



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZALT VE CAM LİF İÇEREN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETONLARDA DEĞİŞKEN LİF PARAMETRELERİNİN
İŞLENEBİLİRLİK VE KIRILMA ENERJİSİNE ETKİSİ**

ADİL GÜLTEKİN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. AHMET BEYCİOĞLU**

DÜZCE, 2017

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BAZALT VE CAM LİF İÇEREN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN
BETONLARDA DEĞİŞKEN LİF PARAMETRELERİNİN
İŞLENEBİLİRLİK VE KIRILMA ENERJİSİNE ETKİSİ

Adil GÜLTEKİN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Ahmet BEYCIÖĞLU

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Hüseyin Yılmaz ARUNTAŞ

Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ahmet BEYCIÖĞLU

Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin ARSLAN

Düzce Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 12/01/2017

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

12 Ocak 2017

Adil Gültekin

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde tez konusunun belirlenmesinden tez çalışmalarındaki aksaklıkların giderilmesine kadar büyük bir özveriyle her türlü desteği sağlayan değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet Beycioğlu'na en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmamın deneysel kısmında yardımcı olan yüksek lisans öğrencisi Abdülkerim Aydın, lisans öğrencisi Ahmet Özkarcı ve kıymetli arkadaşım Arş. Grv. Ahmet Hamdi Serdar'a teşekkürlerimi sunarım.

Malzeme temininde destek sağlayan Spinteks Tekstil İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye, Fibrobeton Yapı Elemanları Sanayi İnşaat ve Ticaret A.Ş.'ye ve özellikle Laboratuvar Şefi Volkan Özdal'a, Yiğitler Beton A.Ş. Laboratuvar Sorumlusu Uğur Gılıç'a teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım boyunca bana verdikleri emek ve destek için başta annem Sevim Ural, dedem Hasan Ural ve anneannem Çiçek Ural olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

12 Ocak 2017

Adil Gültekin

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ.....	I
ÇİZELGE LİSTESİ.....	III
KISALTMALAR.....	IV
SİMGELER	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT	VII
1. GİRİŞ.....	1
2. LİFLİ BETON.....	3
2.1 LİFLİ BETONUN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ.....	3
2.2 LİFLİ BETON ÜRETİMİNDE KULLANILAN LİF TÜRLERİ	6
2.2.1 Bazalt Lif	7
2.2.2 Cam Lif	8
2.2.3 Polipropilen Lif	9
2.2.4 Çelik Lif	10
3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON.....	12
3.1 KYB'LERDE KARIŞIM TASARIMI	15
3.1.1 Toz Tipi Metodu.....	16
3.1.2 Stabilizatör Metodu	16
3.1.3 Kombinasyon Metodu	17
3.2 KYB'DE KULLANILAN MALZEMELER	20
3.2.1 Agrega	20
3.2.2 Akışkanlaştırıcı Katkı	20
3.2.3 Çimento.....	24
3.2.4 Puzolanlar	24
3.2.4.1 Uçucu Kül	24
3.2.4.2 Silis Dumanı.....	26
3.2.4.3 Yüksek Fırın Cürufu.....	28
3.3 KYB'DE TAZE BETON DENEYLERİ	29
3.3.1 Çökmede Yayılma Deneyi.....	29
3.3.2 V Hunisi Deneyi	30

3.3.3 L Kutusu Deneyi	31
3.3.4 J Halkası Deneyi.....	32
3.3.5 U Kutusu Deneyi	33
4. LİFLİ KYB İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÖZETİ.....	35
5. MATERYAL VE METOT	38
5.1 MATERYAL	38
5.1.1 Çimento.....	38
5.1.2 Karışım Suyu.....	38
5.1.3 Agrega	38
5.1.4 Uçucu Kül	40
5.1.5 Hiper Akışkanlaştırıcı Katkı	40
5.1.6 Lifler.....	41
5.1.7 Kalsit	42
5.2 METOT.....	43
5.2.1 Malzeme Miktarları.....	43
5.2.2 Karışımların Hazırlanması	43
5.2.3 Taze Beton Deneyleri.....	45
5.2.3.1 Çökmede Yayılma Deneyi	45
5.2.3.2 V Hunisi Deneyi	46
5.2.3.3 L Kutusu Deneyi.....	46
5.2.3.4 J Halkası Deneyi.....	47
5.2.3.5 U Kutusu Deneyi.....	48
5.2.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri	49
5.2.4.1 Kırılma Enerjisi Deneyi	49
5.2.4.2 Basınç Dayanımı Deneyi	50
5.2.4.3 Eğilme Dayanımı Deneyi.....	51
5.2.4.4 Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi.....	51
5.2.4.5 Kılcal Su Emme Katsayısı Deneyi	52
5.2.4.6 Aşınma Dayanımı Deneyi	54
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	55
6.1 TAZE BETON DENEY SONUÇLARI.....	55
6.1.1 Çökmede Yayılma.....	55
6.1.2 V Hunisi	58

6.1.3 L Kutusu	60
6.1.4 J Halkası	61
6.1.5 U Kutusu	65
6.2 SERTLEŞMİŞ BETON DENEY SONUÇLARI	67
6.2.1 Kırılma Enerjisi	67
6.2.2 Basınç Dayanımı	74
6.2.3 Eğilme Dayanımı	75
6.2.4 Yarmada Çekme Dayanımı	76
6.2.5 Kılcal Su Emme Katsayısı	77
6.2.6 Aşınma Dayanımı	78
6.2.7 Segregasyonun İncelenmesi	79
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	81
7.1 SONUÇLAR	81
7.2 ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR	86
ÖZGEÇMİŞ	92

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Aqar Quf Kulesi.....	3
Şekil 2.2. Farklı lif çeşitleri	4
Şekil 2.3. Agreganın en büyük tane boyutunun lif dağılımına etkisi.....	5
Şekil 2.4. Lif ilavesi ile çekme dayanımı-şekil değiştirme grafiğindeki değişimi.	5
Şekil 2.5. Bazalt lif	7
Şekil 2.6. Cam lif	9
Şekil 2.7. Polipropilen lifler.....	10
Şekil 2.8. Farklı tipteki çelik lifler.	11
Şekil 3.1. Geleneksel beton ve KYB bileşenlerinin hacimce karşılaştırılması.....	16
Şekil 3.2. Kullanım yerine göre KYB sınıflarının seçilmesi	19
Şekil 3.3. Topaklanmış (a) ve topaklanmamış (b) çimento hamurları.....	21
Şekil 3.4. Elektrostatik itki	23
Şekil 3.5. Stearik itki.....	24
Şekil 3.6. Uçucu kül SEM görüntüsü.	25
Şekil 3.7. Silis dumanı SEM görüntüsü.....	27
Şekil 3.8. Yüksek fırın cürufu SEM görüntüsü.	28
Şekil 3.9. Çökmede yayılma tablası ve deneyde kullanılan koni	30
Şekil 3.10. V hunisi.....	31
Şekil 3.11. L kutusu görünüşü	32
Şekil 3.12. L kutusu en kesiti.....	32
Şekil 3.13. J halkası.	33
Şekil 3.14. U kutusu.....	34
Şekil 5.1. İnce agrega gradasyonu	39
Şekil 5.2. İri agrega gradasyonu	39
Şekil 5.3. Karışım gradasyonu	39
Şekil 5.4. Kullanılan UK'ye ait SEM görüntüsü.	40
Şekil 5.5. Çalışma kapsamında kullanılan farklı uzunluklardaki cam ve bazalt lifler....	41
Şekil 5.6. Çalışma kapsamında kullanılan kalsit.	42
Şekil 5.7. Kullanılan kodlama.....	43
Şekil 5.8. Kullanılan kalıplar	44
Şekil 5.9. Numunelerin kür havuzunda bekletilmesi.....	45
Şekil 5.10. Çökmede yayılma deneyinin uygulanışı.....	46
Şekil 5.11. V hunisi deneyinin uygulanışı.	46
Şekil 5.12. L kutusu deneyinin uygulanışı.....	47
Şekil 5.13. J Halkası deneyinin uygulanışı	48
Şekil 5.14. U kutusu deneyinin uygulanışı	48
Şekil 5.15. Çentikli numune boyutları	49
Şekil 5.16. Kırılma enerjisi deneyinin uygulanışı.....	49
Şekil 5.17. Basınç dayanımı deneyinin uygulanışı	50
Şekil 5.18. Eğilme dayanımı deneyinin uygulanışı	51
Şekil 5.19. Yarmada çekme deneyinin uygulanışı.....	52
Şekil 5.20. Kılcal su emme deney düzeneği	53
Şekil 5.21. B06-4 karışımı için kılcal su emme katsayısının bulunması	54
Şekil 5.22. Böhme deney cihazı ile aşınma dayanımı deneyinin uygulanması	54
Şekil 6.1. Çökmede yayılma çapları.	56

Şekil 6.2. Lif türüne göre çökmede yayılma çaplarının karşılaştırılması	56
Şekil 6.3. Çökmede yayılma deneyi T_{500} süreleri	57
Şekil 6.4. Lif türüne göre T_{500} sürelerinin karşılaştırılması	58
Şekil 6.5. V hunisi deney sonuçları	59
Şekil 6.6. Lif türüne göre V hunisi deney sonuçlarının karşılaştırılması	59
Şekil 6.7. L kutusu deney sonuçları	60
Şekil 6.8. Lif türüne göre L kutusu deney sonuçlarının karşılaştırılması	61
Şekil 6.9. J halkası yayılma çapları.....	62
Şekil 6.10. Lif türüne göre J halkası yayılma çaplarının karşılaştırılması.....	63
Şekil 6.11. J halkası deneyi T_{500} süreleri	63
Şekil 6.12. Lif türüne göre J halkası deneyi T_{500} sürelerinin karşılaştırılması	64
Şekil 6.13. U kutusu deney sonuçları	66
Şekil 6.14. Lif türüne göre U kutusu deney sonuçlarının karşılaştırılması.....	66
Şekil 6.15. 6 mm cam lif içeren KYB'lerin kuvvet-çatlak açıklığı grafiği	67
Şekil 6.16. 12 mm cam lif içeren KYB'lerin kuvvet-çatlak açıklığı grafiği	67
Şekil 6.17. 24 mm cam lif içeren KYB'lerin kuvvet-çatlak açıklığı grafiği	68
Şekil 6.18. 6 mm bazalt lif içeren KYB'lerin kuvvet-çatlak açıklığı grafiği.....	68
Şekil 6.19. 12 mm bazalt lif içeren KYB'lerin kuvvet-çatlak açıklığı grafiği.....	69
Şekil 6.20. 24 mm bazalt lif içeren KYB'lerin kuvvet-çatlak açıklığı grafiği.....	69
Şekil 6.21. 6mm boyunda cam lif içeren karışımların W_o -çatlak açıklığı grafiği.....	70
Şekil 6.22. 12mm boyunda cam lif içeren karışımların W_o -çatlak açıklığı grafiği.....	70
Şekil 6.23. 24mm boyunda cam lif içeren karışımların W_o -çatlak açıklığı grafiği.....	71
Şekil 6.24. 6mm boyunda bazalt lif içeren karışımların W_o -çatlak açıklığı grafiği.....	71
Şekil 6.25. 12mm boyunda bazalt lif içeren karışımların W_o -çatlak açıklığı grafiği.....	72
Şekil 6.26. 24mm boyunda bazalt lif içeren karışımların W_o -çatlak açıklığı grafiği.....	72
Şekil 6.27. Kırılma enerjisi deney sonuçları	73
Şekil 6.28. Lif türüne göre kırılma enerjilerinin karşılaştırılması	74
Şekil 6.29. 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları.....	74
Şekil 6.30. 28 günlük eğilme dayanımı deney sonuçları	75
Şekil 6.31. Lif türüne göre eğilme dayanımı deney sonuçlarının karşılaştırılması	76
Şekil 6.32. 28 günlük yarmada çekme dayanımı deney sonuçları	77
Şekil 6.33. KYB'lerin kılcal su emme katsayıları	77
Şekil 6.34. Lif türüne göre kılcal su emme katsayılarının karşılaştırılması	78
Şekil 6.35. Aşınma deneyi sonrası hacim kayıpları.....	79
Şekil 6.36. Lif türüne göre hacim kayıplarının karşılaştırılması	79
Şekil 6.37. Numunelerde segregasyon incelemesi.....	80

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Bazaltın kimyasal kompozisyonu	8
Çizelge 2.2. Farklı cam tiplerinin özellikleri	9
Çizelge 3.1. EFNARC (2005)'e göre KYB karışım kompozisyonunun tipik aralığı	18
Çizelge 3.2. EFNARC (2005)'e göre KYB'de çökme-akma sınıfları	18
Çizelge 3.3. EFNARC (2005)'e göre KYB'de akma direnci (viskozite) sınıfları	18
Çizelge 3.4. EFNARC (2005)'e göre KYB'de geçme kabiliyeti sınıfları (L kutusu)	18
Çizelge 3.5. Bileşimine göre silis dumanının özgül ağırlığı	27
Çizelge 3.6. Portland çimentosu ve yüksek fırın cürufunun özellikleri	29
Çizelge 5.1. Çalışma kapsamında kullanılan çimentonun özellikleri	38
Çizelge 5.2. Çalışma kapsamında kullanılan UK'nin özellikleri	40
Çizelge 5.3. Çalışma kapsamında kullanılan HA'nın özellikleri	41
Çizelge 5.4. KYB karışımlarında kullanılan liflerin özellikleri	41
Çizelge 5.5. Deneysel çalışmada kullanılan kalsitin özellikleri	42
Çizelge 5.6. KYB karışımlarında kullanılan malzeme miktarları (kg/m ³).	43
Çizelge 6.1. Çökmede yayılma deney sonuçları	55
Çizelge 6.2. V hunisi deney sonuçları	58
Çizelge 6.3. L kutusu deney sonuçları	60
Çizelge 6.4. J halkası deney sonuçları	62
Çizelge 6.5. Bloklanmanın yorumlanması	64
Çizelge 6.6. Karışımların bloklanma risklerinin yorumlanması	65
Çizelge 6.7. U kutusu deney sonuçları	65

KISALTMALAR

ACI	Amerikan Beton Enstitüsü
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
BaO	Baryum oksit
B ₂ O ₃	Boron trioksit
CaCO ₃	Kalsiyum karbonat
CaO	Kalsiyum oksit
Cl	Klor
EFNARC	Avrupa Uzman Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemler Federasyonu
Fe ₂ O ₃	Demir oksit
HA	Hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı
K ₂ O	Potasyum oksit
KYB	Kendiliğinden yerleşen beton
LNG	Sıvılaştırılmış doğalgaz
MgO	Magnezyum oksit
Na ₂ O	Sodyum oksit
UK	Uçucu kül
P ₂ O ₅	Fosfor penta oksit
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
Si	Silisyum
SiO ₂	Silisyum oksit
SMF	Melamin Formaldehit Sülfonat
SNF	Naftalin Formaldehit Sülfonat
SO ₃	Sülfür trioksit
TiO ₂	Titanyum dioksit

SİMGELER

A	Kesit alanı
b	Numune genişliği
cm	Santimetre
cm ³	Santimetreküp
d	Numune yüksekliği
dk	Dakika
F	Kırılma yükü
g	Gram
G _f	Kırılma enerjisi
GPa	Giga pascal
I	Kılcal su Emilimi
kg	Kilogram
lt	Litre
m	Metre
m ³	Metreküp
mm	Milimetre
mm ³	Milimetreküp
MPa	Mega pascal
N	Newton
s	Saniye
Ø	Çap
δ	Deplasman
°C	Santigrat derece
W _o	Yük-çatlak açıklığı eğrisinin altındaki alan
%	Yüzde

ÖZET

BAZALT VE CAM LİF İÇEREN KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA DEĞİŞKEN LİF PARAMETRELERİNİN İŞLENEBİLİRLİK VE KIRILMA ENERJİSİNE ETKİSİ

Adil GÜLTEKİN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Ocak 2017, 92 sayfa

Bu çalışmada, bazalt ve cam lif içeren kendiliğinden yerleşen betonlarda lif boyu ve lif miktarının taze beton özelliklerine etkilerini ortaya koymak ve saha uygulamalarında çeşitli yapım türleri için optimum lif boyu ve lif miktarını tayin ederek öneriler geliştirmek amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında üretilen kendiliğinden yerleşen beton karışımlarının taze halde akıcılık, doldurma yeteneği, viskozite ve geçme yeteneği belirlenmiştir. Daha sonra 28 gün kür uygulanan numunelerin basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, kılcal su emme kapasitesi ve aşınma dayanımı tespit edilmiştir. Ayrıca çentikli kırış numuneleri aracılığıyla elde edilen kırılma enerjileri kullanılarak kendiliğinden yerleşen lifli betonların süneklik özelliklerindeki değişim tayin edilmiştir. Sonuç olarak lif miktarı ve lif boyundaki değişim taze beton özelliklerini olumsuz etkilemiş ve bazalt lif cam life kıyasla işlenebilirliği daha fazla düşürmüştür. Sertleşmiş beton özelliklerinden eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve aşınma dayanımı lif boyu ve lif miktarına bağlı olarak artış göstermiştir. Ayrıca her iki lif türünde de lif boyu ve lif miktarına bağlı olarak kılcal su emme kapasitesi artmış basınç dayanımı ise genelde düşmüştür. Lif içeren karışımlar referans karışımla kıyaslandığında kırılma enerjisi değerlerinde ise %10 ile %55 arasında değişen oranlarda artış gözlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Bazalt lif, Cam lif, İşlenebilirlik, Kendiliğinden yerleşen beton, Kırılma enerjisi

ABSTRACT

THE EFFECT OF VARIABLE FIBER PARAMETERS ON WORKABILITY AND FRACTURE ENERGY OF SELF-COMPACTING CONCRETES CONTAINING BASALT AND GLASS FIBER

Adil GÜLTEKİN

Düzce University

Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering

Master Thesis

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

January 2017, 92 pages

The aim of this study is to determine the effects of fiber length and fiber content on the fresh concrete properties of self-compacting concrete containing basalt and glass fiber and to develop recommendations for various construction types by determining optimum fiber length and amount. In the experimental studies, flowability, filling ability, viscosity and passing ability of self-compacting concrete mixtures were determined in fresh state. Compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength, sorptivity coefficient and abrasion resistance of the samples cured for 28 days were determined. In addition, the change in ductility of self-compacting concretes was determined by using fracture energies obtained from notched beam specimens. As a result, the change in fiber amount and fiber length adversely affected fresh concrete properties. Also basalt fiber reduced fresh concrete properties more than glass fiber. The flexural strength, tensile strength and abrasion resistance of hardened concrete specimens increased with increasing fiber length and fiber content. Also, sorptivity increased and the compressive strength generally decreased depending on the fiber size and fiber amounts in both types of fibers. Compared with the reference mixture, the fiber-containing self-compacting concretes showed an increase of 10% to 55% in the fracture energy values.

Keywords: Basalt fiber, Fracture energy, Glass fiber, Self compacting concrete, Workability

1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliği, en temel mühendislik alanlarından birisi olup hidrolik, mekanik, yapı işletmesi, yapı, geoteknik, ulaştırma ve yapı malzemeleri gibi çeşitli alt dalları içermektedir. Çağımızın hızla büyüyen teknolojik gelişmelerine uyum göstermek zorunda olan yapım sistemlerine paralel olarak inşaat mühendisliğinin bu alt alanlarının da gelişim göstermesi zarureti ortaya çıkmıştır. Yapı malzemelerinin yapım maliyetlerindeki payı düşünüldüğünde üzerinde en çok çalışılması gereken alanların başında gelmektedir. Yapı malzemeleri alanının vazgeçilmez ve en temel malzemelerinden birisi ise betondur.

Beton; çimento, agrega, su ile birlikte gerektiğinde kimyasal ve mineral katkı maddelerinden oluşan, başlangıçta akıcı kıvamda olduğu için istenilen kalıbın şeklini alabilen, sertleştikten sonra ise dayanım ve dayanıklılık özellikleri kazanan heterojen ve kompozit bir malzemedir [1]. Ucuz olması, kolay temin edilebilmesi, dayanıklılık ve üstün mekanik özellikleri, istenilen şekle sokulabilmesi gibi sebepler ile beton; konut, baraj, yol, liman, su deposu, endüstriyel yapılar, atık depoları vb. birçok mühendislik yapısı için vazgeçilmez bir yapı malzemesi durumundadır. Betonda istenilen üç temel özellik dayanım, dayanıklılık ve işlenebilirlik iken bu üçüne ekonomi de eklenebilir. Beton, çelik ve benzeri ürünlerden farklı olarak kendine özgü teknolojiye sahip bir üretim yöntemi ile hazırlanmaktadır. Beton üretiminde malzeme seçimi, malzeme miktarlarının belirlenmesi, karıştırma, taşıma, yerleştirme, sıkıştırma ve bakım işlemlerinin tamamı uzman kişilerce titizlikle yapılmalıdır [2].

Yapı malzemeleri bilim alanının önemli bir malzemesi olması nedeniyle beton teknolojisi konusunda birçok araştırmacı çeşitli çalışmalar yürütmektedir. Yapılan çalışmalarla mühendislik özellikleri önemli düzeyde geliştirilen ve her türlü projedeki ihtiyaca cevap verecek nitelik kazandırılan betonlar genel olarak özel betonlar olarak literatürde kendisine yer bulmuştur. Özel betonların başlıcaları arasında kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB), lifli betonlar, püskürtme betonlar, hafif ve ağır betonlar, reaktif pudra betonları, köpük betonlar, kendi hasarını onaran betonlar, silindire sıkıştırılmış betonlar, geçirgen betonlar, polimer betonlar bulunmaktadır.

Özel betonlardan bir tanesi olan lifli betonu, hidrolik bağlayıcı olan çimento, agrega, su ve süreksiz olarak dağılmış liflerin karıştırılması ile elde edilen kompozit bir malzeme

olarak tanımlamak mümkündür [3]. Bilindiği gibi beton gevrek bir malzeme olup geleneksel betonlar çekme dayanımı, yorulma dayanımı, aşınma dayanımı ve çatlak sonrası yük taşıma kapasitesi bakımından zayıf özellikler göstermektedir. Lifli betonlarla ilgili yapılan çalışmalar, beton içerisinde süreksiz bir şekilde dağılı olarak bulunan liflerin, betonun süneklik düzeyini, şekil değiştirme kapasitesini, çekme ve çarpma dayanımını arttırdığını ve çatlak oluşumunu önemli ölçüde azalttığını ortaya koymuştur [4]. Lifli beton uygulamaları temel döşemelerinden endüstriyel zeminlere, yol kaplamalarından tünel ve köprülere kadar çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [5].

Özel betonlardan bir diğeri ise KYB'dir. KYB, ayrışma ve terleme problemleri yaratmayarak kohezyonunu koruyan, kendi ağırlığı ile sık donatıya sahip dar ve derin kalıplara yerleşebilen, iç veya dış vibrasyona ihtiyaç duymadan sıkışabilen, akıcı kıvamlı özel bir betondur. KYB'de kimyasal katkılar, viskozite artırıcı katkılar ve yüksek miktarda puzolanik veya inert mineral katkıların tamamı veya bir bölümü yoğun olarak kullanılmaktadır [2]. KYB sayesinde vibratör kullanımına gerek kalmaması, inşaat hızının artması, şantiyedeki titreşim ve gürültünün azalması, betonun kalıba daha kolay yerleşmesi, betonarme eleman şekillerinde ve boyutlarında esneklik sağlanması ve çalışacak işçi sayısının azalması gibi avantajlar elde edilmektedir [6]. Kendiliğinden yerleşme yeteneği; geçiş yeteneği, doldurma yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç kavramlarını içeren üç parametre ile karakterize edilebilir [1]. KYB'nin ortaya çıkmasındaki en büyük etken betonun kalıba boşluksuz, homojen ve ayrışma olmaksızın yerleştirilmesi için ihtiyaç duyulan kalifiye eleman eksikliği olup KYB'nin kendiliğinden yerleşme özelliği ile çalışma kalitesinden bağımsız bir şekilde dayanıklı beton yapılar üretmek mümkün olmaktadır [7].

Bu çalışmanın amacı farklı tip, boy ve miktardaki lif takviyesinin KYB'ler üzerindeki etkisini araştırmaktır. Karışımında farklı boy ve farklı miktarlarda cam ve bazalt lif içeren KYB'lerin taze haldeki akıcılık, doldurma yeteneği, viskozite, segregasyon direnci ve geçme kabiliyeti; sertleşmiş halde ise basınç, eğilme, çekme dayanımları, kılcal su emme katsayıları, aşınma dirençleri ve kırılma enerjileri incelenmiştir. Bu incelemeler neticesinde kullanım yeri ve amacı göz önüne alınarak, lifli KYB üretimi için optimum lif boyu, miktarı ve türü ile ilgili olarak önerilerde bulunulmuştur.

2. LİFLİ BETON

2.1 LİFLİ BETONUN TANIMI VE ÖZELLİKLERİ

4500 yıl öncesinden beri yapı malzemesi olarak kullanılan saman takviyeli kil harcı (kerpiç), lifli betona esin kaynağı olmuştur. Mimar Sinan'ın yapılarında kullandığı Horasan harcı da saman gibi doğal lifler içermektedir [2]. Yaklaşık olarak 3500 yıl önce Bağdat yakınlarında inşa edilmiş olan ve 57 metre yüksekliğe sahip Aqar Quf Kulesi'nin (Şekil 2.1) yapımında da saman takviyeli tuğlalar kullanılmıştır [8].

Lif donatılı betonun patenti ilk olarak 1874 yılında ABD'de A. Berard tarafından alınmıştır. 1898 yılında Hatschek yönteminin keşfi ile sağlık üzerindeki zararları anlaşılincaya kadar asbestli lifler yaygın bir şekilde kullanılmıştır. 1927 yılında ABD'de G. Martin, 1939'da İngiltere'de Zitkeviç, 1943'te İngiltere'de G. Constantinesco günümüzde bilinen şekle sahip lif patentlerini almışlardır [8]. 1950'li yıllarda çelik lifler katkı olarak kullanılmaya başlanmıştır [2].



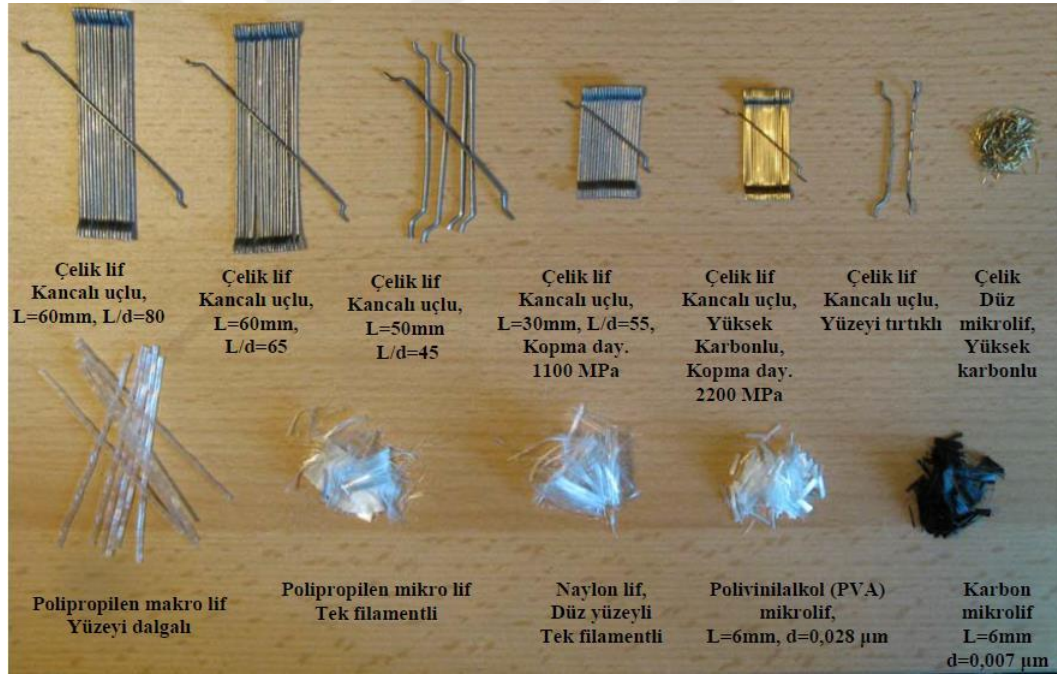
Şekil 2.1. Aqar Quf Kulesi [9].

Geleneksel beton, enerji yutma kapasitesi, deformasyon yeteneği; çekme, yorulma, kaviteasyon, kayma, çatlama sonrası yük taşıma dayanımları açısından zayıf bir performans göstermektedir [10]. Betonun özelliklerini olumlu yönde değiştirmek ve iyileştirmek amacı ile beton karışımına ilave edilen, belirli bir boy/çap yani narinlik oranına sahip, polimerik, metalik, doğal ya da mineral yapıdaki malzemeler lif olarak tanımlanmaktadır [11].

Lifli beton, Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) tarafından içerisinde rastgele dağılmış şekilde lif içeren beton olarak tanımlanmıştır [12]. Matris fazına ilave edilen lifler beton özelliklerine önemli derecede etki etmekte olup yapılan birçok çalışmaya göre lif ilavesi çekme, eğilme, darbe, yorulma dayanımları; deformasyon kabiliyeti, tokluk, çatlama sonrası yük taşıma kapasitesi, aşınma dayanımı gibi birçok mühendislik özelliğini önemli derecede geliştirmektedir [13].

Çelik, selüloz, polipropilen, karbon, bazalt, aramid, polietilen, cam gibi birçok lif türü çimento esaslı ürünlerde kullanılırken [13] günümüzde en yaygın olarak kullanılan lifler çelik, polipropilen ve alkali dirençli camlar olarak karşımıza çıkmaktadır [14]. Farklı tip ve şekillerdeki lifler Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

Lifli betonlar; köprüler, endüstri yapıları, hidrolik yapılar, patlama etkisine karşı koyacak yapılar, güvenlik odaları, yaya kaldırımları, kanal kaplamaları, borular, ince kaplamalar gibi birçok farklı uygulamada kullanılmaktadır [11].

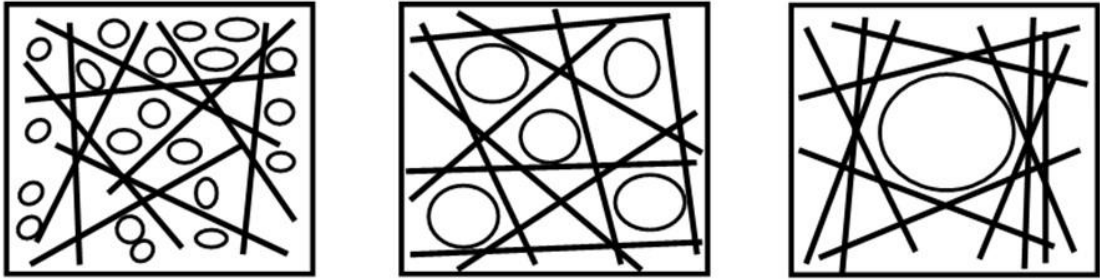


Şekil 2.2. Farklı lif çeşitleri [8].

Beton içerisinde homojen bir şekilde dağılan lifler, oluşan çatlakları önlemekte ve çatlakların beton içerisindeki ilerlemesini yavaşlatarak betonu daha dayanıklı hale getirmektedir. Lif türüne bakılmaksızın tüm lif çeşitlerinin sağlaması gereken en önemli özellik ise lifin beton içerisinde homojen olarak dağılması ve beton karıştırıldıktan sonra da bu homojenliğin bozulmamasıdır [11].

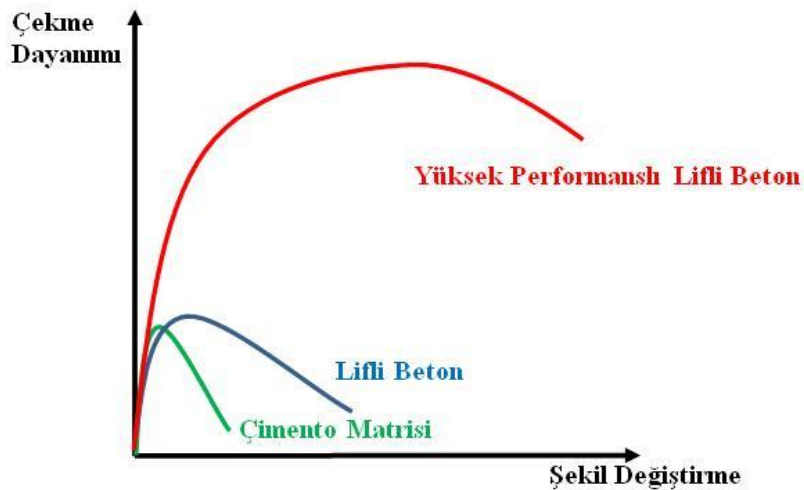
Lifli betonun değişik yükler altında sergilediği davranış ve performans geleneksel betondan çok farklıdır. Lifli betonda, beton içerisine rastgele dağılmış olan lifler çatlakların ilk oluştuğu anda çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üstlerine veya sağlam alanlara iletirler. Betonu göçmeye götüreceğ çatlakların oluşması ve ilerleyip genişlemesi böylece engellenmiş olur ve tamamen göçmeyi getirecek kırılma daha büyük yüklerde gerçekleşir [15].

Liflerin yaygın olarak kullanılmasını engelleyen sorunlardan biri liflerin beton içindeki dağılımının rastgele olmamasıdır. Yapılan araştırmalar liflerden elde edilen performansın lif dağılımı ile doğrudan bağlantılı olduğunu göstermiştir [16]. Liflerin homojen bir şekilde dağılmasını engelleyen etkenlerden biri de agregadır. Şekil 2.3'te de görüleceği gibi agreganın en büyük tane boyutunun artması lif dağılımını olumsuz olarak etkilemekte ve lif süreksizliğini arttırmaktadır [2].



Şekil 2.3. Agreganın en büyük tane boyutunun lif dağılımına etkisi [2].

Liflerin olmadığı durumda çimento matrisinin çekme dayanımı çok düşükken liflerin katılması ile süneklilikte iyileşmeler elde edilmekte ve Şekil 2.4'te görüldüğü gibi yüksek performanslı lifli betonlarda hem çekme dayanımında hem de süneklilikte önemli derecede yükselmeler görülmektedir [16].



Şekil 2.4. Lif ilavesi ile çekme dayanımı-şekil değiştirme grafiğindeki değişimi [16].

Yalın betonda bir çatlağın ilerlemesi ve yayılması için gerekli enerji miktarı düşüktür. Lifli betonda ise liflerle betona kazandırılan gerilme transferi yeteneğinin bir sonucu olarak çatlağın ilerlemesi ve yayılması için gereken enerji, çatlağın oluşması için gereken enerjiden fazladır. Lifli betonlarda rastgele dağılmış olan lifler çatlak gelişimlerinin kontrol altına alınması ve tokluğun artırılması amacını taşır. Çatlakları sınırlı boyutlarda tutan lifler gerilme transferi ile betonun daha fazla deformasyon yapmasını sağlar [15].

Sünek lif içeren gevrek matrise sahip kompozitlerde üç çeşit kırılma şekli görülmektedir:

- Kompozitteki lif hacmi kritik oranın altında ise matrisin kırılmasından sonra kompozit az seviyelerde yük taşır.
- Süreksiz lif içeren kompozitlerde matrisin kırılmasından sonra kompozitte lifler ve matrisin sıyrılması şeklinde bir davranış görülebilir. Bu durumda süneklik bir miktar artmaktadır.
- Lif oranı kritik oranın üstünde ise matris kırıldıktan sonra kompozit yüksek seviyelerde mukavemet gösterir. Gerilme, matrisin kırılmasından önce lif ve matris tarafından birlikte taşınmakta, matrisin göçmesinden sonra ise kompozit bünyesindeki gerilme, lif içeriğine bağlı olarak bir miktar azalmaktadır. Sonrasında kompozit yine lif miktarına bağlı olarak daha yüksek bir gerilmeyi taşımaktadır. Maksimum yükten sonra gerilme azalması yavaş olmakta, bunun sayesinde enerji yutma kapasitesinde artış sağlanabilmekte ve süneklik düzeyi yükseltilebilmektedir. Arzu edilen kırılma şekli budur [2].

