

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA
BETON İLE DONATI ADERANSI İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ahmet BEYÇİOĞLU

**DOKTORA TEZİ
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**EKİM 2013
ANKARA**

Ahmet BEYÇİOĞLU tarafından hazırlanan “KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA BETON İLE DONATI ADERANSI İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı bu tezin

Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ
Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Yapı Eğitimi Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ahmet DURMUŞ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, KTÜ.

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, GÜ.

Prof. Dr. İ. Özgür YAMAN
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, ODTÜ

Prof. Dr. Salih YAZICIOĞLU
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, GÜ.

Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, GÜ.

Tez Savunma Tarihi: 07/10/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Ahmet BEYCİÖĞLU

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA
BETON İLE DONATI ADERANSI İLİŞKİSİNİN ARAŞTIRILMASI
(Doktora Tezi)**

Ahmet BEYÇİOĞLU

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Ekim 2013**

ÖZET

Bu çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonlarla (KYB) üretilen kiriş numunelerinde çelik, cam lifli ve bazalt lifli donatıların eğilmede aderans davranışları Belçika mafsallı kiriş (BMK) deneyi yöntemi ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

Tez kapsamında deneysel çalışmalar iki aşamada ele alınmıştır. Birinci aşamada; 1 tane kontrol, 6 tane farklı oranda mineral katkı (uçucu kül (UK)-yüksek fırın cürufu (YFC)) içeren ve 12 tane de mineral katkı ile birlikte agreganın yerine viskozite düzenleyici toz katkı (kalsit) içeren toplam 19 farklı karışıma sahip KYB’ler üretilmiştir. Üretilen KYB serilerinin taze beton deneyleri ile 7, 28 ve 90 günlük kür uygulamasından sonra sertleşmiş beton deneyleri gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada ise; 19 farklı KYB karışımı arasından seçilen 3 farklı beton türü ile her biri çelik, cam lifli ve bazalt lifli donatılar içeren 54 adet BMK numunesi üretilmiştir. Üretilen kirişler üzerinde 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda eğilmede aderans deneyleri gerçekleştirilmiştir. Böylece hem mineral katkıların aderansa etkileri incelenmiş hem de her bir beton türü için tüm donatıların aderans davranışları karşılaştırılmıştır.

Sonuç olarak, agreganın yerine kalsit ve çimentonun yerine mineral katkı kullanılması betonların reolojik özelliklerini olumlu etkilemiş, mineral katkıların yüksek hacimde ikamesinde normal betonlara kıyasla yeterli düzeyde mekanik performans gösterebilen betonlar üretilebilmiştir. Ayrıca mineral katkıların kür süresine bağlı olarak mekanik özellikleri geliştirdiği de görülmüştür. Eğilmede aderans deneylerinde ise gerek çekme dayanımı gerekse aderans performansları bakımından en kötü sonuçları cam lifli donatı göstermiştir. Bazalt lifli donatı ise istenen düzeyde çekme dayanımı ve bu çalışmada üretilen betonlarda nervürlü çelik donatıya benzer şekilde iyi bir aderans dayanımı göstermiştir. Bazalt ve cam lifli donatıların aderans davranışlarında ise nervür oluşturma yönteminin önemli bir etken olduğu sonucuna varılmıştır.

Bilim Kodu	: 714.1.143
Anahtar Kelimeler	: Kendiliğinden yerleşen beton, Eğilmede aderans, Cam lifli donatı, Bazalt lifli donatı, Çelik donatı
Sayfa Adedi	: 163
Tez Yöneticisi	: Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

**INVESTIGATION OF THE ADHERENCE BEHAVIOR BETWEEN
CONCRETE AND REINFORCEMENT ON SELF COMPACTING
CONCRETE
(Ph.D. Thesis)**

Ahmet BEYÇİOĞLU

**GAZİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
October 2013**

ABSTRACT

In this study, steel, glass fiber and basalt fiber rebars' adherence behaviors through bending were comparatively investigated with the method of Belgium hinged beam (BHB) in the samples of self compacting concrete (SCC).

Experimental studies were conducted in two stages within the thesis. In the first stage; SCC which have totally 19 different mixtures, including 1 control, mineral admixture (fly ash (FA)-granulated blast furnace slag (GBFS)) with 6 different rates, and viscosity modifier powder additive (calcite) instead of aggregate together with 12 mineral admixtures were produced. Fresh properties tests and hardened properties tests after 7, 28 and 90 days curing were conducted on produced SCC series. At the second stage, 3 different concrete types chosen among 19 different SCC mixtures. 54 samples of BHBs including basalt fiber rebar, glass fiber rebar and steel rebar were produced. By the help of the adherence tests through bending experiments conducted on produced beams after 28 and 90 days curing, both mineral admixtures' effects on

adherence were observed and all rebars' adherence behaviors for each type of concrete were compared.

In conclusion, using calcite instead of aggregate and using mineral admixture instead of cement positively affected concretes' rheological properties. When mineral admixtures substituted as high volume, in comparison with normal concrete, the concretes showing adequate mechanical performance had been able to be produced. Additionally, mineral admixtures were observed to have developed mechanical properties depending upon the duration of curing. In adherence tests through bending experiments, glass fiber rebar displayed the worst performance in terms of both tensile strength and adherence performance. Basalt fiber rebar displayed a tensile strength at the desired level and a good adherence performance similar to ribbed steel rebar in concretes produced within this study. It was concluded that the method of forming rib was an important factor in basalt and glass fiber rebars' adherence behaviors.

Science Code	: 714.1.143
Key Words	: Self compacting concrete, Bond strength at bending, Glass fiber rebar, Basalt fiber rebar, Steel rebar
Page Number	: 163
Supervisor	: Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

TEŞEKKÜR

Tez konusunu belirleyerek doktora sürecinin en zor kısmını en baştan çözüme kavuşturan, tez sürecimdeki çalışmalarımın tamamını başından sonuna kadar zaman kavramı olmaksızın ve sabırla takip eden, son derece anlayışlı ve bir o kadarda disiplinli tavırlarıyla çalışmanın gerçekleşmesine büyük katkıda bulunan tez danışmanım Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ'a,

Tez çalışmalarının tamamlanmasında, özellikle deneysel konularda önerdiği çözümler ve yardımlarıyla süreçleri kolaylaştıran tez izleme kurulu üyesi kıymetli hocam Prof. Dr. İ. Özgür YAMAN'a,

Tez çalışmaları boyunca ilgi, destek ve teşviklerinden ötürü tez izleme kurulu üyesi sayın hocam Prof. Dr.Salih YAZICIOĞLU'na ve Doktoraya Gazi Üniversitesinde başlamama olanak sağlayan bölüm başkanımız saygıdeğer hocam Prof. Dr. Metin ARSLAN'a,

Malzeme temini konusunda beklentilerimin çok üzerinde göstermiş oldukları ilgi ve destekleriyle çalışmaların tamamlanmasında büyük katkıları olan; İKSA beton katkıları Ltd. Şti.'ye, Esen Mikronize Maden San. ve Tic. A.Ş. Genel Müdürü Koray ÖZKARSLI, OYAK Bolu Çimento Ereğli Öğütme ve Paketleme Tesisi Mali İdari ve Satış Sorumlusu Ahmet GÜNAY, OYAK Bolu Çimento Kalite Kontrol Şefi Kimya Yüksek Mühendisi Selim TOPBAŞ, Spinteks Tekstil İnşaat San. ve Tic. A.Ş. Genel Müdürü Tekstil Mühendisi Yalın AYDIN, ESA Kimya Metal San. ve Tic. Ltd. Şti. Yönetim Kurulu Başkanı Kimya Yüksek Mühendisi Sinan ÖZDEMİROĞLU ve ARGE Mühendisi Arzu BAK'a,

Malzeme analizlerinde ve yorumlanmasında desteğini aldığım Dumlupınar Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu İnşaat Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Yılmaz KOÇAK, Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç Dr. Mustafa ÖZER ve Düzce Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarından Uzman Tayfun YARDIM'a,

Tez süresince desteklerini aldığım Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd.Doç.Dr. Bekir ÇOMAK, Uzman Emrah YILMAZ ve Arş. Gör. Sercan SERİN ile Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü öğretim elemanı Arş. Gör. Mustafa DAYI'ya ayrıca yardımları ile işlerimi kolaylaştıran başta Utku GÜNGÖR ve Sezgin KEÇİCİ olmak üzere kıymetli öğrencilerime,

Gazi Üniversitesine her gittiğimde samimiyetiyle, güler yüzüyle bana her konuda yardımcı olan ve çok şey öğrendiğim Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK'e

Deneyisel çalışmalarda görüşlerine başvurduğum ve bilgilerinden yararlandığım Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi saygıdeğer hocam Prof. Dr. Ing. Ahmet DURMUŞ ve kıymetli arkadaşım Arş. Gör. Dr. Mehmet Emin ARSLAN ile Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Doç. Dr. Mustafa ŞAHMARAN'a,

Elastisite modülü deneylerinin gerçekleştirilmesi için İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarlarının kullanımında ve deneylerin gerçekleştirilmesinde yardım aldığım İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Öğretim Üyesi Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU ve Arş. Gör. Dr. Serkan YATAĞAN'a,

Sadece tez çalışmalarımda değil tüm akademik hayatım boyunca teşekkürden çok daha fazlasını hak eden ve hayatımda önemli bir yere sahip olan saygıdeğer hocalarım Doç. Dr. Serkan SUBAŞI ve Doç. Dr. Ayhan ŞAMANDAR ile kıymetli arkadaşlarım Yrd. Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU ve Uzman Sedat KAYA'ya,

Çalışmalarımın her aşamasında desteğiyle bana güç veren, motive eden, maddi ve manevi sıkıntılarımızı güler yüzle ve anlayışla karşılayarak fedakârlıklarını hiçbir zaman esirgemeyen eşim Bilge BEYCİOĞLU ve oğlum Eymen Gökalp BEYCİOĞLU'na teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	x
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiv
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xvi
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xix
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	5
2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton.....	5
2.1.1. KYB’lerde tasarım ilkeleri.....	7
2.1.2. KYB’lerde kullanılan malzemeler.....	9
2.1.3. KYB’lerde taze beton deneyleri.....	11
2.1.4. KYB’lerin taze beton özelliklerine göre sınıflandırılması.....	18
2.2. Betonda Donatı Kullanımı ve Aderans.....	22
2.2.1. Aderans dayanımına tesir eden başlıca etkenler	23
2.2.2. Aderans deneyleri.....	27
2.3. KYB tasarımı ve beton-donatı aderansı ile ilgili önceki çalışmalar.....	34
2.3.1. KYB tasarımı ile ilgili önceki çalışmalar.....	34
2.3.2. Beton-donatı aderansı ile ilgili önceki çalışmalar.....	45

	Sayfa
3. MATERYAL ve METOT.....	54
3.1 Materyal.....	54
3.1.1 Agregas.....	54
3.1.2. Çimento.....	55
3.1.3. Mineral katkıları.....	56
3.1.4. Kalsit.....	56
3.1.5. Kimyasal katkı.....	57
3.1.6. Karışım suyu.....	58
3.1.7. Donatı çubukları	58
3.2. Metot.....	59
3.2.1. KYB’lerin tasarımı ve karışım oranlarının belirlenmesi.....	62
3.2.2. KYB ön deney numunelerinin hazırlanması	67
3.2.3. Taze beton deneyleri.....	67
3.2.4. Taze betonun kalıplara yerleştirilmesi	73
3.2.5. Deneylerde kullanılan numune boyutları ve kür şartları.....	74
3.2.6.Sertleşmiş beton deneyleri.....	75
3.2.7. BMK deneyi numunelerinin üretimi ve kür uygulaması.....	83
3.2.8. BMK deney düzeneği, yöntemi ve uygulanması	87
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	93
4.1. PÇ, UK, YFC ve Kalsit’in tane dağılımları ve mikro yapıları	93
4.2. Taze Beton Özellikleri	96
4.2.1 Birim ağırlık.....	96

	Sayfa
4.2.2. Çökmede yayılma	97
4.2.3. V-hunisi akma süresi	99
4.2.4. U-kutusu	100
4.2.5. L-kutusu	101
4.2.6. Orimet tüpü	103
4.2.7. J-ringi	104
4.3. Sertleşmiş Beton Özellikleri.....	106
4.3.1. Birim ağırlık, su emme ve porozite	106
4.3.2. Ultrases geçiş hızı	107
4.3.3. Yarmada çekme dayanımı	108
4.3.4. Basınç dayanımı	109
4.3.5. Elastisite modülü	119
4.3.6. Kılcal su emme	121
4.4. Beton-Donatı Aderans Özellikleri.....	122
4.4.1 Cam lifli donatı çubuğunun aderans performansı.....	124
4.4.2. Bazalt lifli donatı çubuğunun aderans performansı.....	133
4.4.3. Çelik donatı çubuğunun aderans performansı.....	139
4.4.4. Donatı çubuklarının aderans performanslarının karşılaştırılması	143
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	149
5. 1. Sonuçlar.....	149
5.1.1. KYB’lerle ilgili sonuçlar.....	149
5.1.2. Eğilmede aderans deneyleri ile ilgili sonuçlar.....	151

	Sayfa
5.2. Öneriler.....	152
KAYNAKLAR.....	154
ÖZGEÇMİŞ.....	163

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. EFNARC 2005’de KYB karışımı için önerilen sınır değerler.....	9
Çizelge 2.2. EFNARC (2002) KYB sınır değerleri.....	18
Çizelge 2.3. EFNARC (2005) KYB sınır değerleri ve sınıflandırması.....	19
Çizelge 3.1. Kullanılan agregaya ait bazı fiziksel özellikler.....	54
Çizelge 3.2. Kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri.....	55
Çizelge 3.3. YFC ve UK’ya ait kimyasal kompozisyon ve fiziksel özellikler.....	56
Çizelge 3.4. Kalsite ait fiziksel, kimyasal ve genel özellikler.....	57
Çizelge 3.5. Kimyasal katkıya ait özellikler.....	58
Çizelge 3.6. Kullanılan donatılara ait mekanik özellikler.....	58
Çizelge 3.7(a) 1 m ³ KYB Karışımına giren malzeme miktarları/oranları (UK).....	65
Çizelge 3.7 (b). 1 m ³ KYB karışımına giren malzeme miktarları/oranları (YFC) ..	66
Çizelge 3.8. Kullanılan KYB deney metotları.....	67
Çizelge 4.1. Çökmede yayılma deney sonuçları.....	97
Çizelge 4.2. V-hunisinden boşalma süreleri.....	100
Çizelge 4.3. U-kutusu seviye farkları.....	101
Çizelge 4.4. L-kutusu bloklanma oranı ve T200, T400, T600 ulaşma süreleri (s)..	102
Çizelge 4.5. Orimet tüpü geçiş süreleri.....	104
Çizelge 4.6. J-ringi deneyinin yorumlanmasında kullanılan parametreler.....	105
Çizelge 4.7. J-ringi deney sonuçları.....	105
Çizelge 4.8. Su emme ve porozite deney sonuçları.....	107
Çizelge 4.9. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları.....	107

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.10. Yarmada çekme deneyi sonuçları.....	109
Çizelge 4.11. UK ve YFC ikame oranına göre KYB’lerin basınç dayanımları	110
Çizelge 4.12. UK ve Kalsit kullanılan KYB’lerin basınç dayanımları.....	113
Çizelge 4.13. YFC ve Kalsit kullanılan KYB’lerin basınç dayanımları.....	116
Çizelge 4.14. KYB’lerin statik elastisite modülü değerleri	120
Çizelge 4.15. KYB’lerin kılcal su emme katsayıları.....	121
Çizelge 4.16. Cam lifli donatı çubuğunun gerilme-sıyrılma değerleri.....	125
Çizelge 4.17. Bazalt lifli donatı çubuğunun gerilme-sıyrılma değerleri.....	133
Çizelge 4.18. Çelik donatı çubuğunun gerilme-sıyrılma değerleri	139
Çizelge 4.19. Cam donatı kullanılan kirişten örnek veri okumaları.....	143

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Normal betonla KYB'nin hacimsel bileşenleri açısından karşılaştırılması.....	8
Şekil 2.2. Çökme-yayılma deney tablasının şematik görünümü ve ölçüleri.....	13
Şekil 2.3. V-hunisi deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri.....	14
Şekil 2.4. L kutusu deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri.....	15
Şekil 2.5. J halkası deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri.....	16
Şekil 2.6. U kutusu deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri.....	16
Şekil 2.7. Orimet tüpü deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri.....	17
Şekil 2.8. Merkezi çekip-çıkarma deneyinin şematik gösterimi.....	28
Şekil 2.9. Geliştirilmiş bazı merkezi çekip-çıkarma deney düzeneklerinin şematik gösterimi.....	29
Şekil 2.10. Dışmerkez çekip-çıkarma deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	30
Şekil 2.11. Bureau of standarts deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	31
Şekil 2.12. Texas çıkmalı kiriş deney düzeneği.....	32
Şekil 2.13. Standart Belçika mafsallı kiriş deney düzeneği.....	33
Şekil 3.1. KYB üretiminde kullanılan agrega granülometrisi.....	55
Şekil 3.2. Tez kapsamında gerçekleştirilen deney programı.....	61
Şekil 3.3. Agreganın gevşek birim hacim ağırlıkları ve boşluk hacmi yüzdeleri.....	63
Şekil 3.4. Ultrases geçiş hızı deneyinin şematik gösterimi.....	78
Şekil 3.5. Belçika mafsallı kiriş deney düzeneği.....	89
Şekil 4.1. PÇ,UK, YFC ve kalsit'in tane dağılımları	93
Şekil 4.2. Taze beton birim ağırlık sonuçları.....	96
Şekil 4.3. Çökmede yayılma deneyi sonuçları.....	98

Şekil	Sayfa
Şekil 4.4. Çökmede yayılma süresi sonuçları	99
Şekil 4.5. V-hunisinden akma süreleri (s).....	100
Şekil 4.6. U-kutusu seviye farkları (mm).....	101
Şekil 4.7. L-kutusu bloklanma oranı değerleri.....	103
Şekil 4.8. Orimet tüpü geçiş süreleri ve sınır değerler.....	104
Şekil 4.9. KYB'lerin birim ağırlık deney sonuçları.....	106
Şekil 4.10. KYB'lerin ultrases geçiş hızı bulguları ve sınır değerler.....	108
Şekil 4.11. KYB'lerin yarmada çekme dayanımı-basınç dayanımı ilişkisi.....	109
Şekil 4.12. KYB'lerin basınç dayanımının UK ikame oranına bağlı olarak rölatif karşılaştırması	111
Şekil 4.13. KYB'lerin basınç dayanımının YFC ikame oranına bağlı olarak rölatif karşılaştırması	112
Şekil 4.14. KYB'lerin basınç dayanımının %20 UK ve kalsit kombinasyonuna bağlı olarak rölatif karşılaştırması	113
Şekil 4.15. KYB'lerin basınç dayanımının %40 UK ve kalsit kombinasyonuna bağlı olarak rölatif karşılaştırması	114
Şekil 4.16. KYB'lerin basınç dayanımının %60 UK ve kalsit kombinasyonuna bağlı olarak rölatif karşılaştırması	115
Şekil 4.17. KYB'lerin basınç dayanımının %20 YFC ve kalsit kombinasyonuna bağlı olarak rölatif karşılaştırması	117
Şekil 4.18. KYB'lerin basınç dayanımının %40 YFC ve kalsit kombinasyonuna bağlı olarak rölatif karşılaştırması.....	118
Şekil 4.19. KYB'lerin basınç dayanımının %60 YFC ve kalsit kombinasyonuna bağlı olarak rölatif karşılaştırması.....	119
Şekil 4.20. Referans KYB'de cam lifli donatının 28 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	126

Şekil	Sayfa
Şekil 4.21.Referans KYB’de cam lifli donatının 90 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	126
Şekil 4.22. K401 kodlu KYB’de cam lifli donatının 28 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	129
Şekil 4.23. K401 kodlu KYB’de cam lifli donatının 90 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	129
Şekil 4.24. C401 kodlu KYB’de cam lifli donatının 28 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	131
Şekil 4.25.C401 kodlu KYB’de cam lifli donatının 90 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	131
Şekil 4.26. Referans KYB’de bazalt lifli donatının 28 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	134
Şekil 4.27.Referans KYB’de bazalt lifli donatının 90 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	134
Şekil 4.28. K401 kodlu KYB’de bazalt lifli donatının 28 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	135
Şekil 4.29. K401 kodlu KYB’de bazalt lifli donatının 90 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	137
Şekil 4.30. C401 kodlu KYB’de bazalt lifli donatının 28 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	138
Şekil 4.31. C401 kodlu KYB’de bazalt lifli donatının 90 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi.....	138
Şekil 4.32. Referans KYB’de çelik donatının 28 günlük yük-sıyrılma ilişkisi.....	140
Şekil 4.33. Referans KYB’de çelik donatının 90 günlük yük-sıyrılma ilişkisi	140
Şekil 4.34. K401 kodlu KYB’de çelik donatının 28 günlük yük-sıyrılma ilişkisi....	141
Şekil 4.35. K401 kodlu KYB’de çelik donatının 90 günlük yük-sıyrılma ilişkisi....	141
Şekil 4.36. C401 kodlu KYB’de çelik donatının 28 günlük yük-sıyrılma ilişkisi....	142
Şekil 4.37. Şekil 4.37. C401 kodlu KYB’de çelik donatının 90 günlük yük-sıyrılma ilişkisi.....	142

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Yapay donatı çubukları.....	26
Resim 3.1 Aderans deneylerinde kullanılan donatılar.....	59
Resim 3.2. Çökme yayılma tablası hazırlanması ve deneyin uygulanışı.....	68
Resim 3.3. V-Hunisi deneyinin uygulanışı.....	69
Resim 3.4. L-kutusu deneyinin uygulanışı.....	70
Resim 3.5. U-kutusu deneyinin uygulanışı.....	71
Resim 3.6. J-ringi deneyinin uygulanışı.....	72
Resim 3.7. Orimet tüpü deneyinin uygulanışı.....	73
Resim 3.8. Kullanılan kalıplar-kalıplara betonların yerleştirilmesi.....	73
Resim 3.9. Kür havuzunda bekletilen KYB numuneleri.....	74
Resim 3.10. Segregasyon için gözlem yapılan KYB numuneleri.....	75
Resim 3.11. Tek eksenli pres.....	79
Resim 3.12. Yarmada çekme deneyinin uygulanması.....	80
Resim 3.13. Statik elastisite deneyi uygulaması.....	81
Resim 3.14. Kılcal su emme deneyi uygulaması.....	82
Resim 3.15. Kirişlerin üretiminde kullanılan kalıplar.....	83
Resim 3.16. Donatının kenetlenme boyunun sınırlandırılması.....	84
Resim 3.17. Kalıptan çıkarılan kiriş numuneleri	85
Resim 3.18. Üretilen ve kür uygulanan tüm kiriş numuneleri	86
Resim 3.19. Potansiyometrik cetvellerin kalibrasyonu.....	91
Resim 3.20. BMK deneyinin uygulanışı.....	92

Resim	Sayfa
Resim 4.1. UK’ya ait SEM görüntüsü	94
Resim 4.2. YFC’ye ait SEM görüntüsü	95
Resim 4.3. Kalsite ait SEM görüntüsü	95
Resim 4.4. Eğilmede aderans deneyi yapılan bazı BMK numuneleri	124
Resim 4.5. Kesme çatlağı oluşan K401 kodlu KYB kiriş numunesi	136
Resim 4.6. Cam lifli donatıda sarılmış olan helisel liflerin kopması.....	144
Resim 4.7. Kesme çatlağı oluşan kirişte bazalt lifli donatının yüzey görünümü (1.Kiriş).....	145
Resim 4.8. Kesme çatlağı oluşan kirişte bazalt lifli donatının yüzey görünümü (2.Kiriş).....	146
Resim 4.9. Kesme çatlağı oluşan kirişte bazalt lifli donatının yüzey görünümü (3.Kiriş).....	146
Resim 4.10. Cam lifli donatının yüzey özellikleri.....	147
Resim 4.11. Bazalt lifli donatının yüzey özellikleri.....	147

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış olan simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
ℓ_b	TS-500’de çekme donatısı için verilen kenetlenme boyu
f_{ctd}	Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{yd}	Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
$\emptyset$	Donatı çapı
V_{bh}	Agrega karışımındaki boşluk hacmi yüzdesi
W	Agrega karışımının gevşek birim hacim ağırlığı
a	Karışımındaki ince agrega/toplam agrega oranını
ρ_c	İri agreganın kuru özgül ağırlığı
ρ_f	İnce agreganın kuru özgül ağırlığı
τ_b	Aderans gerilmesi
σ_s	Donatıdaki gerilme
m_1	Suya doymun numunenin havadaki ağırlığı
m_2	Numunenin su içerisindeki asılı ağırlığı
m_3	Numunenin etüv kurusu ağırlığı
t	Numunedeki ultrases geçiş süresi (μs)
L	Numunedeki alıcı ve verici arasındaki mesafe
a	Küp numunenin kenar boyutu
P_{max}	Maksimum yarıma yükü
A	Donatı alanı
P	Pistondan kirişe yüklenen kuvvet
F	Donatıda dolaylı olarak oluşan çekme kuvveti
K	Uçucu kül içeren KYB
C	Yüksek fırın cürufu KYB

Kısaltmalar	Açıklama
KYB	Kendiliğinden yerleşen beton
UK	Uçucu kül
YFC	Yüksek fırın cürufu
s/ç	Su/çimento
SA	Süperakışkanlaştırıcı
(s/b)	Su/bağlayıcı
HA	Hiperakışkanlaştırıcı
DZ	Doğal zeolit
PÇ	Portland çimentosu
TT	Taş tozu
SD	Silis dumanı
BHA	Birim hacim ağırlık
SE	Su emme
GP	Görünür porozite
USG	Ultrases geçiş hızı
YD	Yarmada çekme dayanımını (MPa)
TS	Türk Standardı
OYAK	Ordu yardımlaşma kurumu
SEM	Taramalı elektron mikroskobu görüntüsü
BMK	Belçika mafsallı giriş
VDK	Viskozite düzenleyici katkı

1. GİRİŞ

Dünyada inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemelerinden birisi betondur. Günümüzde üretilen ve yerine yerleştirilen betonun kalitesi, yoğun emek ve enerji kullanımı gerektiren mekanik vibrasyon işine bağımlıdır. Çok yoğun bir tüketim potansiyeli olan bu malzemenin teknolojiye paralel olarak gelişme göstermesi kaçınılmazdır. Bileşenleri itibarı ile önceleri sadece çimento, agrega ve sudan oluşan beton bünyesine kimyasal ve mineral katkıların girmesiyle pek çok olumlu özellik kazanmıştır. Betonda kimyasal ve mineral katkıların kullanımı ile birlikte üretim ve uygulama safhasında karşılaşılmaması muhtemel olan pek çok sorun çözülebilmektedir. Günümüzün modern beton teknolojisinde kimyasal ve mineral katkısız bir beton düşünülemez hale gelmiştir denilebilir [1,2].

Dünyada hazır beton sektörünün hızlı bir gelişim içerisinde olması nedeniyle, sektöre hammadde sağlayan alt sektörler de bununla birlikte gelişme göstermektedir. Bu sektörlerin arasında en önemlilerinden birisi de katkı sektörüdür. Beton katkıları, temel olarak betonun özelliklerinin iyileştirilip geliştirilmesinde ve özellikle çevre koşullarına daha dayanıklı beton üretiminde kullanılmaktadır. Betonda kimyasal katkıların kullanılmaya başlanmadan önce, betonun işlenebilirliğini arttırmak için beton karışımında yüksek su/çimento (s/ç) oranı kullanılmıştır. Bu uygulama, betonun kalitesinin düşmesi sonucunu doğurmuştur. 1970'li yılların başında, düşük s/ç oranında, betonun işlenebilirliğini arttıran, akışkanlaştırıcı veya süper akışkanlaştırıcılar kullanılmaya başlanmıştır [3].

Türkiye'de inşa edilen yapıların büyük çoğunluğu betonarme yapıdır. Betonarme yapılar genellikle yüz yılın ötesinde servis verebilecek şekilde düşünülmüş ve projelendirilirler. Betonarme yapıların servis ömürlerinin yüz yılı aşabilmesi sadece taşıyıcı sistemin doğru projelendirilmesi ile ilgili değildir. Bunun yanı sıra yapıya uzun dönemde etki edecek çevre şartlarının bilinmesi, uygun malzeme kullanılması ve hem beton hem de donatı tasarımının doğru yapılması ile kalıcılık sağlanabilmektedir. Bu yüzden betonun tasarımında dayanımın yanında durabiliteye göre tasarım da ön plana çıkmaktadır. Yüksek performanslı beton, özellikle

boşluksuz bir içyapıya sahip olan ve geçirimsizlik özelliğiyle durabilite koşulunu da sağlayan yüksek dayanımlı betondur. Yüksek dayanımlı beton genel bir tanımlama ile normal betonda kullanılan ana hammaddelere ek olarak çeşitli oranlarda mineral ve kimyasal katkıların eklenmesiyle projede istenen işlenebilirlik, durabilite, dayanım ve bunlara ek olarak ayrıca belirtilen spesifik özellikleri taşıyan betondur. Yüksek performans kriterleri, geleneksel betonların karşılayamadığı özellikler ile segregasyon problemi yaşanmadan yerleştirme ve sıkıştırma, uzun dönemde istenen dayanımın korunması ve dış etkilere dayanıklılık, erken yaşta istenen mukavemetin sağlanabilmesi, tokluk ve hacimsel sabitlik olarak sıralanabilir [4].

Yüksek dayanımlı beton sınıfında olan ve günümüzde üzerinde yoğun olarak çalışılan bir beton türü de kendiliğinden yerleşen betondur. Kendiliğinden yerleşen beton (KYB), herhangi bir şekilde vibrasyon kullanılmadan kalıbına yerleşebilen ve sıkışabilen beton olarak tanımlanabilir. KYB’ler konuldukları kalıbın içerisine yüksek akışkanlıklarından dolayı herhangi bir vibrasyon yapılmaksızın kendi ağırlıklarıyla boşluksuz bir şekilde yerleşir, donatının etrafını sıkıca sarar ve kalıbı doldurur. KYB’de çok fazla yüzey bitirme işlemi gerektirmeksizin düzgün ve pürüzsüz bir yüzey elde edilir. Bütün bunların olabilmesi için betonun işlenebilirliğinin ve kararlılığının oldukça iyi olması gerekir. Çimentoya kum, çakıl ve su karıştırılarak elde edilen betonun çekmeye ve darbe etkilerine karşı yeter düzeyde dayanıklı olmadığı görülerek çelik çubuklarla güçlendirilmesi yoluna gidilmiştir. Betonun çelik çubuklarla güçlendirilmesi ile üretilen malzeme “betonarme” olarak adlandırılmaktadır. Günümüzde betonarme olarak inşa edilmiş pek çok yapı görmek mümkündür. Betonarme taşıyıcı sisteme sahip konut, hastane, okul gibi birçok bina yapıları, istinat duvarları, tüneller, köprüler, barajlar bunlardan en çok karşılaşılanlarıdır [5-7].

Betonarme yapı, beton ve çelik çubukların bir arada çalıştığı bir yapı türüdür. Betonarme bir yapı elemanının beklenen şekilde davranabilmesi için çubukların betona iyi kenetlenmesi gerekir. Bu kenetlenmede donatı çubukları ve çevresini saran beton arasındaki gerilme aktarımı betonarme teorisinin temelini oluşturmaktadır. Bu gerilme aktarımı, beton ve betona gömülü donatı çubuğunun yüzeyi arasındaki rölatif

harekete veya kaymaya karşı direnç ile mümkün olmaktadır. Beton ve donatı arasındaki kaymaya karşı gösterilen direnç aderans veya kenetlenme olarak tanımlanır. Betonarme elemanların analiz ve tasarımı yapılırken beton ve donatı arasındaki kenetlenme ile bindirmeli ekli donatılar beton-donatı arasındaki aderans açısından büyük bir öneme sahiptir [8,9].

Bilindiği gibi beton ile içerisindeki donatı, meydana gelen etkiler nedeniyle şekil değiştirirler. Bu sırada iki malzeme arasında gerilmelerin geçişi meydana gelir. Arada sıyrılma olmaksızın bu tür gerilme geçişinin ortaya çıkmasına aderans denir [6]. Aderans, beton ile çelik donatı arasındaki sürtünme ile yapışma direncinden ve nervürlü donatı kullanılması durumunda mekanik kenetlenmeden kaynaklanmaktadır [10].

Bir yapıda donatı aderansı yalnızca beton karakteristiklerinden değil aynı zamanda donatının ve yapının geometrisinden de etkilenir. Beton-çelik dayanımı, donatı geometrisi, donatının beton içerisindeki konumu (basınç ya da çekme donatısı), yükleme cinsi (çekip-çıkarma ya da eğilme), ankraj boyu, donatı çapı, çevresel etkiler, sıcaklık etkisi, beton örtü kalınlığı ve donatının paslanması gibi birçok faktör beton ve donatı arasındaki aderansı etkilemektedir. Günümüzde imalat teknolojilerindeki gelişmeler ile yapı malzemelerindeki yeni teknoloji arayışları sonucunda birçok yeni kompozit ürün ortaya çıkmaktadır.

Yeni teknoloji ürünleri arasında betonarme donatısı olarak kullanılan çelik çubukların vazgeçilmezliğini tartışılır hale getirecek yapay donatı çubukları da bulunmaktadır. Bu yapay donatı çubukları arasında cam lifli, bazalt lifli ve karbon lifli gibi endüstriyel ürünlerden elde edilenler sayılabilir.

Bunlardan bazalt lifli donatı çubuğu, bazalt kayacının yüksek sıcaklıkta ergitilmesi ile elde edilen bazalt liflerin epoksi reçine kullanılarak betonarme yapılarda kullanılan çelik formuna getirilmesi yöntemiyle üretilmektedir. Bazalt lifli donatı çubuğu Amerika, Rusya ve Ukrayna gibi ülkeler başta olmak üzere birçok ülkede, bazı yapı elemanlarında donatı çeliğine alternatif olarak kullanılan ürünlerdendir.

Lifli donatı çubuğu, özellikle korozyon riski bulunan yapı elemanlarında donatı çeliğine önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Donatı çeliğinden daha yüksek dayanıma sahip olan bazalt lifli donatı, çelik donatıya oranla yaklaşık üç kat daha hafiftir. Aynı zamanda termal genleşme katsayısı da betonun genleşme katsayısına oldukça yakındır. Alkali reaksiyonlara karşı yüksek direnci de dikkate alındığında, birçok alanda donatı çeliğine alternatif olma potansiyeli bulunmaktadır [11].

Cam lifli donatı ise ergitilmiş haldeki camın küçük deliklerden akıtılıp katılaştırılması sonucu üretilen liflerin bazalt donatıya benzer şekilde epoksi reçine kullanılarak donatı formuna getirilmesi ile üretilmektedir. Cam lifli donatının üretiminde çok farklı yüzey özellikleri oluşturulabilmektedir.

Her iki malzemede betonarme çeliğine göre birtakım avantajlar getirmektedir. Bu avantajlar arasında hafiflik, korozyondan etkilenmeme, düşük ısı iletkenliği vb sayılabilir [12].

Bu çalışmada, UK-YFC ve kalsit içeren KYB'ler ile çelik, cam lifli ve bazalt lifli donatılar arasındaki beton-donatı aderansı ilişkisi 62 adet BMK numunesi üzerinde 28 ve 90 günlük kür sürelerinde araştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kendiliğinden Yerleşen Beton

Gelişen teknolojiye paralel olarak her alanda olduğu gibi kimya alanında da birçok gelişmeler kaydedilmesi ve polimer teknolojisinin ilerlemesi, 80'li yılların ortalarından itibaren çok etkili akışkanlaştırıcıların keşfine sebep olmuştur. Yüksek oranda su kesme yeteneğine sahip bu akışkanlaştırıcılar aynı zamanda taze betonun işlenebilirliğini de arttırmaktadır. Yeni nesil akışkanlaştırıcıların sağladığı bu etki bilim adamlarını taze betonun donatıların arasından kalıba yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemini ortadan kaldırmak için araştırma yapmaya yöneltmiştir. Bu çalışmaların sonucunda KYB kavramı ortaya çıkmıştır [1].

KYB, taze haldeyken kendi ağırlığı ile sık donatılı dar ve derin kesitlere yerleşebilen, iç veya dış vibrasyon gerektirmeksizin kendiliğinden sıkışabilen, bu özelliklerini sağlarken ayrışma ve terlemeye neden olmadan kohezyonunu (stabilitesini) koruyabilen, çok akıcı kıvamda olan ve sertleşmiş haldeyken de yüksek dayanım ve dayanıklılık gibi özellikleri sağlayabilen özel bir beton türüdür [1].

Klasik beton karışımından farklı olarak KYB'den taze halde iken beklenen özel performanslar nedeniyle; kimyasal katkı, viskozite arttırıcı katkı ve çok miktarda inert veya puzolanik mineral katkının tümünün veya bir kısmının kullanılması ihtiyacı doğmaktadır [2].

1983 ve sonrasındaki birkaç yıl boyunca, beton yapıların dayanıklılık sorunu Japonya'da ilgi çeken önemli bir konu olmuştur. Beton dökümünde vasıflı işçiler tarafından yeterli sıkıştırma işlemi yapılmalıdır. Ancak, Japon inşaat endüstrisinde kalifiye işçi sayısının kademeli olarak azalması inşaat kalitesinde de benzer bir azalmaya yol açmıştır. İnşaat çalışmalarındaki işçilik kalitesinden bağımsız olarak durabilitesi yüksek beton yapılar oluşturma bir yolu da kendi ağırlığı ile ve sıkıştırma gerektirmeksizin kalıpların her köşesine yerleşebilen KYB kullanımıdır [13].

KYB türü bir betonun gerekliliği ilk olarak 1986 yılında Japon bilim adamı Okamura tarafından ortaya atılmıştır. Daha sonra Tokyo Üniversitesinde Ozawa ve Maekawa tarafından KYB'nin işlenebilirliği üzerine çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. 1988 yılında KYB'nin ilk prototipi tamamlanmış ve satışa hazır hale getirilmiştir. İlk başlarda "Yüksek Performanslı Beton" olarak adlandırılan bu beton taze halde kendiliğinden sıkışabilme özelliğine sahipti. Ayrıca, erken yaşlarda daha az kusurlu ve sertleştikten sonra dış etkilere karşı dayanıklı olarak tarif edilmekteydi. Ayrıca üretilen beton, düşük s/ç oranı sayesinde yüksek durabilite özelliği ile öne çıkmaktaydı. Bu nedenle "Yüksek Performanslı Beton" tanımı yerini zaman içerisinde "Yüksek Dayanımlı Beton" terimine bırakmıştır [14,15].

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-SCC) ve kendiliğinden çöken beton (selfconsolidating concrete-SCC) dur. Türkiye’de genellikle kendiliğinden yerleşen beton (KYB) terimi kullanılmaktadır [16]. KYB tasarımında genellikle yeni nesil Polikarboksilik tabanlı süper akışkanlaştırıcılar, viskozite düzenleyici kimyasal ve mineral katkılarla birlikte kullanılmaktadır [17].

Doğru tasarlanmış KYB, yeterli akıcılığı sağlamak için düşük akma gerilmesine ve yeterli bir viskoziteye sahip olmalıdır. KYB’de yüksek akıcılık için yeni nesil süper akışkanlaştırıcı (SA) katkıları kullanılmaktadır. Fakat bu katkıların kullanımı KYB’nin ayrışma direncinde bir miktar düşüşe yol açmaktadır. Bu nedenle genellikle karışımlarda SA katkı kullanımıyla meydana gelebilecek ayrışmayı azaltmak için ince agrega ve/veya bağlayıcı miktarını artırma yoluna gidilmektedir veya başka bir çözüm yolu olarak süper akışkanlaştırıcı katkılarla birlikte, viskozite düzenleyici katkıların kullanımı tercih edilmektedir. KYB üretiminde kullanılan kimyasal katkı ve bağlayıcı miktarının konvansiyonel betonlara göre daha yüksek olması nedeniyle yüksek maliyetlerle karşılaşmaktadır. Bu yüksek maliyeti azaltma ve KYB özelliklerini elde etmenin olası bir yolu ise beton karışımlarında ilave mineral katkı kullanımıdır.

Bu konu ile ilgili birçok araştırma mevcuttur ve geçmişte yüksek oranda (% 70'e varan) UK kullanılarak KYB üretimi gerçekleştirilebilmiştir [18,19]. KYB üretiminde mineral katkıların kullanımı son derece önemlidir. Mineral katkıların kullanımı bu betonların maliyetlerini azaltmak, kohezif ve viskoz yapı oluşturarak kendiliğinden yerleşebilirliği sağlamak açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Ayrıca mineral katkılar betonun uzun kür süresinde dayanımını artırarak elastisite modülünün de artmasına yardımcı olmaktadır [20].

KYB'lerin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir.

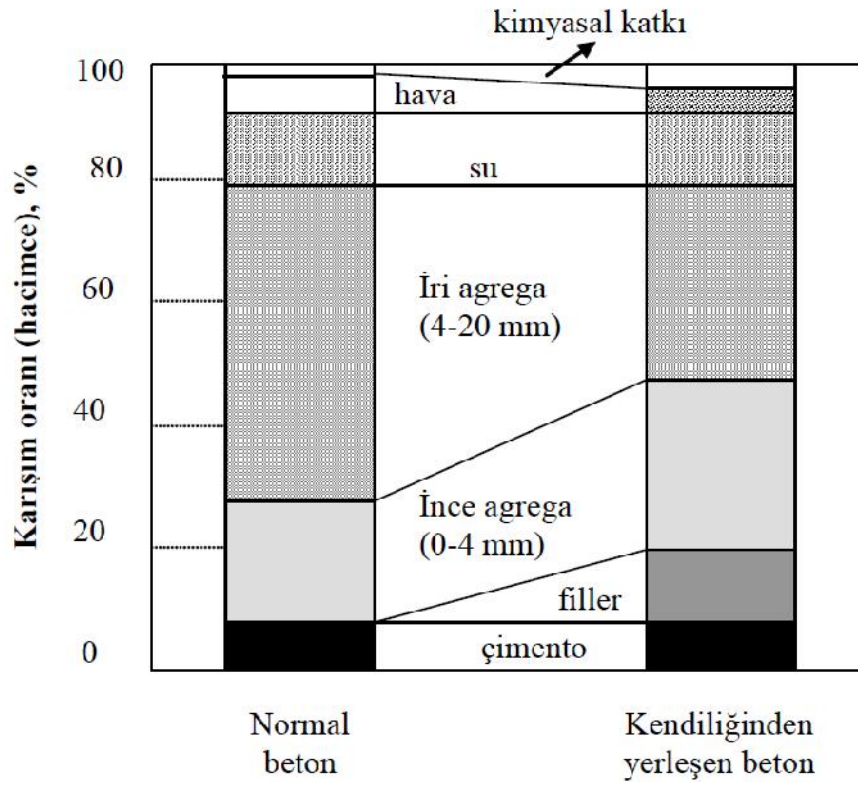
- Kullanılan düşük su/bağlayıcı (s/b) oranı ile betonun dayanım ve dayanıklılığı artar,
- Vibratör kullanımını gerektirmez ve gürültü seviyesinde azalma, kalıp ömrünün uzaması gibi avantajlar sağlar,
- Kolay pompalanır,
- Sık donatılı ve dar kesitli kalıplarda kolayca yerleşebilir,
- Yüksek kalitede düzgün bitmiş brüt beton yüzeyler elde edilir,
- Endüstriyel uygulamalarda zamandan ve işçilik maliyetinden tasarruf sağlar,
- Özellikle güçlendirme projelerinde tek noktadan döküm yapılarak kendiliğinden yerleşir ve seviyelenir [21].

2.1.1. KYB'lerde tasarım ilkeleri

EFNARC (2005)'e göre KYB üretiminde kullanılacak malzemeler tıpkı geleneksel vibrasyon uygulanan betonlarda olduğu gibi TS EN-206-1 standardına uygun olmalıdır [22]. KYB geleneksel betona göre birçok yeniliği bünyesinde bulundurmasına rağmen malzeme seçimi ve üretim aşamasında oldukça titizlik isteyen bir uygulamadır.

KYB'nin bileşimi normal betonla kıyaslanırsa, etkin bir SA yanında toplam ince malzeme miktarı, viskozite artırıcı katkı, s/b oranı, en büyük agrega boyutu, kum-toplam agrega oranı ve toplam iri agrega miktarı gibi parametreler açısından

geleneksel betondan farklılıklar gösterir. KYB'nin bileşenler açısından normal betondan en büyük farkı, beton karışımında 125 μm altındaki ince malzemelerin fazlaca kullanılmasıdır denilebilir. Bu ince malzemeler betonda kullanılan silis dumanı (SD), UK, YFC, taş tozu, tuğla tozu ve mermer tozu gibi atık malzemelerdir. Bunun yanında, KYB'deki iri agrega miktarı da normal betondakine göre daha az olup, iri agreganın yerini genellikle ince agregalar almaktadır (Şekil 2.1.) [23,24].



Şekil 2.1. Normal betonla KYB'nin hacimsel bileşenleri açısından karşılaştırılması [25]

Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi EFNARC 2005’de KYB karışımları için bazı sınır değerler önerilmiştir. Bu değerler başlangıç tasarımlarında yardımcı olabilir fakat bu değerler kesinlikle bağlayıcı değildir. Önerilen değerlerin dışında bir karışıma sahip olan ve iyi bir KYB performansı gösteren betonlar da üretilebilir.

Çizelge 2.1. EFNARC 2005’de KYB karışımı için önerilen sınır değerler

Bileşen	Kütlece sınır değerler (kg/m ³)	Hacimce sınır değerler (litre/ m ³)
Toz	380-600	-
Hamur	-	300-380
Su	150-210	150-210
İri agregası	750-1000	270-360
İnce agregası (kum)	Genel olarak toplam agregası hacminin %48-55’i arasında	
Hacimce Su/Toz oranı	0,85-1,10	

2.1.2. KYB’lerde kullanılan malzemeler

Çimento:

KYB üretiminde de geleneksel betonda olduğu gibi normal Portland çimentoları (PÇ) kullanılabilir. Ayrıca çimento seçimi için en doğru yöntem ya her uygulamanın özel ihtiyacına uygun ya da bunun yerine üretici firmanın güncel olarak kullandığı çimento tipinin seçilmesidir. Yine çimento seçiminde dayanım ve dayanıklılık önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır [22].

İnce malzemeler:

KYB’lerde özel reolojik gereksinimler, hidrasyon ısısının düşürülmesi, viskoziteyi yükseltmek ve akışkanlığı sağlayarak işlenebilirliği düzenlemek vb. nedenlerle filler (dolgu) diye tanımlanan çok ince malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemeler genellikle kırmataş tozu, UK, SD, YFC ve öğütülmüş cam tozu gibi malzemelerdir [22].

KYB’de kullanılacak olan filler malzemelerde aranan en önemli özelliklerden biri en büyük tane çapı olup genellikle 0.125 mm’nin altında olması istenmektedir.

Agregalar;

Kullanım amacına uygun olarak normal ve hafif agregalar KYB içerisinde kullanılabilmektedirler. Betonun doluluk ve boşluk oranını etkilediklerinden dolayı agregaların şekil ve tane dağılımları oldukça önemlidir. KYB içerisinde kullanılacak agreganın maksimum dane çapı 12-20 mm arasında olmalıdır. Ayrıca KYB karışımlarında ince agrega miktarı iri agrega miktarına oranla daha fazla olmaktadır (ağırlıkça ince agrega/toplam agrega oranının %48-55 arasında olması gerektiği tavsiye edilmektedir). KYB’lerde kullanılacak agregaların EN 12620’ye uygun olması gerekmektedir [22].

Karışım suyu;

KYB’lerde kullanılacak su geleneksel betonlarda kullanılan sulardan farklılık göstermemektedir. Her iki beton türü için su açısından tek farklılık karışımda kullanılacak suyun miktarıdır. KYB’de kullanılacak suyun 210 litre/m³’ten fazla olmaması tavsiye edilmektedir [22]. Ayrıca kullanılacak suyun EN 1008 [27] standardına uygun olması gerektiği belirtilmiştir.

Kimyasal katkılar;

Kimyasal katkılardaki gelişim tarihsel süreçte genellikle kazanılan deneyimler ile olmuştur. Performansa dayalı gözlemler ile geliştirilen katkılar 1. nesil, 2. nesil ve 3. nesil olarak sınıflandırılabilir. Lignosülfonat bazlı katkılardan normal akışkanlaştırıcı (1. nesil), Melamin ve naftalin sülfona formaldehit bazlılardan SA (2. nesil), Polikarboksilat bazlılardan hiperakışkanlaştırıcılar (3. nesil) üretilmektedir.

Bu katkılar birbirleri ile kıyaslanırsa; Lignosülfonat bazlı akışkanlaştırıcılar, betonun bünyesinde hapsolmuş hava boşlukları oluşturarak dayanım ve dayanıklılık kaybına neden olabilirler. Ayrıca yüksek dozajda kullanıldıklarında priz gecikmesine neden olabilirler [28].

