektirmediğinden kalıba uygulanan dinamik yükler ortadan kalkarak daha ince kalınlıkta kalıpların kullanımı sağlanmış olur (Brameshuber ve Uebachs, 2002). Kalıpların hafiflemesi ile kalıp bakım, taşıma, söküm ve yeniden kurulum işlemlerinde zamandan %50 tasarruf sağlanması ile birlikte vibrasyon kullanılmadığı için kalıpların ömrü de uzamaktadır (Walraven vd., 2002).



Şekil 1. KYB dökümü.

KYB'nin Avantajları ve Dezavantajları

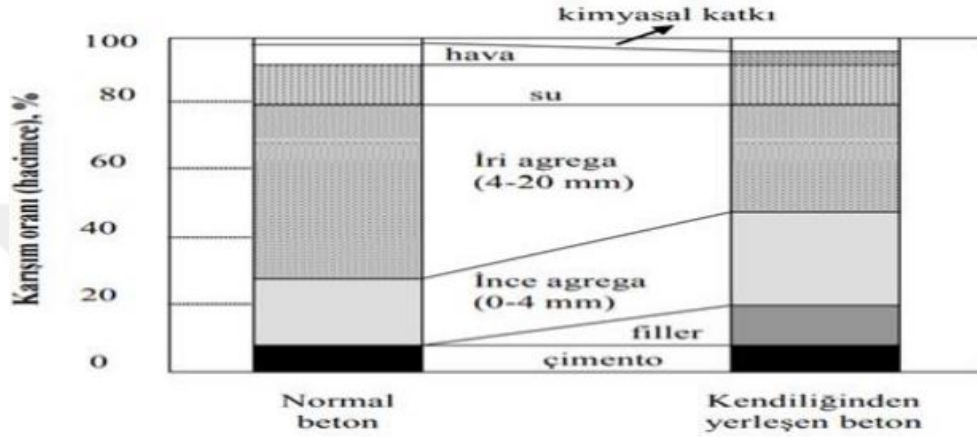
Beton teknolojisinin gelişmesi ile kullanımı yaygınlaşan KYB'nin geleneksel betona nazaran üretilmesi ve uygulanması açısından avantajları ve dezavantajları vardır. Bu sebeple ergonomik ve ekonomik olması açısından KYB'nin uygulanacağı alan önceden değerlendirilmelidir.

KYB'nin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Dayanım ve dayanıklılık özellikleri açısından yüksek performanslı bir betondur.
- Şekil değiştirebilen ve ayrışmaya karşı yüksek direnç göstererek homojenliğini koruyan bir betondur.
- Vibrasyon işlemine ihtiyacı ortadan kaldırarak işçilik ve bundan doğacak para kaybının önüne geçecektir. Aynı zamanda gürültü kirliliği ve zaman kaybını da önlemiş olacaktır.
- Betonda boşluk kalmasına mahal vermeden kendi ağırlığı ile yerleşmesi dayanım performansının artmasını sağlayacaktır.
- Geleneksel betona nazaran yüzey düzgünlüğü daha iyidir.

KYB'nin kullanımının geleneksel betona göre getireceği dezavantajları şöyle sıralayabiliriz:

- Kullanılan malzemelerin tipi ve oranının seçilmesi KYB performansını etkilemesi bakımından geleneksel betona göre daha hassastır.
- Geleneksel betona göre daha sık ve dikkatli kontrol edilmesi önem arz eder.
- Normal betona oranla daha fazla toz malzeme kullanılması boyutsal stabilitesi seçilen toz malzemenin çeşidine göre farklı sonuçlara yol açabilir.
- Karıştırma süresinin aşılması halinde KYB'nin akıcılığı artar ve vizkositesinde düşüş yaşanır (Felekoğlu 2003).



Şekil 2. KYB ile geleneksel beton oluşumunun bileşen oranlarının karşılaştırılması (Felekoğlu 2003).

KYB'nin Taze Beton Özellikleri

İşlenebilirlik

Betonda işlenebilirliği akma gerilmesi, içsel sürtünme, ayrışma, kararlılık, terleme, yerleşebilirlik, viskozite, perdahlanabilirlik, deformasyon ve akma yeteneği belirler. İşlenebilirliği belirleyen bu özellikler reolojik ve amprik yöntemlerle test edilir. Taze betonun işlenebilirliğini belirleyen bazı etmenler şunlardır:

- ✓ Çimento tipi ve özellikleri
- ✓ Karışımın su içeriği
- ✓ Agrega özelliği (dane şekli, çapı, dokusu)
- ✓ Uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu
- ✓ Süper akışkanlaştırıcı, priz geciktirici veya hava sürükleyici gibi kimyasal katkı kullanılması
- ✓ Granülometrik özellikler
- ✓ Lif kullanılması

Bu parametreler birbiriyle bağlantılı davranış sergileyerek betonun işlenebilirliğine etki eder (Demirci 2012).

Yerleşebilirlik

Betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini yerine getirebilmesi için yerleştirilme işleminin doğru yapılması ve boşluk oluşmasına mahal verilmemesi gerekmektedir. Geleneksel betonda bu durumun sağlanabilmesi için vibrasyon işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Fakat KYB'nin kendi ağırlığıyla sık donatılı ve dar kesitlerde bile geçerek yerleşmesi sıkıştırma işlemi için gerekli iş gücü ve ek maliyeti ortadan kaldıracaktır. Bunun yanı sıra işçilik hatalarının getirdiği yerleştirme ve sıkıştırma sorunları ortadan kalkacak ve betonun dayanım ve dayanıklılık performansı artacaktır (Felekoğlu 2003).

Ayrışmaya Karşı Direnç

Ayrışma betonun döküm, taşıma ve yerleştirilmesi sırasında iri ve ince agreganın ayrışması veya terleme sonucu ortaya çıkar. Ayrışma meydana gelen betonlarda dağılım düzeninin bozulmasıyla betonda çatlaklar ve boşluklar görülebilir. Bu durum betonun dayanım ve durabilite özelliklerini olumsuz etkiler.

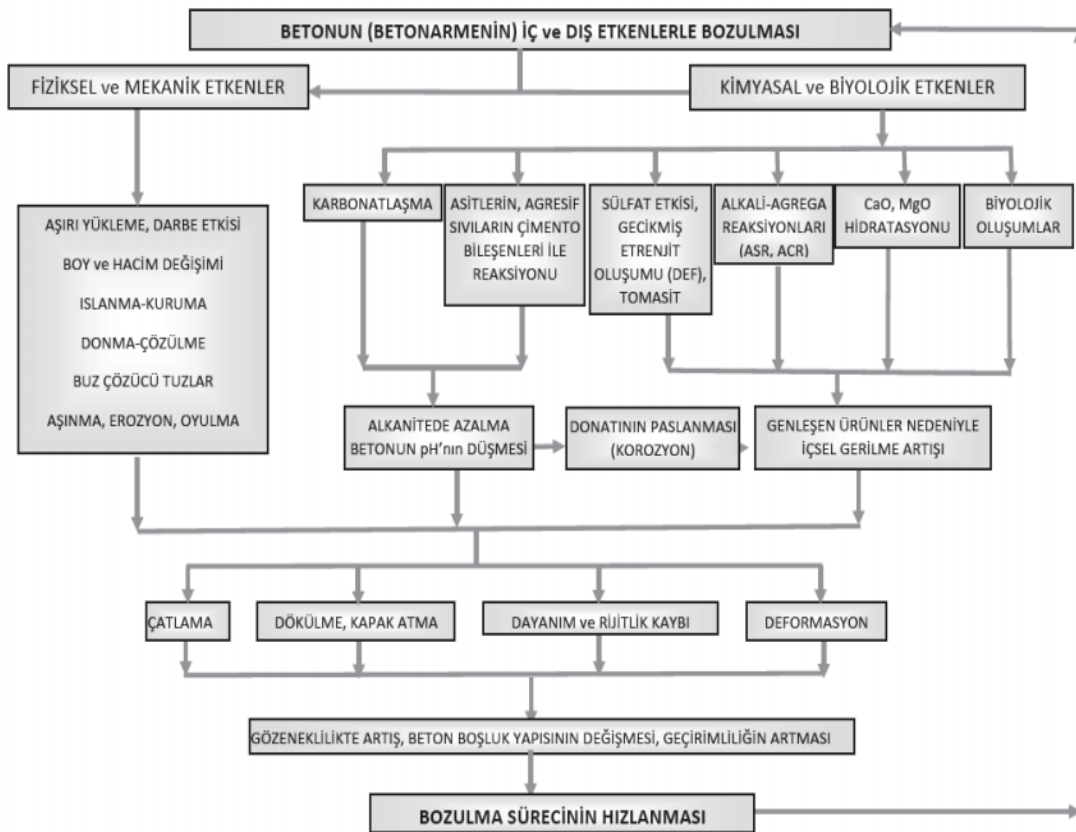
Viskozite ayrışma direncini ciddi oranda kontrol eder. Bu yüzden viskozitenin yüksek olması ayrışmanın ve terlemenin önüne geçer. Suyun kılcal hareketler ile yukarı yönlü davranarak karışımdan ayrılması terleme olarak tanımlanır. Bu durum bir ayrışma olgusudur ve betonda gözenekliliğe, dayanımın düşmesine sebep olabilir (Douglas 2004). Segregasyonun önüne geçebilmek için KYB karışımı hazırlanırken su/ çimento oranı düşük, toz içeriği yüksek, agrega içeriği ise düşük olmalıdır. Bununla beraber karışımlarda süperakışkanlaştırıcı, viskozite azaltıcı katkı da kullanılmalıdır.



Şekil 3. KYB tasarımı.

KYB'nin Dayanım ve Dayanıklılık (Durabilite) Özellikleri

Yapı malzemelerinin ve yapıların işlevlerini kullanım ömürleri süresince bozulmadan yerine getirmeleri durabilite, dayanıklılık ya da kalıcılık olarak bilinir (Baradan ve Yazıcı 2010). Beton kullanım ömrü süresince çeşitli nedenlerle fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenler altındadır. Betona, dış ortamın etkisi fiziksel ve kimyasal etkenler şeklindedir. Donma-çözülme, atmosfer koşullarında ıslanma-kuruma, aşınma kum fırtınaları ve taşıt araçlarının etkisi fiziksel etkenlerdendir. Kimyasal etkenler iç ve dış etkenler olmak üzere iki gruptadır. İç etkenler betonda kullanılan malzemelerin (çimento, agrega, karışım suyu ve katkı maddeleri) kimyasal bileşimlerinin optimum oranlarda kullanılmamasından kaynaklanmaktadır. Betonu çevreleyen dış ortam ise dış etkenlerdir. Bu etki sanayi ve endüstrinin katı atıklarından, deniz, nehir, göl, yeraltı suyu gibi sıvı ortamlardan, hava kirliliği neticesinde SO₂ ve CO₂ gazlarından meydana gelebilir. Betonda meydana gelebilecek kimyasal, fiziksel ve biyolojik bozulmalar şemada gösterilmiştir.



Şekil 4. Betonun durabilitesini bozan etmenler (Baradan ve Aydın, 2013).

Boşluksuz beton üretimi betonun dayanıklılığında birincil faktördür. Boşluk oranının kontrol edilerek minimize edilmesi beton teknolojisi kurallarına bağlılıkla mümkündür. Vibrasyon uygulamasının eksiklikleri veya yanlış uygulanması geleneksel betonda segregasyon, terleme, peteğimse delikler vb. boşluklu yapılar oluşmasına ve geçirimli bir beton

elde edilmesine mahal vermektedir. Vibrasyon ve yerleştirme işlemine gerek duyulmayan KYB’de doğru ve dikkatli üretim sağlandığında bu sorunlar ortadan kalkacaktır.

Donma Çözülme Etkisi

Betonun donma çözünme etkisine karşı dirençli olması için su/çimento oranının düşük tutulması ve boşluksuz bir yapıda beton üretilmesi gerekmektedir. Betonun boşluklarında az miktarda su yer alması herhangi bir donma durumunda hacim artışını karşılayacak boşluk sağlaması açısından zararlı değildir. Betonun donmadan dolayı zarar göreceği su oranının betondaki boşluk oranının %85’ inden fazla olduğu durumlar olduğu gerçekleştirilen deneylerde gözlemlenmiştir.

Betondaki donma durumları için gerekli boşluk miktarının su ile sağlanamadığı durumlarda küresel hava boşlukları oluşturan hava sürükleyici katkı maddeleri de kullanılabilir. Karışım suyu miktarlarında sınırlandırmalar su/çimento oranının maksimum değerleri belirtilerek olmalıdır. Bu oran katkı maddesi kullanıldığı durumlarda % 30 - % 40'a kadar düşürülmelidir. Donma-çözülme etkisine maruz kalacak betonların su/çimento oranları şartnameler tarafından iklim koşulları ve yapı boyutuna göre kısıtlanmaktadır. Donma-çözülme olaylarının sıklıkla gerçekleştiği sert iklimli bölgelerde su emme yeteneği yüksek, iri boyutlu ve kılcal çatlak barındıran agregaların kullanılması risk taşımaktadır. Sert iklimli bölgeler donma-çözülme zararlarının daha hızlı ortaya çıktığı bölgelerdir (Kandemir, 2005).

Çevre Dostu Beton Üretimi

Yapım ve kullanım ömrü ile yapısal tasarım özellikleri göz önünde tutulan beton üretiminde betonun ekonomik olması da hedeflenir. Ekonomik bir beton üretimi gerçekleştirebilmek amacıyla atık malzemeler tercih edilmektedir. Geleneksel beton yapımında kullanılan bir ya da daha fazla bileşen atık malzemeler ile ikame edilerek beton üretimi gerçekleştirildiğinde üretilen betona çevreci beton denir.

Bir yapı malzemesi olarak betona sürdürülebilir çözümler bulmak için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar neticesinde ehemmiyet taşıyan iki yöntem ortaya çıkmıştır. Birinci yöntem beton muhtevastaki doğal agregaların geri dönüştürülmüş olanlarla ikame edilmesi, ikinci yöntem ise beton muhtevastaki çimentonun bir kısmının tamamlayıcı malzemeler ile ikame edilmesidir. Yüksek fırın cürufu, silika duman, uçucu kül vb. söz konusu tamamlayıcı malzemelere örnektir.

Betonun dayanım kazanması için betonun ana bileşenlerinden biri olan çimentonun yeterli özelliklere sahip olması gerekmekte aynı zamanda çevreci ve ekonomik olması hedeflenmektedir (Błaszczynski and Krol, 2015). Betonda kullanılan çimento miktarı ve

çimento üretimi sırasında ortaya çıkan karbondioksit emisyonları dikkate alındığında, çevre dostu beton üretmek için çimentoya dikkat edilmesi gerektiği açıktır (Vishwakarma and Ramachandran, 2018).

Beton atık geri dönüşümünden elde edilen geri dönüştürülmüş agrega da mevcut doğal kaynakları korumak için işlevsel bir çözümdür (Radonjanin at all, 2013). Geri dönüştürülmüş agrega ile üretim çevre dostu betonun önemli bir parçasıdır.

Çevre dostu beton birçok çevresel, teknik ve ekonomik avantaj sunar. Taze beton, sertleşmiş beton ve durabilite özelliklerinde kayda değer değişiklikler sağlayan atık malzemelerin betonda kullanımı ekonomik ve sürdürülebilirlik açısından da yarar sağlamaktadır (Imbabi at all, 2012).

Mermer Tozu

Dolomitik kireçtaşlarının sıcaklığa maruz kalmasıyla başkalaşım geçirerek oluşan mermer, bünyesinde fazlaca kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonat barındırmaktadır. Bunun yanı sıra silisyumdioksit, farklı metal oksitleri ve silikat minerallerini de içerir (Şentürk vd. 1996).

Fabrikalarda mermere istenen şeklin verilmesi için kesim esnasında mermer tozu atık olarak ortaya çıkmaktadır. Ülkemizin zengin mermer rezervine sahip olduğu bilinmektedir. Buna istinaden mermer fabrikaları yaygındır ve bu fabrikalarda işlenen mermerden arta kalan bu atık malzeme çevre kirliliğine ve depolama sorununa sebep olmaktadır. Dolayısıyla mermer tozunun farklı endüstriyel alanlarda kullanılması hem ülke ekonomisine katkı sağlayacak hem de çevre kirliliğinin önüne geçecektir (Terzi ve Karaşahin 2003).

Mermer tozu boya sanayi, plastik sanayi, kâğıt üretimi, seramik, cam, hayvan yemi üretimi, tarım sektörü, kireç ve çelik üretimi gibi birçok sektörde ham madde olarak kullanılmaktadır. Fakat bu sektörlerde mermer tozu çok düşük oranlarda kullanılmaktadır. Diğer yandan yapılan ön işlemleri maliyetli olması durumu ekonomik olmaktan çıkarmaktadır. Mermer tozunun inşaat sektöründe kullanılması durumunda sadece kurutma ve toz haline getirme işlemi uygulandığından ekonomiktir. Mermer tozunun mimari amaçlarla kullanılan karo gibi elemanlarda kullanımıyla iyi sonuçlar elde edilmiştir (Alyamaç ve İnce 2007).

İnce taneli yapısıyla mermer tozu agrega ile kolayca bağ oluşturabilir ve yine bu özelliği sayesinde betonda bulunan boşlukları doldurarak daha dayanıklı beton üretilmesine olanak sağlar. Reaktiviteyi arttıran kirecin mermer tozunda yüksek oranda bulunması betonda kullanımını daha cazip hale getirmektedir (Corinaldesi et al. 2010, Wu et al. 2001, Dhoka 2013).

Literatürde Mermer Tozu Kullanımına İlişkin Çalışmalar

Ünal ve Uygunoğlu (2003) çalışmalarında betona belirli oranlarda mermer tozu ekleyerek ürettikleri numunelere donma-çözünme çevrimleri uygulamışlardır. Donma-çözünmeye maruz bırakılan bu numunelerin belirli özelliklerini incelemişlerdir. Mermer Tozu (MT) %5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento ile yer değiştirecek şekilde kullanılmıştır. Çimento dozajı 300 ve 350, su/çimento oranı 0,65 olarak belirlenerek her iki çimento dozajına sahip kontrol numuneler (MT %0) de dahil olmak üzere numuneler üretilmiştir. Elde edilen numuneler 28 gün sonunda 1 hafta süre ile donma-çözülme deneyine maruz bırakılmıştır. Numunelere ultrases hızı, basınç dayanımı ve su emme deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçları mermer tozu oranının artması ile porozite oranının arttığını, ultrases hızının ise kontrol numuneye göre azaldığını göstermiştir. 300 dozlu numunelerde MT' nin %5 oranına kadar artması ile basınç dayanımı artış gösterirken %10 oranından itibaren basınçta azalma gözlemlenmiştir. Aynı şekilde 350 dozlu numunelerde %10 MT tozu ikamesi ile basınç dayanımı artarken %15 oranından sonra basınçta azalma gözlemlenmiştir.

Ünal ve Uygunoğlu (2004) farklı oranlarda yapay agregalar kullanarak bir grupta %10, %20, %30 oranlarında uçucu kül, diğer bir grupta %10, %15 ve %20 oranlarında mermer tozu kullanarak 300 kg/m³ dozajlı çimento ve 0,65 su/çimento oranına sahip karışımlar hazırlamışlardır. Aynı su/çimento oranına ve çimento dozajına sahip kontrol numuneler de üretilmiştir. Tüm numuneler 28 günün sonunda donma-çözülme çevrimine tabi tutularak su emme deneyine bağlı olarak difüzyon katsayı hesabı gerçekleştirilmiştir. Numunelerin basınç dayanımları tespit edilmiştir. Elastisite modülleri donma-çözülme deneyinden önce ve sonraki ultrases geçiş süreleri baz alınarak hesaplanmıştır. Karışımlar üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda mermer tozunun betonun işlenebilirliği açısından olumsuz etkilemediği kanısına varılmıştır. Deney verilerine göre çevresel sorunlara sebebiyet veren bu atık malzemelerin %10-15 oranlarında ayrı veya beraber karışıma eklenmesiyle olumlu veriler elde edileceği bu sebeple de doğadaki doğal ve sınırlı malzeme tüketiminin önlenerek katkı sunulacağı kanaatine varılmıştır.

