



T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**LİF KULLANIMININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON (KYB)  
KARIŞIMLARININ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ**

**Hassane Amidou OUEDRAOGO**

Dr. Öğretim Üyesi Ali MARDANI AGHABAGLOU  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2018

## TEZ ONAYI

Hassane Amidou OUEDRAOGO tarafından hazırlanan “LİF KULLANIMININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON (KYB) KARIŞIMLARININ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Dr. Öğretim Üyesi. Ali MARDANI AGHABAGLOU

**Başkan** : Dr. Öğretim Üyesi Ali MARDANI  
AGHABAGLOU  
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN  
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı

İmza

**Üye** : Yrd. Doç. Dr. Altuğ YAVAŞ  
Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

12.9.2018

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

13.09.2018

**İmza**

**Hassane Amidou OUEDRAOGO**

## ÖZET

Yüksek Lisans

### LİF KULLANIMININ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON (KYB) KARIŞIMLARININ ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

**Hassane Amidou OUEDRAOGO**

Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Dr. Öğretim Üyesi Ali MARDANI AGHABAGLOU

Bu çalışmada, farklı narinlik oranına sahip çelik lif kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) karışımlarının taze hal ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Lifli karışımlarda toplam hacmin %0,6'sı kadar 54, 64 ve 50 narinlik oranlarına sahip üç farklı iki ucu kancalı çelik lif kullanılmıştır. Tüm karışımlarda su/çimento oranı, çimento dozajı ve yayılması sabit tutulmuştur. KYB karışımları üzerinde serbest yayılma, J halkası, V hunisi, L kutusu ve U kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Karışımların basınç, yarmada çekme, eğilme dayanımları, kırılma enerjisi, eğilme altında yük-sehim ve yük-çatlak açığı açılma deplasmanları da incelenmiştir. Bunlara ilaveten karışımların su emme kapasite ve basınçlı su altında su işleme derinliği de ölçülmüştür. Beklenildiği gibi, lif narinlik oranından bağımsız olarak lif kullanımı ile istenilen yayılma değerini sağlamak için su azaltıcı katkı gereksinimi artmıştır. Bu etki lif uzunluğunun artışıyla ve zamanla daha belirgin hale gelmiştir. Lif içeren karışımlarda, L ve U kutusundan akış sağlanmadığından ölçüm alınamamıştır. Narinlik oranı 50 olan lifi içeren KYB karışımı yayılma ve J halkası deneyleri açısından en düşük performansı sergilemiştir. Lif kullanımının ve lif narinlik oranının KYB karışımlarının basınç dayanımı ve elastisite modülü üzerinde ciddi mertebede etkisi olmamıştır. Lif kullanılması KYB karışımlarının yarmada çekme, eğilme dayanımlarını, kırılma enerjisini artırmıştır. Ancak lif kullanımı ve kullanım oranının artışı karışımların geçirgenlik özelliğini artırmıştır.

**Anahtar kelime:** Kendiliğinden Yerleşen Beton, lif narinlik oranı, taze hal özellikler, mekanik özellikleri.

**2018, X+ 81 sayfa**

## ABSTRACT

MSc Thesis

### EFFECT OF UTILIZATION OF FIBER ON THE PROPERTIES OF SELF CONSOLIDATING CONCRETE

**Hassane Amidou OUEDRAOGO**

Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ali MARDANI AGHABAGLOU

In this study, the effect of steel fibers having different aspect ratios on the fresh and mechanical properties of self-compacting concrete (SCC) mixtures was investigated. In the mixtures containing fiber, three different twin-hook steel fibers with aspect ratios of 54, 64 and 50 were used as 0.6% of total volum. In all of the SCC mixtures water/cement ratio, cement dosage and slump-flow value were kept constant. The compressive, split-tensile and flexural strengths as well as fracture energy, the load deflection relation under flexural load and load-crack opening displacement of SCC mixtures were also investigated. Besides, the water absorption capacity and depth of penetration of water under pressure of mixtures were measured. As expected, regardless of fiber aspect ratio, water reducing admixture demand for desired slump-flow value increased by utilization of steel fiber. The mentioned effect was more pronounced by increasing length of fiber and elapsing time. In the fibrous mixture, no measurement was taken because the mixtures were not flow from the L and U boxes. The mixture containing fiber having aspect ratio of 50 showed the lowest performance in terms of slump-flow and J-ring tests. The fiber utilization and its aspect ratio had no significant effect on compressive strength and modulus of elasticity of the SCC mixtures. The split-tensile, flexural strengths and fracture energy of SCC mixtures increased by using of fiber. The permeability properties of SCC mixture increased by fiber utilization. This effect was more pronounced by increasing utilization ratio of fiber.

**Key words:** Self Consolidating Concrete, slenderness ratio, fresh state properties mechanical properties.

**2018, x+ 81 pages**

## TEŞEKKÜR

Yüsel lisans tez konumun belirlenmesi, yürütülmesi ve tezin yazımı esnasında çalışmalarımı ilgi ile izleyip yön veren, değerli fikir ve katkılarıyla çalışmalarına ışık tutan, bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, Sayın Dr. Öğretim Üyesi Ali Mardani Aghabaglou'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Süleyman ÖZEN'e,

Deneyisel çalışmalarda bana destek veren Yüksek İnşaat Müh. Sultan Husein BAYQRA ve Zia Ahmad FAQİRİ'ye,

Deneyisel çalışmalarda kullanılan su azaltıcı katkıların temini için Başta Yüksek İnşaat Mühendisi Gökhan Yılmaz, Yüksek Kimyager Tolga Kaptı ve Yüksek Kimyager Uğur Başak Öztürk olmak üzere Polisan Kimya AŞ'ye,

Çimento ve standart kum temini için Yüksek İnşaat Mühendisi Ahmet Hilmi Aytaç olmak üzere Bursa Beton A.Ş' ye,

Çelik lif temini için Atlas Bir Yapı Malzemeleri ve Teks. San. Dış Tic. Ltd. Şti.'ye

Kırma kireçtaşı agrega tehmini için Sinta A. Ş'ye teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince aldığım burstan dolayı Türkiye Bursları Kurumuna teşekkürü bir borç bilirim.

Uludağ Üniversitesi BAP Birimine KUAP(MH)-2017/11 nolu Proje kapsamında verdiği destekten dolayı şükranlarımı sunarım.

Sadece tez çalışması değil, tüm hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen sevgili aileme sonsuza kadar teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. KURUMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. KYB Tanımı.....	4
2.2. KYB Karışımının Bileşenleri.....	5
2.2.1. Çimento.....	5
2.2.2. Karışım suyu.....	6
2.2.3. Agregası.....	6
2.2.4. Mineral katkıları.....	7
2.2.5. Kimyasal katkıları.....	8
2.2.6. Lifler.....	10
2.3. KYB Karışımlarının Tasarım Yöntemi.....	14
2.4. KYB Karışımlarının Özellikleri.....	16
2.4.1. Taze hal özellikleri.....	16
2.4.2. Sertleşmiş hal özellikleri.....	23
2.5. Kaynak Özetleri.....	30
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	39
3.1. Amaç, Konu ve Kapsam.....	39
3.2. Kullanılan Malzemeler ve Karışım Oranı.....	39
3.2.1. Çimento.....	39
3.2.2. Agregası.....	41
3.2.3. Su azaltıcı katkı.....	42
3.2.4. Çelik lif.....	42
3.2.5. Su.....	43
3.2.6. KYB karışım oranlarının belirlenmesi.....	43
3.2.7. KYB karışımlarının hazırlanması.....	45
3.2. Yöntem.....	46
3.2.1. Taze hal deneyleri.....	46
3.2.2. Sertleşmiş hal deneyleri.....	46
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	47
4.1. Taze Hal Deneyi Sonuçları.....	47
4.1.1. T50 yayılma deneyi ve akış süresi sonuçları.....	47
4.1.2. V hunisi deneyi sonuçları.....	51
4.1.3. L Kutusu deneyi sonuçları.....	54
4.1.4. U Kutusu deneyi sonuçları.....	57
4.1.4. J Halkası deneyi sonuçları.....	59
4.2. Sertleşmiş Hal Deneyi Sonuçları.....	61
4.2.1. Basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	61
4.2.2. Yarmada çekme deneyi sonuçları.....	63

4.2.3. Eğilme deneyi sonuçları.....	65
4.2.4. Elastisite modülü deneyi sonuçları.....	69
4.2.5. Basıncı su altında su işleme derinliği deneyi sonuçları.....	70
4.2.6. Su emme deneyi sonuçları.....	72
5. SONUÇ.....	73
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	81





## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

### Açıklama

$Al_2O_3$	Alüminyum Oksit
$C_2S$	Dikalsiyum Silikat
$C_3A$	Trikalsiyum Alüminat
$C_4AF$	Tetrakalsiyum Alumino Ferrit
$CaO$	Kalsiyum Oksit
$Cl^-$	Klorür
$Fe_2O_3$	Demir III Oksit
$K_2O$	Potasyum Oksit
$MgO$	Magnezyum Oksit
$Na_2O$	Sodyum Oksit
$SO_3$	Kükürt Trioksit
$SiO_2$	Silisyum Dioksit

### Kisaltmalar

### Açıklama

ASTM	American Society for Testing Materials
BIBM	European Federation for Precast Concrete
CEMBUREAU	European Cement Association
EFCA	European Federation of Concrete Admixtures Associations
EFNARC	European Federation of National Associations Representing for Concrete
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
MPa	Metrik Sistemin Basınç Birimi
TS EN	Türk Standartları, EN: Avrupa Normu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Kendiliğinde Yerleşen Beton Uygulaması.....	4
Şekil 2.2. Normal betonla KYB' nin karşılaştırılması.....	5
Şekil 2.3. Elektrostatik ve fiziksel itki modelleri.....	10
Şekil 2.4. Çelik Lifin Tipleri ve Şekilleri.....	11
Şekil 2.5. TS 10513, 1992'e göre Çelik Liflerin Sınıflandırılması.....	12
Şekil 2.6. Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların (KYHB) yayılma çapı üzerine lif tipi ve miktarının etkisi.....	13
Şekil 2.7. Lifli betonun yük deformasyon eğrisi.....	14
Şekil 2.8. Serbest yayılma deney düzeneği.....	18
Şekil 2.9. V-hunisi deney düzeneği.....	19
Şekil 2.10. L-kutusu testi deney düzeneği.....	20
Şekil 2.11. U-Kutusu deney düzeneği.....	21
Şekil 2.12. J-halkası testi deney düzeneği.....	22
Şekil 2.13. 3 nokta ve 4 nokta eğilme deneylerinin düzeneği.....	25
Şekil 2.14. Yük-sehim eğrisinin şematik gösterim .....	26
Şekil 2.15. KYB elastik modülünün belirlenmesinde kullanılan değişik yöntemler.....	27
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan agregaların gradasyon eğrisi.....	42
Şekil 3.2. Kullanılan iki ucu kancalı çelik liflerin görünümü.....	42
Şekil 3.3. Pan Tipi Beton Mikseri.....	45
Şekil 4.1. KYB karışımlarının T50 yayılma ölçümleri.....	47
Şekil 4.2. Zamana bağlı yayılma deneyi sonuçları.....	48
Şekil 4.3. Çökme-yayılma değerlerine göre azalama oranı.....	50
Şekil 4.4. Zamana bağlı T50 akış süresi deneyi sonuçları.....	50
Şekil 4.5. Zamana bağlı V hunisi deneyi sonuçları.....	52
Şekil 4.6. KYB karışımlarının V hunisi akış süresi ölçümleri.....	53
Şekil 4.7. L kutusu H2/H1 oranları.....	55
Şekil 4.8. L kutusunda çelik lif içeren KYB karışımlarının tıkanması.....	55
Şekil 4.9. L kutusu T20 süresi sonuçları.....	56
Şekil 4.10. L kutusu T40 süresi Sonuçları.....	56
Şekil 4.11. U kutusu H2-H1 sonuçları.....	58
Şekil 4.12. U kutusunda lif içeren KYB karışımlarının tıkanması.....	58
Şekil 4.13. Zamana bağlı J halkası seviye farkı sonuçları.....	60
Şekil 4.14. J halkasının donatıları arasında lif içeren KYB karışımlarının tıkanması.....	60
Şekil 4.15. KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük küp basınç dayanımları.....	61
Şekil 4.16. Basınç dayanım deneyi sonrası KYB karışımlarının numuneleri.....	62
Şekil 4.17. KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımları.....	63
Şekil 4.18. Yarmada çekme deneyi sonrası KYB karışımlarının numuneleri.....	64
Şekil 4.19. KYB karışımlarının kırılma enerjisi değerleri.....	65
Şekil 4.20. KYB karışımlarının eğilme dayanımı değerleri.....	66
Şekil 4.21. KYB karışımlarının çatlak ağzı açılma deplasmanı-yük eğrileri.....	67
Şekil 4.22. Lif içeren KYB numunesi eğilme deneyinden sonra çatlak açılması.....	68
Şekil 4.23. KYB karışımlarının yük-sehim eğrileri.....	68
Şekil 4.24. Elastisite modülü sonuçları.....	70
Şekil 4.25. KYB karışımlarının basınçlı su işleme derinlikleri.....	71

Şekil 4.26. Su işleme derinliği ölçülmesi.....	71
Şekil 4.27. Su emme oranları.....	72



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Mineral Katkıların suyla reaksiyon kapasitelerine göre sınıflandırılması...	7
Çizelge 2.2. KYB'nin tasarım yöntemine göre tavsiye edilen malzeme miktarları.....	15
Çizelge 2.3. KYB'nin işlenebilirliğini belirleyen deney metodları.....	17
Çizelge 2.4. Karışımların miktarları.....	32
Çizelge 2.5. 1m <sup>3</sup> KYB üretiminde kullanılan malzeme miktarları .....	34
Çizelge 2.6. Kullanılan çelik liflerin fiziksel özellikleri.....	36
Çizelge 2.7. Lifsiz referans serilerin gerçek karışım miktarları.....	36
Çizelge 2.8. Lif eklenen seriler ve lif miktarlar.....	37
Çizelge 2.9. 1 m <sup>3</sup> KYB üretiminde kullanılan gerçek malzeme miktarları.....	38
Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal bileşimi.....	40
Çizelge 3.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	40
Çizelge 3.3. Beton karışımlarında kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.....	41
Çizelge 3.4. Karışımlarda kullanılan agregaların elek analizi.....	41
Çizelge 3.5. Su azaltıcı katkıya ait özellikler.....	42
Çizelge 3.6. Çelik liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri.....	43
Çizelge 3.7. 1 m <sup>3</sup> KYB için teorik karışım miktarları.....	44
Çizelge 3.8. 1m <sup>3</sup> KYB için düzeltilmiş karışım miktarları.....	44
Çizelge 4.1. Zamana bağlı yayılma ve T50 akış süresi deneyleri sonuçları.....	48
Çizelge 4.2. Zamana bağlı V hunisi deneyi sonuçları.....	52
Çizelge 4.3. Zamana bağlı L kutusu deneyi sonuçları.....	54
Çizelge 4.4. Zamana bağlı U kutusu deneyi sonuçları.....	57
Çizelge 4.5. Zamana bağlı J halkası deneyi sonuçları.....	59
Çizelge 4.6. KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük küp basınç deneyi sonuçları.....	61
Çizelge 4.7. KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük yarmada çekme sonuçları.....	63
Çizelge 4.8. Eğilme deney sonuçları.....	65
Çizelge 4.9. Elastisite modülü sonuçları.....	69
Çizelge 4.10. Basınçlı su altında su derinliği deneyi sonuçları.....	70
Çizelge 4.11. Su emme deneyi sonuçları.....	72

## 1. GİRİŞ

Dünyadaki en yaygın kullanılan yapı malzemesinin beton olduğu bilinmektedir. Teknolojinin gelişimiyle artan ihtiyaçlardan dolayı beton karışımlarının özellikleri her geçen gün gelişmektedir. Ancak, betonun tasarımı, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması uygun bir şekilde gerçekleşmediği zaman çeşitli sorunlar oluşmaktadır (De Schutter ve ark. 2008). Beton karışımlarının hazırlanması esnasında yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri için gereken enerji beton üretiminin temel zorunluklarından birisidir. Şantiyedeki vibratörler, beton fabrikalarındaki titreşimli masalar veya alternatif yöntemlerle sıkıştırma enerjisi tüketilerek betonun yerleştirme ve sıkılaştırılma işlemleri yapılmaktadır. Bu yöntemler homojen bir beton karışımı elde etmek için taze betondaki hava kabarcıklarının çıkarılması ve kalıbın tamamen doldurulması için gerekli uygulamalardır. Ayrıca, optimum dayanım ve dayanıklılığa sahip bir beton üretmek için bu işlemler önemlidir (The Concrete Society 2005).

Uygulamada, çeşitli sebeplerden dolayı beton karışımlarının sıkıştırma işlemi tam olarak gerçekleşmeyebilir. Bu durum betonun dayanım ve durabilite performansını olumsuz olarak etkileyebilir. Bilindiği gibi, sıkıştırılmayan bir betonun kalitesi, düzgün bir şekilde sıkıştırılmış ve yerleştirilmiş bir betonun kalitesinden daha düşük olabilmektedir. Betonun sıkıştırılması, genellikle vibratör yardımıyla zor çevre koşullarında gerçekleştirilen fiziksel olarak zorlu bir işlemdir. Şantiyelerde sıkıştırma işlemi bazen zor olabilmekte ve dökülen betonun bir kısmı yeterince sıkıştırılamamaktadır. Bu bağlamda betonun taze halde akıcı ve kolay yerleştirilebilir olması her zaman tercih edilmektedir. Sıkıştırma enerjisi uygulanmadan da beton karışımlarını daha akıcı hale getirmek mümkün olabilir. Talep edilen bu özellikler, beton karışımlarına taze haldeyken su ilave edilerek veya büyük ölçüde çimento hamurunun miktarını artırarak beton karışımlarına kazandırılabilir. Fakat işlenebilirliği artırmak için karışımlara ilave edilen fazla su, taze halde karışımlarda ciddi segregasyon problemlerine ve sertleştirilmiş halde dayanım kaybına sebep olmaktadır (EN 206-1 2000). Çimento hamuru miktarını artırmak ise beton maliyetlerinin yükselmesine sebep olmaktadır.

Beton teknolojisi gelişmesiyle Geleneksel Beton (GB) uygulamasında karşılaşılan bu tip

sorunları çözmek için sıkıştırma enerjisine ihtiyaç kalmadan, kalıba kendi ağırlığı altında homojen bir şekilde yerleşen ve yüksek akıcılığa sahip Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) ortaya çıkmıştır. KYB ilk olarak Japonya'da uygulanmıştır. 1980'lerin sonrasında KYB'nin ilk kavramı Tokyo Üniversitesi'nde Okamura tarafından gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda önerilmiştir (Okamura ve Ouchi 1999). 1990'ların başında Japonya'da, vibratör kullanılmadan tam sıkıştırılmış bir beton karışımı elde etmek için KYB geliştirilmiştir. Aynı zamanda birçok Avrupa ülkesi, Japonya'da geliştirilen KYB'nin önemini ve faydasını görmüşlerdir. 1989 yılında Avrupa, Asya ve Avusturalya'daki şirketleri ve ortak üyeleri içeren Avrupa Beton Birliğini Temsil Eden Ulusal Dernekler Federasyonunu (EFNARC) kurulmuştur. Söz konusu bu tarihten itibaren KYB kullanımı hızla büyümeye ve gelişmeye başlamıştır. 2000 yılında, KYB prefabrik yapılar ve hazır beton için önem kazanmıştır (Ouchou ve ark. 2003). KYB gelişimi ile Avrupa Federasyonu'nun tüm üyeleri uygulama deneyimlerini kullanarak, 2001 yılında yüksek kaliteli KYB'nin tasarımı ve kullanımı için EFNARC şartname ve yönergeleri hazırlamışlardır (Walraven 2003). 2005 yılında, Uluslararası Prefabrik Beton Üreticileri Birliği (BIBM), Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREU), Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO), Avrupa Beton Katkı Üreticileri Federasyonu (EFCA) ve Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) birleşerek KYB için ortak Avrupa yönergelerini hazırlamışlardır (DUYAR 2006). KYB, birçok ülkede farklı yapıların ve yapısal taşıyıcı sistemlerinin oluşturulmasında yaygın olarak kullanmıştır. KYB ile inşaat verimliliği artırılabilir ve toplam maliyet önemli ölçüde azaltılabilir. KYB'nin geleneksel betona kıyasla bazı avantajları vardır. Yerleştirilmesinin daha kolay olması, sıkıştırılmasının tam ve daha düzgün yapılması, daha düzgün ve pürüzsüz yüzeyler elde edilebilmesi, dayanıklılığı daha yüksek olan karışımların üretilebilmesi gibi üstünlükler örnek verilebilir.

GB gibi KYB karışımı da bağlayıcı madde, ince agrega, iri agrega, su, mineral ve kimyasal katkılardan oluşmaktadır. KYB karışımlarının taze hal performanslarını iyileştirmek için, daha yüksek miktarda ince agrega ve süperakışkanlaştırıcı kullanılmaktadır. Böylece, KYB'nin işlenebilirlik, dayanımın ve dayanıklılık özellikleri GB'den daha yüksek olmaktadır. Bilindiği gibi, cimentolu malzemeler çok düşük çekme dayanımı ve gerilme deformasyon kapasitesine sahiptir. Betonun bu zayıf özelliklerini

iyileştirmek için karışıma cam, plastik, polipropilen ve çelik gibi malzemelerden üretilen lif malzemeleri ilave edilebilmektedir (Şimşek 2009). Günümüzde lifler farklı çeşit, boyut ve oranlarda beton üretiminde kullanılmakta olup, ilave edildikleri beton karışımlarının basınç, çekme, eğilme ve darbe dayanımlarını, sünekliğini, enerji yutma kapasitesini ve çatlak gelişim karakteristiklerini iyileştirebilirler. Ancak, lif kullanımı ile karışımların taze hal ve işlenebilirliği olumsuz etkilenmektedir. Taze betonun işlenebilirliği, kullanılan liflerin miktarı, uzunluğu ve şekli ile değişmektedir. Diğer yandan, sertleşmiş halde lifli betonların durabilite ve mekanik performansları, büyük ölçüde karışımın işlenebilirliğine ve kalıba boşluksuz bir şekilde yerleştirilebilmesine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Khayat ve Roussel 2000).

### **Konu ve kapsam**

Bu çalışmada, farklı narinlik oranına sahip çelik lif kullanımının KYB karışımlarının taze ve bazı sertleşmiş hal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, lif içermeyen kontrol karışımına ilaveten toplam hacmin %0,6'sı kadar 54, 64 ve 50 narinlik oranlarına sahip 3 farklı iki ucu kancalı çelik lif kullanılarak lifli KYB karışımları hazırlanmıştır. KYB karışımlarının üretiminde bağlayıcı olarak CEMI 42,5 R tipi Portland çimentosu ve maksimum tane çapı 12 mm olan kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Tüm karışımların su/çimento oranı, çimento dozajı ve yayılma değerleri sırasıyla, 0,40, 480 kg/m<sup>3</sup> ve 650±20 mm olarak sabit tutulmuştur. İstenilen yayılma değerini sağlamak için tek tip polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. KYB karışımlarının zamana bağlı taze hal performanslarını araştırmak amacıyla beton karışımlarında 1 saat boyunca her 20 dakikada bir serbest yayılma, J halkası, V hunisi, L kutusu ve U kutusu deneyleri yapılmıştır. Ayrıca TS EN 12390-3 ve TS EN 12390-6 standartlarına uygun olacak şekilde, sertleşmiş haldeki özelliklerini araştırmak üzere 100 mm boyutunda 7 ve 28 günlük küp numuneler üzerinde basınç ve yarmada-çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. KYB'lerin 10x10x50 cm'lik prizmalar üzerinde 28 günlük 4 noktalı eğilme dayanımı, 10x20 cm'lik silindir numuneler üzerinde 28 günlük elastisite modülü, 10 cm boyutunda küp numuneler üzerinde 28 günlük su emme ve 15 cm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde 28 günlük basınçlı su altında su işleme derinliği sırasıyla, TS EN 12390-6, ASTM C 649, ASTM C 642-97 ve TS EN 12390-8 standartlarına uygun olacak şekilde elde edilmiştir.

## 2. KURUMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. KYB Tanımı

KYB vibratör kullanmadan kendi ağırlığının altında yerleşebilen özel bir beton türüdür (Felekoğlu ve ark. 2004). Daha geniş bir tanımı ise KYB, herhangi bir sıkıştırma işlemi gerektirmeksizin sık donatılı dar ve derin kesitlere kendi ağırlığı ile yerleşebilen ve sıkışabilen, aynı zamanda ayrışma ve terleme gibi problemler yaratmadan stabilitesini koruyabilen, çok akıcı kıvama sahip bir özel beton türüdür (Su ve ark. 2001).

KYB, literatürde farklı isimlerde kullanılmaktadır. Kullanım bölgeye göre değişen isimler kullanılmaktadır. Dünyada, en yaygın kullanılan Kendiliğinden Sıkışan Beton'dur (Self-Compacting Concrete – SSC). Türkiye'de çoğunlukla Kendiliğinden Yerleşen Beton terimi kullanılmakta olup Kendiliğinden Sıkışan Beton veya Kendiliğinden Sıkışarak Yerleşebilen Beton isimleri de alternatif olarak kullanılmaktadır (Felekoğlu ve ark. 2004).

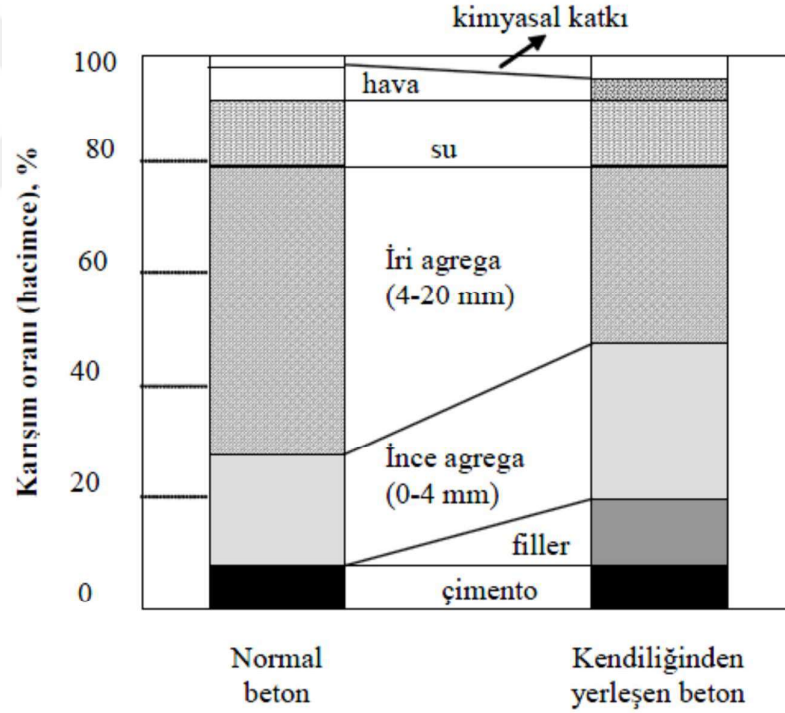


Şekil 2.1. Kendiliğinde Yerleşen Beton Uygulaması



## 2.2. KYB Karışımının Bileşenleri

Geleneksel Betonda (GB) kullanıldığı gibi, KYB üretiminde de bağlayıcı malzemeler, su, agregalar, kimyasal katkıları ve lifler kullanılabilir. Ancak KYB karışımının içerisindeki toplam ince ve iri agrega miktarı, en büyük agrega boyutu, süperakışkanlaştırıcı ve viskozite artırıcı kimyasal katkı tiplerinin yanında su/bağlayıcı oranı gibi parametreler bakımından GB'den farklılıklar göstermektedir. Geleneksel Beton ve tipik bir KYB karışımlarının 1m<sup>3</sup> üretimi için gereken malzemelerin hacimce kullanım oranı şekil 2.2'de gösterilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı gibi bağlayıcı, ince agrega ve kimyasal katkı kullanım oranı KYB karışımlarında daha fazla olmaktadır.



