

**ÇELİK LİFLİ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON
İLE ÜRETİLEN KİRİŞLERİN EĞİLME VE KESME
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Bashir Ahmad MAYAR



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇELİK LİFLİ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON İLE ÜRETİLEN
KİRİŞLERİN EĞİLME VE KESME DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Bashir Ahmad MAYAR
0000-0001-6726-5618

Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2020
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Bashir Ahmad MAYAR tarafından hazırlanan “ÇELİK LİFLİ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON İLE ÜRETİLEN KİRİŞLERİN EĞİLME VE KESME DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” 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. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU

Başkan: Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU
0000-0001-7248-3409
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Doç. Dr. Hakan T. TÜRKER
0000-0001-5820-0257
Bursa Uludağ Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Altuğ YAVAŞ
0000-0002-2619-8671
Balıkesir Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hüseyin Aksel EREN
Enstitü Müdürü

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

- 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 yararlanılması 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.

10/09/2020

Bashir Ahmad MAYAR

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÇELİK LİFLİ KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON İLE ÜRETİLEN KİRİŞLERİN EĞİLME VE KESME DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Bashir Ahmad MAYAR

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU

Daha az işçilik ve daha kısa sürede imalat kolaylığı sayesinde Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB), yapıları daha ekonomik yapma imkânı sunmaktadır. Bu sebeple, KYB'nin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Yapılara etki eden yüklere karşı kirişlerde oluşabilecek kırılma mekanizması yapı davranışı bakımından oldukça önemlidir. Bu sebeple, kiriş elemanların çeşitli yükler altında test edilmesi gerekmektedir. Betonarme kirişlerin eğilme ve kesme davranışının belirlenebilmesi amacıyla birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Fakat çelik lifli KYB ile üretilmiş betonarme kirişler ile ilgili yeterince deneysel çalışma yapılmamıştır. Yapılan çalışmalarda da genellikle kirişlere donatı konulmamıştır.

Bu sebeple yapılmış olan bu çalışma kapsamında, çelik lifli KYB ile üretilen betonarme kirişlerin eğilme ve kesme davranışları incelenmiştir. Bu amaçla hem lifsiz hem de lifli KYB üretilerek farklı a/d oranlarına sahip betonarme kirişler üretilmiştir. Lifli karışımlarda toplam beton hacminin %0,6'sı kadar 40 narinlik oranına sahip iki ucu kancalı çelik lif kullanılmıştır. Tüm karışımlarda beton sınıfı, s/ç oranı ve çimento dozajı sabit tutulmuştur. Betonun amaç dayanımı belirlenmesi için hem lifsiz hem de lifli karışımdan 10x10x10 cm boyutunda 15'er küp numuneler alınmıştır. Beton amaç dayanımına ulaştıktan sonra kirişlerin deneylerine başlanmıştır. Birden sekize kadar farklı a/d oranlarına sahip 8 lifsiz ve 8 lifli olmak üzere toplam 16 betonarme kiriş üretilmiştir. Üretilen bu kirişler dört noktalı eğilme düzeneğinde test edilmiştir. Eğilme ve kesme davranışlarını incelenerek kirişlerin yük-deplasman grafikleri çizilmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda görülmüştür ki kirişlerin eğilme ve kesme davranışlarında çelik lifin büyük etkisi vardır. Gevrek bir şekilde kırılarak kesmeden dolayı güç tükenmesine ulaşan lifsiz olan kirişler çelik lif ilavesi ile sünek davranış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden yerleşen beton, çelik lif, betonarme kiriş, eğilme dayanımı, kesme dayanımı

2020, xii + 123 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

INVESTIGATION OF FLEXURAL AND SHEAR BEHAVIOR OF BEAMS CONSTRUCTED USING SELF COMPACTING STEEL FIBER REINFORCED CONCRETE

Bashir Ahmad MAYAR

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

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan SAĞIROĞLU

Self-Compacting Concrete (SCC) offers the possibility to make the buildings more economical by involving less workmanship and shorter production times. For this reason, the use of SCC is increasing day by day. The fracture mechanism that can occur in beams against loads affecting the structures is very important in terms of structure behavior. For this reason, the beam elements need to be tested under various loads. Many experimental studies have been carried out to determine the flexural and shear behavior of reinforced concrete beams. However, sufficient experimental studies have not been done on reinforced concrete beams produced with steel fiber SCC. In the studies carried out, rebars were generally not placed in the beams.

For this reason, within the scope of this study, the flexural and shear behavior of reinforced concrete beams produced with steel fiber SCC was investigated. For this purpose, reinforced concrete beams with different a/d ratios are produced with both fiberless and fibrous SCC. In the fibrous mixture, twin hook steel fiber having slenderness ratio of 40 was used for the 0.6% of the total concrete volume. In all mixtures, concrete class, w/c ratio and cement dosage were kept constant. In order to determine the aim strength of the concrete, 15 cubic samples of 10x10x10 cm were taken from both fiberless and fibrous mixture. The tests of the beams were started after the concrete reached the aim strength. A total of 16 reinforced concrete beams were produced, 8 fiberless and 8 fibrous with different a/d ratios from one to eight. These produced beams are tested in a four-point bending device. The load-displacement graphs of the beams were drawn by examining the flexural and shear behavior.

As a result of the experiments, it has been seen that the steel fiber has a great effect on the flexural and shear behavior of the beams. Fiberless beams that break brittle due to shear and reach its maximum capacity have shown ductile behavior with the addition of steel fiber.

Key words: Self compacting concrete, steel fiber, reinforced concrete beam, flexural strength, shear strength

2020, xii + 123 pages.

TEŞEKKÜR

Bu tezin yürütücülüğünde ve bütün çalışma süreci içinde bizzat bulunan, çalışmalarım esnasında değerli bilgi ve yardımlarını benden esirgemeyen, bana her türlü desteği sağlayan değerli danışman hocam, sayın Dr. Öğretim Üyesi Serkan SAĞIROĞLU 'ya teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda bana yardımcı olan ve bütün imkanların sağlanmasında katkıda bulunan çok değerli hocam sayın Rektör yardımcısı Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN'e ve İnşaat Mühendisliği Bölümünün tüm değerli hocalarına ve asistanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalar esnasında beni yalnız bırakmayıp bana yardımcı olan sevgili meslektaşlarım, İnşaat Müh. Faiz Agha SHAREEF'e, İnşaat Müh. Mujeebul Rahman LATIFI'ye, İnşaat Müh. Moslim NOORI'ye, İnşaat Müh. Ajab Gul MAJIDI'ye, İnşaat Müh. Aiman TARIQ'e, İnşaat Müh. Ibrahim Abdelmonein MOHAMMED HAMED'e ve İnşaat Müh. Sultan Hosein BAYQRA'ya, katkı ve emeklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal katkıların temini için Polisan Kimya San. A.Ş'ye, çimento ve standart agrega temini için Bursa Çimento Fabrikası A.Ş'ye, çelik lif temini için Kemerli Metal San. ve Tic. A.Ş'ye, Bursa Uludağ Üniversitesi BAP birimine KUAP(MH)-2017/11 nolu proje kapsamında verdiği destekten dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

Bana inanan, akademik yaşamın zorluklarına rağmen beni her zaman teşvik eden, sadece tez çalışma aşmasında değil tüm hayatım boyunca maddi ve manevi yardımlarını benden esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Bashir Ahmad MAYAR
10/09/2020

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
2.1. KYB Tanımı.....	5
2.2. KYB Karışımının Bileşenleri.....	6
2.2.1. Çimento.....	7
2.2.2. Karışım suyu	7
2.2.3. Agrega.....	7
2.2.4. Mineral katkıları.....	8
2.2.5. Kimyasal katkıları	9
2.2.6. Lifler.....	12
2.3. KYB Karışımlarının Tasarım Yöntemi.....	15
2.4. KYB Karışımlarının Özellikleri.....	17
2.4.1. Taze hal özellikleri.....	17
2.4.2. Sertleşmiş hal özellikleri.....	18
2.5. (a/d) Oranının Kesme Davranışına Etkisi	24
2.6. Çelik Lif Takviyeli Betonarme Kirişler	25
2.7. Kaynak Özetleri	26
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	36
3.1. Amaç, Konu ve Kapsam	36
3.2. Kullanılan Malzemeler ve Karışım Oranları.....	36
3.2.1. Çimento.....	37
3.2.2. Agrega.....	38
3.2.3. Kimyasal katkı	38
3.2.4. Çelik lif	39
3.2.5. Su	40
3.2.6. KYB karışım oranlarının belirlenmesi	40
3.3. Deney Kirişlerinin Özellikleri.....	41
3.4. Deney Kirişlerinin Statik Yükler Altında Taşıma Gücü Hesap Esasları	43
3.5. Deney Kirişlerinin Üretilmesi	48
3.6. Deney Kirişlerinde Kullanılan Lifsiz ve Lifli Betonun Basınç Dayanımları.....	51
3.7. Deney Düzenegi.....	52
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	54
4.1. Lifsiz Kirişlerin Eğilme ve Kesme Davranışlarının İncelenmesi	54
4.1.1. LS-1 (a/d=1).....	54

4.1.2. LS-2 (a/d=2).....	57
4.1.3. LS-3 (a/d=3).....	59
4.1.4. LS-4 (a/d=4).....	62
4.1.5. LS-5 (a/d=5).....	64
4.1.6. LS-6 (a/d=6).....	67
4.1.7. LS-7 (a/d=7).....	70
4.1.8. LS-8 (a/d=8).....	73
4.2. Lifli Kirişlerin Eğilme ve Kesme Davranışlarının İncelenmesi.....	77
4.2.1. LL-1 (a/d=1).....	77
4.2.2. LL-2 (a/d=2).....	80
4.2.3. LL-3 (a/d=3).....	83
4.2.4. LL-4 (a/d=4).....	86
4.2.5. LL-5 (a/d=5).....	89
4.2.6. LL-6 (a/d=6).....	92
4.2.7. LL-7 (a/d=7).....	95
4.2.8. LL-8 (a/d=8).....	98
4.3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	100
4.3.1. LS-1 ve LL-1	101
4.3.2. LS-2 ve LL-2.....	102
4.3.3. LS-3 ve LL-3.....	103
4.3.4. LS-4 ve LL-4.....	104
4.3.5. LS-5 ve LL-5.....	105
4.3.6. LS-6 ve LL-6.....	106
4.3.7. LS-7 ve LL-7.....	107
4.3.8. LS-8 ve LL-8.....	108
5. SONUÇ.....	113
KAYNAKLAR	115
ÖZGEÇMİŞ	123

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A_{lig}	Çentik açıldıktan sonraki alan
A_s	Boyuna çekme donatısı alanı
A_{sb}	Dengeli donatı alanı
a	Kesme açıklığı
b	Kesit genişliği
b_w	Kiriş gövde genişliği
c_b	Dengeli durumda tarafsız eksen derinliği
D_s	Silindir numunenin çapı
d	Faydalı yükseklik
E_s	Donatı çeliğinin elastisite modülü
F	Kuvvet
F_c	Basınç bölgesindeki betona uygulanan bileşke kuvvet
F_s	Çekme bölgesindeki donatılara uygulanan bileşke kuvvet
f_c	betonun basınç dayanımı
f_{cd}	Betonun tasarım basınç dayanımı
f_{ctd}	Betonun tasarım çekme dayanımı
f_{ctk}	Betonun karakteristik çekme dayanımı
f_{ck}	Betonun karakteristik basınç dayanımı
f_{cts}	Yarma silindir çekme dayanımı
f_{net}	Eğilme dayanımı
f_y	Donatının minimum akma dayanımı
f_{yd}	Boyuna donatının tasarım akma dayanımı
f_{yk}	Boyuna donatının karakteristik akma dayanımı
G_f	Kırılma enerjisi
g	Yer çekim ivmesi
h	Kiriş yüksekliği
k_l	Basınç bloğu derinliği
L	Kiriş boyu
L_s	İki mesnet arasındaki mesafe
M	Eğilme momenti
M_d	Tasarım momenti
$M_{u,r}$	Kirişin Taşıma gücü momenti
M_{rb}	Dengeli durumda taşıma gücü momenti
M_u	Kırılma anındaki moment
m	Kirişlerin mesnetleri arasında kalan kısmi ağırlığı
P	Uygulanan yük
P_u	Kırılma anındaki kuvvet
S	İki yük arasındaki mesafe
W_0	Yük sehim eğrisi altında kalan alan
δ_0	Kirişlerin göçme esnasındaki deformasyonu
ρ	Çekme donatısı oranı
ρ_b	Dengeli donatı oranı
ρ_{min}	Minimum donatı oranı

ρ_{maks}	Maksimum donatı oranı
ϵ_{cu}	Betonun ezilme birim şekil değıştirmesi
ϵ_{sy}	Donatı çeliğinin akmaya başladığı andaki birim şekil değıştirmesi
\emptyset	Donatı oranı
C50	28 gün suda bekletilmiş silindir basınç dayanımı 50 MPa olan beton
S420	Donatı akma dayanımı 420 MPa olan donatı

Kısaltmalar Açıklama

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing Materials
BHA	Birim Hacim Ağırlığı
BIBM	European Federation for Precast Concrete
CEMBUREAU	European Cement Association
ÇAAD	Çatlak Ağız Açılma Deplasmanı
EFCA	European Federation of Concrete Admixtures Associations
ENFARC	European Federation of National Associations Representing for Concrete
ERMCO	European Ready Mixed Concrete Organization
GB	Geleneksel Beton
KK	Kimyasal Katkı
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
KYHB	Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton
LL	Lifli
LS	Lifsiz
LVDT	Linear Variable Differential Transformer
SA	Süperakışkanlaştırıcı
S/Ç	Su/Çimento oranı
TBDY 2018	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TS 500	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
TS EN	Türkiye standartları, EN: Avrupa Normu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
W/C	Water/Cement

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Kendiliğinden yerleşen beton uygulaması	5
Şekil 2.2. Normal beton ile KYB'nun karşılaştırılması	6
Şekil 2.3. Elektrostatik ve fiziksel itki modelleri	11
Şekil 2.4. Çelik liflerin tipleri ve şekilleri	12
Şekil 2.5. TS 10513'a (1992) göre çelik liflerin sınıflandırılması	13
Şekil 2.6. KYHB'ların yayılma çapı üzerine lif tipi ve miktarının etkisi	14
Şekil 2.7. Lifli betonun yük deformasyon eğrisi	15
Şekil 2.8. Çekme dayanımının merkezi çekme deneyi ile belirlenmesi	
Şekil 2.9. Silindir yarma deneyi ve gerilme dağılımları	20
Şekil 2.10. Üç noktalı ve dört noktalı eğilme deneylerinin düzeneği	22
Şekil 2.11. Yük-sehim eğrisinin şematik gösterimi	23
Şekil 2.12. (a/d) Oranına bağlı göçme modları ve betonarme kirişlerin kesme ve moment taşıma kapasitesi diyagramı	24
Şekil 2.13. Kirişte oluşan eşgerilme eğrileri	25
Şekil 2.14. Lif geometrisinin yük-sehim eğrisine etkisi	28
Şekil 3.1. Kullanılan iki ucu kancalı çelik lifin görünümü	39
Şekil 3.2. Kirişlerin geometrik özellikleri ve kalıpların içinde donatıların yerleştirilmesi	
Şekil 3.3. Dört noktalı eğilme altındaki kirişin şematik çizimi	43
Şekil 3.4. Denge donatı oranının bulunması	45
Şekil 3.5. a) Hazırlanmış olan kalıplar ve donatılar, b) Donatıların kalıpların içerisinde yerleşimi	48
Şekil 3.6. Pan tipi beton mikseri	49
Şekil 3.7. Döküm sonrası deney kirişler	50
Şekil 3.8. Kür havuzunda kürlenen kirişler	50
Şekil 3.9. Kür havuzundan çıkarılan kirişlerin boyanması	51
Şekil 3.10. Beton test presi ve test edilmiş küp numuneler	51
Şekil 3.11. Kiriş eğilme deney düzeneği	53
Şekil 4.1. LS-1 kirişinin test öncesi görüntüsü	54
Şekil 4.2. LS-1 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	55
Şekil 4.3. LS-1 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	55
Şekil 4.4. LS-1 kirişinin deney sonundaki durumu	55
Şekil 4.5. LS-1 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	56
Şekil 4.6. LS-1 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	56
Şekil 4.7. LS-2 kirişinin test öncesi görüntüsü	57
Şekil 4.8. LS-2 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	57
Şekil 4.9. LS-2 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	58
Şekil 4.10. LS-2 kirişinin deney sonundaki durumu	58
Şekil 4.11. LS-2 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	58
Şekil 4.12. LS-2 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	59
Şekil 4.13. LS-3 kirişinin test öncesi görüntüsü	59
Şekil 4.14. LS-3 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	60
Şekil 4.15. LS-3 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	60
Şekil 4.16. LS-3 kirişinin deney sonundaki durumu	60
Şekil 4.17. LS-3 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	61
Şekil 4.18. LS-3 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	61
Şekil 4.19. LS-4 kirişinin test öncesi görüntüsü	62

Şekil 4.20. LS-4 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	62
Şekil 4.21. LS-4 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	63
Şekil 4.22. LS-4 kirişinin deney sonundaki durumu	63
Şekil 4.23. LS-4 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	63
Şekil 4.24. LS-4 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	64
Şekil 4.25. LS-5 kirişinin test öncesi görüntüsü	64
Şekil 4.26. LS-5 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	65
Şekil.4.27. LS-5 kirişinin akma anındaki durumu	65
Şekil 4.28. LS-5 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	65
Şekil 4.29. LS-5 kirişinin deney sonundaki durumu	66
Şekil 4.30. LS-5 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	66
Şekil 4.31. LS-5 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	67
Şekil 4.32. LS-6 kirişinin test öncesi görüntüsü	67
Şekil 4.33. LS-6 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	68
Şekil.4.34. LS-6 kirişinin akma anındaki durumu	68
Şekil 4.35. LS-6 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	68
Şekil 4.36. LS-6 kirişinin deney sonundaki durumu	69
Şekil 4.37. LS-6 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	69
Şekil 4.38. LS-6 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	70
Şekil 4.39. LS-7 kirişinin test öncesi görüntüsü	70
Şekil 4.40. LS-7 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	71
Şekil.4.41. LS-7 kirişinin akma anındaki durumu	71
Şekil 4.42. LS-7 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	71
Şekil 4.43. LS-7 kirişinin deney sonundaki durumu	72
Şekil 4.44. LS-7 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	72
Şekil 4.45. LS-7 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	73
Şekil 4.46. LS-8 kirişinin test öncesi görüntüsü	73
Şekil 4.47. LS-8 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	74
Şekil.4.48. LS-8 kirişinin akma anındaki durumu	74
Şekil 4.49. LS-8 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	74
Şekil 4.50. LS-8 kirişinin deney sonundaki durumu	75
Şekil 4.51. LS-8 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	75
Şekil 4.52. LS-8 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	76
Şekil 4.53. LL-1 kirişinin test öncesi görüntüsü	77
Şekil 4.54. LL-1 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	77
Şekil 4.55. LL-1 kirişinin akma anındaki durumu	78
Şekil 4.56. LL-1 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	78
Şekil 4.57. LL-1 kirişinin deney sonundaki durumu	78
Şekil 4.58. LL-1 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	79
Şekil 4.59. LL-1 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	79
Şekil 4.60. LL-2 kirişinin test öncesi görüntüsü	80
Şekil 4.61. LL-2 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	80
Şekil 4.62. LL-2 kirişinin akma anındaki durumu	81
Şekil 4.63. LL-2 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	81
Şekil 4.64. LL-2 kirişinin deney sonundaki durumu	81
Şekil 4.65. LL-2 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	82
Şekil 4.66. LL-2 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	82
Şekil 4.67. LL-3 kirişinin test öncesi görüntüsü	83

Şekil 4.68. LL-3 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	83
Şekil 4.69. LL-3 kirişinin akma anındaki durumu	84
Şekil 4.70. LL-3 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	84
Şekil 4.71. LL-3 kirişinin deney sonundaki durumu	84
Şekil 4.72. LL-3 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	85
Şekil 4.73. LL-3 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	85
Şekil 4.74. LL-4 kirişinin test öncesi görüntüsü	86
Şekil 4.75. LL-4 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	86
Şekil 4.76. LL-4 kirişinin akma anındaki durumu	87
Şekil 4.77. LL-4 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	87
Şekil 4.78. LL-4 kirişinin deney sonundaki durumu	87
Şekil 4.79. LL-4 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	88
Şekil 4.80. LL-4 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	88
Şekil 4.81. LL-5 kirişinin test öncesi görüntüsü	89
Şekil 4.82. LL-5 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	89
Şekil 4.83. LL-5 kirişinin akma anındaki durumu	90
Şekil 4.84. LL-5 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	90
Şekil 4.85. LL-5 kirişinin deney sonundaki durumu	90
Şekil 4.86. LL-5 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	91
Şekil 4.87. LL-5 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	91
Şekil 4.88. LL-6 kirişinin test öncesi görüntüsü	92
Şekil 4.89. LL-6 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	92
Şekil 4.90. LL-6 kirişinin akma anındaki durumu	93
Şekil 4.91. LL-6 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	93
Şekil 4.92. LL-6 kirişinin deney sonundaki durumu	93
Şekil 4.93. LL-6 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	94
Şekil 4.94. LL-6 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	94
Şekil 4.95. LL-7 kirişinin test öncesi görüntüsü	95
Şekil 4.96. LL-7 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	95
Şekil 4.97. LL-7 kirişinin akma anındaki durumu	96
Şekil 4.98. LL-7 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	96
Şekil 4.99. LL-7 kirişinin deney sonundaki durumu	96
Şekil 4.100. LL-7 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	97
Şekil 4.101. LL-7 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	97
Şekil 4.102. LL-8 kirişinin test öncesi görüntüsü	98
Şekil 4.103. LL-8 kirişinde oluşan ilk çatlaklar	98
Şekil 4.104. LL-8 kirişinin akma anındaki durumu	99
Şekil 4.105. LL-8 kirişinin maksimum yük altındaki durumu	99
Şekil 4.106. LL-8 kirişinin deney sonundaki durumu	99
Şekil 4.107. LL-8 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	100
Şekil 4.108. LL-8 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi	100
Şekil 4.109. LS-1 ve LL-1 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	101
Şekil 4.110. LS-1 ve LL-1 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	101
Şekil 4.111. LS-2 ve LL-2 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	102

Şekil 4.112. LS-2 ve LL-2 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	102
Şekil 4.113. LS-3 ve LL-3 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	103
Şekil 4.114. LS-3 ve LL-3 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	103
Şekil 4.115. LS-4 ve LL-4 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	104
Şekil 4.116. LS-4 ve LL-4 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	104
Şekil 4.117. LS-5 ve LL-5 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	105
Şekil 4.118. LS-5 ve LL-5 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	105
Şekil 4.119. LS-6 ve LL-6 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	106
Şekil 4.120. LS-6 ve LL-6 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	106
Şekil 4.121. LS-7 ve LL-7 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	107
Şekil 4.122. LS-7 ve LL-7 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	107
Şekil 4.123. LS-8 ve LL-8 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	108
Şekil 4.124. LS-8 ve LL-8 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	108
Şekil 4.125. Tüm LS kirişlerin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	
Şekil 4.126. Tüm LS kirişlerin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	
Şekil 4.127. Tüm LL kirişlerin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	
Şekil 4.128. Tüm LL kirişlerin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	
Şekil 4.129. Tüm LS ve LL kirişlerin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	111
Şekil 4.130. Tüm LS ve LL kirişlerin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri	111

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Su ile reaksiyon kapasitelerine göre mineral katkıların sınıflandırılması.....	9
Çizelge 2.2. KYB'nun tasarım yöntemine göre tavsiye edilen malzeme miktarları.....	16
Çizelge 2.3. KYB'nun işlenebilirliğini belirleyen deney metodları	18
Çizelge 2.4. KYB karışımının miktarları	27
Çizelge 2.5. 1m ³ KYB üretiminde kullanılan malzemeler.....	29
Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal özellikleri	37
Çizelge 3.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	38
Çizelge 3.3. Kimyasal katkıya ait özellikler	39
Çizelge 3.4. Çelik liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri	39
Çizelge 3.5. 1m ³ KYB karışımı için malzeme miktarları.....	40
Çizelge 3.6. Deney kirişlerinin geometrik özellikleri	41
Çizelge 3.7. Deney kirişlerine ait teorik kırılma yükleri.....	47
Çizelge 3.8. Lifsiz ve lifli karışımlardan üretilen küp numunelerin ortalama basınç dayanımları.....	52
Çizelge 3.9. Küp dayanımlarının silindire çevrilmiş hali	52
Çizelge 4.1. Tüm kirişlerin eğilme testlerinden elde edilen sonuçlar	112

1. GİRİŞ

Yapı malzemesi olarak, beton dünyada en çok kullanılan malzemelerden biridir. Beton; çimento, agrega, su ve gerekirse mineral ve kimyasal katkıların karıştırılmasıyla elde edilen homojen olmayan gevrek bir malzemedir (Kiremitçi 2008). Beton; köprüler, barajlar, kanallar, metro binaları, havaalanı binaları, su yapıları, konutlar ve ofis binaları gibi çeşitli bina türlerinin taşıyıcı ve taşıyıcı olmayan elemanların inşasında en çok kullanılan malzemelerden biridir. Beton, yüksek basınç dayanımı ile birlikte, ses yalıtımı, su geçirmezliği, dış etkilere karşı dayanıklılığı ve en önemli özelliği olan yangına karşı dayanıklılığı bakımından da tercih edilen yapı malzemesidir (Akkurt ve ark. 2006, Kharita ve ark. 2008).

Beton düşük maliyeti, kolay işlenebilirliği ve kolay bulunabilmesi ile günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Yapılan çalışmalarla betonun basınç dayanımı, gün geçtikçe artan ve bu özelliğinden fazlasıyla faydalanılan bir malzemedir. Bununla birlikte, betonun artan basınç dayanımı onun bazı mekanik kusurlarını kapatamamaktadır. Betonun çekme dayanımının hep düşük seviyede kalmasının nedeni, yüksek mukavemetin yanında boşluk oranının en alt seviyeye indirilmesiyle basınç dayanım ve durabilitesinin artmasıdır. Bununla birlikte, betonun zamanla basınç dayanımının artması onu gevrek bir malzeme haline getirmektedir (Sarı 2013). Bilindiği üzere, beton gibi malzemelerde göçme hep sünek bir şekilde istenilmektedir, fakat beton çelik gibi homojen bir malzeme olmadığı için hep gevrek bir şekilde göçer (Şener ve Şener 2017).

Beton karışımlarının, sıkıştırma işlemleri bazı nedenlerden dolayı uygulamada tam olarak veya istediğimiz şekilde gerçekleşmeyebilir. Böyle bir durumda, betonun durabilite ve dayanım performansı olumsuz bir şekilde etkilenebilir. Bilindiği üzere, iyice sıkıştırılmış ve yerleştirilmiş bir betonun kalitesi, düzgün bir şekilde sıkıştırılmayan ve yerleştirilmeyen betonun kalitesinden daha büyük olmaktadır. Betonun sıkıştırılması ve boşlukların kapatılması, zor çevre koşullarında da olsa genellikle vibratör kullanımıyla yapılmaktadır. Ancak, bazı durumlarda vibratör kullanımı zor olabilmekte ve dökülen betonun bir kısmı sıkıştırılamayabilir. Böyle bir durumda, betonun kolay bir şekilde yerleştirilebilir ve akıcı bir şekilde olması her zaman tercih edilmektedir. Beton

karışımlarını daha akıcı bir duruma getirmek, sıkıştırma enerjisi uygulanmadan da mümkün olabilmektedir. Talep edilen bu özellikler, beton karışımının taze durumunda su ilave edilmesi veya büyük oranda çimento hamurunun miktarını artırması ile beton karışımlarına kazandırılabilir. Ancak, işlenebilirliğini artırmak için karışımlara eklenen su, sertleşmiş halde dayanım kaybına ve taze halde karışımlarda ciddi segregasyon sorunlarına neden olmaktadır (EN 206-1 2000). Beton maliyetinin yükselmesine asıl neden olan çimento hamuru miktarının artmasıdır (Ouedraogo 2018). Bu da inşaat mühendisliğinde istenmeyen bir durumdur. Bir inşaat mühendisi; emniyet, ekonomi ve estetik gibi parametrelere uymak zorundadır.

Bilindiği gibi, beton teknolojisi gün geçtikçe gelişmektedir. Gelişen bu beton teknoloji sayesinde, Geleneksel Beton (GB) uygulamasında karşılaştığımız bu tip sorunları çözmek için yerleştirme ve sıkıştırma enerjisine gerek kalmadan, kendi ağırlığı altında homojen bir şekilde kalıba yerleşen ve yüksek bir akıcılığa sahip Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) ortaya çıkmıştır (Ouedraogo 2018). İlk olarak KYB Japonya’da uygulanmıştır. KYB’nun ilk kavramı 1980’lerin sonrasında, Tokyo Üniversitesi’nde Okamura tarafından yapılan çalışmalar sonucunda önerilmiştir (Okamura ve Ouchi 1999). Japonya’da 1990’ların başında, vibratör kullanılmadan tam bir şekilde sıkıştırılan beton karışımı elde etmesi için KYB geliştirilmiştir. Japonya’da geliştirilen bu KYB’nun faydasını ve önemini aynı zamanda Avrupa’nın çoğu ülkesinde de görmüşlerdir. 1989 yılında; Asya, Avrupa ve Avusturalya’daki firmaları ve ortak elamanları içeren Avrupa Beton Birliğini Temsil Eden Ulusal Dernekler Federasyonu (EFNARC) kurulmuştur. KYB kullanımını hızla büyümesi ve gelişmesi, bu tarihten itibaren başlamıştır. 2000 yılında, KYB hazır beton ve prefabrik yapılar için önem kazanmıştır (Ouchi ve ark. 2003). KYB’nun gelişmesiyle Avrupa Federasyonu’nun tüm elemanları uygulama tecrübelerini kullanarak 2001 yılında yüksek kaliteli KYB’nun tasarımı ve kullanımı için (EFNARC) şartname ve yönergeleri hazırlamışlardır (Walraven 2003). 2005 yılında, Avrupa Çimento Birliği (CEMBUREU), Uluslararası Prefabrik Beton Üreticiler Birliği (BİMB), Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO), Özel Yapı Kimyasalları ve Beton Sistemleri Avrupa Federasyonu (EFNARC) ve Avrupa Beton Katkı Üreticileri Federasyonu (EFCA) birleşerek KYB için ortak Avrupa yönergelerini hazırlamışlardır (Duyar 2006). Ülkelerin çoğunda KYB, yaygın olarak yapıların ve yapısal taşıyıcı sistemlerinin oluşturulmasında

kullanılmıştır. KYB ile toplam üretim maliyet önemli ölçüde azaltılabilmekte ve inşaat verimliliği artırılabilir. KYB'nun GB ile kıyaslandığında bazı avantajları vardır. Vibratöre gerek kalmadan sıkıştırılmasının tam ve düzgün yapılması, yerleştirilmesinin daha hızlı ve kolay olması, dayanıklılığı daha yüksek karışımların üretilmesi, daha düzenli ve pürüzsüz yüzeylerin elde edilebilmesi, daha hızlı inşaat yapım süresi gibi üstünlüklerden örnek verilebilir (Ouedraogo 2018).

KYB da GB karışımı gibi bağlayıcı madde, su, iri agrega, ince agrega, mineral ve kimyasal katkılardan oluşmaktadır. KYB karışımının taze hal performansını iyileştirmesi için, daha yüksek miktarda ince agrega kullanılmaktadır. Böylelikle, KYB'nun dayanım ve işlenebilirlik özellikleri GB'dan daha yüksek olmaktadır. Bilindiği üzere, çimentoya sahip olan malzemeler çok düşük çekme mukavemeti ve gerilme deformasyon kapasitesine sahiptir. Betonun bu zayıf yönlerini iyileştirmek için karışıma çelik, cam, polipropilen ve plastik gibi malzemelerden üretilen lif malzemeleri eklenebilmektedir (Şimşek 2009). Günümüzde lifler farklı çeşit, farklı boyut ve farklı oranlarda beton üretiminde kullanılmaktadır. Beton karışımına çelik lif ilave edildiğinde, beton karışımının çekme, eğilme, basınç ve darbe dayanımlarını, enerji yutma kapasitesini, sünekliğini ve çatlak gelişim karakteristiklerini iyileştirebilirler. Bu özelliklerinden dolayı da çelik lifle üretilen betonların kullanım alanı giderek artmaktadır (Ulusoy 2015). Fakat, lifli betonların da bazı sakıncalı tarafları vardır. Lif kullanımı ile beton karışımının taze hal ve işlenebilirliği olumsuz biçimde etkilenmektedir. Taze betonun işlenebilirliği, kullanılan liflerin uzunluğu, miktarı ve şekli ile değişmektedir. Öte yandan, sertleşmiş halde lifli betonların mekanik performansları ve durabilite, kalıba boşluksuz bir şekilde yerleştirilebilmesine ve büyük ölçüde karışımın işlenebilirliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Khayat ve Roussel 2000).

KYB karışımlarında farklı tiplerde liflerin kullanılabilmesi farklı araştırmacılar tarafından gösterilmiştir. KYB'da kullanılan lifler KYB'nun mekanik özelliklerini değiştirmektedir. Genellikle lifsiz KYB'ye lif eklenmesi yayılma çapını düşürmekte, dar engeller arasında geçiş kabiliyetini olumsuz etkilemekte ve taze betonun akışını yavaşlatmaktadır. Kullanılan lif tipi, miktarı, geometrisi, KYB karışımının tasarım özellikleri ve yüzey özellikleri gibi parametreler lifli KYB'nun işlenebilirliğini önemli

düzeyde etkileyen parametrelerin başında gelmektedir. Liflerin varlığının KYB'nun mekanik özelliklerini önemli düzeyde etkilediği neredeyse her araştırmada görülmektedir (Öz 2014).

Bu çalışmada hem lifli hem de lifsiz KYB üretilerek, farklı a/d oranlarına sahip betonarme kirişlerin eğilme ve kesme davranışları deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, lifsiz kontrol amaçlı karışıma ilaveten toplam beton hacminin %0,6'sı kadar 40 narinlik (boy/çap) oranına sahip iki ucu kancalı çelik lif eklenerek lifli KYB karışımı hazırlanmıştır. Sertleşmiş hal özelliklerini araştırmak için, TS EN 12390-3 ve TS EN 12390-6 standartlarına uygun şekilde hem lifsiz hem lifli 10x10x10 cm boyutunda küp numuneler üretilerek basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Eğilme ve kesme davranışlarını incelemek için 10x10 cm kesit boyutuna ve 8 farklı a/d oranına (1,2,3,4,5,6,7,8) sahip olacak şekilde farklı uzunluklarda, 8 lifli ve 8 lifsiz olmak üzere toplam 16 betonarme kiriş üretilmiştir. Üretilen betonarme kirişler dört noktalı eğilme test cihazı altında test edilip eğilme ve kesme davranışları incelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde KYB'nun tanımı, bileşenleri, özellikleri, kullanım alanları ve bu betonla üretilen kirişlerin eğilme ve kesme davranışları ile ilgili literatür taraması yapılmıştır.

2.1. KYB Tanımı

KYB vibratöre gerek duymadan önemli ölçüde akışkanlık özelliği ve kendi ağırlığı altında hareket ederek yerleşebilen, aynı zamanda bu yüksek akışkan kıvamına rağmen segregasyona uğramayan bir beton türüdür (Felekoğlu ve ark. 2004). Süper işlenebilir beton olarak da bilinir. KYB'nun daha geniş ve açıklayıcı bir tanımı olarak, herhangi bir sıkıştırma işlemine gerek duymadan kendi ağırlığı ile derin ve sık donatılı kesitlere yerleşebilen ve sıkışabilen, aynı zamanda terleme ve ayrışma gibi sorunlar yaratmadan stabilitesini koruyabilen çok akıcı bir beton türüdür denilebilir (Su ve ark. 2001).

KYB'da inşaat süresi hızlı olup daha az insan gücüne ihtiyaç duyulur. Kalıplara hızlı bir şekilde yerleştirilebilmesinin nedeni betonun donatılar arasında kolay akıcılığıdır (Şekil 2.1.). KYB'nun akıcılığı, üniform dayanımı, daha az beton boşluğu ve yüksek homojenliğini, yapılara süper durabilite potansiyelini sağlamayı garanti eder. KYB daha erken dayanım, daha erken kalıp sökme, daha fazla dayanıklılık ve daha hızlı kullanım potansiyeli sağladığı için genellikle yapı elemanları düşük s/ç oranı ile üretilebilir (Okamura ve Ouchi 2003).

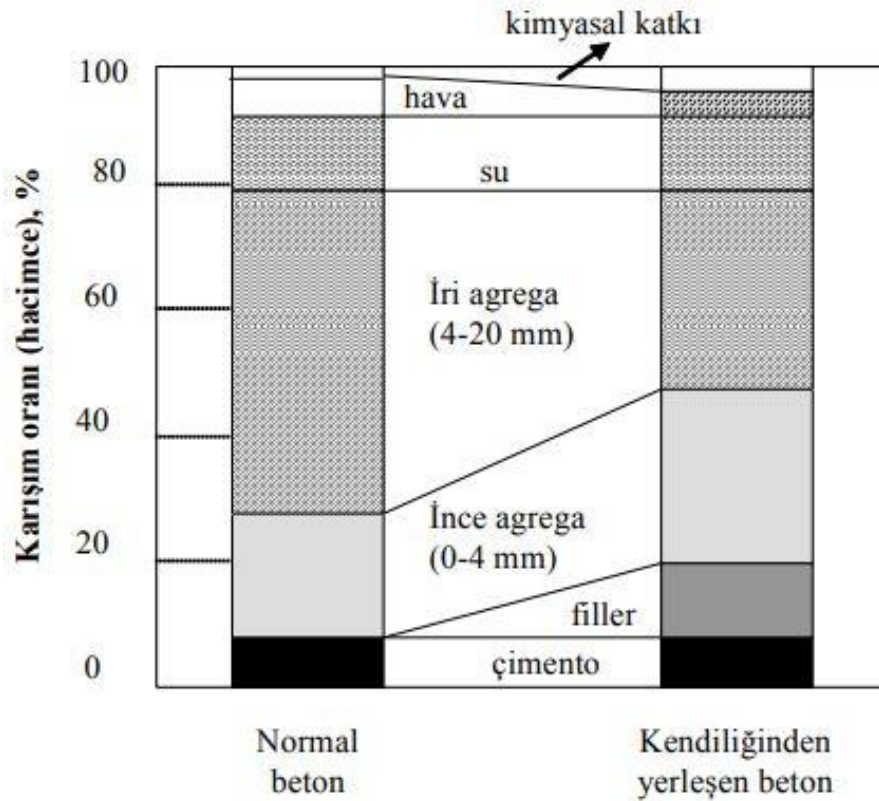


Şekil 2.1. Kendiliğinden yerleşen beton uygulaması

2.2. KYB Karışımının Bileşenleri

Kendiliğinden yerleşebilirlik olayı betonun her bileşenini farklı şekilde etkiler. Bu etki bileşenin cinsine, kullanım oranına, teknik özellikleri ve yöntemine bağlıdır. Bu nedenle bileşenlerin seçiminde gerek ekonomik gerek teknik açıdan doğru seçim yapmanın yolu, malzemeleri iyi bir şekilde tanımaktır (Saf 2015).

KYB üretiminde GB’da kullanıldığı gibi, çimento, agrega, su, lifler ve kimyasal katkıları kullanılabilir. Fakat KYB karışımının içerisindeki bazı parametreler bakımından GB’dan farklılıklar gösterebilir. Bunlardan; en büyük agrega çapı, toplam ince ve iri agrega miktarı, viskozite artırıcı ve süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı tipleri, su/bağlayıcı oranı gibi parametreler sayılabilir. Şekil 2.2’de 1m³ GB ve tipik bir KYB karışımlarının üretimi için gerekli malzemelerin hacimce kullanım oranı gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kimyasal katkı, ince agrega ve bağlayıcı kullanım oranı normal betona göre KYB karışımlarında daha fazla olmaktadır.



