

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

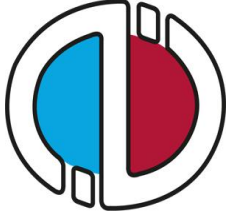
**MERMER TOZU VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KATKILI
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN REOLOJİK
VE KALICILIK ÖZELİKLERİ**

**Mahmut DUMANGÖZ
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Cenk KARAKURT**

BİLECİK, 2014

Ref. No: 10044768



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

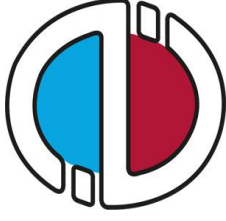
**Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**MERMER TOZU VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFU KATKILI
KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARIN REOLOJİK
VE KALICILIK ÖZELİKLERİ**

**Mahmut DUMANGÖZ
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Cenk KARAKURT**

BİLECİK, 2014



ANADOLU UNIVERSITY



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering**

**DURABILITY AND REOLOGICAL PROPERTIES OF
SELF COMPACTING CONCRETES PRODUCED WITH
MARBLE DUST AND BLAST FURNACE SLAG**

**Mahmut DUMANGÖZ
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Assist. Prof. Dr. Cenk KARAKURT**

BİLECİK, 2014



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS

JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nuntarih ve sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafındantarihinde tez savunma sınavı yapılan Mahmut DUMANGÖZ' ün "Mermer tozu ve yüksek fırın cürufu katkılı kendiliğinden yerleşen betonların kalıcılık özellikleri" başlıklı tez çalışması İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Cenk KARAKURT

ÜYE : Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Muhsin YALÇIN

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), kimyasal katkı kullanılarak yüksek akıcı kıvamda üretilen özel bir betondur. Bu betonların yerleştirilmesi daha kolay olacağı gibi, işlenebilirlikten doğan hatalar da azaltılmış olur. Böylece daha kaliteli beton ve betonarme ürünlerinin elde edilmesi kolaylaşır KYB'nin kendiliğinden yerleşebilme özelliğinin yanında; imalat süresini kısaltma, işçilik maliyetini düşürme, özellikle yoğun donatılı betonarme elemanlarda betonun kalıba boşluksuz bir şekilde yerleşmesini sağlama ve vibrasyon kaynaklı ses kirliliğini azaltma gibi normal betona göre bir çok üstünlüğü vardır.

Atık mermer tozu mermerlerin farklı yöntemlerle temin edilmesi veya mermer işleme tesislerinde kesim sırasında ortaya çıkmaktadır. Ancak bu atıkların doğal ortama kontrolsüz bir şekilde dökülmesi bir takım çevre sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bilecik ilinde mermer kesimhane sayısının 200'ün üzerinde olması nedeniyle mermer atıklarının değerlendirilmesi oldukça önem kazanmaktadır. Çimento ve beton teknolojisi oldukça fazla miktardaki bu atıkların değerlendirilebileceği bir alandır. Bilecik ili çevresinde bolca bulunan bir endüstriyel atık olan mermer tozunun bir diğer endüstriyel atık olan granüle yüksek fırın cürufu (YFC) ile KYB üretiminde kullanımı incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında mermer tozu ve YFC ince malzeme olarak KYB karışımlarında kullanılmıştır. Üretilen KYB numunelerinin ilk olarak reolojik ve işlenebilirlik özellikleri ve diğer sertleşmiş beton özellikleri deneysel çalışmalarla belirlenmiştir. Daha sonra bu numunelerin kalıcılık özelliklerinden, sülfat etkisi, donma çözülme direnci ve aşınma direnci deneyleri uygulanıp mikroyapı incelemeleri yapılarak MT ve YFC'nin bağ yapısındaki etkileri araştırılmıştır. MT ve YFC'nin ileri yaş performansları ise kalıcılık deneyleri sonuçlarına göre incelenmiştir. Böylece mermer tozu ve YFC'nin KYB teknolojisinde değerlendirilebilirliği irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden yerleşen beton; Reoloji, Mermer tozu; Yüksek fırın cürufu; Kalıcılık.

ABSTRACT

Self compacting concrete (SCC) is a special concrete that produce with chemical admixtures for achieving high flow concrete consistency. Casting of concrete, such as this should be easier, reduces faults arising from the workability. Thus, it is easier to obtain high quality concrete and reinforced concrete products. It can also be defined as high performance concrete due to its ability of self-compacting under its own weight and easier casting of molds. Besides the self-compacting property of SCC has many benefits like reduced manufacture time, reduced workmanship costs, workability in high volume rebar placed reinforced concretes and sound reduction of vibration.

The waste marble dusts obtain by different methods or cutting process of marble in marble manufacturing companies. However, some environmental problems occur during the uncontrolled spill of these waste materials in habitat. The waste marble becomes an important fact in Bilecik province due to the number of marble factories above 200. Cement and concrete technology is an alternative field for utilization of these waste materials. Which is an industrial waste found in abundance in the province of Bilecik marble dust around other industrial waste which is a granulated blast furnace slag (GBFS) will be examined with the use of the production of SCC. In this study, the marble dust and blast furnace slag is used for SCC production. First of all, the rheological workability and hardened concrete properties were determined by experimental studies. After this procedure, the microstructure studies were carried out to determine the bond changes in the SCC. The later age performance of marble and GBFS was determine by durability tests. Thus, the evaluability of marble dust and GBFS in SCC technology will be examined.

Key Words: Self compacting concrete; Rheology, Marble dust; Ground granulated blast furnace slag; Durability

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her türlü konuda desteğini esirgemeyen değerli danışmanım Yrd. Doç. Dr. Cenk KARAKURT' a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Çalışma süresince, her konuda destek olan İnşaat Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlileri; Hasan BOZKURT, Burak GÖRGÜN, Ali Erdem ÇERÇEVİK, Yıldırım BAYAZIT ve Uzman Turgut KAYA arkadaşlarıma ayrı ayrı teşekkürü bir borç bilirim. Sakarya Üniversitesi Lisans hocalarıma manevi desteklerinden dolayı teşekkür ederim. Konu ile ilgili araştırma arşivlerini paylaşan Doç. Dr. Mücteba UYSAL hocamada teşekkür ederim.

Bu projenin gerçekleştirilmesine maddi destek veren Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu birimine, malzeme temininde desteklerini esirgemeyen SANÇİM Çimento Fabrikası ile DAĞ-IŞ Madencilik yetkililerine ve analizlerde yardımcı olan MARAL uzmanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca her türlü meddi ve manevi desteğini hiçbir zaman eksik hissetmediğim Ailem'e en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

Mahmut DUMANGÖZ

Mayıs, 2014

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON	4
2.1. KYB'nin Tarihsel Gelişimi	4
2.2. KYB Kullanım Alanları	10
2.3. KYB Kullanımının Olumlu ve Olumsuz Yönleri	15
2.3.1. KYB Kullanımının Olumlu Yönleri	15
2.3.2. KYB'nin Kullanımının Olumsuz Yönleri.....	19
2.4. KYB'de Reoloji	20
2.5. KYB Tasarım Yöntemleri	24
2.6. KYB'nin Geleceği.....	27
2.7. KYB'de Kalıcılık	29
2.7.1. Donma Çözülme Etkisi.....	31
2.7.2. Sülfat Etkisi.....	30
2.7.3. Aşınma Etkisi.....	31
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	33
3.1. Deneyleerde Kullanılan Malzemeler	33
3.1.1. Agrega.....	34
3.1.2. Çimento.....	35
3.1.3. Su	36
3.1.4. Hiperakışkanlaştırıcı Katkı	36

3.1.5. Granüle Yüksek Fırın Cürufu	37
3.1.6. Mermer Tozu	39
3.2. Fiziksel ve Kimyasal Analizler	40
3.2.1. XRD Analizi	40
3.2.2. XRF Analizi	41
3.2.3. Civa Porozimetresi.....	43
3.2.4. Özgül Yüzey Alanı ve Gözenek Boyutu Analizi.....	43
3.2.5. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizi	44
3.2.6. Yoğunluk Deneyi.....	46
3.2.7. Granülometri Analizi	46
3.3. Beton Tasarımı	47
3.4. Beton Deneyleri	48
3.4.1. V Hunisi Deneyi	48
3.4.2. J Halkası Deneyi	49
3.4.3. L Kutusu Deneyi	50
3.4.4. Yayılma Deneyi	51
3.4.5. Taze Beton Reometresi Deneyi	52
3.4.6. Sertleşmiş Beton Deneyleri	53
3.5. Kalıcılık Deneyleri	53
3.5.1. Sülfat Etkisi Deneyi	54
3.5.2. Aşınma Direnci Deneyi	54
3.5.3. Donma Çözülme Direnci Deneyi.....	56
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	57
4.1. Fiziksel, Kimyasal ve Minorolojik Analiz Sonuçları.....	57
4.1.1. Kimyasal Analiz Sonuçları	57
4.1.2. XRD Analiz Sonuçları	58
4.1.3. Özgül Yüzey Alanı Analizi.....	60
4.2. Beton Deneyleri	60
4.2.1. İşlenebilirlik Deney Sonuçları	60
4.2.2. Beton reometresi sonuçları	61
4.2.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	65

4.3. Kalıcılık Deneyleri	66
4.3.1. Sülfat Etkisi Deneyi Sonuçları.....	66
4.3.2. Aşınma Direnci Deneyi Sonuçları	68
4.3.3. Donma Çözülme Direnci Deney Sonuçları	69
4.4. Mikroyapı İncelemeleri.....	71
4.4.1 KYB Numunelerinin İçyapısı	71
4.4.2. Sülfat Deneyi Sonrası Numunelerin İç Yapısı.....	74
4.4.3. Donma Çözülme Deney Numunelerinin İçyapısı	77
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	80
7. ÖZGEÇMİŞ.....	90

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ASTM	: American Society for Testing Materials
CSH	: Kalsiyum silika hidrat jeli
EDX	: X ışını analiz donanımı (energy dispersive X-ray)
KYB	: Kendiliğinden Yerleşen Beton
MT	: Mermer Tozu
MT 10	: Bağlayıcı miktarındaki mermer tozu oranı % 10 olan karışım
MT 20	: Bağlayıcı miktarındaki mermer tozu oranı % 20 olan karışım
MT 30	: Bağlayıcı miktarındaki mermer tozu oranı % 30 olan karışım
PÇ	: Portland Çimentosu
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
T ₅₀	: Çökme - yayılma deneyinde taze betonun 50 cm çapa yayılma süresi
XRD	: X ışını difraksiyonu (X-ray diffraction)
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu
YFC 10	: Bağlayıcı miktarındaki yüksek fırın cürufu oranı % 10 olan karışım
YFC 20	: Bağlayıcı miktarındaki yüksek fırın cürufu oranı % 20 olan karışım
YFC 30	: Bağlayıcı miktarındaki yüksek fırın cürufu oranı % 30 olan karışım
τ	:Kayma gerilmesi
μ	:Plastik viskozite
S/Ç	:Su / çimento

ÇİZELGELER DİZİNİ

		Sayfa No
Çizelge 2.1:	Türkiyede KYB kullanılan bazı projeler ve özellikleri.....	14
Çizelge 2.2:	KYB kullanımının fabrika içi çalışma koşullarına etkisi.....	15
Çizelge 2.3:	Prefabrike olarak üretilen, aynı basınç dayanımına sahip geleneksel betonla KYB arasında toplam maliyet karşılaştırması.....	16
Çizelge 2.4:	KYB'nin tasarım yöntemine göre tavsiye edilen malzeme miktarları.....	24
Çizelge 2.5:	KYB test yöntemleri ve kabul edilebilir limit değerleri.....	26
Çizelge 3.1.	Mineral katkıları suyla reaksiyon kapasitelerine göre sınıflandırılması	39
Çizelge 3.2:	Beton deneylerinde kullanılan malzeme karışım oranları.....	49
Çizelge 4.1.	Çalışmada kullanılan malzemelerin yoğunlukları.....	57
Çizelge 4.2:	Malzemelerin XRF deneyi sonuçları.....	57
Çizelge 4.3.	Özgül yüzey alanı analizi sonuçları.....	60
Çizelge 4.4:	Taze beton deneylerinde alınan sonuçlar.....	61
Çizelge 4.5:	Civa porozimetresi deney sonuçları.....	70

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Geleneksel beton, KYB ve su altı betonu için karşılaştırmalı hacim oranları.....	6
Şekil 2.2: Prefabrike beton üretiminde KYB uygulamaları.....	11
Şekil 2.3: KYB ile betonarme manto uygulamaları.....	12
Şekil 2.4: KYB uygulaması (Wolfsburg bilim merkezi).....	13
Şekil 2.5: Donatılar arasından vibrasyona gerek kalmadan KYB geçişi.	17
Şekil 2.6: KYB ile üretilen prefabrik elemanın yüzey detayı.....	18
Şekil 2.7: Akışkanlarda kayma hızına bağlı kayma gerilimi ilişkisi (Newtonian, Binghamplastığı, Yapay plastik (kayma incilmesi), Dilatant (kayma kalınlaşması).....	21
Şekil 2.8: Taze beton için Bingham Modeli ve Newton Sıvısının davranışı.....	22
Şekil 2.9: Beton bileşenlerinin reolojik özelliklere etkisi.....	25
Şekil 2.10: Akışkanlaştırıcı katkı kullanımının taze betonun plastik viskozite – kayma gerilmesi ilişkisi üzerinde etkisi.....	28
Şekil 2.11: Betonda iç ve dış etkenlerle bozulma çeşitleri.....	29
Şekil 3.1: Numune üretiminde kullanılan agrega çeşitleri.....	34
Şekil 3.2: Çalışmada kullanılan CEM I 42,5 sınıfı Portland çimentosu...	35
Şekil 3.3: Akışkanlaştırıcıların betonun taze ve sertleşmiş haline etkileri.....	37
Şekil 3.4: XRD analiz cihazı.....	41
Şekil 3.5: XRF analiz cihazı.....	42
Şekil 3.6: Civa porozimetresi cihazı.....	43
Şekil 3.7: BET analizi cihazı.....	44
Şekil 3.8: Numune hazırlama cihazları. a) Numune kesme cihazı. b) Altın kaplama cihazları.....	46
Şekil 3.9: SEM analizi cihazı.....	46
Şekil 3.10: Otomatik yoğunluk ölçüm cihazı.....	47
Şekil 3.11: Kullanılan agreganın tane dağılımı eğrisi.....	48

Şekil 3.12:	V Hunisi deney cihazı.....	50
Şekil 3.13:	J- halkası deneyinin yapılışı.....	51
Şekil 3.14:	L kutusu deneyinin yapılışı.....	52
Şekil 3.15:	T ₅₀ ve yayılma deneyinin yapılışı.....	53
Şekil 3.16:	Taze beton reometresi.....	53
Şekil 3.17:	Beton basınç dayanımı deney presi.....	54
Şekil 3.18:	Beton numunesinin sülfat etkisinde boy değişiminin belirlenmesi.....	55
Şekil 3.19:	Aşınma deneyinin yapılışı.....	56
Şekil 3.20:	Donma çözülme direnci deney cihazı.....	57
Şekil 4.1:	Çimentonun XRD analizi sonucu.....	60
Şekil 4.2:	Yüksek fırın cürufunun XRD analizi.....	60
Şekil 4.3:	Mermer tozu XRD analizi.....	61
Şekil 4.4:	Beton reometresi deney sonuçları.....	64
Şekil 4.5:	Beton reometresi YFC numuneleri deney sonuçları.....	65
Şekil 4.6:	Beton reometresi MT numuneleri deney sonuçları.....	65
Şekil 4.7:	MT ve YFC katkılı KYB basınç dayanımı sonuçları.....	67
Şekil 4.8:	Sülfat deneyi numunelerinin zamana bağlı boy değişim değerleri.....	68
Şekil 4.9:	Sülfat çözeltilisindeki KYB numunelerinin 6 ay sonundaki boy değişimleri.....	69
Şekil 4.10:	Aşınma deneyi sonrasında hacimdeki ortalama azalma oranları.....	70
Şekil 4.11:	Donma çözülme deneyi sonrasında yapılan beton basınç dayanımı ve işlem geçirmemiş betonun 28 günlük dayanım değerleri.....	71
Şekil 4.12:	Referans numunesinin gözenek yapısı.....	
Şekil 4.13:	Referans numunesinin boşluk çapı.....	72
Şekil 4.14:	KYB numunelerinin boşluk yapısı : (a) MT 10, (b) MT 20, (c) MT 30, (d) YFC 10, (e) YFC 20, (f) YFC 30.....	73
Şekil 4.15:	Sülfat etkisinde kalmış Referans numunesinin içyapısı.....	75

Şekil 4.16:	Sülfat etkisinde kalmış KYB numuneleri içyapısı : (a) MT 10, (b) MT 20, (c) MT 30, (d) YFC 10, (e) YFC 20, (f) YFC 30.	77
Şekil 4.17:	Donma çözülme etkisinde kalmış Referans numunesinin içyapısı.....	78
Şekil 4.18:	Donma çözülme etkisinde kalmış KYB numunelerinin içyapısı : (a) MT 10, (b) MT 20, (c) MT 30, (d) YFC 10, (e) YFC 20, (f) YFC 30.....	79

1. GİRİŞ

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), kendi ağırlığı ile döküldüğü kalıba yerleşebilen ve vibratör kullanılmasına gerek duyulmaksızın en sık donatılı bölgelerde ve en dar kesitlerde bile hava boşluğunu dışarı atarak ve sıkışarak düzlenen, ayrışma ve terleme gibi problemler oluşturmayan, kohezyonunu koruyan, çok akıcı kıvamlı özel bir beton türüdür (Baradan, 2004). KYB'lerin kullanımının ülkemizde yaygın hale gelmesi yapıların daha güvenli olmasına katkı sağlayacaktır. Fakat geleneksel betonlarla kıyaslandığında bu betonlar kullanıcıya daha pahalıya mal olmaktadır. Bunun nedeni olarak KYB'lerde kullanılan kimyasal katkı malzemelerinin pahalı olması ve geleneksel betonlara göre daha fazla bağlayıcı malzeme içermesi gösterilebilir. Bu nedenlerden ötürü bu betonların ülkemizdeki kullanım oranı gelişmiş ülkelerle kıyaslandığında oldukça düşüktür (Uysal, 2010).

KYB'ler kendi ağırlığı ile homojen bir şekilde hareket ederken doldurma yeteneği sağlayarak, en dar ve sıkı donatılar arasından ayrışma göstermeden geçebilmesi için karışımda kullanılacak çimento, agrega ve su gibi malzemeler dışında yüksek oranda su azaltıcı özelliğe sahip akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi ile viskozite düzenleyici kimyasal katkı maddesine ihtiyaç duyulmaktadır. Beton karışımlarının viskozitesini artırmanın kimyasal katkı kullanımı dışında bir başka yolu da beton bileşenlerinde değişikliğe gidilerek ince taneli malzeme miktarının artırılarak düzenlenmesidir. Böylece, bu betonların daha ekonomik üretimi fırsatı da doğmaktadır (Uysal, 2010).

KYB, Japonya'da 80'li yılların sonunda kalıcılık açısından yüksek performanslı beton üretimi amacıyla geliştirilmiştir (Okamura ve Ouchi, 1999). KYB, kendi ağırlığı altında istenilen kesite yayılabilen, herhangi bir iç veya dış vibrasyon uygulanmadan, kesitte tam doluluğun sağlanabildiği, akıcı kıvamda bir betondur. KYB'nin yukarıda sayılan özelliklere ilave olarak, akış sırasında engeller arasından bloklanma veya tıkanma olmadan geçebilmesi ve ayrışmaya uğramaması da gereklidir. Özellikle yüksek performanslı hiper akışkanlaştırıcıların kullanımı, taze betonun viskozitesinde önemli bir düşüşe yol açmadan işlenebilirliği arttırmaktadır.

KYB'nin iki temel özelliği, çok miktarda toz malzeme ve hiper akışkanlaştırıcı kullanımı ile elde edilen yüksek akıcılık ve yüksek ayrışma direncidir. KYB'de

viskozite arttırıcı toz malzeme olarak uçucu kül, taş tozu, öğütülmüş yüksek fırın curufu, silis dumanı kullanılabilir (Khayat ve Guizani, 1997). Öte yandan geleneksel betonda özellikle düşük dozlu karışımlarda beton içerisine taş tozu ilave etmenin yararı, betonun kohezyonu, işlenebilirliği ve kompasitesi açısından büyük avantajlar sağlar (Topçu ve Yakaroğlu, 1998). Karışım tasarımıdaki bu farklılıktan dolayı, geleneksel betona göre dayanım ve dayanıklılık değişebilir. Çimentolu malzemelerin zararlı etkilere karşı hasar mekanizması en fazla malzemelerin geçirimsizliğinden etkilenmektedir. KYB'nin kapiler su emme kapasitesi, geleneksel betona göre daha düşüktür. KYB'nin bu özelliği ayrık ve bağlantısız boşluk yapısı ile açıklanabilir. KYB teknolojisinde akışkanlık ve stabilitenin bir arada sağlanabilmesi için yeni nesil polikarboksilik eter esaslı ileri teknoloji ürünü hiper akışkanlaştırıcılar ile birlikte puzolanik ve inert mineral katkıları veya viskozite arttırıcı kimyasal katkıları kullanılabilir. KYB teknolojisinde sıkça kullanılan bu katkıları, KYB'nin işlenebilirliğini önemli ölçüde etkilediği gibi, dayanım ve dayanıklılığında da farklar yaratmaktadır. Yapılan bu çalışmada, aynı çimento dozajında farklı viskozite arttırıcı mineral katkıları ve farklı agrega granülometreleri ile kendiliğinden yerleşen betonlar üretilmiştir (Neville, 1995).

Atık mermer tozu mermerlerin farklı yöntemlerle temin edilmesi veya mermer işleme tesislerinde kesim sırasında ortaya çıkmaktadır. Ancak bu atıkların doğal ortama kontrolsüz bir şekilde dökülmesi bir takım çevre sorunlarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bilecik ilinde mermer kesimhane sayısının 200'ün üzerinde olması nedeniyle mermer atıklarının değerlendirilmesi oldukça önem kazanmaktadır (Ural vd., 2010).

Yaptığımız çalışmada ürettiğimiz KYB karışımının kalıcılık özelliklerini inceledik. Yaptığımız karışımda mermer tozu ve yüksek fırın cürufu kullanarak hiper akışkanlaştırıcı yardımıyla da karışımı oluşturduk. KYB karışımına yaptığımız deney çalışmaları; malzeme özellikleri, taze beton özellikleri, sertleşmiş beton özellikleri aşınma etkisi, donma çözülme etkisi, ve sülfat etkisi olarak yapılmıştır.

Beton ve betonarme yapıların sülfat etkisi, donatı korozyonu, donma çözünme etkisi gibi nedenlerden hasar görerek işlevini yitirmesi, gerek yapıların güvenliği ve gerekse yapı ömrünün sürdürülebilirliği bakımından önemlidir. Çevre koşullarından

kaynaklanan bu tür hasarların gerek ülke ekonomisi ve gerekse küresel ekonomi üzerindeki etkileri oldukça büyüktür. Yeni yapı malzemeleri üretebilmek ve üretilen malzemelerin özelliklerini geliştirebilmek malzemenin iç yapısını iyi anlayabilmek ile doğru orantılıdır. Hem ekonomik hem de uygulaması kolay bir yapı malzemesi olan betonun da performansını yükseltmek bu malzemenin içinde meydana gelen hasar mekanizmalarını anlayabilmek ve bunlara bağlı olarak da içyapıda yapılabilecek iyileştirmelere bağlıdır. Günümüz teknolojisindeki hızlı gelişmeler bilimin her alanında kendini göstermektedir. Özellikle mikroskop ile görüntüleme tekniklerindeki gelişmeler betonun iç yapısının ve hasar mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasını sağlamış ve bu sayede de etkin malzemelerin geliştirilmesine ve/veya mevcut malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesinde öncü olmuştur. Özellikle açık hava koşullarına direkt maruz olan beton yollar, yaya yolları ve geniş yüzeyli beton/betonarme yapı elemanlarında, donma-çözünme etkisinden dolayı onarılması güç ve maliyetli problemlerin ortaya çıkması, beton içyapısına gerekli müdahalelerin yapılmaması durumunda olasıdır. Bu problemin önlenmesinin veya minimuma indirilmesinin en etkin yolu, beton karışımına tansiyoaktif katkı maddelerinin katılarak içerisine hava sürüklenmesidir fakat, sürüklenen havanın miktarı ve niteliği önemlidir (Pekmezci ve Atahan, 2013).

2. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON

Günümüz inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi betondur. Bütün dünyada betonun 20. yüzyılda olduğu gibi 21. yüzyılda da bu özelliğini sürdüreceği düşünülmektedir. Geleneksel betonun yanı sıra, bilimsel çalışmaların artması ve beton teknolojisinin gelişmesi sonucunda farklı ihtiyaçları karşılayabilen birçok beton çeşidi tasarlanmıştır. Bunlar arasında hafif beton, lifli beton, vakumlu beton, ön gerilmeli beton, hazır beton gibi betonlar sayılabilir. Bu betonlar arasında yer alan diğer bir beton çeşidi ise kendiliğinden yerleşen betondur (KYB). KYB, döküm işlemi sırasında herhangi bir vibrasyon ve sıkıştırmaya ihtiyaç gerektirmeksizin kalıbın köşelerini ve donatıların arasını iyi bir şekilde dolduran akıcı kıvamlı işlenebilir bir betondur (Brouwers, 2005).

KYB dünyada ilk defa 1980'lerin ikinci yarısında Japonya'da deprem bölgelerindeki sık donatılı betonarme elemanlarda sıkıştırma işlemine gerek olmadan yerleşebilen beton ihtiyacından dolayı geliştirilmiştir. KYB literatürde değişik isimler altında tanımlanmaktadır. Genellikle kendiliğinden sıkışan beton (Self compacting concrete-SCC) ismi kullanılmaktadır. Diğer kullanılan isimler ise kendiliğinden düzeyeleşebilen beton (Self levelling concrete-SLC) ve kendiliğinden çöken beton (Self consolidating concrete-SCC) dur. Türkiye'de genellikle KYB terimi kullanılmaktadır. KYB'lerin kohezyonunu sağlamak, karışımda çimento miktarını azaltmak ve atık malzemeleri değerlendirerek daha ekonomik KYB üretebilmek için, çeşitli kimyasal ve mineral kökenli katkı maddeleri kullanılmaktadır (Yahia vd., 2005).

2.1. KYB'nin Tarihsel Gelişimi

Betonda kendiliğinden yerleşebilirlik kavramı ilk olarak Tokyo Üniversitesinde, 1986 yılında Prof. Dr. Hajime Okamura tarafından ortaya atılmıştır (Ozawa vd., 1989). Su altında beton dökümü uygulamalarında, vibrasyonsuz beton dökümlerinden edinilen tecrübe ile KYB üretilmesi amaçlanmıştır. Okamura'nın başlattığı çalışmaları Ozawa, Ouchi ve Maekawa devam ettirmektedir. Aynı üniversitede 1988 yılında yüksek performanslı KYB prototipi üretilmiş ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu özel tip betonun geliştirilmesinde öncelikli amaç, dayanımın yanısıra dayanıklılık açısından da

yüksek performans sağlamaktır (Ouchi, 1999). Yüksek performanslı betonun aşağıda sıralanan 3 aşamada belirli şartları yerine getirmesi öngörülmüştür;

1. Taze halde iken kendiliğinden sıkışabilme.
2. İlk olumsuz etkilere direnebilecek derecede yüksek erken dayanım.
3. Sertleşmiş halde tüm dış etkilere karşı bozulmadan kalabilme.

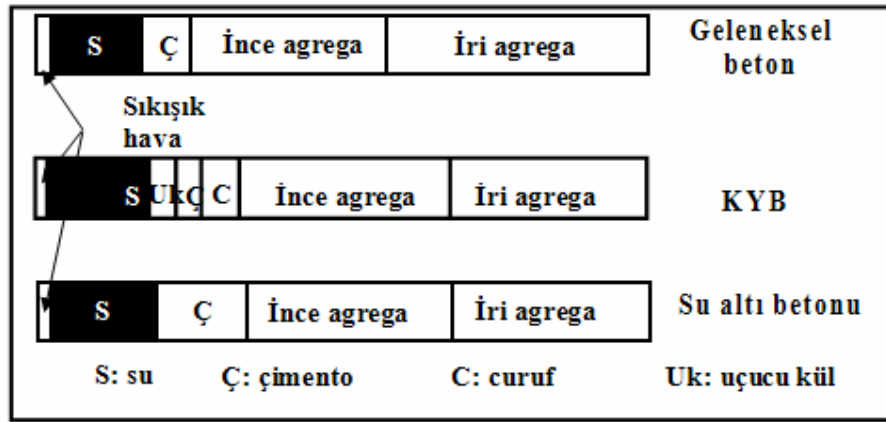
Japonya'nın öncülüğünde geliştirilen KYB zamanla Asya, Güney Pasifik, Avrupa ve Kuzey Amerika'da yaygınlaşmaya başlamıştır. KYB oluşturulurken yeterli miktarda su azaltıcılar gerekliydi. KYB' de su azaltıcı katkıları temel olarak sülfonat naftalin formaldehit (SNF), sülfonat melamin formaldehit (SMF) veya polikarboksil etilen oksit (PCE) üzerine kurulmuştur (Reknes ve Petersen, 2003).

Su/bağlayıcı madde oranının düşük tutulmasına rağmen KYB üretiminde kullanılan akışkanlaştırıcı katkıları hem betonda akışkanlığı sağlamakta, hem de homojen bir çimento dağılımı oluşturarak ayrışmanın oluşmasını önlemektedir. Dayanım ve dayanıklılık özellikleri bakımından normal betona göre KYB daha avantajlıdır. Kendiliğinden yerleşen beton konusunda ilk makale, 1989 yılında Ozawa tarafından Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansı'nda (EASEC) sunulmuştur. KYB konusunda ilk kitap Okamura tarafından yazılmış olup, 1993 yılında Japonca olarak yayınlanmıştır (Felekoğlu vd., 2005).

Collepari'ye göre ilk KYB uygulaması 1980'lerin başında İtalya'nın S. Marco Rıhtım inşaatında sualtı temel betonu dökümünde 40.000 m³ Reoplastik Beton kullanılarak yapılmıştır. Bu beton çok yüksek viskoziteye sahip (kohezif), vibrasyona gerek duyulmadan su altında kalıba yerleşebilen ve bu kohezyonuyla deniz suyunun yıkayıcı etkisine direnç gösterebilen özelliklere sahipti (Collepari, 2001).