2.2 LİFLİ BETON ÜRETİMİNDE KULLANILAN LİF TÜRLERİ

Günümüzde lifli betonların üretilmesinde, belirlenen amaçlara göre polimer, çelik ve alkali dayanımlı cam lifler yaygın olarak kullanılmakta olup son yıllarda bunlara alternatif olacağı düşünülen doğal lifler ile ilgili çalışmaların sayısında artış görülmektedir. Bu doğal liflerden birisi de inşaat sektöründe kullanımı gitgide yaygınlaşmakta olan bazalt liftir [17].

2.2.1 Bazalt Lif

Bazalt, lavın hızlı bir şekilde soğuması ile oluşan volkanik bir kayaç olup yeryüzünün yüzlerce metre altında bulunmakta ve yeryüzüne eriyik magma olarak ulaşmaktadır. Magma yeryüzüne ulaştığı zaman soğuyarak hammadde şeklini alır [18].

Bazalt volkanik bir kayaç türü olup yoğun, sert ve termoplastik bir malzemedir. Bazaltın Moh's sertliği 5-9, yoğunluğu ise 2,7-2,8 g/cm³ arasındadır. Bazalt lifler, bazaltın 1300-1700°C aralığında eritilerek çok ince parçalara ayrılıp lif formunda üretilmesi ile elde edilirken, üretimi sırasında ilave bir katkıya ihtiyaç duymaması bakımından düşük maliyetler ile elde edilebilirler [17].

Bazalt lif (Şekil 2.5) Moskova Cam ve Plastik Araştırma Enstitüsü'nde 1953-1954 yıllarında geliştirilmiş olup endüstriyel olarak üretimi 1985 yılında Ukrayna Lif Fabrikası'nda gerçekleştirilmiştir [19].



Şekil 2.5. Bazalt lif.

Bazalt lif, cam life benzer bir kimyasal bileşim içermesine rağmen cam liflerden daha iyi dayanım karakteristiklerine sahiptir. Bazalt lifler birçok cam lifinin aksine alkali, asidik ve tuz etkilerine karşı yüksek derecede dayanıklıdır. Bazalt lif betona takviye için uygun bir malzeme olmasına karşın diğer lif türlerine göre inşaat mühendisliği alanında daha az kullanılmaktadır [18].

Bazalt liflerin maliyeti; yapım işlemi, hammaddenin cinsi, hammaddenin kalitesi ve son ürünün karakteristiğine bağlı olup lifin kimyasal ve mekanik özellikleri de maliyete benzer şekilde hammaddeye bağlıdır [19]. Bazalt lifler hava veya su ile toksik etkileşime, diğer kimyasallar ile temas ettiklerinde de sağlığa veya çevreye zarar verecek kimyasal tepkimelere girmezler. Bazalt liflerin sertlik ve termal özellikleri iyi olup yapı malzemesi olarak farklı uygulamalarda kullanılması mümkündür [20].

Bazalt lifler genel anlamda mükemmel mekanik özellikler, ısı ve ses yalıtımı sağlama, mükemmel kimyasal direnç gösterme gibi özellikler sergilemektedirler. Tüm bu özellikler göz önüne alındığında bazalt lifler inşaat, otomotiv, kompozit, ulaşım endüstrileri, depolama tankları, makine imalatı, kimyasal transfer sistemleri, spor ve eğlence malzemesi üretim sektörlerinde alternatif bir malzeme olarak kullanılabilir [21].

Bazaltın kimyasal bileşimine bakıldığı zaman SiO_2 'nin ana bileşen, Al_2O_3 'ün ise ikinci bileşen olduğu görülmektedir. Fiore ve diğerlerinin çalışması kapsamında sunduğu ve farklı iki araştırmacının elde ettiği bazalt kimyasal kompozisyonu Çizelge 2.1'de gösterilmiştir [19], [22]-[23].

Çizelge 2.1. Bazaltın kimyasal kompozisyonu [19], [22]-[23].

Bileşen	Miktar (Ağırlıkça %)	
	Militky ve Diğerlerine Göre	Deák ve Diğerlerine Göre
SiO_2	43,3-47	42,43-55,69
Al_2O_3	11-13	14,21-17,97
Fe_2O_3	<5	10,80-11,68
CaO	10-12	7,43-8,88
MgO	8-11	4,06-9,45
Na_2O	<5	2,38-3,79
TiO_2	<5	1,10-2,55
K_2O	<5	1,06-2,33

Bazalt ürünleri -200°C gibi düşük sıcaklıklardan $700-800^\circ\text{C}$ gibi göreceli olarak yüksek sıcaklıklara kadar kullanılabilir olup daha yüksek sıcaklıklarda yapısal değişimlere uğrarlar [22].

Bazalt liflerin çapları 13-20 mikron aralığında değişirken [24] çekme dayanımları 3,0-4,8 GPa, elastisite modülleri 80-90 GPa civarındadır. Ayrıca bazalt lifler çelik liflere kıyasla daha hafiftirler [17].

2.2.2 Cam Lif

Cam lif (Şekil 2.6) üstün özellikleri ve ekonomikliği göz önüne alındığında lifli kompozit üretiminde en çok kullanılan lif türlerinden biridir. Uygulamada E camı lifleri en çok kullanılan cam lifi türüdür. Ancak A camı lifleri ile birlikte beton ve harçlardaki alkali ortamdaki etkilendikleri için uzun süreli kullanım için uygun değildir. Bu sebeple alkaliye karşı dirençli cam araştırmaları ile alkaliye dirençli cam bileşimleri geliştirilmiştir [1].



Şekil 2.6. Cam lif.

Genel anlamda dört farklı tipte cam lifinde bahsedilebilir. Bunları yüksek oranda alkali içeren A camı, kimyasal çözeltilere karşı dirençleri yüksek olan C camı; düşük oranda alkali içeren, yüksek mukavemetli E camı ve yüksek sıcaklıklarda iyi bir yorulma direnci olan, yüksek dayanımlı S camı olarak sıralamak mümkündür. Farklı tipteki bu cam liflerinin özellikleri Çizelge 2.2’de gösterilmiştir [25].

Çizelge 2.2. Farklı cam tiplerinin özellikleri [25].

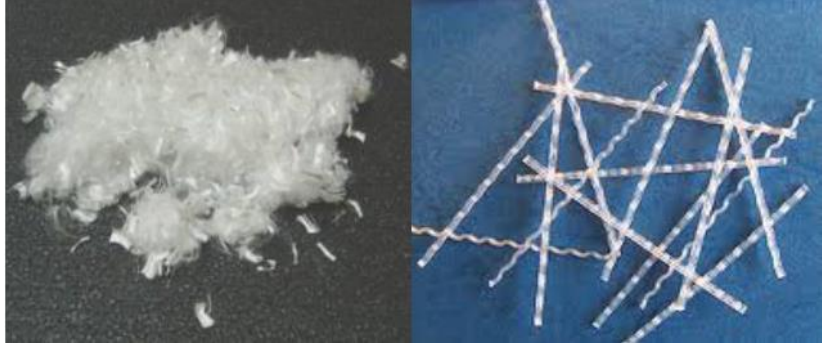
Özellik	Cam Tipi			
	A	C	E	S
Özgül ağırlık (g/cm^3)	2,5	2,49	2,54	2,48
Elastisite modülü (GPa)	-	69,0	72,4	85,8
Çekma dayanımı (Mpa)	3033	3033	3448	4585
Yumuşama sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$)	727	749	841	970
Bileşim (%)				
SiO ₂	72	64,4	52,4	64,4
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	0,6	4,1	14,4	25
CaO	10	13,4	17,2	-
MgO	2,5	3,3	4,6	10,3
Na ₂ O, K ₂ O	14,2	9,6	0,8	0,3
B ₂ O ₃	-	4,7	10,6	-
BaO	-	0,9	-	-

2.2.3 Polipropilen Lif

Polipropilen lifler propilenin uygun katalizör eşliğinde polimerizasyonu ile yumuşak veya düzensiz çekim yöntemleri ile elde edilmektedir. Polipropilen lifler genellikle yuvarlak en kesitlerde ve silindirik şekillerde, yüzeyleri pürüzsüz görünecek şekilde imal edilirler. Özgül ağırlıkları düşük olup $0,92 \text{ g/cm}^3$ civarındadır [26].

Polipropilen lifler beton içerisinde en yaygın olarak kullanılan liflerden biridir [27]. Polipropilen, termoplastikler grubunda yer alan hafif bir polimer olup aynı zamanda üretimi ucuz bir malzemedir. Polipropilen lifler beton dökümünü izleyen ilk birkaç saatte plastik büzülme sebebiyle oluşacak çatlakları kontrol altına alması bakımından önemlidir [10]. Farklı tipteki polipropilen lifler Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

Yüksek dayanım vermeleri, alkali ortama karşı iyi direnç göstermeleri ve düşük maliyetleri göz önüne alındığında beton içerisinde kullanımları uygun bir tercih olmaktadır [28].



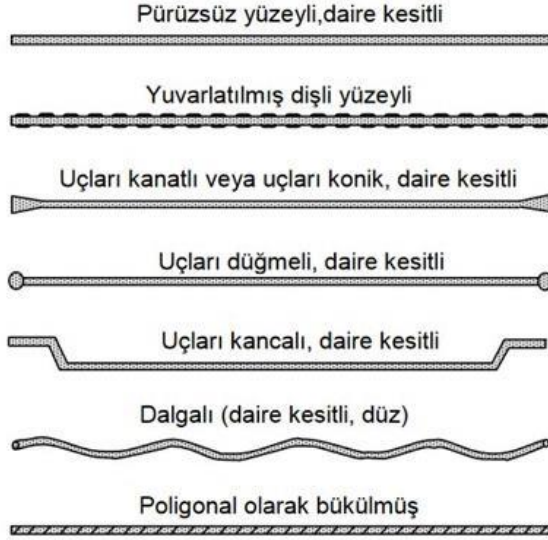
Şekil 2.7. Polipropilen lifler [10].

2.2.4 Çelik Lif

Çelik lifler dairesel, kare, üçgen, poligon, dikdörtgen gibi farklı en kesit şekillerinde imal edilebilmektedir. Çelik liflerin matris ile aderansını geliştirmek için yüzeyi çeşitli işlemler ile deforme edilebilmekte ve pürüzlendirme işlemi ile bu özellikleri geliştirilebilmektedir. Şekil 2.8’de gösterildiği üzere çelik lifler yüzey durumları dikkate alındığında düz, düzensiz, zikzaklı, uçları kancalı, nervürlü vb. şekillerde üretilmektedirler [29].

Çelik liflerin çekme dayanımları 345-2200 MPa aralığında değişmekte iken elastisite modülleri yaklaşık olarak 205 GPa’dır [29]. Çelik lifler farklı uzunluk ve narinlikte üretilirler.

Çelik lifli betonların beton içerisindeki performansları lif tipi, lif geometrisi, lifin narinliği, lifin beton içerisindeki yönelimi ve dağılımı, lifin kullanım miktarı, lifin yüzey durumu gibi farklı etkenlere bağlı olarak değişmektedir [30].



Şekil 2.8. Farklı tipteki çelik lifler [29].

3. KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON

Gelişen teknolojiye paralel olarak kimya ve polimer teknolojisinin ilerlemesi neticesinde 1980'li yılların ortalarından itibaren yüksek oranda su kesen ve taze betonun işlenebilirliğini de arttıran süper akışkanlaştırıcılar keşfedilmiştir. Akışkanlaştırıcıların keşfedilmesi, araştırmacıları taze betonun donatılar arasından geçerek kalıba yerleşmesi ve sıkıştırılması işlemini ortadan kaldırmak üzere çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir [31].

KYB ilk olarak Japonya'da tasarlanmış ve prototipi üretilmiştir. KYB'nin ilk kullanılabilir versiyonu 1988 yılında tamamlanmış ve "Yüksek Performanslı Beton" olarak isimlendirilmiştir [32]. Okamura 1986'da KYB konseptini ortaya atan ilk kişi olup, KYB'nin ilk prototipi ise 1988 yılında Tokyo Üniversitesi'nde Ozawa tarafından yapılmıştır [33].

1980'lerin sonunda icat edilen bu betonun tasarlanma amacı günden güne azalan kalifiye işçi potansiyeli nedeni ile çok sık donatılı yapılardaki üretim kalitesinin önemli düzeyde azalmasıdır. Bu durum betonarme yapım kalitesini etkilediği gibi beton durabilitesini de çok önemli düzeylerde etkilemektedir [34]. Bundan sonraki süreçte Bangkok'ta 1994 yılında yapılan ACI çalıştayını takiben birçok araştırmacı KYB üzerinde çalışmalar yapmaya başlamıştır. KYB'nin Avrupa'daki ilk kullanımlarından biri 1990 yılında İsveç'teki karayolu yapılarıdır. ACI'nın 1996'da New Orleans şehrinde yapmış olduğu kongre sonrasında ABD ve Kanada'da KYB daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. 1997 yılından sonra Avrupa Birliği'nde KYB kullanımını arttırmaya yönelik çalışmalar başlatılmıştır. 2005 yılında Avrupa Hazır Beton Birliği, Avrupa Beton Katkı Üreticileri Federasyonu, Avrupa Çimento Birliği, Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu ve Uluslararası Prefabrik Beton Üreticileri Birliği birleşerek ortak bir KYB şartnamesi hazırlamıştır [35].

KYB mükemmel reolojik özelliklere ve yüksek ayrışma direncine sahip özel bir yüksek performanslı betondur. KYB iç veya dış vibrasyon olmaksızın kendi ağırlığı ile yayılır, karmaşık kesitli kalıpları, yoğun donatılı elemanları ve erişilmesi zor alanları doldurabilir. Bunları yaparken de ayrışma, kuma gibi olumsuz durumlara karşı stabilitesini korur [36], [37].

KYB'nin getirdiği kendiliğinden yerleŖebilirlik sayesinde daha homojen betonların üretilebilmesi, iŖçilik kaynaklı beton kusurlarının azalması ve üretim hızının artması gibi etkenler üreticileri KYB kullanımına yönlendirmektedir. Ayrıca bu avantajlar sebebi ile gelecekte KYB'nin kullanımının daha da artacağı düşünölmektedir [38].

Osaka Ŗirketine ait sıvılaŖtırılmıŖ doğal gaz (LNG) tank duvarlarının imalatı sırasında KYB kullanımı neticesinde, betonu yerleŖtirmek üzere görev yapan iŖçi sayısı 14'ten 10'a, beton iŖçisi sayısı 150'den 50'ye düŖmüŖ, döküm yüksekliği artmıŖ ve yapım süresi 22 aydan 18 aya inmiŖtir [39], [40].

Reoloji ve iŖlenebilirlik KYB'nin uygulamadaki kullanım performansını etkilemekte olup, KYB performansı ile taze beton özellikleri arasında önemli bir iliŖki bulunmaktadır. Kendiliğinden yerleŖebilme kabiliyeti, doldurma yeteneği, geçiŖ yeteneği ve ayrıŖmaya karŖı gösterilen direnç ile karakterize edilebilir. Betonun boŖaltma noktasından ne kadar uzağa iletebildiği ve bu akıŖın hızı kavramları doldurma yeteneği ile alakalıdır. İyi bir doldurma yeteneği için deformasyon hızı ve deformasyon kapasitesi arasında bir denge bulunmalıdır. Betonun iyi bir Ŗekilde deforme olabilmesi için çimento hamuru iyi deforme olabilmeli ve beton içerisindeki katı tanecikler arası sürtünme az olmalıdır. Uygun doldurma yeteneği için ise akıŖkanlaŖtırıcı katkı kullanımı ve dengeli su-bağlayıcı miktarı ile çimento hamurunun deformasyon kabiliyeti arttırılmalı; düŖük oranda kaba agrega kullanımının yanı sıra optimum gradasyon ile de tanecikler arasındaki sürtünme azaltılmalıdır [1].

Taze haldeki betonda, karıŖım içerisinde bulunan malzemelerin homojen olmaksızın dağılması olayına ayrıŖma denir. Normal akıŖta ayrıŖmaya uğramayan bir beton sık donatı, dar kesit gibi farklı koŖullarda ayrıŖmaya uğrayabilir. KYB hem durağan halde hem de akıŖ halinde terleme, çimento hamuru fazı ile agreganın ayrıŖması, tıkanmaya sebebiyet veren kaba agrega ayrıŖması ve hava boŖluđunun homojen olarak dağılmaması gibi ayrıŖma tiplerine karŖı dirençli olmalıdır. KYB, dar kesitlerden ve çok sık donatılı alanlardan geçerken yeterli akıcılık ve ayrıŖma direncine sahip olmanın yanı sıra kaba agreganın bloke olmamasını da sağlamalıdır. KYB çok iyi bir doldurma yeteneği ve ayrıŖma direncine sahip olsa bile karıŖımdaki iri agrega içeriği çok yüksekse veya agreganın en büyük tane boyutu çok büyükse blokaj riski oluŖmaktadır [41].

Modern beton teknolojisinin en önemli ürünlerinden olan KYB'nin avantajları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- KYB’de ince ve çok ince malzeme yüksek miktarlarda kullanıldığı için KYB’ ye ait matrisin kompasitesi fazla olmakta ve bu da ara yüzey bölgesindeki özellikleri iyileştirmektedir [42].
- KYB erişilmesi zor ve fazla donatılı yapısal elemanlarda iyi bir doldurma ile yapısal performansı arttırmaktadır [43].
- KYB’de beton karışımında mineral ve kimyasal katkıların kullanılmasının bir sonucu olarak geleneksel betona kıyasla daha yüksek çekme gerilmelerine ulaşmak mümkün olmaktadır [44].
- KYB düzensiz şekilli kalıplarda iyi bir doldurma yeteneğine sahiptir [45].
- KYB’de sıkıştırma-vibrasyon işlemleri yapılmadığı için ortaya çıkan gürültü azaltılmış olur [46].
- KYB’de beton donatıyı çok iyi bir şekilde kavramakta, boşluksuz bir yapı oluşturmakta ve böylece dayanıklılığı arttırmaktadır [35].
- KYB, özellikle deprem sebebi ile hasar görmüş yapıların güçlendirilmesi sırasında dökümün tek bir noktadan yapıldığı kalıplarda, kalıp içerisinde kendiliğinden yükselmesi ve kendiliğinden yerleşmesi ile güçlendirme projelerinde çok iyi bir çözüm sunmaktadır [35].
- KYB’de yerleştirme esnasında işçilikten kaynaklı olarak ortaya çıkan uygulama hataları ortadan kaldırılmış olunur [35].
- KYB ve geleneksel beton su emme kapasitesi bakımından karşılaştırıldığında KYB’nin su emme kapasitesi daha düşüktür [47].
- KYB’de pürüzsüz bir yüzey elde edildiği için perdahlanabilirlik daha kolaydır [48].

Her kompozit ve heterojen malzemede olduğu gibi KYB’de de avantajların yanı sıra bazı dezavantajlar bulunmaktadır. Bunlar aşağıda sıralanmıştır.

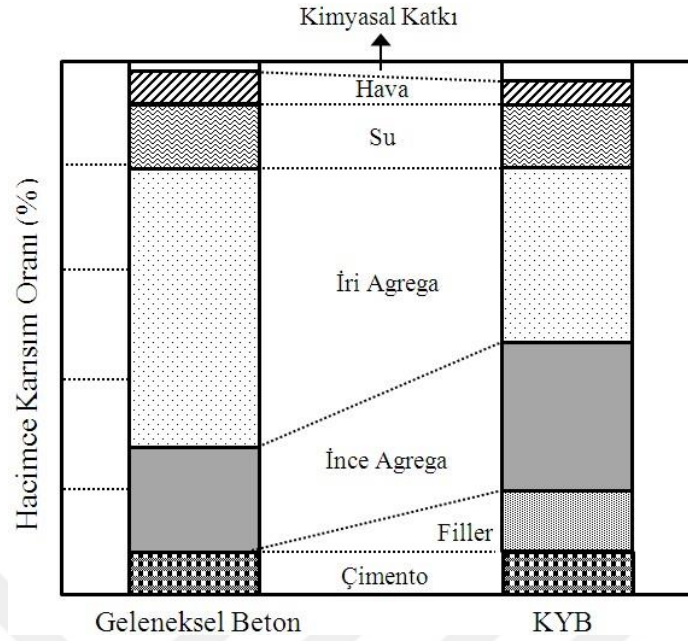
- KYB’nin bazı dizayn yöntemleri olmasına rağmen kesinleşmiş bir üretim standartı bulunmamaktadır [48].
- KYB’nin karışım dizayn ve test yöntemleri hala geliştirilmektedir [44].

- KYB’de ince malzeme miktarının fazlalığı plastik b z lmeye karşı hassas olmasına neden olur. Bu sebeple erken yaşlarda iyi bir k r uygulaması yapılmalıdır [48].
- KYB geleneksel betonla kıyaslandığında, üretim ve kalite kontrolü aşamasında daha fazla bilgi birikimi ve tecrübe gerektirmektedir. Bu sebeple KYB’nin yaygınlaşması zorlaşmaktadır [38].
- KYB’nin akıcılığı geleneksel betona kıyaslandığında yüksektir. Bu sebeple şantiye uygulamalarında yüksek kalıp basıncı problemi oluşmaktadır [38]. KYB’nin oluşturacağı bu hidrostatik basıncı etkisinden dolayı daha sağlam kalıplara ihtiyaç duyulmaktadır [48].
- KYB’de yüksek miktarlarda Portland imentosu ve kimyasal katkı kullanılmasının bir sonucu olarak maliyeti normal betona kıyasla fazladır [42].
- KYB’nin merdiven gibi eğimli kesitlerde uygulanması güçtür [48].
- KYB çok hassas bir karışıma sahip olup beton özellikleri, bileşenlerinin miktarları ve parametrelerindeki değişimlere yüksek derecede bağlıdır [44].
- KYB’de yüksek miktarlarda imento kullanılmasının bir sonucu olarak hidrasyon ısısı daha yüksektir [43].

3.1 KYB’LERDE KARIŞIM TASARIMI

KYB geleneksel beton ile temelde aynı bileşenlere sahip olup geleneksel betondan farklı olan y n  bileşenlerin miktarlarıdır (Şekil 3.1). KYB geleneksel betona kıyasla daha fazla toz içeriği, daha az iri agrega, yüksek miktarda su kesme özelliği olan akışkanlaştırıcılar ve gerektiğinde viskozite düzenleyici katkılar içermektedir. KYB’de viskoziteyi ve taze betondaki işlenebilirliği arttırmak ayrıca beton maliyetini azaltmak için imento ile birlikte, uçucu kül, silis dumanı, kireç taşı tozu, öğütülmüş yüksek fırın cürufu, kalsit gibi toz malzemeler karışım tasarımlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [49].

KYB’de istenilen özelliklerden biri de ayrışma ve su kuma görülmeden yüksek bir akıcılığa sahip olmasıdır. Bu akıcılığı yüksek oranda su kesen akışkanlaştırıcılar ile sağlamak mümkündür. Betonun kararlılığının bozulmaması için ise ince malzeme miktarının arttırılması veya viskozite arttırıcı katkılarının kullanılması tavsiye edilmektedir [50].



Şekil 3.1. Geleneksel beton ve KYB bileşenlerinin hacimce karşılaştırılması [31].

KYB tasarımında genel anlamda üç ana yöntem bulunmaktadır. Bunlar;

- Toz tipi metodu
- Stabilizatör metodu
- Kombinasyon metodudur [39].

3.1.1 Toz Tipi Metodu

Toz tipi metodu kullanılarak yapılan KYB tasarımında viskozitenin sağlanmasında puzolanik veya inert filler malzemeler kullanılır. Bu tasarımda geleneksel betona göre yüksek oranda toz malzeme bulunmaktadır. Parçacık boyutlarının küçülmesi neticesinde parçacıklar arasındaki etkileşim ve bunun neticesinde de viskozite artacaktır [39].

3.1.2 Stabilizatör Metodu

Stabilizatör metodu kullanılarak yapılan KYB tasarımında viskozite, stabilizatör adı da verilen viskozite artırıcı katkıları ile artırılır. Bu katkıları genellikle taze betonun üretimi ve yerleştirilmesi safhalarında stabilite sağlamak ve değişkenlikleri azaltmak için kullanılır. Bu katkıları kullanılması ile toz malzeme tipine göre değişmekle birlikte önemli miktarlarda az toz ile KYB üretilebilmektedir. Geleneksel betonda kullanılan iri agrega miktarı KYB'de daha az olmaktadır. Stabilizatör tipi metodu ile üretilen KYB'lerde toz tipi metodundan biraz daha fazla miktarda iri agrega kullanılabilir [39].

3.1.3 Kombinasyon Metodu

Hem stabilizatör yönteminde olduğu gibi viskozite arttırıcı katkıların hem de toz tipinde olduğu gibi toz malzemenin birlikte kullanıldığı kombinasyon şeklindeki yöntemdir. Ancak çok sayıda ön deneme gerektirmesi ve iki yöntem hakkında da tecrübe ve bilgi birikimi gerektirmesi bakımından diğerlerinden zor bir yöntemdir [39].

Taze haldeki KYB karışımlarında istenilen özelliklerin sağlanabilmesi için aşağıda özetlenen yaklaşımlar göz önünde bulundurulabilir.

- İyi bir doldurma yeteneği, geçme yeteneği ve ayrışmaya karşı direnç elde etmedeki önemli noktalar, hamur akışkanlığı ve viskozitesinin dikkatli bir çimento ve mineral katkı seçimi ve oranlanması, su/ince malzeme oranının sınırlandırılması, hiper akışkanlaştırıcı ve isteğe bağlı olarak viskozite düzenleyici katkı maddelerinin uygun miktarlarda kullanılmasıdır.
- Isıl rötre çatlaklarını, sıcaklık yükselmesini ve dayanımı kontrol altına almak ile çimento miktarını kabul edilebilir bir seviyede tutabilmek adına puzolanik olmayan ya da yarı puzolanik, puzolanik veya hidrolik mineral katkıları önemli miktarlarda kullanılabilir.
- Betonun donatılar arasındaki dar açıklıklar ve boşluklardan geçerken agrega kenetlenmesi ve köprülenmenin azaltılması ile KYB'nin geçme yeteneğinin artması amacıyla karışımdaki iri agrega tanelerinin harç tabakası tarafından tamamen sarılması gerekmektedir. Bu sebeple iri agrega/ince agrega oranı azaltılmaktadır [51].

KYB tasarımı için akademisyenler, enstitüler, katkı firmaları, hazır beton ve prefabrik imalat yapan firmalar kendi karışım oranlama yöntemlerini geliştirmiş olup standart bir yöntem bulunmamaktadır [51].

Avrupa Uzman Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemler Federasyonu (EFNARC) tarafından oluşturulan ve KYB tasarımı için seçilebilecek malzeme miktarları ve hacimleri ile ilgili bazı aralıklar Çizelge 3.1'de önerilmiş olsa da beton teknolojisi araştırmacıları tarafından bilindiği üzere deneme-yanılma veya farklı yaklaşımlar kullanılarak bu aralıklar dışında da istenilen özellikte KYB üretilebilir. EFNARC (2005) tarafından önerilen miktarlar başlangıç için faydalı olmakta ve tasarıma bir ön boyut kazandırmaktadır [51].

Çizelge 3.1. EFNARC (2005)'e göre KYB karışım kompozisyonunun tipik aralığı [51].

Bileşen	Kütlece Tipik Aralık (kg/m³)	Hacimce Tipik Aralık (lt/m³)
Toz	380-600	-
Hamur	-	300-380
Su	150-210	150-210
İri agrega	750-1000	270-360
İnce agrega (kum)	Bu miktar diğer bileşenlerin hacmini dengeler, tipik olarak toplam agreganın %48-55'idir.	
Hacimce su/toz oranı	-	0,85-1,10

EFNARC (2005) KYB'de çökme-akma sınıflarını Çizelge 3.2'de görüldüğü şekilde SF1,SF2 ve SF3 olmak üzere üç farklı sınıfa ayırmıştır [51].

Çizelge 3.2. EFNARC (2005)'e göre KYB'de çökme-akma sınıfları [51].

Sınıf	Çökme-Akma Değeri (mm)
SF1	550-650
SF2	660-750
SF3	760-850

EFNARC (2005) KYB'de akma direncini Çizelge 3.3'te görüldüğü gibi VS1/VS2 ve VF1/VF2 olmak üzere iki farklı sınıfa ayırmıştır [51].

Çizelge 3.3. EFNARC (2005)'e göre KYB'de akma direnci (viskozite) sınıfları [51].

Sınıf	T500 Süresi (s)	V-Hunisi Akış Süresi (s)
VS1/VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/VF2	> 2	9-25

EFNARC (2005) KYB'de geçme kabiliyetini şekilde Çizelge 3.4'te görüldüğü gibi PA1 ve PA2 olmak üzere iki farklı sınıfa ayırmıştır [51].

Çizelge 3.4. EFNARC (2005)'e göre KYB'de geçme kabiliyeti sınıfları (L kutusu) [51].

Sınıf	Geçme Kabiliyeti
PA1	≥ 0,80 (2 donatı çubuklu)
PA2	≥ 0,80 (3 donatı çubuklu)

EFNARC (2005) KYB'nin kullanım yerine göre sınıf seçimi için Şekil 3.2'yi tavsiye etmektedir [51].

Viskozite				Ayrışma Direnci/ Geçme Yeteneği
VS 2 VF 2	Rampalar			SF1&2 için geçme yeteneğini belirlemek
VS 1 veya 2 VF 1 veya 2 veya hedef değer	Duvarlar ve Kazıklar			SF3 için SR belirlemek
VS 1 VF 1	Katlar ve Döşemeler			SF2&3 için SR belirlemek
	SF 1	SF 2	SF 3	
	Çökme-Akma			

Şekil 3.2. Kullanım yerine göre KYB sınıflarının seçilmesi [51].

Çizelge 3.2, Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Şekil 3.2 dikkate alınarak KYB'lerin kullanımı ile ilgili olarak bazı öneriler yapılabilir [31]. Buna göre;

- Çökme-akma sınıflarından SF1 sınıfındaki KYB'ler konut döşemeleri gibi boşaltım noktasından serbest yer değiştirme ile üstten dökülen donatısız veya seyrek donatılı yapı elemanlarında; tünel kaplaması gibi pompa enjeksiyonu ile yapılan dökümlerde; kazıklar ve derin temeller gibi yatay akışı engelleyebilecek kadar küçük ve uzun kesitlerde,
- Çökme akma sınıflarından SF2 sınıfındaki KYB'ler; duvar, kolon gibi elemanlarda,
- Çökme-akma sınıflarından SF3 sınıfındaki KYB'ler en büyük tane boyutunun 16 mm ile ve yayılma değerinin 850 mm ile sınırlandırılması durumları dikkate alınarak yoğun ve çok yoğun donatılı, karmaşık geometriye sahip değişken kesitli elemanlarda,
- Viskozite sınıflarından VS1/VF1 sınıfındaki KYB'ler ayrışma ve terleme riskine dikkat edilmesi şartıyla yoğun donatılı elemanlar ve perdah işleminin önemli olduğu durumlarda,
- Viskozite sınıflarından VS2/VF2 sınıfındaki KYB'ler yararlı tiksotropik davranışları göz önüne alındığında kalıp basıncını azaltacaklarından bu durumun avantaj olarak kullanılabilmesi elemanlarda,
- Geçme yeteneği sınıflarından PA1, beton sargı aralığı 80-100 mm olan konut veya düşey yapılar gibi yerlerde,

- Geçme yeteneği sınıflarından PA2, beton sargı aralığı 60-80 mm olan daha yoğun donatılı elemanlarda kullanılabilir.

3.2 KYB'DE KULLANILAN MALZEMELER

3.2.1 Agreg

KYB içerisinde kullanım amacı dikkate alınarak normal ve hafif agregaların kullanılması mümkündür. Agregaların tane ve Şekil dağılımları betondaki doluluk ve boşluk oranlarını etkileyeceğinden son derece önemlidir [31].

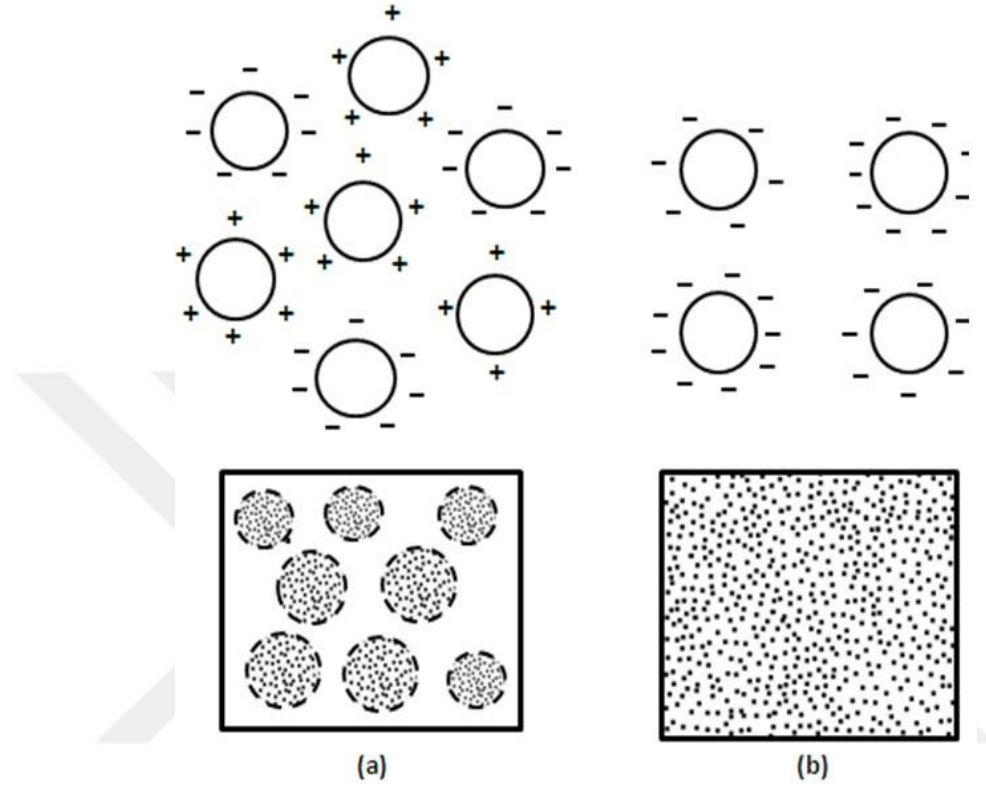
Genel anlamda agregaların betonun dıŐarıdan gelecek mekanik etkilere karşı koymasını sağlayacak bir iskelet oluŐturma, betonun doluluk oranını yükseltme, yüksek hacimsel stabilitesi ile kuruma büzulmesini azaltma, aşınma etkisinde kalacak betonda kullanılacak ise aşınmaya karşı dayanıklı olma iŐlevlerini yerine getirmesi beklenir. Genel olarak betonda kullanılacak agregalar sert, sağlam, su ile yumuŐamayan ve dağılmayan, aşınma etkisine ve donmaya dayanıklı, imento ile zararlı bileŐikler oluŐturmayan, donatı korozyonuna karşı olumsuz etkisi olmayan, iyi yüzey dokusuna ve iyi bir Şekle sahip, kolay temin edilebilir olmalıdır [6].

Kaliteli bir KYB üretimi için agregaların gradasyonu, su emmesi, mevcut nem miktarı, ince malzeme miktarı ve ince malzemenin özelliği sürekli olarak takip edilmeli ve standardizasyonu sağlanmalıdır. KYB karışımlarında kullanılacak normal ağırlıktaki agregalar EN 12620, hafif agregalar ise EN 13055-1 standartlarına uygun olmalıdır [51].

3.2.2 Akışkanlaştırıcı Katkı

İri agreg

Akışkanlaştırıcı katkıları su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren, beton içerisinde hava sürükleyerek çimentonun topaklanmasını engelleyen maddelerdir [53]. Şekil 3.3'te topaklanmış ve topaklanmamış çimento hamurları görülmektedir.



Şekil 3.3. Topaklanmış (a) ve topaklanmamış (b) çimento hamurları [53].