Şekil 2.2. Normal beton ile KYB’nun karşılaştırılması (Felekoğlu 2003)

2.2.1. Çimento

GB’da kullanılan çimento KYB’da da kullanılmaktadır. Literatürde KYB ile ilgili çimentonun CEM I 42,5 olan tipinin kullanımı öngörülmektedir (Sağlam ve ark. 2004, Özkul 2002). Çimento, kalker ve kilin belirli oranlarda karıştırılarak 1400-1500 °C sıcaklıkta döner fırınlarda pişirilip priz süresini ayarlaması için yaklaşık %3-5 alçıtaşı eklenerek öğütölmek suretiyle elde edilir. Su ile karıştırıldığında hem suda hem havada katılaşılan hidrolük ve inorganik bağlayıcıdır. Çimento dozajının genel olarak 350-450 kg/m³ arasında olması önerilmektedir. Çimento dozajının 500 ve daha fazla olması durumunda betonun kuruma büzölmesini ve malzemelerin maliyetini arttırmaktadır. Bu nedenle kuruma büzölmeden dolayı çatlakların oluşumu artacaktır (EFNARC 2002). Çimento dozajının 350’den daha az olması halinde ise betonun kendiliğinden yerleşebilirliği için lazım olan ince madde miktarı azalarak aynı zamanda beton içerisindeki bağlayıcı miktarının azalmasıyla da betonun dayanıklılığı ve dayanımı azalacaktır.

2.2.2. Karışım suyu

Suyun KYB karışımlarındaki görevi, işlenebilirliği sağlayarak hidrasyon işlemini (su ve çimento arasındaki kimyasal reaksiyonları) başlatıp sürdürmektedir. KYB üretiminde, temiz, içilebilir, kokusuz ve berrak sular rahatlıkla kullanılabilir. Diğer bir deyişle, beton üretimi için şehir şebeke suları istenilen nitelikteki sulardır. KYB’da kullanılan su genel olarak TS EN 1008’e uygun olmalıdır.

2.2.3. Agregası

Agregası beton hacmini en çok kaplayan malzemelerden ve beton özelliklerini etkileyen bileşenlerinden biridir. Dolayısıyla, betonun dayanımını ve dayanıklılığını olumlu yönde etkilemesi için beton karışımında uygun agregası kullanılmalıdır (Xie ve ark. 2005). Agregası tipi, kum ve çakıl oranı, en büyük tane çapı ve granülometri gibi parametreleri GB’da olduğu gibi KYB’nun da taze ve sertleşmiş özelliklerini etkilemektedir. KYB karışımlarında kullanılan agregalar TS EN 206-1 ve TS EN 12620’nin durabilite

koşullarına uygun olmalıdır. Tüm agregaların silt-kil malzeme içeriği, su emme kapasitesi, nemi, çeşitliliği ve boyutu devamlı olarak gözlemlenmelidir. KYB karışımlarında agreganın tane büyüklüğü dağılımı ve şekli çok önemlidir. KYB karışımlarının hava içeriği de bu durumdan etkilenmektedir. Bilindiği üzere, betonda kullanılan agregaya, boyut açısından ince ve iri agregaya olarak ikiye ayrılmaktadır.

i. İnce agregaya

Bilindiği üzere, taze beton üzerindeki ince agreganın etkisi iri agregaya göre önemli farkla daha fazla olmaktadır. EFNARC'a (2005) göre 0,125 mm'den küçük boyutlardaki parçacıklar çimento hamuruna dahil edilmeli ve bu parçacıklar su/toz oranını belirlenirken hesaba alınmalıdır. EFNARC'taki (2005) su/toz oranı 0,85-1,10 aralığında dikkate alınarak karışımlardaki toz miktarı belirlenebilir.

ii. İri agregaya

KYB karışımlarının işlenebilirliğinde agregaya türü ve boyutu önemli rol oynamaktadır. İri agreganın şekli ve tane büyüklüğünün dağılımı, çimento hamuru gereksinimi ve betonun akış kabiliyetini direkt olarak etkilemektedir (Xie ve ark. 2005). TS EN 12620'ye uygun olan iri agregalar KYB karışımı için elverişlidir. KYB karışım üretiminde kullanılacak agreganın mineralojik kökeni uygun olmalıdır. Kıırma kireçtaşı iri agregaya olarak kullanılabilir. Agregaya boyutu olarak EFNARC (2005) tarafından en büyük agregaya boyutu 20 mm olarak öngörülmekteyse de bu konuda kesin bir rakam verilmemiştir. Fakat, kullanılan agreganın sık donatılar arasında geçebilme yeteneğini ve KYB karışımların akışkanlığını sağlamalıdır.

2.2.4. Mineral katkıları

KYB karışımlarında kohezyon ve ayrışma direnci sağlamak ve arttırmak için farklı mineral katkıları yaygın olarak kullanılır. KYB karışımlarına ilave edilen mineral katkıların termal büzülmesini ve hidrasyon ısısının azaltılması için çimento miktarını da düzenler. EFNARC'a (2005) göre KYB'da kullanılacak toz malzeme oranı 380 kg/m³ ile 600 kg/m³ arasında olmalıdır. Toz malzemenin doldurma kapasitesini artırılması için eş boyutlu, çok küçük çapa sahip öğütülmüş halde kullanılması mümkündür (EFNARC

2005). Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi, EFNARC’a (2005) göre su ile reaksiyon kapasitesi açısından mineral katkıları iki tipe ayrılmaktadır.

Çizelge 2.1. Su ile reaksiyon kapasitelerine göre mineral katkıların sınıflandırılması (EFNARC 2005)

Tip I	Puzolanik olmayan ya da yarı puzolanik	<ul style="list-style-type: none">Mineral filler (kireçtaşı, dolomit vs.)Pigmentler
Tip II	Puzolanik	<ul style="list-style-type: none">EN 450’ye uygun uçucu külEN 13263’e uygun silis dumanı
	Hidrolik	<ul style="list-style-type: none">Yüksek fırın cürufu

2.2.5. Kimyasal katkıları

Beton karışımında, KYB özelliğini gösterebilmek için iki şartın bir arada sağlanması gerekmektedir. Bunlardan birincisi yüksek işlenebilirliği sağlayabilmesi için düşük sınırdaki kayma gerilme değerine sahip olmasıdır. İkincisi ise karışımın ayrışmaya karşı daha dayanıklı olması için yüksek bir viskozite değerine sahip olması gerekmektedir. Birinci şartın su miktarını artırarak sağlanması halinde betonun kararlılığı bozulmakta, yani ayrışma eğilimi ortaya çıkmaktadır. Fakat böyle bir durum etkili kimyasal akışkanlaştırıcı (süperakışkanlaştırıcı) kullanımıyla düzeltilebilir. TS EN 934-2’ye uyumlu yüksek oranda su azaltıcı veya süperakışkanlaştırıcı katkıları KYB için önemli bileşenlerdir.

Yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı katkıların kullanımı

Kullanılan akışkanlaştırıcıların beton teknolojisindeki temel görevi karışımın s/ç oranında herhangi bir değişiklik yapmaksızın, işlenebilirliği arttırmak olduğundan düşük s/ç oranında yüksek bir işlenebilirlik sağlamak; ancak yüksek oranda su azaltıcıların (süperakışkanlaştırıcıların) katılmasıyla sağlanmaktadır. KYB’da akıcılık kazandırma etkisi normal akışkanlaştırıcı katkıların, süperakışkanlaştırıcılar ile benzer özellik

göstermekle beraber polimer moleküllerinin çimento daneleri ve kimyasal yapıları üzerinde absorbe olup parçacıkların elektrostatik yüklerini değiştirilmesi açısından farklılık göstermektedir (Doğan 2000, Akman 2000).

Kimyasal yapılarına göre süperakışkanlaştırıcılar üç farklı sınıfa ayrılırlar:

- a) Linyosülfonatlı tuzlar ve linyosülfonat türevleri
- b) Hidroksil – karboksilik asitler ve türevleri
- c) Polimerlik mazlemeler.

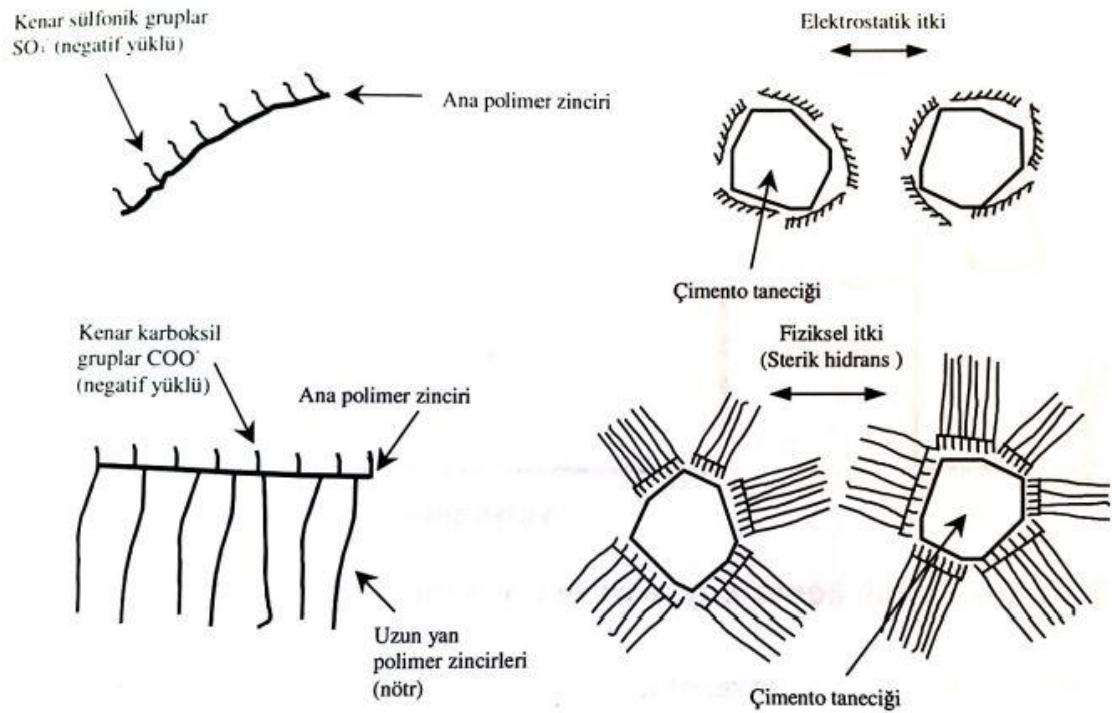
Uygun miktarda su–azaltıcı katkı maddelerinin çoğu, üstteki ilk iki sınıfta yer almaktadır. Birinci ve üçüncü sınıfta ise, yüksek miktarda su-azaltıcı katkı maddeleri yer almaktadır. Bilindiği üzere, linyosülfonat esaslı katkı maddelerinde az da olsa priz geciktirici etkisi bulunmaktadır (Erdoğan 2010).

Süperakışkanlaştırıcı katkıların etki mekanizması

Kimyasal katkı maddeleri, fizikokimyasal ya da çimento ile elektriksel fiziksel bir etkileşime girip çimentonun oranını ve hidrasyon hızını değiştirebilirler. Fakat temel etkisi fizikseldir. Çimento hamurunun hidrasyonunda yavaşlatıcı ve hızlandırıcı etki, çimento hamuru kimyasal katkıları ile kimyasal bir tepkimeye girmeden gösterebilmektedir. Araştırmacılar tarafından bu etkiler farklı mekanizmalarla açıklanmaktadır (Neville 1997). Su-çimento karışım oranında herhangi bir akışkanlaştırıcı katkı kullanılmadığı durumda, çimento tanecikleri yüzey elektrostatik özellikleri gereği topaklaşma eğilimindedir. Meydana gelen topaklaşma hem hidrasyon inkişafını olumsuz etkiler hem de kümeleşme esnasında boşluklara hapsolan su beton mukavemeti için önemli bir dezavantaj olan boşluk oranını artırır. Bir su-çimento sisteminde akışkanlaştırıcı bir kimyasal katkı, çimento danelerinin birbirinden uzaklaşmasını ve danelerin daha homojen dağılmasını sağlar. Diğer taraftan akışkanlaştırıcı katkı suyun yüzey gerilimini azaltarak çimento tanecikleri arasında suyun hareketini kolaylaştırır. Bu durum hem çimento hamurunun işlenebilirliğini hem de hidrasyon oranını artırır. Böylelikle tanecikler arasında hapsolan hava miktarı azalarak karışımda daha iyi bir sıkışma sağlanır (ASTM C125 2002).

Polikarboksilat esaslı katkılar elektrostatik itki ile beraber daha farklı durumlarda etkili olmaktadır. Hususen polimer bazlı olan katkılarda elektrostatik itkinin yanında çimento tanesinin üzerinde polimer yan zincirlerinin absorbe olarak yarattığı fiziksel itki daha baskındır. Fiziksel itki ile elektrostatik itki arasındaki farklılık Şekil 2.3'te şematik olarak verilmiştir. Fiziksel itkinin derecesi molekül ağırlığına, yan zincir yapısına, polimer zincirinin uzunluğuna ve ortam koşullarına bağlıdır. Fiziksel itki, polikarboksilat bazlı katkılarda çimento dağılımını sağlayan temel faktördür (Baradan ve ark. 2015).

Süperakışkanlaştırıcı katkıların haricinde, ayrışma ortaya çıkmadan KYB karışımlarının akışkanlığını sağlamak için hava sürükleyici veya viskozite düzenleyici katkılar da kullanılabilir. Fakat kullanmadan önce kullanılacak katkıların çimento ile uyumu araştırılmalıdır (Mardani-Aghabaglou 2016).



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

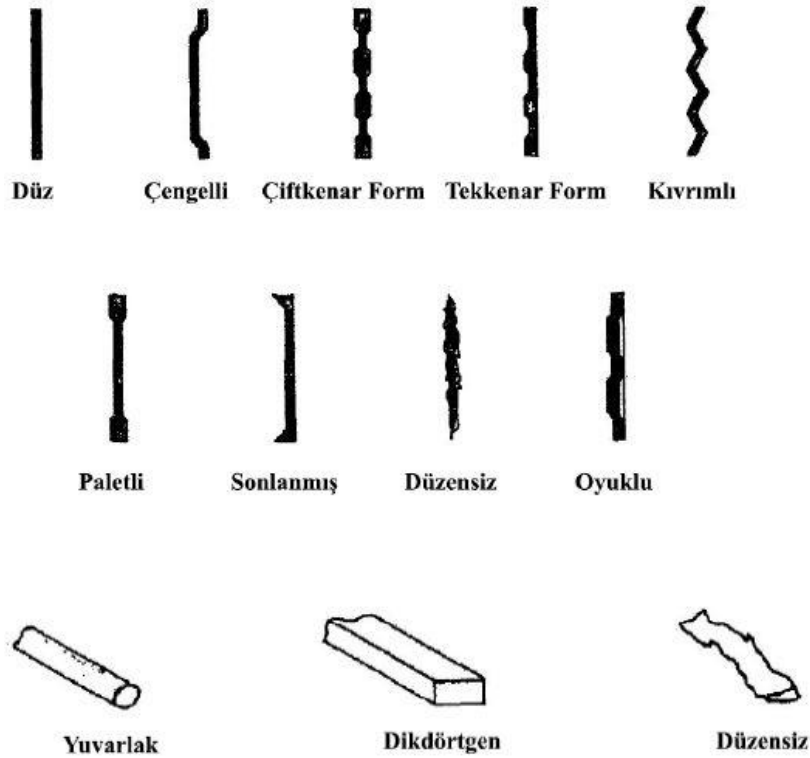
2.2.6. Lifler

Lif tanımı ve çeşitleri

Lifler, betonda süneklik ve çatlak oluşumunu kontrol etmenin yanında betonda dayanım ve dayanıklılığı artırmasına yönelik olarak da kullanılır. Lifler farklı amaçlarla beton karışımında kullanılmaktadır. Farklı malzemelerden üretilen lifler, nitelik açısından farklı sınıflara ayrılabilir. Malzeme cinsine göre lifler iki gruba ayrılmaktadır Bunlar;

- **Doğal malzeme:** Selüloz, Şeker kamışı, Hint keneviri, Babmu, Hindistan cevizi kabuğu, Muz.
- **Yapay malzeme:** Çelik, Cam, Sentetik (Polipropilen, polietilen, polyester, aramid, karbon, akrilik, naylon) (Naaman 2000).

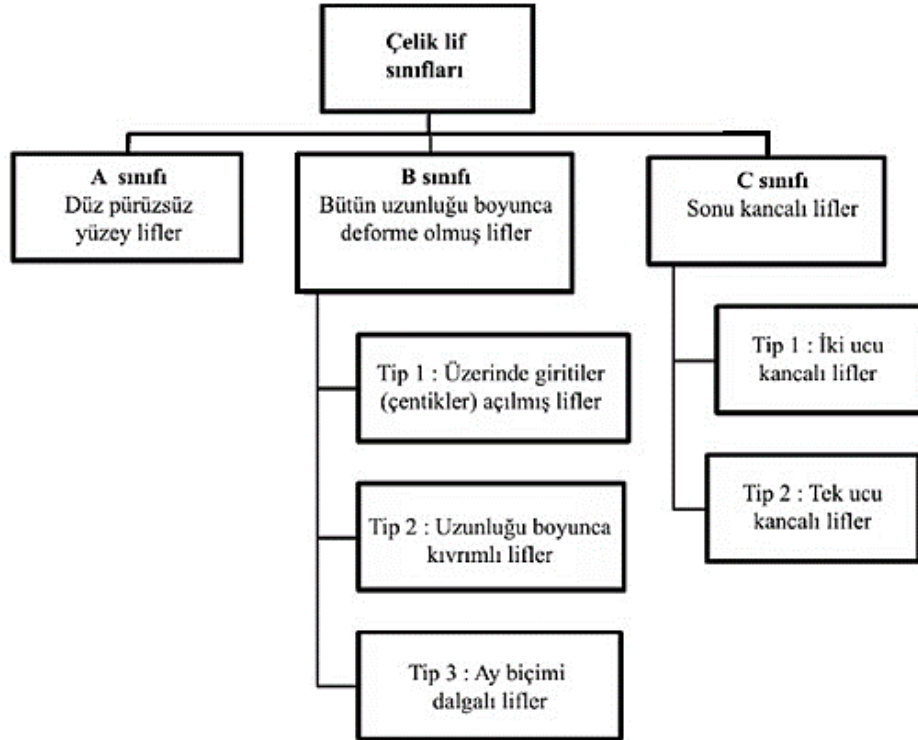
Dünyada en çok kullanılan liflerden biri de yapay malzemelerden üretilen çelik liflerdir. Çelik lifler fiziksel özelliklerine göre sınıflandırılabilir. Yaygın olarak, lifli betonlarda kullanılan çelik liflerin tipleri ve şekilleri Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Çelik liflerin tipleri ve şekilleri (Şimşek 2009)

TS 10513'a (1992) göre çelik lifler A, B ve C olarak farklı üç sınıfa ayrılmıştır. Standartta tanımlanan liflerin gruplandırılması Şekil 2.5'te görülmektedir.

ACI 544.3R-93'a (1998) göre, betonun zayıf özelliklerinin düzeltilmesi için kullanılan çelik liflerin tanımı, lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen boy/çap oranı olarak kabul edilmektedir. Bu oran aynı durumda lifin narinliğini göstermektedir. Bu yüzden çoğu zaman lifin boy/çap oranına lif narinlik oranı denilmektedir.

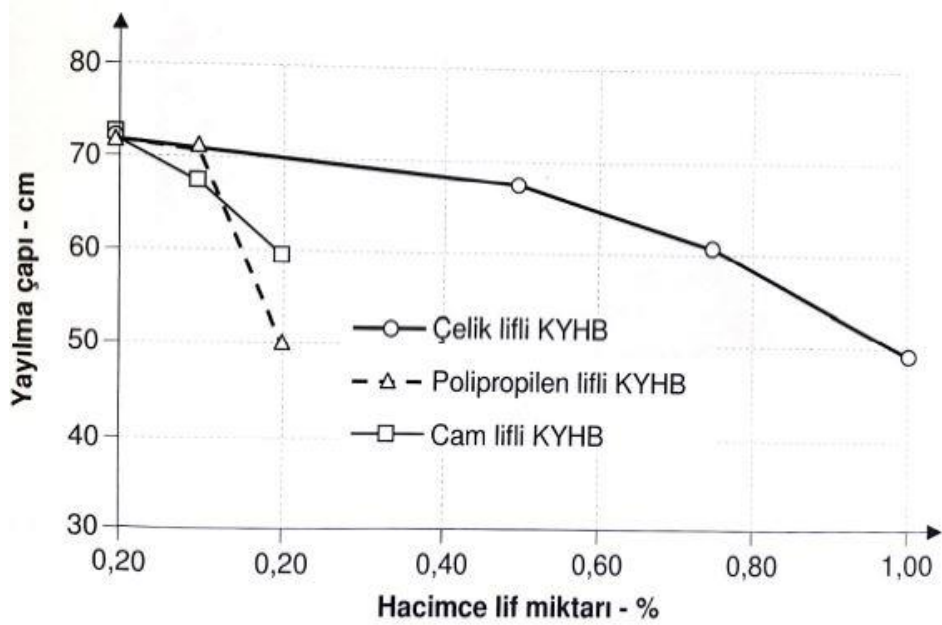


Şekil 2.5. TS 10513'a (1992) göre çelik liflerin sınıflandırılması (TS 10513 1992)

Lif kullanımının KYB karışımlarının özelliklerine etkisi

Bilindiği üzere, beton karışımına lif ilave etmek, karışımın akışkanlığını ve işlenebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Böylelikle, lifli betonlara göre lifsiz betonların işlenebilirliği daha yüksek olabilmektedir. Lifli beton karışımlarında, agrega tane dağılımı, en büyük agrega tane boyutu, lif tipi, lif hacmi, hava miktarı, s/ç oranı ve narinlik oranı işlenebilirliği etkileyen önemli faktörler olarak tanımlanabilmektedir. GB'da olduğu gibi KYB karışımlarında ağırlıkça veya hacimce kullanılan lifin narinlik

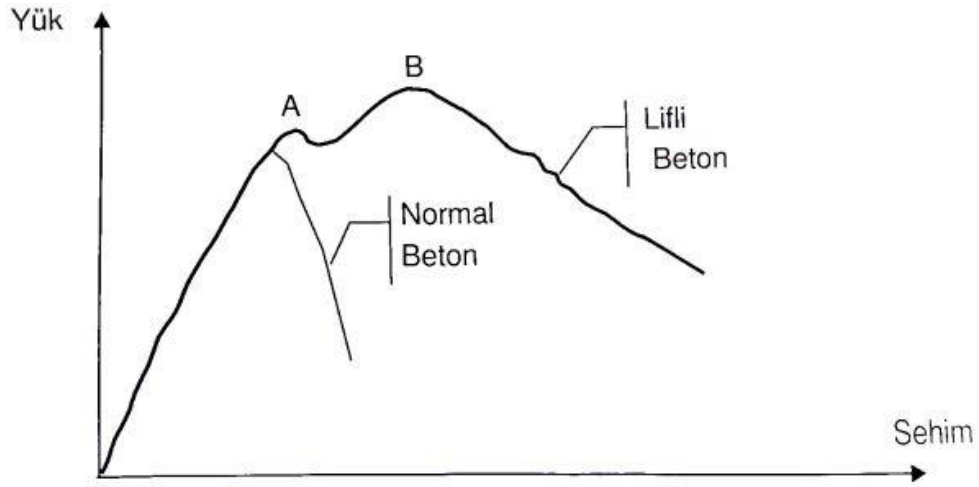
oranı ve miktarı işlenebilirliği olumsuz etkileyen en önemli iki parametredir (Grünwald ve Walraven 2001). Lifler aynı hacimde agregalara göre daha yüksek alana ve daha uzun şekile sahiptirler. Dolayısıyla akış esnasında akışa doğru bir içsel sürtünme ile karşı koymaya çalışırlar. Ayrıca lifler akış esnasında kenarlara engelleme ve takılma etkisi oluşturarak akışın engellenmesine ve yavaşlamasına neden olabilirler (Grünwald ve Walraven 2001, Yardımcı 2007). Genellikle lif boyu, agrega en büyük tane çapı ve agrega hacminin azalması ile akış esnasında ortaya çıkan işlenebilirlik performansı artabilir ve içsel sürtünme azalabilir (Khayat ve Roussel 2000). Şekil 2.6'da Kendiliğinden Yerleşen Hafif Beton (KYHB)'ların yayılma çapı üzerine lif miktarı ve tipinin etkisi görülmektedir (Haist ve ark. 2002). Şekilden anlaşıldığı gibi, KYB karışımlarının yayılma çapı, lif tipinden bağımsız olarak lif hacminin artışıyla azalmıştır. Bu bağlamda karışımların yayılma miktarının en çok azalmasına neden olan lif tipi polipropilen lif olmuştur.



Şekil 2.6. KYHB'ların yayılma çapı üzerine lif tipi ve miktarının etkisi (Haist ve ark. 2002)

KYB karışımlarında su/bağlayıcı oranının az olması, terlemeyi koruyucu katkı maddelerinin (süperakışkanlaştırıcının) kullanılması ve ince malzeme miktarının artırılması betonun plastik rötreye karşı duyarlı olmasını sağlamaktadır. Bundan dolayı lif kullanılması, oluşabilecek plastik rötreye çatlaklarını önlemek için betonun

dayanıklılığının artırılmasında faydalı olmaktadır. KYB içerisine çelik liflerin eklenmesinin betonun basınç dayanımına, elastisite modülüne ve kuruma büzülmesine etkisi çok azdır. Fakat KYB karışımlarında yüksek oranda karbon lifler kullanıldığı takdirde eğilme yüklemesi altında sünme oldukça azalmaktadır. Bununla beraber çoğu çalışmalarda lifler, düşük miktardaki hacimleri sebebiyle kompozitin boyutsal stabilitesi üzerinde fazla etki oluşturmadan matriste rijitlik eklentileri olarak görev alır (Mehta ve Monterio 1997). Şekil 2.7’de çelik lifli betonun, eğilme altında yük-deplasman eğrisi gösterilmiştir. Şekil 2.7’den anlaşıldığı gibi, eğri yaklaşık olarak A noktasına kadar doğrusaldır, bu noktadan sonra eğri doğrusallığını kaybeder ve maksimum yükün taşındığı B noktasına kadar ulaşır. A noktasına veya bu noktaya karşılık gelen kuvvete ilk çatlama kuvveti, orantılı limit ve elastik limiti olarak adlandırılır. B noktası nihai dayanım olarak tanımlanır. Bu değerler ve yükün B noktasından sonraki azalma hızı, liflerin boy/çap oranına, beton içindeki yönelimine, liflerin miktarına, liflerin ve matrisin mekanik özelliklerine bağlıdır (Baradan ve ark. 2015).



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

2.3. KYB Karışımlarının Tasarım Yöntemi

KYB’larda karışım tasarımı GB’den farklı olup özel bilgi ve deneyime gerek duysa da beton bileşenleri yönünden genel olarak çok büyük bir değişiklik göstermemektedir. KYB tasarımında esas faktör bu bileşenlerin kullanım oranları olup bunlara yönelik geliştirilen çeşitli yaklaşımların temelinde iri agreganın hacminin sınırlandırılması ile

süperakışkanlaştırıcı kullanılması ve harç özelliklerinin değiştirilmesi vardır. Bileşiminde çimento, ince agrega, su, silis dumanı, uçucu kül gibi puzolanik malzemeler ve beton yapısını dolduran özellik gösteren kireçtaşı tozu gibi malzemeler bulunmaktadır. Bunlara ek olarak viskozite düzenleyici kimyasal katkıları ve yeni nesil süperakışkanlaştırıcılar da KYB karışımlarında kullanılmaktadır. Üretilen KYB karışımının ayrışma direncine ve hedeflenen işlenebilirliğe sahip olması gerekmektedir. Üretilen KYB karışımı ayrışma ve topaklanma gibi bir eğilimi olmaksızın donatıların arasına çok iyi yerleşmelidir. Bu amaçla KYB'ların üretiminde su/toz oranı kontrol edilir. Kullanılan iri agrega miktarı sınırlı tutularak akışkanlık performansını etkili bir şekilde artıran kimyasal katkıları kullanılır. Temel tasarım yöntemine göre tasarımda dikkate alınacak noktalar aşağıda verilmiştir.

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

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

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

İnce malzeme miktarı (< 0,125 mm)	400-600 kg/m ³
Kum miktarı (0,125 mm – 4 mm)	Harç hacminin %40'ı
İri agrega miktarı $D_{max} = 20$ cm	Gerçek birim ağırlığının %50'si
Uçucu kül miktarı	Çimento + uçucu 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 beton özellikleri ile KYB'ların performansları arasında önemli bir bağlantı vardır. İşlenebilirlik ve reoloji parametreleri KYB'nun pratikteki kullanım performansını etkilemektedir. Kendiliğinden yerleşme yeteneği, ayrışmaya karşı direnç, doldurma yeteneği ve geçiş yeteneği gibi üç parametre ile belirlenmektedir (Skarendahl ve Petersson 2000).

i. Doldurma yeteneği

KYB'nun kendi ağırlığı altında şekil değiştirip daneler arası sürtünmesine ve çimento hamurunun akış yeteneğine bağlı olarak istenilen kalıba vibrasyona ihtiyaç duyulmadan boşluksuz yerleşebilmesi ile tanımlanabilir. Doldurma yeteneği, betonun döküldüğü yerden belirli bir mesafeye hangi hızla ulaşacağına bağlıdır. Yayılma deneyi ile ölçülen betonun yayılma çapı ve bu çapa ulaşılması için geçen süre ile doldurma yeteneği değerlendirilebilir.

ii. Geçiş yeteneği

KYB yeterli akıcılığa ve ayrışmaya karşı dirence sahip olup sık donatılı ve dar yerlerden geçerek hamurun agregaları sık donatılı ve dar yerlerde kolay taşıyabilmesi ile ifade edilir. KYB'nun iyi bir akış yeteneğine sahip olması, agregalar arasındaki boşluğu tamamen çimento hamuru ile doldurup agrega tanecikleri birbiri üzerinden rahatça kayarak kalıba doldurabilmektedir.

iii. Ayrışmaya karşı direnç

Taze betonda ayrışma (segregasyon), bileşen malzemelerinin dağılımında homojenliği bozulması ile gözlenmektedir. Normal akışlarda ayrışma göstermeyen taze beton, bazen sık donatılı yerlerde ayrışmaya uğrayabilir. Bu olay ise yapıdaki kusurların oluşmasına ve betonun homojenliğinin bozulmasına yol açmaktadır. Betonun gerek akış gerekse de durağan halinde; hava boşluğunun dağılımındaki düzensizlik, tıkanmaya neden olan kaba agrega ayrışması, çimento hamuru fazı ile agrega ayrışması ve görülebilen terleme (su ve

katı arasında ayrışma) gibi problemler bileşenlerin karışık bir şekilde dağılıp segregasyon oluşumuna sebep olurlar. En büyük agrega tane boyutunun düşürülmesiyle katı maddelerin ayrışmasının azaltılması ve iri agrega hacminin sınırlandırılması birinci yöntemken, viskozite düzenleyici katkıları ve süperakışkanlaştırıcılar kullanılarak su/bağlayıcı oranı düşürülüp terlemenin minimuma indirilmesi segregasyonun önlenmesinde diğer bir yöntemdir. KYB'nun işlenebilirliğini belirleyen deney metodları Çizelge 2.3'te verilmektedir (EFNARC 2005).

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

Belirlenen özellik	Deney
Doldurma yeteneği	<ul style="list-style-type: none"> • Çökme yayılma (TS EN 12350-8) • İlk 50 cm'lik çapa ulaşma süresi (TS EN 12350-3) • V-kutusu akış süresi (TS EN 12350-9)
Geçebilme yeteneği	<ul style="list-style-type: none"> • L-kutusu (TS EN 12350-10) • U-kutusu (TS EN 11044) • Doldurma kutusu TS EN 12350-12 • J-halkası (TS EN 12350-12)
Ayrışmaya karşı direnç	<ul style="list-style-type: none"> • T₅ dak da V-kutusu akış süresi (TS EN 12350-9) • Elek ayrışma deneyi (GTM) (TS EN 12350-11)

2.4.2. Sertleşmiş hal özellikleri

GB'larda olduğu gibi KYB karışımlarında da sertleşmiş hal özelliklerini belirlemek için bazı mekanik deneyler uygulanmaktadır. Burada bu deneylerden birkaçı için kısaca bilgi verilmiştir.

Basınç dayanımı

Betonun basınç dayanımı, eksenel basınç yükü etkisi altında betonun kırılmaması için gösterebileceği en büyük direnme kabiliyeti olarak tanımlanabilmektedir. Betonun mekanik özellikleri arasında basınç dayanımının en önemli özellik olmasının sebeplerinden biri, diğer dayanım türleri ile basınç dayanımı arasında bir kolerasyon katsayısının bulunmasıdır. Bu sebeple basınç dayanımı bilindiğinde diğer dayanım çeşitlerinin büyüklüğü hakkında bir fikir elde edilebilmektedir (Erdoğan 2010).

Betonun mekanik dayanımları arasında en büyük değerine sahip olan dayanım basınç dayanımıdır. Çelik lifli betonlarda %1,5 oranına kadar çelik lif kullanımının beton basınç dayanımında etkili bir artışa sebep olmadığı görülmüştür (Bentur ve Mindess 1990).

Çekme dayanımı

Betonun çekme dayanımı, taşıma gücü sınır durumunda genellikle ihmal edilmektedir. Fakat söz konusu olan dayanım, kullanılabilirlik sınır durumunda çatlaklarla ilgili olarak yapılan hesaplarda kullanılmaktadır. Diğer yandan çekme dayanımı, çatlamanın son derece önemli olduğu sıvıyı tutan yapıların tasarımında da önemli bir parametredir. Fakat betonun çekme dayanımının belirlenmesi, basınç dayanımına karşın daha zor olmaktadır. Çünkü deney düzeneğinde kavrama sorunu ortaya çıkmaktadır.

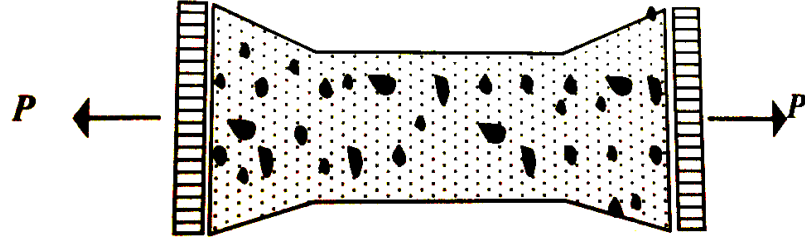
Çekme dayanımının belirlenmesi için yapılan deneylerden başlıcaları;

- Merkezi (eksenel) çekme deneyi
- Yarmada çekme deneyi
- Eğilme deneyi

Merkezi çekme deneyi

Merkezi çekme deneyinde, farklı şekillere (Şekil 2.8) sahip beton numunelere merkezi çekme kuvveti uygulanarak çekme dayanımı belirlenmeye çalışılmaktadır. Fakat başlık bölgesinde çıkan sorunlar, gerilme yığılımları ve merkezi çekme kuvveti uygulamanın

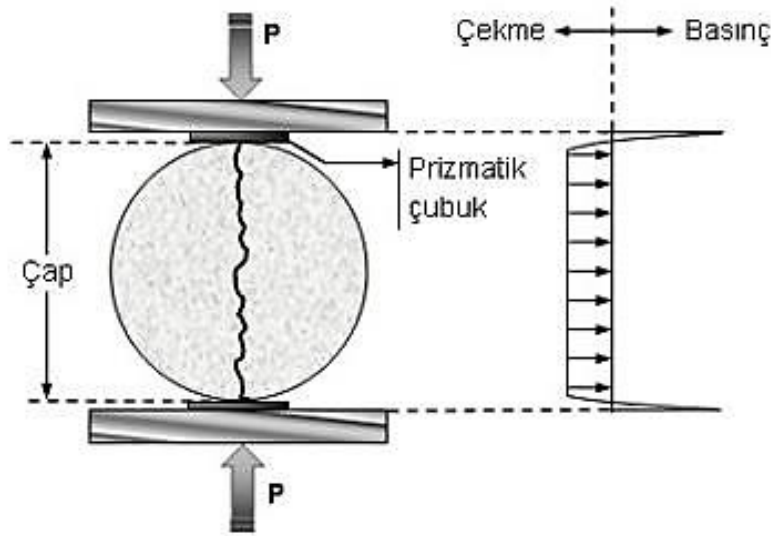
zorluğu gibi sorunlar meydana gelmektedir. Bu yüzden de deneylerden farklı sonuçlar elde edilebilmektedir (Doğangün 2018).



Şekil 2.8. Çekme dayanımının merkezi çekme deneyi ile belirlenmesi (Doğangün 2018)

Yarmada çekme deneyi

Dolaylı çekme dayanımı yönteminin uygulanması sonrasında beton numunesi yarılarak iki parçaya ayrıldığı için, genellikle bu yöntem yarma deneyi yöntemi adı verilmektedir (Erdoğan 2010). Şekil 2.9'da görüldüğü gibi bu deney, yatay şekilde presin tablaları arasında yerleştirilen silindirik beton numunesinin üstüne ve altına yerleştirilen plakalara dik yönde basınç yüklemesi uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Yükün artırılmasıyla, endirekt olarak çekme gerilmeleri meydana gelir ve silindirik numune tabanının çapı boyunca yarılarak kırılır.



Şekil 2.9. Silindirik yarma deneyi ve gerilme dağılımları (Yazıcı 2012)

Yarmada çekme deneyinde kullanılan silindir numunelerde ortaya çıkan çekme dayanımı Denklem 2.1'den hesaplanmaktadır.

$$f_{cts} = \frac{2P}{\pi \cdot D_s \cdot L} \quad (2.1)$$

Burada; f_{cts} yarma silindir çekme dayanımı, P silindire uygulanan basınç yükü, D_s silindir numunenin çapı, L ise silindir numunenin uzunluğudur.

Aynı şekilde prizma ve küp numunelerde de yarmada çekme deneyi uygulanabilmektedir. İngiliz standardında (BS 1881: Part 117: 1983), küp numuneler kullanılarak yarmada çekme dayanımı elde edilmektedir. Bu standarda göre, silindir numunelerde yapılan yarma testiyle elde edilen sonuçları, küp numunesinden elde edilen sonuçları ile aynı olmaktadır. Küp numunesi kullanılarak beton karışımlarının yarma silindir çekme dayanımının belirlenmesi (Denklem 2.2)'ye göre yapılmaktadır (Baradan ve ark. 2015).

$$f_{cts} = \frac{2P}{\pi \cdot a^2} \quad (2.2)$$

Burada; f_{cts} yarma silindir çekme dayanımı, P uygulanan yük ve a ise küp kenarlarının uzunluğudur.

Bilindiği üzere, lifli betonların çekme dayanımları GB'lara göre daha yüksek olmaktadır. Çelik lifli betonların çekme dayanım artışı, lif miktarına, lif narinlik oranına, lif şekline, lif-matris aderansına ve liflerin beton içerisindeki dağılımına bağlı olarak normal betona kıyasla, yaklaşık olarak %5'ten fazla oranlarda daha yüksek olmaktadır (Bentur ve Mindess 1990).

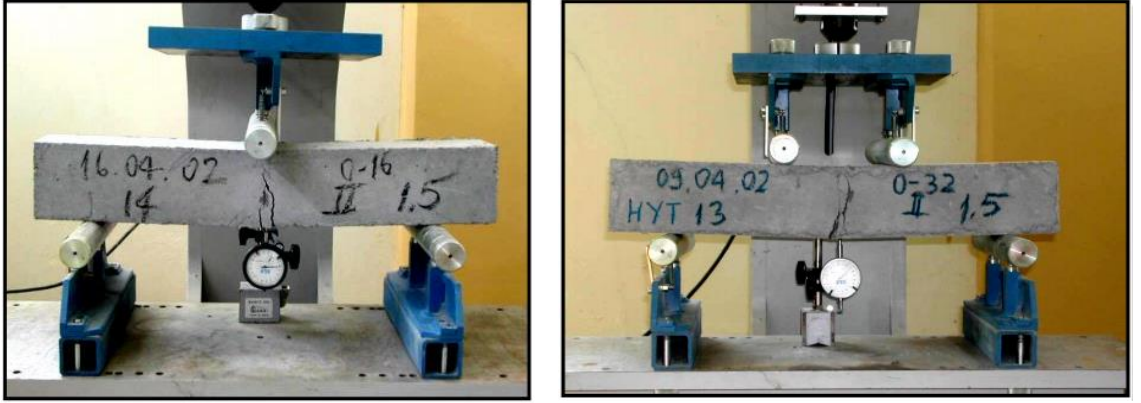
Eğilme deneyi

Eğilme çekme deneyi, beton karışımlarının eğilme dayanımını belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin özü kirişin kırılma esnasında alt yüzeyi

seviyesinde çekme gerilmesini ölçmektir. Söz konusu olan deney sabit bir uzama oranında gerçekleştiğinde genelde yük artış hızı, dayanımının yaklaşık %70'ine ulaştığında azalmaya başlar. Bu azalmalar genelde görünmez şekilde meydana gelen mikro çatlaklar sebebiyle aniden oluşur. Bu oluşan çatlaklar elemanın göçmesine sebep olmaz, bu sebeple eleman nihai çekme dayanımına ulaşmaktadır (Çopuroğlu 2001). Standartlara göre laboratuvarında yapılan eğilme dayanımı belirleme deneyleri iki grupta toplanabilir;

- 1) Üç noktalı eğilme deneyi
- 2) Dört noktalı eğilme deneyi.