Su altı betonunun yüksek viskoziteye sahip olması için, viskozite artırıcı kimyasal katkıları gerek duyulmaktadır. Şekil 2.1'de tipik geleneksel beton, KYB ve su altı betonu dizaynlarının hacim oranları karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Hollingsworth, 2002). Buna göre, KYB karışımlarında geleneksel betona kıyasla çok daha fazla toz maddeye ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak su altı betonu dizaynında

ayrışmanın engellenmesi için yüksek oranda toz maddeden çok, viskozite artırıcı kimyasal katkılar tercih edilmektedir.



Şekil 2.1. Geleneksel beton, KYB ve su altı betonu için karşılaştırmalı hacim oranları (Khurana ve Topçu, 2000).

Özetle gerek kimyasal katkı teknolojisinin gelişmesi, Reoplastik Beton ve su altı betonu uygulamalarından tecrübe ve bilgi birikiminin oluşması KYB'nin ortaya çıkmasını sağlamıştır (Jacobs ve Hunkeler, 1999). Japonya'da KYB'nin hazır beton sektöründe kullanımının artırılması amacıyla aşağıdaki konularda çalışmalar sürdürülmektedir (Okamura ve Ouchi, 1999):

1. Kendiliğinden yerleşebilirlik deney yöntemleri
2. Karışım dizayn yöntemleri
3. Deneylelerin şantiye ortamına aktarılması

Kuzey Amerika'da KYB ile ilgili ilk çalışmalar 1996 yılında Prof. Ferguson öncülüğünde başlamıştır. Prof. Aitcin ve arkadaşları ise Kanada'da KYB konusunda çalışmaktadır (Ouchi, 1999). RILEM tarafından 1997 yılında KYB konusunda çalışan bir komite kurulmuştur. 1998 yılında Japonya'nın Kochi kentinde ilk uluslararası çalışma grubu toplanmış, ve internet üzerinden konuyla ilgili iletişim ağı kurulması kararlaştırılmıştır. Söz konusu ağ SCC- NET adıyla Şubat 1999 yılında açılmıştır (Okamura ve Ouchi, 1999). Hollanda'da KYB kullanımı 1997 yılında başlamıştır. Delft Teknik Üniversitesi, KYB dizaynı konusunda araştırmalar yapmaktadır (Walraven, 2002). Almanya'da KYB 1998 yılından itibaren ilgi görmeye başlamıştır. KYB'nin

kullanımının önündeki en büyük engel DIN 1045 ve DIN 4227'ye göre KYB dizaynının ve kıvamının standart dışı olmasıydı. Mevcut standartların yenilenmesi ve KYB için ilave yapılması amacıyla, Alman Betonarme Komitesi (DafStb) ve İnşaat Mühendisliği Enstitüsü (DIBt), çalışmalar yapmış ve standartlara KYB için ilave bölümler eklenmiştir (Dehn, 2002).

Almanya'da standartların yeni yeni oluşmasına rağmen prefabrike beton sektöründe "Drössler Easyflow" ve hazır beton sektöründe "Dyckerhoff Liquidur" isimleriyle markalaşmış KYB üretilmekte ve kullanılmaktadır (Brameshube ve Uebachs, 2002). 2000 yılı sonunda KYB kullanımı Amerika'da yaygınlaşmaya başlamıştır. Prefabrike beton endüstrisi bu gelişmeye hızla ayak uydurmuş fakat hazır beton endüstrisinde kullanımı kısıtlı kalmıştır. Bunun en önemli nedeni, standartların tam olarak oluşturulamamasıdır. Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), 2002 yılında kurduğu ACI 236 B grubu ile KYB konusunda dökümantasyon çalışmalarına başlamıştır. Aynı zamanda Amerikan Prefabrike Beton Birliğinde (PCI) Nisan 2002'de prefabrike beton endüstrisinde KYB kullanımı ile ilgili standart oluşturma çalışmalarına başlanmıştır (Brameshuber ve Uebachs, 2002).

İskandinav ülkelerinden Norveç'te beton üretiminde olumsuz hava koşulları nedeniyle yüksek dayanım ve dayanıklılık şartları aranmaktadır. Norveç'te özellikle silis dumanının kullanımı yaygın olduğu için KYB üretiminde toz madde ihtiyacı çoğunlukla silis dumanı kullanılarak karşılanmaktadır (Hammer vd., 2002).

Avrupa Birliği, çerçeve programları dahilinde KYB ile ilgili önemli bir proje gerçekleştirilmiştir. Brite EuRam BE96-3801 nolu, KYB ile ilgili tüm alanları kapsayan bu proje 1997 yılının başında başlamıştır. İsveç, Fransa, İskoçya, İspanya ve Belçika'nın katıldığı bu çok uluslu proje 2000 yılının sonlarına doğru tamamlanmıştır (Brite EuRam, 1997). Projenin sonuçları EFNARC'ın KYB ile ilgili temel prensiplerini oluşturmaktadır. Bu çalışma ve daha sonra Avrupa da yapılan çalışmalardan sonra KYB konusunda EFNARC 2002, EFNARC 2003 ve EFNARC 2005 standartları geliştirilmiştir. Yine Avrupa'da bu konuda "EN" standartlarını geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Diğer taraftan KYB tasarımı ve uygulaması konusunda Japonya ve Amerika'daki çalışmalarda devam etmektedir. Japonya'da uygulamaya, Amerika da ise

ACI standardı hazırlanmasına yönelik çalışmaların devam ettiği bilinmektedir (Felekoğlu, 2003).

Persson tarafından yapılan bir başka çalışmada ise KYB'lerin sülfatlı ortamlardaki davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda 40'tan fazla silindir numune 900 gün boyunca saf suda, deniz suyunda ve sodyum sülfat çözeltisinde bekletilerek KYB'lerin sülfat direnci belirlenmeye çalışılmıştır. 28 ya da 90 günlük numuneler ilgili deneylere tabi tutulmuştur. Ağırlık ve iç temel frekans ölçümleri yapılarak geleneksel betonlarla karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre, numuneler sodyum sülfat çözeltisinde bekletildiğinde, KYB karışımlarında kalker tozu bulunması nedeniyle, geleneksel betonlara göre daha fazla ağırlık kaybı meydana gelmiştir. Deniz ya da saf suda bekleyen numunelerde ağırlık farklılıkları oluşmamıştır (Persson, 2003).

Schwartzentruber ve arkadaşları tarafından yapılan bir başka çalışmada ise KYB'lerden formüle edilen taze çimento hamurlarının reolojik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmanın ana konusu, yayılma ve akış zamanı gibi ampirik testlerin diğer karmaşık testlere gerek olmaksızın çimento hamurlarının reolojik özelliklerini belirlemede kullanılabileceğini göstermektir. Reolojik özellikler olarak viskozite ve akma kayma gerilmesi gibi parametrelerin, akışkanlığı yüksek karışımlarda elde edilen ampirik testlerle iyi bir korelasyon oluşturduğu görülmüştür. Ayrıca, çimento hamurunun reolojik özelliklerini belirlemede karışım prosedürlerinin etkileri de bu çalışmada vurgulanmaktadır. Son olarak da test sonuçları dikkate alınarak, KYB'lerde kullanılan viskozite düzenleyici katkılar ile süperakışkanlaştırıcı katkılar arasında reolojik özellikleri sağlamada bir ilişki olduğu görülmüştür (Schwartzentruber, 2006).

Türkiye'de ise KYB konusunda bireysel çalışmalar yürütülmektedir. Araştırmacılar, çalışmalarını ilgili kongrelerde sunmakta ve uluslararası dergilerde yayınlamaktadırlar. Bu araştırmalar neticesinde elde edilen bilgiler ışığında KYB uygulamaları her geçen gün artmaktadır. Geleneksel betonun tarihi dikkate alındığında, KYB'nin yeni olarak ifade edilebilecek bir geçmişi vardır. KYB'nin üretilmeye başlanıldığı ilk yıllarda bilgi paylaşımının günümüzdeki kadar hızlı olmaması ve birçok ülke yönetmeliğindeki beton çökme-kıvam değeri üst limiti sınırlayıcıları KYB'nin hızlı yayılmasını engellemiştir. Ancak günümüzde inşaat sektöründeki hızlı gelişmeler ve

yeni ihtiyaçlar KYB'nin uygulama alanlarını her geçen gün genişletmektedir (Bartos, 2005).

Felekoğlu tarafından yapılan çalışmada KYB retiminde kullanılan ince agregaların fiziksel özelliklerindeki (ince malzeme miktarı ve türü) değişimin, KYB'lerin performans özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bu bağlamda, dört farklı kumla (yıkandış doğal kum, yıkandış kırma taştozu kumu, siltli kırma taştozu kumu ve killi kırma taştozu kumu) retilen KYB'lerin akışkanlaştırıcı katkı ihtiyaçları belirlenmeye çalışılmıştır. Deney sonuçlarına göre aynı kıvamda KYB'ler üretebilmek için ihtiyaç duyulan katkı miktarları kumların fiziksel özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. İnce taneli malzeme miktarı az olan kumun siltli kırma taştozu kumuna göre basınç dayanımları benzerlik göstermiştir. Diğer taraftan, killi kırma taştozu kumu ile üretilen betonlar istenen yayılma değerini elde edebilmek için daha fazla katkı ihtiyaı duymuş ve dayanım kaybına uğramıştır (Felekoğlu, 2006).

Topçu vd., tarafından yapılan çalışmada, uçucu kül, kireçtaşı tozu, tuğla tozu ve mermer tozunun KYB'da ince malzeme olarak kullanılması durumunda katkı gereksinimi üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Günümüzde Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) uygulamaları yaygınlaşma sürecindedir. KYB'da akışkanlığı sağlamak amacıyla uçucu kül ve silis dumanı gibi puzolanik malzemelerin yanı sıra taşunu gibi ince malzemelerde kullanılmaktadır. Deneyler yüksek oranda su azaltıcı ve akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen KYB harçları üzerinde gerçekleştirilmiştir. Harçların üretimlerinde ince malzemeler çimentoyla belirli bir oranda yer değiştirilmiş ve % 0.5 ten % 2.5 oranına kadar kimyasal katkı ilave edilmiştir. 0/4 mm doğal kum ile üretilen harçlar, üzerinde mini okmede yayılma ve V-hunisi testleri yapılmıştır. Rölatif okmede-yayılma ile su/imento oranı arasındaki ilişkiden gerekli olan katkı miktarı imento ağırlığının yüzdesi olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak seçilen mineral katkıların katkı gereksinimine dikkat edilmesi gerektiğini göstermiştir (Topçu vd., 2007).

Almaya ve İnce tarafından, mermer tozu içeren KYB'lerin taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerine incelenme yapılmıştır. Bu amaçla Montero ve arkadaşları tarafından geleneksel betonlar için geliştirilen karışım tasarımı KYB'lere uyarlanmıştır. Farklı su/imento ve su/toz oranlarında üretilen betonlara taze halde

çökme yayılma, T_{50} , L-kutusu ve elek ayrışma direnci deneyleri, sertleşmiş halde ise basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, bu tasarım yönteminin mermer tozu ile üretilen KYB'lerde kullanılabilceği önerilmiştir (Alyamaç ve Ince, 2008).

Yazıcı tarafından yapılan bir çalışmada silis dumanı ve yüksek miktarda uçucu külün KYB'lerin mekanik özelliklerine, klorür geçirgenliğine ve donma-çözülme direncine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla ilk olarak, C tipi uçucu kül, çimento ile % 30'dan % 60'a kadar ikameli olarak kullanılmış, daha sonra ise aynı karışımlarda silis dumanı çimento ile % 10 ikame oranında kullanılarak KYB'ler üretilmiştir. Üretilen bu betonların mekanik özellikleri, klorür geçirgenlikleri ve donma-çözülme dirençleri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre yüksek oranda uçucu kül ile KYB'lerin elde edilebileceği, % 10 oranında silis dumanı katılarak yüksek uçucu kül ikameli ve aynı zamanda yüksek performanslı kendiliğinden yerleşen betonların üretilebileceği görülmüştür. Karışımlarda oldukça az miktarda çimento kullanılmasına rağmen üretilen betonların mekanik ve donma-çözülme özellikleri ile klorür penetrasyon direncinin oldukça iyi olduğu belirlenmiştir (Yazıcı, 2008).

2.2. KYB Kullanım Alanları

KYB, tasarımından sahada uygulamasına kadar özel bir titizlik gerektirmesi ve maliyetinin geleneksel betonlara göre daha yüksek olması nedeniyle özel bir beton türü olarak değerlendirilmektedir. Genellikle prefabrik sektöründe, estetik amaçlı tasarlanan detaylı ve karmaşık şekilli kalıplar içeren yapı elemanlarında, tamir, bakım ve yenileme işlerinde, sık donatılı ve dar kesitli betonarme yapı elemanlarında, saha betonlarında, mimari paneller, cephe elemanları ve geniş yapı elemanlarında kullanılabilir. Teknik açıdan taze betonun sıkıştırma işleminin çok zor ve güç olduğu durumlarda örneğin tünel inşaatlarında, dar donatılı yapı elemanı olarak kolon-kiriş birleşim bölgelerinde, güçlendirme inşaatlarında ve vibrasyon nedeniyle meydana gelecek gürültünün insan sağlığını ciddi manada etkilediği prefabrikasyon sektöründe en ideal ve akılcı çözüm yöntemidir.

KYB'nin kullanım alanlarını biraz daha ayrıntılı inceleyecek olursak, prefabrike beton sektöründe KYB, betonun kalitesini arttırmak, estetik görüntüsünü iyileştirmek ve geleneksel üretim yöntemlerinden kaynaklanan dolaylı maliyetleri azaltmak amacıyla

kullanılmaktadır. Bu sektörde KYB kullanımı kalıba vibrasyon uygulanmasını ortadan kaldırdığından kalıbın maruz kalacağı dinamik yükler de tamamen ortadan kalkmaktadır. Böylelikle, manyetik bağlayıcılarla daha ince et kalınlıklı kalıplar kullanılabilir (Brameshuber ve Uebachs, 2002). Kalıp ömrü de vibrasyonun kalkmasıyla önemli oranda artmaktadır. Diğer taraftan, kalıplar hafifleyeceğinden taşıma ve bakım işleri kolaylaşmakta ve kalıp söküm ve yeniden kurulum işlemlerinde de zamandan % 50 tasarruf sağlanabilmektedir (Walraven vd., 2002).

KYB'nin prefabrike beton üretiminde kullanıldığı bir üretim tesisinde standart panel elemanının dökümü 3-4 dk sürerken, aynı elemanın geleneksel yöntemler kullanılarak yerleştirme işlemi 10-14 dk ve perdaqlama ile beraber toplam döküm süresi 30 dakika sürmektedir. Üstelik bu işlemler iki veya üç işçi tarafından gerçekleştirilmektedir. Şekil 2.2'den de görüleceği üzere KYB dökümü için tek bir işçi yeterli olmaktadır. Fakat üretim tesisinin bu hızı yakalayabilmesi için, KYB üretim ve yerleştirme yönteminin iyi bir şekilde kavranması, sistemli çalışılması ve işçilerin deneyim kazanması gerekmektedir (Hughes vd., 2002). KYB, homojen yapısı ile boşluksuz bir yapı oluşturması, en sık donatılı kalıplarda bile vibrasyon gerektirmeden kendiliğinden yerleşmesi sayesinde güçlendirme projeleri için ideal bir çözümdür.



Şekil 2.2. Prefabrike beton üretiminde KYB uygulamaları.

Bir başka uygulama örneği de Şekil 2.3'te görülen, kolon yüksekliği 7 m olan mantonun kendiliğinden yerleşebilen betonların yerleşmesindeki kolaylık sayesinde, vibratörsüz olarak bir defada kolayca dökülebilmesidir. Mantonun üst katlara devam etmesi durumunda, manto betonu olarak KYB'nin dökümü, kolon kenarından bırakılan küçük boşluklardan rahatlıkla yapılabilir. Mevcut taşıyıcı elemanlarla yeni taşıyıcı duvarların bütünleştirilmesi esnasında, bu elemanların çerçevelerindeki kolon ve kirişlerin istenilen şekilde bütünleştirilmesinde güçlükler yaşanmaktadır. Yeni ve eski elemanların birbirlerine temas ettiği ara yüzeylerin bazı bölümlerinde gerilme yığılmalarının oluşması, bazen eski elemanlarla yeniler arasında, boşluklara uyum sağlayacak yüksek dayanımlı geçiş bölgeleri oluşturmayı zorunlu kılmaktadır. KYB ise bu amaçlara hizmet eden ideal bir çözüm yöntemidir.



Şekil 2.3. KYB ile betonarme manto uygulamaları.

Ülkemizin aktif bir deprem kuşağında yer alması, betonun tasarımından yerine yerleştirilmesine, sıkıştırılmasından kürlenmesine kadar bütün aşamalarının titizlikle yerine getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle nitelikli işgücünün sınırlı olması da betonun üretim aşamasında vibrasyonunun sağlıklı olmasını zorlaştırmaktadır. KYB'ler ise bu sorunları ortadan kaldıracabilecek en etkili çözümdür. Günümüzde KYB'lerde kullanılan kimyasal katkı malzemelerinin pahalı olması ve geleneksel betonlara göre daha fazla bağlayıcı malzeme içermesi bu betonların ülkemizdeki kullanımını gelişmiş ülkeler seviyesine çıkarmayı mümkün kılmamaktadır. Böylece kalkınmayla beraber, yerli kimyasal katkıların üretimi ve böylelikle daha ekonomik KYB'lerin üretimi, özel

tasarımlı yapıların sayısının artması, KYB'nin prefabrike beton sektöründe betonun kalitesini ve estetik görüntüsünü arttırmak ve geleneksel üretim yöntemlerinden kaynaklanan dolaylı maliyetleri azaltmak amacıyla başarıyla uygulanabilmesi, gelecekte ülkemizde de KYB uygulamalarını artıracaktır. Dünyada ise polimer teknolojisinin sürekli gelişimiyle gelecekte çok daha düşük su/toz oranına sahip, dayanım ve dayanıklılık bakımından yüksek performanslı KYB'ler üretilmesi beklenmektedir.



Şekil 2.4. KYB uygulaması (Wolfsburg bilim merkezi).

Son yıllarda KYB kullanımı ülkemizde de çeşitli projelerde uygulanarak kullanılmaya başlamıştır. Bu projelerden bazıları özellikleriyle aşağıdaki Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Türkiyede KYB kullanılan bazı projeler ve özellikleri (THBB).

Proje adı	Kullanılan KYB Miktarı	KYB Dayanım Sınıfı	Max Tane Çapı	Yayılma Çapı
Akasya Acıbadem	220.000 m ³	C 50/60	22 mm	55
Antares Alışveriş ve Yaşam Merkezi	12,000 m ³	C 30/37 C 35/45	22,4 mm	C30/37 için 60 cm C35/45 için 65 cm
Anthill Residence	100.000 m ³	C 40/50	12 mm	65-70 cm
Bosphorus City	55.000 m ³	C 30/37	22 mm	50-55 cm
Evkur Alışveriş Merkezi	3.000 m ³	C 35 / 45	20 mm	65 cm
Habire Yahşi Lisesi Güçlendirme İşi	3.000 m ³	C 35/45	12,5 mm	65 cm
Haliç Metro Geçiş Köprüsü Projesi	994 m ³	C 35/45 C 40/50	12mm	73cm
Hatay Serinyol Jan. Eğt. Kom. Güçlendirilmesi	650 m ³	C 40	15 mm	73 cm
Innovia	100.000 m ³	C 35/45	22 mm	55 cm
İstanbul Sarayları	15.000 m ³	C 35/45	22 mm	55 cm
Marina İstanbul	45.000 m ³	C 35/45	12 mm	65-70 cm
Özdilek Otel, Avm ve İş Merkezi	90.000 m ³	C 50/60	12 mm	70-75 cm
Skyport Residence	50.000 m ³	C 50/60	12 mm	65-70 cm
Spine Tower Maslak	41.000 m ³	C 80/95	12 mm	70 mm
Ukra City	30.000 m ³	C 40/50	22 mm	55 cm
Varyap Meridian	160.000 m ³	C 60/75	22 mm	55 cm

2.3. KYB Kullanımının Olumlu ve Olumsuz Yönleri

Kendiliğinden yerleşen beton kullanılması halinde işlenebilirlik ve mekanik özelliklerin yanında durabilite açısından da yüksek performans elde etmek mümkündür. Geleneksel beton ile KYB karşılaştırıldığında olumlu ve olumsuz bazı kazanımlar ortaya çıkabilecektir.

2.3.1. KYB Kullanımının Olumlu Yönleri

KYB'nin en önemli olumlu yönü yüksek işlenebilirlik sayesinde taze betonu sıkıştırma için uygulanan vibratör kullanımının yarattığı zaman, enerji ve para kaybı gibi işçilik sorunlarını büyük ölçüde ortadan kaldırmasıdır. Örneğin vibratör kullanımının çevreye yaydığı gürültü kirliliği (özellikle prefabrike beton sektörü için) önlenecektir. Prefabrike beton sektöründe vibratör kullanımının kalıplara verdiği zarar önleneceğinden kalıpların ekonomik kullanım ömürleri artacaktır. KYB kullanımının fabrika içindeki olumlu etkileri Çizelge 2.2' de sıralanmıştır. İnsan sağlığı açısından 80 dB üstünde ses; dalgınlık, stres ve yorgunluk gibi rahatsızlıklara neden olmaktadır. 0,25 m/sn²'nin üzerindeki vibrasyon ivmesi kan dolaşımını bozmaktadır. Özellikle, kuvarz tozu kanserojen etkisi olduğu için 5 mg/m³'ün üzerindeki konsantrasyonları insan sağlığını tehdit etmektedir. Bunun gibi sağlık sorunlarının ortadan kaldırılmasının işçilikte % 5 tasarruf sağlayacağı öngörülmektedir (Walraven, 2002).

Çizelge 2.2. KYB kullanımının fabrika içi çalışma koşullarına etkisi.

Etki	Standart Üretimde	KYB kullanımında
Fabrika içi gürültü seviyesi	93 dB	<80 dB
Kalıplara etkileyen dinamik yük	0.75-4.0 m/sn ²	≈ 0 m/sn ²
Fabrika içi toz konsantrasyonu	3-4 mg/m ³	0.2 mg/m ³

KYB malzeme maliyeti açısından geleneksel betonla karşılaştırıldığında, farklı araştırmacılar farklı sonuçlar elde etmiştir. Değişik ülkeler için maliyet farklılıkları doğaldır. Fakat genel kanı sadece malzeme açısından karşılaştırma yapıldığında KYB'nin daha yüksek maliyetli olacağıdır. ABD'de 2002 yılında ENR firmasının prefabrike beton üretiminde kullandığı 69 cm yayılma çapına sahip KYB ve 15 - 20 cm

çökme değerine sahip geleneksel beton (GB) dizayn maliyetleri Çizelge 2.3’de görülmektedir. Çizelge’den görüldüğü gibi KYB ile GB arasında 5 \$/m³’lük bir fark vardır. Öte yandan işçilik açısından yapılan değerlendirmelerde % 32’lik bir maliyet azalması elde edildiği rapor edilmiştir (Martin, 2002).

Çizelge 2.3’de yurtdışında bir prefabrike beton üreticisinin metreküp başına çıkarttığı toplam maliyet analizi verilmiştir (Dowson, 2002). Çizelge’den görüldüğü gibi, sırf malzeme açısından bakıldığında KYB daha pahalı olmakta ama fabrika içindeki diğer işlemlerin maliyetlerinin ilave edilmesi durumunda, KYB’nin daha ekonomik olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Fakat Türkiye şartlarında işçiliğin çok daha ucuz olması, KYB’nin ekonomikliğini etkileyebilir.

Çizelge 2.3. Prefabrike olarak üretilen, aynı basınç dayanımına sahip geleneksel betonla KYB arasında toplam maliyet karşılaştırması.

Maliyet Unsurları	Geleneksel Beton	KYB
	€/m³	€/m³
Beton (çimento, agrega)	36.90	38.53
Kimyasal Katkı	3.53	8.38
Kalıp montaj işçiliği	5.04	5.04
Kalıba yerleştirme, sıkıştırma ve perdahlama	26.88	3.03
Kalıp sökümü	7.56	5.04
Vibrasyon hasarı ve bakımı	1.00	0
Toplam maliyet	80.91	60.02

Arjantin’de yapılan bir araştırmada hazır beton üretiminde KYB kullanımının malzeme maliyetlerini % 25 arttırdığı, öte yandan işçilik maliyetini % 75 azalttığı ve inşaat hızını % 25 arttırdığı tespit edilmiştir (Daczko, 2002).

Betonun özellikle sık donatılı perde tipi dar ve derin kesitlere kendi ağırlığı ile boşluk bırakmadan yerleşmesi betonun mekanik performansını arttıracaktır. Özellikle, deprem riski olan bölgelerde perde tipi kolon kullanımının yoğun olması ve bu elemanların sık donatılı olmaları vibratör kullanımını zorlaştırmaktadır. Betonarme

yapılarda önemli problemlerden biri de donatı yoğunlaşmasının meydana geldiği düğüm noktalarında ve perde tipi elemanlarda betonun iyi sıkıştırılamamasıdır (Şekil 2.5). Betonun yoğunluğu maksimum sıkışmanın sağlandığının kabul edildiği teorik yoğunluğa yaklaştıkça elde edilebilecek maksimum dayanıma yaklaşılmaktadır.



Şekil 2.5. Donatılar arasından vibrasyona gerek kalmadan KYB geçişi.

Yeni nesil kimyasal katkıların kullanımıyla çok akıcı, fakat düşük su/çimento oranına sahip, yüksek dayanımlı beton üretilerek beton kalitesi hem dayanım hem de dayanıklılık açısından arttırılmaktadır. Efektif kimyasal katkıların KYB üretiminde kullanımıyla, prefabrike sektöründe erken kalıp alma için, özellikle kış aylarında uygulanan buhar kürü ortadan kaldırılabilir (Corradi vd., 2002). Bu tür KYB'lerin erken dayanımı yüksek olacağından, kalıp alma hızları artmakta dolayısı ile inşaat hızında artışlar meydana gelmektedir. Prefabrike beton sektöründe erken kalıp alma sırasında meydana gelen üretim kayıpları (kalıp alma sırasında yeterli dayanıma sahip olmadığından çatlama, kırılma ile elden çıkma) geleneksel beton üretim yöntemlerinde % 15 - 20'lere ulaşırken, KYB kullanımıyla bu kayıpların % 5'e kadar düşürülebildiği rapor edilmiştir (Dowson, 2002).

KYB'nin perdelanabilirliği geleneksel betona kıyasla daha rahattır. Beton dökümünü önemli ölçüde hızlandırır. KYB kalıp yüzeylerinde sağladığı boşluksuz görünüm ile sıva ihtiyacını ortadan kaldırabilir (Şekil 2.6). Fakat bu durum aynı zamanda bir dezavantaja dönüşebilir; sıva yapılması gerekiyorsa pürüzsüz yüzeyi sebebiyle KYB sıva tutmayabilir. Öte yandan durabilite, özellikle donatı korozyonu açısından hayati önem taşıyan paspayı tabakası kalitesi de KYB kullanılarak

arttırılabilir. KYB tasarımında genellikle yüksek oranda toz madde kullanılması, kısıtlanmış iri agrega maksimum tane boyutu ve miktarı, kalıp yüzeylerinde sıkışık hava boşluğu kalma riskini azaltmaktadır. Düşük su/bağlayıcı oranı sebebiyle kapiler boşluklarda da azalma beklenebilir.



Şekil 2.6. KYB ile üretilen prefabrik elemanın yüzey detayı (Efnarc, 2005).

Uygulamanın yapıldığı elemanlarda uygulama sırasında dinamik yük mevcut olduğundan hızlı imalat ve erken dayanım aranan önemli özellikler arasında yer almaktadır. Tüm bu aranan özellikler değerlendirildiğinde, KYB'nin onarım ve güçlendirme için uygun bir malzeme olabileceği düşünülmektedir. KYB, kolonların yüksek olması ve sık güçlendirme donatısı nedeniyle de köprü ve viyadük güçlendirmelerinde tercih edilmektedir.

Ülkemizin aktif bir deprem kuşağında yer alması, betonun tasarımından yerine yerleştirilmesine, sıkıştırılmasından kür yapılması kadar bütün aşamalarının titizlikle yerine getirilmesini zorunlu kılmaktadır. Özellikle nitelikli işgücünün sınırlı olması da betonun üretim aşamasında vibrasyonunun sağlıklı olmasını zorlaştırmaktadır. KYB'ler ise bu sorunları ortadan kaldırabilecek en etkili çözümdür. Ancak günümüzde KYB'lerde kullanılan kimyasal katkı malzemelerinin pahalı olması ve geleneksel betonlara göre daha fazla bağlayıcı malzeme içermesi bu betonların ülkemizdeki kullanımını gelişmiş ülkeler seviyesine çıkarmayı mümkün kılmamaktadır. Ancak kalkınmayla beraber, yerli kimyasal katkıların üretimi ve böylelikle daha ekonomik KYB'lerin üretimi, özel tasarımlı yapıların sayısının artması, KYB'nin prefabrike beton

sektöründe betonun kalitesini ve estetik görüntüsünü arttırmak ve geleneksel üretim yöntemlerinden kaynaklanan dolaylı maliyetleri azaltmak amacıyla başarıyla uygulanabilmesi, gelecekte ülkemizde de KYB uygulamalarını arttıracaktır. Dünyada ise polimer teknolojisinin sürekli gelişimiyle gelecekte çok daha düşük su/toz oranına sahip, dayanım ve dayanıklılık bakımından yüksek performanslı KYB'ler üretilmesi beklenmektedir (Atlı, 2012).

2.3.2. KYB'nin Kullanımının Olumsuz Yönleri

KYB'nin olumlu yönlerinin yanında bazı olumsuz yönleride bulunmaktadır. Fakat bunların çoğu, zamanla yapılan araştırma geliştirme çalışmalarıyla ortadan kaldırılabilecek özelliktedir. Bu durumları sıralayacak olursak;

- KYB malzeme maliyeti açısından normal betona kıyasla daha pahalıdır. Maliyeti arttırıcı ana etken efektif kimyasal katkıları olup, gelecekte bu katkıların maliyetlerinin düşmesi beklenmektedir. Fakat daha önceden de bahsedildiği gibi sadece malzeme maliyet açısından karşılaştırma yapmak hatalı olacaktır.
- Burada maliyet oluşturan en önemli bileşen karışımda kullanılan hiper Akışkanlaştırıcı katkıdır KYB'nin performansı malzeme tip ve oran değişkenliklerine karşı hassastır. Normal betona göre daha sıkı kontrol gerektirir. Bu da üreticiye ilave tedbirler alma zorunluluğu getirir. Üretim sırasında müdahale zorluğu vardır. Örneğin agrega nem durumuna göre karışıma su ilavesi yapılması gerekebilir.
- Kesinleşmiş dizayn yöntemi ve standart deneylerinin yokluğu kalite kontrol işlerinde genelleme yapılmasını engellemekte ve standartlaştırmada sıkıntılara yol açmaktadır. Özel şartnameler oluşturularak başarılı uygulamalar gerçekleştirilmesine karşın uluslar arası genelleme yapmak pratikte mümkün değildir. Çünkü yerel malzemelerdeki değişkenlikler KYB'nin taze haldeki reolojisini etkilemektedir.
- Geleneksel betona göre yüksek oranda toz malzeme içerdiği için, boyutsal stabilitesi hakkında toz malzemenin tipine göre farklı sonuçlar elde eden araştırmacılar çoğunluktadır. Dizayn yöntemi ve kullanılan malzemelere göre değişmesine rağmen, genellikle kuruma büzülmesinin KYB'de geleneksel betona

kıyasla daha yüksek olduğu kabul edilmektedir. Bu durum önerilmeli prefabrike eleman üretiminde dikkate alınmalıdır.