Melamin ve naftalin sülfona formaldehit bazlı SA'lar, su kesme ve akışkanlık sağlama bakımından lignosülfonatlara göre çok daha performanslıdır. Fakat bunlarında en büyük dezavantajı zamanla betonda meydana gelen işlenebilirlik kaybıdır. Bu yüzden özellikle işlenebilirlik kaybının oluşturduğu probleme çözüm olarak Polikarboksilat bazlı hiperakışkanlaştırıcılar (HA) geliştirilmiştir. Polikarboksilat bazlı HA'lar yüksek oranda su kesme ve işlenebilirliği uzun süre koruma kabiliyetine sahiptirler [28].

Sonuç olarak KYB'lerde özellikle işlenebilirlik hedefleri nedeniyle Polikarboksilat bazlı HA'lar kullanılır. Ayrıca viskoziteyi düzenlemek yani kohezyonu arttırmak için viskozite düzenleyici kimyasal katkılar, donma çözülme direnci için hava sürükleyici kimyasal katkılar ve priz süresini ayarlamak için ise priz geciktirici kimyasal katkılar kullanılırlar [28].

2.1.3. KYB'lerde taze beton deneyleri

KYB'nin taze beton özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla çok farklı deney metotları kullanılmaktadır. Genel olarak KYB'nin taze haldeki özellikleri işlenebilirlik açısından;

Doldurma Kabiliyeti: KYB'nin kendi ağırlığı altında şeklini iyi bir şekilde koruması ve kalıp içerisindeki boşlukları doldurması anlamına gelmektedir. Doldurma kabiliyeti, hem betonun ne kadar aktığını hem de akış hızının ne olduğu ile ilgilidir. Bu özellik slump-yayılma ve Kajima kutusu deneyleri ile belirlenir [29-31].

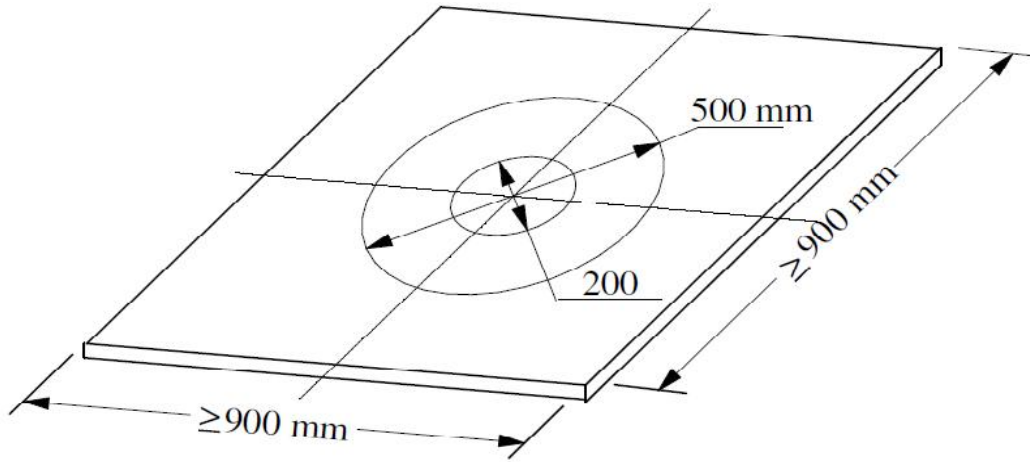
Viskozite: Betonun akmaya başladığı anda akmaya karşı göstermiş olduğu direnç olarak tanımlanmaktadır. T500 slump-yayılma süresi, V-hunisi ve Orimet akma süreleri ile belirlenir [29-31].

Geçme Kabiliyeti: L-kutusu, U-kutusu, J-ringi ve Kajima kutusu deneyleri ile belirlenir [29-31].

Segregasyon Direnci: KYB'nin taze haldeyken homojenliğini koruması olarak tanımlanmaktadır. Karışıma giren malzemelerin homojen dağılıp dağılmaması ile ilgilidir. Normal olarak beton hareketsiz ortamlarda segregasyon göstermezler ancak hareketin olduğu durumlarda bunun tam tersi söz konusudur. Ayrıca, sık donatılı bölgelerde taze beton segregasyon riski taşımaktadır. KYB ne hareketli ne de sabit haldeyken, su kuma, çimento hamuru/agrega segregasyonu, tıkanmaya neden olan iri agrega segregasyonu ve hava boşluğu dağılımında düzensizlik gibi segregasyon kusurlarından birine ya da birkaçına sahip olmamalıdır. KYB'de segregasyon direnci; penetrasyon, elek segregasyon ve kolon yerleşme oranı deneyleri ile belirlenir [29-31].

Çökme-Yayılma Deneyi

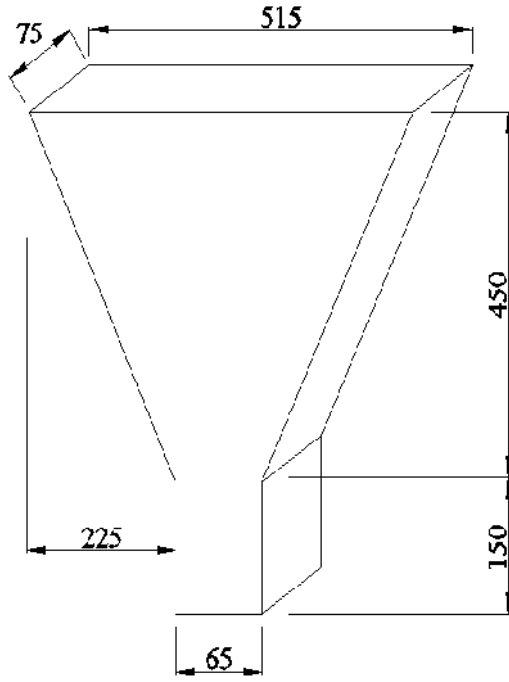
Geleneksel çökme (slump) hunisi ile yapılan bu deney sonucunda betonun yayıldığı maksimum çap mm olarak ve 500 mm çapa yayılma süresi sn. olarak tespit edilir. Deneyde Abrams hunisi tablanın ortasında bulunan 200 mm çaplı daireye yerleştirilir. Taze beton hiçbir sıkıştırma enerjisi uygulanmadan huniye doldurulur. Daha sonra huni kaldırılarak taze betonun tabla üzerinde yayılması sağlanır. Yayılma tamamlandıktan sonra birbirine dik iki doğrultuda yayılma çapı ölçülür ve ortalaması alınır. Ayrıca bu deneyde huni kaldırılıp taze betonun akışa geçmesinden tabla üzerinde çizili bulunan 500 mm'lik çapa ulaşana kadar geçen süre ölçülür. Çökme-yayılma deney tablasının şematik görünümü ve ölçüleri Şekil 2.2.de görülmektedir [22].



Şekil 2.2. Çökme-yayılma deney tablasının şematik görünümü ve ölçüleri (mm)

V-kutusu Deneyi

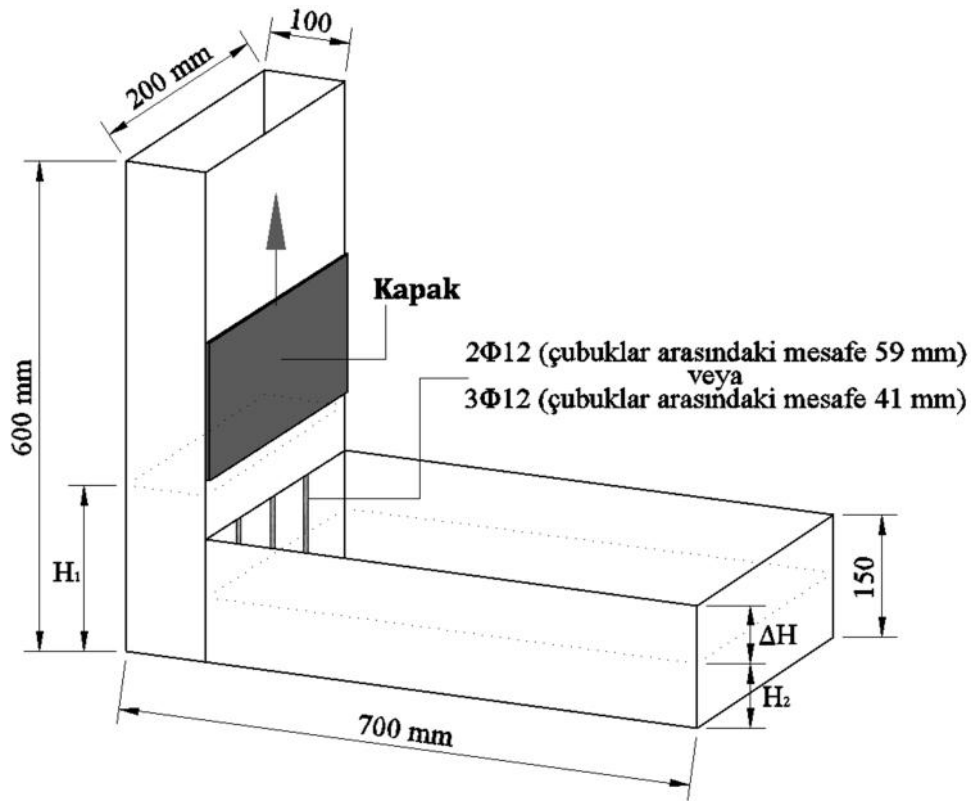
KYB'nin viskozitesini ve doldurma kabiliyetini belirlemek amacıyla yapılan bu deneyde, V şeklinli huni (Şekil 2.3) içerisine taze beton sıkıştırma işlemi uygulanmadan yerleştirilir ve huni içerisinden betonun tamamen boşalması için geçen süre ölçülerek kaydedilir. Deneyde 12 ile 15 lt arasında taze betona ihtiyaç vardır. Beton karışımında en büyük agregâ çapının (D_{max}) 25 mm'yi geçmemesi gerekir. Taze beton huniye yaklaşık 10 ± 2 sn.'de doldurulmalı ve akış süresi 0.1 sn. hassasiyetle ölçülmelidir [22].



Şekil 2.3. V-hunisi deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri (mm)

L-kutusu Deneyi

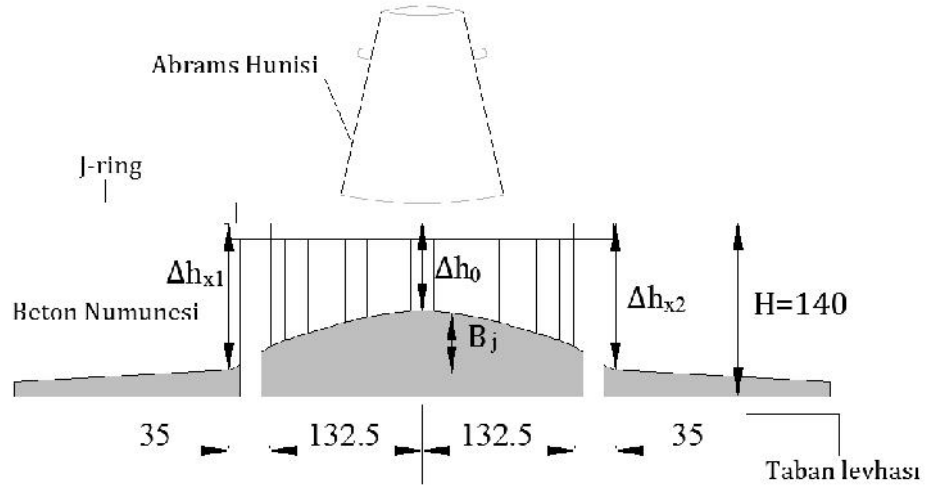
KYB'nin donatılar arasından geçme kabiliyetini belirlemek amacıyla yapılan bu deneyde, L şekilli kutu (Şekil 2.4.) içerisine taze beton yerleştirilir. Alttaki kapak açılarak betonun akması ve yerleşmesi beklenir. Akarak seviyelenen betonun kutu içerisinde her iki ucundaki beton yükseklikleri kaydedilir (H1, H2). Seviye ölçümü yanı sıra, karışımın kapak açılmasından itibaren deney aletinin yatay kısmında bulunan 200, 400 ve 600 mm'lik mesafelerden geçiş süreleri de kaydedilir (T200, T400, T600) [22].



Şekil 2.4. L kutusu deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri (mm)

J-halkası Deneyi

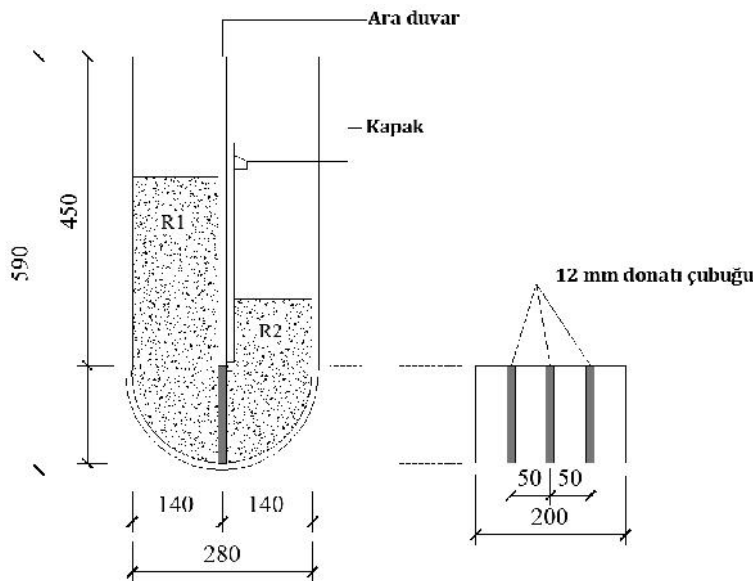
J-halkası deneyi yardımıyla taze betonun geçiş kabiliyeti ölçülmektedir. Slump hunisinin içerisine doldurulan beton, huni kaldırılınca, çubukların arasından akmaya ve yayılmaya başlar. Deney sonucunda yayılma miktarı mm. cinsinden ve *T50* süresi sn. cinsinden ölçülebilir. Halka merkezden merkeze 30 cm çapındadır ve üzerinde betonun geçişini engelleyecek bir şekilde düzenlenmiş düşey düz demir çubuklar bulunur. J ringi deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri Şekil 2.5. de görülmektedir [32].



Şekil 2.5. J halkası deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri (mm)

U-kutusu Deneyi

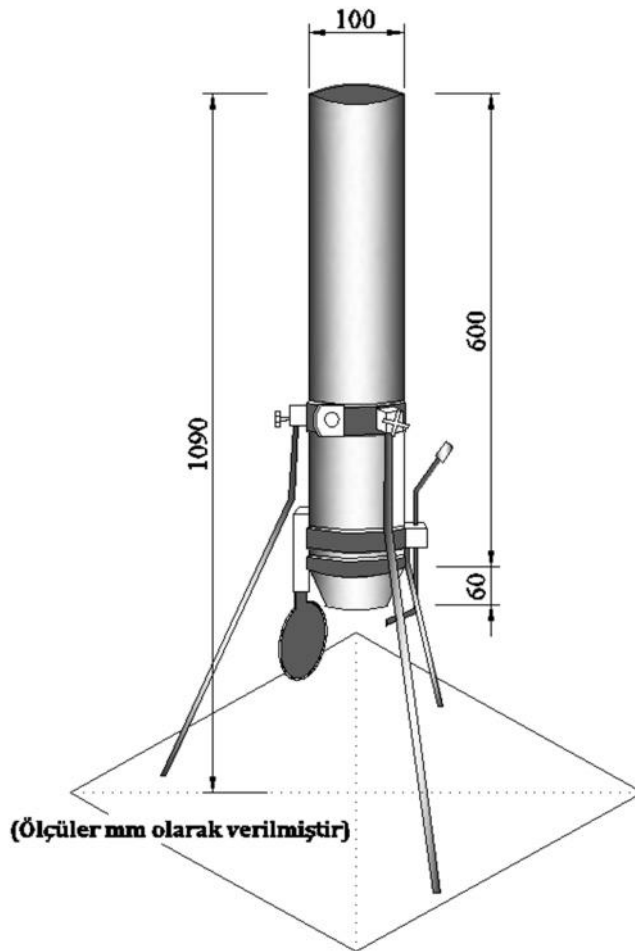
Betonun geçiş kabiliyetini ölçmede oldukça etkili olan bu deneyde U şeklindeki kutu içerisinde bir göze konan beton kutunun alt kısmında yer alan donatılar arasından atmosferik basınç altında kendi ağırlığıyla diğer göze geçmeye çalışmaktadır. Kutunun bir tarafına taze beton doldurulduktan sonra aradaki kapak açılır ve iki seviye arasındaki fark veya oran geçiş kabiliyetini tanımlamaktadır. U kutusu deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri Şekil 2.6. da görülmektedir [32].



Şekil 2.6. U kutusu deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri (mm)

Orimet tüpü deneyi

Orimet testi, doldurma yeteneği için T50'ye alternatif bir metot olarak düşünülmüştür. Bu deney, çelikten yapılmış 60 cm uzunluğunda ve 8 – 12 cm çapında bir tüp ve tüpün altında açılabilir bir kapaktan oluşur. Deneye başlarken tüpün içi ıslak sünger ya da havlu ile silinir. Tüp dengeli hale getirildikten sonra V hunisindeki gibi içerisi KYB ile doldurulur daha sonra kapak açılır. Kapak açıldığı andan KYB numunesinin tüpte bitinceye kadar geçen süre kaydedilir. Daha çok su altında betonlarının viskozitesini belirlemede kullanılır. Orimet tüpü deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri Şekil 2.7. de görülmektedir [32].



Şekil 2.7. Orimet tüpü deney aparatının şematik görünümü ve ölçüleri

2.1.4. KYB’lerin taze beton özelliklerine göre sınıflandırılması

Üretilen betonların KYB olarak nitelendirilebilmesi için EFNARC tarafından hazırlanan ve 2002 yılında yayınlanan bir yönergeye göre her bir taze beton deneyinde belirli sınırlar önerilmiştir. Bu sınırların sağlanamaması durumunda üretilen beton kendiliğinden yerleşebilen bir beton türü olmamakta ya da gereğinden fazla akışkan olup reolojik kararlılığı sağlayamamaktadır. EFNARC (2002)’de önerilen sınır değerler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. EFNARC (2002) KYB sınır değerleri [32]

Belirlenen özellik	Yöntem	Birim	Değer aralığı	
Akıcılık-Doldurma yeteneği	Çökmede yayılma	mm	650	800
Viskozite/Akıcılık	T _{500mm} çökmede yayılma	sn	2	5
	V-hunisi	sn	6	12
Segregasyon direnci	Zaman artışı, T _{5dk} , V-hunisi	sn	0	+3*
Geçme kabiliyeti	L-kutusu	(h2(h1)	0.8	1.0
	U-kutusu	(H1-H2), mm	0	30
	Doldurma kutusu (Kajima)	%	90	100
Geçme kabiliyeti	J-halkası	mm	0	10
	Elek ayrışma direnci	%	0	15
*V-hunisi akış süresinden 3 dk. fazla olabilir				

EFNARC 2005 yılında yeni bir yönerge daha yayınlayarak [22] sınıflandırma için önerileri biraz daha detaylandırmış ve genişletmiştir.

KYB’lerin sınıflandırma özellikleri ve bunlara ait simgeler aşağıdadır:

- Akıcılık, *SF*
- Viskozite, *VS* ya da *VF*
- Geçebilme yeteneği, *PA*
- Ayrışma direnci, *SR*

KYB'nin sınıflandırma kapsamındaki akıcılığın belirlenmesi için çökmede yayılma deneyi; viskozite için çökmede yayılma deneyinde T500 süresi ve V-kutusu akış süresi; geçebilme yeteneği için L-kutusu deneyi; ve ayrışma direnci için de elek ayrışma deneyi önerilmiştir. Her bir deney için yapılan sınıflandırmaların alt ve üst sınır değerleri Çizelge 2.3'de verilmiştir. KYB'nin akıcılığını ve doldurma yeteneğini belirlemede en çok çökmede yayılma değeri kullanılmaktadır [22].

Çizelge 2.3. EFNARC (2005) KYB sınır değerleri ve sınıflandırması [22]

Deney adı	Sınıflandırma	Değer aralığı
Çökmede yayılma	SF1	550 mm – 650 mm
	SF2	660 mm – 750 mm
	SF3	760 mm – 850 mm
Çökmede yayılma, T ₅₀₀ süresi	VS1	≤ 2 sn
	VS2	> 2 sn
V-hunisi akış süresi	VF1	≤ 8 sn
	VF2	9-25 sn
L-kutusu deneyi	PA1	≥ 0.8 (2 donatılı)
	PA2	≥ 0.8 (3 donatılı)
Elek ayrışma deneyi	SR1	≤ %20
	SR2	≤ %15

SF1 sınıfındaki KYB'lerin kullanım yerleri:

- Salınma noktasından serbest yer değiştirmeye üstten dökülen donatısız ya da çok az donatılı beton yapılar (ör: konut döşemeleri)
- Pompa enjeksiyon sistemi ile dökme (ör: tünel kaplaması)
- Uzun yatay akışları engelleyecek kadar küçük kesitler (ör: kazıklar ve bazı derin temeller) [7,33].

SF2 sınıfındaki KYB'lerin kullanım yerleri:

- Yapıların birçok yerlerindeki elemanların dökümünde kullanıma uygun olan kendiliğinden yerleşen veya sıkışan beton sınıfıdır (ör: duvarlar, kolonlar) [7,33].

SF3 sınıfındaki KYB'lerin kullanım yerleri:

- Çok yoğun donatılı yapılarda, karmaşık şekillere sahip yapılarda düşey uygulamalar için ya da kalıp altından doldurmalarında kullanılır. SF3 sınıfında olan KYB'ler için en büyük agrega tane boyutunun 16 mm ile sınırlandırılması önerilmektedir. Üst sınırlarda ise bloklaşma riski vardır. 850 mm' den daha fazla çökmede yayılma değerine sahip KYB'lerin özel durumlarda kullanılabileceği belirtilmiştir. Fakat kullanılacak olan agregada en büyük iri agrega tane boyutunun 12 mm ile sınırlı olduğu da aynı şartnamede belirtilmektedir [7,33].

Viskozite açısından sınıflandırılan KYB'de VS1 ya da VF1 kıvam sınıfındaki beton, çok yoğun donatılı yapılarda bile kullanıma elverişli özeliğe sahiptir. Bunun yanında yüzey bitirme işlemi için en uygun kıvam sınıfıdır. Ancak ayrışma ve terleme olması riski bulunmaktadır. Diğer viskozite sınıfı olan VS2 veya VF2 kıvamındaki KYB'de betonun çökmede yayılma veya V-kutusunda akma süresinin artması ile kalıp basıncını azaltmada yararlı olan tiksotropik davranış gözlenmesi olası bir durumdur [7,33].

Geçme yeteneği açısından sınıflandırılan taze KYB'de PA1 sınıfındaki bir beton sargı aralığı 80 ile 100 mm arasında açıklığa sahip yapılarda (konut veya düşey yapılar) uygun iken, PA2 sınıfındaki KYB'ler de sargı aralığı 60 ile 80 mm arasında açıklığa sahip yapılarda (inşaat mühendisliği yapıları) kullanılması daha uygundur. Ayrışma direnci açısından, SR1 kıvam sınıfındaki KYB, genellikle ince döşemeler için ve akma uzunluğu 5 m'den daha az olan ve sargı aralığı 80 mm'den daha büyük olan düşey uygulamalar için elverişlidir. Ancak akma uzunluğu 5 m'den fazla ve sargı aralığı da 80 mm'den daha büyükse, betonun yayılması sırasında ayrışma

riskini azaltmak için yine düşey uygulamalarda SR2 kıvam sınıfındaki KYB tercih edilmelidir. Akma uzunluğu 5 m'den daha az olup, sargı aralığı 80 mm'den daha az olursa da yine SR2 kıvam sınıfı seçilmelidir [7,33].

2.2. Betonda Donatı Kullanımı ve Aderans

Betonarme; beton ile çelik donatı çubuklarının beraber çalışacak ve birbirlerinin eksikliklerini tamamlayacak şekilde bir araya getirilmesi olarak tanımlanabilir [5]. Betonla çeliğin beraber çalıştığı kompozit bir malzeme olan betonarmede bu beraber çalışma özelliğinin ancak çeliğin beton içerisinden sıyrılmaması halinde mümkün olacağı açıktır. Sıyrılmamanın olmaması için iki malzeme arasında meydana gelen bağ kuvvetinin kalıcı olması gerekir [34].

Beton ve çelik çubuklardan oluşan bir yapı elemanının betonarme olarak davranabilmesi için çubukların betona kenetlenmesi gerekir. Kenetlenmeyi sağlayan, çelik çubuk ile beton arasındaki kayma gerilmelerine “aderans” denir. Betonarmede, donatı beton kütle içine yeterli uzunlukta gömülmüş ise çubuğu çekip çıkartmak mümkün değildir. Gömülme boyunun yeterli olmadığı durumlarda ise, çubuk yüzeyinin geometrisine bağlı olarak çubuk sıyrılıp çıkabilir veya etrafındaki beton kütleyle yapışabilir. Betona gömülen çubuk boyu “Kenetlenme boyu” olarak adlandırılır ve bu tür aderansa da “Kenetlenme aderansı” denir [5,35-37].

Kenetlenmenin yeterli olabilmesi için ise donatı akma dayanımına ulaşmalı ya da akma ötesi şekil değiştirme yapması durumunda betondan sıyrılmamalı ve betonu yarmamalıdır. Betonun karakteristik basınç dayanımının (f_{ck}) yüksek, kesme dayanımının (f_{cv}) yaklaşık basınç dayanımının yarısına ($\approx 0,5 f_{ck}$) eşit, çekme dayanımının ise çok düşük ($\approx 0,1 f_{ck}$) olduğu ve betonarme hesaplarda sıfır kabul edildiği bilinmektedir. Oysa yapı elemanlarının çoğunda, eğilme momentleri ve merkezi çekme kuvvetlerinden dolayı büyük çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Bu nedenle bu tür yapılarda beton kullanmak için çekme gerilmelerini karşılamak üzere, bu gerilmeler doğrultusunda çekme etkisinde kalacak olan bölgelere yeterli miktarda donatı yerleştirilmiş, donatıyla beton arasındaki aderanstan yararlanılarak ortak çalışma sağlanmış ve bu suretle betonarme yapı tekniği doğmuştur [5,35-37].

Aderansın üç temel nedene dayandığı kabul edilmektedir. Bunlar;

- a) Çelik ve beton arasında “yapışma” olarak nitelendirilebilecek moleküler ve kapiler bağ kuvvetleri
- b) Beton ve çelik çubuk arasında oluşan sürtünme kuvvetleri
- c) Yüzeyinde çıkıntılar bulunan aderansı geliştirilmiş çubukların (nervürlü donatı) kullanılması durumunda ortaya çıkan ve nervürler ile beton dışları arasında oluşan dış kuvvetleri ve kenetlenme [5,35-37].

2.2.1. Aderans dayanımına tesir eden başlıca etkenler

Bugüne kadar yapılan çalışmalar, aderans gerilmelerinin birçok değişkene bağlı olduğunu göstermektedir. Bunların başlıcalarını, beton ve beton üretiminde kullanılan malzemeler, donatının mekanik özellikleri, yüzey geometrisi ve niteliği, donatı çapı, kenetlenme boyu, beton örtü kalınlığı, sargı donatısı teşkil etmektedir [38].

Betonla İlgili Etkenler;

Beton karışımına giren çimento, kum veya çakıl miktarında yapılacak değişiklikler ve bundan dolayı değişen beton bileşimi ile beton bileşiminin sonucu oluşan beton mekanik özellikleri aderansı etkilemektedir. Bilindiği gibi betonun çekme dayanımı basınç dayanımı (f_{ck}) ile ilişkilidir ve genel olarak $\approx 0,1 f_{ck}$ olarak kabul görür. Betonarmede kenetlenme boyu için aşağıda verilen “Eş. 2.1” incelenecek olursa betonun çekme dayanımındaki değişim ihtiyaç duyulan kenetlenme boyunu doğrudan etkilemektedir.

$$l_b = 0.12 \cdot (f_{yd}/f_{ctd}) \quad (2.1)$$

l_b = Kenetlenme boyu

f_{yd} = Donatının tasarım akma dayanımı

f_{ctd} = Betonun tasarım çekme dayanımı

Donatı İle İlgili Etkenler

Donatının Yüzey Niteliği

Donatının yüzey niteliği, uygulama bakımından son derece önem taşımaktadır. Bu niteliklerden korozyonun aderans üzerinde etkili olduğu bilinmektedir. Benzer şekilde yüzeyleri tozlu, topraklı, çamurlu, yağlı veya boyalı donatıların kullanılması durumunda da aderans dayanımı düşmektedir [38].

Donatının Yüzey Geometrisi

Düz donatılarda aderansın bir kısmının, beton ile donatı yüzeyi arasındaki kimyasal yapışma sayesinde sağlanmaktadır. Bu tür donatılarda sıyrılmanın başlamasıyla sürtünme kuvveti de aderans dayanımına katkıda bulunmaktadır. Bununla beraber düz yüzeyli donatıların betonla aderansı dişli donatılardan daha az olduğundan kenetlenmenin sağlanabilmesi için bunların kenetlenme boyunun daha büyük seçilmesi gerekmektedir. Uçlarında kanca yapılması durumunda söz konusu boyun küçültülebileceği bilinmektedir [38].

Nervürlü donatılarda ise, yapışmanın ve sürtünmenin aderansa katkısı dişlerdeki mekanik kenetlenmeye oranla ihmal edilebilecek kadar düşüktür. Bu tip donatılarda aderansın çok önemli bir bölümü, dişlerin eğimli yüzeylerinin betona yaslanmasıyla oluşan eğik kuvvetler sayesinde sağlanmaktadır. Bu nedenlerle kullanılacak donatı seçiminde yüzey geometrisi bakımından dişli yani nervürlü donatıların seçilmesi aderansa büyük oranda katkı sağlayacaktır [38].

Donatının apı

Donatı apı değiştikçe, kenetlenmeyi sağlayan çevrenin, uygulanan kuvveti etkileyen alana oranı değişmektedir. Yani, donatı çapı artıkça hem kesit alanı artan donatıya gelen kuvvetin artması sonucu kenetlenme azalmakta, hem de donatı diş kuvvetlerinin oluşturduğu ve yarıлма çatlağına sebep olan radyal gerilmelerin artması da söz konusu olmaktadır. Buradan, yarıлма kırılmasında, betonda oluşan çekme gerilmelerinin çapla orantılı olarak arttığı ortaya çıkmaktadır. Kullanılan boyuna donatının çapının aderansa etkisi, yapılan önerilere göre artan donatı çapına karşılık lineer bir şekilde azalan aderans dayanımı hesaplanarak göz önüne alınabilir.

Donatının Üretildiği Malzeme

Teknolojik gelişmelerle her alanda yeni kompozit ürünler ortaya çıkmaya başlamıştır. Yeni kompozit ürünler arasında betonarme donatısı olarak kullanılan elik çubukların vazgeçilmezliğini tartışılır hale getirecek yapay donatı çubukları da bulunmaktadır. Bu yapay donatı çubukları arasında cam lifli, bazalt lifli, karbon lifli v.b. donatı çubukları sayılabilir.

Günümüzde cam lifi, bazalt lifi, karbon lifi gibi liflerin pultruzyon yöntemiyle epoksi reçine kullanılarak betonarme yapılarda kullanılan çubuk donatı formunda üretimi başlamıştır (Resim 2.1). Korozyon direncinin olması, çok hafif olması ve çeşitli yüzey formlarında (düz, nervürlü, kumlanmış v.b.) üretilebilmesi nedeniyle getirdiği avantajlar bu yapay donatıların aderans performanslarını yeni ve önemli bir araştırma alanı olarak karşımıza çıkarmaktadır.



Resim 2.1. Yapay donatı çubukları

Diğer Etkenler

Kenetlenme Boyu; Betonla donatı arasındaki kenetlenmenin yeterli olabilmesi için donatı akma dayanımına ulaştığında ya da akma ötesi şekil değiştirme yaptığında, donatının betondan sıyrılmaması ve betonu yarmaması gerekmektedir. Bunun için kenetlenme boyunun uygun olması gerekmektedir. Kenetlenme boyu, çekme ya da basınç etkisinde bulunan donatıdaki gerilmenin akma dayanımına ulaşabileceği en küçük boy olarak tanımlanmaktadır [5,38].

Pas payı (Beton örtü kalınlığı); özellikle betonda yarılmamanın meydana gelmemesi için, nervürlü donatı kullanılması durumunda büyük önem kazanmaktadır. Pas payı arttıkça da aderans dayanımı dolayısıyla da yarıma dayanımı artmaktadır [5,38].

Sargı Donatısı; Fret ya da kapalı etriye gibi sargı donatılarının yerel basınç oluşturarak aderans dayanımına katkıda bulunduğu deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Özellikle nervürlü donatı kullanılması durumunda, meydana gelebilecek yarılmalar sargı donatısı kullanılarak engellenebilmektedir. Bindirmeli eklerin bindirme boyunca kapalı etriyelerle sarılması, kesitin yarılmaya karşı dayanımını artırdığı gibi çapı büyük olan donatıların rijit dönme sonucu betonun yırtılmasını da önlenmektedir [5,38].

Donatıların Konumu; donatıların betonunu kalıba yerleştirilmesi sırasındaki konumu, yatay, düşey ya da kesitle yaptığı açı, kalıbın alt ya da üst yüzüne olan mesafesi, betonla donatı arasındaki aderansı önemli ölçüde etkilemektedir. Betonlama sırasında üst yüze yakın donatıların altında biriken hava kabarcıkları bu donatıların aderansını zayıflatmaktadır. Kalıbın alt kısmında ise beton daha iyi sıkıştığı için aderans daha yüksek değerler almaktadır [38].

2.2.2. Aderans deneyleri

Bu konuda yapılan deneyler genelde dış aderans denilen direkt aderansla ilgili özellikleri (kenetlenme, bindirmeli ekleme, sınır gerilme) konu alan çekip-çıkarma (pull-out) deneyleri ile iç aderans denilen çatlama özelliklerini konu alan giriş deneyleri olmak üzere iki türdür. Yaygınlığı daha az olan itip-çıkarma (push-out) deneyleri de yapılmaktadır [8].

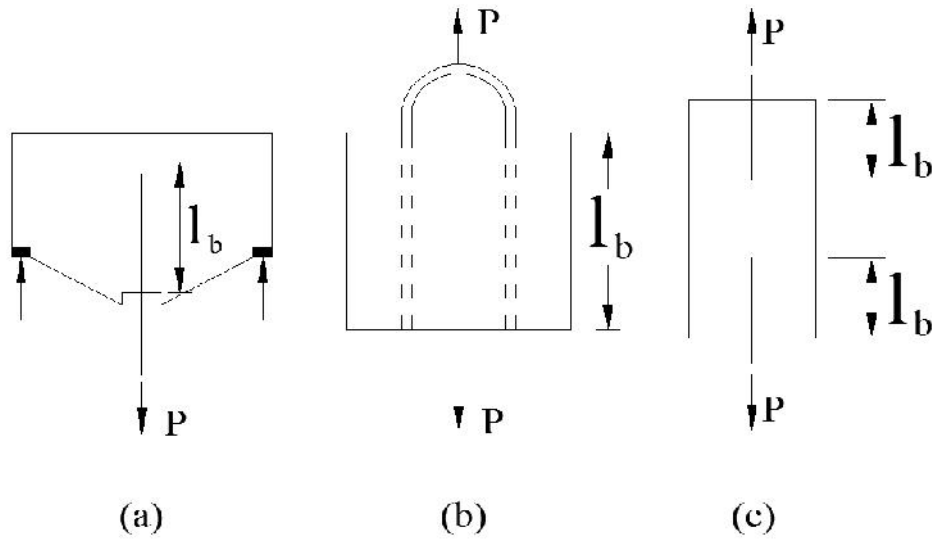
Daha önce de belirtildiği gibi betonarmenin varlığı betonla donatı arasında mevcut, önemi ilk araştırmacıların gözünden bile kaçmamış olan aderans olayına bağlıdır. 20. Yüzyılın başından bugüne kadar aderans dağılımını, kenetlenme boyunu ve bunları etkileyen parametreleri belirlemek amacıyla çok sayıda deneysel çalışma yapılmıştır. Ancak bu deney türlerinin hemen hiçbiri donatı-beton aderansını tam anlamıyla yansıtmamaktadır. Bunun başlıca nedenlerinden bazıları aşağıda verilmektedir:

- a) Aderans-kesme kuvveti ilişkisinin tam olarak aydınlatılamamış olması,
- b) Deney numunelerinin boyutlarının, ekonomik ve pratik nedenlerle gerçeği tam yansıtmaması,
- c) Bazı deney türlerinde uygulamadakinden farklı olarak ihmal edilemeyecek büyüklükte yerel gerilmelerin meydana gelmesi,
- d) Donatı çubukları arasındaki uzaklık ve beton örtü kalınlığının uygulamadakinden çok farklı oluşu.

Donatı-beton aderansının ve kenetlenme boyunun belirlenmesinde, en basiti olduğundan, *merkezi çekip çıkarma* (pull-out test) deneyi en yaygın olarak kullanılmaktadır. Elemanların eğilmede donatı-beton aderansını ölçmek için de giriş deneyleri geliştirilmiştir. Aşağıdaki başlıklarda bazı deney türleri sunulmuştur[5,38,39].

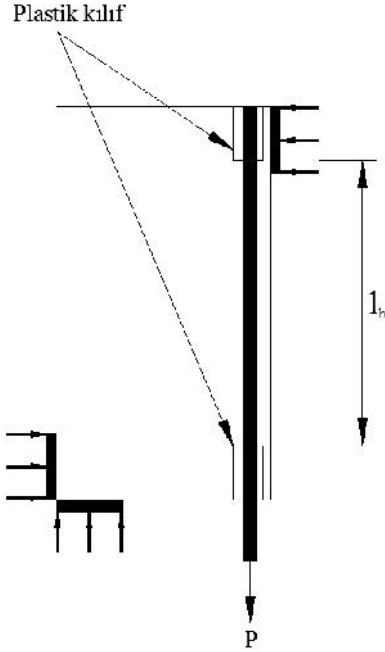
Çekip-Çıkarma (pull-out) Deneyi

Merkezi çekip-çıkarma deneyi basit bir deney olmasına rağmen, deney elemanında donatıya dik kesme kuvvetlerinin bulunmayışı, mesnedin betona uyguladığı yerel basınç gerilmelerinin fazla olması, beton örtü kalınlığının çok büyük oluşu ve betonda çekme çatlaklarının oluşmaması gerçek davranışı tam olarak yansıtmamaktadır. Bu nedenle merkezi çekip-çıkarma deneyi kenetlenme boyunun belirlenmesi amacıyla yönelik çalışmalar için çok uygun olmamaktadır. Bununla birlikte deney farklı sınıf donatıların betonla aderanslarının kolayca karşılaştırılması için uygun olmaktadır. Merkezi çekip-çıkarma deneyinin yukarıda belirtilen sakıncalarını ortadan kaldırmak amacıyla daha farklı birçok deney düzenneği geliştirilmiştir (Şekil 2.9.a, b ve c). Bu düzeneklerde, mesnette oluşturan aşırı yerel basınç gerilmeleri giderilmiş ancak diğer sakıncalar maalesef ortadan kaldırılamamıştır.



Şekil 2.9. Geliştirilmiş bazı merkezi çekip-çıkarma deney düzeneklerinin şematik gösterimi

Geliştirilen diğer bir çekip-çıkarma deneyi de dışmerkez çekip-çıkarma deneyidir (Şekil 2.10.). Bu düzenek, düşey konumda olması nedeniyle, kirişlerdeki sehimleri temsil etmemesi dışında, donatıya dik kesme kuvvetlerinin bulunması, eğilmeden dolayı çatlama meydana gelmesi, donatı civarında yerel basınç gerilmelerinin oluşmaması ve pas payının daha gerçekçi olması nedeniyle, diğer çekip-çıkarma deneylerine göre daha gerçekçi olduğu açıktır.



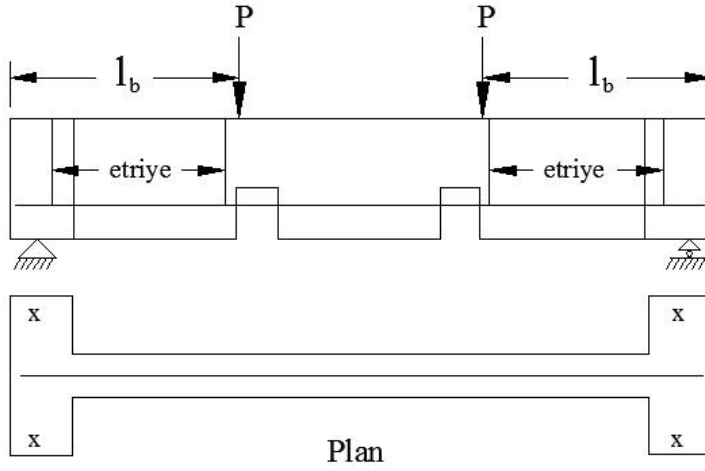
Şekil 2.10. Dışmerkez çekip-çıkarma deney düzeneğinin şematik gösterimi

Kiriş Deneyleri

Çekip-çıkarma deneylerinin eğilmeye çalışan bir elemandaki gerçek durumu yansıtamamasından dolayı kiriş deneyleri geliştirilmiştir. Özellikle eğilmede çekme çatlaklarının aderans davranışını etkilediği kabul edildiğinden beri, çekip-çıkarma deneyleri, kiriş testlerinden daha az güvenilir olarak dikkate alınmıştır. Kiriş deneylerinden en yaygın olarak kullanılanları, Bureau of standards deneyi, Texas deneyi, standard Belçika mafsallı kiriş deneyi ve büyük boyutlu betonarme kirişler üzerinde yapılan kiriş çatlama deneyidir [8].

Bureau of standards deneyi

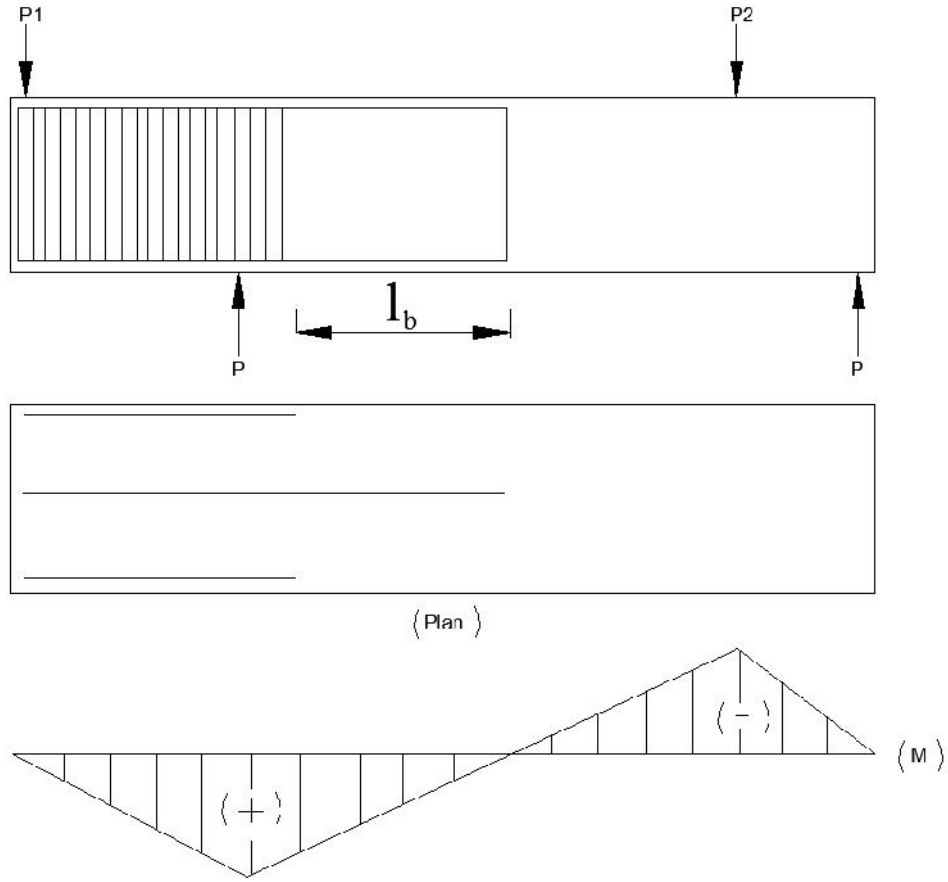
Kenetlenme boyunun saptanmasında daha gerçekçi şartları sağlayan bir deney türüdür. Şekil 2.11’de gösterilen Bureau of standards deney elemanında kesme kırılmasını önlemek için aşırı etriye kullanmak gerekmektedir. Bu durum ise aderansı büyük ölçüde etkilemektedir. Dolayısıyla, gerçeğe daha yakın sonuçlar elde etmek açısından önemli bir sakınca doğmaktadır [8].



Şekil 2.11. Bureau of standards deney düzeneğinin şematik gösterimi

Teksas deneyi

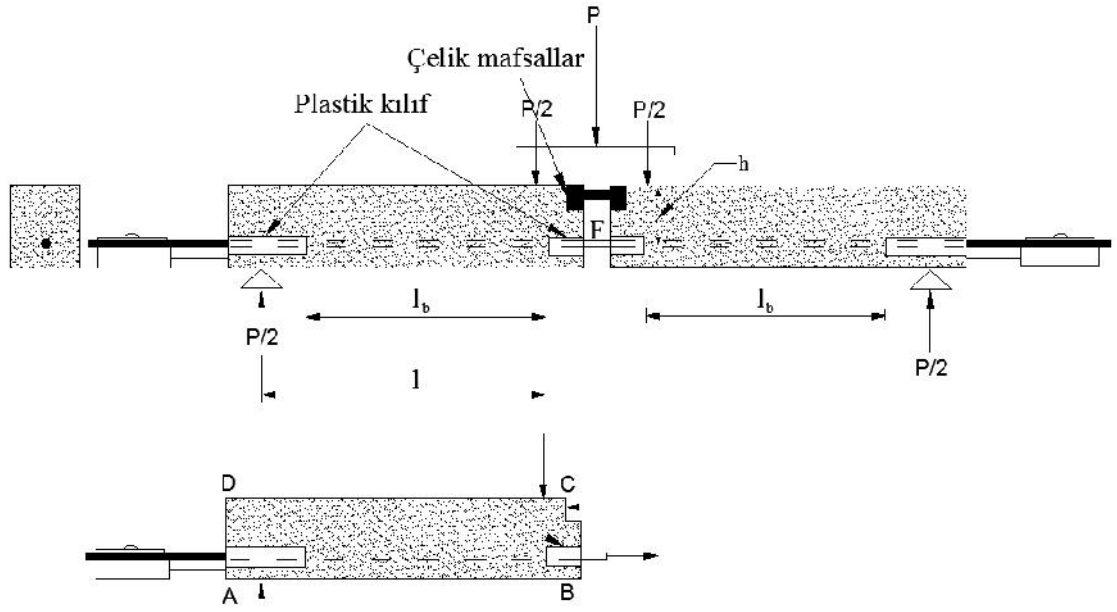
Bureau of Standards deneyine benzer şekilde kenetlenme boyunun incelendiği bu deneyin sakıncası, donatının gerçekte bağdaşmayacak genişlikte bir beton kütleyle gömülmüş olmasıdır (Şekil 2.12). Bu kiriş tipinde de başlıca önemli olan, donatıyı örten betonu sınırlayabilecek olan mesnetin uyguladığı yerel basınç gerilmelerinin önlenmesidir. Böylece yarıma göçmesinin önlenmesi ortadan kaldırılmaktadır [8].



Şekil 2.12. Texas çıkmalı kiriş deney düzeneği

Standart Belçika mafsalı kiriş deneyi

Kiriş deneylerinden bir diğeri de standart BMK deneyidir. Bu deneyin İngiliz standardı deneyinden farkı kirişin ortasında bir mafsal bulunmuş olmasıdır. Buradaki mafsalın amacı, donatıda oluşan F kuvvetinin doğru olarak hesaplanmasına imkân tanımaktır. Bu çalışmanın hazırlanmasında kullanılan deney düzeneği bu olduğundan, daha ayrıntılı açıklamasına yapılan çalışmalar başlığı altında yer verilmektedir. Standart BMK deneyinin şeması Şekil 2.13’de gösterilmiştir [38].



Şekil 2.13. Standart Belçika mafsallı kiriş deney düzeneği

2.3. KYB tasarımı ve beton-donatı aderansı ile ilgili önceki çalışmalar

2.3.1. KYB tasarımı ile ilgili önceki çalışmalar

İlk olarak Japonya’da Prof. Hajime Okamura tarafından geliştirilen Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton özellikleri ile ilgili literatürde birçok çalışma bulunmaktadır.