Aruntaş vd. (2007) atık mermer tozunu (AMT) çimento ile ağırlıkça %5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında ikame ederek kendiliğinden yerleşen beton üretmişlerdir. Hazırladıkları karışımlarda s/ç oranı, hiperakışkanlaştırıcı (HA) miktarı ve bağlayıcı miktarını sabit tutmuşlardır. HA katkı, hazırlanan karışımlara çimento miktarının (ağırlıkça) %1,5 oranında eklenmiştir. Numuneler hem mekanik hem de fiziksel özellikleri açısından hazırlanan kontrol numuneleri ile kıyaslanmıştır. 3, 7 ve 28. günlerde basınç dayanımı deneylerine tabi tutulmuşlardır. En iyi basınç dayanım sonucunu veren karışımın mermer tozunun %20 oranında

kullanılması ile hazırlanan numunelerde olduğu tespit edilmiştir. Bu oranın üzerinde atık mermer tozunun kullanılmasıyla elde edilen numunelerde az da olsa basınç dayanımında düşüşler olduğu gözlemlenmiştir. Deney verileri KYB üretiminde atık mermer tozunun %15 ve %20 oranlarında kullanılabileceğini göstermiştir. Bu atık malzemenin değerlendirilmesi ile hem sürdürülebilirliğe katkı sağlaması hem de özel beton türlerinden biri olan KYB'nin maliyetinin düşürülmesine katkı sağlayabileceği öne sürülmüştür.

Yıldız vd. (2011) iki farklı çimento dozuna sahip (300 ve 350) 5, 10, 15 ve 20 kg/m³ oranlarında kırılmış cam lif ve filler malzeme ile hacimce % 25, 50, 75 ve 100 oranlarında atık mermer tozu kullanarak karışımlar elde etmişlerdir. Ürettikleri numunelere ultrases geçiş hızı, yarmada çekme ve basınç dayanımı, sorptivite ve porozite deneyleri uygulamışlardır. Porozite ve su emme deney verilerinde mermer tozunun artışıyla düşüşler gözlemlenmiştir. Bunun yanında basınç dayanımı, ultrases geçiş hızları ve yarmada çekme dayanım değerlerinde ise mermer tozu oranının artmasıyla artışlara sebep olduğu görülmüştür. Cam lif katkısı %5-15 oranlarında iken yarmada çekme dayanımının arttığı, cam lif oranı %20 olduğunda ise yarmada çekme dayanımının düşüşe geçtiği tespit edilmiştir. Mermer tozunun %100 ikamesi haricindeki numunelerin dayanım değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Çalışma neticesinde mermer tozunun cam lif takviyesinin betona getirdiği olumsuz etkilerin azaltılabileceği sonucuna varılmıştır

Rai vd. (2011) mermer tozu ve taneciklerinin KYB üzerindeki etkilerini incelemek için yaptıkları çalışmada %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında mermer tanecikleri kullanmışlardır. Mermer tozunun %15 oranında kullanıldığı karışımlarda işlenebilirlik ve basınç dayanımı özelliklerinin optimum düzeyde olduğunu gözlemlenmiştir. Bu oranın üzerinde mermer tozu eklenen numunelerin işlenebilirlik özelliklerinde ve basınç dayanımlarında düşüşler olduğunu gözlemlenmiştir.

Tanyıldızı ve Coşkun (2011) hafif beton üzerine yaptıkları çalışmada hazırladıkları karışımlara agrega olarak pomza taşı kullanmış ve mineral katkı olarak Elazığ yöresine ait vişneçürüğü mermer tozu eklemişlerdir. Çimento ile ikame edilerek mermer tozu %0, %10, %20 oranlarında kullanılmıştır. Numunelere 7, 14, 28 ve 90 gün standart su kürü uygulanmıştır. Su küründe bekletildikten sonra numunelerin ultrasonik ses geçirgenliği ve basınç dayanımı değerleri ölçülmüştür. Çalışma neticesinde %10 mermer tozu katkılı beton numunelerin optimum değerlere ulaştığı ve %20 mermer tozu katkılı hafif betonun en düşük dayanım değerlerine ulaştığı gözlemlenmiştir.

Özel vd. (2012) 400 kg/m³ sabit çimento dozajında iki farklı çimento tipi (CEM I 42.5 R ve CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N) ve iki farklı su/çimento oranı (0.50 ve 0.55) kullanımı ile

farklı oranlarda mermer tozu (MT) ilave ederek numuneler hazırlamışlardır. Numuneler üzerinde sertleşmiş betonun yarma dayanımı, basınç dayanımı, aşınma ve donma çözünme sonrası basınç dayanımı ve elastisite modülü özellikleri ile taze betonun özelliklerini incelemişlerdir. Mermer tozunun artışına bağlı olarak çökme kayıplarının arttığı aşınma miktarlarının ise azaldığı görülmüştür. CEM I 42.5 R'li numunelerde basınç dayanımı ve yarma dayanımı değerleri %20 mermer tozu oranından sonra azalmıştır. CEM II/B-M (P-LL) 32.5 N'li numunelerde ise azalma %10 mermer tozu oranından sonra gerçekleşmiştir. Donma-çözünme çevrimlerine maruz bırakılan numunelerin çevrimler sonrasında mermer tozunun artmasına bağlı olarak basınç değerlerinde düşüşlerin arttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra betonun sertleşmiş özelliklerinden elastisite modülü, basınç dayanımı, aşınma ve donma-çözünme sonrası basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımının tespitinde; çimentonun mukavemeti, mermer tozu oranı, çökme değerleri ve S/Ç oranının veri olarak kullanıldığı bulanık mantık modelini geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu modelin sertleşmiş beton özelliklerinin tespit edilmesi hususunda kullanımının mümkün olduğu görülmüştür.

Erdem ve Öztürk (2012) % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında mermer tozunu çimento ile ikame ederek hazırladıkları karışımlardan elde ettikleri numuneleri 28 günlük kür sonrasında belli döngülerde donma-çözünme çevrimlerine maruz bırakmışlardır. Hazırladıkları karışımlar sertleşmeden önce mermer tozunun işlenebilirlik üzerindeki etkisini değerlendirebilmek amacıyla yayılma değerleri ölçülmüştür. Mermer tozu kullanımının artışıyla işlenebilirlikte azalmalar görülmüştür. Bunun yanı sıra sertleşmiş beton üzerinde basınç ve eğilme dayanımları ölçülmüştür. %10 mermer tozunun ilave edildiği numunelerin basınç ve eğilme değerlerinde artışlar gözlemlenmiştir. Mermer tozunun eklenmesi 50 ve 100 çevrim donma çözünme döngüsüne tabii tutulan numunelerde dayanım kayıp yüzdelerini arttırmıştır.

Soykan ve Özel (2012) mermer parçalarını polimer beton teknolojisinde agrega olarak değerlendirilmesi üzerine yaptıkları çalışmada 7 tür (0.075-0.150, 0.150-0.180, 0.180-0.425, 0.425-0.600, 0.600-1.180, 1.180-2.360, 2.360-4.00) elek aralığına ayırmış ve polyester esaslı reçine (polipol 314 dolgu tipi polyester) ile karıştırarak 7 farklı beton imal etmişlerdir. Elde edilen numuneler üzerinde fiziko-mekanik analizlerden ultrases geçiş hızı, schmidt yüzey sertliği, su emme, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kuru birim hacim ağırlığı "KBHA" ve yaş birim hacim ağırlığı "YBHA" analizleri gerçekleştirilmiştir. Uygulanan deneyler sonucunda mermer parçalarının tane boyutlarının betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi olduğu kanaatine varılmıştır. Optimum değerlere 075-0.150 mm aralığındaki tane boyutundaki mermer tozunun faz olarak kullanıldığı numunelerde ulaşılmıştır. Ancak yüksek ilişki katsayısının tespiti mümkün olmamıştır. Faz malzemenin farklı oranlarda kullanımı ve

tane boyut aralıklarının daha sık elek aralıklarında olması ile mineral boyutunun etkisinin daha net gözlemlenebileceği vurgulanmıştır.

Hameed vd, (2012) çalışmalarında çevreye zarar veren atıkların inşaat sektöründe değerlendirilmesiyle hem doğaya katkı sağlamak hem de KYB gibi özel bir beton türünün maliyetini azaltmak amacıyla mermer tozu ve ezilmiş kaya tozlarını ilave ederek karışımlar hazırlamışlardır. Deney verilerine göre doğal kum yerine %85 kırılmış kaya tozu ve %15 mermer çamur tozunun kullanılması KYB’de dayanım gücünü arttırmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde mermer tozunun ve ezilmiş kaya tozlarının birlikte kullanımının düşük maliyetli ve avantajlı olduğunu vurgulamışlardır.

Aydın (2013) iki farklı deney grubu oluşturarak deneysel çalışmalar gerçekleştirmiştir. Birinci grupta mermer tozu, dane çapı 4 mm’den daha küçük ince agregayla ağırlıkça %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90, %100 oranlarında; ikinci grupta ise mermer tozu, dane çapı 1 mm’ den daha küçük ince agregayla %10, %20, %30, %40, %50, %60, %70, %80, %90, %100 oranlarında ikame edilmiştir. 320 kg/m³ çimento ve karışım için W/C 0.60 kabul edilerek 20 çeşit karışım oluşturulmuştur. Yapılan deneysel çalışma sonucunda mermer tozunun %50 oranlarında kullanıldığı numunelerde dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik bakımından olumlu yönde etki ettiği gözlemlenmiştir. Bu oran dane çapının 1 mm’den ufak olduğu numunelerde %90’a kadar varmaktadır. Deney sonuçları ince agrega yerine mermer tozunun belirli oranlarda kullanılabileceğini göstermiştir.

Ceylan ve Mança (2013) geleneksel betonda kullanılan kırmataş yerine alternatif olarak mermer parçalarının atıklarını agrega olarak kullandıkları bu çalışmada betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla ürettikleri numuneler üzerinde çeşitli deneyleri yapmışlardır. Kullanılan mermer atıkları ve kırmataş agregası için KBHA, özgül ağırlık Los Angeles aşınma direnci, don kaybı ve don kaybı sonrası aşınma deneyleri yapılmış ve deney sonuçları standartlara uygun değerler vermiştir. Atık mermer agregaları ile üretilen numuneler üzerinde yapılan testler basınç dayanımlarının da bu durumu destekler durumda olduğunu ve mermer parçalarının kırmataş agregası yerine kullanılabileceğini göstermiştir. Çalışmada kullanılan mermer atık agregaları ile C 25/30 betonu elde edilmesi hedeflenmiştir. Kontrol numunelerinde C 36/43 dayanım sınıfında beton üretilmiştir. Mermer atıklarıyla elde edilen numunelerin dayanım değerleri kontrol grubuna göre düşük olsa da hedeflenen dayanım değerlerine ulaşılmıştır. Bu da atık mermer parçalarının iri ve ince agrega olarak beton teknolojisinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Gökçer vd. (2013) çalışmalarında %10, %20 ve %30 oranlarında atık mermer tozunu çimento ile yer değiştirerek farklı karışımda numuneler elde etmişlerdir. Bu numuneler

üzerinde yüksek sıcaklığın etkisini inceleyebilmek için kılcal su emme, ultrases geçiş hızı, porozite, basınç dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı testleri yapılmıştır. Harç numunelerinde cam lif oranının artışına paralel olarak porozite, kapilarite ve eğilmede çekme dayanımı değerlerinin arttığı, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı değerlerinin ise azaldığı tespit edilmiştir. Harç numunelerindeki mermer tozu miktarının artışına paralel olarak ise porozite değeri, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve çekme dayanımı değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir. Bu değerlerin artmasının sebebinin mermer tozunun betondaki boşlukların doldurması olduğunu öne sürmüşlerdir. Çalışma neticesinde yüksek sıcaklığa maruz kalan cam lif ve mermer tozu katkılı harç numunelerinin kılcal su emme ve porozite değerlerinde artış; eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı değerlerinde ise azalma olduğu saptanmıştır. Cam lifi ve mermer tozunun birlikte kullanıldığı numunelerde oluşan yoğun yapı sebebiyle yüksek sıcaklığa maruz bırakılan bu numunelerde dayanım düşüşlerinin daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Gökçer vd. (2015) hazırladıkları karışımlarda 0,5 kg/m³ ve 1 kg/m³ cam lif ve filler malzeme ile hacimce %10, %20 ve %30 oranlarında atık mermer tozu kullanmışlardır. Çalışmalarında kullandıkları bu atıkların betonun aşınma direnci üzerindeki etkisini gözlemlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda ürettikleri numuneler üzerinde kapiler su emme, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deney verilerine göre basınç dayanımı cam lifin artmasıyla azalış gösterirken mermer tozunun ilave edilmesiyle artmıştır. Numuneler üzerinde aşınma deneyi uygulanması sonucunda kapilarite değerlerinde artış gözlemlenirken ultrases geçiş hızlarında azalmalar meydana gelmiştir. Mermer tozu kullanımının aşınma direnci ve maliyet açısından olumlu etkileyeceğinin yanı sıra atıkların değerlendirilmesi hususunda da doğaya katkı sağlayacağı vurgulanmıştır.

Alyamaç vd. (2015) çalışmalarında geleneksel betonun çekme dayanımını arttırmak amacıyla betona kısa çelik teller ilave ederek numuneler üretmişlerdir. Çelik tellerin eklenmesiyle oluşacak boşlukların atık malzeme olan mermer tozuyla doldurmayı ve betonun performansını arttırmayı amaçlamışlardır. Mermer tozunu ince agregası ile ikame ederek kullanmışlardır. Bu bağlamda hem çelik liflerin betonda oluşturacağı olumsuz özellikleri iyileştirmeyi hem de atık sorununa bir çözüm bulmayı hedeflemişlerdir. Yapılan deneyler sonucunda mermer tozunun optimum oranda kullanılması ile çelik lifli betonun mekanik özelliklerine katkı sağladığı tespit edilmiştir.

Türkmenoğlu vd. (2015) çalışmalarında ürettikleri kendiliğinden yerleşen betona Van yöreni pomzası ve mineral katkı olarak mermer tozu ilave etmişlerdir. Çimento ile %0, %5, %10, %15, %20 oranında mermer tozu kullanarak 5 farklı beton karışımı elde etmişlerdir.

Üretilen numunelerde su/çimento oranı ve bağlayıcı miktarı sabit tutulmuştur. Taze beton üzerinde T50 süresi, çökme-yayılma, L kutusu ve V hunisi gibi deneyler gerçekleştirilmiştir. Mermer tozu ilaveli numuneler kontrol betonları ile mukayese edilmiştir. Numuneler standart su küründe 7 ve 28 gün süre ile tabii tutulmuşlardır. Kür uygulanan numunelere ultrases geçiş hızı, yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı ve birim hacim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Mermer tozunun %15 oranına kadar kullanıldığı numunelerde basınç ve çekme dayanımının optimum değere ulaştığı görülmüştür. Bu çalışma neticesinde kendiliğinden yerleşen beton üretiminde mermer tozunun katkı olarak kullanılmasının beton üretim maliyetini ve çevre kirliliğini azaltacağı, Van yöresine ait pomzanın agrega olarak kullanılmasının yöreye ekonomik fayda sağlayacağı belirtilmiştir.

Tennich vd. (2015) kendiliğinden yerleşen beton üretiminde betona mineral katkı olarak atık mermer tozunu ilave etmişlerdir. Ürettikleri numuneler üzerinde UPV, basınç dayanımı ve çekme dayanımı ölçümleri yapmışlardır. Deney sonuçları mermer tozunun UPV hızına, basınç ve çekme dayanımlarına olumlu etki gösterdiği yönündedir.

Gülen vd. (2016) atık mermer tozu ve cam lif katkılı beton üreterek bu atık malzemelerin karbonatlaşmaya nasıl etki ettiğini incelemeyi amaçlamışlardır. Hazırladıkları karışımlara ağırlıkça 0.25, 0.50, 0.75 ve 1 kg/m³ oranlarında cam lif ve filler malzeme ile ikame edilecek şekilde hacimce %25, %50, %75 ve %100 oranlarında mermer tozu ilave ederek 25 farklı seri beton üretmişlerdir. Üretilen numuneler üzerinde karbonatlaşma değerlerindeki değişimi incelemek üzere ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı, kılcal su emme, porozite deneyleri yapmışlardır. Gerçekleştirilen deneyler sonucunda karbonatlaşma deneyi sonrası numunelerde, ultrases geçiş hızı değerinde artış; basınç ve yarmada çekme dayanımı, kapilarite, porozite değerlerinde azalma saptanmıştır. Cam lif içeren beton numunelerinde cam lifin artışına paralel olarak dayanımda azalma söz konusudur. Fakat deney verileri mermer tozu ikamesinin cam lifin betonda meydana getirdiği olumsuz etkileri gidererek dayanımı arttırıcı yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Mermer tozu ilavesi %75 oranına kadar basınç dayanımında artış sağlamış oran %100 olduğunda ise dayanımda azalmaya sebebiyet vermiştir.

Yazıcıoğlu ve Kara (2017) çalışmalarında betona farklı oranlarda mermer tozu ilavesinin bir durabilite sorunu olan karbonatlaşmaya etkisini incelemeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda % 0, % 5, % 10 ve % 15 MT çimento ile yer değiştirilerek kullanılmış ve 4 farklı C30 sınıfı beton üretilmiştir. Numunelere 28 günlük standart su kürü uygulanmıştır. Örnekler 56 gün boyunca karbonatlaşmaya maruz bırakılmış ve karbonatlaşma derinlikleri saptanmıştır. Kontrol numuneleri ve karbonatlaşmaya maruz bırakılan numuneler üzerinde

üzerinde ultrases geçiş hızı ölçümleri gerçekleştirilmiş, aşınma ve basınç dayanımları, kılcallık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Özetle, karbonatlaşma ağırlıklı olarak %15 MT içeren numunelerde gözlenmiş ve karbonatlaşma testi sonrası MT miktarı arttıkça basınç dayanımı ve karbonatlaşma derinliği artmış, aşınma direnci ve kılcallık katsayısı azalmıştır. Doğaya katkı sağlamak amacıyla kullanılması planlanan mermer tozunun betonun durabilitesine katkı sağlayacağı optimum oranının %5 olduğu saptanmıştır.

Alişer vd. (2016) hazırladıkları karışımlara cam lif ve mermer tozu ekleyerek bu malzemelerin, üretilen numunelerin sülfat direnci üzerindeki etkisini incelemeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda karışımlara 0,25 kg/m³, 0,50 kg/m³, 0,75 kg/m³ ve 1 kg/m³ cam lif; hacimce %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında filler malzeme ile yer değiştirecek şekilde mermer tozu eklemişlerdir. Numunelerin sülfat etkisine bağlı boy değişimleri ve kılcal su emme değerleri belirlenmiştir. Sürekli su içinde kürde tutulan örneklerde genleşmeler gözlenmiştir. Cam lif oranının arttığı örneklerde genleşmeler artarken mermer tozunun ilave edilmesiyle genleşmeler azalmıştır. Aynı durum sülfatta ıslanma-kuruma çevrimine maruz bırakılan harç numunelerinde de gözlenmiş, mermer tozu oranının artması ile genleşme azalmış cam lif oranının artması ile genleşme artmıştır. Yapılan deneysel çalışmaya göre cam lif katkısının betonda boşluklar oluşturduğu ve bu boşlukların mermer tozu ile dolması sebebiyle bu olumsuz etkinin ortadan kaldırılabilceği, sülfat direncinin de olumlu etkileneceği sonucuna varılmıştır.