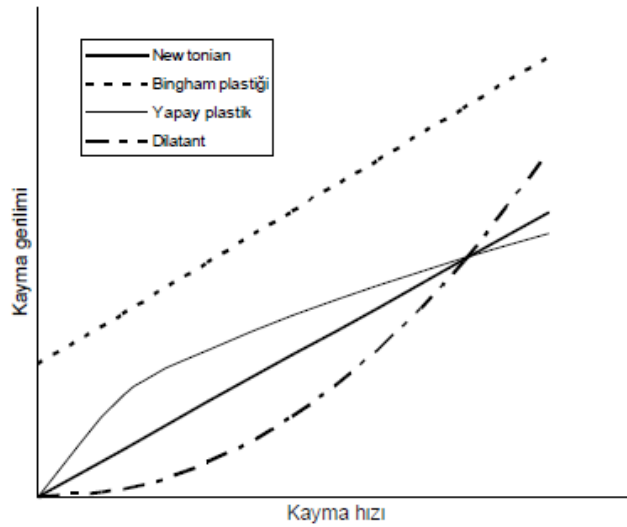
- KYB'nin erken dönemde küre hassas olduğu çeşitli araştırmacılarca ortaya konulmuştur. Küre hassasiyet puzolanik aktivite gösteren toz maddelerin kullanılması halinde daha baskındır. KYB'nin en azından 7 güne kadar kür edilmesi tavsiye edilmektedir. Kür edilmemesi halinde sıcak havalarda plastik büzülme çatlakları meydana gelebilir (Turcry, 2002).
- Özellikle prefabrike beton üretiminde taze betonun taşınması için geleneksel betonda kullanılan bazı sistemlerin değiştirilmesi veya modifiye edilmesi gerekmektedir. Klasik prefabrike beton üretiminde kuru kıvamlı taze beton (2-5 cm çökme değeri) yerleştirileceği alana hareketli bantlarla ya da kovalar yardımıyla taşınmaktadır. KYB kullanılması halinde taşıyıcı bantların kullanımı mümkün değildir. Taşıma kovalarının da kapak kısımları sızdırmaz hale getirilmelidir. Aksi takdirde KYB'nin hamur kısmı taşıma sırasında sarsıntıyla açıklıktan sızarak ayrışacaktır. Viskozitesi yüksek KYB'lerde sızma söz konusu olmayacağından kovada değişikliğe gerek yoktur (Szecsy, 2002). KYB'nin pompalanması halinde daha iyi kalıp yüzeyi elde edildiği, kovayla taşınmasında ise döküm süresinin uzadığı ve soğuk derz olduğu gözlenmiştir (Brameshuber ve Uebachs, 2002).
- Prefabrike beton üretiminde mevcut kalıp sistemlerinin bir kısmı KYB kullanımına uygun değildir (Çatı makası gibi eğimli elemanlar). Kalıp sistemlerinin KYB kullanımına göre modifiye edilmesi gereklidir. % 2'den fazla eğimli elemanlar KYB ile dökülemez (Tviksta, 2000).
- Geleneksel beton üretiminde ahşap kalıp sıklıkla kullanılmaktadır. Ahşap kalıpların çakılması sırasında iki lata arasında boşluk bırakılması halinde KYB kullanıldığında hamur sızması olabilir. Bu nedenle kalıp işçiliğine özen gösterilmelidir. Ayrıca merdivenlerde kalıp sistemi nedeniyle KYB kullanılamamaktadır.

2.4. KYB'de Reoloji

Dış kuvvetlerin etkisi altında akışkanın nasıl davranacağı tümüyle moleküler yapısına bağlıdır. Basit, küçük moleküllerden oluşan akışkanların uğradığı deformasyon

$(-dx/dr)$, kayma gerilimiyle doğru orantılıdır. Kuvvet sürekli olarak uygulandığı zaman, oluşan hız gradyanı $(-dv/dr)$ da kayma gerilimiyle doğru orantılı olarak değişir.

τ : kayma gerilimi
 F : kayma kuvveti
 A : kuvvete paralel düzlemin alanı
 μ : plastik viskozite
 dv/dr : kayma hızı (*silindirik koordinatlar*)

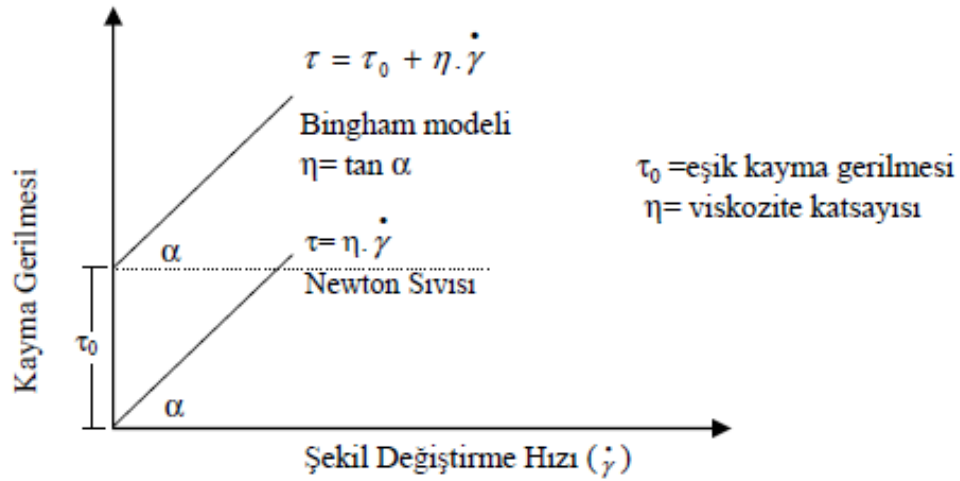


Şekil 2.7. Akışkanlarda kayma hızına bağlı kayma gerilimi ilişkisi (Newtonian, Binghamplastiği, Yapay plastik (kayma incelmesi), Dilatant (kayma kalınlaşması)).

Uygulanan kayma gerilimiyle oluşan hız gradyanı arasında doğrusal ilişki bulunan akışkanlar Newtonian Akışkanlar olarak tanımlanır. Reoloji, Newton kuralına uymayan akışkanların kayma gerilimine karşı davranışının incelenmesini, ölçülmesini ve modellenmesini kapsayan bilim dalıdır.

Betonun reolojik veya akış özellikleri, genellikle betonun yerleştirilmesi, durabilitesi (dayanıklılık) ve dayanımı üzerinde etkilerinden dolayı önemlidir. Betonun taze hali akışkan davranış sergilemektedir ve çoğunlukla Bingham akışkan özelliklerini gösterdiği varsayılmaktadır (Ferraris vd., 2001). Bu tip bir akışkan profilinde, eşik (kritik) kayma gerilimi ve viskozite olmak üzere en az iki parametre akış davranışını açıklamakta kullanılmaktadır (Ferraris, 1999).

Döküm ve yerleşmesi sırasında kendiliğinden yerleşen taze betonun performansına etki eden en temel özellik KYB'nun reolojisidir. Reolojik incelemeler KYB'nun gelişiminde daima merkez konumu oluşturur. Akışkan harç fazındaki iri agrega veya akışkan çimento hamuru fazındaki kum taneleri ayrışmadan homojen dağılımlarını sürdürmelidir. Bu bakımdan reolojik davranışın agrega tanelerinin boyutuna, türüne ve içeriğine bağlı olarak değerlendirilmesi doğaldır. Taze betonun reolojik davranışı, kayma eşiği ve plastik viskozite katsayısını içeren Bingham Modeli ile belirlenir. En genel halde taze beton için davranışı gösteren model ve modelin parametreleri Şekil 4.8'de verilmektedir.



Şekil 2.8. Taze beton için Bingham Modeli ve Newton Sıvısının davranışı.

Taze betonun en önemli iki özeliği akıcılık ve kararlılıktır (stabilite). Akıcılık (viskozite), betonun az enerji ile yerine yerleştirebilmesidir. Kararlılık ise beton karıştırılması ve yerleştirilmesi sırasında ayrışmadan homojenliğini koruyabilmesi özeliğidir. Taze beton, Bingham cismi varsayılarak kayma eşiği ve plastik viskozite ile ifade edilebilir. Standard Abrahms çökme değerinin kayma eşiğinden etkilendiği ve onunla ters orantılı olduğu, akıcılığın çökme deneyinde etkili olmadığı gözlenmiştir. Çökmeleri aynı olan betonların akıcılıkları esit olmayabilir. Aynı çökmeye sahip betonlardan plastik viskozitesi küçük olanın daha akışkan bir beton olacağı, kayma esikleri ve çökmeleri esit betonlardan plastik viskozitesi yüksek olanın kararlılığının daha iyi olacağı beklenebilir.

Bingham modelindeki kayma eşiğine ve plastik viskoziteye etki eden başlıca mekanizmalar yüzey gerilimine ve tanelerin dağılımına bağlı olarak taneler arasındaki sürtünme ve serbest su içeriğidir. Çimento dahil ince tanelerin dengeli dizilisi ve uygun bir süperakışkanlaştırıcı ile KYB'nun özellikleri değiştirilmektedir. Ayrıca, plastik viskoziteyi değiştirmek için viskoziteyi düzenleyen bir katkı da kullanılmaktadır. KYB için hedef reolojik özellikler Newton sıvısına yaklaşılarak düşük akma gerilmesi ve uygun bir plastik viskozite sağlamaktır. Plastik viskozite, kullanılan malzemelere, döküm tekniğine ve elemanın tipine ve şekline bağlıdır.

Kendiliğinden yerleşen betonların reolojik özelliğinin ölçülmesi için değişik yöntemler geliştirilmiştir:

a) Doldurma Yeteneği: Betonun kendi ağırlığı ile kalıptaki bütün boşluklara akabilme yeteneğidir. Bu özellik çökme-yayılma deney yöntemi ile ölçülebilir.

b) Ayrışmaya direnç: Karıştırma, taşıma ve dökümüşlemleri sırasında betonun homojenliğini koruyarak ince taneli askıda madde (süspansiyon) olarak kalabilme yeteneğidir. L şekilli deney aleti (L-shape test) bu özelliği ölçmek için kullanılabilir.

c) Engellerin arasından geçme yeteneği: Betonun, kalıpta sık donatılar vb. dar kesitlerin oluşturduğu engeller arasından, agrega tanelerinin tıkanma yapmaksızın geçebilme yeteneğidir. Bu özellik, V huni, U ve L şekilli deney aletleri (Skarendahl ve Peterson, O, 2000) ve önerilen yeni deney aleti (Ozkul vd., 2000; Ozkul vd., 1999) kullanılarak ölçülebilir.

d) Viskozite ve kayma eşiği: Bu gibi reolojik özellikler Bingham modeli kullanılarak çimento hamuru, harç ve betonda viskozimetre aleti ile ölçülebilir (Nornberg vd., 1997). Bu yöntemde farklı dönme hızlarında (γ) oluşan kayma dirençleri (τ) dönme momenti ile ölçülmekte ve kayma direnci ile dönme hızı arasında elde edilen doğrusal ilişkiden kayma eşiği (τ_0) ve viskozite (η) parametreleri hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada, beton için geliştirilen viskozimetre aletinde, farklı dönme hızlarına karşılık gelen dönme momenti dirençleri (T, tork) ölçülmüştür. Dönme momentinin dönme hızı (N) ile değişimi çizilerek elde edilen doğrusal ilişkinin eğimi

viskozite ile ilgili bir büyüklüğü (H), bu doğrunun moment eksenini kestiği nokta da kayma eşiği ile ilgili büyüklüğü (G) vermektedir (Özkul, 2011).

2.5. KYB Tasarım Yöntemleri

KYB, TS EN 206-1'deki en yüksek kıvam değerinden daha yüksek kıvama sahiptir. Bu nedenle de, bu standartta tarif edilmemiş bazı özelliklere sahip olmalıdır. Yayılabilme özelliğini 65-80 cm sağlayabilmek ve işlenebilirliğini en az 1 saat koruyabilmek ve bunları yaparken de betonun ayrışmasını ve terlemesini engellemek tasarımın en önemli hedefleridir. Beton yüksek oranda kullanılan geleneksel hiper akışkanlaştırıcılarla yüksek akışkanlık özelliğine sahip olsa da, ayrışmasını engellemek ve uzun çalışma süresine sahip olabilmesi ancak iyi bir karışım tasarımı ve doğru kimyasal katkılarla mümkün olabilir.

Düşük W/C oranı elde edebilmek ve uzun süreli işlenebilirlik için Polikarboksilik eter esaslı hiper akışkanlaştırıcı katkıları kullanılabilir. Bu tasarım yöntemine göre tipik karışım için tavsiye edilen malzeme miktarları aşağıdaki gibidir (Çizelge 2.4).

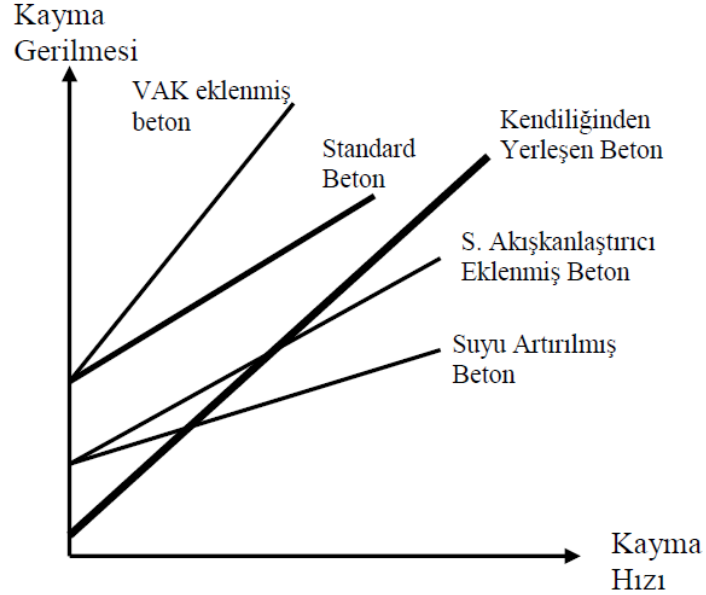
Çizelge 2.4. KYB'nin tasarım yöntemine göre tavsiye edilen malzeme miktarları (Aykan vd., 2005).

İnce Malzeme Miktarı (<0,125 mm)	400-600 kg/m³
Kum Miktarı (0,125 mm-4 mm)	Yaklaşık olarak harç hacminin % 40'ı
Kaba Agrega Miktarı D _{max} = 15 cm	Yaklaşık olarak gerçek birim ağırlığının % 50'si
Uçucu Kül Miktarı	Yaklaşık olarak çimento + uçucu kül hacminin % 40'ı
Su/Toz	0,9-1,0 (Hacimsel olarak)

KYB'de kullanılacak malzemelerin özellikleri, genel olarak TS EN 206-1 standardında belirtilen kriterlere uygun olmalıdır. Çimento, TS EN 197-1'e uygun olmalıdır. Al₂O₃ miktarı % 10'nun üzerinde olan çimentolar çalışma süresinin

kısalmasına neden olur. Agregası, TS EN 12620'ye uygun olmalıdır. Partikül boyutları uygulama yapılacak yere göre değişmekle birlikte, D_{max} için genellikle üst limit değer 20 mm'dir. Agreganın içindeki; partikül boyutu 0,125 mm'nin altında olan malzemeler tasarımda ince malzeme miktarına dahil edilmelidir. Karışım Suyu, TS EN 1008'e uygun olmalıdır. Süper akışkanlaştırıcı, TS EN 934- uygun olmalıdır. Süper akışkanlaştırıcı, KYB'nin çalışma süresinin ayarlanmasındaki asıl bileşendir. Bu nedenle kimyasal katkı seçiminde, erken dayanım kaybı yaşattırmayacak (geciktirici özellikli olmayan) ve aynı zamanda betona min. 1 saat çalışma süresi özelliği katabilecek özellikte bir katkı olmalıdır. Bu özellikte ancak polikarboksilik eter esaslı özel polimerlerle sağlanabilir.

Viskozite ayarlayıcı, ayrışmayı yok etmek için katılabilir. Fakat iyi bir tasarımla viskozite ayarlayıcıya ihtiyaç duyulmadan da KYB üretilebilir. Bu katkının herhangi bir EN Standardı yoktur. Eğer kullanılacaksa TS EN 934-2'in genel özellikler bölümündeki değerleri mutlaka sağlanmalıdır. Hava Sürükleyici, betonu, donma-çözünmelere karşı daha dirençli hale getirmek için kullanılabilir. Eğer kullanılacaksa TS EN 934-2 standardına uygun bir hava sürükleyici katkı kullanılmalıdır.



Şekil 2.9. Beton bileşenlerinin reolojik özelliklere etkisi (Özkul, 2013).

Geleneksel betonda akışkanlık su ile sağlanmaya çalışıldığında sadece kayma eşiği düşmemekte, aynı zamanda viskozite de azalmaktadır (Şekil 2.7). Viskozitenin düşmesi ise ayrışmaya yol açmaktadır. Süperakışkanlaştırıcı katkı kullanımı geleneksel

betonda viskoziteyi değiştirmeden kayma eşiğini azaltmaktadır. Mineral katkıların etkisi ise kayma eşiğini azaltırken viskoziteyi artırıcı ya da azaltıcı yönde olabilmektedir (Özkul, 2013).

Mineral katkı tasarımı bağlı olarak aşağıdaki mineral katılardan biri veya bir kaçı KYB içinde kullanılabilir. İnce kırma taş, dolomit veya granit tozu, tasarımda ihtiyaç duyulan 0,125 mm'den küçük ince malzeme miktarını sağlamak için kullanılabilir. Dolomit alkali karbonat reaksiyonuna neden olacağı için risklidir. Eğer kullanılacaksa tasarımda miktarı çok iyi ayarlanmalıdır. KYB özelliklerini geliştirmek için kullanılabilir. Kullanımından önce mutlaka standarda uygunluğu kontrol edilmelidir. Silis dumanı, betonun mekanik özelliklerini artıracağı gibi, kimyasallara da dirençli hale getirerek beton kalıcılığına olumlu yönde etki eder. YFC, betonun reolojik özelliklerini geliştirmek için kullanılabilir.

Çizelge 2.5. KYB test yöntemleri ve kabul edilebilir limit değerleri (EFNARC, 2002).

Deney Metodu	Ölçülen Özellik	Birim	Limit Değer	
			Min	Max
Yayılma Tablasında Yayılma	Doldurma Kabiliyeti	mm	650	800
Yayılma Tablasında İlk 50 cm yayılma için geçen süre	Doldurma Kabiliyeti	sn	2	5
V-Hunisi	Doldurma Kabiliyeti Ayrışmaya Karşı Direnç	sn	6	12
U-Kutusu Yükselme Miktarı Ölçümü (H)	Geçme Kabiliyeti	mm	30	-
L- Kutusu	Geçme Kabiliyeti	%	0,8	1
J Halkası	Geçme Kabiliyeti	%	0	10
Doldurma Kutusu	Geçme Kabiliyeti	%	90	100

Lif, çelik veya polimer lif olabilir. Normal betonda olduğu gibi KYB'nin özelliklerini artırmak için kullanılabilir. Çelik lif mekanik direnci ve eğilme dayanımını artırmak için, polimer lif ise segregasyonu ve plastik rötreyi azaltmak veya yanma

direncini artırmak için kullanılabilir. Bir betona KYB denebilmesi için aşağıdaki özelliklerin ölçülmesi ve ölçüm sonuçlarının da verilen sınır değerlerinin içinde kalması gerekir. Bu özellikler:

- Doldurma Kabiliyeti,
- Geçme Kabiliyeti,
- Ayrışmaya Karşı Direnç,

Bu parametrelerin ölçülmesi için bazı deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler ve kabul edilebilir limit değerleri Çizelge 2.5-2.6'de verilmiştir (Aykan vd., 2004).

Avrupa KYB Şartnamesine göre hiçbir mineral katkı kullanılmadan 380 kg çimento ile KYB yapılabileceği gibi 600 kg toplam ince malzeme ile de yapılabilir. Kullanılan kaba agrega için üst sınır verilmemesine rağmen, üst sınır 16 mm alınarak betonun yerleşme ve geçme özellikleri arttırılacaktır. Yukarıda bahsedilen tasarım yaklaşımları, yüksek oranda çimento kullanımını gerektirebilir. Böyle bir tasarım ile kalınlığı yüksek (60 cm'den fazla) elemanların dökümünde iç ısı yükselebilir. Bu durumu engellemek için reaktif ve inert mineral katkı kullanılmalıdır (EFNARC, 2005).

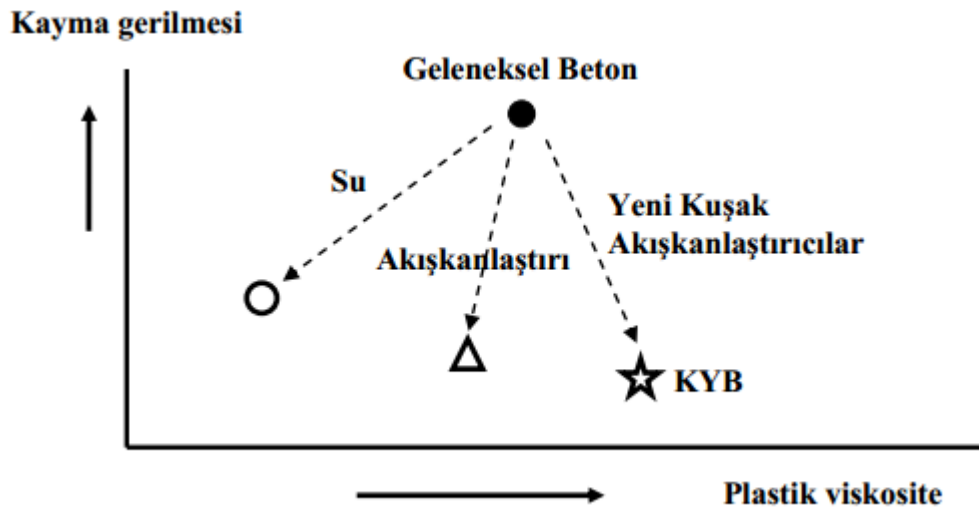
2.6. KYB'nin Geleceği

Beton ve betonarme yapıların sülfat etkisi, donatı korozyonu, donma çözünme etkisi gibi nedenlerden hasar görek işlevini yitirmesi, gerek yapıların güvenliği ve gerekse yapı ömrünün sürdürülebilirliği bakımından önemlidir. Çevre koşullarından kaynaklanan bu tür hasarların gerek ülke ekonomisi ve gerekse küresel ekonomi üzerindeki etkileri oldukça büyüktür. Yeni yapı malzemeleri üretebilmek ve üretilen malzemelerin özelliklerini geliştirebilmek malzemenin iç yapısını iyi anlayabilmek ile doğru orantılıdır. Günümüz teknolojisindeki hızlı gelişmeler bilimin her alanında kendini göstermektedir. Özellikle mikroskop ile görüntüleme tekniklerindeki gelişmeler betonun iç yapısının ve hasar mekanizmalarının daha iyi anlaşılmasını sağlamış ve bu sayede de etkin malzemelerin geliştirilmesine ve/veya mevcut malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesinde öncü olmuştur.

KYB'nin bugün için hazır beton sektöründe üretimi bu özel tip betona talep olmasına bağlıdır. Türkiye'de ucuz işçilik sebebiyle geleneksel betonun malzeme

maliyeti ile vibrasyon işi işçi maliyeti toplamı KYB'nin malzeme maliyetinin altında kalabilir. Bu durumda hazır beton sektöründe KYB kullanımının sadece özel durumlarla sınırlı kalacağı beklenmektedir. Türkiye'nin oldukça aktif bir deprem bölgesinde olması, beton kalitesine önem verilmesini zorunlu hale getirmektedir. Ucuz ve kalitesiz vibrasyon işçiliğiyle üretilen betonlarda kalitenin tüm yapıda ne kadar homojen olacağı tartışma konusudur (Sarıdemir, 2006).

KYB üretimi için kullanılan kimyasal katkılar çoğunlukla ithal olup maliyetleri yüksektir. Gelecekte yerli imalat arttıkça katkı maliyetlerinin azalması KYB'yi daha ekonomik hale getirebilecektir. KYB, prefabrike beton sektöründe betonun kalitesini ve estetik görüntüsünü arttırmak ve geleneksel üretim yöntemlerinden kaynaklanan dolaylı maliyetleri azaltmak amacıyla kullanılabilir. KYB'nin geleceği, sektörün bu yeni teknolojinin gerektirdiği üretim tekniklerine uyum sağlama sürecine bağlıdır (Sarıdemir, 2006).



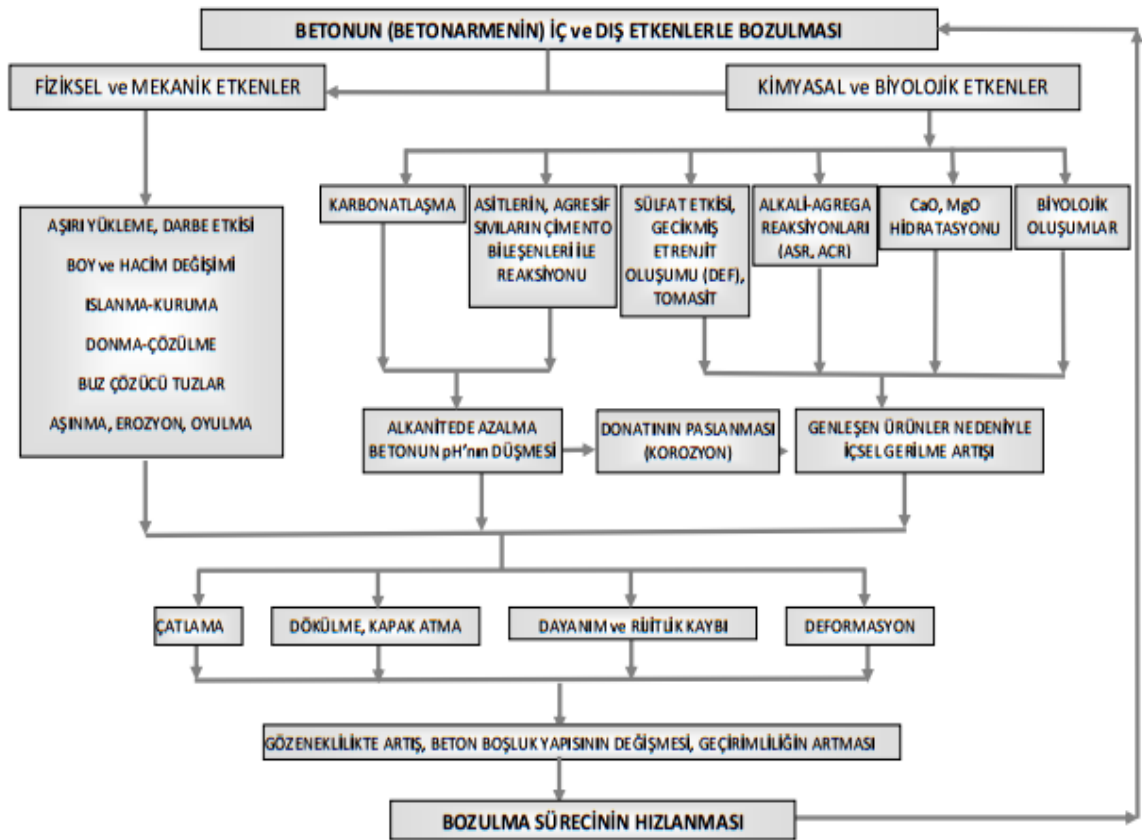
Şekil 2.10. Akışkanlaştırıcı katkı kullanımının taze betonun plastik viskozite – kayma gerilmesi ilişkisi üzerinde etkisi.

KYB yüksek şekil alabilme yeteneği nedeniyle heykel, kent mobilyası gibi değişik ürünler için uygun bir malzemedir. Danzinger vd.'ne göre polimer teknolojisinin sürekli gelişimiyle gelecek yıllarda çok daha düşük su/toz oranına sahip, dayanım ve dayanıklılık bakımından yüksek performanslı KYB'ler üretilmesi beklenmektedir.

2.7. KYB’de Kalıcılık

Beton ve betonarme yapıların tasarımları geçmişte, çoğunlukla inşaat mühendisleri tarafından kalıcılık diye adlandırılan dayanıklılık kavramı dikkate alınmadan sadece betonun 28 günlük basınç dayanımı dikkate alınarak yapılagelmiştir. Betonun 28 günlük basınç dayanımını dikkate alan düşünce tarzı elbette güvenli yapı tasarımı ve hesaplamalar için betonun bu dayanımı tüm ömrü boyunca koruyacağı varsayılırsa dikkate alınması gereken bir unsurdur. Geçmiş yıllarda üretilen birçok betonarme yapı örneğinde yeterli 28 günlük basınç dayanımını sağlayan betonlar, zamanla etkisinde kaldıkları çevresel koşullar yada üretim aşamasında uygulanan kür koşullarının eksik ve yetersiz olması sonucu kalitelerini zamanla yitirebilmektedir (Aitcin, 2000).

Betonda karşımıza çıkabilecek fiziksel, kimyasal ve biyolojik bozulmalar aşağıda sıralanmıştır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. Betonda iç ve dış etkenlerle bozulma çeşitleri (Baradan ve Aydın, 2013).

Betonun zamanla gelişmesi sonucu farklı beton türleri ortaya çıkmıştır. Farklı bir beton çeşidi olan KYB’de ileri teknoloji bir betondur. KYB’de ortaya çıkabilecek fiziksel ve kimyasal bozulmalara karşı ArGe çalışmaları devam etmektedir.