Şahmaran ve Yaman (2007) yaptıkları çalışmada, polikarboksilik bazlı SA ile viskozite düzenleyici katkıyı birlikte kullanmışlardır. Çalışmada iki farklı çelik lif kullanılmış ve %50 oranında UK çimento ile yer değiştirilmiştir. Basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve ultrases geçiş hızı deneyleri sertleşmiş betonlar üzerinde yapılmıştır. Taze beton deneylerinden yayılma süresi ve yayılma çapı deneyi, viskozite ile bağlantılı olarak huniden boşalma süresini belirlemek için V-hunisi ve hava içeriği testleri yapılmıştır. Sonuçlar mekanik özelliklerde UK’nın kullanılması nedeniyle biraz azalma olsa bile yüksek hacimde UK’nın KYB üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir [40].

Şahmaran ve arkadaşları (2006) yaptıkları çalışmada, çeşitli mineral ve kimyasal katkıların KYB üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Bu amaçla mineral katkı olarak UK, taş tozu, tuğla tozu ve kaolinit, kimyasal katkı olarak ise 3 farklı SA ve iki farklı viskozite düzenleyici katkı kullanmışlardır. Çalışmada iki farklı polikarboksilik bazlı SA’ların işlenebilirliğe benzer etki yaptığı fakat melamin formaldehit bazlı SA’nın ise bunlar kadar etkili olmadığı görülmüştür. Ayrıca mineral katkılardan taş tozu ve UK’nın ikili karışımlarının işlenebilirliği arttırdığı görülmüştür [23].

Siddique (2011) yaptığı çalışmada, %15-35 oranında UK içeren KYB’lerde 7-28-90 ve 365 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımı deneyleri ile 90 ve 365. günlerde karbonatlaşma ve hızlı klor iyonu penetrasyonu deneyleri yapmıştır. Sonuçlar %35 ikame oranına kadar UK’nın kullanılabilir olduğunu göstermiştir. Karbonatlaşma derinliği ise 90 günden 365 güne gittikçe artmıştır. UK’nın ikame oranı arttıkça basınç dayanımı düşmüştür [41].

Mazaheripour ve arkadaşları (2011) yaptıkları çalışmada, genleştirilmiş kil agregalı kendiliğinden yerleşen hafif betonlarda polipropilen lif katılmasının betonların taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisini araştırmışlardır [42].

Rao ve arkadaşları (2010) yaptıkları çalışmada, farklı agrega boyutları ile standart ve yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonların üretilebilirliğini araştırmışlardır [43].

Öz (2006) yaptığı çalışmada, doğal zeolit (DZ), YFC ve DZ+YFC'nin KYB'lerin ısı iletkenliği, basınç dayanımı, ultrasonik hızı, eğilme dayanımı ve yoğunluk değerleri üzerindeki etkilerini incelemiştir. DZ ve YFC ağırlıkça %10, % 20, % 30 oranlarında çimento yerine kullanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre %10 DZ, %10, %20, %30 YFC ve %10 DZ+%20 YFC kullanılarak 500–700 mm arasında yayılma çapına sahip KYB üretmek mümkün olmuştur. Ayrıca PÇ ile yer değiştirilen DZ, YFC ve DZ+YFC miktarının artması ile ısı iletkenliğinin azaldığı görülmüştür. Basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ultrasonik hız değerleri 3, 7, 28 ve 90 günlük kür periyotları sonucunda belirlenmiştir. Sonuç olarak, DZ'nin eklenmesiyle numunelerin basınç dayanımı azalmıştır. YFC'li betonların basınç dayanımları ise erken yaşlarda düşük çıkmış fakat kür süresinin artmasıyla basınç dayanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. 90 günlük kür süresi sonucunda en yüksek basınç dayanımı ve ultrasonik hız değerleri %10 YFC katkılı numunelerde ve en yüksek eğilme dayanımı ise %20 YFC katkılı numunelerde elde edilmiştir [44].

Dinç (2007) yaptığı çalışmada, sabit hacimsel 0,52 su / pudra oranına sahip 5 farklı karışım üretmiştir. Karışımlarda farklı s/ç oranları mevcut olup, SD çimento ile hacimce ikame edilerek kullanılmıştır. Karışımlarda s/ç oranları 0,24 – 0,31 – 0,38- 0,45 – 0,63'tür. Karışımlarda, toplam su miktarının 200 kg/m³ değerinde sabit olmasından dolayı su/ince malzeme oranı sabit kalırken azalan çimento miktarı ile birlikte su/çimento oranı arttırılmıştır. Daha sonra benzer karışımlar tekrar üretilmiş ve bu KYB' lere çekme dayanımı 2250 MPa olan çelik lifler hacimce %1 oranında eklenmiştir. Çalışmalarda su/ince malzeme oranı sabitken artan su/çimento miktarının yalın ve lifli betonların gerek taze haldeki özelliklerini ve gerekse

sertleşmiş haldeki mekanik davranışlarını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Deneysel çalışmaların sonucunda lifsiz karışımlarda s/ç miktarının 0,24'den 0,38 değerine artmasına ve çimento dozajının 833 kg/m^3 den 526 kg/m^3 değerine azalmasına karşın basınç mukavemetlerinde belirgin bir düşüş gözlenmemiştir. Lif ilavesinin dayanımdan çok yutulan enerjiyi arttırdığı görülmüştür. Lif ilavesi genel anlamda işlenebilirliği olumsuz etkilemektedir [4].

Gürses (2008) yaptığı çalışmada, KYB' nin özelliklerini, deney metotlarını incelemiş, uygulama örnekleri ve maliyet analizi sunmuştur [45].

Bastopçu (2006) yaptığı çalışmada, bağlayıcı içeriğinin yüksek performanslı KYB'nin dayanım ve dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada biri kontrol toplam sekiz farklı KYB karışımı üretilmiştir ve karışımların tamamında bağlayıcı miktarı 550 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Bunlardan biri, hiçbir mineral katkı eklenmeyen ve sadece çimento ihtiva eden kontrol karışımıdır. Diğer yedi karışımda farklı oranlarda (% 5, 10, 27, 36) UK, SD ve taş tozu (TT) çimento yerine kullanılmıştır. Taze betonda yayılma, U-tüp, V-huni, L-kutu ve görsel ayrışma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Mekanik özellikler basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve aderans deneyleri ile incelenmiştir. Diğer deneysel sonuçlar ise büyük boyutta dökülen kolonlardan ($10 \times 20 \times 200 \text{ cm}$) farklı derinliklerde kesilip çıkartılan numunelerden elde edilmiştir. Bu numunelere de basınç, çekme dayanımı, ultrasonik ses hızı ve yüzey sertliği deneyleri uygulanmıştır. Farklı derinliklerde elde edilen kesit görüntüleri üstünde detaylı görüntü analizleri yapılmış ve kolon boyunca mikro-yapıdaki değişimler araştırılmıştır. Kolonlara yerleştirilen yatay donatılarda beton-donatı ara yüzü video-mikroskop ile incelenmiştir. Dayanıklılık özellikleri ise su emme, kılcal geçirimsizlik, hızlı klorür geçirgenliği, buz çözücü tuzlara karşı direnç, karbonatlaşma, sülfat dayanımı ve kuruma rötresi deneyleri ile belirlenmiştir. Taze beton deney sonuçlarına göre karışımların tümü kendiliğinden yerleşme özelliğini sağlamakta ve ayrışma göstermemektedir. Sonuçlara göre KYB' de çimentonun yerine katkı olarak SD ve UK'nın birlikte kullanımı, TT'ye göre daha iyi mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin oluşmasını sağlamaktadır. Bunun farklı çıktığı

tek durum ise TT kullanımı ile azalan ve SD ile artan kuruma rötresi değerleridir [46].

Yanar (2007) yaptığı çalışmada, değişik tür ve oranlarda mineral katkı kullanımının KYB'nin özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmada değişik kombinasyonlarda UK, metakaolin, YFC ve P   eren karışımlar ile yalnızca P   eren karışım aynı su /bağlayıcı madde oranıyla üretilmiştir. Elde edilen betonun kendiliğinden yerleşebilme özelliği taşıması için kullanılması gereken SA miktarı her karışım da yayılma deneyi ile belirlenmiştir. İşlenebilirlik ve mekanik özellik deneyleri uygulanarak sonuçlar yorumlanmıştır. Deneyisel  alışma kapsamında toplam 11 beton karışımı 0,32 s/b oranı ve 550 kg/m³ toplam bağlayıcı ile üretilmiştir. Karışımlar için temel bağlayıcı olarak kullanılan P  yanında birli ve ikili farklı bağlayıcı karışımları kullanılmıştır. Taze beton özelliklerinden slump akış zamanı, L –kutusu yükseklik oranı ve V-hunisi akış zamanı ve birim ağırlık  l  lm şt r. Daha sonra karışımlardan ayrıştırılan harç fazının ilk ve son prizlenme zamanı ve viskozitesi  l  lm şt r. Kullanılan mineral katkılarının değişik deneylerdeki performansları farklılıklar göstermektedir. İşlenebilirlik özelliği esas alındığında, UK  eren karışımlarda en iyi sonuçlar alınmıştır. Buna karşılık, mekanik özelliklerde, metakaolin kullanılan KYB'lerin diğer mineral katkı  eren karışımlara göre daha yüksek performans sergilediği saptanmıştır [47].

El-Dieb (2009) yaptığı çalışmada, ultra yüksek dayanımlı  elik lifli KYB'lerde mekanik özellikleri, durabilite özelliklerini ve mikro yapısal karakteristik özelliklerini incelemiştir [48].

Eroğlu (2007) yaptığı çalışmada, KYB'nin bazı temel bileşenlerinin, taze haldeki özelliklerine etkilerini belirlemiştir. Çalışmadaki deneyisel programda, UK kullanımı, yüksek oranda su azaltıcı kullanımı, viskozite düzenleyici katkı kullanımı ve s/b oranı, deneyisel tasarımın dört farklı değişkeni olarak düşünülmüştür. Çalışmada, bir deney tasarım tekniği olan “merkezi kompozit dizayn” kullanılmış ve toplam 21 beton karışımı dökülmüştür. Yayılma, V-hunisi, L kutusu, segregasyon oranı ve priz alma zamanları deneyleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca değişkenlerin KYB'nin

reolojisine etkilerini araştırmak için, Bingham Modelinin parametreleri olan görelî akma dayanımı ve görelî plastik viskozitesi beton reometresi kullanılarak ölçölmüştür. Deneysel bulgular yardımıyla KYB'nin taze haldeki özellikleri matematiksel denklemlerle ifade edilmiştir. Bu denklemler daha sonra UK, yüksek oranda su azaltıcı ve viskozite düzenleyici katkıların konsantrasyonlarının ve s/b oranının KYB'nin taze haldeki özelliklerine etkilerini açıklamak için kullanılmıştır. Beton karışımının s/b oranının, yapılan çalışmada kullanılan parametreler ile elde edilen ilgili modellerde en yüksek katsayıya sahip olması nedeniyle KYB'nin yayılma ve dar geçitlerden geçebilme özeliğı üzerinde en etkili parametre olduğı belirtilmiştir [49].

Sarıdemir (2006) yaptığı çalışmada ağırlıkça (puzolan)/(PÇ-42.5+puzolan) oranı 0'dan 0.5'e kadar farklı kombinezonlarda taze haldeki KYB'ler üzerinde Yayılma, V-Hunisi, ve U-box deneyleri ile her KYB serisi için 2, 7, 28 ve 60 günlük kür periyotları sonucunda basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirmiştir. Ayrıca çalışmada elde edilen bulgular ile KYB'lerin 28-günlük mukavemetinin tahmin edilebilmesi için regresyon analizleri yapmıştır. Sonuç olarak UK, ince öğütölmüş YFC ve öğütölmüş tras (senk trası) kullanılarak, istenen akıcılık, geçme, ve ayrışma direnci özelliklerine sahip C-30 ile C-45 arası sınıflarda KYB'ler elde edilebilmiştir [50].

Christianto (2004) yaptığı çalışmada, dört farklı mineral katkı, üç farklı SA katkı ve iki farklı viskozite iyileştirici katkı kullanarak, kendiliğinden yerleşen harç üretmiştir. Çalışmada mineral katkı olarak, UK, tuğla tozu, kalker tozu ve kaolin kullanılmıştır. SA katkı olarak, iki polikarboksilik bazlı ve biri naftalin formaldehit bazlı olmak üzere üç farklı katkı kullanılmıştır. Viskozite iyileştirici katkı olarak ise mikroskobik silika bazlı ve yüksek moleküler ağırlıklı hidroksil polimer bazlı iki farklı katkı kullanılmıştır. Deneysel çalışmada, UK, tuğla tozu, kalker tozu ve kaolin gibi mineral ve iki polikarboksilik bazlı ve biri naftalin formaldehit bazlı olmak üzere üç farklı kimyasal katkılar değışik oranlarda kullanılarak 43 ayrı kendiliğinden yerleşen harç üretilmiştir. Çalışmadaki tüm karışımlarda toplam su miktarı eşit tutulmuştur. Harçların islenebilirliklerinin tespiti için, yayılma testi (akma gerilmesi ile ilintili olarak kendiliğinden yerleşme kabiliyeti) ve V-hunisi (viskozite ile

bağlantılı olarak huniden boşalma süresi) deneyleri yapılmıştır. Ayrıca farklı katkı maddelerinin betonun priz süresine etkilerini tespit edebilmek amacıyla tüm karışımların priz süreleri ölçülmüştür. Betonun sertleşmiş özelliklerini ölçmek amacıyla tüm karışımlarda, 7, 28 ve 56 günlerde ultrasonik ses hızları tespit edilmiştir. Sonuç olarak incelenen mineral katkılarından UK ve kalker tozunun harçların işlenebilirliğini artırdıkları gözlemlenmiştir. İki karboksil bazlı katkı diğerine göre betonun işlenebilirliğini daha iyi artırmıştır [51].

Karaüç (2008) yaptığı çalışmada, SA katkıların ve belirli oranlarda çimento yerine kullanılan UK veya zeolit miktarının KYB'nin özelliklerine etkisini araştırmıştır. Çalışmada belirli oranlarda çimento yerine kullanılan farklı oranlarda UK veya zeolit miktarına sahip KYB karışımları UK veya zeolit kullanılmayan şahit bir karışımla karşılaştırılmış ve bu karışımlar için çökme-yayılma, t500, L kutusu ve V-hunisi işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler 7, 28, 90, 365 gün süreyle kür edilmiştir. Numuneler üzerinde basınç mukavemeti ve optimum yerleşme deneyleri yapılmıştır. Çalışmadaki deneysel bulgulara göre, karışımda bir miktar çimento yerine kullanılan UK veya zeolit miktarının KYB'nin dayanım özellikleri üzerine etkisinin olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, KYB karışımlarında çimento yerine %20 oranlarında UK kullanılmasının, dayanım özellikleri bakımından daha iyi olacağı görülmüştür [52].

Bui ve arkadaşları (2002) yaptıkları çalışmada, taze haldeki KYB'de ayrışma direncini hızlı bir şekilde belirlemek amacıyla normal betonda kullanılan sıkışma faktörü deney yöntemini kullanmışlardır. Toplam 62 farklı seri üzerinde gerçekleştirdikleri denemeler sonucunda KYB'lerin ayrışma direncinin başarılı bir şekilde elde edilebileceğini belirtmişlerdir [53].

Özbay (2007) yaptığı çalışmada, ikili, üçlü ve dörtlü mineral katkı kullanımının KYB'nin taze, mekanik ve durabilite özellikleri üzerindeki etkileri araştırmıştır. Çalışmada s/b oranı 0.32 ve 0.44 olan toplam 65 KYB üretiminde UK, öğütülmüş YFC, SD ve metakaolin ikili, üçlü ve dörtlü olarak çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. KYB'lerin taze özellikleri, yayılma süresi ve çapı, V-hunisi akma

süresi, L-kutusu yükseklik oranı, priz başlangıç ve bitiş süreleri tayini ve viskozite üzerinden gözlemlenmiştir. Ayrıca, üretilen KYB numuneleri üzerinde basınç, yarmada çekme ve ultrasonik ses hızı deneyleri, serbest kuruma rötresi, hızlı klor geçirimsizliği, elektriksel özdirenç, su emme, kılcal su geçirimsizliği, ve basınçlı su geçirimsizliği deneyleri yapılmıştır. Üretilmiş olan KYB'lerin deney sonuçları karışım parametrelerine bağlı olarak yapay sinir ağları (ANN) ve genetik programlama (GEP) teknikleri yardımı ile tahmin edilmiştir. Elde edilen yapay sinir ağları temelli matematiksel fonksiyonlar kullanılarak beton karışım oranları tekli ve çoklu objektifli optimizasyon problemleri haline dönüştürülüp, hedef fonksiyonları optimum yapan karışım oranları bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, UK, öğütülmüş YFC, SD ve metakaolinin çimento ile ikili, üçlü ve dördü kullanımları ile KYB'ler üretilmektedir. UK ve YFC'nin çimento ile ikili kullanımının KYB taze özelliklerini iyileştirdiği fakat SD ve metakaolinin ise taze beton özelliklerini olumsuz etkilediği görülmüştür. Kullanılan mineral katkıların ikili, üçlü ve dördü kullanımlarının üretilen KYB'lerin durabilite özelliklerini iyileştirdiği fakat UK'nın mekanik özellikleri özellikle 28. günde azalttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, KYB özelliklerinin iki çok iyi bilinen sezgisel yöntem yardımı ile (yapay sinir ağları ve genetik programlama) yüksek korelasyon katsayısı ve düşük ortalama mutlak hata yüzdesi ile tahmin edilebileceği görülmüştür. Yapay sinir ağları kullanılarak elde edilen formüller genetik programlama yöntemi ile elde edilenlere göre daha iyi istatistiksel verilere sahip olmasına rağmen genetik programlama yardımı ile elde edilen formüller daha kısa ve kullanımı kolay olduğu görülmüştür [54].

Sönmez (2008) yaptığı çalışmada, çimento yerine kullanılan YFC miktarının KYB özelliklerine olan etkisini araştırmıştır. Çalışmada çimento yerine kullanılan farklı oranlarda YFC miktarına (%20, 35, ve 50) sahip KYB karışımları YFC kullanılmayan şahit bir karışımla karşılaştırılmış ve bu karışımlar için çökme-yayılma, t500, L-kutusu ve V-hunisi islenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde, karışıma giren agregalardan doğal kum ve çakıl oranları ile özel süper akışkanlaştırıcı miktarı sabit, çimento yerine kullanılan YFC oranları değiştirilmiştir. Karışımlar için optimum islenebilirlik, s/b oranı değiştirilerek sağlanmıştır. Üretilen numuneler kalıptan alındıktan sonra 7, 28, 90 ve 365 gün süreyle 20 °C suda kür

edilmiştir. Numuneler üzerinde basınç mukavemeti deneyi yapılmıştır. Deney sonuçlarının analizinden, karışımda çimento yerine kullanılan YFC miktarının KYB'nin dayanım özellikleri üzerine etkisinin olduğu belirlenmiştir. Sonuçta, YFC'nin maliyet ve hidrasyona olumlu etkisi gibi avantajları da dikkate alındığında, KYB karışımlarında çimento yerine %20 ve/veya %35 oranlarında YFC kullanılmasının, basınç dayanımını %10 oranına kadar artırdığı görülmüştür [55].

Özkul ve Doğan (2003) yaptıkları çalışmada, KYB'lerin geçirimsizlik özelliklerini ortaya koymak amacıyla farklı çimento tipleriyle ürettikleri KYB'leri 3 yıl süreyle kür etmişler ve daha sonra kılcal su emme deneyi ile kılcallık katsayılarını belirlemişlerdir [56].

Eroğlu ve arkadaşları (2007) yaptıkları çalışmada, karışım parametrelerinin KYB'nin taze özellikleri üzerine etkilerini, bir istatistiksel deney tasarım tekniği olan “merkezi kompozit tasarım” yöntemi ile oluşturulan deney programı çerçevesinde araştırmışlardır. Çalışmada bu amaçla, karışımlarda UK yüzdesi, s/b oranı, SA ve viskozite düzenleyici katkı miktarları deneysel programın değişkenleri olarak belirlenmiş ve yayılma çapı, V hunisi, L-kutusu ve ayrışma deneyleri “merkezi kompozit tasarım” yöntemi yardımıyla oluşturulan 21 farklı beton karışımı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu karışımlardan elde edilen deney sonuçları kullanılarak deneylerde ölçülen taze beton özelliklerini matematiksel olarak ifade eden anlamlı istatistiksel modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modeller UK yüzdesi, s/b oranı, SA ve viskozite düzenleyici katkı oranlarının KYB'nin taze haldeki özelliklerine etkilerini açıklamak için kullanılmıştır. Elde edilen modellere göre, beton karışımının s/b oranı, çalışmada kullanılan parametreler ile oluşturulan modellerde en yüksek katsayıya sahip olması nedeniyle, KYB'nin yayılma ve dar kesitlerden geçebilme özelliği üzerinde en etkili parametre olduğu görülmüştür. Buna ilave olarak, polikarboksilik eter bazlı süperakışkanlaştırıcı katkının, KYB'nin yayılma ve dar kesitlerden geçebilme yeteneklerini artırırken, özellikle düşük oranlarda UK kullanılması durumunda ayrışma direncini düşürdüğü sonucuna varılmıştır[18].

Uygunoğlu (2008) yaptığı çalışmada, yoğunluğu fazla olan KYB'lerin birim ağırlıklarını azaltmak amacıyla KYB üretiminde normal agregaya ile hafif agregayı yer değiştirerek bazı deneyler gerçekleştirmiştir. Çalışmada normal agregaya olarak 4-16 mm boyutundaki kırmataş agregası kullanılmıştır. Hafif agregaya olarak da yine 4-16 mm tane boyutlarındaki pomza, volkanik tüf ve diatomit kullanılmıştır. İnce agregaya olarak tüm karışımlarda 0-4 mm tane boyutundaki doğal dere kumu kullanılmıştır. Seriler, 0.28, 0.31, 0.34, 0.36 ve 0.38 olacak şekilde beş farklı su-toz oranında ve ince malzeme miktarı da 600 kg/m^3 olacak şekilde toplam 20 farklı şekilde tasarlanmıştır. Normal agregayla üretilen seriler kontrol serisi olarak belirlenmiştir. Taze haldeki tüm KYB serilerinde çökmede yayılma, yayılmada T500 suresi, V-kutusu akış suresi, VT5 akış suresi, L-kutusu, U-kutusu, doldurma kutusu ve J-halkasında çökmede yayılma ve birim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Diğer yandan farklı agregalarla üretilmiş KYB'lerin sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesi için de, basınç dayanımı, dolaylı çekme dayanımı, ultrases geçiş suresi, yoğunluk, porozite, su emme, ısı iletkenlik, ısıl sekil değiştirme, ısıl genleşme, kılcal su emme ve yüzeysel aşınma deneyleri yapılmıştır. Sonuç olarak, düşük su-toz oranında üretilen KYB'lerde hafif agregaya kullanılmasıyla yüksek doldurma, geçebilme ve ayrışma direnci elde edilmiştir. Hafif agregaya kullanılması ile sertleşmiş beton özelliklerinden mekanik özellikler azaltılırken, yüksek sıcaklık etkisindeki ısıl genleşme katsayıları azaltılmıştır. Ayrıca yalıtım değerleri de arttırılmıştır. KYB'lerin yoğunlukları da önemli derecede azaltılmıştır [7].

Zhu ve Bartos (2003) yaptıkları çalışmada, KYB'lerde dayanıklılık özelliklerini belirlemek amacıyla aynı dayanım özelliklerine sahip KYB ve normal beton üretimi gerçekleştirmişlerdir. Deneysel çalışmalar sonucunda KYB'lerin normal betonlara göre daha düşük kılcallık katsayısına sahip olduklarını belirlemişlerdir [57].

Leeman ve arkadaşları (2006) yaptıkları çalışmada, KYB'de ve vibrasyonla üretilmiş normal betonda agregaya çimento hamuru ara yüzeylerinin özelliklerini incelemişlerdir. KYB'lerdeki agregaya çimento hamuru ara yüzeyinde daha az porozite görülürken, normal betonlardaki ara yüzey bölgesinde daha fazla porozite gözlenmiştir.

KYB’lerde agrega-çimento hamuru kenetlenmesinin normal betondakine göre daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [58].

Sukumar ve arkadaşları (2007) yaptıkları çalışmada, KYB’lerde ince malzeme olarak yüksek oranda UK kullanılması durumunda KYB’lerin ilk yaşlardaki dayanımını incelemişlerdir [59].

Felekoğlu ve arkadaşları (2007) yaptıkları çalışmada, KYB’de s/ç oranının taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Çalışmada s/ç oranının artmasıyla birlikte katkı miktarı azaltılmıştır. Taze beton özelliklerinden çökmede yayılma değerinin su-çimento oranının artışıyla önemli derecede değişmediğini; V-kutusu akış suresinin ve bloklaşma oranının azaldığını belirtmişlerdir. Sertleşmiş beton özelliklerinden de basınç dayanımı ve ilk yaşlardaki (özellikle 7 günlük) betonların dayanım gelişimi s/ç oranının artmasıyla azaldığını gözlemişlerdir. Aynı zamanda KYB’lerin elastisite modüllerinin iri agrega içeriğinin daha az olmasından dolayı normal dayanımlı betonlarınkine göre daha düşük olduğunu belirtmişlerdir [60].

Persson (2001) yaptığı çalışmada, normal betonla KYB’yi mekanik özellikleri açısından karşılaştırmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda KYB’nin elastisite modülü, sünme ve büzülme değerlerinin normal betonunkinden çok farklı olmadığını belirtmektedir [61].

Aruntaş ve arkadaşları (2007) yaptıkları çalışmada, KYB özellikleri üzerine atık mermer tozunun etkisini incelenmişlerdir. Çalışmada üretilen betonların karışım hesabı TS 802 ye göre yapılmıştır. KYB karışımlarında s/ç oranı, HA miktarı ve bağlayıcı miktarı sabit tutulmuştur. HA katkı, beton karışımlarına çimento miktarının (ağırlıkça) % 1.5 oranında katılmıştır. Atık mermer tozu, çimento ile ağırlıkça % 5, 10, 15, 20 ve 25 oranlarında ikame edilerek KYB içinde kullanılmıştır. Üretilen KYB’ler üzerinde 3, 7 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. AMT katkılı KYB ler fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından hem birbirleriyle hem de kontrol betonu ile karşılaştırılmıştır. KYB ler arasında en yüksek basınç

dayanımı % 20 AMT katkılı betonda elde edilmiştir. Deney sonuçları AMT nin KYB içinde kullanılabileceğini göstermektedir [16].

Sonebi (2004) yaptığı çalışmada, tane boyutu 20 mm olan bazalt agregası ve doğal kum ile, s/b oranını yüksek tutarak ve kimyasal katkı miktarını % 0-1 arasında değiştirerek orta dayanımlı KYB üretmeyi amaçlamıştır. UK'yı 210 kg/m^3 üzerinde kullanmak suretiyle 28 günlük basınç dayanımı 30-35 MPa arasında değişen orta dayanımlı KYB üretimi gerçekleştirmiştir [62].

2.3.2. Beton-donatı aderansı ile ilgili önceki çalışmalar

Valcuende ve Parra (2009) yaptıkları çalışmada, KYB'lerle üretilen 1500 mm yüksekliğindeki kolon örneklerine farklı yüksekliklerde donatı yerleştirilerek donatının konumunun aderans dayanımına etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak KYB'lerde donatının kolona gömülme yüksekliği aderansı çok düşük miktarda etkilemiştir [63].

Baena ve arkadaşları (2009) yaptıkları çalışmada, ACI 440.3R-04 ve CSA S806-02 standartlarına göre hazırlanmış 88 adet beton numune üzerinde direk çekme yöntemi ile aderans dayanımını incelemişlerdir. Donatı olarak karbon lifli, cam lifli ve çelik donatı kullanılmıştır. Çalışmada sabit gömme uzunluğu ve 5 farklı donatı çapı kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Çalışmada aderans-sıyrılma ilişkisi üzerinde, donatı yüzeyi, donatı çapı ve beton dayanımının etkisi araştırılmıştır. Ayrıca deneysel çalışmaya ek olarak aderans sıyrılma ilişkisi analitik olarak da çalışılmış ve donatı çapına bağlı olarak yeni formüller önerilmiştir [64].

Karataş (2007) yaptığı çalışmada, normal ve KYB'den üretilmiş ve 200×300×2000 boyutlarında 27 adet kiriş numunesini test etmiştir. Çalışmada her bir kiriş, açıklık ortasında bindirmeli ekli iki çekme donatısı yerleştirilerek ve kayma donatılı olarak tasarlanmıştır. Ekleme uzunluğu, donatı akma noktasına ulaşmadan önce, ekleme bölgesindeki beton örtünün yarılması ile aderans göçmesi olabilecek şekilde seçilmiştir. Deneyler esnasında, kiriş boyutları, donatı çapı ve s/b sabit tutulurken mineral katkı türü (UK ve SD) ve dozajı (%25, 30, 35, 40 UK ve %5, 10, 15, 20 SD) değişken parametre olarak alınmıştır. KYB'lerde mineral katkıların her bir dozajı ve kontrol betonu için üçer adet kiriş numunesi, sabit moment bölgesindeki ekleme uzunluğu kenarlarından pozitif eğilme ile yüklenmiştir. Sonuç olarak, genelde KYB numunelerine ait aderans dayanımlarının kontrol betonu numunelerinin aderans dayanımından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bununla birlikte SD içeren KSB kiriş numunelerine ait aderans dayanımlarının hem UK içeren KSB kiriş numunelerinin hem de kontrol betonuna ait numunelerin aderans dayanımlarından yüksek olduğu deney sonuçlarından anlaşılmaktadır [65].

Arslan (2007) yaptığı çalışmada, Doğu Karadeniz Bölümü doğal hafif agregalarının biriyle üretilen taşıyıcı hafif betonun standart BMK deneyi ile eğilmede donatıyla aderansını geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Çalışmada elde edilen bulgulara göre, taşıyıcı hafif beton-donatı aderansının geleneksel betonunkinden önemli derecede düşük olduğu, dolayısıyla da bu betonlarla inşa edilen yapıların tasarımı için, yürürlükte bulunan ulusal yönetmeliklerimizde (TS 500–2000, TDY–2007) aderans konusunda verilen kuralların pek geçerli olmadığı kanısına varılmıştır [38].

Benli (2007) yaptığı çalışmada, normal ve KYB'den üretilmiş ve 200*300*2000 mm boyutundaki 12 adet kiriş numunesini dört noktalı eğilmeye maruz bırakarak test etmiştir. Çalışmada deney sonuçlarıyla karşılaştırmak amacıyla aderans hesabı için kirişler nümerik olarak da sonlu eleman programı ANSYS yardımıyla da çözülmüştür. Her bir kiriş, açıklık ortasında bindirmeli ekli iki çekme donatısı yerleştirilerek ve kayma donatılı olarak tasarlanmıştır. Ekleme uzunluğu, donatı akma noktasına ulaşmadan önce, ekleme bölgesindeki beton örtünün yarılması ile aderans göçmesi olabilecek şekilde seçilmiştir. Deneyler esnasında, kiriş boyutları ve s/b sabit tutulurken değişken parametre olarak donatı çapı (16 ve 20) alınmıştır. Sonuç olarak, hem deneysel bulgulardan hem de nümerik çözümünden, her iki beton tipi için de donatı çapı arttıkça, aderans dayanımının azaldığı tespit edilirken, bu durumun nümerik çözümde daha belirgin olduğu görülmüştür[8].

Zhu ve arkadaşları (2004) yaptıkları çalışmada, KYB'de farklı çaplara sahip çelik çubukların aderans dayanımlarını araştırmışlardır [66].

Won ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada, sentetik ve çelik liflerin yüksek performanslı betonlarda aderans dayanımına etkisini incelemişlerdir. Çalışmada donatı olarak ise 9 mm çapında karbon lifli ve 13 mm çapında cam lifli donatı kullanmışlardır. Aderans dayanımlarını incelerken direk çekme yöntemini kullanmışlardır. Aderans dayanımının basınç dayanımı arttıkça arttığı görülmüş ve ayrıca liflerinde aderans dayanımını etkilediği görülmüştür. Karışımlardan 40 kg/m³ oranında çelik lif içeren en yüksek aderans dayanımını oluşturmuştur [67].

Davalos ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada, lif takviyeli donatılar ile beton iç yapısı arasındaki aderans dayanımını araştırmışlardır. Çalışmada donatı aderansı üzerine durabilitenin etkisini araştırmak üzere 48 adet pull-out numunesi hazırlanmış ve farklı çevre koşullarının (-20 ile 60 derece sıcaklıklarda kür işlemi) etkisi araştırılmıştır. Çevre koşullarına bağlı olarak aderans dayanımının karbon lifli donatı üzerinde %4-10 arasında, cam lifli donatı üzerinde ise %0-20 arasında azalmaya neden olduğu belirtilmiştir [68].

Lee ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada, 3 farklı donatının aderans dayanımını yüksek performanslı betonlar üzerinde çalışmışlardır. Bu donatılar kum kaplanmış karbon lifli-helisel olarak kumlu bir malzemeyle sarılmış ve normal çeliktir. Sonuç olarak basınç dayanımı arttıkça aderans dayanımının arttığı ve ayrıca karbon lifli donatıların çelik donatılardan daha az aderans sağladığı görülmüştür [69].

Fang ve arkadaşları (2006) yaptıkları çalışmada, çevrimsel yükler altında korozyona uğramış donatıların aderans gerilmesi ve sıyrılma arasındaki ilişkiyi deneysel olarak incelemişlerdir. Çalışmada donatıda meydana gelen korozyon tabakasının kalınlığını, sargı donatılarının mevcut olup olmadığını, donatı tipini ve yük geçmişini göz önünde bulundurmuşlardır. Çalışmanın sonunda çevrimsel yükler altında aderansta önemli kayıpların meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Aderansta meydana gelen azalmanın düz donatılarda daha fazla olduğuna ve sargı donatısının kullanılmasının aderans dayanımını olumlu yönde etkilediğine dikkat çekmişlerdir. Korozyon seviyesindeki artışın çevrimsel yükler altında meydana gelen sıyrılma miktarlarında önemli artışlar meydana getirdiğini de belirtmişlerdir [70].

Wang ve Liu (2006) yaptıkları çalışmada, donatı korozyonunun aderansa etkisini teorik olarak incelemişlerdir. Çalışmada korozyon tabakasının beton örtü kalınlığı üzerine etkisi dikkate alınmış ve farklı korozyon tabakası kalınlıklarına göre uygun pas payı tayin edilmiştir. Daha sonra beton ve donatı arasındaki sürtünme ile donatının dişlerinin hemen önünde oluşan mekanik kuvvetler dikkate alınmıştır. Yarıma kırılmasının olduğu durum için hesapladıkları aderans dayanımının teknik

literatürde mevcut deneysel sonuçlarla karşılaştırmak suretiyle sonuçların uyum içinde olduğunu savunmuştur [71].

Xiao ve Falkner (2005) yaptıkları çalışmada, geri dönüşümden elde edilen iri agregaları üç farklı oranda doğal agregalarla yer değiştirmişler (%0, %50 ve %100) ve iki farklı donatıyla (düz yüzeyli ve nervürlü) çekip çıkarma deneyini kullanarak bunların aderans davranışlarını araştırmışlardır. Çalışmanın sonunda düz yüzeyli donatının kullanılması durumunda aderans dayanımının artan geri dönüşümlü agrega miktarıyla azaldığını gözlemlemişlerdir. Bunun yanında yine geri dönüşümden elde edilmiş agregaların değişen oranlarda doğal agregalarla yer değiştirilmesinin nervürlü donatının betonla olan aderansında önemli bir azalma meydana getirmediğini göstermişlerdir [72].

Kankam (2004) yaptığı çalışmada, artık metallerin tekrar işlenmesiyle üretilen donatıların aderans yönünden davranışlarını incelemiştir. Yapılan deneysel çalışmada aderans dayanımlarını belirlemek için kiriş ve çekip çıkarma deneyleri kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda geri dönüşümden elde edilen donatıların aderans dayanımlarının, normal donatılarınkinden düşük olduğunu ancak donatılarda oluşan çekme gerilmelerin akma dayanımına ulaştığını gözlemlemişlerdir [73].

Dahil (2001) yaptığı çalışmada, yüksek başarılı (performanslı) ve geleneksel betonların değişik çaplardaki düz ve nervürlü donatılarla aderanslarını BMK deneyi yardımıyla karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Çalışmanın sonunda, üretilen yüksek başarılı beton-donatı aderansının geleneksel betonlarınkine göre çok daha yüksek olduğunu, donatı aderans boyunun azaltılabileceğini ve bu betonlarla inşa edilen yapıların tasarımı için bugün yürürlükte bulunan “TS 500 - Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları” nın geçerli olmadığını belirtmiştir [39].

Lin ve Zhang (2013) yaptıkları çalışmada, farklı yüzey özelliklerine sahip lif takviyeli polimer donatıların (cam-karbon-bazalt) kullanıldığı kirişler üzerinde 4 nokta eğilme testi ile eğilme ve aderans deneyleri yapmışlardır. Kullanılan donatıların kirişlerin eğilme dayanımına büyük etkisinin olduğunu ortaya

koymuşlardır. Elde ettikleri bulgulara göre betonla bazalt donatının aderansının yüksek olması nedeniyle bazalt kullanılan kirişler daha iyi performans göstermişlerdir [74].

Arezoumandi ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, yüksek hacimde UK içeren betonla geleneksel betonun aderans performanslarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada karşılaştırma yapmak için 12 direk çekme ve 12 tane tam ölçekli kiriş kullanmışlardır. Sonuçlar yüksek hacimde UK içeren betonun normal betonla karşılaştırılabilir ve hatta küçük miktar daha iyi olduğunu göstermektedir [75].

Mazaheripour ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, cam lifli polimer donatıların çelik lifli KYB'lerdeki aderans performanslarını araştırmışlardır. Çalışmada donatı çapı, donatı yüzey özelliği (yivli-nervürlü ve kumlanmış) donatı kenetlenme boyunun aderansa etkisi 36 adet mafsallı kiriş üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar yivli-nervürlü ve kumlanmış donatının farklı aderans performansı gösterdiğini ortaya koymuştur [76].

Pop ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, toz tipi KYB ile çelik donatı aderansını incelemişlerdir. Çalışmada 4 farklı KYB ile 2 farklı normal betonla üretilmiş 135 adet direkçekme deneyi için hazırlanmış küp numune kullanılmıştır. Donatı olarak Ø10-12 ve 14 mm çaplı nervürlü çelikler kullanılmıştır. Araştırmanın temel parametreleri beton basınç dayanımı, kullanılan donatının çapı, kenetlenme boyu ve çimento/kireçtaşı tozudur. Sonuç olarak KYB'nin aderans kabiliyetinin normal betondan daha iyi olduğu, aynı yük uygulandığında KYB'de sıyrılma değerlerinin daha düşük olduğu, Donatı çapı ve kenetlenme boyunun değişiminde ise KYB ile normal beton arasında benzer performansın bulunduğu görülmüştür [77].

Ashtiani ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, yaklaşık 90 MPa'lık yüksek dayanımlı KYB ve karşılaştırma amaçlı normal beton tasarlamışlardır. Çalışmada direk çekme yöntemiyle çelik sınıfı, çapı, kenetlenme boyu ve beton tipinin aderansa etkisi araştırılmıştır. Çalışmada özel olarak çelik çubuğun akma dayanımının da

aderansa etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak çeliğin çapına ve sınıfa bağlı olarak farklı düktilite özellikleri aderansı etkilemiştir [78].

Yazıcı ve Arel (2013) yaptıkları çalışmada, çelik lifli betonlarda çelik liflerin nervürlü donatı-beton aderansına etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak çelik lif oranının artması nervürlü donatıyı betondan sıyırmak için gerekli direk çekme yükünü artırmıştır. Çelik liflerin varlığı beton donatı aderansını artırmıştır [79].

Pepe ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, yenilikçi yapısal sistemler geliştirmek için çelik lifli KYB ile cam lifli donatıların aderans performanslarını araştırmışlardır. Çalışmada cam lifli donatı ile çelik lifli KYB'ler arasındaki aderans davranışına donatının yüzey özelliği (kum kaplı-yivli), donatı çapı (8-12mm), beton örtü kalınlığı (paspayı) ve kenetlenme boyunun etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak donatı yüzey özelliğinin aderansa önemli derece etki ettiğini belirtmişlerdir [80].

Helincks ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada, KYB'lerde donatı aderansı ve kesme kapasitesini belirlemek amacıyla direk çekme ve dört nokta eğilme deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada 4 farklı KYB ve 2 farklı normal beton karışımı kullanmışlardır. Çalışmanın aderans kısmında beton tipini ve donatı çapının (8-12-16-20 mm) etkisi araştırılmıştır. Çalışmada KYB'lerin aderans dayanımı vibrasyon uygulanmış betonla benzer veya daha iyi bulunmuştur. Yazarlar bunu KYB'deki ince agreganın fazla olması ve yüksek akışkanlık sayesinde donatının etrafının betonlar daha iyi sarılmasına atfetmiştir [81].

Masao ve arkadaşları (2000) yaptıkları çalışmada, UK, SD ve alçı taşının aderans dayanımı üzerinde etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, katkıların içerisinde bulunan SiO_2 ve CaO içeriği aderans dayanımını 28. günden sonra artırdığını ve kontrol betonunu geçtiğini görmüşlerdir [82].

Fang ve arkadaşları (2004) yaptıkları çalışmada, donatı korozyonunun aderans dayanımı üzerinde etkisini araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, düz donatıda korozyona uğramış deney numuneleri korozyona uğramamış deney numunelerine göre yaklaşık 2,5 katı kadar aderans dayanımının arttığını görmüşlerdir [83].

Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu (2006) yaptıkları çalışmada, betonarme demiri ve beton arasındaki aderans dayanımına kür koşullarının etkisi araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan numunelerin hazırlanmasında maksimum tane çapı (d_{max}) 16mm agregası kullanılmıştır. 20 ± 2 °C de su, naylon ve hava kürü uygulanan numunelere 3, 7, 14 ve 28 gün sonunda aderans ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre en yüksek aderans ve basınç dayanımı değerleri, suda kür edilen numunelerde elde edilmiştir. Suda kür edilen numuneleri sırasıyla, naylon kürü ve hava kürü numuneleri takip etmiştir [84].

Tanyıldızı ve Yazıcıoğlu (2006) yaptıkları çalışmada, mineral katkıların betonarme demiri (düz ve nervürlü) ve beton arasındaki aderans dayanımına etkisini araştırmışlardır. Çalışmada mineral katkılar çimentoya ağırlıkça, %15'i uçucu kül ve %10'nu silis dumanı olarak katılmıştır. 20 ± 2 °C de kür edilen numunelerin 3, 7, 14 ve 28 gün sonunda aderans ve basınç dayanımları ölçülmüştür. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre silis dumanı katkılı betonların basınç ve aderans dayanımları her yaşta daha yüksek olduğu görülmüştür. %15 uçucu kül katkılı betonlar ise kontrol betonuna göre 3 gün sonunda daha düşük dayanım gösterirken; 7, 14 ve 28 gün sonunda daha yüksek dayanım göstermiştir. Düz betonarme demirlerinin aderans dayanımları nervürlü betonarme demirine nazaran daha düşük olduğu gözlenmiştir [34].

Hossain (2007) yaptığı çalışmada, düz ve nervürlü donatı çubuklarının volkanik pomza agregası ile üretilen hafif betonla oluşturduğu bağ kuvvetlerini incelemiştir. Çalışmada aderans deneyleri 112 numune üzerinde gerçekleştirilmiş ve agregası türünün (normal, pomza), donatı şeklinin (düz, nervürlü), gömme boyunun ve yaş/beton mukavemetinin aderans üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kullanılan donatıların çapı 10 mm olup gömme boyları 7,5 cm, 12,5 cm ve 17,5 cm olarak

seçilmiştir. Çekme numuneleri 1, 3, 5, 7, 14, 21 ve 28 günlük olarak deneye tabi tutulmuştur. Düz donatılar için yük-sıyrılma ilişkisi hem normal agregalı hem de pomzalı betonlarda benzerlik göstermiştir. Düz donatılar için aderansa; beton mukavemetinin, agreg a türünün ve beton yaşının bir etkisi olmamış göçme mekanizması donatının sıyrılması şeklinde gerçekleşmiştir. Nervürlü donatılarda ise aderans ve göçme şekli; beton türüne, yaşına ve gömme boyuna göre değişmiştir. Normal agregalı ve pomzalı betonlar benzer yük-sıyrılma ilişkisi ve benzer göçme mekanizması göstermiştir. Yaş ve basınç mukavemetinin artmasıyla aderans da artmış ve göçme kırılma şeklinde olmuştur. Bununla beraber göçmenin donatının akma sınırına ulaşması sonucu olduğu numunelerde aderans beton yaşı ve mukavemetinden etkilenmemiştir. Ayrıca hem normal agregalı hem de pomzalı betonlarda, donatı gömme boyunun artmasıyla bağ kuvveti azalmıştır. Nervürlü donatıların bağ mukavemetleri pomza betonlarında, normal betonlara kıyasla daha küçük ölçülmüştür. Normal betonlardaki bağ kuvveti pomzalı betonların bağ kuvvetinden 1,08–1,14 kat daha fazladır ki bu hafif beton için olağan kabul edilebilir [85].

Benli ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada, normal ve KYB'den üretilmiş ve 200x300x2000 mm boyutlarına sahip 12 adet betonarme kiriş numunesi üzerinde dört noktalı eğilme testi gerçekleştirerek aderans dayanımlarını belirlemişlerdir. Ayrıca deney sonuçlarını nümerik olarak da bir sonlu eleman programı kullanarak modellemişlerdir. Çalışmada, toz malzeme olarak SD, CEM I 42.5 çimento, 20 mm maksimum çapa sahip agreg a kullanarak birer adet KYB ve normal beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak, nümerik çözümlerden elde edilen göçme yükleri ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında, normal betondan üretilen numunelerin göçme yükleri arasında %13, KYB ile üretilen numunelerin göçme yükleri arasında %9.6 oranında farkın bulunduğu, hem deneysel hem de sayısal çözümdeki KYB numunelerinin göçme yükleri arasındaki farkın normal betondan üretilenlere göre daha az olmasının ise KYB'nin reolojik ve dayanım özelliklerinden kaynaklandığı bildirilmiştir [86].

Foroughi-Asl ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada, KYB ile normal betonun aderans performansını karşılaştırmışlar ve KYB'nin normal betona göre daha yüksek aderans sağladığını belirtmişlerdir [87].

3. MATERİYAL ve METOT

Deneysel çalışmalarda üretilen KYB’lerde toz malzeme olarak CEM I 42,5 R tipi çimento, ince öğütülmüş YFC, düşük kalsiyumlu UK, viskozite düzenleyici olarak kalsit, agrega olarak kırmataş kalker esaslı ince (0-4.75 mm) ve iri agrega (4.75-12.7 mm), polikarboksilat esaslı HA ve çimento hidrasyonu için su kullanılmıştır. Bunların yanı sıra aderans deneylerinde Ø12 çelik, bazalt lifli ve cam lifli donatılar ile BMK numunelerinin üretimi için çelik kalıplar kullanılmıştır. Karışımlarda kullanılan tüm malzemelere ait karakteristik özellikler, KYB tasarımları, KYB’lerin tüm serilerindeki taze ve sertleşmiş beton deneyleri, tasarlanan KYB’lerde ve BMK’larda kullanılan kalıplar, üretilen KYB tasarımlarından seçilen karışımlarla kirişlerin üretimi ve kiriş numuneler üzerinde uygulanan aderans deney yöntemi bu bölümde özetlenmiştir.