Koçyiğit (2016) yaptığı araştırmada atık mermer tozu, pomza agregası ve kitre katkılı çimento esaslı kompozit malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemiştir. %10 ve %20 oranlarında 0.25 mm'lik elekten geçirilerek elde edilmiş atık mermer tozu, ağırlıkça %10, %30 ve %50 oranlarında 0-2 mm, 2-4 mm ve 4-8 mm tane boyutlarında pomza agregası, %0, %0.5 ve %1 oranlarında kitre ve CEMI 42.5 N tipi portland çimentosu ile numuneler elde edilmiştir. Numunelere aşınma kaybı, su emme, yoğunluk, basınç dayanımı, ısıl iletkenlik, donma-çözülme ve yüksek sıcaklık deneyleri uygulanmıştır. Aynı zamanda deney sonuçları daha öncesinde ısıl iletkenlik katsayısını saptamak için geliştirilen matematiksel bir model ile de karşılaştırılmıştır. Numunelerin içerisindeki pomza agregası miktarı, tane boyutu ve kitre miktarının artıp atık mermer tozunun azalması ile basınç dayanımı, ısıl iletkenlik katsayısı, yüksek sıcaklık ve yoğunluk değerlerinde azalma; su emme, aşınma kaybı ve donma çözülme değerlerinde artış gözlemlenmiştir.

Darzi Musaib ve Shivkumar (2016), çalışmalarında daha ekonomik bir beton üretebilmek ve atıkların çevresel etkilerini azaltabilmek amacıyla hazırladıkları karışımlara mermer tozu ve uçucu külü belirli oranlarda filler malzeme ile yer değiştirecek şekilde ilave

etmişlerdir. İnce agregayla yer değiştirerek %20, %40 ve %60 oranlarında uçucu kül, çimento ile yer değiştirmek suretiyle ise %5, %10 ve %15 oranlarında mermer tozu ilavesi yapılarak beton numuneler üretilmiştir. Numunelere yarmada çekme ve basınç dayanım deneyleri uygulanmıştır. Deney verilerine göre en iyi basınç dayanım sonucunu veren örnekler %10 mermer tozu katkılı ve %40-50 arasında uçucu külün kullanıldığı karışımların olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar çimentoya alternatif olarak mermer tozu ve uçucu kül kullanımı ile daha ekonomik beton üretimi gerçekleştirilebileceği yönündedir.

Yıldız vd. (2017) hazırladıkları karışımlara a 0.25 kg/m³, 0.50 kg/m³, 0.75 kg/m³ ve 1 kg/m³ cam lif ve hacimce %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında mermer tozu ilave etmişlerdir. Harç numuneleri %5'lik Na₂SO₄ çözeltisinde üç farklı kür koşuluna tabi tutulmuştur. Sülfat etkisi altındaki mekanik ve fiziksel değişimlerini belirlemek için numuneler üzerinde görünür porozite, eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Farklı kür koşullarına maruz bırakılan tüm harç numunelerinin porozite değerleri mermer tozu içeriğinin artışıyla azaldığı gözlemlenmiştir. Basınç ve çekme dayanımları mermer tozunun 40 oranına kadar ilave edildiği örneklerde artışa sebep olduğu gözlemlenirken bu orandan fazla kullanılması durumunda çekme dayanımında düşüşler olduğu saptanmıştır. Çalışma neticesinde mermer tozunun cam lif takviyeli betonlarda hacimce %40 oranına kadar kullanılması betonu sülfat direnci bakımından olumlu etkileyeceği ve aynı zamanda ekonomik ve çevresel faydalar sağlayacağı sonucuna varılmıştır.

Praveenkumar vd. (2017) kendiliğinde yerleşen beton üretimi gerçekleştirmiş ve bu betona endüstriyel atık olarak çevreye olumsuz etki eden mermer tozu ve uçucu kül ekleyerek KYB'nin maliyetini düşürmeyi ve atıkların çevresel etkilerini azaltmayı amaçlamışlardır. Karışımlar taze haldeyken işlenebilirlik açısından olumsuz davranış göstermemişlerdir. Mineral katkı kullanımı KYB'de süperakışkanlaştırıcı kullanımını azaltmıştır. Bu da daha ekonomik beton üretimine olanak sağlamıştır. Sertleşmiş betonda basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanım değerleri ölçülmüştür. Çimentonun MT ile %10 miktarında yer değiştirmesiyle hazırlanan karışımlar optimum sonuçlar vermiştir.

Singh vd. (2017) yaptıkları deneysel çalışmada MT ve UK kullanımının KYB'ye dayanım ve dayanıklılık bakımından etkisini incelemeyi amaçlamışlardır. Mermer tozunu çimento ile ikame edecek şekilde %10, %15, %20, %25 oranlarında UK ise %30 oranında kullanarak M30 sınıfı beton üretmişlerdir. MT'nun %10 UK'ün %30 oranında kullanıldığı örneklerde dayanımın kontrol numunelere oranla arttığı gözlemlenmiştir. Bunun yanı sıra çekme dayanımı %10 MT ve %30 UK katkılı numunelerde kontrol numunelere oranla daha yüksek sonuçlara ulaşmıştır. Bu oran MT ve UK'ün beraber kullanılabileceği optimum orandır.

MT'nun bu orandan daha fazla kullanıldığı karışımlarda çekme dayanımında düşüşlere sebebiyet verdiği gözlemlenmiştir.

Atabey (2018) mermer tozu, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül kullanarak köpük beton üretimi gerçekleştirmişlerdir. Mermer tozunun dolgu maddesi olarak kullanılabilirlik durumu incelenirken çimento bağlayıcı olarak %0,5 oranında polipropilen elyaf kullanılmıştır. Ön köpük yöntemi kullanılarak köpük betonların üretimi gerçekleştirilmiştir. Mermer tozunun dolgu malzemesi olarak kullanıldığı numunelerin mukavemet değerleri uçucu kül ve mermer tozunun birlikte kullanımıyla elde edilen numunelere nazaran daha düşük sonuçlar vermiştir. Uçucu külün puzolanik özellikli bir malzeme olmasından dolayı uçucu kül tamamen ya da belirli oranlarda mermer tozu ile değiştirildiğinde köpük betonun dayanımında önemli bir artış gözlemlenmiştir. Dolgu malzeme olarak mermer tozu, puzolanik katkı olarak UK ve YFC kullanılan bu deneylerde karışım oranlarına göre numuneler gruplandırılmıştır. İlk grup numunelerde 4 birim çimento ve 2 birim mermer tozu kullanılarak çimento oranının mermer tozuna oranı (Ç:2; MT:1) olan numuneler elde edilmiştir. Bu grup numunelerin çimento içeriğinin mermer tozuna oranla yüksek olması iyi dayanım sonuçları elde edilmesini sağlamıştır. 4.grup numunelerde ise 4 birim çimento ve 4 birim UK kullanılmıştır. MT ve UK oranlarının 1/1 olduğu 2. Grup bu numunelerde dayanım değerlerinin sağlandığı fakat değerlerin 1. Grup numunelere göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Bu grup numunelerde dayanımın azalma sebebinin çimento miktarının mermer tozunu bağlayacak oranda olmaması olduğu düşünülmektedir. Yine MT ve UK oranlarının 1/1 olduğu 4. Grup numunelerde puzolanik özelliğe sahip UK'nın dayanımı artırıcı etkisi olduğu düşünülmüştür. 3. Grup numunelerde 4 birim çimento, 2 birim MT ve 2 birim UK kullanılmıştır. 3. Grup olan bu numunelerde dayanım değerlerinde artış gözlemlenmiş, UK'nın puzolanik davranış göstermesinin C-S-H fazlarında olumlu etki sağladığı düşünülmüştür. 5. Grup numunelerde 4 birim çimento, 4 birim UK ve 2 birim YFC kullanılmıştır. Bu numunelerde ise UK' den daha puzolanik reaktivite gösteren YFC' nin ikincil reaksiyon aşamasında daha fazla C-S-H fazları ürettiği düşünülmektedir. Polipropilen lif katkılı karışımlarda liflerin rötre çatlaklarını önleyici etkisi gözlemlenmiştir. Yalnızca mermer tozu kullanılarak üretilen numunelerin dayanım değerleri yalnızca uçucu kül içeren numunelerin dayanımından yüksek sonuçlar vermiştir. Rötre değerlerine bakıldığında ise en küçük rötre değerini veren mermer tozunun kullanıldığı numunelerde %0.09 olarak belirlenmiştir.

Atık MT'nun ince agrega yerine belli oranda ikame edilerek kullanımın etkilerini gözlemlemek amacıyla Sajeev vd. (2018) bir çalışma yapmışlardır. Çalışma neticesinde mermer tozunun KYB'ye doldurma kabiliyeti ve işlenebilirliği açısından olumlu etki ettiği

sonucuna varılmıştır. Fakat mermer tozunun agrega ile değişiminin %20 oranında olduğu numunelerde optimum sonuçlara ulaşılmıştır. 28 günde su kürlenmesi ile kimyasal (polietilen) kürlenme 29 N/mm² ve optimum basınç dayanımı 38 N/mm² olarak ölçülmüştür. Polietilen kürlenmenin suyun sınırlı olduğu hallerde gerekli basınç dayanımını elde etmek için yeterli olduğu ve kullanılabileceği vurgulanmıştır. Çalışma mermer tozunun ince agrega ile yer değiştirerek kullanımının mümkün olduğunu göstermiştir.

Portland çimentosunun yerine kullanılabilecek atık MT malzemesinin KYB'un dayanımı ve dayanıklılığı üzerindeki etkisini Boukhelkhal vd. (2018) çalışmalarında incelemişlerdir. Üretilen numuneler sülfat etkisine maruz bırakılmıştır. Magnezyum sülfat etkisine maruz bırakılan numuneler kıyaslandığında mermer tozu katkılı numunelerin daha yüksek direnç gösterdikleri tespit edilmiştir. Buna nazaran mermer tozunun artışına bağlı olarak dayanımda azalmalar ve hem kılcal su emme oranlarında hem de normal su emme oranlarında artış olduğu bulgular arasında yer almaktadır.

Doğan (2019) mermer tozu ve uçucu külü ayrı ve birlikte kullanarak elde ettiği 27 harç karışımları üzerinde eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirmiştir. Bu endüstriyel atıkları ince agrega ile ikame etmiştir. Karışımlarda CEM I 42,5R olan çimento kullanmış ve çimento oranının 0,58 oranında sabit tutmuştur. Mermer tozunun %5 oranında standart kum ile değiştirilmesi optimum basınç ve eğilme sonuçları vermiştir. Bu oranda mermer tozunun ara yüzey aderansını arttırdığı ve mikro dolgu etkisi gösterdiği düşünülmektedir. MT kullanım oranının artışıyla işlenebilirlikte kayıplar olduğu ve porozitenin arttığı bulgular arasındadır. %20 UK kullanımı en iyi dayanım sonuçları vermiştir. UK düzgün ve küresel yapısı işlenebilirliği arttırmış ve gözenek yapısını azaltarak poroziteyi azaltmıştır. %15 uçucu kül ile %15 mermer tozu kullanımının da harçların mekanik özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. UK kullanımının MT kullanımına oranla daha yüksek miktarda kullanımı yüksek dayanım sunması açısından daha avantajlı olduğu deney bulguları arasındadır.

Enbaya (2019) çimentodan tasarruf ederek hem KYB maliyetini düşürmek hem de atıkların değerlendirilmesiyle çevresel etkilerini azaltmak amacıyla mermer tozu ve uçucu kül kullanarak karışımlar hazırlamışlardır. Hazırladıkları karışımlara %0, %5 ve %10 oranında mermer tozu %0, %2,5, %5 ve %7,5 oranında uçucu kül ilave etmişlerdir. Taze beton üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçları MT ve UK kullanımının yayılma betonun işlenebilirliğini olumsuz etkilemediğini doğrular niteliktedir. Ayrıca bu endüstriyel atıkların betona su emme oranları, boşluk oranları, yoğunluğu ve yayılma değerlerinde kazanımlar sağladığı bulgular arasındadır. Mermer tozunun %5 oranında kullanımında betonun mukavemetine artırıcı yönde etki ettiği bu değer üzerinde kullanımının basınç dayanımını düşürdüğü yönünde olduğu

gözlemlenmiştir. Yalnızca uçucu kül kullanılması durumunda basınç dayanımında artış olduğu tespit edilmiştir. Optimum değerlere mermer tozu ve uçucu külün %5 oranında çimento ile ikame edilerek kullanılması durumunda ulaşılmıştır. Mermer tozu kullanılan numunelerin yangın dayanımı 300°C'ye kadar artış göstermiştir. Sıcak kuru hava ile karşılaştırıldığında 600°C'den sonra dayanım kayıpları tespit edilmiştir.

Eren (2019) yaptığı deneysel çalışmada, atık lastik agregaları ve atık mermer tozu kullanarak sertleşmiş betonun mukavemetini ve taze betonun işlenebilirliğini inceleyerek aynı zamanda çevreci bir beton üretmek istemiştir. İki aşamalı olarak yürütülen bu çalışmada ilk aşamada yalnızca atık mermer tozu kullanılarak farklı karışım oranlarına sahip numuneler, ikinci aşamada ise hem atık mermer tozu hem de atık lastik agregası kullanılarak numuneler elde edilmiştir. İkinci aşamadaki numunelere atık mermer tozu ve atık lastik agregaya ek olarak puzolanik özellik gösteren uçucu kül de ilave edilmiştir. İlk aşamadaki karışımlar %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 oranında mermer tozları, kum ile hacimce ikame edilerek hazırlanmıştır. Numunelerde agrega granülometreleri ve çimento dozajları farklı değerlerde kullanılarak numunelerin dayanım ve işlenebilirliklerinde en etkili parametrenin bulunması amaçlanmıştır. Tepki yüzeyi metodu ile tahlil edilen deney sonuçlarına göre iki adet matematiksel metot geliştirilmiştir. İlk metotla yalnızca atık mermer tozu kullanılan numunelerin tahlili ikinci metotla ise uçucu kül, atık mermer tozu ve atık lastik agregası kullanılan numunelerin tahlili gerçekleştirilebilmektedir. Çalışmalar hem atık mermer tozu kullanılarak hem de uçucu kül, atık mermer tozu ve atık lastik agregası bir arada kullanılarak çevreci beton üretiminin yapılabileceğini göstermiştir.

Kaçmaz (2019) gerçekleştirdiği çalışmada mermer tozu ve uçucu kül kullanarak zemin iyileştirilmesinde bu malzemelerin kullanılmasını hedeflemiştir. Hazırlanan numunelere tek eksenli basınç deneyi, standart proktor deneyi ve elek analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirdiği çalışmalar sonucunda %15 uçucu kül ve %15 mermer tozu katkılı malzeme 30 cm kalınlığında 16 m² alana serilmiş olup malzemede meydana gelen değişimler 7, 14, 28 günlük sürelerde ölçülmüştür. Farklı katkı oranlarında farklı kür sonuçlarında çeşitli dayanım değerlerine erişilmiştir. En yüksek dayanım değeri %30UK-%15MT karışımında 28 gün sonunda gözlemlenmiştir. Arazi çalışmasında literatür çalışmalarındaki değerler ve laboratuvar sonuçları baz alınarak %15UK-%15MT oranı kullanılmıştır. Araziye serilen bu malzemelerin dayanım kazanmasının zaman aldığı uçucu kül için geçerli sürenin ise bu malzemelerden daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise uçucu külün puzolanik özelliğinin geç devreye girmesidir. Çevresel katkılar ve ekonomi açısından UK ve MT' nin hafif trafik yükü olan yollarda ve büyük alanlarda kullanılması avantaj sağlamaktadır.

Zarrog (2020) KYB' nin özellikleri üzerinde endüstriyel yan ürünlerin etkisini gözlemlemek için çalışmalar gerçekleştirmiştir. Sırasıyla %0, %5 ve %10 oranlarında MT ve %0, %10, %20 ve %30 oranlarında UK çimento ile ikame edilecek şekilde karışımlara eklenmiştir. Toplamda 12 grup numune üretilmiştir. Numunelerin yüksek sıcaklık etkisine karşı dayanımının ölçülmesi adına ultrasonik ses geçiş hızı (UPV), yayılma çapı, porozitesi, yoğunluğu, su emme oranı, basınç ve eğilme dayanımları ölçülmüştür. Yapılan çalışmalar %30 UK ve %5 MT kullanımında en düşük su emme oranı olan %1,8 oranına ulaşıldığını göstermiştir. MT kullanımının su emme oranını olumsuz etkilediği, UK ve MT kullanımının artışına paralel olarak porozitenin azaldığı gözlemlenmiştir. En iyi UPV değeri olan 4,62 km/s' ye %20 UK kullanımı ile erişilmiştir. Maksimum çekme dayanımı olan 4.49Mpa değerine %20 UK ve %10 MT oranında ulaşılmıştır. En yüksek basınç dayanımına %10 MT ve %20 UK ikamesiyle ulaşılmıştır. Üretilen betonun kompasitesinin daha iyi olabilmesi için MT' ye nazaran UK kullanımının elverişli olduğu belirlenmiştir. MT artışının dayanımı nispeten azalttığı gözlemlenmiştir. Çekme dayanımının kür süresinin artışına paralel olarak arttığı tespit edilmiştir.

Çelikten ve Canbaz (2021) atıkları değerlendirmek ve çimento yerine kullanılabilecek alternatif malzemelerin optimum oranlarını saptamak maksadıyla çimentoyu ayrı ayrı atık andezit ve mermer tozları ile %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ikame ederek numuneler hazırlamışlardır. Elde edilen bu numunelere eğilme ve basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızı deneyleri uygulanmış ve sonucunda andezit tozunun en uygun ikame oranının %15, mermer tozunun en uygun ikame oranının %10 olduğu belirlenmiştir. %15 andezit tozu ikame edilen numunelerde ise en yüksek eğilme ve basınç dayanımı değerlerine ulaşılmıştır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada 3 farklı çimento tipi ile (Portland, Alüminli, Beyaz) bağlayıcı malzeme olarak çimentonun yanı sıra silis dumanı ve mermer tozu kullanımı ile KYB üretilmiştir. Ağırlıkça %10 SD ve MT çimento ile ağırlıkça %5, %10, %15 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Çalışmada çimento tiplerine göre gruplandırılan numunelerden 12'şer küp, 12'şer prizma şeklinde olmak üzere toplamda 288 tane numune üretilmiştir. Numuneler kullanılan çimento türü ve karışımlarda bulunan mermer tozu miktarına göre adlandırılmıştır. Numuneler 28 gün standart su kürüne tabi tutulmuştur. Küp numuneleri üzerinde donma çözünme deneyi öncesi ve sonrasında basınç dayanımı deneyi ve kılcal su emme deneyi yapılmış olup prizma numuneler üzerinde eğilmede çekme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Deneylerden elde edilen verilere göre sonuçlar incelenmiş ve kendi içinde mukayese edilmiştir. KYB'nin taze ve sertleşmiş beton özellikleri mermer tozunun kullanılması ile değişimler göstermiştir. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi ve Pasinler Meslek Yüksekokulu Laboratuvarları deneysel çalışmaların yapılması adına kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan malzemeler ve deney aletleri aşağıda açıklanmıştır.