Üç noktalı ve dört noktalı eğilme deneyleri Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Üç noktalı ve dört noktalı eğilme deneylerinin düzeneği (Yazıcı 2012)

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

Üç noktalı eğilme deneyinde çentikli numunelerin eğilme dayanımı;

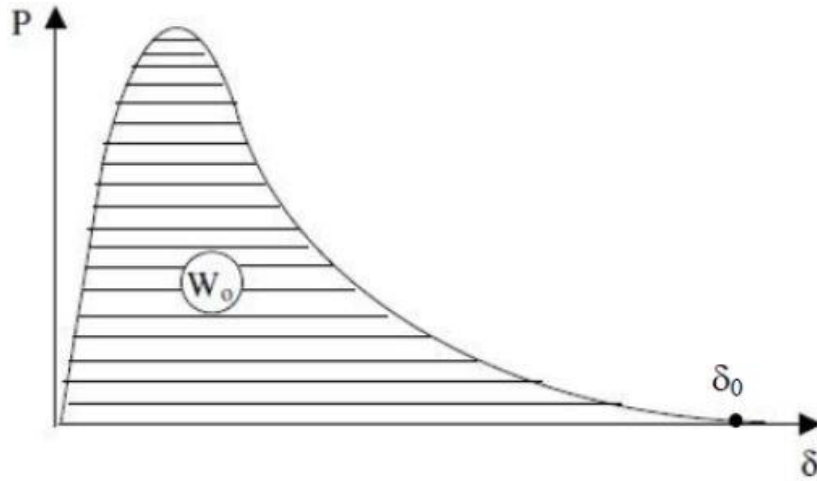
$$f_{net} = \frac{3.P.L}{2.B.(H-a)^2} \quad (2.3)$$

Dört noktalı eğilme deneyinde çentikli numunelerin eğilme dayanımı;

$$f_{net} = \frac{P.L}{B.(H-a)^2} \quad (2.4)$$

Bağıntılarıyla hesaplanır. Bu eşitliklerde, P eğilme deneyinde kaydedilen en büyük yük, B kiriş eni, H kiriş yüksekliği, L mesnet açıklığı ve a çentik derinliğidir.

Çatlak doğrultusuna paralel düzeydeki birim yüzey alanında bir çatlağın oluşturması için gereken enerji miktarı, kırılma enerjisi (G_F) olarak tanımlanabilir (RILEM 50-FMC 1985). Kırılma enerjisi, çentikli olan beton kiriş üzerinde eğilme deneyi yapıldığında, numune iki parçaya ayrılana kadar yük-sehim eğrisinin altında kalan alan hesaplanarak belirlenir. Yük-sehim eğrisinin şematik gösterimi Şekil 2.11’de verilmiştir.



Şekil 2.11. Yük-sehim eğrisinin şematik gösterimi (RILEM 50-FMC 1985)

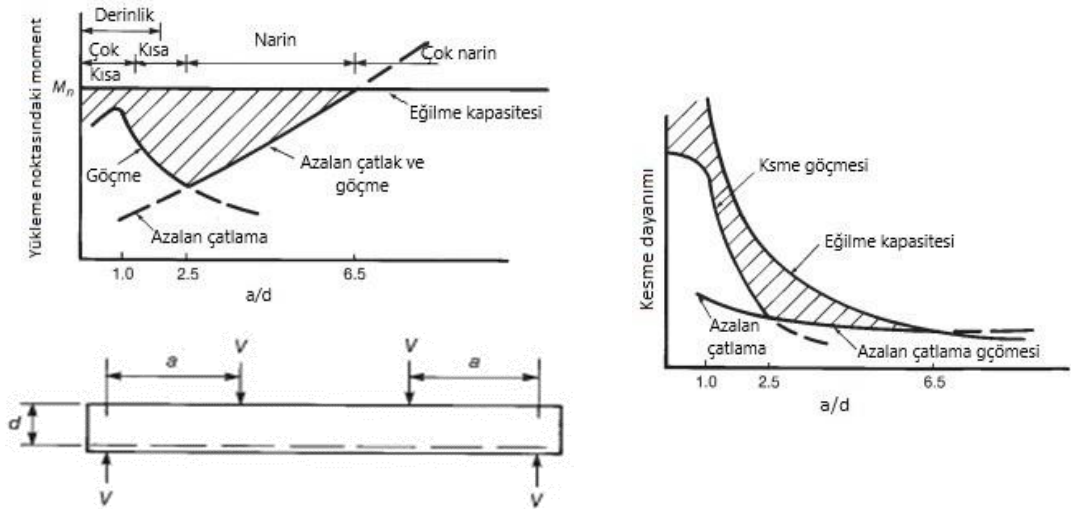
Kırılma enerjisi;

$$G_f = \frac{W_0 + m.g.\delta_0}{A_{lig}} \quad (2.5)$$

Eşitliğiyle hesaplanır. Bu eşitlikte, G_f kırılma enerjisi, W_0 yük-sehim eğrisi altında kalan alan, m kirişlerin mesnetleri arasında kalan kısmın ağırlığı, g yer çekim ivmesi, δ_0 kirişlerin göçme esnasındaki deformasyonu ve çentik açıldıktan sonraki etkin alan ($A_{lig}=(H-a).B$)'dir. Kırılma enerjisinin (G_f)'in birimi N/m veya $Joule/m^2$ 'dir (RILEM 50-FMC 1985).

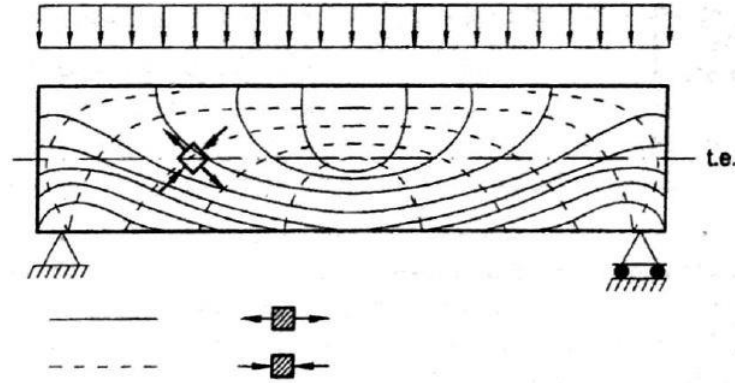
2.5. (a/d) Oranının Kesme Davranışına Etkisi

Kesme açıklığı, mesnetle yük arasındaki mesafedir ve genelde "a" olarak gösterilir. Kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranının (a/d), betonarme kiriş elemanların davranışlarını etkileyen en önemli değişkenlerden biri olduğu, yirminci yüzyıl ortalarında yapılmış araştırmalar ile saptanmıştır. (a/d) oranına bağlı olarak moment taşıma kapasitesi ve göçme mekanizması grafiği Şekil 2.12'de görülmektedir.



Şekil 2.12. (a/d) Oranına bağlı göçme modları ve betonarme kirişlerin kesme ve moment taşıma kapasitesi diyagramı (MacGregor ve Wight 1997)

(a/d) oranının çok büyük olduğu durumda (yaklaşık olarak, $a/d > 7$) kiriş eğilmedeki taşıma gücüne erişebilecektir. Böyle bir kirişte eğik çatlaklar oluşmayacağından, kırılma üzerinde kesme kuvvetinin etkisi olmamaktadır. Bunun temel sebebi, kesme açıklığının büyük olmasından, kiriş eğilme kapasitesine ulaştıran kesme kuvvetinin düşük seviyede kalmasıdır. (a/d) oranının yaklaşık olarak 7'den küçük ancak 3'ten büyük ($3 < a/d < 7$) olduğu durumlarda, önce kiriş eksenine dik olarak eğilme çatlakları oluşacak, yük arttığı zaman kesme açıklığında oluşacak eğilme çatlakları tarafsız eksene doğru uzayacaktır. (a/d) oranı daha küçük kirişlerde (yaklaşık olarak, $1,5 < a/d < 3$), eğik çekme çatlaklarının daha önce açıklandığı şekilde gelişmesine, noktasal yükün meydana getirdiği yerel basınç gerilmeleri engel olur. Kesme açıklığının çok olduğu durumda ($a/d \leq 1,0$), eğik çatlak oluşuktan sonra, eğilme önemini kaybeder ve kiriş artık tamamen bir gergili kemer gibi davranır (Ersoy ve Özcebe 2012). Çatlaklar eğik bir şekilde kiriş eksenine gelişir. Oluşan asal çekme ve basınç gerilmelerinin yönü, Şekil 2.13'te düzgün yayılı yük taşıyan basit mesnetli bir kiriş üzerine gösterilmiştir. Kesik çizgiler asal basınç, sürekli çizgiler ise asal çekme gerilmelerinin yönünü belirlemektedir. Bu eğriler, eşgerilme eğrileri olarak adlandırılabilir. Asal çekme gerilmelerin dik tarafta oluşacağı hatırlanırsa, eşgerilme eğrilerinden çatlak eğimi ve geometrisi kolayca kestirilebilir (Ersoy ve Özcebe 2012).



Şekil 2.13. Kirişte oluşan eşgerilme eğrileri (Ersoy ve Özcebe 2012)

2.6. Çelik Lif Takviyeli Betonarme Kirişler

Çelik lif takviyeli betonun en önemli özelliği eğilme altında sünek bir davranış göstermesi ve eğilme dayanımının fazla olmasıdır. Lifli betonun bu özelliklerinden ötürü, eğilmeye

çalışan betonarme elemanlarında kullanılabilceği açıktır. Bilindiği gibi, inşaatta en çok kullanılan malzeme olan betonun çekme dayanımı, basınç dayanımına göre çok düşüktür. Bu eksikliği gidermek için, betonun içinde çekme gerilmelerinin bulunduğu yere elik çubuklar konarak, döşeme ve kiriş gibi çekme gerilmeleri yaratabilen elemanların yapımında beton kullanılabilmiştir. Ancak bu çözüm eleman içinde, çekme gerilmelerin belli bir bölgede bulunmasıyla mümkün olmaktadır. Betonun daha yüksek çekme dayanımına sahip olabilmesi ve yukarıda anlatılan kısıtlamaları ortadan kaldırmak için, ilk çalışmalar 1960'lı yılların başlarında, çekme bölgesinde birbirine paralel şekilde yerleştirilmiş ince elik lifler bulunan kirişler üzerinde yapılmıştır. Bu deneylerde, kirişin yüksekliği ve liflerin toplam alanı aynı kalmak şartıyla, liflerin çapı küçültülerek, lif aralıkları 5-7,5 mm'nin altında düştüğü vakit, kirişin kırılma yüküne çok yaklaşıncaya kadar çatlakların fazla büyümediği ve eğilme dayanımının hızla arttığı grlmştir (Romualdi ve Batson 1963).

2.7. Kaynak zetleri

Bu bölümde, konu ile ilgili daha önceden yapılmış çalışmalar özetlenmiştir.

Persson (2000) tarafından yapılan bir çalışmada, GB'lar ile KYB karışımlarının mekanik özellikleri elastisite modülü, basınç dayanımı, snme ve rötre açısından karışılaştırılmıştır. Çalışma kapsamında s/ oranları 0,24-0,80 arasında değişen sekiz farklı karışım hazırlanmıştır. Suda ve havada kürlenerek betonların yarısı GB yarısı ise KYB olacak şekilde tasarlanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre KYB'ların elastisite modülü, snme ve rötre değerlerinin GB'lara göre önemli miktarda değişiklik göstermediği grlmştir.

Corinaldesi ve Moriconi (2004) tarafından yapılan bir çalışmada, KYB karışımları hazırlanarak ince prefabrik elemanlar üretilmiştir. Bu kapsamda KYB karışımlarında, betonarme donatısı yerine ağırlıkça %10 oranında elik lif kullanılmıştır. İnce beton elemanların dayanımını değerlendirilmesi için eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak düşük s/ oranı ile KYB karışımları yapılmış, betonun fazla şekil değiştirme yapması haline karşı betonun içerdiği elik liflerin etkisini belirlemesi için kuruma-büzülme deneyleri yapılmıştır. İkinici olarak, beton numuneler üzerine

donma-çözülme deneyleri yapılmış ve son olarak da klorür geçirgenliği ve karbonatlaşma deneyleri yapılarak KYB karışımlarının durabilite ve dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, KYB karışımlarının yapısal olmayan uygulamalarda, ince prefabrik eleman üretimi için uygun bir seçenek olduğunu bildirilmiştir.

Felekoğlu ve ark. (2006) tarafından yapılan bir çalışmada, s/ç oranının değişiminin KYB karışımlarının özelliklerine etkisini araştırılmıştır. Bu çalışmada, beş farklı s/ç oranına sahip KYB karışımları üretilmiştir. Çizelge 2.4'te 1m³ KYB karışım için kullanılan malzeme miktarları verilmiştir.

Çizelge 2.4. KYB karışımının miktarları (Felekoğlu ve ark. 2006)

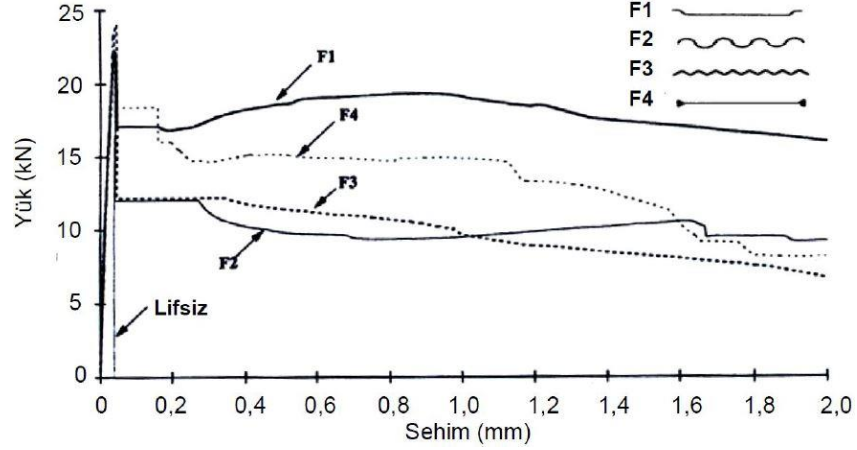
	K1	K2	K3	K4	K5
Çimento (kg/m³)	377	376	377	376	377
Su (kg/m³)	227	203	181	158	140
S/Ç	0,60	0,54	0,48	0,42	0,37
Toz (kg/m³)	238	246	247	267	272
İnce agregası (kg/m³)	861	886	898	932	863
İri agregası (kg/m³)	562	577	593	609	630
SA (kg/m³)	3,7	6,6	7,9	9,0	13,0

SA*: Süperakışkanlaştırıcı, S/Ç*: Su/çimento oranı

Karışımların taze hal özelliklerini belirlenmesi için çökme-yayıma, L-kutusu ve V-hunisi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Numunelerin basınç dayanımı gelişimi, elastisite modülü ve yarmada çekme dayanımı belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre hacimce uygun s/ç oranı 0,84-1,07 arasında bulunmuştur. Bu oranların dışındaki numunelerde blokaj ve ayrışma görülmüştür. KYB karışımlarının yarmada çekme dayanımı, GB ile kıyasladığında daha yüksek iken, elastisite modülü değerleri ise daha düşük çıkmıştır.

Banthia ve Trottier (1995)'te yaptığı bir çalışmada, farklı geometriye sahip dört tip çelik lif kullanımının beton karışım özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu amaçla, iki ucu

kancalı, iki farklı dalgalı ve düz çelik lif kullanılmıştır. Karışımların yük-sehim eğrileri Şekil 2.14’te gösterilmiştir. Şekilden de anlaşıldığı gibi, enerji yutma kapasitesi açısından iki ucu kancalı lifler, en üstün performansı sergilemiştir. Bu durumda, içinde dalgalı çelik lifleri bulunan beton karışımları, düşük enerji yutma kapasitesine sahip olmuştur.



Şekil 2.14. Lif geometrisinin yük-sehim eğrisine etkisi (Banthia ve Trottier 1995)

Baradan ve ark. (2005)’te yaptığı bir çalışmada, KYB karışımlarının işlenebilirliğine lif kullanımının etkisini incelemiştir. Lif tipi, miktarı ve KYB’nun agrega gradasyonunun, çok önemli tasarım değişkenleri olduğu yazarlar tarafından bildirilmiştir. Betona çelik lif katılması, numunenin süneklik özelliğinin geliştiğine, kırılma enerjisinin artmasına ve yük altında çatlak gelişim mekanizmasının pozitif yönde etkilediğine sebep olmuştur.

Şahmaran ve ark. (2005), iki farklı lifin karışımlarda birlikte kullanılmasının, KYB’ların işlenebilirliği üzerinde etkisini araştırmışlardır. Bu çalışmada, 60 kg/m^3 dozajında OL6/16 (lif boyu 6mm ve narinliği 16) ve ZP305 (lif boyu 30mm ve narinliği 55) liflerini karışık ve ayrı ayrı olarak KYB karışımlarında kullanılmıştır. Böylece, s/ç oranı 0,4 olan altı farklı KYB karışımı hazırlanmıştır. Çalışmada 1 m^3 KYB üretimi için gerekli malzeme miktarları Çizelge 2.5’te verilmiştir.

Çizelge 2.5. 1m³ KYB üretiminde kullanılan malzemeler (Sahmaran ve ark.Yaman, 2005)

Karışım	S/Ç*	Su (1/m ³)	Çiment o (kg/m ³)	Toz (kg/m ³)	İnce agrega (kg/m ³)	İri agrega (kg/m ³)	Çelik Lif		SA* (kg/m ³)
							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

Deneysel çalışmada, lifli serilere uygulanan işlenebilirlik deneylerinden elde edilen sonuçların lifsiz KYB'lar için EFNARC (2002)'de önerilen üst sınırların aşılmasına rağmen kendiliğinden yerleşebilirlik ve akıcılık özelliklerinin sağlandığını belirtmişlerdir. Çalışmadaki bulgulara göre 60 kg/m³ dozajında OL6/16 (lif boyu 6mm ve narinliği 16) ve ZP305 (lif boyu 30mm ve narinliği 55) liflerinin karışık veya tekil olarak kullanımı lifli KYB'da kendiliğinden yerleşebilirlik sağlanabildiğini ortaya koymuşlardır.

Torrijs ve ark. (2007), çelik lifli ve lifsiz KYB'ların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırmıştır. Çalışma kapsamında, laboratuvar ortamında üretilen 250 cm yüksekliğinde, 15 cm çapında uzun ve narin kolon elemanlarda çelik lifli KYB kolon yüksekliği süresince homojen bir şekilde dağılıp dağılmadığı araştırılmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, lifin homojen olarak karışımda dağılması lif dozajının önemli bir parametre olduğu vurgulanmıştır. Lif dozajı 25 kg/m³ gibi görece düşük olduğunda, kolon yüksekliği süresince homojen lif dağılımının elde edildiği ve KYB karışımının reolojik özelliğinin ciddi seviyede etkilenmediği, lif dozajı 50 kg/m³ olduğunda ise kolonun üst taraflarında basınç dayanımı kabının %15'ler düzeyine ulaştığı ve özellikle kolon yüzeyinde hava boşluklarının olduğu belirtilmiştir. Çalışmadan elde edilen tuhaf bir sonuç da lifli KYB'larda kolon yüksekliği boyunca agrega dağılımının lif içermeyen KYB'ye göre

daha homojen olduğunu bildirilmiştir. Lifli KYB karışımının ayrışmaya karşı direnci ve stabilitesinde artış gözlemlenmiştir.

Subaşı ve Emiroğlu (2008) tarafından, farklı oranlarda polipropilen ve çelik lif kullanımının KYB’larda basınç dayanımları ve işlenebilirlik parametreleri üzerinde etkilerini araştırmıştır. Bu amaçla lifsiz KYB karışımına ilaveten KYB karışımına, çelik+polipropilen ve polipropilen lif ekleyerek farklı KYB karışımları üretilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, KYB karışımlarında polipropilen ve çelik lif kullanımıyla taze beton işlenebilirliğinin azaldığı, fakat basınç dayanımlarının ise ters bir şekilde arttığı anlaşılmıştır. Ayrıca, lifli KYB karışımlarında akma süresi ve basınç dayanımı ile yayılma çapı değerleri arasında çok doğrusal bir bağlantının mevcut olduğu görülmüştür.

Mardani ve ark. (2013) tarafından, farklı liflerin KYB’nun taze hal ve mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında, CEM I 42,5R tipi çimento, polikarboksilik eter esaslı kimyasal katkı ve 15 mm maksimum boyutunda agrega ile KYB karışımları üretilerek taze hal ve sertleşmiş özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla kontrol betonuna (lifsiz betona) fazladan, 3 farklı lif (pirinç kaplı düz çelik tel, iki ucu kancalı çelik tel ve polyster tel) kullanılarak karışımlar hazırlanmıştır. Liflerin betonda kullanım oranı, üretici firma tarafından önerilen minimum ve maksimum miktarları dikkate alınarak, %0,4 (hacimsel) olarak kullanılmıştır. Ayrıca filler olarak, tüm karışımlarda 125 mikron altı kireçtaşı tozu kullanılmıştır. Bu çalışmada çeşitli lifli KYB’ların yayılma çapı, V-hunisi, L-kutusu, T50 süresi tayini ve hava içeriği gibi taze hal özelliklerine ilaveten 28 günlük basınç dayanımı, dinamik elastisite modülü ve ultrasonik geçiş hızı incelenmiştir. Kıyaslamalı deney sonuçlarına göre, lif kullanımı ile karışımların taze hal özellikleri olumsuz etkilenmiştir. Bu bağlamda taze hal özelliği açısından, polyster lif içeren karışım en düşük performansı göstermiştir. Bu karışımında, lifin hafifliği sebebiyle mikserle üretim sırasında liflerin karışım yüzeyine toplanarak topaklaşma oluşumuna sebep olmuştur. Lif tipinden bağımsız olarak, karışımların mekanik özellikleri, lif kullanımı ile olumlu gözlemlenmiştir. Çelik lif bu bağlamda en başarılı sonucu sergilemiştir.

Ulusoy (2015) tarafından yapıldığı çalışmada, kesme açıklığının kiriş faydalı yüksekliğine oranı 2,5'ten büyük etriyesiz betonarme kirişlerde, hacimsel çelik lif oranının katkısı ve kesme dayanımına kesme açıklığının kiriş faydalı yüksekliğine oranı (a/d), 2.5, 3.5 ve 4.5, hacimsel çelik lif oranı ise, %0, %1.0, %2.0 ve %3.0 olarak alınmıştır. Yapılan deneyde şu sonuçlar elde edilmiştir; 1) Çelik lif oranı artışı ile sünekliğin ve kesme mukavemetinin arttığı gözlenmiştir. 2) Tek taraflı artan yük etkilerine maruz kalan çelik lifli betonarme etriyesiz kirişler ve referans kirişlerde hacimsel çelik lif oranı ve (a/d) değişiminin kesme dayanımına etkisi incelenerek değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda, kirişlerde her 5 kN yük artışında gözlenen çatlaklar işaretlenerek çatlak oluşumları gözlenmiştir. Beklenildiği gibi yüklemenin ilk kademelerinde eğilme çatlakları tüm kirişlerin orta bölgesinde, yaklaşık eksenine dimdik yönde kılcal şekilde gözlenmiştir. Yük artışı ile mevcut çatlak uzunlukları ve çatlak genişlikleri artmış, kiriş mesnetlerine doğru uzunluğu azalan taze eğilme çatlakları gözlenmiştir. Göçmeye yakın yük etkisinde, eğilme çatlakları kirişin ortasındaki yüke doğru eğik bir şekilde gelişerek ve bu eğik çatlakların nihai yüke ulaşmasıyla kesme kırılmasının meydana geldiği gözlenmiştir. Kirişlere çelik lif eklenmesi, kesme kuvvetinin artışı ve referans kirişlerine göre çelik lifli kirişlerin daha sünek davranış sergilemelerini sağlamıştır. (a/d) oranı azaldıkça (kemerleme etkisi) kirişin göçme kesme dayanımını artmaktadır. Referans kirişlerin beton basınç dayanımı daha fazla olmasına rağmen, hacimsel çelik lif oranı %1,0 olan betonarme kirişlerin kesme dayanımı referans kirişlerin kesme dayanımından daha büyük bulunmuştur.

Cattaneo ve ark. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada, yüksek dayanımlı ve kendiliğinden yerleşen betona sahip betonarme kirişlerin kesme mukavemeti ve kırılma davranışları araştırılmıştır. Kendiliğinden yerleşen ve geleneksel sıkıştırılan yüksek performanslı betonlar kesme donatılı ve kesme donatısız üretilerek, dört farklı kesme oranı için ($a/d=1.5, 2.5, 3.5, 4.5$) dört noktalı eğilme deneyinde test edilmiştir. Betonarme kirişlerin sonuçları; ilk kırılmadaki yüke, göçme şekillerine, kesme dayanımına ve çatlak izlerinin sonuçlarına bağlı olarak değerlendirilmiştir. Normal sıkıştırılmış beton kirişler ve KYB kirişler üzerindeki testler kıyasladığında, daha kırılğan davranışa bağlı bir şekilde benzer kesme dayanımı sergiledikleri görülmüştür.

Etman ve ark. (2014) tarafından, farklı tiplere sahip liflerden üretilmiş yüksek mukavemetli beton kirişlerin mukavemet ve davranışları araştırılmıştır. Bu çalışmada, toplamda on iki adet kiriş (etriyeli ve etriyesiz) eğilme testine tabi tutulmuştur. Yapılan çalışmada lif tipi, kesme donatısının olup olmaması ve ana donatı miktarı gibi ana parametreleri dikkate alınarak değişiklikler yapılmıştır. İki tip lif (çelik ve polipropilen) karışıma eklenmiştir. Test edilen kirişlerin davranışları, çatlak düzenleri ve maksimum taşıdıkları yükleri, başlangıç çatlağı, yük seviyesi için sehimleri ve özel tepkilere göre değerlendirilmiştir. Artan miktardaki çatlak sayısıyla, yüklemenin son aşamalarında liflerin kullanılması sebebiyle çatlak genişliklerinde azalma gözlenmiş, bu azalma en yüksek yük taşıma değerinde ve rijitlikte artışa sebep olmuştur.

Şen (2009) tarafından yapılan çalışmada, kiriş kesme açıklığının kiriş faydalı yüksekliğine oranı (a/d) çelik lif oranı, lif boy/çap oranı ve beton basınç mukavemetinin kirişlerin kesme davranışına etkisini incelemek hedefiyle bir deneysel çalışma yapmıştır. Deneysel çalışmada iki (a/d) oranı (2 ve 3.75), üç çelik lif oranı (%0, %0,5 ve %0,75), iki çelik lif tipi RC-65/35-BN (uzunluğu 35, çapı 0,55, narinlik oranı 65) ve RC-80/60-BN (uzunluğu 60, çapı 0,75, narinlik oranı 80) ve iki beton basınç mukavemet seviyesi yüksek mukavemetli ve normal mukavemetli beton kullanılmıştır. Kirişler, simetrik olarak iki eşit yük ile yüklenmiştir. Uygulanan yük ve kiriş ortasında oluşan deplasman, kiriş nihai dayanımını gösterene kadar kaydedilmiştir. Sonuçlar, kesme mukavemeti ve çatlama gerilmesinin, çelik lif oranı ve beton basınç mukavemetinin artması ve (a/d) oranının düşmesi ile arttığını göstermiştir. Uzun çelik liflerle güçlendirilmiş kirişlerin, kısa olan liflerle güçlendirilenlere nazaran, daha fazla kesme mukavemeti gösterdiği görülmüştür. Lif oranı arttıkça, davranış kesmeden eğilmeye doğru kaymıştır. Küçük (a/d) oranları ile bile %0,75'lik lif içeriğinin, kiriş etriyesi gibi görev yaptığı gözlemlenmiştir. %0,75'lik lif içeriği kirişlerde minimum etriye oranı olarak önerilmektedir. Bu lif oranına sahip kirişler, çok yüksek deplasman değerlerinde, eğilme kırılması ile kırılmışlardır.

Erol (2011) tarafından yapılan çalışmada, çelik liflerin 20 kg/m^3 , 40 kg/m^3 , 60 kg/m^3 , 80 kg/m^3 ve 100 kg/m^3 miktarlarda beton ve geleneksel betonarme kirişlere eklenmesiyle elde edilen numunelerin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla üretilen çelik lif takviyeli betonlar üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve elastisite modülü tayini

deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, eğilme deneyinden elde edilen yük-sehim grafiklerinden çelik lif donatılı betonların toklukları elde edilmiştir. Bunun yanı sıra, çelik liflerin betonarme kirişlerin eğilme altında tokluklarına ve kırılma yüküne etkisini belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonunda, çelik liflerin betonların tokluğunu ve eğilme dayanımı belirgin şekilde arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca, çelik liflerin geleneksel donatılı betonarme kirişlerin eğilme altındaki tokluklarında ve kırılma yüklerinde kayda değer iyileştirmeler yaptığı sonucuna varılmıştır.

Özcan (2003) tarafından yapılan bir çalışmada, çelik lifli üç adet 250x350x2000 mm boyutunda betonarme kiriş ile çelik lifsiz üç adet 250x350x2000 mm boyutunda betonarme kiriş elemanlar üretilmiştir. Betonarme kirişler, 28 gün süresince uygun kür şartlarında bekletildikten sonra, dört noktalı statik yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Çalışma sonucunda elde edilen deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde, 30 kg/m³ çelik lifli betonarme kirişin sünekliliği arttırmakta, taşıma gücünde önemli bir artış sağlamıştır. Bu durum, özellikle depremler esnasında aşırı yükleme sonucunda ortaya çıkan betonarme kirişlerin hasarlarını azaltıcı yönde etki yapacaktır.

Swamy ve Mannat (1974) tarafından yapılan çalışmada, çelik liflerin eğilmede çekme dayanımı, çatlak gelişimi ve kompozit malzeme mekaniğine dayalı bir teori sunulmuştur. Bu teoriye göre, ilk çatlak lif sıyrılmasından sonra meydana gelmektedir. Nihai göçme ise, liflerin sıyrılması ve yüzeysel kayma gerilmelerinin maksimum kenetlenme dayanımına ulaşması ile oluşmaktadır.

Birincioğlu (2016) tarafından yapılan çalışmada, kesme açıklığının kiriş faydalı yüksekliğine oranı 2,5 olan çelik lif katkılı ve çelik lif katkısız etriyeli betonarme kirişlerin kesme dayanımları deneysel olarak incelenmiştir. İncelenen parametreler, etriye aralığı ve hacimsel çelik lif oranıdır. Sınırlı sayıdaki kiriş kesme dayanımları karşılaştırıldığında; enine donatı aralığı arttıkça, çelik lif oranı artışının kesme mukavemetine katkısında daha fazla artış gözlenmiştir. Çatlama kesme mukavemetinde çelik lif oranı artışının kesme mukavemetine katkısında belirgin bir değişim gözlenmemiştir.

Şener ve ark. (1999) tarafından yapılan bir çalışmada, çelik lifli (40x80x400 mm ve 40x160x800 mm) boyutlarında çentikli betonarme kirişler üreterek bu kirişlerde boyut etkisi incelenmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, çelik lif kullanımının göçme gevrekliğini azalttığı ifade edilmiştir.

Dupont ve Vandewale (2002) tarafından yapılan çalışmada, çelik lif katkısının betonarme kiriş elemanlarda çatlak oluşumlarına etkisi araştırılmıştır. Araştırma sonucunda, çatlak oluşumuna sağladığı katkı bakımından uygun çelik lif dozajının 30-40 kg/m³ arasında olması önerilmiştir.

Şimşek (2009) tarafından yapılan çalışmada, geleneksel şekilde boyutlandırılmış kiriş-kolon birleşim yerinde birkaç çatlak meydana gelirken, çelik lifli birleşim yerinde ise çatlamanın meydana gelmediği ortaya konmuştur. Çelik lifli birleşim yeri ise daha fazla moment taşıma kapasitesi sağlamıştır. Çelik lifli beton kullanılmasıyla birleşim bölgesinde dayanım, süneklik ve enerji tüketiminde önemli artışların olduğu görülmüştür.

Amin ve ark. (2015) tarafından bir araştırmada, betonarme kirişe yeterli miktarda çelik lif katıldığında, çelik lifin kesme donatısı olarak kullanımı gereken donatının bir miktarı yerine kullanılabileceği açıklanmıştır. Yüksek dozda lifli kirişlerde çatlakların daha dağınık ve gözle görünebilecek incelikte oluştuğu gözlenmiştir.

Noghabai (2000) tarafından yapılan çalışmada, belirli verimlilikte ve miktarda çelik liflerin göçme mekanizmalarında etkili olduğu, çelik liflerin kirişlerin çekme mukavemetini arttırdığı gözlenmiş, çelik liflerin kirişlerin rijitliklerine ve çatlak genişliğine de sınırlamalar getirdiği belirtilmiştir.

Ding ve ark. (2010) tarafından yapılan bir çalışmada, etriye ve çelik lif kombinasyonunun malzemenin mekanik davranışında olumlu etkilere sahip olduğu ve bu olumlu etkilerden birinin de elemanın kesme kapasitesinde artış olduğu ifade edilmiştir.

Cucchiara ve ark. (2002) tarafından yapılan araştırmada, betonarme kirişlere çelik lif ilave edildiğinde, çatlak genişliğinin azalacağı belirtilmiştir. Ayrıca, kirişlerde etriye ve

elik lif kullanıldığında, etriyenin kesitin Şekil değiştirme özelliğini arttırdığı, etriyeli kirişlerin harcına elik lif ilave edilmesinin kiriş kesme mukavemetine olumlu katkısı olacağı ve elik lifin sanki etriye gibi kesme donatısı olarak çalıŐabileceęi belirtilmiştir.

Yoo ve ark. (2015) tarafından yapılan araştırmada, elik lif katkısının betonun elastisite modülü ve basıncı dayanımını çok az etkilemesine karşın, kesitin sünekliliğini belirgin miktarda arttırdığı ifade edilmiştir.

Furlan ve Hanai (1997) tarafından yapılan deneysel araştırmada, farklı hacimsel elik ve polipropilen lif oranına sahip betonarme kirişlerin kesme dayanımı ve eğilmede çekme dayanımı araştırılmıştır. elik ve polipropilen lif katkısının kesme dayanımını arttırdığı ve önemli oranda süneklilik artışı sağladığı görülmüştür.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Amaç, Konu ve Kapsam

Bu çalışmada, farklı a/d oranına sahip çelik lifli KYB ile üretilen betonarme kirişlerin eğilme ve kesme davranışları incelenmiştir. Bu amaçla, lifsiz kontrol karışımına ilaveten toplam beton hacminin %0,6'sı kadar 40 narinlik oranına sahip iki ucu kancalı çelik lif eklenerek lifli KYB karışımları hazırlanmıştır.

Bu çalışmada seçilen lifsiz ve lifli KYB karışım oranları Ouedraogo 2018 tarafından yapılan "Lif Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) Karışımlarının Özelliklerine Etkisi" isimli yüksek lisans tezi çalışmasında kıyaslanan farklı narinlik oranlarına sahip lifli KYB 'lar arasından seçilmiştir. Aşağıda verilen malzeme ve karışım oranları söz konusu çalışmada kullanılan malzemelerle benzer olacak şekilde seçilmiştir.

Tüm karışımlarda yayılma değerleri ve s/ç oranı sırasıyla 650±20 mm ve 0,40 olarak sabit tutulmuştur. İstenilen yayılma değerinin sağlanması için, yüksek oranda tek tip polikarboksilat-eter esaslı (ARG HA 7151) su azaltıcı katkı kullanılmıştır.

Sertleşmiş hal özelliklerini araştırmak için, 10x10x10 cm boyutuna sahip hem lifli hem de lifsiz karışımlardan küp numuneleri üretilerek, betonarme hesaplarda dikkate alınan dayanım değerine ulaşıncaya kadar kirece doygun suda kürlendikten sonra basınç deneyi uygulanmıştır. Eğilme ve kesme davranışlarını incelemek için 8 farklı a/d oranına sahip betonarme kirişler, betonarme hesaplarda dikkate alınan dayanım değerine ulaşıncaya kadar kirece doygun suda kürlendikten sonra eğilme testi cihazında dört noktalı yükleme yöntemiyle test edilmiştir.

3.2. Kullanılan Malzemeler ve Karışım Oranları

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşenleri ve fiziksel özellikleri ile beraber 1m³ beton üretilmesi için gerekli malzeme miktarları verilmiştir.

3.2.1. Çimento

Deneysel çalışmada, TS EN 197-1 standardına uygun özgül ağırlığı ve özgül yüzeyi sırasıyla 3,15 gr/cm³ ve 3530 cm²/gr olan Bursa Çimento Fabrikası tarafından üretilmiş CEM I 42,5R tipi çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri, üretici firma tarafından temin edilmiş ve Çizelge 3.1’de, fiziksel ve mekanik özellikleri ise Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal özellikleri

Oksit (%)	Çimento
SiO ₂	18,81
Al ₂ O ₃	5,71
Fe ₂ O ₃	3,09
CaO	62,70
MgO	1,16
SO ₃	2,39
Na ₂ O+0,658 K ₂ O	0,92
Cl ⁻	0,01
Çözünmeyen kalıntı	0,32
Kızdırma kaybı	3,20
Serbest Cao	1,26

*TS EN 197-1’e göre SO₃ ≤ %3,5 ve Cl⁻ ≤ 0,01 omladır.

Çizelge 3.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel özellikler		CEM I 42.5R
Özgül ağırlık (gr/cm ³)		3,15
Mekanik özellikler		
Basınç dayanımı (MPa)	1-günlük	14,7
	2-günlük*	26,80
	7-günlük	49,80
	28-günlük*	58,5
İncelik		
Özgül yüzey (Blain, cm ² /gr)		3530
0,045 mm elekte kalıntı (%)		7,60

*TS EN 197-1'e göre, CEM I 42,R tipi çimentonun iki günlük basınç dayanımı ≥ 20 MPa ve yirmi sekiz günlük basınç dayanımı $\geq 42,5$ MPa olmalıdır.

3.2.2. Agregası

KYB karışımlarında kullanılan agrega Bursa Beton firmasından temin edilmiş olup 0-5 mm ince ve 5-12 mm olan orta kırma kireçtaşı olmak üzere iki çeşittir. KYB karışımlarında, toplam agrega hacminin %65'i kadar 4-12 mm (orta agrega) ve %35'i kadar 0-4 mm boyutunda ince agrega kullanılmıştır.

3.2.3. Kimyasal katkı

KYB karışımlarında istenilen çökme-yayıma değerlerini sağlanması için yüksek oranda su azaltıcı tek tip polikarboksilat-eter esaslı (ARG HA 7151) katkı kullanılmıştır. Kullanılan katkı Polisan Kimya firması tarafından temin edilmiştir. Çizelge 3.3'te kullanılan kimyasal katkının, üretici firma tarafından verilen bazı özellikler verilmiştir.

Çizelge 3.3. Kimyasal katkıya ait özellikler

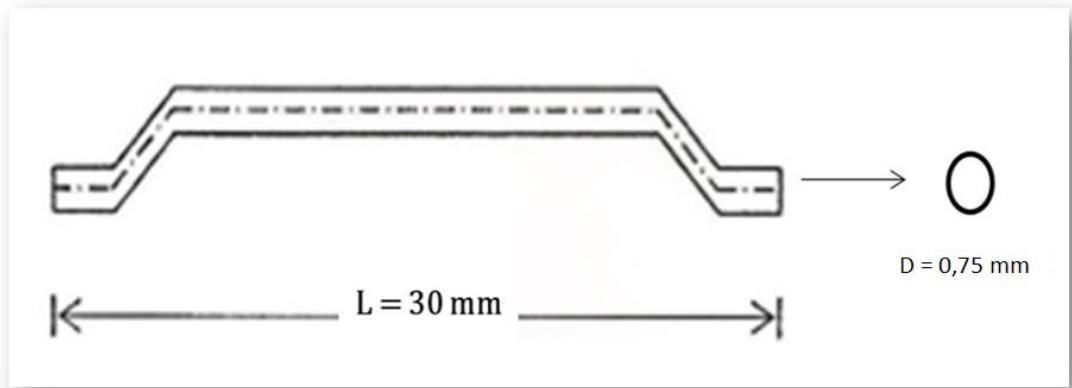
Tip	Yoğunluk (gr/cm ³)	PH değeri	Klorür içeriği (%)	Alkali miktarı Na ₂ O (%)
Polikarboksilat eter esaslı	1,095	4,6	<0,1	<10

3.2.4. Çelik lif

Lifli karışımda boy/çap (30 mm/0,75 mm) olan iki ucu kancalı çelik lif kullanılmıştır. Lifli karışımda lif kullanım oranı, toplam karışım hacminin %0,6'sı kadar seçilmiştir. Üretici firma tarafından kullanılan çelik lifin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.4'te görünümü ise Şekil 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Çelik liflerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Tip	Narinlik oranı	Uzunluk (mm)	Çap (mm)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Çekme dayanımı (N/mm ²)
30/0,75	40	30	0,75	7,8	1200



Şekil 3.1. Kullanılan iki ucu kancalı çelik lifin görünümü

3.2.5. Su

Beton üretiminde içme şebeke suyu kullanılmıştır.