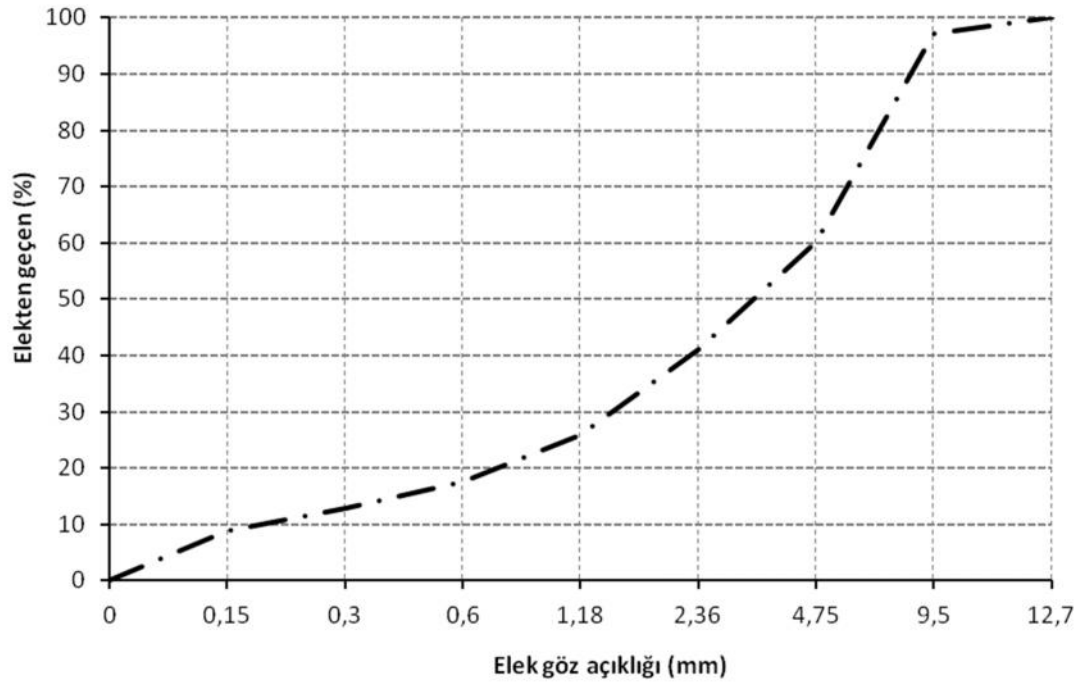
3.1 Materyal

3.1.1 Agrega

Deneysel çalışmalarda kullanılan agrega, Düzce İli Yığılca İlçesinden Kapucuoğlu firması tarafından çıkarılan sınıflandırılmış kırmataş agregadır. Kullanılan agrega ince (0 – 4.75 mm) ve iri agrega (4.75 - 12.7 mm) şeklinde iki sınıftır. Kullanılan agregaya ait fiziksel özellikler Çizelge 3.1’de ve agreganın beton üretiminde kullanılan karışım granülometrisi ise Şekil 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Kullanılan agregaya ait bazı fiziksel özellikler

Agrega	Özellik	
	Yoğunluk (g/cm ³)	Su emme (%)
İri (4.75 -12.7 mm)	2,717	0,55
İnce (0 – 4.75 mm)	2,70	2.3



Şekil 3.1. KYB üretiminde kullanılan agrega granülometrisi

3.1.2. Çimento

Çalışmada kullanılan çimento OYAK Bolu çimento fabrikasında üretilen CEM I 42.5 R tipi dökme çimento olup çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kullanılan çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal kompozisyon	(%)	Fiziksel özellikler	
SiO ₂	18.95	Priz başlangıcı (sa:dk)	02:20
Al ₂ O ₃	5.32	Priz sonu (sa:dk)	02:40
Fe ₂ O ₃	4.07	Hacim genleşmesi (mm)	1
CaO	64.72	Yoğunluk (g/cm ³)	3.18
MgO	1.35	Özgül yüzey (Blaine cm ² /g)	4663
SO ₃	2.90	Mekanik özellikler	
Na ₂ O	0.16	Basınç dayanımı (MPa)	
K ₂ O	0.51		
Kızdırma kaybı	3.83		
Çözünmeyen kalıntı	0.63		
Serbest CaO	1.52		
		7 gün	44.6
		28 gün	55.3
		90 gün	62.4

3.1.3. Mineral katkıları

Çalışmada çimento ikame malzemesi olarak mineral katkıları grubundan olan öğütülmüş granüle YFC ve düşük kalsiyumlu UK kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan YFC, OYAK Bolu Çimento San. AŞ Ereğli öğütme ve paketleme tesisinden, UK ise Çatalağzı termik santralinden temin edilmiştir. YFC ve UK'ya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. YFC ve UK'ya ait kimyasal kompozisyon ve fiziksel özellikler

Kimyasal kompozisyon (%)	UK	YFC
SiO ₂	58,56	38,56
Fe ₂ O ₃	6,51	1,07
TiO ₂	1,21	1,01
Al ₂ O ₃	23,39	16,64
CaO	1,81	34,2
MgO	2,02	7,29
Na ₂ O	0,53	0,58
K ₂ O	4,13	1,1
SO ₃	0,0013	0,35
P ₂ O ₅	0,14	-
Kızdırma kaybı	1,25	0
Fiziksel özellikler		
Yoğunluk (g/cm ³)	2,09	2,80
Özgül yüzey (cm ² /g)	4252	5283

3.1.4. Kalsit

Çalışmada viskozite düzenleyici olarak kullanılan kalsit yüksek saflık ve beyazlıktaki kalsit taşından üretilmiş kalsiyum karbonat tozudur. Kullanılan kalsit ESEN Mikronize Maden San. Tic. A.Ş. İstanbul Tuzla tesislerinden özel kraft kağıtlarla paketlenmiş olarak temin edilmiştir. Kalsite ait fiziksel, kimyasal ve genel özellikler Çizelge 3.4'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Kalsite ait fiziksel, kimyasal ve genel özellikler

Kimyasal kompozisyon (%)	
CaCO ₃ (TS EN ISO)	> 98
MgCO ₃ (3262-1)	< 2
Fe ₂ O ₃ (TS 4030)	< 0.02
SiO ₂ (TS 4033)	< 0.06
HCl'da Çözünmeyen (TS EN ISO 3262-5)	< 0.5
Fiziksel özellikler	
Yoğunluk (ISO 787/ 10)	2.7 gr/cm ³
Sertlik (Moh's)	3.0
Genel Özellikler	
45 Mikron elek üstü (H0818)	% 25-30 µm
En büyük tane (d 97 %)	95.00-105.00µm
Ortalama tane büyüklüğü (d 50 %)	25.00-30.00 µm
2 Mikron altı (%)	7.5-13.0
Beyazlık (Elrepho 450X) (%)	96.0-97.5
Nem (TS 2580 EN ISO 787/2)	< 0.09
PH değeri (TS 2326 EN ISO 787/9)	8.00-10.00
Yağ emmesi(TS 2583 EN ISO 787/5)	11.20 gr/100 gr

3.1.5. Kimyasal katkı

Çalışmada İKSA İnşaat Katkıları San. ve Tic. Ltd. Şti.'den temin edilen POLYCAR 300 polikarboksilat bazlı yüksek oranda su azaltıcı HA beton katkısı kullanılmış olup firmadan elde edilen ürün bilgileri Çizelge 3.5.'de verilmiştir.

Katkıda optimal dozajın istenilen çalışabilirlik ve mukavemetle ilgili olarak şantiye şartlarında yapılacak ön denemelerle tespit edilebileceği ve beton karışım komponentleri ile karışım suyunun %70'i ilave edilip, homojen bir karışım elde edildikten hemen sonra kalan su ile birlikte ilave edilmesinin uygun olacağı üretici firma tarafından önerilmektedir. Yine üretici firma tarafından, beton tasarımı yapılırken ince malzeme miktarının az olmamasına dikkat edilmesi gerektiği belirtilmekte olup ayrıca malzemenin SD, UK gibi malzemelerle uyumlu olduğu da ifade edilmektedir.

Çizelge 3.5. Kimyasal katkıya ait özellikler

Özellik	Kullanım dozajı
Görünüm	Açık kahve renkli sıvı
Tip	Polikarboksilat esaslı karışım
Yoğunluk	1.10 ± 0.03 kg/L
pH	4.00 – 5.50
Klorür	≤ %0.1 (TS EN 480–10)

3.1.6. Karışım suyu

Tüm KYB serilerinin üretiminde karışım suyu olarak içilebilir nitelikte olan Düzce ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.7. Donatı çubukları

KYB’lerde donatı aderansını belirlemek amacıyla Ø12 çapında 3 farklı donatı çubuğu kullanılmıştır. Bunlar çelik, cam lifli ve bazalt lifli donatı çubuklarıdır. Çelik çubuk standart S420a nervürlü donatı çubuğu olup piyasadan temin edilmiştir. Cam lifli donatı çubuğu yerli üretim olup Gebze’deki bir firmadan, bazalt lifli donatı çubuğu ise yurtdışından ithal edilen bir malzeme olup yerli bir firma aracılığıyla temin edilmiştir. Cam ve bazalt lifli donatı çubukları epoksi reçine kullanılarak üretilen yapay donatılardır. (Resim 3.1). Kullanılan donatılara ait mekanik özellikler Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kullanılan donatılara ait mekanik özellikler

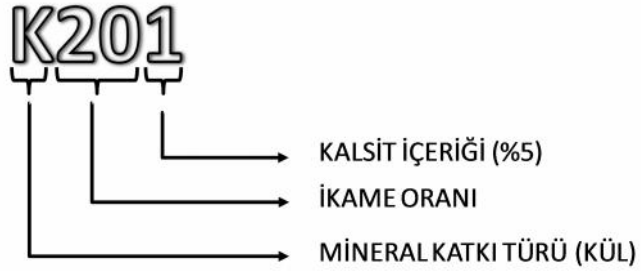
Mekanik özellik	Çelik	Cam lifli donatı	Bazalt lifli donatı
Akma (MPa)	490	-	-
Çekme (MPa)	570	-	-
Kopma (MPa)	478	315	858



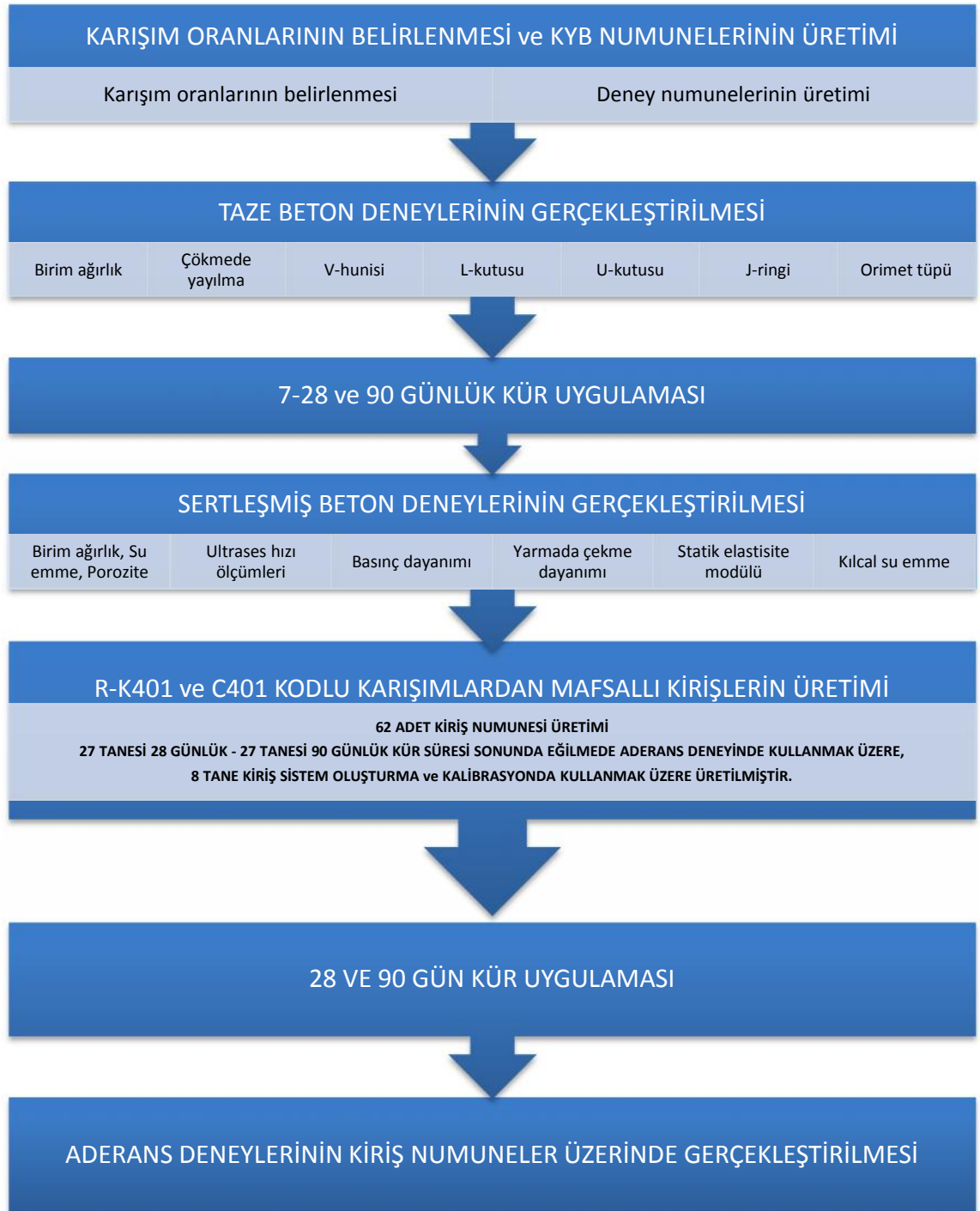
Resim 3.1. Aderans deneylerinde kullanılan donatı çubukları

3.2. Metot

Çalışmanın bu bölümünde Mafsallı kirişlerin üretilmesinde kullanılacak beton türlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen farklı karışım oranlarına sahip KYB'lerin tasarımı ve deney yöntemleri ile KYB'lerden seçilen betonlarla mafsallı kirişlerin üretilmesi özetlenmiştir. Anlatım kolaylığı sağlaması için tüm beton serilerinde bir kodlama kullanılmıştır. Kullanılan kodlamada UK içeren serilerde külü temsilen “K”, YFC içeren serilerde ise cürufu temsilen “C” harfleri kullanılmıştır. Kodlamanın ortasında bulunan iki rakam mineral katkının ikame oranını ve son rakam ise agreganın yerine kullanılan kalsiti temsil etmektedir. Kalsit için kullanılan rakamlardan “0” rakamı karışımda kalsit olmadığını, “1” rakamı karışımdaki toplam agreganın %5'inin kalsit ile yer değiştirdiğini, “2” rakamı ise karışımdaki toplam agreganın %10'unun kalsit ile yer değiştirdiğini simgelemektedir. Kullanılan kodlamaya ait bir örnek aşağıda verilmiştir.



Tez kapsamında gerçekleştirilen bütün çalışmalar Şekil 3.2’de gösterilen akış diyagramında özetlenerek sunulmuştur.



Şekil 3.2. Tez kapsamında gerçekleştirilen deney programı

3.2.1. KYB’lerin tasarımı ve karışım oranlarının belirlenmesi

KYB karışımlarının optimize edilmesinde beklenen genel özellikler yüksek akıcılık, yüksek stabilite ve düşük bloklanma riskidir. Bu özelliklerin sağlanması için taze beton akıcı kıvama, optimum viskoziteye ve kohezyona sahip olmalıdır. Bunların sağlanması için karışım tasarımı iyi yapılmalı ve uygun malzemeler uygun oranlarda kullanılmalıdır. Göz önünde bulundurulması gereken önemli bir nokta geleneksel sıkıştırma işlemi uygulanacak şekilde tasarlanmış bir betonun sadece SA veya HA ilavesi ile KYB haline getirilemeyeceğidir. Genel tasarım ilkeleri; yüksek hamur hacmi, düşük kaba agrega içeriği, düşük maksimum agrega çapı, SA veya HA kimyasal katkı kullanımı ve viskozite artırıcı inert veya puzolanik toz malzemeler ve/veya viskozite düzenleyici kimyasal katkıların kullanımıdır [88]. Deneysel çalışmalarda öncelikle maksimum doluluk ve minimum boşluk oranını sağlayacak şekilde ince ve iri agreganın yüzdesel olarak dağılımı belirlenmiştir. Bu oran belirlenirken literatürdeki bazı çalışmalar [88,89] tarafından önerilen yöntem kullanılmıştır.

Bu yöntemde deneysel çalışmada kullanılan ince-iri agregaların belirli ince agrega/toplam agrega oranlarındaki gevşek birim hacim ağırlıkları ile buna karşılık gelen ve “Eş. 3.1” yardımıyla bulunan agrega fazındaki boşluk hacmi belirlenmiştir.

$$V_{bh} = \left[1 - W * \frac{a * (\rho_c - \rho_f) + \rho_f}{\rho_c * \rho_f} \right] * 100 \quad (3.1)$$

Eşitlikte;

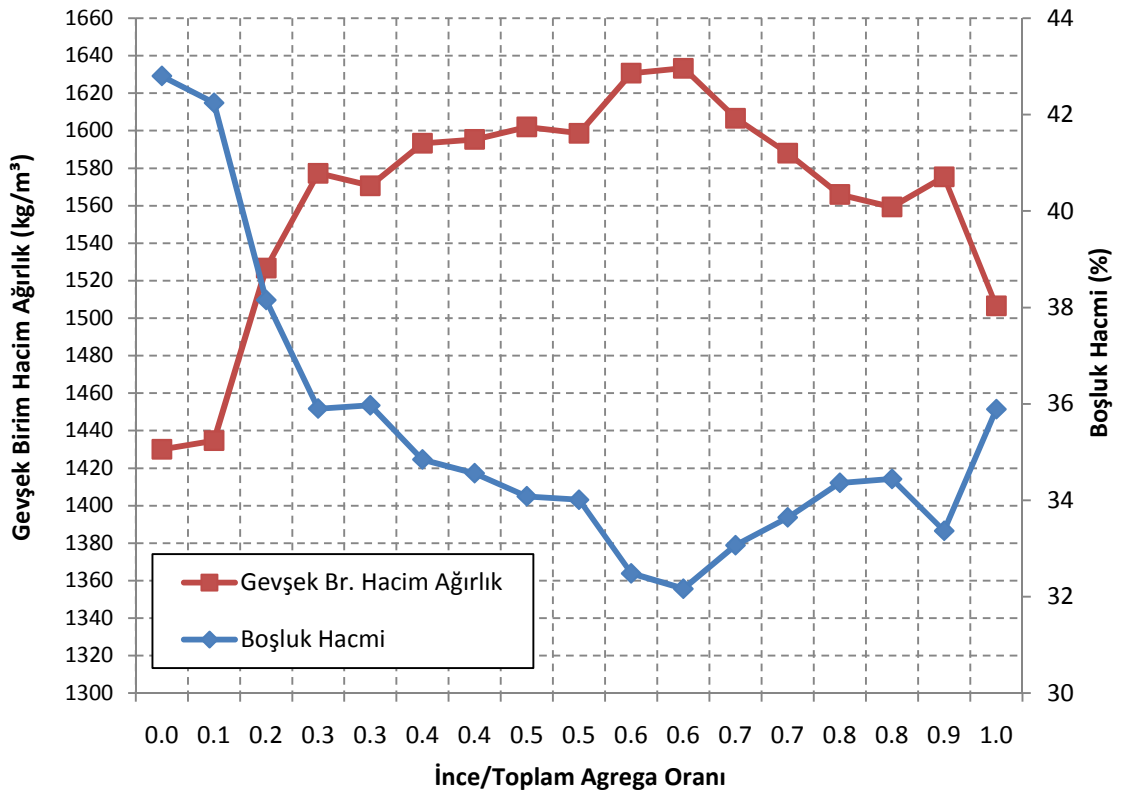
V_{bh} agrega karışımındaki boşluk hacmi yüzdesini,

W karışımın gevşek birim hacim ağırlığını (kg/m^3),

“ a ” karışımındaki ince agrega/toplam agrega oranını,

ρ_c ve ρ_f ise iri ve ince agreganın kuru özgül ağırlıklarını göstermektedir.

Şekil 3.3’de, kullanılan agregaların farklı ince agrega/ toplam agrega oranlarındaki gevşek birim hacim ağırlıkları ve boşluk hacmi yüzdelere göre çizilmiş grafik verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere maksimum gevşek birim ağırlık ve minimum boşluk hacmi yüzdesi değerini elde etmek için ince agrega/toplam agrega değerinin 0.60 olarak seçilmesi uygun düşmektedir.



Şekil 3.3. Agreganın gevşek birim hacim ağırlıkları ve boşluk hacmi yüzdeleri

Çalışmada 1 tane kontrol, 6 tane mineral katkı içeren ve 12 tane de mineral katkı ile birlikte viskozite düzenleyici toz katkı içeren toplam 19 farklı karışıma sahip KYB üretilmiştir. Üretilen 1 tane kontrol betonunun yanı sıra karışımlarda UK ve YFC her biri ayrı ayrı olacak şekilde %20, %40 ve %60 oranlarında çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmış ve 6 farklı mineral katkı ikameli KYB tasarlanmıştır. Ayrıca kullanılan UK ve YFC’nin her bir ikame oranında ise kalsit toplam agrega miktarı ile %5 ve %10 oranında ağırlıkça yer değiştirilerek 12 farklı KYB serisi daha tasarlanmıştır. Karışımlarda gerekli olan su miktarını ayarlamaya yol açmayacak

şekilde belirlemek amacıyla, kalsitin su tutma özelliği de göz önünde bulundurularak tüm karışımlar için deneme yanılma yoluyla çok sayıda ön deney gerçekleştirilmiştir. Çalışmada toplam toz malzeme miktarı 500 kg/m^3 olarak belirlenmiş ve sabit oranda toz malzeme/HA katkı kullanımı hedeflenmiştir. Çimento katkı uyumunu gözlemek amacıyla ise 3 farklı firmadan temin edilen polikarboksilat esaslı kimyasal katkıları ile ön denemeler yapılmış ve çimento ile en iyi uyumu gösteren katkı belirlenmiştir. Deneysel olarak KYB üretimi yapılan tüm serilere ait karışım oranları Çizelge 3.7 (a) ve 3.7 (b)'de verilmiştir.

Çizelge 3.7 (a) 1 m³ KYB Karışımına giren malzeme miktarları/oranları (UK ikameli)

Bileşenler	Karışımına giren malzeme miktarları/oranları									
	R	K200	K400	K600	K201	K401	K601	K202	K402	K602
Su (kg/m ³)	167,5	162,500	152,500	150,00	162,5	152,5	150	162,5	152,5	150
Çimento (kg/m ³)	500	400	300	200	400	300	200	400	300	200
UK (kg/m ³)	0	100	200	300	100	200	300	100	200	300
HA (kg/m ³)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
0-4,75 Ağrega (kg/m ³)	1054	1036	1026	1004	984	975	954	932	923	903
4,75-12,7 Ağrega (kg/m ³)	703	691	684	669	656	650	636	622	616	602
Kalsit (kg/m ³)	0	0	0	0	86	86	84	173	171	167
Hava	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Toplam Ağrega (kg/m ³)	1757	1727	1710	1673	1727	1710	1673	1727	1710	1673
Toplam teorik ağırlık (kg/m ³)	2431	2396	2369	2330	2396	2369	2330	2396	2369	2329
Su toz malzeme	0,335	0,325	0,305	0,3	0,325	0,305	0,3	0,325	0,305	0,3
UKb	0	0,2	0,4	0,6	0,2	0,4	0,6	0,2	0,4	0,6
HA b	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
0-4,75 / toplam ağrega	0,6	0,6	0,6	0,6	0,57	0,57	0,57	0,54	0,54	0,54
4,75-12,7 / toplam ağrega	0,4	0,4	0,4	0,4	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,36
Kalsit toplam ağrega	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10

Çizelge 3.7 (b). 1 m³ KYB karışımına giren malzeme miktarları/oranları (YFC ikamei)

Bileşenler	Karışma giren malzeme miktarları/oranları									
	R	C200	C400	C600	C201	C401	C601	C202	C402	C602
Su (kg/m ³)	167,5	165	163	159	165	163	159	165	163	159
Çimento (kg/m ³)	500	400	300	200	400	300	200	400	300	200
YFC (kg/m ³)	0	100	200	300	100	200	300	100	200	300
HA (kg/m ³)	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5
0-4,75 Ağrega (kg/m ³)	1054	1051	1048	1047	999	995	995	946	943	942
4,75-12,7 Ağrega (kg/m ³)	703	701	699	698	666	664	663	631	629	628
Kalsit (kg/m ³)	0	0	0	0	86	87	87	175	175	175
Hava	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020	0,020
Toplam Ağrega (kg/m ³)	1757	1752	1746	1746	1752	1746	1745	1752	1746	1745
Toplam teorik ağırlık (kg/m ³)	2431	2424	2416	2411	2422	2416	2411	2424	2415	2411
Su toz malzeme	0,335	0,33	0,326	0,318	0,33	0,326	0,318	0,33	0,326	0,318
YFC/b	0	0,2	0,4	0,6	0,2	0,4	0,6	0,2	0,4	0,6
HA/b	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013	0,013
0-4,75 / toplam ağrega	0,6	0,6	0,6	0,6	0,57	0,57	0,57	0,54	0,54	0,54
4,75-12,7 / toplam ağrega	0,4	0,4	0,4	0,4	0,38	0,38	0,38	0,36	0,36	0,36
Kalsit/toplam ağrega	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05	0,05	0,10	0,10	0,10

3.2.2. KYB ön deney numunelerinin hazırlanması

KYB üretimi için 0.1 m^3 hacme sahip ve 45 derecelik açıyla dönerek serbest düşme sağlayan laboratuvar tipi mikser kullanılmıştır. Ön deneylerle karışım oranları belirlenen KYB'lerin üretiminde laboratuvar tipi mikser içerisine sırasıyla agrega, kalsit, çimento ve ikame malzemesi (UK-YFC) yerleştirildikten sonra 1 dk. kuru halde karıştırılmıştır. Karıştırma işlemi devam ederken su miktarının dörtte üçü ilave edilerek 1 dk. daha karıştırmaya devam edilmiştir. Son olarak kalan su içerisinde kimyasal katkı çözülerek karışıma ilave edilmiş ve mikserin çalıştırılmasına 3 dk. daha devam edilmiştir. Karışım sonrası taze haldeki KYB serbest düşme hareketi ile alınarak taze beton deneylerine geçilmiştir.

Taze beton deneylerinde çökme yayılma deneyi tablası, V-hunisi, L kutusu, U kutusu, J ringi, Orimet tüpü aparatları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan deneysel aparatlar ve ölçtüğü parametreler Çizelge 3.8'de sunulmuştur.

Çizelge 3.8. Kullanılan KYB deney metotları

Ölçüm Karakteristiği	Test Metodu	Ölçülen Değer
Akışkanlık/Doldurma Kabiliyeti	Çökme yayılma	Toplam Yayılma Çapı
	T_{500} (sn)	Akma Süresi
Viskozite/Akışkanlık	V-Hunisi	Akma Süresi
	Orimet Tüpü	Akma Süresi
	L-Kutusu	Geçme Oranı
Geçme Kabiliyeti	U-Kutusu	Yükseklik Farkı
	J-Ringi	Yayılma çapı

3.2.3. Taze beton deneyleri

Taze beton birim ağırlık deneyi

Deneyde taze beton, birim ağırlık deneyi yapmak üzere hacmi belli ve darası alınmış bir kap içerisine sıkıştırma yapılmadan yerleştirilmiş ve terazide tartılmıştır. Tartım sonucu bulunan beton ağırlığı kap hacmine bölünerek taze beton birim ağırlıkları belirlenmiştir.

Çökmede yayılma deneyi

Çökmede yayılma deneyi EFNARC (2005) [22] ve TS EN 12350-8 [90] önerilerine göre gerçekleştirilmiştir. Deneyde ilk olarak kullanılan 90*85 cm boyutlarındaki plywood kalıp malzemesi üzerine çökme hunisini yerleştirmek üzere 200 mm çaplı ve T_{500} yayılma süresini belirlemek amacıyla 500 mm çaplı dairelerin hatları belirlenmiştir (Resim 3.2).

Deney hazırlanan bu plywood plaka üzerinde Abrams konisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Plaka ve koni deney öncesinde nemlendirilmiştir. Deneyde, Abrams konisi içerisine doldurulan KYB numunesi koni kaldırıldıktan sonra bu plaka üzerinde yayılmaya başlamıştır. Yayılmaya başladıktan sonra öncelikle levha üzerine önceden çizilmiş olan 500 mm çapındaki çizgiye ulaşıncaya kadar geçen süre belirlenmiştir. Betonun yayılması durduktan sonra da birbirine dik olacak şekilde iki doğrultuda yayılma çapları ölçülmüştür (Resim 3.2). Ölçülen yayılma çaplarının aritmetik ortalaması alınarak deney sonucu olarak kaydedilmiştir.



Resim 3.2. Çökme yayılma tablası hazırlanması ve deneyin uygulanışı

V-Hunisi deneyi

V şeklindeki huni içerisine konmuş olan taze haldeki KYB numunesinin huniden akmaya başlamasından itibaren huni üzerinden bakıldığında ışık görünen ana kadar olan sürenin belirlenmesi esasına dayanan deney EFNARC (2005) [22] ve TS EN 12350-9 [92] önerilerine göre gerçekleştirilmiştir. Deneyde V-şekilli huni içerisine yaklaşık 12 litre taze KYB yerleştirildikten sonra alttaki kapağın açılması ile birlikte kronometre başlatılmış ve huni üzerinden aşağı bakıldığında ışık görünen ana kadar olan süre (sn) kaydedilmiştir. Deneysel uygulama Resim 3.3’de görülmektedir.



Resim 3.3. V-Hunisi deneyinin uygulaması

L-kutusu deneyi

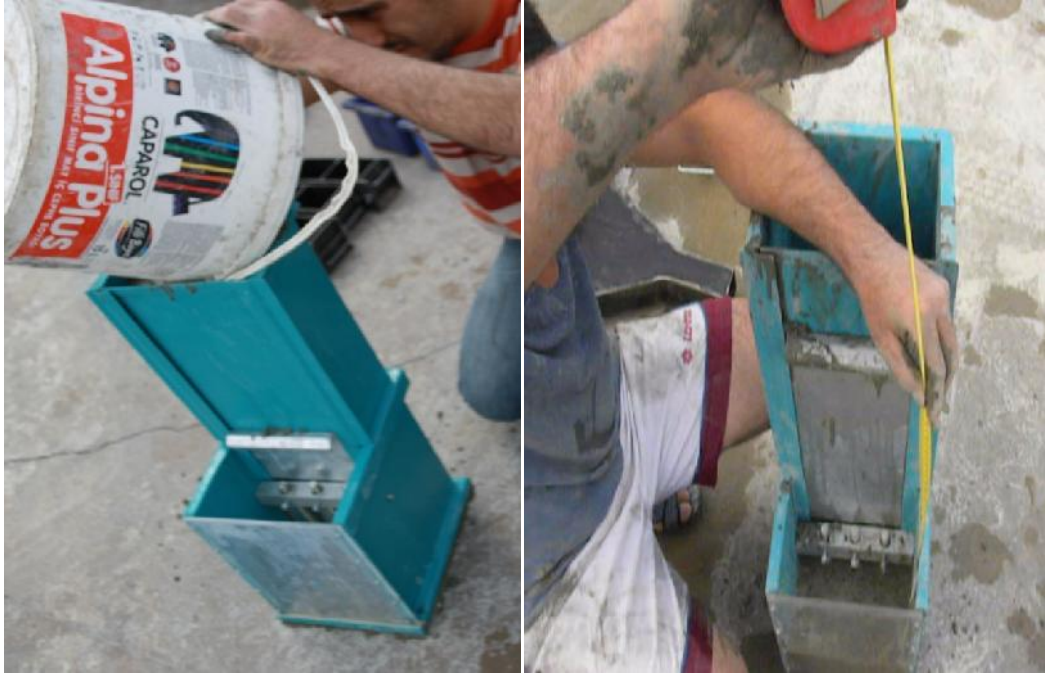
Çökme yayılma ve V-Hunisi deneylerine benzer şekilde yine EFNARC (2005) [22] ve TS EN 12350-10 [93] önerilerine göre gerçekleştirilen bu deneyde yatay ve dikey birbirine dik iki kolu bulunan L şeklindeki bir kutu içerisine yaklaşık 12 litre beton doldurularak alttaki kapak açılmış ve kronometre başlatılmıştır. Taze beton öncelikle hemen kapağın ardında yerleştirilmiş olan düşey pozisyondaki 3 adet Ø12'lik donatılardan geçmeye çalışmaktadır. Taze betonun yatay kol üzerinde işaretli olan 200, 400 ve 600 mm'lik mesafelere varış süreleri kronometre yardımıyla belirlenmiştir (Resim 3.4). Taze betonun L-kutusu içerisinde tamamen akmasını tamamladığı anda her iki kolun uç kısmındaki beton yükseklikleri ölçülmüştür. Bu beton yüksekliklerinin birbirine oranlanmasıyla (h_2/h_1) geçebilme oranları elde edilmiştir (Resim 3.4).



Resim 3.4. L-kutusu deneyinin uygulanışı

U-kutusu deneyi

U-kutusu deneyi EFNARC (2002) [32] önerilerine göre gerçekleştirilmiştir. Geçebilme yeteneğinin ölçüldüğü bu yöntemde ortası sınırlandırılmış U şeklindeki kutu içerisinde bir göze konan (Resim 3.5) KYB numunesinin kutunun alt kısmında yer alan donatılar arasından atmosferik basınç altında kendi ağırlığıyla diğer göze geçmesi beklenmiştir. Daha sonra her iki gözdeki beton yükseklikleri ölçülerek (Resim 3.5) aradaki farktan betonun geçebilme yeteneği belirlenmiştir.



Resim 3.5. U-kutusu deneyinin uygulanışı

J-Halkasında çökme yayılma deneyi

Taze haldeki KYB numunenin geçebilme yeteneğini ölçmek üzere uygulanan deneyde J-halkası içerisine merkezlenen Abrams konisine KYB karışımı sıkıştırılmadan yerleştirilmiştir. Daha sonra koni dikey olarak yukarı çekilmiştir. Resim 3.6'da görüldüğü gibi J-Halkasını geçerek yayılan taze haldeki KYB'nin yayılması durduktan sonra çökme yayılma deneyine benzer şekilde birbirine dik yayılma çapları ölçülmüştür. (Resim 3.6).



Resim 3.6. J-ringi deneyinin uygulanişı

Orimet tüpü deneyi

Orimet tüpü deneyi de U-kutusu deneyine benzer şekilde EFNARC (2002) [32]  nerilerine göre gerçekleştirilmiştir. KYB numunelerin bir t p içerisine yerleştirilmesi ve t p içerisinden boşalma süresinin ölçülmesi esasına dayanan ve uygulanması son derece basit olan bu deneyde t p içerisine yaklaşık 8 litre taze KYB serbest düşme ile yerleştirilmiştir (Resim 3.7). Daha sonra alttaki kapağın açılması ile birlikte kronometre başlatılmış ve t p üzerinden aşağı bakıldığında ışık görünen ana kadar olan süre (s) kaydedilmiştir (Resim 3.7).



Resim 3.7. Orimet tüpü deneyinin uygulanışı

3.2.4. Taze betonun kalıplara yerleştirilmesi

Üretilen KYB karışımları üzerinde taze beton deneyleri tamamlandıktan sonra taze haldeki betonlar herhangi bir sıkıştırma veya sarsma işlemi uygulanmadan kalıplara yerleştirilmiştir. (Resim 3.8). Kalıplara yerleştirilen KYB karışımları 24-36 saat boyunca kalıplarda bekletilmiş ve kür işlemi uygulamasına geçilmiştir.



Resim 3.8. Kullanılan kalıplar-kalıplara betonların yerleştirilmesi

3.2.5. Deneylerde kullanılan numune boyutları ve kür şartları

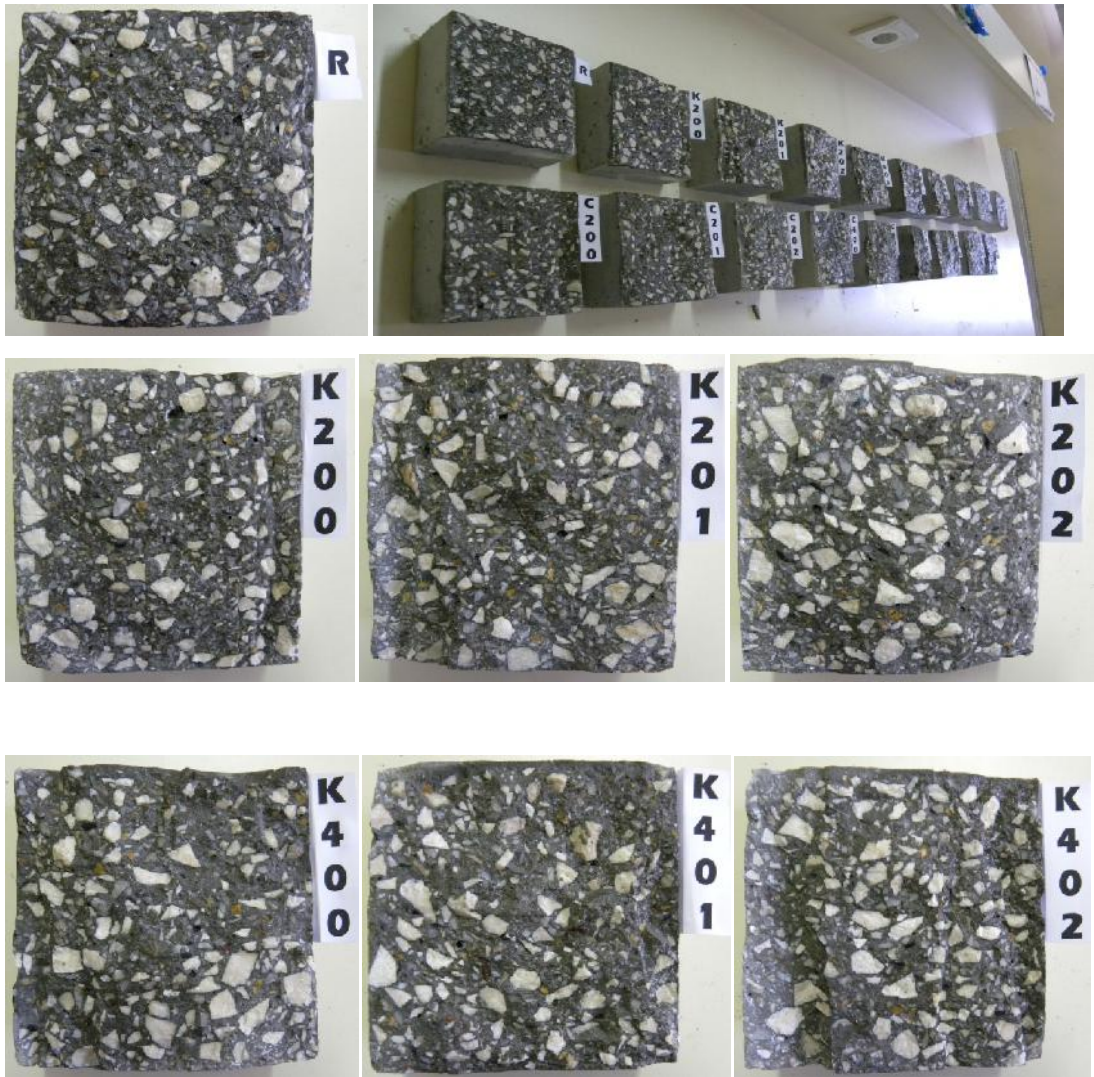
Çalışmada aderans dayanımlarının belirlendiği kiriş deneylerinde kullanılan KYB karışımlarını belirlemek üzere üretilen tüm KYB serilerindeki fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek amacıyla gerçekleştirilen sertleşmiş beton deneylerinde 100x100x100 mm boyutlarındaki küp numuneler birim ağırlık, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, yarmada çekme dayanımı, su emme, porozite ve kılcallık deneyleri için, Ø100x200 mm boyutlarındaki silindir numuneler ise elastisite modülü deneyi için kullanılmıştır. Taze beton deneyleri yapılarak kalıplara yerleştirilen ve 24-36 saat boyunca kalıplarda bekletilen KYB numuneleri çıkarılarak 20 ± 2 °C sıcaklıktaki kirece doymun su içeren kür havuzunda deney gününe (7, 28, 90 gün) kadar bekletilmişlerdir (Resim 3.9).



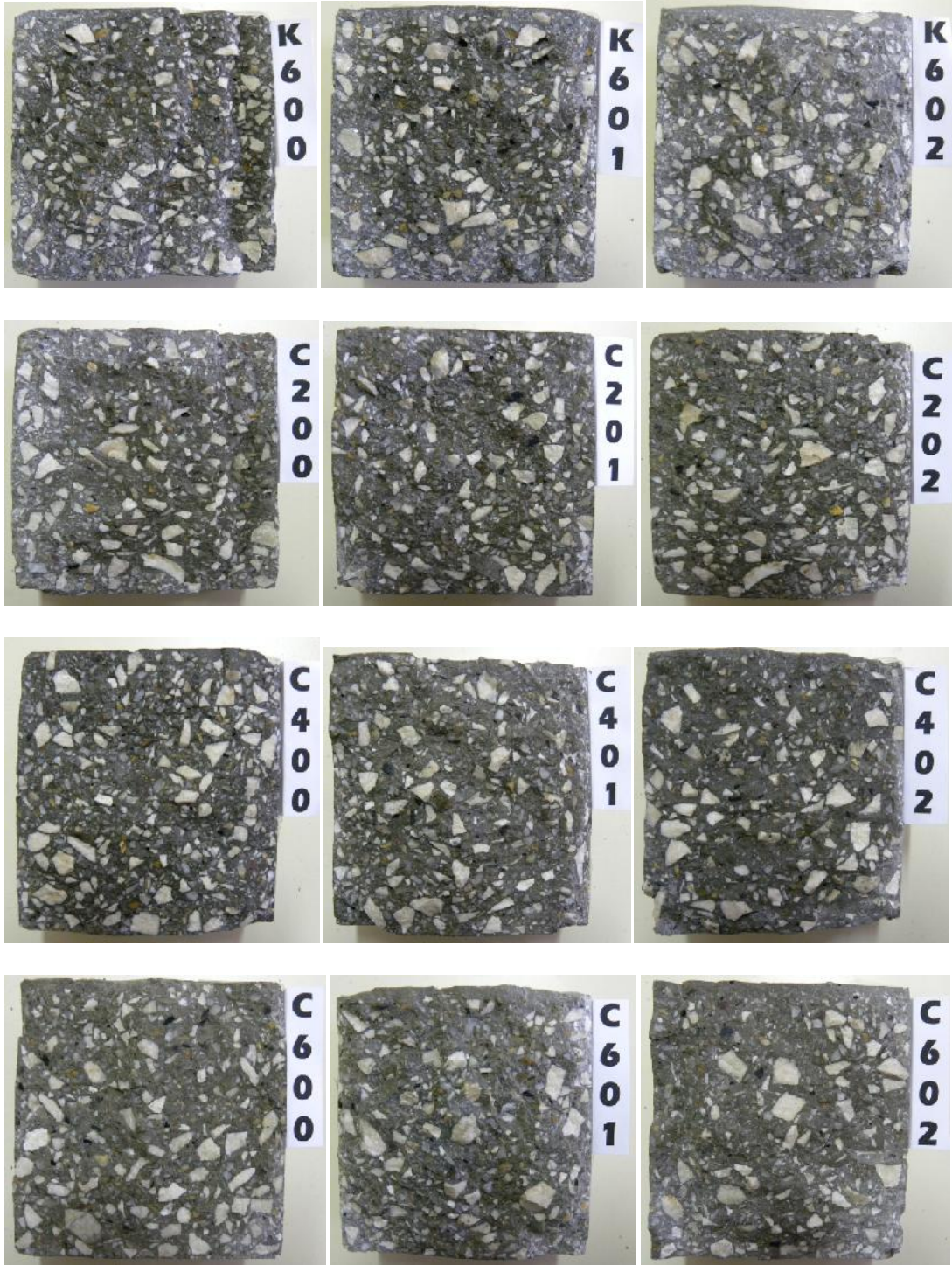
Resim 3.9. Kür havuzunda bekletilen KYB numuneleri

3.2.6.Sertleşmiş beton deneyleri

Kür havuzunda bekletilen numunelerin her serisinden 1 tane olmak üzere 19 numune 7. günde kür havuzundan çıkarılmış ve segregasyon olup olmadığı numune orta kısmından ikiye ayrılarak gözlenmiş ve herhangi bir segregasyon riskine rastlanmamıştır. Resim 3.10'da segregasyon için gözlem yapılan tüm KYB numuneleri görülmektedir.



Resim 3.10. Segregasyon için gözlem yapılan KYB numuneleri



Resim 3.10. (devamı) Segregasyon için gözlem yapılan KYB numuneleri

Kür havuzunda bekletilen numuneler üzerinde 28. günde birim ağırlık, su emme, görünür porozite, ultrases hızı ölçümleri, yarmada çekme, statik elastisite modülü, kılcal su emme deneyleri ile 7,28 ve 90. günlerde ise basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Birim ağırlık, su emme ve görünür porozite deneyleri

Üretilen KYB numuneleri 28 günlük kür uygulamasından sonra kür tankından çıkarılıp yüzey nemleri bir bez yardımıyla alınarak doygun ağırlıkları, su ile yer değiştirme metoduna uygun olarak hacimleri ve değişmez ağırlığa kadar kurutulduktan sonraki ağırlıkları belirlenmiştir. Daha sonra “Eş. 3.2, 3.3 ve 3.4” yardımıyla numunelerin birim hacim ağırlık, su emme ve poroziteleri belirlenmiştir.

$$BHA = \frac{m1}{m1 - m2} \quad (3.2)$$

$$SE = \frac{m1 - m3}{m3} * 100 \quad (3.3)$$

$$GP = \frac{m1 - m3}{m1 - m2} * 100 \quad (3.4)$$

Eşitliklerde;

BHA, birim hacim ağırlık (kg/m³);

SE, su emme (%);

GP, görünen porozite (%);

m1 suya doygun havada ağırlık (kg);

m2 su içerisinde asılı ağırlık (kg);

m3 etüv kurusu ağırlık (kg) değerlerini ifade etmektedir.

$$USG = \frac{L}{t} \quad (3.5)$$

Denklemde;

USG, ultrases geçiş hızını (mm/μs)

L, numunedeki alıcı ve verici arasındaki mesafeyi (mm)

T, numunedeki ultrases geçiş süresini (μs) temsil etmektedir.

Basınç dayanımı deneyi

7, 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda KYB numunelerin basınç dayanımı deneyi tüm seriler için 100x100x100 mm boyutlarındaki numuneler üzerinde TS EN 12390-3'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde Resim 3.11'de görölen tek eksenli hidrolik pres kullanılmıştır. Tüm serilerden basınç dayanımı için üçer adet küp numune kullanılmış ve deney sonucu olarak bu üç numunenin basınç dayanımı sonucunun aritmetik ortalaması kullanılmıştır.



Resim 3.11. Tek eksenli pres

Yarmada çekme deneyi

KYB numunelerin 28 günlük kür süresi sonunda yarmada çekme dayanımlarının belirlenmesinde basınç dayanımında kullanılan tek eksenli hidrolik pres kullanılmıştır. Çalışmada 100 mm boyutlu küp numuneler Resim 3.12’de görüldüğü gibi özel aparat yardımıyla kırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.12. Yarmada çekme deneyinin uygulanması

Deneyde üzerine yük uygulanan yarma aparatları ile beton numunelerde eksenel ve çizgisel olarak çekme gerilmeleri oluşturulmakta ve elde edilen yarıma yükü kullanılarak “Eş. 3.6” yardımıyla betonun yarmada çekme dayanımı elde edilebilmektedir.

$$YD = \frac{2 * P_{max}}{\pi * a^2} \quad (3.6)$$

Denklemden;

YD, yarmada çekme dayanımını (MPa)

P_{max} , Maksimum yarıma yükünü (N)

a, Numune boyutunu (mm) temsil etmektedir.

Elastisite modülü deneyi

KYB numunelerin 28 günlük kür süresi sonrasında gerilme-şekil değiştirme özellikleri basınç altında Ø100x200 mm boyutlarındaki silindir numuneler üzerinde ASTM C 469'ya uygun olarak belirlenmiştir. Silindir numunelerde boyuna kısılmalar ölçülüp, ilk boylarına oranlanmasıyla şekil değiştirmeler belirlenmiştir. Bu şekil değiştirmeler, gerilmelerle ilişkilendirilerek grafik ortamına aktarılmıştır. Numunelerde döküm yüzeyinin düzgün hale getirilmesi için başlık yapılmıştır. Silindirlerin boyuna kılma değerlerinin ölçülmesinde Resim 3.13'de görülen tek eksenli basınç presi, deformasyon çerçevesi ve çerçeve üzerine yerleştirilen birim kılma ölçer kullanılmıştır.



Resim 3.13. Statik elastisite deneyi uygulaması

Kılcal su emme deneyi

Numunelerin kılcallık katsayısının belirlenmesinde ASTM C1585 – 11'e uygun olarak belirli zaman aralıklarında numunelere tabandan su emdirme yöntemi kullanılmıştır. Kılcallık katsayısının belirlenmesinde 100x100x100 mm boyutlarında

küp numuneler kullanılmıştır. Numuneler deneye tabi tutulmadan önce 105 ± 5 °C sıcaklıktaki etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar bekletilmişlerdir. Etüv kurusu ağırlıkları alınan numunelerin yan yüzeyleri parafin ile kaplanarak yalıtılmıştır. Kaplanan numuneler, hazırlanan düzeneğe içerisinde 5 mm yüksekliğinde tabandan su emecek şekilde yerleştirilmiştir (Resim 3.14).

Numuneler, içerisinde su bulunan düzeneğe yerleştirildikten sonra deney başlangıcından itibaren 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 25, 36, 49, 64, 81, ve 120. dk.'larda deney düzeneğinden alınarak 0.01 g hassasiyetli teraziyle tartılmıştır. Tartımlarda bulunan farklar, numune yüzey alanı ve zaman ile ilişkilendirilerek kılcallık katsayısı hesaplanmıştır.