Şekil 2.2. Normal betonla KYB' nin karşılaştırılması (Felekoğlu 2003)

### 2.2.1. Çimento

Çimento, KYB karışımlarında bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. KYB özelliklerini elde etmek için farklı çimento tipleri kullanılabilir. KYB üretiminde, çimento tipleri TS EN 197-1'e uygun olacak şekilde kullanılır. KYB uygulamalarında, akışkanlığı arttırmak ve KYB'nin kendisini sıkıştırmasını sağlamak için yüksek miktarda bağlayıcı

malzeme gerekmektedir. Ancak, çok fazla çimento kullanımı, betonun kuruma büzülmesini ve malzemelerin maliyetini artırmaktadır. Bu yüzden uçucu kül, kireçtaşı tozu, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, filler gibi mineral katkıları ve kimyasal katkıları betonun ayrışma direncini arttırmak ve maliyetini azaltmak için KYB karışımlarında kullanılabilir (Su ve ark. 2001).

### **2.2.2. Karışım suyu**

KYB karışımlarında suyun görevi işlenebilirliği sağlayarak hidrasyon işlemi (çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonları) başlatıp sürdürmektir. İçilebilir nitelikte, temiz, berrak ve kokusuz sular KYB üretiminde rahatlıkla kullanılabilir. Diğer bir deyişle, şehir şebeke suları beton üretimi için istenilen nitelikte sulardır. Genel olarak KYB’de kullanılan su TS EN 1008’e uygun olmalıdır.

### **2.2.3. Agregalar**

Beton hacmini en çok kaplayan agregalar, betonun özelliklerini etkileyen bileşenlerinden biridir. Bu nedenle, beton karışımında uygun agregalar kullanılması betonun dayanımı ve dayanıklılığını olumlu yönde etkilemektedir (Xie ve ark. 2005). Çakıl ve kum oranı, agregalar tipi, en büyük tane çapı ve granülometri gibi parametreler Geleneksel Betonda olduğu gibi KYB’nin taze ve sertleşmiş özelliklerini etkilemektedir. KYB karışımlarında kullanılan agregalar TS EN 12620 ve TS EN 206-1’nin durabilite koşullarına uygun olmalıdır. Tüm agregaların kil-silt malzeme içeriği, nemi, su emme kapasitesi, boyutu ve çeşitliliği devamlı olarak gözlemlenmelidir. KYB karışımlarında agregaların şekil ve tane büyüklüğü dağılımı çok önemlidir. Bu durum KYB karışımlarının hava içeriğini de etkilemektedir. Bilindiği gibi, betonda kullanılan agregalar boyut açısından iri ve ince agregalar olarak ikiye ayrılmıştır.

#### **İri Agregalar**

KYB karışımlarının işlenebilirliğinde agregalar boyutu ve türü önemli rol oynamaktadır. İri agregaların tane büyüklüğünün dağılımı ve şekli betonun akış kabiliyetini ve çimento hamuru gereksimini direkt olarak etkilemektedir (Xie ve ark. 2005). TS EN 12620’ye uygun iri agregalar KYB karışımları için elverişlidir. KYB üretiminde kullanılacak agregaların mineralojik kökeni uygun olmalıdır. Kırmı kireçtaşı iri agregalar olarak

kullanılabilir. EFNARC'a (2005) göre en büyük agrega boyutu 20 mm olarak önerilmekteyse de bu konuda kesin bir rakam verilmemiştir. Ancak, kullanılan agrega KYB karışımların akışkanlığını ve sık donatılar arasından geçebilme yeteneğini sağlamalıdır.

### **İnce agrega**

Bilindiği gibi, ince agreganın taze beton üzerindeki etkisi önemli farkla iri agregadan daha fazla olmaktadır. EFNARC'a (2005) göre 0,125 mm'den daha küçük boyuttaki parçacıklar çimento hamuruna dahil edilmeli ve su/toz oranı belirlenirken hesaba alınmalıdır. Su/toz oranı EFNARC'daki (2005) 0,85-1,10 aralığı dikkate alınarak karışımlardaki toz miktarı belirlenebilir.

### **2.2.4. Mineral katkılar**

KYB karışımlarında ayrışma ve kohezyon direnci sağlamak ve arttırmak için çeşitli mineral katkılar yaygın olarak kullanılır. KYB karışımlarına ilave edilen mineral katkılar, hidrasyon ısını ve termal büzülmesini azaltmak için çimento miktarını da düzenler. Harç fazının agregaları daha iyi sarmasını sağlar. EFNARC'a (2005) göre KYB'de kullanılan toz malzeme oranının 380 ila 600 kg/m<sup>3</sup> arasında olmalıdır. Toz malzemenin doldurma kapasitesini arttırmak için eş boyutlu, çok küçük çaplı öğütülmüş halde kullanılması mümkündür (EFNARC 2005). Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi, EFNARC'a (2005) göre mineral katkılar suyla reaksiyon kapasitesi açısından 2 tipe ayrılmaktadır.

**Çizelge 2.1.** Mineral Katkıların suyla reaksiyon kapasitelerine göre sınıflandırılması (EFNARC 2005)

TİP 1	Puzolanik olmayan yada yarı puzolanik	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mineral filler (kireçtaşı, dolomit vs.)</li><li>• Pigmentler</li></ul>
	Puzolanik	<ul style="list-style-type: none"><li>• EN 450'ye uygun uçucu kül</li><li>• En 13263'e uygun silis dumanı</li></ul>
TİP 2	Hidrolik	Yüksek fırın cürufu

### 2.2.5. Kimyasal katkılar

Beton karışımı, KYB özelliğini gösterebilmesi için iki koşulu bir arada sağlaması gerekmektedir. Bunlardan birincisi yüksek işlenebilirliği sağlamak için düşük eşik kayma gerilme değerine sahip olmasıdır. İkincisi ise karışımın ayrılmaya karşı daha dirençli olması için yüksek viskozite değerine sahip olması gerekmektedir. Birinci koşulun, su miktarını artırarak sağlanması durumunda betonun kararlılığı bozulmakta, yani ayrışma eğilimi ortaya çıkmaktadır. Ancak, bu durum etkili bir kimyasal akışkanlaştırıcı (süperakışkanlaştırıcı) kullanımıyla düzeltilir. TS EN 934-2'ye uyumlu süperakışkanlaştırıcı veya yüksek oranda su azaltıcı katkılar KYB için önemli bileşenlerdir.

#### **Yüksek Oranda Su Azaltıcılar / Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Kullanımı**

Beton teknolojisinde kullanılan akışkanlaştırıcıların temel görevi karışımın su/çimento oranını değiştirmeden işlenebilirliği arttırmak olduğundan, düşük su/çimento oranında yüksek işlenebilirliği sağlamak ancak yüksek oranda su azaltıcıların (süperakışkanlaştırıcıların) kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Süperakışkanlaştırıcı katkıların KYB'de akıcılık kazandırma etkisi normal akışkanlaştırıcılar ile benzer özellik göstermekle beraber kimyasal yapıları ve polimer moleküllerinin çimento taneleri üzerinde adsorbe olup parçacıkların elektrostatik yüklerini değiştirmesi bakımından farklılık göstermektedir (Doğan 2000, Akman 2000).

Süperakışkanlaştırıcılar kimyasal yapılarına göre üç farklı sınıfa ayrılırlar:

- 1) Linyosülfonatlı tuzlar ve linyosülfonat türevleri,
- 2) Hidroksil – karboksilik asitler ve türevleri,
- 3) Polimerlik malzemeler.

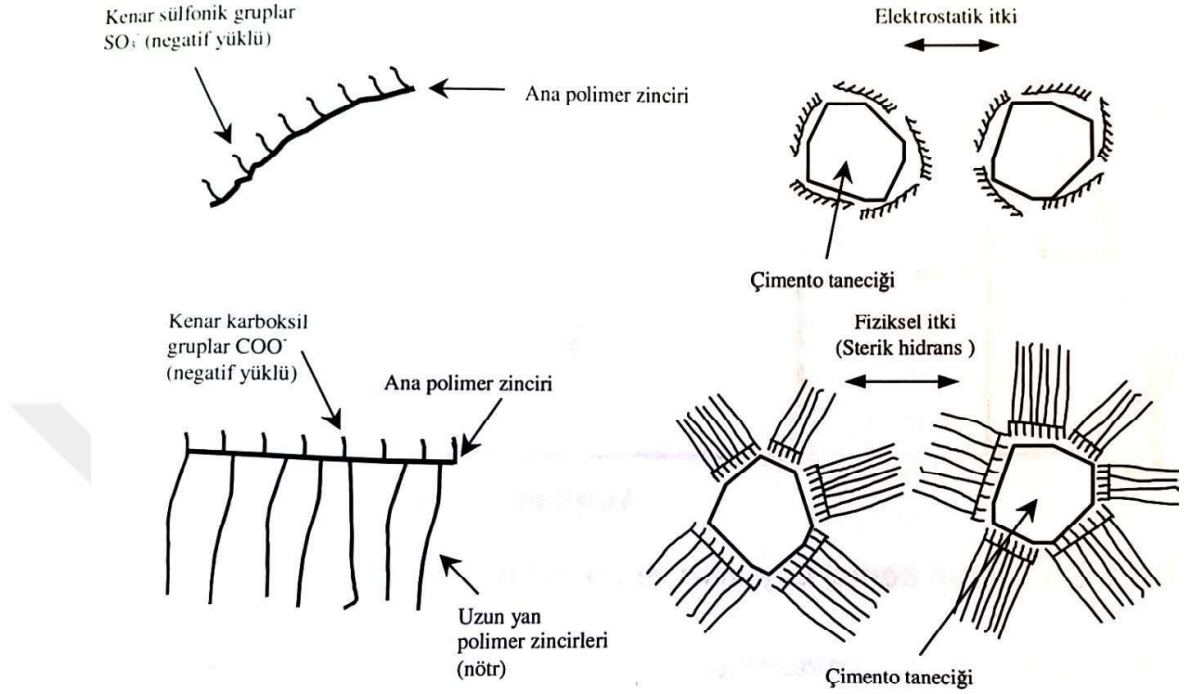
Normal miktarda su-azaltıcı katkı maddelerinin çoğu, yukarıdaki ilk iki sınıfta yer almaktadır. Yüksek miktarda su-azaltıcı katkı maddeleri ise birinci ve üçüncü sınıfa dahildirler. Bilindiği gibi, linyosülfonat esaslı katkı maddelerinin azda olsa priz geciktirici etkisi bulunmaktadır (Erdoğan 2010).

### **Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Etki Mekanizması**

Kimyasal katkı maddeleri, çimento ile elektriksel fiziksel ya da fizikokimyasal bir etkileşime girip çimentonun hidrasyon hızını ve oranını değiştirebilirler. Ancak temel etkisi fizikseldir. Kimyasal katkılar çimento hamuru ile kimyasal bir tepkimeye girmeden çimento hamurunun hidrasyonunda hızlandırıcı veya yavaşlatıcı etki gösterebilmektedir. Bu etkiler araştırmacılar tarafından farklı mekanizmalarla açıklanmaktadır (Neville 1997). Su-çimento karışımında herhangi bir akışkanlaştırıcı katkı kullanılmadığı takdirde, çimento tanecikleri yüzey elektrostatik özellikleri gereği topaklaşma eğilimindedir. Meydana gelen topaklaşma hem hidrasyon gelişimini olumsuz etkiler hem de kümeleşme sırasında boşluklara hapsolan su beton dayanıklılığı için önemli bir dezavantaj olan kapiler boşluk oranını artırır. Akışkanlaştırıcı bir kimyasal katkı su-çimento sisteminde çimento tanelerinin daha homojen dağılmasını ve tanelerin birbirinden uzaklaşmasını sağlar. Öte yandan akışkanlaştırıcı suyun yüzey gerilimini düşürerek çimento tanecikleri arasında suyun hareketini kolaylaştırır. Bu durum hem hidrasyon oranını hem de çimento hamurunun işlenebilirliğini artırır. Böylece taneler arasında hapsolan hava miktarı azalır ve karışımda daha iyi sıkışma sağlanır (ASTM C125 2002).

Polikarboksilat esaslı katkılarda elektrostatik itki ile birlikte daha farklı durumlarda etkili olmaktadır. Özellikle polimer bazlı katkılarda elektrostatik itkinin yanında polimer yan zincirlerinin çimento tanesinin üzerine adsorbe olarak oluşturduğu fiziksel etki daha baskındır. Elektrostatik itki ile fiziksel itki arasındaki farklılık şekil 2.3'te şematik olarak verilmiştir. Sterik itkinin derecesi polimer zincirinin uzunluğuna molekül ağırlığına yan zincir yapısına ve ortam koşullarına bağlıdır. Özellikle polikarboksilat bazlı katkılarda sterik etki çimento dağılımını sağlayan temel faktördür (Baradan 2015).

Süperakışkanlaştırıcı katkıların dışında, ayrışma meydana gelmeden KYB karışımlarının akışkanlığını sağlamak için viskozite düzenleyici veya hava sürükleyici katkılar da kullanılabilir. Ancak, kullanmadan önce kullanılacak katkıların çimentoyla uyumu araştırılmalıdır (Mardani-Aghabaglou 2016).



Şekil 2.3. Elektrostatik ve fiziksel itki modelleri (Baradan 2015).

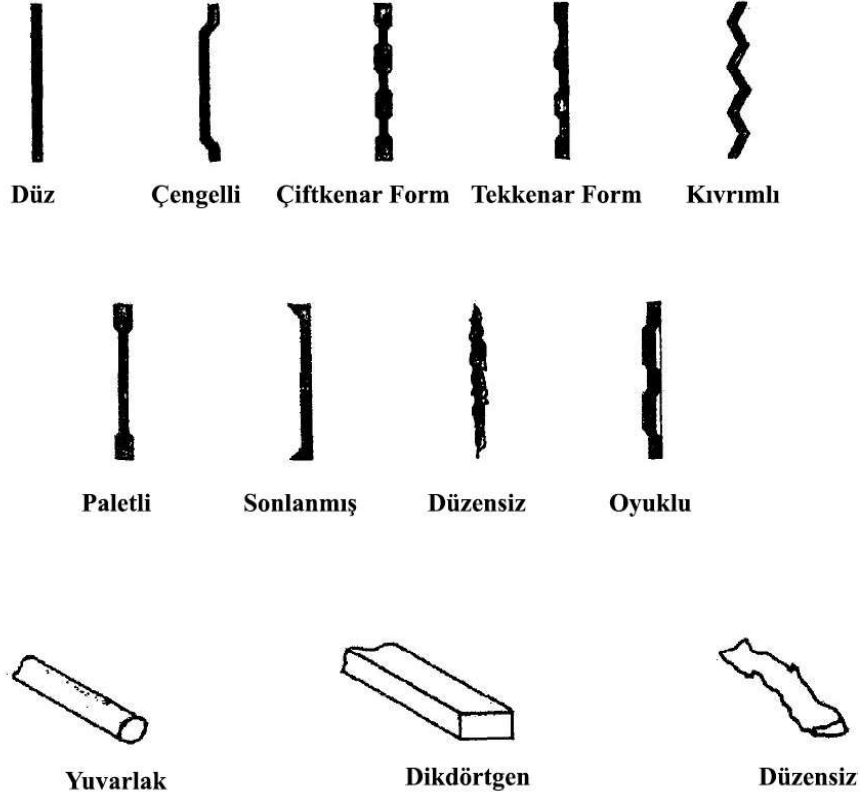
## 2.2.6. Lifler

### Lif tanımı ve çeşitleri

Beton karışımlarında, farklı amaçlara yönelik lif kullanılmaktadır. Çeşitli malzemelerden üretilen lifler, özellik açısından farklı sınıflara ayrılabilir. Malzeme türüne göre lifler iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar;

- Doğal malzeme: Selüloz, Bambu, Hindistan cevizi kabuğu, Şeker kamışı, Hint keneviri, Abest
- Yapay malzeme: Çelik, Cam, Sentetik (Akrilik, aramid, karbon, naylon, polyester, polietilen, polipropilen) (Naaman 2000).

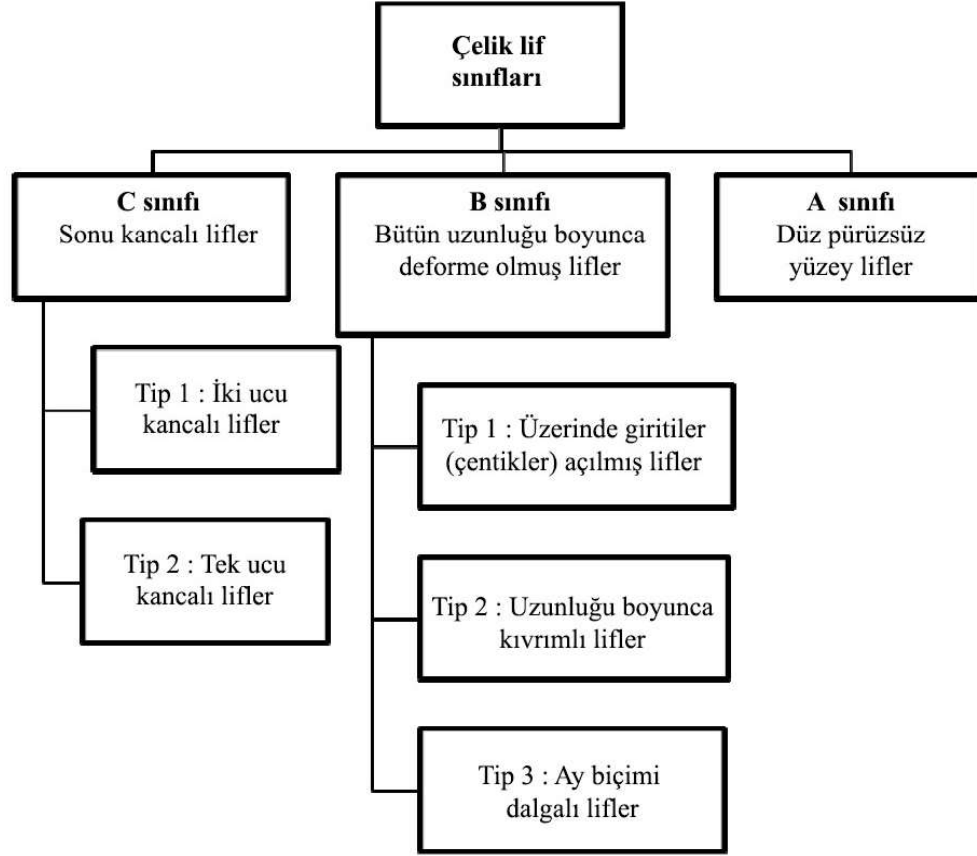
Yapay malzemelerden üretilen çelik lifler, dünyada en çok kullanılan liflerden biridir. Çelik liflerin fiziksel özelliğine göre sınıflandırılabilir. Şekil 2.4’te lifli betonlarda yaygın olarak kullanılan çelik liflerin şekilleri ve tipleri verilmektedir.



Şekil 2.4. Çelik Lifin Tipleri ve Sekilleri (Şimsek 2009)

TS 10513, 1992’e göre; çelik lifler A, B ve C sınıfı olarak üç farklı sınıfa ayrılmıştır. Şekil 2.5’te standartta tanımlanan liflerin gruplandırılması görülmektedir.

ACI 544.3R-93 ’e göre, betonun zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan çelik liflerin tanımı lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen uzunluk/çap oranı olarak kabul edilmektedir. Bu oran aynı zamanda lifin narinliğini göstermektedir. Bu sebepten dolayı çoğu zaman lif uzunluğu/çapı oranına lif narinlik oranı denilmektedir.



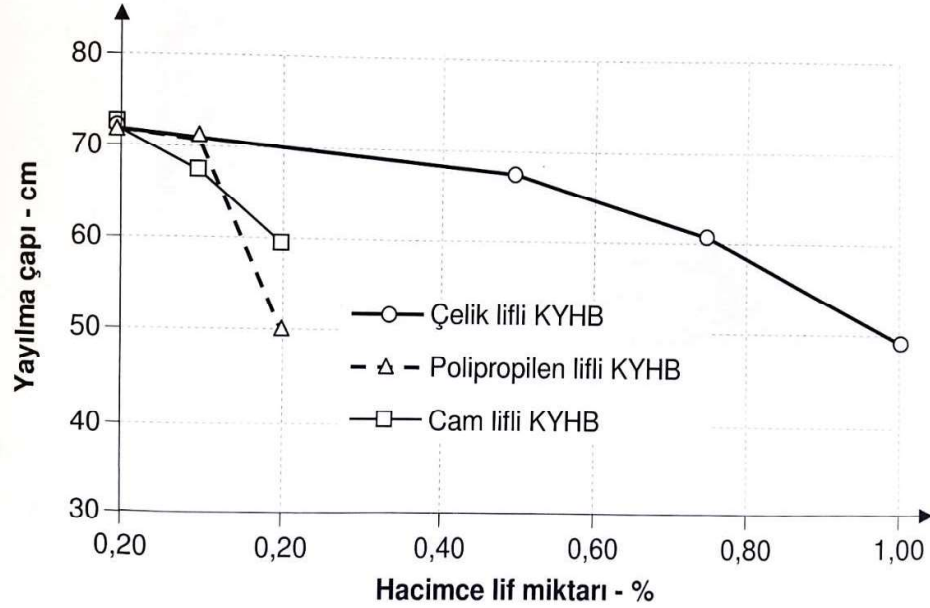
**Şekil 2.5.** TS 10513, 1992'e göre Çelik Liflerin Sınıflandırılması (TS 10513, 1992)

### Lif Kullanımının KYB Karışımlarının Özelliklerine Etkisi

Bilindiği gibi, beton karışımlarına lif ilave edilmesi karışımın işlenebilirliğini ve akışkanlığını olumsuz etkilemektedir. Böylece, lif içermeyen betonların işlenebilirliği lifli betonlara göre daha yüksek olabilmektedir. Lif içeren beton karışımlarında, maksimum agrega tane boyutu, agrega tane dağılımı, lif hacmi, lif tipi, lif narinlik oranı, hava miktarı ve S/Ç oranı işlenebilirliği etkileyen önemli faktörler olarak tanımlayabilmektedir. Geleneksel Betonlarda olduğu gibi KYB karışımlarında hacimce veya ağırlıkça kullanılan lif miktarı ve lifin narinlik oranı işlenebilirliği olumsuz etkileyen en önemli iki parametredir (Grünwald ve Walrawen 2001). Lifler aynı hacimde agregalara göre daha uzun şekle ve daha yüksek alana sahiptirler. Bundan dolayı akış sırasında akışa karşı bir içsel sürtünme ile karşı koymaya çalışırlar. Ayrıca lifler akış



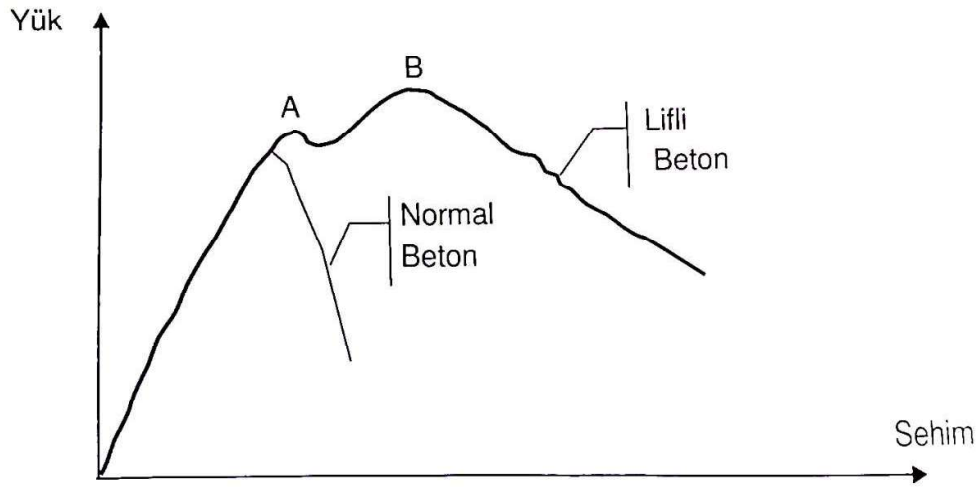
sirasında kenarlara takılma ve engelleme etkisi oluşturarak akışın yavaşlamasına ve engellenmesine neden olabilir (Grünwald ve Walrawen 2001, Yardımcı 2008). Genel olarak lif boyu, agrega en büyük tane boyutu ve agrega hacminin azalması ile akış sırasında ortaya çıkan içsel sürtünme azalabilir ve işlenebilirlik performansı artabilir (Khayat ve Roussel 2000). Şekil 2.6’de Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların yayılma çapı üzerine lif tipi ve miktarının etkisi görülmektedir (Haist ve ark. 2002). Şekilden anlaşıldığı gibi, lif tipinde bağımsız olarak lif hacminin artışıyla KYB karışımlarının yayılma çapı azalmıştır. Bu bağlamda polipropilen lifin karışımların yayılma miktarının en çok azalmasına sebep olan lif türü olduğu gözlemlenmiştir.



**Şekil 2.6.** Kendiliğinden Yerleşen Hafif Betonların (KYHB) yayılma çapı üzerine lif tipi ve miktarının etkisi (Haist ve ark. 2002)

KYB karışımlarında su/bağlayıcı oranının düşük olması, terlemeyi önleyici katkı maddelerinin (süperakışkanlaştırıcı) kullanılması ve ince malzeme miktarının artırılması betonun plastik rötreye karşı hassas olmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla oluşabilecek plastik rötre çatlaklarını önlemek için lif kullanılması, betonun dayanıklılığının artırılmasında yararlı olmaktadır. KYB içerisine çelik liflerin eklenmesinin betonun elastisite modülüne, kuruma büzülmesine ve basınç dayanımına etkisi çok azdır. Ancak KYB karışımlarında yüksek miktarda karbon lifler kullanıldığı zaman eğilme yüklemesi altında sünme oldukça azalmaktadır. Bununla birlikte çoğu çalışmada lifler, düşük

miktardaki hacimleri nedeniyle kompozitin boyutsal stabilitesi üzerinde fazla etki yaratmadan matriste rijit eklentiler olarak görev alır (Mehta ve Monterio 1997). Çelik lifli betonun eğilme yükü altında yük-deplasman eğrisi, şekil 2.7’de gösterilmiştir. Şekil 2.7’den de anlaşıldığı gibi, A noktasına kadar yaklaşık doğrusaldır. Bu noktadan sonra eğri doğrusal olmaktan sapar ve maksimum yükün taşındığı B noktasına kadar ulaşır. A noktası veya bu noktaya karşı gelen gerilme ilk çatlama kuvveti, elastik limit, orantılı limit olarak adlandırılır. B noktası nihai dayanım olarak tanımlanır. Bu değerler ve yükün B noktasından sonraki azalma hızı, liflerin miktarına, uzunluk/çap oranına, beton içindeki yönelimine, liflerin ve matrisin mekanik özelliklerine bağlıdır (Baradan 2015).