3.2.6. KYB karışım oranlarının belirlenmesi

Çalışma kapsamında lifsiz kontrol karışıma ilaveten lifli KYB karışımı da üretilmiştir. Daha önce de anlatıldığı gibi, çelik lifli karışımda lif kullanım oranı toplam hacmin %0,6'sı kadar seçilmiştir. Her iki karışımda s/ç oranı, yayılma değerleri ve çimento dozajı sırasıyla, 0,40, 65±2 cm ve 480 kg/m³ olarak sabit tutulmuştur. İstenilen çökme yayılma değerini (65±2 cm)'yi elde edebilmek için farklı ve yüksek oranda su azaltıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Çizelge 3.5'te 1m³ KYB karışımı için malzeme miktarları verilmiştir. Karışımların isimlendirmeleri lifsiz karışım "LS" ile gösterilirken, lifli karışım ise "LL" ile gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. 1m³ KYB karışımı için malzeme miktarları

Karışım kodu	Çimento (kg)	Su (kg)	Agrega (kg)		Lif (kg)	KK* (kg)	Yayılma (cm)	BHA* (gr/cm ³)
			0-5 mm	4-12 mm	30 mm			
LS	480	192	1097	597	0	4,5	63	2,435
LL	480	192	1087	592	46,8	4,67	64	2,460

BHA*: Birim Hacim Ağırlığı; **KK*:** Kimyasal Katkı

Çizelge 3.5'ten de anlaşıldığı üzere, lif ilavesiyle istenilen yayılma değerini (65±2 cm)'yi sağlamak için katkı gereksinimi artmıştır. Lifli karışımda lifsiz karışıma göre BHA değerinde artış görülmüştür. Lif içeren karışımda, lif agregaya yerine hacimce kullanılmıştır. Kullanılan çelik lifin özgül ağırlığı agregaya göre yaklaşık üç kat daha fazla olmasından dolayı karışımlarda BHA artışı beklenen bir durumdur.

3.3. Deney Kirişlerinin Özellikleri

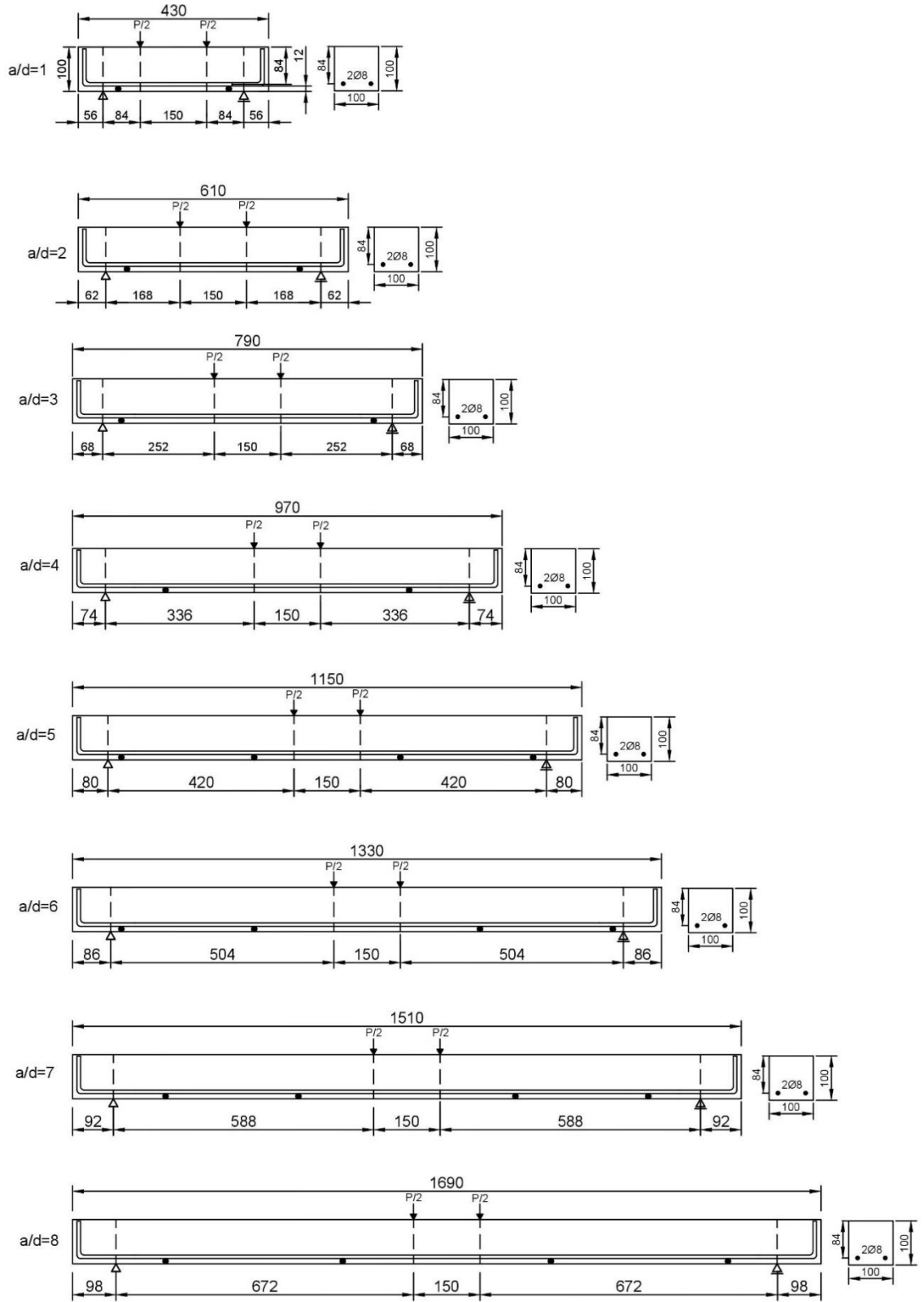
Çalışmada, tek donatılı kirişler incelenmiştir. Donatı oranı tüm kirişlerde çekme kırılması oluşacak şekilde 0,012 seçilmiştir (2ø8). Seçilen bu oran TS 500'deki maksimum çekme donatısı oranı sınırının (0,02)'nin ve kesit için hesaplanan dengeli donatı oranı ρ_b 'nin %85'inin altında kalmıştır.

Kirişlerin eğilme ve kesme davranışlarını incelenmesi için farklı a/d oranları seçilerek eğilme testi altında test edilmiştir. Test edilen kirişlerin a/d oranları 1'den 8'e kadar seçilmiştir. En uzun kiriş 169 cm, en kısa kiriş ise 43 cm olarak seçilmiştir. En kesit boyutları, bütün lifli ve lifsiz kirişlerde sabit tutularak 10x10 cm olarak seçilmiştir. Tüm kirişlerin referans numaraları, uzunluğu, a/d oranları ve çekme donatıları Çizelge 3.6'da ve donatı yerleşimleri ise Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Deney kirişlerinin geometrik özellikleri

Deney Elemanı	L (mm)	a (mm)	d (mm)	a/d	Lif Narinlik Oranı (Boy/Çap)	Çekme Donatısı (mm)
LS-1	430	84	84	1	0	2ø8
LS-2	610	168	84	2	0	2ø8
LS-3	790	252	84	3	0	2ø8
LS-4	970	336	84	4	0	2ø8
LS-5	1150	420	84	5	0	2ø8
LS-6	1330	504	84	6	0	2ø8
LS-7	1510	588	84	7	0	2ø8
LS-8	1690	672	84	8	0	2ø8
LL-1	430	84	84	1	40	2ø8
LL-2	610	168	84	2	40	2ø8
LL-3	790	252	84	3	40	2ø8
LL-4	970	336	84	4	40	2ø8
LL-5	1150	420	84	5	40	2ø8
LL-6	1330	504	84	6	40	2ø8
LL-7	1510	588	84	7	40	2ø8
LL-8	1690	672	84	8	40	2ø8

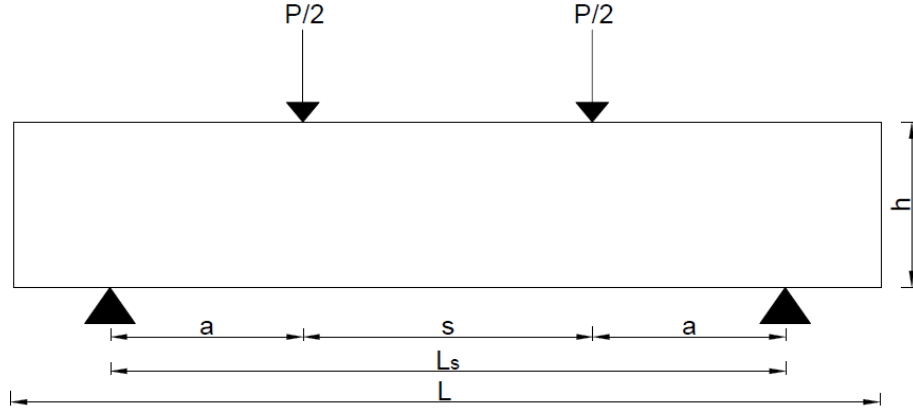
***LS: Lifsiz; LL: Lifli



Şekil 3.2. Kirişlerin geometrik özellikleri ve kalıpların içinde donatıların yerleştirilmesi

3.4. Deney Kirişlerinin Statik Yükler Altında Taşıma Gücü Hesap Esasları

Farklı a/d oranına sahip 10x10 cm en kesitli çelik lifli ve aynı boyutlarda çelik lifsiz olmak üzere toplam 16 kiriş üretilmiştir. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi kiriş elemanlar basit eğilme oluşacak biçimde statik olarak iki noktadan yüklenmiştir.



Şekil 3.3. Dört noktalı eğilme altındaki kirişin şematik çizimi

Burada; P yük, h kiriş yüksekliği, a kesme açıklığı, s iki yük arasındaki mesafe, L_s iki mesnet arasındaki mesafe, L ise tüm kiriş uzunluğudur.

Kirişlerin taşıma gücü hesabı için ilk olarak kesitin güç tükenme momentini denklem 3.1'den hesaplanmıştır.

$$M_u = A_s \cdot f_y \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad (3.1)$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b} \quad (3.2)$$

Burada; A_s donatı alanı, f_y donatının minimum akma dayanımı, d faydalı yükseklik, f_c betonun basınç dayanımı, b kiriş gövde genişliği olarak tanımlanır.

İkinci olarak kirişin MNT diyagramı çizilerek maksimum moment belirlenmiştir. Daha sonra alttaki eşitlikleri kullanılarak kırılma yükünü hesaplanmıştır.

$$M_d \leq M_{u,r} \quad (3.3)$$

$$M_d = P_u \cdot a \quad (3.4)$$

$$P_u = \frac{M_d}{a} \quad (3.5)$$

Burada; M_d tasarım moment, $M_{u,r}$ kırılma anındaki moment (kesit taşıma gücü moment), a kesme açıklığı, P_u ise kırılma anındaki kuvvettir.

Betonarme kirişin çekme kırılmasına göre tasarımı

Deney kirişleri tasarlanırken ilk olarak TBDY 2018’de verilmiş minimum boyuna donatı oranı dikkate alınmıştır. Seçilen beton/donatı sınıfı, C50/ S420 olarak dikkate alınmıştır.

$$\rho_{min} = 0,8 \cdot \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (3.6)$$

Bu eşitliğe göre minimum boyuna donatı oranı;

$$\rho_{min} = 0,8 \cdot \frac{1,66}{365} = 0,00364 \quad (3.7)$$

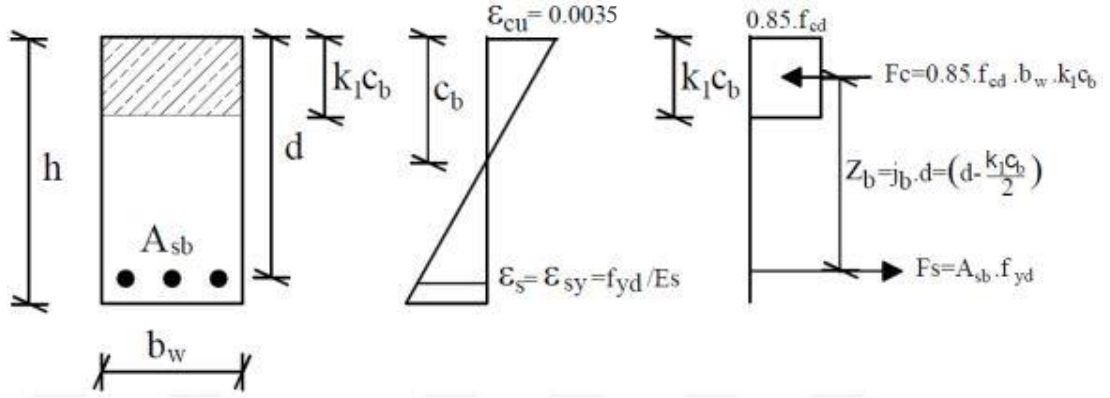
olarak bulunmuştur.

Kiriş kesitlerinin sünek bir davranış gösterebilmesi için boyuna donatının sınırlandırılması da gerekmektedir. Bu amaçla TS 500 ve TBDY 2018’de kirişlerde kullanılabilen maksimum donatı oranları da verilmiştir.

$$\rho_{maks} = 0,85 \cdot \rho_b \quad (3.8)$$

$$\rho_{maks} = 0,02 \quad (3.9)$$

3.8’deki eşitlikte ρ_b değerinin bulunması gerekmektedir (Şekil 3.4)



Şekil 3.4. Denge donatı oranının bulunması

Şekil 3.4'teki denge denklemlerinden;

$$\Sigma F = 0; \quad F_c = F_s \quad (3.10)$$

$$0,85 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot k_1 \cdot c_b = A_{sb} \cdot f_{yd} \quad (3.11)$$

$$\Sigma M = 0; \quad M_{rb} = F_s \cdot \left(d - \frac{k_1 \cdot c_b}{2} \right) \quad (3.12)$$

$$M_{rb} = A_{sb} \cdot f_{yd} \cdot \left(d - \frac{k_1 \cdot c_b}{2} \right) \quad (3.13)$$

Üçgenlerin benzerliğinden yararlanılarak aşağıdaki uygunluk denklemi yazılabilir;

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,0035}{0,0035 + \varepsilon_{sy}} \quad (3.14)$$

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,0035}{0,0035 + \frac{f_{yd}}{E_s}} \quad (3.15)$$

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,0035 \cdot E_s}{0,0035 \cdot E_s + f_{yd}} \quad (3.16)$$

TS 500'de tüm donatı sınıfları için $E_s = 2 \times 10^5$ MPa olduğundan bu uygunluk denklemini aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,0035.2 \times 10^5}{0,0035.2 \times 10^5 + f_{yd}} \quad (3.17)$$

$$\frac{c_b}{d} = \frac{700}{700 + f_{yd}} \quad (3.18)$$

Dengeli donatı oranı aşağıdaki eşitlik ile belirlenebilir;

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w \cdot d} \quad (3.19)$$

Dengeli durumdaki donatı alanı (A_{sb}) 3.11 eşitliğinden çekilip 3.19'da yerine yazılırsa;

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w \cdot d} = \frac{0,85 \cdot f_{cd} \cdot k_1 \cdot c_b}{f_{yd} \cdot d} \quad (3.20)$$

3.20'deki eşitlikte c_b/d yerine 3.16'daki eşitlik konulduğunda, 3.21 eşitlik elde edilmektedir;

$$\rho_b = 0,85 \cdot k_1 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \frac{0,0035 \cdot E_s}{E_s \cdot 0,0035 + f_{yd}} \quad (3.21)$$

Yine E_s yerine 2×10^5 MPa konulursa tek donatılı dikdörtgen kesitlerin dengeli donatı oranı için alttaki eşitlik elde edilir;

$$\rho_b = 0,85 \cdot k_1 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \frac{700}{700 + f_{yd}} \quad (3.22)$$

Deney kirişlerinde C50 beton sınıfı ve S420 donatı sınıfı kullanılacaktır.

Eşitlik 3.19’da k_1 , f_{cd} , f_{yd} ve E_s yerlerine değerleri yazıldığında C50/S420 için dengeli donatı oranı; $\rho_b = 0,0295$ olarak bulunmaktadır.

ρ_b değeri 3.8’deki eşitlikte yerine yazılırsa, $\rho_{maks} = 0,0235$ olarak bulunur. Aynı durumda; f_{ctd} ve f_{yd} ’nin değerleri eşitlik 3.6’da yerine yazıldığında $\rho_{min} = 0,0032$ olarak bulunmaktadır.

Bu işlemlerin sonucunda, deney kirişlerinde kullanılacak olan donatı oranının ρ_{maks} ve ρ_{min} değerleri arasında olmalıdır.

$$\rho_{min} = 0,0032 < \rho < \rho_{maks} = 0,0235 \quad (3.23)$$

Betonarme kiriş deneylerinde $2\phi 8$ boyuna donatı kullanıldığında;

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{100,53}{(100)(84)} = 0,012 \quad (3.24)$$

olarak bulunmaktadır. Bu değer ρ_{maks} ve ρ_{min} değerleri arasında gelecek kiriş numuneleri için $2\phi 8$ boyuna donatı kullanılmıştır.

C50 beton ve S420 çeliği için, betonarme hesap adımları çekme kırılması esas alınarak hesaplanmış olup, kirişlere ait özellikleri ve teorik kırılma yükleri toplu olarak Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Deney kirişlerine ait teorik kırılma yükleri

Deney Elemanı	L (mm)	a/d	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü p_u (kN)
LS-1	430	1	$2\phi 8$	79,52
LS-2	610	2	$2\phi 8$	39,76
LS-3	790	3	$2\phi 8$	26,50
LS-4	970	4	$2\phi 8$	19,88

Deney Elemanı	L (mm)	a/d	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü p_u (kN)
LS-5	1150	5	2ø8	15,90
LS-6	1330	6	2ø8	13,25
LS-7	1510	7	2ø8	11,36
LS-8	1690	8	2ø8	9,94
LL-1	430	1	2ø8	79,52
LL-2	610	2	2ø8	39,76
LL-3	790	3	2ø8	26,50
LL-4	970	4	2ø8	19,88
LL-5	1150	5	2ø8	15,90
LL-6	1330	6	2ø8	13,25
LL-7	1510	7	2ø8	11,36
LL-8	1690	8	2ø8	9,94

*Çelik lifin beton için sağladığı katkı hesaplamalarda ihmal edilmiştir.

3.5. Deney Kirişlerinin Üretilmesi

Kiriş kalıpları 18 mm kalınlığındaki plywoodtan üretilmiştir. Deney kirişlerinde 2ø8 boyuna donatı kullanılmıştır. Kiriş kesitlerinde boyuna donatıların merkezinden kiriş alt yüzeyine 16 mm paspayı olacak şekilde imalat yapılmıştır. Deney kirişlerine ait boyuna donatılarının hazırlanmasından sonra kalıbın içine yerleştirilmiştir. Hazırlanmış olan kalıplar, donatılar ve donatıların kalıp içine yerleşimi Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. a) Hazırlanmış olan kalıplar ve donatılar, b) Donatıların kalıpların içerisinde yerleşimi

KYB karışımlarının üretilmesinde Pan tipi beton mikseri kullanılmıştır. Bu mikser tipi Şekil 3.6'da görüldüğü gibi makinenin alt bölümünde dönerek karışan bir kazan ve üst kısmında ise sabit karıştırıcı sistem mekanizmalarından oluşmaktadır.



Şekil 3.6. Pan tipi beton mikseri

Hazırlanan KYB karışımlarına ait beton basınç dayanımlarını belirlemek hedefiyle 15 adet lifsiz karışımdan, 15 adet ise lifli karışımdan 100x100x100 mm'lik küp numune alınmıştır.

Dökümü tamamlanan kirişler kalıptan çıkarılıncaya kadar su kaybını önlemek amacıyla ıslak kağıtları üzerine koyarak korunmuştur (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Döküm sonrası deney kirişler

Kirişler kalıptan çıkarıldıktan sonra test gününe kadar kirece doygun su dolu kür havuzunda bekletilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Kür havuzunda kürlenen kirişler

Deney günü kür havuzundan çıkarılan kirişler güneş altında kurutulmuştur. Kuruduktan sonra, çatlakların daha rahat görünebilmesi için kirişler su bazlı beyaz boya ile boyanmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Kür havuzundan çıkarılan kirişlerin boyanması

3.6. Deney Kirişlerinde Kullanılan Lifsiz ve Lifli Betonun Basınç Dayanımları

KYB'li betonarme kirişlerde kullanılan betonun basınç dayanımları 300 kN kapasiteli beton presi ile elde edilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Beton test presi ve test edilmiş küp numuneler

Çalışmada, her bir karışım için (lifsiz ve lifli) 15 adet 10x10x10 cm boyutlarına sahip küp numuneler üretilmiştir. Kirişlerle aynı havuzda kürlenmiş lifli ve lifsiz küp numuneler, amaç dayanımını kazanana kadar belirli günlerde üçer numune test edilerek ortalama basınç dayanımları Çizelge 3.8’de, 15x30 cm silindire çevrilmiş değerleri ise Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.8. Lifsiz ve lifli karışımlardan üretilen küp numunelerin ortalama basınç dayanımları

Tip	3 günlük basınç dayanımı (MPa)	5 günlük basınç dayanımı (MPa)	7 günlük basınç dayanımı (MPa)	14 günlük basınç dayanımı (MPa)
Lifsiz	56,75	63,31	64,18	67,12
Lifli	51,26	61,76	64,1	67,45

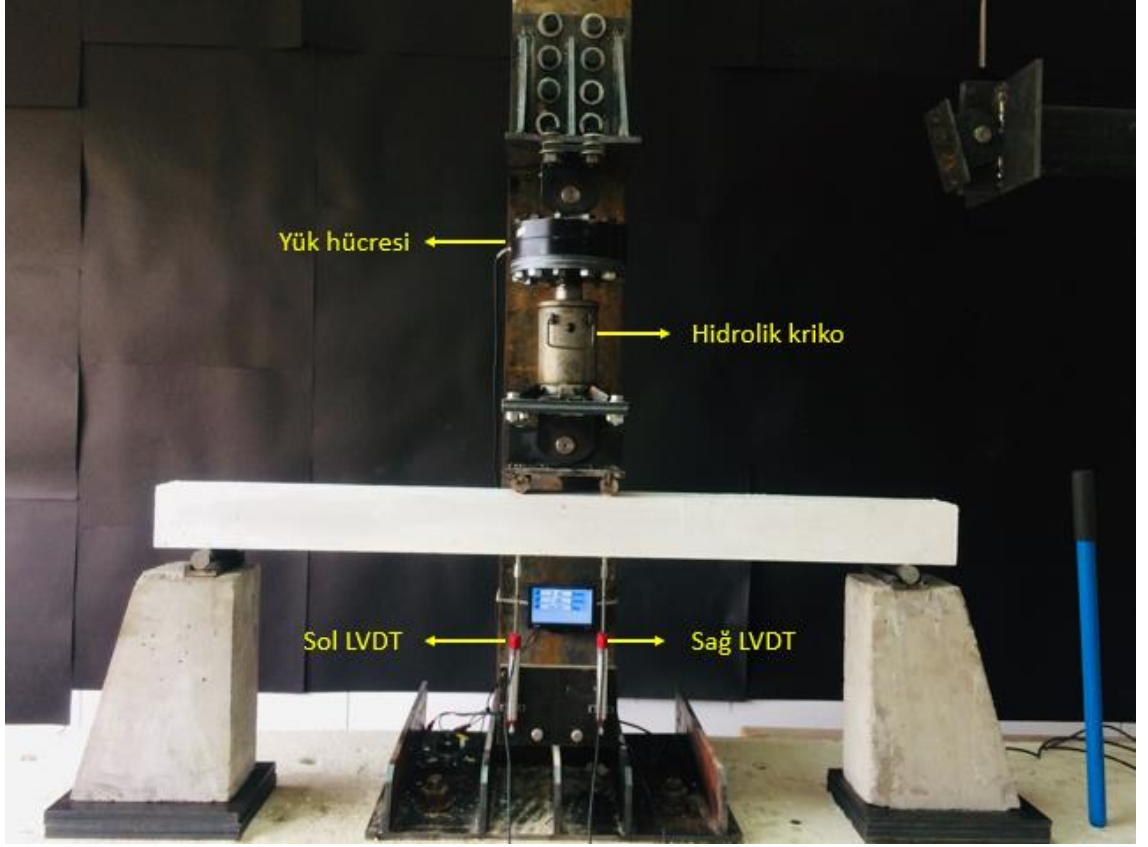
Çizelge 3.9. Küp dayanımlarının silindire çevrilmiş hali

Tip	3 günlük basınç dayanımı (MPa)	5 günlük basınç dayanımı (MPa)	7 günlük basınç dayanımı (MPa)	14 günlük basınç dayanımı (MPa)
Lifsiz	46,2	50,64	50,49	53,70
Lifli	41	49,40	49,41	52,54

3.7. Deney Düzenegi

Kirişlerin eğilme deneyleri, Bursa Uludağ Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında bulunan dört noktalı eğilme testi cihazı ile yapılmıştır (Şekil 3.11). Aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi çelikten yapılan güçlü kolona bir adet 150 kN yük kapasiteli hidrolik kriko ve uygulanan yükü ölçebilmek için krikonun ucuna yük hücresi yerleştirilmiştir.

Numunenin yapacağı düşey deplasmanları ölçebilmek için tekil yüklerin uygulandığı noktalar altına iki tane 100 mm kapasiteli yaylı potansiyometrik cetvel (LVDT) yerleştirilmiştir. Yük için çelik dolu iki silindir vasıtasıyla tekil olarak kirişe uygulanmaktadır.



Şekil 3.11. Kiriş eğilme deney düzeneği

Yük hücresi ve potansiyometrik cetveller bir veri toplama aletine bağlanmaktadır. Deplasman ve yük değerleri, önce aygıt geçidi ismi verilen başka bir alete aktarılmakta, son olarak da bilgisayarda depolanmaktadır. Bilgisayara aktarılan bu veriler, bir program vasıtasıyla bilgisayar ekranında görülebilmekte ve deneyle aynı zamanlı olarak yük-deplasman grafikleri çizilebilmektedir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu bölümde her bir kiriş numunesine ait deneysel sonuçlar verilmiştir. Her kiriş numunesi için yük-deplasman grafikleri çizilmiştir. Deneysel kirişlerde gelişen çatlaklar ve göçme şekilleri anlatım sırasında detaylı bir şekilde sunularak karşılaştırılması yapılmıştır.

Deneysel yapılan kirişler iki grupta incelenmiştir. Birinci grupta lifsiz betonarme kirişlerin davranışları, ikinci grupta lifli betonarme kirişlerin davranışları incelenmiştir.

4.1. Lifsiz Kirişlerin Eğilme ve Kesme Davranışlarının İncelenmesi

Lifin eğilme ve kesmeye etkisini araştırmak üzere öncelikle lifsiz kirişlerin eğilme ve kesme davranışlarını incelenmiştir.

4.1.1. LS-1 ($a/d=1$)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifsiz KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deneysel kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.1'dedir.



Şekil 4.1. LS-1 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 22,82 kN yük altında kirişin orta ve sağ bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 0,43 mm ve 0,50 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %26'sı kadardır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. LS-1 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Bu kirişte akma gözlemlenmemiş. Kiriş kesme altında kırılarak taşıma gücüne ulaşmıştır. Kirişe uygulanan yük artışı ile çatlaklar mesnetten yükün uyguladığı noktaya ilerleyerek eğik çatlaklara dönüşmüş ve kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 87,65 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 3,26 mm ve 2,94 mm olup kiriş kesmeden dolayı göçmüştür (Şekil 4.3).



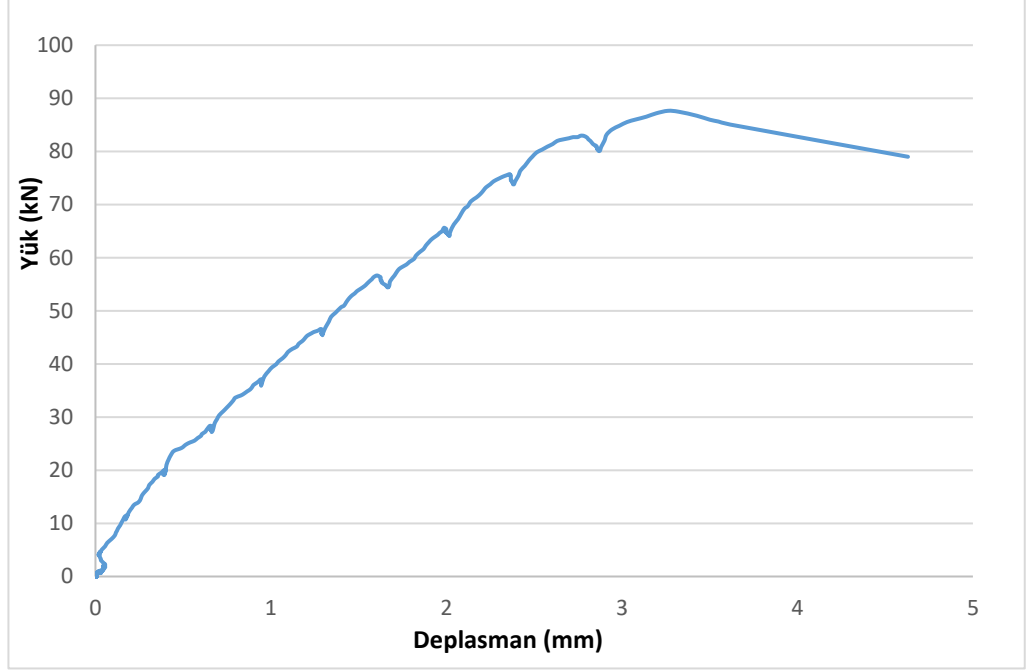
Şekil 4.3. LS-1 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kesme çatlakların genişlikleri ciddi mertebede arttığı için kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş ve deneye son verilmiştir (Şekil 4.4).

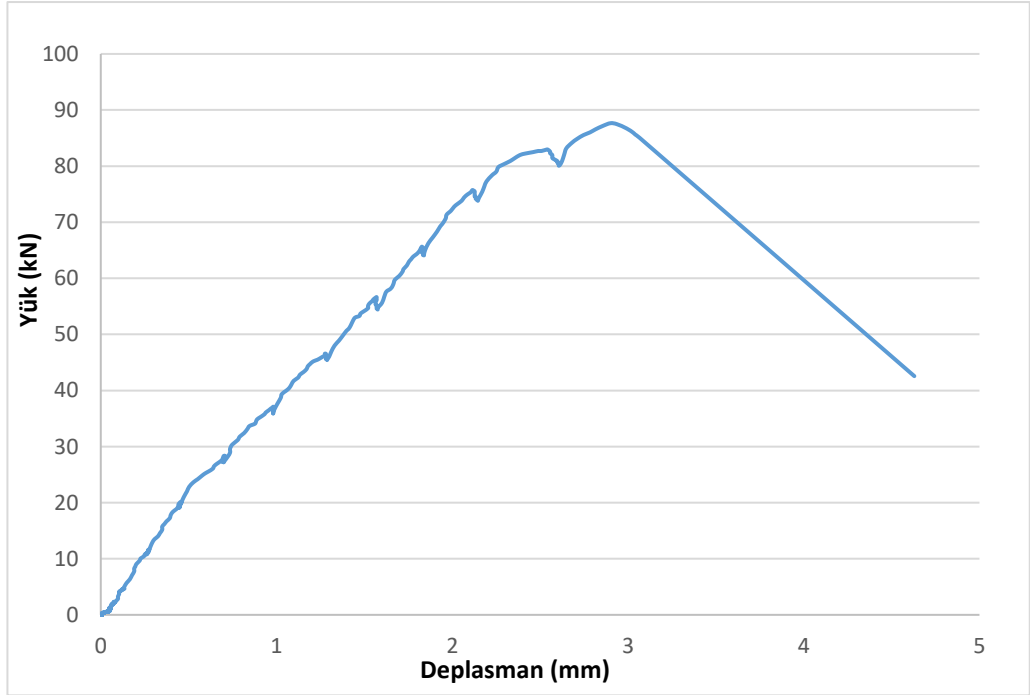


Şekil 4.4. LS-1 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.5-4.6’da verilmiştir.



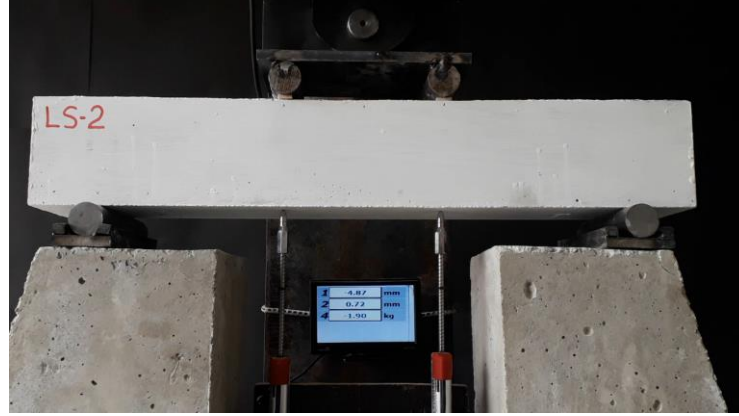
Şekil 4.5. LS-1 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.6. LS-1 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

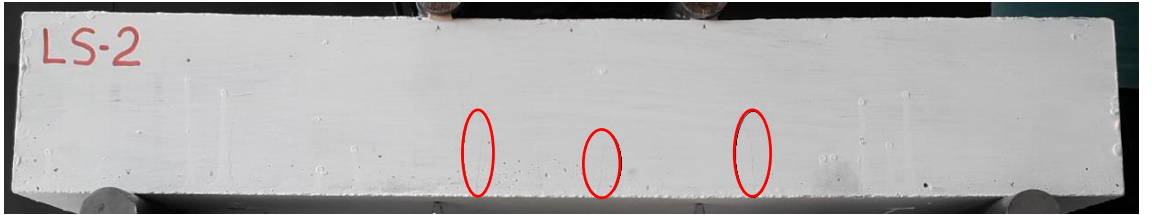
4.1.2. LS-2 (a/d=2)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifsiz KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.7’dir.



Şekil 4.7. LS-2 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 23,79 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT’lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 0,79 mm ve 0,91 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %51’i kadardır (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. LS-2 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Bu kirişte akma gözlemlenmemiş. Kiriş kesme altında kırılarak taşıma gücüne ulaşmıştır. Kirişe uygulanan yük artışı ile uzun bir kesme çatlağı mesnetten yükün uyguladığı noktaya eğik olarak ilerleyerek kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 46,82 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen

deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 4 mm ve 3 mm olup kiriş kesmeden dolayı göçmüştür (Şekil 4.9).



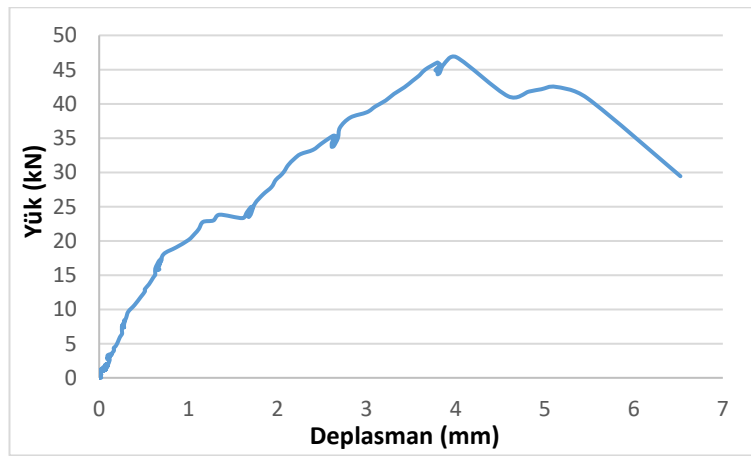
Şekil 4.9. LS-2 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kesme çatlağının genişliği ciddi mertebede arttığı için kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş ve deneye son verilmiştir (Şekil 4.10).

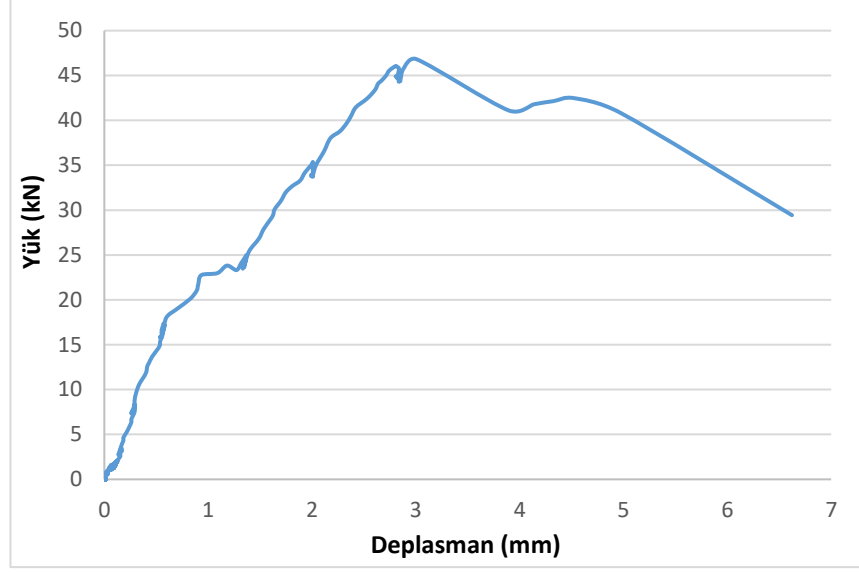


Şekil 4.10. LS-2 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.11-4.12'de verilmiştir.



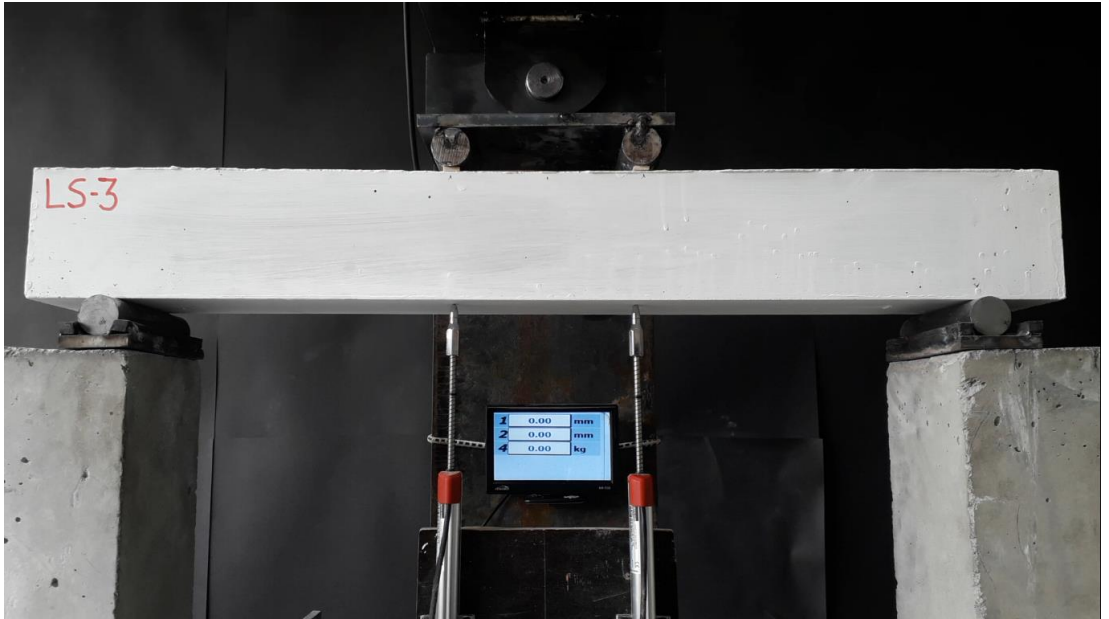
Şekil 4.11. LS-2 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.12. LS-2 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

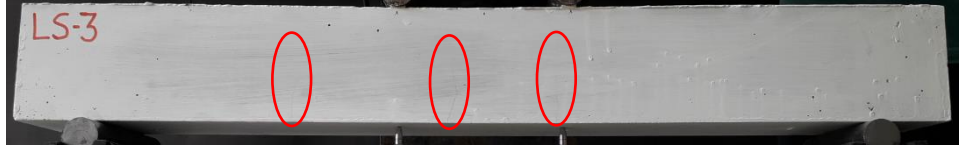
4.1.3. LS-3 (a/d=3)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifsiz KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.13'tedir.