Materyal

Tez çalışmasının bu kısmında harç numunelerin üretiminde kullanılan çimento, agrega, süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi, su, silis dumanı ve mermer tozu ile deney süresince kullanılan cihaz ve aletlerin özellikleri açıklanmıştır.

Çimento

Bu tez çalışmasında TS EN 197-1 standartlarına uygun olarak Portland (CEM-I 42.5 R), Alüminli ve Beyaz olmak üzere 3 farklı çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentoların kimyasal ve fiziksel özellikleri aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. CEM I 42,5R Çimentonun Kimyasal Ve Fiziksel Özellikleri

Kimyasal ve Fiziksel Özellikler	Miktar
SO ₃ (%)	3,15
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,66
Kızdırma Kaybı (%)	2,05
Priz Başlangıcı (dakika)	150
İncelik (cm ² /g)	3450
2 günlük basınç dayanımı (MPa)	25
28 günlük basınç dayanımı (MPa)	48

Tablo 2. Alüminli Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Bileşenler	Kalsiyum Alüminat Çimento (%)
Al ₂ O ₃	39,8
SiO ₂	3,6
Fe ₂ O ₃	17,1
CaO	36,2
MgO	0,65
SO ₃	0,04

Tablo 3. Alüminli Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Özellik	Kalsiyum Alüminat Çimento
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,25
Kızdırma Kaybı (%)	0,3
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,16
İncelik	3000 ^a

Tablo 4. Beyaz Çimentonun Kimyasal Özellikleri

Bileşenler	Beyaz Çimento (%)
Al ₂ O ₃	4,05
SiO ₂	21,6
Fe ₂ O ₃	0,26
CaO	65,7
MgO	1,3
K ₂ O	0,35
SO ₃	3,3

Tablo 5. Beyaz Çimentonun Fiziksel Özellikleri

Özellik	Beyaz Çimento
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,06
Kızdırma Kaybı (%)	3,2
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,18
İncelik	4600 ^a

Kum

Tez çalışması kapsamındaki tüm karışımlarda EN 1097-6'ya uygun su emme ve özgül ağırlığa sahip ağırlığı 2.60, su emme değeri 1.80 ve incelik modülü 3.42 olan dere kumu kullanılmıştır.



Şekil 5. Karışımlarda kullanılan kum.

Karışım suyu

Beton üretiminde içme suyunun kullanılması uygun görülmektedir. Buna istinaden bu çalışmada Atatürk Üniversitesi içme suyu kullanılmıştır.

Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı

Bu çalışmada, sırasıyla pH'ı 6 ve özgül ağırlığı 1.065 olan polikarboksilat bazlı yeni nesil bir süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Silis dumanı

Karışımlarda %10 sabit oranda aşağıda Tablo 6 ve Tablo 7’de özellikleri verilen silis dumanı kullanılmıştır.

Tablo 6. Silis Dumanı Kimyasal Özellikleri

Bileşenler	Silis Dumanı (%)
Al ₂ O ₃	0,4
SiO ₂	95,6
Fe ₂ O ₃	0,8
CaO	0,4
MgO	0,6
K ₂ O	0,4
SO ₃	0,2

Tablo 7. Silis Dumanı Fiziksel Özellikleri

Özellik	Silis Dumanı
Özgül Ağırlık	2,2
Kızdırma Kaybı (%)	0,6
İncelik	19800 ^b

Mermer Tozu

Karışımlarda mermer fabrikalarından elde edilen Tablo 8 ve Tablo 9’da özellikleri verilen atık mermer tozu kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Mermer tozu.

Tablo 8. Mermer Tozu Kimyasal Özellikleri

Bileşenler	Atık Mermer Tozu (%)
Al ₂ O ₃	0,6
SiO ₂	0,8
Fe ₂ O ₃	0,8
CaO	57,2
MgO	9,6
K ₂ O	0,03
SO ₃	0,04

Tablo 9. Mermer Tozu Fiziksel Özellikleri

Özellik	Atık Mermer Tozu
Özgül Ağırlık	2,73
Kızdırma Kaybı (%)	42,6
Çözünmeyen Kalıntı (%)	0,91

Deneylerde Kullanılan Aletler

Betonyer

Numunelerin standartlara uygun üretilmesi için bu deneysel çalışmada ELE firmasının üretmiş olduğu karıştırma hızı 25 devir/dakika olan ve 135° açıyla manevra yapma özelliğine sahip 60 dm³ kapasiteli Şekil 7’de gösterilen harç karma makinesi (betonyer) kullanılarak harç numunelerin üretimi sağlanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Harç karma makinesi.

Numune Kalıpları

Harç numunelerin basınç dayanım değerlerinin ölçülmesi için 50x50x50 mm boyutunda çelik kalıplar ve eğilme değerlerinin ölçülmesi için 40x40x160 mm çelik kalıplar kullanılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. 50x50x50 mm küp kalıplar ve 40x40x160 mm kiriş kalıplar.

Beton Basınç ve Eğilme Deneyi Test Cihazı

Sertleşmiş harç numunelerinin basınç dayanımı tayini için görselde (Şekil 9) verilen basınç presi ve eğilme dayanımı tayini için üç noktalı eğilme test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 9. Basınç ve eğilmede çekme dayanımı deney cihazları.

Su Kürü Havuzu

Bu çalışmada hazırlanan harç numuneler 20 ± 2 derece sıcaklıkta 28 gün boyunca kirece doymuş kür havuzunda bekletilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10. Kür havuzu.

Çökme- Yayılma Deney Aleti

Deney düzeneğinde Şekil 11’de gösterilen yayılma tablası ve Abrams konisi kullanılmıştır.



Şekil 11. Çökme-yayılma testi deney düzeneği.

Hava Dolaşımlı Etüv

Islak halde bulunan numuneler üzerinde gerçekleştirilecek olan kılcal su emme deneyi öncesinde numunelere 105 ± 5 °C’de kurutma işlemleri uygulanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Etüv cihazı.

Donma Çözünme Cihazı

Donma çözünme deneyi için numuneler UTEST donma çözünme kabiniinde su dolu kaplar içine yerleştirilmiş ve ASTM C 666 Prosedür A'ya göre 5 saat -18° de 3 saat $+4^{\circ}$ de bekletilmek üzere 30,60 ve 90 kez tekrarlanarak donma çözünme işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 13).



Şekil 13. Donma çözünme kabini.

Karışım Oranları

Bu çalışma kapsamında hazırlanan harç numunelerinin karışım oranları aşağıda verilmiştir (Tablo 10). Karışım oranlarının belirlenmesi için deneme dökümleri yapılmıştır. Ön çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre karışım oranları şu şekildedir:

Su/çimento oranı: 0.42,

Süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı: % 1

Silis Dumanı: %10 oranında kullanılmıştır. Her karışım, karışımlarda kullanılan çimento cinsine ve atık mermer tozu oranına göre isimlendirilmiştir.

Örneğin, bir MN10 kodunda, ilk harf (M) mermer tozunu, ikinci harf normal (Portland) çimentosunu ve bitişik sayılar (10), harç karışımındaki atık mermer tozu miktarını temsil eder.

Tablo 10. Karışım Hesabı

Karışım Kodu	Çimento	Silis Dumanı	Atık Mermer Tozu	İnce Agregası	Su	Süper Akışkanlaştırıcı
M0N	540	60		1404	252	6
M5N	510	60	30	1398	252	6
M10N	480	60	60	1396	252	6
M15N	450	60	90	1391	252	6
M0A	540	60		1416	252	6
M5A	510	60	30	1412	252	6
M10A	480	60	60	1409	252	6
M15A	450	60	90	1404	252	6
M0B	540	60		1391	252	6
M5B	510	60	30	1386	252	6
M10B	480	60	60	1383	252	6
M15B	450	60	90	1380	252	6

Deney Yöntemleri**Çökme- Yayılma Deneyi**

KYB'nin taze beton özelliklerini incelemek maksadıyla EFNARC'e göre mini çökme akış deneyi gerçekleştirilmiştir. KYB'lerin işlenebilirlik değerleri, çökme akış çapı için 24–26 cm kriterine göre değerlendirilmiştir (Şekil 14).

**Şekil 14.** Çökme yayılma deney aşamaları.**Basınç Dayanımı Deneyi**

Harç numunelerinin basınç dayanım testleri ASTM C109 standardına göre yapılmıştır. 50x50x50 mm ebatlarında hazırlanan harç numuneler 28 gün standart su küründe bekletildikten sonra basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur. Her bir karışım için 3 adet küp numunenin ortalaması alınmıştır.

Eğilmede Çekme Deneyi

40×40×160 mm ebatlarındaki 28 günlük harç numuneler ASTM C348 standardına uygun bir şekilde donma çözünme deneyi öncesi ve sonrasında üç noktalı eğilme dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Deney için 3 adet kiriş numunenin dayanım değerlerinin ortalaması alınmıştır.

Kılcal Su Emme Deneyi

ASTM C1585-13 standardına bağlı kalarak kılcal su emme deneyi 5x5x5 küp numuneler 105±5°C’de 24 saat etüvde bekletildikten sonra deneye tabi tutulmuştur. Her bir numune dört yan yüzeyi elektrik bandıyla kapatılarak suya (2 ± 1) mm batacak şekilde ızgaralar üzerine yerleştirilerek 10 dakika, 60 dakika, 180 dakika, 360 dakika ve 1440 dakika aralıklarla olmak üzere 5 ölçüm yapılmıştır (Şekil 15).



Şekil 15. Kılcallık deneyi aşamaları.

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde 3 farklı çimento tipi ile hazırlanan harç numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerin basınç dayanım değerleri, eğilme dayanım değerleri ve kılcal su emme değerleri tablolar ve grafikler halinde sunulmuştur. Numuneler çimento tipleri ve mermer tozu kullanım oranlarına göre kodlanmıştır.

Karşılaştırma mermer tozu oranlarının farklı çimento türleri üzerinde donma çözünme çevrimlerine bağlı olarak kontrol numuneleri arasında yapılmıştır.

Çökme-Yayılma Deney Sonuçları

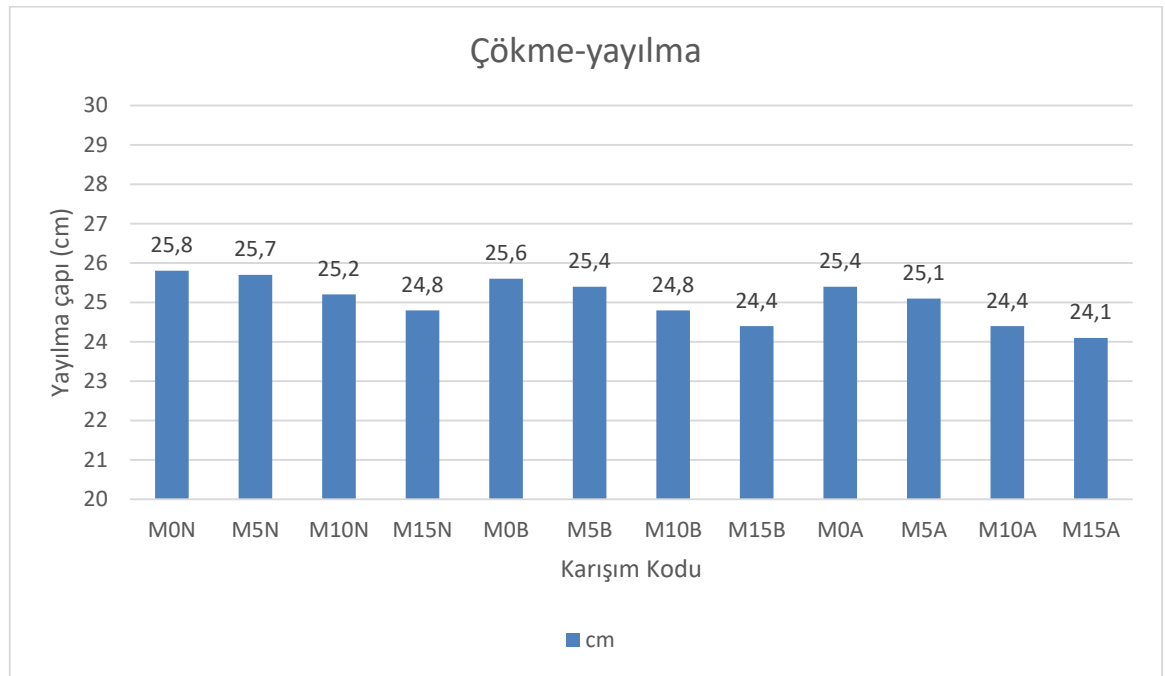
3 farklı çimento tipi ile hazırlanan karışımlara ait çökme-yayılma sonuçları Tablo 11 ve Şekil 16'da gösterilmiştir. Süperakışkanlaştırıcının etkisiyle tüm karışımların akış çaplarının EFNARC'ta belirtilen 24-26 cm arasında olduğu belirlenmiştir Mermer tozunun %0, %5, %10 ve %15 oranlarında kullanılması ile elde edilen harçların çökme değerleri Portland çimentosunun kullanılması ile sırasıyla; 25.8 cm, 25.7cm, 25.2 cm, 24.8 cm olarak belirlenmiştir. Beyaz çimento içerikli karışımların akış çapları ile 25.6 ile 24.4 cm arasında değişmektedir. Karışımlara %5 mermer tozu eklenmesi çökme akış çapını değiştirmezken, %10 ve %15 mermer tozu ikamesi çökme akış çaplarını azaltmıştır. Çökme akış çapının azalmasının sebebi mermer tozunun ortalama tane çapının çimento tiplerine nazaran daha ince olmasıdır. Beyaz çimento içerikli karışımların Portland çimentosuna kıyasla akış çapının daha düşük olması beyaz çimentonun daha küçük ortalama parçacık boyutuna bağlanabilir. Akış çapındaki en büyük azalma alüminli çimento içerikli karışımlarda görülmüştür. M0A serisinde akış çapı 25,4 cm iken M15A serisinde bu değer 24,1 cm olarak ölçülmüştür.

Pala vd. (2015) mermer tozu ve uçucu kül kullanarak kendiliğinden yerleşen beton üretmişlerdir. Mermer tozu kullanımının KYB'nin işlenebilirliği üzerinde herhangi bir olumsuz etkiye sebep olmadığını ayrıca %10 MT ve %25 UK kullanımının optimum sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Praveenkumar vd. (2017) MT ve UK'ün KYB'ye etkisini incelemek adına gerçekleştirdikleri çalışmada MT'nun kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirliği üzerinde olumsuz bir etkiye sebep olmadığını öne sürmüşlerdir.

Tablo 11. Çökme-Yayılma Değerleri

	cm
MN-0	25,8
MN-5	25,7
MN-10	25,2
MN-15	24,8
MB-0	25,6
MB-5	25,4
MB-10	24,8
MB-15	24,4
MA-0	25,4
MA-5	25,1
MA-10	24,4
MA-15	24,1

**Şekil 16.** Çökme-yayılma değerleri.**Donma Çözünme Deneyi**

Çalışmada ASTM C 666 da belirtilen A prosedürüne göre suya doymun hale getirilen numuneler Erzurum Pasinler Meslek Yüksek Okulu İnşaat Teknolojisi Laboratuvarında Utest firmasının ürettiği donma çözünme cihazının kabinine yerleştirilmiş olup -18 ± 4 °C’de 5 saat suda dondurma ve 3 saat suda çözündürme işlemine maruz bırakılmıştır. Numunelerde 30 ve 60 döngülerde gözle görülür hasarlar oluşmamış olup 90 döngüde dayanım kaybına uğramıştır (Şekil 17).



Şekil 17. Donma çözünme çevriminin numunelere etkisi.

Kılcal Su Emme Ölçümleri

Kılcal su emme deneyi 12 farklı grup ve 0, 30, 60 ve 90 döngüler için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Numunelerin kılcal su emme deneyine tabi tutulduğu sırada elde edilen görsel Şekil 18’de verilmektedir. Karışımların kılcal su emme değerleri aşağıda verilen tablo ve şekillerde gösterilmiştir.



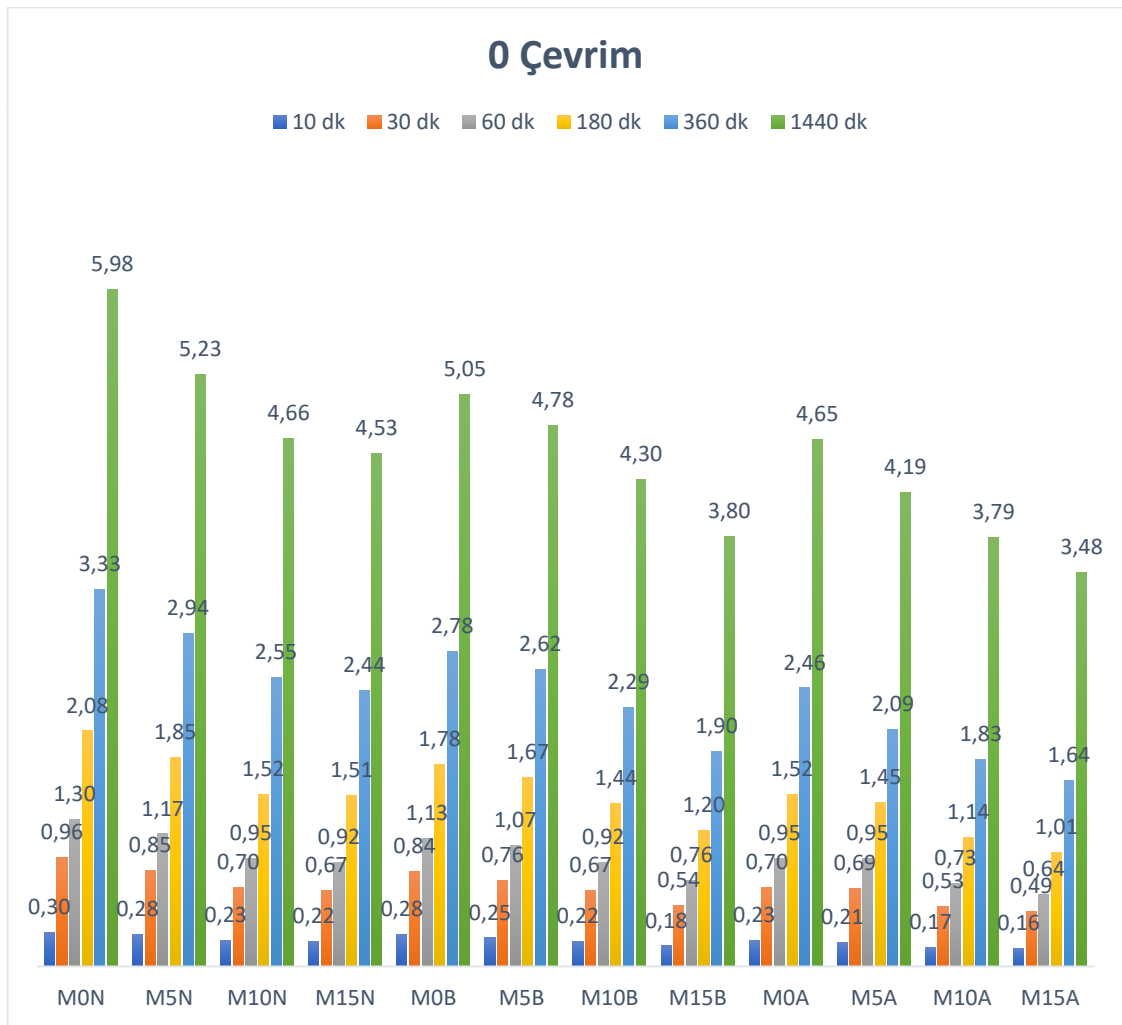
Şekil 18. Kılcal su emme deney safhası.