Akışkanlaştırıcı katkıların su azaltma performansı kimyasal yapılarına göre değişmektedir. Azalacak su miktarı; su/çimento oranı, ortam sıcaklığı, kullanılacak agrega gradasyonu ve katkı dozajı, çimento özellikleri gibi farklı etkenlere bağlıdır. Akışkanlaştırıcı katkıları için uygun bir kullanım dozajı mevcut olup uygun olmayan dozajdaki kullanımda erken yaşlarda dayanımda düşüş, kalıp alma süresinde uzama, priz süresinde aşırı azalma veya artış, ayrışma gibi istenmeyen etkiler görülebilmektedir [53].

Akışkanlaştırıcı katkıları kesme amacı ile kullanılabilirler gibi çimento tasarrufu sağlamak amacı ile de kullanılabilirler. Akışkanlaştırıcı katkıları referans beton karışımı ile aynı çimento miktarına, aynı işlenebilirlik ve taze hal özelliklerine sahip ancak daha düşük su/çimento oranlı karışım ile betonun dayanımının artmasını, katkı içermeyen betona göre daha az su ve daha az çimento kullanılarak aynı işlenebilirliğe, taze hal özelliklerine ve aynı dayanıma sahip beton üretilmesini sağlarlar [54], [55].

Akışkanlaştırıcıların sınıflandırılmasında su kesme yeteneklerinin ölçüsü kullanılabilir.

- Su kesme özelliği %10-15 arası olanlar normal akışkanlaştırıcı
- Su kesme özelliği %15-30 arası olanlar süper akışkanlaştırıcı
- Su kesme özelliği >%30 olanlar hiper akışkanlaştırıcı olarak sınıflandırılabilirler [54], [55].

KYB'ye akıcılık özelliği kazandırmak için kuvvetli bir akışkanlaştırıcı katkı gerekmektedir. Bu özellik sadece, ilk kuşak süper akışkanlaştırıcı katkılardaki gibi dispersiyon yani ince tanelerin üzerine absorbe olan elektrik yüklü tanelerin birbirini itmesi ile değil aynı zamanda dallanmış uzun polimerlerin oluşturduğu hacmi doldurma etkisi ile de sağlanmaktadır [41].

İlk akışkanlaştırıcılardan biri olan lignosülfanat bazlı kimyasal katkılar içerdikleri yüksek orandaki şekerden dolayı priz gecikmesi; betonun bünyesinde sürüklenmiş hava boşluğundan çok daha fazla miktarda hapsolmuş hava boşluğu oluşturması sebebi ile de dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin olumsuz etkilenmesi gibi istenmeyen yan etkilere sebep olmuşlardır [55], [56].

İkinci nesil olarak isimlendirilebilecek melamin formaldehit sülfonat (SMF) ve naftalin formaldehit sülfonat (SNF) esaslı süper akışkanlaştırıcılar hem su kesme hem de akışkanlık özelliği kazandırma bakımından lignosülfonatlardan çok daha etkilidir. SNF ve SMF bazlı katkılar gibi modifiye edilmiş bazı lignosülfanat türlerini de süper akışkanlaştırıcılar grubuna dahil etmek mümkündür. SMF ve SNF esaslı süper akışkanlaştırıcılar 60'lı yılların sonunda Japonya'da 70'li yılların başında Almanya'da ve 1974'de Kuzey Amerika'da kullanılmışlardır. Bunların dışında poliakrilatlar, polistiren sülfonatlar da kullanılabilir. Süper akışkanlaştırıcılar su kesme ve akıcılık sağlama açısından lignosülfonatlardan daha etkilidir [54], [55].

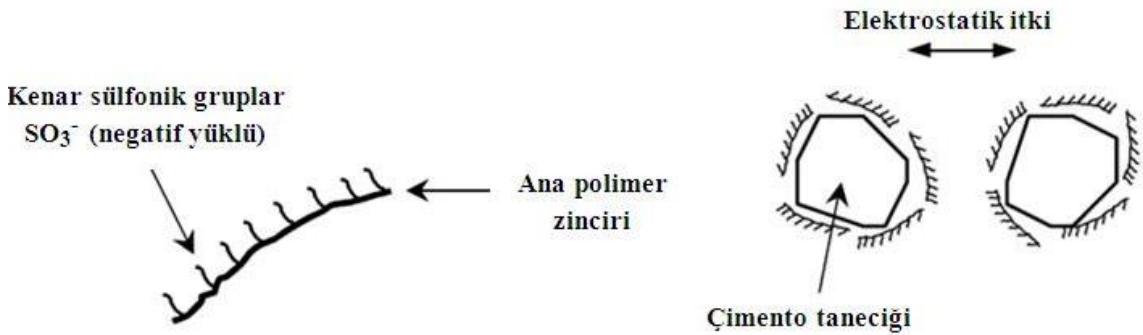
Melamin ve naftalin sülfonat esaslı katkıların kullanımında en çok görülen problemlerden biri olan işlenebilirlik kayıplarını engellemek adına üçüncü nesil olarak da adlandırılan hem yüksek oranda su kesme özelliği olan hem de yüksek işlenebilirlik sağlayan polikarboksilat bazlı akışkanlaştırıcı katkılar geliştirilmiştir [55], [57].

Akışkanlaştırıcı katkıları kimyasal kökenlerine göre dört ana sınıfa ayırmak mümkün olup bunlar;

- Polinaftalin sülfonatlar
- Polimelamin sülfonatlar
- Modifiye lignosülfonatlar
- Poliakrilat ve polikarboksilatlar'dır [58].

Süper akışkanlaştırıcı içeren çimentolu kompozitlerde, çimento tanelerinin dağılma özeliği genel olarak “elektrostatik” ve “stearik” etki mekanizmasıyla açıklanır [58]. Aşağıda bu iki etki mekanizması kısaca anlatılmıştır.

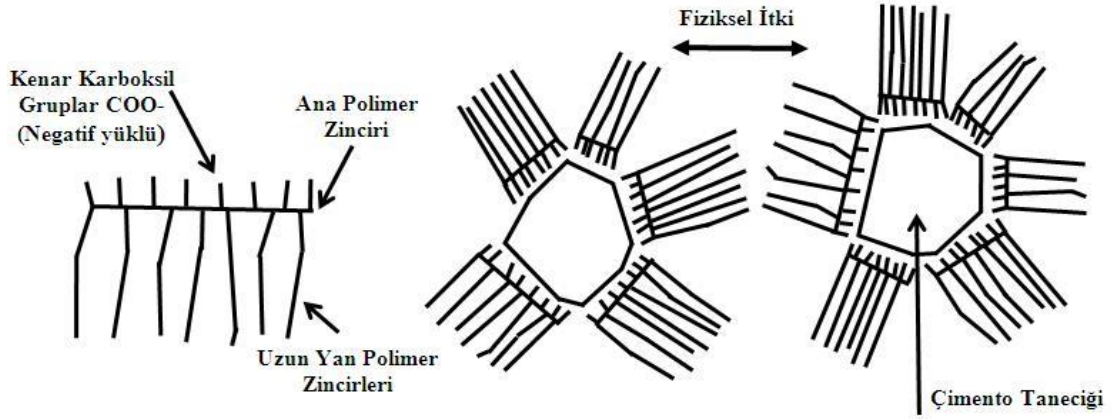
Elektrostatik etkide (Şekil 3.4) çimento tanelerinin topaklaşmasına neden olan çekim kuvvetleri çimento tanelerinin üzerine tutunan negatif yüklü SNF ve SMF gibi polimerlerin etkisi ile nötr veya negatif yüklü hale gelmektedir. Böylece dağıtma etkisi gerçekleşir [58].



Şekil 3.4. Elektrostatik itki [55].

Katkının etkisi ile katı-sıvı ara yüzünde karışımın kararlılığını etkileyen kuvvetler oluşur. Askıdaki çimento taneleri arasında benzer elektriksel yükler olduğundan aralarında bir itme kuvveti oluşur ve bu elektriksel yükler yeteri kadar arttığında taneler birbirinden uzaklaşır ve böylece topaklaşma oluşmaz [58].

Fiziksel-geometrisel bir etki olan stearik etkide (Şekil 3.5) ise polimer molekülündeki yan zincirler çimento taneleri arasında fiziksel bir etki oluşturur ve topaklaşmayı engeller. Polikarboksilat esaslı katılarda elektrostatik etkiden çok stearik etkiden bahsedilir. Ana ve yan zincirlerin uzunluğu ile yan zincirler arasındaki mesafe stearik etkide önemli rol oynayan bileşenlerdir [58].



Şekil 3.5. Stearik itki [55], [58].

Katkıların betonda meydana getireceği etkiler;

- Çimento bileşimi ve çimento inceliği gibi özellikler,
- Beton karışımındaki çimento miktarı,
- Agrega gradasyonu, içerdiği safsızlıklar ve diğer özellikleri,
- Beton karışımında kullanılan puzolan, viskozite düzenleyici vb. katkıları,
- Karışım süresi, karıştırıcı tipi ve türü,
- Katkının eklenme yöntemi
- Beton ve ortam sıcaklığı,
- Betonun kür koşulları gibi farklı parametrelere bağlıdır [58].

3.2.3 Çimento

KYB üretiminde EN 197-1'e uygun olan tüm çimento tipleri kullanılabilir. Doğru çimento tipinin belirlenmesinde KYB'nin özel şartlarından çok uygulamanın özel şartları ve üretici tarafından kullanılan çimentonun tipi ve özelliği göz önüne alınır [51].

3.2.4 Puzolanlar

3.2.4.1 Uçucu Kül

Uçucu küller başta inşaat sektörü olmak üzere kimya, döküm metal sanayii, seramik, cam, cam-seramik, çevre, zemin ıslahı, sondaj çalışmaları, buzlanmanın önlenmesi gibi farklı alanlarda farklı amaçlarla kullanılmaktadır [59].

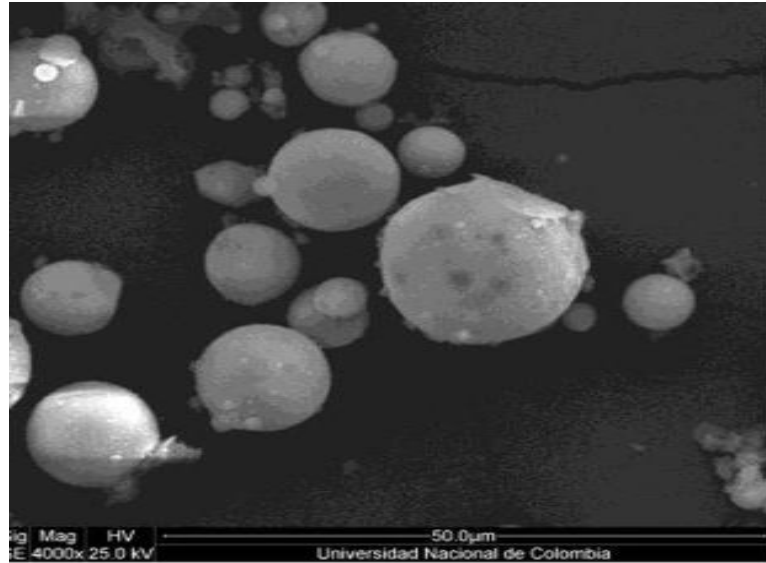
Uçucu küller kimyasal bileşimlerine göre değişik şekillerde sınıflandırılmakta olup içerilen analitik CaO miktarına göre yapılan sınıflandırma son yıllarda yaygın olarak kabul görmektedir. CaO miktarı %10'un üstünde olan uçucu küller yüksek kalsiyumlu

ya da yüksek kireçli; %10'un altında olanlar ise düşük kalsiyumlu ya da düşük kireçli uçucu küller olarak adlandırılır. ASTM C618 genel anlamda uçucu külleri C ve F sınıfı olarak ayırmaktadır [59].

- F sınıfındaki uçucu küller, bitümlü kömürlerden elde edilen ve $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%70$ koşulunu sağlayan küllerdir.
- C sınıfındaki uçucu küller genelde yarı bitümlü kömür veya linyitten elde edilen $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \%50$ koşulunu sağlayan küllerdir [59], [60].

Uçucu küller, termik santrallerde enerji üretimi için yakılan pulverize kömürün bir yan ürünü olarak ortaya çıkmakta olup kalsiyum oksit, demir oksit, magnezyum oksit, karbon gibi maddelerin yanı sıra çok yüksek miktarlarda silika ve alümina içerirler [61].

Uçucu küllerin tane şekli ve boyutlarına bakıldığında çoğunlukla katı, biraz boşluklu ve küresel şekle sahiptirler. Uçucu küllerinin tane boyutları ise 1-150 mikron aralığında olup genellikle %75'ten fazlası 45 mikronluk elekten geçmektedir. Tane dağılımı genellikle kül toplama sistemi ve güç tesisinin etkinliği tarafından belirlenmekte olup mekanik toplayıcılar ile toplananlar, elektrostatik yöntemle toplananlardan daha büyük taneciklere sahiptir. Uçucu küllerin yoğunlukları genelde 2,1-2,7 g/cm³ aralığındadır [62]. Şekil 3.6'da uçucu küllerin şekil ve boyutlarını gösteren bir taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.6. Uçucu kül SEM görüntüsü [63].

Uçucu küllerin yoğunlukları silikat, alüminat, demir ve yanmamış karbon miktarına bağlı olarak değişmekte olup yüksek demir içeren uçucu küllerin yoğunlukları daha yüksek; yüksek miktarda alüminat, silikat ve yanmamış karbon içeren uçucu küllerin

yoğunlukları ise düşük olur. Külün mineralojik yapısı da külün yoğunluğunu etkilemektedir. Süngerimsi tanelerden oluşan küllerin yoğunlukları daha düşük olurken içi dolu küresel tanelerden meydana gelenlerin yoğunlukları daha yüksektir [64].

Uçucu küllerin beton üretiminde kullanılması durumunda taze ve sertleşmiş beton özelliklerine olan olumlu etkileri aşağıdaki gibi sıralanabilir [59].

- Uçucu küllerin özellikle de küresel yapıda olan türleri taze betonun işlenebilirliğini artırır ve bu sayede su ihtiyacında azalma sağlanabilir.
- Taze betonun su kusmasını azaltırlar.
- Hidratasyon ısısını düşürürler.
- Puzolanik reaksiyonları sayesinde beton mukavemetinin yavaş ancak uzun süreli artışına yol açarlar.
- Su ve klorür geçirimsizliğini azaltırlar, kimyasal etkilere karşı dayanıklılığı artırır.
- Çimento hamuru ile agrega arasındaki aderansı kuvvetlendirirler.
- Kuruma büzülmesi ve termik büzülme azaltırlar ve böylece çatlak oluşumunun azalmasına, betonun çevresel etkilere karşı dayanıklılığının artmasına yardım ederler.

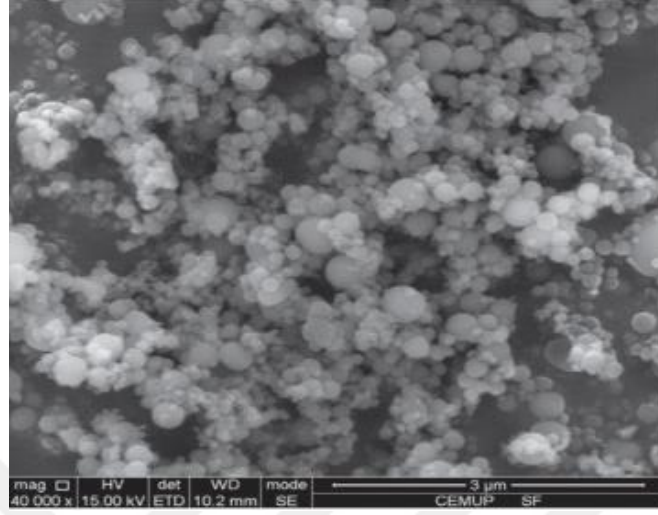
Ancak tüm bu olumlu özelliklerine karşın fazla miktarda uçucu kül kullanımı betonun mekanik özelliklerinin düşmesine ve karbonatlaşma olayının hızlanmasına neden olur [59].

3.2.4.2 Silis Dumanı

Silis dumanı, yüksek saflıktaki kuvarsın yaklaşık olarak 2000°C sıcaklıkta indirgenmesi ile silikon metali veya silikon metali alaşımların elde edilmesi işlemi sırasında oluşan gaz halindeki SiO'nun fırında, nispeten soğuk bölgelerindeki havayla temas ederek hızlı bir şekilde yoğunlaşması, gazın içinde bulunan SiO'nun amorf SiO₂'ye dönüşmesi ile oluşur. Silis dumanı %85-98 silika içerir ve amorf bir yapıya sahiptir. Ayrıca ortaya çıkan bu malzemeye mikrosilika, silika tozu, silika füme gibi isimler de verilmektedir [61].

Silis dumanı, tane boyutları 0,1-0,2 mikron aralığında değişen genellikle camsı, düzgün yüzeyli ve küresel taneciklerden meydana gelir. Silis dumanının tane boyutları çimentonun tane çapının yüzde biri kadardır. Silis dumanının özgül yüzey alanı diğer puzolanlardan ve çimentodan farklı olarak nitrojen adsorbsiyon yöntemi ile

belirlenmekte olup bu değer genellikle 13000-28000 m²/kg arasındadır. Betona katkı maddesi olarak ilave edilen silis dumanında ise özgül yüzey alanı 20000 m²/kg civarındadır [2]. Şekil 3.7’de silis dumanına ait bir SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.7. Silis dumanı SEM görüntüsü [65].

Silis dumanı genellikle grinin değişik tonlarında bulunmakta olup rengin koyuluğu içerdiği karbon miktarına bağlı olarak artmaktadır. Demir oksit in fazla miktarda bulunması ise silis dumanına hafif kahverengi bir renk vermektedir. Silis dumanının özgül ağırlığı, alaşım türü ve kaynağına göre değişmekle birlikte ortalama olarak 2,20 civarındadır [66]. Bileşimine göre silis dumanının özgül ağırlığı Çizelge 3.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Bileşimine göre silis dumanının özgül ağırlığı [66].

Si Alaşım Türü	Özgül Ağırlık
Si	2,23
Si+FeSi (%75)	2,26-2,27
FeSi (%50)	2,30
FeSi (%75)	2,21-2,23

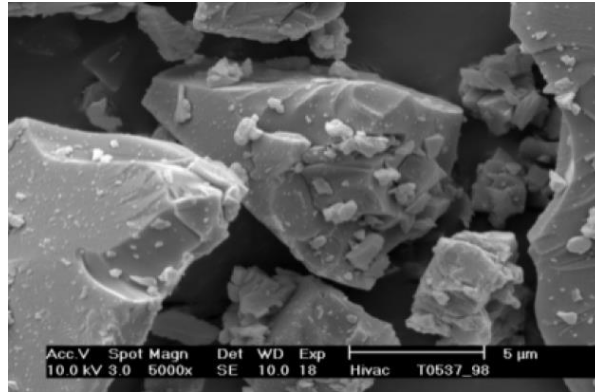
Silis dumanının gevşek birim hacim ağırlığı 130-430 kg/m³, sıkıştırılmış olarak ise ortalama olarak 550 kg/m³ civarındadır. Bu değer genellikle %50 silis dumanı içeren sulandırılmış halde 1300-1400 kg/m³ düzeyine kadar çıkmaktadır [66].

Silis dumanı çok yüksek bir puzolanik aktiviteye sahiptir ve kullanımı ile yüksek dayanımlı betonlar elde edilebilmektedir [61]. Silis dumanının betonda kullanılması ile beton basınç dayanımı ve aşınma direnci artmakta; rötre ve permeabilite azalmaktadır [1].

Silis dumanı çok ince bir malzeme olduğu için beton karışımlarının yapışma özelliğini ve karışım suyu ihtiyacını arttıracak, bu sebeple işlenebilirliği korumak ve yeterli sıkışmanın sağlanabilmesi için beton tasarımında değişikliklere gidilmesi gerekebilecektir. Su azaltıcı katkı maddeleri ve bazı durumlarda hava sürükleyici katkı kullanımını zorunlu olabilmektedir [67].

3.2.4.3 Yüksek Fırın Cürufu

Demir üretimi için demir cevheri fırınlarda yaklaşık 1600°C'ye kadar ısıtılır, böylece oksijen ve yabancı maddelerden arındırılmış olur. Fırındaki bu yüksek sıcaklığın etkisi ile ısıtmada kullanılan kömürdeki karbon ile demir oksitteki oksijen birleşerek karbon dioksit ve karbon monoksit gazlarını oluşturur. Bu gazlar fırını terk ederken geriye eriyik haldeki demir ve yabancı maddeler kalır. Elde edilen bu yabancı maddeler topluluğuna yüksek fırın cürufu adı verilir. Erimiş haldeki demir, yoğunluğunun yüksek olması sebebi ile alta çökerken yüksek fırın cürufu ise demirin üstünde toplanır. Demir ayrı, yüksek fırın cürufu ise ayrı bir çıkış ile fırından çıkartılır [1]. Eriyik halde fırından çıkartılan cüruf havada yavaş bir şekilde soğutulur ise kristal bir yapıya; su veya başka bir işlem ile çok ani bir şekilde soğutulur ise iri kum tanesi büyüklüğünde granüle ve amorf bir yapıya kavuşur [61]. Yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi, hidrolik özelliklerinin belirlenmesindeki önemli parametrelerden biridir. Genel olarak cürufun alkalinitesi ne kadar yüksek ise hidrolik özelliklerinin de o derece iyi olduğu kabul edilmektedir [68]. Şekil 3.8'de yüksek fırın cürufuna ait bir SEM görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.8. Yüksek fırın cürufu SEM görüntüsü [69].

Yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimi esasta CaO, SiO₂ ve Al₂O₃'ten oluşmakla birlikte cürufun kimyasal bileşimi kadar kristal yapısı da önemlidir. Yüksek fırın cürufunun aktivitesinde temel etkenler, kalsiyum içeriği, tane boyutu, tane karakteristikleri ile camsı madde bileşimi ve oranıdır. Yüksek fırın cürufunun hızlı bir

şekilde soğutulması dışında en az 2/3 oranında camsı faz içermesi; CaO, MgO ve SiO₂ miktarlarının toplamının en az 2/3 oranında olması gerekir. Ayrıca CaO ile MgO miktarlarının toplamının SiO₂ miktarından fazla olması arzu edilmektedir [70].

Yüksek fırın cürufları, ince taneli duruma getirilmeden puzolanik özellik göstermemekte ve betona öğütülmüş yüksek fırın cürufu şeklinde ilave edilmektedir [71]. Bu incelik genellikle 350-600 m²/kg civarlarında olmaktadır [72].

Öğütülmüş yüksek fırın cürufu içeren betonların taze ve sertleşmiş özellikleri iyileşmekte ve beton çevre koşullarına karşı daha dayanıklı olmaktadır. Konuyla ilgili yapılmış çalışmalar öğütülmüş yüksek fırın cürufunun betonlarda korozyon dayanıklılığı, durabilite, işlenebilirlik, mukavemet, geçirimsizlik gibi özellikleri olumlu etkilediğini ortaya koymaktadır. Portland çimentosunun hidrasyon hızı ile cürufun hidrasyon hızı karşılaştırıldığında cürufun hidrasyon hızının daha yavaş olduğu ve dayanım gelişimini geciktirdiği görülmektedir. Bu sebeple cüruf içeren betonlara daha uzun süreli kür uygulanmalıdır [71]. Portland çimentosu ve öğütülmüş yüksek fırın cürufunun kimyasal bileşimleri ve bazı fiziksel özellikleri Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Portland çimentosu ve yüksek fırın cürufunun özellikleri [69].

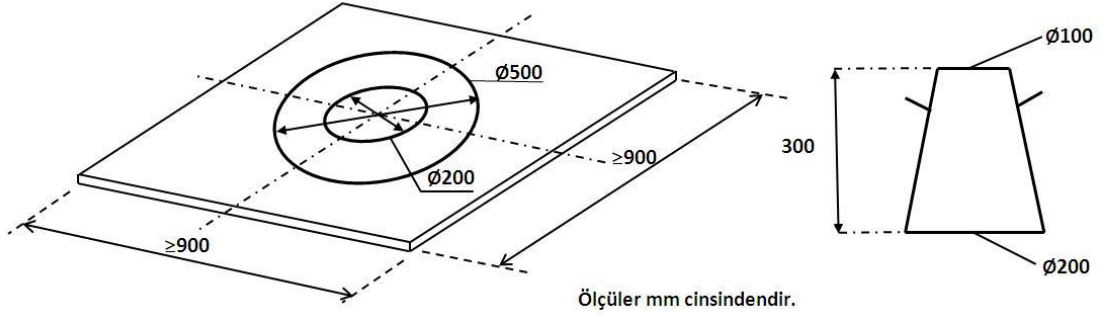
Bileşen veya özellik	Portland Çimentosu	Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu
SiO ₂ (%)	22,00	35,00
Al ₂ O ₃ (%)	5,00	12,00
Fe ₂ O ₃ (%)	3,50	1,00
CaO (%)	65,00	40,00
SO ₃ (%)	1,00	9,00
Na ₂ O (%)	0,20	0,30
K ₂ O (%)	1,00	0,40
Kızdırma kaybı (%)	0,20	1,00
Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	3500-4000	4000-5000
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,15	2,94

3.3 KYB'DE TAZE BETON DENEYLERİ

3.3.1 Çökmede Yayılma Deneyi

Çökmede yayılma deneyi KYB'nin akıcılığını ve akış hızını ölçmek amacı ile yapılır. Deney kapsamında Şekil 3.9'da görülen ve ebatları en az 900x900 mm olan yüzeyi düz ve pürüzsüz, su emmeyecek bir malzemeden imal edilmiş bir levha ile koni kullanılır. Taban levhası yüzeyinde serbest su kalmayacak biçimde nemlendirildikten sonra koni

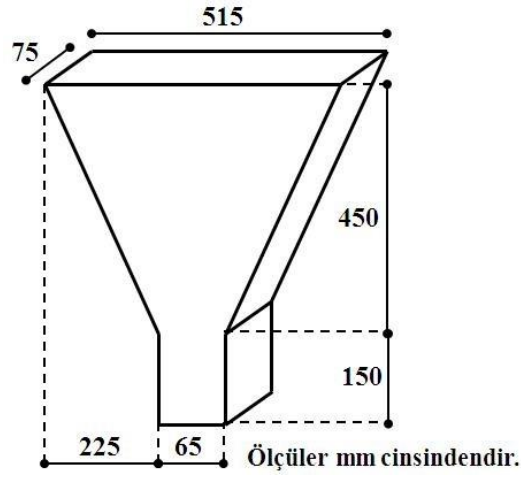
levhanın merkezine yerleştirilir. Koni, sarsmadan beton ile tamamen doldurulur ve dikey doğrultuda dikkatli bir şekilde kaldırılır. Koni kaldırılmaya başlandığı an kronometre çalıştırılır ve betonun 500 mm'lik halkaya ulaşma süresi okunarak T_{500} süresi olarak kayıt edilir. Yayılan betonun en büyük çapı ve buna dik doğrultudaki çapı okunur. Bu iki okumanın ortalaması yayılma çapı olarak alınır [73].



Şekil 3.9. Çökmede yayılma tablası ve deneyde kullanılan koni [73].

3.3.2 V Hunisi Deneyi

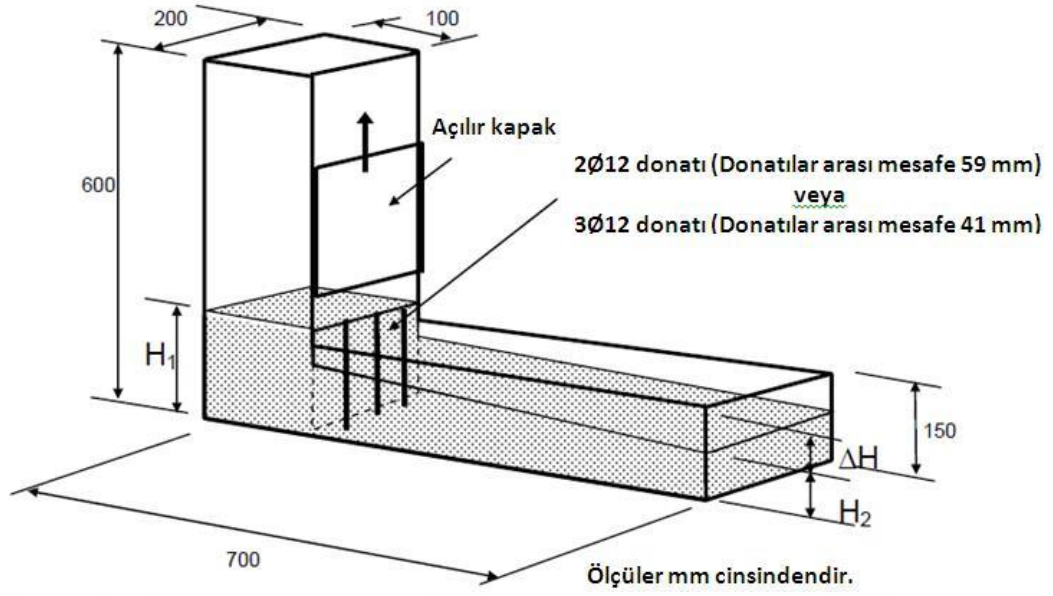
V hunisi deneyi KYB'nin viskozitesini ve doldurma kabiliyetini belirlemek için yapılır. Deney kapsamında boyutları Şekil 3.10'da gösterilen, alt kısmında ani olarak açılabilen ve sızdırmaz özellikte bir kapak bulunan, pürüzsüz yüzeyli, paslanmaz, metaldan imal edilmiş, üst tarafı tamamen açık olan bir huni kullanılır. Huninin beton ile temas edecek iç yüzeyi ve alt tarafta bulunan kapak nemlendirildikten sonra KYB hiçbir sıkıştırma işlemi uygulanmadan tek bir seferde huninin içine doldurulur. Huninin üst yüzeyindeki fazla beton master yardımı ile temizlenir. Huni doldurulduktan sonra alt tarafta bulunan kapak ani bir şekilde açılır ve tam bu anda kronometre çalıştırılır. Kapağın açılması ile huninin içinin tamamen boşalması arasındaki zaman V hunisi akış süresi olarak kaydedilir. Deney sırasında beton kesintisiz ve düzgün bir akış ile akmalıdır [74].



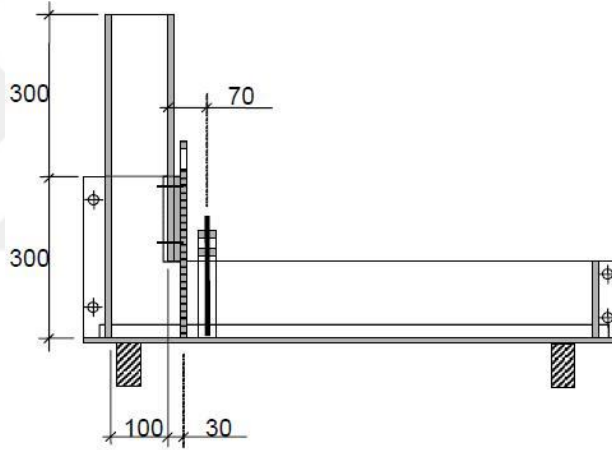
Şekil 3.10. V hunisi [74].

3.3.3 L Kutusu Deneyi

L kutusu deneyi KYB'nin donatılar ve diğer engeller arasındaki dar açıklıklardan ayrışma ve tıkanma olmaksızın geçme kabiliyetini belirlemek için yapılır. Deney kapsamında Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de gösterilen, pürüzsüz ve düz yüzeyli, paslanmaz yapıya sahip L şeklindeki kutu kullanılır. Deney iki donatılı veya daha sık donatılı temsil eden üç donatılı şekillerde yapılabilir. Kutunun beton ile temas edecek yerleri serbest su kalmayacak şekilde nemlendirilir. Düşey olarak hareket eden kapak beton geçişini durdurmak için kapatılır ve taze beton herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan bir seferde kutuya boşaltılır. Kutunun dikey bölümü tamamen doldurulduktan sonra kutunun üstündeki fazla beton master yardımı ile alınır. Yatay ve dikey bölmeleri birbirinden ayıran kapak açılarak betonun yatay bölmede hareket etmesine izin verilir. Betonun akışı durduktan sonra kutunun her iki ucundan üçer okuma alınır. Donatıların bulunduğu taraftan alınan okumaların ortalaması H1, diğer uçtan alınan okumaların ortalamaları H2 olarak kayıt edilir. H1/H2 kullanılarak geçiş yeterlilik oranı bulunur [75].



Şekil 3.11. L kutusu görünüşü [75].

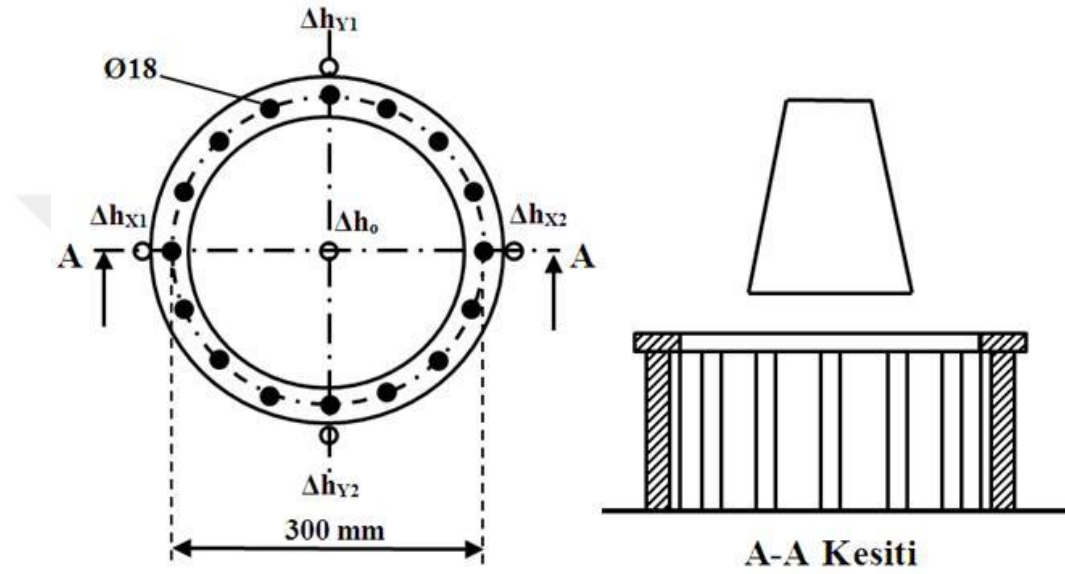


Şekil 3.12. L kutusu en kesiti [75].

3.3.4 J Halkası Deneyi

J halkası deneyi KYB'nin donatılar ve diğer engeller arasındaki dar açıklıklardan ayrışma ve tıkanma olmaksızın geçme yeterliliğinin belirlenmesi amacı ile yapılır. Deney kapsamında çapı 18 mm olan düz donatıların, çapı 300 mm olan bir halkaya yerleştirilmesi ile elde edilmiş olan ve Şekil 3.13'te gösterilen J halkası kullanılır. Deney kapsamında çökmede yayılma deneyinde kullanılan özelliklerdeki koni ve taban plakası kullanılır. Taban plakası nemlendirilir ve koni ile halka taban plakasına yerleştirilir. Koni tek bir seferde ve herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmaksızın tamamen doldurulur. Koni dikey doğrultuda kaldırılarak betonun yayılmasına izin verilir. Deney kapsamında betonun 500 mm'lik halkaya ulaşma süresi, yayılan betonun

en büyük çapı ve bu doğrultuya dik yöndeki çapı; halkanın merkezindeki beton yüksekliği, halkanın hemen dışında ikisi X, ikisi de buna dik doğrultuda Y ekseninde olmak üzere toplam 4 adet beton yüksekliği not edilir. İki adet yayılma çapının aritmetik ortalaması ile yayılma çapı değeri, merkezdeki beton yüksekliğinin, X ye Y eksenlerindeki beton yüksekliklerinin aritmetik ortalamasından çıkarılması ile de geçiş yeteneği katsayıları elde edilir. Ayrıca betonun 500 mm'lik halkaya ulaşma süresi de belirlenebilir [76].