Resim 3.14. Kılcal su emme deneyi uygulaması

3.2.7. BMK deneyi numunelerinin üretimi ve kür uygulaması

Mafsallı kiriş numunelerinin üretiminde Resim 3.15’de görülen çelik kalıplar kullanılmıştır. Kullanılan kalıplarda aderans deneyi yapılacak olan donatının geçtiği orta kısımda Ø8’lik donatıların geçebileceği ikişer adet ilave donatı içinde açıklık bırakılmıştır. Aderans deneyi yapılmak üzere plastik kılıfla kısıtlanmış bazalt donatı ve iki yanında bulunan ilave donatılar da Resim 3.15’de görülmektedir. Bu kısa ilave donatılar numunenin deneye hazır hale getirilmesine kadar numuneyi taşımak amaçlı olup deneye başlanmadan önce kesilmiştir.



Resim 3.15. Kirişlerin üretiminde kullanılan kalıplar

Aderans performansları belirlenecek olan ve beton dökümünden önce kalıpların içerisinden geçirilen aderans donatılarında kenetlenme boyunu sınırlandırmak için plastik kılıflar kullanılmıştır (Resim 3.16). Kullanılan kılıflar ile donatıların arası beton girmesini engellemek amacıyla silikon ile doldurulmuştur.



Resim 3.16. Donatının kenetlenme boyunun sınırlandırılması

İçerisi yağlanarak beton dökümü için hazırlanan kalıplara taze haldeki KYB'ler herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan yerleştirilmiş ve kalıbın şeklini alması beklenmiştir. Kalıplardan çıkarılan kiriş numuneler (Resim 3.17) deney gününe kadar kür işlemi yapılarak bekletilmek üzere ıslak çuvallar ile sarılmıştır. Kiriş numunelere sarılan su tutucu özellikteki çuvallar günde iki kez ıslatılarak betonların kür işlemi gerçekleştirilmiştir. Üretilen 62 adet mafsallı kiriş numuneleri Resim 3.18'de görülmektedir. Bu kirişlerden 8 tanesi ön deneyler ve aderans ölçüm sisteminin kalibrasyonu için kullanılmıştır.



Resim 3.17. Kalıptan çıkarılan kiriş numuneleri



Resim 3.18. Üretilen ve kür uygulanan tüm kiriş numuneleri

3.2.8. BMK deney düzeneği, yöntemi ve uygulanması

Çeşitli KYB karışımları tasarlandıktan sonra bu karışımlardan bir tanesi referans diğer iki tanesi de UK ve YFC içeren betonlar olmak üzere üç farklı karışıma sahip betonlar, aderans deneyleri için seçilmiştir. Seçilen UK ve YFC içeren betonlar K401 ve C401 şeklinde kodlanmış numunelerdir. Seçilen beton türlerinin her birinde çimentonun yerine %40 oranında UK ve YFC ikamesi ile karışımlarında bulunan toplam agrega miktarının %5'i oranında kalsit bulunmaktadır. Seçilen KYB'lerde Çelik, Cam lifli ve Bazalt lifli donatıların aderans performanslarının karşılaştırılması amacıyla BMK numuneleri üretilmiştir. Betonarmede nervürlü çubuklar için kenetlenme boyu TS 500 "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları" 2000'de belirtilen "Eş. 3.7" kullanılarak belirlenmektedir.

$$\ell_b = \left(0.12 * \frac{f_{yd}}{f_{cta}} * \emptyset \right) \geq 20\emptyset \quad (3.7)$$

Eşitlikte;

ℓ_b : kenetlenme boyunu,

f_{yd} : donatının tasarım akma dayanımını,

f_{cta} : kullanılan betonun tasarım çekme dayanımını,

$\emptyset$ ise donatı çapını temsil etmektedir.

Çalışmada kullanılan yapay donatılarda gevrek kopma oluşması nedeniyle donatıların formülde tanımlandığı şekilde akma dayanımları olmadığı için kenetlenme boyu tüm serilerde sabit 20 $\emptyset$ olarak kullanılmıştır. BMK deneyi, kirişlerin çekme bölgesindeki donatının, kirişin ortasından uygulanan düşey bir P dış yükü altında betondan sıyrılmasının ölçüldüğü deneydir. Deneyde, düşey olarak uygulanan ve yük hücresi yardımıyla okunan P yükü kullanılarak dolaylı olarak bulunan donatıdaki F kuvveti ile bu kuvvete karşılık gelen aderans kayıpları belirlenebilmektedir.

Bu F kuvvetleri ile donatıda oluşan gerilme değerinin donatıda meydana getireceği aderans gerilmesinin (τ_b) donatının üzerinde düzgün yayıldığı kabul edilerek hesaplama yapılmaktadır. Deney süresince uygulanan yük ve bu yüklere karşılık sıyrılma değerleri Potansiyometrik Cetvel'ler yardımıyla ölçülmektedir. Çalışmada kullanılan BMK deney yöntemi Şekil 3.5'de şematize edilmiştir.

Deney uygulanırken betonun içyapısından ve yüklemelerden dolayı donatıların iki ucunda farklı sıyrılma değerleri oluşabilmektedir. Emniyetli tarafta kalmak için bu farklı değerlerden büyük olanının dikkate alınmasında fayda vardır.

Deneyde;

A donatı alanını, $\emptyset$ donatı çapını göstermek üzere donatının kesit alanı “Eş. 3.8” yardımıyla ;

$$A=\pi*D^2/4 \quad (3.8)$$

olarak elde edilir. Çelik mafsalsın orta noktasında moment sıfır olduğundan “Eş. 3.9” elde edilir;

$$(P.l)/2 = F.h \quad (3.9)$$

Üretilen kirişlerde $l= 25$ cm ve $h= 10$ cm olduğundan F kuvveti P kuvveti yardımıyla “Eş. 3.10” kullanılarak dolaylı bir şekilde bulunur;

$$F=1,25.P \quad (3.10)$$

Kenetlenme uzunluğu (ℓ_b) boyunca, denge durumunda donatıya etkiyen F çekme kuvvetinin, donatının etrafında oluşan toplam aderans kuvvetine eşit olması gerektiğinden σ_s donatıdaki gerilmeyi, τ_b aderans gerilmesini ve ℓ_b kenetlenme boyunu göstermek üzere “Eş. 3.11” elde edilir;

$$\sum(\tau_b * \text{birim alan}) = F, \quad \tau_b * (\pi\emptyset) * \ell_b = A_s * \sigma_s = \frac{\pi*\emptyset^2}{4} * \sigma_s \quad (3.11)$$

Eşitlikte gerekli düzenlemeler yapıldığında herhangi bir yük değerine karşılık gelen τ_b aderans gerilmesi aşağıdaki verilen “Eş. 3.12” yardımıyla elde edilir.

$$\tau_b = (\sigma_s * \emptyset) / 4\ell b \quad (3.12)$$

Standart BMK deneyi, daha öncede belirtildiği gibi donatılara eğilme durumundaki mafsallı kirişler aracılığıyla çekme gerilmeleri vererek betondan sıyırmaya çalışan bir yük durumunda beton-donatı aderansını belirlemede kullanılan bir deney yöntemidir. Deneye başlamadan önce yapılan potansiyometrik cetvellerin kalibrasyonu Resim 3.19’da ve deneye ait görüntü ise Resim 3.20’de verilmiştir.



Resim 3.19. Potansiyometrik cetvellerin kalibrasyonu



Resim 3.20. BMK deneyinin uygulanaşı

Kiriş numunelere hidrolik yükleme prensibiyle çalışan 100 t kapasiteli yükleme çerçevesi aracılığıyla yükleme yapılmıştır. Üzerinde çalışılan her bir mafsallı deney kirişi biri sabit diğeri hareketli olan iki mesnet üzerine oturtulmuş ve orta noktasından yüklenmiştir.

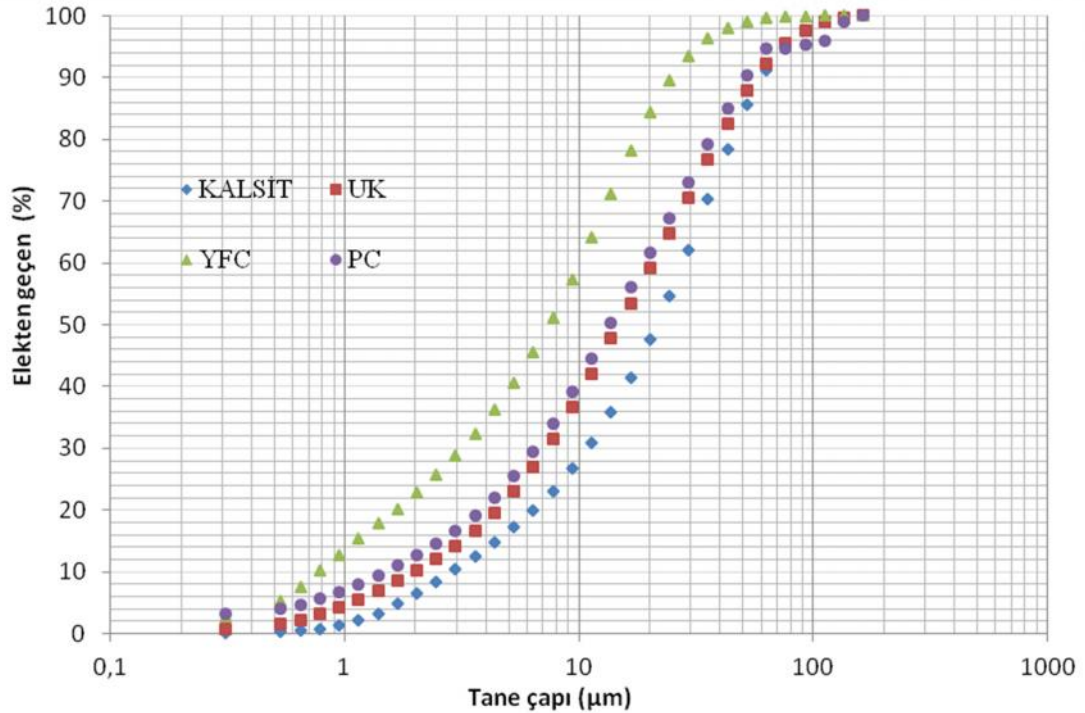
Kirişlere uygulanan düşey yükler yük hücresi (loadcell) yardımıyla okunmuştur. Deneysel yüklemeye maruz bırakılan kiriş numunesinin her iki ucunda ise donatının betondan sıyrılma miktarını ölçmeye yarayan 0,013 mm ölçme hassasiyetine sahip potansiyometrik cetveller kullanılmıştır. Aderansı incelenen donatıya gelecek çekme kuvvetini dolaylı yoldan bulmak için deney yapılan kiriş numunelerin orta kısımlarındaki açıklığa çelik mafsallı yerleştirilmiştir. Aderansı incelenen donatının her iki tarafında bırakılan ve kiriş numunesinin taşınması sırasında aderansı incelenecek donatıyı eğilme-burkulma gibi etkilerden koruyarak taşıma işlemini sağlayan ilave donatılar kiriş numune yükleme çerçevesine yerleştirildikten sonra kesilmiştir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Çalışmada, kullanılan mineral katkıları ile ilgili tane dağılımı ve mikro yapı analizleri, taze beton özellikleri ile ilgili Birim ağırlık, Çökmede yayılma, T500 (sn), V-Hunisi, Orimet tüpü, L-Kutusu, U-Kutusu, J-Ringi deneyleri, sertleşmiş beton özellikleri ile ilgili Birim ağırlık, Ultrases hızı, Basınç dayanımı, Yarmada çekme dayanımı, Statik elastisite modülü, su emme, Porozite ve kılcal su emme deneyleri ile beton-donatı aderansı deneyleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar bu bölümde başlıklar halinde sunulmuştur.

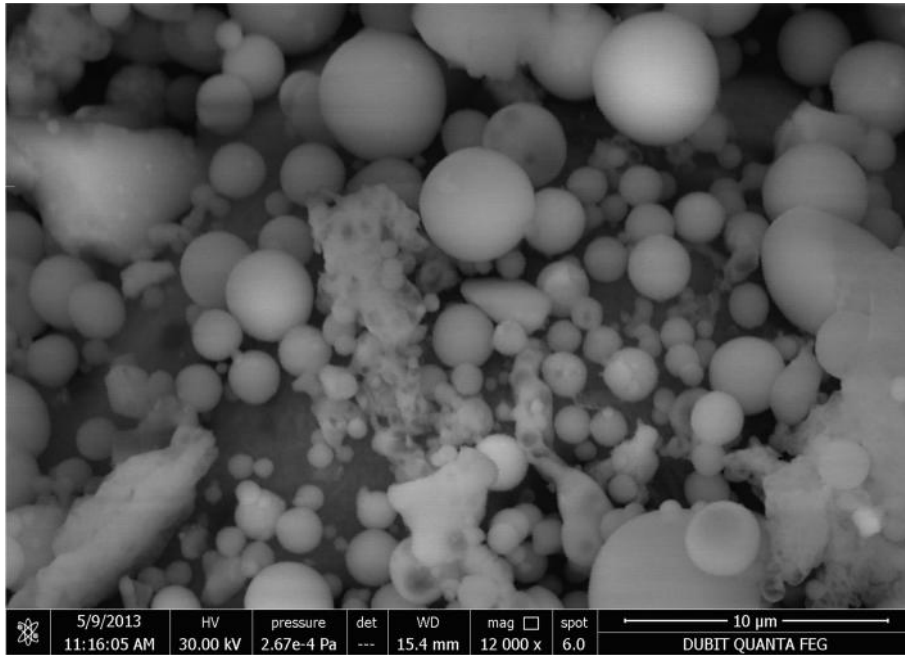
4.1. PÇ, UK, YFC ve Kalsit'in tane dağılımları ve mikro yapıları

KYB karışımlarında kullanılan PÇ, UK, YFC ve Kalsit'in tane dağılımları lazerli tane dağılımı yöntemi ile belirlenmiş ve Şekil 4.1'de grafik olarak verilmiştir. Ayrıca bu malzemelerden UK, YFC ve kalsitin SEM görüntüleri çekilerek tane yapıları mikron boyutunda gözlemlenmiştir.

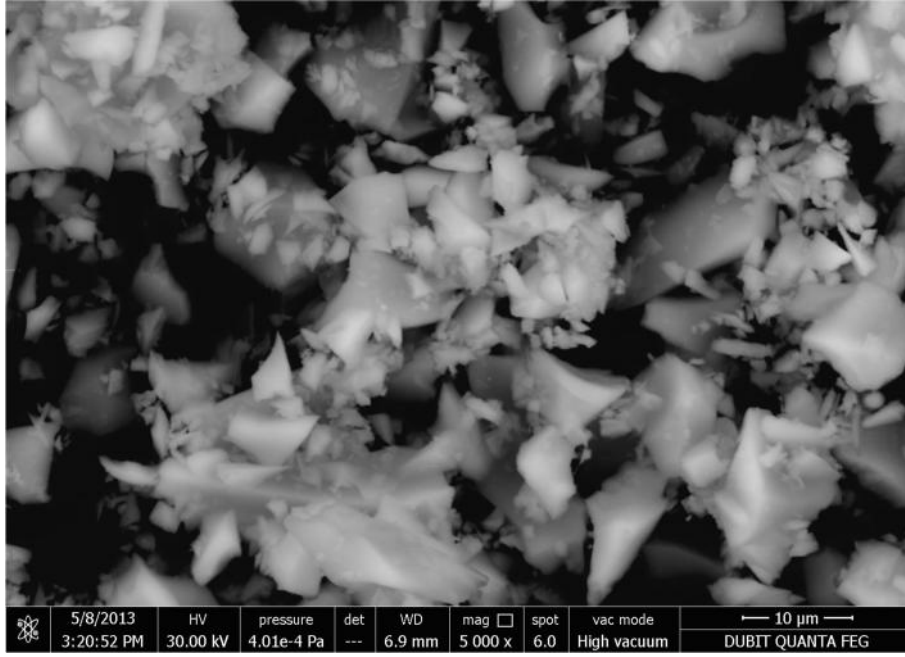


Şekil 4.1. PÇ,UK, YFC ve kalsit'in tane dağılımları

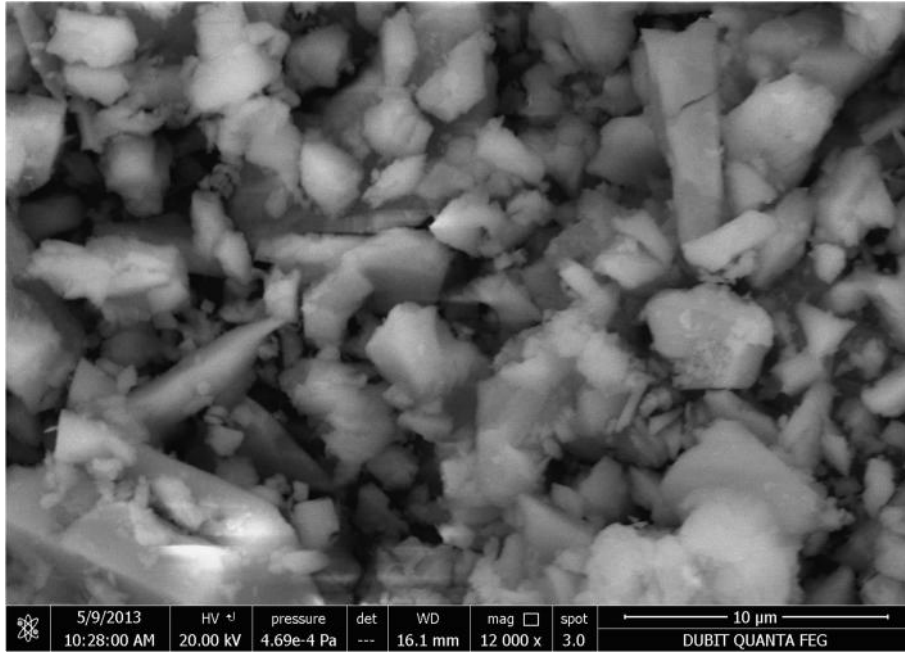
Tane boyut analiz değerlerine bakıldığında, en ince tane yapısına sahip malzemenin YFC olduğu görülmektedir (Şekil 4.1). YFC, UK ve kalsitin %90 elek altı oranlarına göre sırasıyla 13, 55 ve 60 μm , %50 elek altı oranlarında ise 8, 16 ve 22 μm , tane boyutlarına sahip olduğu belirlenmiştir. Tüm malzemelerin tane boyutlarının çok büyük oranının 100 μm 'nin altında olduğu belirlenmiştir. UK'nın SEM görüntülerine göre, boyutları 1-8 μm arasında değişen küresel yapıdaki tanelerden oluştuğu görülmektedir. YFC'nin SEM görüntülerine göre, boyutları 0,3-10 μm arasında değişen düzensiz yapıda yapraksı tanelerden oluştuğu görülmektedir. Kalsitin SEM görüntülerine göre ise boyutları 1-10 μm arasında değişen köşeli yapıdaki tanelerden oluştuğu görülmektedir (Resim 4.1, 4.2, 4.3). SEM görüntüleri ile elde edilen tane boyutları ile tane boyut analizinde elde edilen sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Resim 4.1. UK'ya ait SEM görüntüsü



Resim 4.2. YFC'ye ait SEM görüntüsü



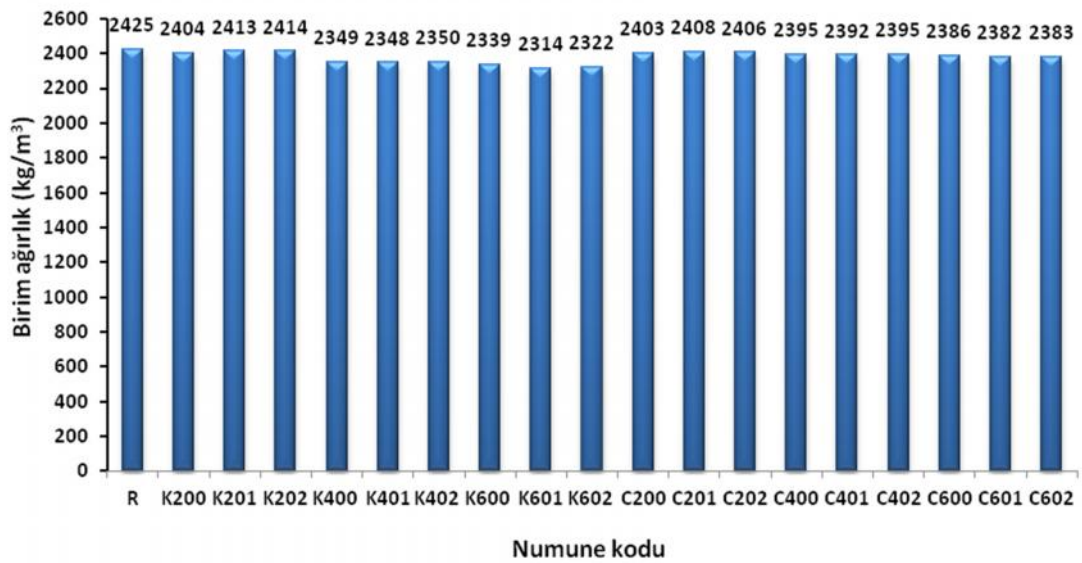
Resim 4.3. Kalsite ait SEM görüntüsü

4.2. Taze Beton Özellikleri

4.2.1. Birim ağırlık

Üretilen tüm beton serilerinden hacmi belli bir kapla örnek numune alınmış ve birim ağırlık deneyi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen birim ağırlık deney sonuçları Şekil 4.2’de sunulmuştur. Şekil 4.2. incelendiğinde UK ikame oranının referans numuneden, %20, %40 ve %60 ikame oranına kadar yükseltilmesi taze beton birim ağırlık değerlerini düşürmüştür. Benzer durum YFC ikame oranının artırılmasında da görülmektedir.

UK ve YFC, çimentonun yerine ağırlıkça ikame edilmesi ve özgül ağırlıklarının düşük olması nedeniyle daha fazla hacim temsil etmektedir. Bu yüzden agrega miktarında azalmalar birim ağırlık değerlerine de yansımıştır. UK ve YFC ikame oranının artması ile taze beton birim ağırlığının düşmesi teorik olarak da beklenen bir durumdur. Teorik olarak beklenen bu sonuç deneysel sonuçlarda da görülmektedir. Ayrıca Şekil 4.2’deki sonuçlarda görüldüğü gibi agrega ile kalsit’in yer değiştirmesi birim ağırlık değerini anlamlı bir şekilde değiştirmemiştir.



Şekil 4.2. Taze beton birim ağırlık sonuçları

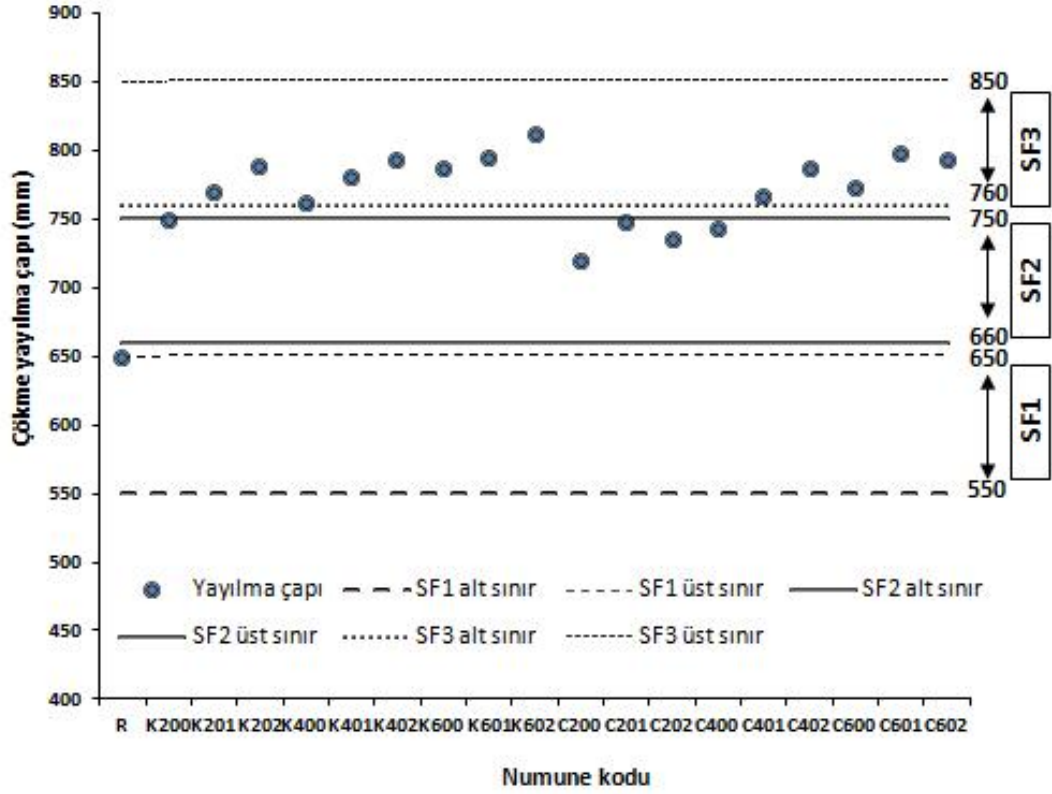
4.2.2. Çökmede yayılma

EFNARC'a göre yayılma ve doldurma kabiliyeti hakkında fikir veren çökmede yayılma deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1'de verilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçların EFNARC (2005) tarafından öngörülen sınırlar arasında kalıp kalmadığını yorumlamak amacıyla Şekil 4.3. ve Şekil 4.4. sunulmuştur. Şekiller oluşturulurken sonuçlar son hanelerindeki rakamlara göre 0-5 arası olanlar bir alt, 5'den büyük olanlar ise bir üste yuvarlanarak kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Çökmede yayılma deney sonuçları

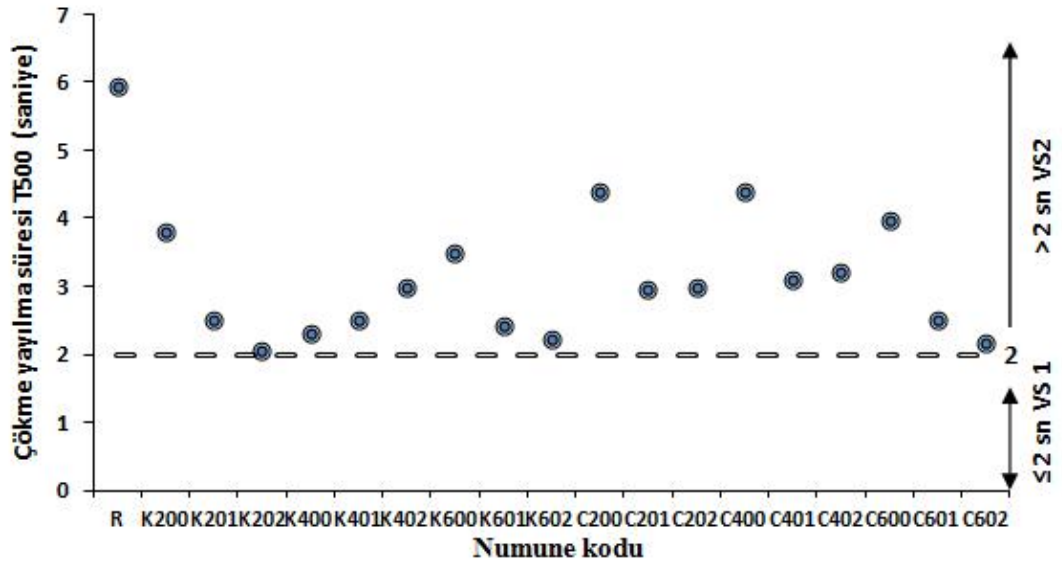
Numune kodu	Ölçülen değerler			
	D1 (mm)	D1 (mm)	Dort. (mm)	T500 (s)
R	655	650	653	5,95
K200	740	765	753	3,8
K201	770	760	765	2,5
K202	786	790	788	2,06
K400	753	760	757	2,3
K401	778	782	780	2,5
K402	796	790	793	3
K600	784	790	787	3,5
K601	798	790	794	2,43
K602	820	802	811	2,24
C200	718	720	719	4,4
C201	744	750	747	2,96
C202	740	730	735	2,98
C400	746	740	743	4,4
C401	762	772	767	3,1
C402	790	784	787	3,2
C600	770	775	773	3,96
C601	795	800	798	2,52
C602	790	795	793	2,18

Şekil 4.3. EFNARC (2005) kriterlerine göre yorumlanacak olursa Referans numune SF1, K200-C200-C201-C202 ve C400 serileri SF2, diğer bütün seriler ise SF3 sınıfına girmektedir. Ayrıca sonuçlarda genel olarak kalsit içeriğinin artmasının yayılma çaplarını artırdığı da dikkati çekmektedir.



Şekil 4.3. Çökmede yayılma deneyi sonuçları

EFNARC'a göre KYB'lerin viskozite ve akışkanlık kabiliyeti hakkında fikir veren ve KYB'lerin 500 mm çapa ulaşmaya kadar geçen sürelerinin tespit edildiği (T500) deney sonuçları da Şekil 4.4'de verilmiştir. KYB numunelerin yayılma süreleri yine EFNARC 2005 kriterlerine göre değerlendirilecek olursa tüm seriler VS2 sınıfına girmektedir. Ayrıca %40 UK içeren seri dışında tüm KYB serilerinde karışıma giren kalsit miktarının artması yayılma sürelerini düşürmüştür.



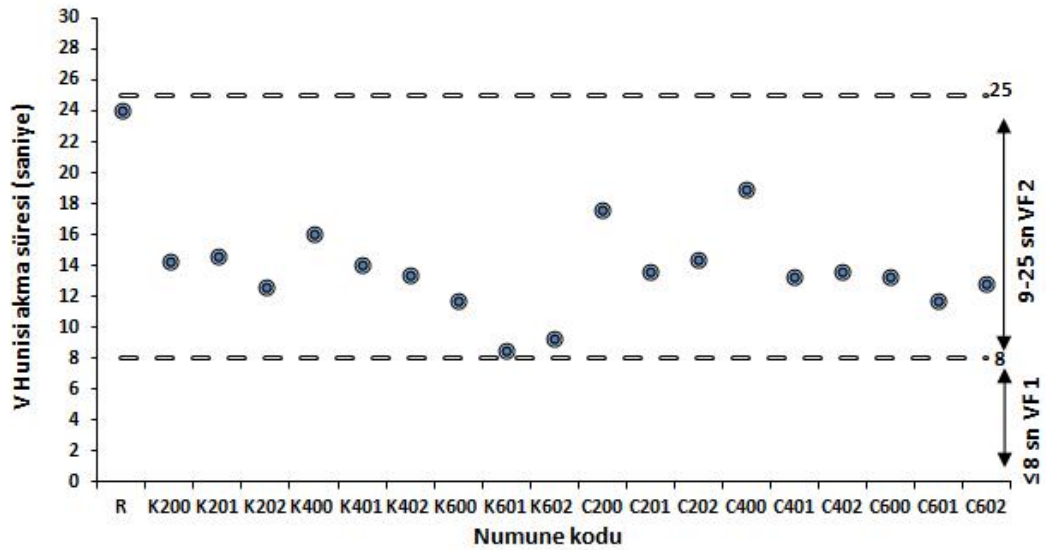
Şekil 4.4. Çökmede yayılma süresi sonuçları

4.2.3. V-hunisi akma süresi

EFNARC'a göre KYB'lerin viskozite ve akışkanlık kabiliyeti hakkında fikir veren V-hunisinden boşalma süreleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Ayrıca betonların V-hunisi akma değerlerini EFNARC (2005) tarafından öngörülen sınırlara göre yorumlamak amacıyla da deney sonuçları Şekil 4.5'de sunulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi tüm seriler VF2 sınıfına girmektedir. Bunun yanı sıra %20 UK içeren karışımlarda agreganın yerine %5 kalsit kullanılan K201 kodlu seri dışında tüm serilerde agreganın yerine kalsit ikame edilmesi geçiş sürelerini belirgin bir şekilde düşürmüştür.

Çizelge 4.2. V-hunisinden boşalma süreleri

Numune kodu	Akma süresi (sn)	Numune kodu	Akma süresi (sn)
R	24		
K200	14,28	C200	17,6
K201	14,6	C201	13,6
K202	12,65	C202	14,33
K400	16	C400	18,9
K401	14	C401	13,3
K402	13,41	C402	13,6
K600	11,75	C600	13,3
K601	8,54	C601	11,74
K602	9,23	C602	12,85



Şekil 4.5. V-hunisinden akma süreleri (sn)

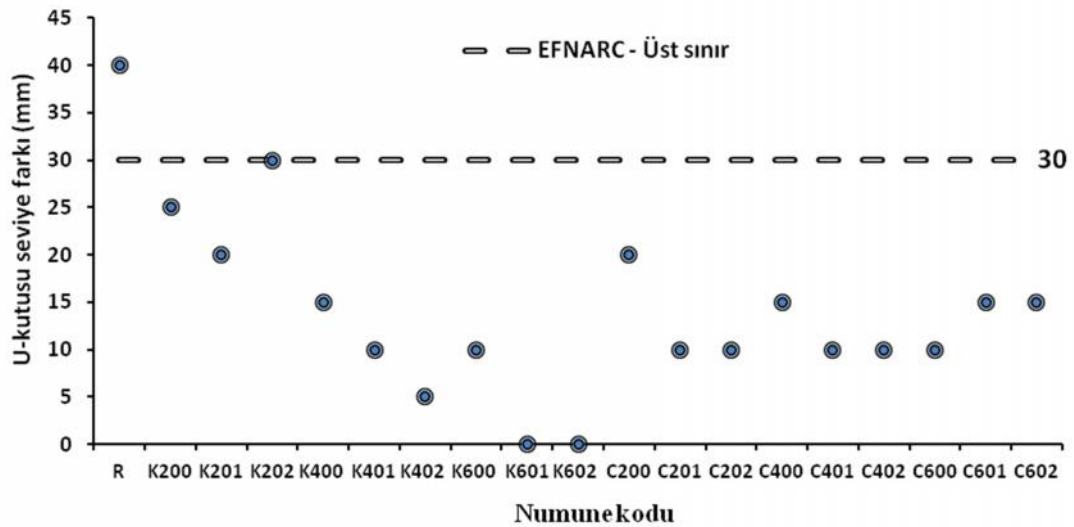
4.2.4. U-kutusu

EFNARC'a göre KYB'lerin geçme kabiliyeti hakkında fikir veren U-kutusu deneyinden elde edilen seviye farkları Çizelge 4.3'de verilmiştir. Ayrıca betonların U-kutusu deneyinde ölçülen seviye farklarının EFNARC (2002) tarafından öngörülen sınırlar arasında kalıp kalmadığını yorumlamak amacıyla da Şekil 4.6. sunulmuştur. Şekilde görüldüğü gibi beklendiği üzere sadece Referans numune sınır

değer olan 30 mm'nin üstünde kalmıştır. Referans numune dışındaki bütün KYB serileri U-kutusu deneyi sonuçlarına göre KYB özelliği göstermiştir.

Çizelge 4.3. U-kutusu seviye farkları

Numune kodu	h2-h1 (mm)	Numune kodu	h2-h1 (mm)
R	40		
K200	25	C200	20
K201	20	C201	10
K202	30	C202	10
K400	15	C400	15
K401	10	C401	10
K402	5	C402	10
K600	10	C600	10
K601	0	C601	15
K602	0	C602	15



Şekil 4.6. U-kutusu seviye farkları (mm)

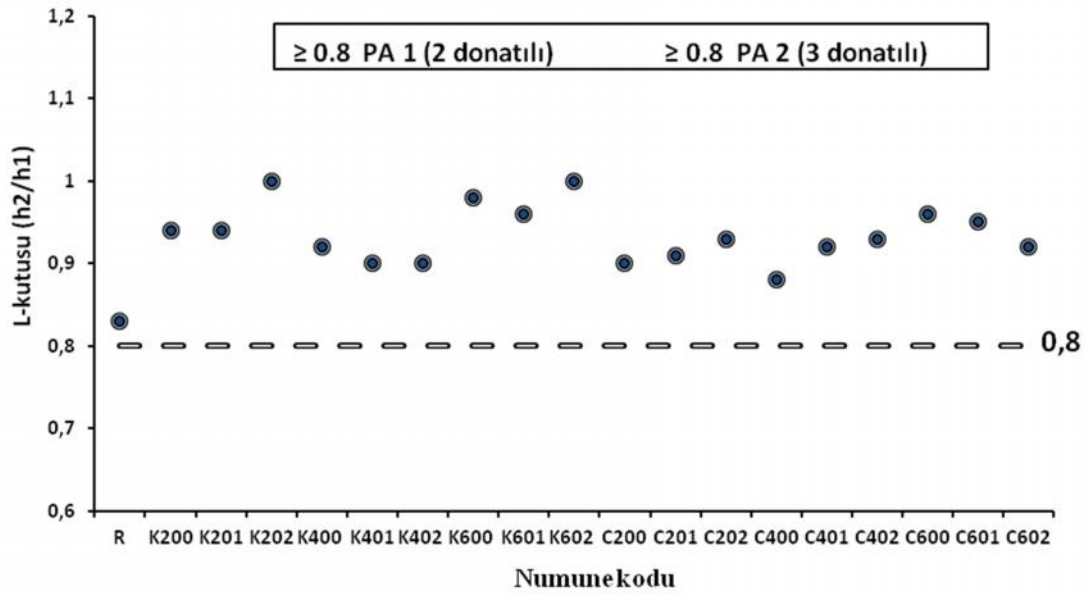
4.2.5. L-kutusu

U-kutusu deneyi gibi geçme kabiliyetinin bir göstergesi olarak EFNARC (2005) tarafından önerilen L-kutusu deneyinde h2/h1 şeklinde L-kutusunun yatay kenarının her iki ucundaki seviyelerin birbirine oranı belirlenmiştir. Bloklanma oranını ifade eden bu değerler Çizelge 4.4.'de verilmiştir. Bunun yanı sıra betonun L-kutusundaki yatay kenarda ilerlemesi sırasında 200mm, 400mm ve 600 mm mesafelere ulaşma

süreleri ölçülmüş ve yine Çizelge 4.4’de verilmiştir. Bu sürelerle ilgili standartlarda bir sınır değer yoktur fakat geçebilme oranı hakkında bilgi edinilmesini sağlamaktadır.

Çizelge 4.4. L-kutusu bloklanma oranı ve T200, T400, T600 ulaşma süreleri (sn)

NUMUNE	Ölçülen değerler			
	h2/h1	T200 (sn)	T400 (sn)	T600 (sn)
R	0,83	9,9	16,5	24,96
K200	0,94	4,01	6,03	9,7
K201	0,94	3,9	7,5	10,7
K202	1	2,2	4	6,13
K400	0,92	3,6	7,7	11,2
K401	0,9	3,4	7,8	10,85
K402	0,9	2,65	5,38	6,74
K600	0,98	2,8	4,49	7,58
K601	0,96	3,38	5,29	8,33
K602	1	2,04	4,59	7,34
C200	0,9	3,87	8,97	14,07
C201	0,91	3,14	8,38	10,83
C202	0,93	2,04	5,28	7,93
C400	0,88	3,3	8,6	13,2
C401	0,92	3,4	7	9,8
C402	0,93	2,9	6,2	7,6
C600	0,96	4,18	6,32	9,99
C601	0,95	2,04	5,81	11,55
C602	0,92	2,24	4,99	9,85



Şekil 4.7. L-kutusu bloklanma oranı değerleri

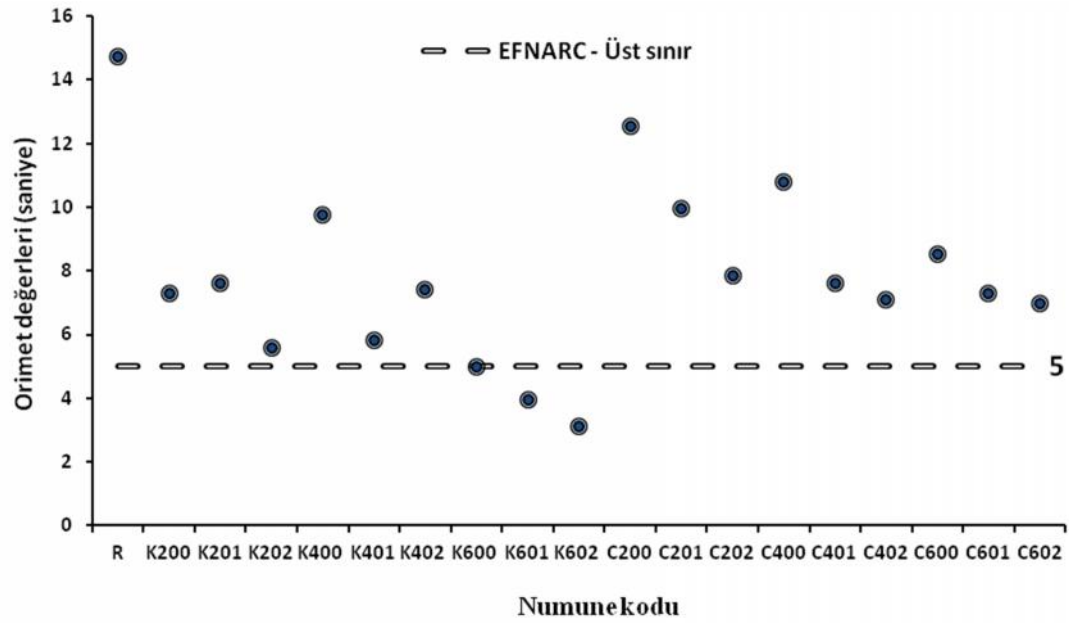
Ölçülen h_2/h_1 değerinin hem 2 donatılı hem de 3 donatılı L-kutusunda 0.8'den büyük olması gerektiği EFNARC (2005) tarafından belirtilmiştir. Çalışmada 3 donatılı L-kutusu kullanılmıştır. Şekil 4.7'de L-kutusu deneyinden elde edilen bloklanma oranı değerlerinin EFNARC (2005) tarafından önerilen sınır değerleri sağlayıp sağlamadığı gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi tüm KYB serileri EFNARC'ın öngördüğü sınır değerleri sağlamıştır.

4.2.6. Orimet tüpü

KYB'lerin viskozitesi ve akışkanlık özelliği hakkında fikir veren Orimet tüpü deney sonuçları Çizelge 4.5'de sunulmuştur. Betonun KYB olarak değerlendirilmesi için EFNARC (2002)'ye göre Orimet tüpü içerisinden geçiş süresi 5 sn ve altında olmalıdır. Şekil 4.8. incelendiğinde yalnızca K600, K601 ve K602 kodlu betonların sınır değer olan 5 sn.'nin altında kaldığı ve KYB özelliği taşıdığı görülmektedir.

Çizelge 4.5. Orimet tüpü geçiş süreleri

Numune kodu	Geçiş süresi (sn)	Numune kodu	Geçiş süresi (sn)
R	14,74		
K200	7,3	C200	12,53
K201	7,6	C201	9,96
K202	5,6	C202	7,85
K400	9,75	C400	10,8
K401	5,82	C401	7,6
K402	7,43	C402	7,08
K600	5	C600	8,52
K601	3,97	C601	7,29
K602	3,12	C602	6,96



Şekil 4.8. Orimet tüpü geçiş süreleri ve sınır değerler

4.2.7. J-Ringi

Kendiliğinden yerleşen betonun, ayrışma veya bloklanma olmaksızın akarak donatılar arasından ve diğer engeller arasındaki dar açıklıklardan geçme yeterliliğinin değerlendirilmesi için kullanılan J- Ringi deneyinden elde edilen ve Çizelge 4.6'ya göre yorumlanan deneysel bulgular Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. J-ringi deneyinin yorumlanmasında kullanılan parametreler [94]

Deney	Özellik	Bloklanma durumu	Çökme yayılma çapı ile J-ringi yayılma çapı arasındaki fark
J-Ring	Geçme kabiliyeti	Görünür bir bloklanma riski yok	0-25 mm
		Fark edilen bloklanma çok az	25- 50 mm
		Fark edilen aşırı bloklanma	> 50 mm

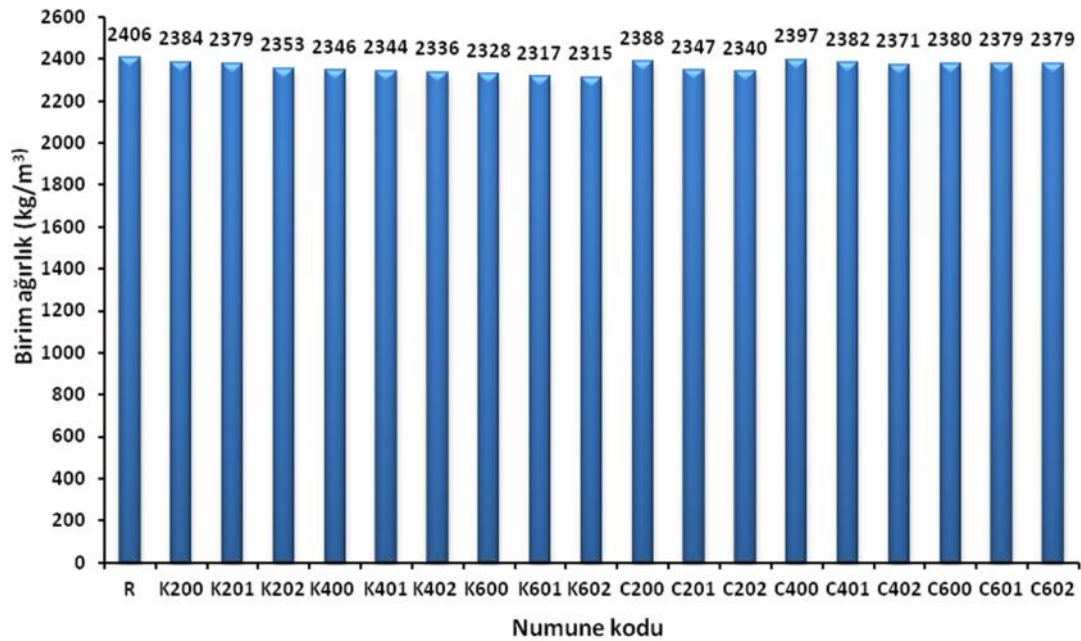
Çizelge 4.7. J-ringi deney sonuçları

Concrete codes	Yayılma çapları		Bloklanma riskinin yorumlanması	
	A	B	A-B	Bloklanma riski
	Çökmeye yayılma çapı (mm)	J-Ringi yayılma çapı (mm)		
R	653	603	50	Risk çok az
K200	753	710	43	Risk çok az
K201	765	743	22	Risk yok
K202	788	771	17	Risk yok
K400	757	741	16	Risk yok
K401	780	767	13	Risk yok
K402	793	781	12	Risk yok
K600	787	770	17	Risk yok
K601	794	771	23	Risk yok
K602	811	799	12	Risk yok
C200	719	705	14	Risk yok
C201	747	708	39	Risk çok az
C202	735	719	16	Risk yok
C400	743	730	13	Risk yok
C401	767	742	25	Risk yok
C402	787	773	14	Risk yok
C600	773	760	13	Risk yok
C601	798	773	25	Risk yok
C602	793	778	15	Risk yok

4.3. Sertleşmiş Beton Özellikleri

4.3.1. Birim ağırlık, su emme ve porozite

KYB numunelerinden elde edilen kuru birim hacim ağırlık değerleri Şekil 4.9'da sunulmuştur. Şekil 4.9. incelendiğinde KYB içindeki UK ve YFC ikame oranı arttıkça birim ağırlıklar Referans KYB'ye göre azalmaktadır.