Tablo 12. Kılcal Su Emme 0 Çevrim Değerleri

	10 dk	30 dk	60 dk	180 dk	360 dk	1440 dk
M0N	0,30	0,96	1,30	2,08	3,33	5,98
M5N	0,28	0,85	1,17	1,85	2,94	5,23
M10N	0,23	0,70	0,95	1,52	2,55	4,66

Tablo 12. (Devamı)

M15N	0,22	0,67	0,92	1,51	2,44	4,53
M0B	0,28	0,84	1,13	1,78	2,78	5,05
M5B	0,25	0,76	1,07	1,67	2,62	4,78
M10B	0,22	0,67	0,92	1,44	2,29	4,30
M15B	0,18	0,54	0,76	1,20	1,90	3,80
M0A	0,23	0,70	0,95	1,52	2,46	4,65
M5A	0,21	0,69	0,95	1,45	2,09	4,19
M10A	0,17	0,53	0,73	1,14	1,83	3,79
M15A	0,16	0,49	0,64	1,01	1,64	3,48

**Şekil 19.** Kılcal su emme 0 çevrim değerleri.

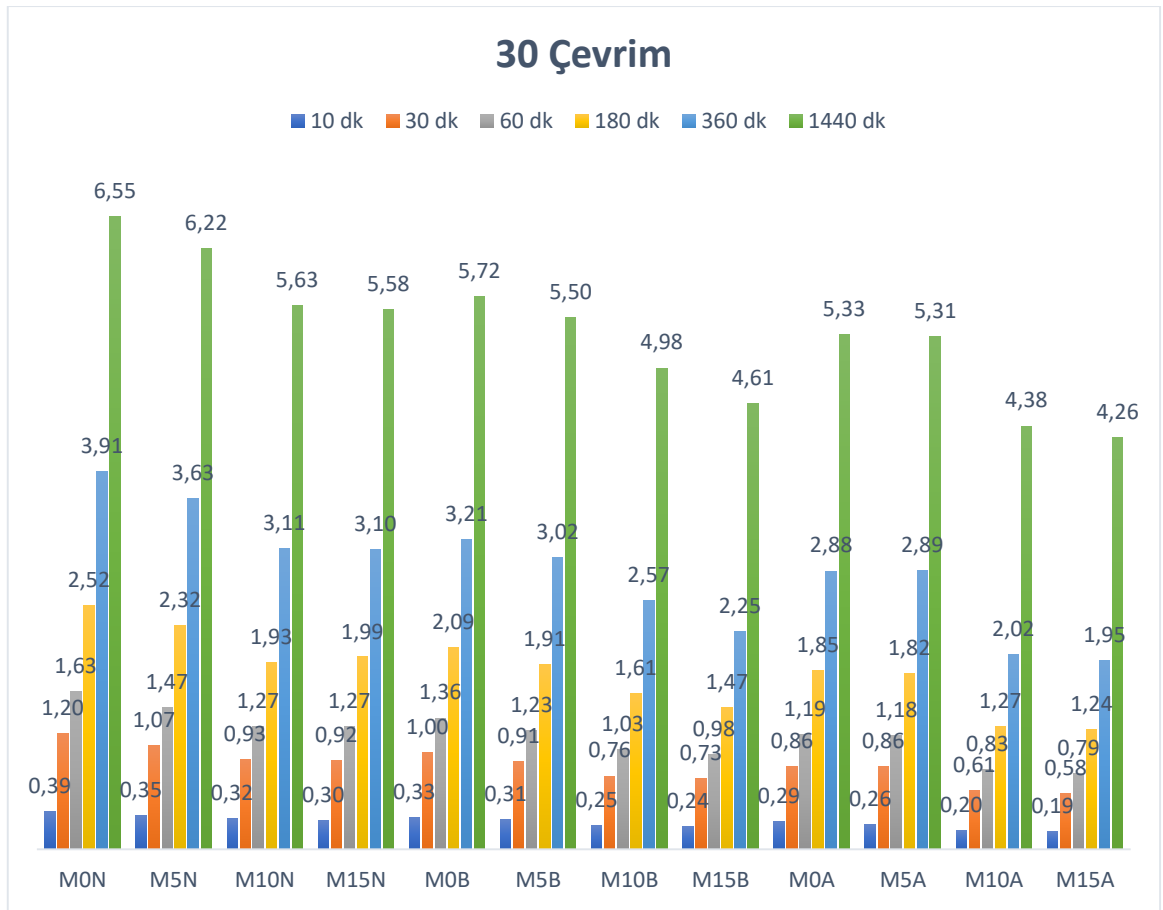
Şekil 19 incelendiğinde mermer tozu oranının artmasıyla tüm çimento tiplerinde kılcal su emme değerlerinin azaldığı görülmektedir. Bu durum mermer tozunun doldurma etkisi ile harç numunelerindeki gözenekliliği azaltmasına bağlanabilir. Atık mermer tozu kullanarak KYB üreten Topçu, mermer tozunun KYB'deki boşlukları doldurduğunu ve yüksek işlenebilirlik özelliği sayesinde kılcal boşlukları azalttığını bildirmiştir. Aliabdo ve ark. (2014) uyguladıkları

deney verilerinden yola çıkarak mermer tozunun çimento ile ikame edilerek kullanılması halinde mermer tozunun artmasıyla betonun gözenekliliğinin azaldığını öne sürmüşlerdir.

MN bazlı karışımlarda mermer tozu oranının 0'dan 15'e çıkarılması 24 saatlik yüzey suyu emme değerini %24.2 oranında azaltmıştır. MB ve MA bazlı karışımlarda mermer tozu oranının %0'dan %15'e çıkarılması kılcal su emme değerini sırasıyla %24.7 ve %25.1 oranında azaltmıştır. Farklı çimento türleri arasında kılcal su emmesi en az MA esaslı karışımlardan elde edilmiştir. Bunun yanı sıra MB'nin MN'ye kıyasla su emmesi daha azdır. Bu durum Beyaz çimentonun Portland çimentosuna nazaran daha ince parçacık boyutuna bağlı olarak kılcal gözeneklerin azalmasıyla ilişkilendirilebilir.

Tablo 13. Kılcal Su Emme 30 Çevrim Değerleri

	10 dk	30 dk	60 dk	180 dk	360 dk	1440 dk
M0N	0,39	1,20	1,63	2,52	3,91	6,55
M5N	0,35	1,07	1,47	2,32	3,63	6,22
M10N	0,32	0,93	1,27	1,93	3,11	5,63
M15N	0,30	0,92	1,27	1,99	3,10	5,58
M0B	0,33	1,00	1,36	2,09	3,21	5,72
M5B	0,31	0,91	1,23	1,91	3,02	5,50
M10B	0,25	0,76	1,03	1,61	2,57	4,98
M15B	0,24	0,73	0,98	1,47	2,25	4,61
M0A	0,29	0,86	1,19	1,85	2,88	5,33
M5A	0,26	0,86	1,18	1,82	2,89	5,31
M10A	0,20	0,61	0,83	1,27	2,02	4,38
M15A	0,19	0,58	0,79	1,24	1,95	4,26



Şekil 20. Kılcal su emme 30 çevrim değerleri.

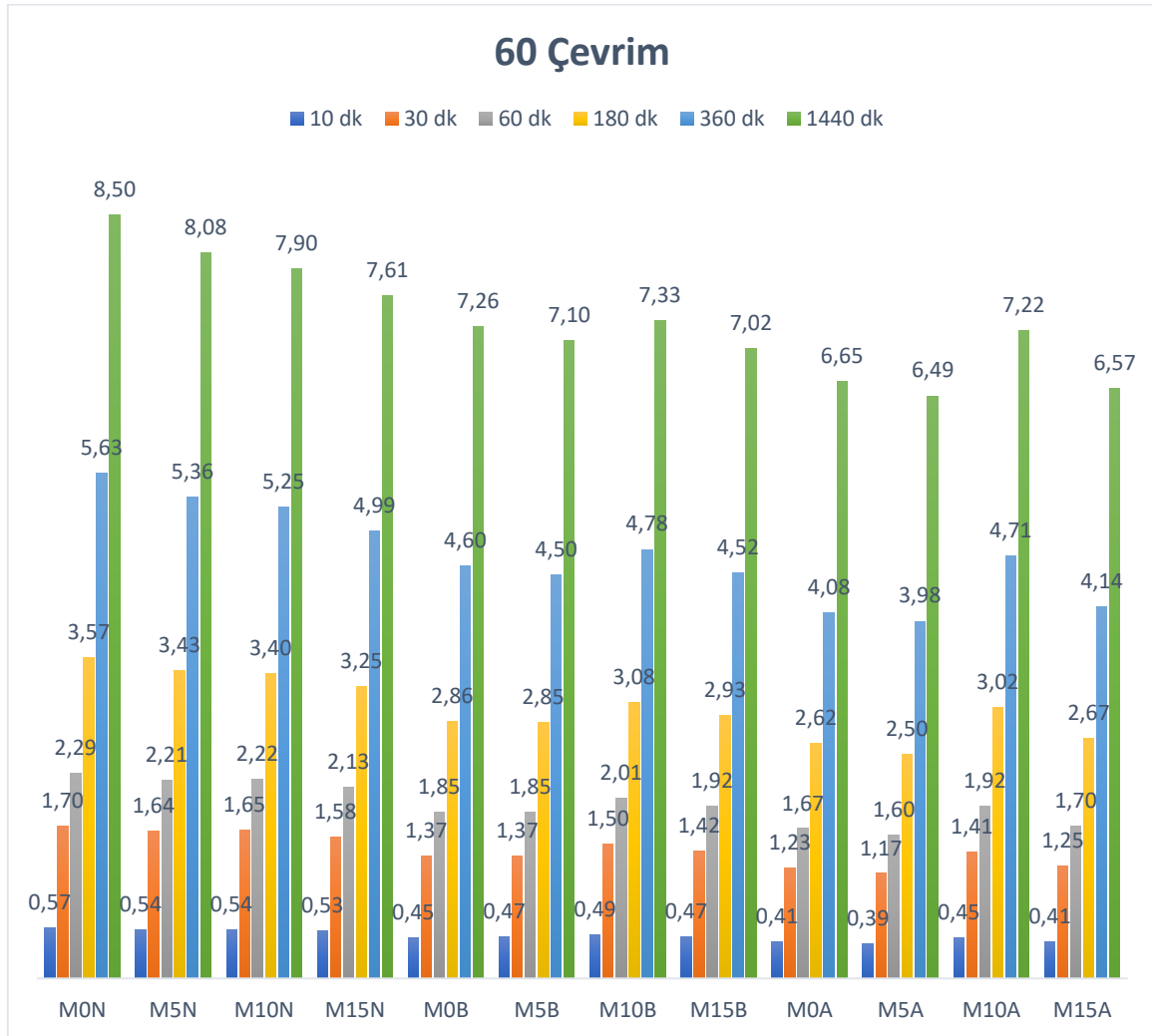
30 donma çözünme çevrimine maruz kalan M0B, M5B, M10B, M15B kodlu numunelerin kılcal su emme değerleri 24 saat sonra sırasıyla 5.72 gr, 5.50 gr, 4.98 gr, 4.61 gr olarak belirlenmiştir. M0B kodlu mermer tozunun kullanılmadığı kontrol grubu karışımla kıyaslandığında M5B, M10B, M15B kodlu numunelerin kılcal su emme değerlerinin sırasıyla %3.8, %12.9, %19.4 oranında azaldığı belirlenmiştir. MN ve MA kodlu numunelerin kılcal su emme değerleri sırasıyla %14.9 ve %20.1 oranlarında azalmıştır. Donma çözünme çevrimine maruz bırakılan numunelerin donma çözünmeye maruz bırakılmayan numunelere kıyasla su emme değerleri artmıştır (Şekil 20).

Tablo 14. Kılcal Su Emme 60 Çevrim Değerleri

	10 dk	30 dk	60 dk	180 dk	360 dk	1440 dk
M0N	0,57	1,70	2,29	3,57	5,63	8,50
M5N	0,54	1,64	2,21	3,43	5,36	8,08
M10N	0,54	1,65	2,22	3,40	5,25	7,90
M15N	0,53	1,58	2,13	3,25	4,99	7,61
M0B	0,45	1,37	1,85	2,86	4,60	7,26
M5B	0,47	1,37	1,85	2,85	4,50	7,10
M10B	0,49	1,50	2,01	3,08	4,78	7,33
M15B	0,47	1,42	1,92	2,93	4,52	7,02
M0A	0,41	1,23	1,67	2,62	4,08	6,65
M5A	0,39	1,17	1,60	2,50	3,98	6,49

Tablo 14. (Devamı)

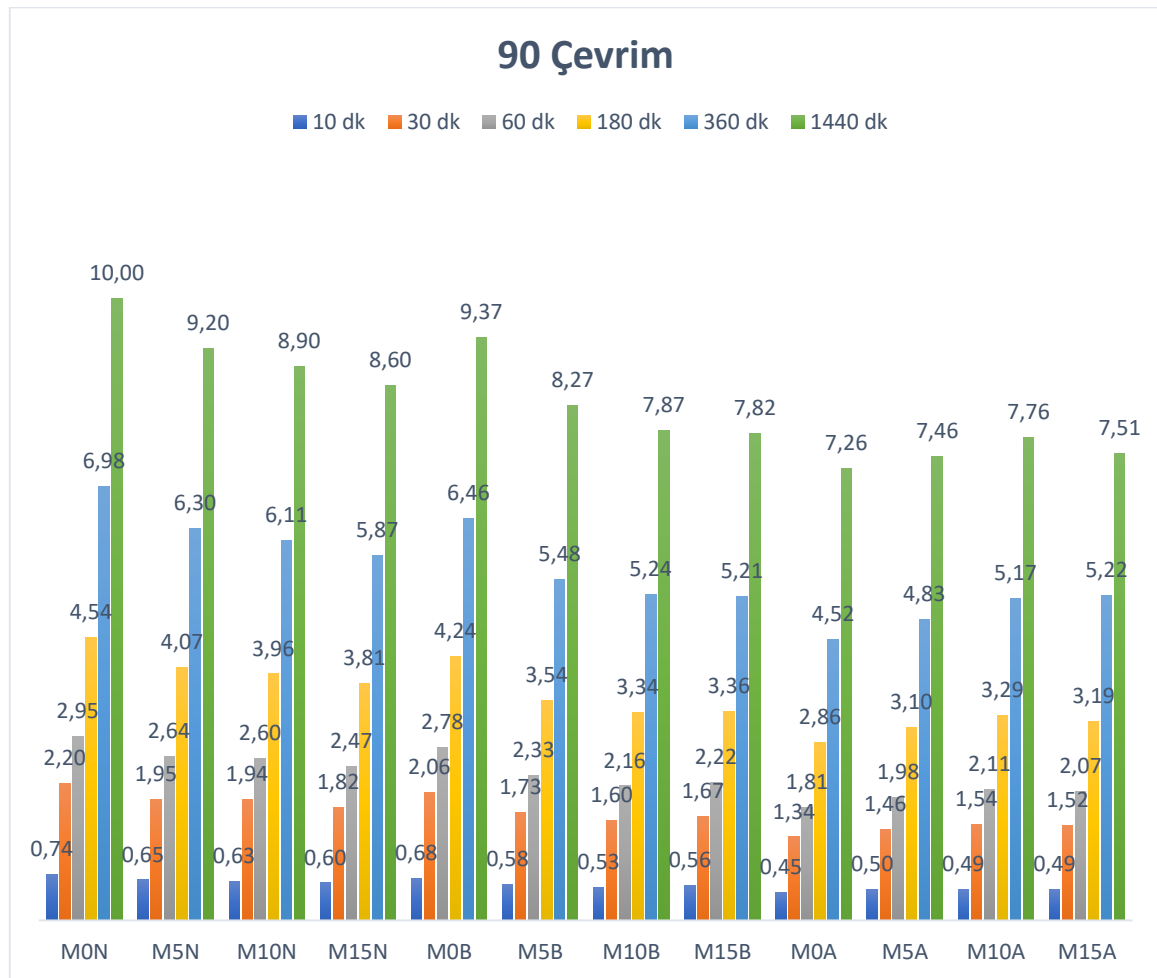
M10A	0,45	1,41	1,92	3,02	4,71	7,22
M15A	0,41	1,25	1,70	2,67	4,14	6,57

**Şekil 21.** Kılcal su emme 60 çevrim değerleri.

Donma-çözünme çevrim sayısının 60'a ulaştığı durumda numunelerin kılcal su emme oranları donma çözünmeye maruz bırakılmayan ve 30 çevrime maruz bırakılan numunelere oranla artmıştır. 60 donma-çözünme çevrimine maruz kalan MN15, MB15, MA15 kodlu numuneler 30 donma-çözünme çevrimine maruz kalan numuneler ile kıyaslandığında su emme oranları sırasıyla %36.3, %52.2, %54.2 oranında artış göstermiştir. Bu durum içeriye su alan numunelerin tekrarlı donma-çözünme süreçleri dolayısıyla oluşan fiziksel olayların betonun bütünlüğünü bozması ve malzemenin zarar görmesiyle ilişkilendirilebilir. Betondaki donma-çözülme olayı sertleşmiş çimento hamurunun mikro yapısı ve sertleşmiş çimento hamurunun ve agreganın gözeneklilik özelliğiyle büyük ölçüde ilgili bulunmaktadır. İçerisine su alan malzemenin düşük sıcaklıklarda oluşan fiziksel olaylar sonucu bütünlüğün bozulması, dolayısıyla malzemenin zarar görmesi söz konusudur (Şekil 21).

Tablo 15. Kılcal Su Emme 90 Çevrim Değerleri

	10 dk	30 dk	60 dk	180 dk	360 dk	1440 dk
M0N	0,74	2,20	2,95	4,54	6,98	10,00
M5N	0,65	1,95	2,64	4,07	6,30	9,20
M10N	0,63	1,94	2,60	3,96	6,11	8,90
M15N	0,60	1,82	2,47	3,81	5,87	8,60
M0B	0,68	2,06	2,78	4,24	6,46	9,37
M5B	0,58	1,73	2,33	3,54	5,48	8,27
M10B	0,53	1,60	2,16	3,34	5,24	7,87
M15B	0,56	1,67	2,22	3,36	5,21	7,82
M0A	0,45	1,34	1,81	2,86	4,52	7,26
M5A	0,50	1,46	1,98	3,10	4,83	7,46
M10A	0,49	1,54	2,11	3,29	5,17	7,76
M15A	0,49	1,52	2,07	3,19	5,22	7,51

**Şekil 22.** Kılcal su emme 90 çevrim değerleri.

Şekil 22 incelendiğinde 90 donma çözünme çevrimine maruz kalan M0A, M5A, M10A, M15A kodlu numunelerin kılcal su emme değerleri 6 saat sonra sırasıyla 7.26 gr, 7.46 gr, 7.76 gr, 7.51 gr olarak belirlenmiştir. M0A kodlu mermer tozunun kullanılmadığı kontrol grubu karışımla kıyaslandığında M15A kodlu numunelerin kılcal su emme değerinin %3.44 oranında arttığı belirlenmiştir. Mermer tozunun artışı donma-çözünme çevriminden önce MA kodlu

numunelerde MB ve MN serilerine göre kılcal su emme oranının düşüşünde daha etkili olmuştur. Buna rağmen MA serileri donma-çözünmeye maruz kaldıktan sonra kılcal su emme değerlerindeki artış MB ve MN gruplarına göre daha fazla olmuştur. Bu durum MA'nın basınç dayanımını artıran hidrasyon ürünleri CAH10 ve C2AH8'in oluşumuyla kılcal boşlukların azalttığı yönünde yorumlanabilir. Bu durum da en yüksek basınç ve eğilme değerleri vermesiyle paralel bir ilişki olduğunu düşündürebilir.