Şekil 2.7. Lifli betonun yük deformasyon eğrisi (Baradan 2015)

### 2.3. KYB Karışımlarının Tasarım Yöntemi

KYB’lerde karışım tasarımı geleneksel betondan farklı olup özel bilgi ve deneyim gerektirse de beton bileşenleri açısından genel olarak çok büyük bir farklılık göstermemektedir. KYB tasarımında ana unsur bu bileşenlerin kullanım oranları olup buna yönelik geliştirilen farklı yaklaşımların temelinde iri agreganın hacminin sınırlandırılması, süperakışkanlaştırıcı kullanılması ile harç özelliklerinin değiştirilmesi vardır. Bileşiminde çimento, su, ince agrega, uçucu kül, silis dumanı gibi puzolonik malzemeler ve kireçtaşı tozu gibi beton yapısını doldurucu özellik gösteren malzemeler

bulunmaktadır. Bunlara ek olarak yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar ve viskozite düzenleyici kimyasal katkıları da KYB karışımlarında kullanılmaktadır. Üretilen KYB karışımının hedeflenen işlenebilirliğe ve ayrışma direncine sahip olması gerekmektedir. Üretilen KYB karışımını donatıların arasına çok iyi yerleşmeli, ayrışma ve topaklanma gibi bir eğilimi olmamalıdır. Bu amaçla, kendiliğinden yerleşen betonların üretiminde su/toz oranı kontrol edilir, akışkanlık performansını etkin bir şekilde artıran kimyasal katkıları kullanılır ve kullanılan iri agrega miktarı sınırlı tutulur. Temel tasarım yöntemine göre tasarımda dikkat edilecek noktalar aşağıda verilmiştir.

Hacimsel olarak, betonun %50'si harç ve %50'si iri agregadan oluşmalıdır. %50'lik kısmının ise %30'u çimento, %30 su ve %40'ı ince agregadan oluşmalıdır.

Düşük Su/Çimento oranı ile üretim gerçekleştirebilmek ve uzun süreli işlenebilirlik için polikarboksilat eter esaslı yeni nesil süper akışkanlaştırıcılar ve viskozite düzenleyici katkıları kullanılabilir. Bu tasarım yöntemine göre EFNARC (2005) tarafından tavsiye edilen tipik malzeme miktarları Çizelge 2.3'te gösterilmiştir (Gaimster ve Dixon 2003, EFNARC 2005).

**Çizelge 2.2.** KYB'nin tasarım yöntemine göre tavsiye edilen malzeme miktarları (EFNARC 2005)

İnce Malzeme Miktarı (<0,125 mm)	400-600 kg/m <sup>3</sup>
Kum Miktarı (0,125mm-4mm)	Harç hacminin %40'ı
İri agrega miktarı D <sub>max</sub> = 20 cm	Gerçek birim ağırlığının %50'si
Uçucu kül miktarı	Çimento + U. Kül hacminin %40'ı
Su/Toz malzeme	0,9-1,0 (Hacimsel olarak)

## 2.4. KYB Karışımlarının Özellikleri

### 2.4.1. Taze hal özellikleri

Taze betonun özellikleri KYB karışımlarının performanslarını önemli derecede etkilemektedir. Bu betonların taze hal özellikleri geçiş ve doldurma yetenekleri ile segregasyon direnci gibi üç parametre ile belirlenmektedir.

**Geçiş yeteneği:** Beton karışımı yeterli akıcılığa sahip olup, ayrılmaya maruz kalmadan sık donatılı yerlerden geçerek hamurun agregaları sık donatılı yerlerde kolayca taşıyabilmesiyle ifade edilir. KYB nin iyi bir akış yeteneğine sahip olmasıyla, çimento hamuru agregalar arasındaki boşluğu tamamen doldurup agrega tanecikleri birbiri üzerinden kolayca kayarak kalıbı doldurabilmektedir. L-Kutusu, U-kutusu, doldurma kutusu ve J-halkası deneyleri uygulanarak KYB'nin geçiş yeteneği değerlendirilir (EFNARC 2005).

**Doldurma yeteneği:** KYB'nin kendi ağırlığı altında şekil değiştirip çimento hamurunun akış yeteneğine ve taneler arası sürtünmesine bağlı olarak istenilen kalıba vibrasyona gerek duyulmadan boşluksuz yerleşebilmesi ile tanımlanabilir. Doldurma yeteneği, betonun döküldüğü noktadan belirli bir mesafeye nasıl hızla ulaştığına bağlıdır. İri agrega hacmini düşürüp kullanılan çimentoya da bağlı olarak optimum gradasyonun geliştirilmesiyle taneler arası sürtünme azaltılabilirken, su/bağlayıcı oranı dengelenip süperakışkanlaştırıcı kullanılmasıyla da çimento hamuru fazının deformasyon yeteneği artırılabilir. Yayılma deneyi ile ölçülen yayılma çapı, bu çapa ulaşması için geçen süre ile V hunisi akış süresi KYB karışımların doldurma yeteneğini değerlendirmektedir (EFNARC 2005)

**Ayrılmaya Karşı Direnç:** Beton karışımlarda ayrışma, taze halde malzemelerin dağılımında homojenliğin bozulması ile gözlenmektedir. Normal akışlarda ayrışma göstermeyen betonlarda, sık donatılı yerlerde agrega tanelerini sıkışıp, çimento hamurundan ayrılmasıyla ifade edilir. Bu olay ise betonun homojenliğinin bozulmasına ve yapıda kusurların oluşmasına yol açmaktadır. Betonun gerek durağan gerekse de akış halinde görülebilen terleme, çimento hamuru fazı ile agrega ayrışması, kaba agreganın ayrılarak blokaja neden olması, hava boşluğunun dağılımındaki düzensizlik gibi

problemler bileşenlerin düzensiz bir şekilde dağılıp segregasyon oluşumuna neden olurlar. Süperakışkanlaştırıcılar ve vizkozite düzenleyici katkıları kullanılarak su/bağlayıcı oranı azaltılıp terlemenin minimuma indirilmesi segregasyonun önlenmesinde birinci yöntemken, iri agrega hacminin sınırlandırılması ve en büyük agrega tane çapının düşürülmesiyle katı maddelerin ayrışmasını azaltmak da diğer bir yöntemdir. KYB'nin ayrışmaya karşı direncini belirlemek için elek ayrışma direnci deneyi gerçekleştirilmektedir (EFNARC 2005). KYB'nin işlenebilirliğini belirleyen deney metodları aşağıda görülmektedir.

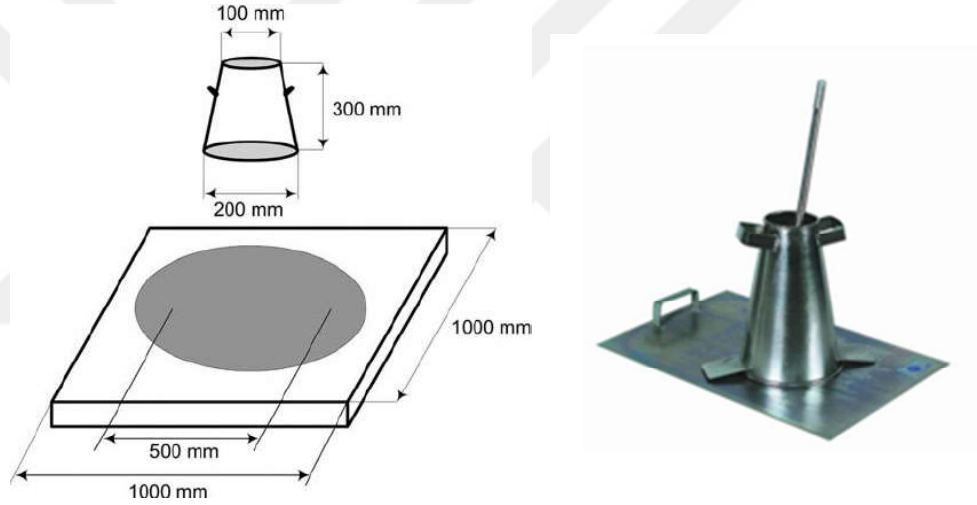
**Çizelge 2.3.** KYB'nin işlenebilirliğini belirleyen deney metodları (EFNARC 2005)

Belirlenen Özellik	Deney
Doldurma yeteneği	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Çökme yayılma,</li> <li>• İlk 50 cm'lik çapa ulaşma süresi</li> <li>• V-kutusu akış süresi</li> </ul>
Geçebilme yeteneği	<ul style="list-style-type: none"> <li>• L-kutusu</li> <li>• U-kutusu</li> <li>• Doldurma kutusu</li> <li>• J-halkası</li> </ul>
Ayrışmaya karşı direnç	<ul style="list-style-type: none"> <li>• T<sub>5</sub> dak V-kutusu akış süresi</li> <li>• Elek ayrışma deneyi (GTM)</li> </ul>

### Yayılma Deneyi ve T50 Süresi

Betonun kendiliğinden yayılma özelliğini yani doldurma yeteneğini ölçmek amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Çok yaygın olarak kullanılan bu deney yönteminde betonun hiçbir engel olmadan, serbest olarak, kendi ağırlığı ile bir koniden akarak yayılma tablası üzerinde serbest yayılması sağlanır. 100 x100 cm boyutlarındaki yayılma tablası düz bir zemine yerleştirilip yüzeyi nemlendirilir. Boyutları; üst çap 10 cm, alt çap 20 cm, yükseklik 30 cm olan kesik koni tablanın merkezine yerleştirilerek yaklaşık 6 lt betonla şişleme yapılmadan doldurulur. Huni dik olarak çekilerek betonun önceden tabla üzerine çizilen 50 cm çaplı daireye yayılması için geçen süre ölçülür. Yayılma tamamlandıktan sonra birbirine dik iki yöndeki çap ölçülerek ortalaması alınır. Çökme-yayılma değeri olarak adlandırılan bu değer yüksek olmasıyla betonun akıcılığının dolayısıyla doldurma yeteneğinin iyi olduğu sonucuna varılır. Kendiliğinden yerleşen beton için sınır değer 65-80 cm olarak belirlense de bazı araştırmalarda min 60cm'e kadar yayılma

gösteren betonun kendiliğinden yerleşen beton özelliği gösterebileceği bildirilmiştir (Lars ve ark. 2000). Akıcılığın diğer bir değerlendirme parametresi olan T50 süresi ise akıcılık ile ters orantılıdır. Bu süre ne kadar olursa akıcılık o kadar fazladır. T50 süresi için sınır değer 2-5 sn olarak kabul edilmektedir. Bu deney yöntemi betonun hiçbir engel bulunmayan bir ortamdaki akıcılık özelliği hakkında fikir verir. Buna karşılık donatıların bulunduğu bir ortamda betonun tıkanma olmadan donatıların arasından geçebilme yeteneği ile ilgili bilgi edinilemez. Yine de segregasyon direnci gözlemlenebilir (EFNARC 2005, Bartos ve ark.). Şekil 2.8’de Yayılma Deneyi deney düzeneği görülmektedir.

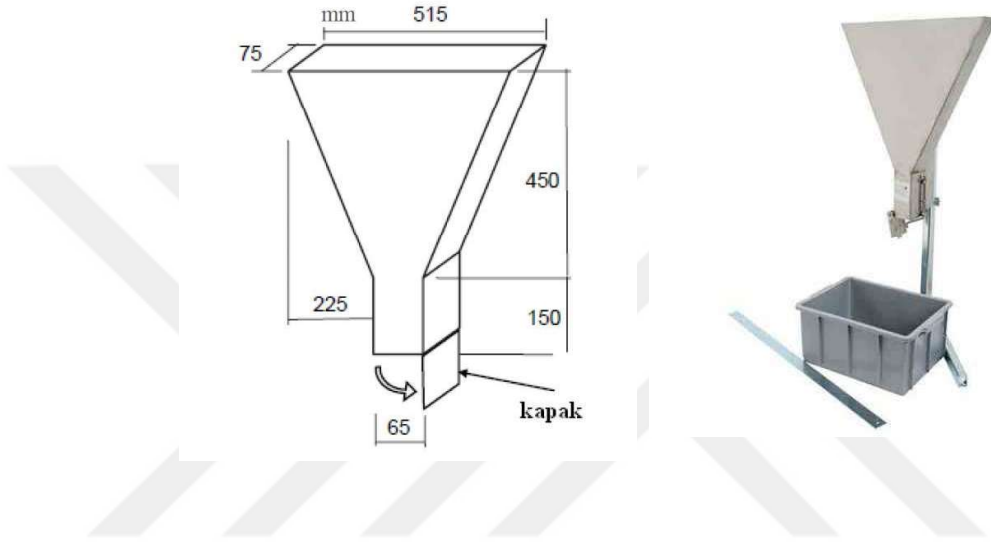


Şekil 2.8. Serbest yayılma deney düzeneği (Lars ve ark. 2000).

### V Kutusu Deneyi

En büyük agrega tane çapı 20mm'nin altında olan betonlar için uygulanan bu deneyde betonun dar bir kesitten kendi ağırlığı ile akışı sağlanarak geçiş yeteneği incelenir. Boyutları Şekil 2.9’da görülen V şeklindeki huninin iç yüzeyi nemlendirildikten sonra en altta bulunan kapak kapatılır. Yaklaşık 12 lt hacmindeki huni üst yüzeyine kadar şişleme yapılmadan betonla doldurulur. Yerleşmesi için 10 sn kadar beklendikten sonra alt kapağın açılmasıyla süre başlatılır. Akışın tamamen bitimine kadar geçen süre ölçülür. Bitiş anı üstten bakıldığında alttan ışık geçmeye başladığı andır. Deneyde kullanılan beton 5 dakika sonra huninin yüzeyi temizlenmeden tekrar uygulanır ve süre ölçülür. KYB için yaklaşık 10sn olması beklenen akış süresinin azalması betonun yüksek

akışkanlıkta olduğunu gösterir. 5 dakika beklendikten sonra betonda oluşabilecek segregasyon akışın homojenliğini bozup akış süresinin artmasına neden olabilir. İki değer arasındaki fark segregasyon direnci hakkında fikir verebilir (EFNARC 2005, Bartos ve ark.). Şekil 2.9’te V hunisi deney düzeneği görülmektedir.

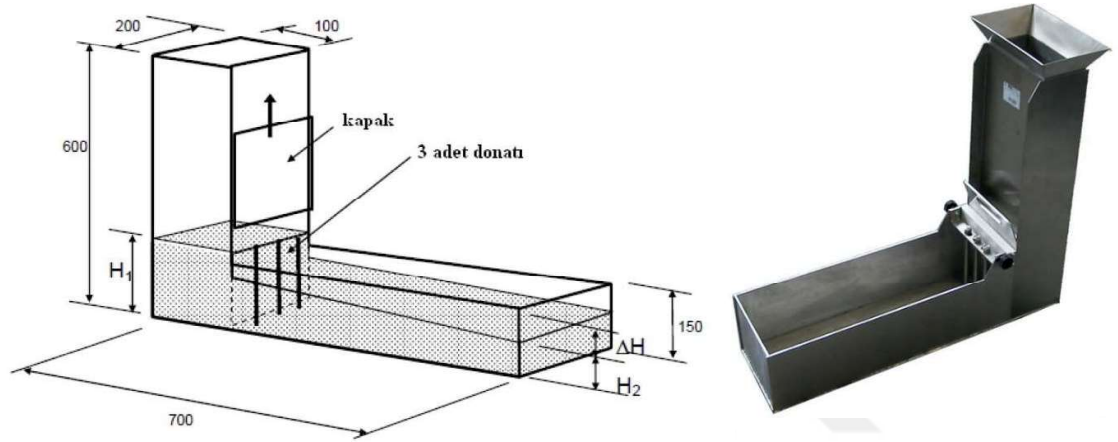


Şekil 2.9. V hunisi deney düzeneği

### L- Kutusu Deneyi

KYB'nin akıcılığının ve donatılar arasından geçiş yeteneğinin belirlenmesi amacıyla uygulanan bu yöntemle betonun tıkanma riski değerlendirilir. Deney düzeneği olarak yatay ve dikey hazneden oluşan, Şekil 2.10’da ölçüleri verilen, ahşap ya da çelikten yapılabilen L şeklindeki kutu kullanılır. Dikey hazne ile yatay hazne birbirinden dik yönde yerleştirilmiş 3 adet 12 mm çaplı donatı ile ayrılır. Ayrıca dikey haznenin sonunda bir de kapak bulunmaktadır. Düzeneğin iç yüzeyi nemlendirilip ara kapak kapatıldıktan sonra dikey hazne yaklaşık 13 lt betonla, şişleme yapılmadan, doldurulur. 1 dakika beklenip betonun yerleşmesi sağlandıktan sonra ara kapak kaldırılarak betonun donatılar arasından geçip yatay hazneye dolması sağlanır. Deneye başlamadan önce yatay hazne üzerinde kapaktan itibaren 200 mm ve 400 mm lik mesafeler işaretlenir. Kapağın kaldırılmasıyla süre başlatılır ve betonun bu mesafelere kadar ulaşma süreleri ölçülür. Akış tamamlandıktan sonra düzeneğin her iki ucundaki beton seviyeleri ölçülerek birbirine oranlanır. Bu değer “bloklanma oranı” olarak adlandırılır. Bu oran KYB'nin

akıcılık ve geçiş yeteneğinin bir ölçüsü olup minimum 0,8 olarak kabul edilir. T20 ve T40 süreleri betonun akış özelliği ile ilgili bilgi verirken sınır değerler konusunda bir kabul henüz yoktur. Bu deneyle; betonun donatılar arasından geçiş durumuna göre tıkanma olasılığı, iri agreganın hazne boyunca ilerleme durumuna göre de segregasyon direnci hakkında bilgi elde edinilebilir (EFNARC 2005, Bartos ve ark.). L Kutusu deney düzeneği Şekil 2.10'te görülmektedir.



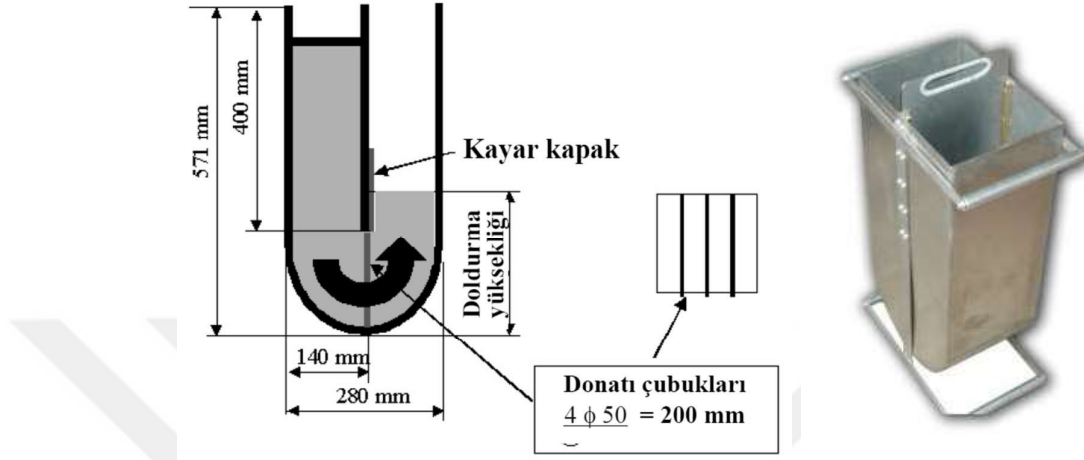
Şekil 2.10. L-Kutusu Testi Deney Düzeneği (Lars ve ark. 2000)

### U- Kutusu Deneyi

KYB'nin doldurma kapasitesini ve akış yeteneğinin incelenmesi amacıyla uygulanmaktadır. U şeklindeki deney aletinin orta kısmında düzeneği iki hazneye ayıran ama tabana kadar inmeyen bir orta duvar bulunmaktadır. Bu duvar ile düzeneğin tabanı arasında düşey yönde 13 mm çaplı, 35 mm net açıklıklı donatılar ve bu donatıların önünde de kayıcı bir kapak bulunmaktadır. Burada deneyin nasıl gerçekleştirildiğinde dair kısa bilgi verilmiştir. Deney düzeneğinin iç yüzeyi nemlendirilip kayıcı kapak kapatılır ve birinci hazne yaklaşık 20 lt beton, şişleme yapılmadan, doldurulur. Yerleşmesi için 1 dakika beklenip ara kapak kaldırılarak betonun donatılar arasından geçip ikinci hazneye dolması sağlanır. Akış tamamlandıktan sonra her iki haznedeki beton seviyeleri ölçülerek aralarındaki fark hesaplanır. Doldurma yüksekliği denilen bu değer KYB için maksimum 30 cm olarak kabul edilir. Bundan daha düşük değerlerde betonun donatılar arasından geçiş ve doldurma yeteneğinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılır (EFNARC 2005, Bartos



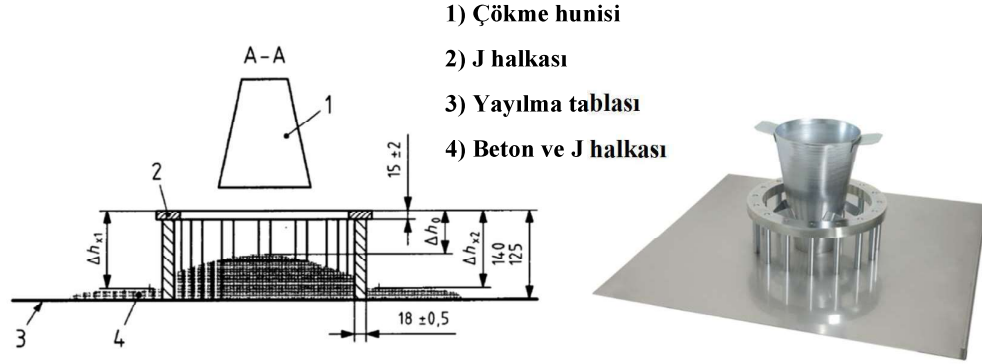
ve ark.). Şekil 2.11 de U kutusu deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.11. U-Kutusu deney düzeneği (Bartos ve ark.).

### J Halkası deneyi

Bu deneyde, Abrams konisi, yayılma tablası ve belli aralıkta yerleştirilmiş donatılardan oluşan deney düzeneği ile betonun geçiş yeteneğinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Burada, söz konusu deneyin nasıl yapıldığı kısaca anlatılmıştır. 300 mm çaplı halkanın üzerine boyları 100 mm olan çapı ve açıklığı beton özelliğine göre değişebilen düşey yönde yerleştirilmiş donatılar bulunmaktadır. Gerçek donatı ile karşılaştırma yapmak amacıyla açıklık max agrega çapının 3 katı olarak alınabilir. Deney aletlerinin yüzeyleri nemlendirilir. Düz bir zemine oturtulan yayılma tablasının ortasına J halkası yerleştirilip içerisine Abrams konisi konulur. Koni üst yüzeyine kadar şişleme yapılmadan betonla doldurulduktan sonra sabit bir hızla dikey olarak çekilir ve betonun tabla üzerinde donatılar arasından geçerek yayılması sağlanır. Yayılma tamamlandıktan sonra birbirine dik iki yöndeki yayılma çapları ölçülerek ortalaması alınır. Donatılar arasından geçemeyip blok halinde kalan beton yayılma değerini doğrudan etkiler. Bununla beraber halkanın hemen dışındaki ve içindeki beton seviyeleri 4 farklı noktadan ölçülüp seviye farkı hesaplanır. KYB için maksimum 10 mm olarak kabul edilen bu fark betonun donatılar arasından geçebilme yeteneği hakkında bilgi vermektedir. (EFNARC 2005, Bartos ve ark.). Şekil 2.12’de J halkası deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 2.12. J-Halkası Testi Deney Düzeneği (EFNARC 2005)

### Birim hacim ağırlık tayini

Çimentolu sistemlerde boşluk oranı numunelerin fiziksel özelliğini etkilemektedir. Birim hacim ağırlığının düşük olması boşluk oranıyla ters orantılı olmaktadır. Ayrıca birim hacim ağırlığının düşmesiyle birlikte betonun sertleşmiş özelliklerinde de gözle görünür mertebede negatif etkilere yol açmaktadır. KYB betonlarının akıcı kıvamda olmasından dolayı, normal betonlara göre daha boşluksuz bir yapı elde edilebileceğinden birim hacim ağırlığının daha yüksek çıkması beklenmektedir. Bu bağlamda beton kütlelerinin ağırlıklarının yüksek olması nedeniyle şantiye ortamında dökülen betonların kalıplar tarafından taşıyabilecek kapasitede kalıp sistemlerinin tasarlanması için büyük önem taşımaktadır. Birim hacim ağırlığının belirlenmesinde ASTM C138 standardına uygun ( $V_{\text{kap}}$ ) ve kütlesi ( $M_{\text{kap}}$ ) belli olan bir kap kullanılmaktadır. Üretilen taze beton belli hacimdeki kaba doldurularak yüzeyi mala ile düzleştirildikten sonra tartılır ( $M$ ). Karışımların birim hacim ağırlığı Denklem 1.1'e göre hesaplanır.

$$\text{BHA} = (M - M_{\text{kap}}) / V_{\text{kap}} \quad [1.1]$$

Burada BHA; birimi  $\text{kg}/\text{cm}^3$  veya birim hacimdeki ağırlığı,

$M$ ; Numune ve kullanılan kabın toplam ağırlığını (Kg veya g),

$M_{\text{kap}}$ ; Kullanılan Kabın ağırlığını (Kg veya g) ve

$V$ ; Kullanılan kabın hacmini ( $\text{cm}^3$  veya  $\text{m}^3$ ) ifade etmektedir.

#### **2.4.2. Sertleşmiş hal özellikleri**

KYB karışımlarında da sertleşmiş hal özelliklerini belirlemek için Geleneksel Betonlarda olduğu gibi bazı mekanik deneyler uygulanmaktadır. Burada bu deneyler hakkında kısaca bilgi aktarılmıştır.

##### **Basınç Dayanımı**

Eksenel basınç yükü etkisi altında betonun, kırılmamak için gösterebileceği en büyük direnme kabiliyetine betonun basınç dayanımı olarak tanımlayabilmektedir. Beton mekanik özellikleri arasında basınç dayanımının en önemli özellik olmasının nedenlerinden biri, basınç dayanımı ile diğer dayanım türleri arasında bir korelasyon katsayısının bulunmasıdır. Bu nedenle basınç dayanımı bilindiğinde diğer dayanım türlerinin büyüklüğü hakkında bir fikir elde edilebilmektedir (Erdoğan 2010).