2.7.1. Sülfat Etkisi

Sülfat çimentonun bazı bileşenleri ile reaksiyona girerek betonun zamanla bozulmasına neden olur. Bu saldırı sülfat iyonlarının, sertleşmiş betondaki alüminli ve kalsiyumlu bileşenlerle kimyasal reaksiyona girmesi etrenjit ve alçı taşı oluşturması ile gerçekleşir. Reaksiyon ürünleri betonda genleşme yaratarak çatlaklara ve dağılmaya yol açar, agrega-çimento hamuru aderansının etkilenmesiyle betonun mukavemeti düşer. Sülfat saldırısına uğramış betonun karakteristik görünümü, özellikle köşe ve kenarlardan başlayarak tüm kütleye yayılan beyaz lekeler, çatlaklar ve dökülmelerdir (CEB, 1992). Betonun kolayca ufalanabildiği ve yumuşadığı görülür. Etkilenme koşulları (SO_4^{2-} içeriği, ortam koşulları), betonun geçirimliliği (zararlı madde taşınımı), betonun yapısı (çimentonun kimyasal yapısı) ve suyun varlığı sülfat etkisinin gelişimini doğrudan etkileyen parametrelerdir.

Sülfat iyonları topraktan ya da zemin suyundan beton içine girebilir. Bazı tür çalılık dışında, bitki, ağaç yetişmeyen, yüzeyinde beyaz lekeler, tuz birikintileri görülen çorak topraklarda, sülfat etkisinden şüphe edilmelidir. Bu tip zeminlerde yapılacak inşaatlarda, zemin etüdünün yanı sıra, yeraltı suyu ve topraktan örnek alınarak betona zarar verebilecek maddelerin varlığı araştırılmalıdır. Özellikle deniz yapılarında, deniz suyundaki sülfatlar, ıslanma-kuruma bölgesinde buharlaşma nedeniyle betonun sülfat yoğunluğunun artmasına yol açabilirler. Bir diğer kaynak çimentodur. Çimentonun C_3A bileşenin ani prizini önlemek için üretim aşmasında çimentoya az miktarda alçıtaşı (kalsiyum sülfat) katılır. Zamana bağlı genleşmeyi ve betonun mukavemetinin etkilenmesini önlemek için çimento standartları katılan alçıtaşının oluşturacağı SO_3 miktarını çimento ağırlığının % 3’ü ile sınırlamıştır.

Diğer birçok dayanıklılık probleminde olduğu gibi, sülfat etkisinde de önlem olarak, üretilen betonun mümkün olduğunca yoğun ve geçirimsiz olması, çimento dozajının çok düşük olmaması ve düşük su/çimento oranına sahip olması gerekir. Sülfat etkisinin şiddeti arttıkça geçirimsizliği arttırmanın yanı sıra, C_3A oranı düşük çimento

kullanmak ve/veya puzolanik katkılı beton üretmek gibi ek önlemler alınması zorunludur. ASTM standartları C_3A içeriği $\leq \% 8$ olan çimentoları sülfata orta seviyede dayanıklı, $\leq \% 5$ olan çimentoları ise sülfata yüksek seviyede dayanıklı olarak tanımlamaktadır. Normal Portland Çimentolarında C_3A oranı $\% 8-11$ arasında değiştiğinden, bu tip çimentoları sülfat etkisinde kalan yapılarda kullanmak doğru değildir (Baradan ve Aydın, 2013).

Puzolanların, düzgün kür edilmiş betonda geçirimsizliği arttırmalarının yanı sıra, betonun içindeki $Ca(OH)_2$ 'i bağlayarak sülfatlarla reaksiyona girecek öğelerden birini azaltmaları olumlu olmaktadır. Ancak kullanılacak puzolan rastgele seçilmemelidir. Örneğin, C sınıfı uçucu külün bazı durumlarda sülfat dayanıklılığını arttırmak yerine azaltabildiği dikkate alınmalıdır. Çok şiddetli etki durumunda, $Ca(OH)_2$ ve C-S-H'ın da sülfat hassasiyetini de dikkate alarak, iki önlemin $-C_3A$ miktarını düşürmek ve puzolan kullanmak- bir arada uygulanması önerilir (Baradan ve Aydın, 2013).

2.7.2. Donma Çözülme Etkisi

Betonun donma - çözülme etkilerine karşı dayanıklı olması için önce karma suyunun az miktarda olması yani su/çimento oranının sınırlanması, daha sonra çatlaksız ve gözeneksiz yani doluluk oranı yüksek ve geçirimsiz olarak üretilmesi gerekir. Ancak betonun boşluklarının az orandaki bir kısmının su tarafından doldurulması durumunda donma olayı zararlı etki oluşturmaz. Çünkü betonda donma sonucu oluşacak hacim artısını karşılayan boşluk bulunacaktır. Yapılan deney ve gözlemlerden betondaki boşluklara yaklaşık $\% 85$ 'inden fazlasının su ile dolu olması durumunda betonun donmadan zarar gördüğü anlaşılmıştır. Buna göre betondaki boşluk miktarının ancak belirli bir kısmının su ile dolmasına izin verilebilir. Bu sınır sağlanamıyorsa sertleşmiş beton içinde ufak bağımsız ve küresel hava boşlukları oluşturan hava sürükleyici katkı maddeleri kullanılarak donma zararları önlenir. Karma suyu miktarları, su/çimento oranının maksimum değerleri belirtilerek sınırlandırılmalıdır. Katkı maddesi kullanılarak oran $\% 30 - \% 40$ 'a kadar düşürülmelidir. Şartnameler donma - çözülme etkisine maruz kalacak betonlarda Su/çimento oranını yapı boyutuna ve iklim koşullarına göre sınırlamaktadır. İri boyutlu, su emme yeteneği yüksek olan ve kılcal çatlak içeren agregaların, donma - çözülme olayının sık tekrarlandığı sert iklimli

yörelere kullanılması sakıncalıdır. Bu nitelikteki yörelere donma çözülme zararları daha çabuk ortaya çıkar (Kandemir, 2005).

Uysal vd. yaptığı çalışmada UK ve YFC'nin çimento ile farklı ikame oranlarında kullanılmasıyla üretilen betonlar üzerinde yapılan 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımı sonuçlarına göre şahit beton karışımının erken dayanım özelliklerinin uçucu kül ve YFC içeren karışımlara göre daha iyi olduğu görülmüştür. UK ve YFC ikameli karışımlar özellikle 56. günde her iki bağlayıcı dozajında da şahit betona kıyasla daha yüksek basınç dayanımı değerleri vermiştir. Bununla birlikte, beton yaşı ilerledikçe dayanımın önemli miktarlarda artış göstermesinin nedeni olarak, UK ve YFC'nin zaman içerisinde puzolanik reaksiyonlar sayesinde çimentonun bünyesinde bulunan serbest kireci bağlayarak ikincil reaksiyonları başlatması ve böylece hidrate ürünlerin artması nedeniyle ileriki yaşlardaki basınç dayanımının arttığını görmüştür (Uysal vd., 2012).

2.7.3. Aşınma Etkisi

Aşınma ve darbe etkileri, betona fiziksel olarak zarar verebilecek etkenlerin arasında sayılır. Bu nedenle, aşındırıcı ve darbe verici etkenlerin ortamda gerçekleşme olasılıklarının ve etki düzeylerinin araştırılması gerekir.

Betonun aşınma dayanıklılığı, beton yüzeyinin birkaç mm derinliğindeki çimento matrisinin boşluk yapısı ile doğrudan ilişkilidir. Bu bağlamda, düşük s/ç oranı ile çalışılması, taze betonda ayrışma ve aşırı terlemenin önlenmesi ve betonun bakımının (kür) eksiksiz ve zamanında yapılması gereklidir. Özellikle su yapılarının projelendirilmesinde alınacak önlemlerle oyulma ve aşınma olaylarını azaltmak olanaklıdır. Suyun akış düzgünlüğünü bozacak ve hızının aniden değişmesine yol açacak uygulamalardan kaçınılmalıdır. Genelde basınç dayanımı yüksek olan betonun aşınmaya karşı da dayanıklılığı yüksektir. Ancak beton sınıfı tek parametre olmayıp, yüzeyin aşınmaya karşı dayanıklılığı bazı önlemlerin (yüzey sertleştirilmesi, vb.) alınması ile artırılabilir. TS EN 206/1'e göre C30/C37 ve üzerindeki bir beton sınıfının tercih edilmesi, çok şiddetli etki durumunda ise beton sınıfının C35/45 ve üzerinde olması tavsiye edilir (Yeğinobalı, 1999).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Ülkemiz mermer endüstrisi olarak dünyanın önde gelen mermer tedarikçilerinden birisidir. Hem madencilik hem de son ürün olarak işlenme esnasında çeşitli mermer atıkları ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda mermer fabrikalarında işlenen mermerin yaklaşık % 30'unun toz atık olarak ortaya çıktığı belirlenmiştir (Yıldız ve Eskikaya, 1998). Bilecik ilinde mermer işletme sayısının 200'ün üzerinde olması nedeniyle çevreye atılan mermer atığı miktarı oldukça fazladır. Mermer tozu ilk elde edildiğinde çamur halinde olmakta ve doğaya sulu halde terk edilmektedir. Mermer atığı araziye gelişigüzel bırakıldığında, toprağın su süzme kapasitesini azaltması, bitki örtüsünün gelişimini önlemesi, dere yataklarını doldurması ve yeraltı suyuna bu atıkların karışması problemleriyle karşılaşılabilir (Ural vd., 2010). Uğurlu yaptığı çalışmada filler malzeme olarak kullandığı taşunu malzemesinin betonun basınç ve çekme dayanımlarını iyileştirdiğini belirlemiştir (Uğurlu, 1996). Ayrıca betonun geçirgenliğinin, su emme yüzdesi ve porozitesinde azaldığını belirlemiştir. Taşdemir ve Atahan yaptıkları çalışmada kalker fillerinin agrega-harç ara yüzeyindeki boşlukları doldurduğunu belirterek bunun betonun geçirimsizliği ve kalıcılığı üzerinde önemli rol oynayabileceğini ifade etmişlerdir (Taşdemir ve Atahan, 1996). Topçu vd. yaptıkları çalışmada mermer tozunun KYB'de filler malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve taze ile sertleşmiş beton özelliklerini incelemiştir (Topçu vd., 2009). Yapılan çalışma sonucunda mermer tozunun KYB karışımında en uygun 200 kg/m³ oranında kullanılmasının taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerinde olumlu etkisinin olduğunu ifade etmişlerdir.

KYB için kullanılan malzemeler geleneksel vibrasyonlu beton için kullanılan EN- 206-1'e uygun olan malzemelerle aynıdır. Bazı durumda KYB bileşiminde kullanılan malzemelerin şartları özel Avrupa standartlarında bulunmaktadır. Ancak KYB'nin tutarlı ve üniform bir performansa sahip olması için deneylerin yapıldığı malzemelerle üretimin yapıldığı malzemelerin sürekli gözlemlenmesi gerekmektedir. Şartları sağlamak için bileşen malzemelerin kontrolü artırılmalı ve kabul edilebilir değişiklikler sınırlandırılmalıdır. Böylece KYB'nin günlük üretimi her bir harmanı

ayarlama ve test etme ihtiyacı olmadan uygunluk kriterleri içinde kalabilir (THBB, 2007).

3.1.1. Agregas

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde ince taneli agregas kullanımı, beton karışımlarının stabilitesini ve işlenebilirliğini sağlamada çok önemli bir rol oynamaktadır. Beton karışımındaki toplam ince malzeme miktarı agregas tane dağılımı, ince agregas miktarı ve filler malzeme ile beraber bağlayıcı miktarının bir fonksiyonudur (Newman ve Choo, 2003). Bu betonların üretiminde karışımındaki toplam ince taneli malzeme miktarı, agregas tane boyutu ve tane dağılımı dikkate alınarak, gerekli stabiliteyi sağlayabilmek için geleneksel betonlara göre daha fazla, buna karşılık iri agregas miktarı ise daha az tutulmuştur. Bununla beraber, geleneksel betonda kullanılan ince ve iri agregalar KYB’de de kullanılabilir. Ancak en büyük agregas boyutu geleneksel betondakinden daha küçüktür. Genellikle 20 mm’nin altında kalır ve donatı durumu dikkate alınarak bazen de 10 mm’ye kadar indirilebilir (Domone ve Chai, 1996). KYB üretiminde kullanılacak agregalar TS EN 12620’ye uygun olmalıdır. Bu betonların üretiminde kullanılacak olan kumların incelik modülü 2.4 ila 2.6 arasında değişmektedir (Domone vd., 1999). Agreganın içindeki tane boyutu 0.125 mm’nin altında olan malzemeler, tasarımda ince malzeme miktarına dahil edilmektedir.

Çalışmada agregas olarak Dağ-ış madencilikden temin ettiğimiz kırma taş kullandık. Elek aralıkları 0-5, 5-12, 12-22 mm olarak üretilmektedir.



Şekil 3.1. Numune üretiminde kullanılan agregas çeşitleri.

3.1.2. Çimento

Çalışmada çimento olarak Bilecik SANÇİM Çimento fabrikasından temin edilen CEM I 42,5 sınıfı Portland çimento kullanılmıştır (Şekil 3.2). Bu tip çimentolar bina, köprü, yol, prefabrike elemanlar ve yüksek dayanımlı betonların üretimine uygun genel kullanma amaçlı çimentolardır. Erken yaşlardaki dayanımı yüksek olanlar (R) eki ve normal erken dayanıma sahip olanlara ise (N) eki ile tanımlanmaktadır. Özellikle soğuk havalarda dökülen betonlarda ve erken kalıp alınması gereken inşaat uygulamalarında yüksek hidrasyon ısı nedeniyle tercih edilmektedir (Karakurt, 2008).

Çimentonun C_3A oranı % 10'un üzerindeyse, kullanılmaması EFNARC tarafından tavsiye edilmektedir ve bizim değerlerimiz bunu sağlamaktadır. Çimento miktarı arttıkça plastik viskozite ve esik kayma gerilmesi artacağından yüksek çimento dozajlarında akışkanlaştırıcı katkı ihtiyacı artar. Kendiliğinden yerlesen betonda çimento dozajının belirlenmesinde temel kriter dayanım sınıfıdır. Puzolanik filler kullanılması halinde, göreceli olarak daha düşük çimento dozajları yeterli olacaktır. Dayanım ve dayanıklılık açısından çimento dozajının $350 - 450 \text{ kg/m}^3$ arasında seçilmesi tavsiye edilmektedir. 500 kg/m^3 üstünde kullanımı rötreyi arttıracığından tavsiye edilmez. 350 kg/m^3 'ün altında kullanımı ise, ilave fillerle veya viskozite artırıcı kimyasal katkılarla birlikte kullanılması halinde uygundur. Eğer viskozite ayarlayıcı kimyasal katkı kullanılmıyorsa, kendiliğinden yerlesen betonda toplam toz madde miktarı hiçbir zaman 500 kg/m^3 'ün altına inmemelidir. Çimento dozajının bu miktarın altında olması durumunda, ilave toz katkıları kullanılabilir (EFNARC, 2002).



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan CEM I 42,5 sınıfı Portland çimentosu.

3.1.3. Su

Karışımlarda kullanılan suyun TS EN 1008'e uygun olması gerekmektedir. Harç ve beton numunelerinin üretiminde karışım suyu olarak Bilecik şehir şebeke suyu kullanılmıştır. Deneyleerde kullanılan suyun sülfat içeriği 45 mg/lt, kalsiyum içeriği 57 mg/lt, magnezyum içeriği 83 mg/lt, klorür içeriği 49 mg/lt, buharlaşma kalıntısı 438 mg/lt ve pH değeri 6,75 olarak belirlenmiştir.

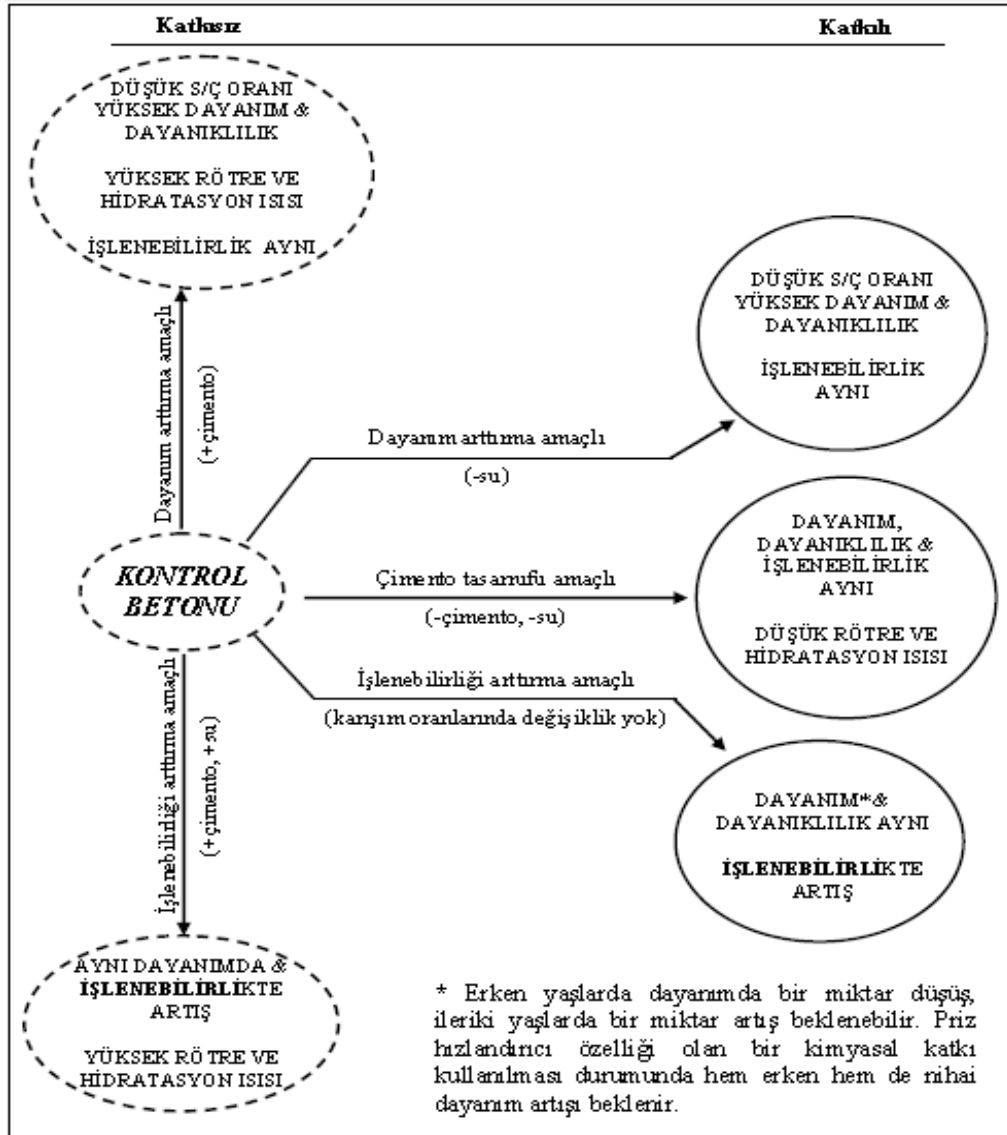
3.1.4. Hiperakışkanlaştırıcı Katkı

Akışkanlaştırıcı kimyasallar, beton üretiminde genellikle, sabit işlenebilirlikte su kesme amacıyla kullanılmaktadır. Bazı durumlarda ise örneğin yüksek işlenebilirliğe sahip KYB gibi sadece işlenebilirliği arttırmak amacıyla da kullanılabilirler.

Karışımlarda kimyasal katkı olarak polikarboksilik eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı hiper akışkanlaştırıcı "GLENİUM C 303" kullanılmıştır. Glenium C 303, polikarboksilik eter esaslı yüksek oranda su azaltan, betonda kıvam kaybının önlenmesine, yüksek dayanım ve dayanıklılığa gereksinim duyulan hazır beton endüstrisi için geliştirilmiş hiperakışkanlaştırıcı beton katkı malzemesidir. Glenium C 303 malzemesinin bazı özellikleri aşağıda maddelenmiştir.

Geleneksel hiperakışkanlaştırıcılar (NSF veya MSF) ile kıyaslandığında, üretilen betonun erken - nihai basınç ve çekme dayanımının, çeliğe aderansını ve geçirimsizliğini artırır. Betonun karbonatlaşma, klor iyonu atağına karşı direnç, agresif kimyasallara dayanıklılık, rötre ve sünme gibi mekanik özelliklerini iyileştirir. Düşük su/çimento oranına sahip, ayrışma ve kuma riski az, Reoplastik bir beton elde edilir. Betonun kalıp içerisinde mükemmel yayılmasını sağlar. Geleneksel hiperakışkanlaştırıcılardan (NSF veya MSF) farklı olarak düşük su/çimento oranında priz geciktirmeden betonun kıvamını korur, şantiyede tekrar kıvam ayarlaması gerektirmez. Tüm çimento tipleri ile uyumlu olarak çalışır. Malzeme farklılaşmasına karşı az hassasiyet gösterir. Glenium C 303 klor içermez.

- Malzeme yapısı : Polikarboksilik Eter Esaslı
- Renk Açık :Yeşil
- Yağunluk :1,023-1,063 kg/litre
- Klor içeriği % (EN 480-10) :< 0,1
- Alkali içeriği % (EN 480-12) :< 3



Şekil 3.3. Akışkanlaştırıcıların betonun taze ve sertleşmiş haline etkileri (Türkel ve Felekoğlu, 2004).

3.1.5. Granüle Yüksek Fırın Cürufu

KYB' nin taze haldeki şartları nedeniyle, puzolanik olmayan ve puzolanik / hidrolük mineral katkıları ayrışma ve kohezyon direnci sağlamak ve arttırmak için yaygın olarak kullanılır. Bu ilave mineral katkı hidratasyon ısını ve termal büzülmesini azaltmak için çimento miktarını da düzenler.

Mineral katkıları suyla reaksiyon kapasitelerine göre Çizelge 2.6'daki gibi sınıflandırılırlar.

Çizelge 3.1. Mineral katkıları suyla reaksiyon kapasitelerine göre sınıflandırılması (EFNARC, 2005).

TİP I	Puzolanik olmayan yada yarı puzolanik	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mineral filler (kireçtaşı, dolomit vs) ➤ Pigmentler
TİP II	Puzolanik	<ul style="list-style-type: none"> ➤ EN 450'ye uygun uçucu kül ➤ EN 13263'e uygun silis dumanı
	Hidrolik	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Yüksek fırın cürufu

Pik demir üretiminde yüksek fırınlarda demir filizinin içerdiği safsızlıklar, yakıt olarak kullanılan kokun külü ve filizin demire indirgenmesini kolaylaştırmak üzere kullanılan kalkerin yanma sonrası kalıntılarında oluşan yüksek fırın cürufu 1400-1600°C'de eriyik halde elde edilir. Özellikleri yüksek fırından çıktıktan sonra uygulanan soğutma yöntemine bağlıdır. Havada yavaş soğutulduğu takdirde kristal yapıya sahip $C_2AS-C_2MS_2$ katı eriyiği halindedir (Mehta ve Monteiro, 2006). Suda ani soğutma yapıldığında hemen hemen tamamıyla camsı yapıya sahip olur. Ani soğutma su havuzuna boşaltılarak (100 m³ su/ton cüruf) veya basınçlı su püskürtülerek (3 m³ su/ton cüruf) yapılabilir. Ani soğutma işlemi sonrasında cüruftaki fazla su filtreleme ve kurutma değirmenleri vasıtasıyla atılır. Öte yandan, peletleme yöntemi veya yarı kuru yöntem olarak adlandırılan daha modern bir hızlı soğutma yönteminde eriyik haldeki cüruf önce basınçlı suyla (1 m³ su/ton cüruf) daha sonra da döner kazanlarda havayla soğutulur. Bu yöntem kullanılarak 4-15 mm ve < 4 mm boyutlarında granüle yüksek fırın cürufu elde edilir (Moranville, 1998). Büyük boyutlu olan granüller çok gözenekli olup kısmen kristal yapıya sahiptir. Küçük boyutlu olanlarsa tamamıyla camsı yapıya sahip olup, öğütüldüğünde betonda ve çimentoda mineral katkı olabilecek niteliklere sahiptir (Tokyay ve Erdoğan, 1997). Kesin verilere ulaşmak mümkün olmamakla birlikte, ülkemizdeki granüle yüksek fırın cürufu üretimi 350000 ton/yıl civarında tahmin edilmektedir.

Cüruflar çeşitli metalürji tesislerinden elde edilen atık madde gruplarından olan yapay puzolanik malzeme olarak sınıflandırılmaktadır. Kimyasal kompozisyonları ve özellikleri, elde edilen sanayi kuruluşlarının ürettiği ana üretim yöntemine bağlı olarak birbirlerinden farklılıklar göstermektedir (Kavas ve Sabah, 2001). Yüksek fırın cürufu

(YFC) esas itibariyle silis, kalsiyum, alümina ve bazik esaslı bileşikler içeren ve fırınlarda demir üretimi sırasında ergimiş halde elde edilen bir atık üründür (Tokyay ve Erdoğan, 1996). Ancak cürufun kimyasal bileşimi kadar kristal yapısı da önemlidir. YFC'nin kalsiyum içeriklerine ilave olarak, tane boyutu ve karakteristikleri ile camsı madde bileşimi ve oranı, aktivitelerinde etkin olan temel faktörlerdir. YFC'nin puzolanik özellik kazanabilmesi için fırın çıkışında suyla hızla soğutulması ve en az 2/3 oranında camsı faz içermesi gerekir. Ayrıca içindeki CaO, MgO ve SiO₂ miktarları toplamı yine en az 2/3 oranında ve (CaO + MgO) / SiO₂ oranının ise 1'de fazla olması istenmektedir. YFC'nin çimento ve beton sektöründe çok çeşitli kullanım olanakları bulunmaktadır. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, betonda işlenebilmeyi arttırmakta, priz süresini uzatmakta, terlemeyi, hidrasyon ısısını ve su geçirimsizliğini azaltmaktadır. Ayrıca çimentoda puzolan olarak kullanılmasıyla çimentonun mekanik özelliklerine katkı sağlamakta, asitli ortamda direnç sağlamakta ve sülfat dayanıklılığını arttırmaktadır (Erdoğan, 2003; Eren ve Yılmaz, 2004).

3.1.6. Mermer Tozu

Ülkemiz mermer endüstrisi olarak dünyanın önde gelen mermer tedarikçilerinden birisidir. Hem madencilik hem de son ürün olarak işleme esnasında çeşitli mermer atıkları ortaya çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda mermer fabrikalarında işlenen mermerin yaklaşık % 30'unun toz atık olarak ortaya çıktığı belirlenmiştir (Yıldız ve Eskikaya, 1998). Bilecik ilinde mermer işletme sayısının 200'ün üzerinde olması nedeniyle çevreye atılan mermer atığı miktarı oldukça fazladır. Mermer tozu ilk elde edildiğinde çamur halinde olmakta ve doğaya sulu halde terk edilmektedir. Mermer atığı araziye gelişigüzel bırakıldığında, toprağın su süzme kapasitesini azaltması, bitki örtüsünün gelişimini önlemesi, dere yataklarını doldurması ve yeraltı suyuna bu atıkların karışması problemleriyle karşılaşılabilir (Ural vd., 2010).

Uğurlu yaptığı çalışmada filler malzeme olarak kullandığı taşı malzemesinin betonun basınç ve çekme dayanımlarını iyileştirdiğini belirlemiştir (Uğurlu, 1996). Ayrıca betonun geçirgenliğinin, su emme yüzdesi ve porozitesinde azaldığını belirlemiştir. Taşdemir ve Atahan yaptıkları çalışmada kalker fillerinin agrega - harç ara yüzündeki boşlukları doldurduğunu belirterek bunun betonun geçirimsizliği ve

kalicılığı üzerinde önemli rol oynayabileceğini ifade etmişlerdir (Taşdemir ve Atahan, 1996). Topçu vd. yaptıkları çalışmada mermer tozunun KYB’de filler malzeme olarak kullanılabilirliğini araştırmış ve taze ile sertleşmiş beton özelliklerini incelemiştir (Topçu vd., 2009). Yapılan çalışma sonucunda mermer tozunun KYB karışımında en uygun 200 kg/m³ oranında kullanılmasının taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerinde olumlu etkisinin olduğunu ifade etmişlerdir.

Çalışmada kullandığımız mermer tozu Bilecik’de mermer üretimi yapan bir fabrikanın mermer kesimi atıklarından çamur halinde alınarak temin edilmiştir. Daha sonra yabancı maddelerden arındırılıp sonra etüvde kurutulmuştur. Kurutulan mermer tozu büyük parçalar halinde topaklandığından merdane yardımı ile ezilen karışımda kullanılmak üzere ince taneli hale gelmiştir.

3.2. Fiziksel ve Kimyasal Analizler

Yapılan çalışmada fiziksel ve kimyasal analizlerin bir kısmı Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi merkezi laboratuvarında diğer kısmı da inşaat mühendisliği bölüm laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneyler ve kullanılan cihazlardan aşağıda bahsedilmiştir.

3.2.1. XRD Analizi

KYB üretiminde kullanılacak ham maddelerin mineralojik analizleri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarında XRD analizi yapılarak belirlenmiştir. XRD, katı ve toz haldeki malzemelerin faz analizinde kullanılan temel tekniklerden biridir. X-ışını difraktometresi ile malzemedeki fazlar, fazların miktarı, kristal boyutu, latis parametreleri, yapıdaki değişimler, kristal yönelmesi ve atom pozisyonları hakkında bilgi alınır. HT-XRD cihazında farklı olarak yüksek sıcaklıklarda (25-2300 °C) XRD çekimleri yapılabilmektedir. XRF, TG-DTA veya EDX-WDX sonuçlarından XRD analizinin yorumlanmasında faydalanılabilir. X-ışını difraktometresi, günümüzde malzeme karakterizasyonu için endüstriyel ve bilimsel araştırma/geliştirme çalışmalarında; malzeme ve metalürji, seramik, fizik, kimya, biyoloji, biyokimya, jeoloji, madencilik, çimento ve teknolojik uygulama alanlarındaki endüstrilerde yaygın olarak kullanılmaktadır (MARAL, 2014). Deneylerde kullanılan cihazı Panalytical Empyrean marka olup ve Şekil 3.4’de verilmiştir.



Şekil 3.4. XRD analiz cihazı.

3.2.2. XRF Analizi

Bugün vazgeçilmez bir analiz yöntemi olarak benimsenen X-Işınları Floresans Spektroskopisinde (XRF), numuneler bir X-ışını tüpünden oluşturulan birincil X-ışınlarıyla uyarılmaktadır ki bu analizde büyük kolaylık ve çabukluk sağlamıştır. X-ışınları yayılım (emisyon) spektroskopisi genel bir kavramdır ve atomun uyarılmasıyla yayılan özgül X-ışınları yardımıyla yapılan tüm analizleri kapsar. X-ışınları elektromagnetik dalga spektrumun $0.1-70 \text{ \AA}$ arasındaki dalga boylarını kapsarlar ve atomun yüksek enerjili foton veya hızlı elektronlarla uyarılması sonucu atomdan uzaklaştırılan bir elektronun iç yörüngede bıraktığı boşluğun dış yörüngedeki elektronlarca doldurulmasından arta kalan enerjiden oluşurlar. XRF bunun özel kesimi olup, yalnızca birincil X-Işınları ile uyarılan atomların yaydıkları ikincil X-Işınları (floresans) yardımıyla yapılan analizleri içerir. Son çeyrek yüzyılda elektronik sanayideki gelişmeler XRF nicel elementer analizin artık vazgeçilmez bir yöntemi durumuna getirmiştir.