Şekil 4.9. KYB'lerin birim ağırlık deney sonuçları

KYB'lerin su emme ve porozite deney sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir. Elde edilen bulgular incelendiğinde Referans numuneden %20 UK ikame oranına geçildiğinde boşluk oranı ve su emme değerlerinde bir miktar artış görünse de UK ikame oranı ile deney sonuçları arasında çok anlamlı bir ilişki görülmemektedir. Sonuçlar YFC ikame oranı için değerlendirilecek olursa bulgular UK ikamesine benzer şekilde yorumlanabilir. Benzer durum kalsit ikamesi için de söylenebilir. Sonuçlar genel olarak çok yüksek değerler almamıştır ve bu durum beton malzeme için istenen bir sonuçtur. Sonuçlarda dikkat çekici bir özellikte deneysel olarak su emme oranlarının görünür porozite değerlerinin yarısından daha az bulunmasıdır. Bu durum beton bünyesinde yarı açık veya kapalı gözeneklerin bulunduğu şeklinde

yorumlanabilir. Diğer taraftan su emme ve porozite değerleri birlikte değerlendirildiğinde bu iki özellik arasında doğrusal bir ilişki olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.8. Su emme ve porozite deney sonuçları

Beton kodu	Porozite (%)	Su emme (%)	Beton kodu	Porozite (%)	Su emme (%)
R	6,931	2,882	C200	6,926	2,901
K200	9,051	3,878	C201	8,370	3,568
K201	7,072	2,973	C202	8,657	3,699
K202	8,635	3,670	C400	5,761	2,399
K400	6,843	2,883	C401	6,231	2,617
K401	6,813	2,879	C402	6,168	2,602
K402	7,970	3,437	C600	4,907	2,032
K600	7,229	3,106	C601	5,484	2,295
K601	7,779	3,358	C602	5,623	2,364
K602	7,351	3,176			

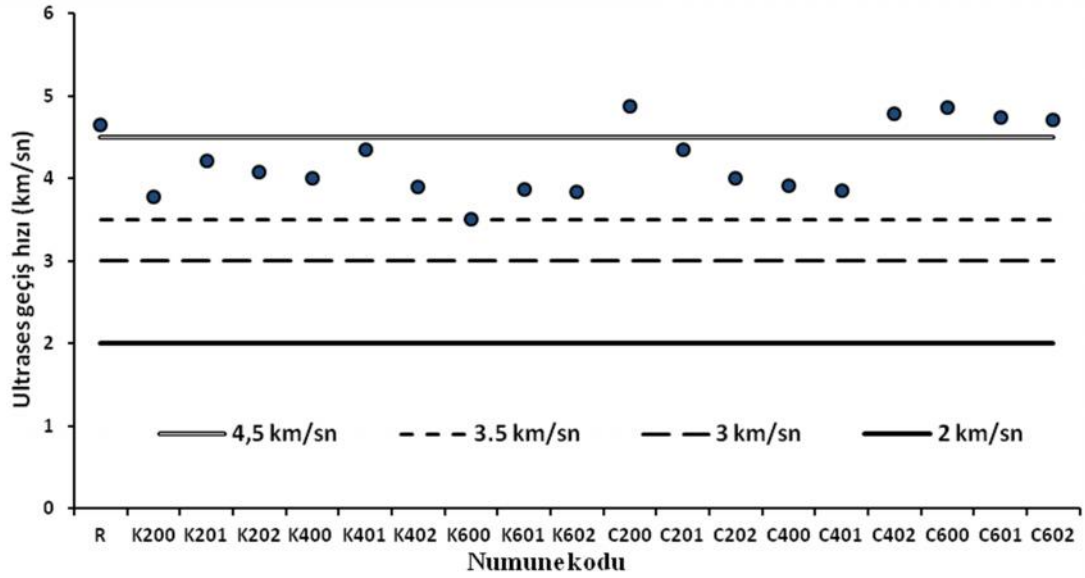
4.3.2. Ultrases geçiş hızı

KYB'lerden elde edilen ultrases geçiş hızı değerleri Çizelge 4.9'da verilmiştir. Ultrases geçiş hızı değerlerine göre beton kalitesi hakkında fikir edinebilmek için literatürde bir önerme bulunmaktadır. Bu önermeye göre betonun zamana bağlı olarak aldığı yol için sınır değerler tanımlanmıştır. Tanımlanan sınırlara göre betonlar çok kötü ($UGH < 2$ km/sn), kötü ($2 < UGH < 3$), şüpheli ($3 < UGH < 3.5$), iyi ($3.5 < UGH < 4.5$) ve mükemmel ($4.5 < UGH$) olarak genel bir fikir yürütmeye tabi tutulabilmektedir [92].

Çizelge 4.9. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları

Beton kodu	Ultrases geçiş hızı (km/sn)	Beton kodu	Ultrases geçiş hızı (km/sn)
R	4,65	C200	4,88
K200	3,77	C201	4,35
K201	4,21	C202	4,00
K202	4,08	C400	3,92
K400	4,00	C401	3,86
K401	4,35	C402	4,79
K402	3,89	C600	4,85
K600	3,51	C601	4,74
K601	3,88	C602	4,72
K602	3,85		

Deneysel bulgular Şekil 4.10’da verilen sınır değerlere göre incelendiğinde Referans, C200, C402, C600, C601 ve C602 kodlu KYB’ler genel anlamda mükemmel olarak tanımlanabilirler. Bunların dışında diğer KYB’lerin tamamı ise yukarıda verilen sınıflandırmaya göre iyi özelliklere sahiptir denilebilir.



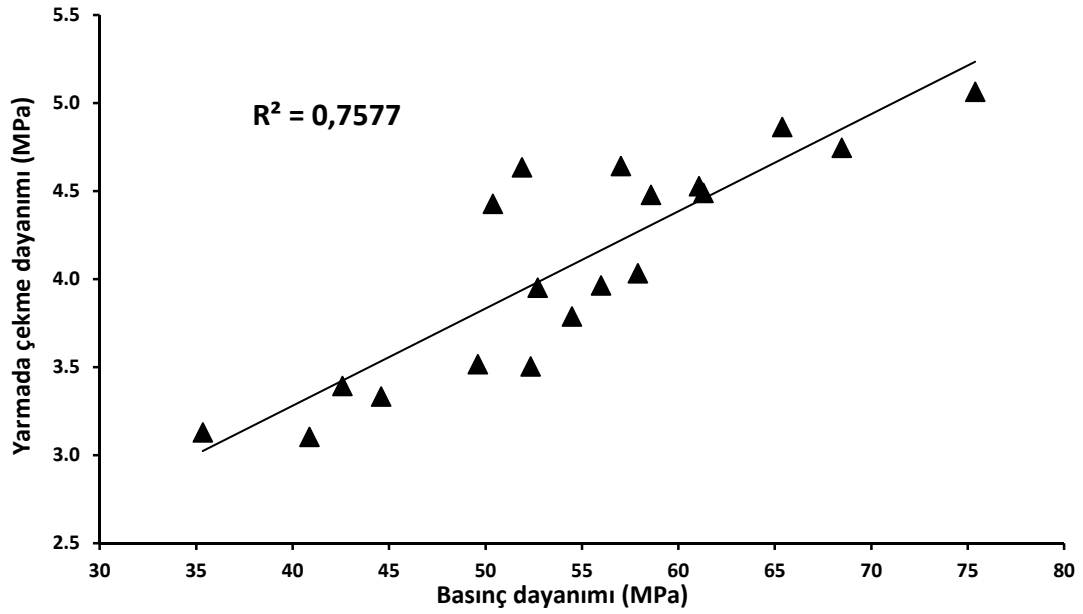
Şekil 4.10. KYB’lerin ultrases geçiş hızı bulguları ve sınır değerler

4.3.3. Yarmada çekme dayanımı

KYB’lerin 28 günlük kür süresi sonunda elde edilen yarmada çekme dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.10’da verilmiştir. KYB’ler arasında en yüksek ve en düşük yarmada çekme dayanımları sırasıyla Referans ve K601 kodlu KYB’de elde edilmiştir. UK ve YFC’li KYB’lerin yarmada çekme dayanımları incelendiğinde %20, %40 ve %60 ikame oranlarında ikame oranı artışına bağlı olarak yarmada çekme dayanımları düşmüş ve kendi içerisinde anlamlı sonuçlar göstermiştir. Benzer şekilde KYB içinde kullanılan kalsit miktarı arttıkça da yarmada çekme dayanımları düşmüştür. Ayrıca Şekil 4.11 incelendiğinde yarmada çekme dayanımı ile basınç dayanımı değerleri arasında da kabul edilebilir bir ilişki olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.10. Yarmada çekme deneyi sonuçları

Beton kodu	Yarmada çekme dayanımı (MPa)	Beton kodu	Yarmada çekme dayanımı (MPa)
R	5,06	C200	4,86
K200	4,75	C201	4,49
K201	4,53	C202	4,48
K202	3,79	C400	4,64
K400	4,63	C401	4,03
K401	4,43	C402	3,96
K402	3,33	C600	3,95
K600	3,39	C601	3,50
K601	3,10	C602	3,52
K602	3,13		



Şekil 4.11. KYB'lerin yarmada çekme dayanımı-basınç dayanımı ilişkisi

4.3.4. Basınç dayanımı

Basınç dayanımı deneylerinden elde edilen bulgular yorumlanırken öncelikle UK ve YFC ikame oranı değişiminin basınç dayanımına etkisi kür süresi de göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. Daha sonra her UK ve YFC ikame oranında agreganın yerine kullanılan kalsit ikamesinin basınç dayanımı değerlerine etkisi irdelenmiştir. Karışıma kalsit eklenmesi viskozite ve akışkanlık parametresini

iyileştirmek amacıyla yapılmış olsa da kalsit ikamesinde su/toz oranı değiştiği için basınç dayanımındaki değişimin incelenmesinde de fayda olacaktır.

KYB'lerin basınç dayanımına UK ve YFC ikame oranının etkisi

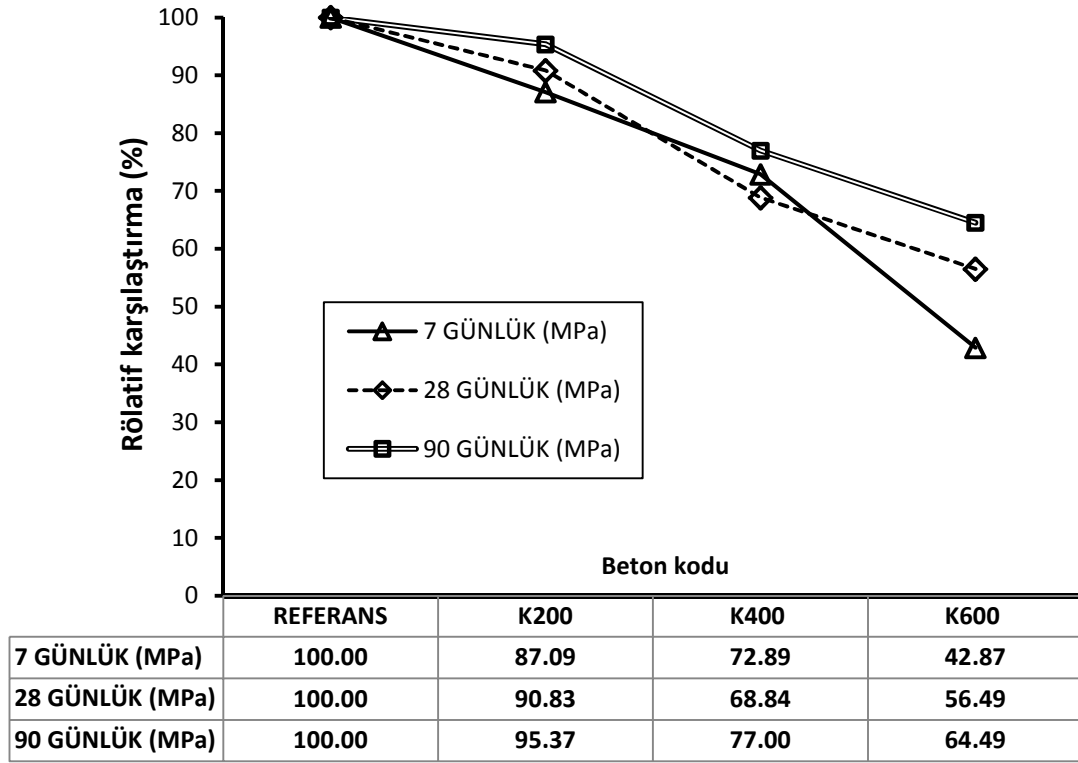
UK ve YFC içeren KYB'lerin basınç dayanımı deney sonuçları Çizelge 4.11'de görülmektedir. Ayrıca değişimin gözlenmesi için hem UK hem de YFC içeren betonların basınç dayanımlarındaki göreceli değişim Şekil 4.12. ve Şekil 4.13'de sunulmuştur.

Çizelge 4.11. UK ve YFC ikame oranına göre KYB'lerin basınç dayanımları

Beton kodu	Basınç dayanımı (MPa)		
	7 günlük	28 günlük	90 günlük
R	60,15	75,38	79,84
K200	52,38	68,47	76,15
K400	43,84	51,90	61,47
K600	25,78	42,58	51,49
C200	48,63	65,39	68,27
C400	44,44	57,02	64,04
C600	34,18	52,70	62,99

Sonuçlar incelendiğinde KYB'ler arasında en yüksek ve en düşük basınç dayanımları tüm kür süreleri için sırasıyla R ve K600'de elde edilmiştir. UK ikameli KYB'lerde basınç dayanımındaki değişim 7 günlük numuneler için göreceli olarak incelendiğinde %20, %40 ve %60 oranında UK kullanılan KYB'ler referans numunenin basınç dayanımını sırasıyla %87.09, %72.89 ve %42,87 oranında sağlamıştır. Bu değerler 28 ve 90 günlük numunelerde ise %90.83, %68.84 ve %56.49 ile %95,37, %77,00 ve %64,49 olmuştur. Karşılaştırmada %60 UK ikame oranında betonun basınç dayanımı referans numuneye oranla 7 günlük kür süresinde yaklaşık %58, 28 günlük kür süresinde yaklaşık %44 ve 90 günlük kür süresinde ise yaklaşık %36 oranında düşüş göstermiştir. Bu sonuçlara göre 7, 28 ve 90 günlük kür süresinde UK ikame oranı %20'den fazla olduğunda ve özellikle %60 seviyesinde basınç dayanımının büyük oranda azaldığı söylenebilir. Ayrıca göreceli karşılaştırma 90 günlük kür süresinde UK'nın etkisini daha fazla göstermeye başladığını ortaya

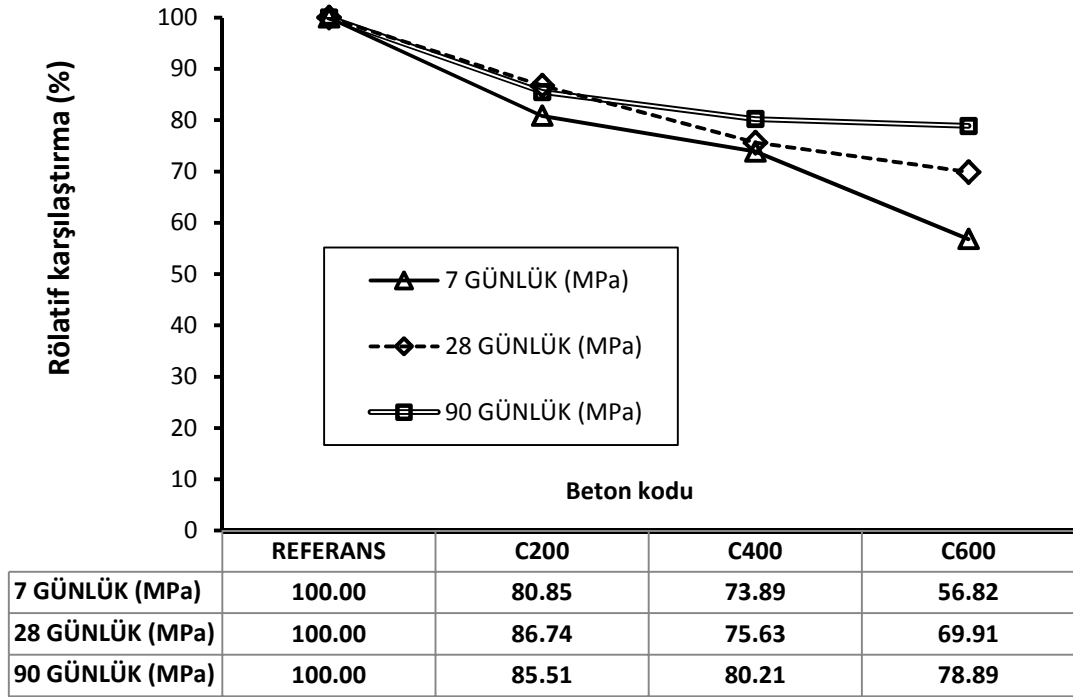
koymaktadır. Bu durum UK'nın puzolanik etkisinin ilerleyen yaşlarda ortaya çıkması ile açıklanabilir.



Şekil 4.12. KYB'lerin basınç dayanımının UK ikame oranına bağlı olarak rölatif karşılaştırması

YFC ikameli betonlarda basınç dayanımındaki değişim 7 günlük numuneler için göreceli olarak incelenecek olursa %20, %40 ve %60 oranında YFC ikame edilmiş KYB'ler Referans numunenin basınç dayanımı değerini sırasıyla %80.85, %73.89 ve %56.82 oranında sağlayabilmişlerdir. Bu değerler 28 ve 90 günlük numunelerde ise %86.74, %75.63 ve %69.91 ile %85.51, %80.21 ve %78.89 olmuştur. Karşılaştırmada %60 YFC ikame oranında betonun basınç dayanımı referans numuneye oranla 7 günlük kür süresinde yaklaşık %44, 28 günlük kür süresinde yaklaşık %31 ve 90 günlük kür süresinde ise yaklaşık %22 oranında düşüş göstermiştir. Sonuçlara göre 7, 28 ve 90 günlük kür süresinde YFC ikame oranının genel olarak basınç dayanımı değerlerini düşürdüğü 7 ve 28 günlük kür sürelerine göre ve özellikle %60 seviyesine yükseltildiğinde bu düşüşün büyük oranda olduğu

söylenbilir. 90 kür süresinde ise %20, %40 ve %60 ikame oranlarının birbirlerine yakın bir performans gösterdiği ve referans numunenin dayanımını yüksek oranda yakaladığı söylenbilir.



Şekil 4.13. KYB'lerin basınç dayanımının YFC ikame oranına bağlı olarak rölatif karşılaştırması

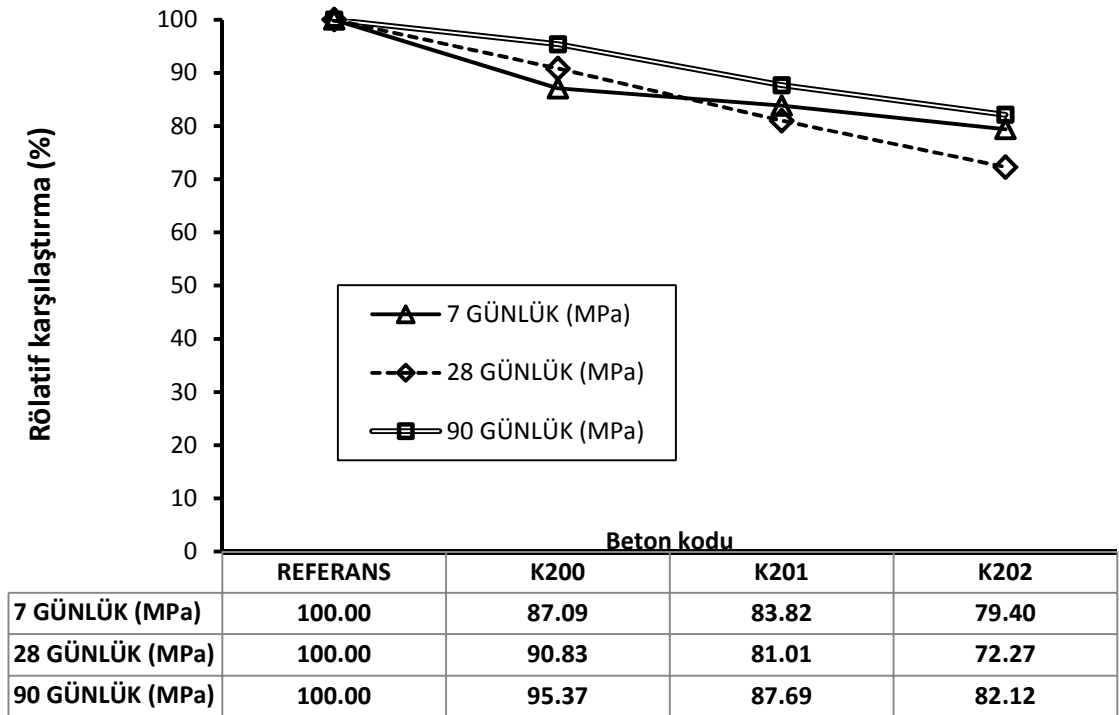
UK ikame oranlarında agreganın yerine kalsit ikamesinin basınç dayanımına etkisi

Karışımlarında çimentonun yerine %20, %40 ve %60 oranında ikame edilmiş olarak UK içeren betonlarda her bir UK ikame oranında viskoziteyi düzenlemek amacıyla agreganın yerine de %5 ve %10 oranında kalsit ikame edilmiştir. Deneysel olarak elde edilen bulgular Çizelge 4.12'de verilmiştir. Sonuçlarda görüldüğü gibi tüm kür süreleri için en yüksek basınç dayanımı değeri R ve düşük basınç dayanımı değeri ise K602 kodlu numunelerde elde edilmiştir. Ayrıca agreganın yerine Kalsit ikame edilmesinin UK'nın her bir ikame oranı için basınç dayanımını nasıl etkilediğini yorumlamak amacıyla göreceli karşılaştırma grafikleri çizilmiş ve Şekil 4.14, 4.15, 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.12. UK ve Kalsit kullanılan KYB'lerin basınç dayanımları

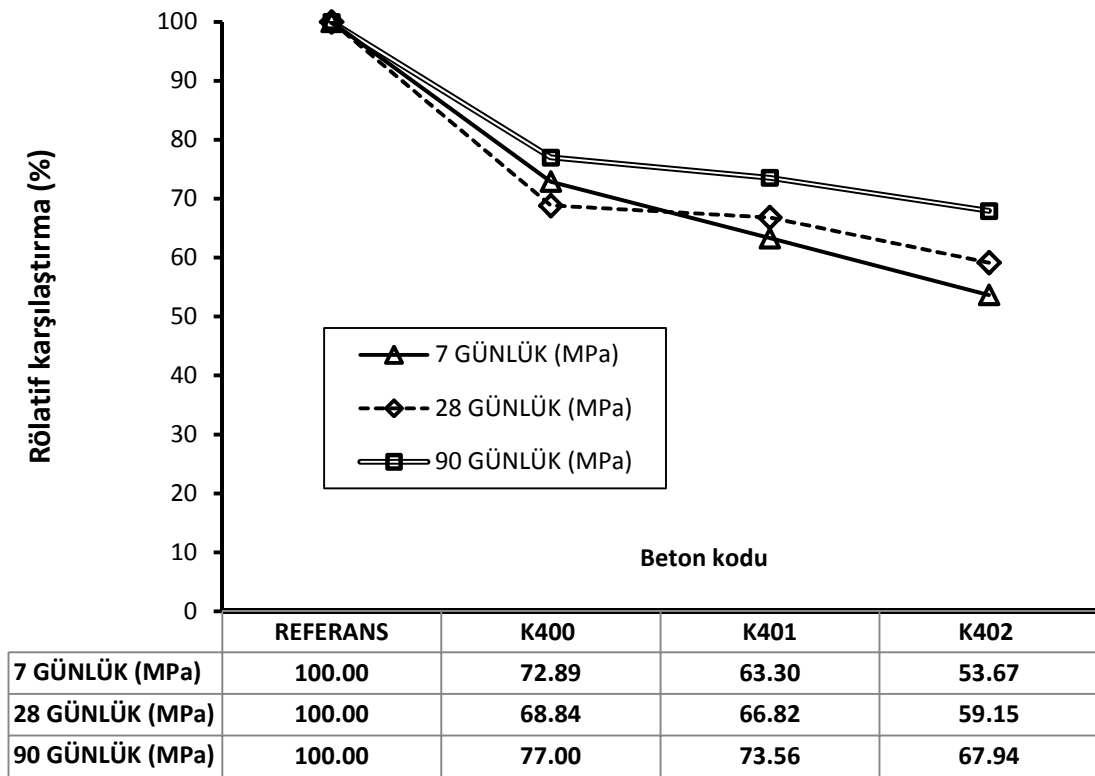
Beton kodu	Basınç dayanımı (MPa)		
	7 günlük	28 günlük	90 günlük
REFERANS	60,15	75,38	79,84
K200	52,38	68,47	76,15
K201	50,42	61,07	70,01
K202	47,76	54,48	65,56
K400	43,84	51,90	61,47
K401	38,07	50,37	58,73
K402	32,28	44,59	54,24
K600	25,78	42,58	51,49
K601	23,66	40,87	46,78
K602	21,48	35,34	42,87

Göreceli karşılaştırmada %20, %40 ve %60 oranında UK ikame edilmiş KYB'lerde agrega yerine ikame edilen kalsit oranının basınç dayanımına etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.14. KYB'lerin basınç dayanımının %20 UK ve kalsit kombinasyonuna bağlı olarak rölatif karşılaştırması

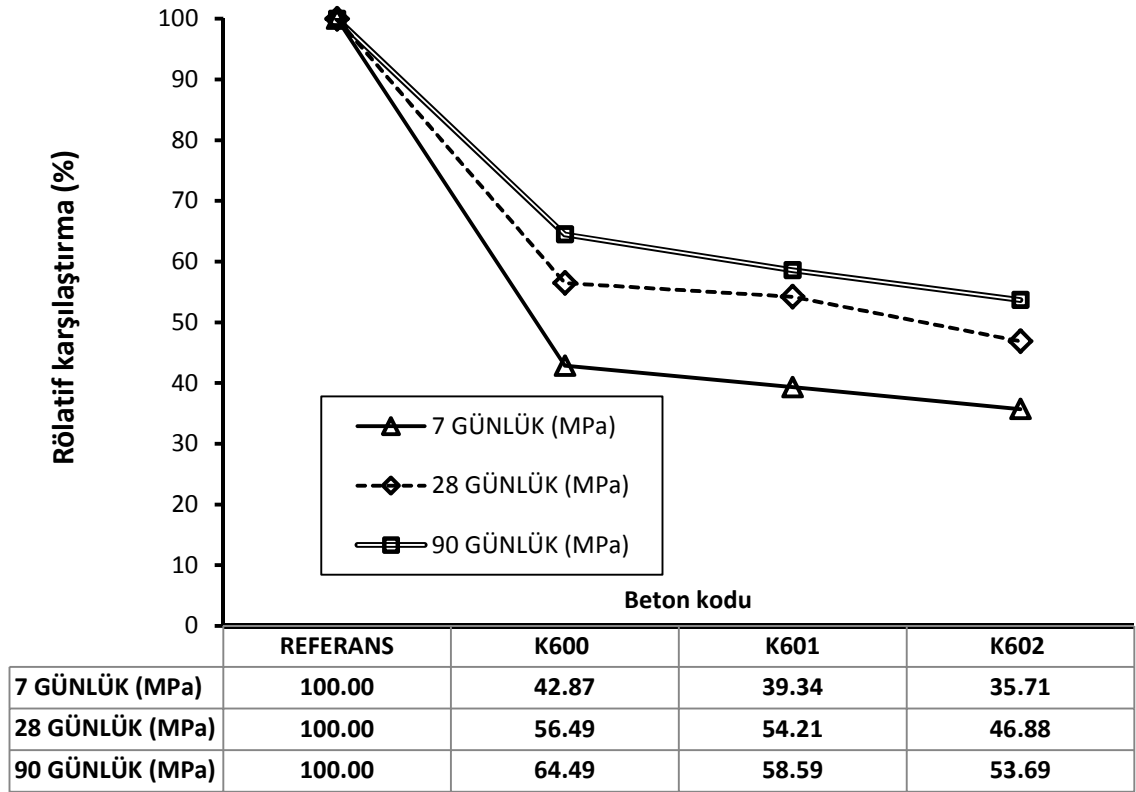
%20 UK ikamesinde kalsitin etkisi incelenecek olursa agreganın yerine kalsit ikamesinin 7, 28 ve 90 günlük kür sürelerinin tamamında basınç dayanımına etkisi olumsuz olmuş ve basınç dayanımı kalsit içeriğine bağlı olarak düşüş göstermiştir. Fakat özellikle 90 günlük numunelerde %5 kalsit ikamesinin referans numunenin basınç dayanımının % 87.69'unu ve %10 kalsit ikame oranında ise % 82.12'sini sağladığı görülmektedir. Tüm sonuçlar birlikte değerlendirilecek olursa kalsit içeren numunelerde kalsitin ıslatma suyunun da karışımında fazladan bulunduğu düşünüldüğünde elde edilen bulgular tatmin edici düzeydedir denilebilir.



Şekil 4.15. KYB'lerin basınç dayanımının %40 UK ve kalsit kombinasyonuna bağlı olarak rölatif karşılaştırması

%40 UK ikamesinde kalsitin etkisi incelenecek olursa agreganın yerine kalsit ikamesinin 7, 28 ve 90 günlük kür sürelerinin tamamında basınç dayanımına etkisi olumsuz olmuş ve basınç dayanımı kalsit içeriğine bağlı olarak düşüş göstermiştir. Fakat özellikle 7 ve 28 günlük kür sürelerinde %10 kalsit içeren numunenin basınç dayanımı referans numuneye göre yaklaşık olarak %40-50 arasında bir düşüş

göstermiştir. 90 günlük numunelerde %5 kalsit ikamesinin referans numunenin basınç dayanımının % 73.56'sını ve %10 kalsit ikame oranında ise % 67.94'ünü sağladığı görülmektedir.



Şekil 4.16. KYB'lerin basınç dayanımının %60 UK ve kalsit kombinasyonuna bağlı olarak rölatif karşılaştırması

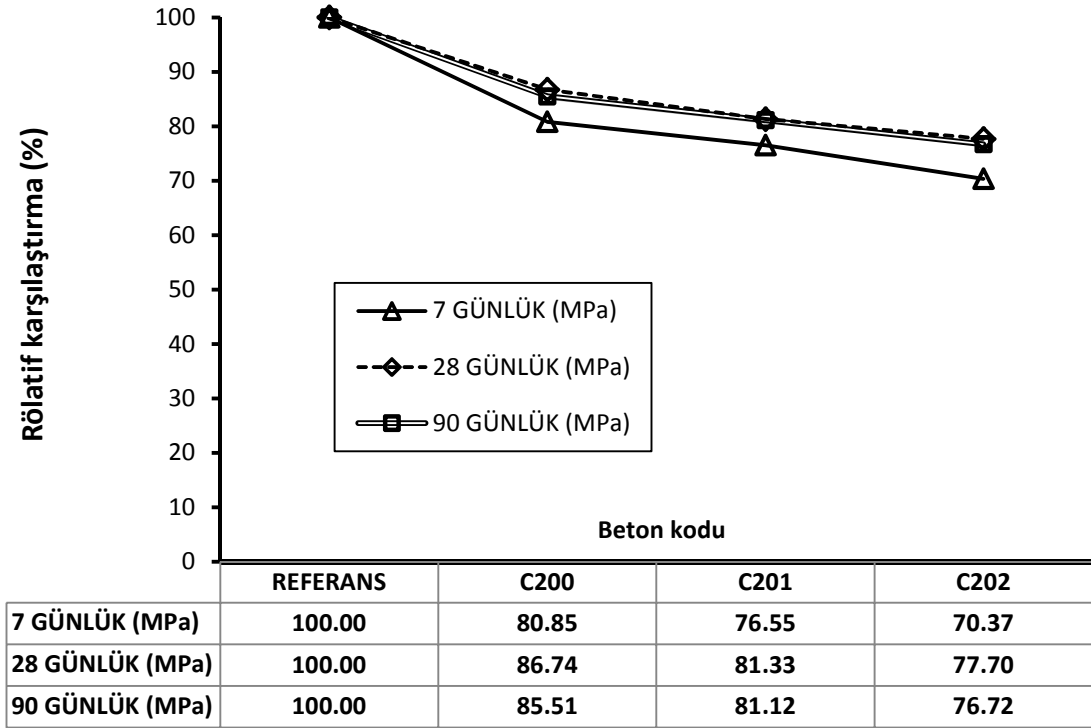
%60 UK ikamesinde kalsitin etkisi incelenecek olursa agreganın yerine kalsit ikamesinin 7, 28 ve 90 günlük kür sürelerinin tamamında basınç dayanımına etkisi %20 ve %40 UK içeren numunelerde olduğu gibi olumsuz olmuş ve basınç dayanımı kalsit içeriğine bağlı olarak düşüş göstermiştir. Özellikle 7 ve 28 günlük kür sürelerinde %10 kalsit içeren numunede basınç dayanımı referans numuneye göre %50'den fazla bir düşüş göstermiştir.

YFC ikame oranlarında agreganın yerine kalsit ikamesinin basınç dayanımına etkisi

Karışımlarında çimentonun yerine %20, %40 ve %60 oranında ikame edilmiş olarak YFC içeren betonlarda her bir YFC ikame oranında viskoziteyi düzenlemek amacıyla agreganın yerine de %5 ve %10 oranında kalsit ikame edilmiştir. Deneysel olarak elde edilen bulgular Çizelge 4.13’de verilmiştir. Sonuçlarda görüldüğü gibi tüm kür süreleri için en yüksek basınç dayanımı değeri R ve düşük basınç dayanımı değeri ise C602 kodlu numunelerde elde edilmiştir. Ayrıca agreganın yerine Kalsit ikame edilmesinin YFC’nin her bir ikame oranı için basınç dayanımını nasıl etkilediğini yorumlamak amacıyla rölatif karşılaştırma grafikleri çizilmiş ve Şekil 4.17, 4.18 ve 4.19’da verilmiştir.

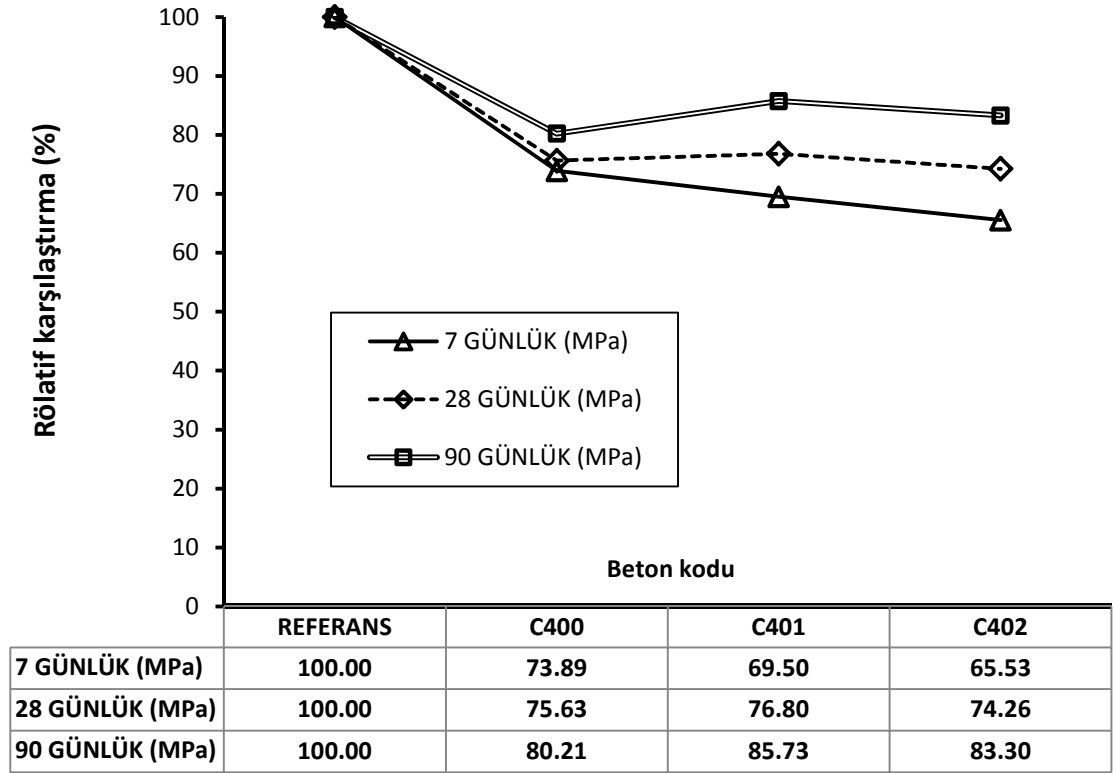
Çizelge 4.13. YFC ve Kalsit kullanılan KYB’lerin basınç dayanımları

Beton kodu	Basınç dayanımı (MPa)		
	7 günlük	28 günlük	90 günlük
REFERANS	60,15	75,38	79,84
C200	48,63	65,39	68,27
C201	46,04	61,31	64,77
C202	42,33	58,57	61,25
C400	44,44	57,02	64,04
C401	41,80	57,90	68,44
C402	39,42	55,98	66,50
C600	34,18	52,70	62,99
C601	32,68	52,33	59,02
C602	30,85	49,60	56,04



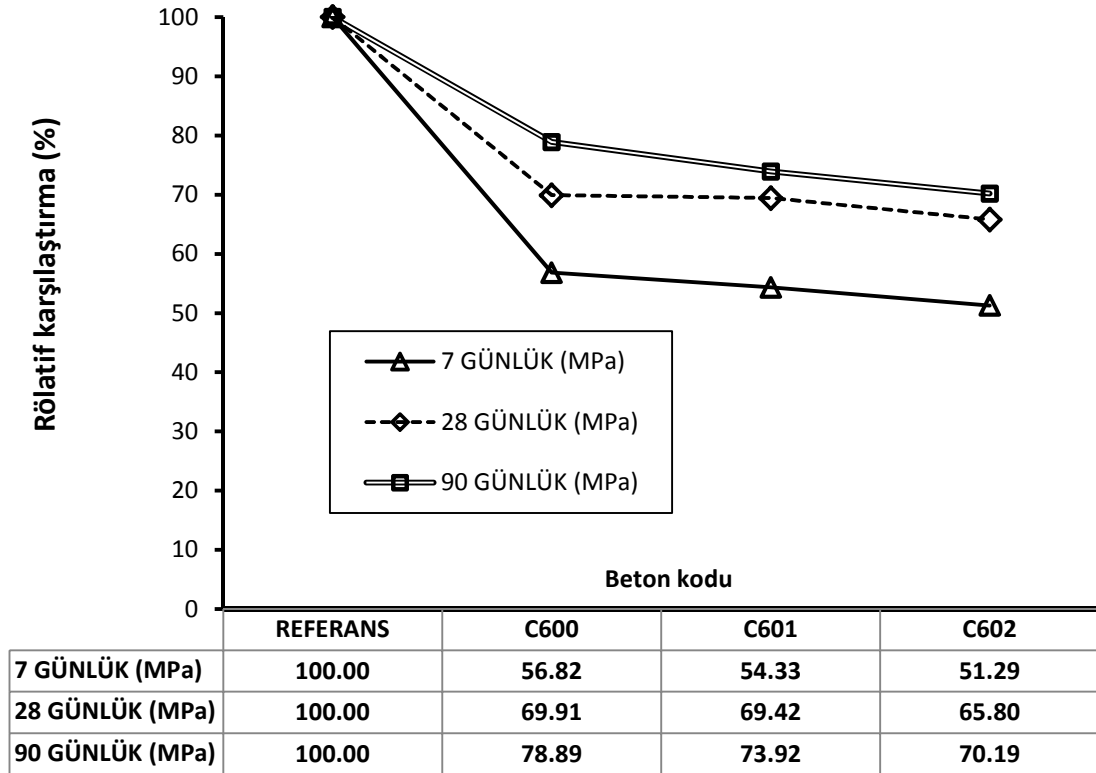
Şekil 4.17. KYB'lerin basınç dayanımının %20 YFC ve kalsit kombinasyonuna bağlı olarak rölatif karşılaştırması

%20 YFC ikamesinde kalsitin etkisi incelenecek olursa özellikle 28 ve 90 günlük kür süreleri sonunda %5 kalsit içeren beton serilerinin basınç dayanımı kalsit olmayan ve sadece %20 YFC içeren beton serisine yaklaşık sonuçlar sergilemiştir.



Şekil 4.18. KYB’lerin basınç dayanımının %40 YFC ve kalsit kombinasyonuna bağlı olarak rölatif karşılaştırması

%40 YFC ikamesinde kalsitin etkisi incelenecek olursa 28 günlük kür süresinde %40 YFC ikamesine ilave olarak kalsit içeren seriler yaklaşık olarak aynı performansı göstermiş ve referans numunenin dayanımını %75.63, %76.80 ve %74.26 oranında sağlamışlardır. Burada en dikkat çekici olan sonuç ise 90 günlük kür süresinde hem % 5 hem de %10 kalsit içeren serilerin sadece %40 YFC içeren serilere göre referans numuneye daha yakın sonuçlar vermesidir.



Şekil 4.19. KYB'lerin basınç dayanımının %60 YFC ve kalsit kombinasyonuna bağlı olarak rölatif karşılaştırması

%60 YFC ikamesinde kalsitin etkisi incelenecek olursa tüm kür sürelerinde sadece %60 YFC içeren betonlar ile YFC'ye ek olarak %5 ve %10 kalsit içeren numunelerin referans numuneye ait değerleri sağlamadaki performansları benzerlik göstermiştir.

4.3.5. Elastisite modülü

Elastisite modülü değerlerinin tayini için tek eksenli basınç presinde üzerinde mekanik bir komparatör bağlı olan özel bir çerçeve ile betonların yaklaşık kırılma yüklerinin %60'ına denk gelen yüke kadar betonlar yüklenmiştir. Betonların elastisite modülü deneyleri Ø10*20 cm'lik numunelerde ve basınç dayanımı deneyleri ise 10*10*10 cm'lik numunelerde gerçekleştirildiği için betonların elastisite modüllerinin belirleneceği yaklaşık kırılma yüklerini belirlemek üzere önerilen bazı yöntemlerden [95] yararlanılmış ve 10*10*10 cm'lik numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerleri Ø10*20 cm'lik numunelere yaklaşık olarak dönüştürülmüştür. Beton numunelerde birim yükleme karşılık gelen birim kısılma

değerleri manuel olarak okunmuş ve kaydedilmiştir. Okunan değerler bilgisayar ortamına aktararak betonların gerilme-deformasyon değerleri hesaplanmış ve grafik haline dönüştürülmüştür. Grafikten yararlanılarak statik elastisite modülleri hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler Çizelge 4.14’de verilmiştir.

Çizelge 4.14. KYB’lerin statik elastisite modülü değerleri

Beton kodu	10x10 küp (MPa)	15x15 küp (MPa)	15x30 silindir (MPa)	10x20 silindir (MPa)	E-modülü(MPa)
R	75,38	73,12	58,50	60,25	38461
K200	68,47	66,42	53,13	54,73	36000
K201	61,07	59,24	47,39	48,81	34722
K202	54,48	52,85	42,28	43,54	34391
K400	51,90	50,34	40,27	41,48	35454
K401	50,37	48,86	39,09	40,26	34210
K402	44,59	43,25	34,60	35,64	32307
K600	42,58	41,31	33,04	34,04	32500
K601	40,87	39,64	31,71	32,66	31578
K602	35,34	34,28	27,42	28,25	30909
C200	65,39	63,43	50,74	52,26	35555
C201	61,31	59,47	47,57	49,00	34146
C202	58,57	56,81	45,45	46,81	33939
C400	57,02	55,30	44,24	45,57	34693
C401	57,90	56,16	44,93	46,28	34693
C402	55,98	54,30	43,44	44,75	35000
C600	52,70	51,12	40,90	42,12	32500
C601	52,33	50,76	40,61	41,83	32666
C602	49,60	48,11	38,49	39,64	31818

Çizelgede görüldüğü gibi KYB’ler arasında en yüksek elastisite modülü değerini 38461 MPa ile R kodlu ve en düşük elastisite modülü değerini ise 30909 MPa ile K602 kodlu numune almıştır. UK ve YFC ikamesi ise basınç dayanımı ile benzer şekilde elastisite modülü değerlerini de düşürmüştür.

4.3.6. Kılcal su emme

Gerçekleştirilen kılcal su emme deneyinde elde edilen bulgular Çizelge 4.15’de görülmektedir.

Çizelge 4.15. KYB’lerin kılcal su emme katsayıları

Beton kodu	Kapilarite (mm/dakika ^{1/2})	Beton kodu	Kapilarite (mm/dakika ^{1/2})
R	0,134	C200	0,126
K200	0,158	C201	0,156
K201	0,116	C202	0,105
K202	0,12	C400	0,097
K400	0,117	C401	0,115
K401	0,131	C402	0,117
K402	0,118	C600	0,0703
K600	0,148	C601	0,116
K601	0,168	C602	0,112
K602	0,153		

Çizelgedeki sonuçlara göre YFC içeren ikameli KYB’lerin kılcal su emme katsayıları UK içeren KYB’lere göre daha düşük değerler almıştır. Bu sonuçlar YFC’nin KYB’lerde geçirimsizlik özelliğine UK’ya göre daha fazla katkı sağladığı şeklinde yorumlanabilir.

4.4. Beton-Donatı aderans özellikleri

BMK deneylerinde kullanılan betonlar ön deneyleri gerçekleştirilen 19 farklı karışıma sahip KYB'lerden elde edilen bulgulara göre belirlenen Referans beton, çimentonun yerine %40 UK ve %40 YFC ikame edilmiş beton türleridir.

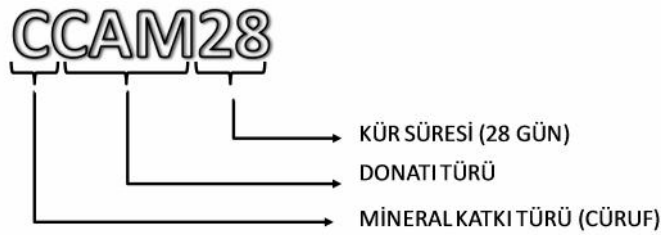
UK ve YFC ikame edilmiş betonların her birinin karışımında agreganın yerine viskozite düzenleyici olarak ağırlıkça %5 oranında kalsit kullanılmıştır. BMK yöntemi ile gerçekleştirilen aderans deneylerinden elde edilen bulgular her bir kiriş numunesinin iki yanında bulunan potansiyometrik cetvellerden (PC) okunan sıyrılma değerleri (mm) ve yük hücresinden okunan kuvvet değerleri (N)'dir. Deneyler her bir KYB serisi üzerinde 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Tüm kirişlerin her iki ucunda iki adet PC bulunması nedeniyle her bir deney serisinden toplam 6 adet olmak üzere 108 adet yük-sıyrılma verileri 1/8 s aralıklarla bilgisayara kaydedilmiştir.

Elde edilen bulgular yorumlanırken her bir kirişin iki ucundaki PC'lerden elde edilen sıyrılma verileri ve sıyrılmalara karşılık gelen yükler ile grafikler oluşturulmuştur. Ayrıca herhangi bir sıyrılma okunamayan seriler için sadece birer veri seti alınarak tek grafikte gösterilmesi yeterli görülmüştür.

Çalışmada çelik donatı çubuğu referans donatı konumunda olduğundan bulguları yorumlamada yardımcı olması için standart S420a çeliğinin akma gerilmesine ve çekme gerilmesine de zaman zaman atıfta bulunulmuştur.

Bu çalışmada donatının betondan 0,25 mm'lik sıyrılmasına karşılık gelen aderans gerilmesi emniyetli aderans gerilmesi olarak kabul edilmiştir. Çalışmada elde edilen bulgular üzerinde bu emniyet sınırı göz önünde bulundurularak sıyrılma değerlerinin 0,25 mm'yi aşp aşmadığı yorumlanmıştır [5,38].

Çalışmanın bu bölümünde de materyal ve yöntem bölümüne benzer şekilde anlatım kolaylığı sağlaması için KYB serilerinde kullanılan donatı türü ve kür süresini tanımlamak amacıyla bir kodlama kullanılmıştır. Kullanılan kodlamada UK içeren serilerde külü temsilen “K” , YFC içeren serilerde ise cürufu temsilen “C” harfleri kullanılmıştır. Kodlamanın ortasında donatının adı ve son kısımda ise kür süresi gün olarak yazılmıştır. Kullanılan kodlamaya bir örnek aşağıda verilmiştir:



Çalışmanın bu bölümü 3 farklı parametreyi tartışmaya yardımcı olmuştur. Bu parametrelerden ilki çelik, cam lifli ve bazalt lifli donatıların aderans performanslarının karşılaştırılması, ikincisi mineral katkılı betonlarda mineral katkıların referans betona göre aderansa etkileri ve üçüncüsü ise mineral katkılı betonlarda katkıların aderans performansına etkisinin kür süresi ile değişimi şeklindedir. Eğilmede aderans deneyi yapılan bazı BMK numunelerinin deney sonrası görüntüleri Resim 4.4’de görülmektedir.



Resim 4.4. Eğilmede aderans deneyi yapılan bazı BMK numuneleri

4.4.1 Cam lifli donatı çubuğunun aderans performansı

Cam lifli donatı çubuğu kullanılan tüm KYB türleri ile üretilmiş kiriş numuneler üzerinde hem 28 hem de 90 günlük kür süresi sonunda gerçekleştirilen BMK deneylerinden alınan maksimum gerilme ve maksimum sıyrılma değerleri Çizelge 4.16’da sunulmuştur.