Betonun mekanik dayanımları arasında değeri en büyük olan basınç dayanımıdır. Çelik lifli betonlarda %1,5 oranına kadar lif kullanımının beton basınç dayanımında etkili bir artışa neden olmadığı görülmüştür (Bentur ve ark. 1990).

##### **Yarmada çekme dayanımı**

Dolaylı çekme dayanımı yönteminin uygulanması sonucunda beton numune yarılarak iki parçaya ayrıldığı için bu yöntem genellikle yarma deneyi yöntemi adı verilmektedir (Erdoğan 2010). Bilindiği gibi bu deney, yatay olarak presin tablaları arasında yerleştirilen, silindir beton numunesi altına ve üstüne yerleştirilen plaklara dik yönde basınç yüklemesi uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Yükün artırılmasıyla, dolaylı olarak çekme gerilmeleri oluşur ve örnek eksen boyunca yarılarak kırılır.

TS EN 12390-6 standardında yarma-çekme deneyinde, yoğunluğu  $900 \text{ kg/m}^3$ , genişliği 10 mm, kalınlığı 10 mm ve uzunluğu deney numunesine temas boyundan daha fazla olan sert mukavvadan yapılmış sıkıştırma şeride kullanılması gerektiği açıklanmaktadır. ASTM C 496-04 göre kontrplak çıtaların 3,2 mm kalınlığında ve 25 mm eninde olması gerekmektedir (Neville 1997, Baradan 2015). Yarmada çekme deneyinde silindir numunelerde oluşan çekme gerilmesi Denklem 1.2'den hesaplanmaktadır.

$$\text{Çekme Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi \times L \times D} \quad [1.2]$$

Burada; P, silindire uygulanan basınç yükü, L; silindir örneğinin uzunluğu ve D ise silindir örneğinin çapıdır.

Aynı şekilde küp ve prizma numunelerde yarmada çekme deneyi uygulanabilmektedir. İngiliz standardında (BS 1881: Part 117: 1983), küp numuneler kullanılarak yarmada çekme deneyi elde edilmektedir. Söz konusu standarda göre, küp numunesinden elde edilen sonuçlar silindir numunelerde yapılan yarma testiyle aynı sonuçlar vermektedir. Küp numunesi kullanılarak beton karışımlarının yarmada çekme dayanımının belirlenmesi Denklem 1.3'ye göre yapılmaktadır (Baradan 2015).

$$\text{Çekme Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi a^2} \quad [1.3]$$

Burada; p, uygulanan yük ve a ise küp kenarlarının uzunluğudur.

Bilindiği gibi, lifli betonların çekme dayanımları geleneksel betonlara göre daha yüksektir olmaktadır. Çelik lifli betonların çekme dayanımı artış, lif şekline, lif miktarına, lif narinlik oranına, liflerin beton içerisinde dağılımına ve lif-matris aderansına bağlı olarak normal betona kıyasla yaklaşık olarak %5'ten fazla oranlarda daha yüksektir olmaktadır (Bentur ve ark. 1990).

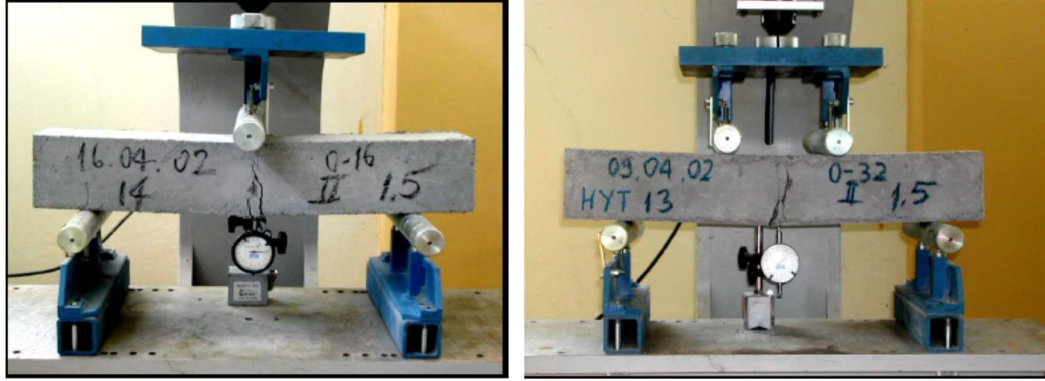
### **Eğilme dayanımı**

Beton karışımlarının eğilme dayanımını belirlemek için eğilmede çekme dayanımı yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin özünde kirişin kırılma anında alt lifteki çekme gerilmesini ölçmek yatar. Bu deney sabit bir uzama oranında gerçekleştiğinde genellikle yük artış hızı dayanımın yaklaşık %70'ine ulaştığında azalmaya başlar. Bu azalmalar ani ve genellikle görünmez şekilde oluşan mikro çatlaklar nedeniyle oluşur. Bu çatlaklar elemanın göçmesine neden olmaz. Bu nedenle nihai çekme dayanımına eleman kırılmada ulaşılmaktadır (Çopuroğlu 2001)

Laboratuvarda yapılan eğilme dayanımı belirleme deneyleri standartlara göre 2 grupta toplanabilir.

1. 3 noktadan eğilme deneyi
2. 4 noktadan eğilme deneyi

3 nokta eğilme deneyi ve 4 nokta eğilme deneyleri Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13. 3 nokta ve 4 nokta eğilme deneylerinin düzeni

Numunelerin eğilme dayanımı ve kırılma enerjilerinin belirlenebilmesi için prizmatik kiriş numunelere sulu kesimle çentik açılarak üç noktalı veya dört noktalı eğilme deneyleri uygulanır. Çentiklere yerleştirilen çatlak ağzı açılma deplasmanı ölçer cihazın kullanılması ile deney esnasında çatlak genişliği kontrol edilerek deneyler yapılır. Deney sırasında, aynı anda yük-sehim eğrisi “LVDT” ile yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı (ÇAAD) ise “çatlak ağzı açılma deplasmanı ölçer” ile ölçülür. Kırılma enerjisi değerleri; etkin kesit ve RILEM TC 50- FMC'nin önerileri dikkate alınarak yük-sehim eğrisi altında kalan alandan yararlanılarak hesaplanmıştır.

Üç noktalı eğilme deneyinden ayrıca çentikli numunelerin eğilme dayanımları;

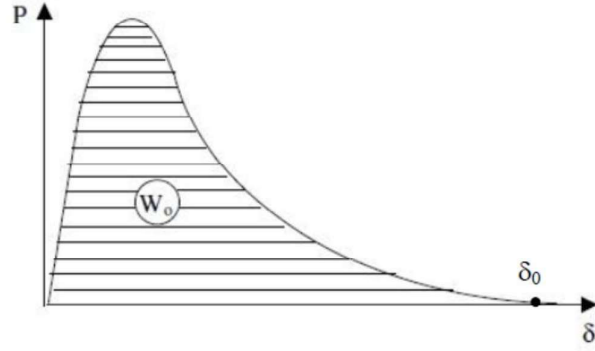
$$F_{net} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times B \times (H-a)^2} \quad [1.4]$$

Dört noktalı eğilme deneyinden ayrıca çentikli numunelerin eğilme dayanımları;

$$F_{net} = \frac{F \times L}{B \times (H-a)^2} \quad [1.5]$$

bağıntılarıyla hesaplanır. Bu eşitlikte P, L, B, H ve a sırasıyla üç noktalı eğilme deneyinde kaydedilen en büyük yük, mesnet açıklığı L, kiriş eni B, kiriş yüksekliği H ve çentik derinliğidir.

Kırılma enerjisi ( $G_F$ ), çatlak doğrultusuna paralel düzlemdeki birim yüzey alanında bir çatlak oluşturmak için gereken enerji miktarı olarak tanımlanabilir (RILEM 50-FMC 1985). Kırılma enerjisi, çentikli beton kiriş üzerinde eğilme deneyi yapıldığında, örnek iki parçaya ayrılana kadar yük – sehim altında kalan alan hesaplanarak belirlenir.



Şekil 2.14. Yük-sehim eğrisinin şematik gösterimi

Kırılma enerjisi

$$G_f = \frac{W_0 + m \cdot g \cdot \delta_0}{A_{lig}} \quad [1.6]$$

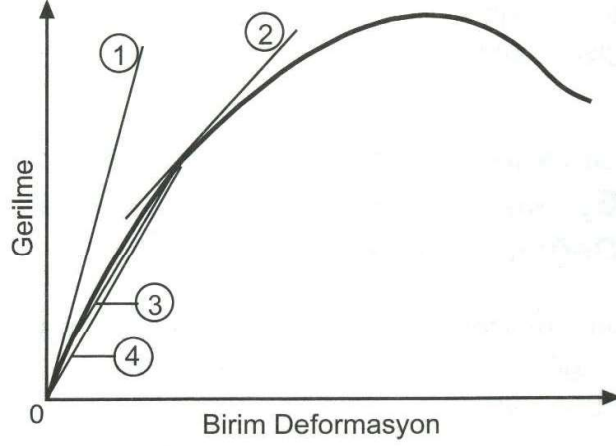
bağıntısıyla hesaplanır. Bu bağıntıda  $W_0$  yük-sehim eğrisi altında kalan alan (N/m),  $m$  kirişin mesnetleri arasında kalan kısmın ağırlığı (N),  $g$  yer çekim ivmesi,  $\delta$  kirişin göçme sırasındaki deformasyonu ve  $A_{lig}$  ise çentik açıldıktan sonraki etkin alan ( $A_{lig} = (H-a) \cdot B$ )' dir. Kırılma enerjisinin birimi N/m veya Joule/m<sup>2</sup>' dir (RILEM 50-FMC 1985).

### Elastiklik Modülü Deneyi

Elastik özellikli malzemelerdeki “ $\delta - \epsilon$ ” ilişkisi doğrusaldır. Elastik modülü “ $\delta - \epsilon$ ” ilişkisini gösteren doğru çizginin eğimini hesaplamak suretiyle elde edilmektedir. Betonun “ $\delta - \epsilon$ ” eğrisi başlangıçta çok küçük gerilmeler altında doğrusallık göstermekle birlikte büyük bir bölümde doğrusal değildir. Doğal olarak KYB elastiklik modülünü böyle bir eğriden hesaplayabilmek mümkün değildir. Ancak KYB elastik modülünü elde edebilmek için betondaki “ $\delta - \epsilon$ ” ilişkisi sanki doğrusal bir ilişki imiş gibi kabul edilmekte. Ve gerçek olan eğriyi temsil ettiği varsayılan böyle bir doğru çizginin eğimi hesaplanabilmektedir. Bu amaçla aşağıda sıralanan dört değişik yöntemden birisini uygulamak mümkündür (Erdoğan 2010).

- 1) Başlangıç teğet yöntemi
- 2) Teğet yöntemi
- 3) Sekant yöntemi
- 4) Kiriş yöntemi

Bu yöntemlerin uygulanış tarzı Şekil 2.15'te gösterilmektedir ve aşağıda açıklanmaktadır. Başlangıç Teğet yöntemiyle gibi “ $\delta - \varepsilon$ ” eğrisine başlangıç noktasından (0 noktasından) teğet olarak geçen bir doğru çizgi çizilmektedir. Çizilen bu doğru betonun “ $\delta - \varepsilon$ ” eğrisi imiş gibi kabul edilmekte ve bu doğrunun eğimi  $E = \delta/\varepsilon$  hesaplanmaktadır (Erdoğan 2010).



**Şekil 2.15.** Betonun elastik modülünün belirlenmesinde kullanılan değişik yöntemler:

(1) Başlangıç teğet yöntemi, (2) Teğet yöntemi, (3) Sekant yöntemi, (4) Kiriş yöntemi

Gerilme değerleri arttıkça çizilen doğru çizgi ile betonun hakiki “ $\delta - \varepsilon$ ” eğrisi arasındaki fark daha büyük olmaktadır. Bir başka deyişle bu yöntemle bulunan elastiklik modülü ancak küçük gerilmeler altındaki betonun gerçek durumu yansıtmaktadır (Erdoğan 2010).

**Elastik Modülünün “Teğet” Yöntemiyle Elde Edilmesi-** Şekil 2.15'ten görülebileceği gibi “ $\delta - \varepsilon$ ” eğrisinin üzerindeki bu noktadan teğet olarak geçen bir doğru çizgi çizilmektedir. Pratikte böyle bir nokta maksimum gerilmenin %40'ına karşılık gelen gerilme değeri temel alınarak belirlenmektedir. Çizilen bu doğru KYB “ $\delta - \varepsilon$ ” eğrisi imiş gibi kabul edilmekte ve bu doğrunun eğimi ( $E = \delta/\varepsilon$ ) hesaplanmaktadır.

**Elastik Modülünün “Sekant” Yöntemiyle Elde Edilmesi-** KYB “ $\delta - \varepsilon$ ” eğrisinin üzerinde herhangi bir nokta belirlenekte ve Şekil 2.15'ten görülebileceği gibi “ $\delta - \varepsilon$ ” eğrisinin başlangıç noktasında (0 noktasından) hem de belirlenen bu noktadan geçen bir doğru çizilmektedir. Bu noktanın seçiminde genellikle KYB maksimum gerilme değerinin %40'ına karşılık gelen gerilme değeri gibi alınmaktadır. Çizilen bu doğru çizgi

betonun “ $\delta - \varepsilon$ ” eğrisi imiş gibi kabul edilmek bu doğrunun eğimi ( $E = \delta/\varepsilon$ ) hesaplanmaktadır.

**Elastik Modülünün “Kiriş” Yöntemiyle Elde Edilmesi-** KYB “ $\delta - \varepsilon$ ” eğrisi bazen elde edilmektedir. Yani deney sırasında uygulanan gerilme değeri sıfır veya çok az iken “ $\delta - \varepsilon$ ” eğrisinin başlangıç noktasında bir miktar deformasyon yer almakta daha sonra gerime arttıkça deformasyon da normal olarak artmaktadır. Bu durum yüklemeye başlamadan önce betonda bulunan bazı mikroçatlaklardan kaynaklanmaktadır. Yükleme başladığında KYB oturma olmakta ve fazla yük uygulanmadığı halde böyle bir deformasyon ortaya çıkmaktadır. Aslında betondaki hakiki gerilme birim deformasyon ilişkisi böyle bir oturmadan sonra yer alan ilişkidir. O nedenle elastiklik modülü hesaplanırken eğrinin başlangıç noktasındaki bu durum gözönüne alınmamaktadır. “Kiriş” yöntemiyle elastiklik modülünün tayğininde sekant modülünde olduğu gibi gerilme-birim deformasyon eğrisi üzerinde bir nokta belirlenmektedir. Bu noktanın seçiminde maksimum gerilme değerinin %40’ına karşılık gelen gerilme değeri temel alınmaktadır. Noktaya çizilecek kiriş sekant modülünde olduğu gibi “ $\delta - \varepsilon$ ” eğrisinin başlangıç (0) noktasından başlatılmakta 0.00005 cm/cm birim deformasyon değerine karşılık gelen bir noktadan başlatılmaktadır. Şekil 2.15’ten de görüldüğü gibi bu iki nokta arasında çizilen doğru çizgi betonun “ $\delta - \varepsilon$ ” eğrisi imiş gibi kabul edilerek bu doğrunun eğimi ( $E = \delta/\varepsilon$ ) hesaplanmaktadır (Erdoğan 2010).

### **Su Emme deneyleri**

Islak veya nemli ortamlarda sertleşmiş betonun içerisindeki boşluklara dışarıdan su girebilmektedir. Bu işlem, betonun suya doymun duruma gelmesine kadar devam edebilmektedir. Betonun içerisindeki boşluklara fiziksel olarak su çekilmesi işlemine “su emme” denilmektedir. Sertleşmiş betonun su emme işleminde, önce büyük boyutlu kapiler boşluklar ve daha sonra da küçük boyutlu kapiler boşluklar suyla dolu duruma gelmektedir. O nedenle, betondaki “su emme”, ilk zamanlarda büyük bir hızla, zaman ilerledikçe ise, giderek daha düşük bir hızla yer almaktadır. Su emme hızı ve emilen suyun miktarı, betonun ne ölçüde kuru olmasıyla da ilgilidir.



ASTM C642 standardı dikkate alınarak su emme deneyi şöyle gerçekleştirilir. Deney günü gelen numuneler standart su küründen çıkarılıp yüzeyi kuru bir bezle yüzey-kuru duruma gelinceye kadar kurulanır. Terazide tartılır. Bu ağırlık numunenin suya doymuş yüzey kuru ağırlığı ( $m_{sdyk}$ ) olur. Daha sonra numuneler  $100\pm5^{\circ}\text{C}$  sıcaklığındaki etüve koyularak 24 saat boyunca kurutma işlemi gerçekleştirilir. 24 saat sonunda etüvden çıkarılan numunelerin etüv kurusu ağırlığı ( $m_{kuru}$ ) ölçülür. Numunelerin su emme oranları aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$\text{Su Emme Oranı (\%)} = \frac{m_{sdyk} - m_{kuru}}{m_{kuru}} \quad [1.8]$$

### **Basınçlı Su Geçirimsizlik Deneyi**

Bu deney, genelde TS EN 12390–8 standardında tarif edilen deney metoduna uygun olarak yapılmaktadır. Basınçlı su, sertleşmiş beton yüzeyine uygulanır. Daha sonra numune, ortasından yarılarak su işleme derinliği, alın kısmından ölçülmek suretiyle belirlenir (TS EN 12390-8). Yeterli yaşa ulaşan numuneler deney düzeneğine yerleştirildikten sonra  $72\pm2$  saat süre ile 500 kPa (5 bar) su basıncına tabi tutulmaktadır. Belirlenen süre tamamlandıktan sonra aparatlardan çıkartılan numuneler, yarma uygulanan yüzeye dik olarak kırılmalıdır. Kırılmış yüzey su işleme derinliğinin net olarak görülebilmesi için hemen kurulanmış ve numune içindeki su hareketi işaretlenmelidir. Test yüzeyindeki maksimum su işleme derinliği ölçülerek, en yakın mm'ye yuvarlatılarak kaydedilebilmektedir.

## 2.5. Kaynak Özetleri

Bu bölümde konu ile ilgili daha önce gerçekleştirilen çalışmalar özetlenmiştir.

Bertil (2000) tarafından yapılan bir çalışmada geleneksel betonlar ile KYB karışımlarının mekanik özellikleri basınç dayanımı, Elastisite modülü, sünme ve rötne bakımından karşılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında su/çimento oranları 0,24 ile 0,80 arasında değişen, sekiz farklı karışım hazırlanmış, suda ve havada kürlenerek betonların yarısı geleneksel beton diğer yarısı ise KYB olacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre KYB'lerin elastisite modülü, sünme ve rötne değerlerinin geleneksel betonlara göre önemli ölçüde değişiklik göstermediği görülmüştür.

Corinaldesi ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan bir çalışmada KYB karışımlar ile ince prefabrik elemanlar üretilmiştir. Bu kapsamda KYB karışımlarında ağırlıkça %10 oranında çelik lif, betonarme donatısı yerine kullanılmıştır. İnce beton elemanların dayanımını değerlendirmek için basınç ve eğilme deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak düşük su/çimento oranı ile KYB karışımları yapılmış, betonun fazla şekil değiştirme yapması durumuna karşı betonun içerdiği çelik liflerin etkinliğini belirlemek için kuruma-büzülme deneyleri yapılmıştır. İkinci olarak, beton numunelerinin donma-çözülme deneyleri yapılmış ve son olarak da karbonatlaşma ve klorür geçirgenliği deneyleri yapılarak KYB karışımlarının dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre yapısal olmayan uygulamalarda KYB karışımlarının ince prefabrik eleman üretimi için uygun bir seçenek olduğunu bildirilmiştir.

Felekoğlu (2006) tarafından yapılan çalışmada KYB üretiminde kullanılan ince agregaların fiziksel özelliklerindeki (ince malzeme miktarı ve türü) değişimin, KYB karışımlarının durabilite özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Bu bağlamda, dört farklı kumla (yıkamış doğal kum, yıkamış kırma taştözü kumu, siltli kırma taştözü kumu ve killi kırma taştözü kumu) üretilen KYB'lerde istenilen yayılmayı sağlamak için akışkanlaştırıcı katkı gereksinimi belirlenmeye çalışılmıştır. Deney sonuçlarına göre aynı kıvamda KYB karışımları üretebilmek için ihtiyaç duyulan katkı miktarları kumların fiziksel özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. KYB karışımlarında ince taneli malzeme miktarı az olan kumun kullanılması durumunda, siltli kırma taştözü kumu

kullanımına göre basınç dayanımlarında önemli bir değişim görülmemiştir. Diğer taraftan, killi kırma taştözu kumu ile üretilen betonlar karışımlarında istenen yayılma değerini elde edebilmek için daha fazla katkı ihtiyacı duymuştur. Bu durum beton karışımlarında dayanım kaybına sebep olmuştur.

Şahmaran ve arkadaşları (2006) tarafından yapılan bir çalışmada farklı mineral ve kimyasal katkıların, kendiliğinden yerleşen harç üretiminde kullanılabilirliği incelenmiştir. Bu amaçla, karışımlarda dört değişik mineral katkı (uçucu kül, tuğla tozu, kalker tozu ve kaolinit) üç değişik süperakışkanlaştırıcı katkı ve iki farklı viskosite düzenleyici katkı kullanılmıştır. Deneysel çalışmada karışım suyu miktarı ve toplam toz miktarı (portland çimentosu ve mineral katkılar) sabit olacak şekilde 43 farklı kendiliğinden yerleşen harç karışımı üretilmiştir. Harçların işlenebilirliği, mini V-hunisi ve mini çökme-yayılma deneyleriyle belirlenmiştir. Ayrıca, beton karışımlarının ultrases geçiş hızı ve 28 ve 56 günlük basınç dayanımı belirlenmiştir. Yazarlara göre mineral katkıların içerisinde uçucu kül ve kalker tozu harçların işlenebilirliğini önemli ölçüde artırmıştır. Uçucu kül ve kalker tozu içeren üçlü karışımlar içerisinde özellikle uçucu kül karışımların priz alma süresini artırmıştır. İki farklı polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcı katkı harç karışımların üzerinde yaklaşık olarak benzer işlenebilirlik göstermiş, melamin formaldehit bazlı süperakışkanlaştırıcı katkı ise diğer iki katkıya göre daha az etkili olmuştur.

Felekoğlu ve ark. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada su/çimento oranı değişiminin KYB karışımlarının özelliklerine etkileri araştırmıştır. Bu çalışmada, beş farklı su/çimento oranına sahip KYB karışımları üretilmiştir. Çizelge 2.4'te 1 m<sup>3</sup> KYB karışımı üretiminde kullanılan malzeme miktarları verilmiştir.

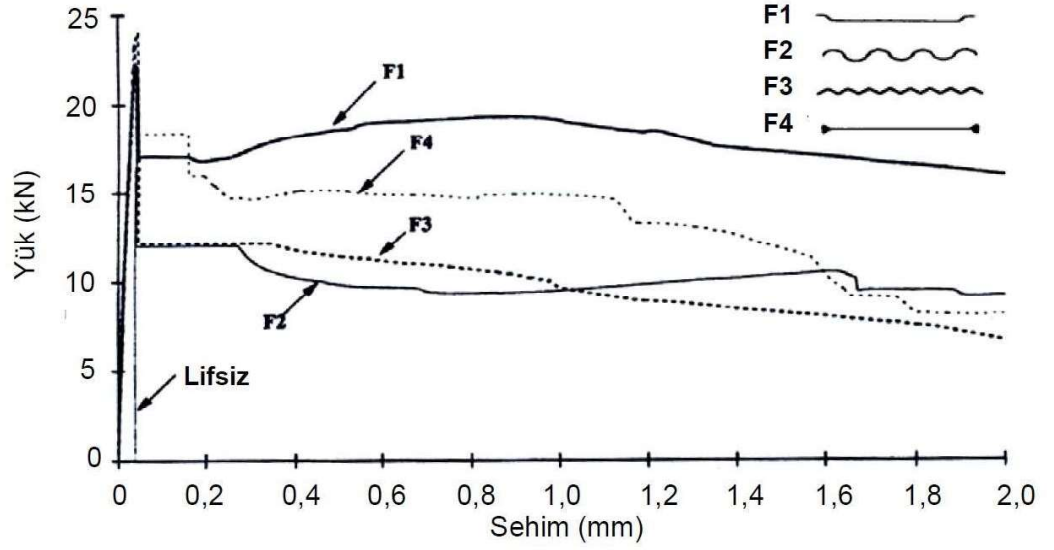
**Çizelge 2.4.** Karışımların miktarları (Felekoğlu ve ark. 2006)

	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5
Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	377	376	377	376	377
Su (kg/m <sup>3</sup> )	227	203	181	158	140
S/Ç	0,60	0,54	0,48	0,42	0,37
Toz (kg/m <sup>3</sup> )	238	246	247	267	272
İnce agrega (kg/m <sup>3</sup> )	861	886	898	932	863
İri agrega (kg/m <sup>3</sup> )	562	577	593	609	630
SA (kg/m <sup>3</sup> )	3,7	6,6	7,9	9,0	13,0

Karışımların taze hal özelliklerini belirlemek için çökme-yayıma, V-hunisi ve L-kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin basınç dayanımı gelişimi, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre hacimce optimum su/çimento oranı 0.84-1.07 arasında bulunmuştur. Bu oranların dışındaki numunelerde ayrışma ve blokaj görülmüştür. Normal betona göre kıyaslandığında, KYB karışımlarının yarmada çekme dayanımı daha yüksekken, elastisite modülü değerleri normal betona kıyasla daha düşük olmuştur.

Almayaç ve İnce (2008) yaptığı bir çalışmada, mermer tozu içeren KYB karışımlarının özellikleri araştırmıştır. Bu çalışmada Montero ve arkadaşları (2006) tarafından geleneksel betonlar için geliştirilen karışım tasarım yöntemi KYB'lere uyarlanmıştır. Farklı su/çimento ve su/toz oranlarında üretilen KYB'lerin taze halde çökme-yayıma, T50, L-kutusu ve elek ayrışma direnci belirlenmiştir. Sertleşmiş halde ise basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak, mermer tozu ile üretilen KYB'lerde bu tasarım yönteminin kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

Banthia ve Trottier (1995), farklı geometriye sahip 4 tip çelik lif kullanımının beton karışımlarının özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Bu amaçla, 2 ucu kancalı, düz ve iki farklı dalgalı çelik lif kullanılmıştır. Karışımların yük-sehim eğrisi şekil 2.6'da gösterilmiştir. Şekilde de anlaşıldığı gibi enerji yutma kapasitesi açısından iki ucu kancalı en üstün performansı sergilemiştir. Bu bağlamda, dalgalı çelik lifleri içeren beton karışımları düşük enerji yutma kapasitesine sahip olmuştur.



Şekil 2.16. Lif geometrisinin yük – sehım eğrisine etkisi (Banthia ve Trottier 1995)

Baradan ve ark. (2005) lif kullanımının KYB karışımlarının işlenebilirliğine etkisini incelemiştir. Lif tipi, miktarı ve KYB'nin agrega gradasyonunun çok önemli tasarım parametreleri olduğu yazarlar tarafından bildirilmiştir. Betona çelik lif ilavesi numunenin süneklik özelliğininin geliştiğine, yük altında çatlak gelişim mekanizmasının olumlu yönde etkilediğine ve kırılma enerjisinin artışına sebep olmuştur.