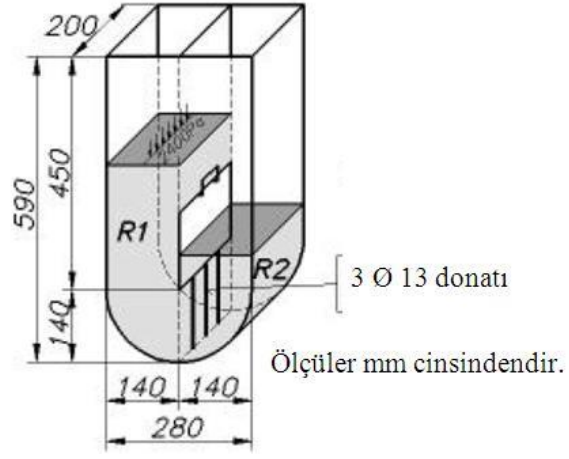


Ölçüler mm cinsindedir.

Şekil 3.13. J halkası [76].

3.3.5 U Kutusu Deneyi

U kutusu deneyi KYB'nin donatılar ve diğer engeller arasındaki dar açıklıklardan ayrışma ve tıkanma olmaksızın geçme kabiliyetini belirlemek için kullanılır. Deney kapsamında boyutları Şekil 3.14'te gösterilen, pürüzsüz ve düz yüzeyli, paslanmaz yapıya sahip U şeklindeki kutu kullanılır. Dikey olarak hareket eden kapak beton geçişini durdurmak için kapatılır ve beton numunesi herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan tek seferde kutunun bir bölmesine boşaltılır. Bölmeleri ayıran kapak kaldırılır ve iki bölmedeki beton yüksekliklerinin farkı ölçülür [77].



Şekil 3.14. U kutusu [77].

4. LİFLİ KYB İLE İLGİLİ LİTERATÜR ÖZETİ

Modern mühendislik uygulamaları açısından bakıldığında en önemli özel beton çeşitlerinden bir tanesi olan KYB araştırmacılar tarafından da dikkat çeken bir çalışma alanıdır. Konuyla ilgili farklı puzolanik malzemelerin kullanımı, farklı tasarım metotları, farklı liflerin kullanımı vb. çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu bölümde liflerin KYB üretiminde kullanımı ile ilgili güncel literatürden bazı çalışmalar özetlenmiştir.

M. Mastali ve diğerleri geri dönüştürülerek elde edilen cam liflerin KYB'lerin darbe dayanımına ve mekanik özelliklerine etkisini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında 0,34 su/çimento oranı farklı karışımlar hazırlanmış olup lif dışındaki malzeme miktarları sabit tutulmuştur. Lifler ise hacimce %0, %0,25, %0,75 ve %1,25 oranında kullanılmış ve dört farklı karışım elde edilmiştir. Çalışma kapsamındaki bulgular incelendiğinde kullanılan lif miktarı arttıkça yayılma çapının azaldığı; basınç, eğilme ve darbe dayanımı değerlerini ile T_{500} süresinin arttırdığı görülmüştür [78].

Subaşı ve Emiroğlu çelik ve polipropilen lif kullanarak "Lif Kullanılan Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Analizi" isimli bir çalışmada yapmışlardır. Çalışmada kapsamında hazırlanan karışımlarda lif haricindeki tüm malzemelerin miktarları sabit tutulmuş ve lifsiz, %2,0 çelik lifli, %0,5 polipropilen lifli, %0,5 çelik lif ve %0,5 polipropilen lifli KYB karışımları üretilmiştir. Üretilen bu karışımlar üzerinde yayılma çapı, V hunisi ve basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve bunlardan yola çıkılarak istatistiksel veriler elde edilmiştir. Çalışma sonucundaki bulgular incelendiğinde lif içeren karışımların yayılma çaplarının lifsiz numuneye kıyasla daha az, V hunisi akış süresinin ise daha fazla olduğu; lifli karışımların 28 günlük basınç dayanımlarının lifsiz numuneden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir [7].

Siddique ve diğerleri hacimce %0,5, %1,0 ve %1,5 oranında kancalı uçlu çelik lif kullanarak, çelik liflerin KYB'lerin dayanım ve geçirimsizlik özellikleri üzerindeki etkilerini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında hazırlanan tüm karışımlarda lif haricindeki malzemeler aynı miktarlarda kullanılırken biri lifsiz olmak üzere farklı karışımlar elde edilmiştir. Çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda

lif içermeyen kontrol karışımının işlenebilirlik değerlerinin lif kullanılan numunelerden daha iyi olduğu, kullanılan lif miktarı arttıkça yayılma çapının ve L kutusu H1/H2 oranının azaldığı; V hunisi akış süresi ve U kutusu H1-H2 oranının arttığı; lif içeren karışımların basınç dayanımlarının lifsiz karışımdan yüksek olduğu; kullanılan lif miktarı arttıkça eğilme ve yarmada çekme dayanımlarının ve porozitenin artış eğiliminde olduğu; hızlandırılmış klor geçirimliliği testine göre lif miktarı arttıkça klor geçirimliliğinin arttığı gözlemlenmiştir [79].

Yıldırım ve diğerleri üç farklı akışkanlaştırıcı kimyasal katkı, ve m³'te 3,5 , 5,0 ve 7,5 kg polipropilen lif, m³'te 30, 45 ve 60 kg çelik lif kullanarak lif içermeyen kontrol numuneleri de dahil olmak üzere 21 farklı beton karışımı hazırlayarak polipropilen ve çelik liflerin KYB'lerin işlenebilirliğe etkisini araştırmışlardır. Tüm karışımlarda su/bağlayıcı oranı 0,47 de sabit tutulmuş ayrıca tüm karışımlarda %0,2 oranında viskozite arttırıcı katkı kullanılmıştır. Taze haldeki betonun işlenebilirliğinin incelenmesi için çökmede, V hunisi, L kutusu ve U kutusu deneyleri, sertleşmiş beton özellikleri için ise ultrases geçiş hızı, basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılırken karışımların elastisite modülleri de belirlenmiştir [80].

Shafiq ve diğerleri toplam bağlayıcı ağırlığının %1,0'ı, % 1,5'i ve %2'si oranında kırılmış bazalt lif kullanarak pirinç kabuğu külü, uçucu kül ve tamamen çimento içerikli 12 farklı karışım hazırlamış ve bazalt lifin KYB'lerin taze ve sertleşmiş durumları üzerindeki etkisini araştıran bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında taze hal özellikleri için çökmede yayılma, V hunisi ve L kutusu deneyleri; sertleşmiş beton özellikleri için ise 28 günlük yarmada çekme dayanımı ve 7., 28., ve 90. günler için basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır [81].

Raj ve diğerleri 1,2, 1,8 ve 2,4 mm olmak üzere üç farklı uzunlukta; toplam bağlayıcı miktarına oranlar %0,25, %0,50, %0,75 ve %1,00 olmak üzere dört farklı oranda cam lif kullanarak bir tanesi de kontrol numunesi olmak üzere 13 karışımdan oluşan bir deneysel çalışmada bulunmuşlardır. Çalışma kapsamında kullanılacak çimento %30 oranında uçucu kül ile ikame edilmiş olup lif dışındaki tüm malzemelerin miktarları sabit tutulmuştur. Çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda, tüm lif boylarında karışımdaki lif miktarı arttıkça yayılma çapı değerinde azalma, T₅₀₀ süresi, V hunisi akış süresi ve L kutusu H1/H2 oranında artış gözlemlenmiştir [82].

Manohar ve diğeri bir tanesi lif içermeyen, diğeri 8 tanesi beton ağırlığına oranla %0,1, %0,2, %0,3, %0,4, %0,5, %0,6, %0,7, ve 0,8 cam lif içeren toplam 9 KYB karışımı ile bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma kapsamında hazırlanan karışımlarda lif dışındaki tüm malzemeler aynı miktarlarda kullanılmış olup çimento uçucu kül ile %20, silika dumanı ile %12 oranında ikame edilmiştir. Çalışma kapsamında KYB'nin taze hal özelliklerini belirlemek için çökmede yayılma, V hunisi, U kutusu, L kutusu ve J halkası deneyleri; karışımların sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesi için ise basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır [83].

Salih ve diğeri çelik, PVA ve bazalt lif kullanarak farklı lif türlerinin KYB özellikleri üzerindeki etkisinin kıyaslanması amacı ile bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında 4 adedi çimento içeren, 4 adedi %30 uçucu kül ikameli ve 4 adedi %10 silika dumanı ikameli toplam 12 karışım hazırlanmıştır. Karışımların 3 adedi lif içermemekte iken 3 adedi 12 kg çelik, 3 adedi 12 kg PVA ve 3 adedi 12 kg bazalt lif içermektedir. KYB karışımları üzerinde taze hal özelliklerinin belirlenmesi amacı ile çökmede yayılma ve V hunisi deneyleri; sertleşmiş hal özelliklerinin belirlenmesi için ise basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve ultra ses geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca numunelerin porozite özelliklerinin belirlenebilmesi amacı ile civa porozimetresi kullanılmıştır [84].

Corinaldesi ve Moriconi, kireçtaşı tozu, geri kazanılmış beton tozu; çelik, PVA ve yüksek tokluğa sahip polipropilen lif kullanarak farklı mineral katkıları ve farklı lifler ile hazırlanmış KYB karışımlarının karakterize edilmesi ile ilgili olarak bir çalışma yürütmüşlerdir. Çalışma kapsamında iki adedi hacimce %0,6 çelik lif içeren, iki adedi hacimce %0,8 PVA lif içeren, iki adedi hacimce %0,6 polipropilen lif içeren ve bir adedi de kontrol karışımı olmak üzere 7 farklı KYB tasarlanmıştır. Karışımların taze haldeki özelliklerini belirlemek amacı ile çökmede yayılma, V hunisi ve L kutusu deneyleri yapılırken sertleşmiş beton özelliklerinin belirlenmesi amacı ile basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kuruma büzülmesi ile ilgili deneyler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca elastisite modülü ve tokluk değerleri de belirlenmiştir [85].

5. MATERİYAL VE METOT

5.1 MATERİYAL

Deneysel çalışma safhasında üretilen betonlarda çimento, su, iki farklı sınıflanmış agrega, uçucu kül, hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı, kalsit, bazalt lif ve cam lif kullanılmıştır.

5.1.1 Çimento

Çalışma kapsamında CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimentoya ait fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Çalışma kapsamında kullanılan çimentonun özellikleri.

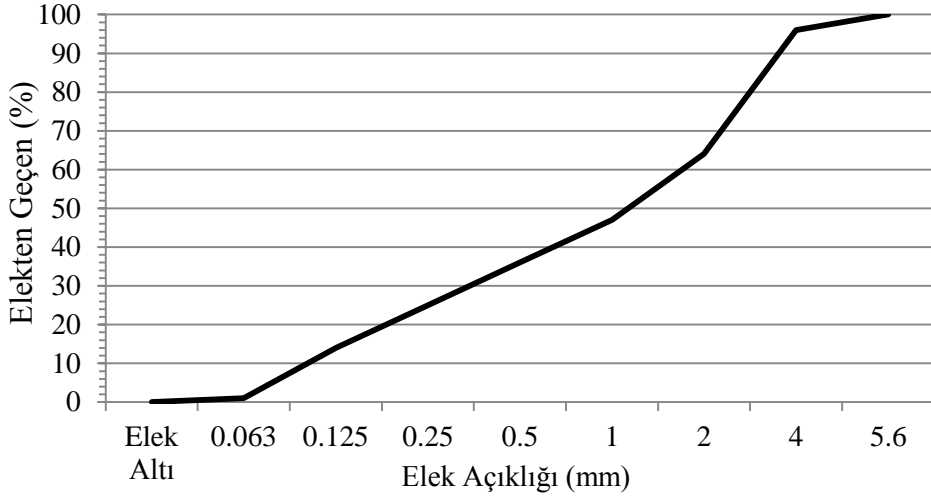
Kimyasal Bileşim	Ağırlıkça %	Mekanik Özellikler	
SiO ₂	19,25	Basınç dayanımı (7 gün)	45,6 MPa
Al ₂ O ₃	5,12	Basınç dayanımı (28 gün)	54,2 MPa
Fe ₂ O ₃	4,32	Basınç dayanımı (90 gün)	62,2 MPa
CaO	65,70		
MgO	1,25	Fiziksel Özellikler	
SO ₃	2,80	Priz başlangıcı	2 saat 25 dakika
Na ₂ O	0,12	Priz bitişi	3 saat 15 dakika
K ₂ O	0,45	Hacim genleşmesi	1 mm
Kızdırma kaybı	3,55	Yoğunluk	3,15 g/cm ³
Çözünmeyen kalıntı	0,75	Özgül yüzey alanı	4663 Blaine cm ² /g
Serbest CaO	0,49		

5.1.2 Karışım Suyu

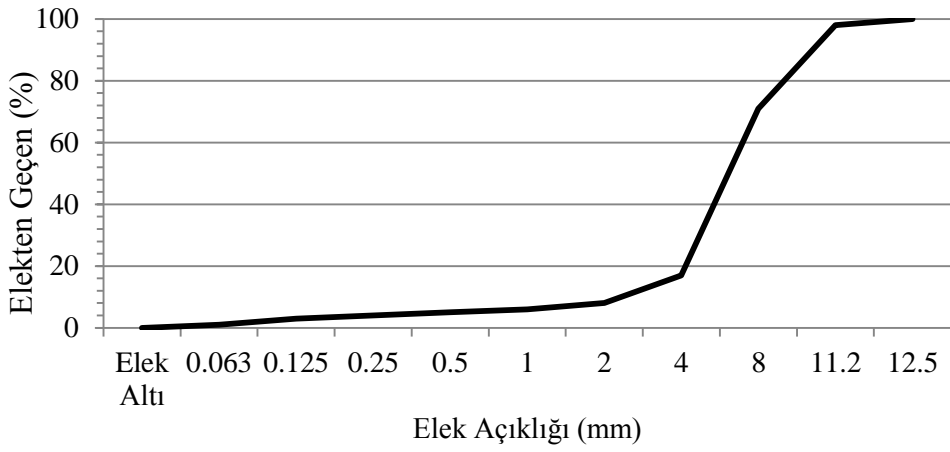
Beton üretiminde karışım suyu olarak Düzce ili şehir şebekesi suyu kullanılmıştır.

5.1.3 Agrega

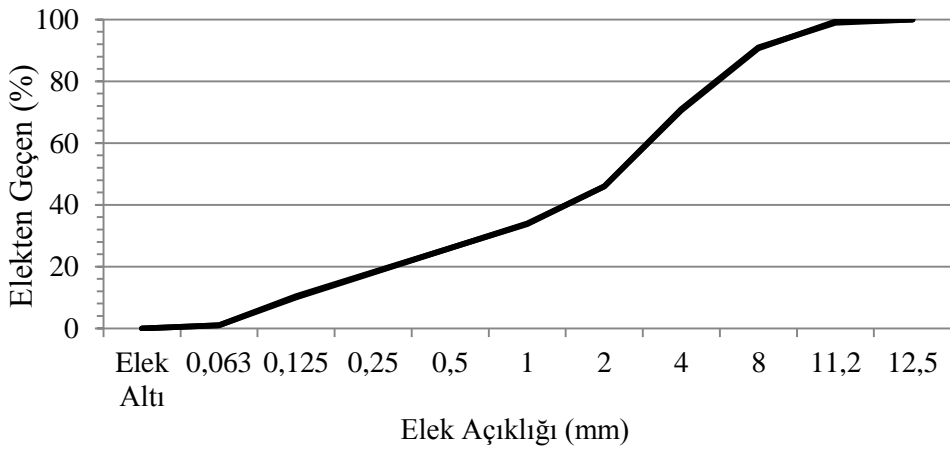
Çalışmada kullanılan agregalar Düzce ilinde faaliyet gösteren bir hazır beton santralinden temin edilmiştir. İnce agrega olarak özgül ağırlığı 2,63, su emmesi %0,93 olan kırma kum, iri agrega olarak ise özgül ağırlığı 2,71, su emmesi %0,62 olan kırma taş agrega kullanılmıştır. Kırma kuma ait tane dağılımı Şekil 5.1’de, kırma taş agregaya ait tane dağılımı ise Şekil 5.2’de, agrega karışımına ait gradasyon ise Şekil 5.3’te gösterilmiştir.



Şekil 5.1. İnce agrega gradasyonu.



Şekil 5.2. İri agrega gradasyonu.



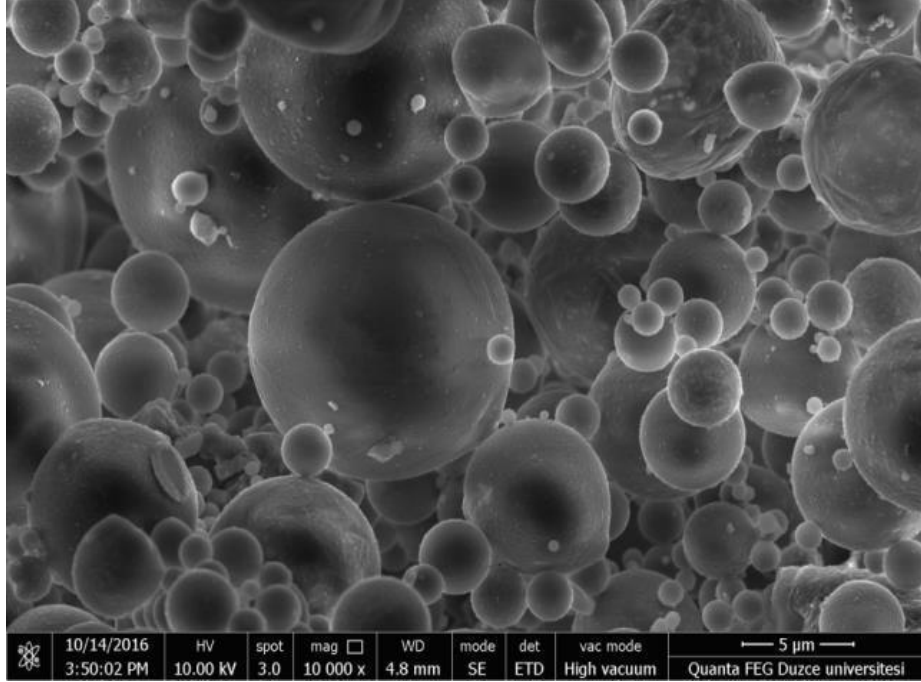
Şekil 5.3. Karışım gradasyonu.

5.1.4 Uçucu Kül

Çalışma kapsamında KYB'nin hamur fazını arttırmak amacı ile kullanılan uçucu kül (UK)'ün kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 5.2'de gösterilmiştir. Kullanılan UK küresel tanecikli bir yapıya sahip olup SEM görüntüsü Şekil 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.2. Çalışma kapsamında kullanılan UK'nin özellikleri.

Kimyasal Bileşim	Ağırlıkça %	Kimyasal Bileşim	Ağırlıkça %
SiO ₂	55,16	K ₂ O	4,94
Fe ₂ O ₃	5,70	SO ₃	0,001
TiO ₂	1,11	P ₂ O ₅	0,24
Al ₂ O ₃	26,79	Kızdırma kaybı	2,12
CaO	1,91	Fiziksel Özellikler	
MgO	1,15	Yoğunluk	2,12 g/cm ³
Na ₂ O	0,43	Özgül yüzey	4362 cm ² /g



Şekil 5.4. Kullanılan UK'ye ait SEM görüntüsü.

5.1.5 Hiper Akışkanlaştırıcı Katkı

Çalışmada polikarboksilat bazlı yüksek oranda su kesme özelliği olan hiper akışkanlaştırıcı (HA) beton katkısı kullanılmıştır. Katkıya ait bilgiler üretici firmadan temin edilmiş ve Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.3. Çalışma kapsamında kullanılan HA'nın özellikleri.

Yoğunluk	1,06 ± 0,01 kg/lt
pH değeri	5,00 ± 1
En yüksek klorür muhtevası	% 0,1
En yüksek alkali muhtevası	% 4
Kullanım Dozajı	Çimento ağırlığına %1,0-2,0

5.1.6 Lifler

Çalışmada kapsamında bazalt ve cam lif kullanılmıştır. KYB karışımlarında lifler 6, 12 ve 24 mm olmak üzere üç farklı uzunluk ve 2 ile 4 kg/m³ olmak üzere iki farklı miktarda kullanılmıştır. Kullanılan liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri üretici firmadan alınmış ve Çizelge 5.4'te verilmiştir. 6 mm, 12 mm ve 24 mm boylarında kırılarak hazırlanan liflere ait görsel ise Şekil 5.5'te sunulmuştur.

Çizelge 5.4. KYB karışımlarında kullanılan liflerin özellikleri.

Özellik	Bazalt Lif	Cam Lif
Çap (mikron)	13-20	10-17
Elastisite Modülü (GPa)	88	76
Çekme Dayanımı (MPa)	4000-4500	3000-3600
Yoğunluk (g/cm ³)	2,80	2,60
Uzama (%)	3,15	2,65



Şekil 5.5. Çalışma kapsamında kullanılan farklı uzunluklardaki cam ve bazalt lifler.

5.1.7 Kalsit

Çalışmada KYB'lerin hamur fazını ve viskozitesini arttırmak amacı ile kalsit kullanılmış olup kalsite ait özellikler Çizelge 5.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.5. Deneysel çalışmada kullanılan kalsitin özellikleri.

Kimyasal Özellikler	
Bileşen	Ağırlıkça %
SiO ₂	0,01
CaCO ₃	98,41
K ₂ O	0,02
Na ₂ O	0,07
Asitte çözünen SO ₃	0,02
Suda çözünebilen Cl	0,0015
Fiziksel Özellikler	
Özgül yüzey alanı	756,5 m ² /kg
Nem içeriği	% 0.108
Numunenin hacimce %10'unun geçtiği boyut	1,45 mikron
Numunenin hacimce %50'unun geçtiği boyut	3,87 mikron
Numunenin hacimce %90'unun geçtiği boyut	10,2 mikron

Çalışma kapsamında kullanılan kalsite ait fotoğraf Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



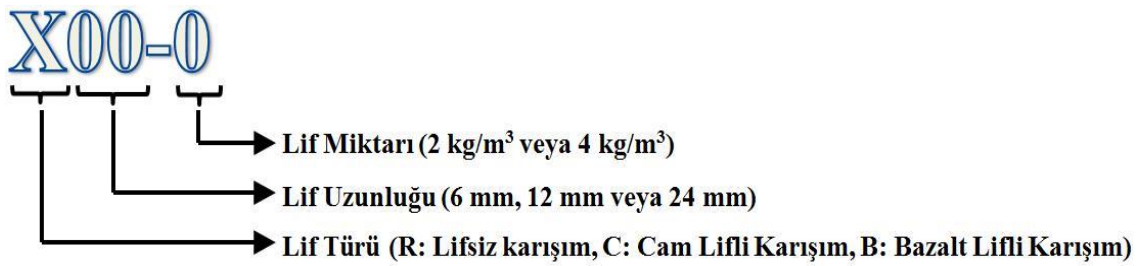
Şekil 5.6. Çalışma kapsamında kullanılan kalsit.

5.2 METOT

5.2.1 Malzeme Miktarları

Çalışmada 1 tanesi lif içermeyen referans karışım, 6 tanesi farklı boy ve miktarlarda bazalt lif içeren karışımlar ve 6 tanesi farklı boy ve miktarlarda cam lif içeren karışımlar olmak üzere 13 farklı KYB üretilmiştir. Tüm karışımlarda çimento, su, UK, HA katkı, kalsit, ince ve iri agrega miktarları sabit tutulmuştur. Lifler ise metreküpte 2 ve 4 kg olmak üzere 2 farklı miktar ve 6, 12 ve 24 mm boyunda olmak üzere üç farklı uzunlukta kullanılmıştır.

Karışımlara ait kodlama Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



DeneySEL çalışma kapsamında hazırlanan KYB karışımlarındaki malzeme miktarları Çizelge 5.6’da gösterilmiştir.

Çizelge 5.6. KYB karışımlarında kullanılan malzeme miktarları (kg/m³).

Karışım	Çimento	Su	İnce Agrega	İri Agrega	UK	HA Katkı	Kalsit	Bazalt Lif	Cam Lif
R	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	-	-
C06-2	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	-	2
C06-4	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	-	4
C12-2	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	-	2
C12-4	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	-	4
C24-2	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	-	2
C24-4	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	-	4
B06-2	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	2	-
B06-4	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	4	-
B12-2	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	2	-
B12-4	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	4	-
B24-2	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	2	-
B24-4	300	145	1095	520,6	200	7	179,5	4	-

5.2.2 Karışımların Hazırlanması

KYB karışımları Düzce Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Beton ve Malzeme Laboratuvarı’nda, kapalı ortamda; 140 litre kapasiteli, dönme açısı ayarlanabilen laboratuvar tipi mikserde hazırlanmıştır. Mikser 45 derece açı ile çalıştırılmıştır.

Çimento, UK, kalsit, ince ve iri agrega mikserde kuru olarak 1 dk. karıştırılmış, sonrasında karışım suyunun dörtte üçü 45 saniye boyunca karışıma eklenmiş ve mikser bu şekilde 4. dakikaya kadar çalıştırılmıştır. Suyun geriye kalan kısmı HA katkı ile karıştırılarak mikserde 45 saniye boyunca eklenmiş ve mikser 18. dakikaya kadar lifsiz olarak karıştırılmıştır. Lif ilavesi sonrası karışım 4 dakika daha karıştırılarak 22. dakikada mikser kapatılmış ve taze beton deneylerine geçilmiştir.

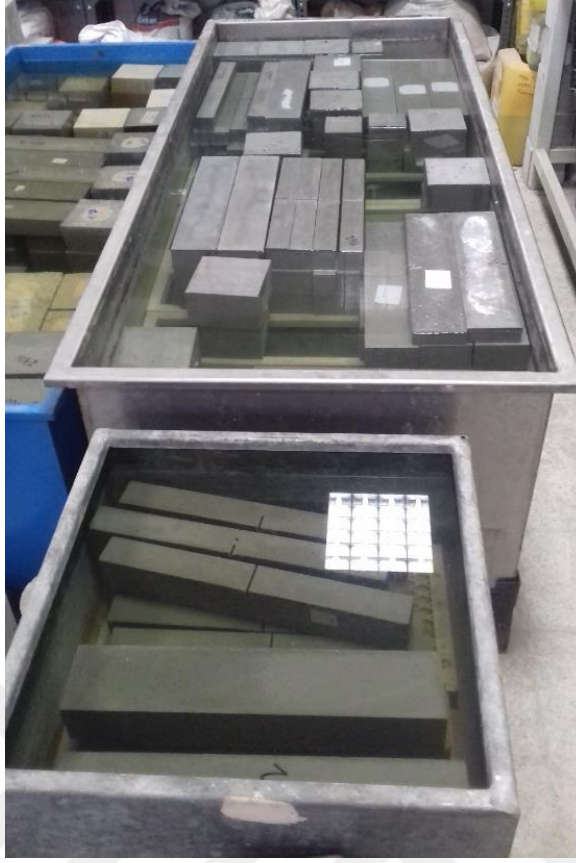
Taze haldeki KYB’de istenilen işlenebilirlik, geçiş kabiliyeti, akışkanlık özelliklerinin tespit edilebilmesi amacı ile hızlı ve seri bir şekilde çökmede yayılma, J halkası, V hunisi, L kutusu ve U kutusu deneyleri yapılmıştır.

Sonrasında karışımlar herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmadan kalıplara alınmıştır. Eğilme dayanımı için 100x100x500 mm’lik prizmatik kalıplar, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, kılcal su emme katsayısı deneyleri için 150x150x150 mm’lik küp kalıplar, kırılma enerjisi deneyi için ise 50x100x480 mm ebatlarındaki çentikli numune kalıpları kullanılmıştır. Çentikli numune kalıplarında çentik yüksekliği 30 mm ve çentik genişliği 3 mm’dir. Kullanılan kalıplar Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8. Kullanılan kalıplar.

Numuneler 1 gün laboratuvar ortamında bekletildikten sonra kalıplardan çıkartılarak 28 günlük deneylere kadar kirece doymun suda kür edilmiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Numunelerin kür havuzunda bekletilmesi.

5.2.3 Taze Beton Deneyleri

5.2.3.1 Çökmede Yayılma Deneyi

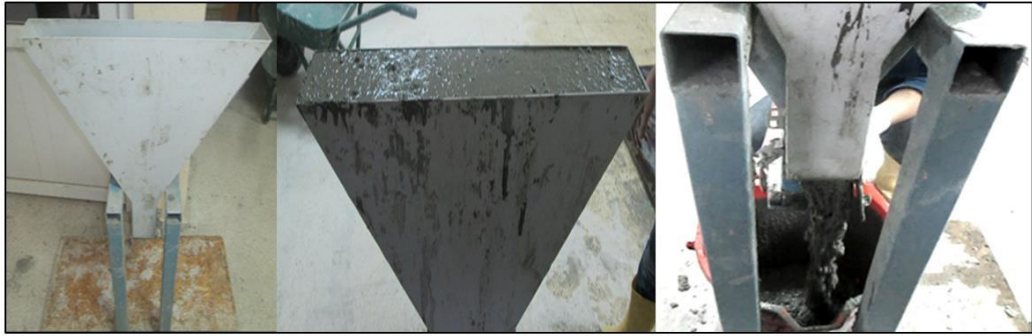
KYB karışımlarının taze haldeki işlenebilirlik özelliğini belirleyebilmek amacı ile TS EN 12350-8'e [73] uygun olarak çökmede yayılma deneyi yapılmıştır (Şekil 5.10). Deneyde koni ve düzgün bir yüzeye sahip plywood kalıp malzemesi kullanılmıştır. Koni ve plywood malzemesi deney yapılmadan önce nemlendirilmiştir. Taze KYB numunesi koninin içerisine herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmadan doldurulmuş ve koni dik bir ekseninde kaldırılarak numunenin serbest bir şekilde yayılması sağlanmıştır. Karışımların T_{500} süreleri ve yayılma tamamlandıktan sonra yayılma çapları ölçülmüştür. Yayılma çapı birbirine dik iki ekseninde ölçülmüş, sonrasında bu iki değer aritmetik ortalaması yayılma çapı olarak kaydedilmiştir.



Şekil 5.10. Çökmede yayılma deneyinin uygulanışı.

5.2.3.2 V Hunisi Deneyi

KYB karışımlarının viskozitesini ve doldurma kabiliyetini belirlemek amacı ile TS EN 12350-9'a [74] uygun olarak V hunisi deneyi yapılmıştır (Şekil 5.11). V hunisi deneyden önce temizlenmiş ve huninin beton ile temas edecek iç yüzeyi, açılır kapak da dahil olmak üzere nemlendirilmiştir. Taze KYB numunesi bir seferde ve herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmadan huniye doldurulmuş ve huniden taşan beton master ile temizlenmiştir. Kapak açılarak huninin içindeki betonun boşalma süresi ölçülmüştür.



Şekil 5.11. V hunisi deneyinin uygulanışı.

5.2.3.3 L Kutusu Deneyi

KYB karışımlarının donatı ve diğer engeller arasından tıkanma ve ayrışma olmaksızın geçme yeteneğini belirlemek amacı ile TS EN 12350-10'a [75] uygun olarak L kutusu deneyi yapılmıştır (Şekil 5.12). Kutu deneyler yapılmadan önce temizlenmiş ve kutunun beton ile temas edecek yüzeyleri nemlendirilmiştir. Kutunun dikey ve yatay eksenini ayıran kayıcı kapağı kapatılmış ve KYB numunesi herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmaksızın kutuya doldurulmuştur. Kutudan dışarıya taşan beton master yardımı ile

temizlenmiş ve kayıcı kapak ani ve hızlı bir şekilde yukarıya çekilerek deney gerçekleştirilmiştir. L kutusunda akışını tamamlayan betonun yükseklikleri (H1 ve H2) yatay kolun her iki ucunda ölçülmüştür. Ölçülen H1 ve H2 yükseklikleri kullanılarak geçebilme oranı belirlenmiştir.



Şekil 5.12. L kutusu deneyinin uygulanışı.

5.2.3.4 J Halkası Deneyi

KYB'nin donatılar ve diğer engeller arasındaki dar açıklıklardan ayrışma ve tıkanma olmaksızın geçme yeteneğinin belirlenmesi amacı ile TS EN 12350-12'ye [76] uygun olarak J halkası deneyi yapılmıştır (Şekil 5.13). Deneyde 16 adet donatı içeren J halkası kullanılmıştır. Koni ve taban plakası olarak kullanılan plywood malzeme nemlendirildikten sonra halka ve koni taban plakasına yerleştirilmiş, koni tek bir seferde ve herhangi bir sıkıştırma işlemi uygulanmadan tamamen doldurulmuştur. Koni dik doğrultuda dikkatli bir şekilde kaldırılarak betonun yayılmasına izin verilmiştir. Deney kapsamında betonun 500 mm'lik halkaya ulaşma süresi ve yayılma çapı bulunmuştur.



Şekil 5.13. J Halkası deneyinin uygulanışı.

5.2.3.5 U Kutusu Deneyi

KYB karışımlarının donatı ve diğer engeller arasından tıkanma ve ayrışma olmaksızın geçme yeteneğini belirlemek amacı ile U kutusu deneyi yapılmıştır (Şekil 5.14). Kutu deneyler yapılmadan önce temizlenmiş ve kutunun beton ile temas edecek yüzeyleri nemlendirilmiştir. Kutunun iki bölmesini ayıran kayıcı kapağı kapatılmış ve KYB numunesi herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmaksızın kutunun bölmesine doldurulmuş ve kayıcı kapak ani ve hızlı bir şekilde yukarıya çekilerek deney gerçekleştirilmiştir. Kutunun iki bölmesindeki beton seviyesi farkları belirlenerek kayıt edilmiştir.

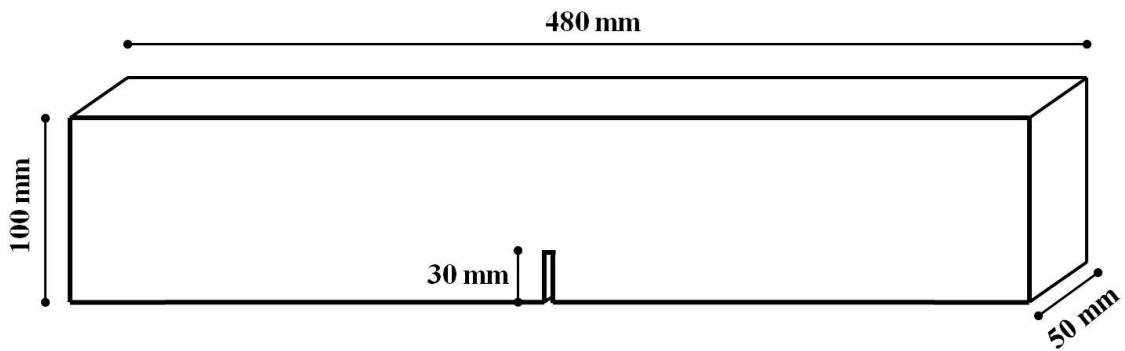


Şekil 5.14. U kutusu deneyinin uygulanışı.

5.2.4 Sertleşmiş Beton Deneyleri

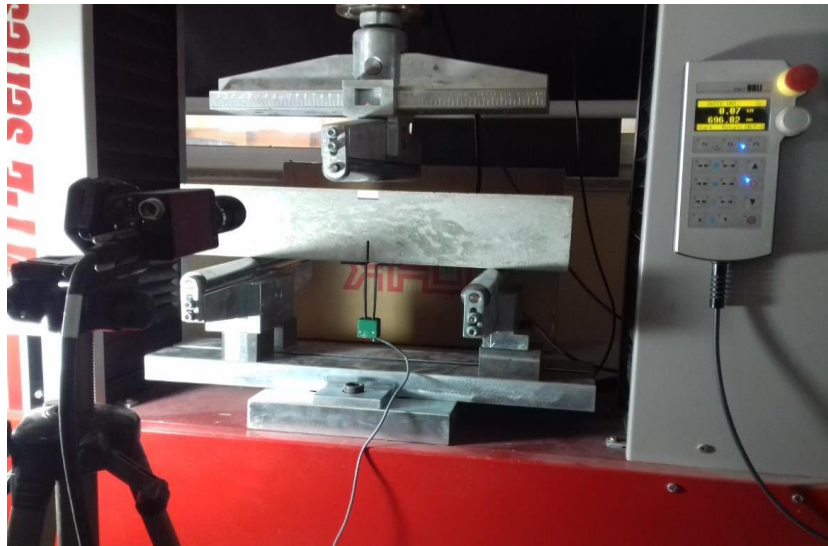
5.2.4.1 Kırılma Enerjisi Deneyi

Üretilen KYB'ler lif içerdiğinden enerji yutma kapasitelerinin iyileşmesi istenen bir sonuçtur ve genellikle lif içeren betonlarda süneklik ve kırılma enerjisinde artış elde edilir. Enerji yutma kapasitesi ile ilgili bulguları elde etmede kullanılan faydalı deneylerden bir tanesi de çentikli kiriş deneyidir. Çalışmada üretilen KYB'lerin kırılma enerjilerinin tespit edilerek karşılaştırılması amacıyla Şekil 5.15'te şematik olarak gösterilen 50x100x480 mm boyutlarında ve açıklık ortasında 30 mm yükseklik ve 3 mm genişliğinde çentik içeren eğilme numuneleri kullanılmıştır.