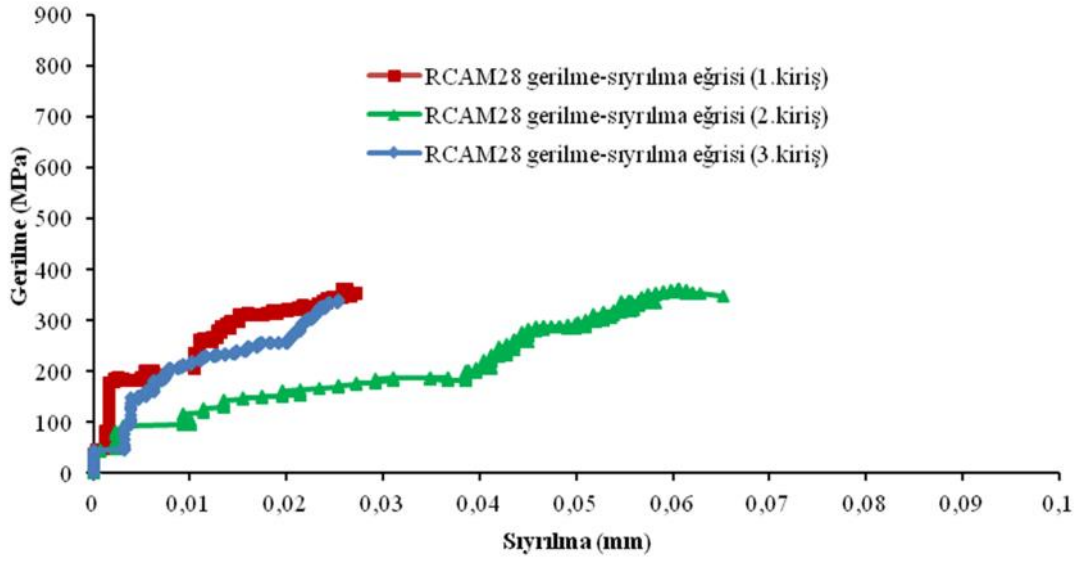
Çizelge 4.16. Cam lifli donatı çubuğunun gerilme-sıyırılma değerleri

Donatı kodu	Maksimum gerilme (MPa)	(PC)	Maksimum sıyırılma (mm) 1. kiriş	Maksimum sıyırılma (mm) 2. kiriş	Maksimum sıyırılma (mm) 3. kiriş
RCAM 28	1.Kiriş 353,7	PC1	0,067603	0,035248	0,027638
	2.Kiriş 361,0	PC2	0,062701	0,019102	0,024677
	3.Kiriş 343,7				
RCAM 90	1.Kiriş 362,3	PC1	0,102307	0,075262	0,035327
	2.Kiriş 363,4	PC2	0,079481	0,010775	0,012090
	3.Kiriş 349,6				
KCAM 28	1.Kiriş 382,5	PC1	0,071522	0,029941	0,055656
	2.Kiriş 396,2	PC2	0,041454	0,022084	H*
	3.Kiriş 333,4				
KCAM 90	1.Kiriş 362,4	PC1	0,026042	0,068824	0,067582
	2.Kiriş 340,4	PC2	0,044542	0,052664	0,039427
	3.Kiriş 342,7				
CCAM 28	1.Kiriş 355,9	PC1	0,046063	0,022362	0,019961
	2.Kiriş 368,6	PC2	0,039791	0,012112	0,010349
	3.Kiriş 327,5				
CCAM 90	1.Kiriş 369,1	PC1	0,025112	0,009216	H*
	2.Kiriş 375,1	PC2	0,002222	0,002481	0,001860
	3.Kiriş 345,4				
H* Deneyssel hata					

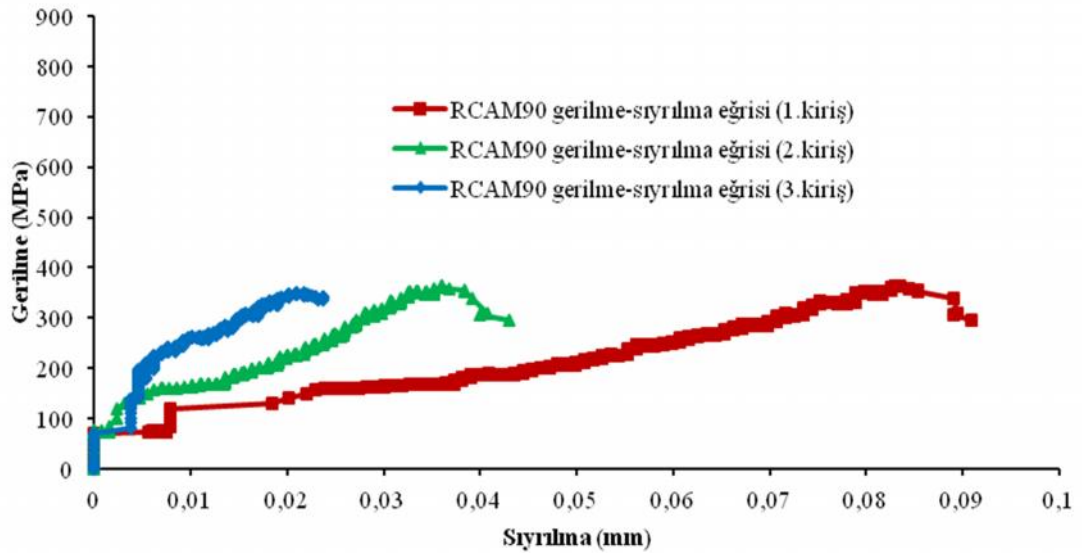
Cam lifli donatı çubuğunun Referans KYB'deki Aderans Performansı

Cam lifli donatı çubuğunun kullanıldığı referans KYB ile üretilmiş kiriş numunelerden alınan maksimum gerilme ve maksimum sıyırılma değerleri RCAM 28 ve RCAM 90 koduyla Çizelge 4.16'da görülmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi 28 günlük kür süresi uygulanan referans KYB ile üretilmiş kirişlerde cam lifli donatılar sırasıyla 353,7 MPa, 361,0 MPa ve 343,7 MPa maksimum gerilmeye maruz kaldığında kopmuş ve ayrıca donatıların bu gerilme değerlerine ulaştığı anda sırasıyla 1. Kiriş PC1'de 0,067603 mm, PC2 'de 0,062701 mm, 2. Kiriş PC1'de 0,035248 mm, PC2'de 0,019102 mm ve 3. Kiriş PC1'de 0,027638 mm, PC2'de ise 0,024677 mm sıyırılma değerleri okunmuştur. 90 günlük kür süresi uygulanan referans KYB ile üretilmiş kirişlerde ise cam lifli donatılar sırasıyla 362,3 MPa, 363,4 MPa ve 349,6 MPa maksimum gerilmeye maruz kaldığında kopmuş ve ayrıca donatıların bu gerilme değerlerine ulaştığı anda 1. Kiriş PC1'de 0,102307 mm, PC2'de 0,079481 mm, 2. Kiriş PC1'de 0,075262 mm, PC2'de 0,010775 mm ve 3. Kiriş PC1'de 0,035327 mm, PC2'de ise 0,012090 mm sıyırılma değerleri okunmuştur.

Kirişlerdeki cam lifli donatı çubuğu üzerinde oluşan gerilmeler ve bu gerilmelere karşılık gelen sıyrılma değerlerinin ortalamaları ile oluşturulmuş gerilme-sıyrılma eğrileri 28 günlük kirişler için Şekil 4.20’de ve 90 günlük kirişler için ise Şekil 4.21’de görülmektedir.



Şekil 4.20. Referans KYB’de cam lifli donatının 28 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi



Şekil 4.21. Referans KYB’de cam lifli donatının 90 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi

Bulgular incelendiğinde elde edilen sıyırılma değerlerinin çalışmada donatı ile betonun kenetlenmesini kaybetmediği varsayılan ve referans sıyırılma değeri olarak kabul edilen 0,25 mm'nin altında kaldığı görülmektedir. Bu olumlu bir sonuç olarak görünse de cam lifli donatının çelik donatının akma gerilmesine ulaşmadan sıyırılmalar göstererek kopması, cam lifli donatının çelik donatıya alternatif olarak görülemeyeceğine işaret etmektedir.

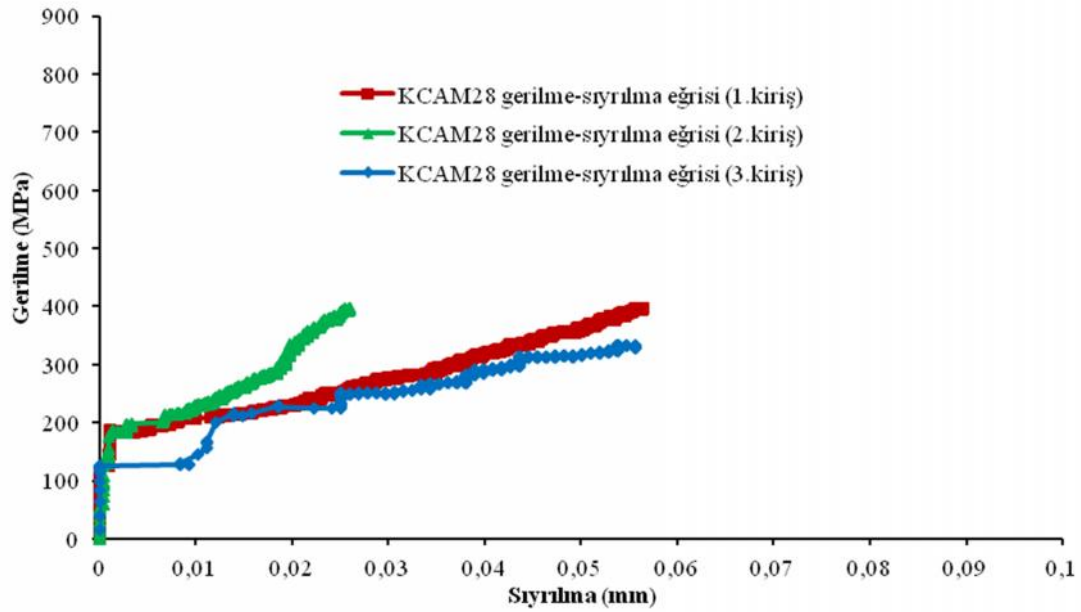
Ayrıca kür süresinin diğer bir deyişle numune yaşının aderansa etkisi değerlendirildiğinde, 90 günlük sıyırılma değerlerinin 28 günlük sıyırılma değerlerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca sıyırılma değerleri 0,1 mm ve altında değerler almıştır. Teknik olarak kür süresi 28 günden 90 güne çıktığında betonun mekanik özelliklerinde bir miktar iyileşme olduğu bilinmektedir. Bunlar göz önünde bulundurulursa referans KYB'de kür süresi ile cam lifli donatının aderans performansı arasında anlamlı bir ilişki olduğu söylenemez.

Cam lifli donatı çubuğunun UK ikameli KYB'deki Aderans Performansı

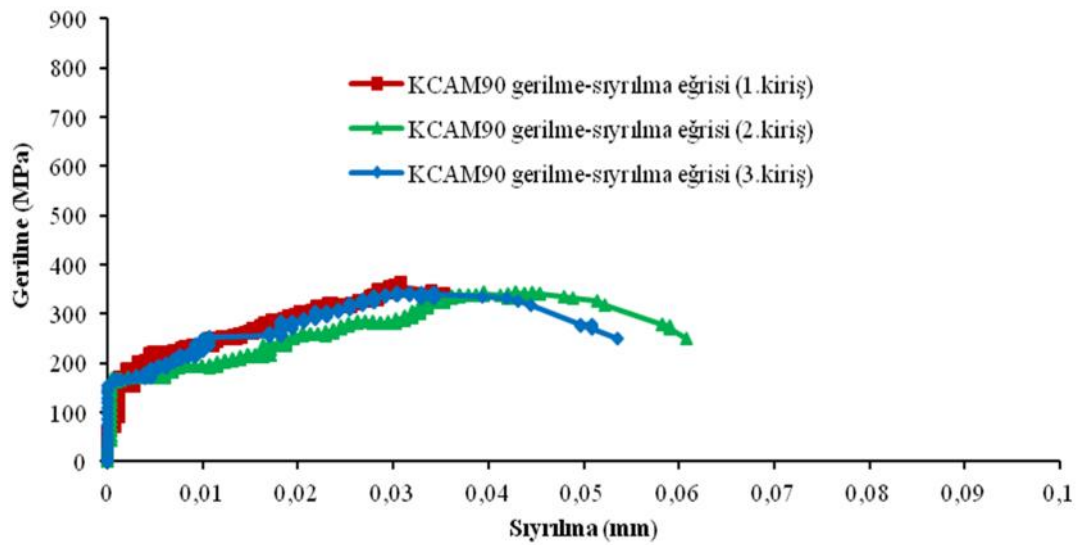
Cam lifli donatı çubuğunun kullanıldığı UK ikame edilmiş K401 kodlu KYB ile üretilmiş kiriş numunelerden alınan maksimum gerilme ve maksimum sıyrılma değerleri KCAM 28 ve KCAM 90 koduyla Çizelge 4.16'da görülmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi 28 günlük kür süresi uygulanan UK ikameli KYB ile üretilmiş kirişlerde cam lifli donatılar sırasıyla 382,5 MPa, 396,2 MPa ve 333,4 MPa maksimum gerilmeye maruz kaldığında kopmuş ve ayrıca donatıların bu gerilme değerlerine ulaştığı anda sırasıyla 1. Kiriş PC1'de 0,071522 mm, PC2'de 0,041454 mm, 2. Kiriş PC1'de 0,029941 mm, PC2'de 0,022084 mm ve 3. Kiriş PC1'de 0,055656 mm sıyrılma değerleri okunmuştur. 3. Kiriş PC2'de ise deneysel hata sonucu okuma alınamamıştır.

90 günlük kür süresi uygulanan UK ikameli KYB ile üretilmiş kirişlerde ise cam lifli donatılar sırasıyla 362,4 MPa, 340,4 MPa ve 342,7 MPa maksimum gerilmeye maruz kaldığında kopmuş ve ayrıca donatıların bu gerilme değerlerine ulaştığı anda 1. Kiriş PC1'de 0,026042 mm, PC2'de 0,044542 mm, 2. Kiriş PC1'de 0,068824 mm, PC2'de 0,052664 mm ve 3. Kiriş PC1'de 0,067582 mm, PC 2'de ise 0,039427 mm sıyrılma değerleri okunmuştur.

Kirişlerdeki cam lifli donatı çubuğu üzerinde oluşan gerilmeler ve bu gerilmelere karşılık gelen sıyrılma değerlerinin ortalamaları ile oluşturulmuş gerilme sıyrılma eğrileri 28 günlük kirişler için Şekil 4.22'de ve 90 günlük kirişler için ise Şekil 4.23'de görülmektedir.



Şekil 4.22. K401 kodlu KYB’de cam lifli donatının 28 günlük gerilme-sıyırılma ilişkisi



Şekil 4.23. K401 kodlu KYB’de cam lifli donatının 90 günlük gerilme-sıyırılma ilişkisi

Bulgular incelendiğinde elde edilen sıyırılma değerlerinin çalışmada donatı ile betonun kenetlenmesini kaybetmediği varsayılan ve referans sıyırılma değeri olarak kabul edilen 0,25 mm’nin altında kaldığı görülmektedir. Bu olumlu bir sonuç olarak görünse de cam lifli donatının çelik donatının akma gerilmesine ulaşmadan sıyırılmalar göstererek kopması, cam lifli donatının çelik donatıya alternatif olarak görülemeyeceğine işaret etmektedir. Ayrıca kür süresinin aderansa etkisi

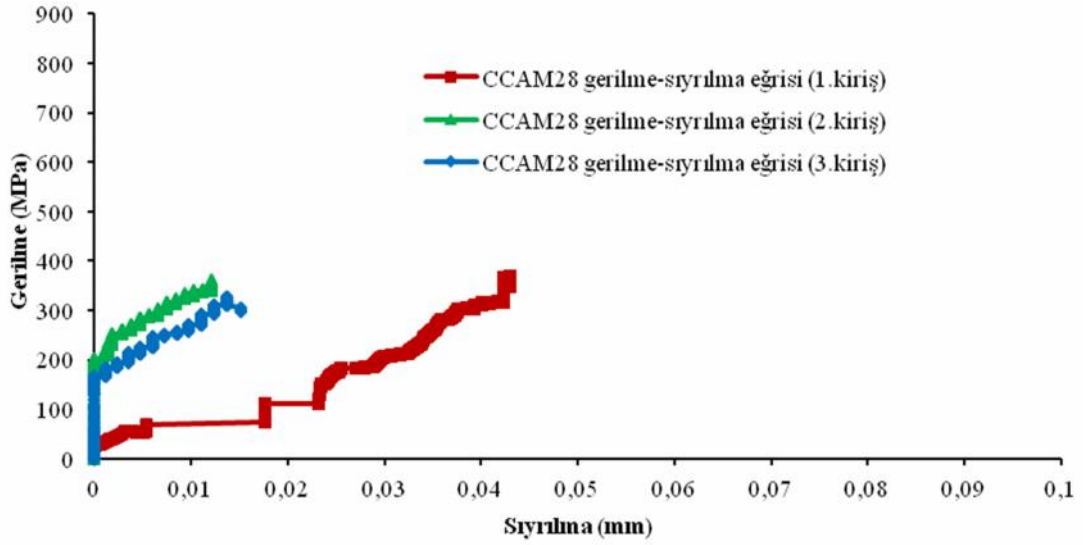
yorumlanacak olursa hem 28 günlük hemde 90 günlük kür uygulanan KYB’lerde sıyırılma değerleri 0,08 mm’nin altında okunmuştur. Sıyırılma değerlerinin bu kadar küçük mertebelerde okunduğu ve bu değerlerde sıyırılmaların kür süresine bağlı olarak sadece azalmadığı düşünüldüğünde cam lifli donatı kullanılan KYB’lerde kür süresi ile aderans performansı arasında anlamlı bir ilişkinin bu sonuçlara göre bulunamayacağı sonucuna varılabilir.

Beton teknolojisinde kullanılan mineral katkılardan olan UK’lar puzolanik etkisi nedeniyle beton mekanik özelliklerine kür süresi arttıkça (örneğin 28 günden 90 güne çıkıldığında) daha olumlu etki etmektedir. Fakat cam lifli donatı kullanılan KYB’lerde okunan sıyırılma değerlerinin KYB’nin mekanik özelliklerinden daha çok cam lifli donatının yüzey özellikleri ile eksenel kesit daralmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum donatıların aderans performansları ile ilgili genel değerlendirmenin yapıldığı ilerleyen bölümlerde tartışılmıştır.

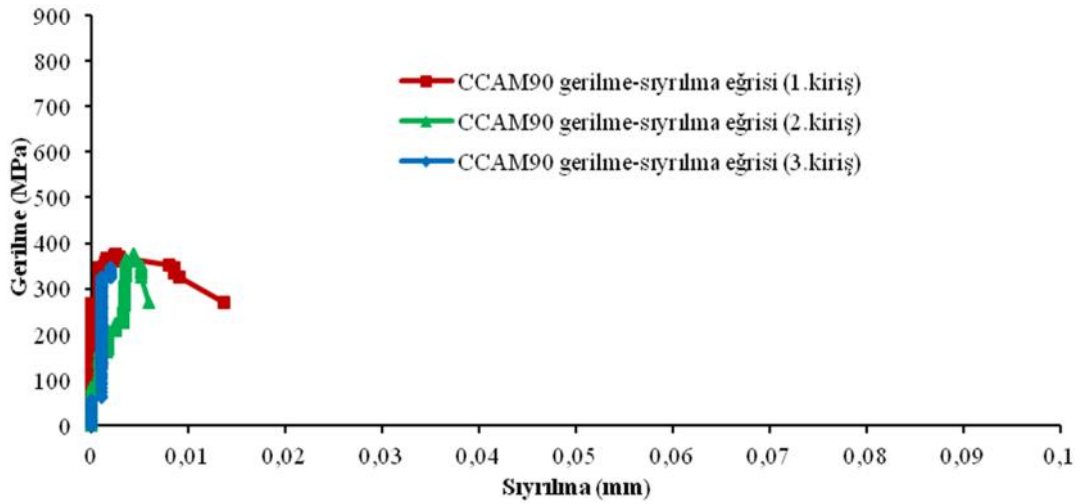
Cam lifli donatı çubuğunun YFC ikameli KYB’deki Aderans Performansı

Cam lifli donatı çubuğunun kullanıldığı YFC ikame edilmiş C401 kodlu KYB ile üretilmiş kiriş numunelerden alınan maksimum gerilme ve maksimum sıyırılma değerleri CCAM 28 ve CCAM 90 koduyla Çizelge 4.16’da görülmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi 28 günlük kür süresi uygulanan YFC ikameli KYB ile üretilmiş kirişlerde cam lifli donatılar sırasıyla 355,9 MPa, 368,6 MPa ve 327,5 MPa maksimum gerilmeye maruz kaldığında kopmuş ve ayrıca donatıların bu gerilme değerlerine ulaştığı anda sırasıyla 1. Kiriş PC1’de 0,046063 mm, PC2’de 0,039791 mm, 2. Kiriş PC1’de 0,022362 mm, PC2’de 0,012112 mm ve 3. Kiriş PC1’de 0,019961 mm, PC2’de ise 0,010349 mm sıyırılma değerleri okunmuştur. 90 günlük kür süresi uygulanan referans KYB ile üretilmiş kirişlerde ise cam lifli donatılar sırasıyla 369,1 MPa, 375,1 MPa ve 345,4 MPa maksimum gerilmeye maruz kaldığında kopmuş ve ayrıca donatıların bu gerilme değerlerine ulaştığı anda 1. Kiriş PC1’de 0,025112 mm, PC2’de 0,002222 mm, 2. Kiriş PC1’de 0,009216 mm, PC2’de 0,002481 mm ve 3. Kiriş PC2’de ise 0,001860 mm sıyırılma değerleri okunmuştur. 3. Kiriş PC1’de deneysel hata sonucu veri alınamamıştır.

Kirişlerdeki cam lifli donatı üzerinde oluşan gerilmeler ve bu gerilmelere karşılık gelen sıyrılma değerlerinin ortalamaları ile oluşturulmuş gerilme sıyrılma eğrileri 28 günlük kirişler için Şekil 4.24’de ve 90 günlük kirişler için ise Şekil 4.25’de görülmektedir.



Şekil 4.24. C401 kodlu KYB’de cam lifli donatının 28 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi



Şekil 4.25. C401 kodlu KYB’de cam lifli donatının 90 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi

Bulgular incelendiğinde Referans ve UK ikameli KYB'lere benzer şekilde YFC ikameli KYB'lerde de elde edilen sıyrılma değerlerinin çalışmada donatı ile betonun kenetlenmesini kaybetmediği varsayılan ve referans sıyrılma değeri olarak kabul edilen 0,25 mm'nin altında kaldığı görülmektedir. Bu olumlu bir sonuç olarak görünse de cam lifli donatının çelik donatının akma gerilmesine ulaşmadan sıyrılmalar göstererek kopması, cam lifli donatının çelik donatıya alternatif olamayacağını göstermektedir.

Ayrıca kür süresinin aderansa etkisi yorumlanacak olursa hem 28 günlük hem de 90 günlük kür uygulanan KYB'lerde sıyrılma değerleri 0,05 mm'nin altında okunmuştur. Sıyrılma değerlerinin bu kadar küçük mertebelerde okunduğu ve bu değerlerde sıyrılmaların kür süresine bağlı olarak azalmadığı düşünüldüğünde C401 kodlu KYB'de kür süresi ile aderans performansı arasında anlamlı bir ilişkinin bu bulgulara göre ortaya koyulamayacağı sonucuna varılabilir.

%40 YFC içeren KYB'lerde de %40 UK içeren KYB'lerde olduğu gibi okunan sıyrılma değerlerinin KYB'nin mekanik özelliklerinden daha çok donatının yüzey özellikleri ve eksenel kesit daralmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum yine donatıların aderans performansları ile ilgili genel değerlendirmenin yapıldığı ilerleyen bölümlerde tartışılmıştır.

4.4.2. Bazalt lifli donatı çubuğunun aderans performansı

Bazalt lifli donatının kullanıldığı tüm KYB'ler ile üretilmiş kiriş numuneler üzerinde hem 28 hem de 90 günlük kür süresi sonunda gerçekleştirilen BMK deneylerinden elde edilen maksimum gerilme ve maksimum sıyrılma değerleri Çizelge 4.17'de sunulmuştur.

Çizelge 4.17. Bazalt lifli donatı çubuğunun gerilme-sıyrılma değerleri

Donatı kodu	Maksimum gerilme (MPa)	(PC)	Maksimum sıyrılma (mm) 1. kiriş	Maksimum sıyrılma (mm) 2. kiriş	Maksimum sıyrılma (mm) 3. kiriş
RBAZALT28	Ortalama 789,0	PC1 PC2	0 0	0 0	0 0
RBAZALT90	Ortalama 811,8	PC1 PC2	0 0	0 0	0 0
KBAZALT28	1.Kiriş 670,5* 2.Kiriş 680,9* 3.Kiriş 736,5*	PC1 PC2	0,023046 0,003104	0,004638 0,003696	0,0061962 0,0046471
KBAZALT90	Ortalama 794,9	PC1 PC2	0 0	0 0	0 0
CBAZALT28	Ortalama 827,3	PC1 PC2	0 0	0 0	0 0
CBAZALT90	Ortalama 831,5	PC1 PC2	0 0	0 0	0 0

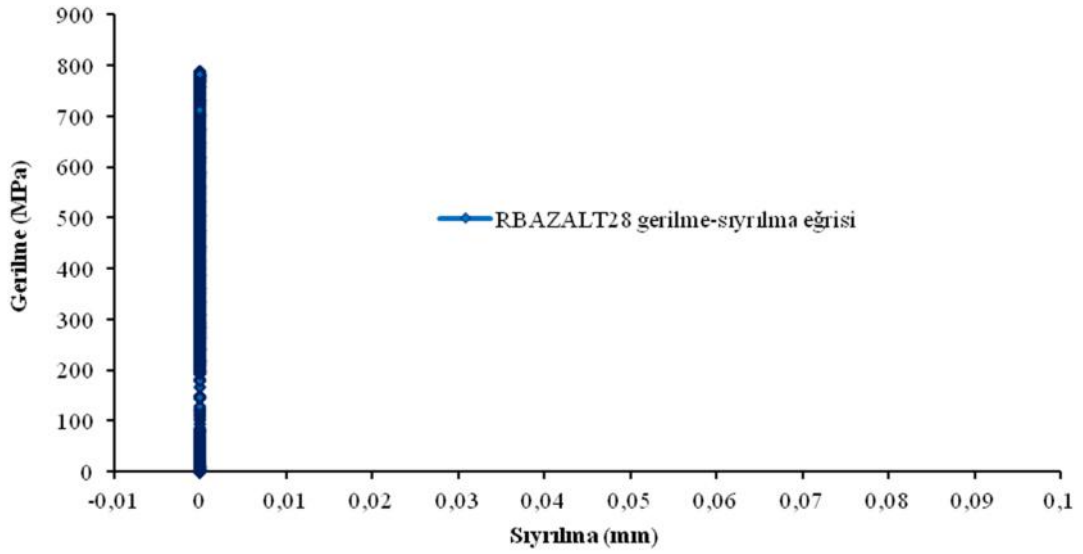
*Bazalt lifli donatı kullanılan UK ikameli ve 28 gün kür uygulanan KYB'lerde kesme çatlağı oluşmuş ve bazalt donatı kopmadan deney sonlanmıştır. Verilen bu gerilme değerleri betonda kesme çatlağı oluştuğu anda donatıdaki gerilmelerdir.

Bazalt lifli donatı çubuğunun Referans KYB'deki Aderans Performansı

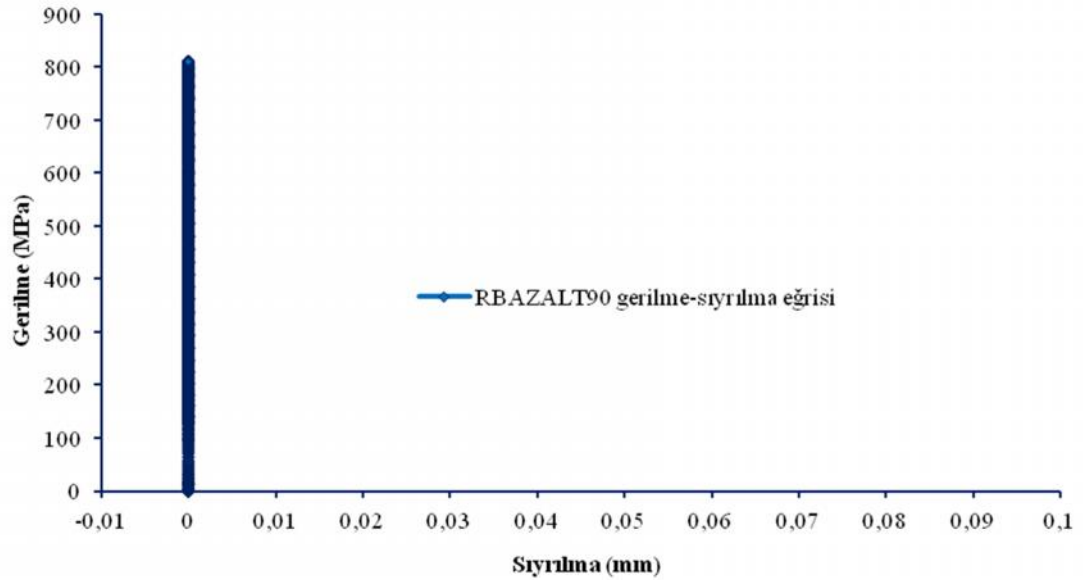
Bazalt lifli donatının kullanıldığı referans KYB ile üretilmiş kiriş numunelerden alınan maksimum gerilme ve maksimum sıyrılma değerleri RBAZALT28 ve RBAZALT90 koduyla Çizelge 4.17'de görülmektedir.

Çizelgede görüldüğü üzere, bazalt lifli donatıların kullanıldığı referans KYB'lerde hem 28 hem de 90 günlük kür sürelerinde donatının çekme dayanımına ulaştığı gerilme değerine kadar herhangi bir sıyrılma gözlenmemiş (Şekil 4.26 - Şekil 4.27) ve bazalt lifli donatı çekme dayanımına ulaştığı anda gevrek bir şekilde kopmuştur. Bazalt lifli donatının koptuğu anda donatı üzerindeki ortalama (3 kiriş) gerilme değeri ise 28 günlük numunede 789,0 MPa ve 90 günlük numunede ise 811,8 MPa

olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu gerilme değerleri sadece bazalt donatının özelliği ile ilgili olsa da donatının çelik için verilen sınır değerlerin oldukça üzerindeki çekme etkilerinde bile referans KYB ile aderansını kaybetmediğini göstermektedir.



Şekil 4.26. Referans KYB’de bazalt lifli donatının 28 günlük gerilme-sıyılma ilişkisi

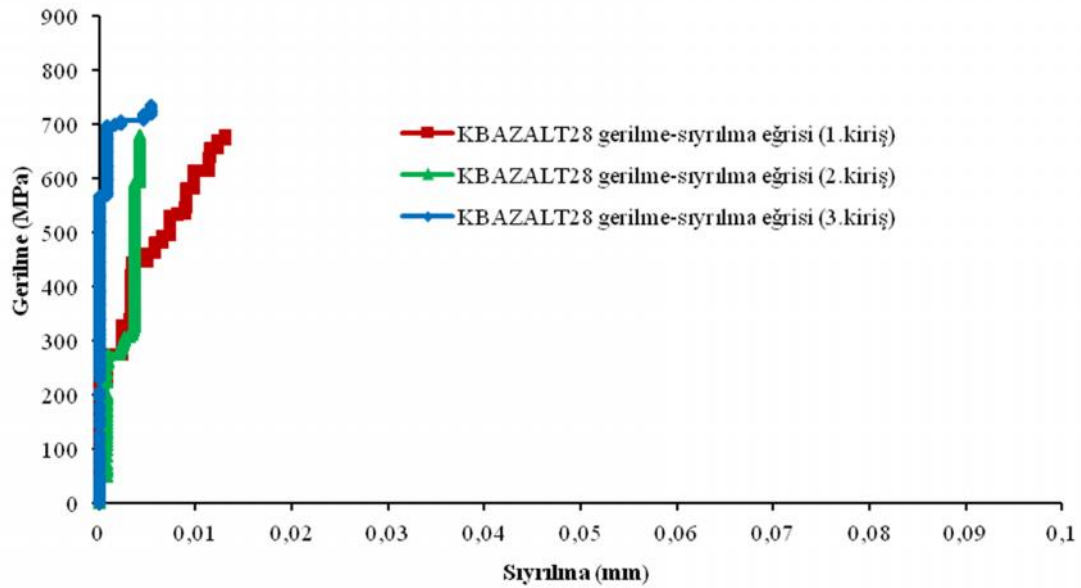


Şekil 4.27. Referans KYB’de bazalt lifli donatının 90 günlük gerilme-sıyılma ilişkisi

Bazalt lifli donatı çubuğunun UK İkameli KYB'deki Aderans Performansı

Bazalt lifli donatının kullanıldığı %40 UK ikameli KYB ile üretilmiş kiriş numunelerden alınan maksimum gerilme ve maksimum sıyrılma değerleri KBAZALT28 ve KBAZALT90 koduyla Çizelge 4.17'de sunulmuştur.

Çizelgede görüldüğü üzere, bazalt lifli donatıların kullanıldığı %40 UK ikameli KYB'lerde 28 günlük kür uygulamasında 1. Kiriş PC1'de 0,023046 mm, PC2'de 0,003104 mm, 2. Kiriş PC1'de 0,004638 mm, PC2'de 0,003696 mm ve 3. Kiriş PC1'de 0,00619624 mm, PC2'de ise 0,0046471 mm sıyrılma değerleri okunmuştur. 28 günlük kirişlerden elde edilen gerilme ve gerilmelere karşılık gelen ortalama sıyrılma grafikleri ise Şekil 4.28'de görülmektedir.



Şekil 4.28. K401 kodlu KYB'de bazalt lifli donatının 28 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi

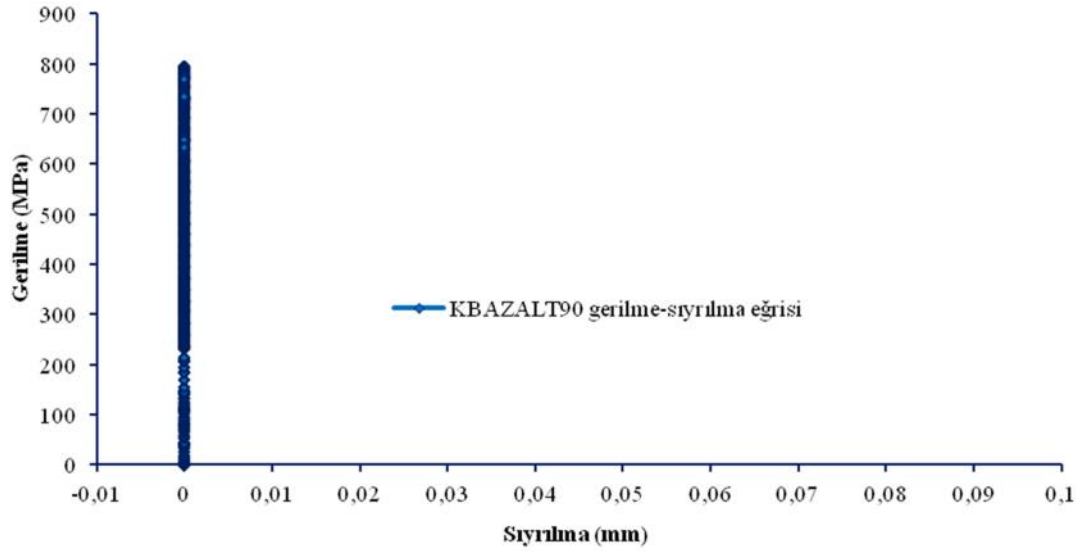
28 günlük kür süresinde %40 UK içeren kirişlerde referans KYB'den farklı olarak donatı kopmadan önce kiriş taşıma gücünü kesme kırılmasıyla kaybetmiş ve deney sonlanmıştır. Deney sonrası kesme çatlağı oluşan kirişin görüntüsü Resim 4.5'de görülmektedir. Numunelerde kesme çatlağı oluşarak deney sonlandığı anda donatı üzerindeki en büyük gerilme değerleri 3 farklı kiriş için sırasıyla 670,5 MPa,

680,9 MPa ve 736,5 MPa olarak belirlenmiştir. 28 gün kür uygulanan seride okunan sıyrılma değerlerinin çalışmada donatı ile betonun kenetlenmesini kaybetmediği varsayılan ve referans sıyrılma değeri olarak alınan 0,25 mm'nin altında kaldığı görülmektedir. Ayrıca okunan sıyrılma değerleri çelik donatının akma dayanımı sınırına kadar çizelgede verilen sıyrılma değerlerindeki altında kalmıştır.



Resim 4.5. Kesme çatlağı oluşan K401 kodlu KYB kiriş numunesi

90 günlük kirişlerde ise herhangi bir sıyrılma okunmamış ve kirişlerde kullanılan bazalt lifli donatı kopana kadar deney devam etmiştir. 90 günlük kiriş numunelerin gerilme-sıyrılma grafiği Şekil 4.29'da görülmektedir. 90 günlük KYB'lerde bazalt lifli donatı 794,9 MPa gibi yüksek değerlere kadar uygulanan gerilme etkisine kopmadan ve betondan sıyrılmadan karşı koyabilmiştir.



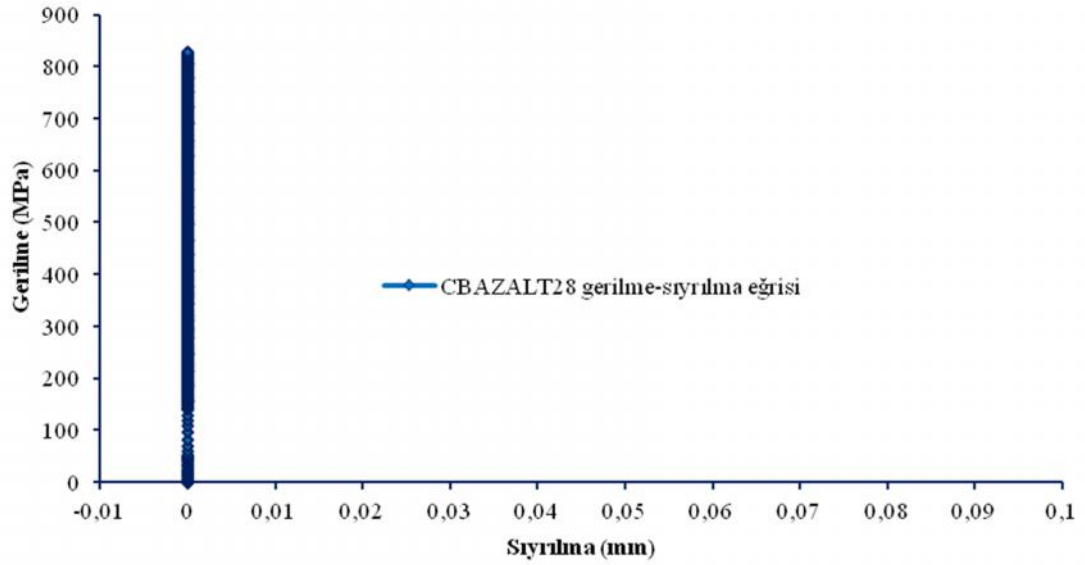
Şekil 4.29. K401 kodlu KYB’de bazalt lifli donatının 90 günlük gerilme-sıyrılma ilişkisi

Diğer taraftan kirişlerde kesme çatlağı da oluşmamıştır. Bu durum, mineral katkı içeren betonlarda kür süresi arttıkça mekanik özelliklerin daha olumlu hale gelmesinin bir sonucu olarak açıklanabilir. Ayrıca yine 90 günlük kür süresinde bazalt lifli donatının herhangi bir sıyrılma ve kesme çatlağı oluşmadan çeliğe kıyasla çok daha fazla çekme etkisine karşı koyabilmesi, bazalt lifli donatının, kullanıldığı kirişte eğilmede yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırabileceği anlamına gelmektedir. Bu son derece önemli bir sonuç olarak değerlendirilebilir.

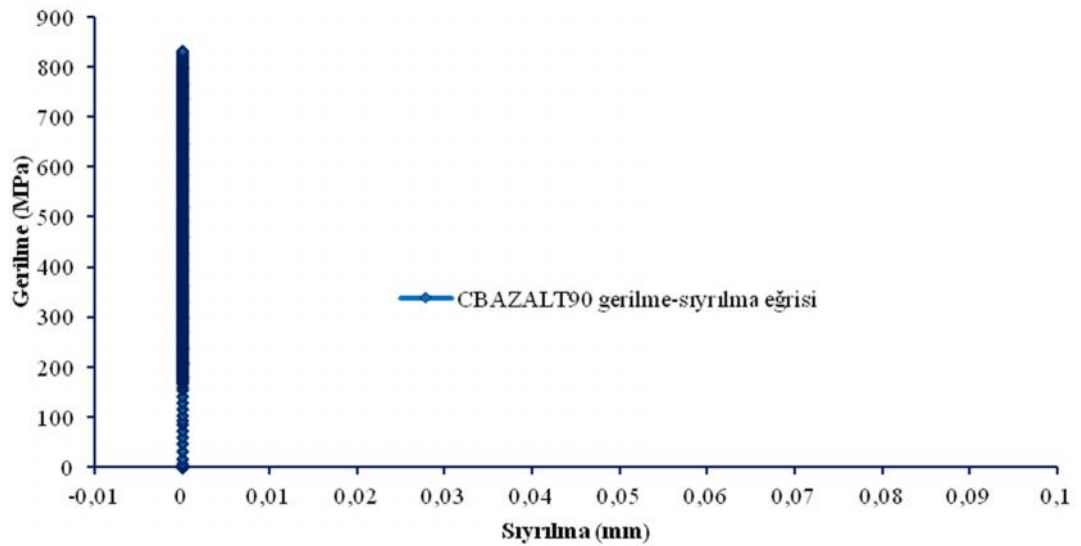
Bazalt lifli donatı çubuğunun YFC İkameli Betondaki Aderans Performansı

Bazalt lifli donatının kullanıldığı %40 YFC ikameli KYB ile üretilmiş kiriş numunelerden alınan maksimum gerilme ve maksimum sıyrılma değerleri Çizelge 4.17’de sunulmuştur.

Çizelgede görüldüğü üzere, bazalt lifli donatıların kullanıldığı %40 YFC ikameli KYB’lerle üretilen kirişlerde hem 28 hem de 90 günlük kür sürelerinde donatının çekme gerilmesine ulaştığı ana kadar herhangi bir sıyrılma gözlenmemiş ve bazalt lifli donatı gevrek kopmuştur. Gerilme-sıyrılma grafikleri Şekil 4.30 ve Şekil 4.31’de görülmektedir.



Şekil 4.30. C401 kodlu KYB’de bazalt lifli donatının 28 günlük gerilme-sıyılma ilişkisi



Şekil 4.31. C401 kodlu KYB’de bazalt lifli donatının 90 günlük gerilme-sıyılma ilişkisi

Donatının koptuğu anda donatı üzerindeki en büyük gerilme değeri ise 28 günlük numunede 827,3 MPa ve 90 günlük numunede ise 831,5 MPa olarak belirlenmiştir. Ulaşılan bu gerilme değerleri sadece bazalt donatının özelliği ile ilgili olsa da donatının çelik için verilen sınır değerlerin üzerindeki çekme etkilerinde bile %40 YFC ikameli KYB ile aderansını kaybetmediğini göstermiştir.

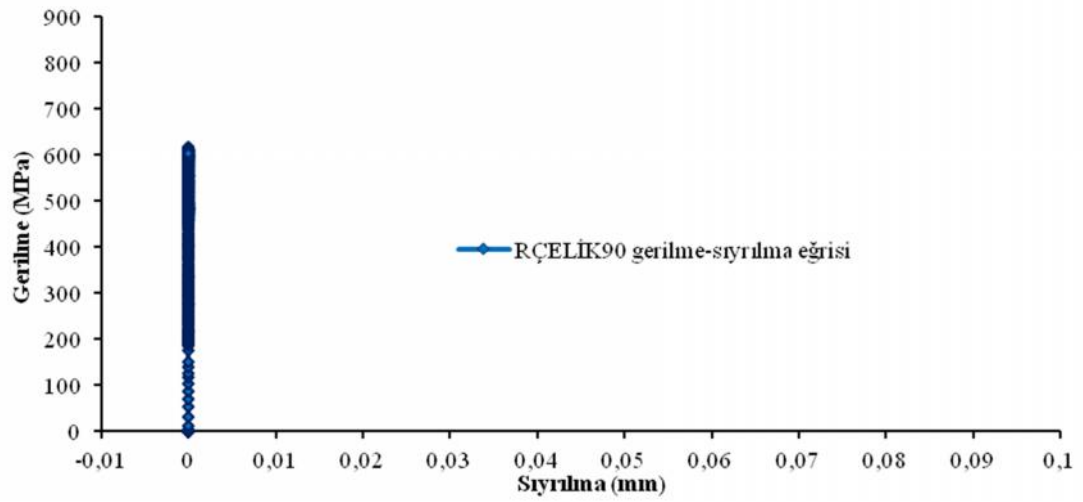
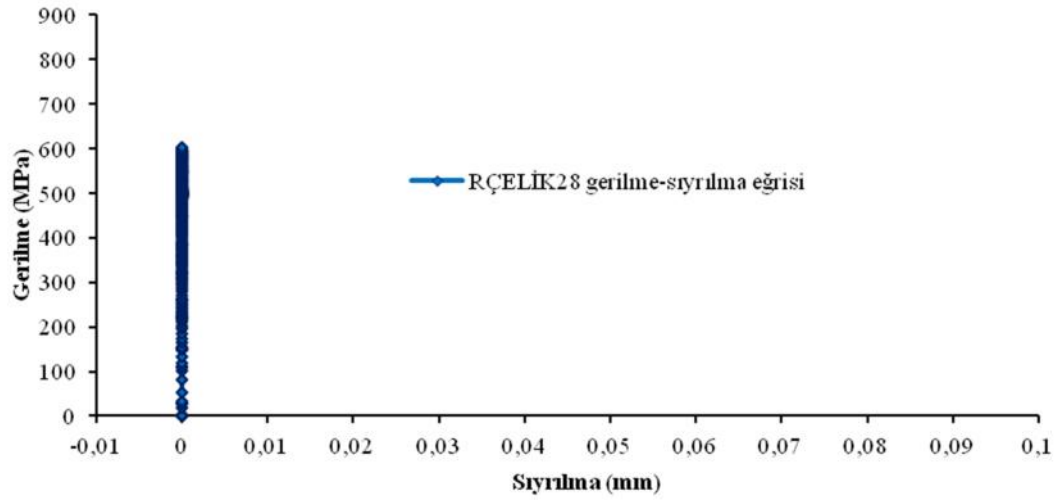
4.4.3. Çelik donatı çubuğunun aderans performansı

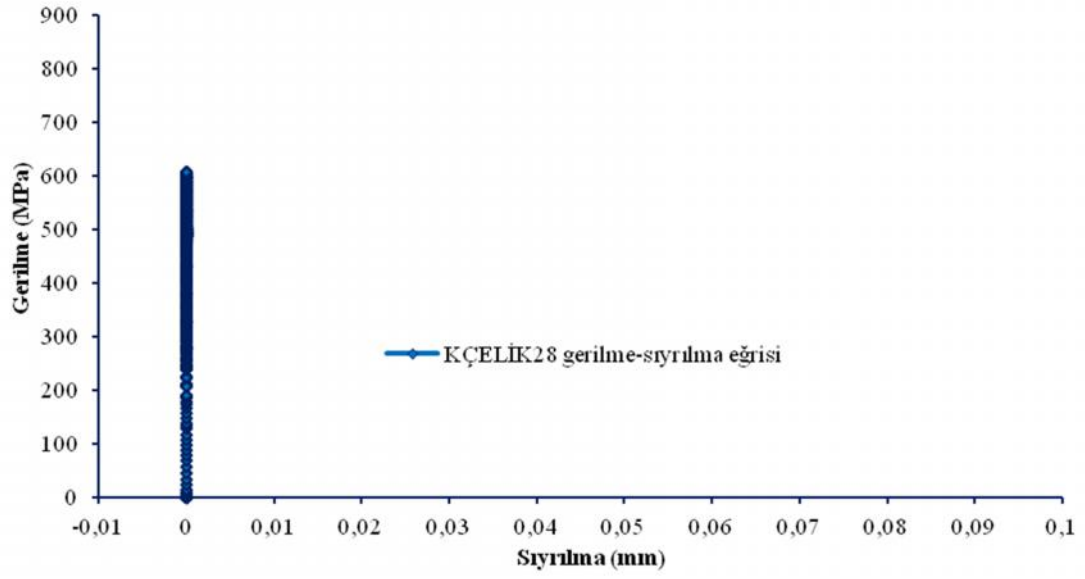
Çelik donatının tüm betonlardaki aderans performansı benzer sonuçlar verdiği için cam lifli ve bazalt lifli donatıda olduğu gibi her KYB serisi için alt başlıklar şeklinde tartışılmamıştır. BMK deneyi sonrası çelik donatının kullanıldığı 3 adet kiriş numunesinden alınan ortalama gerilme ve maksimum sıyrılma değerleri Çizelge 4.18’de sunulmuştur.