XRF genellikle katı numunelerle çalışılır. Ancak çözeltilerin analizi de uygun düzenekler kullanılarak yapılabilir. Katı numuneler ya çelik analizinde olduğu gibi bir yüzeyi düzelterek numune doğrudan ışınlanır veya önce toz edilen baskı ile tablet yapılıp ışınlanır.

Numune hazırlanmasında dikkat edilecek en büyük nokta homojenliğin sağlanmasıdır. Eğer numune çok ince toz halinde ise veya 200 nolu eleğin altındaki tane büyüklüğüne kadar ufalanabiliyorsa, toz numune gerekli maddeler de eklenip karıştırıldıktan sonra selüloz veya borik asit gibi bir taşıyıcı üzerine basılarak tablet haline getirilir. Eğer numunenin homojenliği bu yolla sağlanamıyorsa, numune önce eritiş veya çözme işlemine sokulur. 1 gr numune 10 gr matrix ile karıştırılıp 1100 °C de 10-15 dk Pt-Au krozede eritiş yapılır. Eritiş yönteminde öğütülmüş numuneye uygun bir madde ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_2$, Li_2CO_3 gibi) eklenerek yüksek sıcaklıkta Pt-Au potalarda eritilen numune kaplılara dökülerek soğumaya bırakılır. Uçucu elementler içeren numunelerde olduğu gibi eritiş yöntemi uygulanamıyorsa, 2.5 gr numune + 0.75 gr selüloz ile biyeli değirmende 30 dk öğütülür. Numune karışımı 40 ton basınçla tablet yapılarak analizi yapılır.



Şekil 3.5. XRF analiz cihazı.

3.2.3. Civa Porozimetresi

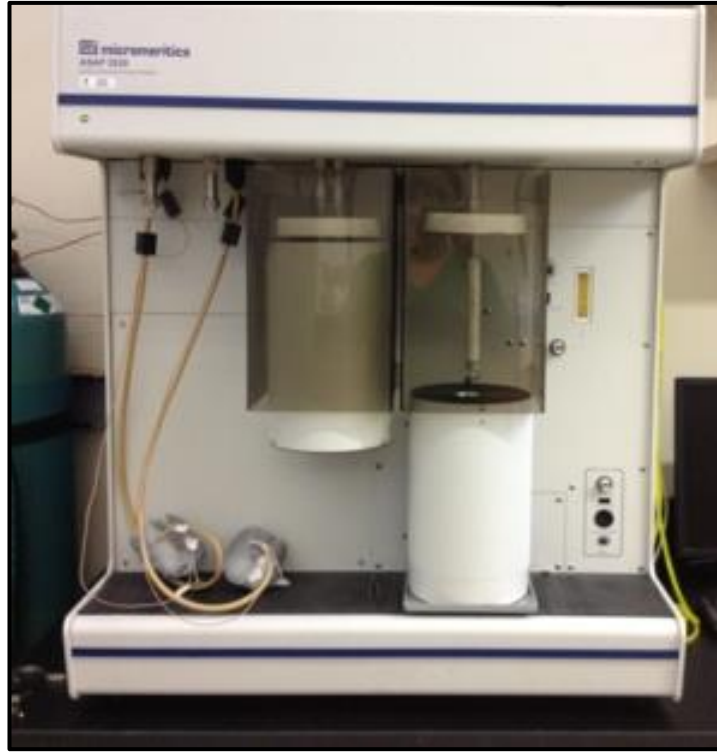
Civa porozimetresi, toz ve bulk gözenek boyut ve boyut dağılımının belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir. Bu yöntemin çalışma prensibi, civanın ıslatıcı olmayan özelliğine bağlıdır. Civa birçok sıvının aksine katı yüzeylerin bir kısmı ile 90 °'den büyük temas açısı (θ) yapar. Civa bu özelliğinden dolayı belli büyüklüğün altındaki gözeneklere kendiliğinden ulaşamaz. Dolayısıyla civanın gözeneklere girmesi gerçekleştirilir. Deneylerde kullanılan cihaz Micromeritics Autopore marka ve Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Civa porozimetresi cihazı.

3.2.4. Özgül Yüzey Alanı ve Gözenek Boyutu Analizi

BET cihazı katı veya toz numunelerde fiziksel adsorpsiyon yöntemiyle yüzey alanı ölçümleri, mikro, mezo ve makro gözenek boyutunu ve gözenek boyut dağılımını düşük basınçlarda ve yüksek çözünürlükte tespit edebilmektedir. Cihaz numune yüzeyini tek bir moleküler tabaka ile kaplamak için gerekli gaz miktarını tayin etmekte ve Brunauer Emmett ve Teller teorisini kullanarak yüzey alanını hesaplamaktadır. Deneylerde kullanılan cihaz Micromeritics Asap 2020 marka ve Şekil 3.7'de verilmiştir.

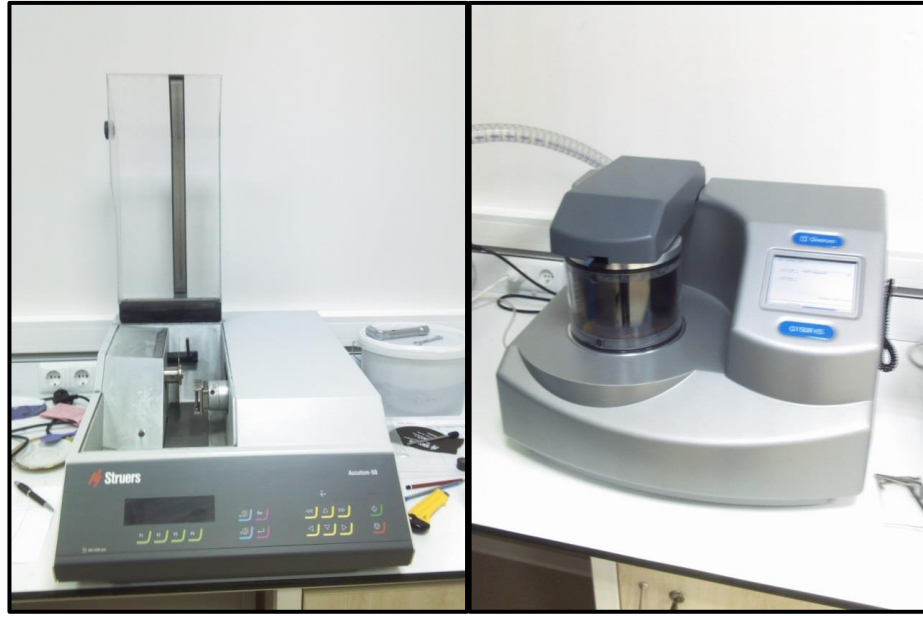


Şekil 3.7. BET analizi cihazı.

3.2.5. Taramalı Elektron Mikroskop (SEM) Analizi

Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir (<http://www.selcuk.edu.tr>, 2014). Deneylerde kullanılan cihaz Zeiss Supra 40 VP marka ve Şekil 3.9'da verilmiştir.

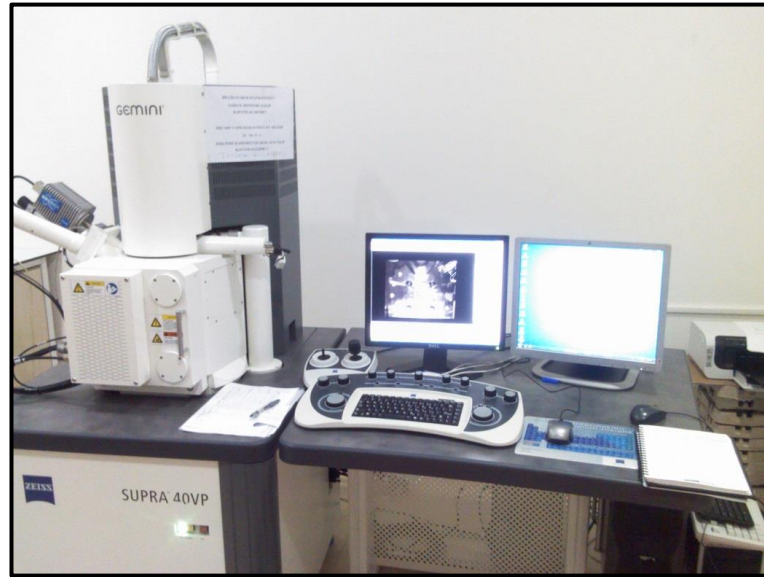
SEM incelemesi yapılacak olan malzemelerden alınan numunelerin hazır hale gelmesi için önce numune kesme cihazında uygun boyuta getirilip daha sonra numune altın kaplama cihazıyla kaplaması yapılır. Daha sonra analizi yapılmak üzere taramalı elektron mikroskobuna yerleştirilir (Şekil 3.8). İç yapısı istenen bölge değişik büyütme oranlarında odaklanılarak detaylı bir şekilde incelenebilmektedir.



(a)

(b)

Şekil 3.8. Numune hazırlama cihazları. a) Numune kesme cihazı. b) Altın kaplama cihazları.



Şekil 3.9. SEM analizi cihazı.

EDX herhangi bir örnek veya örnek üzerindeki ilgili küçük bir alanda elementel kompozisyonu tanımlamak için kullanılan bir tekniktir. Taramalı elektron mikroskopunda (SEM) bulunan EDX analizi, örnek üzerine taramalı bir elektrondemeti düşürülerek gerçekleştirilir. Bu elektronların bazıları numune içindeki elektronlar ile çarpışarak elektronların yörüngelerinden çıkması sağlanır. Boşalan pozisyonlar X-

ışınları yayan yüksek enerjili elektron tarafından doldurulur. Yayılan X-ışınları analizedilerek, numunenin elementel kompozisyonu tespit edilebilmektedir.

3.2.6. Yoğunluk Deneyi

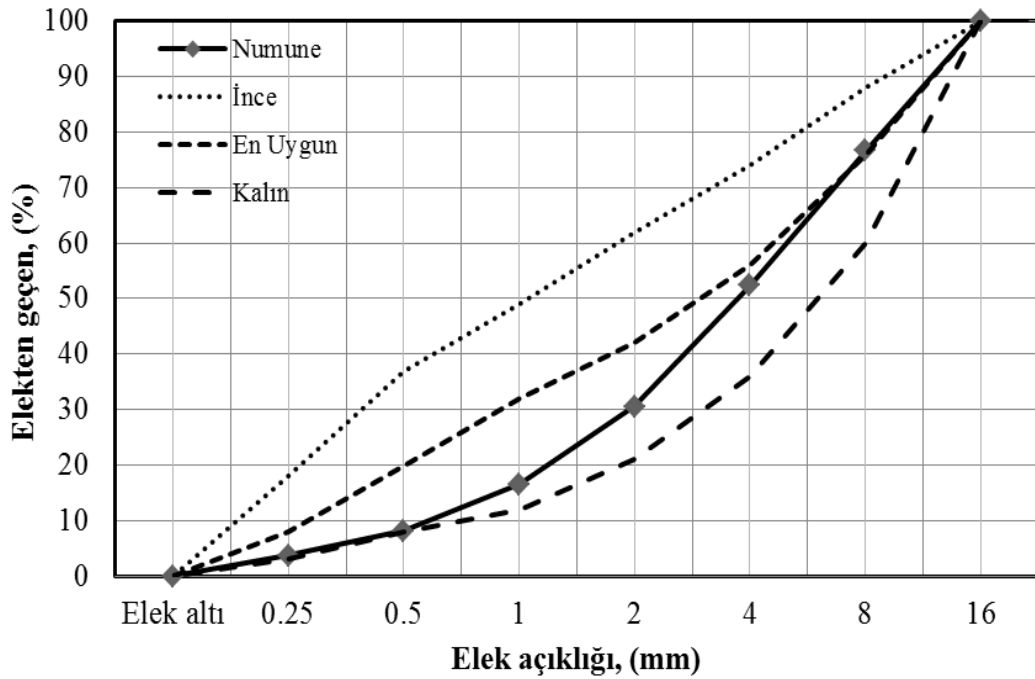
Beton numune üretimine geçilmeden önce üretimde kullanılacak hammaddelerin yoğunlukları Merkezi Araştırma Laboratuvarında gaz piknometresi ile belirlenmiştir. Deneyin yapıldığı cihaz otomatik yoğunluk ölçüm cihazı (gaz piknometresi) ve cihazın markası, Micromeritics ve cihazın modeli, Accupyc II 1340'dır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Otomatik yoğunluk ölçüm cihazı (gaz piknometresi).

3.2.7. Granülometri Analizi

Beton karışım hesaplarında kullanılacak agreganın tane dağılımı elek analizi deneyi yapılarak belirlenmiştir. Kullanılan elek boyutları 0,25, 0,5, 1, 2, 4, 8, 16, 32 mm boyutlarındadır. Agreganın numuneleri elek analizi öncesinde 105 C⁰ etüvde kurutulmuş ve elek sarsma cihazında elek analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar oranlanarak en uygun karışım granülometresi tasarlanmıştır. Bu amaçla kullanılan agreganın karışımının granülometresi A₁₆ ve B₁₆ agreganın referans eğrileri alınarak Şekil 3.11'de görüldüğü gibi hazırlanmıştır.



Şekil 3.11. Kullanılan agreganın tane dağılımı eğrisi.

3.3. Beton Tasarımı

Bu çalışmada mermer tozu ve yüksek fırın cürufu toplam toz miktarına göre 0–5 agrega yerine % 10, 20 ve 30 oranlarında ikame edilerek hiper akışkanlaştırıcı katkı KYB karışımları elde edilmiştir. Üretilen mermer ve yüksek fırın cürufu katkı numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri ile sülfat dayanımı, donma çözülme dayanımı ve aşınma dayanıklılıkları deneysel çalışmalar yardımıyla belirlenerek beton numunelerin performansları irdelenmiştir. Karışım oranları belirlenirken EFNARC 2002’de ifade edilen yöntemlere göre deneme dökümleri sonucu karışım oranlarını belirlenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılacak beton numunelerinin karışım oranları Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Üretilen numune serileri isimlendirilirken mermer tozu katkıli olanlar MT, yüksek fırın cürufu katkıli olanlar ise YFC notasyonu ile isimlendirilmiştir. D_{max} mineral katkıli betonlarda 12 mm alınırken referans betonunda ise 22 mm alınmıştır.

KYB karışımlarımızda hiperakışkanlaştırıcı katkı oranı bütün karışımlarda sabit olarak çimento ağırlığının % 2 olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Beton deneylerinde kullanılan malzeme karışım oranları.

Karışım adı	Çimento (kg)	Su (kg)	0-5 Agregası (kg)	5-12 Agregası (kg)	12-22 Agregası (kg)	Mineral Katkı (mt-yfc) (kg)	Katkı % 2 (kg)
Referans	380	220	509	692	532	-	-
MT 10	380	200	888	850	-	61	7
MT 20	380	200	826	850	-	123	7
MT 30	380	200	770	850	-	180	7
YFC 10	380	200	888	850	-	61	7
YFC 20	380	200	826	850	-	123	7
YFC 30	380	200	770	850	-	180	7

3.4. Beton Deneyleri

Üretilen mermer tozu ve yüksek fırın cürufu katkılı kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımlarının işlenebilirlik özellikleri J halkası, V hunisi, L kutusu ve yayılma deneyleri yapılarak belirlenmiştir. Ayrıca üretilen betonun reolojik parametreleri Schleibinger BT-2 taze beton reometresi yardımıyla incelenmiştir. Beton numunelerinin bu özellikleri üretim sonrasında sırasıyla yapılmıştır. Betonun fiziksel ve mekanik özellikleri sırası ile ileride ifade edilen deney yöntemleriyle belirlenmiştir. Bu deneyler kapsamında ürettiğimiz beton numunelerinin boyutları aşınma etkisi için 70×70×70 mm, donma-çözülme etkisi için 100×100×100 mm basınç dayanımı için 150×150×150 mm ve sülfat etkisi için 25×25×285 mm şeklindedir.

3.4.1. V Hunisi Deneyi

V hunisi deneyi EFNARC (2002) standardına uygun olarak tasarlanmış olan 5 cm açıklıklı, 10 litre kapasiteli V-şekilli deney aparatı kullanılarak yapılmıştır. Dolum esnasında beton herhangi bir sıkıştırma işlemine tabi tutulmadan serbestçe doldurulur. Cihazın altında bulunan kapak açıldığı anda kronometre başlatılarak betonun boşalma süresi cihazın alt ucundan ışık görününceye kadar geçen sürenin belirlenmesiyle KYB numunelerinin V-hunisi süresi belirlenmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. V Hunisi deney cihazı.

3.4.2. J Halkası Deneyi

J-halkası deneyi, KYB'nin geçiş yeteneğini ve bloklanma davranışını belirleyebilmek için tasarlanmıştır (Şekil 3.13). Bu deney teçhizatı, yayılma tablası, yayılma tablasının merkezine yerleştirilen ve açıklıkları üretilen betonun özelliklerine göre değişen donatılardan oluşmuş bir halka ile Abrahms konisinden oluşmaktadır. Gerçek durumdaki donatıları temsil eden bu halkanın çapı 300 mm ve donatı yüksekliği 100 mm'dir. J-halkası tabla üzerine sabit bir şekilde yerleştirildikten sonra içerisine konulan Abrahms konisi yaklaşık 5,5 litre beton ile doldurulur. Ardından koni sabit hızla dikey olarak çekilerek betonun tabla üzerinden akması sağlanır.

Donatılar arasından geçen betonun yayılması tamamlandıktan sonra birbirine dik iki yönde çap ölçümü yapılır ve bunların ortalaması alınır. Bununla birlikte, halka içinde kalan betonun yüksekliği ile halka dışındaki betonun yüksekliği 4 farklı noktadan ölçülür ve yükseklikler arasındaki fark incelenerek betonun donatılar arasından geçiş yeteneği hakkında bilgi sahibi olunur (Şengül, 2005).



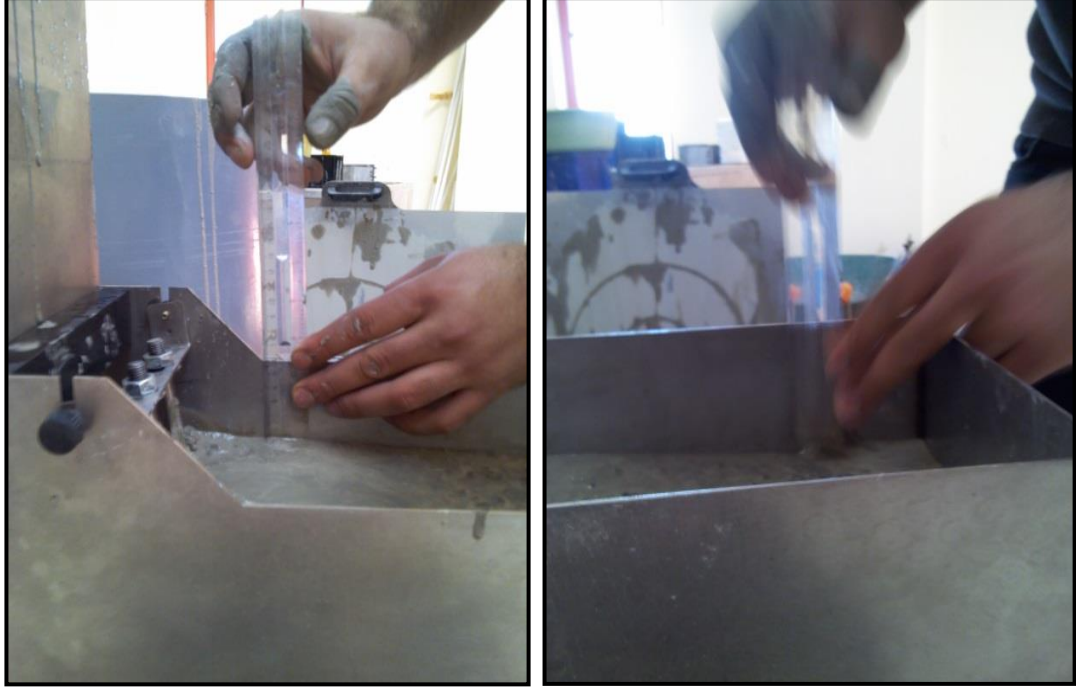
Şekil 3.13. J- halkası deneyinin yapılışı.

3.4.3. L Kutusu Deneyi

Bir diğer KYB işlenebilirlik deneyi ise Japonya’da su altında beton dökümü için geliştirilen bir teknik olan L-kutusu deneyidir (Peterson vd., 1996). EFNARC (2002) standartında bulunan bu deney yöntemi dikdörtgen kesitli bir kutu içerisinde bulunan 12 mm çapındaki 3 adet donatının arasından betonun geçiş özelliğini ölçmektedir. Yatay kutu kesitinin sol ve sağ ucundaki beton yükseklik farkı L kutusu deney sonucu olarak belirlenmektedir. Üretilen KYB numunelerinin L kutusu deneyinin yapılışı Şekil 3.14’de görülmektedir. Bu deney düzeneği, ilk olarak Japonya’da Sonebi tarafından su altı betonlarının akış kabiliyetlerini değerlendirmek için tasarlanmış olan L-Flow isimli deney düzeneği esas alınarak oluşturulmuştur. Petersson tarafından geliştirilen bu sistem ile betonun akıcılığını ve tıkanma riskini değerlendirmek mümkün olmaktadır (Bartos vd., 2006).

Bu alet kare kesitli kutu şeklinde bir bölüm ile bunun önünde yer alan bir yatay platformdan oluşmaktadır. Kutunun alt kısmında bulunan açıklığa 12 mm çaplı ve 34 mm aralıklı 3 adet çelik donatı yerleştirilmiştir. Başlangıçta açıklık bir kapak ile kapatılmıştır. Kutu taze beton ile doldurulduktan sonra, kapak yukarıya doğru çekilir ve beton donatılar arasından geçerek platform üzerinde akmaya başlar. 200 mm ve 400 mm’lik uzaklıklara ulaşma süreleri ayrı ayrı ölçülür (Şekil 3.14). Ayrıca betonun kutu

içinde kalan bölümünün ve en uçtaki (platformda) bölümünün yükseklikleri ölçülür. Bu deney, taze kendiliğinden yerleşen betonun kendiliğinden yerleşme yeteneğini, geçiş yeteneğini ve ayrışmaya karşı direncini ölçmek için kullanılır (Özkul vd., 2004).



Şekil 3.14. L kutusu deneyinin yapılışı.

3.4.4. Yayılma Deneyi

Yapılan işlenebilirlik deneyleri arasında en basit ve şantiye alanında da kolaylıkla yapılabilecek olanı yayılma ve T_{50} süresinin belirlendiği deney yöntemidir. Düz bir zemin üzerine yerleştirilen metal bir levha üzerine Abrahms hunisi kullanılarak doldurulan KYB serbest bırakılarak en büyük yayılma çapı ile 50 cm'lik yayılma çapına ulaşma süresi belirlenir. Bu deney betonun daha çok boşlukları doldurma özelliğini göstermektedir. L kutusu yada J halkasındaki gibi KYB'nin donatılar arasından geçişi hakkında fikir vermeyebilir ancak KYB'nin ayrışma eğilimi bu deney ile belirlenebilir. T_{50} yayılma süresinin belirlenmesi için en az iki kişinin deneyi uygulaması gerekmektedir. En büyük yayılma çapları ise yatay ve düşey doğrultuda ölçülerek ortalaması alındıktan sonra değerlendirilmede kullanılmaktadır. Şekil 3.15'te yayılma deneyini yapılışı ve ortalama yayılma değerinin ölçümü görülmektedir (Atlı, 2012).



Şekil 3.15. T_{50} ve yayılma deneyinin yapılışı.

3.4.5. Taze Beton Reometresi Deneyi

Taze beton uygulamaları amaçlı iki adet moment (devir) sensörlü ve bir adet hız sensörlü, otomatik kalibrasyonlu portatif beton reometresidir ve beton numunesi farklı yükler altında test edilmekte dolayısıyla rölatif kırılma noktası ve rölatif viskozite hesaplanabilmektedir. Kolay kullanımlı taze beton reometresi bir turda farklı hızlarda üç adet okumayı otomatik olarak dahili hafızasına almaktadır ve hafızasında toplanan veriler kablosuz kızıl ötesi (IRDa) ile cihazla birlikte temin edilen cep bilgisayarına aktarılabilmektedir (Armatest, 2014).



Şekil 3.16. Taze beton reometresi.

KYB numunelerinin reolojik özellikleri taze beton reometresi kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 3.16'da gösterilen reometre 12 dm³ KYB karışımıyla doldurulduktan sonra dairesel kesitli hazne içinde cihaza bir tam tur atırılmış ve deney okuması cihazdan alınmıştır.

3.4.6. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Üretilen KYB numunelerinden 15 cm boyutlarında küp numuneler hazırlanmış ve bu numuneler kirece doymun su ortamında 20°C sıcaklıktaki suda 7, 28 ve 56 gün şartlandırılmıştır. Kür süresi sonunda beton numuneleri 200 kN kapasiteli basınç presinde aksel basınç kuvveti altında basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur (Şekil 3.17).



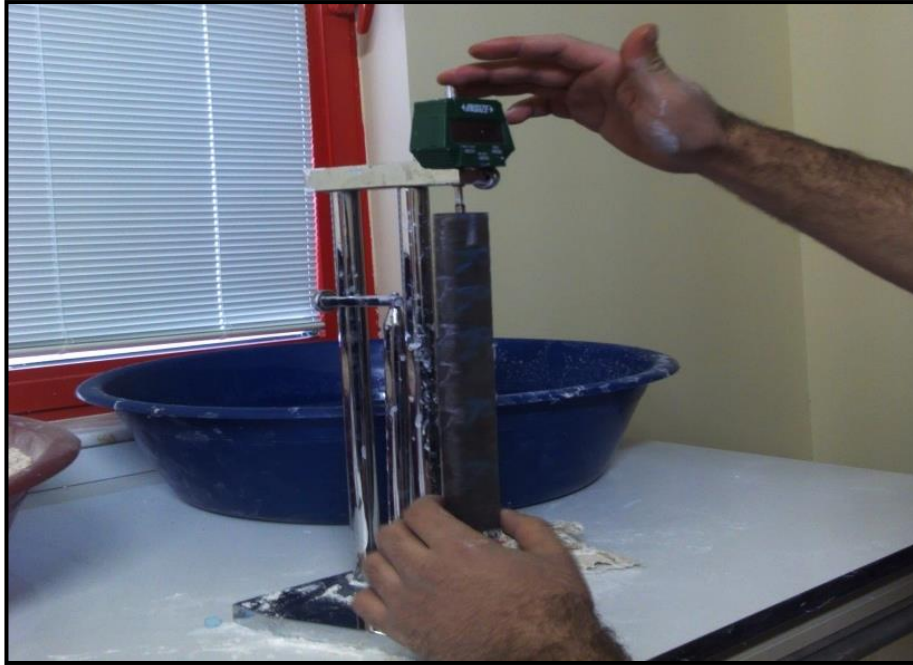
Şekil 3.17. Beton basınç dayanımı deney presi.

3.5. Kalıcılık Deneyleri

Yaptığımız çalışmada MT ve YFC katkılı KYB numunelerinin servis ömürleri sırasında karşılaşılabilecekleri önemli olan bazı kalıcılık özellikleri incelenerek katkı tipinin beton performansı üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için KYB uygulamalarının genellikle saha ve yüzey betonlarında tercih edilmesi nedeniyle kalıcılık açısından sülfat etkisi, donma-çözülme direnci ve aşınma direnci özellikleri standartlara uygun yöntemler kullanılarak incelenmiştir.

3.5.1. Sülfat Etkisi Deneyi

Kalıcılık deneylerinden sülfat direnci deneyi için ASTM C 1012 (2004) standartına uygun olarak 25x25x285 mm boyutlarında harç numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerde çimento dozajı, mineral ve kimyasal katkı oranı ve s/ç oranları KYB karışımlarındaki oranlar dikkate alınarak belirtilmiştir. Üretilen bu numuneler daha sonra % 5 oranında Na₂SO₄ içeren çözelti banyosuna konulmuştur. Numunelerin sülfat banyosu içindeki boy değişimleri Şekil 3.18’de görülen 0.001 mm hassasiyetli komparatör yardımıyla belirlenmiştir. Ölçümler standartta belirtilen periyotlarda gerçekleştirilerek 6 ay süreyle sürdürülmüştür.



Şekil 3.18. Beton numunesinin sülfat etkisinde boy değişiminin belirlenmesi.

3.5.2. Aşınma Direnci Deneyi

Deney numunelerinin aşınma direnci deneyi, TS 2824 EN 1338 (2005) standardına uygun olarak yapılmıştır. Bunun için laboratuvarında Böhme aşınma deney cihazı kullanılmıştır. Deney için 70x70x70 mm boyutlarında küp numuneler hazırlanmış ve 28 günlük kür süresinin sonunda aşınma deneyine başlanmıştır. Dönen diskin aşındırıcı toz ile birlikte beton numunelerin üzerinde oluşturduğu hacim ve kütle değişimleri belirlenmiştir. Aşağıda Şekil 3.19’da aşınma deneyinin yapılışı

görülmektedir. Bu deneyde dakikada 30 ± 1 devir hızla dönen 750 mm çapında yatay olarak yerleştirilmiş döner bir aşındırıcı çelik disk bulunmaktadır. Döner disk üzerindeki yerine konulup sabitlenen beton numuneye çelik bir manivela ile 294 ± 3 N düşey yük uygulanmaktadır. Düzenek üzerinde diskin 22 devrinden sonra otomatik durdurma tertibatı bulunmaktadır. Deney aletine yerleştirilen beton numunenin sürtünme yolu üzerine $20 \pm 0,5$ gr aşındırıcı suni korondum tozu serpilmiştir. Sistem çalıştırılmasından 22 devir sonra durmuştur. Beton numune düşey eksenini etrafında saat yönünde 90° çevrilmiş ve uygun bir fırçayla sürtünme yolu üzerindeki toz ve numune artıkları temizlenip tekrar yeni toz serpilmiştir. Çalışma kapsamındaki numunelere bu şekilde her bir numune için 16 kez 22 devir yani toplamda 352 devir yaptırılmıştır. Üretilen betonlardan belirtilen kıstaslara ve ölçüye göre kesilen numunelerin deney sonrasındaki aşınma miktarını belirlemek amacıyla deney öncesi ve sonrasında kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Numunelerin her bir kenarında üç nokta ve ortada bir nokta olmak üzere belirlenen dokuz noktada 0,01 hassasiyette kumpas ile yükseklik ölçümleri alınmıştır.