Şekil 5.15. Çentikli numune boyutları

Deneyin uygulanmasında numuneler test cihazında 3 noktalı eğilme deneyi düzeneğine yerleştirilmiş olup eğilme yükü altında değişen çatlak açıklığı numunelerin alt yüzeyine yapıştırılmış metal bıçakların ucuna yerleştirilen clip gage cihazı ile ölçülmüştür. Yükleme hızı 0.009 mm/dk olarak seçilmiştir. Dikey yöndeki deplasman ise video ekstansometre ile tespit edilmiştir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Kırılma enerjisi deneyinin uygulanışı

Deneylerde çentikli kirişlere uygulanan yükler ve çatlak açıklığındaki değişime ait veriler kullanılarak yük- çatlak açıklığındaki değişim eğrisi oluşturulmuştur. Oluşturulan yük- çatlak açıklığı eğrisinin altında kalan alanlar hesaplanmış ve Denklem (5.1) kullanılarak kırılma enerjisi hesaplanmıştır.

$$G_f = \frac{W_0 + mg\delta}{A} \quad (5.1)$$

Denklemden

W_0 = Yük-çatlak açıklığı grafiğinin altında kalan alanı (N/m),

m = Numunenin kütlesi (kg),

g = Yerçekimi ivmesi

δ = En büyük deplasmanı (m),

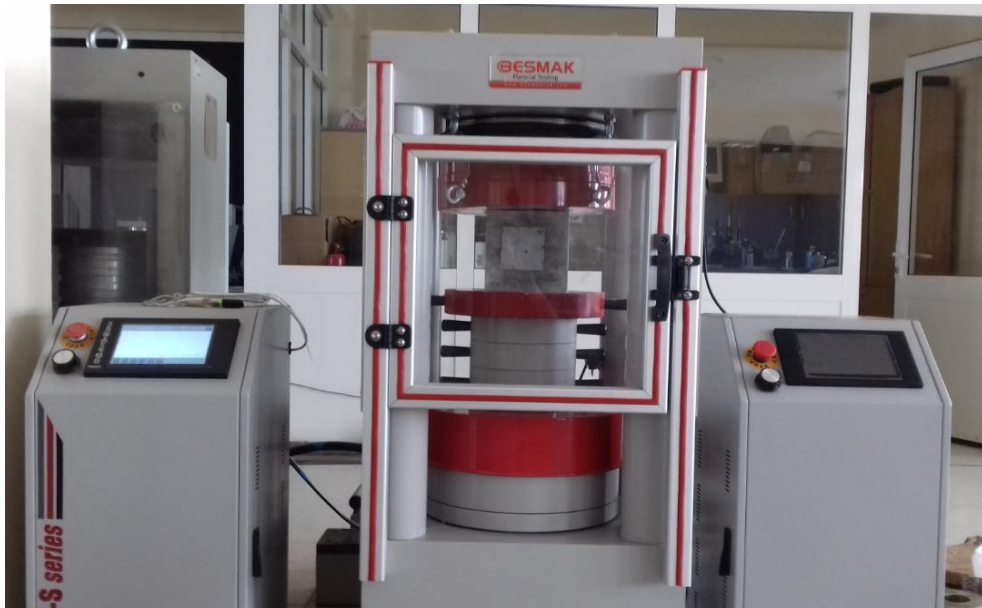
A = Numunenin çentikli kısmı dışındaki kesit alanını (m²)

G_f = Kırılma enerjisini (N/m) ifade etmektedir [24], [86].

5.2.4.2 Basınç Dayanımı Deneyi

28 günlük kür süresinin ardından kür havuzundan çıkartılan 150x150x150 mm ebatlarındaki küp numuneler TS EN 12390-3'e [87] uygun olarak basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.

Deneyler 200 ton kapasiteli beton presinde yapılmış olup yükleme hızı 0,5 MPa/s olarak seçilmiştir (Şekil 5.17).



Şekil 5.17. Basınç dayanımı deneyinin uygulanışı

5.2.4.3 Eğilme Dayanımı Deneyi

28 gün kür uygulanan 100x100x500 mm ebatlarındaki prizmatik numuneler üzerinde TS EN 12390-5' e uygun olarak eğilme dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.18) [88]. Deneylerde elde edilen maksimum yüklere göre eğilme dayanımı Denklem 5.2. yardımıyla MPa cinsinden hesaplanmıştır.

$$\frac{3 * F * L}{2 * b * d^2} \quad (5.2)$$

Denklemden

F : Kırılma yükünü (N)

L: Mesnetler arası uzaklığı (mm)

b : Numune genişliğini (mm)

d : Numune yüksekliğini (mm) temsil etmektedir.



Şekil 5.18. Eğilme dayanımı deneyinin uygulaması

5.2.4.4 Yarmada Çekme Dayanımı Deneyi

Betonların dolaylı çekme dayanımlarını belirlemek amacıyla kullanılan deneylerden biri yarmada çekme dayanımı deneyidir. Çalışmada 28 günlük kür süresinin ardından kür havuzundan çıkartılan 150x150x150 mm ebatlarındaki küp numuneler TS EN 12390-6' ya [89] uygun olarak yarmada çekme dayanımı deneyine tabi tutulmuştur.

Deneyde ilave bir aparata yerleştirilen küp numuneler üzerinde basınç presi kullanılarak yarmada çekme deneyi gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.19). Denklem 5.3 kullanılarak yarmada çekme dayanımı MPa cinsinden hesaplanmıştır.

$$\frac{2 * F}{\pi * L * d} \quad (5.3)$$

Denklemden

F : Kırılma yükünü (N)

L : Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğunu (mm)

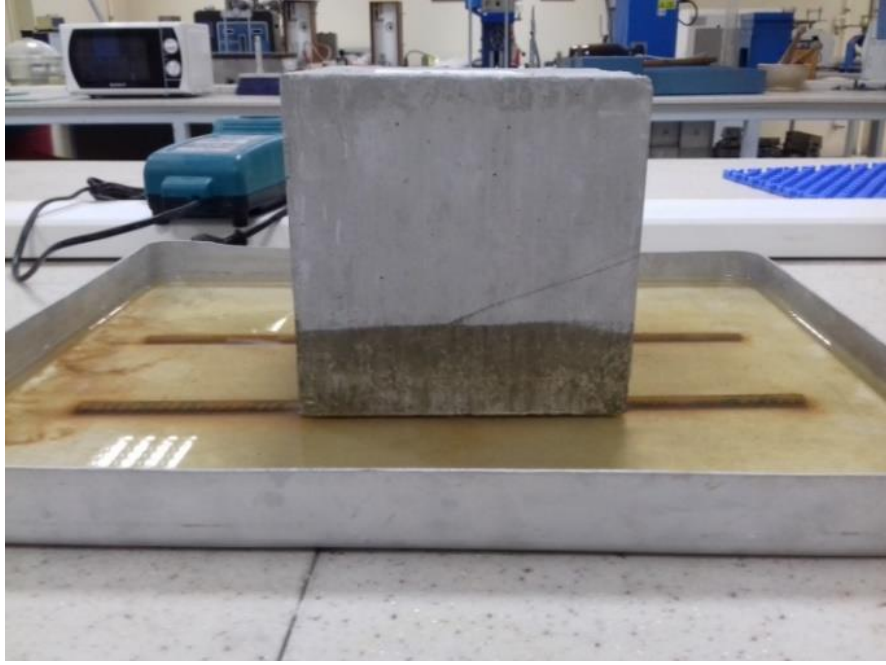
d : Numunenin en kesit uzunluğunu (mm) temsil etmektedir.



Şekil 5.19. Yarmada çekme deneyinin uygulanışı

5.2.4.5 Kılcal Su Emme Katsayısı Deneyi

28 günlük kür süreleri sonunda 150x150x150 mm ebatlarındaki numuneler üzerinde ASTM C1585-13'e [90] göre kılcal su emme deneyi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin su ile temas edecek yan yüzeyleri su geçirmez özellikteki yat verniği ile kaplanmış ve numune, uygun boyutlu bir kabın içerisine Şekil 5.20'de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir. Şekildeki donatılar betonun alt yüzeyinin su içerisinde asılı kalarak kapiler su emmesini sağlamak amacıyla yerleştirilmiştir.



Şekil 5.20. Kılcal su emme deney düzeneği.

Numuneler 0., 1., 5., 10., 20., 30., 60., 120., 180., 240., 300., ve 360. dakikalarda kabın içerisinden çıkartılmış, yüzeylerindeki serbest su nemli bir bez yardımı ile kurulanmış; numuneler tartılmış ve ağırlıklar kaydedilmiştir. Tartımlardan elde edilen su emme değerleri suya temas eden alt yüzey alanına bölünerek y eksenine ve sürelerin karekökü ise x eksenine denk gelecek biçimde Şekil 5.21’de bir örneği gösterilen grafikler oluşturulmuştur.

Bunun için Denklem (5.4) kullanılmış olup grafikteki doğrunun eğimi kılcal su emme katsayısını vermiştir.

$$I = \frac{m_t}{a * d} \quad (5.4)$$

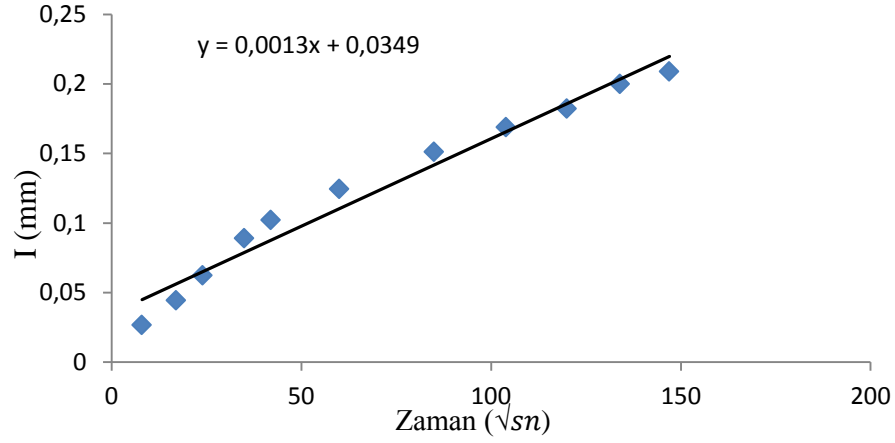
Denklemden;

I : Kapiler su emme (mm)

m_t : Numunedeki ağırlık değişimini (g)

a : Numunenin su ile temas yüzey alanını (mm^2)

d : Suyun yoğunluğunu (g/mm^3) temsil etmektedir.



Şekil 5.21. B06-4 karışımı için kılcal su emme katsayısının bulunması

5.2.4.6 Aşınma Dayanımı Deneyi

Numunelerin aşınma dayanımlarını belirlemek amacı ile Şekil 5.22’de görülen Böhme deney aleti kullanılarak aşınma dayanımı deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney aleti dakikada 30 devir dönen disk ve numuneye 294 N’luk eksenel kuvvet uygulayan ağırlıktan oluşmaktadır. Numune alete yerleştirildikten sonra aşındırıcı malzeme olan 20 g zımpara tozu diske dökülmüş ve disk 22 devir döndükten sonra otomatik olarak durmuştur. Sonrasında numunenin alt yüzeyi ve disk temizlenmiştir. Numune aynı yüzey olmak şartı ile saat yönünde döndürülmüş ve yeniden aşındırıcı malzeme diske dökülmüştür. Bu şekilde gerçekleştirilen 16 tur sonunda deney sonlandırılmış ve numunedeki aşınma kaybı hacim cinsinden bulunmuştur. [91], [92].



Şekil 5.22. Böhme deney cihazı ile aşınma dayanımı deneyinin uygulanması

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1 TAZE BETON DENEY SONUÇLARI

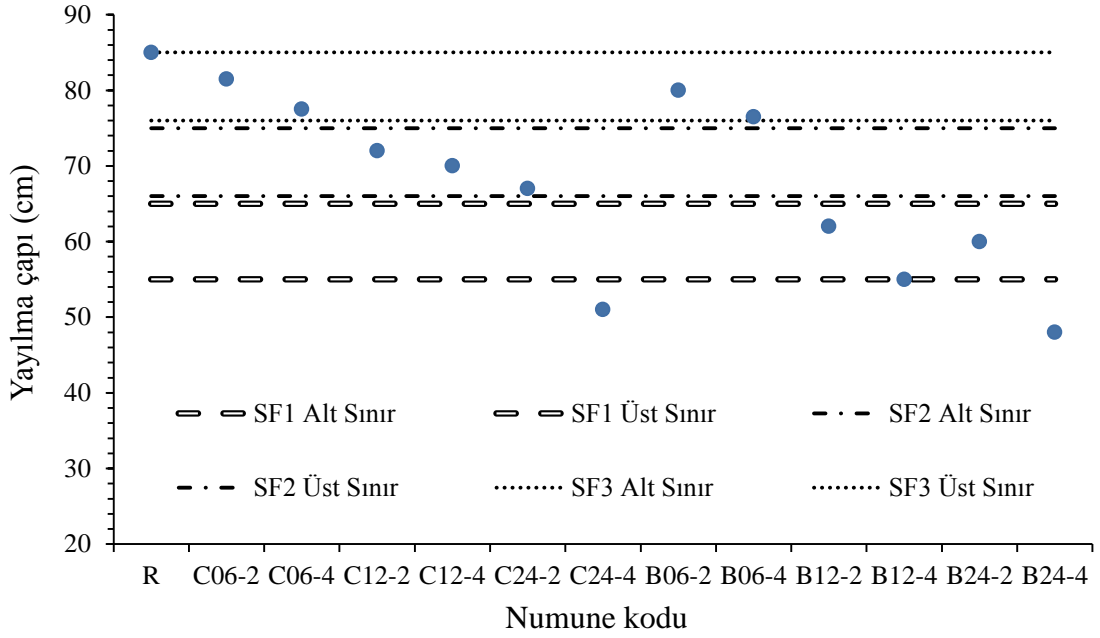
6.1.1 Çökmede Yayılma

Çökmede yayılma deneyi KYB'nin doldurma ve yayılma yeteneği hakkında bilgi vermektedir. Uygulanan deney sonrasında elde edilen sonuçlar Çizelge 6.1'de gösterilmiştir. Ayrıca hazırlanan karışımlara ait çökmede yayılma değerleri Şekil 6.1'de, karışımların yayılma esnasında 500 mm çapa ulaşma sürelerini temsil eden T₅₀₀ süreleri ise Şekil 6.3'te EFNARC (2005)'te belirtilen sınır değerler ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 6.1. Çökmede yayılma deney sonuçları.

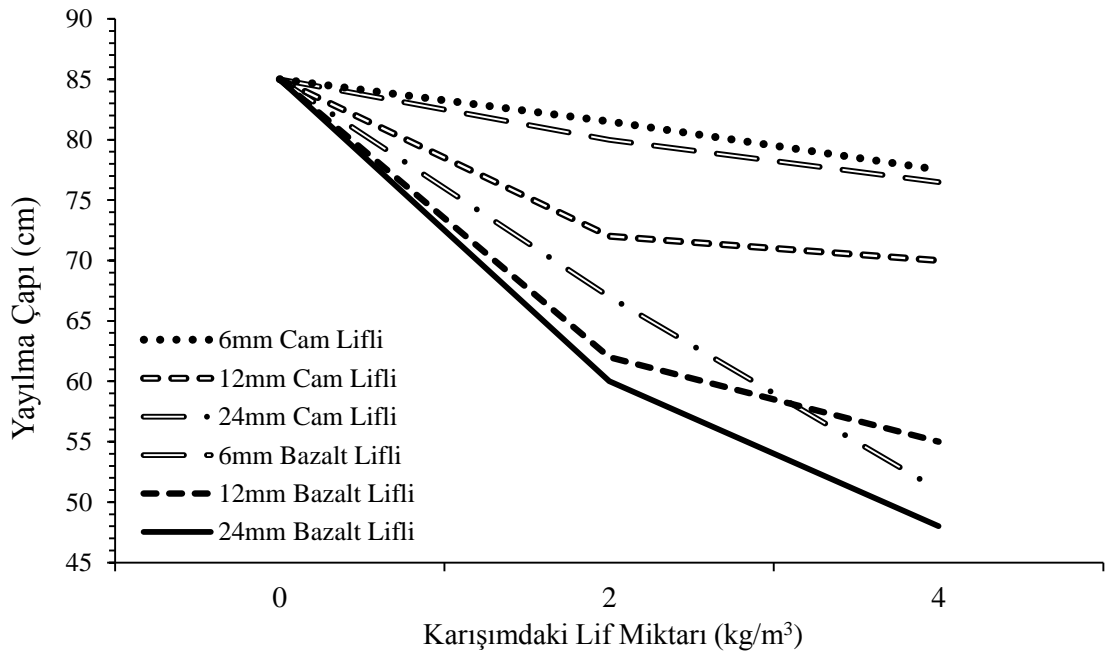
Karışım	Yayılma Çapı (cm)	T500 Süresi (s)	Karışım	Yayılma Çapı (cm)	T500 Süresi (s)
R	85	4	B06-2	80	6,5
C06-2	81,5	5,5	B06-4	76,5	8
C06-4	77,5	6	B12-2	62	16
C12-2	72	6,5	B12-4	55	44
C12-4	70	8	B24-2	60	32
C24-2	67	10,5	B24-4	48	-
C24-4	51	23			

Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1 incelendiğinde kullanılan lif miktarı arttıkça yayılma çaplarında azalma olduğu görülmektedir. Ayrıca aynı miktarda cam ve bazalt lif içeren karışımlardan bazalt lif içerenlerin daha düşük çökmede yayılma değerleri verdikleri tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular EFNARC (2005)'teki sınıflandırmalara göre yorumlanacak olursa, R, C06-2, C06-4, B06-2, B06-4 kodlu karışımlar SF3; C12-2, C12-4, C24-2 kodlu karışımlar SF2; B12-2, B12-4, B24-2 kodlu karışımlar ise SF1 sınıfına girmekte iken C24-4 ve B24-4 kodlu karışımlar EFNARC (2005)'te belirtilen sınıfların dışında kalmaktadır.



Şekil 6.1. Çökmede yayılma çapları.

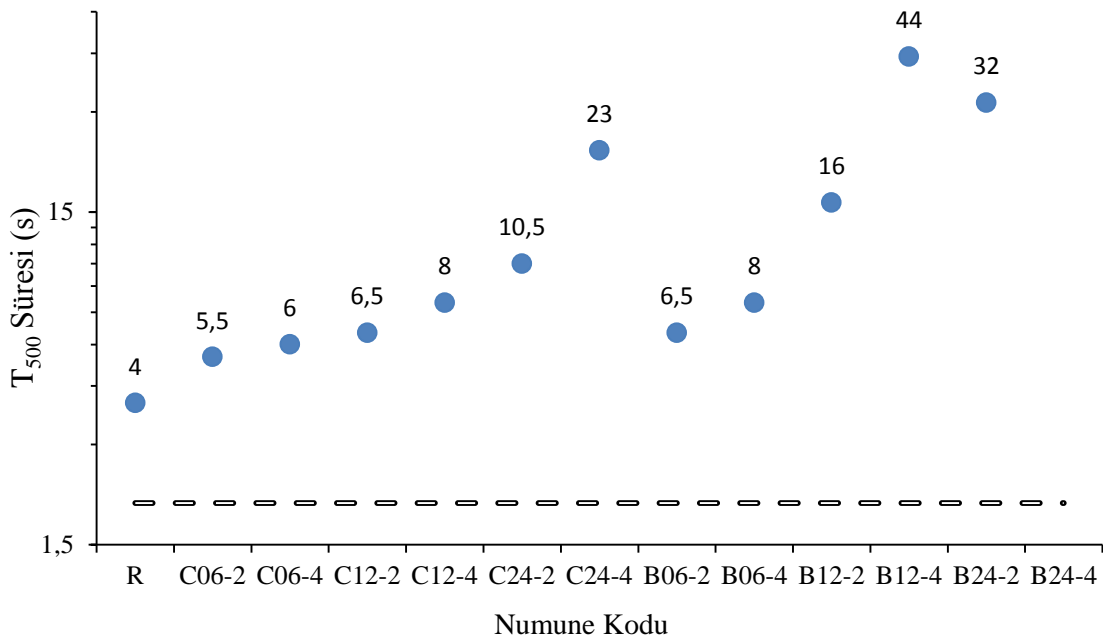
Şekil 6.2’de lif içeren tüm karışımların içerdikleri lif miktarına göre yayılma çaplarındaki değişim her lif türü ve lif boyu için ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde lif ilavesi ile yayılma çaplarındaki düşüşler açık olarak görülmekte olup en büyük düşüş 24 mm cam ve bazalt lif içeren karışımlar ile 12 mm bazalt lif içeren karışımdadır.



Şekil 6.2. Lif türüne göre çökmede yayılma çaplarının karşılaştırılması.

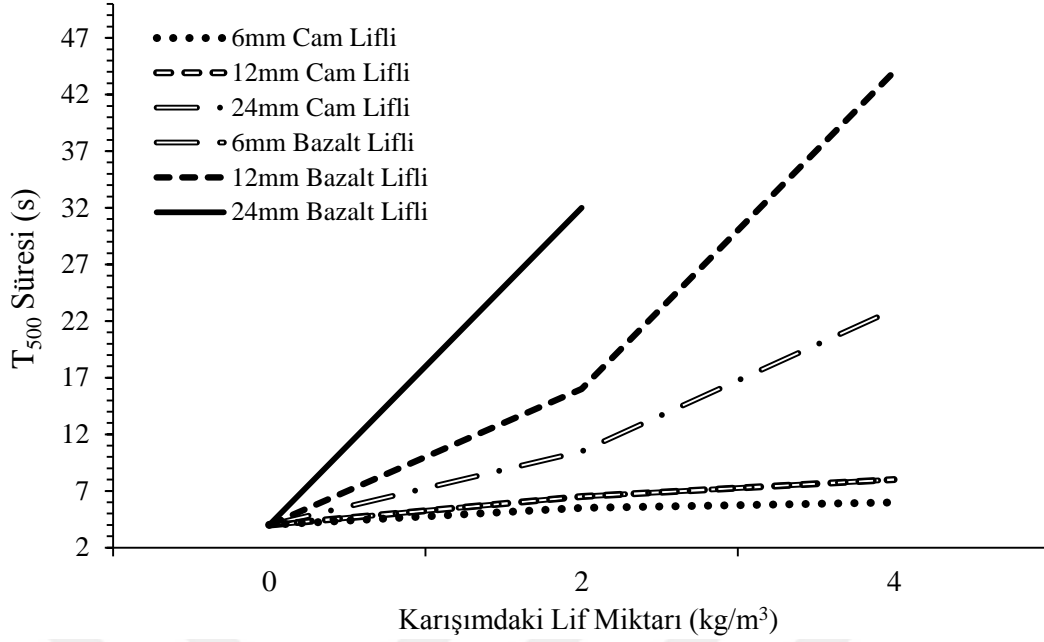
KYB'lerin viskozite ve akıcılık yetenekleri hakkında fikir veren T_{500} süresi deney sonuçları Çizelge 6.1'de gösterilmiştir. Ayrıca elde edilen deney sonuçları EFNARC (2005)'te belirtilen sınır değerler ile birlikte Şekil 6.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.1 ve Şekil 6.3 incelendiğinde kullanılan lif miktarı arttıkça T_{500} süresinin de arttığı ve betonlarda akışın yavaşladığı görülmektedir. Aynı miktar ve aynı boyda cam ve bazalt lif içeren karışımlar karşılaştırıldığında bazalt lif içeren karışımların T_{500} sürelerinin daha fazla olduğu görülmektedir. B24-4 karışımı çökmede yayılma deneyinde 48 cm yayılmış olup T_{500} süresi ölçülemezken diğer tüm karışımlar 2 s'den daha yüksek değerler verdikleri için EFNARC (2005)'e göre VS2 sınıfına dahil olmaktadır.



Şekil 6.3. Çökmede yayılma deneyi T_{500} süreleri.

Şekil 6.4'te lif içeren tüm karışımların içerdikleri lif miktarına göre T_{500} sürelerindeki değişim her lif türü ve lif boyu için ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi lif ilavesi ile T_{500} süresi belirgin bir şekilde artış göstermektedir. 24 mm uzunluğunda ve 4 kg/m^3 bazalt lif içeren karışım ise 50 cm yayılma çapına ulaşmadığı için bu karışımın 4 kg/m^3 lif içeriği için T_{500} süresi bulunamamış ve bu grafiğe dahil edilememiştir.



Şekil 6.4. Lif türüne göre T₅₀₀ sürelerinin karşılaştırılması.

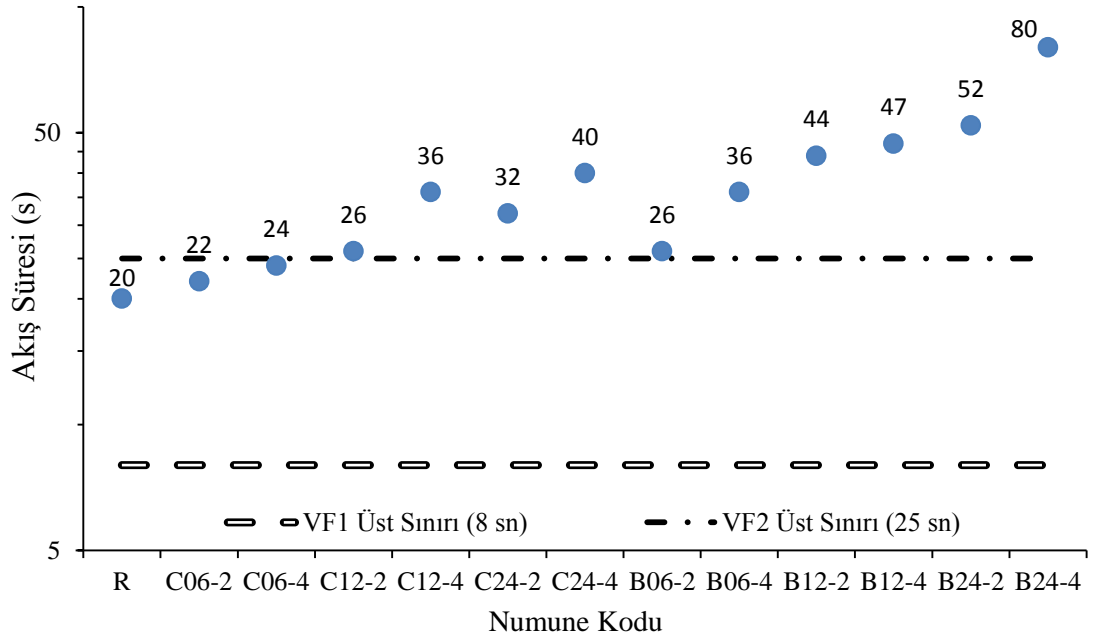
6.1.2 V Hunisi

KYB'lerin viskozite ve akıcılık yetenekleri hakkında bilgi veren V hunisi deney sonuçları Çizelge 6.2'de verilmiştir. Ayrıca elde edilen deney sonuçları EFNARC (2005)'te belirtilen sınır değerler ile birlikte Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. V hunisi deney sonuçları.

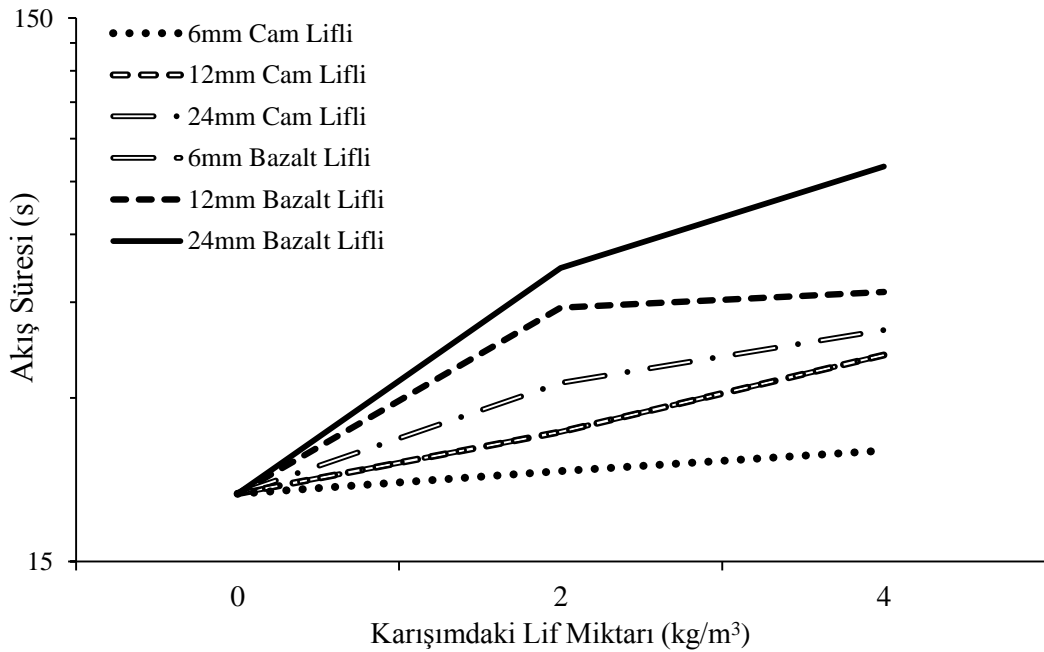
Karışım	Akış Süresi (s)	Karışım	Akış Süresi(s)
R	20	B06-2	26
C06-2	22	B06-4	36
C06-4	24	B12-2	44
C12-2	26	B12-4	47
C12-4	36	B24-2	52
C24-2	32	B24-4	80
C24-4	40		

Elde edilen deney sonuçları incelendiğinde R, C06-2 ve C06-4 kodlu karışımlar VF2 sınıfına girmekte diğer karışımlar EFNARC (2005)'in belirlediği sınırların dışında kalmaktadır. Lif miktarı arttıkça V hunisi akış süresi de artmakta iken aynı miktar ve aynı boyda cam ve bazalt lif içeren karışımlar karşılaştırıldığında cam lifi içeren karışımların huniden daha kısa sürede aktığı görülmektedir. Huniden akma süresi referans karışımda 20 s iken bu değer B24-4 karışımında 80 s'ye kadar yükselmiştir.



Şekil 6.5. V hunisi deney sonuçları.

Şekil 6.6'da lif içeren tüm karışımların içerdikleri lif miktarına göre V hunisi akış sürelerindeki değişim her lif türü ve lif boyu için ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde lif ilavesi ile akış süresinin arttığı net bir şekilde görülmekte iken en keskin artış 24 mm bazalt lif içeren karışımda görülmektedir.



Şekil 6.6. Lif türüne göre V hunisi deney sonuçlarının karşılaştırılması.

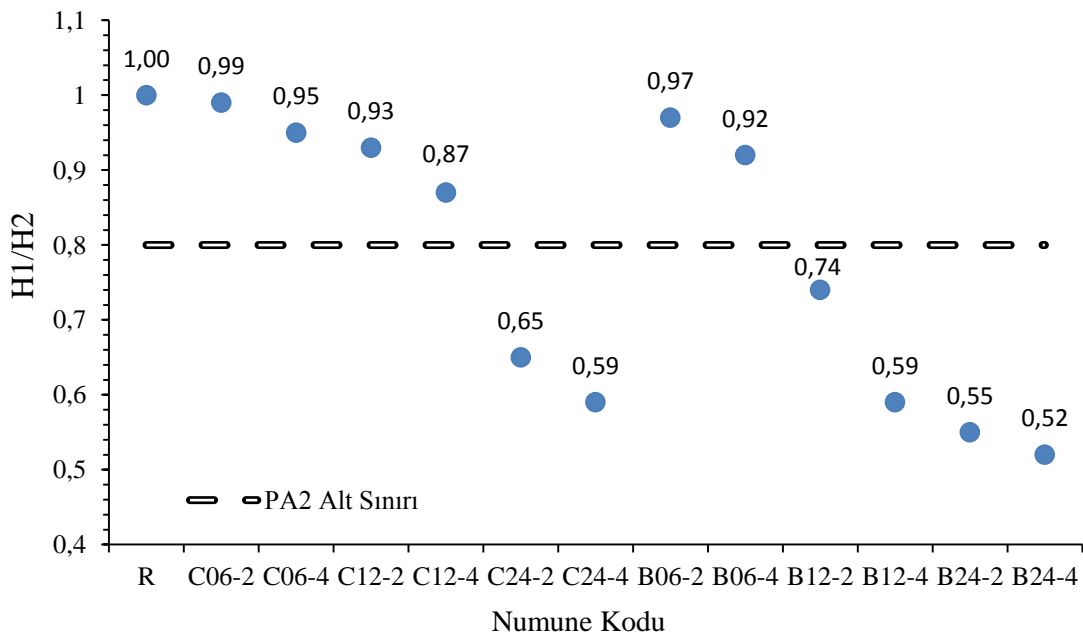
6.1.3 L Kutusu

KYB'lerin geçme yetenekleri hakkında bilgi veren L kutusu deney sonuçları Çizelge 6.3'te verilmiştir. Ayrıca elde edilen deney sonuçları EFNARC (2005)'te belirtilen sınır değerler ile birlikte Şekil 6.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. L kutusu deney sonuçları.

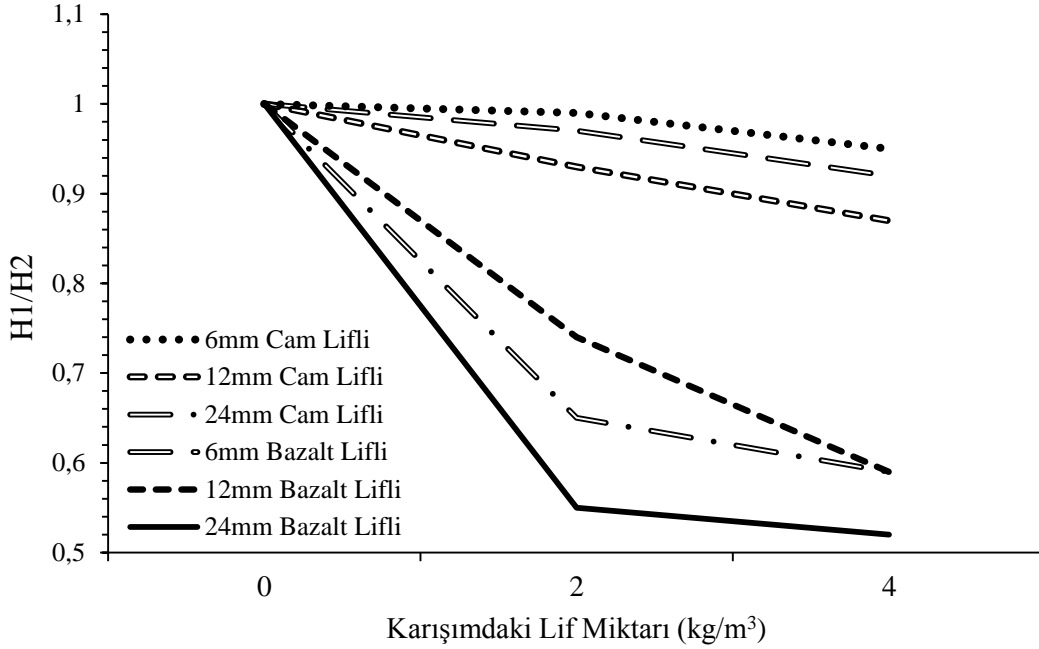
Karışım	H1/H2	Karışım	H1/H2
R	1	B06-2	0,97
C06-2	0,99	B06-4	0,92
C06-4	0,95	B12-2	0,74
C12-2	0,93	B12-4	0,59
C12-4	0,87	B24-2	0,55
C24-2	0,65	B24-4	0,52
C24-4	0,59		

Elde edilen deney sonuçları incelendiğinde referans karışımında H1/H2 oranının 1 olduğu ve lif miktarı arttıkça bu değer azaldığı görülmektedir. Aynı miktar ve aynı boyda cam ve bazalt lif içeren karışımlar karşılaştırıldığında cam lifi içeren karışımların geçiş yeteneklerinin daha iyi olduğu görülmektedir. Referans, C06-2, C06-4, C12-2, C12-4, B06-2 ve B06-4 karışımları EFNARC (2005)'e göre PA2 sınıfına girmekte iken diğer karışımlar EFNARC (2005) tarafından belirtilen değerlerin dışında yer almaktadır. Referans karışımında 1 olan H1/H2 değeri B24-4 karışımında 0,52'ye kadar düşmüştür.