Çizelge 4.18. Çelik donatı çubuğunun gerilme-sıyrılma değerleri

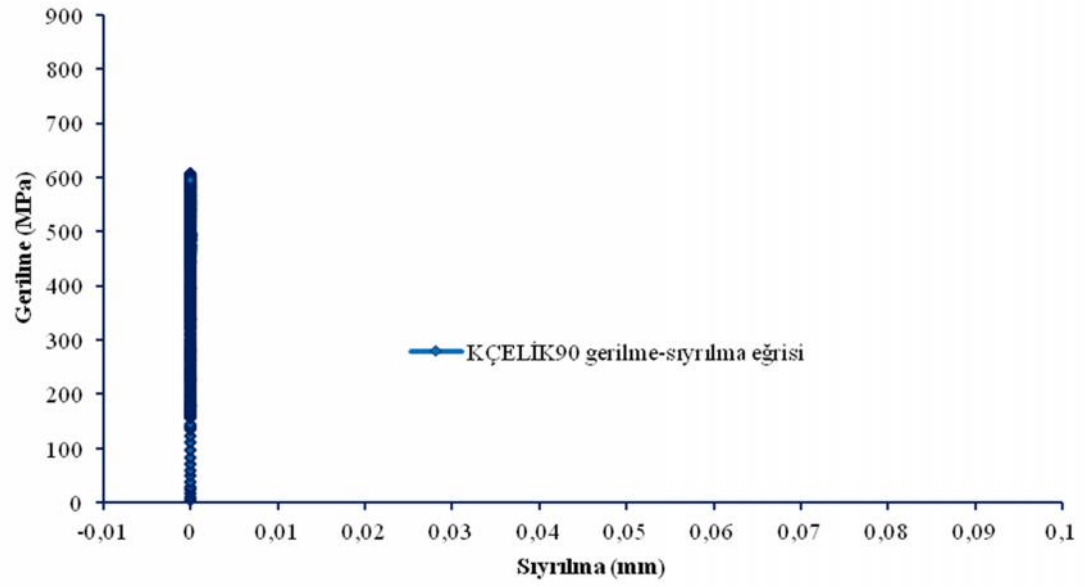
Donatı kodu	Ortalama gerilme (MPa)	(PC)	Maksimum sıyrılma (mm)
RÇELİK 28	Ortalama 601,1	PC1 PC2	0 0
KÇELİK 28	Ortalama 606,6	PC1 PC2	0 0
CÇELİK 28	Ortalama 612,1	PC1 PC2	0 0
RÇELİK 90	Ortalama 616,3	PC1 PC2	0 0
KÇELİK 90	Ortalama 607,0	PC1 PC2	0 0
CÇELİK 90	Ortalama 602,1	PC1 PC2	0 0

Çizelge 4.18’deki veriler değerlendirildiğinde, tüm KYB serilerinin hem 28 hem de 90 günlük kür sürelerinde çelik donatının akma, çekme ve kopma gerilmelerine ulaştığı gerilme değerlerinin hiçbirisinde KYB’ler ile aderansını kaybetmediği görülmüştür. Çelik donatı kullanılan tüm kiriş numunelerinin gerilme-sıyrılma grafikleri oluşturulmuştur. Çelik donatı kullanılan kirişlerde sıyrılma oluşmamasına rağmen grafik oluşturulması deney sonuçlarını anlaşılır bir şekilde sunabilmeye ve her bir donatıya gelen dolaylı çekme yükünün oluşturduğu gerilme değerlerini gözlemlemeye yardımcı olmuştur. Elde edilen gerilme-sıyrılma grafikleri Şekil 4.32, Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37 ‘de görülmektedir.

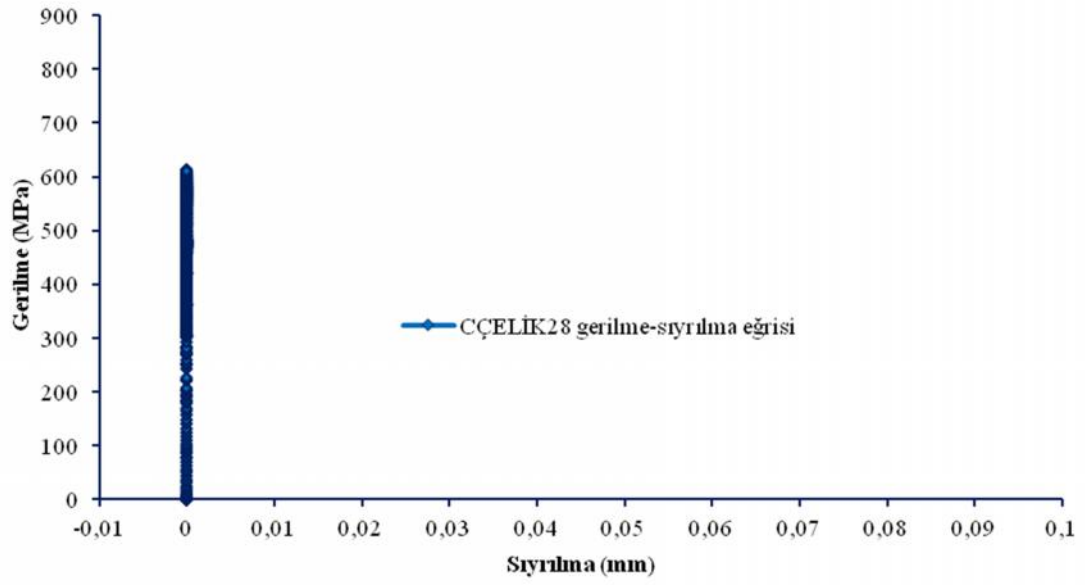




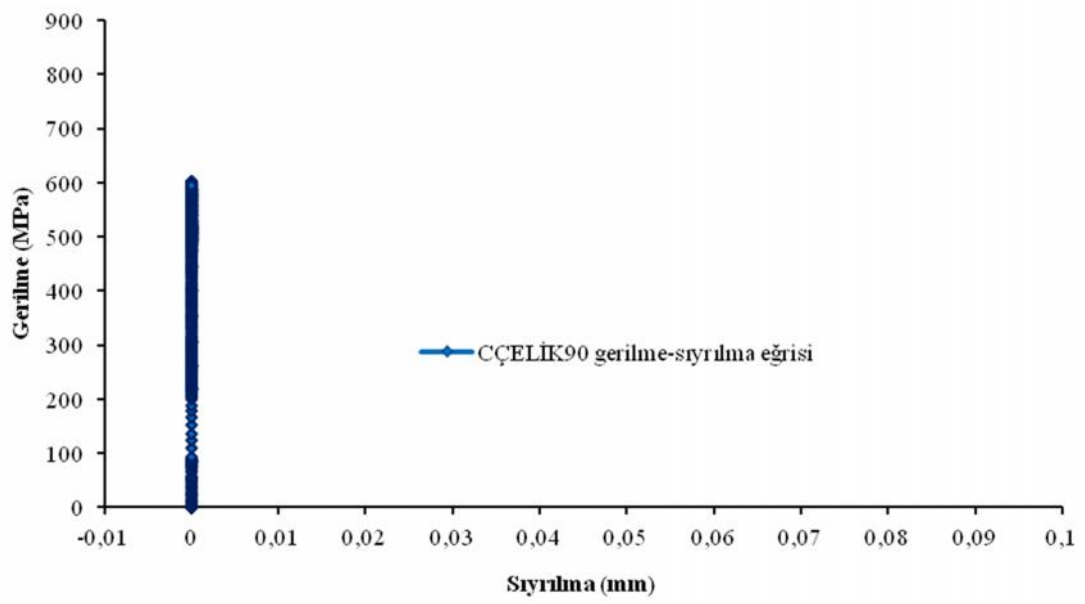
Şekil 4.34. K401 kodlu KYB’de çelik donatının 28 günlük yük-sıyılma ilişkisi



Şekil 4.35. K401 kodlu KYB’de çelik donatının 90 günlük yük-sıyılma ilişkisi



Şekil 4.36. C401 kodlu KYB’de çelik donatının 28 günlük yük-sıyılma ilişkisi



Şekil 4.37. C401 kodlu KYB’de çelik donatının 90 günlük yük-sıyılma ilişkisi

4.4.4. Donatı çubuklarının aderans performanslarının karşılaştırılması

Cam lifli donatıların kullanıldığı kiriş numunelerinden oldukça dikkat çekici bulgular elde edilmiştir. Çizelge 4.19’da bununla ilgili bir veri seti görülmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi cam lifli donatının kullanıldığı kirişlerde çok düşük yük değerlerinde bile sıyrılma okuması alınmıştır.

Çizelge 4.19. Cam donatı kullanılan kirişten örnek veri okumaları

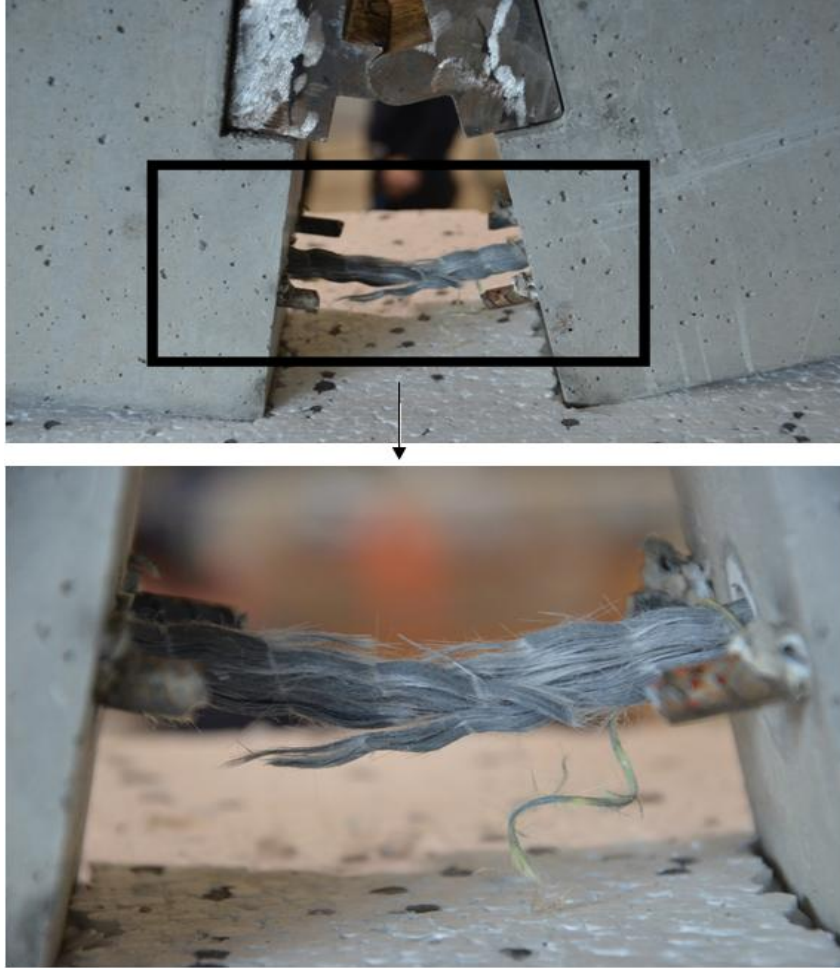
Beton türü	PC1 (mm)	PC2 (mm)	Donatıya gelen F (N)
RCAM90	0,015811	0,00307193	11402,2375
	0,015811	0,00307193	13315,625
	0,0195313	0,00460789	14643,25
	0,0213914	0,00767981	15970,875
	0,0232515	0,00921578	16947,125
	0,0241815	0,0107517	17767,125
	0,0288318	0,0153596	17923,375
	0,0288318	0,0153596	18079,625
	0,0297619	0,0168956	18313,875
	0,030692	0,0184316	18352,875

Cam lifli donatı kullanılan tüm kirişlerde KYB türü ne olursa olsun yüklemeler çelik donatının akma sınırına ulaşmadan sıyrılma değerleri okunmuş ve cam lifli donatı çubuğu, çelik donatının akma sınırına ulaşmadan gevrek bir şekilde kopmuştur.

Sadece referans KYB ile üretilmiş kirişler göz önünde bulundurulursa, cam lifli donatı çubuğuna göre yüzey özellikleri bakımından çok daha sert ve güçlü nervürler bulunduran çelik donatıda sıyrılma okunmaması, cam lifli donatı çubuğu kullanılan kirişlerdeki aderans kaybının beton içyapısı ve mekanik özelliklerinden daha çok donatının yüzey özelliklerinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır.

Deneylerden sonra numuneler üzerinde yapılan incelemelerde cam lifli donatı çubuğunda yüzeyi düz formdan nervürlü donatı formuna getirmek amacıyla sarılan dış helisel liflerin çekme etkisi ile koparak açıldığı gözlenmiştir (Resim 4.6). Bu durum, cam lifli donatılarda yüzeyde nervür formu oluşturmak için sarılan bu helisel

liflerin zayıf olmasının ve yüzeyde nervür oluşturma biçiminin aderans kaybı üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu göstermektedir.



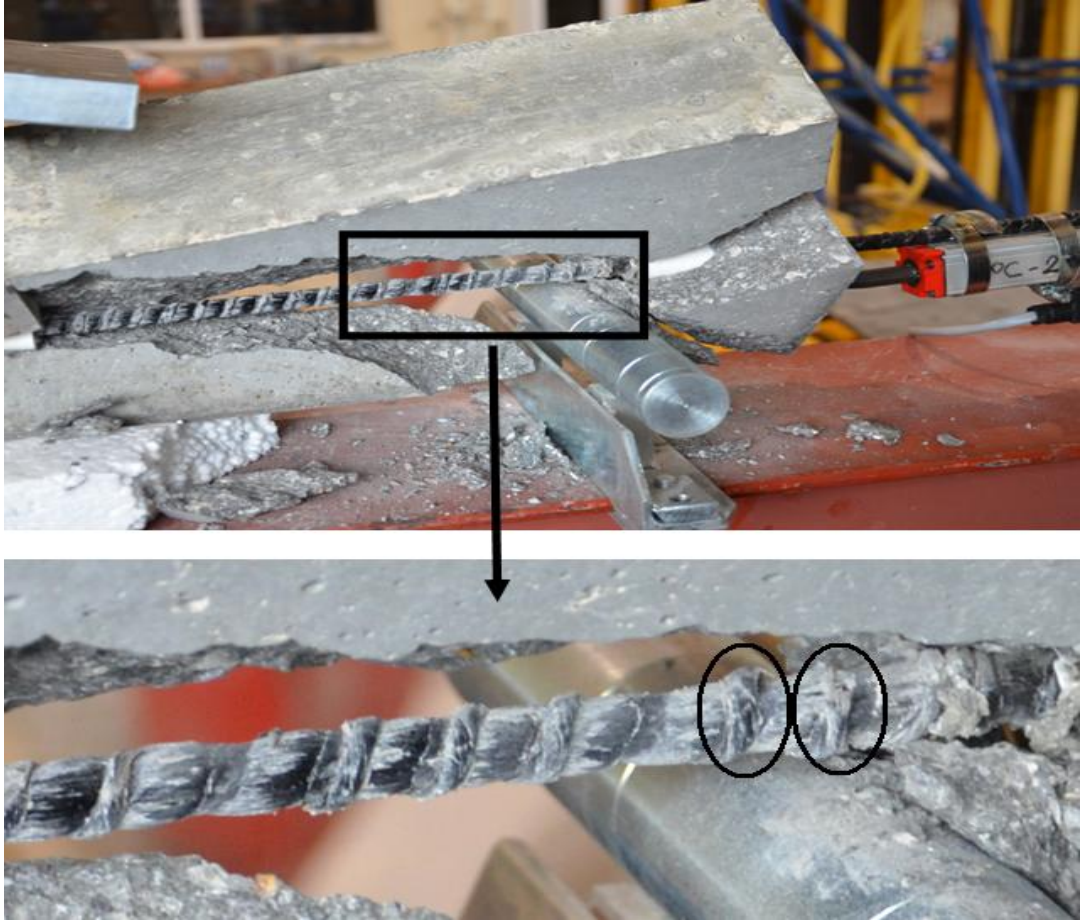
Resim 4.6. Cam lifli donatıda sarılmış olan helisel liflerin kopması

Bazalt lifli donatı kullanılan UK'lı KYB'lerde 28 günlük kür süresinde kesme çatlağı oluşan kirişlerdeki bazalt lifli donatılar üzerinde de gözlemler yapılmıştır. Resim 4.7, Resim 4.8 ve Resim 4.9 incelendiğinde bazalt lifli donatı ile beton arasındaki mekanik kenetlenme ve sıyrılmama olayında en önemli etkiyi çelikte olduğu gibi bazalt lifli donatıda da cam lifli donatıya nispeten daha doğru oluşturulmuş nervür formlarının sağladığı kanaatine varılmıştır. 28 gün kür uygulanmış kesme çatlağı oluşan UK ikameli KYB ile üretilen kirişten alınan Resim 4.7'de 83251,875 N eksenel çekme etkisine kadar betona tutunan bazalt lifli donatılar görülmektedir. Resimler incelendiğinde donatıda eksen kaybı oluşmaksızın yüzeyindeki nervür

formları ile betona mekanik kenetlenme sağladığı ve yüklerden dolayı oluşan gerilmelere karşı koyduğu çıkarımı yapılabilir.



Resim 4.7. Kesme çatlağı oluşan kirişte bazalt lifli donatının yüzey görünümü
(1. Kiriş)



Resim 4.8. Kesme çatlağı oluşan kirişte bazalt lifli donatının yüzey görünümü
(2. Kiriş)

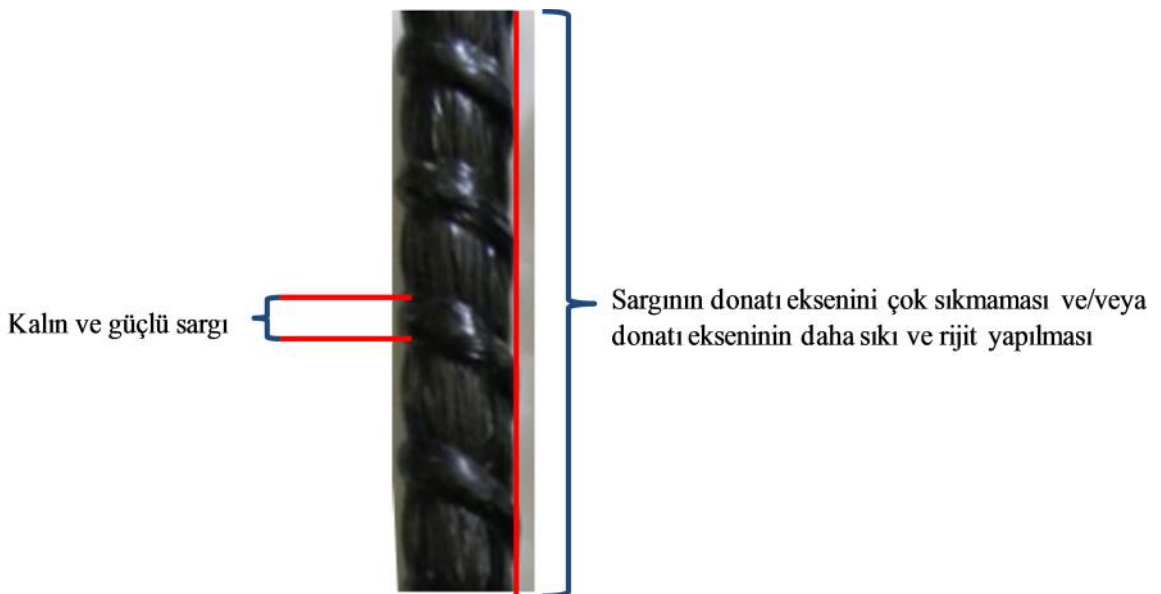


Resim 4.9. Kesme çatlağı oluşan kirişte bazalt lifli donatının yüzey görünümü
(3. Kiriş)

Bilindiği gibi çelik donatılarda nervürler ana eksenini etkilememekte ve sadece yüzeyde çıkıntı şeklinde ilave olarak bulunmaktadır. Cam lifli donatının yüzeyinin betonla kaplı olan kiriş bölümünün dışında kalan kısmındaki (mafsallı kirişin orta kısmı) kopma biçimi ve aderans performansının çeliğe göre daha düşük çekme etkisinde bile zayıf kalması nervür oluşturma yönteminin bir sonucu olarak görülmektedir. Bazalt lifli donatı ile cam lifli donatı arasındaki aderans performansındaki farkları önemli ölçüde etkilediği düşünülen donatı yüzey özellikleri Resim 4.10 ve Resim 4.11’de gösterilmiştir.



Resim 4.10. Cam lifli donatının yüzey özellikleri



Resim 4.11. Bazalt lifli donatının yüzey özellikleri

Resim 4.10’da görüldüğü gibi cam lifli donatıda yüzeyde nervür formu oluşturmak amacıyla sarılan helisel lifler eksenini belirli aralıklarla sıkarak ince yapısı sayesinde donatı ana ekseninde kararsız bir yapı ortaya çıkarmaktadır. Eksenel çekme etkisinde donatı ekseninin tekrar düz konuma gelme eğilimi nedeniyle oluşan gerilme etkisiyle helisel lifler kopmakta ve donatı eksenini daralmaktadır. Tüm cam lifli donatıların kopma biçimleri üzerinde yapılan gözlemlere göre donatı eksenindeki bu daralma donatının betondan sıyrılmasının en önemli nedeni gibi görünmektedir.

Resim 4.11’de görülen bazalt lifli donatıda ise nervür formu oluşturmak için eksen çevresinde sarılan helisel lifler daha kalın sargılanmış bir şekilde, donatı eksenini sıkmadan eksen yüzeyine kimyasal olarak tutunmaktadır. Bu bağlamda iki donatı arasındaki çekme dayanımı ve aderans performansları ile ilgili deneylerde ortaya çıkan farkları yüzey özellikleri ile ilişkilendirmek mümkün görünmektedir.

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

5. 1. Sonuçlar

5.1.1. KYB'lerle ilgili sonuçlar

Sonuçlar taze beton özellikleri açısından yorumlanacak olursa;

UK ve YFC ikamesi birim ağırlık değerlerini düşürmüştür.

Çökmede yayılma deneyi sonuçlarına göre Referans numune SF1, K200-C200-C201-C202 ve C400 serileri SF2 diğer bütün seriler ise SF3 sınıfına girmektedir. Ayrıca yayılma çapları mineral katkı ve kalsit içeriği arttıkça genellikle artış göstermiştir.

T500 yayılma süresi sonuçlarına göre tüm seriler VS2 sınıfına girmektedir. Ayrıca %40 UK içeren seri dışında tüm serilerde Kalsit içeriğinin artması yayılma sürelerini düşürmüştür.

V-hunisi deneyi sonuçlarına göre tüm seriler VF2 sınıfına girmektedir. Ayrıca kalsitin karışımlara girmesi geçiş sürelerini belirgin şekilde düşürmüştür.

U-kutusu deneyi sonuçlarına göre Referans numune dışındaki tüm KYB'lerde seviye farkları 30 mm.'nin altında çıkarak KYB için istenen performansı sağlamıştır.

L-kutusu deneyine göre tüm KYB'lerde bloklanma oranı değeri 0.8-1 arasındadır ve KYB için istenen geçme kabiliyetine sahiptir.

Orimet tüpü deney sonuçları göre yalnızca K600, K601 ve K602 kodlu numuneler Orimet tüpünden geçiş için sınır değer olan ≤ 5 sn kriterini sağlayabilmiştir.

J-Ringi yayılma çaplarından çökme yayılma çapları aracılığıyla elde edilen bloklanma riski bulgularına göre ise R, K200 ve C201 kodlu numuneler çok az bloklanma riski taşımakta, diğer bütün serilerde bloklanma riski görünmemektedir. Sonuçlar sertleşmiş beton özellikleri açısından yorumlanacak olursa;

Su emme ve porozite deneyi sonuçlarına göre UK ve YFC ikame oranı ile deney sonuçları arasında çok anlamlı bir ilişki görülmemektedir. Benzer durum Kalsit ikamesi içinde söylenebilir. Sonuçlar genel olarak çok yüksek değerler almamıştır ve bu durum beton malzeme için istenen bir sonuçtur. Sonuçlarda dikkat çekici bir özellikte deneysel olarak su emme oranlarının görünür porozite değerlerinin yarısından daha az bulunmasıdır. Bu durum beton bünyesinde yarı açık veya kapalı gözeneklerin bulunduğu şeklinde yorumlanabilir.

Yarmada çekme dayanımı deneyi sonuçlarına göre UK - YFC ikamesi ve her ikame oranında agreganın yerine kalsit kullanılması KYB'lerin yarmada çekme dayanımı değerlerini referans numuneye göre düşürmüştür.

Ultrases geçiş hızı deneyi sonuçlarına göre Referans, YFC içeren C200, C402, C600, C601 ve C602 kodlu betonlar $4.5 \text{ km/sn} < UGH$ değerini sağlayarak genel anlamda mükemmel olarak tanımlanabilirler. Bunların dışında diğer betonların tamamı ise iyi özelliklere sahiptir denilebilir.

Kılcal su emme deneyi sonuçlarına göre YFC ikameli KYB'lerin kapilarite katsayıları UK içeren KYB'lere göre daha düşük değerler almıştır.

Elastisite modülü deneyi sonuçlarına göre UK - YFC ikamesi ve her ikame oranında agreganın yerine kalsit kullanılması KYB'lerin statik elastisite modülü değerlerini referans numuneye göre düşürmüştür.

Basınç dayanımı deneyi sonuçlarına göre, UK ve YFC ikame miktarının artması tüm KYB'lerde basınç dayanımını düşürmüştür. Ayrıca her iki mineral katkıya ek olarak agreganın yerine kalsit ikame edildiğinde de basınç dayanımı değerleri düşmüştür.

UK-YFC ikamesinde çimentodaki azalma ve kalsit ikamesinde eklenen ilave su basınç dayanımlarındaki düşüşün nedeni olarak yorumlanabilir.

5.1.2. Eğilmede aderans deneyleri ile ilgili sonuçlar

28 gün kür uygulanan kirişlerden elde edilen sonuçlara göre;

- Tüm KYB türleri ile üretilen kirişlerde kullanılan donatıların tamamı, çalışmada donatı ile betonun kenetlenmesini kaybetmediği varsayılan ve referans sıyrılma değeri olarak alınan 0,25 mm'nin altında kalmıştır.
- Bazalt lifli donatı çok yüksek çekme gerilmelerinde bile referans KYB ile YFC ikameli KYB'den 28 günlük kür süresinin sonunda hiç sıyrılmamıştır.
- UK ikameli beton ile üretilen ve bazalt lifli donatı kullanılan kirişlerde kesme çatlağı oluşmuştur.
- 28 gün kür uygulanan kirişlerde en düşük aderans performansını cam lifli donatı göstermiştir. Tüm KYB türleri ile üretilen ve cam lifli donatı çubuğu kullanılan kirişlerde sıyrılma meydana gelmiştir.
- Cam lifli donatı çubuğunun kirişte dolaylı olarak bulunan çekme gerilmeleri çeliğin akma gerilmesinden daha düşük elde edilmiştir.
- Bazalt lifli donatı çubuğunun kirişte dolaylı olarak bulunan çekme gerilmeleri çeliğin çekme gerilmesinden daha yüksek elde edilmiştir.

90 gün kür uygulanan kirişlerden elde edilen sonuçlara göre;

- Tüm KYB türleri ile üretilen kirişlerde kullanılan donatıların tamamı çalışmada donatı ile betonun kenetlenmesini kaybetmediği varsayılan ve referans sıyrılma değeri olarak alınan 0,25 mm'nin altında kalmıştır.
- 90 gün kür uygulanan kirişlerde de 28 gün kür uygulanan kirişlerde olduğu gibi en düşük aderans performansını cam lifli donatı göstermiş ve tüm KYB türleri ile üretilen kirişlerde PC'ler aracılığıyla sıyrılma değerleri alınmıştır.

- Bazalt lifli donatı çok yüksek çekme gerilmelerinde bile referans KYB ile YFC ikameli KYB'den 90 günlük kür süresinin sonunda hiç sıyrılmamıştır.
- UK ikameli ve bazalt lifli donatı kullanılan KYB'nin aderans performansı 90 gün kür uygulanan kirişlerde 28 gün kür uygulanan kirişlere göre daha yüksektir.
- Çalışmada üretilen KYB'ler gibi yüksek dayanımlı betonlarda bazalt donatının çelik donatıya alternatif olarak düşünülebileceği görülmektedir. Ayrıca çelik donatıdan daha yüksek çekme kuvvetlerine ulaşabilmesi bazalt donatı açısından önemli bir avantaj olarak değerlendirilebilir. Bu sonuçlar bazalt donatı kullanılan kirişlerde eğilmede yük taşıma kapasitesinin artırılabilceğini göstermektedir.
- Cam lifli donatı çubuğu çekme kuvvetlerine karşı çelik ve bazalt donatının performansının oldukça altında kalmıştır. Elde edilen sonuçlara göre bu çalışmada kullanılan cam donatının çelik için alternatif bir donatı olamayacağı görülmektedir.
- Daha önce bahsedildiği gibi cam lifli donatı kullanılan kirişlerde deney sonrası yapılan incelemelerde cam lifli donatıda dış helisel liflerin çekme etkisi ile koparak açıldığı gözlenmiştir. Bu durum cam lifli donatıda nervür oluşturma yönteminin doğru olmadığı izlenimini vermektedir. Bu anlamda donatıların sıyrılma performanslarında en önemli etkenin donatıların yüzey özellikleri olduğu sonucu çıkarılabilir.

5.2. Öneriler

- Ön deneylerde yapılan gözlemlere göre düşük kalsiyumlu UK'nin ikame malzemesi olarak kullanıldığı karışımlarda su kasma problemi oluşmaması için su miktarında azaltmaya gidilmelidir.
- Bu çalışmadaki referans KYB gibi yüksek oranda çimento içeren betonlarda kenetlenme boyu uzun tutularak çekme deneyi yapılamayan kompozit çubuk malzemelerin çekme dayanımı BMK deneyi ile dolaylı olarak belirlenebilir.

- Yüksek performanslı betonlarda bazalt lifli donatılar ile çelik donatılar gibi yüksek çekme dayanımı ve aderans kabiliyeti olan donatılar kullanıldığında kenetlenme boyu bir miktar azaltılarak kullanılabilir.
- Yapay donatıların üretilmesinde nervür oluşturmak amacıyla sarılan helisel lifler iyi bir aderans performansı için bazalt liftli donatıda olduğu gibi daha kalın sarmallar halinde yapılmalıdır.
- Bu çalışmada iyi bir aderans performansı gösteren bazalt lifli donatı çubuklarının geleneksel ve yaygın kullanılan betonlarda da (Örneğin C20 veya C25 gibi) aderans performansı bakımından incelenmesinde fayda olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Felekoğlu, B., Turkel, S., Baradan, B., “Kendiliğinden yerleşen beton: Bölüm 1 Genel tanıtım, kullanım alanları” **TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Haber Bülteni**, 19:117, 20-24. (2004).
2. Felekoğlu, B., Baradan, B., “Kendiliğinden yerleşen betonun mekanik performansı”, **THBB Beton 2004 Kongresi, 12-14 Haziran, İstanbul**, s.234-243. (2004).
3. Topçu, İ.B., Bilir, T., Baylavlı, H., “Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri” **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi** C.XXI,(2008)
4. Dinç, A., “Kendiliğinden yerleşen çelik lif donatılı betonların mekanik davranışına su/ince malzeme oranı ve lif dayanımının etkisi” Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**, (2007)
5. Ersoy, U., Özcebe, G., “Betonarme : Temel ilkeler TS-500-2000 ve Türk Deprem Yönetmeliğine (1998) göre hesap”, Gözden Geçirilmiş II. Baskı, **Evrin Yayınevi, İstanbul**, 36, (2001)
6. Celep, Z., “Betonarme yapılar” İstanbul **Beta Dağıtım 6. Baskı** (2011)
7. Uygunoğlu, T., “Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri” Doktora Tezi, **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**, Isparta, (2008).
8. Benli, A., “Kendiliğinden sıkışan betondaki donatı aderansının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi” **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi** (2007)
9. Bingöl, A.F., Gül,R.,”Donatı-beton aderansı, yüksek sıcaklıkların beton dayanımına ve aderansa etkileri konusunda bir derleme” **Tübav Bilim Dergisi** 2 (2),:211-230 (2009)
10. Emiroğlu, M., “Lastik agregalı kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve Mekanik özelliklerinin incelenmesi” **Fırat üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Doktora Tezi (2012).
11. İnternet: Yazıcı Kayhan, A.,H., Haldenbilen, S., Aydın, Y., Uslu, A., “Bazalt lifli donatı çubuklarının mekanik özelliklerinin betonarme elemanların davranışına etkisi”
<http://www.spinteks.com/tr/wp-content/uploads/bazalt-lif-ve-donat%C4%B1-bildiri.pdf> Erişim 06.04.2013 saat :00:24

12. Ekiz, Y., Sarıbıyık, M., “Betonda donatı olarak kullanılan cam elyaf takviyeli plastiklerin yüzey özelliklerinin aderansa etkileri” **International Construction Congress ICONC2012-SDÜ**(2012)
13. Okamura, H., Ouchi, M., “Self-compacting concrete”, **Journal of Advanced Concrete Technology,** 1 (1), 5-15 (2003)
14. Ouchi, M., "History of development and applications of self-compacting concrete in Japan," **Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete, JSCE, pp.1-10, Kochi, March** (1999)
15. Ozawa K., Kunishima, M., Maekawa, K., Okamura, H.,”Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures”, **Proceedings of the second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2),** 1, 445-450 (1989)
16. Aruntaş, H.,Y., Dayı, M., Tekin,İ., Birgül, R., Şimşek, O., “Kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine atık mermer tozunun etkisi” **2. Yapıda Kimyasal Katkılar Sempozyumu, Ankara** (2007)
17. Sahmaran, M., Yurtseven, A., Yaman, I., O., “Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete” **Building and Environment** 40 1672–1677, (2005)
18. Eroğlu, L., Şahmaran, M., Yaman, İ., Ö., Tokyay, M., “Karışım parametrelerinin kendiliğinden yerleşen betonun taze özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi” **2. Yapıda Kimyasal Katkılar Sempozyumu** (2007)
19. Şahmaran, M., Yaman İ., Ö., Tokyay,M., “Development of high volume low-lime and high-lime fly ash self consolidating concrete” **Magazine of Concrete Research,** 59, 2, 97–106 (2007)
20. Uysal, M., Yılmaz, K., “Mineral katkı kullanımının kendiliğinden yerleşen betonun elastisite modülüne etkisinin incelenmesi” **6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 May, Elazığ, Turkey** (2011)
21. Gökalp, İ., Ördek, A., Özen, M., Ekim, H., “Kendiliğinden yerleşen beton uygulamaları” **Beton 2011 Hazır Beton Kongresi & Beton, Agrega, İnşaat Teknolojileri ve Ekipmanları Fuarı** 20-23 Ekim İstanbul (2011)
22. **EFNARC 2005,** The European Guidelines for Self-compacting Concrete: Specification, Production and Use, The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems.

23. Şahmaran, M., Christianto, H.A., Yaman, İ.O., “The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of self-compacting mortars” **Cement & Concrete Composites** 28, 432-440. (2006)
24. Topcu, İ., B., Unal, O., Uygunoğlu, T., “Kendiliğinden yerleşen betonda mineral katkıların taze beton özelliklerine etkilerinin araştırılması”, **2. Yapıda Kimyasal Katkılar Sempozyumu**, 12-13 Nisan, Ankara, 181-193. (2007)
25. Felekoğlu, B., “Kendiliğinden yerleşen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri” **Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bil. Ens.**, İnşaat Müh. A.B.D., YL Tezi, (2003)
26. BS EN 12620 - Aggregates for concrete, British Standards, 2004.
27. EN 1008 Mixing water for concrete – Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete.
28. Türkel, S., Felekoğlu, B., “Aşırı dozda akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımının taze ve sertleşmiş betonun bazı özellikleri üzerine etkileri” **DEÜ Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi**, 6-1. 77-89. (2004)
29. Skarendahl, A., Petersson, Ö., “Self-compacting concrete, rilem report 23, state-of-the-art report of rilem technical committee 174-scc”, **France**.
30. Gurjar, A.H., “Mix Design and Testing of Self-consolidating Concrete using Florida Materials,” The Florida Department of Transportation, Report No:BD 503, p.111. (2004)
31. Emiroğlu, M., “Lastik agregalı kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi” **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Doktora Tezi (2012)
32. EFNARC, 2002. “Specification and guidelines for self-compacting concrete” Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK, February, ss.1-40.
33. THBB, “Kendiliğinden yerleşen beton için Avrupa kılavuzu” **Türkiye Hazır Beton Birliği, Nisan**, ss. 10-63. (2007)
34. Tanyıldızı, H., Yazıcıoğlu, S., “Betonarme demiri ve beton arasındaki aderans dayanıma mineral katkıların etkisi” **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 18, 3, 351–357 (2006)

35. Aka, İ., Keskinel, F., Çılı, F., Çelik, O., C., “Betonarme” **Birsen yayınevi**. 2001.
36. Durmuş, A., Karaca, Z., “Betonarmede çatlama mekanizması, çatlak çeşitleri ve denetimleri” **TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Trabzon Şubesi, Mühendislik Bülteni**, 54 43-54. (1998)
37. Doğangün, A., **Betonarme yapıların hesap ve tasarımı” Birsen Yayınevi** (2007)
38. Arslan, M., E., “Eğilmede taşıyıcı hafif beton-donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırmalı olarak incelenmesi” **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** (2007)
39. Dahil, H., “Yüksek performanslı beton-donatı aderansının geleneksel beton-donatı aderansı ile karşılaştırmalı olarak incelenmesi” Yüksek Lisans Tezi, **K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, (2001)
40. Şahmaran, M., Yaman, I., Ö., “Hybrid fiber reinforced self-compacting concrete with a high-volume coarse fly ash” **Construction and Building Materials** 21 150–156 (2007)
41. Siddique, R., “Properties of self-compacting concrete containing class F fly ash” **Materials and Design** 32 1501–1507 (2011)
42. Mazaheripour, H., Ghanbarpour, S., Mirmoradi, S., Hosseinpour, I. “The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete” **Construction and Building Materials** 25 351–358(2011)
43. Venkateswara S. Rao, M.V. Seshagiri Rao, P. Rathish Kumar, “Effect of Size of Aggregate and Fines on Standard And High Strength Self Compacting Concrete” **Journal of Applied Sciences Research**, 6(5): 433-442, (2010)
44. Öz, A., “Doğal Zeolit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Termo-Mekanik Özellikleri” Yüksek Lisans Tezi, **Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı** Erzurum (2006)
45. Gürses, O., “Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri Ve Uygulamaları” **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Yüksek Lisans Tezi, (2008)

46. Bastopçu, M., E., “ Effect Of Binder Composition On Durability And Mechanical Properties Of High Performance Self-Compacting Concrete” Institute for Graduate Studies in Science and Engineering in partial fulfillment of the requirements for the degree of **Doctor of Philosophy Graduate Program in Civil Engineering Bogaziçi University** (2006)
47. Yanar, M.,T., “Effects of Mineral Admixtures on the Properties of Self-Compacting Concretes” Gaziantep University Graduate School Of Natural & Applied Sciences University of Gaziantep, January (2007)
48. Amr S., El-Dieb, “Mechanical, durability and microstructural characteristics of ultra-high-strength self-compacting concrete incorporating steel fibers” **Materials & Design**, 30 (10), 4286-4292 (2009)
49. Eroğlu, L., “Modelling The Fresh Properties Of Self Compacting Concrete Utilizing Statistical Design Of Experiment Techniques” **The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University**, (2007)
50. Sarıdemir, H., “Mineral Ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılarının Kendiliğinden Yerleşen Betonun İşlenebilme ve Basınç Dayanımına Etkisi” **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (2006).
51. Christianto, H., A., “Effect of Chemical and Mineral Admixtures on the Fresh Properties of Self Compacting Mortars” **The Graduate School Of Natural And Applied Sciences Of Middle East Technical University** In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Science In Civil Engineering, (2004)
52. Karaüç, E., “Uçucu Kül Ve Zeolitin Kendiliğinden Yerleşen Betonlara Etkileri” **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, (2008).
53. Bui, V.,K., Montgomery, D., Hinczak, I., Turner, K., “Rapid testing method for segregation resistance of self-compacting concrete”, **Cement and Concrete Research** 32, 1489-1496. (2002)
54. Özbay, E., “ Effects Of Mineral Admixtures On The Fresh And Hardened Properties of Self Compacting Concretes: Binary, Ternary And Quaternary Systems” **Gaziantep University Graduate School Of Natural & Applied Sciences** Civil Engineering, (2007)
55. Sönmez, H., T., “Yüksek Fırın Cürufunun Kendiliğinden Yerleşen Betonlara Etkileri” **Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Yüksek Lisans Tezi, (2008)

56. Ozkul, M.,H., Doğan, U.,A., “Kendiliğinden yerlesen betonların geçirimsizlik özellikleri”, **İMO 5. Ulusal Beton Kongresi**, 1-3 Ekim İstanbul, ss. 111-122. (2003)
57. Zhu, W., Bartos, P.,J.,M., “Permeation properties of self-compacting concrete”, **Cement and Concrete Research** 33, 921-926. (2003)
58. Leemann, A., Munch B., Gasser P., Holzer L.,. “Influence of compaction on the interfacial transition zone and the permeability of concrete” **Cement and Concrete Research** 36, 1425-1433.(2006).
59. Sukumar, B., Nagamani, K., Raghavan, R.S., “Evaluation of strength at early ages of self-compacting concrete with high volume fly ash”, **Construction and Building Materials** (2007).
60. Felekoğlu, B., Turkel, S., Baradan, B., “Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete”, **Building and Environment** 42, 1795-1802. (2007).
61. Persson, B., “A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete”, **Cement and Concrete Research** 31, 193-198. (2001).
62. Sonebi, M., “Medium strength self-compacting concrete containing fly ash: Modelling using factorial experimental plans”, **Cement and Concrete Research** 34, 1199-1208. (2004).
63. Valcuende, M., Parra, C., “Bond behaviour of reinforcement in self-compacting concretes” **Construction and Building Materials** 23 162–170(2009).
64. Baena, M., Torres, L., Turon, A., Barris, C., “Experimental study of bond behaviour between concrete and FRP bars using a pull-out test” **Composites Part B: Engineering**, 40-8,784-797 (2009)
65. Karataş, M., “Mineral Katkı Dozajının Ve Türünün Kendiliğinden Sıkışan Betondaki Donatı Aderansına Etkisi” **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü** Doktora Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Elazığ, (2007)
66. Zhu, W., Sonebi, M., Bartos, P., J., M., “Bond and interfacial properties of reinforcement in selfcompacting Concrete” **Materials and Structures / Matdriaux et Constructions**, Vol. 37, 442-448 (2004)

67. Jong-Pil Won, Chan-Gi Park, Hwang-Hee Kim, Sang-Woo Lee, Chang-Il Jang, "Effect of fibers on the bonds between FRP reinforcing bars and high-strength concrete" ***Composites: Part B*** 39 747–755. (2008)
68. Julio, F., Davalos, Y., i., Chen, Indrajit Ray, "Effect of FRP bar degradation on interface bond with high strength concrete" ***Cement & Concrete Composites*** 30 722–730 (2008)
69. J.-Y. Lee, T.-Y. Kim, T.-J. Kim, C.-K. Yi, J.-S. Park, Y.-C. You, Y.-H. Park, "Interfacial bond strength of glass fiber reinforced polymer bars in high-strength concrete" ***Composites: Part B*** 39 258–270 (2008)
70. Fang, C., Gylltoft, K., Lundgren, K. Plos, M., "Effect of corrosion on bond in reinforced concrete under cyclic loading" ***Cement and Concrete Research***, 36, 548–555. (2006)
71. Wang, X., Liu, X., "Bond strength modeling for corroded reinforcements", ***Construction and Building Materials***, 20, 177–186. (2006)
72. Xiao, J., Falkner, H., "Bond behaviour between recycled aggregate concrete and steel rebars" ***Construction and Building Materials***, 21-2, 395-401, (2005)
73. Kankam, C., K., "Bond strength of reinforcing steel bars milled from scrap metals" ***Materials and Design***, 25, 231–238. (2004)
74. Lin, X., Zhang, Y., X., "Bond-slip behaviour of frp-reinforced concrete beams" ***Construction and Building Materials*** 44 110–117. (2013)
75. Arezoumandi, M., Wolfe, M., H., Volz, J., S., "A comparative study of the bond strength of reinforcing steel in high-volume fly ash concrete and conventional concrete" ***Construction and Building Materials*** 40 919–924(2013)
76. Mazaheripour, H., Barros, J., A., O., J., M., Sena-Cruz, J., M., Pepe, M., Martinelli, E., "Experimental study on bond performance of GFRP bars in self-compacting steel fiber reinforced concrete" ***Composite Structures*** 95, 202–212 (2013)
77. Pop, I., Schutter, G., D., Desnerck, P., and Onet, T., "Bond between powder type self-compacting concrete and steel reinforcement" ***Construction and Building Materials*** 41, 824–833(2013)
78. Ashtiani, M., S., Dhakal, R., P., Scott, A., N., "Post-yield bond behaviour of deformed bars in high-strength self-compacting concrete" ***Construction and Building Materials*** 44, 236–248(2013)

79. Yazıcı, Ş., Arel, H.,Ş., “The effect of steel fiber on the bond between concrete and deformed steel bar in SFRCs” **Construction and Building Materials**, 40 299–305(2013)
80. Pepe, M., Mazaheripour, H., Barros, J., Sena-Cruz, J., Martinelli, E., “Numerical calibration of bond law for GFRP bars embedded in steel fibre-reinforced self-compacting concrete” **Composites: Part B** 50, 403–412(2013)
81. Helincks, P., Boel, V., Corte, W., D., Schutter, G., D., Desnerck, P., “Structural behaviour of powder-type self-compacting concrete: Bond performance and shear capacity” **Engineering Structures** 48, 121–132 (2013)
82. Masao, K., Tomohide, W., and Nariaki, T., “Increase of bond strength at interfacial transition zone by the use of fly ash”, **Cement and Concrete Research**, No. 30, 253–258. (2000)
83. Fang, C., Karin, L., Chen, L., Zhu, C., “Corrosion influence on bond in reinforcement concrete” **Cement and Concrete Research**, No. 34, 2159–2167. (2004)
84. Tanyıldızı, H., Yazıcıoğlu, S., “Betonarme demiri ve beton arasındaki aderans dayanıma farklı kür koşullarının etkisi”, **Doğu Anadolu Bölgesel çalışmaları, Fen bilimleri-Teknoloji Sağlık Bilimleri Sosyal Bilimler-Yaşam Bilimleri DAUM**, 5,1, 11–13, (2006)
85. Anwar Hossain, K.,M.,”Bond characteristics of plain and deformed bars in lightweight pumice concrete” **Construction and Building Materials**. (2007)
86. Benli, A., Türk, K., Calayır, Y., “Kendiliğinden yerleşen betondan üretilmiş kirişlerin aderans dayanımının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi” **Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi**, 20 (4), 599-607. (2008)
87. Foroughi-Asl, A., Dilmaghani, S., Famili, H., “Bond strength of reinforcement steel in self-compacting concrete” **International Journal of Civil Engineering** IJCE 6(1): 24-33 (2008)
88. Yardımcı, M.,Y.,. “Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı” **Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Doktora Tezi, İzmir. (2007)
89. Arıoğlu, E., Yılmaz, A.O., Arıoğlu, N.,. Beton Agregaları Çözümlü Problemler- Bilgi Föyleri, **Evrım Yayınevi**, s. 287, İstanbul, Türkiye. (2006)

90. ASTM C1621/C1621M-09b. Standard test method for passing ability of self consolidating concrete by J-ring. Annual book of ASTM standards, vol. 04.02. Philadelphia (USA): **American Society for Testing and Materials**; 2011.
91. TS EN 12350-8 Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 8: Kendiliğinden Yerleşen Beton – Çökme yayılma deneyi, (2011)
92. TS EN 12350-9 Beton - Taze Beton Deneyleri -Bölüm 9: Kendiliğinden Yerleşen Beton – V hunisi deneyi, (2011)
93. TS EN 12350-10 Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 10: Kendiliğinden Yerleşen Beton - L kutusu deneyi, (2011)
94. Bilgehan, M., Turgut, P., “Artificial Neural Network Approach to Predict Compressive Strength of Concrete through Ultrasonic Pulse Velocity” **Research in Nondestructive Evaluation**, 21:1, 1-17 (2010)
95. Erdoğan T.Y. 2007. ”BETON”. **ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.** Genişletilmiş 2. Baskı. Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : BEYÇİOĞLU, Ahmet
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.01.1981-Osmaniye
 Medeni hali : Evli
 Telefon : --
 Faks : --
 e-mail : abeycioglu@gmail.com

Eğitim

<u>Derece</u>	<u>Eğitim Birimi</u>	<u>Mezuniyet tarihi</u>
Yüksek lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi/Yapı Eğitimi	2009
Lisans	Süleyman Demirel Üniversitesi/Yapı Eğitimi	2009
Lise	Adana Çukurova Elektrik ATL/Elektronik Bölümü	1999

İş Deneyimi

<u>Yıl</u>	<u>Yer</u>	<u>Görev</u>
2007-2009	Düzce Üniversitesi	Arş. Gör.
2009-Halen	Düzce Üniversitesi	Öğr. Gör.

Yabancı Dil

İngilizce