Basınç Dayanım Sonuçları

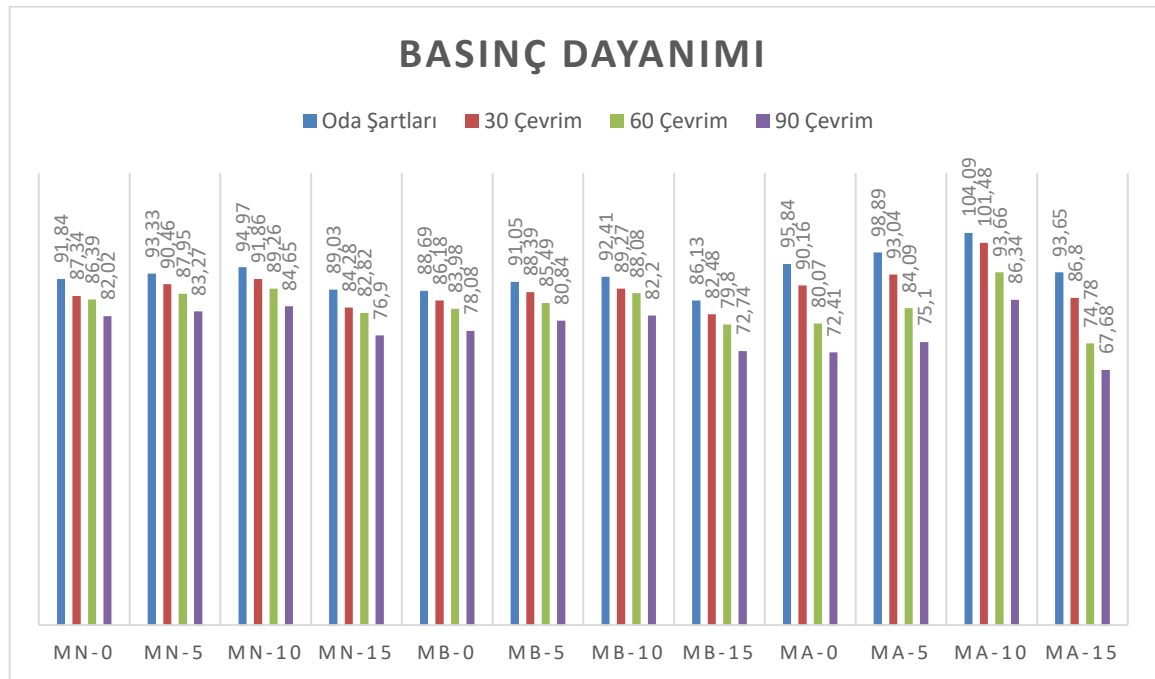
Çalışma kapsamında 12 seri halinde üretilen harç numunelerin basınç dayanım değerleri donma çözünme çevrimine maruz bırakılmadan önce ve sonrasında ölçülmüştür. 5x5x5 cm boyutlarındaki küp numuneler ve 4x4x16 cm boyutlarındaki kiriş numuneler 28 gün standart su kürüne maruz bırakılmıştır. 28 gün sonrasında numuneler donma çözünmeye maruz bırakılanlar ve bırakılmayanlar olarak gruplanmıştır. Numunelere ait basınç dayanım verileri Şekilde basınç dayanım testi uygulama aşamasına ait görsel verilmiştir (Şekil 23). Şekil 24'te numunelerin 0, 30, 60, 90 çevrime maruz bırakıldıktan sonraki basınç dayanım değerleri toplu halde verilmiştir.



Şekil 23. Basınç dayanım testi aşaması.

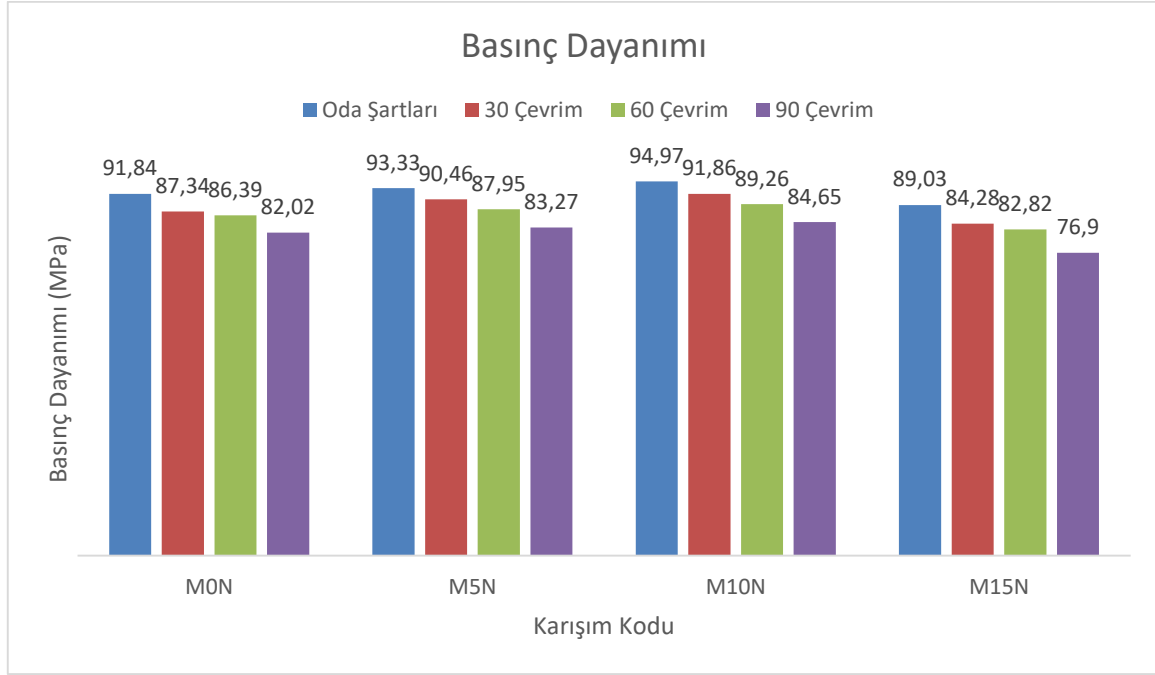
Tablo 16. Basınç Dayanımı Değerleri

	Oda Şartları	30 Çevrim	60 Çevrim	90 Çevrim
M0N	91,84	87,34	86,39	82,02
M5N	93,33	90,46	87,95	83,27
M10N	94,97	91,86	89,26	84,65
M15N	89,03	84,28	82,82	76,9
M0B	88,69	86,18	83,98	78,08
M5B	91,05	88,39	85,49	80,84
M10B	92,41	89,27	88,08	82,2
M15B	86,13	82,48	79,8	72,74
M0A	95,84	90,16	80,07	72,41
M5A	98,89	93,04	84,09	75,1
M10A	104,09	101,48	93,66	86,34
M15A	93,65	86,8	74,78	67,68

**Şekil 24.** Basınç dayanımı değerleri.

Kendiliğinden yerleşen harç numunelerinin donma ve çözünme öncesi ve sonrası 28 günlük basınç dayanımı sonuçları şekil 24'te verilmiştir. Tüm çimento türlerinde %10 mermer tozu kullanımı ile basınç dayanımında artış meydana gelmiştir. Basınç dayanımındaki bu artışın sebebi mermer tozunun doldurma etkisinin olabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte süperakışkanlaştırıcı kullanımı ile harç numunelerin daha düşük su içeriğinden kaynaklanabilir. 28 günlük basınç dayanımları değerlendirildiğinde donma-çözünme öncesi numunelerin %5 mermer tozunun çimento ile ikame edilmesi durumunda MN, MB, MA kodlu numunelerin basınç dayanımları sırasıyla %1.62, %2.66 ve %3.18 oranında artış göstermiştir. Mermer tozunun %10 oranında çimento ile ikamesi durumunda MN, MB, MA serilerinin basınç dayanım değerleri sırasıyla %3.41, %4.19 ve %8.60 oranında artış göstermiştir. Tanyıldızı ve

Coşkun (2011) mermer tozunu çimento ile %0, %10, %20 oranlarında yer değiştirerek kullanarak ürettikleri numuneler üzerinde gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda %10 oranında mermer tozunun basınç dayanım değerlerini arttırdığını saptamıştır. Ashish (2018), çimento yerine %10 mermer tozu ilavesinin kontrol numunesi ile karşılaştırıldığında basınç dayanımını %8.44 oranında arttırdığını saptamıştır. Aliabdo ve ark. (2014), %5 ve %10 mermer tozu kullanımı ile ürettikleri numunelerde basınç dayanımının sırasıyla %1 ve %12 oranında arttığı sonucuna ulaşmışlardır.



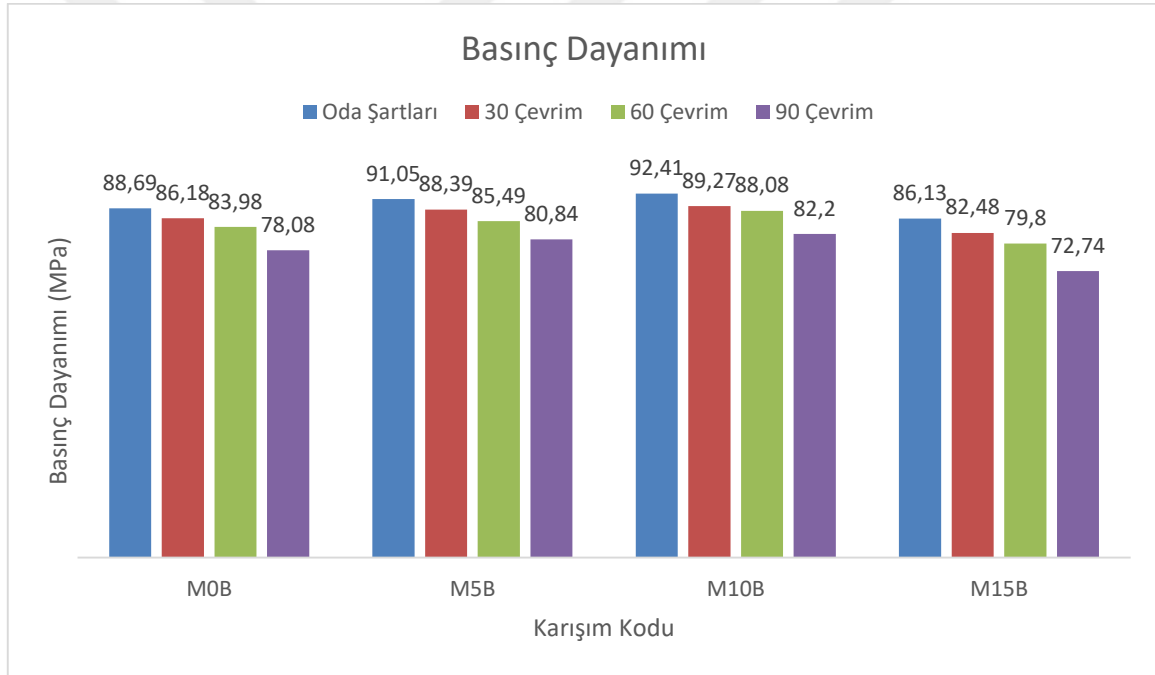
Şekil 25. Portland çimentolu harçların basınç dayanımı değerleri.

Şekil 25 incelendiğinde 30, 60 ve 90 çevrim donma-çözünmeye maruz kalan tüm numunelerin bağlayıcı miktarına bağlanabilecek önemli bir bozulmaya uğramadığı görülmektedir. MN kodlu karışımların 30 döngüden sonra basınç dayanımındaki azalma %3.1 ile %5.3 arasında değişmektedir. Dayanım düşüşü en az M5N serisinden elde edilirken, en fazla düşüş M15N serisinde olmuştur. Donma-çözünmeye maruz kalmayan serilerdekine benzer olarak %5 ve %10 mermer tozu kullanılan numunelerin basınç dayanımları M0N kodlu numunelerden yüksek dayanıma sahiptir.

60 donma çözünme çevrimine maruz bırakılan M0N, M5N, M10N, M15N kodlu numunelerin basınç dayanımları sırasıyla 86.39MPa, 87.95Mpa, 89.26Mpa, 82.82Mpa olarak belirlenmiş olup donma çözünmeye maruz bırakılmayan kontrol gruplarına kıyasla sırasıyla %5.94, %5.77, %6.02, %6.98 oranlarında basınç dayanım değeri azalmıştır. 90 döngüden sonra da MN kodlu numunelerin benzer davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. M5N ve M10N kodlu serilerin M0N kodlu serilere göre 90 döngü sonrası basınç dayanımı daha yüksek olmasına

rağmen donma çözünmeye maruz bırakılmayan kontrol gruplarına kıyasla sırasıyla %10.78, %10.87 oranında dayanım kaybetmişlerdir.

Sonuç olarak, %5 ve %10 mermer tozu ilavesi, 60 ve 90 donma-çözülme döngüsünden sonra karışımların mukavemeti üzerinde önemli bir etkiye neden olmamıştır. Bu durum mermer tozunun puzolanik aktiviteye sahip olmaması ile C-S-H jel içeriğinin azalmasına, fakat mermer tozunun %5 ve %10 gibi düşük oranlarda kullanımının doldurma etkisiyle dayanımdaki düşüşü telafi etmesiyle ilişkilendirilebilir. Mermer tozunun %15 oranında kullanılması durumunda M15N kodlu numunelerde donma-çözünme direnci azalmıştır. 90 döngüden sonra M15N serisinin basınç dayanımı %13.6 oranında azalmıştır. Mermer tozunun artan oranla kullanılması hidrasyon ürünlerinin azalmasına sebep olduğundan donma-çözünme esnasında serbest su miktarını ve genleşme stresini arttırarak gevşek bir yapı oluşmasına ve güç kaybının artmasına sebep olduğu düşünülebilir.

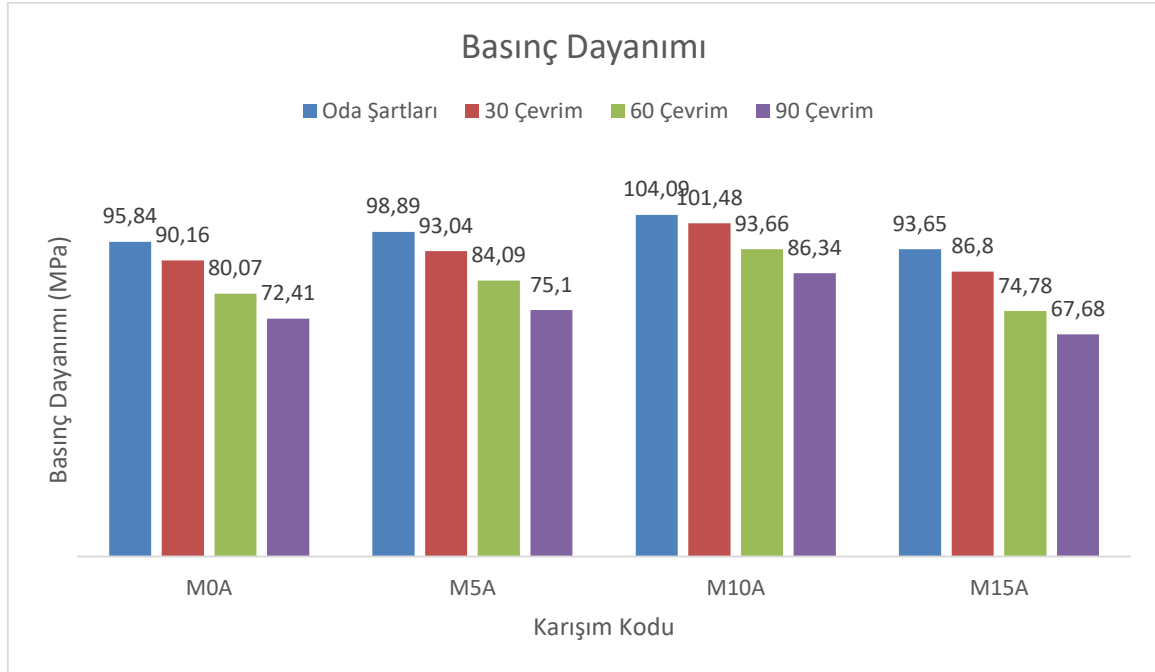


Şekil 26. Beyaz çimentolu harçların basınç dayanımı değerleri.

Şekil 26’da MB esaslı karışımların donma-çözünme çevrimleri sonrası basınç dayanımları incelendiğinde, 30 çevrim sonrası dayanım kaybının %2.8 ile %4.2 arasında değiştiği görülmektedir. MB kodlu numunelerin 60 çevrim sonrası basınç dayanımları incelendiğinde M0B, M5B, M10B serilerinin sırasıyla %5.3, %6.1 ve %4.7 oranlarında dayanım kaybettikleri görülmüştür. Tıpkı donma-çözünmeye maruz kalmadan önceki dayanımları gibi %5 ve %10 mermer tozu kullanılan numunelerde basınç dayanımları %0 mermer tozu kullanılan numunelere kıyasla daha yüksektir. 90 donma-çözünme çevriminden sonra M0B, M5B, M10B, M15B kodlu numunelerin basınç dayanımları sırasıyla 78.08MPa,

80.84Mpa, 82.20Mpa, 72.74Mpa olarak belirlenmiş olup donma çözünmeye maruz bırakılmayan kontrol gruplarına kıyasla sırasıyla %11.9, %11.2, %11.0, %15.5 oranlarında basınç dayanım değeri azalmıştır. MN grupları ile benzer şekilde MB gruplarında da mermer tozunun düşük oranlarda kullanımının doldurma özelliği göstermesi sayesinde C-S-H jelinin azalmasına rağmen dayanım kaybının daha fazla olmasının önüne geçmiştir. M15B kodlu numunelerin 60 ve 90 döngü sonrasında dayanım kayıpları sırasıyla %7.3 ve %15.5'tir. Beton veya harcın donma ve çözünme direnci büyük ölçüde hidratasyon ürünleri ve gözeneklerin miktarına bağlıdır.

Portland çimentosunun ve Beyaz çimentonun kimyasal bileşiminde önemli farklılıkların bulunmaması nedeniyle, döngülerden sonraki mukavemet düşüşleri de önemli ölçüde benzer olması beklenebilir.



Şekil 27. Alüminli çimentolu harçların basınç dayanımı değerleri.

Şekil 27’de MA kodlu karışımların sonuçları incelendiğinde 30 döngü sonrasında mukavemetteki azalmalar %2.5 ile %7.3 arasında değişmektedir. Dayanım kaybı en fazla M15A serisinde görülürken en az dayanım kaybı M10A serisinden elde edilmiştir. MA kodlu numuneler 60 donma-çözünme çevriminden sonra önemli derecede dayanım kaybetmiştir. 60 donma çözünme çevrimine maruz bırakılan M10A, M15A kodlu numunelerin basınç dayanımları sırasıyla %10.03, %20.15 oranlarında azalmıştır.

90 donma-çözülme döngüsünden sonra, %0, %5, %10 ve %15 mermer tozu kullanılan MA kodlu karışımlarda basınç dayanımı kaybı sırasıyla %24.4, %24.1, %17.1 ve %27.7 olarak elde edilmiştir. Donma-çözünmeye maruz kaldıktan sonra en fazla dayanım kaybı MA

serilerinde görülse de uygulanan tüm çevrimlerde en yüksek basınç dayanımını veren MA grubu numunelerdir.