Şekil 6.7. L kutusu deney sonuçları.

Şekil 6.8’de lif içeren tüm karışımların içerdikleri lif miktarına göre H1/H2 oranlarındaki değişim her lif türü ve lif boyu için ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde diğer işlenebilirlik deneylerine benzer şekilde 24 mm cam lif ile 12 ve 24 mm bazalt lifli karışımların en olumsuz sonuçları verdiği görülmektedir. Lif içermeyen referans karışımında “1” olan H1/H2 değeri 24 mm cam lif ile 12 ve 24 mm bazalt lifli KYB karışımlarında çok keskin düşüşler göstermiştir.



Şekil 6.8. Lif türüne göre L kutusu deney sonuçlarının karşılaştırılması.

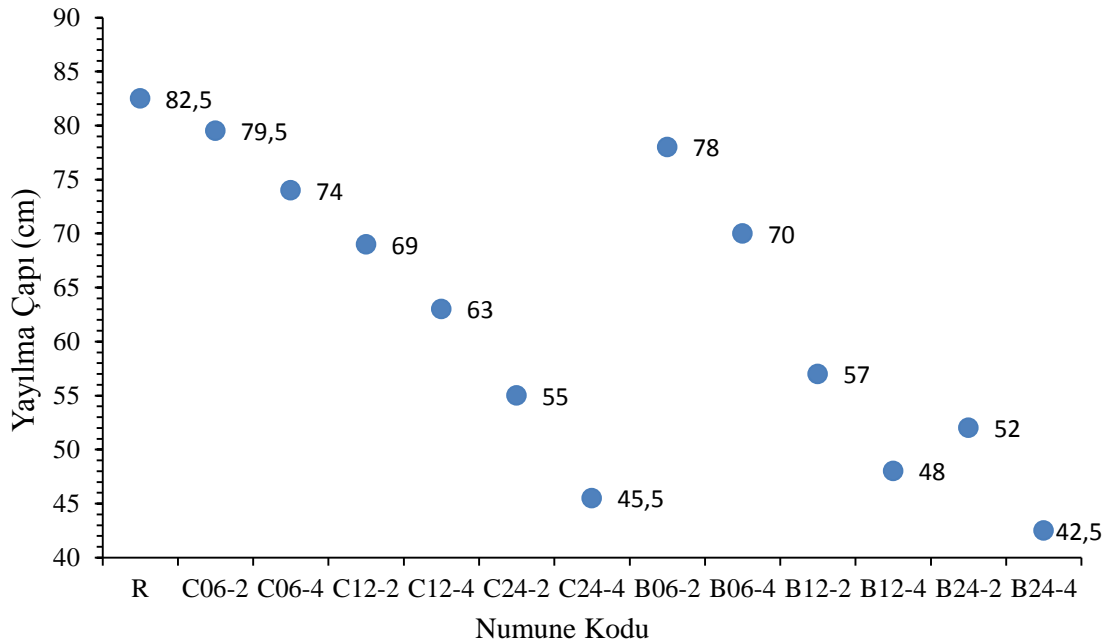
6.1.4 J Halkası

KYB'nin donatılar ve diğer engeller arasındaki dar açıklıklardan ayrışma ve tıkanma olmaksızın geçme yeterliliğinin belirlenmesi amacı ile yapılan J halkası deneyine ait yayılma çapları Çizelge 6.4 ile Şekil 6.9'da, T_{500} süreleri ise Çizelge 6.4 ve Şekil 6.11'de gösterilmiştir. J halkasındaki yayılma çapı deney sonuçları incelendiğinde lif miktarındaki artış ile çökmede yayılma deneyine benzer şekilde çaplarda azalmalar görülmektedir. Aynı miktar ve aynı boyda cam ve bazalt lif içeren karışımlar karşılaştırıldığında bazalt lif içeren karışımların yayılma çaplarının daha az olduğu tespit edilmiştir. C24-4, B12-4 ve B24-4 karışımları 50 cm'lik yayılma çapına ulaşamamıştır.

Çizelge 6.4. J halkası deney sonuçları.

Karışım	Yayılma Çapı (cm)	T500 Süresi (s)	Karışım	Yayılma Çapı (cm)	T500 Süresi (s)
R	82,5	5	B06-2	78	11,5
C06-2	79,5	6	B06-4	70	17
C06-4	74	7,5	B12-2	57	38
C12-2	69	7,5	B12-4	48	-
C12-4	63	9,5	B24-2	52	47
C24-2	55	15,5	B24-4	42,5	-
C24-4	45,5	-			

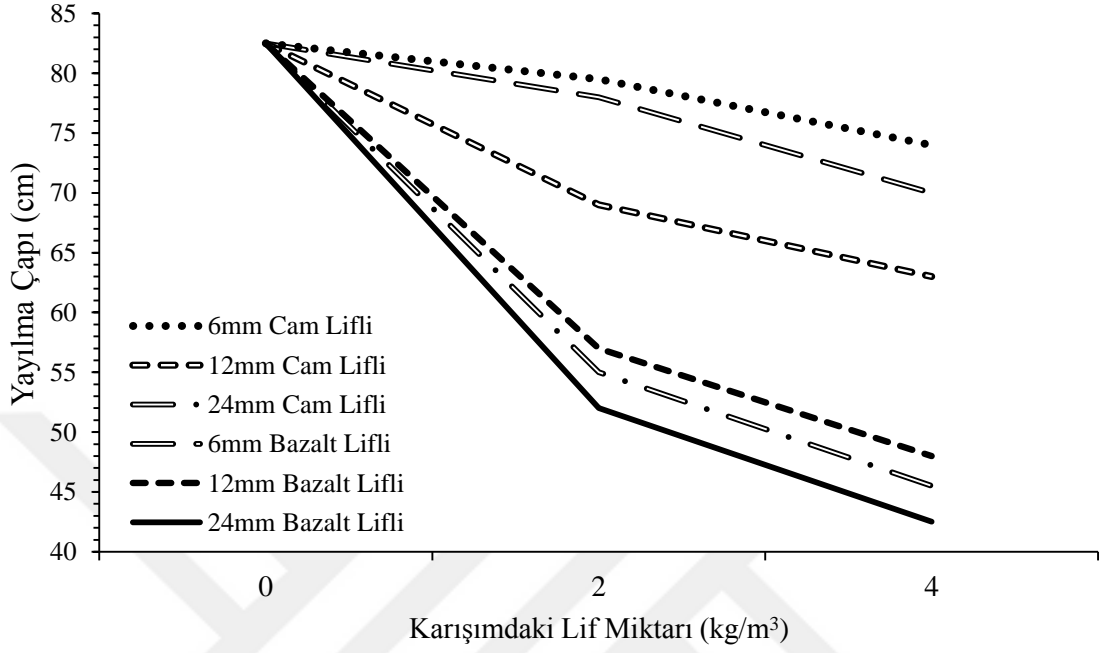
Çizelge 6.4 ve Şekil 6.11 incelendiğinde kullanılan lif miktarı arttıkça T₅₀₀ süresinin de arttığı görülmektedir. Aynı miktar ve aynı boyda cam ve bazalt lif içeren karışımlar karşılaştırıldığında bazalt lif içeren karışımların T₅₀₀ süresinin daha fazla olduğu görülmektedir. C24-4, B12-4 ve B24-4 karışımları 50 cm'lik yayılma çapına ulaşamadıkları için T₅₀₀ süresi ölçülemedi. Bu sonuçlar 24 mm boyunda ve metreküpde 4 kg cam lif içeren KYB'ler ile 12 ve 24 mm boylarında ve metreküpde 4 kg bazalt içeren KYB'lerde önemli düzeyde bloklanma riskinin görülebileceğini işaret etmektedir.



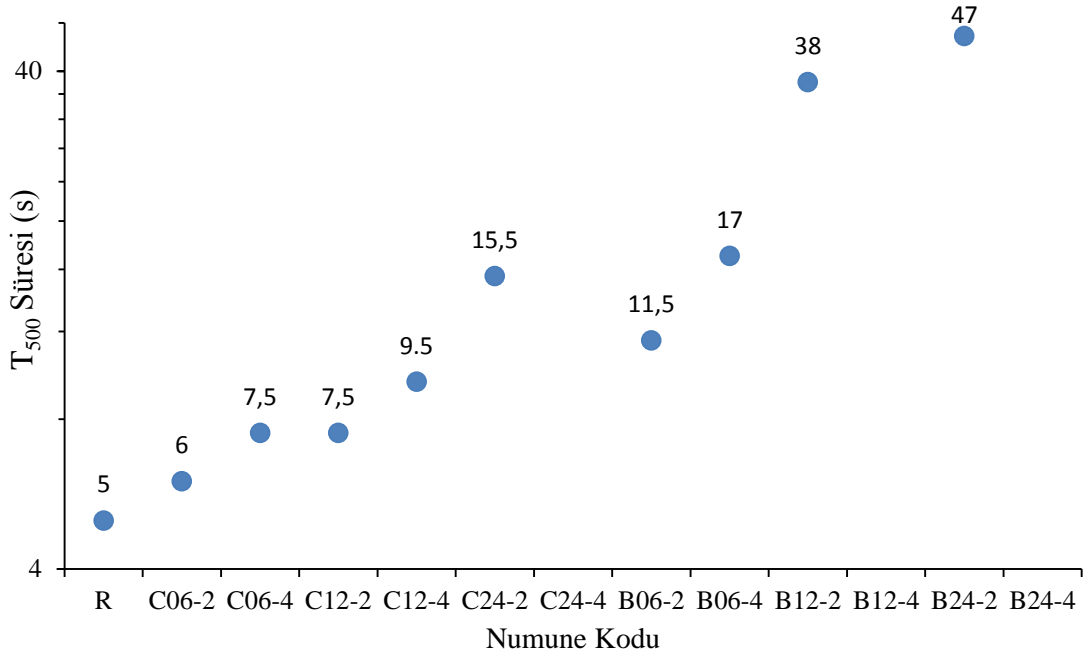
Şekil 6.9. J halkası yayılma çapları.

Şekil 6.10'da lif içeren tüm karışımların içerdikleri lif miktarına göre J halkası kullanılarak ölçülen yayılma çaplarındaki değişim her lif türü ve lif boyu için ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi çökmede yayılma deneyine benzer şekilde J halkası kullanılarak bulunan yayılma çapları da lif ilave miktarına ve lif boyuna bağlı

olarak düşüş göstermektedir. Yine çökmede yayılma deneyine benzer şekilde en net azalmalar 24 mm cam ve 12 mm ile 24 mm boylarında bazalt lif içeren karışımlarda gözlemlenmiştir.



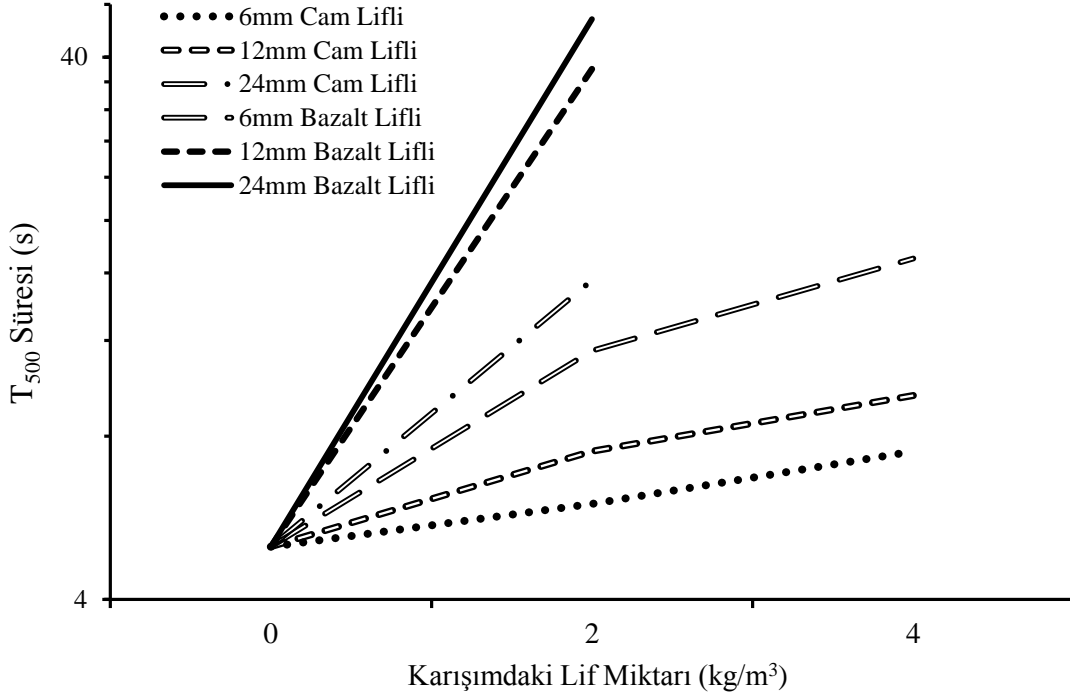
Şekil 6.10. Lif türüne göre J halkası yayılma çaplarının karşılaştırılması.



Şekil 6.11. J halkası deneyi T₅₀₀ süreleri.

Şekil 6.12'de lif içeren tüm karışımların içerdikleri lif miktarına göre J halkası kullanılarak tespit edilen T₅₀₀ sürelerindeki değişim her lif türü ve lif boyu için ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde lif ilavesi ile T₅₀₀ süresinin net bir şekilde arttığı

görülmekte olup elde edilen bulgular çökmede yayılma deneyinde tespit edilen T_{500} sürelerine benzer şekilde lif ilavesi ile akış hızının azaldığını göstermektedir. 24 mm cam lif içeren karışım ile 12 ve 24 mm bazalt lif içeren karışımlarda 4 kg/m^3 'lük lif miktarları için T_{500} süresi tespit edilememiş olup bu sonuç lif boyu ve miktarındaki artışın akış hızını önemli miktarda azalttığını net bir biçimde ortaya koymaktadır.



Şekil 6.12. Lif türüne göre J halkası deneyi T_{500} sürelerinin karşılaştırılması.

Çökmede yayılma ve J halkası deneylerinden elde edilen yayılma çapları ASTM C1621'de belirtilen ve aralıkları Çizelge 6.5'te verilen şekilde bloklanma riski bakımından yorumlanmış ve yorum sonuçları Çizelge 6.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 6.5. Bloklanmanın yorumlanması [93].

Çökme Yayılma Çapı ile J Halkası Yayılma Çapı Arasındaki Fark	Bloklanma Durumu Hakkındaki Yorum
0,0 – 2,5 cm	Görünür bloklanma riski yok
2,5 – 5,0 cm	Fark edilen çok az bloklanma
5 cm <	Fark edilen aşırı bloklanma

Çizelge 6.6. Karışımların bloklanma risklerinin yorumlanması.

Karışım	(A) Çökmede Yayılma Çapı (cm)	(B) J Halkası Yayılma Çapı (cm)	A-B (cm)	Yorum
R	85	82,5	2,5	Risk yok
C06-2	81,5	79,5	2,0	Risk yok
C06-4	77,5	74	3,5	Risk az
C12-2	72	69	3,0	Risk az
C12-4	70	63	7,0	Risk çok fazla
C24-2	67	55	12,0	Risk çok fazla
C24-4	51	45,5	5,5	Risk çok fazla
B06-2	80	78	2,0	Risk yok
B06-4	76,5	70	6,5	Risk çok fazla
B12-2	62	57	5	Risk az
B12-4	55	48	7	Risk çok fazla
B24-2	60	52	8	Risk çok fazla
B24-4	48	42,5	5,5	Risk çok fazla

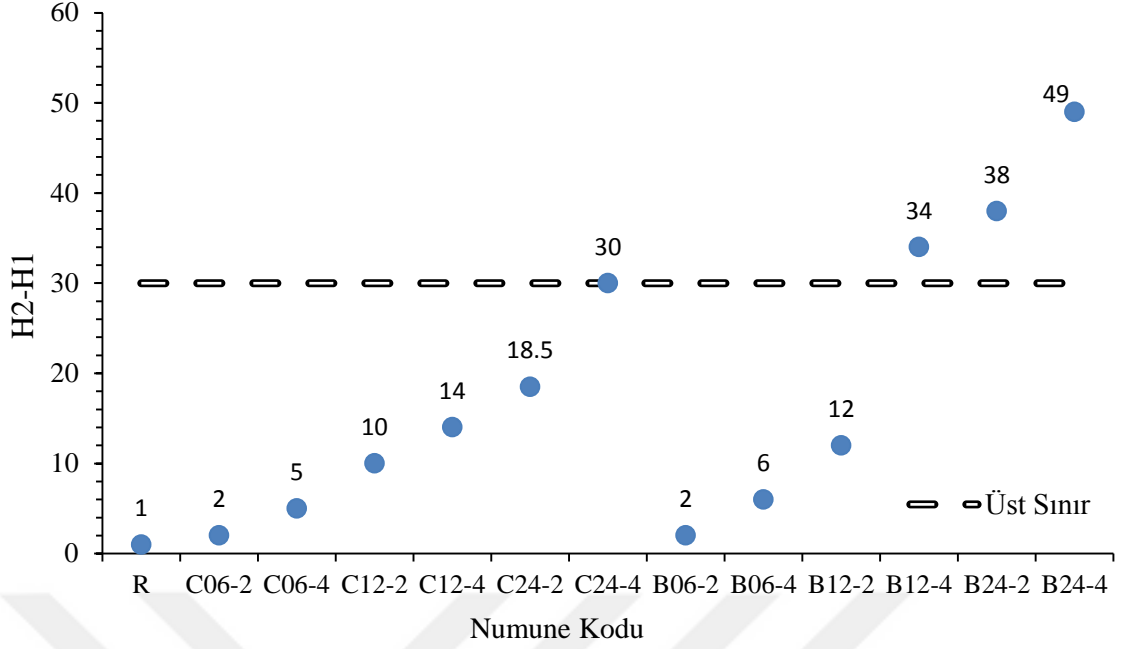
6.1.5 U Kutusu

KYB'lerin geçme yetenekleri hakkında bilgi veren U kutusu deney sonuçları Çizelge 6.7'de verilmiştir. Ayrıca elde edilen deney sonuçları EFNARC (2002)'de belirtilen sınır değerler ile birlikte Şekil 6.13'te gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. U kutusu deney sonuçları.

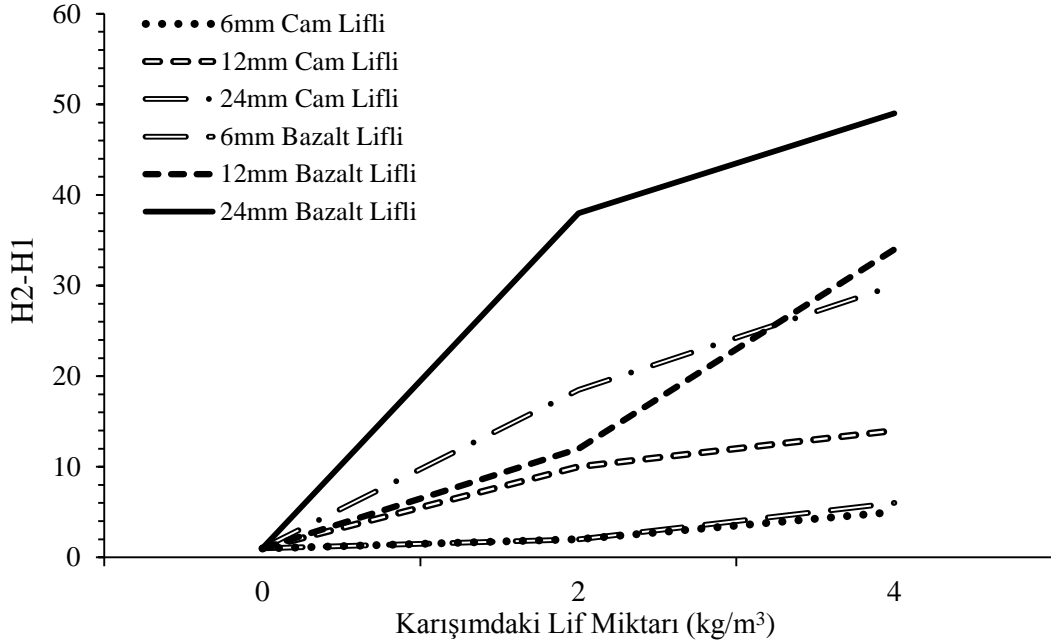
Karışım	H1-H2 (mm)	Karışım	H1-H2(mm)
R	1	B06-2	2
C06-2	2	B06-4	6
C06-4	5	B12-2	12
C12-2	10	B12-4	34
C12-4	14	B24-2	38
C24-2	18,5	B24-4	49
C24-4	30		

Deney sonuçları incelendiğinde referans karışımda kutunun iki bölmesindeki beton seviyelerinin eşit olduğu ancak lif ilavesi ile iki bölme arasında seviye farkları oluştuğu, lif miktarındaki artış ile birlikte ise bu değerlerin B24-4 karışımında 49 mm'ye kadar çıktığı görülmektedir. Bulgular EFNARC (2002) dikkate alınarak incelendiğinde B12-4, B24-2 ve B24-4 kodlu karışımların üst sınır olan 30 mm'yi aştığı diğer tüm karışımların ise kabul edilebilir sınır olan 30 mm'nin altında olduğu görülmektedir.



Şekil 6.13. U kutusu deney sonuçları.

Şekil 6.14'te lif içeren tüm karışımların içerdikleri lif miktarına göre H2-H1 değerlerindeki değişim her lif türü ve lif boyu için ayrı ayrı gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde L kutusu deneyine benzer şekilde 24 mm cam lif içeren karışım ile 12 ve 24 mm bazalt lif içeren karışımlar 4 kg/m³ lif miktarlarında en olumsuz sonuçları vermiştir.

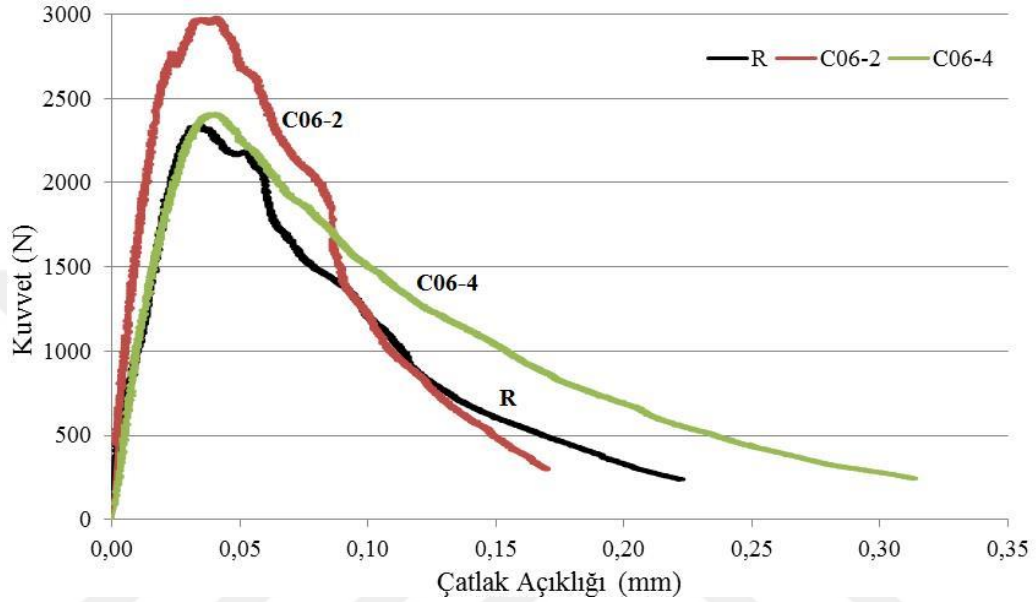


Şekil 6.14. Lif türüne göre U kutusu deney sonuçlarının karşılaştırılması.

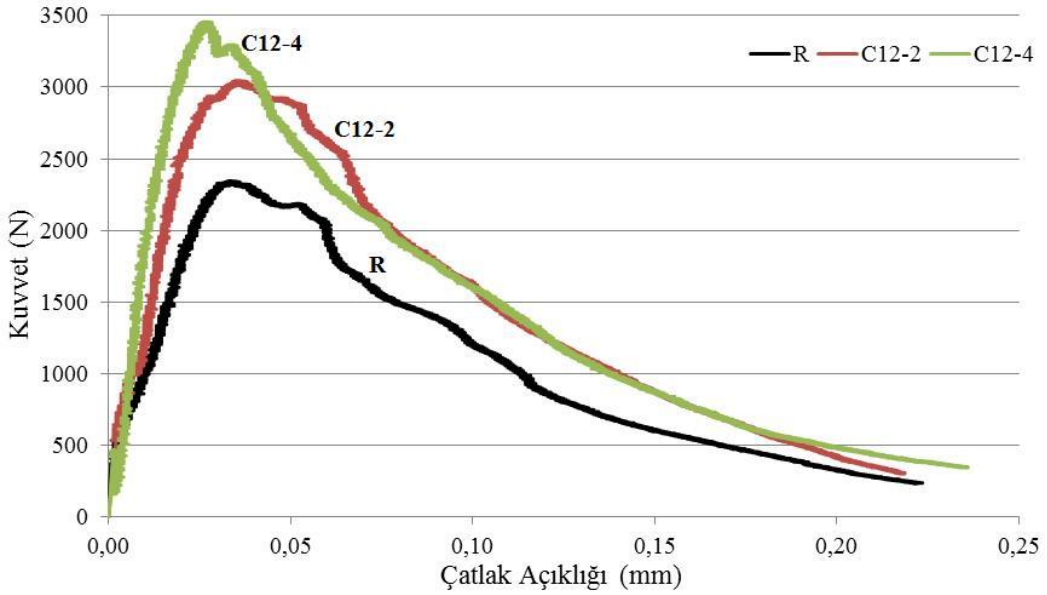
6.2 SERTLEŞMİŞ BETON DENEY SONUÇLARI

6.2.1 Kırılma Enerjisi

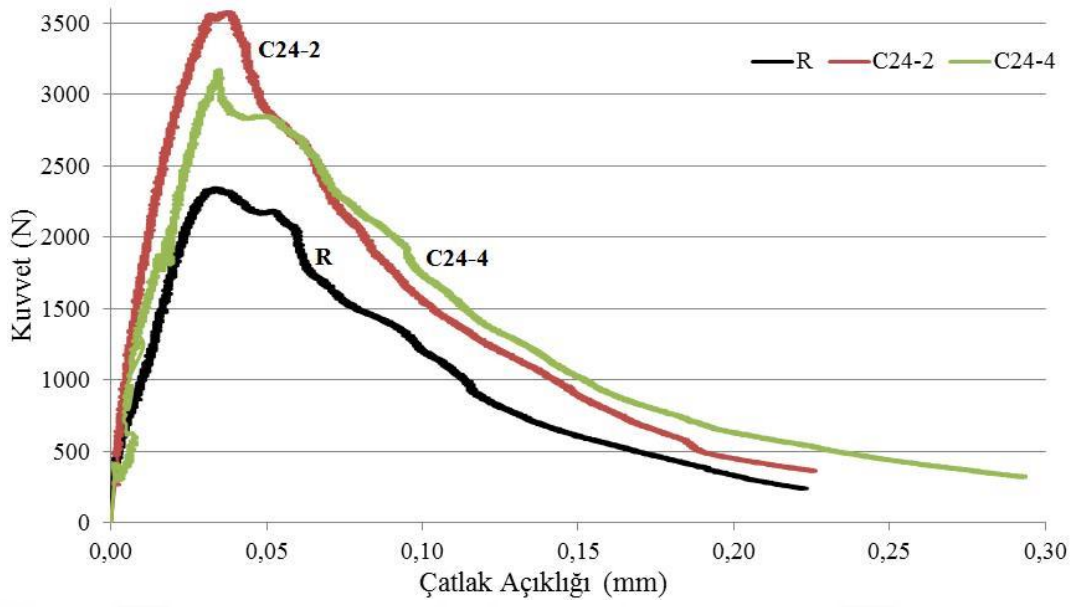
Üretilen çentikli kiriş numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen verilere göre kuvvet ve çatlak açıklığı ilişkisini gösteren grafikler Şekil 6.15, Şekil 6.16, Şekil 6.17, Şekil 6.18, Şekil 6.19 ve Şekil 6.20’de verilmiştir.



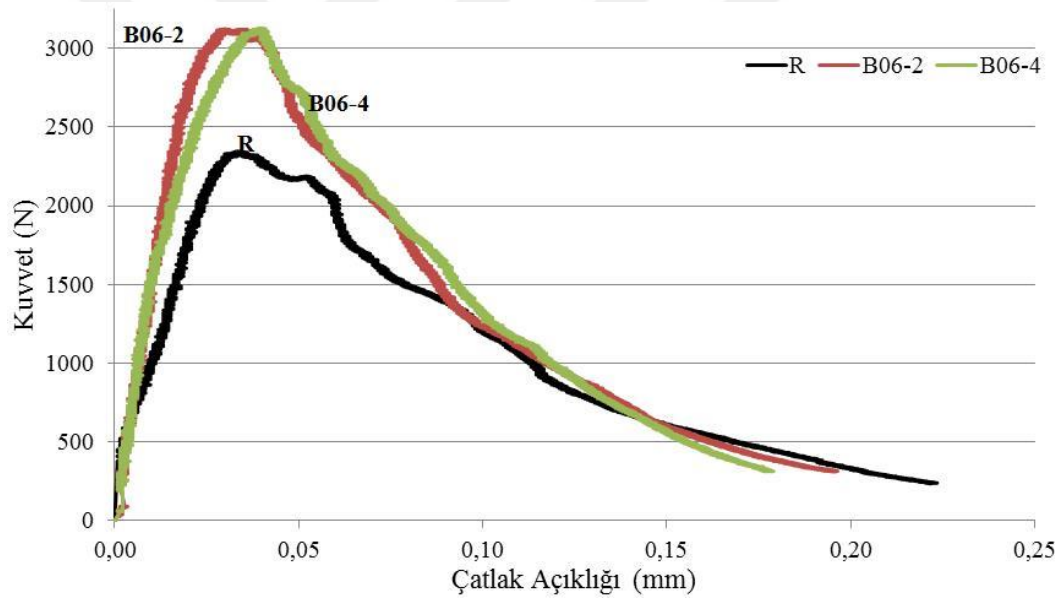
Şekil 6.15. 6 mm cam lif içeren KYB'lerin kuvvet-çatlak açıklığı grafiği.



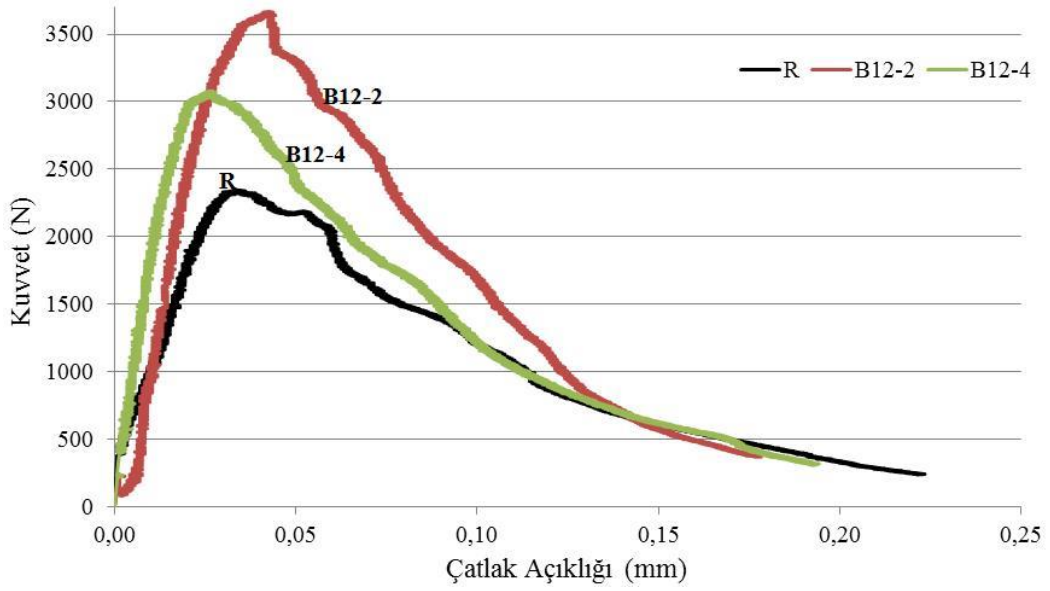
Şekil 6.16. 12 mm cam lif içeren KYB'lerin kuvvet-çatlak açıklığı grafiği.



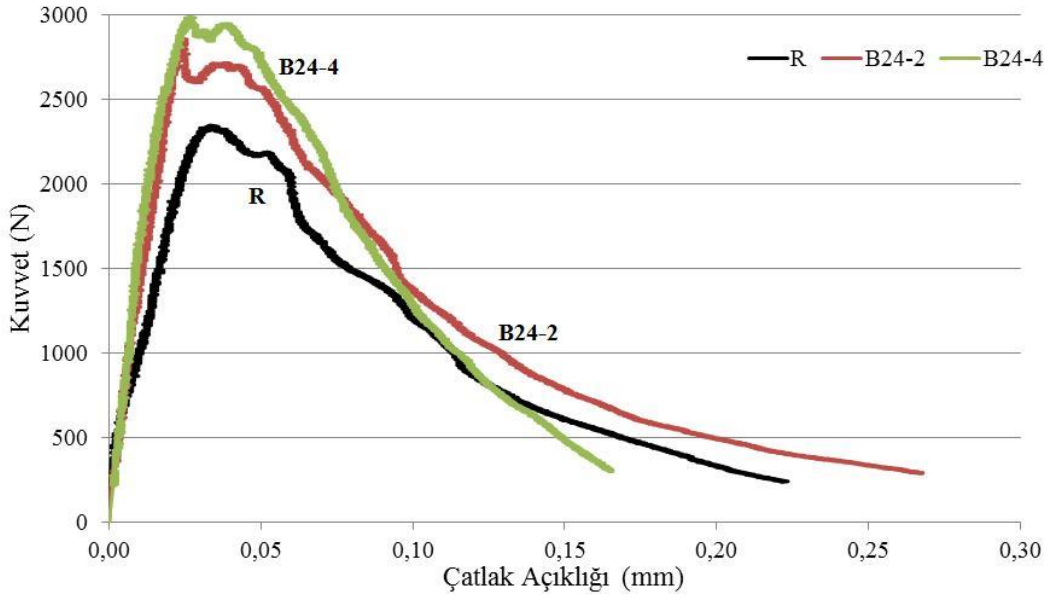
Şekil 6.17. 24 mm cam lif içeren KYB'lerin kuvvet-çatlak açıklığı grafiği.



Şekil 6.18. 6 mm bazalt lif içeren KYB'lerin kuvvet-çatlak açıklığı grafiği.