Sahmaran ve ark. (2005), iki farklı lifin karışımlarda beraber kullanılmasının KYB'lerin işlenebilirliği üzerinde etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada  $60 \text{ kg/m}^3$  dozajında ZP305 (lif boyu 30 mm ve narinliği 55) ve OL6/16 (lif boyu 6 mm ve narinliği 16) liflerini ayrı ayrı ve karışık olarak KYB karışımlarında kullanılmıştır. Böylece su/çimento oranı 0.4 olan 6 farklı KYB karışımı hazırlanmıştır. Çalışmada  $1 \text{ m}^3$  KYB üretimi için gereken malzeme miktarları çizelge 2.5'de verilmiştir.

**Çizelge 2.5.** 1m<sup>3</sup> KYB üretiminde kullanılan malzeme miktarları  
(Sahmaran ve ark. 2005)

Karışım	S/Ç*	Su (l/m <sup>3</sup> )	Çimento (kg/m <sup>3</sup> )	Toz (kg/m <sup>3</sup> )	İnce agrega (kg/m <sup>3</sup> )	İri agrega (kg/m <sup>3</sup> )	Çelik Lif		SA* (kg/m <sup>3</sup> )
							ZP 305	OL 6/16	
1	0.4	200	500	70	990	586	0	0	9.5
2	0.4	200	500	70	977	578	60	0	9.5
3	0.4	200	500	70	977	578	42	18	9.5
4	0.4	200	500	70	977	578	30	30	9.5
5	0.4	200	500	70	977	578	18	42	9.5
6	0.4	200	500	70	977	578	0	60	9.5

SA\* : Süperakışkanlaştırıcı; S/Ç\* : Su/Çimento oranı

Deneyel çalışmasında, lifli serilere uygulanan işlenebilirlik testlerinden elde edilen sonuçların lifsiz KYB'ler için EFNARC (2002)'da önerilen üst limitlerin aşılmasına rağmen akıcılık ve kendiliğinden yerleşebilirlik özelliklerinin sağlandığını belirtmişlerdir. Çalışmadaki bulgulara göre 60 kg/m<sup>3</sup> dozajında ZP305 (lif boyu 30 mm ve narinliği 55) ve OL6/16 (lif boyu 6 mm ve narinliği 16) liflerinin tekil veya karışık olarak kullanımı ile lifli KYB'de kendiliğinden yerleşebilirliği sağlanabildiğini ortaya koymuşlardır.

Sertbaş (2006) KYB karışımlarında polipropilen lif kullanımının karışımının özelliklerine etkisini araştırmıştır. Bu amaçla, su/bağlayıcı oranı 0,47 olan üç farklı seri KYB karışımı üretilmiştir. Her seride üç farklı fabrika ürünü olan polikarboksilat esaslı yeni nesil süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Her seride hacimce %0, %3.68, %5.26 ve %7.37 oranında polipropilen lif kullanarak toplamda 12 adet KYB karışımı üretilmiştir. Polipropilen lif kullanılmasıyla karışımın işlenebilirliği olumsuz etkilenmiştir. Lifli karışımlarda 60-70 cm hedef yayılma değerini sağlamak için katkı gereksinimi artmıştır. Bu etki lif kullanımı oranının artışıyla daha belirgin hale gelmiştir. L kutusu ve U-kutusu deneylerinde ise betonda çok fazla polipropilen lif kullanılması durumunda işlenebilirliğin olumsuz etkilendiği ve betonun kendiliğinden yerleşme özelliği göstermediği görülmüştür. Sertleşmiş beton deneylerinde ise sabit su/çimento oranına sahip bütün numunelerde polipropilen lif kullanılmasının basınç

dayanımı ve elastisite modülü üzerinde önemli bir etkisi olmadığı ancak uygun oranda polipropilen lif kullanımıyla karışımların eğilme dayanımının arttığı gözlemlenmiştir.

Torrijos ve ark. (2007), lifsiz ve çelik lif donatılı KYB'lerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırmıştır. Çalışma kapsamında, laboratuvar ortamında üretilen 15 cm çapında, 250 cm yüksekliğinde narin ve uzun kolon elemanlarda çelik lifli kendiliğinden yerleşen beton kolon yüksekliği boyunca homojen bir şekilde dağılıp dağılamadığı araştırmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, lifin homojen bir şekilde karışımda dağılmasında lif dozajının önemli bir parametre olduğu vurgulanmıştır. Lif dozajı 25 kg/m<sup>3</sup> gibi göreceli olarak düşük olduğunda KYB karışımının reolojik özelliğinin ciddi mertebede etkilenmediği ve kolon yüksekliği boyunca homojen lif dağılımının elde edildiği, lif dozajı 50 kg/m<sup>3</sup> olduğunda ise özellikle kolon yüzeyinde hava boşluklarının olduğu ve kolonun üst kısımlarında basınç dayanımı kaybının %15'ler düzeyine ulaştığı belirtilmiştir. Çalışmadan elde edilen ilginç bir sonuç da lifli KYB karışımında kolon yüksekliği boyunca agrega dağılımının lifsiz KYB'ye göre daha homojen olduğunun bildirilmiştir. Lif varlığında KYB karışımının stabilitesi veya ayrışmaya karşı direncinde artış gözlemlenmiştir.

Ding ve ark. (2007) çelik ve polipropilen lifli KYB karışımlarının işlenebilirlik özelliklerini incelemiştir. Çalışmada makro lifli KYB'lerin işlenebilirlik özelliklerinin incelemesinde sadece çökme – yayılma testi yerine, J-halkası ve L-kutusu deneyi gibi testlerle de ölçülmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Çökme-yayılma deneyinin lifli KYB'nin akıcılığı hakkında fikir verebileceği ancak, geçiş yeteneği ve ayrışma direncinin bu deneyle belirlenemeyeceği özellikle vurgulanmıştır. Aynı çalışmada J-halkası testi ile elde edilen geçiş yeteneği sonuçlarının L-kutusu ile elde edilen geçiş yeteneği sonuçları ile paralel olduğu belirlenmiştir.

Subaşı ve Emiroğlu (2008), farklı oranlarda çelik ve polipropilen lif kullanımının KYB'lerde işlenebilirlik parametreleri ve basınç dayanımları üzerinde etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla lif içermeyen KYB karışımına ilaveten KYB karışımına polipropilen lif ve çelik+polipropilen lif ilave edilerek farklı KYB karışımları üretilmiştir. Sonuçlara göre, KYB karışımlarında çelik lif ve polipropilen lif kullanımı ile taze beton işlenebilirlik

azaldığı ancak basınç dayanımlarının ise ters orantılı olarak arttığı anlaşılmıştır. Ayrıca, lif katkılı KYB karışımlarında akma süresi ve yayılma çapı ile basınç dayanımı değerleri arasında çok doğrusal bir ilişkinin mevcut olduğu görülmüştür.

Yardımcı ve Baradan (2011) çelik lif içeren KYB karışımlarının reolojik özellikleri üzerinde bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada çelik lif donatılı KYB’lerde hamur hacmi – reoloji ilişkisi incelenmiştir. Üretilen lifsiz ve lifli KYB karışımlarında hamur hacmi artışı, sabit çimento dozajı altında arttırılan uçucu kül miktarı ile sağlanmıştır. Çalışmada uçları kıvrımlı kısa kesilmiş çelik teller kullanılmıştır. Kullanılan çelik liflerin özellikleri çizelge 2.6’te sunulmuştur.

**Çizelge 2.6.** Kullanılan çelik liflerin fiziksel özellikleri (Yardımcı ve Baradan 2011)

Tel Tipi	Tel Boyu (mm)	Tel çapı (mm)	Narinlik (l/d)	Çekme Dayanımı (MPa)
ZP305	30	0,55	55	1100
RC 65 / 60 BN	60	0,92	65	1100

Üretilen referans betonların karışım oranları ve lifli serilerde kullanılan lif miktarları sırasıyla çizelge 2.7 ve 2.8’da verilmiştir.

**Çizelge 2.7.** Lifsiz referans serilerin gerçek karışım miktarları  
(Yardımcı ve Baradan 2011)

	Karışım A	Karışım B	Karışım C	Karışım D
Çimento Kg/m <sup>3</sup>	358	359	361	358
Uçucu Kül Kg/m <sup>3</sup>	90	115	177	239
Su Kg/m <sup>3</sup>	177	178	178	177
0-3 Kırma kum Kg/m <sup>3</sup>	1110	1093	1054	998
5-15 Kırma taş	616	607	586	553-2
Kimyasal Katkı	6,9	7,4	9	12,9



**Çizelge 2.8.** Lif eklenen seriler ve lif miktarlar (Yardımcı ve Baradan 2011)

	C	C	C	C	D	D
ZP305 (l/d=55) kg/m <sup>3</sup>	40	60	80	94	80	-
RC 65 / 60 BN (l/d=65) kg/m <sup>3</sup>	-	-	-	-	-	94

Karışım tasarımında lifli karışımlarda, eklenen lif hacmi kadar toplam agrega hacminden (ince agrega / kaba agrega oranı değişmeyecek şekilde) düşürülmüş, karışımlara ait diğer bileşenler korunmuştur. Karışımlarda reolojik parametrelerin ölçümü, çökme – yayılma deneyi, V kutusu ve L – kutusu deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, KYB’de lif kullanımının betonun akıcılık özelliklerini olumsuz etkilediği, özellikle donatılar arasından geçiş yeteneğinin lif varlığından en fazla etkilenen parametre olduğu gözlemlenmiştir. Hamur hacminin artırılması ile birlikte lifli taze betonun reolojik parametrelerinin lif ilavesiyle daha az etkilenebileceği vurgulanmıştır. Uçucu külün reolojik açıdan olumlu katkısı nedeniyle yüksek oranlarda kullanılabilen sonucuna varılmıştır.

Mardani ve ark. (2013) farklı liflerin kendiliğinden yerleşen betonun taze hal ve mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu çalışmada farklı liflerin, KYB’nin taze hal ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında 15 mm maksimum boyutunda agrega, polikarboksilik eter esaslı kimyasal katkı ve CEM I 42.5R tipi çimento ile KYB karışımlar üretilerek taze ve sertleşmiş özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla, kontrol betonuna (lif içermeyen) ilaveten, 3 farklı lif (iki ucu kancalı çelik tel, pirinç kaplı düz çelik tel ve polyester tel) kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. Liflerin betonda kullanım oranı, üretici firma tarafından önerilen maksimum ve minimum miktarları dikkate alınarak hacimce %0,4 olarak kullanılmıştır. Ayrıca tüm karışımlarda, filler olarak (125 mikron altı) kireçtaşı tozu kullanılmıştır. 1 m<sup>3</sup> için gerekli malzeme miktarları Çizelge 2.9’de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.9.** 1 m<sup>3</sup> KYB üretiminde kullanılan gerçek malzeme miktarları

Karışım	Çimento (kg)	Su (l)	Agrega (mm)			Lif (kg)
			0-0.125 (kg)	0-5 (kg)	5-15 (kg)	
Kontrol	506	202	138	747	757	0
Çelif lifli karışım	512	205	139	751	759	31
Pirinç kaplı lifli karışım	503	201	137	740	748	30
Polyester lifli karışım	512	205	139	753	761	5,1

Bu çalışmada çeşitli liflerin kendiliğinden yerleşen betonların yayılma çapı, T50 süresi tayini, V-hunisi, L-kutusu deneyi ve hava içeriği gibi taze hal özelliklerine ilaveten 28 günlük basınç dayanımı, eğilme dayanımı, direk çekme dayanımı, ultrasonik geçiş hızı ve dinamik elastik modülüne etkisi incelenmiştir. Kıyaslamalı deney sonuçlarına göre lif kullanımı ile karışımların taze hal özelliği olumsuz etkilenmiştir. Bu bağlamda Polyester lif içeren karışım taze hal özelliği açısından en düşük performansı göstermiştir. Söz konusu bu karışımda, lifin hafifliği nedeni ile mikserle üretim esnasında liflerin karışım yüzeyine toplanıp topaklaşma oluşumuna sebep olmuştur. Lif tipinden bağımsız olarak lif kullanımı ile karışımların mekanik özelliklerinin olumlu etkilendiği gözlemlenmiştir. Bu bağlamda çelik lif en başarılı sonucu sergilemiştir.

### **3. MATERYAL ve YÖNTEM**

#### **3.1 Amaç, Konu ve Kapsam**

Bu çalışmada, farklı narinlik oranına sahip çelik lif kullanımının KYB karışımlarının taze ve bazı sertleşmiş hal özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, lif içermeyen kontrol karışımına ilaveten toplam hacmin %0,6'sı kadar 54, 64 ve 50 narinlik oranlarına sahip 3 farklı iki ucu kancalı çelik lif kullanılarak lifli KYB karışımları hazırlanmıştır. Tüm karışımların su/çimento oranı ve yayılma değerleri sırasıyla, 0,40 ve  $650\pm 20$  mm olarak sabit tutulmuştur. İstenilen yayılma değerini sağlamak için tek tip polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. KYB karışımlarının zamana bağlı taze hal performanslarını araştırmak amacıyla beton karışımlarında 1 saat boyunca her 20 dakikada bir serbest yayılma, J halkası, V hunisi, L kutusu ve U kutusu deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, sertleşmiş haldeki özelliklerini araştırmak üzere 100 mm boyutunda 7 ve 28 günlük küp numuneler üzerinde basınç ve yarmada-çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. KYB'lerin 100x100x500 mm'lik prizmalar üzerinde 28 günlük 4 noktalı eğilme dayanımı, 100x200 mm'lik silindir numuneler üzerinde 28 günlük elastisite modülü, 100 mm boyutunda küp numuneler üzerinde 28 günlük su emme ve 150 mm boyutlarındaki küp numuneler üzerinde 28 günlük basınçlı su altında su işleme derinliği elde edilmiştir.

#### **3.2. Kullanılan Malzemeler ve Karışım Oranı**

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi ile  $1\text{m}^3$  beton üretimi için kullanılan malzeme miktarları verilmiştir. Ortam şartlarının deney üzerindeki etkisini en aza indirmek amacı ile tüm malzemeler 48 saat  $20\pm 2$  °C sıcaklığa sahip odada bekletilmiştir.

##### **3.2.1. Çimento**

Deneysel çalışmada TS EN 197-1 standardına uygun özgül yüzeyi ve özgül ağırlığı sırasıyla  $3530\text{ cm}^3/\text{gr}$  ve 3.15 olan Bursa çimento fabrikası tarafından üretilen CEM I 42.5R tipi çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun üretici firma tarafından temin edilen kimyasal özellikleri Çizelge 4.1'de mekanik ve fiziksel özellikleri ise Çizelge 4.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** Çimentonun kimyasal bileşimi

Oksit (%)	Çimento
SiO <sub>2</sub>	18.81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.09
CaO	62.70
MgO	1.16
SO <sub>3</sub> *	2.39
Na <sub>2</sub> O+0.658 K <sub>2</sub> O	0.92
Cl*	0.01
Çözünmeyen kalıntı	0.32
Kızdırma kaybı	3.20
Serbest CaO	1.26

\*TS EN 197-1'e göre, SO<sub>3</sub> ≤ %3,5 ve Cl ≤ 0.01 olmalıdır.

**Çizelge 3.2.** Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel özellikler	CEM I 42.5R	
Özgül ağırlık	3.15	
<b>Mekanik özellikleri</b>		
	1-günlük	14.7
	2-günlük*	26.80
Basınç dayanımı (MPa)	7-günlük	49.80
	28-günlük*	58.5
<b>İncelik</b>		
Özgül yüzey (Blain, cm <sup>2</sup> /g)	3530	
0.045 mm elekte kalıntı (%)	7.60	

\*TS EN 197-1'e göre, CEM I 42.5R tipi çimentonun 2 günlük basınç dayanımı ≥ 20 MPa ve 28 günlük basınç dayanımı ≥ 42.5 MPa olmalıdır.

### 3.2.2. Agregas

KYB karışımlarında en büyük tane çapı 12 mm olan kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Agregaların TS EN 1097-6 standardına göre elde edilen özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi Çizelge 3.3'te verilmiştir. Ayrıca Çizelge 3.4'te gösterilen agregaların elek analizi TS EN 206 standardına göre gerçekleştirilmiştir. KYB karışımlarında, toplam agregas hacminin %35'i kadar 0-4 mm (ince agregas) ve %65'i kadar 4-12 mm boyutunda kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır.

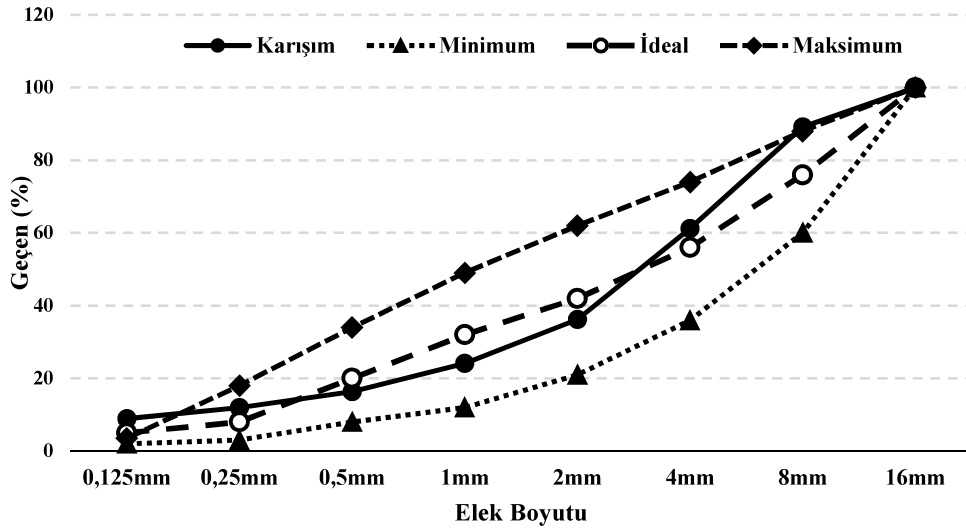
**Çizelge 3.3.** KYB karışımlarında kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Tip	Boyut (mm)	Özgül Ağırlık	Su Emme Kapasitesi (%)
Kırma Kireç Taşı	0-4	2,67	1,2
	4-12	2,7	0,7

**Çizelge 3.4.** Karışımlarda kullanılan agregaların elek analizi

Elek göz açıklığı (mm)	0-4 mm	4-12 mm
16 mm	100	100
11,2 mm	100	99
8 mm	100	73
4 mm	93	14
2 mm	59	2
1 mm	39	2
0,5 mm	26	2
0,25 mm	19	2
0,125 mm	14	2

KYB karışımında kullanılan karma agregaların gradasyon eğrisi ve TS EN 206 standart sınırları Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Şekil 3.1'den de anlaşıldığı gibi, agregas karışımlarının gradasyon eğrisi ilgili standart limitleri arasında ve ideal eğriye yakın olmuştur.



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan agregaların gradasyon eğrisi

### 3.2.3. Su azaltıcı katkı

KYB karışımlarında istenilen çökme-yayıma değerlerini sağlamak için Bursa Beton'dan temin edilen BASF firması tarafından üretilen değişik oranlarda tek tip polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan su azaltıcı katkının üretici firma tarafından verilen bazı özellikleri Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Su azaltıcı katkıya ait özellikler

Tip	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	pH Değeri	Klorür İçeriği (%)	Alkali İçeriği Na <sub>2</sub> O (%)
Polikarboksilat Eter Esaslı	1,023-1,063	5-8	<0,1	<10

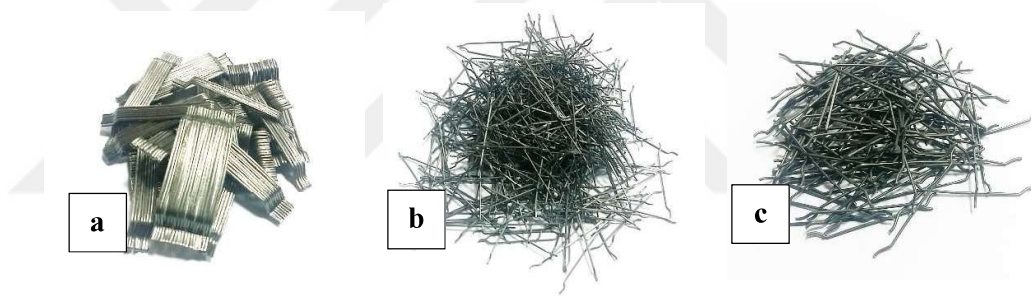
### 3.2.4. Çelik lif

Lif içeren karışımlarda uzunluğu/çap 30/0.75, 35/0.55 ve 50/1 olan 3 farklı iki ucu kancalı çelik lif kullanılmıştır. Lif içeren karışımlarda lif kullanım oranı karışım toplam hacminin %1'i olarak seçilmiştir. Ancak, %1 lif içeren karışımlarda EFNARC 2005'in KYB karışımları için önerdiği kriterler sağlamamıştır. Bu sebeple ön çalışma kapsamında gerçekleştirilen deney sonuçlarına dayanarak lifli karışımlarda lif kullanım oranının

karışımın toplam hacminin %0,6 olmasına kadar verilmiştir. Kullanılan çelik liflerin üretici firma tarafından verilen bazı mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.6'da görünümüleri ise Şekil 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.6.** Çelik liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri

Tip	1	2	3
Narinlik oranı	54	64	50
Uzunluk (mm)	30	35	50
Çap (mm)	0,55	0,55	1
Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	7,8	7,8	7,8
Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	1500	1500	1100



**Şekil 3.2.** Kullanılan iki ucu kancalı çelik liflerin görünümü; a. Narinlik oranı 54; b. Narinlik oranı 64; c. Narinlik oranı 50.

### 3.2.5. Su

Beton karışımlarının üretiminde içme şebeke suyu kullanılmıştır.

### 3.2.6. KYB karışım oranlarının belirlenmesi

Tez kapsamında lif içermeyen kontrol karışımına ilaveten 3 lifli KYB karışımı da üretilmiştir. Daha öncede vurgulandığı gibi çalışmanın başlangıcında çelik lif içeren karışımlarda lif kullanım oranı toplam hacmin %1'i olarak seçilmiştir. Ancak EFNARC 2005'in KYB karışımları için önerdiği kriterleri sağlanmadığından lifli karışımlarda toplam hacminin %0,6'sı kadar lif ilave edilmiştir. Tüm karışımların su/çimento oranı, çimento dozajı ve yayılma değerleri sırasıyla, 0,40, 480 kg/m<sup>3</sup> ve 65±2 cm olarak sabit tutulmuştur. İstenilen 65±2 cm çökme yayılma değerini sağlamak için değişik oranlarda

yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. 1 m<sup>3</sup> KYB üretimi için teorik ve düzeltilmiş malzeme miktarları sırasıyla Çizelge 3.7 ve Çizelge 3.8’de verilmiştir. Karışımların isimlendirmesi için lif kullanımı ve kullanılan lifin uzunluğuna göre yapılmıştır. Örneğin lif içermeyen karışım “K” ile gösterilirken lif içeren karışımlar “L” ile gösterilmiştir. Bu bağlamda, uzunluğu 30 mm olan lif içeren karışım “L30” ve uzunluğu 50 mm olan lif içeren karışımlar ise “L50” ile simgelenmiştir.

**Çizelge 3.7.** 1 m<sup>3</sup> KYB için teorik karışım miktarları

Karışım kodu	Çimento (kg)	Su (kg)	Agrega (kg)		Lif (kg)			KK* (kg)	Yayıllma (cm)	BHA* (kg/m <sup>3</sup> )	
			0-5 mm	4-12 mm	30 mm	35 mm	50 mm			Teorik	Öçülen
K	480	192	1097	597	0	0	0	10	67	2376	2440
L30	480	192	1087	592	46,8	0	0	11,30	66	2409	2466
L35	480	192	1087	592	0	46,8	0	10,87	65	2409	2465
L50	480	192	1087	592	0	0	46,8	10,43	64	2408	2467

BHA\* : Birim hacim ağırlığı; KK\* : Kimyasal katkı

**Çizelge 3.8.** 1m<sup>3</sup> KYB için düzeltilmiş karışım miktarları

Karışım kodu	Çimento (kg)	Su (kg)	Agrega (kg)		Lif (kg)			Kimyasal katkı (kg)
			0-5 mm	4-12 mm	30 mm	35 mm	50 mm	
K	494,3	196,5	1129,8	614,8	0,0	0,0	0,0	10,3
L30	491,3	196,5	1112,7	606,0	47,9	0,0	0,0	11,6
L35	491,2	196,5	1112,4	605,8	0,0	47,9	0,0	11,1
L50	491,7	196,7	1113,5	606,4	0,0	0,0	47,9	10,7

Çizelge 3.8’den de anlaşıldığı gibi lif narinlik oranından bağımsız olarak lif kullanımı ile istenilen yayılma değerini sağlamak için (65±2 cm) katkı gereksinimi artmıştır. Lif kullanımı ile lif narinlik oranından bağımsız olarak karışımların BHA değerleri artış göstermiştir. Lifli karışımlarda lif agregaya yerine hacimce kullanılmıştır. Kullanılan lifin özgül ağırlığı agregayla kıyasla yaklaşık 3 kat daha fazla olduğundan karışımların BHA’nın artışı beklenen bir durumdur.



### 3.2.7. KYB karışımlarının hazırlanması

KYB karışımlarının hazırlanmasında Pan Tipi Beton Mikseri kullanılmıştır. Bu mikser tipi Şekil 3.3'te gösterildiği gibi makinenin alt kısmında dönerik karışan bir kazan ve üstte sabit karıştırıcı sistem mekanizmalarından oluşmaktadır. Miksere sırasıyla agrega ve çelik lif malzemeleri konulup homojen bir karışım elde etmek için 30 saniye karıştırılmıştır. Kuru karışımı hazırlandıktan sonra karışım suyunun %20'i ilave edilerek 30 saniye daha karıştırılmıştır. Islak karışıma çimento eklenip 30 saniye boyunca karıştırılmıştır. Daha sonra karışım suyunun %60'ı ilave edilerek 90 saniye karıştırılmıştır. Suyun geri kalan kısmına (%20) akışkanlaştırıcı katkı eklenerek karışıma ilave edilmiş ve 2 dakika daha karıştırılarak karıştırma süresi toplam 5 dakika olan bir prosedür uygulanmıştır.



**Şekil 3.3.** Pan Tipi Beton Mikseri

## **3.2. Yöntem**

### **3.3.1. Taze hal deneyleri**

Kendiliğinden yerleşen betonların taze haldeki özelliklerini tespit etmek için literatürde kabul gören çeşitli deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bu kapsamda üretilen KYB karışımlarında  $T_{50}$  yayılma deneyi,  $T_{50}$  süresi tayini, V hunisi, U kutusu, L kutusu, J halkası ve taze birim hacim ağırlığı deneyleri sırasıyla, EFNARC (2005) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarının zamana bağlı değişimini incelemek için söz konusu deneyler 1 saat boyunca her 20 dakikada bir tekrarlanmıştır.