Deney sonuçlarına incelendiğinde MA kodlu karışımların donma-çözünme direncinin diğer çimento türleri ile üretilen numunelere göre daha düşük olmasında gecikmiş etrenjit oluşumunun etkisi olduğu düşünülebilir. Trikalsiyum-alüminat sülfat olarak adlandırılan etrenjit ($\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 26\text{H}_2\text{O}$), hidrasyon işleminin ilk saatlerinde trikalsiyum-alüminatın (C_3A) kalsiyum sülfat (alçıtaşı) ile reaksiyonundan oluşan bir üründür. Alçıtaşının tükenmesi ile (C_3A) etrenjit ile reaksiyona girerek birinci etrenjit olarak adlandırılan kalsiyum monosülfoalüminat ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CASO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) oluşturur (Neville, 1995). Bu da betonun erken dayanımının artmasına neden olur (Clark ve ark., 2008). Bununla birlikte, birincil etrenjit varlığında, beton şiddetli neme veya bir sülfat kaynağına maruz kaldığında DEF oluşur (Lindman ve ark., 2023). DEF oluşumu sürecinde etrenjit hacmindeki artış nedeniyle betonun gözenek ağının hacmini azaltarak yüksek basınca neden olur (Stark ve Bollmann, 2000). Bu nedenle DEF, donma-çözülmenin neden olduğu hasarı hızlandırarak betonun iç basınçlardan kaynaklanan donma-çözülme direncini önemli ölçüde azaltır (Lahdensivu, 2014).

Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları

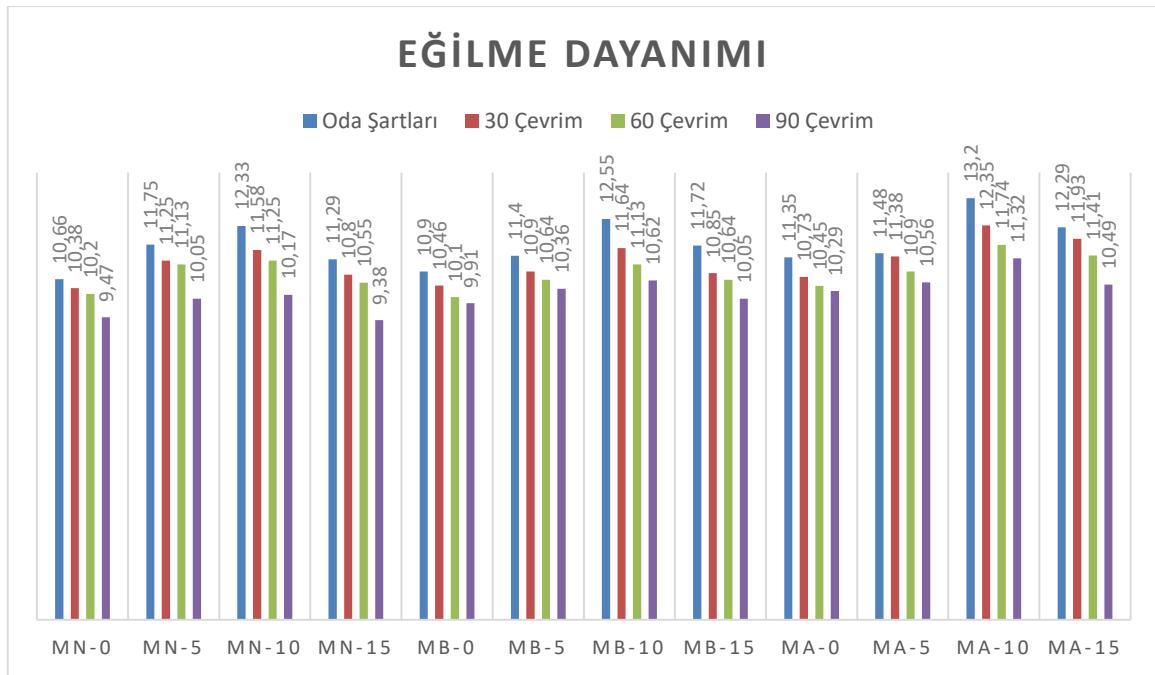
4x4x16 cm boyutlu kiriş numuneler donma çözünme çevrimine maruz bırakılanlar ve bırakılmayanlar olarak iki ayrı grupta eğilme dayanım testine tabi tutulmuştur. Şekilde eğilme dayanım testi uygulama aşamasına ait görsel verilmiştir (Şekil 28). Her bir grup için eğilmede dayanım sonuçları Tablo 17 ve Şekil 29 'da toplu halde verilmiştir.

Tablo 17. Eğilme Dayanımı Değerleri

	Oda Şartları	30 Çevrim	60 Çevrim	90 Çevrim
M0N	10,66	10,38	10,20	9,47
M5N	11,75	11,25	11,13	10,05
M10N	12,33	11,58	11,25	10,17
M15N	11,29	10,80	10,55	9,38
M0B	10,9	10,46	10,10	9,91
M5B	11,4	10,90	10,64	10,36
M10B	12,55	11,64	11,13	10,62
M15B	11,72	10,85	10,64	10,05
M0A	11,35	10,73	10,45	10,29
M5A	11,48	11,38	10,90	10,56
M10A	13,2	12,35	11,74	11,32
M15A	12,29	11,93	11,41	10,49



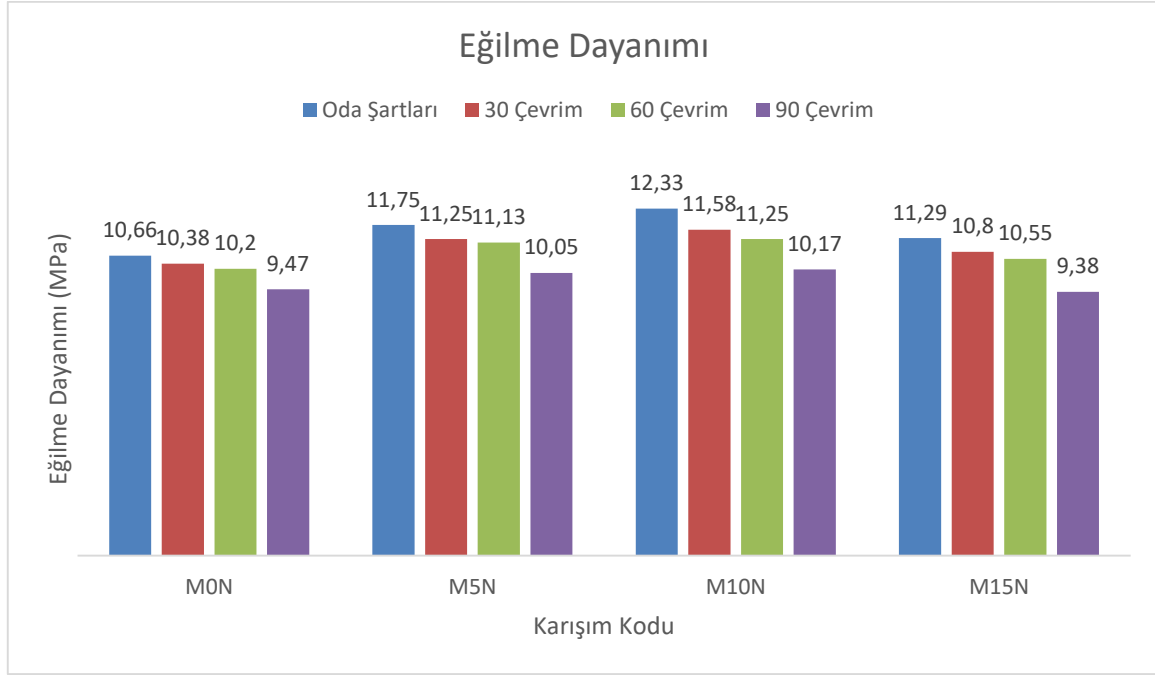
Şekil 28. Eğilme dayanım testi safhası.



Şekil 29. Eğilme dayanımı değerleri.

Şekil 29 incelendiğinde donma çözünme çevrimine maruz kalmayan M0N, M5N, M10N, M15N kodlu numunelerin eğilme dayanım değerleri sırasıyla 10.66MPa, 11.75MPa, 12.33MPa, 11.29MPa olarak belirlenmiştir. Basınç dayanım sonuçları ile benzer şekilde %10 mermer tozu oranına kadar tüm çimento türlerinde eğilme dayanımı artmıştır. M0N kodlu mermer tozunun kullanılmadığı kontrol grubu karışımla kıyaslandığında M5N, M10N, M15N kodlu numunelerin eğilme dayanım değerlerinin sırasıyla %10.2, %15.7, %5.9 oranında arttığı belirlenmiştir. %5 mermer tozu ikamesinin MB ve MA kodlu karışımların eğilme mukavemetini M0B ve M0A karışımlarına göre %4.6 ve %1.1 oranında arttırdığı görülmüştür. %10 mermer tozu ikamesi, MB ve MA kodlu referans numunelere kıyasla eğilme mukavemetini %15.1 ve %16.3 arttırmıştır. Sonuçlara bakıldığında %5 mermer tozunun eğilme dayanımına ciddi katkısı olmasa da %10 ikame durumunda önemli ölçüde eğilme dayanımına

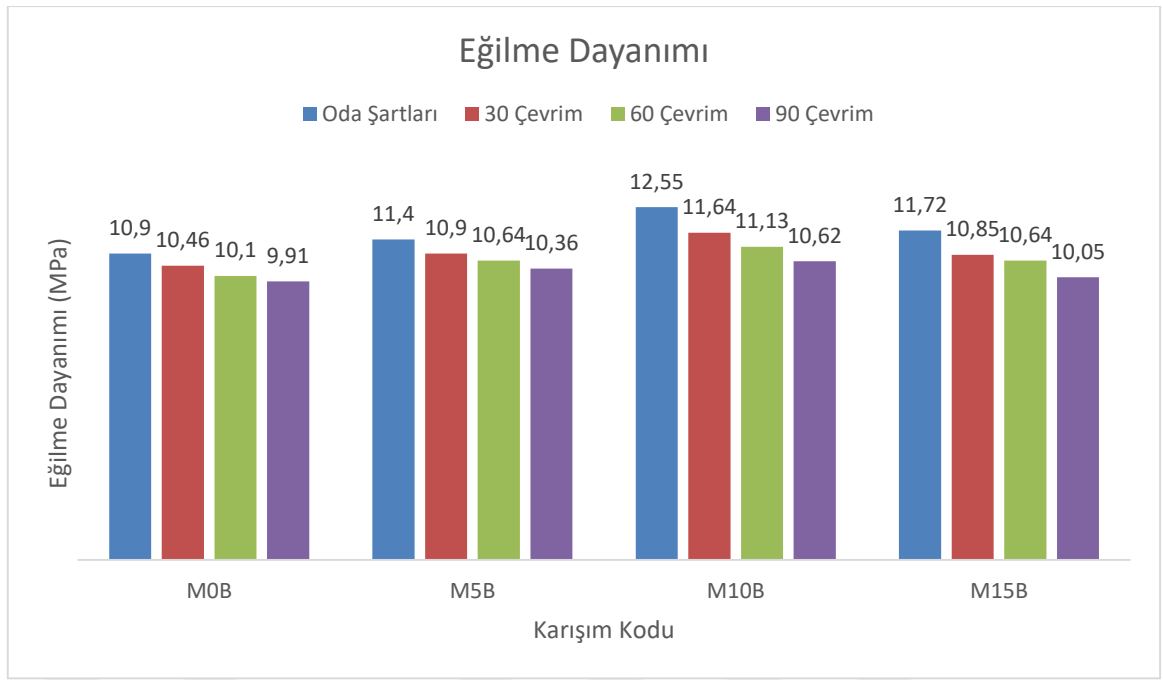
katkı sunduğu görülmektedir. Bu durum harç numunelerinin mermer tozu kullanımı ile doldurma özelliği sayesinde gözenekli yapıyı azaltması ve süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı ile su miktarının azalmasıyla düşük oranda mermer tozu kullanımının olumlu etkisiyle ilişkilendirilebilir. Tüm çimento tiplerinde %15 mermer tozu ilavesi eğilme dayanımını düşürmesine rağmen referans numunelere göre daha yüksek olmuştur. M15N, M15B ve M15A serilerinin eğilme mukavemeti, kontrol numunelerine kıyasla %5.9, %7.5 ve %8.3 daha fazladır.



Şekil 30. Portland çimentolu harçların eğilme dayanımı değerleri.

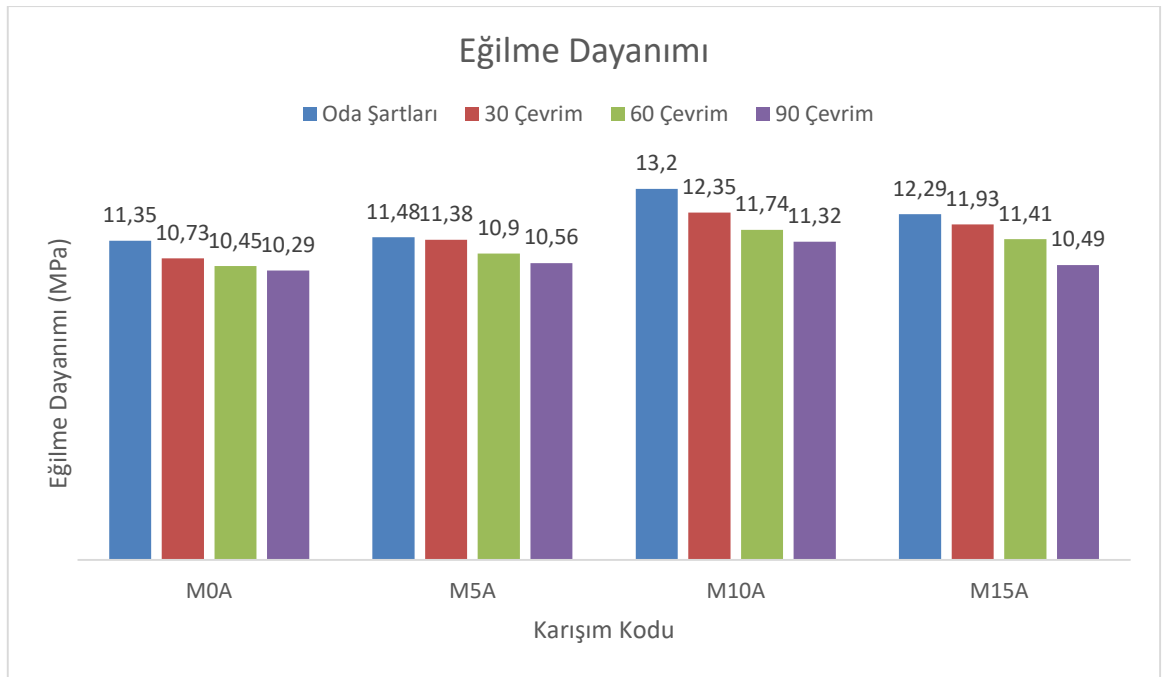
30 donma-çözünme çevriminden sonra MN kodlu karışımların eğilme mukavemeti %2,6 ile %6,1 arasında azalmıştır. Çevrim sayısı 60'a yükseldiğinde eğilme mukavemetinde M0N, M5N, M10N ve M15N serilerinde sırasıyla %4.3, %5.3, %8.8 ve %6.6 düşüş görülmüştür ve 90 donma çözünme çevrimi sonrası kontrol gruplarına kıyasla sırasıyla %11.17, %14.47, %17.52, %16.92 oranlarında eğilme dayanım değeri azalmıştır.

Mermer tozunun eklenmesiyle eğilme dayanımında kayıplar artmış fakat M0N kodlu mermer tozunun kullanılmadığı referans numuneye kıyasla eğilme dayanımları daha yüksek sonuçlar vermiştir. Tüm donma-çözünme çevrimlerinde MN kodlu serilerde en yüksek eğilme mukavemeti M10N serisinde elde edilmiştir (Şekil 30).



Şekil 31. Beyaz çimentolu harçların eğilme dayanımı değerleri.

M0B, M5B, M10B ve M15B karışım serilerinde 30 donma-çözünme çevriminden sonra donma çözünme çevrimine maruz kalmayan kontrol gruplarına nazaran sırasıyla %4.0 %4.4, %7.3 ve %7.4 oranlarında dayanım kaybına uğramıştır. 30 döngü sonrasında en yüksek eğilme dayanımı M10B kodlu karışımlardan elde edilmiştir. MB kodlu karışımlarda 60 devir sonrası eğilme mukavemetindeki azalma %6.7 ila %11.3 olarak belirlenmiştir. 90 döngüden sonra daha belirgin dayanım kayıpları meydana gelmiştir. 90 donma çözünme çevrimine maruz bırakılan M0B, M5B, M10B, M15B kodlu numunelerin eğilme dayanımları donma-çözünmeye maruz kalmayan kontrol gruplarına kıyasla sırasıyla %9.09, %9.13, %15.38, %14.25 oranlarında azalmıştır. Tüm döngülerden sonra, mermer tozu eklenmiş karışımların eğilme dayanımları mermer tozu içermeyen karışımlardan daha yüksektir (Şekil 31).



Şekil 32. Alüminli çimentolu harçların eğilme dayanımı değerleri.

Şekil 32 incelendiğinde donma-çözülme döngülerinden sonra mermer tozu ilaveli MA kodlu karışımların eğilme dayanımları mermer tozu kullanılmayan karışımlardan daha yüksektir. MN ve MB kodlu karışımlara benzer şekilde, tüm döngülerden sonra en yüksek eğilme mukavemeti M10A serisinde belirlenmiştir. MA bazlı karışımlarda 30 döngüden sonra %0, %5, %10 ve %15 mermer tozu kullanımı basınç dayanımında sırasıyla %5.5, %0.9, %6.4 ve %2.9 azalma ile sonuçlanmıştır. 60 devir sonunda mukavemette en az düşüş %5.1 ile M5A serisinde elde edilmiştir. M10A ve M15A serisindeki güç kayıpları sırasıyla %11.1 ve %7.2'dir. 90 donma çözünme çevrimine maruz bırakılan M0A, M5A, M10A, M15A kodlu numunelerin eğilme dayanımları sırasıyla 10.29MPa, 10.56Mpa, 11.32Mpa, 10.49Mpa olarak belirlenmiş olup donma çözünmeye maruz bırakılmayan kontrol gruplarına kıyasla sırasıyla %9.34, %8.02, %14.25, %14.65 oranlarında eğilme dayanım değeri azalmıştır.

Mermer tozu kullanımı her üç çimento türünde genel donma-çözünme sonrası eğilme dayanım kaybını arttırmasına rağmen kalan eğilme mukavemetleri mermer tozu ikame edilmeyen karışımlara nazaran daha yüksektir. Bunun sebebi donma-çözünme öncesi mermer tozunun numunelerin eğilme mukavemetini iyileştirmesiyle ilişkilendirilebilir. Tüm çimento tiplerinde, 30, 60 ve 90 döngüden sonra en yüksek artık eğilme mukavemeti, %10 mermer tozu ikamesi olan serilerden elde edilmiştir.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında çevresel sorunlara neden olan mermer tozu atığı ile 3 farklı çimento türünün kullanılmasıyla üretilen kendiliğinden yerleşen betonun donma çözünme direncine etkisi incelenmiştir. Uygulanan deneylerden elde edilen veriler bu bölümde özetlenmiştir.