Şekil 4.13. LS-3 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 13,73 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 1,48 mm ve 1,58 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %46'sı kadardır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. LS-3 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Bu kirişte akma gözlemlenmemiş. Kiriş kesme altında kırılarak taşıma gücüne ulaşmıştır. Kirişe uygulanan yük artışı ile çatlaklar mesnetten yükün uyguladığı noktaya ilerleyerek eğik çatlaklara dönüşmüş ve kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 29,83 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 4,91 mm ve 4,29 mm olup kiriş kesmeden dolayı göçmüştür (Şekil 4.15).



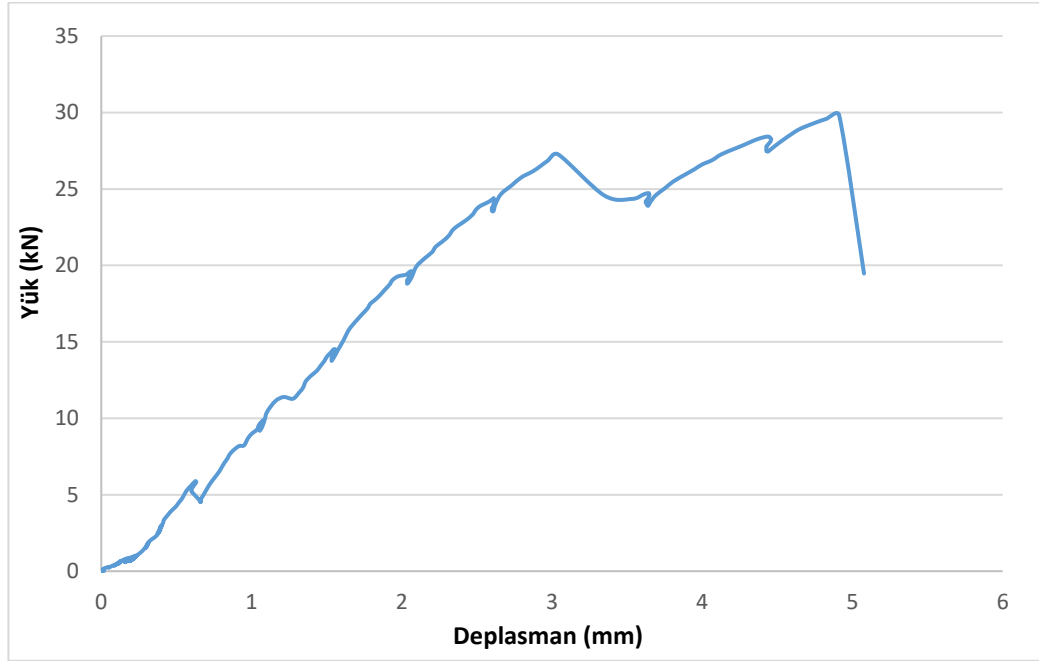
Şekil 4.15. LS-3 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kesme çatlaklarının genişlikleri ciddi mertebede arttığı için kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş ve deneye son verilmiştir (Şekil 4.16).

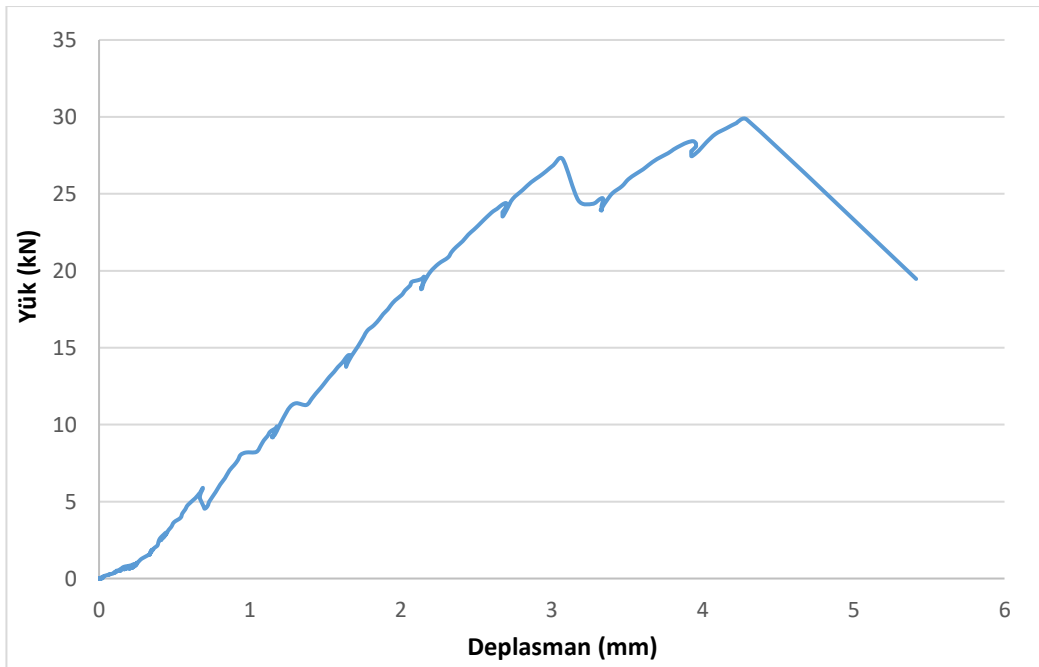


Şekil 4.16. LS-3 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.17-4.18’de verilmiştir.



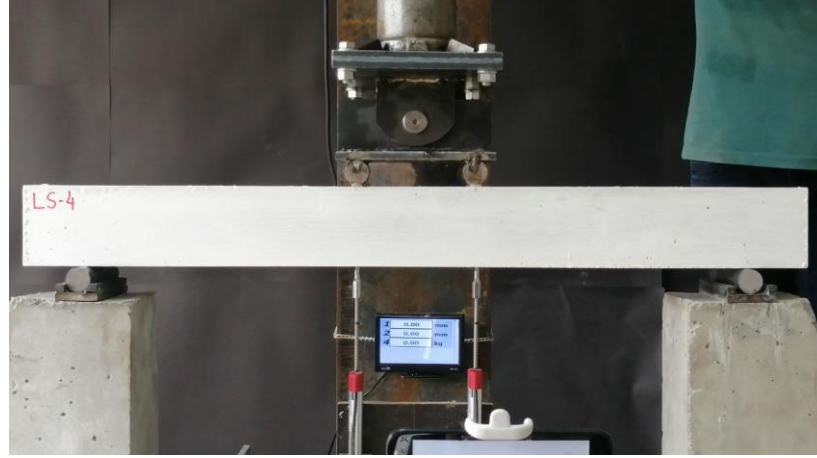
Şekil 4.17. LS-3 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.18. LS-3 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

4.1.4. LS-4 (a/d=4)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifsiz KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.19'dadır.



Şekil 4.19. LS-4 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 7,88 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 1,11 mm ve 1,12 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %35'i kadardır (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. LS-4 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Bu kirişte akma gözlemlenmemiş. Kiriş kesme altında kırılarak taşıma gücüne ulaşmıştır. Kirişe uygulanan yük artışı ile çatlaklar mesnetten yükün uyguladığı noktaya ilerleyerek eğik çatlaklara dönüşmüş ve kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 22,36 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen

deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 4,02 mm ve 4,18 mm olup kiriş kesmeden dolayı göçmüştür (Şekil 4.21).



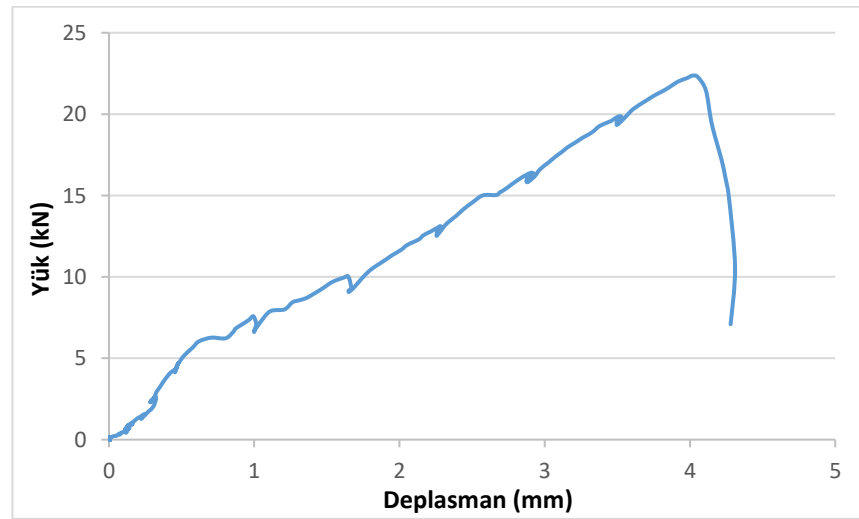
Şekil 4.21. LS-4 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kesme çatlakların genişlikleri ciddi mertebede arttığı için kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş ve deneye son verilmiştir (Şekil 4.22).

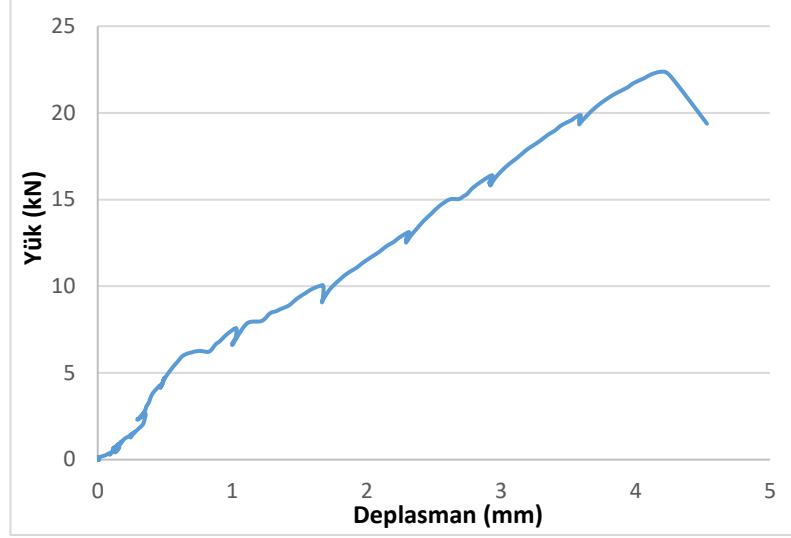


Şekil 4.22. LS-4 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.23-4.24'te verilmiştir.



Şekil 4.23. LS-4 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.24. LS-4 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

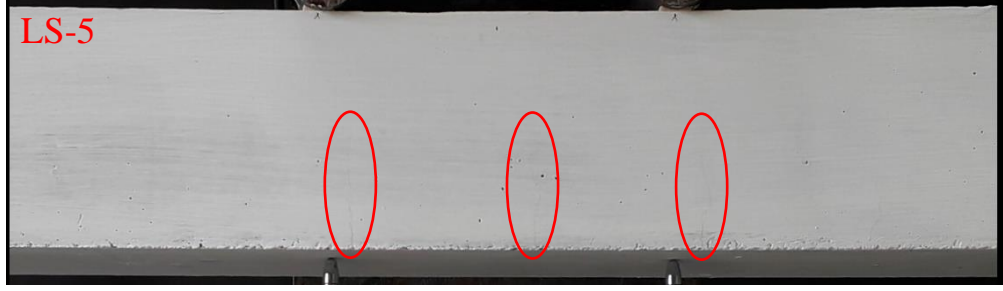
4.1.5. LS-5 (a/d=5)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifsiz KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.25'tedir.



Şekil 4.25. LS-5 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 7,33 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 1,74 mm ve 1,73 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %36'sı kadardır (Şekil 4.26).



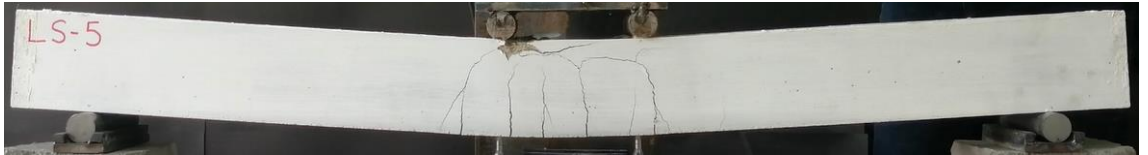
Şekil 4.26. LS-5 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Kiriş 18,31 kN yük altında akma noktasına sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 5,35 mm ve 5,33 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.27).



Şekil.4.27. LS-5 kirişinin akma anındaki durumu

Kirişe uygulanan yük artışı ile kirişin orta bölgesinde eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu eğilme çatlakları basınç bölgesine doğru ilerleyerek kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. İki tekil yük noktası arasında kirişin üst bölgesinde basınç kaynaklı ezilmeler gözlemlenmiştir. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 20,23 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 24 mm ve 23 mm olup kiriş eğilme kapasitesine ulaşarak eğilmeden göçmüştür (Şekil 4.28).



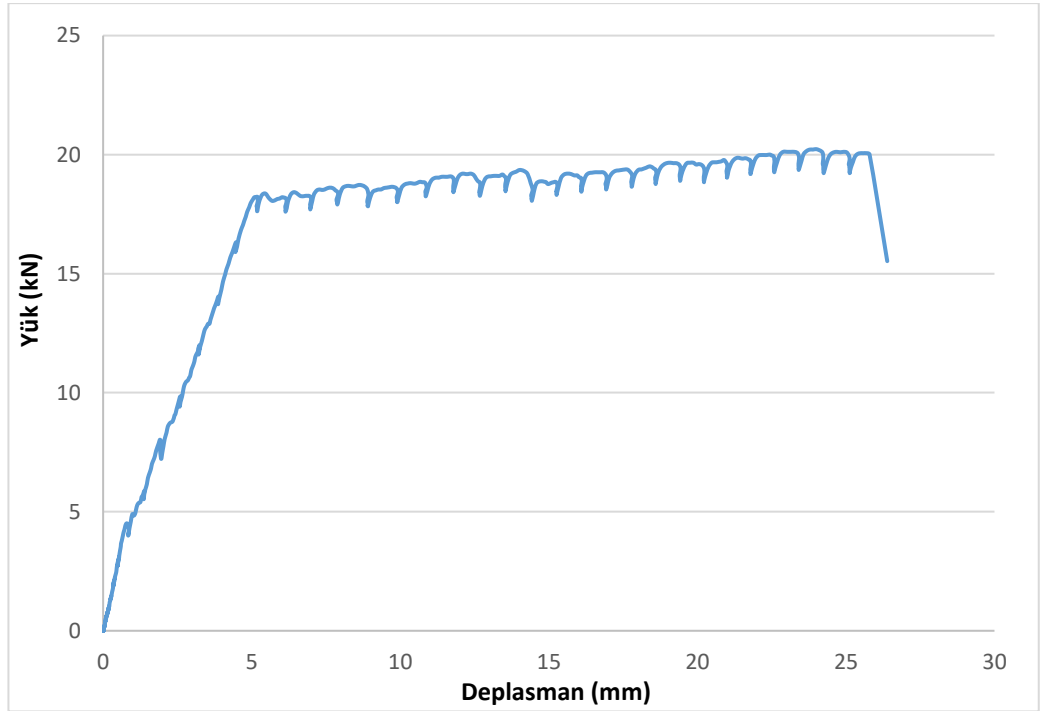
Şekil 4.28. LS-5 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş fakat deplasman sünek bir şekilde davranarak artmaya devam etmiştir. Kiriş 40,91 mm ve 40,22 mm deplasman seviyesine kadar yüklenmiştir. Bu noktada basınç bölgesinde betonun ezilmesi ve belirgin basınç çatlağı oluşmasından dolayı deneye son verilmiştir (Şekil 4.29).

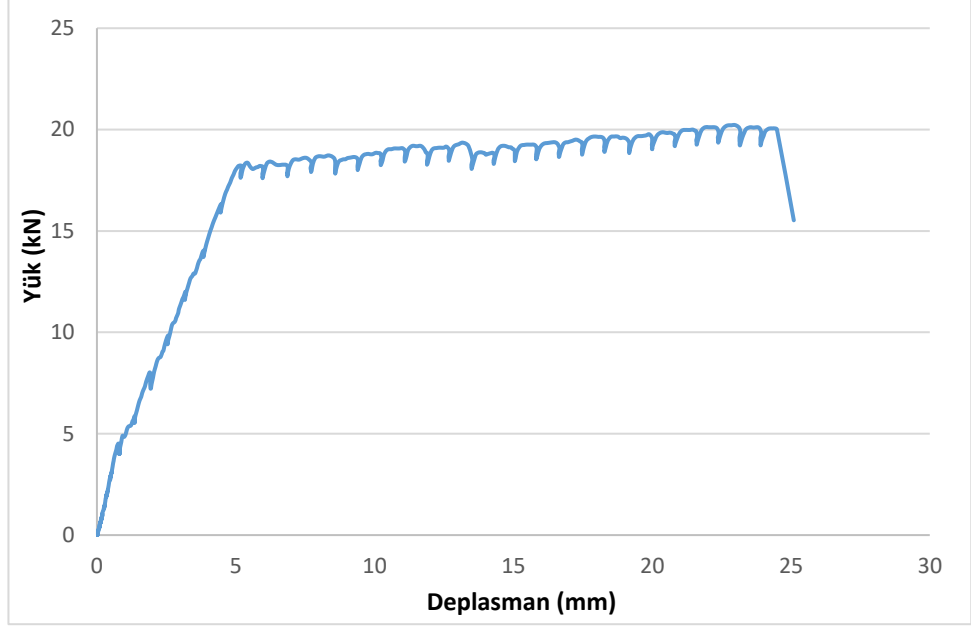


Şekil 4.29. LS-5 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.30-4.31’de verilmiştir.



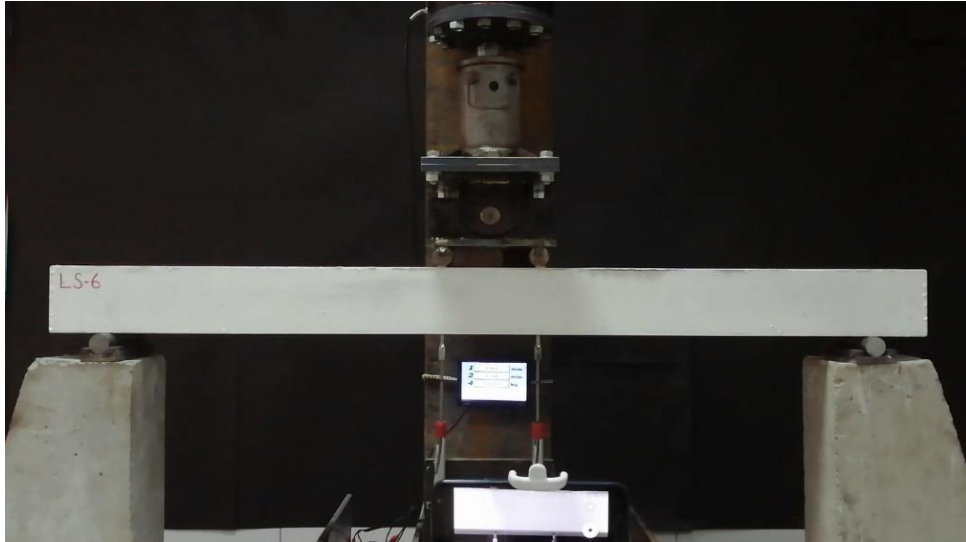
Şekil 4.30. LS-5 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.31. LS-5 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

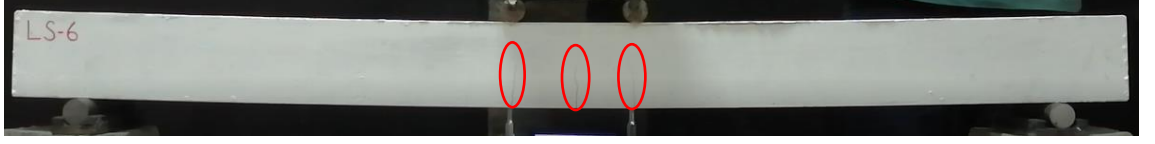
4.1.6. LS-6 (a/d=6)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifsiz KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.32'dedir.



Şekil 4.32. LS-6 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 4,2 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 1,10 mm ve 1,47 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %25'i kadardır (Şekil 4.33).



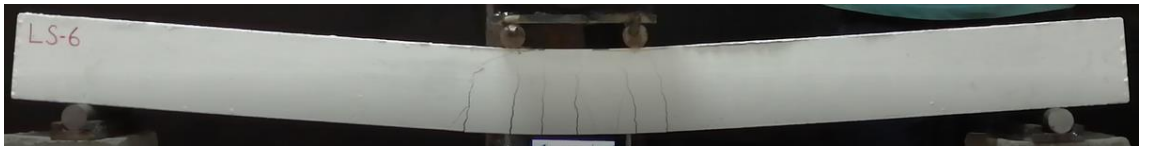
Şekil 4.33. LS-6 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Kiriş 15,43 kN yük altında akma noktasına sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 6,55 mm ve 6,54 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.34).



Şekil.4.34. LS-6 kirişinin akma anındaki durumu

Kirişe uygulanan yük artışı ile kirişin orta bölgesinde eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu eğilme çatlakları basınç bölgesine doğru ilerleyerek kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. İki tekil yük noktası arasında kirişin üst bölgesinde basınç kaynaklı ezilmeler gözlemlenmiştir. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 17,14 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 34,43 mm ve 34 mm olup kiriş eğilme kapasitesine ulaşarak eğilmeden göçmüştür (Şekil 4.35).



Şekil 4.35. LS-6 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

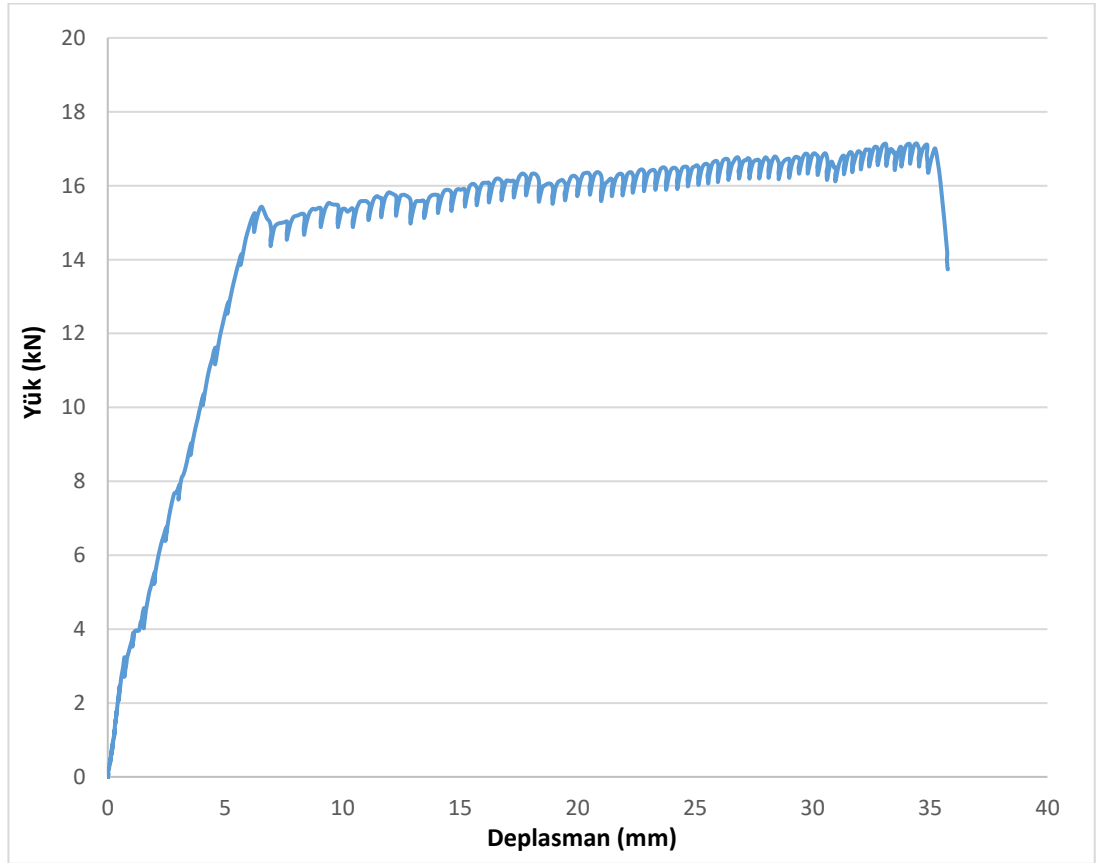
Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş fakat deplasman sünek bir şekilde

davranarak artmaya devam etmiştir. Bu noktada basınç bölgesinde betonun ezilmesi ve belirgin basınç çatlağı oluşmasından dolayı deneye son verilmiştir (Şekil 4.36).

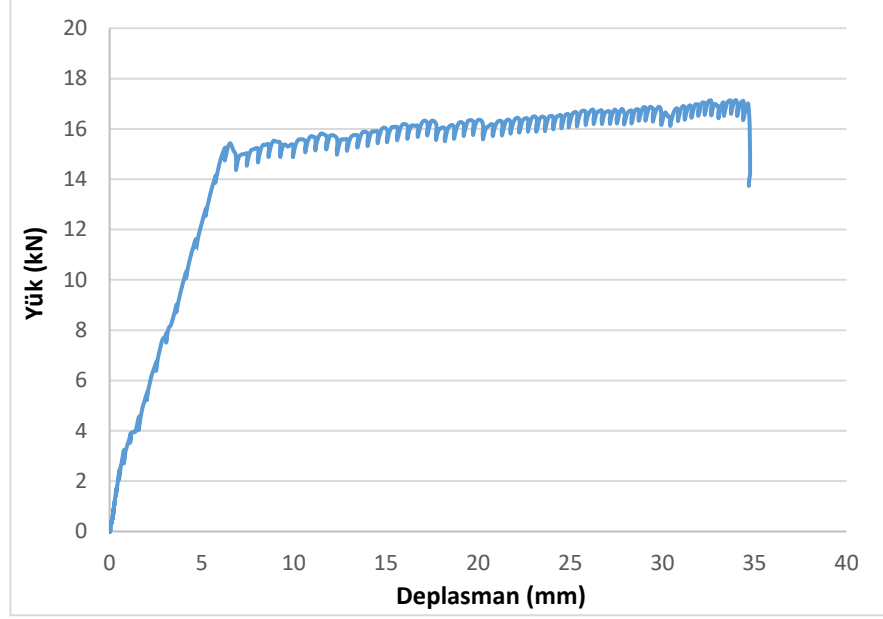


Şekil 4.36. LS-6 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.37-4.38’de verilmiştir.



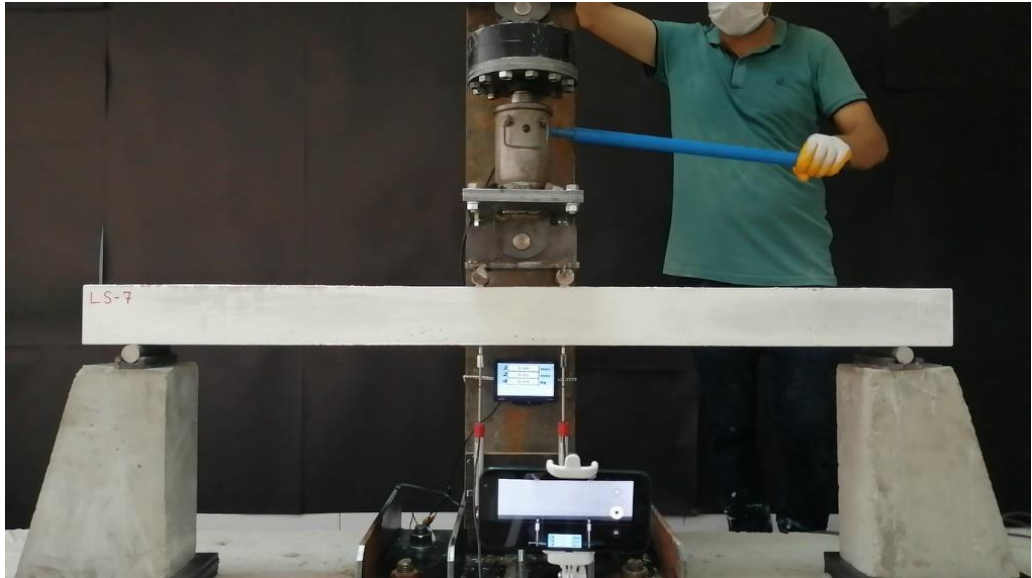
Şekil 4.37. LS-6 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.38. LS-6 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

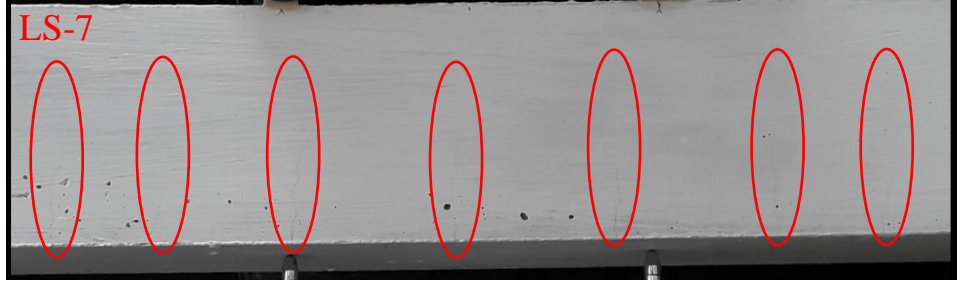
4.1.7. LS-7 (a/d=7)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifsiz KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.39'dadır.



Şekil 4.39. LS-7 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 3,9 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 1,89 mm ve 1,94 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %26'sı kadardır (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. LS-7 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Kiriş 13,13 kN yük altında akma noktasına sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 8,08 mm ve 8,24 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.41).



Şekil.4.41. LS-7 kirişinin akma anındaki durumu

Kirişe uygulanan yük artışı ile kirişin orta bölgesinde eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu eğilme çatlakları basınç bölgesine doğru ilerleyerek kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. İki tekil yük noktası arasında kirişin üst bölgesinde basınç kaynaklı ezilmeler gözlemlenmiştir. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 14,76 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 35,88 mm ve 35,12 mm olup kiriş eğilme kapasitesine ulaşarak eğilmeden göçmüştür (Şekil 4.42).



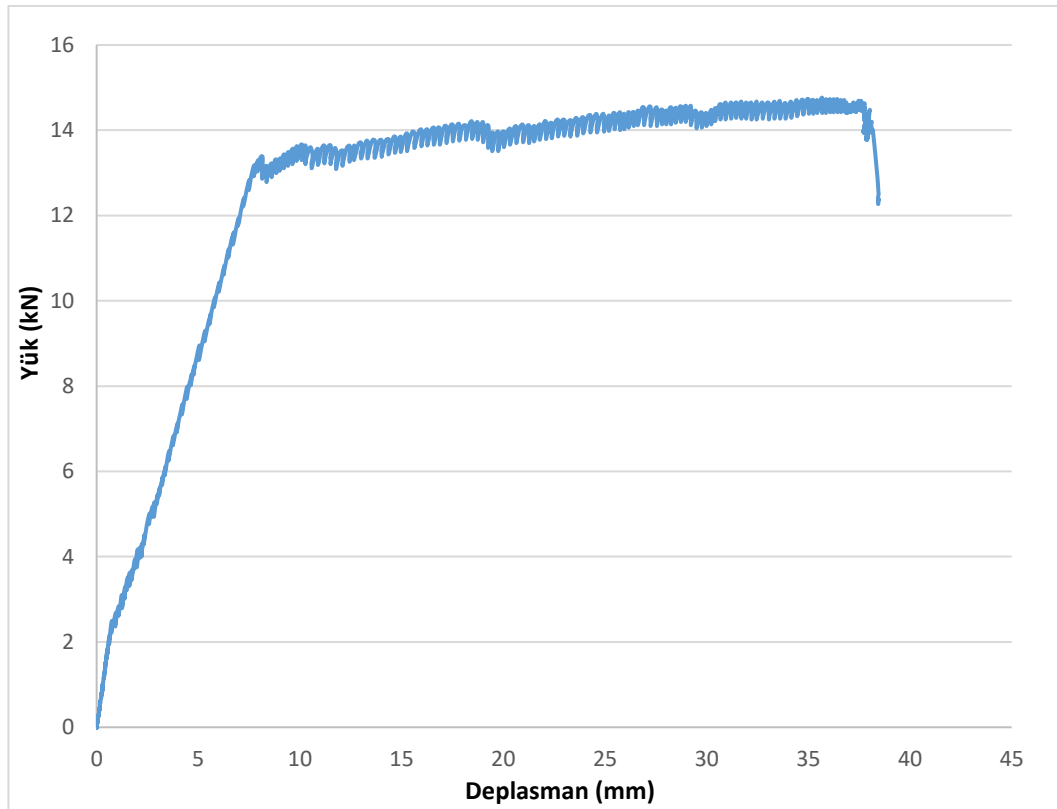
Şekil 4.42. LS-7 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş fakat deplasman sünek bir şekilde davranarak artmaya devam etmiştir. Bu noktada basınç bölgesinde betonun ezilmesi ve belirgin basınç çatlakları oluşmasından dolayı deneye son verilmiştir (Şekil 4.43).

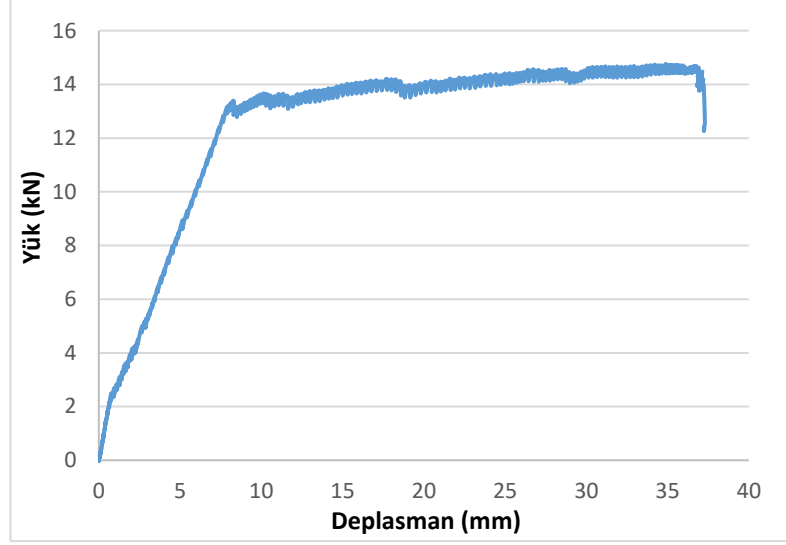


Şekil 4.43. LS-7 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.44-4.45'te verilmiştir.



Şekil 4.44. LS-7 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.45. LS-7 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

4.1.8. LS-8 ($a/d=8$)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifsiz KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.46'dadır.



Şekil 4.46. LS-8 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 3,77 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 2,51 mm ve 2,50 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %29'u kadardır (Şekil 4.47).



Şekil 4.47. LS-8 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Kiriş 11,64 kN yük altında akma noktasına sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 9,83 mm ve 9,84 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.48).



Şekil.4.48. LS-8 kirişinin akma anındaki durumu

Kirişe uygulanan yük artışı ile kirişin orta bölgesinde eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu eğilme çatlakları basınç bölgesine doğru ilerleyerek kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. İki tekil yük noktası arasında kirişin üst bölgesinde basınç kaynaklı ezilmeler gözlemlenmiştir. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 13 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 48,17 mm ve 48,12 mm olup kiriş eğilme kapasitesine ulaşarak eğilmeden göçmüştür (Şekil 4.49).



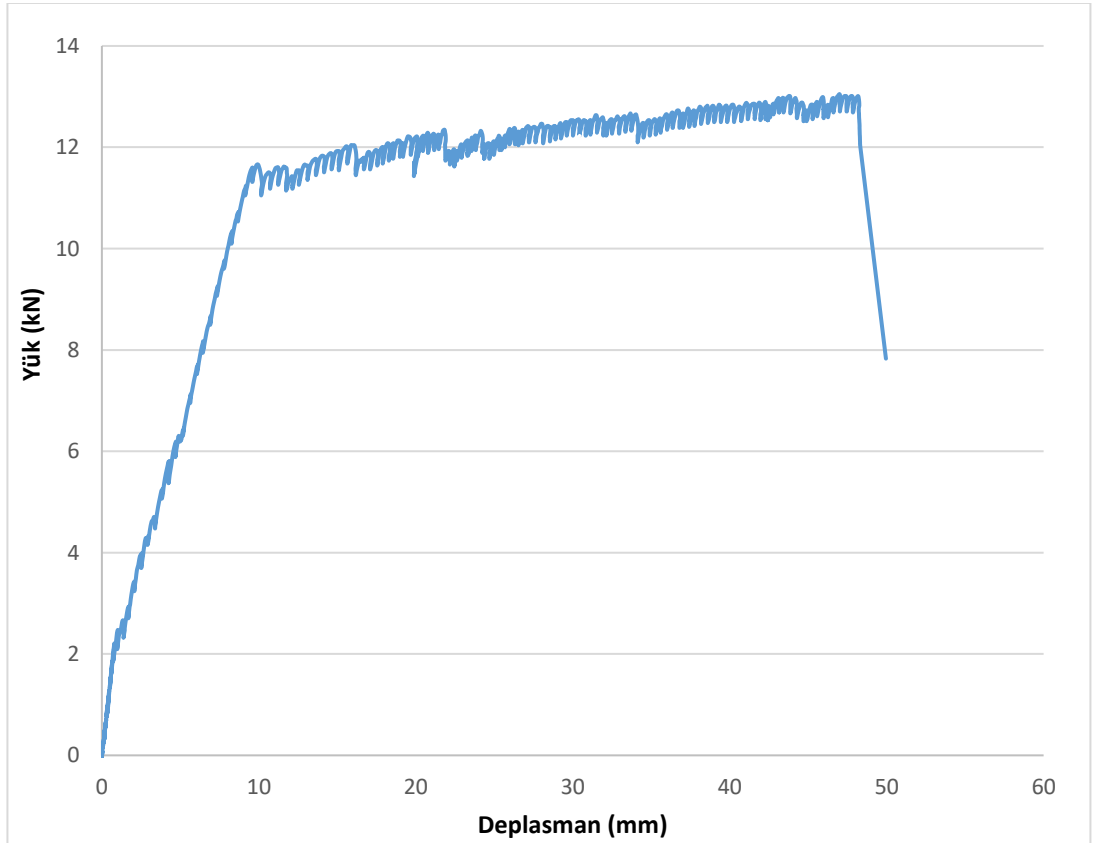
Şekil 4.49. LS-8 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş fakat deplasman sünek bir şekilde davranarak artmaya devam etmiştir. Bu noktada basınç bölgesinde betonun ezilmesi ve belirgin basınç çatlakları oluşmasından dolayı deneye son verilmiştir (Şekil 4.50).