### **3.3.2. Sertleşmiş hal deneyleri**

Mikserde hazırlanan KYB karışımları standarda uygun olarak kendi ağırlığınca herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmadan kalıplara yerleştirilmiştir. Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak  $22\pm 2$  °C sabit sıcaklıktaki su dolu kür havuzunda deney gününe kadar bekletilmiştir. Numuneler 7 ve 28 gün sonunda kür havuzundan çıkarılarak ve yüzeyleri kurutulup sertleşmiş hal deneylerine tabi tutulmuştur. Bu kapsamda KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük basınç, yarmada çekme, 28 günlük 4 noktalı eğilme, elatisite modülü, su emme, basınçlı su altında su işleme derinliği sırasıyla TS EN 12390-3, TS EN 12390-5, ASTM C 469, ASTM C642-97 ve TS EN 12390-8 standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Karışımların basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve su emme kapasitesi 10 cm'lik küp örnekler kullanılmıştır. Karışımların eğilme dayanımı, elatisite modülü ve basınçlı su altında su işleme derinliği sırasıyla 10x10x50 cm'lik prizma, 10x20 silindir ve 15 cm'lik küp numuneler üzerinde belirlenmiştir.

## 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Taze Hal Sonuçları

#### 4.1.1. T50 yayılma deneyi ve akış süresi sonuçları

T50 yayılma deneyi ve akış süresi özelliklerini incelemek için, KYB karışımlarının yayılma değeri  $65\pm 2$  cm sabit tutularak yayılma tablası üzerindeki 50 cm'lik daireye geçme süreleri zamana bağlı ölçülmüştür. Tüm ölçümleri 1 saat boyunca 20 dakikada bir tekrarlanmıştır. KYB karışımlarının yayılma ölçümleri Şekil 4.1'de görülmektedir.



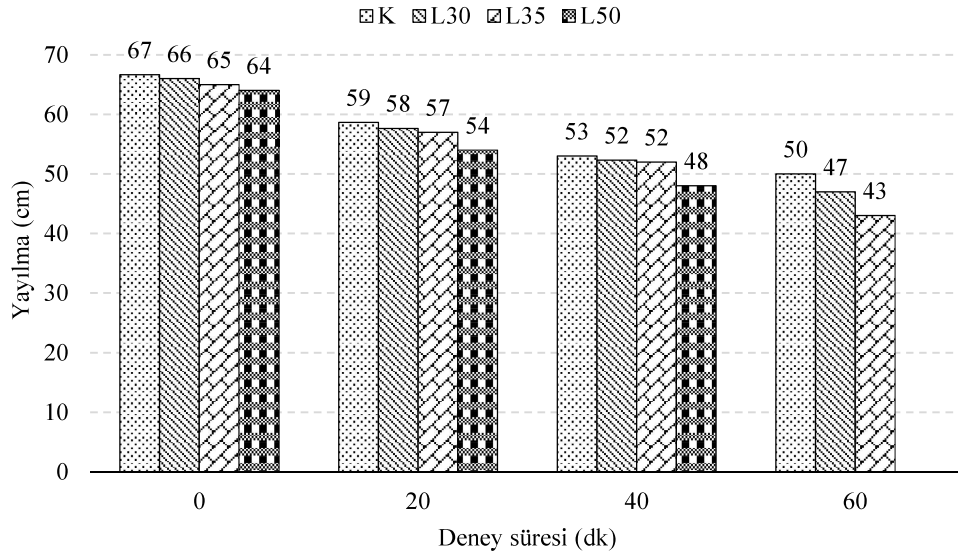
**Şekil 4.1.** KYB karışımlarının T50 yayılma ölçümleri; a. Kontrol Karışımı (K); b. L35 Karışımı; c. L35 Karışımı / d. L50 Karışımı

Karışımların zamana bağlı yayılma değerleri ve T50 süreleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1.** Zamana bağlı yayılma ve T<sub>50</sub> akış süresi deneyleri sonuçları

Karışım	Deney Süresi (dk)	Yayılma (mm)	T <sub>50</sub> Süresi (s)
K	0	67	2,69
	20	59	4,9
	40	53	6,43
	60	50	8,39
L30	0	66	4,92
	20	58	5,3
	40	52	9,63
	60	47	-
L35	0	65	3,46
	20	57	5,12
	40	52	7,48
	60	43	-
L50	0	64	2,71
	20	54	4,9
	40	48	6,43
	60	BLOK	-

Deney bulgularının daha kolay yorumlanabilmesi için elde edilen sonuçlar ayrıca grafik halinde şekil 4.2’de gösterilmiştir.

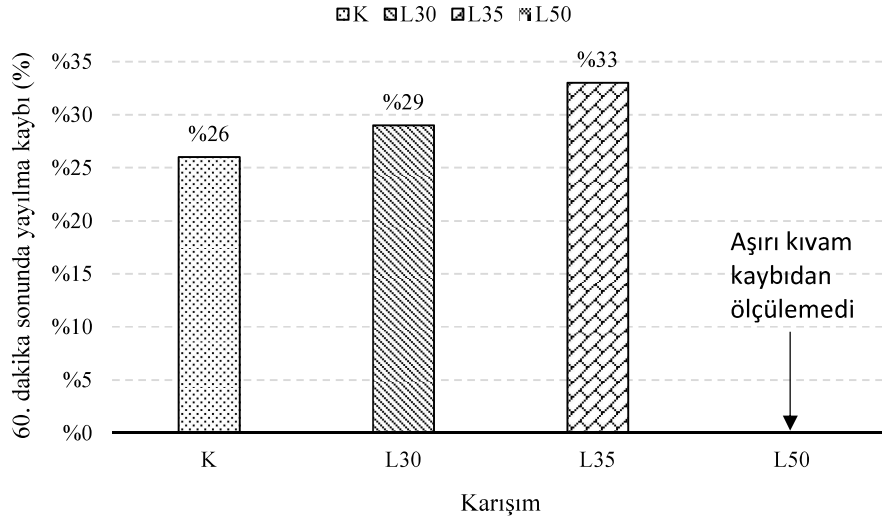


**Şekil 4.2.** Zamana bağlı yayılma deneyi sonuçları

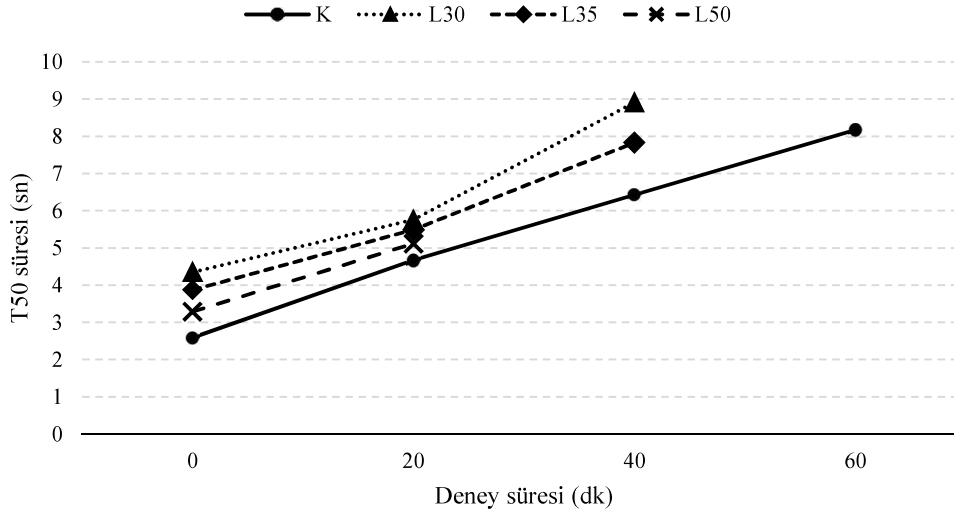
Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, yayılma deneyinin döküm sonrası ilk ölçümlerinde KYB karışımları istenilen hedef yayılma değerini sağlamıştır. En yüksek yayılma değeri lif içermeyen kontrol karışımında gözlemlenmiştir. EFNARC 2005’in KYB karışımları için önerdiği kriterlere göre bir karışımın KYB olarak kabul edilmesi için yayılma değerinin 55 cm ile 85 cm arasında olması gerekmektedir. Dolayısıyla, tüm karışımların 0. dakikada KYB'nin yayılma gereksinimlerini karşıladığı görülmüştür.

Deney esnasında, bütün KYB karışımlarında 20’inci dakikaya kadar, en az 54 cm yayılma değeri ölçülmüştür. Bu değer zaman geçtikçe, KYB karışımlarının kıvam kaybı nedeniyle azalmıştır. Lif kullanımından ve lif narinlik oranında bağımsız olarak 40. dakikadan sonra üretilen KYB karışımları EFNARC 2005’in yayılma kriteri olarak önerdiği minimum 55 cm yayılma sağlamamıştır. Bütün karışımların 40. dakika yayılma değerlerinde başlangıç yayılma değerlerine göre yaklaşık %20-25’lik bir kayıp gözlemlenmiştir. 60 dakika sonra en uzun lif içeren L50 karışımında Abraham hunisinden akmadığında bu karışımın yayılma değeri alınamamıştır. Daha önce vurgulandığı gibi, L50 karışımında uzunluğu 50 cm olan lif kullanmıştır. Söz konusu karışımında zamanla oluşan kıvam kaybına ilaveten kullanılan lifin uzunluğundan dolayı liflerin takılma riski artacağından topaklaşma da kaçılmaz hale gelmiştir.

Sonuçlardan görüldüğü gibi, karışımların zamanla kıvam kaybına bağlı olarak yayılma değerlerinin azalması kontrol karışımına kıyasla lif karışımlarda daha belirgin oluşmuştur. KYB karışımlarının 60 dakika sonunda çökme-yayılma dökümden hemen sonra (0 dakika) ölçülen çökme-yayılma değerlerine göre azalma oranı Şekil 4.3’te gösterilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, 60 dakika sonunda kontrol karışımında %26’lık bir yayılma kaybı gözlemlenirken bu oran L30 ve L35 karışımlarında sırasıyla, %29 ve %33 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.3. Çökme-yayılma değerlerine göre azalma oranı



Şekil 4.4. Zamana bağlı T50 akış süresi deneyi sonuçları

Şekil 4.4'te görüldüğü gibi, KYB karışımların başlangıç T50 süreleri 2-5 saniye arasında ölçülmüştür. Bu değerler, KYB karışımı için 2 ile 6 saniye arasında bir akış süresi öneren EFNARC (2005)'in gereksinimlerine uygundur. Genel olarak, tüm KYB karışımlarında geçen zamanla kıvam kayıbdan dolayı T50 akış sürelerinde artış gözlemlenmiştir.

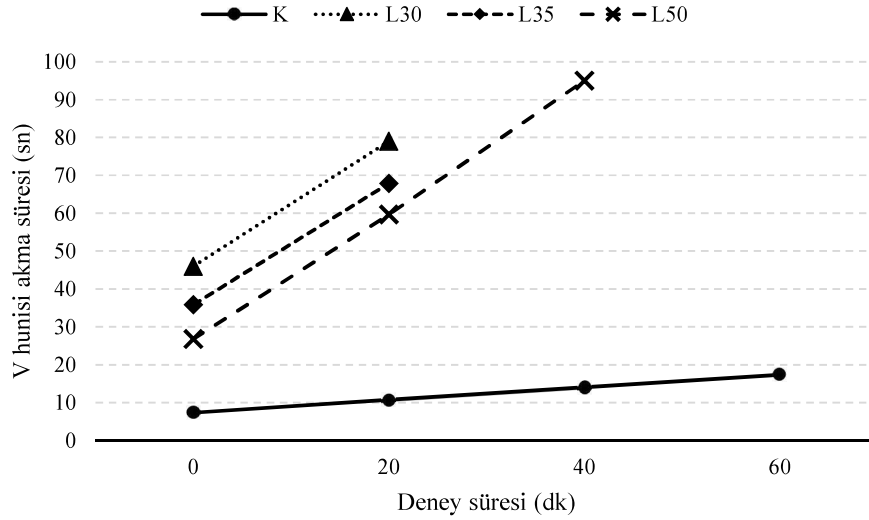
Lif narinlik oranından bağımsız olarak, lif kullanımı ile KYB karışımlarının T50 akış süresi değerleri artmıştır. Bu artış zamanla daha belirgin hale gelmiştir. Başlangıçtan itibaren L50 karışımı diğer lifli karışımlara kıyasla en düşük T50 akış süresine (en hızlı akmasına) rağmen 40 dakikadan sonra çökme-yayılma deneyinde de olduğu gibi 50 cm yayılma limitine ulaşmadığında 40. dakikadan sonra karışım için T50 akış süresi ölçümü alınamamıştır. Kontrol karışımı 60. dakikaya kadar en fazla 8 saniyelik T50 akış süresi gösterirken, L30 ve L35 karışımlarında 40 dakika dökümünden sonra 8 saniyelik T50 akış süresi gözlemlenmiştir. Fakat 60. dakikada lif L30 ve L35 karışımlarının yayılma değerleri 50 cm'ye ulaşamadığından T50 ölçümleri alınamamıştır. Başlangıçtan itibaren L35 karışımı L30 karışımına kıyasla daha düşük T50 akış süresine sahip olmuştur. Bu olay zamanla daha belirgin hale gelmiştir. L35 karışımının 40. dakika T50 akış süresinin L30 karışımına kıyasla %23 oranında daha düşük olduğu sonuçlardan da anlaşılmaktadır. Bu sebeple lifli karışım, T50 akış süresi açısından uzunluğu 35 cm olan lifi içeren L35 karışımı en uygun karışım olarak seçilmiştir.

#### **4.1.2. V hunisi deneyi sonuçları**

Bilindiği gibi V hunisi akış süresi, karışımların viskozite özellikleri hakkında bilgi vermektedir. Viskozite özelliklerini araştırmak için, KYB karışımlarının dar bir kesitten (V hunisi) kendi ağırlığıyla akması incelenmiştir. Karışımların V-hunisi akış süresi 1 saat boyunca 20 dakikada bir tekrarlanmıştır. KYB karışımların zamana bağlı V hunisi deneyi sonuçları Çizelge 4.2 ve Şekil 4.5'te verilmektedir.

**Çizelge 4.2.** Zamana bağlı V hunisi deneyi sonuçları

Karışım	Deney Süresi (dk)	Akış Süresi (s)
K	0	7,32
	20	10,76
	40	14,07
	60	17,33
L30	0	46
	20	69
	40	BLOK
	60	BLOK
L35	0	35,83
	20	67,89
	40	BLOK
	60	BLOK
L50	0	26,8
	20	59,63
	40	95
	60	BLOK



**Şekil 4.5.** Zamana bağlı V hunisi deneyi sonuçları



Kontrol ve L50 karışımları, başlangıç V hunisi değerleri bakımından EFNARC (2005)'in uygunluk kriterlerinde belirtilen maksimum 27 saniye akış süresinin altında bir değer göstererek kritere uygunluk sağlamıştır. Diğer lif içeren L30 ve L35 KYB karışımları ise 35 ve 46 saniye V hunisi akış sürelerine sahip olmuş ve EFNARC (2005)'in önerilerine uygun aralıkta olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4.5'te gösterildiği gibi kontrol karışımında 60 dakikaya kadar V hunisi akışı sağlanmıştır. Diğer yandan zaman geçtikçe çelik lif içeren karışımların taze özellikleri kontrol karışımına kıyasla daha olumsuz etkilenmiştir. Çelik lif içeren karışımlarda lif uzunluğu azaldıkça, V hunisi akış süresinin arttığı görülmüştür. En uzun lif içeren L50 karışımında 40. dakikaya kadar V hunisi akışı sağlanıp 60 dakika sonra V hunisinden akmadığı tespit edilmiştir. L30 ve L35 karışımlarında ise 40 dakika sonra V hunisinde tıkanma meydana gelmiş, ölçüm alınamamıştır (Şekil 4.5.b). Başlangıç V hunisi akış sürelerine kıyasla ilk 20 dakikada kontrol karışımında %40 oranında V hunisi akış performansı azalırken, lif içeren karışımlarda bu oran %73-123 mertebelerinde olmuştur. Bu bağlamda, lif uzunluğu azalmasıyla KYB karışımlarının viskozitesinin arttığı düşünülmektedir. Lif içeren tüm karışımlarda, lif uzunluğundan bağımsız olarak hacimce sabit miktarda lif kullanılmıştır. Lif uzunluğunun azalmasıyla karışımda lif sayısı artmaktadır. Bu sebepten dolayı karışımın viskozitesi artmıştır. Dolayısıyla, KYB karışımlarında çelik lif kullanımı ile karışımların akış özelliklerinin olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir. Bu etki lif uzunluğunun artmasıyla daha da belirgin olmuştur. Lif içeren karışımlarda, V-hunisi akış süresi açısından L50 karışımının en uygun karışım olduğu sonuçlardan anlaşılmıştır.



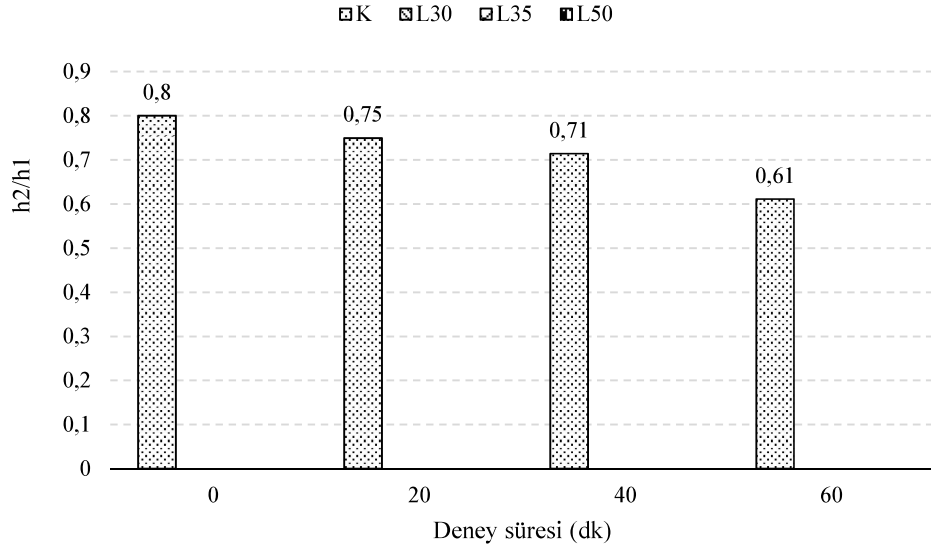
**Şekil 4.6.** KYB karışımlarının V hunisi akış süresi ölçümleri a. Kontrol karışımının (K) 60 dakikaya kadar V hunisi akışı sağlanması b. L30 karışımının 40 dakika sonra V hunisinden tıkanması

#### 4.1.3. L Kutusu deneyi sonuçları

L kutusu deneyi KYB karışımlarının akıcılığını ve tıkanma riskini değerlendirmek amacıyla kullanılmaktadır. Tüm KYB karışımlarına uygulanan zamana bağlı L kutusu deneyi sonuçları Çizelge 4.3’de ve Şekil 4.7’de verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Zamana bağlı L kutusu deneyi sonuçları

Karışım	Deney Süresi (dk)	t20 Süresi (s)	t40 Süresi (s)	H2/H1
K	0	1,36	3,56	0,8
	20	1,49	3,79	0,75
	40	1,67	4,68	0,71
	60	1,89	4,91	0,61
L30	0	BLOK	BLOK	BLOK
	20	BLOK	BLOK	BLOK
	40	BLOK	BLOK	BLOK
	60	BLOK	BLOK	BLOK
L35	0	BLOK	BLOK	BLOK
	20	BLOK	BLOK	BLOK
	40	BLOK	BLOK	BLOK
	60	BLOK	BLOK	BLOK
L50	0	BLOK	BLOK	BLOK
	20	BLOK	BLOK	BLOK
	40	BLOK	BLOK	BLOK
	60	BLOK	BLOK	BLOK

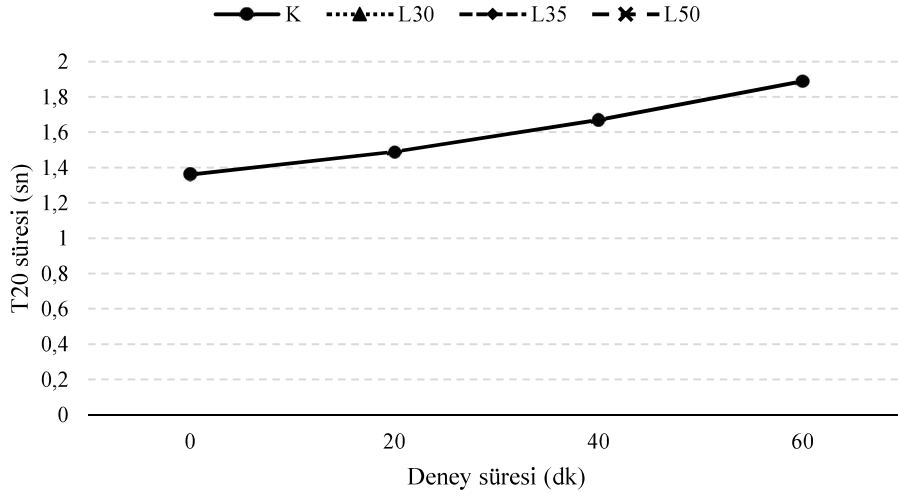


**Şekil 4.7.** L kutusu H2/H1 oranları

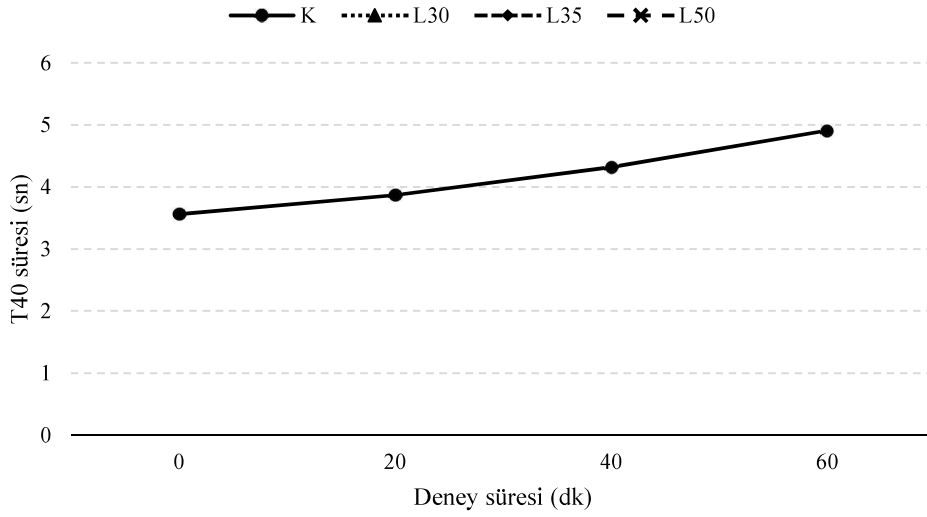
EFNARC 2005'e göre L kutusu deneyinde H2/H1 oranının 0,8-1 aralığında olması önerilmektedir. Şekil 4.7'dan görüldüğü gibi sadece kontrol karışımı KYB için önerilen EFNARC 2005 kriterini sağlamıştır. Ancak, 60 dakika sonra karışımın kıvam kaybı nedeniyle bu oran %23 azalmıştır. Lif içeren karışımlarda ise lifler L kutusu donatılarının arasından geçemeyip tıkanma oluşturarak KYB karışımının homojenliğini ve akış sürekliliğini bozduğu görülmüştür (Şekil 4.8). Bu yüzden lifli karışımlarda L kutusu deneyinde ölçüm alınamamıştır.



**Şekil 4.8.** L kutusunda çelik lif içeren KYB karışımlarının tıkanması



**Şekil 4.9.** L kutusu T20 süresi sonuçları



**Şekil 4.10.** L kutusu T40 süresi sonuçları

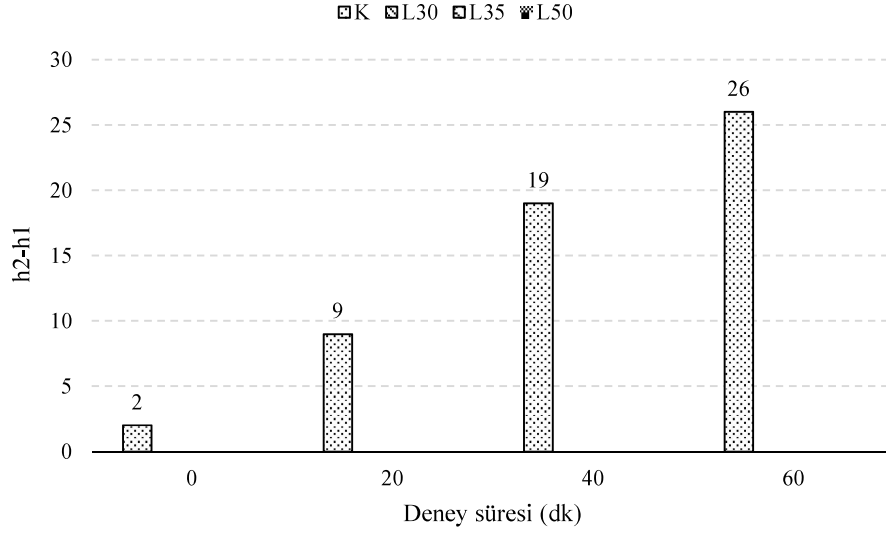
Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'dan da anlaşıldığı gibi, 60 dakika sonra kontrol karışımının akış sürelerinde %40'lik bir artış görülmüştür. Daha önce vurgulandığı gibi lifli karışımlar L kutusu deneyin de akış göstermemiştir. Bu sebeple söz konusu karışımların L kutusu T20 ve T40 süreleri ölçülemediği görülmüştür.

#### 4.1.4. U Kutusu deneyi sonuçları

U kutusu deneyi KYB karışımlarının geçiş ve akış yeteneklerini tayin etmek amacıyla kullanılmaktadır. EFNARC (2005)'a göre U kutusu deneyinde H1 – H2 farkının 0-30 mm aralığında olması önerilmektedir. Tüm KYB karışımlarına uygulanan zamana bağlı U kutusu deneyi sonuçları Çizelge 4.4'de ve Şekil 4.11'de verilmektedir.

**Çizelge 4.4.** Zamana bağlı U kutusu deneyi sonuçları

Karışım	Deney Süresi (dk)	H2-H1
K	0	2
	20	9
	40	19
	60	26
L30	0	BLOK
	20	BLOK
	40	BLOK
	60	BLOK
L35	0	BLOK
	20	BLOK
	40	BLOK
	60	BLOK
L50	0	BLOK
	20	BLOK
	40	BLOK
	60	BLOK



**Şekil 4.11.** U kutusu H2-H1 sonuçları

U kutusu deneyinde elde edilen sonuçlara göre EFNARC 2005'in önerdiği U kutusu kriteri sadece kontrol karışımında sağlanmıştır. Kontrol karışımının U-kutusu H2-H1 değerinin 0. dakikadan 60. dakikaya kadar 2-26 mm arasında değiştiği sonuçlardan da anlaşılmıştır. Ancak sonuçlardan da görüldüğü gibi, 60. dakika U-kutusu H2-H1 değeri 0. dakikaya göre 13 kat artış göstermiştir. Lif içeren karışımlarda lif narinlik oranından bağımsız olarak U kutusunda mevcut donatılar arasında herhangi bir akış sağlanmadığından bu karışımların U kutusu H2-H1 değerleri ölçülememiştir. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi U kutusunun donatılı geçiş bölgesinin çelik liflerden dolayı tıkanmasına neden olmuştur. Söz konusu çelik lif içeren KYB karışımlarının sık donatılı bölgelerde kullanılmasının sakıncalı olduğu düşünülmektedir.