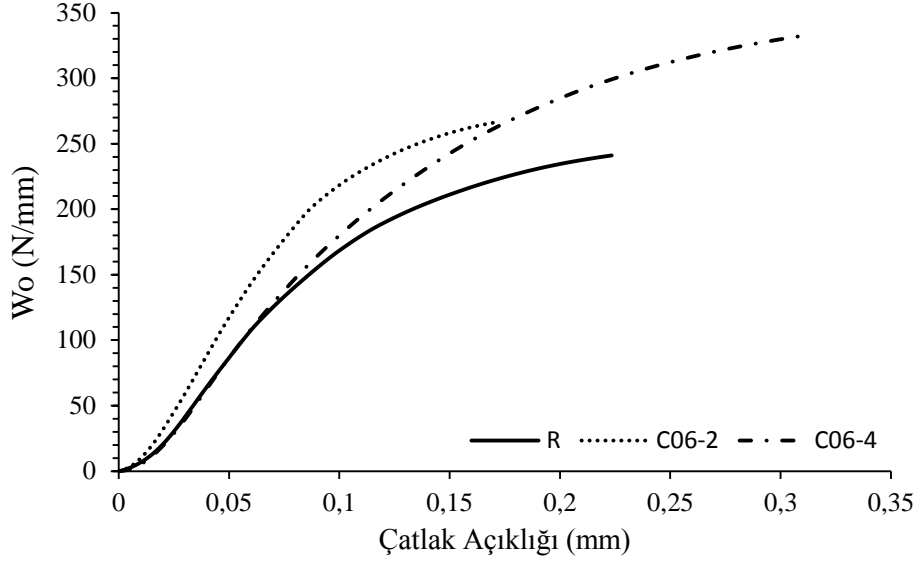


Şekil 6.19. 12 mm bazalt lif içeren KYB'lerin kuvvet-çatlak açıklığı grafiği.

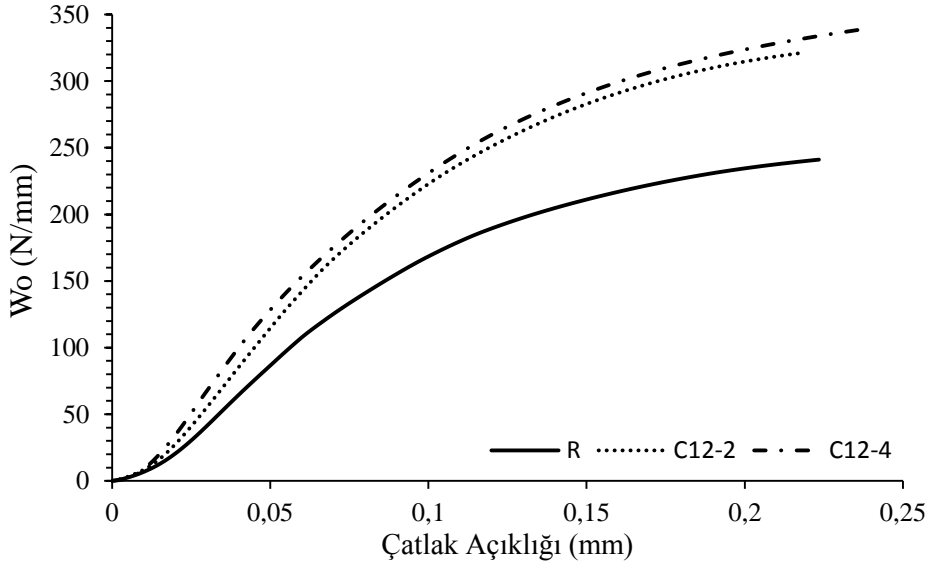


Şekil 6.20. 24 mm bazalt lif içeren KYB'lerin kuvvet-çatlak açıklığı grafiği.

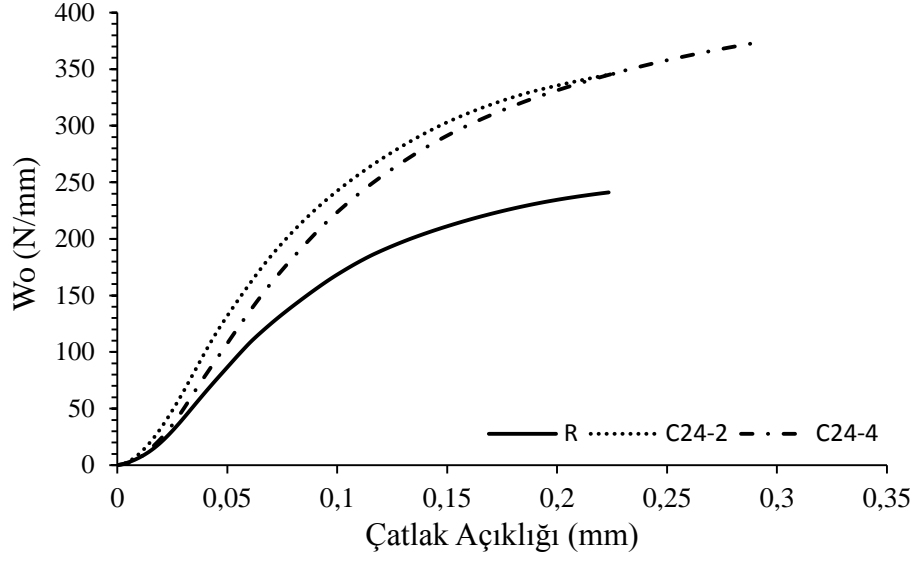
Kuvvet-çatlak açıklığı değişimi grafiklerinin altında kalan W_o alanı Denklem 6.1 yardımı ile elde edilmiştir. Yığışımli olarak elde edilen W_o değerleri ile çatlak açıklığı değişimi grafikleri Şekil 6.21, Şekil 6.22, Şekil 6.23, Şekil 6.24, Şekil 6.25 ve Şekil 6.26'da görülmektedir.



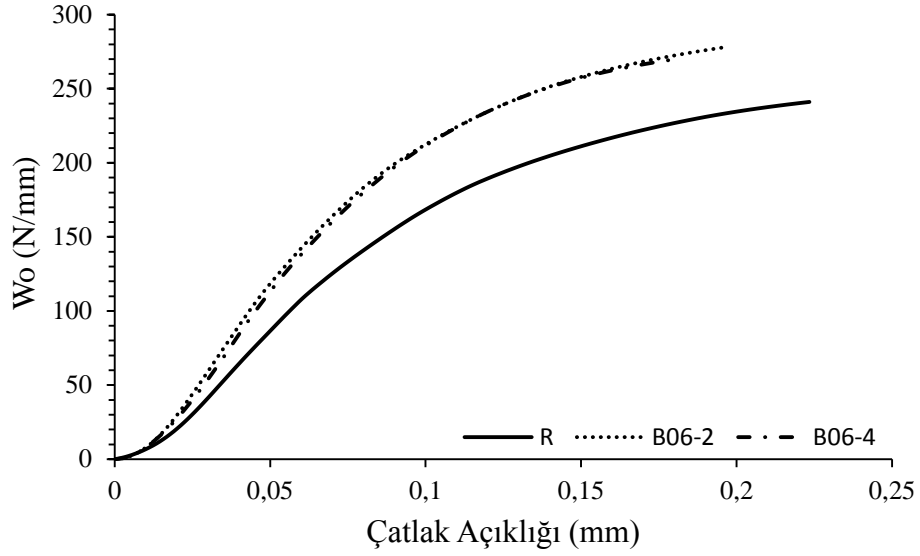
Şekil 6.21. 6mm boyunda cam lif içeren karışımların W_o -çatlak açıklığı grafiği.



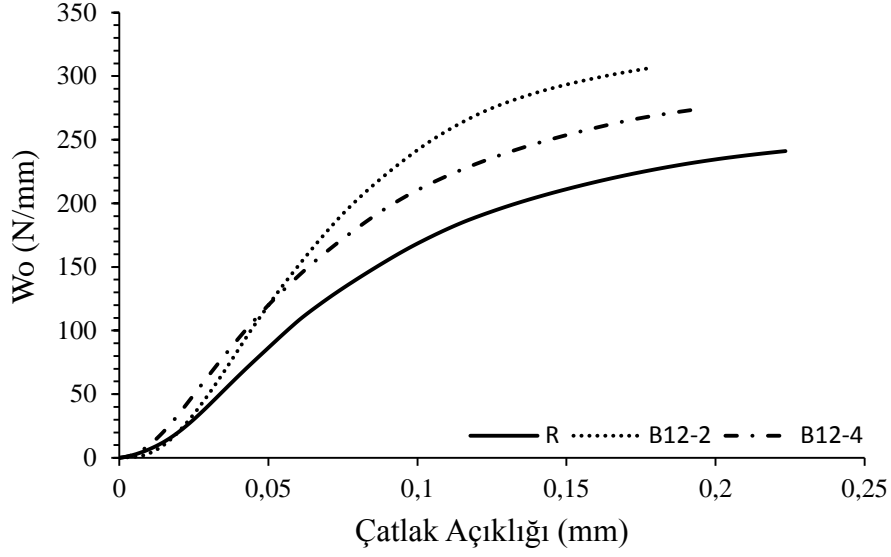
Şekil 6.22. 12mm boyunda cam lif içeren karışımların W_o -çatlak açıklığı grafiği.



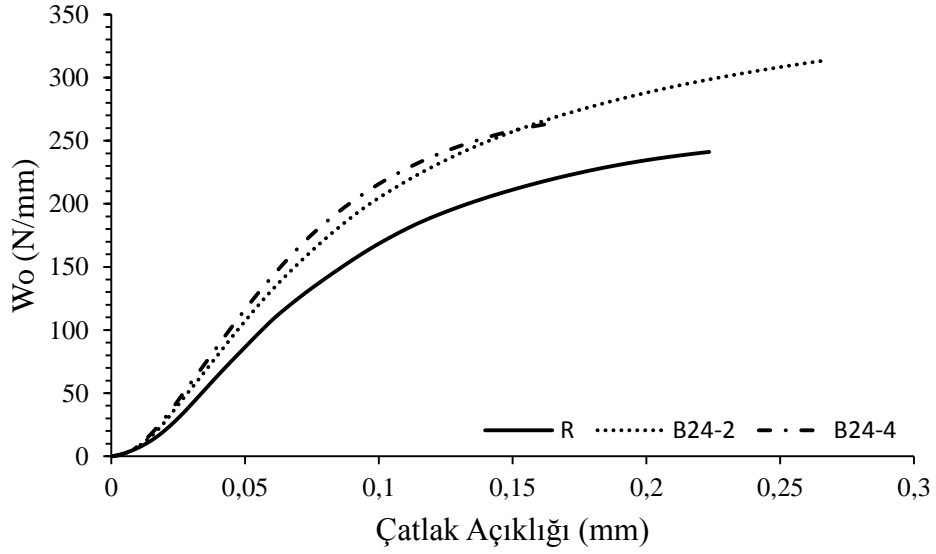
Şekil 6.23. 24mm boyunda cam lif içeren karışımların W_o -çatlak açıklığı grafiği.



Şekil 6.24. 6mm boyunda bazalt lif içeren karışımların W_o -çatlak açıklığı grafiği.

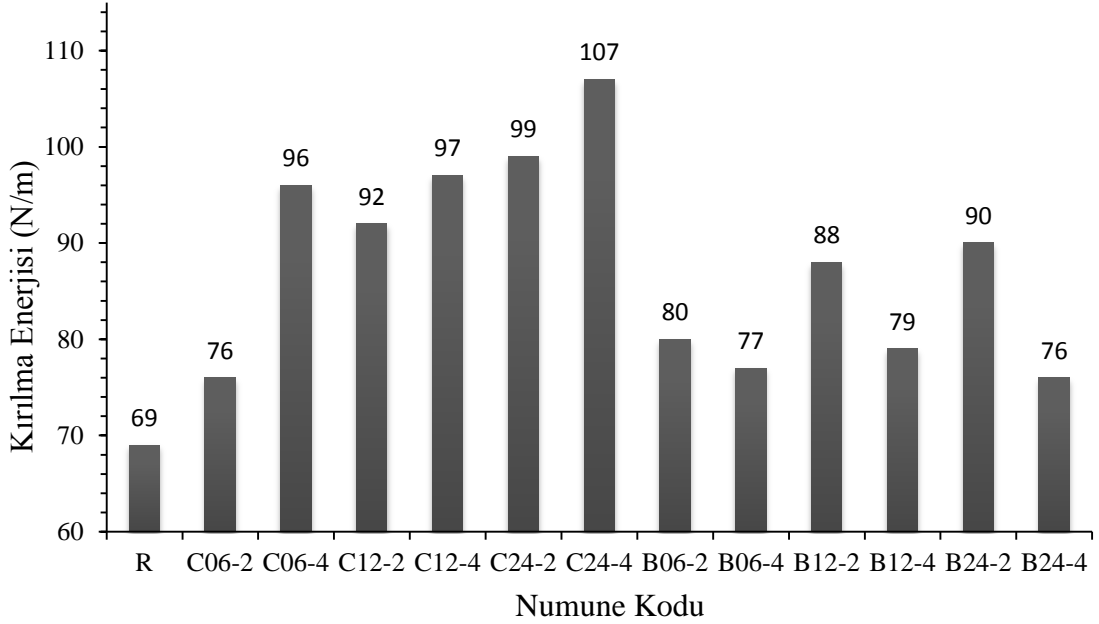


Şekil 6.25. 12mm boyunda bazalt lif içeren karışımların W_o -çatlak açıklığı grafiği.



Şekil 6.26. 24mm boyunda bazalt lif içeren karışımların W_o -çatlak açıklığı grafiği.

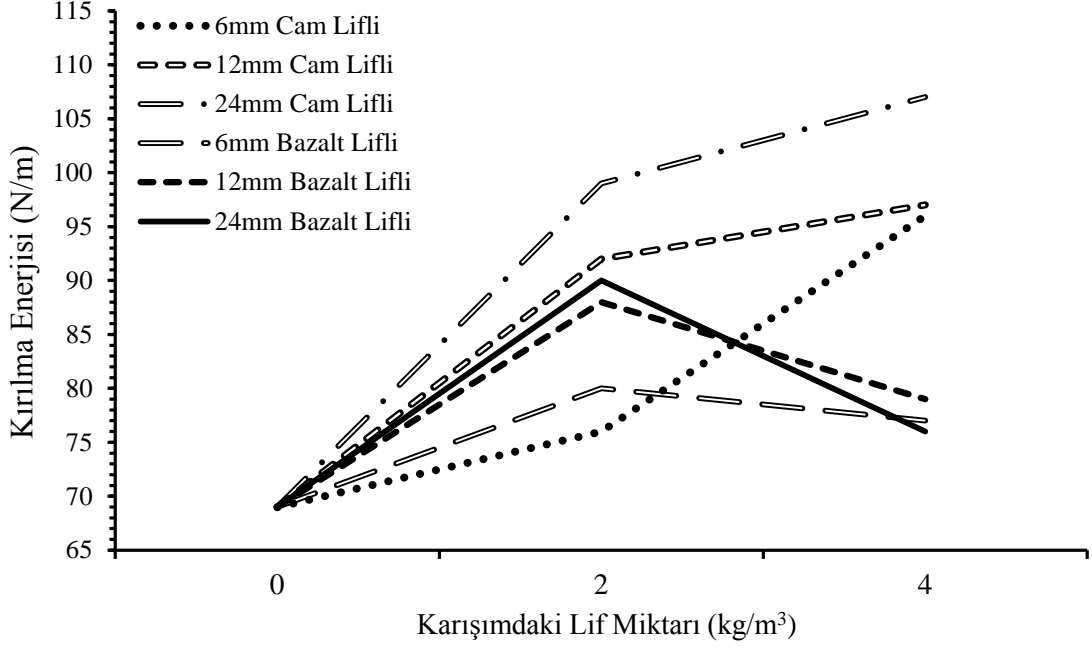
Oluşturulan bu grafikler yardımıyla kırılma enerjisi değerleri hesaplanmış ve Şekil 6.27'de verilmiştir.



Şekil 6.27. Kırılma enerjisi deney sonuçları.

Şekil 6.27’de görülen kırılma enerjisine ait bulgulara göre en yüksek kırılma enerjisi 107 N/m ile 24 mm boyunda ve metreküpte 4 kg cam lif içeren karışımda elde edilmiştir. Bunun yanı sıra lif kullanılan tüm numunelerde referans numuneden daha yüksek kırılma enerjileri elde edildiği ve lif katkısının tokluğu arttırdığı görülmektedir.

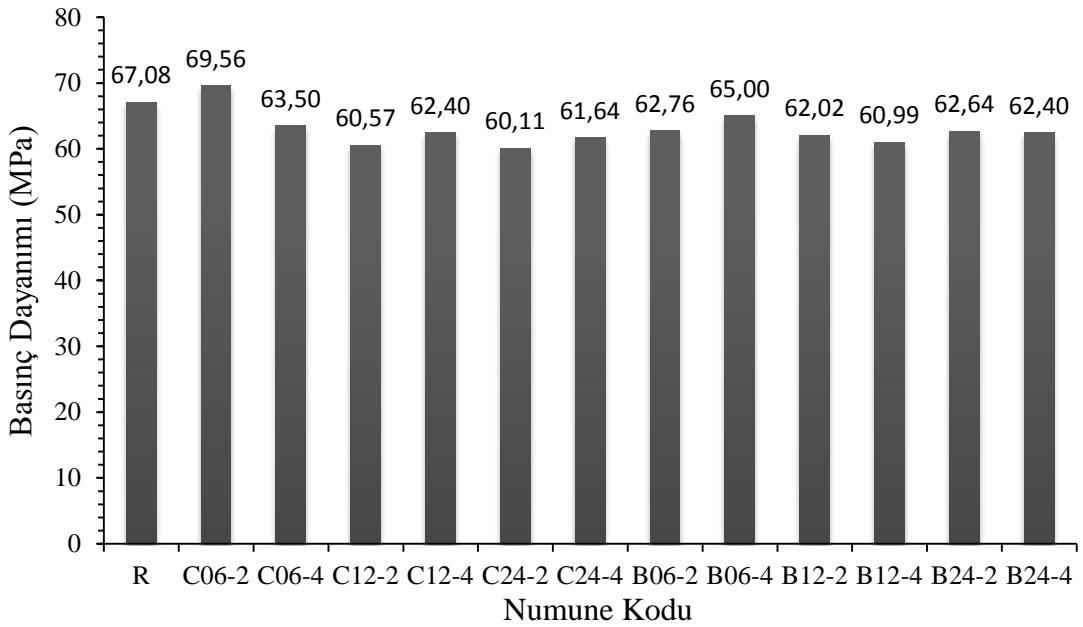
Lif içeren tüm karışımların içerdikleri lif miktarına göre kırılma enerjisi değerlerindeki değişim her lif türü ve lif boyu için ayrı olarak Şekil 6.28’de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde aynı boyda cam lif içeren numunelerde lif miktarı arttıkça kırılma enerjisinin artmakta olduğu, bazalt lifli numunelerde ise lif miktarındaki artışın kırılma enerjisi değerini azalttığı görülmektedir. C06-2 ve B06-2 numuneleri dışında, aynı miktar ve boyda lif içeren numunelerden cam lifli numuneler bazalt lifli numunelerden daha yüksek kırılma enerjisi değerlerine ulaşmıştır.



Şekil 6.28. Lif türüne göre kırılma enerjilerinin karşılaştırılması.

6.2.2 Basınç Dayanımı

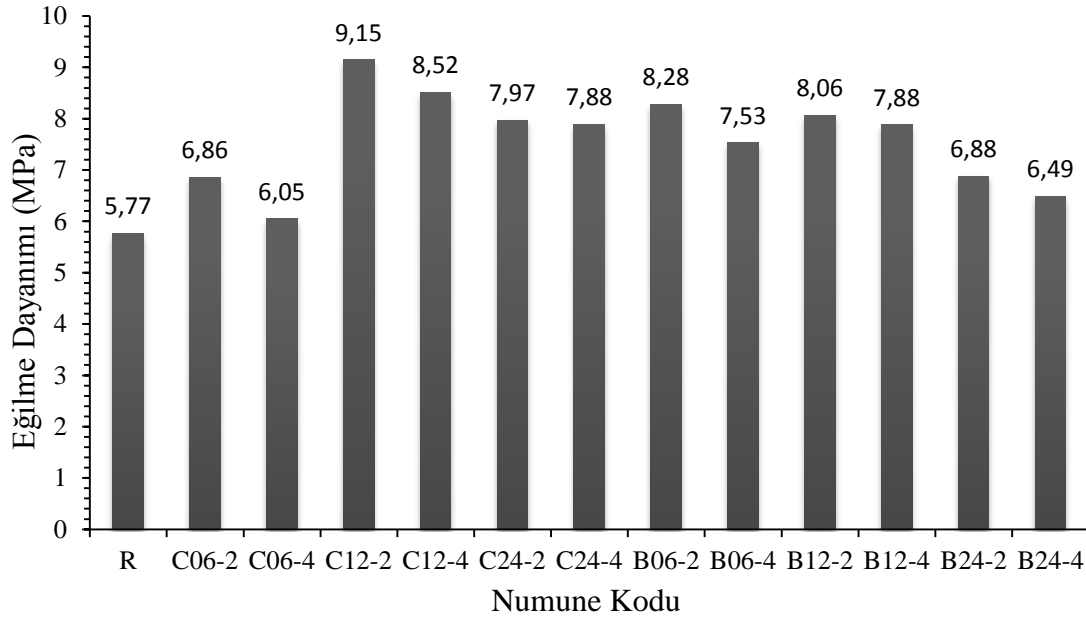
Karışımlara ait 28 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 6.29’da verilmiştir. Numunelerin basınç dayanımları incelendiğinde referans karışımın C06-2 karışımı dışındaki tüm karışımlardan daha yüksek basınç dayanımı değerine ulaştığı görülmektedir. Ancak elde edilen bulgular bir bütün olarak incelendiğinde lif miktarı ve boyunun basınç dayanımı ile anlamlı bir ilişki içerisinde olmadığı görülmektedir.



Şekil 6.29. 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları.

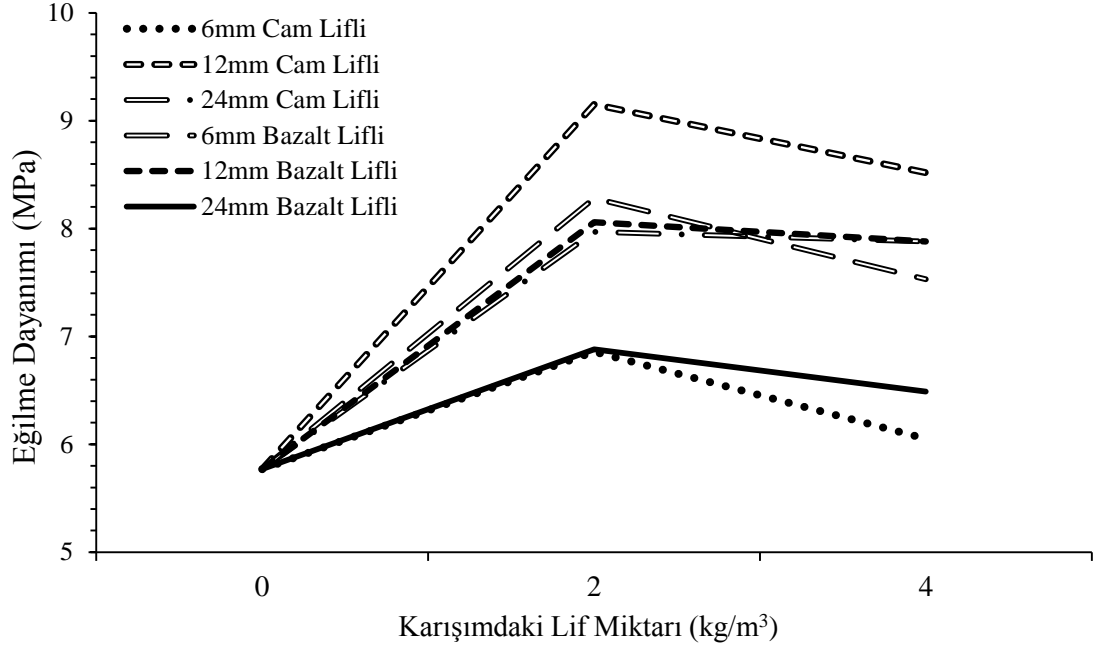
6.2.3 Eğilme Dayanımı

Karışımlara ait 28 günlük eğilme dayanımı değerleri Şekil 6.30'da verilmiştir. Elde edilen eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde lif içeren tüm karışımlarda referanstan daha yüksek eğilme dayanımlarına ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 6.30. 28 günlük eğilme dayanımı deney sonuçları.

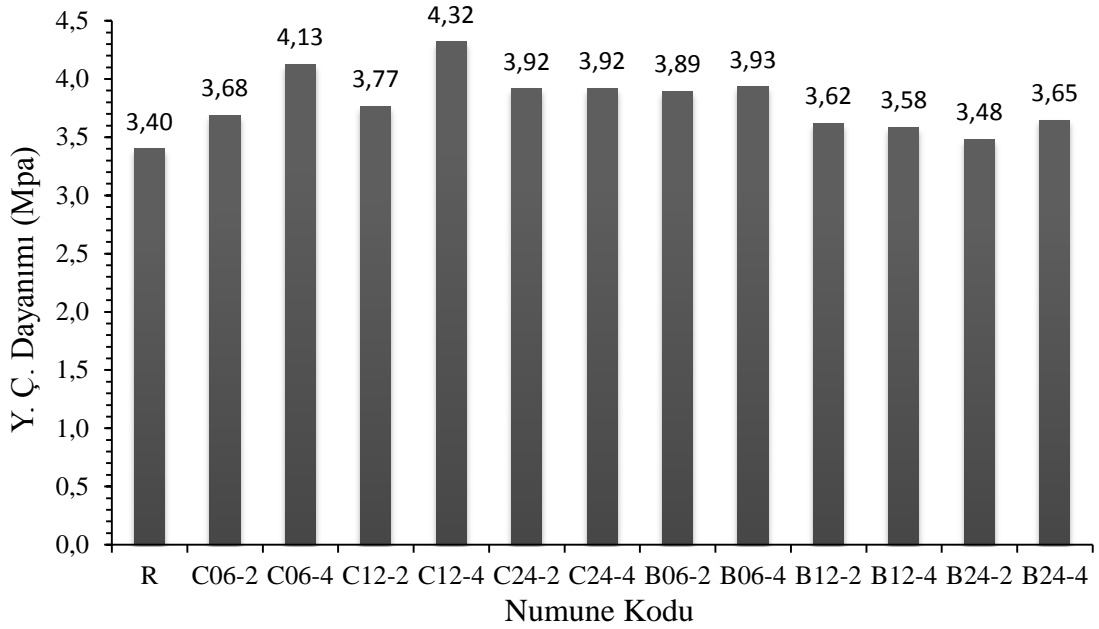
Şekil 6.31'de lif içeren tüm karışımların içerdikleri lif miktarına göre eğilme dayanımlarındaki değişim her lif türü ve lif boyu için ayrı ayrı gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm lif boylarında lif miktarının metreküpte 2 kg'dan 4 kg'a çıkmasının eğilme dayanımı değerlerini azalttığı görülmektedir. Hem 2 hem de 4 kg'lık lif ilavelerinde en yüksek dayanım değerleri ise 2 kg/m³ için 9,15 MPa ve 4 kg/m³ için 8,52 MPa ile 12 mm uzunluğunda cam lifi içeren numunelerde görülmektedir.



Şekil 6.31. Lif türüne göre eğilme dayanımı deney sonuçlarının karşılaştırılması.

6.2.4 Yarmada Çekme Dayanımı

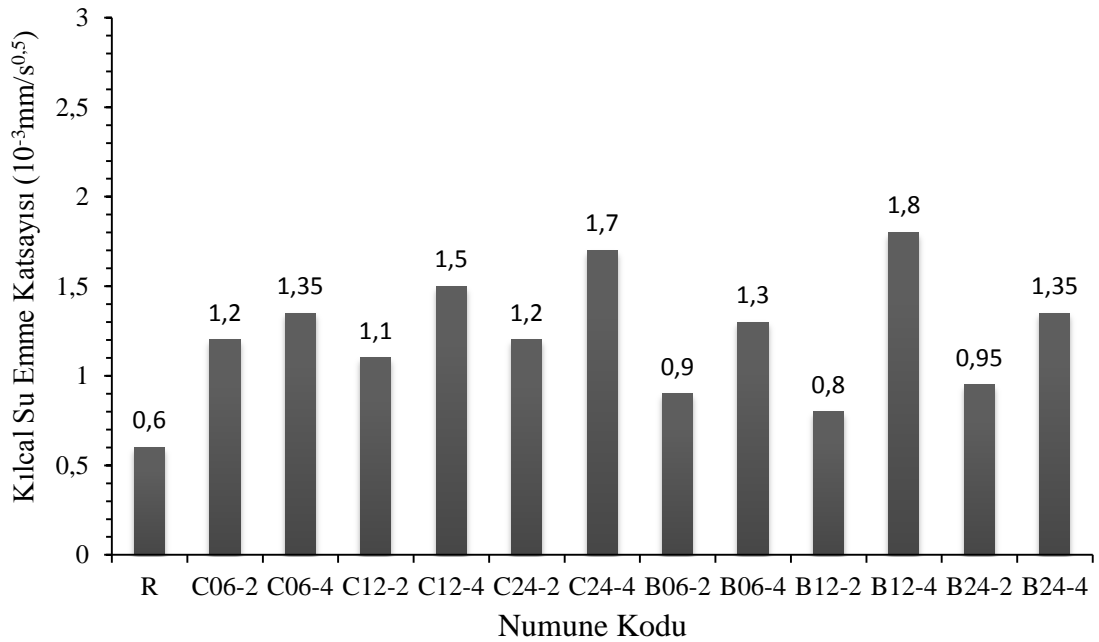
Karışımlara ait 28 günlük yarmada çekme dayanımı değerleri Şekil 6.32’de görülmektedir. Grafik incelendiğinde lif içeren karışımların tamamının referans karışımdan daha yüksek yarmada çekme dayanımı değerine ulaştığı görülmektedir. En yüksek yarmada çekme dayanımı 4,32 MPa ile 12 mm uzunluğunda ve 4 kg/m³ miktarında cam lif içeren KYB karışımına aittir. Ancak lif miktarı ve boylarının yarmada çekme dayanımına etkisi düşünüldüğünde yalnızca 6 mm ve 12 mm cam lif içeren karışımlarda lif miktarının artması ile yarmada çekme dayanımının arttığı belirgin bir şekilde görülmektedir. Yarmada çekme dayanımı ile karışımdaki liflerin parametrik değişimi arasında da anlamlı bir ilişki kurulmasının zor olduğu yine grafikten çıkarılabilecek bir sonuçtur.



Şekil 6.32. 28 günlük yarmada çekme dayanımı deney sonuçları.

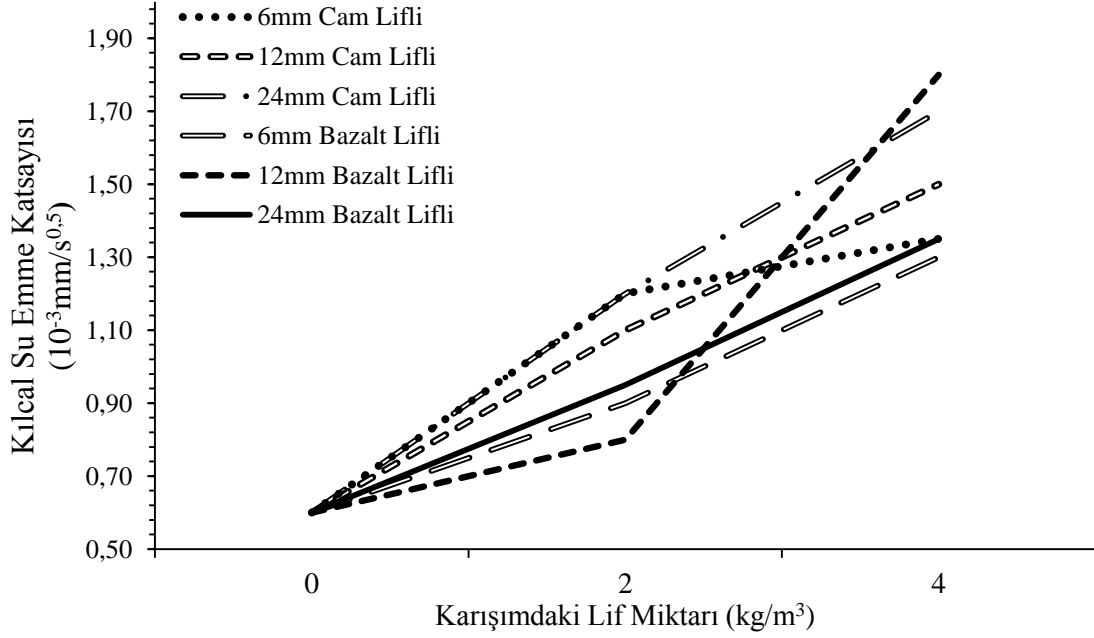
6.2.5 Kılcal Su Emme Katsayısı

Karışımlara ait kılcal su emme katsayıları Şekil 6.33'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde lif içeren karışımların tamamının referans karışımdan daha yüksek kılcal su emme katsayısı değerleri verdiği görülmektedir. En düşük kılcal su emme katsayısı $0,6 \times 10^{-3} \text{mm/s}^{0,5}$ ile referans karışımda ve en yüksek kılcal su emme katsayısı ise $1,8 \times 10^{-3} \text{mm/s}^{0,5}$ ile B12-4 kodlu karışımda elde edilmiştir.



Şekil 6.33. KYB'lerin kılcal su emme katsayıları.

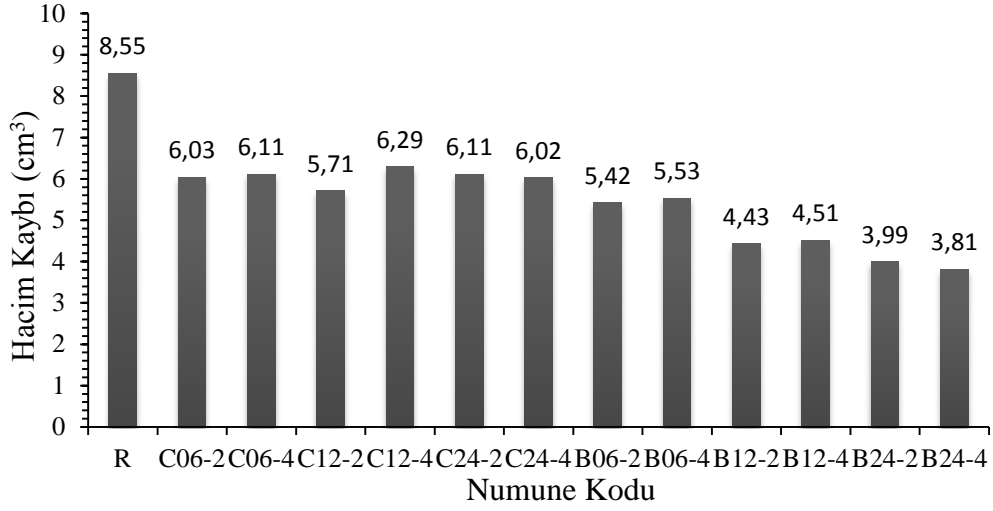
Şekil 6.34'te lif içeren tüm karışımların içerdikleri lif miktarına göre kılcal su emme katsayısındaki değişim her lif türü ve lif boyu için ayrı ayrı gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde tüm lif boylarında lif miktarının metreküpte 2 kg'dan 4 kg'a çıkmasının kılcal su emme katsayısını arttırdığı görülmektedir. Bu sonuçlar lif ilavesinin KYB'lerde kapiler su emme riskini arttırdığını göstermektedir.