Şekil 3.19. Aşınma deneyinin yapılışı.

3.5.3. Donma Çözülme Direnci Deneyi

KYB karışımlarının donma çözülme dirençlerinin belirlenmesi için 10 cm boyutlarında küp numuneler hazırlanmıştır. Bu hazırlanan numuneler 28 gün standart kür koşullarında tutulduktan sonra TS 3449 (1980) standardında belirtildiği şekilde numuneler suya doygun hale getirildikten sonra +20°C ile -20°C arasında 30 defa donma-çözülme çevrimi etkisinde bırakılarak deney gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Donma çözülme direnci deney cihazı.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Deneysel çalışmalar kapsamında yapılan fiziksel, kimyasal, minerolojik, beton için yapılan çeşitli deneyler ve kalıcılık deneyleri bu başlık altında analiz edilmiştir.

4.1. Fiziksel, Kimyasal ve Minorolojik Analiz Sonuçları

KYB üretiminde kullanılan ham maddelerin malzeme karakterizyonları fiziksel, kimyasal ve minorolojik analiz yöntemleriyle belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar kullanılan yöntemlere göre sırası ile yorumlanmıştır.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan malzemelerin yoğunlukları.

Malzeme	Yoğunluk, (g/cm ³)
Çimento	3.0617
Yüksek fırın cürufu	2.9186
Mermer tozu	2.7497
Agrega	2.6310

4.1.1. Kimyasal Analiz Sonuçları

Kyb karışımlarında kullanılan toz malzemelerden çimento, YFC ve MT nin XRF yöntemine göre yapılan kimyasal analiz sonuçları aşağıdaki çizelge 4.1’de verilmiştir.

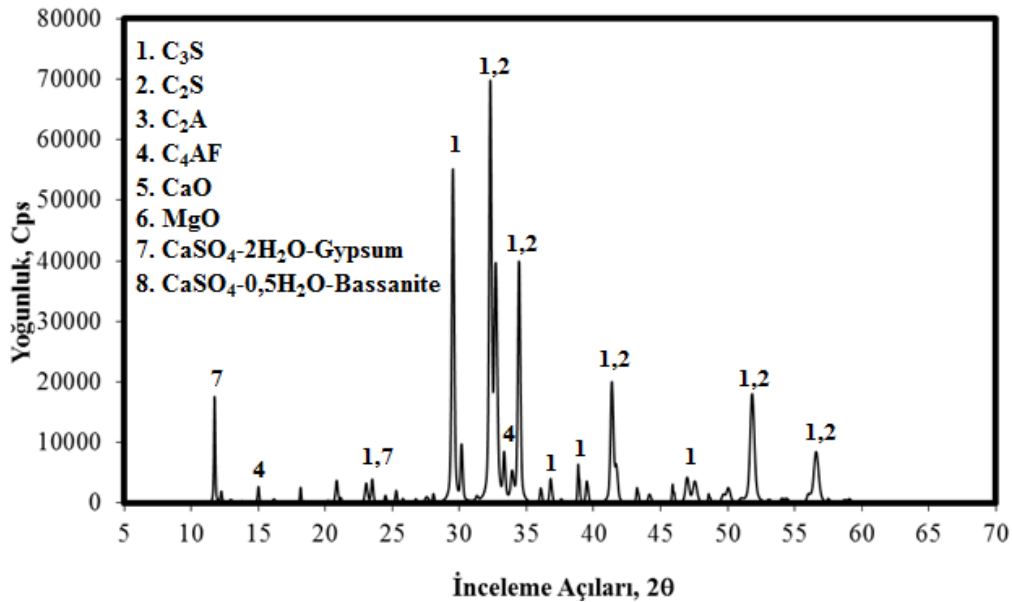
Çizelge 4.2. Malzemelerin XRF deneyi sonuçları.

Kimyasal Bileşim (%)			
Bileşen Adı	Çimento	YFC	MT
CaO	64.53	32,43	53,35
SiO ₂	21.22	39,64	0,61
Al ₂ O ₃	4.67	12,24	0,23
Fe ₂ O ₃	2.91	0,72	0,13
MgO	0.96	7,51	0,79
SO ₃	2.92	1,43	0,54
MnO	--	1,44	-
K ₂ O	--	1,58	0,03
TiO ₂	--	0,61	-
Kızdırma Kaybı	2,8	-	43,07

4.1.2. XRD Analiz Sonuçları

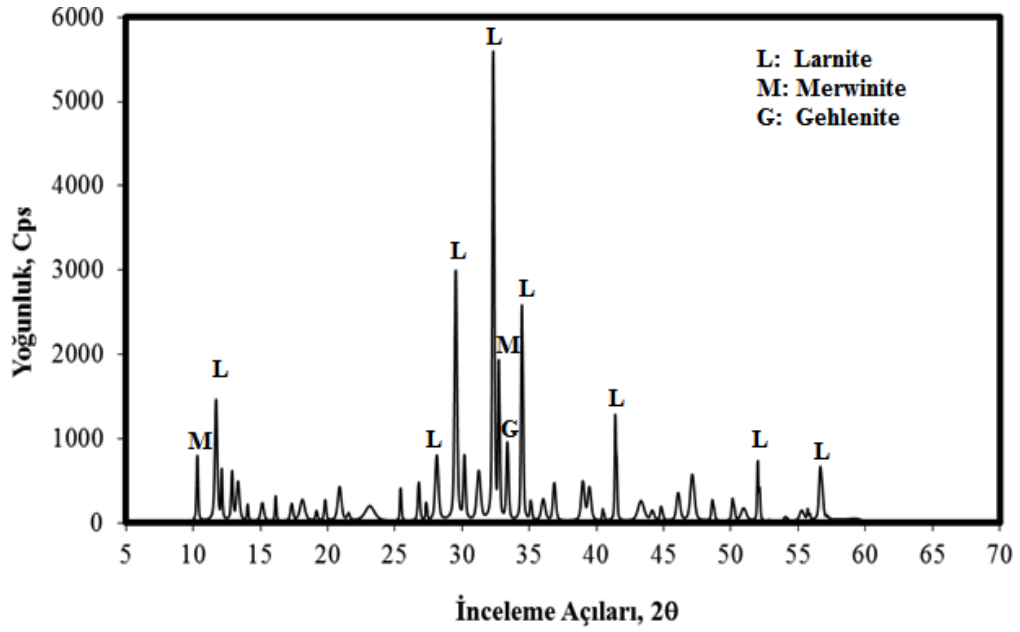
Beton karışımlarında kullanılan bağlayıcı ve filler malzemelerin minorolojik analizleri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi merkezi araştırma laboratuvarında XRD cihazı yardımıyla yapılmıştır. Çimentonun XRD analiz sonucu şekil 4.1’de verilmiştir. Xrd analizleri $2\theta=5-70^\circ$ aralığında ve 40kV/30mA enerjiyle gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.1 incelendiğinde kullanılan CEM I 42.5 R tipi Portland çimentosunun anabileşen fazlarının dağılımı görülmektedir. Çimentonun hidrasyon yaparak dayanım kazanmasında önemli rol oynayan alit ve belit fazlarının yoğun olarak kimyasal yapı içinde bulunduğu görülmektedir. C_3S fazının fazla olması çimentonun erken dayanım özelliklerinin artmasında etkili rol oynamaktadır.



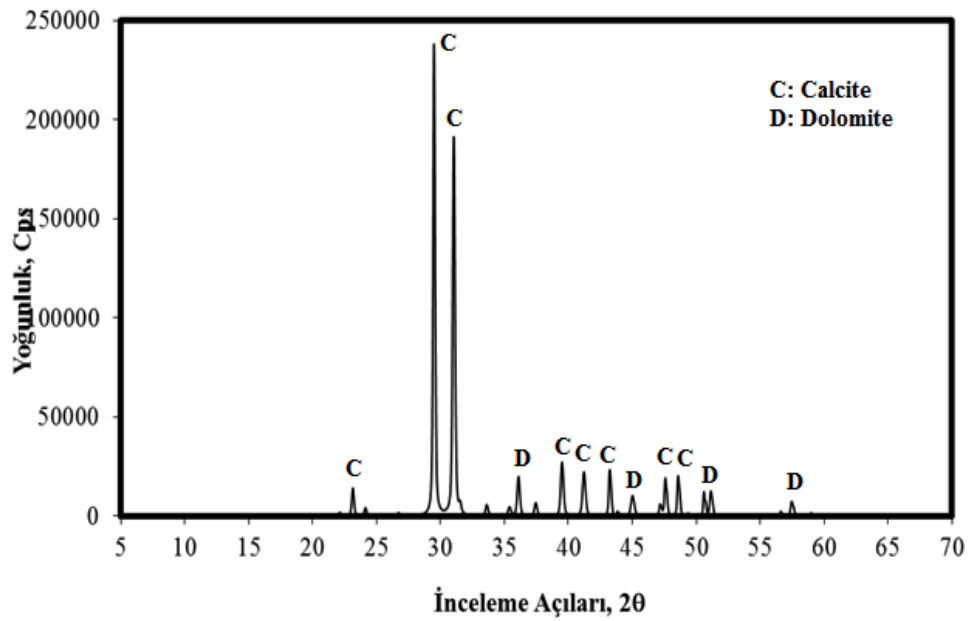
Şekil 4.1. Çimentonun XRD analizi sonucu.

Şekilde yüksek fırın cürufu numunesinin XRD analizi sonucu elde edilen pik değerleri ve ana malzeme fazları görülmektedir. Camsı fazın 2θ , $28^\circ-35^\circ$ arasında en büyük değerine ulaştığı görülmektedir. Kullanılan yüksek fırın cürufunun XRD analizi incelendiğinde (Şekil 4.2) yoğun olarak larnite fazının mineralojik yapıda bulunduğu görülmektedir. Bunun dışında bünyede mervinit ve gehlenite fazlarının bulunduğu tespit edilmiştir. Silisyum ve kalsiyum ve alüminyum esaslı bu yapı yüksek fırın cürufunun puzolanik özelliğinin varlığına işaret etmektedir.



Şekil 4.2. Yüksek fırın cürufunun XRD analizi.

KYB karışımlarında kullanılan bir diğer mineral katkı malzemesi olan mermer tozunun mineralojik yapısı incelendiğinde (Şekil 4.3) bünyenin genel olarak kalsit ve dolomit fazından oluştuğu görülmektedir. Burada mermerin kimyasal yapısının CaCO_3 ten oluşması etkili olmaktadır.



Şekil 4.3. Mermer tozu XRD analizi.

4.1.3. Özgül Yüzey Alanı Analizi

KYB üretiminde kullanılan filler ve bağlayıcı toz malzemelerin özgül yüzey alanı deney sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bet deney cihazıyla yapılan deney sonuçlarına göre en ince taneli mineral katkının mermer tozu olduğu görülmüştür. Diğer taneli malzemelere göre daha sert ve öğütülmesi zor olan YFC’nin özgül yüzey alanı ise çimento ve mermer tozuna göre daha düşük özgül yüzey alanına sahip olmuştur.

Çizelge 4.3. Özgül yüzey alanı analizi sonuçları.

Malzeme Adı	Özgül Yüzey Alanı cm ² /g
Çimento	3382
Yüksek fırın cürufu	3527
Mermer tozu	3930

4.2. Beton Deneyleri

4.2.1. İşlenebilirlik Deney Sonuçları

Yapılan işlenebilirlik deneyleri incelendiğinde (Çizelge 4.2) YFC ve MT katkı oranındaki artışla birlikte işlenebilirlikte azalmalar görülmüştür. İşlenebilirlikte ortaya çıkan bu azalma özellikle YFC katkılı numunelerde kıvam kaybı V-hunisi deneyinde daha belirgin olarak görülmüştür. MT katkılı numunelerde ise bu kıvam kaybı daha az olmuştur.

Çizelge 4.4. Taze beton deneylerinde alınan sonuçlar.

Numune Adı	V Hunisi (Sn)	J Halkası (Cm)	T ₅₀ (Sn)	En Büyük Yayılma (Cm)	L Kutusu (Cm)
YFC 10	7	2,8	3	55	0,94
YFC 20	15	1,5	3,5	72	0,91
YFC 30	21	1,3	5	67	0,81
MT 10	8,5	4	4	71	0,88
MT 20	9,5	3,5	5	67	0,85
MT 30	15	2,5	6	55	0,80

EFNARC (2002) standartında belirtilen V-hunisi sınır değerleri MT katkılı numunelerde MT 10 ve MT 20 numunelerinde sağlanırken YFC katkılı numunelerde bu değer sadece YFC 10 serisinde katkılı numunelerde sağlanabilmiştir. Bu sonuçlardan mermer tozunun YFC 'ye göre daha işlenebilir bir KYB üretimine yardımcı olduğu görülmektedir. YFC'nin kıvam kaybını artırmasına inceliğinin ve gözenekliliğinin MT katkısına göre daha fazla olmasının neden olduğu düşünülmektedir.

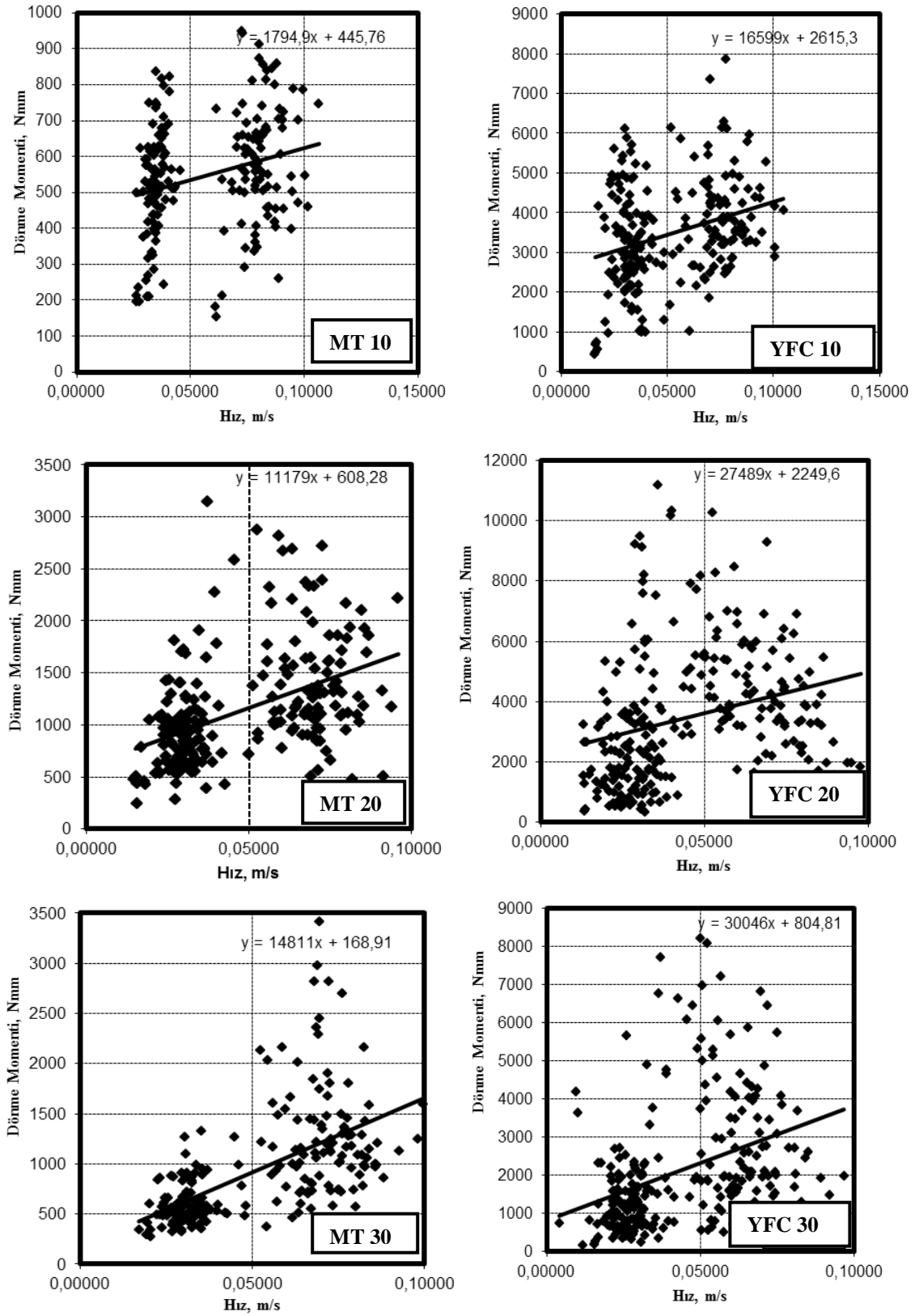
İnert malzemeler puzolanik malzemelerle kıyaslandığında daha düşük işlenebilirlik değerleri vermiştir. Bunun nedenleri mermer tozunun köşeli, pürüzlü ve boşluklu bir yapıya sahip olmasıdır. Bu yapı dolayısıyla inert malzemelerin yüzey hacimleri puzolanik katkılarla kıyaslandığında daha yüksektir ve bu durum taneler arasındaki iç sürtünmenin artmasına ve dolayısıyla işlenebilirliğin azalmasına neden olmaktadır. KYB karışımlarının çökme-yayıma deneyleri esnasında yapılan ve slump hunisinin merkezini esas alarak 50 cm çapındaki mesafeyi kat etme süresini ifade eden T₅₀ süresi deneyleri sonucunda bu mesafeyi en hızlı YFC 10 karışımı kat etmiştir. Bu 50 cm lik mesafeye en geç ulaşan beton karışımı ise MT 30 karışımıdır. Genel olarak tüm karışımlar 50 cm lik mesafeyi 3-6 sn arasında geçerek KYB genel kriterleri çerçevesinde T₅₀ deneyi için uygun değerler vermiştir. Aynı şekilde YFC'nin ikame oranı arttıkça T₅₀ süresi artmaktadır. Puzolanik katkılarla kıyaslandığında inert malzemeler içeren karışımlarda MT'nin ikame oranı arttıkça T₅₀ süreside artmaktadır.

Karışımların L-kutusu oranı, bu betonların doldurma ve geçiş yeteneği hakkında bilgi vermektedir. Farklı karışımlarda hazırlanan KYB'ler üzerinde yapılan L-kutusu oranı deneyi sonucunda tüm karışımlar h_2/h_1 oranı olarak standart değerler arasında sonuçlar vermiştir. Bu değerler 0,8 ile 1,0 arasında olmalıdır ve tüm karışımların bu değerler arasında olduğu görülmüştür. h_2/h_1 oranının 0,8' den az olması karışımların dar donatılar arasından geçerken bloklanma (kenetlenme) riskini doğurmaktadır. Ancak yapılan deneyler sonucu hiçbir karışım 0,8 değerinin altında kalmamış, böylece bloklanma riski de oluşmamıştır. Karışımlar içerisinde en düşük h_2/h_1 oranı değerini, MT 30, en yüksek h_2/h_1 oranı değerini ise YFC 10 karışımları vermiştir.

4.2.2. Beton reometresi sonuçları

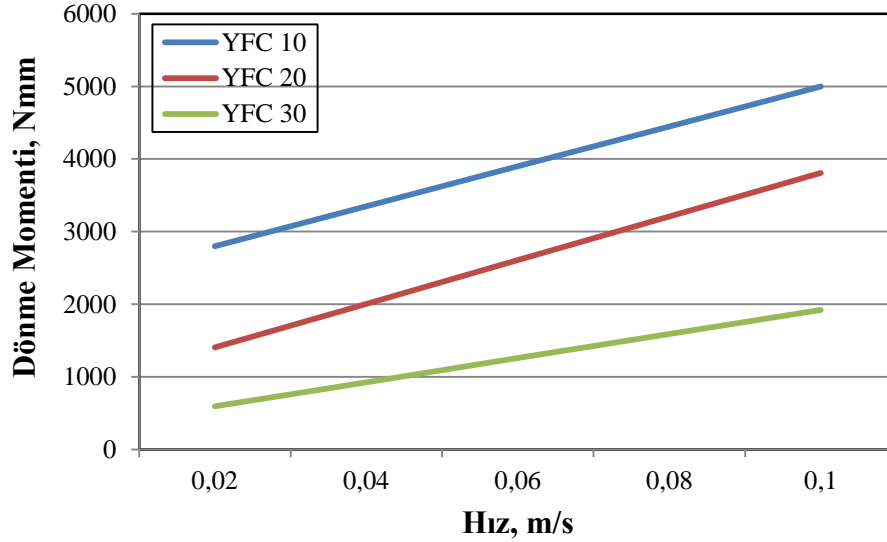
KYB numunelerinin reolojik özellikleri taze beton reometresi kullanılarak belirlenmiştir. Şekil 3.16'da görülen beton reometresi 12 dm³ KYB karışımıyla

doldurulduktan sonra dairesel kesitli hazne içinde cihaza bir tam tur attırılmış ve veri okuması cihazdan alınmıştır. Reometre deneyinden elde edilen ham veriler Şekil 4.4’de verilmiştir. Buradan elde edilen grafiklerdeki değerler hız (m/s) ve dönme momenti (Nmm) değerleri yer almaktadır. Kayma direnç değerlerinin MT katkılı numunelerde daha az olduğu belirlenmiştir. İşlenebilirlik deneylerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında betonun yayılma ve akış sürelerindeki değişikliğin betonun viskozitesiyle ilişkili olduğu görülmüştür.



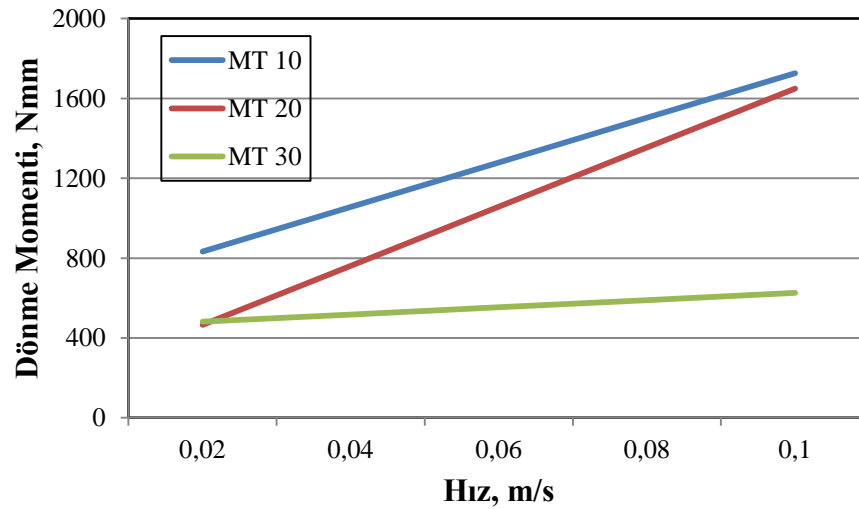
Şekil 4.4. Beton reometresi deney sonuçları.

Reometre deney sonuçlarından elde edilen grafiklerde, doğrunun “y” eksenini kestiği nokta “kayma eşiği” değerini, doğrunun eğimi ise “plastik viskoziteyi” vermektedir.



Şekil 4.5. Beton reometresi YFC numuneleri deney sonuçları.

Deney sonuçlarına göre YFC’deki viskozite değerlerinde en büyük değeri YFC 30 almıştır. YFC 30’u sırası ile YFC 20 = 27489 ve YFC 10 = 16599 takip etmektedir. Kayma direnci değerlerine baktığımızda ise en yüksek değeri YFC 10 2615,3 ile ve daha sonra sırası ile YFC 20 = 2249,6 ve YFC 30 = 804,81 devam etmektedir. Buna göre plastik viskozitesi düşük olan bir beton daha akıcı olacak ve daha kolay yerleşebilecektir.



Şekil 4.6. Beton reometresi MT numuneleri deney sonuçları.

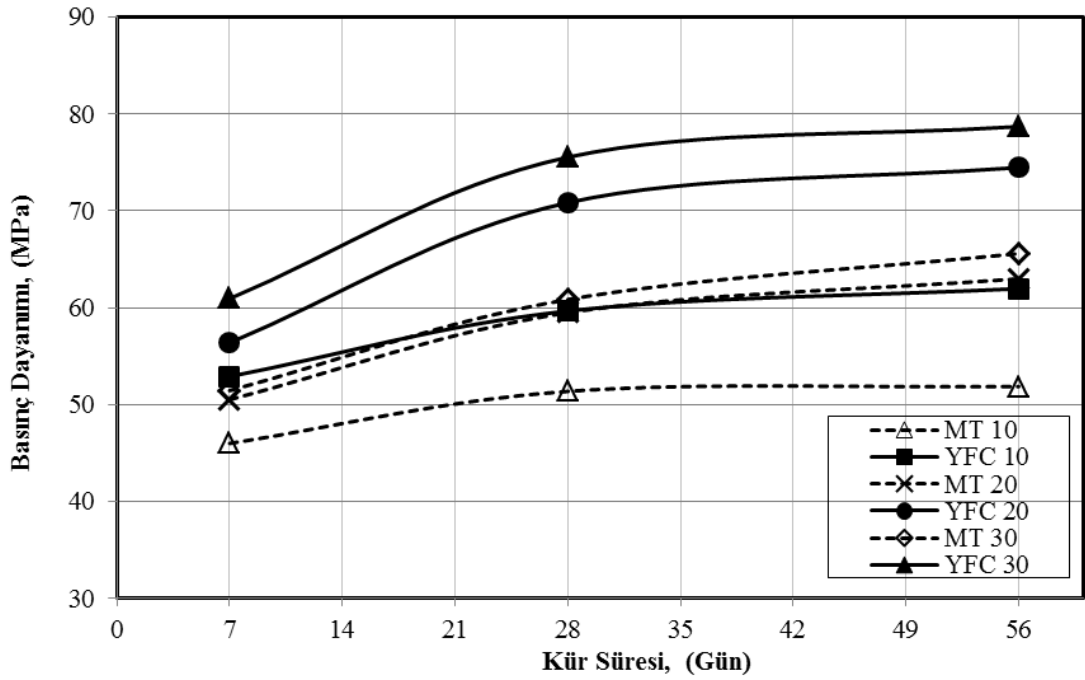
Deney sonuçlarına göre MT'deki viskozite değerlerinde en büyük değeri 14811'la MT 30 almıştır. MT 30'u sırası ile MT 20 = 11179 ve MT 10 = 1794 takip etmektedir. Kayma direnci değerlerine baktığımızda ise en yüksek değeri MT 20 = 608,28 ile ve daha sonra sırası ile MT 10 = 445,76 ve MT 30 = 168,95 devam etmektedir. Buna göre plastik viskozitesi düşük olan bir beton daha akıcı olacak ve daha kolay yerleşebilecektir.

Bütün sonuçlar dikkate alındığında ise en akıcı işlenebilirliği en iyi sırası ile YFC30, YFC 20, YFC 10, MT30, MT 20, MT 10 şeklindedir. KYB taze beton reometre deney sonuçlarını diğer işlenebilirlik deneyleriyle karşılaştırdığımızda sonuçların benzer bir davranış gösterdiği görülmektedir. Buna göre KYB numunelerinin kayma direnci değerlerindeki azalma betonu daha akışkan ve işlenebilir bir kıvama getirmektedir.

4.2.3. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

4.2.2.1. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

KYB karışımlarının farklı yaşlardaki mekanik özelliklerindeki değişim basınç dayanımı deneyiyle belirlenmiştir. Standart 15'cmlik küp numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçları Şekil 4.7'de verilmiştir. Basınç dayanımı deney sonuçlarına göre hem MT hem de YFC katkı oranlarındaki artışa bağlı olarak basınç dayanımlarının yükseldiği görülmüştür. En yüksek dayanım artışı % 30 YFC katkılı KYB karışımında (78 MPa) elde edilmiştir. Dayanım açısından en etkili katkı oranının her iki malzeme içinde % 30 olduğu görülmüştür. Bunda ince filler malzemenin boşluk doldurma etkisinin rol oynamasıyla kompasitesi daha yüksek betonun elde edilmesi mümkün olmuştur. YFC katkılı numunelerin ileri yaşlarda gösterdiği dayanım performansının MT katkısına göre daha iyi olmasının nedeni YFC'nin aktif puzolanik özelliği olduğu düşünülmektedir. Erken yaşlardaki dayanım performansı incelendiğinde ise her iki katkı tipinin birbirine yakın dayanım değerleri verdiği görülmüştür. Erken yaşlarda da yine ileri yaş dayanımlarına benzer olarak kullanılan katkı oranındaki artışa bağlı olarak basınç dayanımlarının arttığı gözlenmiştir.



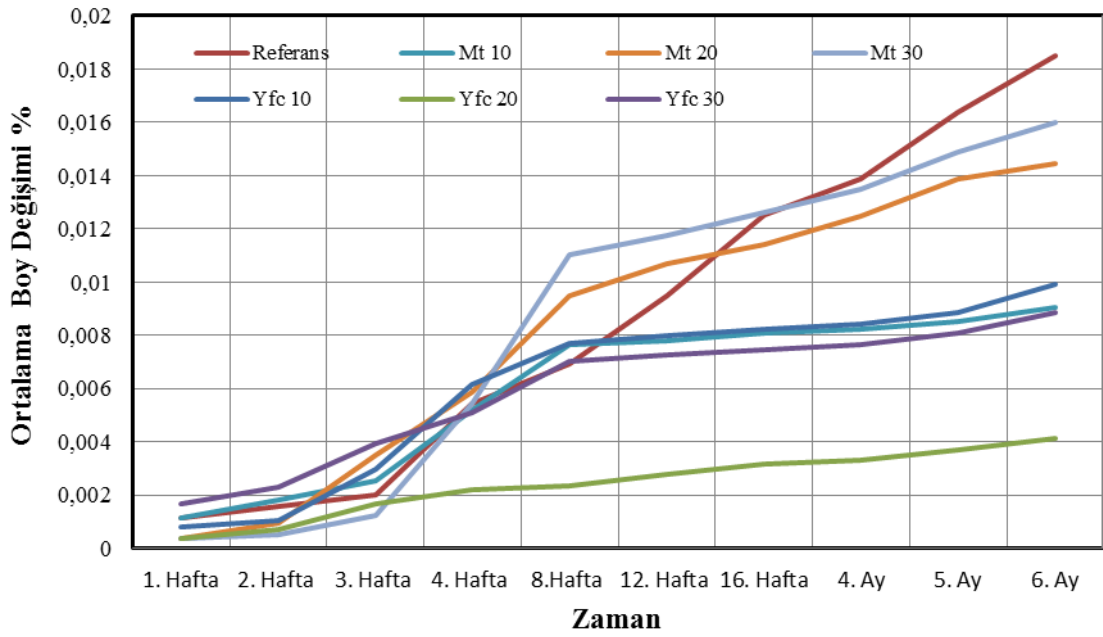
Şekil 4.7. MT ve YFC katkıli KYB basınç dayanımı sonuçları.