**Şekil 4.12.** U kutusunda lif içeren KYB karışımlarının tıkanması

#### 4.1.4. J halkası deneyi sonuçları

Bilindiği gibi, J halkası deneyi KYB'nin geçiş yeteneğinin belirlenmesi amacıyla yapılır. Bu deneyde J halkasının hemen dışındaki ve içindeki KYB karışımının seviyeleri 4 farklı noktadan ölçülüp seviye farkı hesaplanır. KYB karışımları için maksimum 10 mm olarak kabul edilen bu fark betonun donatılar arasından geçebilme yeteneği hakkında bilgi vermektedir (EFNARC, 2002). Tüm KYB karışımlarına uygulanan zamana bağlı J halkası deneyi sonuçları Çizelge 4.5'de ve Şekil 4.13'te verilmektedir.

**Çizelge 4.5.** Zamana bağlı J halkası deneyi sonuçları

Karışım	Deney Süresi (dk)	Seviye farkı (mm)
K	0	3,5
	20	4
	40	5,5
	60	7
L30	0	8,5
	20	9
	40	10,5
	60	13
L35	0	9
	20	10,5
	40	11,5
	60	15
L50	0	11
	20	12,5
	40	15
	60	BLOK



**Şekil 4.13.** Zamana bağlı J halkası seviye farkı sonuçları

J Halkası seviye farkı sonuçları incelendiğinde, başlangıçta kontrol karışımı için 3,5 mm fark olduğu görülmüştür. İlk ölçümde gösterilen bu değer KYB karışımı için önerilen EFNARC kriteri sağlanmıştır. 60 dakika sonra kontrol karışımındaki kıvam kaybı nedeniyle J halkası seviye farkı %100 artmıştır. Kısa lif içeren L30 ve L35 karışımlarında ise J halkasının donatıları arasında yayılma problemlerinin oluşmasına rağmen olumlu bir sonuç vererek EFNARC (2002) kriterlerine uygunluk sağlamıştır. Ancak, deney esnasında L30 ve L35 karışımları zamanla kıvam kaybederek, 40 dakika sonra söz konusu bu kriteri aştığı görülmüştür. Uzun lif içeren L50 karışımında ise, görüldüğü gibi ilk ölçümde benzer bir sonuç göstermiştir. L50 karışımındaki uzun lifler 20. dakikadan sonraki ölçümlerde J halkasının donatıları arasında beton akışını engelleyerek karışımın geçiş yeteneği olumsuz etkilenmiştir. Şekil 4.14'ten de görüldüğü gibi L50 karışımlarında lifin uzunluğundan dolayı söz konusu karışım J halkası donatılar arasında tıkanarak geçiş sağlamamıştır.



**Şekil 4.14.** J halkasının donatıları arasında lif içeren KYB karışımlarının tıkanması



## 4.2. Sertleşmiş Hal Deneyi Sonuçları

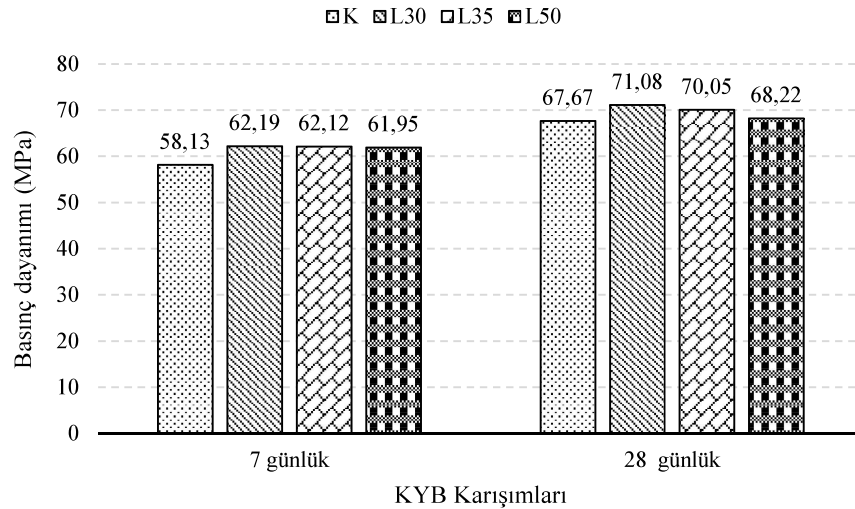
### 4.2.1. Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Üretilen 4 farklı KYB karışımı numuneleri üzerinde 7 ve 28 günlük basınç deneyleri uygulanmıştır. Daha öncede vurgulandığı gibi, söz konusu basınç deneyi 10x10x10 cm boyutlarına küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş. Çizelge 4.6'da KYB karışımlarının basınç deneyi sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük küp basınç deneyi sonuçları

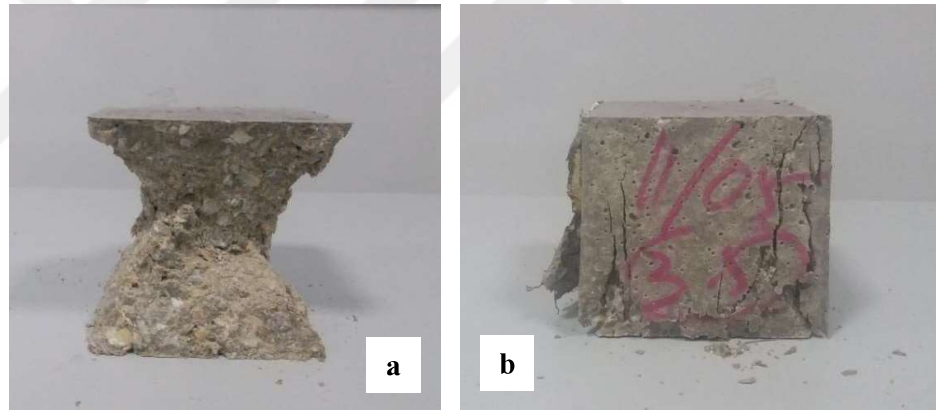
	K	L30	L35	L50
7 günlük basınç dayanımı (MPa)	58,13	62,19	62,12	61,95
28 günlük basınç dayanımı (MPa)	67,67	71,08	70,05	68,22

Elde edilen sonuçlara göre, KYB karışımlarının basınç dayanımları çelik lif kullanımından bağımsız olarak beklenildiği gibi, zamanla artış göstermiştir. Çizelge 4.6 incelendiğinde, her bir karışımın 28 günlük basınç dayanımı 7 günlük dayanımına göre %10-16 oranlarında arttığı anlaşılmıştır. Deney bulgularının daha rahat yorumlayabilmek için elde edilen sonuçlar grafik halinde şekil 4.15'te gösterilmiştir.



**Şekil 4.15.** KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük küp basınç dayanımları

Söz konusu KYB karışımlarında çelik lif kullanımı karışımların 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını olumlu etkilediği görülmüştür. Şekil 4.15'te görüldüğü gibi, çelik lif içeren KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük basınç dayanımları kontrol karışımına göre önemli bir artış sergilememiştir. Bu bağlamda 7 günlük basınç dayanımı sonuçlarına göre lif içeren KYB karışımlarında kontrol karışımına kıyasla %1,83-6,98 oranında bir artış tespit edilmiştir. 28 günlük basınç dayanımı sonuçlarında ise lifli karışımlar kontrol karışımına göre %0,81-5,03 arası bir artış göstermiştir. Şekil 4.16'dan da görüldüğü gibi kontrol karışımında 45 derece olan kırılma açısı lif kullanımı ile azalmıştır. %0,6 oranında uzunluğu 35 mm olan çelik lif kullanımı ile bu numunelerin kırılma açısı azalarak nerdeyse paralel bir kırılma göstermiştir. Ayrıca lif içeren numunelerde, numunenin basınç altında kırılması esnasında lifler parçacıklar arasında bir köprü vazifesi üstlenerek numunelerde parça kopmasını azaltmıştır.



**Şekil 4.16.** Basınç dayanım deneyi sonrası KYB karışımlarının numuneleri; a. Kontrol karışımının numunesi; b. L35 karışımının numunesi

Diğer yanda lifli karışımlarda, lif uzunluğunun artmasıyla KYB karışımlarının basınç dayanımı azda olsa olumsuz etkilenmiştir. Lifli KYB karışımlarında, kullanılan diğer liflere kıyasla uzunluğu en kısa olan lifi içeren L30 karışımı basınç dayanımı açısından en üstün performansı sergilenmiştir. 7 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları incelendiğinde L30 karışımı diğer lif içeren L35 ve L50 karışımlarına göre önemli bir değişiklik göstermediği tespit edilmiştir. Ancak, 28 günlük lif içeren karışımların sonuçlarına bakıldığında L30 karışımı L35 karışımına göre %1,5 ve L50 karışımına göre %4,2 oranında artış göstermiştir.

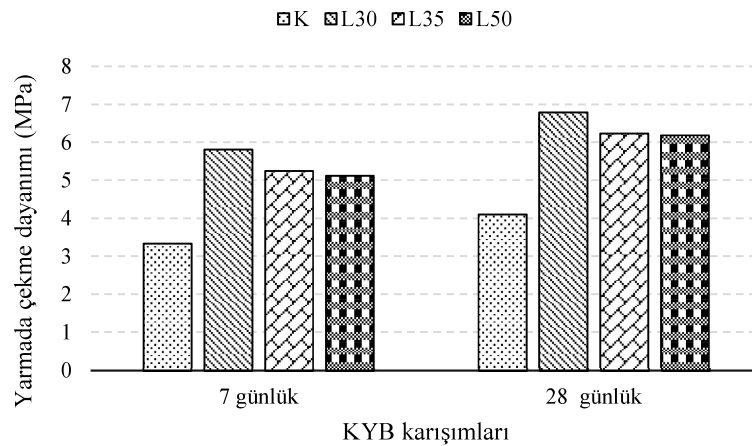
#### 4.2.2. Yarmada çekme deneyi sonuçları

Daha önce söylenildiği gibi, KYB karışımları üzerinde yarmada çekme deneyleri 10 cm boyutunda küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. 7 ve 28 günlük numunelerin yarmada çekme deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.7’de verilmiş ve Şekil 4.17’de grafik halinde sunulmuştur.

**Çizelge 4.7.** KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük yarmada çekme sonuçları

	K	L30	L35	L50
7 günlük yarmada çekme dayanımı (MPa)	3,33	5,81	5,24	5,21
28 günlük yarmada çekme dayanımı (MPa)	4,1	6,78	6,23	6,18

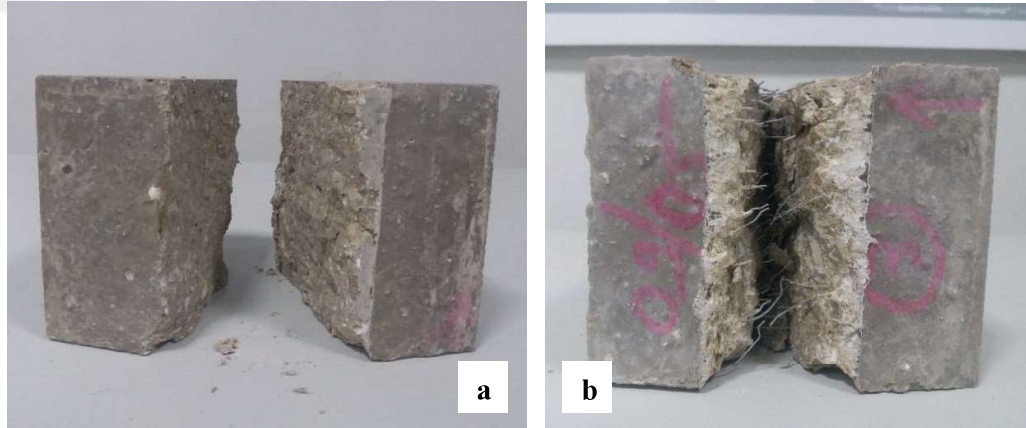
Çizelge 4.7’den anlaşıldığı gibi tüm KYB karışımların yarmada çekme dayanımlarında zamana bağlı bir artış görülmüştür. Genel olarak, KYB karışımlarının 28 günlük yarmada çekme dayanımları 7 günlük dayanımlarına göre yaklaşık %20-23 arası bir artış gözlemlenmiştir. Şekil 4.17 dikkate alındığında, çelik liflerin KYB karışımlarında kullanılması, yarmada çekme dayanımını olumlu yönde etkilediği görülmüştür. 7 günlük lifli karışımların yarmada çekme dayanımı kontrol karışımına göre %53 ve %74 arası artış göstermiştir. 28 günlük lif içeren karışımlarda ise %50 ve %65 arası bir artış tespit edilmiştir.



**Şekil 4.17.** KYB karışımlarının 7 ve 28 günlük yarmada çekme dayanımları

Lif içeren karışımlarda, lif uzunluğu artışıyla, KYB karışımların yarmada-çekme dayanımında az da olsa bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. 7 ve 28 günlük L35 ve L50 karışımları hemen hemen aynı performansları gösterirken, L30 karışımı diğer lif içeren KYB karışımlarına göre en yüksek performans gösteren karışım olmuştur. 7 günlük yarmada çekme deneyi sonuçları incelendiğinde L30 karışımı L35 ve L50 karışımlarına göre sırasıyla %8,7 ve %9,7 arası artış gösterdiği tespit edilmiştir. Benzer oranlar 28 günlük numunelerde de gözlemlenmiştir. Bilindiği gibi, karışımlarda, daha kısa lif kullanımı yüklem esnasında numunede oluşan mikro-çatlaklarının büyümesi ve gelişmesini engelleyerek karışımların yarmada-çekme ve eğilme dayanımı gibi özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir (Ostertag ve ark. 2007, Park ve ark. 2012, Yazıcı 2012, Yoo ve ark. 2014, Yu ve ark. 2015).

Şekil 4.18’de görüldüğü gibi kontrol karışımı numuneleri üzerinde uygulanan yarmada çekme deneyi sonucunda, küp numuneler iki parçaya ayrılmıştır. Ancak çelik lif içeren karışımlarda numunelerde tam olarak bir ayrılma olmamıştır.



**Şekil 4.18.** Yarmada çekme deneyi sonrası KYB karışımlarının numuneleri; a. Kontrol karışımı numunesi; b. L30 karışımı numunesi

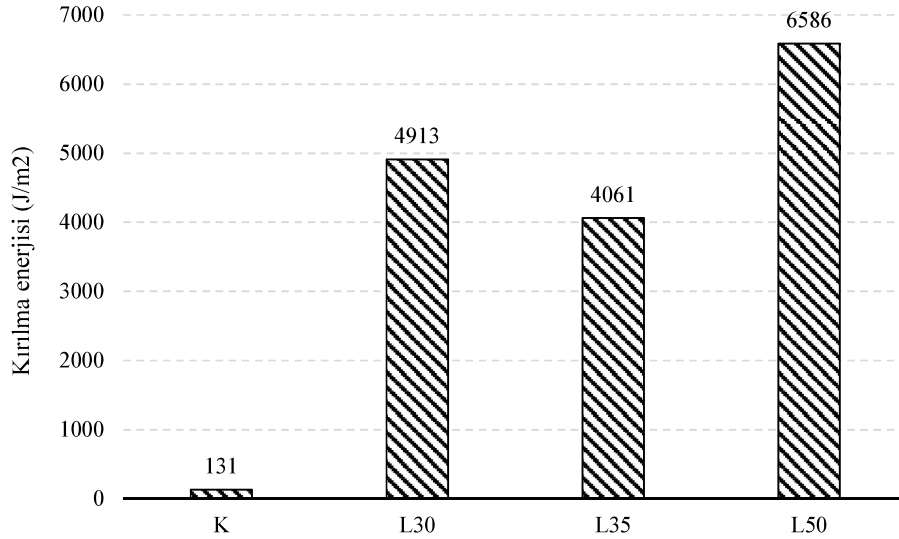
### 4.2.3. Eğilme deneyi sonuçları

Daha önce bildirildiği gibi 4 noktalı eğilme deneyi 28 günlük 100x100x500 mm boyutlarındaki çentikli prizma numunelere uygulanmıştır. Eğilme deneyi sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir. Çizelge 4.8’de verilen kırılma enerjisi numunelerin eğilme deneyinde yük-sehim eğrisinin altında kalan alan olarak hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.8.** Eğilme deney sonuçları

	K	L30	L35	L50
Kırılma Enerjisi (J/m <sup>2</sup> )	131	4913	4061	6586
Eğilme Dayanımı (MPa)	2,98	4,94	3,80	4,34

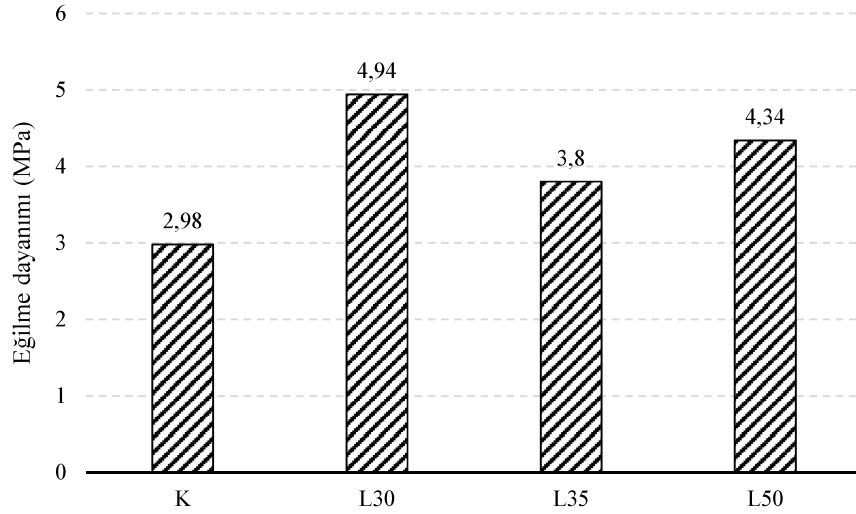
Çizelge 4.8 incelediğinde eğilme deneylerinden elde edilen sonuçlara göre KYB karışımlarına çelik lif ilavesiyle karışımların kırılma enerjisi ciddi mertebede artış göstermiştir. Deney bulgularının daha kolay yorumlanması için KYB karışımlarından elde edilen kırılma enerjisi sonuçları Şekil 4.19’da grafik halinde verilmiştir.



**Şekil 4.19.** KYB karışımlarının kırılma enerjisi değerleri

Şekil 4.19'dan anlaşıldığı gibi, lifli KYB karışımlarının kırılma enerjileri kontrol karışımına kıyasla 38 ve 50 kat aralığında oranlarında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Lifli KYB karışımları kendi aralarında kıyasladığında L50 karışımı L30 ve L35 karışımlarına göre sırasıyla %34 ve %62 daha yüksek kırılma enerjisine sahip olmuştur. Karışımların lif içermesi çatlak gelişimini azalmasında önemli katkı sağlamıştır. Bu bağlamda lif içeren karışımların kırılma enerjilerinde önemli mertebelerde artış gözlenmiştir. Bu etki kullanılan lifin uzunluğunun artışıyla daha da belirgin hale gelmiştir. Lif uzunluğunun artması ile yükleme esnasında liflerin sıyrılma yapma olasılığı artmaktadır (Ostertag ve ark. 2007, Park ve ark. 2012, Yazıcı 2012, Yoo ve ark. 2014, Yu ve ark. 2015).

Şekil 4.20'de karışımların eğilme dayanımı sonuçlarını incelendiğinde, L30 karışımının diğer karışımlara göre en yüksek eğilme dayanımı performansı gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca kontrol karışımının eğilme dayanımı lif içeren karışımlara göre en düşük olduğu tespit edilmiştir.

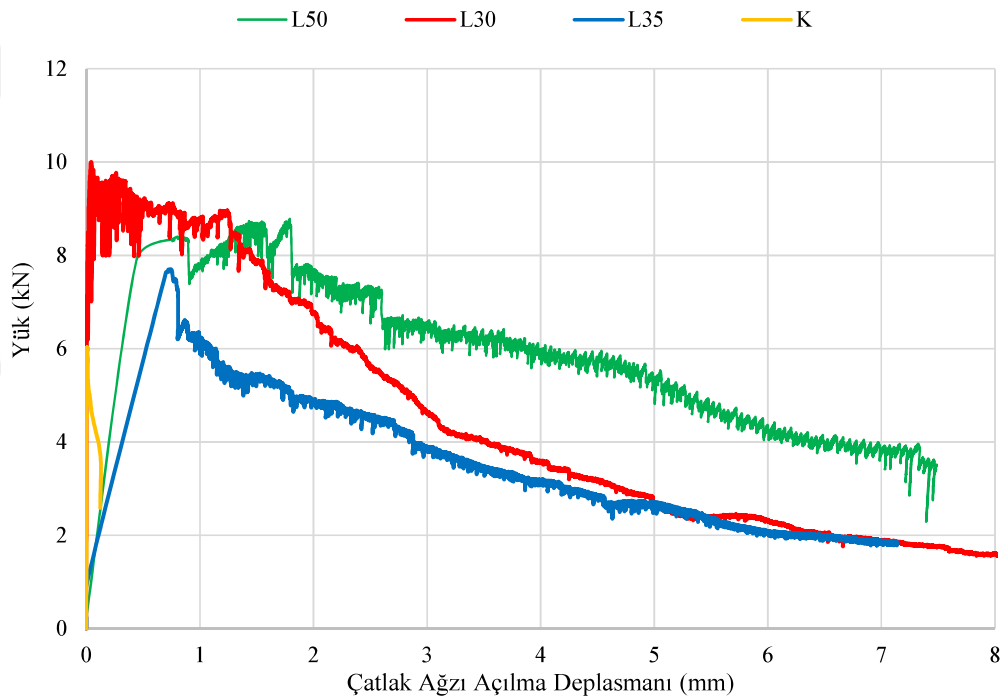


**Şekil 4.20.** KYB karışımlarının eğilme dayanımı değerleri

Şekil 4.20'den anlaşıldığı gibi lif içeren karışımların eğilme dayanımı kontrol karışımından %27 ve %46 oranlarında daha yüksek olduğu görülmüştür. Lifli KYB karışımlarının eğilme dayanımlarını incelediğinde en kısa lif içeren L30 karışımı L35 ve L50 karışımlarına göre %14 ve %29 arası daha yüksek eğilme dayanımı değerine sahiptir.

Başka bir değişle lif uzunluğunun artması ile karışımların eğilme dayanımında bir azalma gözlemlenmiştir. Daha önce vurgulandığı gibi, daha kısa lifler yükleme esnasında numunede oluşan mikro-çatlakların oluşumu ve gelişimini engelleyerek yarmada-çekme ve eğilme dayanımlarının artmasına neden olmaktadır (Ostertag ve ark. 2007, Park ve ark. 2012, Yazıcı 2012, Yoo ve ark. 2014, Yu ve ark. 2015).

Çentikli kiriş numune üzerinde gerçekleştirilen 4 noktalı eğilme deneylerinde yük-çatlak ağzı açılma deplasmanı KYB karışımları için Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



**Şekil 4.21.** KYB karışımlarının çatlak ağzı açılma deplasmanı-yük eğrileri

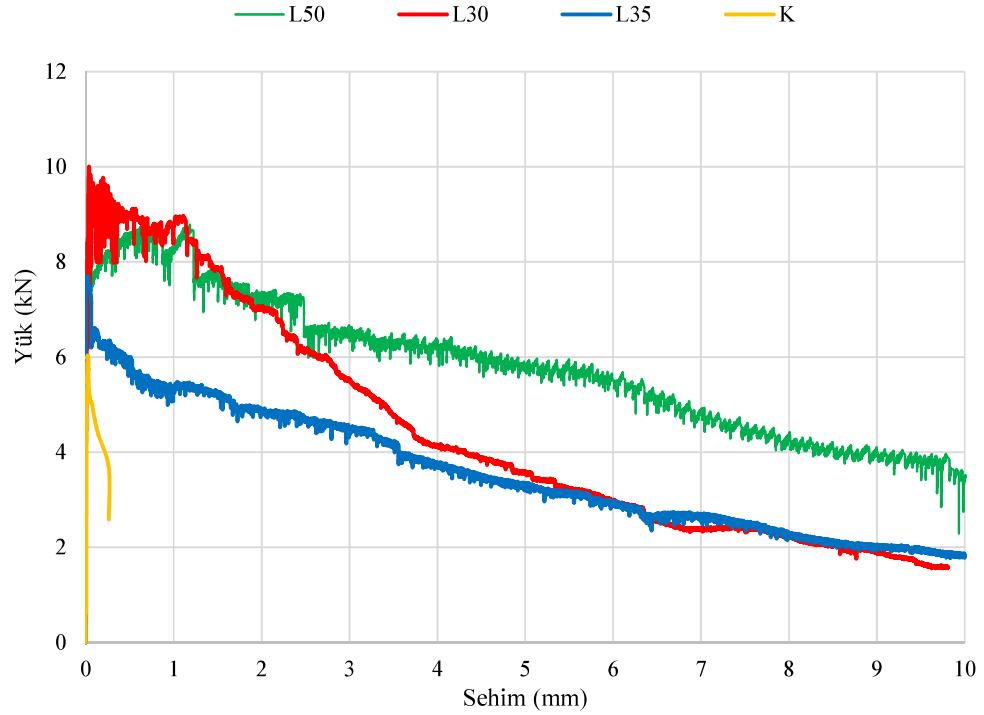
Şekil 4.21’de görüldüğü gibi kontrol karışımı hariç bütün lif içeren KYB karışımlarında çatlak ağzı açılma deplasmanı 7 mm değerine kadar ulaşmıştır. Ayrıca çelik lifli KYB’ler en fazla enerji yutma kabiliyetine sahip karışımlar olduğu tespit edilmiştir. Öte yandan çelik lif içeren KYB karışımlarında çelik lif boyu azaltıkça enerji yutma kapasitelerinin de azaldığı gözlemlenmiştir. Benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından da bildirilmiştir (Ostertag ve ark. 2007, Park ve ark. 2012, Yazıcı 2012, Yoo ve ark. 2014, Yu ve ark. 2015).

Lif içermeyen kontrol numuneleri üzerinde uygulanan eğilme deneyinde, kiriş numunelerde yükleme esnasında gevrek bir kırılma meydana gelmiştir. Ancak, lif içeren numunelerde çelik lifler çatlaklar arasında köprü vazifesi üstelenerek çatlak gelişimini frenlemiş ve gevrek kırılmayı önlemiştir. Bu bağlamda Şekil 4.22’de görüldüğü gibi çentik hizasında tam olarak bir ayrılma olmamıştır. Lif içeren karışımlarda, uzun lif içeren L50 karışımı çatlak ağzı açılma deplasmanı açısından en yüksek performansı göstermiştir.