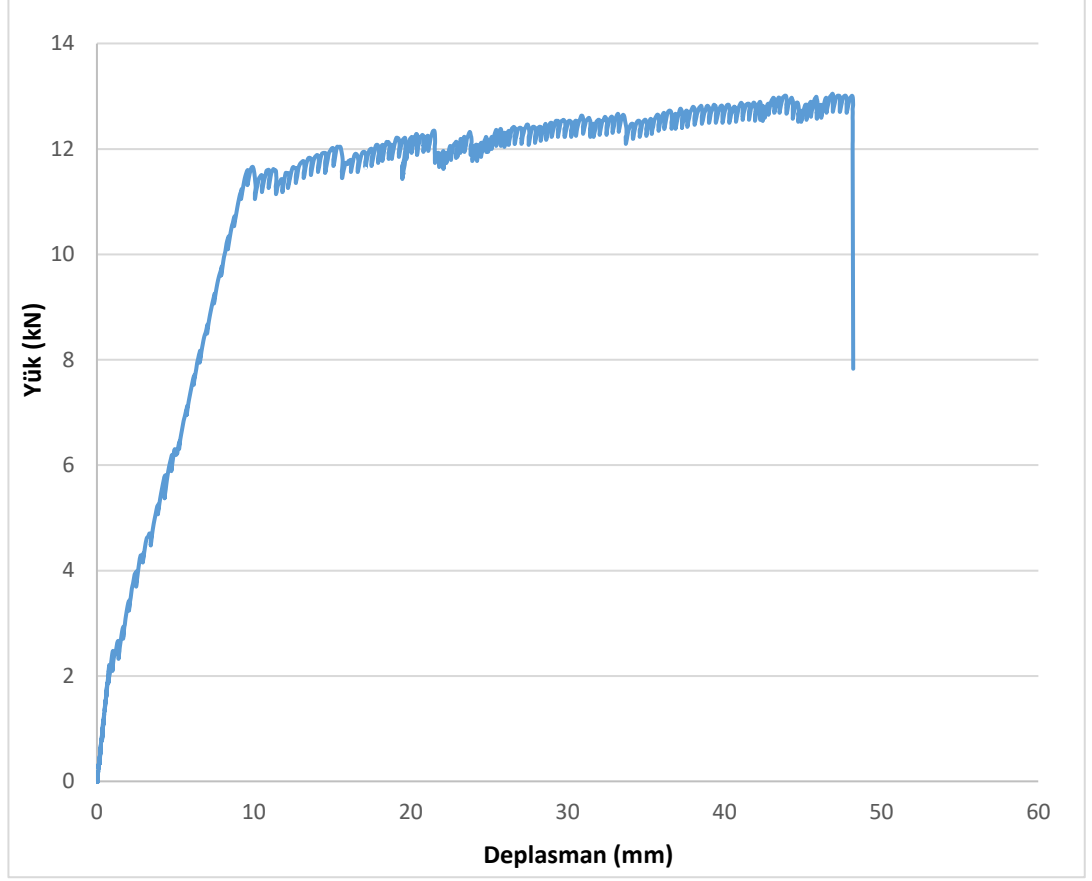


Şekil 4.50. LS-8 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.51-4.52'de verilmiştir.



Şekil 4.51. LS-8 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.52. LS-8 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

4.2. Lifli Kirişlerin Eğilme ve Kesme Davranışlarının İncelenmesi

Bu bölümde lifli KYB ile üretilen betonarme kirişlerin eğilme ve kesme davranışlarını incelenmiştir.

4.2.1. LL-1 ($a/d=1$)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifli KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.53'tedir.



Şekil 4.53. LL-1 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 37,64 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 0,61 mm ve 0,75 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %33'ü kadardır (Şekil 4.54).



Şekil 4.54. LL-1 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Kiriş 102 kN yük altında akma noktasına sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 2,08 mm ve 2,30 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.55).



Şekil 4.55. LL-1 kirişinin akma anındaki durumu

Kirişe uygulanan yük artışı ile çatlaklar mesnetten yükün uyguladığı noktaya ilerleyerek eğik çatlaklara dönüşmüş ve kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 112,36 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 4,43 mm ve 4,48 mm olup kiriş kesmeden dolayı göçmüştür (Şekil 4.56).



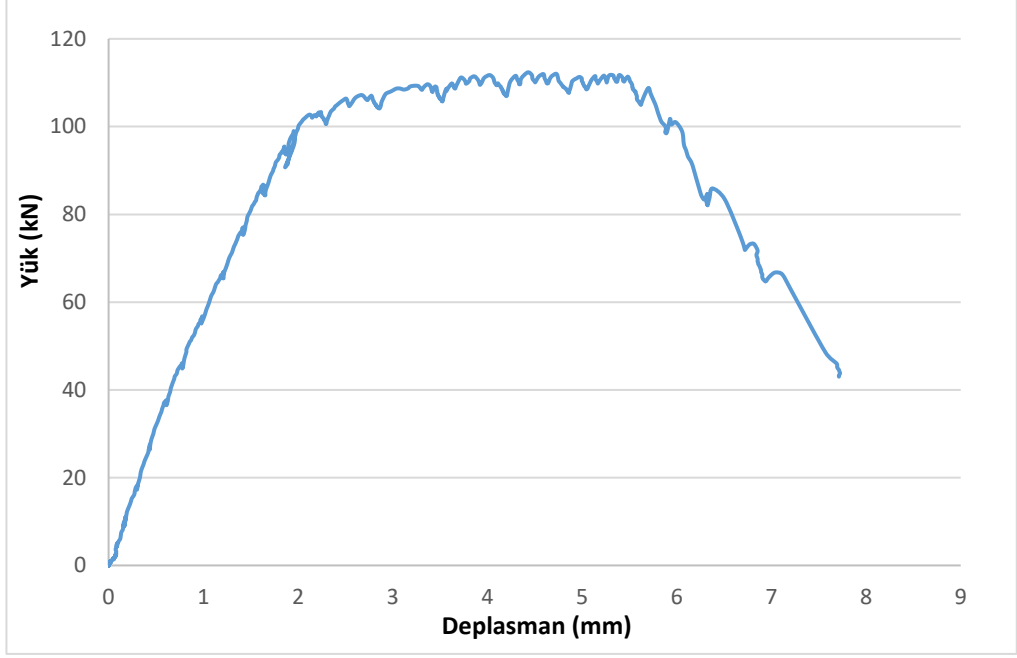
Şekil 4.56. LL-1 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kesme çatlağının genişliği ciddi mertebede arttığı için kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş ve deneye son verilmiştir (Şekil 4.57).

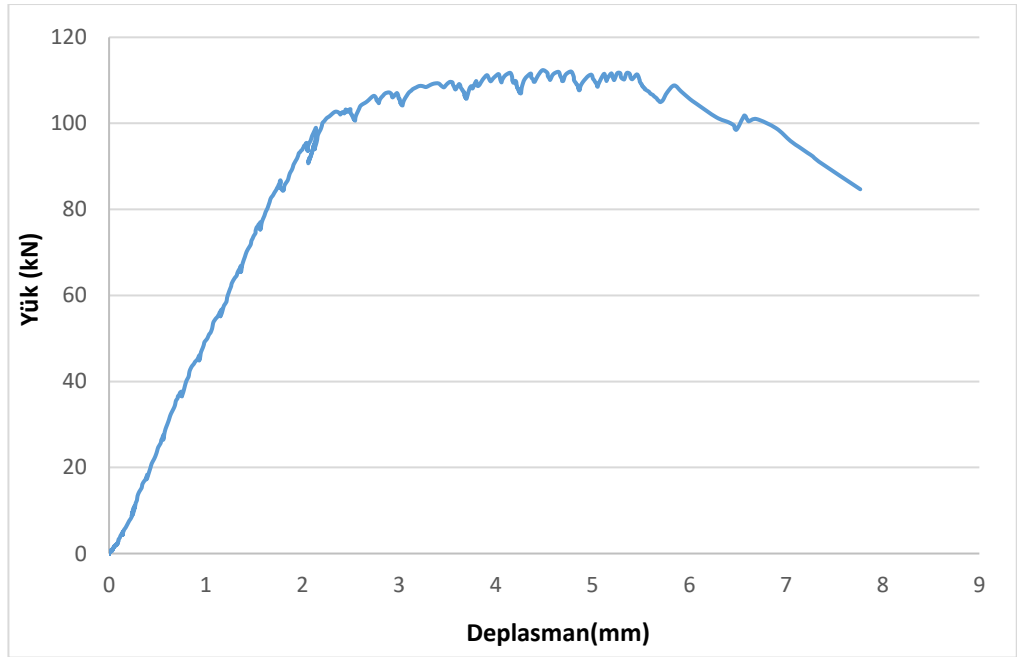


Şekil 4.57. LL-1 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.58-4.59’da verilmiştir.



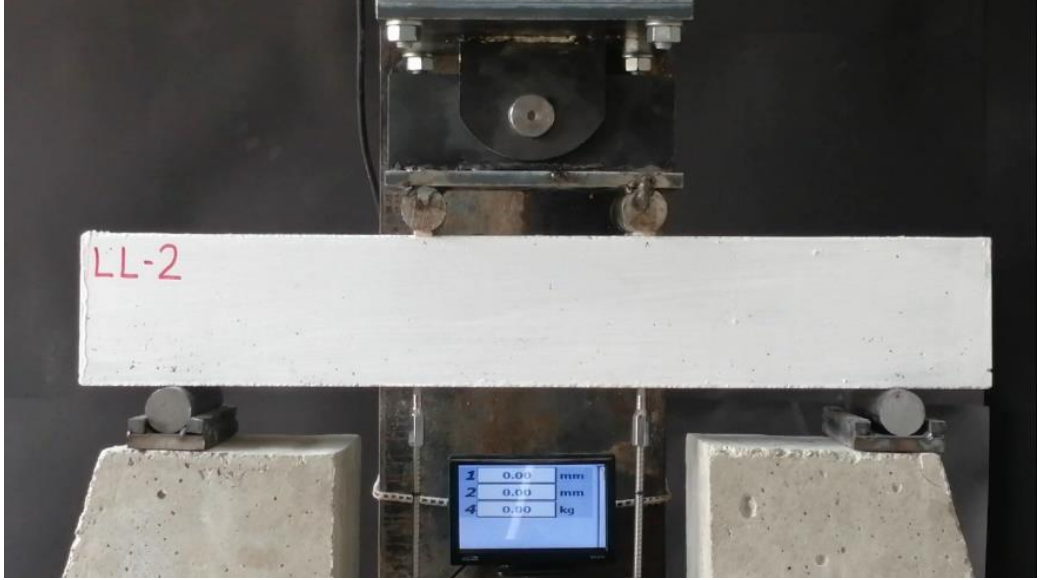
Şekil 4.58. LL-1 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.59. LL-1 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

4.2.2. LL-2 (a/d=2)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifli KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.60'tadır.



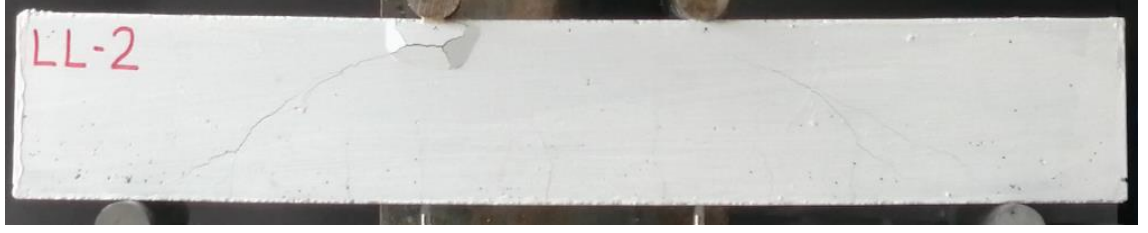
Şekil 4.60. LL-2 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 41 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 1,21 mm ve 1,42 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %70'i kadardır (Şekil 4.61).



Şekil 4.61. LL-2 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Kiriş 55,68 kN yük altında akma noktasına sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 2,63 mm ve 2,85 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.62).



Şekil 4.62. LL-2 kirişinin akma anındaki durumu

Kirişe uygulanan yük artışı ile çatlaklar mesnetten yükün uyguladığı noktaya ilerleyerek eğik çatlaklara dönüşmüş ve kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 58,14 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT’lerde sırasıyla 5,55 mm ve 5,16 mm olup kiriş kesmeden dolayı göçmüştür (Şekil 4.63).



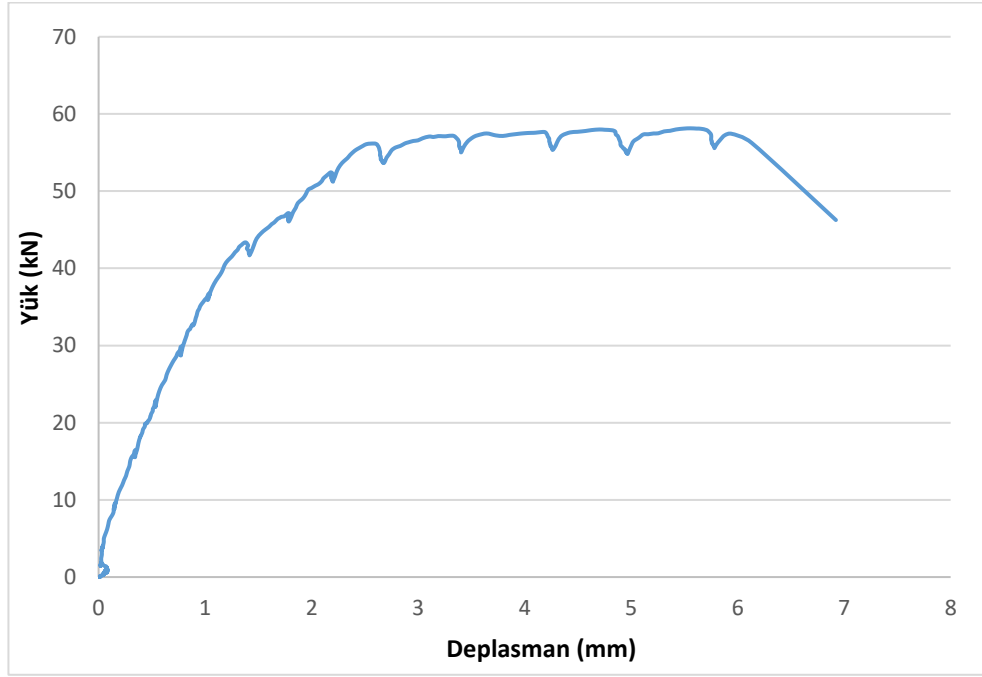
Şekil 4.63. LL-2 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kesme çatlağının genişliği ciddi mertebede arttığı için kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş ve deneye son verilmiştir (Şekil 4.64).

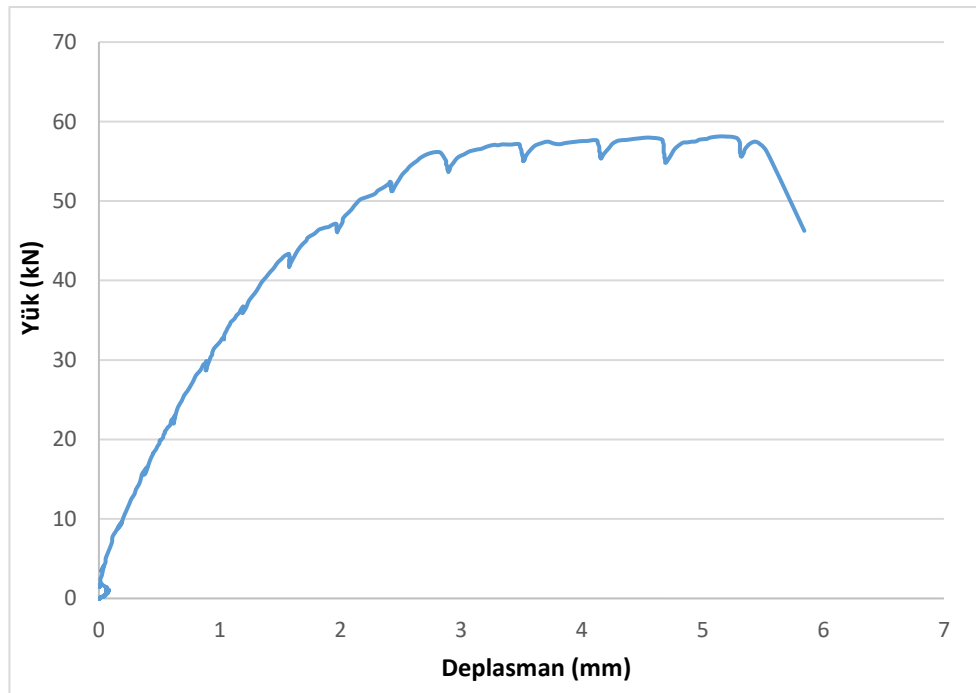


Şekil 4.64. LL-2 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.65-4.66'da verilmiştir.



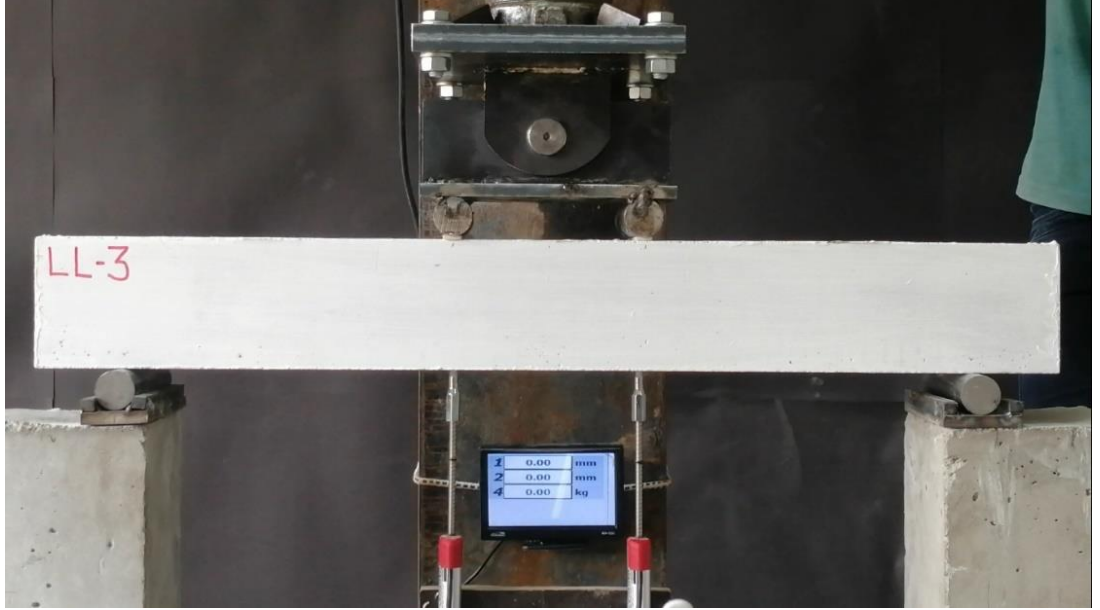
Şekil 4.65. LL-2 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.66. LL-2 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

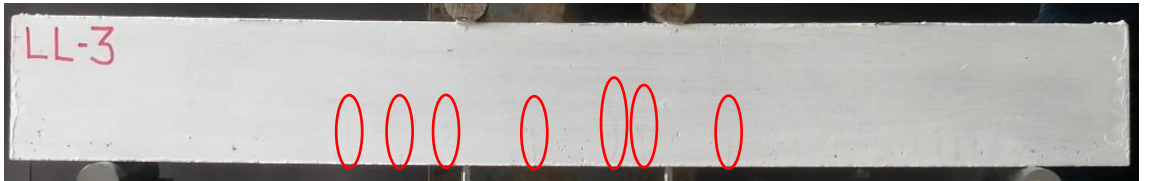
4.2.3. LL-3 (a/d=3)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifli KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.67'dedir.



Şekil 4.67. LL-3 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 29,14 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 2,70 mm ve 2,77 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %78'i kadardır (Şekil 4.68).



Şekil 4.68. LL-3 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Kiriş 33,74 kN yük altında akma noktasına sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 3,46 mm ve 3,47 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.69).



Şekil 4.69. LL-3 kirişinin akma anındaki durumu

Kirişe uygulanan yük artışı ile çatlaklar mesnetten yükün uyguladığı noktaya ilerleyerek eğik çatlaklara dönüşmüş ve kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 37,51 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT’lerde sırasıyla 13,65 mm ve 12,51 mm olup kiriş kesmeden dolayı göçmüştür (Şekil 4.70).



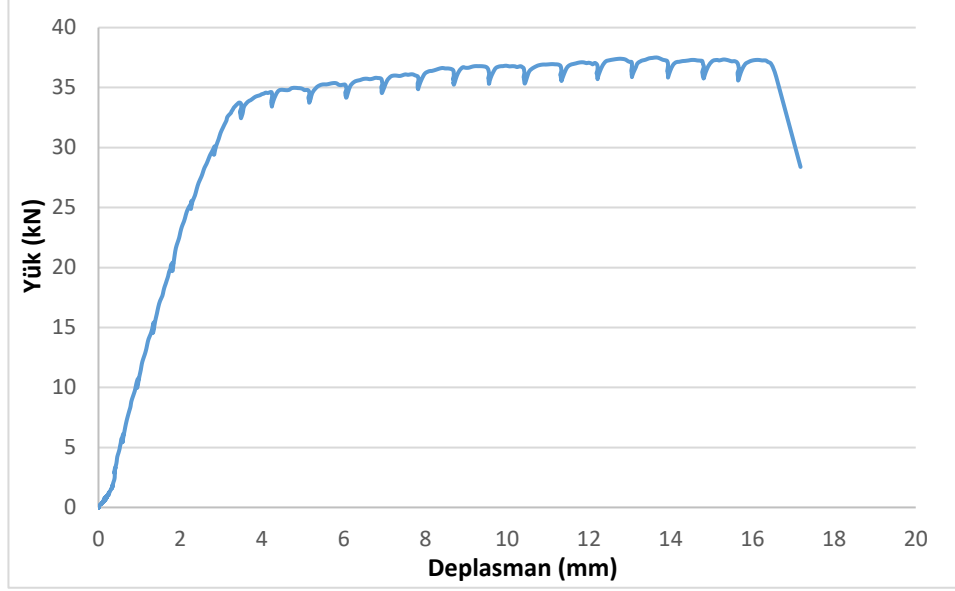
Şekil 4.70. LL-3 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kesme çatlağının genişliği ciddi mertebede arttığı için kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş ve deneye son verilmiştir (Şekil 4.71).

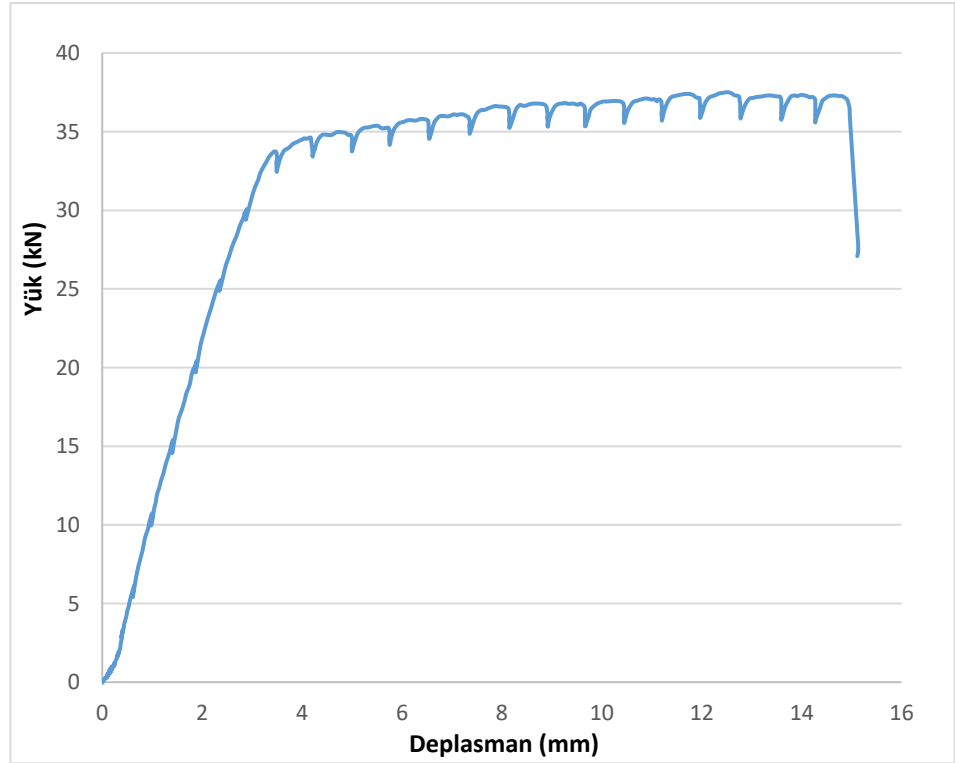


Şekil 4.71. LL-3 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.72-4.73'te verilmiştir.



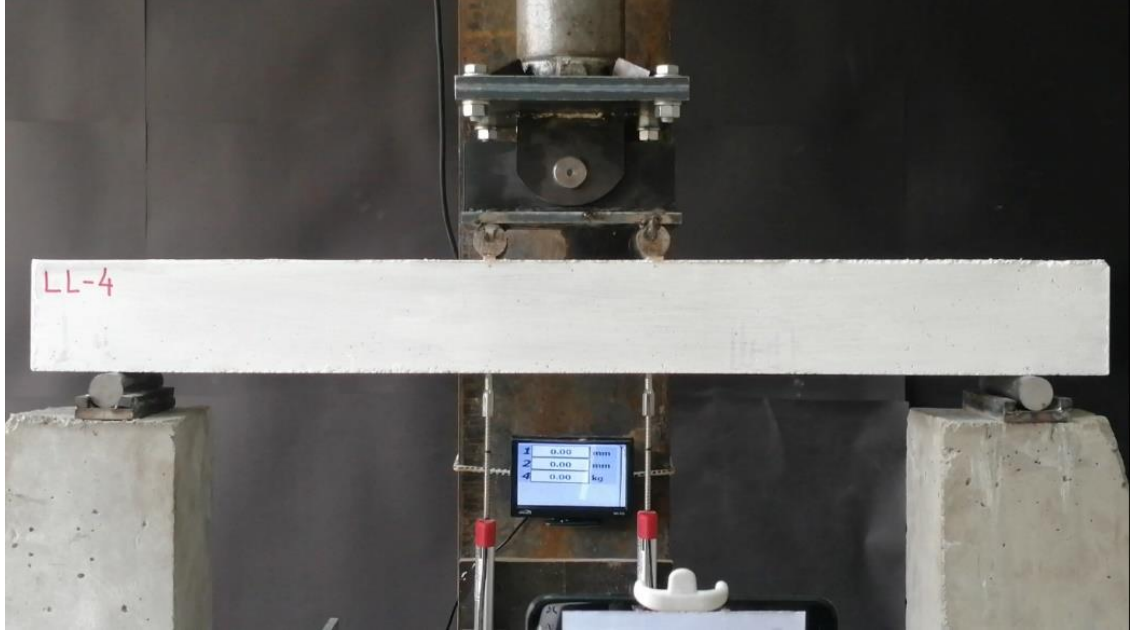
Şekil 4.72. LL-3 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.73. LL-3 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

4.2.4. LL-4 (a/d=4)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifli KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.74'tedir.



Şekil 4.74. LL-4 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 25,28 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 3,58 mm ve 3,78 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %89'u kadardır (Şekil 4.75).



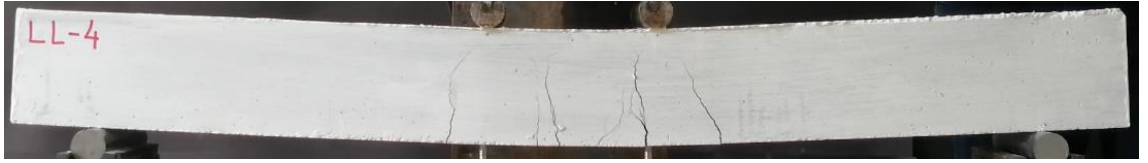
Şekil 4.75. LL-4 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Kiriş 26,73 kN yük altında akma noktasına sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 3,93 mm ve 4,17 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.76).



Şekil 4.76. LL-4 kirişinin akma anındaki durumu

Kirişe uygulanan yük artışı ile kirişin orta bölgesinde eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu eğilme çatlakları basınç bölgesine doğru ilerleyerek kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. İki tekil yük noktası arasında kirişin üst bölgesinde basınç kaynaklı ezilmeler gözlemlenmiştir. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 28,38 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 15,10 mm ve 16 mm olup kiriş eğilme kapasitesine ulaşarak eğilmeden göçmüştür (Şekil 4.77).



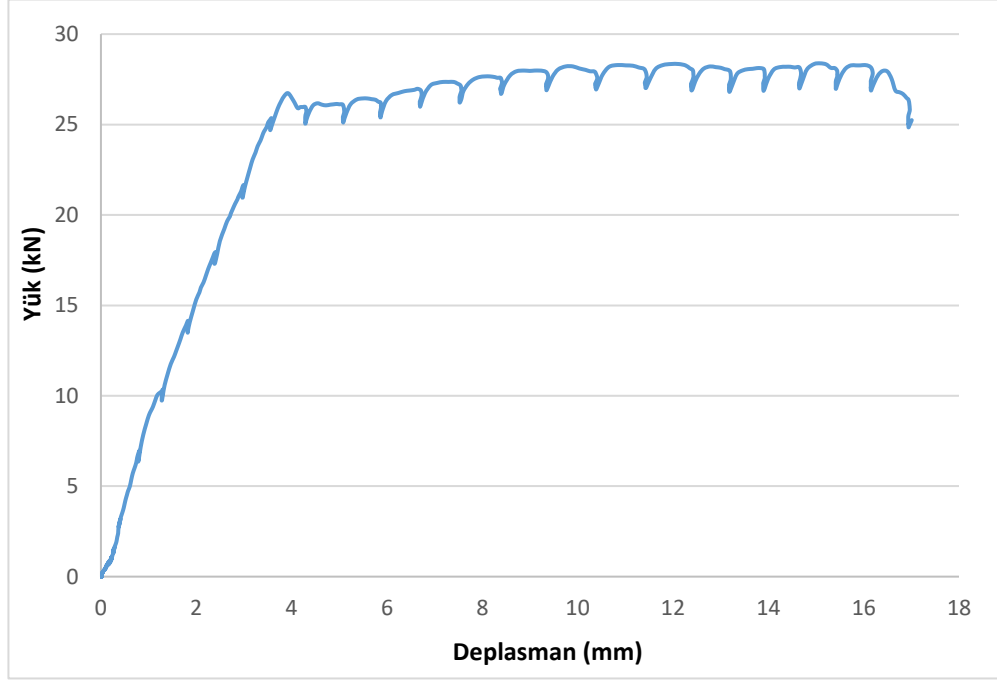
Şekil 4.77. LL-4 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş fakat deplasman sünek bir şekilde davranarak artmaya devam etmiştir. Bu noktada basınç bölgesinde betonun ezilmesi ve belirgin basınç çatlağı oluşmasından dolayı deneye son verilmiştir (Şekil 4.78).

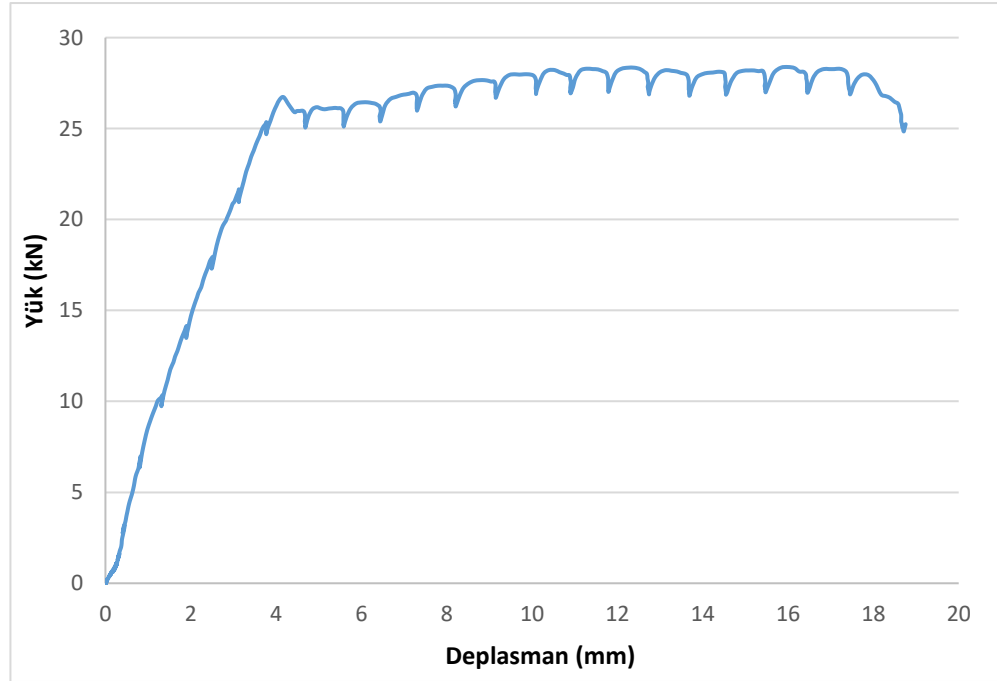


Şekil 4.78. LL-4 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.79-4.80'te verilmiştir.



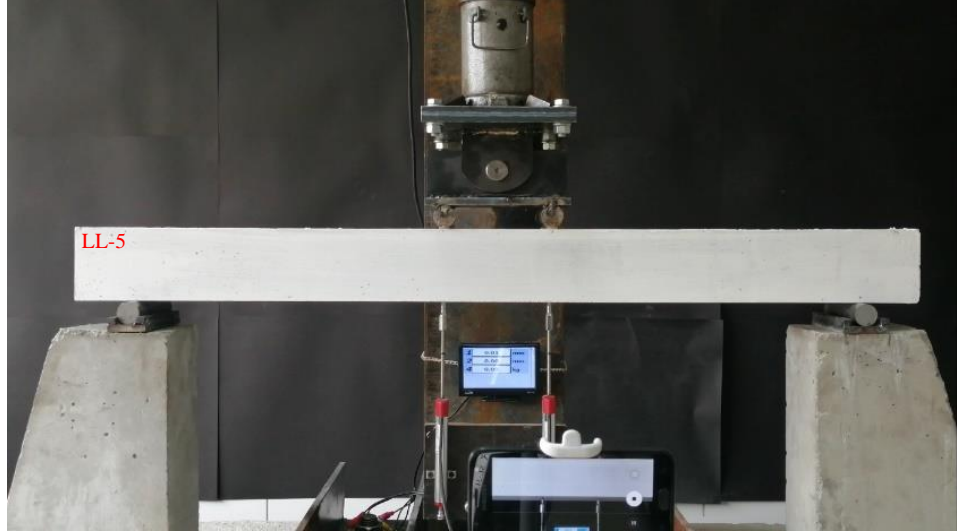
Şekil 4.79. LL-4 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.80. LL-4 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

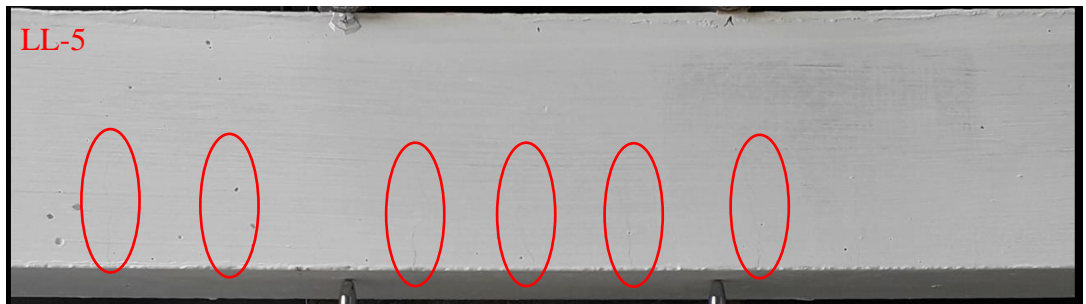
4.2.5. LL-5 (a/d=5)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifli KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.81’dir.



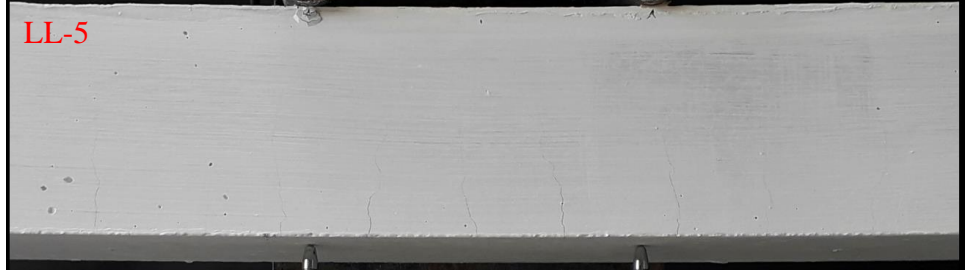
Şekil 4.81. LL-5 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 11,12 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT’lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 2,26 mm ve 2,29 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %49’u kadardır (Şekil 4.82).



Şekil 4.82. LL-5 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Kiriş 21 kN yük altında akma noktasına sol ve sağ LVDT’lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 5,58 mm ve 5,67 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.83).



Şekil 4.83. LL-5 kirişinin akma anındaki durumu

Kirişe uygulanan yük artışı ile kirişin orta bölgesinde eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu eğilme çatlakları basınç bölgesine doğru ilerleyerek kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. İki tekil yük noktası arasında kirişin üst bölgesinde basınç kaynaklı ezilmeler gözlemlenmiştir. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 22,65 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 20,36 mm ve 19,60 mm olup kiriş eğilme kapasitesine ulaşarak eğilmeden göçmüştür (Şekil 4.84).



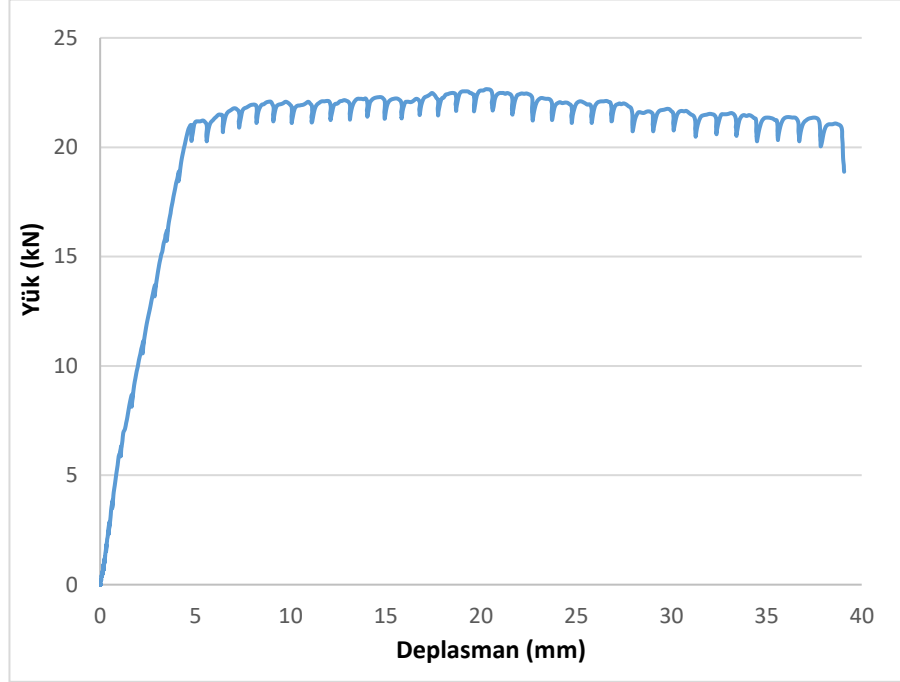
Şekil 4.84. LL-5 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş fakat deplasman sünek bir şekilde davranarak artmaya devam etmiştir. Bu noktada basınç bölgesinde betonun ezilmesi ve belirgin basınç çatlağı oluşmasından dolayı deney son verilmiştir (Şekil 4.85).

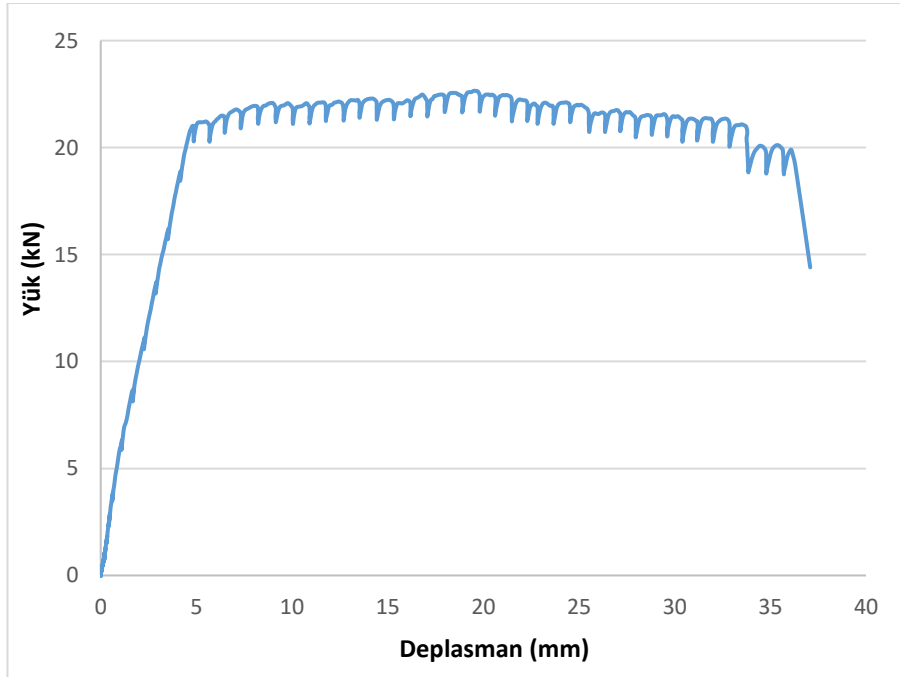


Şekil 4.85. LL-5 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.86-4.87’da verilmiştir.