4.3. Kalıcılık Deneyleri

Karışımlarında MT ve YFC kullanılarak üretilen KYB numunelerinin ileri yaş performansları kalıcılık deneyleri ile belirlenmiştir. Bu amaçla hazırlanan KYB numuneleri üzerinde sülfat etkisi, aşınma direnci ve donma çözülme direnci deneyleri yapılmış ve sonuçlar irdelenmiştir.

4.3.1. Sülfat Etkisi Deneyi Sonuçları

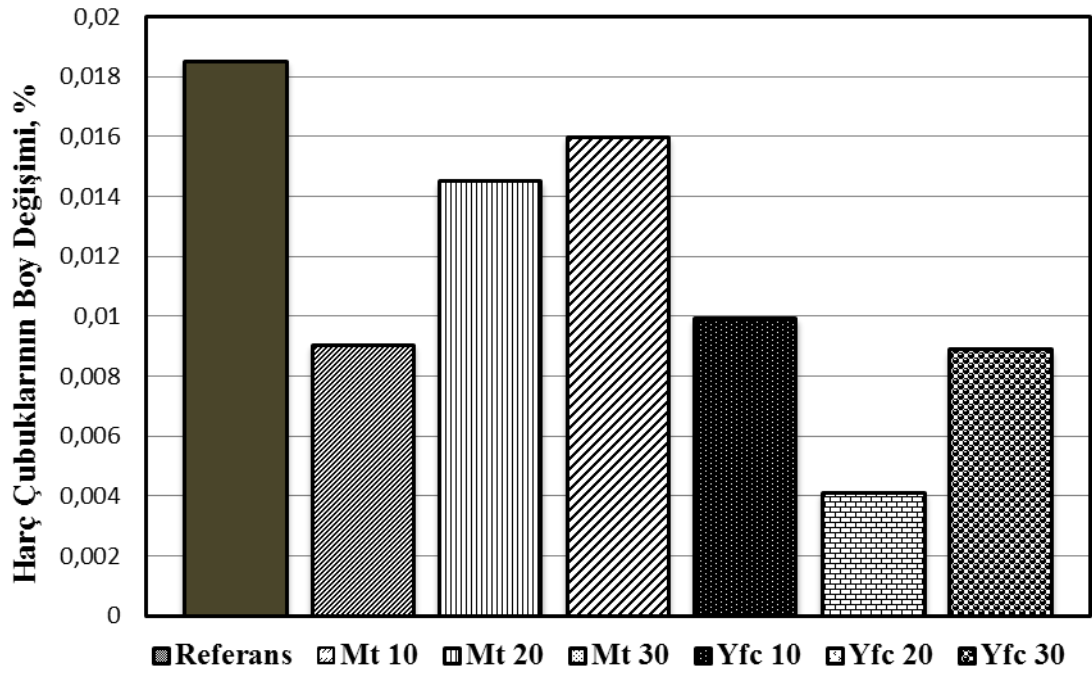
Sülfat dayanıklılığı deneyi için üretilen harç çubukları ve prizmatik harç numuneleri üzerinde 6 aylık deney süreci sonucunda elde edilen deneysel bulgular çizelge ve şekiller ile bu başlık altında sunulmuştur. Numuneleri şartlandırmak için hazırlanan % 10 $\text{Na}_2(\text{SO}_4)$ içeren çözeltide 6 ay boyunca saklanan katkıli harç numunelerinde gözle görülebilen ciddi bir çatlak yada hasar oluşumu gözlenmemiştir. Çözelti banyosunda saklanan numuneler 25×25×285 mm boyutlarında standart prizmatik harç numuneleridir. Sülfat deneyi sonunda elde edilen boy değişimi sonuçları Şekil 4.8. ve 4.9.'da sunulmuştur.



Şekil 4.8. Sülfat deneyi numunelerinin zamana bağlı boy değişim değerleri.

$\text{Na}_2(\text{SO}_4)$ içeren çözeltilde 6 ay boyunca saklanan numunelerin hassas kompratörle ölçülen boy değişimi oranlarına göre en fazla boy değişimi herhangi bir mineral katkı içermeyen referans numunesinde % 0,0185 olarak elde edilmiştir. Ancak bu değer ASTM C 1012 (2004) standardında tanımlanan % 0,1'lik sınır değerinin altında çıkmıştır. KYB numunelerinin tamamında sülfat genleşmelerinin düşük çıkmasında kullanılan yüksek çimento dozajı, mineral katkı miktarı ve yüksek işlenebilirliğin getirdiği başluksuz yapı etkili olmuştur.

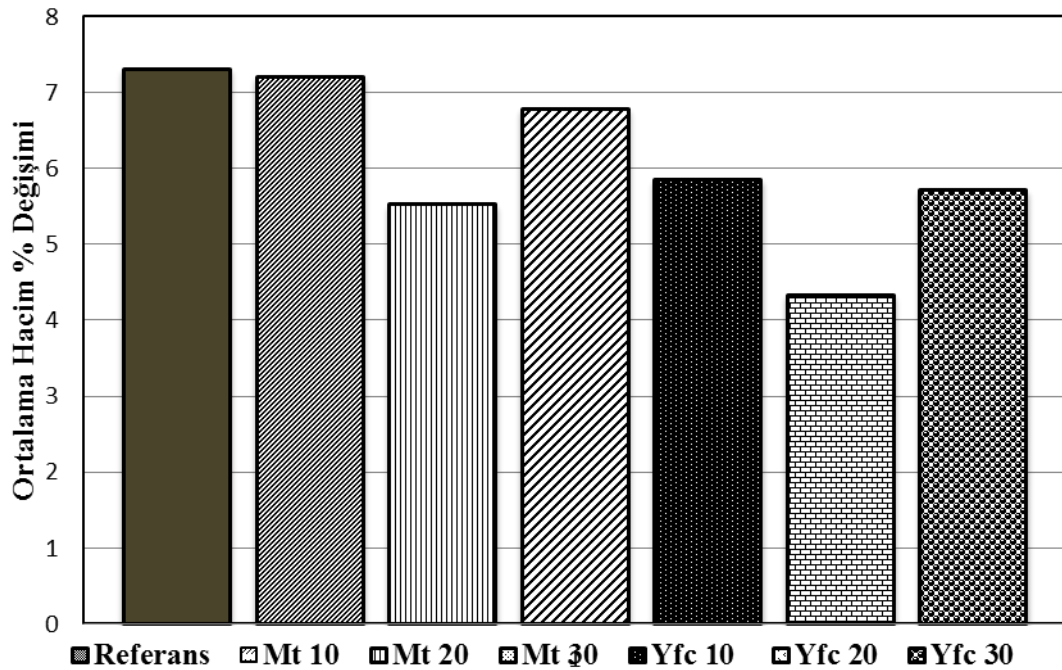
Sülfat deneyi sonuçlarında en iyi performansı YFC 20 serisi göstermiştir (% 0,0041). Bu sonucun elde edilmesinde çimento sektöründe sülfata dayanıklı çimento üretiminde de kullanılan YFC'nin, sülfat etkisine karşı gösterdiği dayanıklılık etkin rol oynamıştır. Ayrıca YFC katkısının iyileştirdiği işlenebilirlik özelliği sayesinde numuneler daha gözeneksiz olarak elde edilmiş böylece zararlı kimyasalların kompozit yapı içerisine ulaşması zorlaşarak hasar oluşumu azalmıştır. MT katkılı numunelerin sülfat deneyi sonrasındaki boy değişimlerinde sınır değerinin altında kalmıştır. Ancak YFC ile karşılaştırıldığında boy değişim oranlarının daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 4.8). Bunda MT'nin puzolanik özelliğinin bulunmaması ve kimyasal olarak yapısının sülfat direncine karşı iyileştirici rol oynamasının neden olduğu düşünülmektedir. MT serisi numuneler arasında en düşük boy değişimi oranı MT 10 numunesinde elde edilmiştir.



Şekil 4.9. Sülfat çözeltisindeki KYB numunelerinin 6 ay sonundaki boy değişimleri.

4.3.2. Aşınma Direnci Deneyi Sonuçları

Beton numuneleri üzerinde yapılan aşınma direnci deney sonuçları Şekil 4.8’de verilmiştir. KYB olmayan aynı çimento dozajında üretilen referans betonunun aşınma kaybı hacimsel olarak % 7,3 olarak belirlenmiştir. Bu değer KYB serileriyle karşılaştırıldığında en yüksek aşınma değeri olarak belirlenmiştir. KYB serilerinde ise en yüksek aşınma kaybı hacimce % 7,1 ile MT 10 numunesinde belirlenmiştir. En iyi aşınma performansını ise % 4,33 ile YFC 20 numunesi göstermiştir. MT katkılı serilerde ise en düşük aşınma değeri MT 20 serisinde elde edilmiştir. Aşınma değerleri incelendiğinde katkılı KYB karışımlarının aşınma direnci açısından referans numunesine göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Kullanılan katkı malzemeleri içinde en iyi aşınma direnci performansının ise YFC katkılı serilerden elde edildiği görülmüştür. Aşınma değerlerindeki bu davranış KYB serilerinin basınç dayanımı değerleriyle ters orantılı olduğu görülmüştür. Bu konuda özellikle YFC katkısının puzolanik özelliği ve boşluk doldurma yeteneği YFC serilerinin MT serilerine göre daha iyi performans göstermesine neden olmuştur.

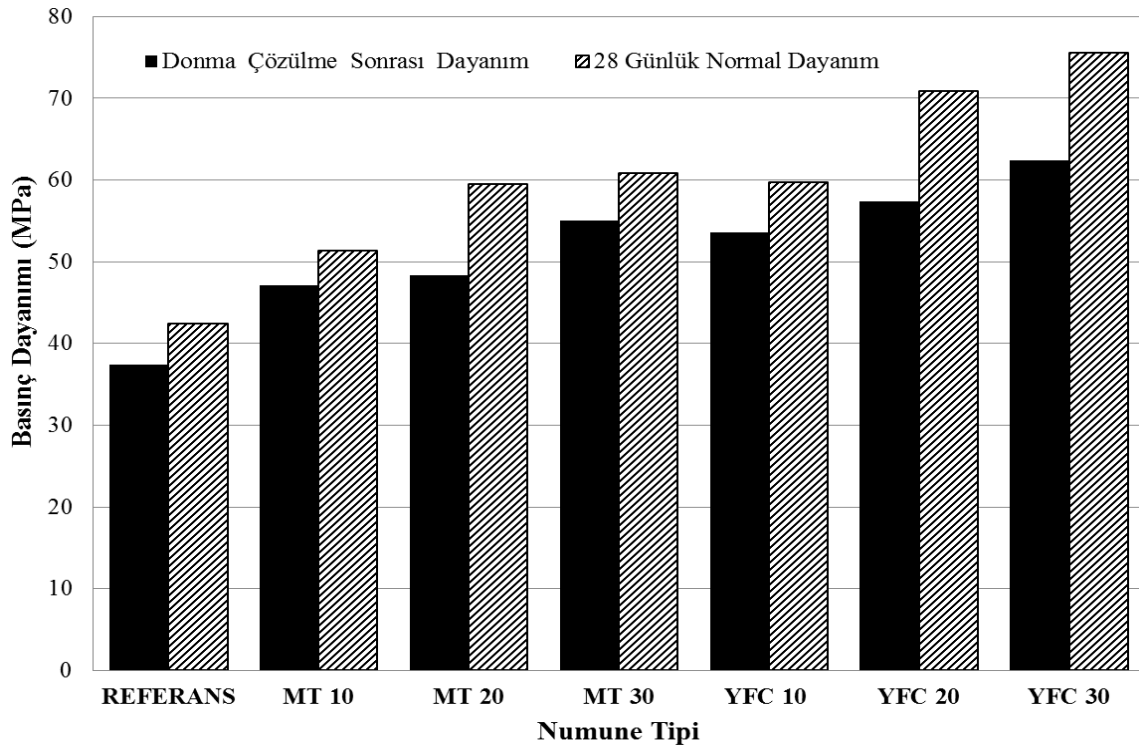


Şekil 4.10. Aşınma deneyi sonrasında hacimdeki ortalama azalma oranları.

4.3.3. Donma Çözülme Direnci Deney Sonuçları

Donma çözülme deneyi sonunda beton numunelerinde gözle görülebilen fiziksel bir bozulma yada ağırlık kaybı söz konusu olmamıştır. Bunda kullanılan yüksek çimento oranı ve kullanılan mineral katkı tipleri olduğu düşünülmektedir. Donma çözülme deneyi sonrasında beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 4.11’de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde dayanım kayıplarının donma-çözülme çevrimleri sonunda % 8 ile % 12 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Burada dikkat çekici olan husus MT ve YFC’li karışımlarda katkı oranının artmasıyla birlikte dayanım kayıplarının arttığı görülmüştür. Bunda KYB karışımında kullanılan MT ve YFC katkısının kompozit yapıdaki boşlukları doldurarak düşük hava içeriğine bağlı olarak bu boşluklarda donan suyun yarattığı iç gerilimin KYB içinde çatlak oluşturmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu olumsuzluğun önüne geçilebilmesi için KYB karışımında hava sürükleyici katkı kullanımının KYB’nin donma-çözülme direncini arttırmak amacıyla kullanılması önerilmektedir.



Şekil 4.11. Donma çözülme deneyi sonrasında yapılan beton basınç dayanımı ve işlem geçirmemiş betonun 28 günlük dayanım değerleri.

Donma çözülme deneyi sonrası numuneler üzerinde gerçekleştirilen civa porozimetresi deneyi ile KYB numunelerinin boşluk içeriği ve boşluk çaplarıyla ilgili fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Civa porozimetresi deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Civa porozimetresi deney sonuçları.

Numune tipi	Toplam boşluk alanı (m ² /g)	Ortalama boşluk çapı (µm)	Görünür yoğunluk (g/cm ³)	Porozite (%)
Referans	3,048	0,0604	2,5456	12,96
MT 10	4,986	0,0471	2,5346	10,49
MT 20	3,765	0,0442	2,5950	9,74
MT 30	5,271	0,0412	2,5084	11,99
YFC 10	2,575	0,0744	2,9002	11,19
YFC 20	4,805	0,0390	1,9849	8,49
YFC 30	1,314	0,0820	1,7256	4,44

Deney sonuçları incelendiğinde en yüksek porozitenin referans numunesinde olduğu görülmüştür. Bununla birlikte en düşük porozite değeri YFC 30 tipi KYB karışımında elde edilmiştir. Ayrıca en büyük boşluk çapının YFC 30 serisinde 0,0820 µm olduğu görülmüştür. Porozite değerlerinde ise en büyük porozite oranı ise %12,96 olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar dayanım kayıplarıyla karşılaştırıldığında ortalama boşluk çapı büyük olan ve buna karşılık porozitesi % 4,4. olan YFC 30 numunesinde en fazla dayanım kaybı ortaya çıkmıştır. Buna karşın dayanım kaybı oranları en küçük olan referans ve MT 10 serilerinde boşluk çapları daha küçük olup porozite değerleri sırasıyla % 12,96 ve % 10,49 olarak belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre hem basınç dayanımı kayıpları hemde civa porozimetresi deney sonuçları dikkate alındığında düşük poroziteye sahip olan numunelerin dayanım kayıplarının yüksek poroziteli olanlara göre daha fazla olduğu görülmüştür. Bunda düşük poroziteli numunelerin gözeneklerinde donan suyun oluşturduğu iç basıncın boşluk ağ yapısı tarafından deşarj edilemeyerek içyapıda çatlak oluşturduğu ve buna bağlı olarak dayanım kayıplarının ortaya çıktığı düşünülmektedir.

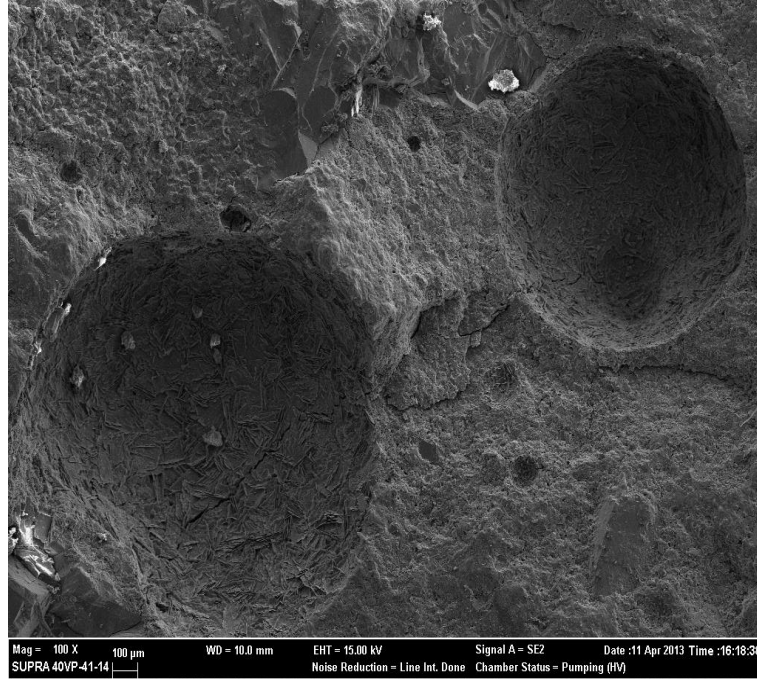
4.4. Mikroyapı İncelemeleri

Yapılan deneysel çalışmalarda, mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan beton numunelerinin mikroyapıları SEM yöntemiyle incelenmiştir. Mikroyapı incelemeleri Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi merkezi laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

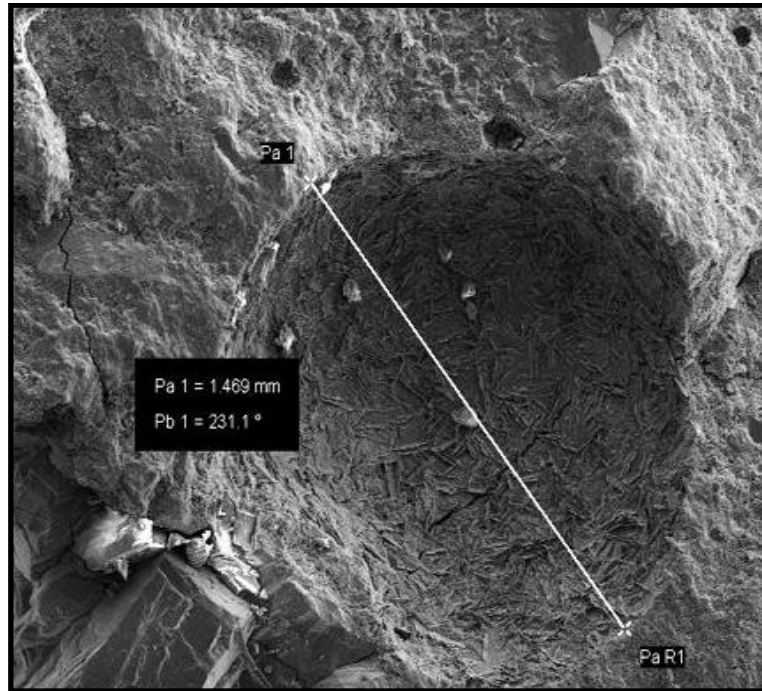
4.4.1 KYB Numunelerinin İçyapısı

Üretilen KYB numunelerinden çıkarılan kesitler üzerinde yapılan SEM analizlerinden referans numunesinin içyapısı ve boşluk çapı Şekil 4.12 ve 4.13'de verilmiştir. Referans numunesinin içyapısı incelendiğinde gözenekli bir yapının kompozit içerisinde dağıldığı görülmüştür. Referans numunesinin içinde bulunan gözenek çapı 1,469 µm değerine kadar çıktığı görülmüştür. Referans numunesindeki hapsolmuş hava miktarı

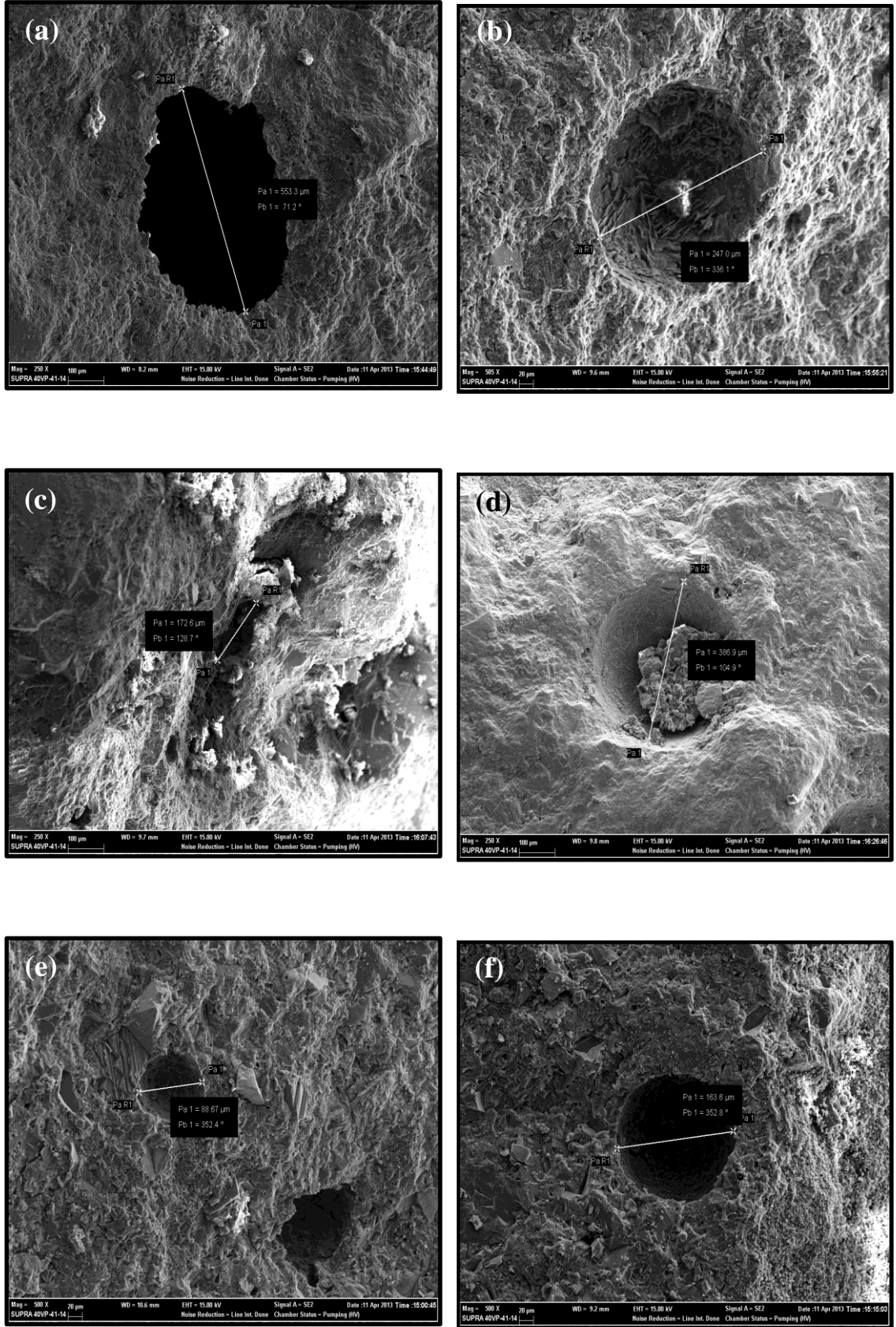
KYB numunelerine göre daha yüksek oranda olduğundan boşluk çapıda yüksek çıkmıştır. Bu nedenle civa porozimetresinden elde edilen % 12.96 porozite oranı sonucu içyapı görüntülerinde de açık bir şekilde tespit edilmiştir (Çizelge 4.4).



Şekil 4.12. Referans numunesinin gözenek yapısı



Şekil 4.13. Referans numunesinin boşluk çapı



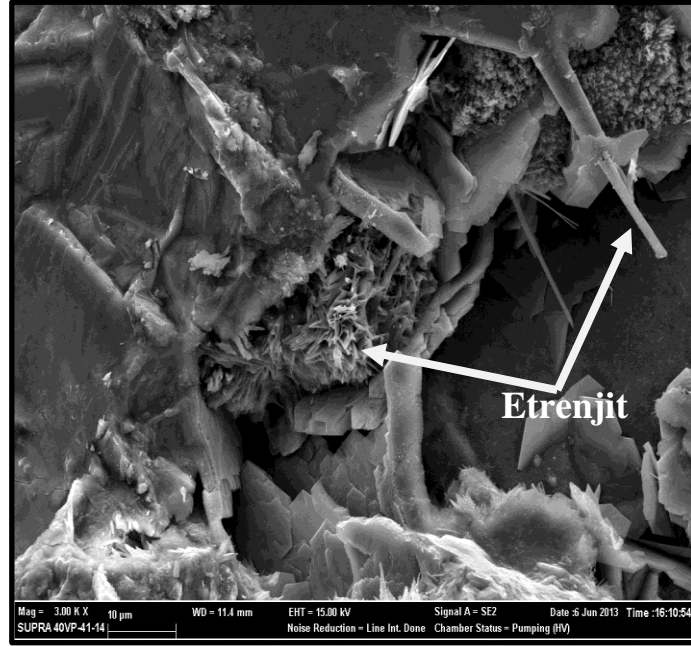
Şekil 4.14. KYB numunelerinin boşluk yapısı : (a) MT 10, (b) MT 20, (c) MT 30, (d) YFC 10, (e) YFC 20, (f) YFC 30.

Üretilen KYB numunelerinin SEM analizinden elde edilen içyapı görüntüleri Şekil 4.11’de verilmiştir. MT 10 serisi numunede gözlemlenen en büyük boşluk çapı 553,3 µm (Şekil 4.14 a) olarak belirlenmiştir. Bu değer referans numunesiyle karşılaştırıldığında yaklaşık üçtebir oranında daha düşük bir boşluk çapı değeridir. Ancak KYB serilerinin kendi içerisindeki değerler arasında en yüksek boşluk çapı MT 10 serisinde ortaya çıkmıştır. MT katkılı KYB numuneleri içinde en düşük boşluk çapı Şekil 4.13 c’de görülen MT 30 serisinde elde edilmiştir.

Tüm seriler içerisinde en küçük boşluk çapı YFC 20 serisinde elde edilmiştir. Şekil 4.14 e’de görüldüğü gibi bu değer 86,67 µm olarak ölçülmüştür. Bu sonuç basınç dayanımı deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında YFC 20 serisi basınç dayanımının yüksek çıkmasının düşük boşluk çapı ve oranına bağlı olduğunu göstermektedir. Benzer olarak Şekil 4.8’de verilen aşınma deneyi sonuçlarında da YFC 20 serisinin gözenek dağılımının küçük olması en iyi aşınma direncinin bu numunede elde edilmesine neden olmuştur. YFC serileri içerisinde en büyük boşluk çapı ise YFC 10 serisinde elde edilmiştir. Boşluk çapının Şekil 4.14 d görüldüğü gibi 386,9 µm ve poroziteninde civa porozimetre deney sonuçlarına göre %11,19 olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.4). İçyapı görüntülerinin genel değerlendirilmesi sonucunda KYB’nin yüksek işlenebilirliği nedeniyle normal referans betonuna göre daha küçük hava boşluk çaplarına sahip olduğu tespit edilmiştir. Katkı tipinin boşluk çapına etkisi dikkate alındığında ise YFC katkısının MT’ye oranla daha iyi doldurduğu görülmüştür. Bunda YFC’nin puzolanik özelliğinin rol oynadığı düşünülmektedir.

4.4.2. Sülfat Deneyi Sonrası Numunelerin İç Yapısı

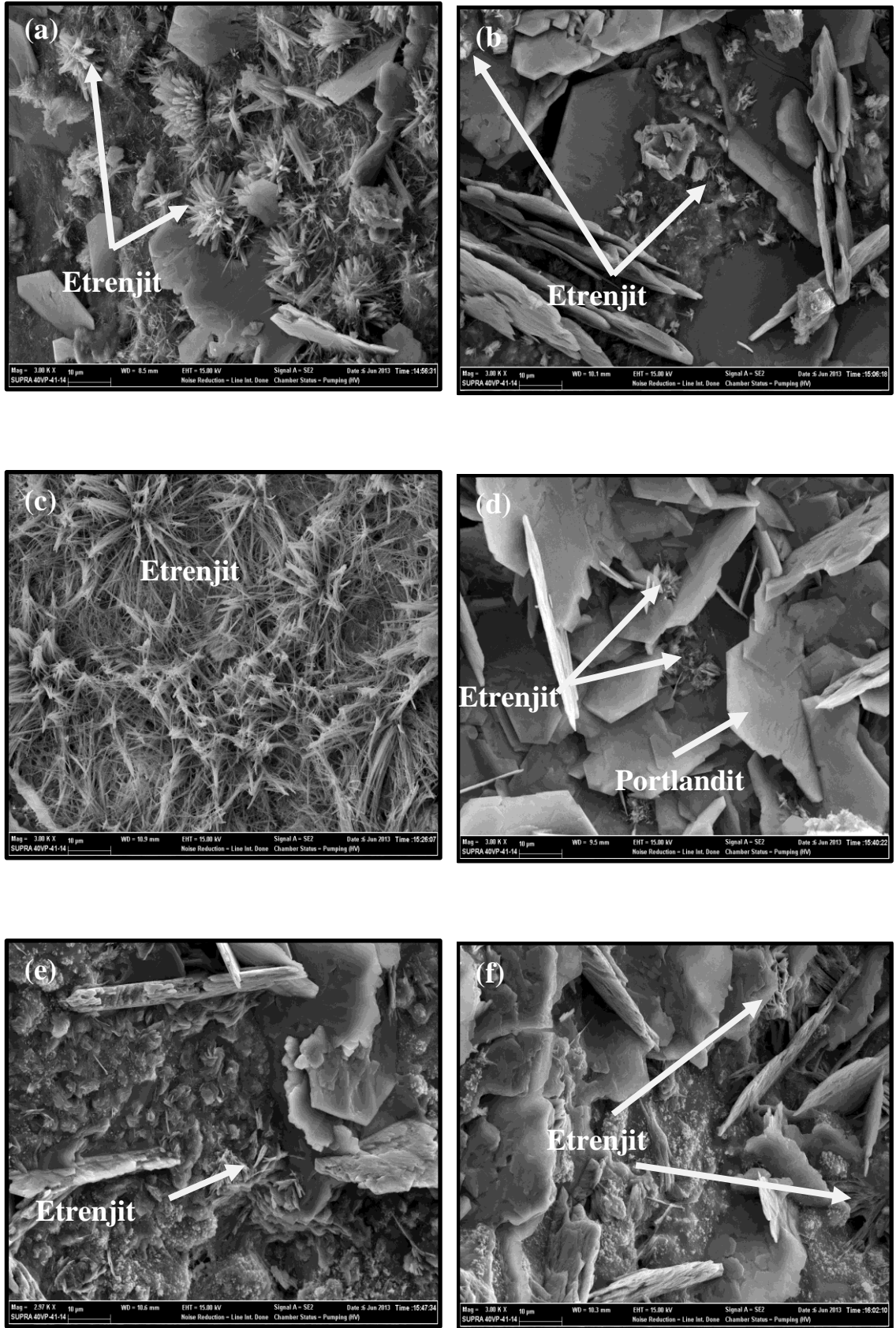
Sülfat çözeltisinde 6 ay süre ile şartlandırılan harç numunelerinin içyapılarındaki değişim SEM analizi ile belirlenmiştir. Referans numunesinin sülfat direnci deneyi sonrası 3000x büyültme ile çekilen içyapı görüntüsü Şekil 4.15’de verilmiştir. İçyapı görüntüsü incelendiğinde herhangi bir mineral katkı içermeyen referans numunesinin içyapısında iğnemi yapıli etrenjit kristallerinin oluşumu açık bir şekilde görülmektedir. Ortamdaki nemin varlığı ile kompozit içerisinde genleşme oluşturan etrenjit kristalleri betonda zamanla hasar oluşumuna neden olabilmektedir. Referans numunesindeki bu etrenjit oluşumu sülfat deneyi boy değişimi sonuçlarında dikkate alındığında (Şekil 4.6) en büyük boy değişim oranının referans numunesinde ortaya çıkmasını açıklamaktadır.