Şekil 4.22. Lif içeren KYB numunesi eğilme deneyinden sonra çatlak açılması

KYB karışımlarının eğilme deneyi sonucu elde edilen yük-sehim eğrileri Şekil 4.23’de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. KYB karışımlarının yük-sehim eğrileri



Şekil 4.23'te görüldüğü gibi kontrol karışımı hariç tüm lifli KYB karışımlarının sehım değerleri 10 mm'ye kadar ulaşmıştır. Lifli karışımlardan elde edilen tipik yük-sehım eğrileri birbirlerine oldukça yakın olduğu tespit edilmiştir. L30 karışımı ve L50 karışımları L35 karışımına göre yaklaşık 3 mm sehıme kadar daha yüksek yük taşıma (6-8 kN arası) kapasitesine sahip olmuştur. Yaklaşık 1 mm orta nokta sehıminden sonra L35 karışımında büyük bir olasılıkla çatlak düzlemindeki liflerin çatlak düzlemine göre pozisyonu ve kopan lif oranına bağlı olarak yük düşmeleri gözlemlenmiştir.

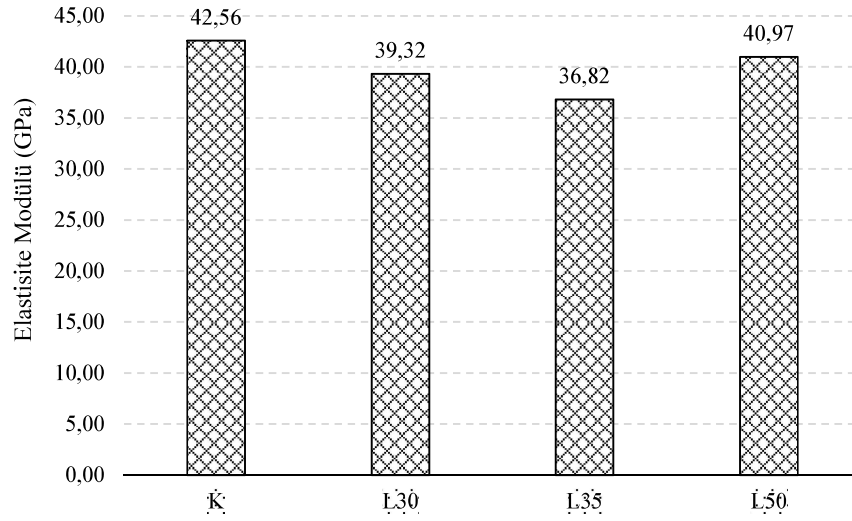
Çentikli beton kiriş numuneler üzerinde eğilme deneyi yapıldığında kiriş numune belirli bir sehım gösterdikten sonra matris fazında çatlaklar oluşmuştur. Çentikten başlayan çatlağın artan sehıme birlikte açıldığını gözlemlenmiştir (Şekil 4.21 ve 4.23). Çatlak ağzı açılma deplasmanı kiriş orta noktası düşey deplasmanından daha büyük miktarlarda olacağı öngörülmektedir.

#### 4.2.4. Elastisite modülü deneyi sonuçları

Daha önce söylendiği gibi elastisite modülü deneyleri, 28 günlük KYB karışımlarının 10x20 cm silindir numuneleri üzerinde tespit edilmiştir. Karışımların elastisite modülleri basınç yüklemesi altında elde edilen gerilme – şekil değiştirme grafiğinde eğrinin yükselen %40'lık kısmının eğiminden hesaplanmıştır. KYB karışımlarının elastisite modülü değerleri Çizelge 4.9'de ve Şekil 4.24'te verilmiştir.

**Çizelge 4.9.** Elastisite modülü sonuçları

	K	L30	L35	L50
Elastisite Modülü (GPa)	42,56	39,32	36,82	40,97



**Şekil 4.24.** Elastisite modülü sonuçları

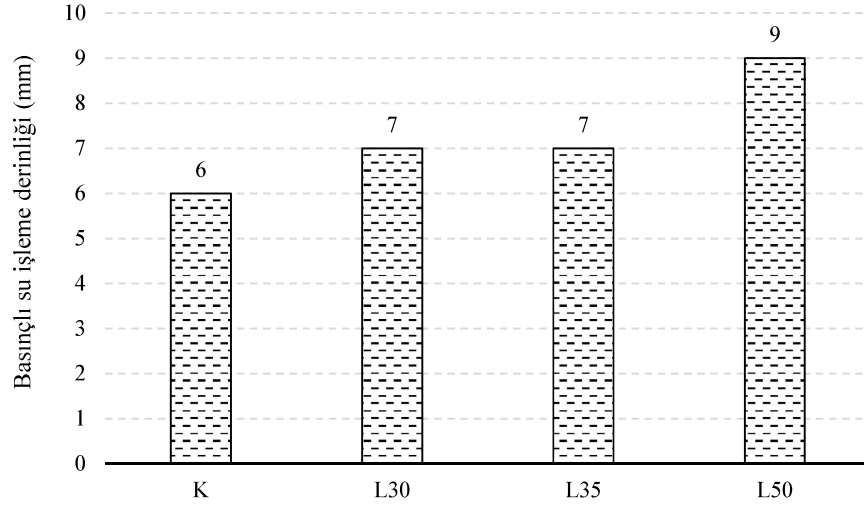
KYB numunelerine uygulanan elastisite modülü deneyi sonuçlarına göre çelik lif kullanılımasının KYB karışımlarının elastisite modülü üzerinde önemli bir değişikliğe neden olmadığı görülmüştür. Şekil 4.24'te de görüldüğü gibi kontrol karışımı en yüksek elastisite modülü değerine sahip olmuştur. Lif içeren karışımlara göre kontrol karışımının elastisite modülü değerlerinde yaklaşık %4 ve %15 oranlarında artış gözlemlenmiştir. Lifli karışımlarda ise en yüksek performans gösteren L50 karışımı olmuştur. Söz konusu bu karışım L30 ve L30 karışımlarına göre sırasıyla %4 ve %11 daha yüksek elastisite modülüne sahiptir olmuştur.

#### 4.2.5. Basınçlı su altında su işleme derinliği deneyi sonuçları

28 günlük KYB karışımlarının 15 cm'lik küp numuneler üzerinde basınçlı su altında su işleme derinliği deneyi uygulanmıştır. Çizelge 4.10'da ve Şekil 4.25'te KYB karışımlarının basınçlı su altında su işleme derinliği deneyi sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 4.10.** Basınçlı su altında su derinliği deneyi sonuçları

	K	L30	L35	L50
Su işleme derinliği (mm)	6	7	7	9



**Şekil 4.25.** KYB karışımlarının basınçlı su işleme derinlikleri

Şekil 4.25'e göre, kontrol karışımı lif içeren karışımlarına göre, en düşük su geçirimsizlik özelliğe sahip karışım olmuştur. Kontrol karışımı diğer KYB karışımlarıyla kıyaslandığında %14 ve %33 arasında daha düşük su işleme derinliğine sahip olmuştur. Çelik lif içeren karışımlardan L50 karışımı L30 ve L35 karışımlara göre %28 daha fazla su geçirgenliği göstermiştir. Karışımlarda uzun lif kullanılması, KYB karışımlarının su geçirgenlik performansını olumsuz olarak etkilemiştir (Şekil 4.26).



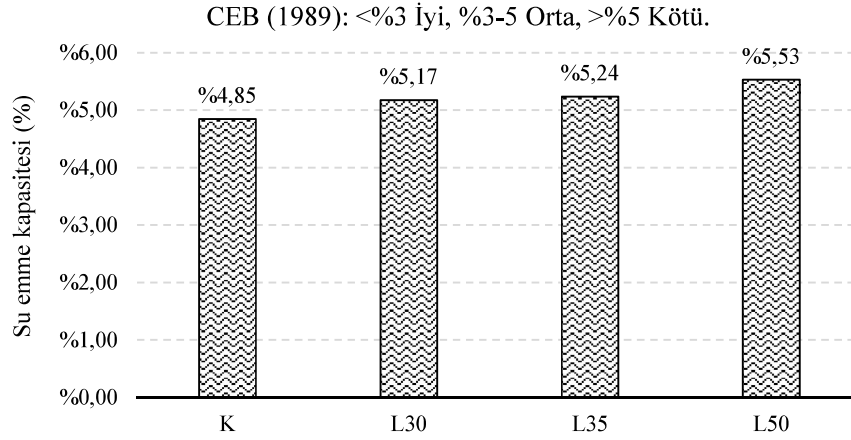
**Şekil 4.26.** Su işleme derinliği ölçülmesi; a. Kontrol karışımı; b. L30 karışımı

#### 4.2.6. Su emme deneyi sonuçları

Su emme deneyi, KYB karışımlarından üretilen 10 cm'lik numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. 28 günlük su emme deneyinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11'de verilmiş ve Şekil 4.27'de grafik halinde sunulmuştur.

**Çizelge 4.11.** Su emme deneyi sonuçları

	K	L30	L35	L50
Su emme kapasitesi (%)	4,85%	5,17%	5,24%	5,53%



**Şekil 4.27.** Su emme oranları

Şekil 4.27'den anlaşıldığı gibi, kontrol karışımı diğer lif içeren karışımlarına göre, en düşük su emme oranına sahip olmuştur. Kontrol karışımının, diğer karışımlara göre su emme oranı %0,39 ve %0,68 daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Söz konusu, KYB karışımlara lif ilave edilmesinin su emme kapasitesi üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Lifli KYB'lerde en düşük su emme oranı olan L30 karışımı diğer L35 ve L50 karışımlarına göre %0,07 ve %0,36 arasında bir farklılık göstermiştir. Söz konusu, karışımlarda lif uzunluğunun boyunun artmasıyla su emme oranının arttığı gözlemlenmiştir. KYB karışımlarının su emme oranının %3'ten fazla olduğu Şekil 4.27'den anlaşılmaktadır. CEB (1989) tarafından beton karışımlarının su emmesi için önerilen sınıflandırmaya göre kontrol karışımı orta, lifli karışımlar ise kötü beton sınıfına girmektedir.

## 5. SONUÇ

KYB karışımlarında kullanılan malzemeler ve uygulanan taze hal ve sertleşmiş hal deneyleri doğrultusunda aşağıda özetlenen sonuçlar elde edilmiştir.

- Çalışma başlangıcında KYB karışımlarında çelik lif kullanımı toplam hacmin %1 oranında olarak düşünülmüştür. Ancak söz konusu bu oranda hazırlanan KYB karışımlarında  $65\pm 2$  cm çökme yayılma sağlanamamıştır. Bu sebepten karışımlarda çelik lif kullanımı oranı karışım toplam hacminin %0,6'sı olarak seçilmiştir.
- KYB karışımlarında, farklı narinlik oranına sahip çelik lif kullanılması karışımların zamana bağlı taze hal performanslarını olumsuz olarak etkilemiştir.
- Çelik lif içeren KYB karışımların zamana bağlı yayılma ve T50 akış süresi deneylerinde EFNARC (2005) uygunluk kriterleri döküm sonrası 0. dakikada sağlanmıştır. Ancak deney süresince kıvam kaybı nedeniyle karışımların akış performansı azalmıştır. Genel olarak, tüm KYB karışımlarında zamanla kıvam kaybindan dolayı T50 akış sürelerinde artış gözlemlenmiştir. Lif narinlik oranından bağımsız olarak, lif kullanımı ile KYB karışımlarının T50 akış süresi değerleri artmıştır. 60 dakika sonra uzunluğu 5 cm olan çelik lifi içeren karışımın "Abraham" konisinden akmadığı gözlemlenmiştir.
- Lifli içeren KYB karışımları 0. dakikada V hunisinden akmasına rağmen bu karışımlarda EFNARC (2005) uygunluk kriterleri sağlanmamıştır. Ayrıca, lif içeren karışımlarda lif uzunluğu azaldıkça, V hunisi akış süresinin arttığı görülmüştür. Lif içeren tüm karışımlarda, lif uzunluğundan bağımsız olarak hacimce sabit miktarda lif kullanılmıştır. Lif uzunluğunun azalmasıyla karışımda lif sayısı artmaktadır. Bu sebepten dolayı karışımının vizkozitesi artmıştır.
- Zamana bağlı L kutusu ve U kutusu deneylerinde ise kontrol karışımında 60. dakikaya kadar EFNARC (2005) uygunluk kriterleri sağlanırken, lif içeren karışımlarda lif narinlik oranından bağımsız olarak L ve U kutusunda mevcut donatılar arasında herhangi bir akış sağlanmadığından ölçüm alınamamıştır. Söz konusu çelik lif içeren KYB karışımlarının sık donatılı bölgelerde kullanılmasının sakıncalı olduğu düşünülmektedir.

- KYB karışımlarına uygulan zamana bağlı J halkası deneyinde, 0. dakikada uzunluğu 5 cm olan lifi içeren karışım hariç tüm KYB karışımlarında EFNARC (2005) kriterlerinin sağlandığı tespit edilmiştir. Ancak 40. dakikada kıvam kaybı nedeniyle lifli karışımlarda J-halkası ölçümü gerçekleştirilememiştir.
- Sertleşmiş hal özellikleri açısından, genel olarak KYB karışımlarında farklı narinlik oranına sahip çelik lif kullanımının olumlu olduğu gözlemlenmiştir.
- Basınç dayanımı deneyinde, lif içeren KYB karışımları kontrol karışımına göre az da olsa daha yüksek dayanım göstermiştir. Kısa lif içeren karışımlar basınç dayanım açısından en üstün performansı sergilemiştir.
- KYB karışımlarında, çelik lif kullanımı karışımların yarmada-çekme dayanımının artmasına sebep olmuştur. Lif içeren karışımlarda, lif uzunluğunun artışıyla, KYB karışımların yarmada-çekme dayanımında azda olsa bir miktar düşüş gözlemlenmiştir. Kısa lif kullanımı yükleme esnasında oluşacak mikro-çatlakların gelişimini engelleyerek yarmada-çekme dayanımının artmasına sebep olmaktadır.
- KYB karışımlarında farklı narinlik oranına sahip çelik lif kullanılması eğilme dayanımı değerlerinde önemli mertebelerde farklılıklar göstermiştir. Lif içeren karışımlar kontrol karışımına göre daha yüksek eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi performansını sergilemiştir. Uzunluğu 5 cm olan lifi içeren KYB karışımı çatlak ağzı açılma deplasmanı açısından diğer karışımlara göre daha yüksek yük taşıma performansı göstermiştir. Yarmada-çekme deneyinde de olduğu gibi, lif uzunluğunun azalmasıyla KYB karışımlarının eğilme dayanımı artmıştır. Ancak, lif uzunluğunu artmasıyla karışımların enerji yutma kapasitesi artmıştır.
- Lif narinlik oranından bağımsız olarak, KYB karışımlarında çelik lif kullanımının karışımların elstisite modülü değerleri üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı anlaşılmıştır.
- KYB karışımlarında çelik lif kullanılması karışımların basınçlı su altında su işleme derinliği özelliği açısından olumsuz yönde etkilemiştir. Bu durum lif uzunluğunun artmasıyla daha belirgin hale gelmiştir.

- Lif narinlik oranından bağımsız olarak lif kullanımı sonucu karışımların su emme kapasitesi artmıştır. Bu durum lif uzunluğunun artmasıyla daha da belirgin olmuştur.

Bu tez çalışması sonucunda elde edilen tecrübeler ışığında, aşağıda belirtilen öneriler yapılmıştır.

- Lif kullanımı ve narinlik oranının etkisi farklı su/çimento oranlarında da incelenebilir.
- Lifli KYB karışımlarında mineral katkı kullanımı da araştırılabilir.
- Karışımların geçirgenlik özelliğini iyileştirmek amacı ile geçirgenlik azaltıcı katkıların kullanımı kontrol edilebilir.
- Karışımlarda ayrışma riskini azaltmak amacı ile vizkozite azaltıcı katkıları karışıma ilave edilebilir.
- KYB karışımlarının diğer dırabilite özellikleri de incelenebilir.
- Lifli KYB karışımlarının betonarme elemanları olarak kullanımı araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- Akman, M.S., 2000.** Yüksek Performanslı Betonların Taze Haldeki Özellikleri Üzerine Katkı Maddelerinin Etkisi: Role of Admixtures on High Performance Concrete, Editör: Mutlu M., İstanbul, s. 331-332
- Alyamaç, K. E., Ince, R., A., 2008.** A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders. *Construction and Building Materials*, 23(3):1201-1210.
- ASTM C125, 2002.** Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates, Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA, 4pp.
- ASTM C469, 2014.** Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, ASTM Cement and Concrete Reference Laboratory, USA.
- ASTM C642 - 97, 1997.** Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete, ASTM Cement and Concrete Reference Laboratory, USA.
- CEB-FIP, 1989.** Diagnosis and assessment of concrete structures – state of art report, CEB Bulletin, Lausanne, pp: 83–5.
- Çopuroğlu, O., 2001.** Beton numunesi şekli ve boyutunun basınç ve çekme dayanımına etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- De Schutter, G., Bartos, P., J., M., Domone, P., Gibbs, J. 2008.** Self-Compacting Concrete. Whittles Publishing, Scotland, UK, p:1-2
- Banthia, N., Trottier, J., F., 1995.** Concrete reinforced with deformed steel fibres. Part II: Toughness characterization, *ACI Materials Journal*, 92(2):146-154.
- Baradan, B., Yardımcı, M. Yücel, Felekoğlu, B., Yazıcı, H. Ve Yiğiter, H., 2005.** Kendiliğinden Yerlesen Betonun Mekanik Özelliklerinin Lif Katkısı İle Gelistirilmesi. DPT Üniversiteler için ileri Araştırma Projesi, aralık 2005, İzmir.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S., Türkel, S., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Tosun Felekoğlu, K. 2015.** Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 625 s.
- Bartos, P.J.M., Sonebi, M. And Tamim, A.K., 1999.** Workability and Rheology of Fresh Concrete: Compendium of Tests, RILEM Technical Committee TC 145-WSM Workability of Special Concrete Mixes, Ed: John, K., Paris, pp. 20



- Bentur, A., & Mindness, S., 1990.** Fiber Reinforced Cementitious Composites. Elsevier Applied Science, London 165 pp.
- Berbergil, V., 2006.** Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Çelik Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bertil, P., 2005.** A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete. *Cement and Concrete Research*, 13(3): 193-198.
- Corinaldesi, V., Moriconi, G., 2004.** Durable fiber reinforced Self-compacting concrete: Cement and Concrete Research, Ed.: Pazaro, pp: 249– 254.
- Ding, Y., Liu, S., Zhang, Y., Thomas, A., 2007.** The investigation on the workability of fibre cocktail reinforced self-compacting high-performance concrete, *Construction and Building Materials*, 22(7):1462-1470
- Doğan, A., Ü., 2000.** Yeni Kuşak Süperakışkanlaştırıcıların Harç ve Beton Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Duyar, O., 2006.** Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Şartnamesi Işığında Tanımlar, Dizayn Yöntemi, Deneysel Metotları ve Mühendislik Özellikleri. *Türkiye Hazır Beton Birliği Beton Dergisi*, 31(6): 46-52.
- EFNARC, 2005.** European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification and Production and Use, Association House, UK, ([www.efnarc.org](http://www.efnarc.org)).
- Erdoğan, T., Y., 2010.** Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı yayıncılık ve iletişim A.Ş. Yayın, 3. Baskı, Ankara, 757 s.
- EN 206-1, 2000.** Concrete – Part 1: Definitions, specifications and control, BS, UK.
- Felekoğlu, B., 2003.** Kendiliğinden yerleşen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri, Yüksek lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bil. Ens., İzmir.
- Felekoğlu, B., Turkel, S., Baradan, B., 2004.** Kendiliğinden yerleşen beton: bölüm 1 genel tanıtım, kullanım alanları, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, *Haber Bulteni*, 117(4): 20-24
- Felekoğlu, B., A., 2006.** comparative study on the performance of sands rich and poor in fines in self-compacting concrete, *Construction and Building Materials*, pp: 646-654
- Felekoğlu, B., Türkel, S., Baradan, B., 2006.** Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete, *Building and Environment*, pp: 1-8.

**Gaimster, R., Dixon, N., 2003.** Self-Compacting Concrete, in *Advanced Concrete Technology*, Elsevier, 1920 pp.

**Grünewald S., Walrawen J.C., 2001.** Parameter-Study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(5): 1793-1798.

**Haist, M., Mechtcherine, V., Müller, H., S., 2002.** High performance self-compacting lightweight aggregate concrete with and without fibre reinforcement. 6th International symposium on high strength / high performance concrete, June 2002, Gert König. Univ., Germany.

**Khayat, K., H., and Roussel, Y., 2000.** Testing and performance of fiber-reinforced, self-consolidating concrete. *Materials and Structures*, 33(6): 391-397.

**Lars, M., Tviksta, G., 2000.** SCC: Guidelines. TR9-V9, End Product, Brite EuRan Proposal, UK, 132 pp.

**Okamura, H., Ouchi, M. 1999.** Self-compacting concrete development, present use and future: The 1st International RILEM Symposium on Self- Compacting Concrete, Ed.: Skarendahl A, Petersson O, RILEM Publications S.A.R.L, France, pp: 3-14.

**Park, S.H., Kim, D.J., Ryu, G.S., Koh, K.T., 2012.** Tensile Behavior of Ultra High Hybrid Fiber Reinforced Concrete, *Cement and Concrete Composites*, 34(12):172-184.

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

**Mardani-Aghabaglou, A., Özen, S., Altun, M.G. and Yılmaz, G., 2013.** Polipropilen lif kullanım oranının beton karışımlarının dayanımına etkisi. XX. Ulusal Mekanik Kongresi, 05-09 Eylül 2017, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

**Mehta, P., K., Monterio, P., J., M., 1997.** Concrete: Microstructure, Properties, and Materials. Indian Concrete Institute, India, 213 pp.

**Naaman, A.E., 2000.** Fiber reinforcement for concrete: Looking back, looking ahead. In *Proceedings of Fifth RILEM Symposium on Fiber Reinforced Concretes (FRC)*, RILEM Publications, pp: 65-86.

**Neville, A., M., 1997.** Properties of concrete (Fourth ed.). Longman Limited, England

**Ostertag, C.P., Yi, CK. 2007.** Crack/Fiber Interaction and Crack Growth Resistance Behavior in Microfiber Reinforced Mortar Specimens. *Materials and Structures*, 40(13): 679-691.

- Oucho, M. N., Osterberg, S., Hallberg, T., Lwin, S. E., Myint, M., 2003.** Applications of Self-Compacting Concrete in Japan, Europe and the United States. Kochi University of Technology, Kochi, Japan, 143 pp.
- RILEM, D.R., 1985.** 50-FMC Committee Fracture Mechanics of Concrete, Determination of the fracture energy of mortar and concrete by means of three-point bending tests on notched beams. *Materials and Structures*, 85(85): 285-290.
- Sertbaş, B., 2006.** Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Polipropilen Lif Kullanımının İşlenebilirliğe Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Su, N., Hsu, K-C., Chai, H-W., 2001.** A Simple Mix Design Method for Self-Compacting Concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(7): 69-76
- Subasi, S. Ve Emiroğlu, E., 2008.** Lif Kullanılan Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda İşlenebilirlik ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki Analizi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3):527-539.
- Şahmaran, M., Yurtseven, A., Yaman, Ö., 2005.** Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete. *Building and Environment*, 40(5) 1672 –1677.
- Şahmaran, M., Christianto, H.A., Yaman, İ.Ö., 2006.** The effect of chemical admixtures and mineral additives on the properties of selfcompacting mortars. *Cement&Concrete Composites*, 28,(8): 432–440.
- Şimşek, O., 2004.** Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayıncılık, 1. Baskı, Ankara, 247s.
- Şimşek, O., 2009.** Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayıncılık, 3. Baskı, Ankara, 359s.
- The Concrete Society, BRE. 2005.** Wider Application of Additions in self-compacting concrete: a review. Ed.: Day RTU, Holton IX, Camberley, UK, Concrete Society, pp: 62.
- Torrijos, M., C., Barragan, B., E., and Zerbino, R., L., 2007.** Physical–mechanical properties, and mesostructure of plain and fibre reinforced self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 22(8): 1780-1788.
- TS 10513, 1992.** Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan, *TSE*, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2003.** Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, *TSE*, Ankara.
- TS EN 12390-5, 2010.** Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, *TSE*, Ankara.
- TS EN 12390-8, 2010.** Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 8: Basınç Altında Su

İşleme Derinliğinin Tayini Deney Sonuçları ve İrdelenmesi, *TSE*, Ankara

**Walraven, J., 2003.** Structural aspects of Self Compacting concrete. In Proceedings of the 3 rd international RILEM Symposium on SCC pp: 15-22.

**Xie, Y., Li, Y., and Long, G., 2005.** Influence of Aggregate on Properties of Self-Consolidating Concrete: First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-consolidating Concrete, Ed.: Klin, J., China, pp: 161-171.

**Yardımcı, M., Y., 2008.** Çelik Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik, Mekanik, Kırılma Parametrelerinin Araştırılması ve Optimum Tasarımı, *Doktora Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

**Yazıcı, H., 2012.** The Effect of Steel Micro-Fibers on ASR Expansion and Mechanical Properties of Mortars, *Construction and Building Materials*, 30(8): 607-615.

**Yoo, D.Y., Shin, H.O., Yang, J.M., Yoon, Y.S., 2014.** Material and Bond Properties of Ultra High-Performance Fiber Reinforced Concrete with Micro Steel Fibers: Composites: Part B, Ed.: Elsevier, Amsterdam, pp: 122-133.

**Yu, R., Spiesz, P., Brouwers, H.J.H., 2015.** Development of Ultra-High Performance Fibre Reinforced Concrete (UHPFRC): Towards an Efficient Utilization of Binders and Fibres, *Construction and Building Materials*, 9(12) 273-282.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Hassane Amidou OUEDRAOGO  
Doğum Yeri ve Tarihi : BURKİNA FASO – 19/03/1992  
Yabancı Dili : Fransızca, İngilizce, Türkçe

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bogodogo Devlet Lisesi (2010)  
Genel Eğitim

Lisans : Afrika Mimarlık ve Şehircilik Meslek Okulu (2013)  
Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans : Afrika Mimarlık ve Şehircilik Meslek Okulu (2015)  
Mimarlık Bölümü

Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi (2018)  
Fen Bilimleri Enstitüsü / Mühendislik Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü

İletişim (e-posta) : hassanoued@gmail.com

Yayımlar :

**Mardani-Aghabaglou, A., Özen, S., Bayqra, S.H., Ouedraogo, H.A. 2018.** Farklı puzolanların tekli, ikili ve üçlü çimentolu sistemleri içeren harç karışımlarının dayanımı ve geçirgenlik performansı açısından kıyaslanması. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 20 (1): 612-625

**Mardani-Aghabaglou, A., Bayqra, S.H., Ouedraogo, H.A., Özen, S., Yılmaz, G. 2018.** Assesment of effect of specimen size on compressive and splitting tensile strength of concrete mixture. European Conference On Science, Art And Culture, 19-20 April, Antalya, Turkey.