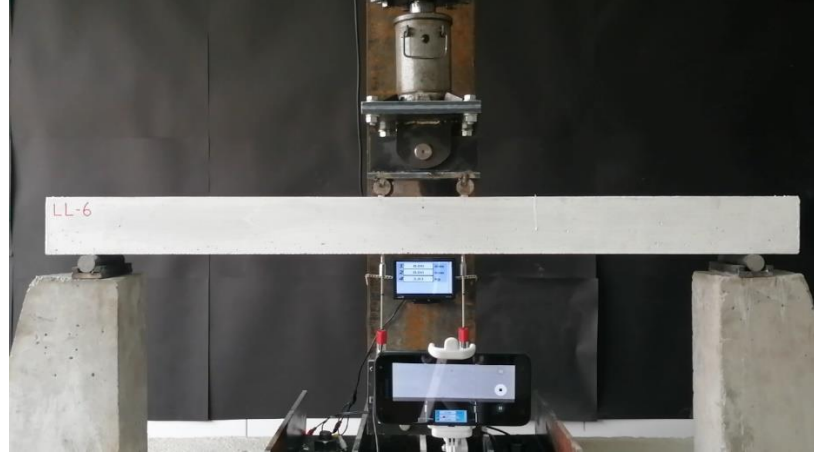
Şekil 4.86. LL-5 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.87. LL-5 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

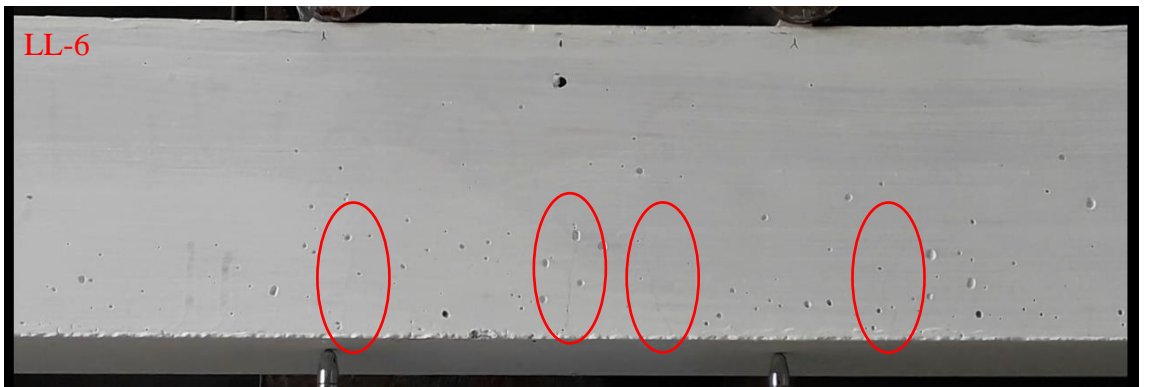
4.2.6. LL-6 (a/d=6)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifli KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.88'dedir.



Şekil 4.88. LL-6 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 8,19 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 2,36 mm ve 2,48 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %44'u kadardır (Şekil 4.89).



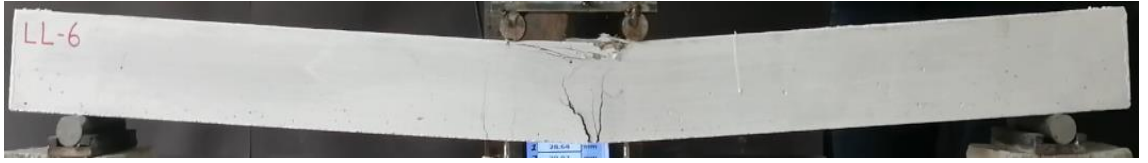
Şekil 4.89. LL-6 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Kiriş 16,36 kN yük altında akma noktasına sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 5,71 mm ve 5,89 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.90).



Şekil 4.90. LL-6 kirişinin akma anındaki durumu

Kirişe uygulanan yük artışı ile kirişin orta bölgesinde eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu eğilme çatlakları basınç bölgesine doğru ilerleyerek kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. İki tekil yük noktası arasında kirişin üst bölgesinde basınç kaynaklı ezilmeler gözlemlenmiştir. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 18,46 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT’lerde sırasıyla 26,63 mm ve 27,19 mm olup kiriş eğilme kapasitesine ulaşarak eğilmeden geçmiştir (Şekil 4.91).



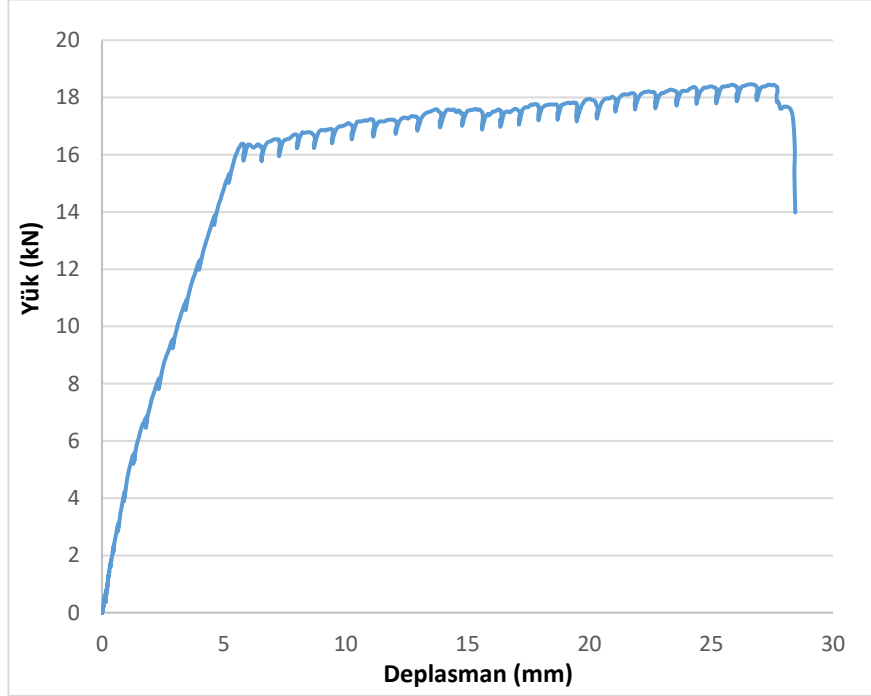
Şekil 4.91. LL-6 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş fakat deplasman sünek bir şekilde davranarak artmaya devam etmiştir. Bu noktada basınç bölgesinde betonun ezilmesi ve belirgin basınç çatlağı oluşmasından dolayı deneye son verilmiştir (Şekil 4.92).

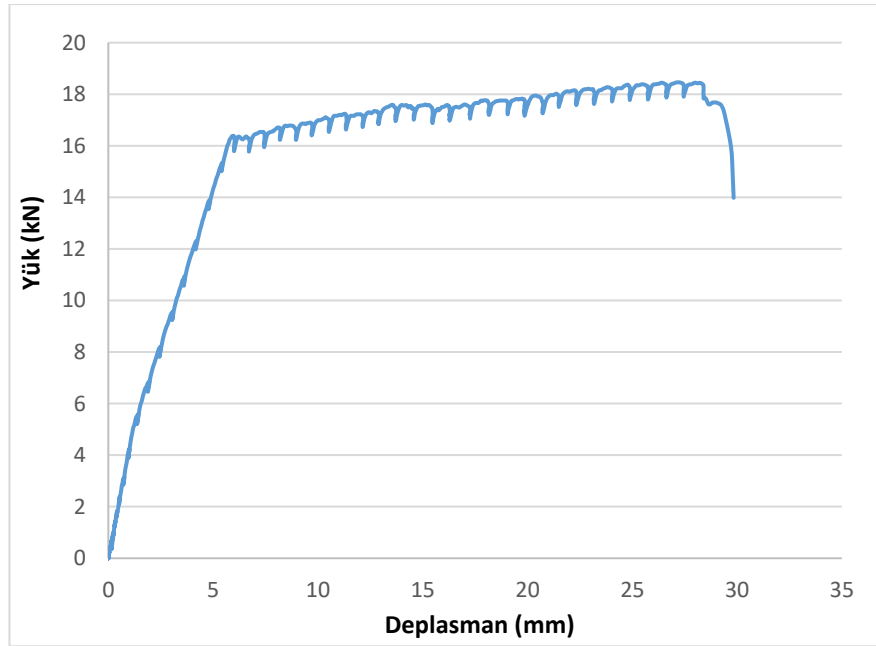


Şekil 4.92. LL-6 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.93-4.94'te verilmiştir.



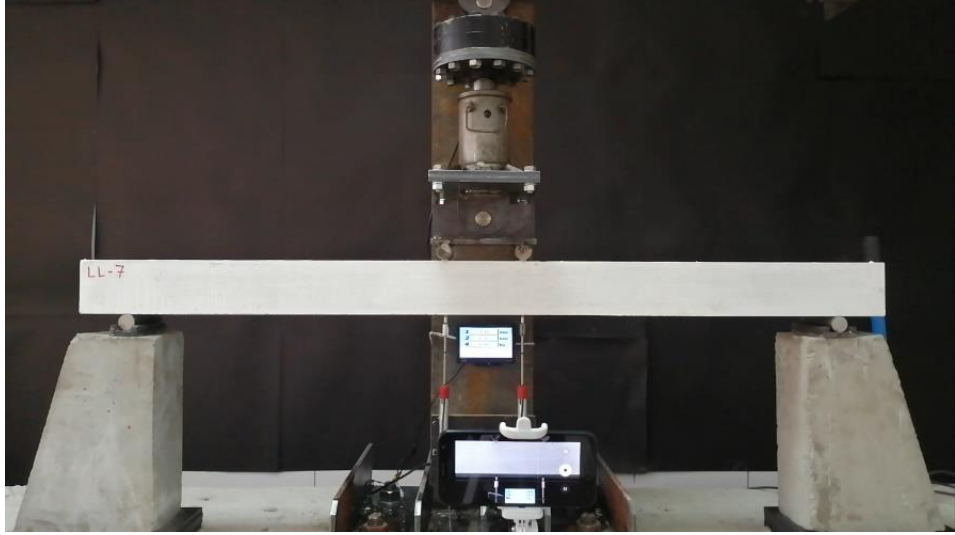
Şekil 4.93. LL-6 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.94. LL-6 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

4.2.7. LL-7 (a/d=7)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifli KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.95'tedir.



Şekil 4.95. LL-7 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 7 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 3 mm ve 3 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %45'i kadardır (Şekil 4.96).



Şekil 4.96. LL-7 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Kiriş 14,17 kN yük altında akma noktasına sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 7,55 mm ve 7,49 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.97).



Şekil 4.97. LL-7 kirişinin akma anındaki durumu

Kirişe uygulanan yük artışı ile kirişin orta bölgesinde eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu eğilme çatlakları basınç bölgesine doğru ilerleyerek kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. İki tekil yük noktası arasında kirişin üst bölgesinde basınç kaynaklı ezilmeler gözlemlenmiştir. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 15,47 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 29,42 mm ve 27,49 mm olup kiriş eğilme kapasitesine ulaşarak eğilmeden göçmüştür (Şekil 4.98).



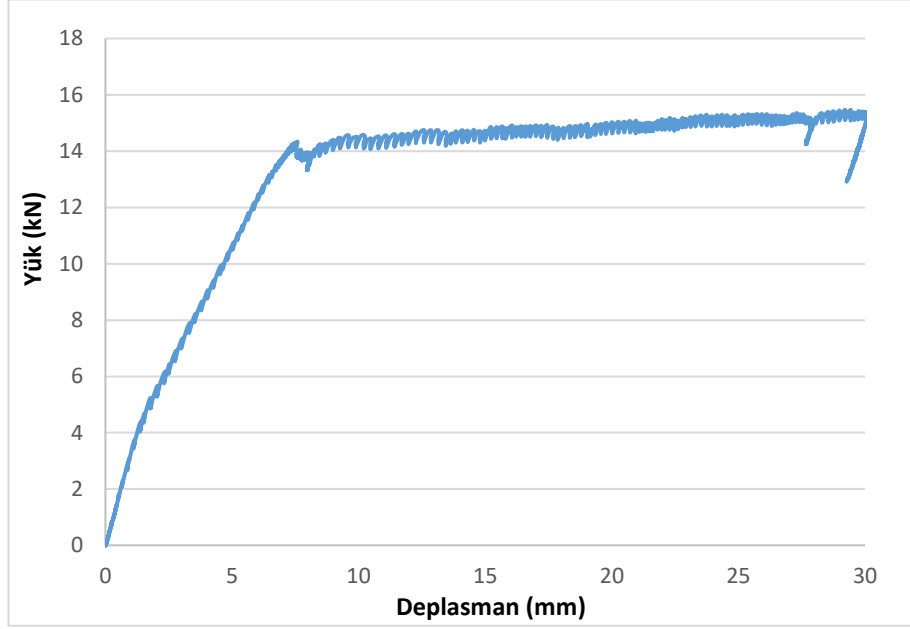
Şekil 4.98. LL-7 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş fakat deplasman sünek bir şekilde davranarak artmaya devam etmiştir. Bu noktada basınç bölgesinde betonun ezilmesi ve belirgin basınç çatlağı oluşmasından dolayı deneye son verilmiştir (Şekil 4.99).

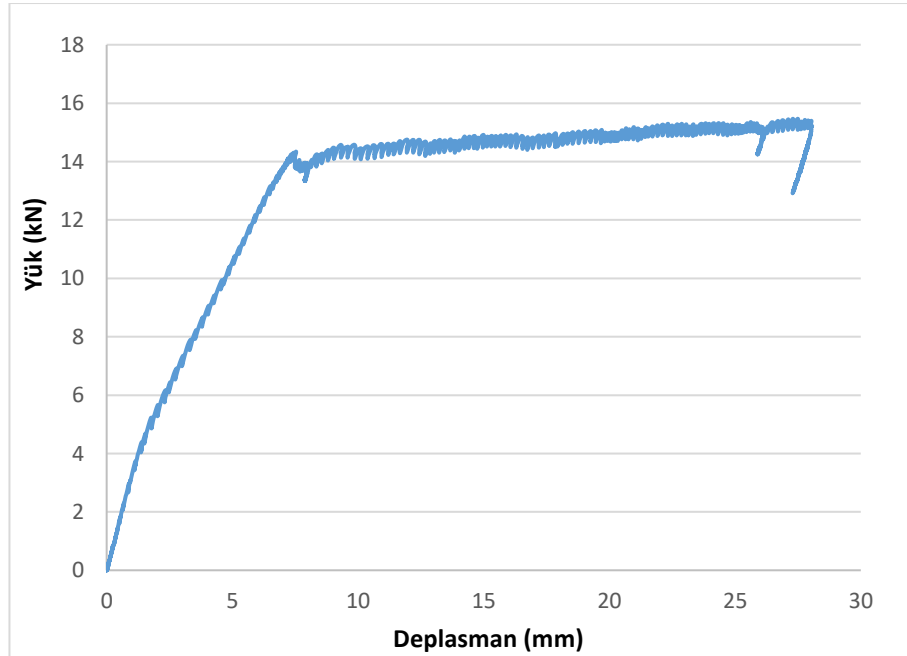


Şekil 4.99. LL-7 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.100-4.101’de verilmiştir.



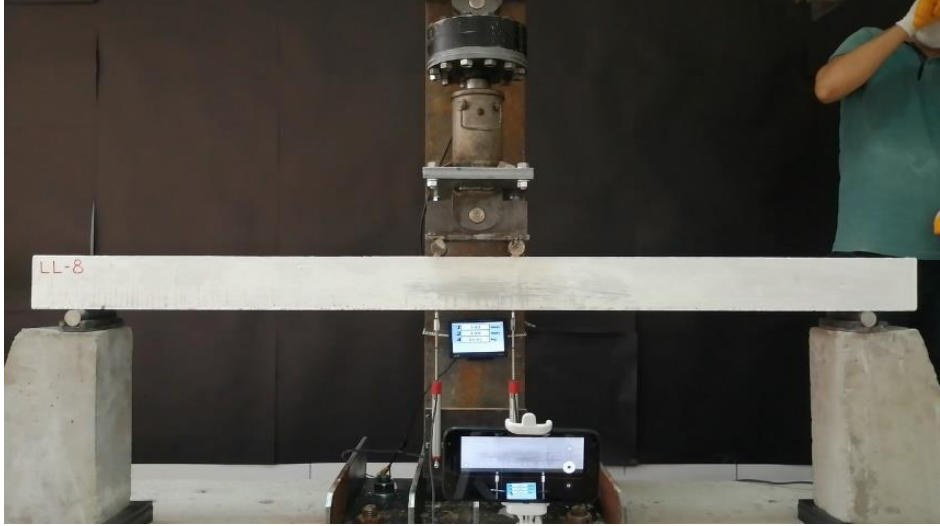
Şekil 4.100. LL-7 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.101. LL-7 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

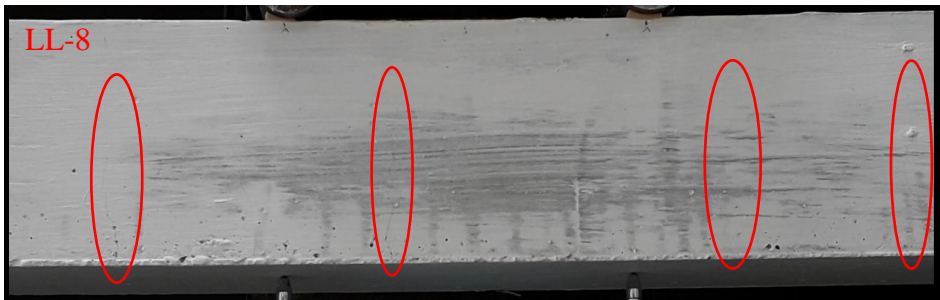
4.2.8. LL-8 (a/d=8)

Bu kiriş C50 basınç dayanımına sahip, lifli KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Kiriş artan yükler altında göçmeye kadar yüklenmiştir. Deney kirişinin test öncesi görüntüsü Şekil 4.102'dedir.



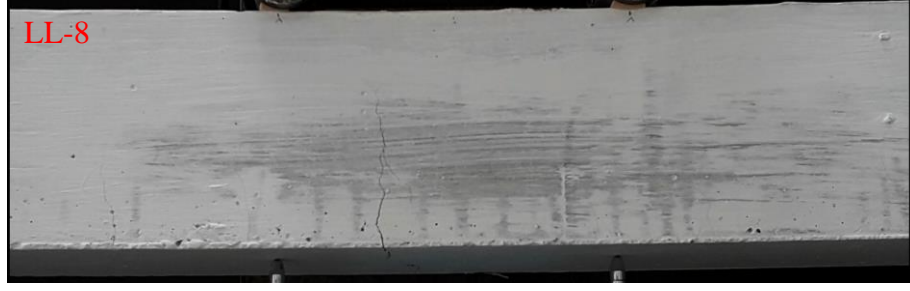
Şekil 4.102. LL-8 kirişinin test öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlaklar 5,52 kN yük altında kirişin orta bölgesinde, sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 2,95 mm ve 3,04 mm iken oluşmuştur. Bu çatlama yükü maksimum yükün yaklaşık %38'i kadardır (Şekil 4.103).



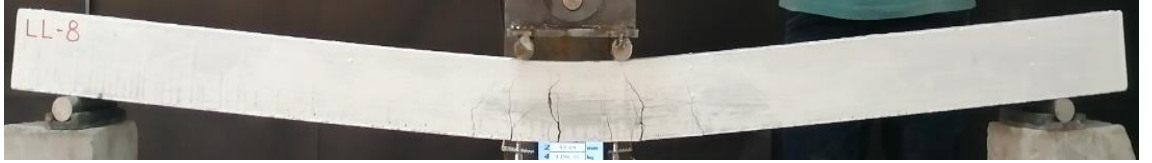
Şekil 4.103. LL-8 kirişinde oluşan ilk çatlaklar

Kiriş 12,34 kN yük altında akma noktasına sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasmanlar sırasıyla 8,78 mm ve 8,93 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.104).



Şekil 4.104. LL-8 kirişinin akma anındaki durumu

Kirişe uygulanan yük artışı ile kirişin orta bölgesinde eğilme çatlakları oluşmuştur. Bu eğilme çatlakları basınç bölgesine doğru ilerleyerek kiriş maksimum yük taşıma kapasitesine ulaşmıştır. İki tekil yük noktası arasında kirişin üst bölgesinde basınç kaynaklı ezilmeler gözlemlenmiştir. Kiriş maksimum yüke yaklaşık 14,34 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde sırasıyla 63,53 mm ve 65,14 mm olup kiriş eğilme kapasitesine ulaşarak eğilmeden göçmüştür (Şekil 4.105).



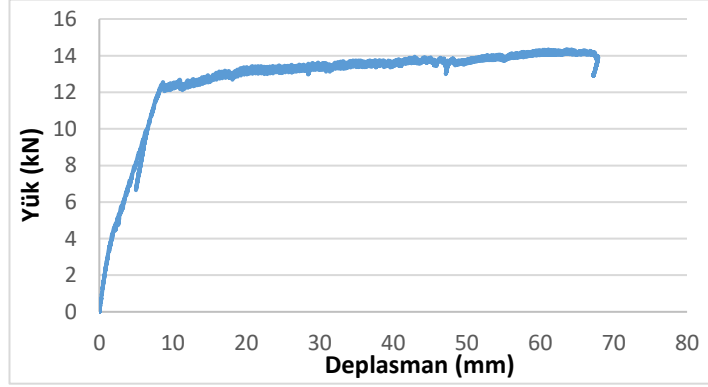
Şekil 4.105. LL-8 kirişinin maksimum yük altındaki durumu

Kirişin son davranışını görebilmek için yüklemeye devam edilmiştir. Bu yük seviyesinden sonra kiriş yük taşıyamaz hale gelmiş fakat deplasman sünek bir şekilde davranarak artmaya devam etmiştir. Bu noktada basınç bölgesinde betonun ezilmesi ve belirgin basınç çatlağı oluşmasından dolayı deneye son verilmiştir (Şekil 4.106).

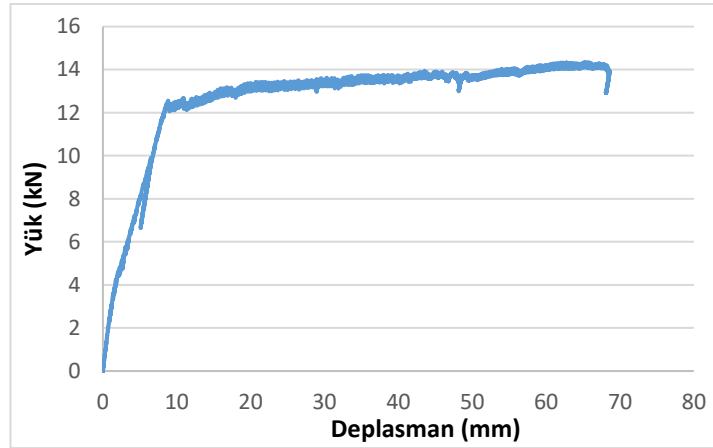


Şekil 4.106. LL-8 kirişinin deney sonundaki durumu

Sırasıyla sol LVDT ve sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri Şekil.4.107-4.108’de verilmiştir.



Şekil 4.107. LL-8 kirişinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.108. LL-8 kirişinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrisi

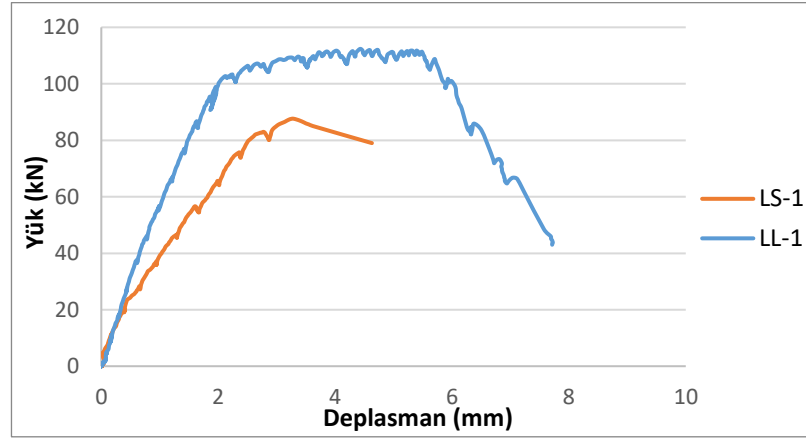
4.3. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde tüm lifli ve lifsiz betonarme kirişlerin deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Son olarak test edilen tüm kirişlerin yük-deplasman eğrilerinin birlikte sunulduğu bir grafik verilmiştir.

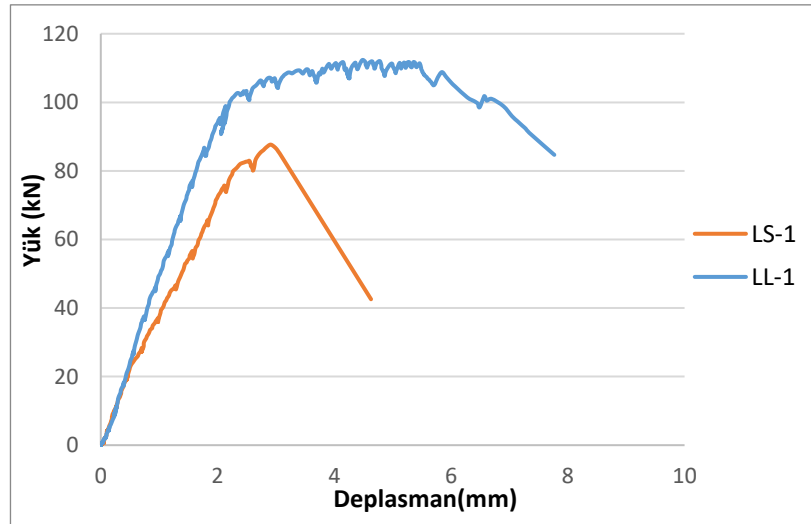
LS-1, LS-2, LS-3, LS-4, LL-1, LL-2, LL-3 olan kirişlerde eğik çatlakların genişlemesi ile kesme kırılması şeklinde, LS-5, LS-6, LS-7, LS-8, LL-4, LL-5, LL-6, LL-7, LL-8 olan kirişlerde ise eğilme kırılması şeklinde güç tükenmesi görülmüştür.

4.3.1. LS-1 ve LL-1

Bu kirişlere ait yük-deplasman eğrileri Şekil 4.109-4.110'de bir arada verilmiştir. Eğrilerden de anlaşılacağı gibi, lifli olan kiriş lifsiz olana göre daha fazla yük taşımış ve daha fazla yer değiştirme yapmıştır. LL-1 olan kirişinde ilk çatlağa neden olan yük LS-1 kirişine göre %65 oranında artmıştır. Maksimum taşıma yükünde de %28 oranında artış görülmüştür.



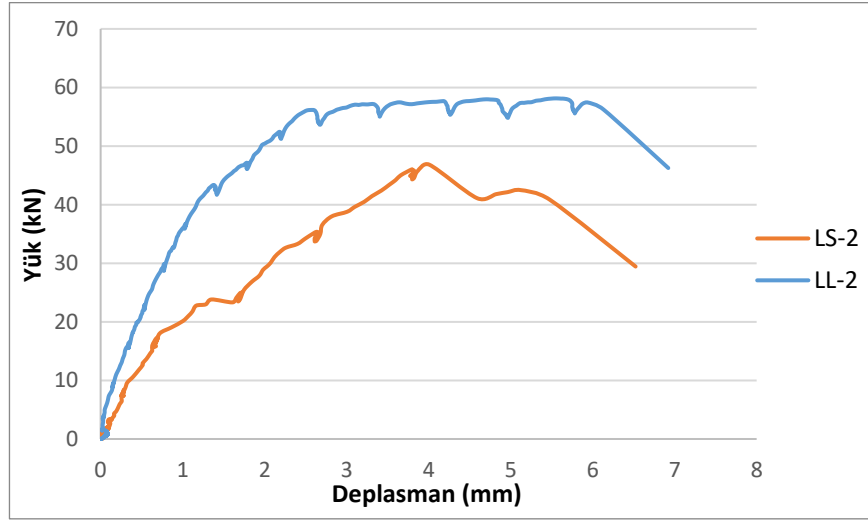
Şekil 4.109. LS-1 ve LL-1 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri



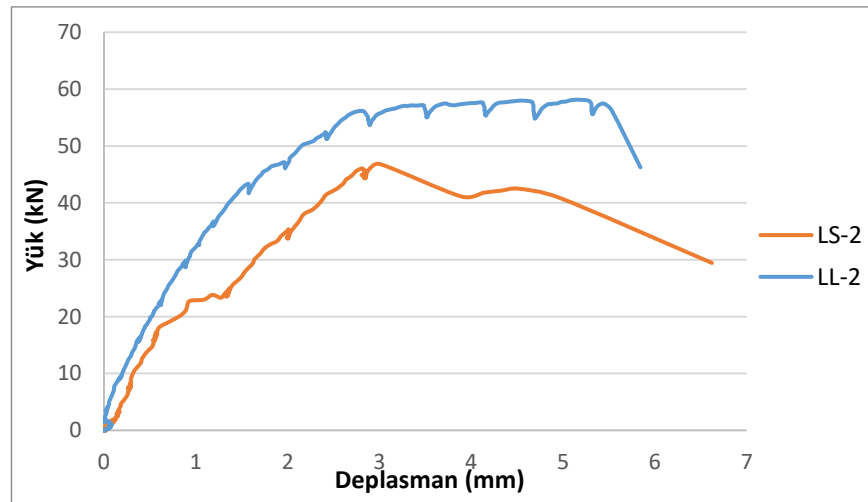
Şekil 4.110. LS-1 ve LL-1 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

4.3.2. LS-2 ve LL-2

Bu kirişlere ait yük-deplasman eğrileri Şekil 4.111-4.112’de bir arada verilmiştir. Eğrilerden de anlaşılacağı gibi, lifli olan kiriş lifsiz olana göre daha fazla yük taşımış ve daha fazla yer değiştirme yapmıştır. LL-2 olan kirişinde ilk çatlağa neden olan yük LS-2 kirişine göre %72 oranında artmıştır. Maksimum taşıma yükünde de %24 oranında artış görülmüştür.



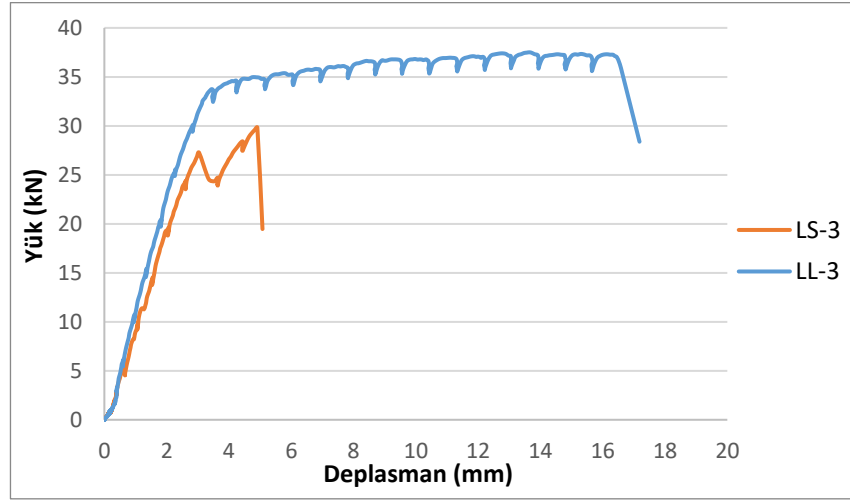
Şekil 4.111. LS-2 ve LL-2 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri



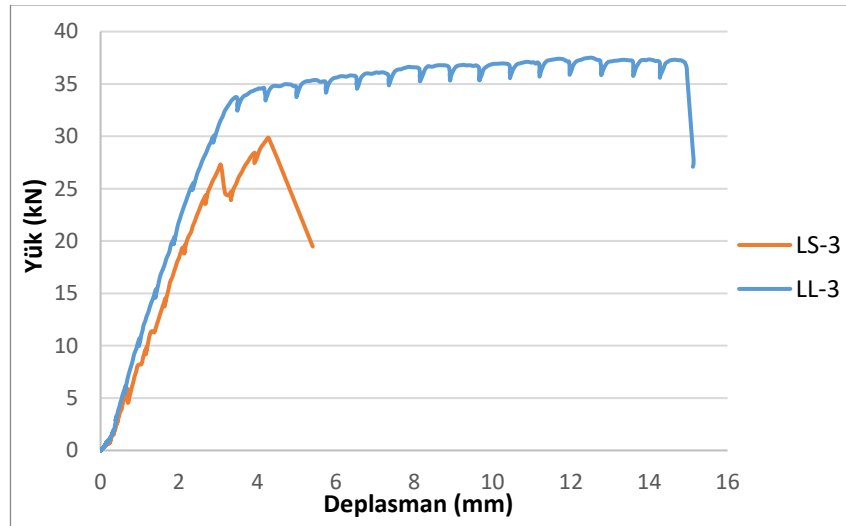
Şekil 4.112. LS-2 ve LL-2 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

4.3.3. LS-3 ve LL-3

Bu kirişlere ait yük-deplasman eğrileri Şekil 4.113-4.114'te bir arada verilmiştir. Eğrilerden de anlaşılacağı gibi, lifli olan kiriş lifsiz olana göre daha fazla yük taşımış ve daha fazla yer değiştirme yapmıştır. LL-3 olan kirişinde ilk çatlağa neden olan yük LS-3 kirişine göre %112 oranında artmıştır. Maksimum taşıma yükünde de %26 oranında artış görülmüştür.



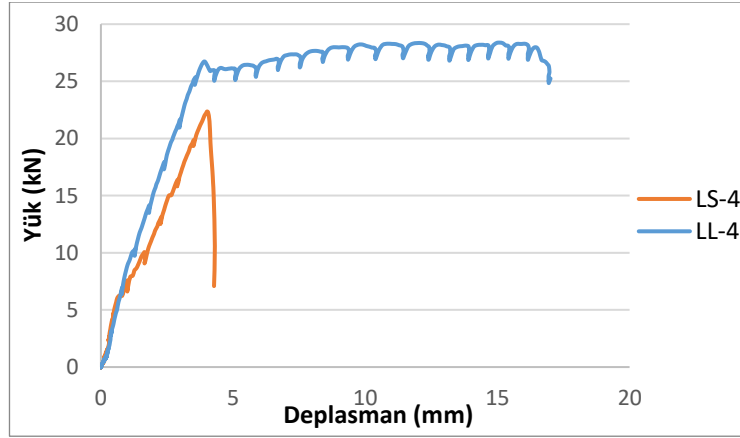
Şekil 4.113. LS-3 ve LL-3 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri



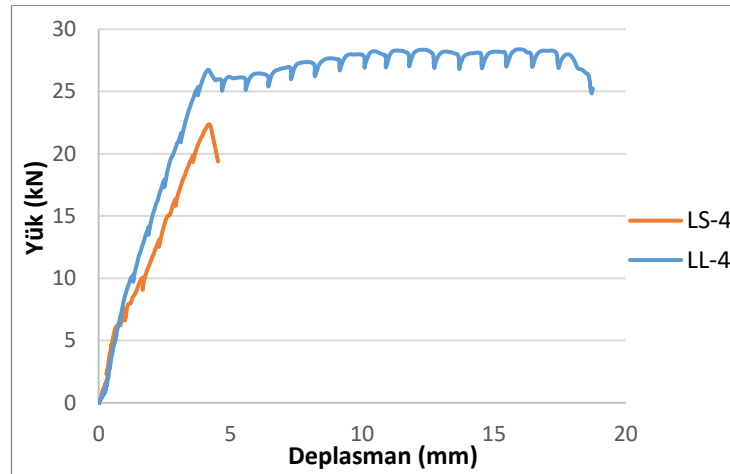
Şekil 4.114. LS-3 ve LL-3 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

4.3.4. LS-4 ve LL-4

Bu kirişlere ait yük-deplasman eğrileri Şekil 4.115-4.116'da bir arada verilmiştir. Eğrilerden de anlaşılacağı gibi, lifli olan kiriş lifsiz olana göre daha fazla yük taşımış ve daha fazla yer değiştirme yapmıştır. Lifsiz kiriş gevrek bir şekilde kesme kırılmasından güç tükenmesine ulaşmıştır. Lifli kirişte ise sünek davranış görülmüş sonra eğilme kırılmasından güç tükenmesine ulaşmıştır. LL-4 olan kirişinde ilk çatlağa neden olan yük LS-4 kirişine göre %221 oranında artmıştır. Maksimum taşıma yükünde de %27 oranında artış görülmüştür.



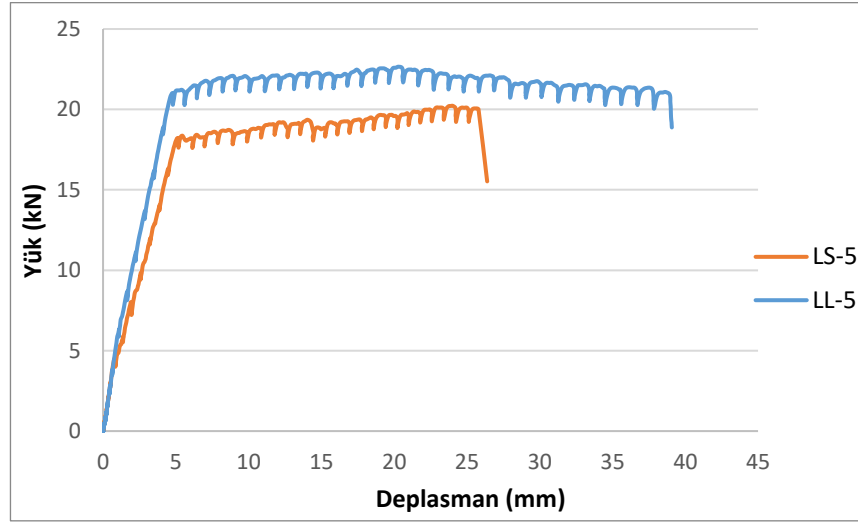
Şekil 4.115. LS-4 ve LL-4 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri



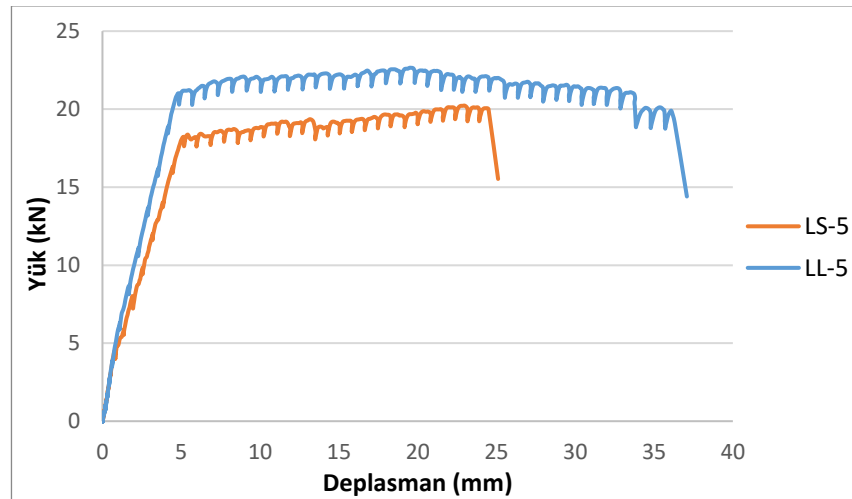
Şekil 4.116. LS-4 ve LL-4 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

4.3.5. LS-5 ve LL-5

Bu kirişlere ait yük-deplasman eğrileri Şekil 4.117-4.118’de bir arada verilmiştir. Eğrilerden de anlaşılacağı gibi, lifli olan kiriş lifsiz olana göre daha fazla yük taşımış ve daha fazla yer değiştirme yapmıştır. LL-5 olan kirişinde ilk çatlağa neden olan yük LS-5 kirişine göre %52 oranında artmıştır. Akma anındaki yük ve maksimum taşıma yükünde de sırasıyla %15 ve %12 oranlarında artış görülmüştür.



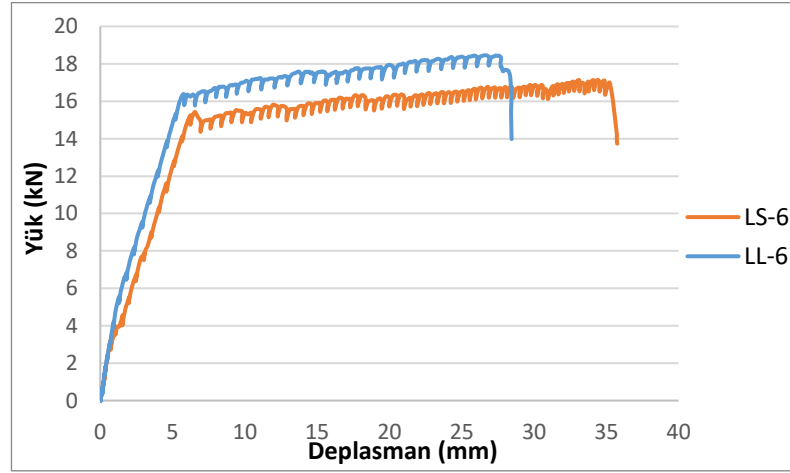
Şekil 4.117. LS-5 ve LL-5 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri



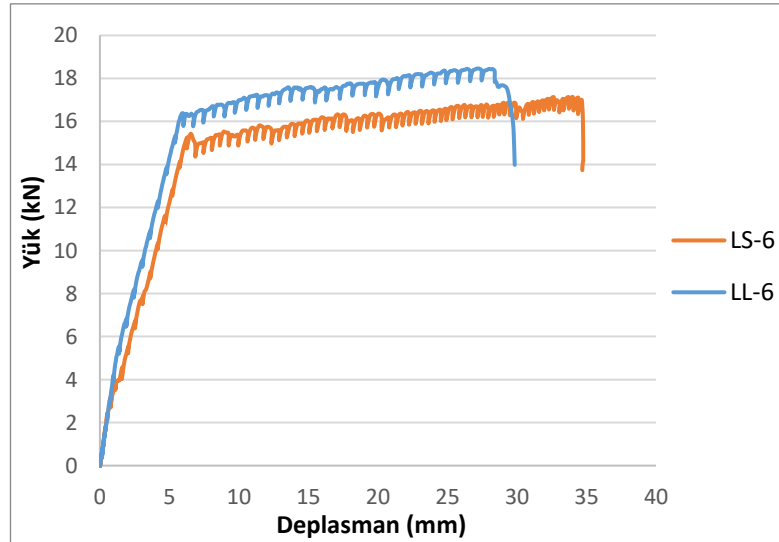
Şekil 4.118. LS-5 ve LL-5 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

4.3.6. LS-6 ve LL-6

Bu kirişlere ait yük-deplasman eğrileri Şekil 4.119-4.120’de bir arada verilmiştir. Eğrilerden de anlaşılacağı gibi, lifli olan kiriş lifsiz olana göre daha fazla yük taşımıştır. LL-6 olan kirişinde ilk çatlağa neden olan yük LS-6 kirişine göre %95 oranında artmıştır. Akma anındaki yük ve maksimum taşıma yükünde de sırasıyla %6 ve %8 oranlarında artış görülmüştür.



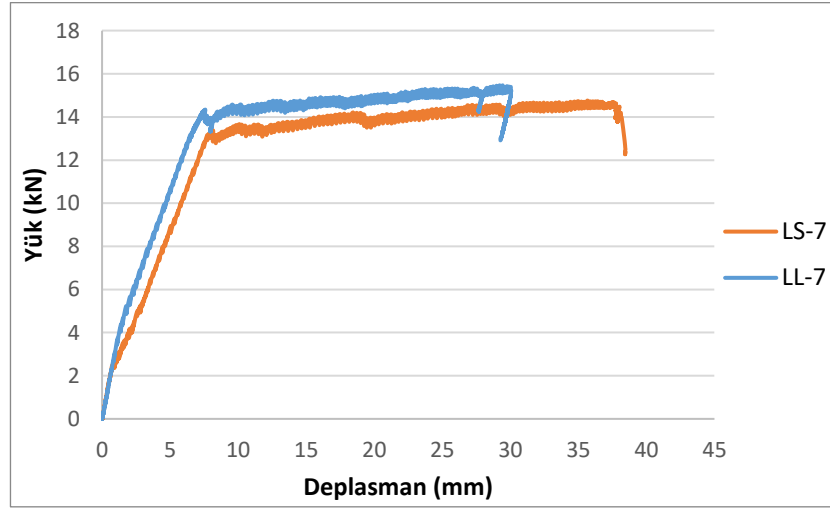
Şekil 4.119. LS-6 ve LL-6 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri



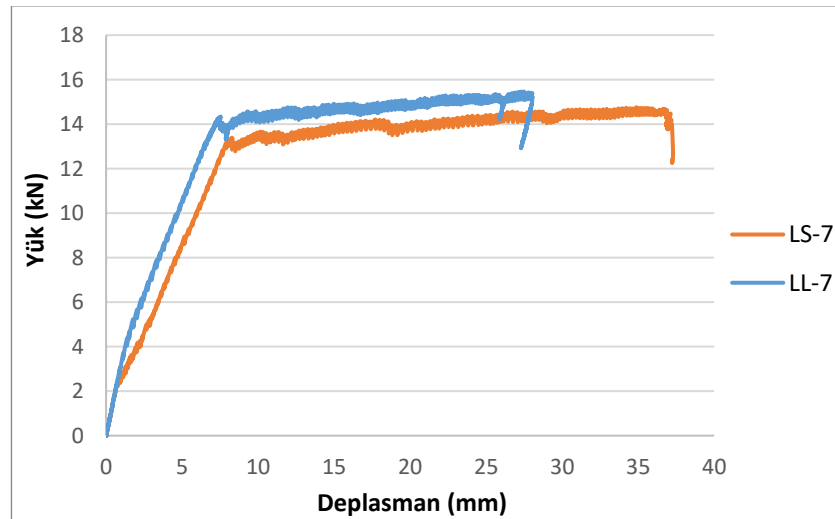
Şekil 4.120. LS-6 ve LL-6 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

4.3.7. LS-7 ve LL-7

Bu kirişlere ait yük-deplasman eğrileri Şekil 4.121-4.122’de bir arada verilmiştir. Eğrilerden de anlaşılacağı gibi, lifli olan kiriş lifsiz olana göre daha fazla yük taşımıştır. LL-7 olan kirişinde ilk çatlağa neden olan yük LS-7 kirişine göre %79 oranında artmıştır. Akma anındaki yük ve maksimum taşıma yükünde de sırasıyla %8 ve %5 oranlarında artış görülmüştür.



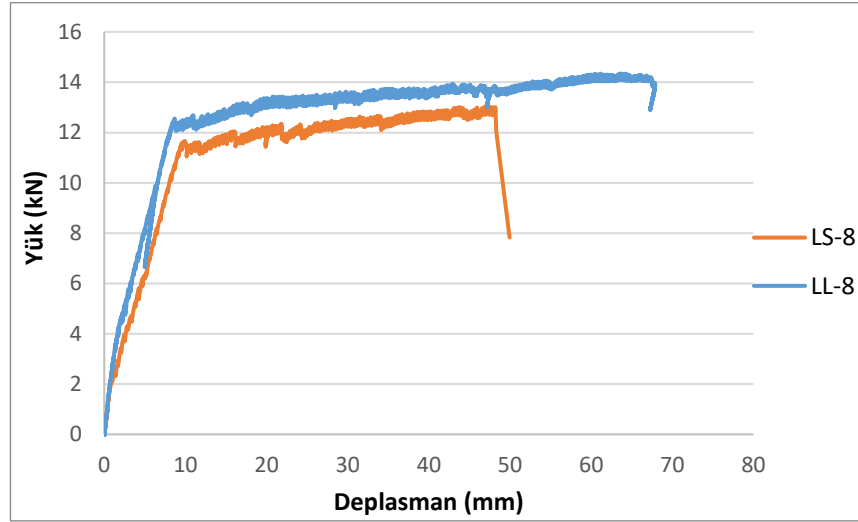
Şekil 4.121. LS-7 ve LL-7 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri



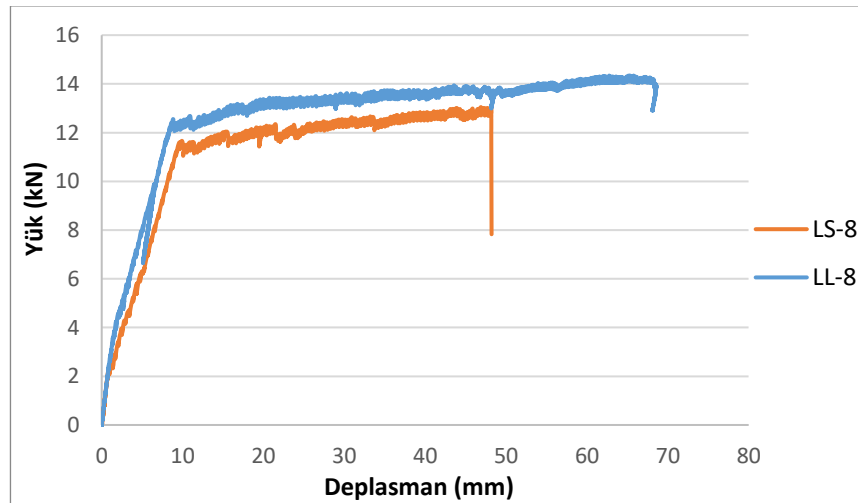
Şekil 4.122. LS-7 ve LL-7 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

4.3.8. LS-8 ve LL-8

Bu kirişlere ait yük-deplasman eğrileri Şekil 4.123-4.124'te bir arada verilmiştir. Eğrilerden de anlaşılacağı gibi, lifli olan kiriş lifsiz olana göre daha fazla yük taşımıştır. LL-8 olan kirişinde ilk çatlağa neden olan yük LS-8 kirişine göre %46 oranında artmıştır. Akma anındaki yük ve maksimum taşıma yükünde de sırasıyla %6 ve %10 oranlarında artış görülmüştür.

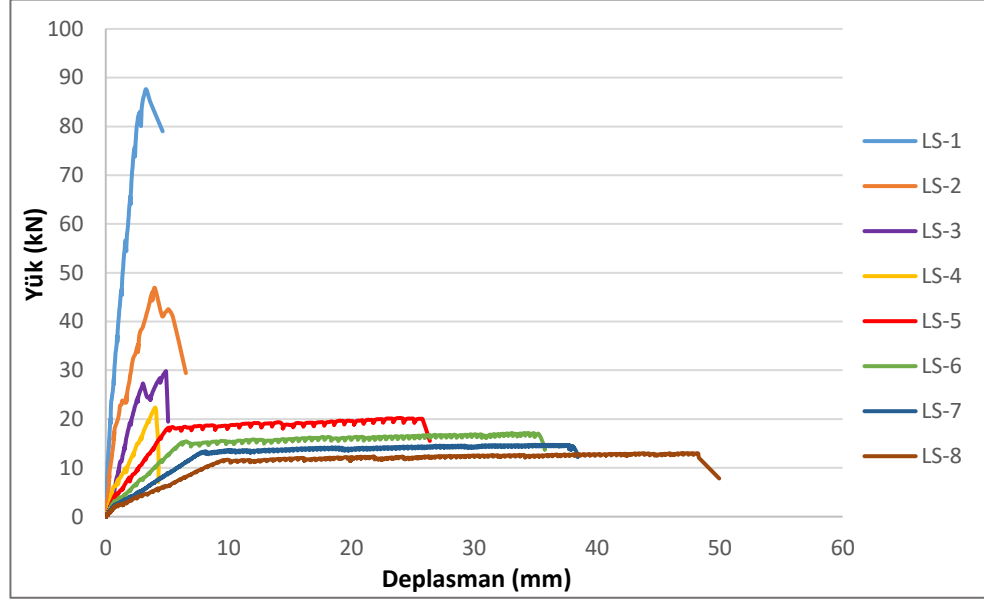


Şekil 4.123. LS-8 ve LL-8 kirişlerinin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

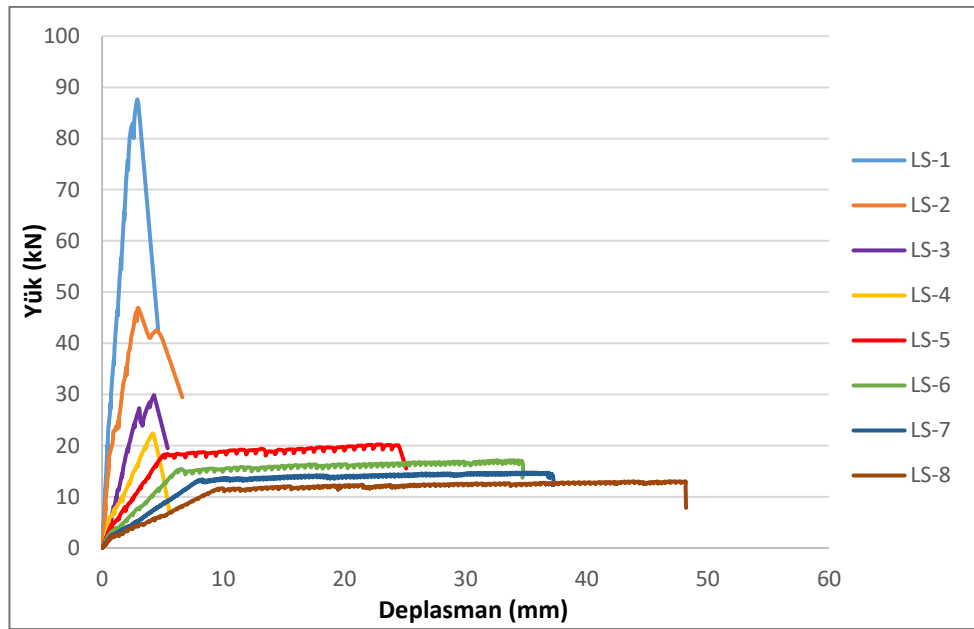


Şekil 4.124. LS-8 ve LL-8 kirişlerinin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

Tüm lifsiz kirişlerine ait yük-deplasman eğrileri aynı grafikte Şekil 4.125-126'da verilmiştir.

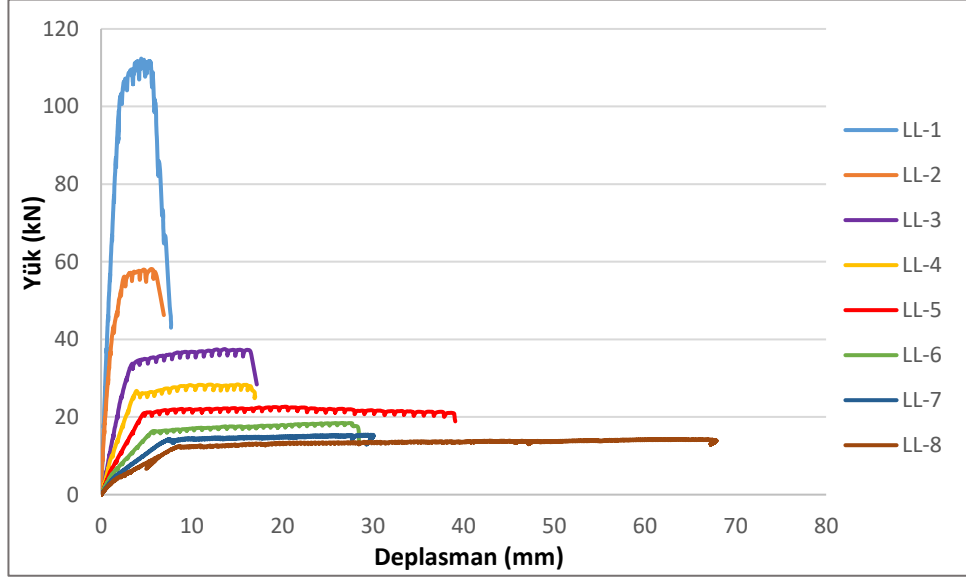


Şekil 4.125. Tüm LS kirişlerin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

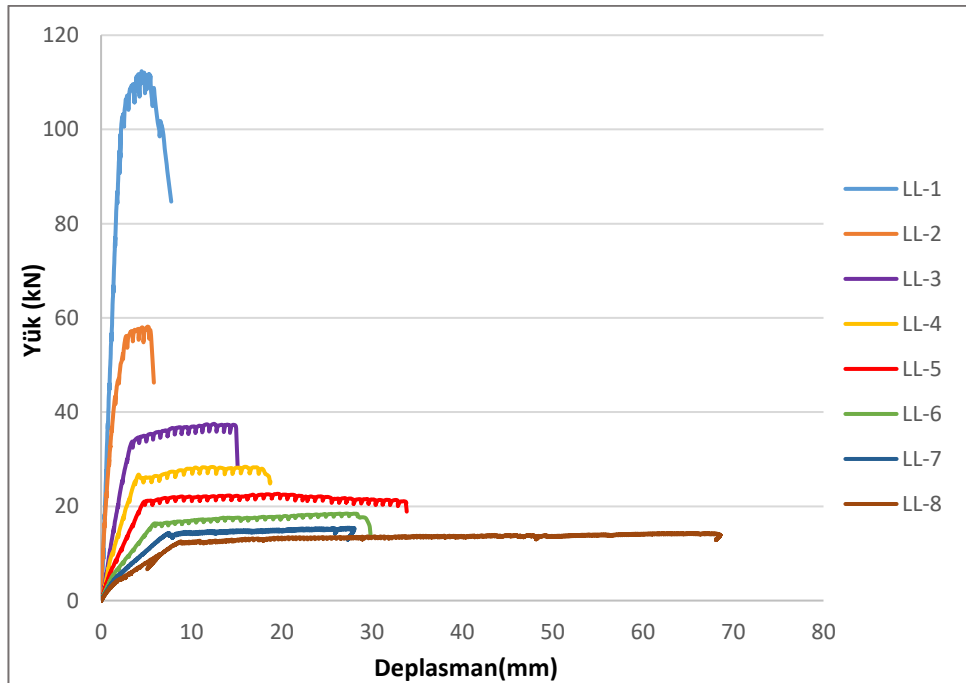


Şekil 4.126. Tüm LS kirişlerin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

Tüm lifli kirişlerine ait yük-deplasman eğrileri aynı grafikte Şekil 4.127-4.128’de verilmiştir.

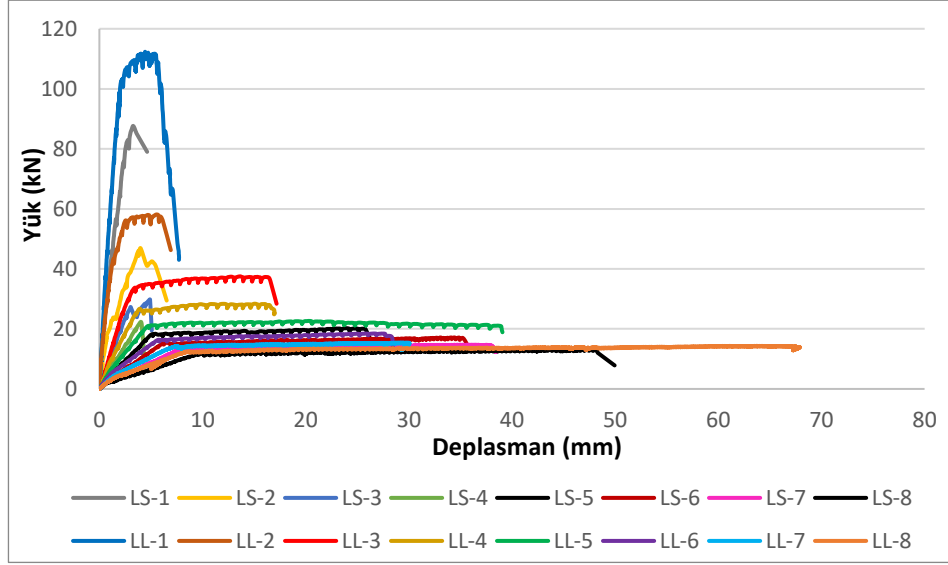


Şekil 4.127. Tüm LL kirişlerin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

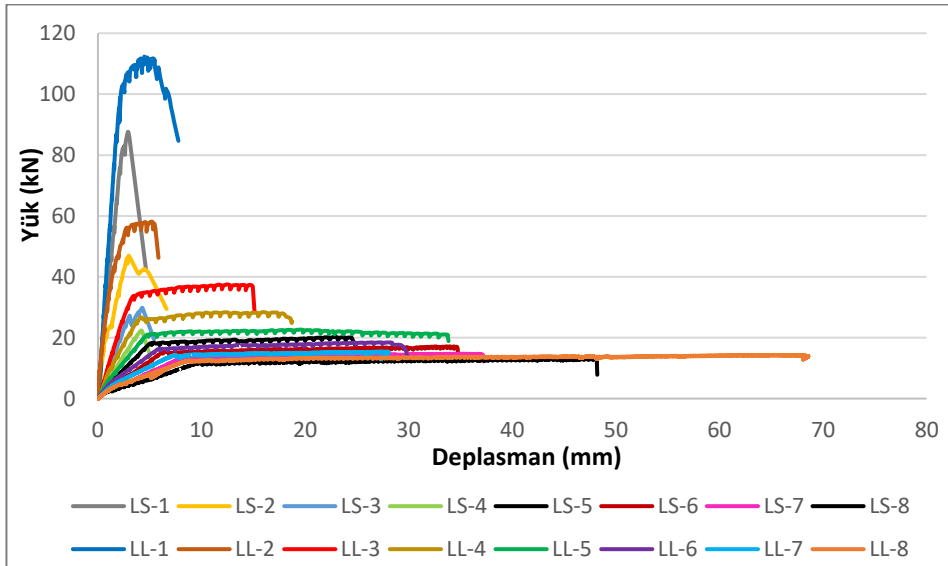


Şekil 4.128. Tüm LL kirişlerin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

Deneysel çalışmada test edilen tüm kirişlere ait yük-deplasman eğrileri tek grafik halinde Şekil 4.129-130'da verilmiştir. Grafik incelediğinde en fazla yük taşıma kapasitesine sahip kiriş 112,36 kN değeri ile LL-1 en az yük taşıma kapasitesine sahip kiriş 13 kN değeri ile LS-8 kiriştir. Bunun yanında en fazla deplasman yapan kiriş LL-8 olup en az deplasman yapan kiriş ise LS-1 olan kiriştir.



Şekil 4.129. Tüm LS ve LL kirişlerin sol LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri



Şekil 4.130. Tüm LS ve LL kirişlerin sağ LVDT kullanılarak elde edilen yük-deplasman eğrileri

Tüm kirişlerin eğilme testlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Tüm kirişlerin eğilme testlerinden elde edilen sonuçlar

a/d	Kiriş	Çatlama			Akma			Güç Tükenmesi			Stineklilik (Sol)	Stineklilik (Sağ)	
		Yük (kN)	Depl. (mm), Sol	Depl. (mm), Sağ	Yük (kN)	Depl. (mm), Sol	Depl. (mm), Sağ	Yük (kN)	Depl. (mm), Sol	Depl. (mm), Sağ			
1	LS-1	Lifli/Lifsisiz	22.82	0.43	0.50	Yok	Yok	87.65	3.26	2.94	Yok	Yok	
	LL-1	Lifli	37.64	0.61	0.75	102.00	2.08	2.30	112.36	4.43	4.48	2.13	1.95
	Lifli/Lifsisiz Oranı	1.65	1.42	1.50	Yok	Yok	Yok	1.28	1.36	1.52	Yok	Yok	
2	LS-2	Lifli/Lifsisiz	23.79	0.79	0.91	Yok	Yok	46.82	4.00	3.00	Yok	Yok	
	LL-2	Lifli	41.00	1.21	1.42	55.68	2.63	2.85	58.14	5.55	5.16	2.11	1.81
	Lifli/Lifsisiz Oranı	1.72	1.53	1.56	Yok	Yok	Yok	1.24	1.39	1.72	Yok	Yok	
3	LS-3	Lifli/Lifsisiz	13.73	1.48	1.58	Yok	Yok	29.83	4.91	4.29	Yok	Yok	
	LL-3	Lifli	29.14	2.70	2.77	33.74	3.46	3.47	37.51	13.65	12.51	3.95	3.61
	Lifli/Lifsisiz Oranı	2.12	1.82	1.75	Yok	Yok	Yok	1.26	2.78	2.92	Yok	Yok	
4	LS-4	Lifli/Lifsisiz	7.88	1.11	1.12	Yok	Yok	22.36	4.02	4.18	Yok	Yok	
	LL-4	Lifli	25.28	3.58	3.78	26.73	3.93	4.17	28.38	15.10	16.00	3.84	3.84
	Lifli/Lifsisiz Oranı	3.21	3.23	3.38	Yok	Yok	Yok	1.27	3.76	3.83	Yok	Yok	
5	LS-5	Lifli/Lifsisiz	7.33	1.74	1.73	18.31	5.35	5.33	20.23	24.00	23.00	4.49	4.32
	LL-5	Lifli	11.12	2.26	2.29	21.00	5.58	5.67	22.65	20.36	19.60	3.65	3.46
	Lifli/Lifsisiz Oranı	1.52	1.30	1.32	1.15	1.04	1.06	1.12	0.85	0.85	0.85	0.81	0.80
6	LS-6	Lifli/Lifsisiz	4.20	1.10	1.47	15.43	6.55	6.54	17.14	34.43	34.00	5.26	5.20
	LL-6	Lifli	8.19	2.36	2.48	16.36	5.71	5.89	18.46	26.63	27.19	4.66	4.62
	Lifli/Lifsisiz Oranı	1.95	2.15	1.69	1.06	0.87	0.90	1.08	0.77	0.80	0.89	0.89	0.89
7	LS-7	Lifli/Lifsisiz	3.90	1.89	1.94	13.13	8.08	8.24	14.76	35.88	35.12	4.44	4.26
	LL-7	Lifli	7.00	3.00	3.00	14.17	7.55	7.49	15.47	29.42	27.49	3.90	3.67
	Lifli/Lifsisiz Oranı	1.79	1.59	1.55	1.08	0.93	0.91	1.05	0.82	0.78	0.88	0.88	0.86
8	LS-8	Lifli/Lifsisiz	3.77	2.51	2.50	11.64	9.83	9.84	13.00	48.17	48.12	4.90	4.89
	LL-8	Lifli	5.52	2.95	3.04	12.34	8.78	8.93	14.34	63.53	65.14	7.24	7.29
	Lifli/Lifsisiz Oranı	1.46	1.18	1.22	1.06	0.89	0.91	1.10	1.32	1.35	1.48	1.49	1.49

Genel olarak sonuçlara bakılırsa lifin eklenmesiyle kirişlerin bazılarında gevrek olan davranış sünek davranışa çevrilmiş olup her bir kirişin taşıma gücü kapasitesinde önemli artışlar görülmüştür.

5. SONUÇ

Bu yüksek lisans tezinde çelik lifli kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen betonarme kirişlerin eğilme ve kesme davranışları lifsiz kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen kirişlerin davranışları ile kıyaslanarak deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla farklı a/d oranla 8'i lifsiz 8'i lifli olmak üzere toplamda 16 adet betonarme kiriş üretilerek dört noktalı eğilme test düzeneğinde test edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda görülmüştür ki kirişlerin eğilme ve kesme davranışlarında çelik lifin büyük etkisi vardır.

Yapılan kiriş deneylerin sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Tüm lifli KYB ile üretilmiş kirişlerin göçme anındaki yer değiştirme değerlerinde lifsiz KYB ile üretilmişlere göre artış görülmüştür.
- 2) Tüm lifli KYB ile üretilmiş kirişlerde oluşan ilk çatlaklardaki yük değerleri lifsiz KYB ile üretilmişlere göre neredeyse iki üç kat daha fazla çıkmıştır.
- 3) Tüm lifli KYB ile üretilmiş kirişlerde akmaya karşı gelen yük değerleri lifsiz KYB ile üretilmişlere göre neredeyse iki kat daha fazla çıkmıştır.
- 4) Tüm lifli KYB ile üretilmiş kirişlerin taşıyabileceği maksimum yük değerleri lifsiz KYB ile üretilmişlere göre daha fazla çıkmıştır.
- 5) Gerçekleştirilen deneylerde lifli kirişlerin lifsiz olanlara göre maksimum taşıma kapasitesinde en düşük %5, en yüksek %28 oranında artış sağlanmıştır.
- 6) a/d oranı arttıkça kirişlerin maksimum taşıyabileceği yük kapasitesinde azalma görülmüştür. Buna karşın a/d artışı ile kirişlerin yer değiştirmeleri artmaktadır.
- 7) Kirişin kırılma şeklini kesmeden eğilmeye dönmesiyle beraber deneyler bize göstermektedir ki, çelik lifli KYB ile üretilmiş kirişler daha sünek bir davranış sergilemektedir. Böyle bir durum LL-4 olan kirişte görülmüştür. LS-4 olan kiriş gevrek davranarak kesme ile güç tükenmesine ulaşmıştır. LL-4 olan kiriş ise sünek davranarak eğilme ile güç tükenmesine ulaşmıştır.
- 8) Tüm lifli KYB ile üretilmiş kirişlerde akma gerçekleşerek güç tükenmesine ulaşmıştır. Lifsiz KYB ile üretilmiş kirişlerde ise a/d oranı 5'ten küçük kirişlerde akma gerçekleşmeden güç tükenmesine ulaşmıştır.

- 9) LS-1, LS-2, LS-3, LS-4, LL-1, LL-2, LL-3 olan kirişlerde eğik çatlakların genişlemesi ile kesme kırılması şeklinde, LS-5, LS-6, LS-7, LS-8, LL-4, LL-5, LL-6, LL-7, LL-8 olan kirişlerde ise eğilme kırılması şeklinde güç tükenmesi görülmüştür.
- 10) Taşıyabileceği maksimum yük kapasitesi açısından en fazla yük taşıyan kiriş LL-1 olan, en az ise LS-8 olan kiriş olmuştur.
- 11) Yer değiştirme açısından en fazla yer değiştirme yapan kiriş LL-8 olan, en az ise LS-1 olan kiriş olmuştur.

Bu çalışma kapsamında elde edilen deney sonuçlarına göre; a/d oranı 5'ten küçük olan lifsiz KYB ile üretilmiş gevrek kırılması ile güç tükenmesine ulaşan kirişler, lifli KYB ile sünek davranışa dönüşmüştür. Yani lifli KYB ile üretilmiş kirişler lifsiz KYB ile üretilmişlere göre daha sünek davranmıştır.

KAYNAKLAR

Akkurt, İ., Basyigit, C., Kilincarslan, S., Mavi, B., Akkurt, A. 2006. Radiation shielding of concretes containing different aggregates. *Cement & Concrete Composites*, 28 (2): 153–157.

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.

Amin, A., Foster, S. J. 2016. Shear strength of steel fibre reinforced concrete beams with stirrups. *Engineering Structures*, 111: 323–332.

ASTM C125. 2002. Standard terminology relating to concrete and concrete aggregates,. Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, USA, 4pp.

ASTM C642-97. 1997. Standard Test Method for Density, Absorption and Voids in Hardened Concrete. ASTM Cement and Concrete Reference Laboratory, USA.

Banthia, N., Trottier, J. F. 1995. Concrete reinforced with deformed steel fibers part II: Toughness characterization. *ACI Materials Journal*, 92(2): 146-154.

Baradan, B., Yardımcı, M., Yücel, M., Felekoğlu, B., Yazıcı, H., Yiğitler, H. 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonun Mekanik Özelliklerinin Lif Katkısı İle Geliştirilmesi. DPT Üniversiteler için İleri Araştırma Projesi, aralık 2005, İzmir.

Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S., Türkel, S., Ün, H., Yiğitler, H., Tosun, F. k. 2015. Beton. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, s. 625.

Bentur, A., Mindess, S. 1990. Fiber reinforced cementitious composites. Elsevier Applied Science, London 165 pp.

Birinciöglu, M. İ. 2016. Çelik lifli betonarme kirişlerin kesme mukavemeti. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Cattaneo, S., Biolzi, L., Mola, F. 2014. Bending-shear response of self-consolidating and high-performance reinforced concrete beams. *Engineering Structures*, 59: 399–410.

Cengiz, S. 2019. Kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş, sabit dikdörtgen kesitli betonarme kirişlerde kesme ve eğilme davranışının incelenmesi. *Yüksek lisans Tezi*.

Corinaldesi, V., Moriconi, G. 2003. Durable fiber reinforced Self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 34(2): 249-254.

Cucchiara, C., Mendola, L. L., Papia, M. 2004. Effectiveness of stirrups and steel fibres as shear reinforcement. *Cement & Concrete Composites*, 26(7): 777–786.

Çopuroğlu, O. 2001. Beton numunesi şekil ve boyutunun basınç ve çekme dayanımına etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.

Ding, Y., you, Z., Jalali, S. 2011. The composite effect of steel fibres and stirrups on the shear behaviour of beams using self-consolidating concrete. *Engineering Structures*, 33(1): 107–117.

Doğan, Ü. A. 2000. Yeni kuşak süperakışkanlaştırıcıların harç ve beton özelliklerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Doğangün, A. 2018. Beronarme yapıların hesap ve tasarımı. Birsen Yayın Dağıtım Ltd. Şti, İstanbul, ss:768.

Dupont, D., Vandewalle, L. 2002. Bending capacity of steel fiber reinforced concrete (SFRC) beams. International Congress on Challenges of Concrete Construction, Dundee, 81-90.

Duyar, O. 2006. Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Şartnamesi Işığında Tanımlar, Dizayn Yöntemi, Deney Metotları ve Mühendislik Özellikleri. *Türkiye Hazır Beton Birliği Dergisi*, 31(6): 46-52.

EFNARC. 2002. Specification and guidelines for self-compacting concrete. Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK, February, ss.1-40.

EFNARC. 2005. The european guidelines for self-compacting concrete. Specification and Production and Use, Association House, UK.

EN 206-1. 2000. Concrete-Part 1: Specification, performance, production and conformity. BS, UK.

Erdoğan, T. Y. 2010. Beton. ODTÜ Geliştirme vakfı yayıncılık ve iletişim A.Ş. Yayın, 3. Baskı, Ankara, s. 757.

Erol, H. 2011. Çelik tel içeren betonarme kirişlerin mekanik davranışı. *Yüksek Lisans Tezi*, Bozok Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yozgat.

Ersoy, U., Özcebe, G. 2012. Betonarme. Evrim Yayınları, Ankara, Türkiye.

Etman , Z. A., Kamal, M. M., Safan , M. A., Salama, R. A. 2014. Behavior and strength of beams cast with ultra high strength concrete containing different types of fibers. *Housing and Building National Research Center*, 10(1): 55-63.

Felekoğlu, B., Türkel, S., Baradan, B. 2004. Kendiliğinden yerlesen beton: bölüm 1 genel tanıtım, kullanım alanları, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Haber Bülteni., s. 117(4): 20-24).

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*, 42(4): 1795-1802.

Furlan, S. J., Hanai, J. B. 1997. Shear behavior of fiber reinforced concrete beams. *Cement and Concrete Composites* , 19(4): 359-366.

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

Grünewald, S., Walraven, 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.

Kharita, M. H., Takeyeddin, M., Alnassar, M., Yousef, S. 2008. Development of special radiation shielding concretes using natural. *Progress in Nuclear Energy*, 50(1): 33-36.

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

Kiremitçi, C. A. 2008. Çelik tel donatılı ultra yüksek performanslı çimento esaslı kompozitlerin mekanik davranışı. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Korkmaz, S. 2011. Kendiliğinde yerleşen lifli betonların çekme elemanlarında kullanılabilirliği. *Yüksek Lisans Tezi*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.

MacGregor, J. G., Wight, J. K. 1997. Reinforced concrete: Mechanics and design. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

Mardani-Aghabaglou, A. 2016. Portland çimentosu ve süper akışkanlaştırıcı katkı uyumunun incelenmesi. *Doktora Tezi*, EÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.

Mehta, P. K., Monterio, P. J. 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.

Noghabai, K. 2000. Beams of fibrous concrete in shear and bending : Experiment and model. *Journal of Structural Engineering*, 126(2): 243-251.

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., (s. pp: 3-14).

Okamura, H., Ouchi, M. 2003. Self-compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 1(1): 5-15.

Ouchi, M., Nakamura, S. A., Osterberg, T., Hallberg, S. E., Lwin, M. 2003. Applications of self-compacting concrete in Japan, Europe and the United States. *Kochi University of Technology*. Kochi, Japan.

Ouedraogo, H. A. 2018. Lif kullanımının kendiliğinden yerleşen beton (kyb) karışımlarının özelliklerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, BUÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

Öz, A. 2014. Uçucu kül içeren kendiliğinden yerleşen hibrid lifli betonların bazı özelliklerinin araştırılması. *Doktora Tezi*, Atatürk Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Erzurum.

Özcan, D. M. 2003. Betonarme kiriş elemanlarda çelik lif katkısının taşıma gücüne etkisinin deneysel incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri.

Özkul, M. H. 2002. Beton teknolojisinde bir devrim: kendiliğinden yerleşen-sıkışan beton. *Türkiye Hazır Beton Birliği, Hazır Beton Dergisi*, ss: 64-71.

Persson, B. 2000. A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(2): 193-198.

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.

Romualdi, J. P., Batson, G. B. 1963. Mechanics of crack arrest in concrete. *Journal of the Engineering Mechanics Division*, 89(3), 147-168.

Saf, M. O. 2015. Sentetik C-S-H bileşiklerinin kendiliğinden yerleşen betonların taze ve sertleşmiş özelliklerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Sağlam, A. R., Parlak, N., Doğan, Ü. A., Özkul, M. H. 2004. Kendiliğinden yerleşen beton ve katkı-çimento uyumu. Beton 2004 Kongresi., (pp. 213-224.). İstanbul.

Sahmaran, M., Yurtseven, A., Yaman, I. O. 2005. Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete. *Building and Environment*, 40(12): 1672–1677.

Sarı, M. 2013. Farklı tipteki liflerin betonun mekanik davranışına etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Skarendahl, A., Petersson, O. 2000. Self Compacting Concrete. State-of-the- Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC.

Su, N., Hsu, K. C., Chai, H. W. 2001. A simple mix design method for self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 31: 1799 – 1807.

Subaşı, S., Emiroğlu, M. 2008. Lif kullanılan kendiliğinden yerleşen betonlarda işlenebilirlik ve basınç dayanımı arasındaki ilişki analizi. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3): 527-539.

Swamy, R. N., Mannat, P. S. 1974. A theory for the flexural strength of fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, 4(2): 313-325.

Şen, M. 2009. Farklı boy/çap oranına sahip çelik lifli gövde donatısız betonarme kirişlerin kesme davranışı. *Yüksek Lisans Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Şener, S., Şener, K. C. 2017. Universal size effect of concrete specimens and effect of notch depth. *Chalange Journal Of Structural Mechanics*, 3(1): 47-51.

Şener, S., Çağtay, B., Begimgil, M., Ogün, F. 1999. Çelik lifli çentikli kirişlerde boyut etkisi. Çelik Tel Donatılı Beton Sempozyumu, Sabancı Center, İstanbul.

Şimşek, O. 2009. Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayıncılık, 3. Baskı, Ankara, 359s.

TBDY. 2018. *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. Ankara: Başkanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi.

Torrijos, M. C., Barragan, B. E., 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 12390-8. 2002. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 8: Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini Deney Sonuçları ve İrdelenmesi. *TSE*, Ankara.

Ulusoy, S. 2015. Etriyesiz çelik lifli betonarme kirişlerin kesme mukavemeti. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

Ulusoy, S. 2015. Etriyesiz çelik lifli betonarme kirişlerin kesme mukavemeti. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

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., Long, G. 2005. Influence of aggregate of properties of self-consolidating concrete., First International Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete., (pp. PP: 161-171). Ed.: Klin, J., China.

Yardımcı, M. Y. 2007. Çelik lifli kendiliğinden yerleşen betonların reolojik, mekanik, kırılma parametrelerinin araştırılması ve optimum tasarımı. *Doktora Tezi*, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.

Yazıcı, H. 2012. Sertleşmiş betonun diğer özellikleri. DEÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi 2, İzmir ss: 23.

Yoo, Y. D., Yoon, Y. S., Banthia, N. 2015. Flexural response of steel-fiber-reinforced concrete beams: Effects of strength, fiber content, and strain-rate. *Cement and Concrete Composites*, 64 :84-92.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Bashir Ahmad MAYAR
Doğum Yeri ve Tarihi : Wardak / Afganistan – 10.08.1994
Yabancı Dil : Farsça, Türkçe, İngilizce

Eğitim Durumu
Lise : Anbokhak Lisesi / Chak, Wardak
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümü
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü

İletişim (e-posta) : bashir.mayar22@gmail.com

Yayımlar :

Shareef, F.A., Türker H.T., Mirkeel, H., Arslan, T., Mayar, B.A., Deliktaş, B., 2020, Lifli betonun çekme dayanımı üzerindeki boyut etkisinin üçgen plaka deney yöntemi ile belirlenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(3): 1923-1935.