Şekil 4.15. Sülfat etkisinde kalmış Referans numunesinin içyapısı.

Sülfat etkisinde kalmış KYB serisi numuneleri 6 ay sonundaki içyapı incelemeleri Şekil 4.15’de verilmiştir. YFC sülfat etkilerine karşı iyi performans gösterdiği bilinen bir mineral katkıdır. İçyapıların genel incelemesi sonucunda YFC katkılı numunelerinde etrenjit oluşumunun yok denecek kadar az olduğu görülmüştür (Şekil 4.16 d-e-f). KYB serilerinde en fazla etrenjit oluşumu Şekil 4.16 c’de görülen MT 30 serisi numunede gözlemlenmiştir. Bu görüntüdeki yoğun etrenjit varlığı Şekil 4.6’daki boy değişim oranları ile birlikte değerlendirildiğinde, MT 30 serisi numunenin sülfat etkisinde referans numunesinden sonra en büyük boy değişiminin nedenini açıklamaktadır.

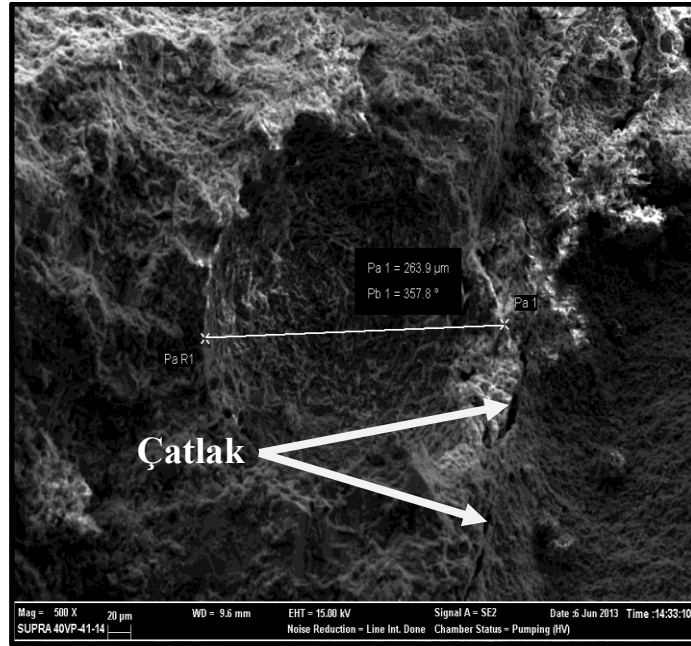
Sülfat deneyi sonucunda YFC katkılı serilerin içyapıları incelendiğinde YFC 10 serisi numunede çok küçük boyutlu etrenjit kristalleri ve portlandit plakları gözlenmiştir (Şekil 4.16 d). YFC 20 serisi sülfat numunesinin 3000x büyütmeyle incelenen içyapısında da etrenjit oluşumunun çok düşük olduğu görülmektedir. En yüksek YFC katkı oranı içeren YFC 30 serisinde ise YFC 20 serisinde olduğu gibi düşük oranda etrenjit kristali oluşumu görülmüştür (Şekil 4.16 f). Bu incelemeler Şekil 4.6’da verilen boy değişim oranları ile birlikte değerlendirildiğinde sülfat deneyi sonucunda en düşük genleşme oranını veren YFC 20 ve YFC 30 serisi numunelerin bu davranışını görsel olarakta açıklamaktadır.



Şekil 4.16. Sülfat etkisinde kalmış KYB numunelerinin içyapısı : (a) MT 10, (b) MT 20, (c) MT 30, (d) YFC 10, (e) YFC 20, (f) YFC 30.

4.4.3. Donma Çözülme Deney Numunelerinin İçyapısı

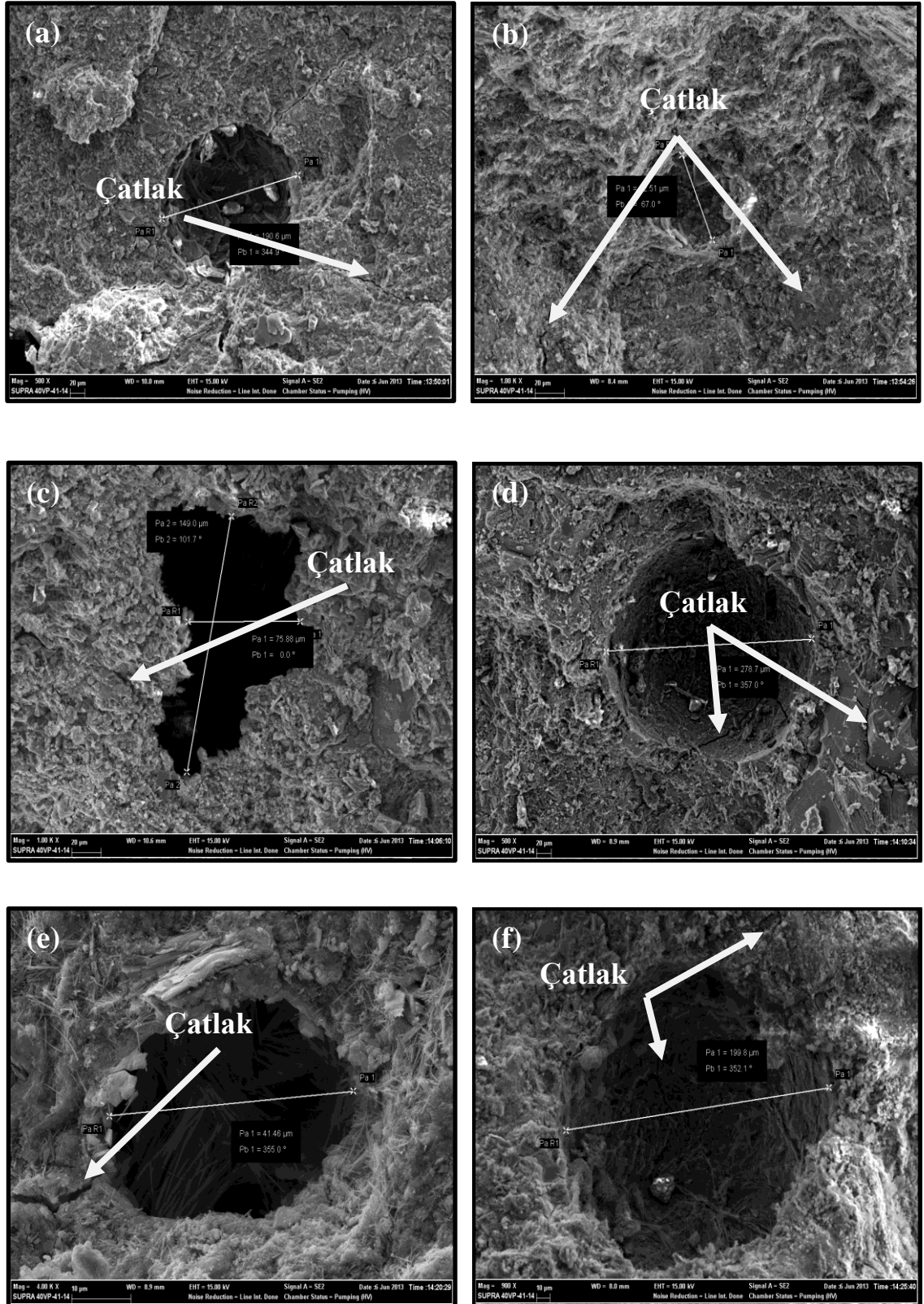
Toplamda 30 çevrim donma çözülme etkisinde kalan beton numunelerinin donma çözülme deneyi sonucunda içyapılarında meydana gelen değişiklikler SEM analizi ile incelenmiştir. Referans numunesinin donma çözülme deneyi sonunda içyapı görüntüsü Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Donma çözülme etkisinde kalmış Referans numunesinin içyapısı.

Gözenek yapısı KYB serilerine göre daha yoğun ve büyük olan referans numunesinin boşluklarında donan suyun boşluk-kompozit arayüzeyinde oluşturduğu çatlaklar Şekil 4.17’de açıkça görülmektedir. Referans numunesinde donma çözülme deneyi sonrasındaki dayanım kaybı bu çatlaklardan kaynaklanmıştır.

KYB serilerinin donma çözülme deneyi sonundaki içyapı görüntüleri Şekil 4.18’de verilmiştir. MT 10 serisi numunenin iç yapısı incelendiğinde çatlak gelişiminin hava boşluğunun hemen bitişiinden başladığı görülmektedir (Şekil 4.18 a). MT 20 serisinde ise çatlak oluşumu ise hava boşluğu bağlayıcı faz arayüzeyinden daha içeride gerçekleşmiştir (Şekil 4.18 b). MT 30 serisinde ise hasar oluşturacak bir çatlak oluşumu tesbit edilememiştir. Bu nedenledirki donma çözülme deneyi sonrasında dayanım kaybı MT 30 serisinde diğer KYB serilerine göre daha küçük gerçekleşmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.18. Donma çözülme etkisinde kalmış KYB numunelerinin içyapısı : (a) MT 10, (b) MT 20, (c) MT 30, (d) YFC 10, (e) YFC 20, (f) YFC 30.

YFC katkılı donma çözülme numuneleri incelendiğinde YFC 10 serisinde çatlak oluşumunun gözenek içinden başlarak gözenek dışına doğru uzandığı görülmektedir (Şekil 4.15 d). Dayanım kaybının oranının diğer serilere göre daha yüksek olduğu YFC 20 ve YFC 30 serilerinin iç yapıları incelendiğinde suyun donduğu gözeneklerden başlayan çatlak genişliğinin daha büyük olduğu görülmüştür. Bu davranışa YFC 20 ve YFC 30 serilerinin düşük porozitesi ve dağılımı az olan hava boşlukları neden olmuştur. Düşük hava boşlukları donma sonucu ortaya çıkan iç basıncın deşarj edilmesine olanak tanımamaktadır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

KYB karışımında filler malzeme olarak MT ve YFC kullanımıyla betonun, taze ve sertleşmiş özelliklerindeki değişimi incelemek amacıyla yapılan deneysel çalışmalar sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kendiliğinden yerleşen betonun işlenebilirlik özelliklerinin çok iyi olması boşluksuz kompozit bir yapının elde edilmesine ve beton yerleştirme işçilik maliyetlerinin azalmasına neden olacağı görülmüştür.
- İşlenebilirlik deney sonuçlarından %10 üzerinde MT kullanımının işlenebilirliği olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. YFC katkılı numunelerde ise işlenebilirlik kaybı % 30 ve üzeri oranlarda ortaya çıkmıştır.
- KYB’larda MT ve YFC kullanımının farklı oranlarda değişik özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Bu nedenle KYB kullanımı öncesi deneme üretimleri yapılarak ilgili tasarımın uygunluğu kullanılan katkı türünün inceliğine ve gözenekliliğine bağlı olarak kontrol edilmelidir.
- KYB’nin fiziksel ve mekanik özelliklerinin aynı çimento dozajına sahip normal beton özellikleri ile karşılaştırıldığında belirgin olarak daha iyi olduğu görülmüştür. Numune yaşı 28 gün olan numunelerde basınç dayanımı değerlerinin referans betonuna göre KYB serilerinde % 21 ile % 78 arasında değişen oranlarda daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu karışımlarda en iyi dayanım performansının YFC 30 serisi KYB betonunda elde edildiği görülmüştür.
- Basınç dayanımları değerlendirildiğinde YFC katkısının dayanıma MT katkısına göre daha olumlu etkidiği belirlenmiştir. Bu etki farkının % 12 ile % 20 arasında değiştiği görülmüştür. Bunda YFC’nin puzolanik özelliğinin rol oynadığı düşünülmektedir.
- KYB numunelerinin mikroyapısı ve gözenekliliği incelendiğinde deney sonuçlarından MT ve YFC katkısının boşluk doldurma açısından önemli katkısı olduğu belirlenmiştir.
- Sülfat direnci deney sonuçları dikkate alındığında en iyi performansı YFC katkılı numunelerin gösterdiği görülmektedir. Bu davranışa YFC’nin sülfat etkisine karşı etkili bir puzolanik malzeme olması neden olmuştur.

- Aşınma özellikleri açısından porozitesi düşük olan KYB numunelerinin normal referans betonuna göre daha iyi bir performans gösterdiği görülmüştür. Aşınma direnci açısından en iyi performansı YFC 20 ve MT 20 karışımlarının gösterdiği belirlenmiştir.
- Donma çözülme direnci açısından MT ve YFC katkısının belirgin bir etkisi tespit edilememiştir. Ancak KYB numunelerinin hava içeriğinin normal betona göre az olması hasar oluşumunu hızlandırmıştır.
- Elde edilen sonuçlardan mermer tozu ve yüksek fırın cürufunun kendiliğinden yerleşen beton üretiminde filler malzeme olarak kullanılmasının betonun mekanik özelliklerini ve kalıcılık özelliklerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Bu nedenle KYB üretiminde MT ve YFC kullanımı hem beton performansını artıracak hem de çevresel sorunlara yol açan atıkların değerlendirilmesinde önemli bir alan olacaktır.
- Bu çalışmanın ileriki aşamalarında KYB'nin farklı kalıcılık özellikleri de incelenerek araştırma yapılabileceği önerilmektedir.
- KYB'nin işlenebilirlik özelliklerinin belirlenmesi için kullanılan deney yöntemlerinin birçoğu laboratuvar ortamında deney yapılmasını gerektirmektedir. Taze KYB'nin boşluk doldurma, geçiş kabiliyeti ve ayrışma direnci özelliklerinin şantiye koşullarında da kolaylıkla belirlenebileceği, uygulanması kolay ve kullanıcı hatalarını minimuma indirecek basit deney yöntemlerinin geliştirilmesi uygun olacaktır.
- KYB teknolojisinde gittikçe daha geniş uygulama alanı bulan mineral katkıların ve viskozite arttırıcı toz malzeme kullanımının akışkanlaştırıcı katkılarla uyumunun dayanım ve dayanıklılık açısından incelenmesi çalışmalarına ağırlık verilmelidir.

6. KAYNAKLAR

- Alyamaç, K. E., Ince, R., A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders, *Construction and Building Materials*, 1-10, (2008).
- Aitcin, P. C., “Cements of yesterday and today concrete of tomorrow”, *Cement and Concrete Research*, 1349-1359, (2000).
- Anieke, M., Wierenga, Albert, P., Philipse, “Low-Shear Viscosities of Dilute Dispersions of Colloidal Rodlike Silica Particles in Cyclohexane”, *Journal Of Colloid And Interface Science*, 180, 360–370, (1996)
- Armatest Laboratuvar Test Cihazları İmalat İthalat İhracat Ticaret Limited Şirketi, <http://www.armatest.com/Lazerli%20B%C3%BCz%C3%BClme%20ve%20BT2%20Reometre.pdf> , 2014.
- ASTM International, ASTM C 1012-04, “Standard test method for length change of hydraulic-cement mortars exposed to a sulfate solution”, 2004.
- Atlı, İ., “Farklı iri agrega içeriğinin kendiliğinden yerleşen betonların yüzey aşınma direncine etkisi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya, 2012.
- Colleparadi, M., “A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC)”, unpublished data, 10, (2001).
- Baradan, B., Felekoğlu, B., “Kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özellikleri”, *THBB Dergisi*, Cilt No: 222, Haziran (2004).
- Bartos, P. J. M., , “Testing-SCC: Towards new European Standards for Fresh SCC”, *First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete*, Z. Yu, C. Shi, K. H. Khayat and Y. Xie (The editors), China, 25-44. (2005)
- Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Laboratuvarı, <http://maral.bilecik.edu.tr/>, 2014.
- Bartos, P. J. M., Sonebi, M., Tamim, A.K., “Workability and Rheology of Fresh Concrete: Compendium of Tests”, *RILEM Technical Committee TC 145-WSM Workability of Special Concrete Mixes*. (2005).
- Brameshuber, W ., Uebachs, S., “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*, pp. 225-234. (2002).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Brouwers, H. J. H., Radix, H.J. “Self Compacting Concrete, Teorical and experimental of self-levelling concrete”, *Cement and Concrete Research*, 35, 2, 2116-2136, (2005).
- Byfors, J., “SCC is an important step towards industrialization of the building industry”, *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, 15-24. (1999).
- CEB (Comite Euro-International du Beton), Durable Concrete Structures, Lausanne: Thomas Telford Ltd, (1992).
- Courard, L., Darimont, A., Willem, X., Geers C., Degeimbre R., “Repairing Concretes with Self Compacting Concrete: Testing Methodology Assessment”, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, 267-274. (2002).
- Dehn F., “High Performance Self-Compacting Concretes for Bridge Construction”, *First North American Conference on the Design and Use of Self- Consolidating Concrete*, 433-438 (2002).
- Domone, P. L., Chai, H. W., “Design and testing of self-compacting concrete, Production Methods and Workability of Concrete”, *RILEM International Conference*, 199-208, 1996.
- Domone, P.L., Jin, J., Chai, H.W., “Optimum mix proportioning of self-compacting concrete,” *Innovation in Concrete Structures: Design and Construction, Proceedings of Creating with Concrete, University of Dundee*, Dundee,,277-285, 1999.
- Dowson A. J., “The application, self-compacting concrete (SCC) in precast products”, *BIBM 17th International Congress of the Precast Concrete Industry*, 8-10, Istanbul, (2002).
- EFNARC 2002, “Specification and Guidelines for Self-compacting Concrete, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems” (2002).
- EFNARC 2003, “Especificaciones y directries para el HAC, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems” (2003).
- Erdoğan, T.Y., “Beton”, *ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim AŞ.*, (2003).
- Eren Ö., Yılmaz, Z., “Değişik sıcaklıklarda kür edilen salt Portland çimentolu, yüksek fırın cürufu veya uçucu kül katkılı betonlarda dayanım gelişimi”, *İMO Teknik Dergi*, 23:3311-3322 (2004).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Erzengin, S., G., “Kimyasal katkıların çimento bazlı malzemelerin dayanımına, reolojisine ve mikro yapısına etkileri”, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Ankara, 2010
- Felekoğlu B., Yardımcı M.Y., Baradan B., “A Comparative Study on the Use of Powder and Chemical Types of Viscosity Enhancers in Self Compacting Concrete”, *Proceedings of the 3rd International Symposium on Self Compacting Concrete*, Iceland, 446-456, (2003).
- Felekoğlu, B., Önal, O., Özden, G., “Kendiliğinden Yerleşen Betonların Boşluk Yapısının Normal Betonla Karşılaştırılması”, **6. Ulusal Beton Kongresi**, İstanbul (2005).
- Felekoğlu, B., “A comparative study on the performance of sands rich and poor in fines in self-compacting concrete”, *Construction and Building Materials*, 646-654, (2006).
- Felekoğlu, B., “Kendiliğinden Yerleşen Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 2003.
- Ferraris, C.,F., “Measurement of the Rheological Properties of High Performance” *Concrete: State of the Art Report. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 104 (5); 461-478, 1999
- Ferraris, C.,F., Larrard, F., Martys, N., “Fresh Concrete Rheology Recent Developments. Materials Science of Concrete VI, Sidney Mindess and Jan Skalny eds”, *The American Ceramic Society*, 215-241, Westerville, (2001).
- Grauers, M., “Rational Production and Improved Working Environment Through Using Self Compacting Concrete”, *Brite EuRam BE96-3801 Project*, (2000).
- Gürdal, H., Yüceer, Z.,. “Türkiye ve Dünyada Kendiliğinden Yerleşen Beton Uygulamaları”, *Beton 2004 Kongresi Bildirileri*, 244-254 (2004).
- Hammer, T. A., Smeplass, S., Johansen, K., Fredvik, T., “Development of SCC with Focus on Low Cost”, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, 167-172, (2002).
- Hollingsworth, D., “Design and Use of Self-Consolidating Concrete”, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, 429-432, (2002).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Hughes, D. G., Knight, G. F., Mansky, E. F., "Self-Consolidating Concrete – Case Studies Show Benefits to Precast Concrete Producers", *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, 405-412, (2002).
- Jacobs, F., Hunkeler, F., "Design of self-compacting concrete for durable concrete structures", *Proceedings of the First International RILEM Symposium*, 397-410, (1999).
- Kavas, T. ve Sabah, E. "Sepiyolitın Lif Takviyeli Çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması." *4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, İzmir, 194-199, (2001).
- Khayat, K. H., Morin R., "Performance of Self-Consolidating Concrete Used to Repair Parapet Wall in Montreal", *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, 475-481, (2002).
- Khayat K.H., Guizani Z., "Use of Viscosity-Modifying Admixture to Enhance Stability of Fluid Concrete", *ACI Materials Journal*. 332-340. (1997)
- Khurana R., Topçu O., "Role of Superplasticizers in the development of self compacting concrete", *Second International Symposium on Cement and Conc. Tech. in the 2000s, Volume I*, Istanbul, 473-482, (2000).
- Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., "Concrete Microstructure, Properties, and Materials", *McGraw Hill*, 2006.
- Martin D. J., "Economic Impact of SCC in Precast Applications", *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, 153-158. (2002)
- Moranville, Regourd, M. "Cements Made From Blastfurnace Slag", *Lea's Chemistry of Cement and Concrete*, 4th, Elsevier, 1988.
- Neville, A. M., "Properties of Concrete", Addison Wesley Longman Limited, 4th, *Essex*, England, 1995.
- Newman, J., Choo, B., S., "Advanced Concrete Technology", *Butterworth-Heinemann*, 9/1-17, 2003.
- Nornberg, J., Peterson, Ö., ve Billberg, P., "Effect of new generation superplasticizers on the properties of fresh concrete", *Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Proceedings*, 173, 583-98, (1997).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Okamura, H., Ouchi, M., “Self Compacting Concrete. Development, Present Use and Future”, *Proceedings of the First International RILEM Symposium, Stockholm, Sweden*, 3-14. (1999).
- Osterberg, T., “The Use of SCC in the Sodri Lanken Project”, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, 445-450, (2002).
- Ouchi, M., “Self-compacting concrete Development, applications and investigations”, *Nordic Concrete Research Commitee Publications*, 5-9. (1999).
- Ozawa, K., Maekawa, Kunishima, H., Okamura,H.,. “Performance of concrete based on the durability design of concrete structures”,*Proceedings of the Second East-Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, 3-14, (1989).
- Özkul, M.H., Dogan, A.U., Cavdar, Z., Saglam, A.R. ve Parlak, N., “Effects of self compacting concrete admixtures on fresh and hardened concrete properties, Proceedings”, *Cement and Concrete Technology in the 2000’s, Second International Symposium*, İstanbul, (2000).
- Özkul, M.H., Dogan, A.U., Cavdar, Z., Saglam, A.R. ve Parlak N., “Properties of fresh and hardened concretes prepared by new generation superplasticizers, Proceedings”, *Creating with Concrete, International Conf. On Modern Concrete*, (1999).
- Özkul, M. H., Sağlam, A. R., Parlak, N., Doğan, A., “Kendiliğinden Yerleşen Beton ve Katkı-Çimento Uyumu”, *Beton 2004 Kongresi Bildirileri*, 213-224, (2004).
- Petersson, Ö., Billberg, P., Van, B. K., “A model for self-compacting Concrete, *Proceedings of International” RILEM Conference on Production Methods and Workability of Concrete*, 483-490. (1996).
- Pekmezci B. Y., Atahan H. N., “Kimyasal ve Nano Katkılar: Betonda Kullanımı ve Beton Performansına Etkileri”, *Beton 2013- Hazır Beton Kongresi*, 239-264, İstanbul, (2013).
- Ponikiewski, T., “The rheology of fresh steel fibre reinforced self-compacting mixtures”, *Architecture Civil Engineering Environment*, No:2/2011, 65-72, (2011)
- Reknes, K., Petersen, B. G., “Self Compacting Concrete with lignosulphonate based superplasticizer”, *3rd International Symposium on SCC*, Iceland, (2003).
- Sağlam, A., R., Özkul, M., H., “Kendiliğinden yerleşen betonların reolojik özelliklerine bileşim parametrelerinin etkisi”, *İtü Dergisi*, Cilt:5, Sayı:1b, 239-250, (2006)

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Sarıdemir, H., “Mineral ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılarının Kendiliğinden Yerleşen Betonun İşlenebilme Ve Basınç Dayanımına Etkisi”, *Ercies Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 2006.
- Selçuk Üniversitesi İleri Teknoloji Arştırma Uygulama Merkezi Müdürlüğü, <http://www.selcuk.edu.tr/Sayfa.aspx?birim=228&sayfa=5874&dt=1>, 2014
- Şengül, C., “Kendiliğinden Yerleşen Çelik Lif Donatılı Betonların Mekanik Davranışına Su/İnce Malzeme Oranı ile Lif Dayanımının Etkisi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2005.
- Taşdemir, C., Atahan, H. N. “Filler malzemelerin betonun mekanik özelliklerine ve durabilitesine etkisi.” *1. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 251-265, (1996).
- Toktay, M., Erdoğan, K., “Cürufklar ve Cürufllu Çimentolar”, *TÇMB AR-GE/Y 97.2*, (1997).
- Toktay, M. Erdoğan, K., “Cürufklar ve cürufllu çimentolar”, *TÇMB/AR-GE/Y97.2*, Ankara, (1997).
- Topçu, İ. B., “ Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete” *Construction and Building Materials*, 23: 1947-1953, (2009)
- Topçu İ.B., Uygunoğlu T., Ünal O., “Kendiliğinden Yerleşen Betonda Mineral Katkıların Taze Beton Özelliklerine Etkilerinin Araştırılması”, *Yapıda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, (2007)
- Topçu İ. B., Yakaroğlu, S., “Taş Unu Kullanımının Beton Özelliklerine Etkisi”, *Hazır Beton Dergisi, THBB*, 29:67-70, (1998)
- TS 2824 EN 1338, “Zemin döşemesi için beton kaplama blokları - Gerekli şartlar ve deney metotları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara. (2005)
- TS 3449, ”Çabuk donma ve çözülme koşulları altında betonda dayanıklılık faktörü tayini”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara. (1980)
- TS EN 1008, “Beton karma suyu-Numune alma, Deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, Suyun, Beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12620, “Agrega Standartları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- TS EN 197-1, “Genel çimento bileşimi, özellikler ve uygunluk kriterleri”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 206-1, “Beton-özellik, performans, imalat ve uygunluk”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 934-2/1, “Beton katkıları-tarifler, özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme kuralları”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 934-2, Beton katkıları-tarifler, özellikler, uygunluk, işaretleme ve etiketleme”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Turcry, P., Loukili, A., Haidar, K., “Mechanical Properties, Plastic Shrinkage and Free Deformations of Self-Consolidating Concrete”, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, 335-340. (2002).
- Türkiye Hazır Beton Birliği, “Kendiliğinden yerleşen beton kılavuzu”, 2007.
- Tviksta, L. G., “Brite Euram Project: Rational Production and Improved Working Environment Through Using Self Compacting Concrete- FINAL REPORT: TASK 8.4 Quality control”, *NCC AB*, 28-30, (2000).
- Uğurlu, A., “Taşunu kullanımının beton özellikleri üzerindeki etkisi.” *1. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 303-323, (1996).
- Ural, N., Karakurt, C., ve Cömert, A. T., “Bilecik mermer ocağı atıklarının zemin iyileştirme ve beton üretiminde kullanımı.” *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, (2010).
- Uysal, M., “Mineral Katkılar Kullanılarak Üretilen Kendiliğinden Yerleşen Betonların Mekanik Özelliklerinin Ve Dayanıklılığının İncelenmesi”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Doktora Tezi, Sakarya, 2010.
- Uysal, M, Yılmaz, K, Ipek, M "Properties and behavior of self-compacting concrete produced with GBFS and FA additives subjected to high temperatures", *Construction And Building Materials*, Vol. 28, 321-326, (2012).
- Walraven, J., “Self-Compacting Concrete in the Netherlands”, *First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete*, 399-404, (2002).
- The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, www.efnarc.org.

KAYNAKLAR (Devam Ediyor)

- Yazıcı, H., “The effect of silica fume and high-volume Class C fly ash on mechanical properties, chloride penetration and freeze–thaw resistance of self-compacting concrete”, *Construction and Building Materials*, 456–462, (2008).
- Yeğınobalı, A., “Betonun Dayanıklılığı I, Fiziksel Etkenler”, *T.Ç.M.B. Çimento ve Araştırma Enstitüsü Seminer Notları*, Ankara, 1999.
- Yıldız, Ö. ve Eskikaya, Ş. “Afyon mermer toz atıklarının değeriendirilmesi.” *Türkiye I. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, Ankara, 45-52. (1995).

7. ÖZGEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Mahmut DUMANGÖZ
Doğum Yeri ve Tarihi : Trabzon / Of ve 31/12/1988

Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : 2006- 2011 : Sakarya Üniversitesi-SAKARYA ,Yapı Eğitimi Öğrt. Bölümü (Lisans)

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

Bilimsel Faaliyetleri : Dumangöz M., “Utilization of Waste Marble Dust and Blast Furnace Slag in Steel Fiber Reinforced Self Compacting Concrete” , *ISWA World Congress*, Vienna 7-11 October 2013 ,

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : Dumangöz İnşaat Ltd.Şti.-İSTANBUL

İletişim

Adres : Yavuz Selim Mah. İstasyon Cad. No: 4/1, Kırkpınar/Sapanca/SAKARYA

Tel: 0535 586 41 36

E-Posta Adresi : mahmutdumangoz@hotmail.com

Tarih:
İmza