Şekil 6.34. Lif türüne göre kılcal su emme katsayılarının karşılaştırılması

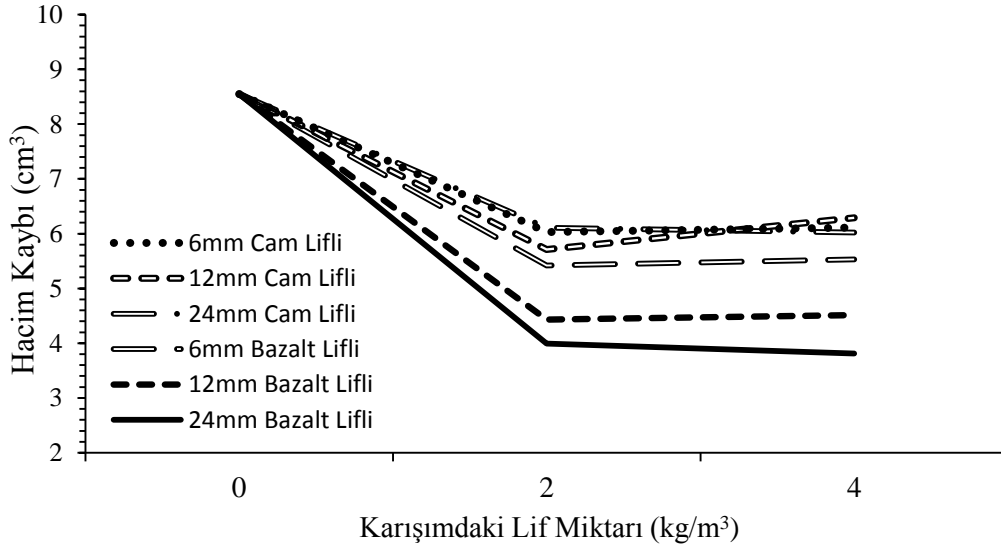
6.2.6 Aşınma Dayanımı

Aşınma dayanımı deneyinden elde edilen hacim kayıpları Şekil 6.35'te görülmektedir. Grafikte görüleceği üzere lif miktarının ve lif boyunun artması ile beton hacmindeki kayıplar azalmaktadır. Elde edilen aşınmada hacim kayıpları sonuçlarına göre aşınmaya karşı en yüksek direnci 24 mm uzunluğunda ve 4 kg/m³ miktarında bazalt lif içeren karışımların gösterdiği söylenebilir.



Şekil 6.35. Aşınma deneyi sonrası hacim kayıpları

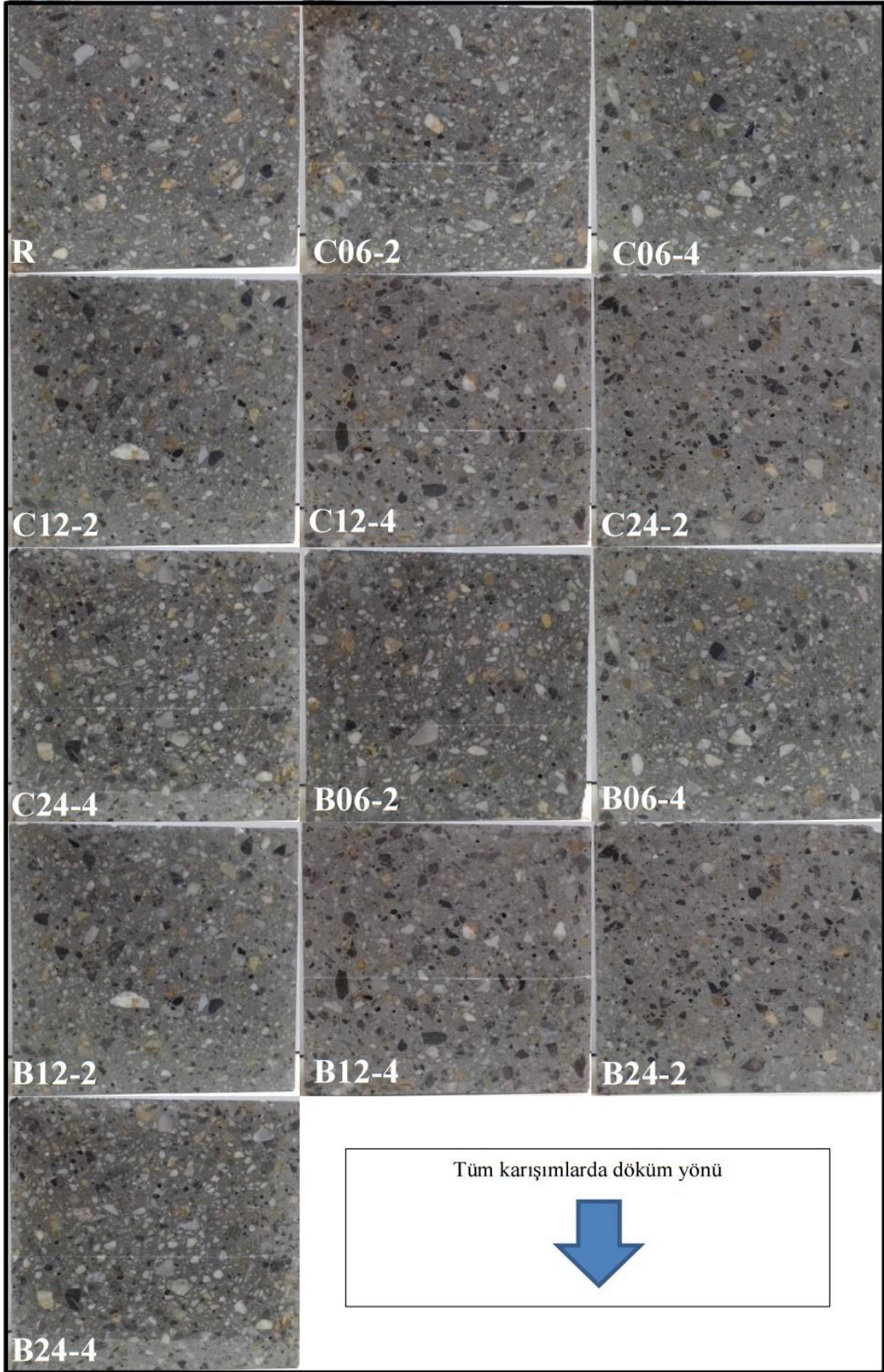
Şekil 6.36'da lif içeren tüm karışımların içerdikleri lif miktarına göre hacim kayıpları her lif türü ve lif boyu için ayrı ayrı gösterilmiştir. Aynı boy ve aynı miktarda cam ve bazalt lif içeren karışımlar karşılaştırıldığında bazalt lifin aşınma direncine katkısının daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 6.36. Lif türüne göre hacim kayıplarının karşılaştırılması.

6.2.7 Segregasyonun İncelenmesi

Her karışımdan bir adet küp numune döküm yönüne dikkat edilerek kesilmiş ve segregasyon riski olup olmadığı görsel olarak incelenmiştir (Şekil 6.37). Numuneler üzerinde yapılan gözlemlere göre üretilen karışımlarda gözle görülür bir segregasyon riski oluşmamıştır.



Şekil 6.37. Numunelerde segregasyon incelemesi.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1 SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında cam ve bazalt lif içeren KYB'lerde lif türü, lif boyu ve lif miktarının KYB'lerin taze haldeki geçme yeteneği, viskozite ve doldurma yeteneği ile sertleşmiş haldeki basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, kapilarite, eğilmede çekme dayanımı, aşınma dayanımı ve kırılma enerjisi parametrelerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. Lif dışındaki tüm malzemelerin sabit tutulduğu çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Taze beton deneylerinden elde edilen bulgulara göre;

- Çökmede yayılma çapları kıyaslandığında en yüksek yayılma çapına referans KYB'de, en düşük yayılma çapına ise 24 mm uzunluğunda ve 4 kg/m³ miktarında bazalt lif içeren KYB'de ulaşılmıştır. Lif miktarı ve lif boyu arttıkça çökmede yayılma çapları azalmaktadır. Aynı miktarda ve aynı boyda cam ve bazalt lif içeren karışımlar karşılaştırıldığında ise bazalt lifin çökmede yayılma deneyi için daha olumsuz sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Benzer durum T₅₀₀ süreleri için de geçerli olup lif ilavesi ile akış hızı yavaşlamıştır. Karışımlardan yalnızca 24 mm uzunluğunda ve 4 kg/m³ bazalt lif içeren karışımın 50 cm'lik yayılma çapına ulaşamadığı ve EFNARC (2005)'e göre KYB olarak tanımlanamayacağı görülmektedir.
- V hunisi akış süreleri incelendiğinde referans karışımın huniden 20 saniyede aktığı, lif ilavesi ile bu sürenin arttığı görülmektedir. Aynı miktar ve aynı boyda cam ve bazalt lif içeren karışımlar karşılaştırıldığında bazalt lif içeren karışımların huniden daha geç aktığı görülmektedir. Cam lifli karışımlar arasında 24 mm uzunluğunda ve 4 kg/m³ lif içeren karışım 40 saniyelik akış süresi ile cam lifli karışımlar arasında en olumsuz sonucu vermiştir. Tüm karışımlar için sonuçlar değerlendirilecek olursa 80 saniye ile 24 mm uzunluğunda ve 4 kg/m³ bazalt lif içeren karışım huniden en yavaş akan KYB dizaynı olup viskozitesi en yüksek karışımı temsil etmiştir.

- L kutusunda donatılar arasından geçme yeteneğini temsil eden H1/H2 oranına ait bulgulara göre ise lif ilavesi geçiş yeteneğini düşürmektedir. En düşük H1/H2 diğer deney sonuçlarına benzer şekilde 24 mm uzunluğunda ve 4 kg/m³ bazalt lif içeren karışıma aittir. Referans karışımında “1” değerini alan H1/H2 oranı bu karışımında 0.52’ ye kadar düşmüştür.
- J halkası deneyindeki yayılma çapları ve T₅₀₀ süreleri incelendiğinde çökmede yayılma deneyine benzer şekilde lif ilavesi ile yayılma çapının azaldığı, T₅₀₀ süresinin ise arttığı görülmektedir. 24 mm uzunluğunda ve 4 kg/m³ miktarında bazalt ve yine aynı boy ve miktarda cam lif içeren karışım ile 12 mm uzunluğunda ve 4 kg/m³ miktarında bazalt lif içeren karışım 50 cm’lik yayılma çapına ulaşamamış olup bu karışımlar için T₅₀₀ süreleri de tespit edilememiştir. Bu da donatılar arası geçiş yeteneği ve akış hızının bu karışımlardaki lif miktarı ve boylarında ciddi uygulama problemleri doğuracağını göstermektedir.
- U kutusu deney sonuçları incelendiğinde L kutusuna benzer şekilde lif ilavesi ile beton seviyeleri arasındaki farkın arttığı, bu artışın bazalt lifte cam liften daha fazla olduğu görülmektedir. Referans karışımında “1” mm olan bu fark 24 mm uzunluğunda ve 4 kg/m³ miktarında bazalt lif içeren karışımında 49 mm’ye kadar yükselmiştir.

Sertleşmiş beton deneylerinden elde edilen bulgulara göre;

- Basınç dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde referans karışımın 6 mm uzunluğunda ve 2 kg/m³ cam lif içeren karışım dışındaki tüm karışımlardan daha yüksek dayanım değeri verdiği görülmüştür. Genel olarak lif içeren karışımlarda basınç dayanımında düşüş gözlenmiş olsa da lif türü, lif miktarı ve lif boyu ile basınç dayanımı arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır.
- Eğilme dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde lif içeren tüm karışımların referans karışımdan daha yüksek eğilme dayanımı değerleri verdiği görülmektedir. Aynı boydaki lifler incelendiğinde ise 2 kg/m³ lif ilavesinin eğilme dayanımı açısından 4 kg/m³ lif ilavesinden daha yararlı olduğu tespit edilmiştir.

- Yarmada çekme dayanımı deneylerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde lif içeren tüm karışımların referans karışımdan daha yüksek yarmada çekme dayanımı değerleri verdiği görülmektedir. Ancak basınç dayanımına benzer şekilde lif türü, lif boyu ve lif miktarı ile yarmada çekme dayanımı açısından anlamlı bir çıkarıma ulaşılamamıştır.
- Çalışmanın en önemli bulgularından biri olduğu düşünülen ve üretilen KYB'lerin çentikli kırış deneyleri aracılığıyla sünekliği hakkında bilgi veren kırılma enerjileri incelendiğinde, lif içeren tüm karışımların referans karışımdan daha yüksek kırılma enerjisi değerleri verdiği görülmektedir. Cam lif ve bazalt lifler kıyaslandığında genelde cam lifler ile daha yüksek kırılma enerjisi değerlerine ulaşılmıştır. Lif içeren karışımlar referans karışımla kıyaslandığında %10 ile %55 arasında değişen oranlarda kırılma enerjisi değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu sonuçlara göre KYB'lerde enerji yutma kapasitesinin de biri göstergesi olan süneklik özelliğinin lif kullanımı ile geliştirilebileceği söylenebilir. Elde edilen sonuçlar cam lif kullanımının daha yararlı olduğunu da ortaya koymaktadır. Lif boyu ve lif miktarındaki artışın etkisi değerlendirildiğinde ise bazalt ve cam lifte farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Cam lif kullanılan karışımlarda ortaya çıkan kırılma enerjileri değerlendirildiğinde hem lif boyu hem de lif miktarının artması ile KYB'ler tarafından yutulan enerjinin artabileceği görünmektedir. Bazalt lif kullanılan karışımlarda, 2 kg/m³ lif ilavesinde, lif boyunun artması ile yutulan enerji artarken 4 kg/m³ lif ilavesinde ise lif boyu ile kırılma enerjisi arasında anlamlı bir ilişki görünmemektedir.
- Kılcal su emme katsayıları incelendiğinde lifli numunelerin tamamının kılcal su emme katsayısının referans karışımdan fazla olduğu görülmüştür. Aynı boydaki lifler kıyaslandığında lif miktarı arttıkça kılcal su emme katsayısı değerlerinde de artış olmuştur.
- Aşınma dayanımları incelendiğinde lif ilavesi ile aşınmaya karşı direncin de arttığı görülmektedir. Üretilen lifli KYB'ler arasında 24 mm uzunluğunda ve 4 kg/m³ bazalt lif içeren karışım en iyi aşınma direnci performansını göstermiştir.

7.2 ÖNERİLER

Çalışmadaki sonuçlar özellikle saha uygulamalarına ışık tutacak biçimde taze beton özellikleri bakımından değerlendirilmiş ve aşağıdaki öneriler ortaya konulmuştur;

- Yayılma çaplarındaki sınıflandırmalara göre üretilen KYB'lerin akıcılık özellikleri dikkate alındığında; bazalt veya cam lif kullanılarak üretilen KYB'lerle saha döküm uygulamaları yapılacaksa her iki lif türü ile 6 mm boy ve 4 kg/m^3 miktara kadar yoğun donatılı ve karmaşık geometrilere sahip yapı elemanlarının üretimi mümkün görünmektedir. Burada maksimum agrega tane boyutunun yüksek seçilmemesinin gerekliliği de gözönünde bulundurulmalıdır. Çok yoğun donatılı olmayan ve çok dar kesitler içermeyen normal yapım sistemlerinin çeşitli elemanlarının üretiminde 12 mm boy ile 2 ve 4 kg/m^3 miktarında cam lifin kullanımı uygun görünmektedir. Cam lif bu tür yapım sistemleri için 24 mm boyunda riskli görünmektedir. Bazalt lif ise 12 mm boy, 2 ve 4 kg/m^3 miktar ile 24 mm boy, 2 kg/m^3 miktarında kullanılması durumunda üstten dökülen donatısız yada çok az donatılı yapılar için kullanılacak KYB'lerde uygun görünmektedir. Ayrıca bu tez çalışmasında elde edilen bulgular referans alınan sınırlara göre değerlendirildiğinde 24 mm uzunluğunda ve 4 kg/m^3 cam veya bazalt içeren KYB üretiminin çok mümkün olmadığı görülmektedir.
- V hunisi geçiş sürelerine göre KYB'lerin viskozitesi dikkate alındığında hem cam lif hemde bazalt lif kullanılan KYB'lerde geçiş hızı yavaş olacağından yararlı bir tiksotropik davranış ortaya çıkacak ve kalıp yanal basıncı düşerek lif kullanımı avantaj sağlayacaktır.
- L kutusu deney sonuçları değerlendirildiğinde cam lif 6 mm ile 12 mm boyunda ve bazalt lif ise 6 mm boyunda kullanıldığında donatılar arasından geçme yeteneğine sahip KYB üretimi yapılabilecektir. Her iki lif için 2 ve 4 kg/m^3 lif kullanımı belirtilen boylar için uygun olabilecektir. Tez çalışmasındaki karışımların dışında yapılacak KYB tasarımları için 4 kg/m^3 lif kullanımında dikkatli olunmalı ve mutlaka ön deney yapılarak bu bulgular değerlendirilmelidir.

- J halkası deney sonuçları çökmede yayılma deney sonuçları ile birlikte ele alınarak üretilen KYB'lerin geçme yeteneği değerlendirildiğinde; hem bazalt lif hem de cam lifin ayrı ayrı ve 6mm boy ile 2 kg/m³ miktarında kullanılması durumunda donatılar arasından geçişlerde bloklanma riski olmayacaktır. Cam lifin 6mm boy ve 4 kg/m³ kullanımı ile her iki lifin 12 mm boy ve 2 kg/m³ miktarında kullanımı durumunda ise bloklanma riski az görünse de kullanılmaması daha sağlıklı olacaktır. Bu parametrelerin dışında cam ve bazalt lifin tüm boy ve miktar kombinasyonları KYB'lerin donatılar arasından geçememe ve bloklanma riski taşıdığını göstermektedir.
- KYB'lerin geçme yeteneği ile ilgili fikir veren bir diğer deney olan U-Kutusu sonuçlarına göre ise cam lif içeren karışımlarda 24 mm boy ve 4 kg/m³ hariç tüm boy ve miktarlar geçme yeteneği açısından KYB üretimine engel değilmiş gibi görünmektedir. Bazalt lif ise 6 mm boy, 2-4 kg/m³ ve 12 mm boy, 2 kg/m³ kullanıldığında yine KYB'lerin geçme yeteneği olumlu görünmektedir. J halkası ile U kutusu birlikte değerlendirildiğinde lif içeren KYB kullanılacak saha uygulamaları için J halkasındaki sonuçların daha güvenli olacağı söylenebilir.
- Çalışma sonuçları değerlendirilirken ortaya çıkan en dikkat çekici durum ise lif içeren KYB üretimi ile ilgili kapsamlı sınıflandırmalar içeren ve bulguları değerlendirmede yol gösterebilecek bir kaynağın olmamasıdır. Bu çalışmadaki bulgular lif içermeyen KYB tasarımları için hazırlanan ASTM ve EFNARC parametreleri dikkate alınarak yorumlanmıştır. Lif içeren KYB'ler için kapsamlı bulgularla desteklenecek bir standardın oluşturulması faydalı olacaktır.

KAYNAKLAR

- [1]İ. B. Topçu, *Beton Teknolojisi*, Eskişehir, Türkiye: 2006, ss. 72-317
- [2]B. Baradan, S. Türkel, H. Yazıcı, H. Ün, H. Yiğiter, B. Felekoğlu, K. T. Felekoğlu, S. Aydın, M. Y. Yardımcı, A. Topal ve A. U. Öztürk, *Beton*, İzmir, Türkiye: 2012, ss. 42-45, 683-703.
- [3]S. Yıldız, Y. Bölükbaş ve O. Keleştemur, “Cam elyaf katkısının betonun basınç ve çekme dayanımı üzerindeki etkisi”, *Politeknik Dergisi*, c. 13, s. 3, ss. 239-243, 2010.
- [4]M. Yalçın, C. Taşdemir ve M. A. Taşdemir, “Çelik lif donatılı betonların performans sınıflarının belirlenmesi”, *İtüdergisi/d Mühendislik*, c. 8, s. 6, ss. 97-108, 2009.
- [5]N. Pešic, S. Zivanovic, R. Garcia and P. Papastergiou, “Mechanical properties of concrete reinforced with recycled HDPE plastic fibres”, *Construction and Building Materials*, vol. 115, pp. 362-370, 2016.
- [6]M. Emiroğlu, “Lastik agregalı kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesi”, Doktora tezi, Yapı Eğitimi Bölümü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye, 2012.
- [7]S. Subaşı ve M. Emiroğlu, “Lif kullanılan kendiliğinden yerleşen betonlarda işlenebilirlik ve basınç dayanımı arasındaki ilişki analizi”, *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 20, s. 3, ss. 527-539, 2008.
- [8]M. Y. Yardımcı, “Çelik lifli kendiliğinden yerleşen betonların reolojik, mekanik, kırılma parametrelerinin araştırılması ve optimum tasarımı”, Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2007.
- [9]Wikiwand. (2016, 2 Aralık). *Aqar Quf*. [Online]. Erişim: <http://www.wikiwand.com/en/Dur-Kurigalzu>.
- [10]M. Açıkgenç, U. Arazsu ve K. E. Alyamaç, “Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri”, *SDU International Technologic Science*, c. 4, s. 3, ss. 41-54, 2012.
- [11]O. Ünal, T. Uygunoğlu ve O. Gençel, “Çelik liflerin beton basınç ve eğilme özelliklerine etkisi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 13, s. 1, ss. 23-30, 2007.
- [12]A Noushini, K Vessalas and B Samali, “Rheological properties and compressive strength behaviour of polyvinyl alcohol fibre-reinforced concrete”, *Australian Journal of Structural Engineering*, vol. 15, no. 1, pp. 77-88, 2015.
- [13]A. B. Kızılkanaat, N. Kabay, V. Akyüncü , S. Chowdhury and A. H. Akça, “Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: an experimental study”, *Construction and Building Materials*, vol. 100, pp. 218-228, 2015.
- [14]F. Altun, “Çelik lifli hafif betonun deneysel araştırılması”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 12, s. 3, ss. 333-339, 2006.
- [15]V. Koç ve F. Birinci, “Lifli betonda boyut etkisi tokluk ve kırılma enerjisi”, *SDU International Technologic Science*, c. 4, s. 3, ss. 24-40, 2012.

- [16]N. Özyurt, M. A. Taşdemir ve S. P. Shah, “Lif donatılı çimento esaslı kompozitlerde, lif dağılımının elektriksel bir yöntem ile tahribatsız ölçümü”, *İtüdergisi/d Mühendislik*, c. 5, s. 4, ss. 119-130, 2006.
- [17]A. B. Kızılkant, N. Kabay, V. Akyüncü and G. Erdoğan, “Basalt fibers and mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete”, *Sigma Journal of Engineering & Natural Sciences*, vol. 32, no. 4, pp. 444-452, 2014.
- [18]S. Elshafie and G. Whittleston, “A review of the effect of basalt fibre lengths and proportions on the mechanical properties of concrete”, *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 4, no. 1, pp. 458-465, 2014.
- [19]V. Fiore, T. Scalici, G. Di Bella and A. Valenza, “A review on basalt fibre and its composites”, *Composites Part B*, vol. 74, pp. 79-97, 2015.
- [20]K. Singha, “A short review on basalt fiber”, *International Journal of Textile Science*, vol. 1, no. 4, pp. 19-28, 2012.
- [21]T. Gümülçine, A. Bekem, M. Doğu, Z. Gemici ve A. Ünal, “İzoftalik polyester matrisli sürekli E-camı ve bazalt fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine deneysel bir çalışma”, *Sigma Journal of Engineering & Natural Sciences*, vol. 5, no. 1, pp. 104-115, 2013.
- [22]J. Militký, V. Kovačič and J. Rubnerová, “Influence of thermal treatment on tensile failure of basalt fibers” *Engineering Fracture Mechanics*, vol.69, pp.1025-1033, 77.
- [23]T. Deák and T. Czigány, “Chemical composition and mechanical properties of basalt and glass fibres a comparison”, *Textile Research Journal*, vol. 79, no. 7, pp. 645-651, 2009.
- [24]M. E. Arslan, “Effects of basalt and glass chopped fibers addition on fracture energy and mechanical properties of ordinary concrete: CMOD measurement”, *Construction and Building Materials*, vol. 114, pp. 383-391, 2016.
- [25]M. Bağcı, “Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin erozyon aşınma davranışının incelenmesi”, Doktora tezi, Makine Mühendisliği Bölümü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2010.
- [26]Milli Eğitim Bakanlığı, *Tekstil Teknolojisi-Yapay Lifler*, Ankara, Türkiye: MEB, 2014, ss.
- [27]O. Karahan, “Liflerle güçlendirilmiş uçucu küllü betonların özellikleri”, Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, 2006.
- [28]A. Üte, “Uçucu kül ve polipropilen lif kullanımının silindirle sıkıştırılmış betonun özelliklerine etkisi”, Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2008.
- [29]M. Yalçın, “Çelik lif donatılı betonların performansa dayalı tasarımı ve optimizasyonu”, Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [30]M. Kozak, “Çelik lifli betonlar ve kullanım alanlarının araştırılması”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi*, c. 3, s. 5, ss. 26-35, 2013.
- [31]A. Beycioğlu, “Kendiliğinden yerleşen betonlarda beton ile donatı aderansı ilişkisinin araştırılması”, Doktora tezi, Yapı Eğitimi Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2013.

- [32] M. H. Wan Ibrahim, A. F. Hamzah, N. Jamaluddin, P. J. Ramadhansyah and A. M. Fadzil, "Split tensile strength on self-compacting concrete containing coal bottom ash", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 195, pp. 2280-2289, 2015.
- [33] C. Shi, Z. Wu, K. Lv and L. Wu, "A review on mixture design methods for self-compacting concrete", *Construction and Building Materials*, vol. 84, pp. 387-398, 2015.
- [34] O. Gencil, W. Brostow, T. Datashvili and M. Thedford, "Workability and mechanical performance of steel fiber-reinforced self-compacting concrete with fly ash", *Composite Interfaces*, vol. 18, no. 2, pp. 169-184, 2011.
- [35] İ. B. Topçu, T. Bilir ve H. Baylavlı, "Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 21, s. 1, ss. 1-22, 2008.
- [36] H. Zhao, W. Sun, X. Wu and B. Gao, "The properties of the self-compacting concrete with fly ash and ground granulated blast furnace slag mineral admixtures", *Journal of Cleaner Production*, vol. 95, pp. 66-74, 2015.
- [37] H. Okamura and M. Ouchi, "Self-compacting concrete", *Journal of Advanced Concrete Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 5-15, 2003
- [38] B. Felekoğlu ve K. T. Felekoğlu, "Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkıların kullanımı", *Hazır Beton*, s. 124, ss. 60-69, 2014.
- [39] Ç. Yalçınkaya, "Mineral katkıli kendiliğinden yerleşen lifli betonun mekanik, durabilite ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi", Yüksek lisans tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, 2009.
- [40] H. Okamura and M. Ouchi, "Self-compacting concrete - development, present and future", *First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete*, Stockholm, Sweden, 1999, pp. 3-14
- [41] C. Kılınç, "Kendiliğinden yerleşen betonlar", *Hazır Beton*, s. 112, ss. 70-75, 2012.
- [42] N. Haddadou, R. Chaid and Y. Ghernouti, "Experimental study on steel fibre reinforced self-compacting concrete incorporating high volume of marble powder", *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, vol. 19 no. 1, pp. 48-64, 2015.
- [43] F. Aslani and B. Samali "Flexural toughness characteristics of self-compacting concrete incorporating steel and polypropylene fibres", *Australian Journal of Structural Engineering*, vol. 15, no. 3, pp. 269-286, 2015.
- [44] M. I. Abukhashaba, M. A. Mostafa and I. A. Adam, "Behavior of self-compacting fiber reinforced concrete containing cement kiln dust", *Alexandria Engineering Journal*, vol. 53, pp. 341-354, 2014.
- [45] E. K. Anastasiou, I. Papayianni and M. Papachristoforou, "Behavior of self compacting concrete containing ladle furnace slag and steel fiber reinforcement", *Materials and Design*, vol. 59, pp. 454-460, 2014.
- [46] A. K. H. Kwan and Y. T. Ivan Ng, "Performance criteria for self consolidating concrete", *HKIE Transactions*, vol. 15, no. 2, pp. 35-41, 2008.
- [47] B. Felekoğlu, M. Y. Yardımcı ve B. Baradan, "Uçucu külün ve taş tozunun kendiliğinden yerleşen betonda aşınma direncine etkileri", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 19, s. 1, 2006.

- [48]E. Gödek, B. Felekoğlu ve K. T. Felekoğlu, “Hazır beton sektörüne uygun polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı katkı seçimi ve kendiliğinden yerleşen beton üretimindeki performansı”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 15, ss. 8-18, 2015.
- [49]R. Dubey and P. Kumar. “An experimental study for optimization of high range water reducing superplasticizer in self compacting concrete”, *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, vol. 7, no. 1, pp. 62-71, 2013.
- [50]O. Ünal, “Agrega türünün kendiliğinden yerleşen beton özelliklerine etkisinin araştırılması”, *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 1, pp. 51-60, 2013.
- [51]European Federation of National Associations Representing, *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*, Europe, 2005. pp. 10-23, 43-46.
- [52]M. Sonebi and P. J. M. Bartos, “Filling ability and plastic settlement of self-compacting concrete”, *Materials and Structures*, vol. 35, no. 8, pp. 462–469, 2002.
- [53]M. Uysal ve K. Yılmaz, “Aşırı dozda akışkanlaştırıcı katkı kullanımının beton özelliklerine etkisi”, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 25, s. 1, ss. 20-35, 2012.
- [54]V.S. Ramachandran and M. Malhotra, *Concrete Admixtures Handbook–Part 7 Superplasticizers*, Noyes Publications, 1984.
- [55]S. Türkel ve B. Felekoğlu, “Aşırı dozda akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımının taze ve sertleşmiş betonun bazı özellikleri üzerine etkileri”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, c. 6, s. 1, ss. 77-89, 2004.
- [56]N. Parlak, M. S. Akman, “Lignosulfonatların üretimi, özellikleri ve süper akışkanlaştırıcı olarak geliştirilmesi”, *Sika Teknik Bülten*, c. 2002/1, ss. 3-13, 2002.
- [57]İ. Çil “Yeni kuşak hiperakışkanlaştırıcı beton katkıları”, *YKS Vizyon Dergisi*, s. 2, ss. 32-35, 2000
- [58]K. Ramyar, “Portland çimentosu-süper akışkanlaştırıcı katkı uyumunu etkileyen faktörler”, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 2007, ss. 197-211.
- [59]S. Subaşı, B. İşbilir ve İ. Ercan, “Uçucu kül ikameli çimento numunelerinin mekanik özelliklerine yüksek sıcaklığın etkisi”, *Politeknik Dergisi*, c. 14, s. 2, ss. 141-148, 2011.
- [60]*Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*, ASTM C618 – 15, 2015.
- [61]S. T. Erdoğan ve T. Y. Erdoğan, “Puzolanik mineral katkıları ve tarihi geçmişi”, *2. Yapılarda Kimyasal Katkılar Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, 2007 ss. 263-275.
- [62]E. Luga, “Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu jeopolimer harçların özellikleri”, Doktora tezi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, 2015.
- [63]J. Lizarazo-Marriaga, F.García and C. Higuera, “Preliminary electrochemical cementation of high volume fly ash mortars”, *Construction and Building Materials*, vol.122, pp.54-62, 2016.
- [64]D. Alkaya, “Uçucu küllerin zemin iyileştirmesinde kullanılmasının incelenmesi”, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 61-72, 2009.

- [65]T. Ramos, A. M. Matos, B. Schmidt, J. Rio and J. Sousa-Coutinho “Granitic quarry sludge waste in mortar: effect on strength and durability”, *Construction and Building Materials*, vol. 47, pp. 1001-1009, 2013.
- [66]Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, A. Yeğınobalı, *Silis Dumanı ve Çimento İle Betonda Kullanımı*, 6. Baskı, Ankara, Türkiye: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 2009, ss. 14-16
- [67]Ş. Erdoğan ve Ş. Kurbetçi, “Betonun performansına sağladıkları etkinlik açısından kimyasal ve mineral katkı maddeleri”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, s. 426, ss. 115-120, 2003.
- [68]Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, M. Tokyay ve K. Erdoğan, *Cürüflar ve Cürüflü Çimentolar*, 8. Baskı, Ankara, Türkiye: Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, 2009, ss.16-17
- [69]Yasin Engin (2016, 2 Ağustos) *Yüksek Fırın Cürufu ve Yüksek Fırın Cürüflü Çimento*. [Online]. Erişim: <http://www.betonvecimento.com/wp-content/uploads/2015/02/Y%C3%BCksek-F%C4%B1r%C4%B1n-C%C3%BCrufu-El-Kitab%C4%B1.pdf>.
- [70]M. Emiroğlu, Y. Koçak ve S. Subaşı, “Yüksek fırın cürufunun betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi”, *6. Uluslararası İleri Teknoloji Sempozyumu*, Elazığ, Türkiye, ss. 113-117, 2011.
- [71]C. Bilim, C. D. Atış, “Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren harçların aşınma ve mukavemet özellikleri”, *Politeknik Dergisi*, c. 14, s. 2, ss. 101-107, 2011.
- [72]M. Tokyay, “Betonda UK, GYFC ve SD’nin rolü: bevcut bilgi birikimi”, *Hazır Beton*, s. 121, ss. 64-84, 2014.
- [73]*Beton-taze beton deneyleri-kendiliğinden yerleşen beton-çökme yayılma deneyi*, TS EN 12350-8, 2011.
- [74]*Beton-taze beton deneyleri-kendiliğinden yerleşen beton-V hunisi deneyi*, TS EN 12350-9, 2011.
- [75]*Beton-taze beton deneyleri-kendiliğinden yerleşen beton-L kutusu deneyi*, TS EN 12350-10, 2011.
- [76]*Beton-taze beton deneyleri-kendiliğinden yerleşen beton-J halkası deneyi*, TS EN 12350-12, 2011.
- [77]European Federation of National Associations Representing, *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete*, Europe, 2002. pp. 7-8, 27-28.
- [78]M. Mastali, A. Dalvand and A. R. Sattarifard, “The impact resistance and mechanical properties of reinforced selfcompacting concrete with recycled glass fibre reinforced polymers”, *Journal of Cleaner Production*, vol. 124, pp. 312-324, 2016.
- [79]R. Siddique, G. Kaur, Kunal, “Strength and permeation properties of self-compacting concrete containing fly ash and hooked steel fibres”, *Construction and Building Materials*, vol. 103, pp. 15-22, 2016.
- [80]H. Yıldırım, B. Sertbaş ve V. Berbergil, “Kendiliğinden yerleşen betonlarda polipropilen ve çelik lif kullanılmasının işlenebilirliğe etkisi”, *7. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, Türkiye, 2007, ss. 65-75.

- [81]N. Shafiq, M. F. Nuruddin, A. F. M. Salih and A. Elheber, “Characterization of stand chopped basalt fiber self-compacting reinforced concrete (SCB-SCC)”, *Applied Mechanics and Materials*, vol. 567, pp. 356-361, 2014.
- [82]A. D. Raj, M. M. Benize, J. E. Daisy and M. S. Nikhil, “Experimental methods on glass fiber reinforced self compaction concrete” *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 19-23, 2014.
- [83]K. N. Manohar, J. M. Srishaila, P. Prakash and W. P. Prema Kumar, “Strength characteristics of glass fiber reinforced self-compacting concrete with fly ash and silica fume”, *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 4, no. 8, pp. 1-6, 2015.
- [84]A. F. M. Salih, N. Shafiq, M. F. Nuruddin, A. Elheber and F. A. Memon, “Comparison of the effects of different fibers on the properties of self-compacting concrete” *Research Journal of Applied Sciences-Engineering and Technology*, vol. 7, no. 16, pp. 3332-3341, 2014.
- [85]V. Corinaldesi and G. Moriconi, “Characterization of self-compacting concretes prepared with different fibers and mineral additions”, *Cement & Concrete Composites*, vol. 33, pp. 596-601, 2011.
- [86]Rilem TCS, “Determination of the fracture energy of mortar and concrete by means of three-point bend tests on notched beams”, *Materials and Structures*, vol. 18, no. 106, pp. 285-290, 1985
- [87]*Beton-sertleşmiş beton deneyleri-deney numunelerinin basınç dayanımının tayini*, TS EN 12390-3, 2010
- [88]*Beton-sertleşmiş beton deneyleri-deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini*, TS EN 12390-5, 2010
- [89]*Beton-sertleşmiş beton deneyleri-deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini*, TS EN 12390-6, 2010
- [90]*Standard test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes*, ASTM C1585-13, 2013
- [91]*Zemin döşemesi için beton kaplama blokları-gerekli şartlar ve deney metotları*, TS 2824 EN 1338, 2005
- [92]Karayolları Genel Müdürlüğü, A. Ünsal, H. Şen, *Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri*, Ankara, Türkiye: 2008.
- [93]*Standard test method for passing ability of self-consolidating concrete by J-ring*, ASTM C1621/C1621M – 14, 2014.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Adil GÜLTEKİN
Doğum Tarihi ve Yeri : 05/04/1988 / Doğubeyazıt
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : adilgultekin05@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Dokuz Eylül Üniversitesi	2011
Lise	Fen Bilimleri	İzmir Buca Anadolu Lisesi	2006