- ✓ Mermer tozunun %5 oranında ilavesi ile akış çapı çok fazla etkilenmezken mermer tozu oranı arttıkça akış çapı azalmıştır. Tün grupların çökme akış çapı 24-26 cm aralığındadır. İşlenebilirlik kontrol numuneleri ile kıyaslandığında M15N, M15B, M15A kodlu numunelerde sırasıyla %3.88, %4.69, %5.12 oranlarında azalmıştır. İşlenebilirliği en fazla azalan karışım mermer tozunun %15 oranında kullanıldığı alüminli çimentolu karışımlar olmuştur.
- ✓ Numuneler -18 ± 4 °C'de 5 saat suda dondurma ve 3 saat suda çözündürme işlemine maruz bırakılmıştır. Bu işlem 30, 60 ve 90 döngü olarak gruplandırılan numuneler üzerinde tekrarlanmıştır. Tüm gruplarda 30 ve 60 tekrarlı döngülere maruz kalan numunelerde kayda değer dayanım kayıpları görülmemiş olup 90 döngüye maruz kalan numunelerde dayanım kayıpları daha belirgin hale gelmiştir.
- ✓ Donma çözünmeye maruz bırakılan ve bırakılmayan numunelerin kılcal su emme değerleri ölçülmüştür. Mermer tozunun artmasıyla birlikte numunelerin kılcal su emme değerleri azalmıştır. Fakat 90 çevrime maruz bırakılan MA grubu numunelerin kılcal su emme değerlerinde artış yaşanmıştır. Çevrim sayısı arttıkça numunelerin su emme kapasitesi artmıştır.
- ✓ Mermer tozu oranının %5 ve %10 oranında kullanılması ile hazırlanan numunelerin basınç dayanım değerleri artmıştır. En fazla artış M10A kodlu mermer tozunun %10 oranında kullanıldığı alüminli karışımlarda görülmüştür. %15 oranında mermer tozu kullanımı tüm gruplarda kontrol numuneye göre basınç dayanımında azalmaya sebep olmuştur. Basınç kaybında en fazla düşüş MN15 kodlu portland çimentolu karışımlarda görülmüştür. Çevrim sayısının artmasıyla numunelerin basınç dayanımlarında kayıplar yaşanmıştır. En fazla dayanım kaybı 90 çevrime maruz kalan numunelerde görülmüştür. Çimento türleri kıyaslandığında ise en fazla dayanım kaybı %15 mermer tozunun kullanıldığı alüminli karışımlarda

görülmüştür. Bu durum, yüksek C_3A içeriği nedeniyle gecikmiş etrenjit oluşumuna (DEF) bağlanabileceği düşünülmektedir.

- ✓ Numunelerin eğilme dayanımları incelendiğinde %10 oranında mermer tozu kullanımının tüm grupların eğilme dayanımını arttırdığı görülmüştür. Eğilme dayanımında en yüksek artışın M10A kodlu alüminli karışımlarda olduğu saptanmıştır. %15 oranında mermer tozu kullanımı eğilme dayanımını kontrol numuneyle kıyaslandığında arttırsa da mermer tozunun %10 oranında kullanıldığı gruplara nazaran düşürmüştür. En fazla dayanım kaybı 90 çevrime maruz kalan numunelerde görülmüştür.
- ✓ MA grubundaki fazla C_3A ile mermer tozundaki $CaCO_3$ arasındaki reaksiyonun donma ve çözülmeden önce pozitif etki gösterirken, donma ve çözülmeden sonra negatife etki gösterdiği düşünülmektedir.

Bu çalışmadan yola çıkarak bundan sonra yapılacak tez çalışmaları için öneriler aşağıda sıralanmıştır;

- ✓ Bu çalışmaya ek olarak donma çözünme döngüleri ve süreleri arttırılarak dayanım ve dayanıklılık davranışları değerlendirilebilir.
- ✓ Betonun maruz kaldığı sülfat etkisi, karbonatlaşma direnci gibi farklı durabilite sorunları ele alınabilir.
- ✓ Diğer özel beton türleri üzerinde mermer tozu atığının etkisi incelenebilir.
- ✓ Çevresel sorunlara neden olan farklı atık türleri mermer tozu ile birlikte beton karışımlarında kullanılarak betonun dayanım ve dayanıklılık davranışları değerlendirilebilir.
- ✓ Daha çevreci, ekonomik ve donma çözünme dayanımı yüksek kendiliğinden yerleşen beton üretiminde mermer tozu ile alüminli çimentonun birlikte kullanımını önerilebilir.

KAYNAKÇA

- Aliabdo, A. A., Abd Elmoaty, M., and Auda, E. M. 2014. Re-use of waste marble dust in the production of cement and concrete. *Construction and building materials*, 50, 28-41.
- Alişer, B., Yıldız, S., ve Keleştemur, O., 2016. Cam Lif Takviyeli Çimento Harçlarının Sülfat Direncine Mermer Tozu İlavesinin Etkisi. *Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi*, 28(2), 175-183.
- Alyamac, K. E., Ghafari, E., and Ince, R. 2017. Development of eco-efficient self-compacting concrete with waste marble powder using the response surface method. *Journal of cleaner production*, 144, 192-202.
- Alyamaç, K. E., ve İnce, R., 2007. Karo Mozaik Döşeme Kaplama Plak Üretiminde Atık Mermer Çamurunun Kullanılabilirliği. 7. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul.
- Alyamaç, K.E., Açıkgöç, M., ve Ulucan, Z.Ç., 2015. Mermer Tozu Katkılı Çelik Lifli Betonların Mekanik Özellikleri. 9. Ulusal Beton Kongresi, Antalya.
- Aruntaş, H. Y., Dayı, M., Tekin, İ., Birgül, R., ve Şimşek, O., 2007. Kendiliğinden Yerleşen Beton Özelliklerine Atık Mermer Tozunun Etkisi. 2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara.
- Ashish, D. K., 2018. Feasibility of waste marble powder in concrete as partial substitution of cement and sand amalgam for sustainable growth. *Journal of Building Engineering*. 15, 236-242. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.11.024>.
- Assi, L.; Carter, K., Deaver, E. (Eddie), Anay, R., and Ziehl, P., 2018. Sustainable concrete: Building a greener future. *Journal of Cleaner Production*, 198, 1641–1651.
- ASTM C109, Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens) Annual Book of ASTM Standards 2007
- ASTM C1585-04, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes.
- ASTM C348. Standard test method for flexural strength of hydraulic-cement mortars. ASTM C348-02, Annu book ASTM Stand 04.01.
- ASTM C666, Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing, 2003.
- Atabey, V., Mermer Atıklarından Köpük Beton Blok Üretimi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Aydın, A.B., 2013. İnce Agregasında Farklı Oranlarda Mermer Tozu Kullanılmış Betonların Dayanım ve Dayanıklılık Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Baikerikar, A., 2014. A Review on Green Concrete. *Master of Technology in Structural Engineering*, 1 (6).
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Felekoğlu, K. T., Aydın, S., Yardımcı, M. Y., Topal, A., ve Öztürk, A. U., 2012. Beton. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları*, 655-766, İzmir.
- Baradan, B., ve Aydın, S., 2013. Betonun Dürabilitesi(Dayanıklılık,Kalıcılık). *Hazır Beton Kongresi*, İstanbul.
- Baradan, B., Yazıcı, H., ve Ün, H., 2010. Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), *Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları*, İstanbul.

- Błaszczynski, T., and Król, M., 2015. Usage of Green Concrete Technology in Civil Engineering, *Procedia Engineering*, 122, 296–301.
- Boukhelkhal, A., Azzouz, L., Benchaa, B., and Belaidi, A. S. E., 2018. Strength and durability of low-impact environmental self-compacting concrete incorporating waste marble powder. *Journal of Building Materials and Structures*, 4(2), 31-41.
- Brameshuber, W ., and Uebachs, S., 2002. The Application of Self- Compacting Concrete in Germany under Special Consideration of Rheological Aspects. First North American Conference on the Design and Use of Self- Consolidating Concrete, (6), 225-234.
- Ceylan, H., ve Mança, S., 2013. Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası Olarak Değerlendirilmesi. *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 3(2), 21-25.
- Clark, S. M., Colas, B., Kunz, M., Speziale, S., and Monteiro, P. J. 2008. Effect of pressure on the crystal structure of ettringite. *Cement and concrete research*, 38(1), 19 26.
- Corinaldesi, V., Moriconi, G. and Naik, T.R., 2010. Characterization of marble powder for its use in mortar and concrete. *Construction and Building Materials*, 24(1), 113- 117.
- Çelikten, S., ve Canbaz, M., 2021. Atık Andezit ve Mermer Tozunun Çimento Harçlarının Dayanım Özelliklerine Etkisi. *ESOGÜ Müh. Mim. Fak. Derg.*, 29(1), 43-48.
- Darzi, M. A., Shivkumar, B., Ashok, K., Giri, S.C., Rupesh, K., and Khaleel, S., 2016. Review paper on “Effective partial replacement of cement and sand with fly-ash and marble powder to make green concrete” . *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(7), 1408-1410.
- Demirci, E. E., 2012. Kendiliğinden Yerleşen ve Geleneksel Betonun Durabilite Potansiyellerinin Betonarme Kirişlerden Alınan Karot Örnekler Üzerinden Karşılaştırılması. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Dhoka, M.C., 2013. Green concrete: Using Industrial Waste of Marble Powder, Quarry Dust and Paper Pulp. *International Journal of Engineering and Science Invention*, 2(10), 67-70.
- Doğan, C., Mermer Tozu ve Endüstriyel Atık İçeren Harçların Mekanik Özelliklerinin Deneysel Yöntemlerle İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Douglas, R. P., 2004. Properties of Self-Consolidating Concrete Containing Type F Fly Ash. M.Sc. Thesis, Northwestern University, 233, 45-64.
- Dumangöz, M., 2014. Mermer Tozu ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik ve Kalıcılık Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- EFNARC, Specifications and Guidelines for Self-Compacting Concrete, 2002. <https://www.feb.unesp.br/pbastos/c.especiais/Efnarc.pdf> (10.05.2023)
- Enbaya, M. M., 2019. Atık Mermer Tozu Kullanılarak Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların (KYB) Bazı Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.
- Erdem, R.T., ve Öztürk, A.U., 2012. Mermer Tozu Katkısının Çimento Harcı Donma-Çözünme Özellikleri Üzerine Etkisi. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 1(2), 85-91.
- Eren, M.E., 2019. Atık Mermer Tozu ve Lastik Agrega Kullanılarak Üretilmiş Çevre Dostu Betonların Dayanım ve Dayanıklılık Özelliklerinin Belirlenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

- Felekoğlu B., 2003. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Gökçer, B., Yıldız, S., ve Keleştemur, O., 2013. Atık Mermer Tozu ve Cam Lif İçeren Harç Numunelerinin Donma-Çözülme Etkisi Altındaki Davranışları. SDU International Technologic Science, 5(3), 18-30.
- Gökçer, B., Yıldız, S., ve Keleştemur, O., 2015. Cam Lif Takviyeli Çimento Harçlarının Aşınma Direnci Üzerine Atık Mermer Tozunun Etkisi. 2. International Sustainable Buildings Symposium, Ankara.
- Gülan, L., Yıldız, S., ve Keleştemur, O., 2016. Atık Mermer Tozu ve Cam Lif Katkılı Betonun Mekanik ve Fiziksel Özellikleri Üzerine Karbonatlaşmanın Etkisi. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi, 28(2), 189-200.
- Hameed, M. S., and Sekar, A. S. S., 2009. Properties of green concrete containing quarry rock dust and marble sludge powder as fine aggregate, 4(4), 83-89.
- Hameed, M. S., Sekar, A.S.S., Balamurugan, L., and Saraswathy, V., 2012. Self-compacting concrete using marble sludge powder and crushed rock powder. KSCE Journal of Civil Engineering, 16(6), 980-988.
- Imbabi, M. S., Carrigan, C., and McKenna, S., 2012. Trends and developments in green cement and concrete technology. International Journal of Sustainable Built Environment, 1(2), 194– 216.
- J. Lahdensivu, 2014. Betonijulkisivujen ja parvekkeiden säilyvyys suomalaisissa suunnitteluohjeissa. Tekniikan Waiheita, 3(14), 5-21.
- Kaçmaz, U.D., 2019. Mermer Tozu ve Uçucu Külün Zemin İyileştirmede Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Kandemir, A., 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kalıcılık Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Karimaei, M., Dabbaghi, F., Sadeghi-Nik, A., and Dehestani, M., 2020. Mechanical performance of green concrete produced with untreated coal waste aggregates. Construction and Building Materials, 233.
- Kılınçkale F., 2003. Betonda Dayanıklılık. TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri 427 (5), 32-33.
- Kırgız, M. S., 2016. Fresh and hardened properties of green binder concrete containing marble powder and brick powder. European Journal of Environmental and Civil Engineering, 20(1), 64-101.
- Koçyiğit, Ş., 2016. Pomza Agregası, Atık Mermer Tozu ve Kitre Katkılı Çimento Esaslı Kompozit Malzemenin Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Lindman, N., Lahdensivu, E., Lahdensivu, J., and Pakkala, T. 2023. Delayed ettringite formation (DEF) and its effect on freeze-thaw damage in Finnish concrete façades. Journal of Building Engineering, 73, 106659.
- Marinković, S., Dragaš, J., Ignjatović, I., and Tošić, N., 2017. Environmental assessment of green concretes for structural use. Journal of Cleaner Production, 154, 633–649.
- Neville, A.M., 1995. Properties of concrete. Longman Group, England.
- Okamura, H., 1997. Self-Compacting High-Performance Concrete. Concrete International, 19(7), 50-54.

- Okamura, H., and Ouchi, M., 1999. Self Compacting Concrete: development, present use and future. Proceedings of 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 3-14.
- Özel, C., Soykan, O., ve Zengin, B., 2012. Filler Olarak Mermer Tozu İçeren Beton Özelliklerinin Bulanık Mantık Kullanılarak Belirlenmesi. e-Journal of New World Sciences Academy, 7(2), 28-46.
- Özkul, M. H., 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton. THBB Hazır Beton Dergisi, 52, 64-71.
- Özkul, M. H., Sağlam, A. R., Parlak, N., Doğan, A., Mutlu, M., and Manzak, O., 2002. The Usage of Self-Compacting Concrete in Precast Industry. 17th Int. Congress of the Precast Concrete Industry, BIBM, Istanbul.
- Pala, P. K., Dhandha, K. J., and Nimodiya, P. N., 2015. Use of marble powder and fly ash in self compacting concrete. International Journal for Innovative Research in Science & Technology (IJIRST), 1(12), 475 -479.
- Praveenkumar, S., Murugesan, K., and Nikhil, N. S. 2017. Influence of Marble Powder and Fly Ash in Fresh and Hardened Properties of Self Compacting Concrete. International Journal of ChemTech Research, 10(8), 314-319.
- Praveenkumar, S., Murugesan, K., and Nikhil, N. S., 2017. Influence of Marble Powder and Fly Ash in Fresh and Hardened Properties of Self Compacting Concrete. International Journal of ChemTech Research, 10(8), 314-319.
- Radonjanin, V., Malešev, M., Marinković, S., and Al Maly, A. E. S., 2013. Green recycled aggregate concrete. Construction and Building Materials, 47, 1503-1511.
- Rai, B., Naushad, K. H., Abhishek, K., Rushad, T. S., and Duggal, S. K., 2011. Influence of Marble powder/granules in Concrete mix. International journal of civil and structural engineering, 1(4), 827-834.
- Sagoe-Crentsil, K. K., Brown, T., and Taylor, A. H., 2001. Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate. Cement and Concrete Research, 31 (5) ,707–712.
- Sajeev, V., Thariq, I., Hussain, M., Nibin, N., Muhammed Razi, K., and Basheer, A, 2018. Effect of Partial Replacement of Fine Aggregate by Marble Powder on the Fresh and Hardened Properties of SCC. International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER), 6(8), 30-33.
- Singh, V., Gajjar, P., and Nimodiya, P.N., 2017. Experimental study to enhance the strength properties of self compacting concrete using waste marble powder and fly ash. Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR), 4(11), 428-434.
- Sivakrishna, A., Adesina, A., Awoyera, P. O., and Rajesh Kumar, K., 2019. Green concrete: A review of recent developments. Materials Today: Proceedings, 27 (1), 54-58.
- Soykan, O., ve Özel, C., 2012. Mermer Tozu Tane Boyutunun Polimer Beton Özelliklerine Etkisi. SDU International Technologic Science, 4(3), 102-111.
- Stark, J., and Bollmann, K. 2000. Delayed ettringite formation in concrete. Nordic Concrete Research-Publications, 23, 4-28.
- Şentürk, A., Gündüz, L., Tosun, İ.Y., ve Sarıışık, A., 1996. Mermer teknolojisi. Tuğra Ofset, 242 p, Isparta.

- Tanyıldızı, H., ve Coşkun, A., 2011. Elazığ yöresi vişne mermer tozu katkılı hafif betonun basınç ve ultrasonik ses geçirgenliği özelliğinin araştırılması. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 27(2), 150-154.
- Tennich, M., Kallel, A., and Ouezdou, M.B., 2015. Incorporation of fillers from marble and tile wastes in the composition of self-compacting concretes. Construction and building materials, 91, 65-70.
- Terzi, S., ve Karaşahin, M., 2003. Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karışımında Filler Malzeme Olarak Kullanımı. T.M.M.O.B. İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi, 14(67), 2003-2903.
- Topcu, I. B., Bilir, T., and 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. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2008.09.007>.
- Topcu, I. B., Bilir, T., and 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.
- TS EN 1097-6, Tests for Mechanical and Physical Properties of Aggregates - Part 6: Determination of Particle Density and Water Absorption, Turkish Standards, Ankara-Türkiye. 2013
- TS EN 197-1, 2002. Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri.
- Türkmenoğlu, Z.F., Kılıç, A.M., ve Depci, T., 2015. Van Pomzası ve Mermer Tozu Atıkları ile Üretilmiş Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(1), 105-116.
- Ünal, O., ve Uygunoğlu, T., 2003. Atık Mermer Tozu Katkılı Betonların Donma-Çözülme Etkisinde Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. Türkiye 4. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyon.
- Ünal, O., ve Uygunoğlu, T., 2004. Afyon Mermer Tozu ve Soma Uçucu Kül Katkılı Betonların Donma-Çözülme Özellikleri ve Ekonomik Değerlendirilmesi. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
- Vishwakarma, V., and Ramachandran, D., 2018. Green Concrete mix using solid waste and nanoparticles as alternatives – A review. Construction and Building Materials, 162, 96-103.
- Walraven, J., 2002. Self-Compacting Concrete in the Netherlands. First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, (6), 399-404.
- Wang, Y., Tan, Y., Wang, Y., and Liu, C. 2020. Mechanical properties and chloride permeability of green concrete mixed with fly ash and coal gangue. Construction and Building Materials, 233.
- Wu, Z.S., Yuan, H., Yoshizawa, H. and Kanakubo, T. 2001. Experimental/analytical study on interfacial fracture energy and fracture propagation along FRP-concrete interface. American Concrete Institute, 201; 133-152.
- Yahia, A., Tanimura, M., and Shimoyama, Y., 2005. Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio. Cement and Concrete Research, 35(3), 532-539.
- Yazıcıoğlu, S., ve Kara, C., 2017. Betonda Atık Mermer Tozu Kullanımının Karbonatlaşmaya Etkisi. Politeknik Dergisi, 20(2), 369-376.

- Yıldız, S., Alişer, B., ve Keleştemur, O., 2017. Atık Mermer Tozu ve Cam Lif Katkılı Çimento Harçlarının Sülfat Etkisi Altındaki Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin İncelenmesi. Fırat Üniv. Fen Bilimleri Dergisi, 29(2), 23-31.
- Yıldız, T., Yıldız, S., ve Keleştemur, O., 2011. Cam Lif Katkılı Betonda Filler Malzemesi Olarak Atık Mermer Tozunun Kullanabilirliğinin Araştırılması. e-Journal of New World Sciences Academy, 6(4), 1315-1326.
- Zarrog, M.H.T., 2020. Kendiliğinden Yerleşen Beton Üretiminde Uçucu Kül ve Mermer Tozu Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Rumeysa GÜRGÖZE
Eğitim	
Lise:	Malatya Konak Anadolu Lisesi
Lisans:	Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği
Yüksek Lisans:	Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemeleri
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce	