

**BETONARME KİRİŞLERDE DONATI ORANININ VE
GENİŞLİK/YÜKSEKLİK ORANININ KİRİŞ
DAVRANIŞINA ETKİLERİ**

Ahmad Farid TURAN



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME KİRİŞLERDE DONATI ORANININ VE
GENİŞLİK/YÜKSEKLİK ORANININ KİRİŞ DAVRANIŞINA ETKİLERİ**

Ahmad Farid TURAN
0000-0002-6561-1967

Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2022
Her Hakkı Saklıdır

TEZ ONAYI

Ahmad Farid TURAN tarafından hazırlanan “BETONARME KİRİŞLERDE DONATI ORANININ VE GENİŞLİK/YÜKSEKLİK ORANININ KİRİŞ DAVRANIŞINA ETKİLERİ” 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 000-0001-7248-3409 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
/ /2022

B.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.

27/05/2022

Ahmad Farid TURAN

TEZ YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezin/raporun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kâğıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma izni Bursa Uludağ Üniversitesi'ne aittir. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet hakları ile tezin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları tarafımıza ait olacaktır. Tezde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanılması zorunlu metinlerin yazılı izin alınarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederiz.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan “**Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge**” kapsamında, yönerge tarafından belirtilen kısıtlamalar olmadığı takdirde tezin YÖK Ulusal Tez Merkezi / B.U.Ü. Kütüphanesi Açık Erişim Sistemi ve üye olunan diğer veri tabanlarının (Proquest veri tabanı gibi) erişimine açılması uygundur.

Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU
27/05/2022

Ahmad Farid TURAN
27/05/2022

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BETONARME KİRİŞLERDE DONATI ORANININ VE GENİŞLİK/YÜKSEKLİK ORANININ KİRİŞ DAVRANIŞINA ETKİLERİ

Ahmad Farid TURAN

Bursa Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU

Bu tez çalışması kapsamında, betonarme kirişlerin analizinde ve tasarımında bir kısmı yönetmeliklerde verilen şartlara bağlanmış bazı parametrelerin kirişlerin davranışına nasıl etki ettiğini iki aşamalı bir çalışma ile deneysel olarak gözlemlemek, deney sonuçlarını analitik sonuçlarla kıyaslayarak irdelenmiştir. Birinci aşamada yönetmelikte verilen minimum ve maksimum donatı oranları sınırlarına uyularak ve uyulmayarak üretilen kirişlerin davranışları incelenmiştir. İkinci aşamada ise betonarme kirişlerde farklı b_w/h (genişlik/yükseklik) oranının kiriş davranışına etkisi incelenmiştir.

Birinci aşamada Kirişlerde minimum ve maksimum donatı yerleştirilmiş ve yönetmelikte tanımlanan maksimum donatı oranı $0.85p_b$ 'ye karşı gelen dengeli donatı oranının yanı sıra dengeli donatı oranından daha fazla donatı (over reinforcement) uygulanarak toplam altı tane kiriş üretilmiş olup ve tüm kirişler için yük-deplasman grafiklerine bakılmıştır. Bu üretilen kirişler 4 noktalı eğilme düzeneğinde test edilmiştir. İkinci aşamada farklı b_w/h donatı oranlarına sahip olan ve değişik üç tane genişlik / yükseklik oranı olmak üzere toplam 6 tane betonarme kiriş deneye tabi tutulmuştur. Bunlar (2/1, 1/1, 1/2) ebadında olup 2/1 genişliğe yüksekliğin iki katı, 1/1 genişliğe yüksekliğin eşit kare kiriş, 1/2 genişliğe yüksekliğin yarısı şeklinde üç farklı kiriş üretilmiştir. Kiriş boyutları olarak 75x150,105x105,150x75 mm birimindedir. Genişliği 75 mm yüksekliği 150 mm değer tür lüsü genişliği 150 mm yüksekliği 75 mm ve 105x105 mm genişliği ve yüksekliği aynı olan kare kiriş olarak tanımlanmıştır. Bunların donatı oranları aynı olup maksimuma minimum arasında bir donatı oranı seçilmiştir. Araştırma sorularında yer alan parametrelerin kiriş davranışına olan etkileri imal edilmiş kiriş numuneleri test edilerek araştırılmıştır. Davranışları kıyaslamak için yük-deplasman grafiklerinden faydalanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, kiriş, deneysel, donatı oranı, kesme vadisi grafiği
2022, vii + 69 sayfa.

ABSTRACT

MSc Thesis

EFFECTS OF REINFORCEMENT RATIO AND WIDTH / HEIGHT RATIO ON BEAM BEHAVIOR IN REINFORCED CONCRETE BEAMS

Ahmad Farid TURAN

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

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Serkan SAĞIROĞLU

Within the scope of this thesis, experimentally observing how some parameters, some of which are dependent on the conditions given in the regulations, affect the behavior of the beams in the analysis and design of reinforced concrete beams, with a two-stage study were examined by comparing the experimental results with the analytical results. In the first stage, the behavior of the beams produced by complying or not complying with the minimum and maximum reinforcement ratio limits given in the regulation was examined. In the second stage, the effect of different b_w/h ratio on the beam behavior in reinforced concrete beams was investigated.

The first stage, minimum and maximum reinforcements were placed in the beams, and a total of six beams were produced by applying more reinforcement than the balanced reinforcement ratio, as well as the balanced reinforcement ratio corresponding to the maximum reinforcement ratio defined in the regulation as $0.85p_b$, and a total of six beams were produced and the load-displacement were examined. These produced beams were tested in a 4-point bending test. In the second stage, a total of 6 reinforced concrete beams with different b_w/h reinforcement ratios and three different width/height ratios were tested. These are (2/1, 1/1, 1/2) in size and three different beams are produced: 2/1 width is twice the height, 1/1 width is equal to the height, and 1/2 width is half the height. The beam dimensions are 75x150, 105x105, 150x75 mm. It is defined as a square beam with a width of 75 mm, a height of 150 mm, a type of value width of 150 mm, a height of 75 mm, and a width and height of 105x105 mm. Load-displacement plots were used to compare the behaviors.

Key words: Reinforced concrete, beam, experimental, reinforcement ratio, shear valley
2022, vii + 69 pages.

TEŞEKKÜR

Çalışmamda sürecinde olumlu tavırlarla bana yön gösteren, destek ve emeklerini esirgemeyen, cesaretlendiren, öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyacağım tez danışmanım değerli hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Serkan SAĞIROĞLU 'ya teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmanın her aşamasında beni yalnız bırakmayıp desteğini esirgemeyen Sn. İnş. Yük. Müh. Barış ESEN'e çok teşekkür ederim.

Deneysel çalışmada kullanılan hazır beton temini için Vezirhan Beton Bursa Fabrikası A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgileriyle ışık tutan ve bana akademik yolda yürüme şevki kazandıran değerli hocam sayın Rektör yardımcısı Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN'e ve Bursa Uludağ Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümündeki bütün hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ahmad Farid TURAN
27/05/2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Betonarme Kirişlerde Farklı a/d Oranının Kiriş Davranışına Etkisi.....	2
2.2. Farklı Boyuna Donatı Oranlarına Sahip Kirişlerin Davranışlarına etkisi.....	4
2.3. Literatür Taraması.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	10
3.1. Deneysel Çalışma ve Kirişlerin Özellikleri.....	10
3.2. Tek Donatılı Dikdörtgen Kirişlerin Taşıma Gücü Hesabı.....	17
3.3. Eğilme etkisindeki betonarme kirişin çekme kırılmasına bağlı tasarımı.....	19
3.4. Betonarme kirişlerin deneysel olarak üretilmesi.....	27
3.7. Betonarme kirişlerin Deney düzeneği ile ölçüm cihazları.....	31
4. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	33
4.1. Birinci Grup, Farklı Genişlik/Yükseklik Oranına Sahip Numunelerin Davranışlarının İncelenmesi.....	33
4.1.1. En Kesiti 105 mm x 105 mm (bw/h=1) ve a/d=3 olan Deney Numunesi.....	33
4.1.2. En Kesiti 105 mm x 105 mm (bw/h=1) ve a/d=6 olan Deney Numunesi.....	35
4.1.3. En kesiti 75x150 (bw/h=1/2) ve a/d=3 olan deney numunesi.....	37
4.1.4. En kesiti 75x150 (bw/h=1/2) ve a/d=6 olan deney numunesi.....	38
4.1.5. En kesiti 150x75 (bw/h=2/1) ve a/d=3 olan deney numunesi.....	40
4.1.6. En kesiti 150x75 (bw/h=2/1) ve a/d=6 olan deney numunesi.....	42
4.2. İkinci Grup, Değişik Donatı Oranları İçeren kiriş elemanlarda oluşan Eğilme ve Kesme Etkilerinin İncelenmesi.....	43
4.2.1. Minimum donatı oranından az donatılı.....	43
4.2.2. Minimum donatı oranında donatılı.....	45
4.2.3. Minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı.....	48
4.2.4. Maksimum donatı oranında donatılı.....	51
4.2.5. Dengeli donatı oranında donatılı.....	54
4.2.6. dengeli donatı oranından fazla donatılı.....	56
5. SONUÇ.....	59
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	63

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
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	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_y	Donatının minimum akma dayanımı
f_{yd}	Donatının tasarım akma dayanımı
f_{yk}	Donatının karakteristik akma dayanımı
g	Yer çekim ivmesi
h	Kiriş yüksekliği
k_1	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
P	Uygulanan yük
P_u	Kırılma anındaki kuvvet
S	İki yük arasındaki mesafe
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 değiştirmesi
ϵ_{sy}	Donatı çeliğinin akmaya başladığı andaki birim şekil değiştirmesi
\emptyset	Donatı oranı
C_{25}	28 gün suda bekletilmiş silindir basınç dayanımı 25 MPa olan beton
S_{420}	Donatı akma dayanımı 420 MPa olan donatı

Kısaltmalar	Açıklama
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing Materials
S/Ç	Su Çimento oranı
TS 500	Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
W/C	Water/Cement
LVDT	Linear Variable Differential Transformer

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.	(a/d) Oranına ait göçme modları ve numunelerin kesme ile moment taşıma kapasitesi grafiği (MacGregor ve Wight 1997).....	2
Şekil 2.2.	Kirişte meydana gelen eşgerilme eğrileri (Ersoy ve Özcan 2012).....	3
Şekil 2.3.	Teste tabi tutulan farklı boyuna donatı oranlarına hasip kirişler.....	4
Şekil 3.1.	Kesit 105x105 numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi.....	13
Şekil 3.2.	Kesit 150x75 numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi.....	14
Şekil 3.4.	Minimum donatıdan az donatılı donatılı numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi	14
Şekil 3.5.	Minimum donatı oranında donatılı numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi	14
Şekil 3.6.	Minimum ile maksimum arası donatı donatı oranından donatılı numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi	14
Şekil 3.7.	Maksimum donatı oranında donatılı numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi	14
Şekil 3.8.	Dengeli donatı oranında donatılı numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi	15
Şekil 3.9.	Dengeli donatı oranından fazla donatılı numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi	15
Şekil 3.10.	Farklı boyuna donatı oranlarına sahip kirişlerin üç boyutlu modeli.....	16
Şekil 3.11.	Betonarme kirişlerde farklı a/d oranının üç boyutlu modelleri.....	16
Şekil 3.12.	Tipik bir kirişin eğilme altındaki çizim ve ayrıntıları	17
Şekil 3.13.	Güç tükenme momentine ulaşmış tek donatılı dikdörtgen kesit.....	17
Şekil 3.14.	Tipik kirişin MNT diyagramı.....	18
Şekil 3.15.	Denge donatı oranının bulunması.....	20
Şekil 3.16.	Boyuna donatıların hazırlanması	27
Şekil 3.17.	a) Hazırlanan kalıplar, b) Kalıp içerisine yerleşen donatılar.....	27
Şekil 3.18.	Betonun kalıplara yerleştirilmesi	28
Şekil 3.19.	Betondan alınan malzeme örnek numuneleri	28
Şekil 3.20.	Döküm sonrası numuneler	29
Şekil 3.21.	Deney kirişlerin boyanması	29
Şekil 3.22.	Beton test presi ve test edilmiş küp numuneleri.....	30
Şekil 3.23.	Kirişin deney düzeneği ile ölçüm cihazı	31
Şekil 3.24.	Potansiyometrik cetvel (LVDT) ve veri toplama aleti.....	31
Şekil 4.1.	Teste tabi tutulan en kesiti 105x105 (a/d=3) olan numunenin test öncesi görüntüsü.....	33
Şekil 4.2.	En kesiti 105x105 (a/d=3) deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar.....	34
Şekil 4.3.	En kesiti 105x105 (a/d=3) numunesinin yük altındaki davranışı.....	34
Şekil 4.4.	En kesiti 105x105 (a/d=3) numunesinin deney sonundaki davranışı.....	35
Şekil 4.5.	En kesiti 105x105 (a/d=3) numunenin sol LVDT'lerde okunan (yük-deplasman) eğrisi.....	35
Şekil 4.6.	En kesiti 105x105 (a/d=3) numunenin sağ LVDT'lerde okunan (yük-deplasman) eğrisi.....	35
Şekil 4.7.	En kesiti 105x105 (a/d=6) numunesinin deney öncesi.....	36
Şekil 4.8.	En kesiti 105x105 (a/d=6) numunesinde oluşan ilk çatlaklar.....	36
Şekil 4.9.	En kesiti 105x105 (a/d=6) deney numunesinde akma anındaki davranışı.....	37
Şekil 4.10.	En kesiti 105x105 (a/d=6) deney numunesinin deney sonundaki davranışı.....	37

Şekil 4.11.	En kesiti 105x105 (a/d=6) numunenin sol LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	38
Şekil 4.12.	En kesiti 105x105 (a/d=6) numunenin sağ LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	38
Şekil 4.13.	En kesiti 150x75 (a/d=3) numunesinin deney öncesi.....	38
Şekil 4.14.	En kesiti 150x75 (a/d=3) deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar.....	39
Şekil 4.15.	En kesiti 150x75 (a/d=3) numunenin yük altındaki davranışı.....	39
Şekil 4.16.	En kesiti 150x75 (a/d=3) numunenin maksimum yük altındaki davranışı.....	40
Şekil 4.17.	En kesiti 150x75 (a/d=3) numunenin deney sonundaki davranışı.....	40
Şekil 4.18.	En kesiti 150x75 (a/d=3) numunenin sol LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	41
Şekil 4.19.	En kesiti 150x75 (a/d=3) numunenin sağ LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	41
Şekil 4.20.	En kesiti 150x75 (a/d=6) numunesinin deney öncesi.....	42
Şekil 4.21.	En kesiti 150x75 (a/d=5) deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar.....	42
Şekil 4.22.	En kesiti 150x75 (a/d=6) deney numunesinde akma anındaki davranışı.....	43
Şekil 4.23.	En kesiti 150x75 (a/d=6) deney numunesinin maksimum yük altındaki davranışı.....	43
Şekil 4.24.	En kesiti 150x75 (a/d=5) deney numunesinin deney sonundaki davranışı.....	44
Şekil 4.25.	En kesiti 150x75 (a/d=6) numunenin sol LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	44
Şekil 4.26.	En kesiti 150x75 (a/d=6) numunenin sağ LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	44
Şekil 4.27.	En kesiti 75x150 (a/d=3) numunesinin deney öncesi.....	45
Şekil 4.28.	En kesiti 75x150 (a/d=3) numunenin yük altındaki davranışı.....	45
Şekil 4.29.	En kesiti 75x150 (a/d=3) numunenin sol LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	46
Şekil 4.30.	En kesiti 75x150 (a/d=3) numunenin sağ LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	46
Şekil 4.31.	En kesiti 75x150 (a/d=6) numunesinin deney öncesi.....	46
Şekil 4.32.	En kesiti 75x150 (a/d=6) deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar.....	47
Şekil 4.33.	En kesiti 75x150 (a/d=6) deney numunesinde akma anındaki davranışı.....	47
Şekil 4.34.	En kesiti 75x150 (a/d=6) deney numunesinin maksimum yük altındaki davranışı.....	48
Şekil 4.35.	En kesiti 75x150 (a/d=6) deney numunesinin deney sonundaki davranışı.....	48
Şekil 4.36.	En kesiti 75x150 (a/d=6) numunenin sol LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	49
Şekil 4.37.	En kesiti 75x150 (a/d=6) numunenin sağ LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	49
Şekil 4.38.	Teste tabi tutulan minimum donatı oranından az donatılı numunenin deney öncesi görüntüsü.....	49
Şekil 4.39.	En kesiti 200x200 minimum donatı oranından az donatılı deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar.....	50
Şekil 4.40.	En kesiti 200x200 minimum donatı oranından az donatılı numunenin deney sonundaki davranışı.....	50
Şekil 4.41.	En kesiti 200x200 minimum donatı oranından az donatılı numunenin sol LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	51
Şekil 4.42.	En kesiti 200x200 minimum donatı oranından az donatılı numunenin sağ	

	LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	51
Şekil 4.43.	Teste tabi tutulan Minimum donatı oranında donatılı numunenin deney öncesi görüntüsü.....	52
Şekil 4.44.	En kesiti 110x200 Minimum donatı oranında donatılı deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar.....	52
Şekil 4.45.	En kesiti 110x200 Minimum donatı oranında donatılı deney numunesin akma durumu.....	52
Şekil 4.46.	En kesiti 110x200 minimum donatı oranında donatılı deney numunesinin yük altındaki davranışı.....	53
Şekil 4.47.	En kesiti 110x200 minimum donatı oranında donatılı numunenin sol LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	53
Şekil 4.48.	En kesiti 110x200 minimum donatı oranında donatılı numunenin sağ LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	54
Şekil 4.49.	Teste tabi tutulan minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı numunenin deney öncesi görüntüsü.....	54
Şekil 450.	En kesiti 110x200 minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar.....	55
Şekil 4.51.	En kesiti 110x200 minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı deney numunesinin akma anındaki davranışı.....	55
Şekil 4.52.	En kesiti 110x200 minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı deney numunesinin maksimum yük altındaki davranışı.....	55
Şekil 4.53.	En kesiti 110x200 minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı numunesinin deney sonundaki davranışı.....	56
Şekil 4.54.	En kesiti 110x200 minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı numunenin sol LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	56
Şekil 4.55.	En kesiti 110x200 minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı numunenin sağ LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi.....	57
Şekil 4.56.	Teste tabi tutulan maksimum donatı oranında donatılı numunenin deney öncesi görüntüsü.....	57
Şekil 4.57.	En kesiti 127x200 maksimum donatı oranında donatılı deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar.....	58
Şekil 4.58.	En kesiti 127x200 maksimum donatı oranında donatılı deney numunesinin akma anındaki durumu.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1.	Deney kirişlerinin yönetmelikte verilen minimum ve maksimum donatı oranları ve malzeme özellikleri.....	11
Çizelge 3.2.	En kesit 75x150 a/d oranı deney kirişlerin boyut ve malzeme özellikleri.....	12
Çizelge 3.3.	En kesit 150x75 a/d oranı deney kirişlerin boyut ve malzeme özellikleri.....	12
Çizelge 3.4.	En kesit 105x105 a/d oranı deney kirişlerin boyut ve malzeme özellikleri.....	12
Çizelge 3.5.	En kesiti 75x150 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik kırılma yükleri.....	23
Çizelge 3.6.	En kesiti 150x75 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik kırılma yükleri.....	23
Çizelge 3.7.	En kesiti 105x105 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik kırılma yükleri.....	23
Çizelge 3.8.	Deney kirişlerinin yönetmelikte verilen minimum ve maksimum donatı oranları ve teorik kırılma yükleri.....	23
Çizelge 3.9.	En kesiti 75x150 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik akma yükleri.....	24
Çizelge 3.10.	En kesiti 150x75 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik akma yükleri.....	24
Çizelge 3.11.	En kesiti 105x105 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik akma yükleri.....	24
Çizelge 3.12.	Deney kirişlerinin yönetmelikte verilen minimum ve maksimum donatı oranları ve teorik akma yükleri.....	24
Çizelge 3.13.	En kesiti 75x150 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik çatlama yükleri.....	25
Çizelge 3.14.	En kesiti 150x75 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik çatlama yükleri.....	25
Çizelge 3.15.	En kesiti 105x105 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik çatlama yükleri.....	25
Çizelge 3.16.	Deney kirişlerinin yönetmelikte verilen minimum ve maksimum donatı oranları ve teorik çatlama yükleri.....	25
Çizelge 3.17.	Minimuma maksimum donatı oranlarına sahip kirişlerin teorik eğilme momenti-eğrilik ilişkileri.....	26
Çizelge 3.18.	Farklı a/d donatı oranlarına sahip kirişlerin teorik eğilme momenti-eğrilik ilişkileri.....	26

1. GİRİŞ

Beton, en basit haliyle değişik Őekillerde çekme dayanımının düşük olması sebebiyle betonarme kirişlerde çatlama kaçınılmaz bir olay olup tüm açıklık boyunca önemli değişimler sargılayabilmektedir. Yapı içerisindeki betonarme kirişlerde her ne kadar donatı olmasına rağmen kullanım yükleri altında çatlayabilmektedir. Kirişlerde çatlamaların etkisi de dikkate alınarak, betonarmenin gerçek niteliği olan doğrusal olmayan davranışlarının hesaba katılmasıyla, betonarme yapıda meydana gelecek iç kuvvet ile yer değiştirme değerleri ve lineer analiz sonuçlarına uygun olarak önemli değişimler sargılayabilmektedir. Bu değişime sebep olan en büyük faktör çatlamadan sonra kirişlerin açıklıkları boyunca belirli ölçüde değişiklik sargılayan eğilme rijitlikleri değerleridir.

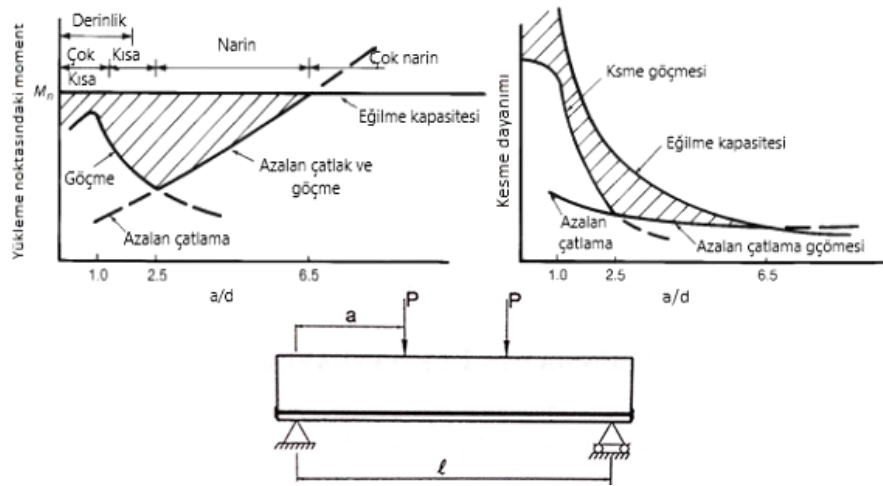
Betonarme taşıyıcı elemanların kendisinden beklenen görevi yerine getirebilmesi amacıyla göçme etkisine karşı önemli bir güvenliğe sahip olmasıyla birlikte, servis yükleri altında bile büyük yer değiştirmeler yapmaması ayrıca bu değerlerin belli sınırların altında bulunması gerekmektedir. Ayrıca düşey yükler etkisi altında elemanlarda oluşan çökmelerin gerçeğe daha yakın olarak analiz edilebilmesi için çatlamaya ait olarak bu kirişlerin eğilme rijitliklerindeki değişimler önemli olmaktadır. Üstelik betonarme elemanlar üzerindeki yüklerin türü ve büyüklüğü ile beraber bu elemanlarda mevcut donatı oranları dahi çatlamaların gelişimini ve daha yetkin ilerlemesini etkileyebilmektedir. Betonarme kirişler üzerindeki yükleme türü ve bu elemanlarda mevcut donatı oranlarının, çatlamalar ve meydana gelen deplasmanlar üzerine olan etkisini inceleyen çalışmalar literatürde az sayıda yer almaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde Betonarme kirişlerde farklı a/d oranının kiriş davranışına etkisi, farklı boyuna donatı oranlarına sahip kirişlerin davranışlarına etkisi ve daha önceden yapılmış deneysel çalışmalar ayrıntılı olarak literatür taraması yapılmıştır.

2.1. Betonarme Kirişlerde Farklı a/d Oranının Kiriş Davranışına Etkisi

Çoğunlukla mesnet ortasına göre simetrik olarak uygulanan ve büyüklüğü birbirine eşit olan iki tekil yük altında irdelenmektedir. Numunelerin mesnetlerinden tekil yüklerle olan kısmında kesme açıklığı “ a ” olarak gösterilir. Numunelerde kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranının kirişlerin davranışlarını etkileyen ve önemli parametrelerden biri olduğu saptanmıştır (Şekil 2.1).



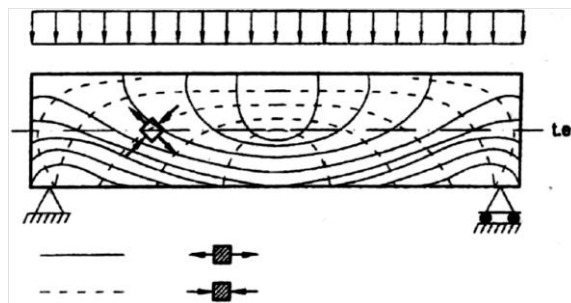
Şekil 2.1. (a/d) Oranına ait göçme modları ve numunelerin kesme ile moment taşıma kapasitesi grafiği (MacGregor ve Wight 1997)

Betonarme kirişlerde kesme kuvvetinin etkisindeki bir numunenin kırılma biçimi epeyce karmaşıktır. Dolayısı ile yüklemeye ve yükün mesnede olan mesafesine, kiriş derinliğine boyuna çekme donatı oranları ve miktarına bağlı olarak değişim göstermektedir (Doğangün, 2016). Yirminci yüzyıl ortalarında uygulanmış deneysel çalışmalarda kesme açıklığının faydalı yüksekliğe (a/d) oranının davranışı etkileyen çok önemli değişkenlerden biri olduğu irdelenmiştir (Ersoy, 2001). Bu deneysel çalışma kapsamında bazıları Leonhardt (1965) ve Kani (1967) olarak söylenebilir. Tek donatılı

dikdörtgen kirişlerin a/d oranlarına uygun olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Nawy, 2009).

- i. Derin Kirişler: $1 < a/d < 2.5$
- ii. Orta Seviye Narin Kirişler: $2.5 < a/d < 5.5$
- iii. Narin Kirişler: $a/d > 5.5$

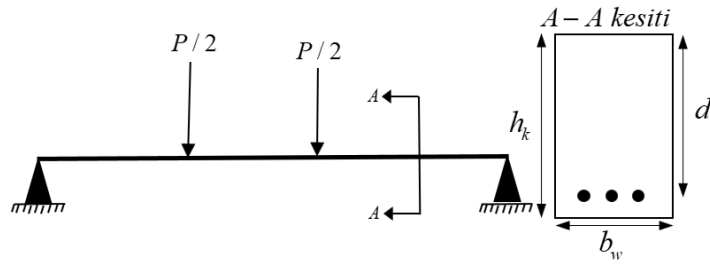
Bu deneysel çalışmada farklı a/d donatı oranları olacak şekilde 6 ile 3 değerleri ve değişik üç tane (b_w/h) genişlik/yükseklik oranı seçilmiştir. Numunelerde kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranının $a/d > 7$ olduğu durumda numune eğilmedeki taşıma gücüne ulaşmaktadır. Bu biçimde olan bir kirişte eğik çatlaklar meydana gelmeyeceğinden kırılmada kesme kuvvetinin etkisi olmamakta olup bunun ana sebebi kesme açıklığının çok büyük olmasından ve kiriş eğilme kapasitesine eriştiği kesme kuvvetinin düşük düzeyde kalmasıdır. Kesme açıklığının faydalı yüksekliğine oranının (a/d) 7'den küçük ama 3'ten büyük ($3 < a/d < 7$) olduğu halde önce numune eksenine dik olacak şekilde eğilme çatlakları meydana gelecek ve yük arttığı zamanda kesme açıklığında meydana gelecek eğilme çatlakları tarafsız eksene doğru ilerleyecektir. (a/d) oranı çok küçük $1.5 < a/d < 3$ kirişlerde eğik çekme çatlaklarının belirtildiği gibi ilerlemesine ve noktasal yükün oluşturduğu yerel basınç gerilmelerine neden olur. Kesme açıklığının $a/d \leq 1.0$ olduğu zamanlarda eğik çatlak meydana geldikten sonra eğilme önemini yitirir ve kiriş bundan sonra bir gergili kemer benzeri davranır (Ersøy ve Özcebe 2012). Betonarme kirişte meydana gelen asal çekme ile basınç gerilmelerinin izlenecek yolu Şekil 2.2'de düzgün yayılı yüke tabi tutulan basit mesnetli kiriş üzerine belirtilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi kesik çizgiler asal basıncı ve sürekli çizgiler ise asal çekme gerilmelerinin yönünü göstermektedir. Bu eğriler eşgerilme eğrileri olarak isimlendirilebilir. Asal çekme gerilmelerin dikey tarafta meydana geleceği eşgerilme eğrilerinden çatlak eğimi ile geometrisi rahatça fark edilebilir (Ersøy ve Özcebe 2012).



Şekil 2.2. Kirişte meydana gelen eşgerilme eğrileri (Ersøy ve Özcebe 2012)

2.2. Farklı Boyuna Donatı Oranlarına Sahip Kirişlerin Davranışlarına Etkisi

Betonarme kirişlerde yapının kendisinden beklenen görevi yerine getirebilmesi amacı ile göçmeye karşı sınırlı bir güvenliğe sahip olması ile birlikte, servis yükleri altında dahi büyük deplasmanlar yapmaması ve bu değerlerin belli limitlerin altında kalması gerekmektedir. Ayrıca düşey yükler etkisinde olan kirişlerde oluşan çökmelerin gerçeğe çok yakın olarak hesaplanabilmesi amacı ile çatlamağa bağlı olarak bu numunelerin eğilme rijitliklerindeki farklılıklar önemli olmaktadır. Ayrıca betonarme kirişler üzerindeki yüklerin türü ve büyüklüğü ile beraber bu kirişlerde elde edilen donatı oranları da çatlamağın ilerlemesini etkileyebilmektedir. Dolayısıyla numuneler üzerindeki yükleme türü ve büyüklüğü ile beraber, numunelerdeki donatı oranları ile eğilme rijitliği ve meydana gelen deplasmanlar üzerinde büyük bir etkiye sahip olabilmektedir. Betonarme numuneler üzerindeki yükleme türü ve bu elemanlarda mevcut olan donatı oranlarının çatlamağın ve meydana gelen deplasmanlar üzerine olan etkisini inceleyen çalışmalar literatürde çok az sayıda bulunmaktadır. Betonarme kirişte meydana gelen farklı donatı oranları içeren kirişler deneysel çalışma yolu ile Şekil 2.3'te yükleme türü ve büyüklüğü ile beraber donatı oranlarının yer değiştirme üzerine olan davranışı belirtilmiştir.



Şekil 2.3. Teste tabi tutulan farklı boyuna donatı oranlarına sahip kirişler

Yüklemeye tabi tutulan bütün kirişlerde öncelikle açıklık ortası kısmında eğilme çatlaklarının meydana geldiği gözlenmiştir. Betonarme kirişlerde taşıma gücü yükünün ortalama olarak %50'sine erişinceye kadar yeni çatlakların oluşmaya devam ettiği, ama taşıma gücü yüküne yaklaşılmaya beraber yeni çatlak oluşumunun önemli miktarda azaldığı görülmüştür. Bütün kirişlerde taşıma gücüne ve kesit içerisine yerleştirilen boyuna donatının akmasının ardından betonun ezilme konumuna ulaşmaktadır (Severcan ve Kara 2016).

2.3. Literatür Taraması

Bu tez çalışması kapsamında daha önceden yapılmış deneysel çalışmalar ayrıntılı olarak aşağıda özetlenmiştir.

Kong ve arkadaşları (1970) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada; betonarme kirişlerde kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) için 0,35;0,54;1,18 olacak şekilde değişim gösteren otuz beş adet betonarme kirişlerde farklı (a/d) oranının kiriş davranışına etkisi test edilmiştir. Test edilen numuneler üzerinde yedi farklı sargı donatısı kapsamayan, yüksek kirişlerin eğik çatlak genişliği ile hasar şekilleri üzerindeki tesirleri irdelenmiştir. Basit mesnetli yüklemeye tabi tutulan dört noktalı deney düzeneği ile tabi tutulup deney sırasında çatlak genişliği ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda; betonarme kirişlerde meydana gelen çatlak genişliklerinin denetlenmesi amacı ile tercih edilecek kesme donatısı yapılandırılmasının, a/d oranına bağlı olarak değiştiği irdelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarına bağlı olarak, a/d oranı yükselirken maksimum eğik çatlak genişliklerinin de arttığı görülmüştür.

Smith ve Vantsiotis (1982) tarafından yapılan bir çalışmada kesit boyutları (10x35) cm sahip toplam elli iki adet betonarme kiriş örneği üzerinde deneysel çalışmaya tabi tutulmuştur. Bu deneysel çalışmada a/d oranının betonarme kirişlerin eğik çatlak durumuna etkisi araştırılmıştır. Bu numuneler basit mesnetli bir yükleme yöntemiyle test edilen, a/d oranları 1.01; 1,34; 2.01; olarak test edilip ayrıca deney sırasında her bir yüklemeye maksimum çatlaklar ölçülmüştür. Deney sonuçlarına bağlı olarak; a/d oranının birden büyük olan betonarme kirişlerde sargı ve gövde donatısının birlikte kesme donatısı olarak kullanılmasının, ayrıca bütün yük seviyelerinde çatlakların azaltılmasında verimli yöntem olduğu tespit edilmiştir. Bu deneysel çalışmada, çatlakları sınırlandırmak için kirişe yerleştirilmesi ile ilgili minimum sargı ve gövde donatısı oranları 0,0018 ve 0,0023 şeklinde önermişlerdir.

Ulusoy (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; betonarme kirişlerde, kesme açıklığının faydalı yüksekliğine oranı 2,5'ten daha büyük ve etriye içermeyen betonarme kirişlerde, a/d oranları 2,5; 3,5; 4,5; şeklinde kabul edilmiştir. Deneysel çalışma sonucunda, betonarme kirişlerde her 5kN yüklemesi ile görünen çatlaklar

işaretlenerek çatlak meydana geldikleri gözlenerek yüklemenin ilk adımlarında eğilme çatlakları bütün betonarme kirişlerin orta bölgesinde, aşağı yukarı eksenine dik yönde çok ince şeklinde görülmüştür. Yük artışı ile birlikte mevcut çatlak boyutları artık kiriş mesnetlerine doğru boyutları azalan yeni eğilme çatlakları görülmüştür. Göçmeye yakın yüke maruz kalan, eğilme çatlakları betonarme kirişin ortasındaki yüke doğru eğik olarak gelişip ve bununla birlikte eğik çatlakların nihai yüke erişmesi ile kesme kırılmasının meydana çıktığı görülmüştür. Betonarme kirişlerde farklı (a/d) oranı azaldıkça kemerleşme etkisi betonarme kirişin kesme dayanımı artmaktadır.

Özcan (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; çelik lifsiz üç adet numune en kesitleri 25x35x200 cm ebatında betonarme kiriş ve çelik lifli üç adet numune en kesitleri 25x35x200 cm ebatında kiriş elemanlar üretilmiştir. Betonarme kirişler, 28 gün süre zarfında uygun kür koşullarında muhafaza edildikten sonra, deneysel olarak dört noktalı yüklemeye tabi tutulmuştur. Çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar yorumlandığında, taşıma gücünde belirli bir artış sağlanmıştır. Ayrıca depremler esnasında aşırı yüklemeye ile meydana gelen betonarme kirişlerin hasarlarını azaltıcı şekilde etki yapacaktır.

Mihaylov ve arkadaşları (2010) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; sekiz adet betonarme kiriş numunesi üç noktalı düzenli ve periyodik yüklemeye yapılabilmeye numune en kesitleri 40x112 cm seçilerek kiriş boyları a/d oranı 1,55; 2,29 şeklinde seçilmiştir. Yapılan örneklerin ortalama beton basınç dayanımı, $f_{ck} = 33 \text{ Mpa}$ ve kesme donatısı % 0; % 0,10 oranlarında yalnızca sargı donatısı yerleştirilmiştir. Deneysel çalışma süresince eğik çatlak genişlikleri ölçüm alınarak kaydedilmiştir. Çalışma ile düzenli ve periyodik yüklemeye altında, sargı donatılarının eğik çatlak genişliklerini kısıtlandırıldığı ayrıca eleman yük taşıma kapasitesini belirli ölçüde arttırdığı gözlenmiştir. Bu deneysel çalışmada, numunelere yalnızca sargı donatılar kesme donatısı olarak yerleştirilmiştir. Fakat uygulamada ve yönetmeliklerde betonarme kirişlere sargı donatılarla beraber gövde donatısı da yerleştirildiği göz ardı edilmiştir.

El-Sayed ve Shuraim (2015) gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, betonarme kirişlerde ebat etkisinin kesme davranışına göre etkisini irdelenmiştir. Sargı donatısı

içermeyen en kesitleri 15x35 cm ebatında değişen on iki adet kiriş numunesi dört noktalı yüklemeye tabi tutulmuştur. Bütün numuneler için a/d oranı 1 seçilip deneysel çalışma esnasında çatlak genişlikleri ölçülerek not edilmiştir. Deneysel çalışmada, kiriş yüksekliği arttığı zaman eleman kesme dayanımının da arttığı gözlenmiş ve ebat etkisinin betonarme yüksek kirişlerde çok fazla ön plana çıktığı belirlenmiştir. Üstelik deney sonuçları ebat etkisinin, eğik çatlak davranışı üzerine olan etkisine göre değerlendirilmiştir.

Bircher ve arkadaşları (2009; 2013; 2014) gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada; kesme donatısı oranı a/d ile kesit boyutu parametrelerinin kiriş eğik çatlak davranışına tepkilerinin incelenmesi amacıyla deneysel bir çalışma yapılmıştır. Bu deneysel çalışmada kesme donatısı oranları %0.30 arasında farklılık gösteren ve kesme açıklığın faydalı yüksekliğine oranı a/d 1.20, 1.85, 2.50 olan on iki adet betonarme kiriş numunesi üç noktalı yüklemeye tabi tutulmuştur. Numune en kesit genişliği 53.50 cm sabit tutularak yükseklikleri 58.50, 106.50, 190.50 cm ebatlarında kiriş elemanları üretilmiştir. Üstelik deney sırasında kirişlerin eğik çatlama yükü, çatlama büyüklükleri ve maksimum kesme kuvveti taşıma gücü kapasiteleri kaydedilmiştir. Deney sonucunda betonarme kirişlerde eğik çatlak genişliğinin sınırlandırılmasında sergi ve gövde donatılarının birlikte kullanılarak oluşturulan kesme donatısının en aktif parametre olduğu belirlenmiştir. Betonarme kirişlerde yeterli kesme dayanımının kazanması ile eğik çatlak genişliklerinin denetim altında alınabilmesi amacıyla tasarım yönetmeliklerinde (ACI 318-2014, AASHTO LRFD-2008) yerleştirilmesi istenilen en düşük kesme donatısı oranlarının yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Bu elemanlara her iki yönde minimum %0.30 oranında sargı ve gövde donatısı konulması önerilmiştir.

Smith ve Vantsiotis (1982) gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada, eleman üzerindeki kesme donatısı oranlarının belirtilmiş bir seviyenin üzerinde yükseltilmesi, çatlak genişliğinin sınırlandırılmasında beklenen faydalı etkiyi sargılamamıştır. Deney sonuçları a/d oranı yönünden değerlendirildiğinde sargı ve gövde donatısı oranları %0.30 olan elemanlarda a/d oranı ile birlikte maksimum eğik çatlak genişliği arasında, bir bağlantı olduğu gözlenmiştir. Bu elemanlarda a/d oranı artığında eğik çatlak genişliklerinin de arttığı gözlenmiştir. Bununla beraber kesme donatısı oranları %0.20

olan benzer özellikteki elemanlarda a/d oranı ve eğik çatlak genişliği arasında hiç bir bağlantı gözlenmemiştir. Deney sonucunda, a/d oranı ve eğik çatlak genişliği arasında belirli bir düzeye kadar bağlantı olduğu fakat bu bağlantının nispeten küçük kaldığı, a/d oranının da eğik çatlak genişliğini etkileyen, önemli değişkenlerden birisi sayılmaması gerektiği irdelenmiştir. Deneysel çalışmada kesit yüksekliği açısından yorumlandığında elemanlarda yüksekliğin artışı ile beraber yük taşıma kapasitesinde artış gözlenmiştir. Bu deneysel çalışmada a/d oranı 1.85; 2.50 olan örneklerde eğik çatlama yükü yüksekliğin artması ile birlikte sabit kalmıştır. Fakat a/d oranı 1.20 olan betonarme kirişlerde yüksekliğin artışı ile beraber eğik çatlama yükünde artış görünmüştür. Yapılan deneysel çalışmada; yüksekliğin eğik çatlama yükü üzerindeki tepkisinin nispeten sınırlı düzeyde kaldığı irdelenmiştir.

Suter ve Manuel (1971) gerçekleştirdikleri deneysel çalışmada on iki adet kiriş örneği üzerinde çekme donatısı oranının eğik çatlak davranışına tepkisi irdelenmiştir. Kirişlerde a/d oranları 1.50; 2.00 şeklinde seçilerek çekme donatısı oranı % 0.96; %2.44 olarak seçilmiştir. Dört adet numuneye kesme donatısı yerleştirilmiş ve diğerlerine kiriş açıklığının orta noktasına bir adet sargı donatısı konulmuştur. Deney sonuçları gereğince düşük oranda çekme donatı kapsayan örneklerde eğilme davranışı baskın olduğu ve eğilme çatlakları beraberinde kesme çatlakları da görülmüştür. Buna ek olarak fazla çekme donatısı kapsayan örneklerde ise kesme davranışı daha kritik duruma gelmiştir. Bu örneklerde ani ve gevrek kesme hasarı görünmüştür. Bu nedenle çekme donatısının betonarme kirişlerde davranış düzeneğini değiştirerek eğik çatlak genişlikleri üzerinde tepkisi olduğu tanımlanmıştır.

Tuchscherer ve arkadaşları (2010; 2011) tarafından yapılan bir çalışmada sekiz adet 53x107cm ile iki adet 91x122cm ebatında betonarme kiriş örneği üretilerek yük ve mesnet plakalarının değişik boyutları parametrik olarak irdelenmiştir. Üstelik iki ve dört kollu sargı donatılarına sahip örnekler üzerinde sargı kol sayısının etkinliğinin irdelenmesi için dört adet 53.30x111.70cm ve iki adet 91.40x1220cm ebatlarında yüksek kiriş örneği deneye tabi tutulmuştur. Bütün örneklerin a/d oranı 1.85 seçilerek sargı ve gövde donatısı oranları eşit olarak iki farklı oranda kesme donatısı konulmuş olup ve ayrıca bu oranlar % 0.20 ile % 0.30 şeklinde verilmiştir. Örnekler üç noktalı

yüklemeye tabi tutulmuş ve deney sırasında eğik çatlak genişlikleri de ölçülmüştür. Buna ek olarak sargı donatı kol sayısındaki artışın betonarme kirişlerin kesme kapasitesine katkısının nispeten az olduğu görülmüş ve deney sonuçları olarak eğik çatlak genişlikleri açısından yorumlandığında kiriş gövde genişliğine konulan sargı kolları örnekte % 0.30 oranında uygun sargı ve gövde donatısı kullanıldığı halde 91.40cm eleman genişliğine dek eğik çatlak genişliğini değiştirmemiştir. Fakat % 0.20 oranında kesme donatısına sahip örneklerde sargı kol sayısındaki artış çatlak genişliklerini minimum düzeye getirmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında, kesme donatısı bulunmayan betonarme kirişlerin davranışları da iki aşamada incelenmiştir. Birinci aşamada yönetmelikte verilen minimum ve maksimum donatı oranı sınırlarına uyularak ve uyulmayarak üretilen, kesme donatısı bulunmayan betonarme kirişlerin davranışları incelenmiştir. İkinci aşamada kirişin genişlik /yükseklik (b_w/h) oranının kiriş davranışına etkisi irdelenmiştir. Bu aşamada incelenen kirişler minimum ile maksimum donatı oranı arasında donatılandırılmışlardır. Yine bu kısımda her bir farklı genişlik/yükseklik oranı için 3 ve 6 olmak üzere iki farklı a/d (kesme açıklığı / faydalı yükseklik) oranı dikkate alınmıştır.

3.1. Deneysel Çalışma ve Kirişlerin Özellikleri

Yukarıda da bahsedildiği gibi bu tez çalışması kapsamında betonarme kirişlerin davranışı iki aşamada incelenmiştir.

Birinci aşamada kirişlerde farklı donatı oranları kullanılarak bunun davranışa etkisi irdelenmiştir. Bu kısım için 6 tane kiriş üretilmiştir. Kirişlerin yüksekliği 200 mm sabit tutulup genişlikleri 130, 108, 127, 110, 200 mm olup ve kirişlerin uzunlukları 2300 mm seçilmiştir.

İkinci aşamada ise 3 ve 6 olmak üzere iki farklı a/d oranına ve 3 farklı genişlik/yükseklik (b_w/h) oranına sahip olan 6 tane betonarme kiriş incelenmiştir. Kirişlerin en kesit boyutları 75x150, 105x105, 150x75 mm olup en uzun kiriş 1762mm ve en kısa kiriş 556 mm seçilmiştir.

Birinci aşamada kullanılan kirişlere ait boyut ve malzeme özellikleri Çizelge 3.1'de, donatı detayları Şekil 3.1-3.6'da verilmiştir. İkinci kısımdaki kirişlere ait özellikler Çizelge 3.2-3.4'te, donatı detayları Şekil 3.7-3.9'da verilmiştir. Üretilen numunelere ait kalıp görselleri Şekil 3.10 ve 3.11 de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney kirişlerinin yönetmelikte verilen minimum ve maksimum donatı oranları ve malzeme özellikleri

Numune Adı Minimum donatı oranından az donatılı						
200x200 (mm)	L(mm)	hk(mm)	b _w (mm)	d(mm)	$\prec \rho_{\min}$ (%)	Çekme donatısı (mm)
	2300	200	200	176	0.14	1 ϕ 8
Numune Adı Minimum donatı oranında donatılı						
110x200 (mm)	L(mm)	hk(mm)	b _w (mm)	d(mm)	ρ_{\min} (%)	Çekme donatısı (mm)
	2300	200	110	176	0.26	1 ϕ 8
Numune Adı Minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı						
110x200 (mm)	L(mm)	hk(mm)	b _w (mm)	d(mm)	$\rho_{\min} \prec \rho \prec \rho_{\max}$ (%)	Çekme donatısı (mm)
	2300	200	110	172	1.10	1 ϕ 16
Numune Adı Maksimum donatı oranında donatılı						
127x200 (mm)	L(mm)	hk(mm)	b _w (mm)	d(mm)	ρ_{\max} (%)	Çekme donatısı (mm)
	2300	200	127	172	1.84	2 ϕ 16
Numune Adı Dengeli donatı oranında donatılı						
108x200 (mm)	L(mm)	hk(mm)	b _w (mm)	d(mm)	ρ_b (%)	Çekme donatısı (mm)
	2300	200	108	172	2.17	2 ϕ 16
Numune Adı Dengeli donatı oranından fazla donatılı						
130x200 (mm)	L(mm)	hk(mm)	b _w (mm)	d(mm)	$\succ \rho_b$ (%)	Çekme donatısı (mm)
	2300	200	130	172	2.70	3 ϕ 16

Çizelge 3.2. En kesit 75x150 a/d oranı deney kirişlerin boyut ve malzeme özellikleri

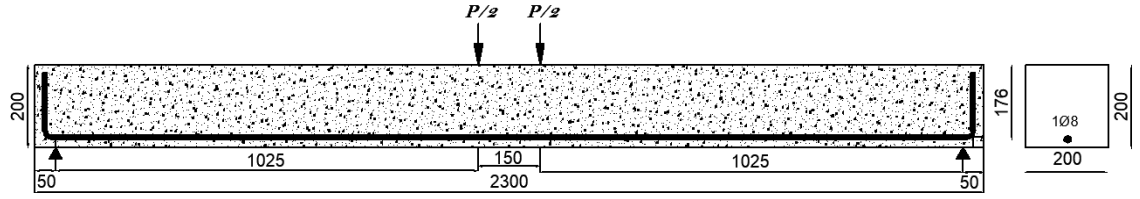
Numune Adı	L(mm)	hk(mm)	b _w (mm)	d(mm)	a _v (mm)	a/d	Çekme donatısı(mm)
Kesit (75x150)	1006	150	75	126	378	3	2φ8
(mm)	1762	150	75	126	756	6	2φ8

Çizelge 3.3. En kesit 150x75 a/d oranı deney kirişlerin boyut ve malzeme özellikleri

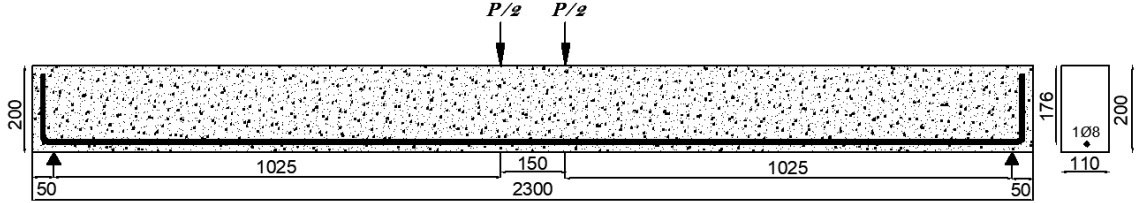
Numune Adı	L(mm)	hk(mm)	b _w (mm)	d(mm)	a _v (mm)	a/d	Çekme donatısı(mm)
Kesit (150x75)	556	75	150	51	153	3	2φ8
(mm)	862	75	150	51	306	6	2φ8

Çizelge 3.4. En kesit 105x105 a/d oranı deney kirişlerin boyut ve malzeme özellikleri

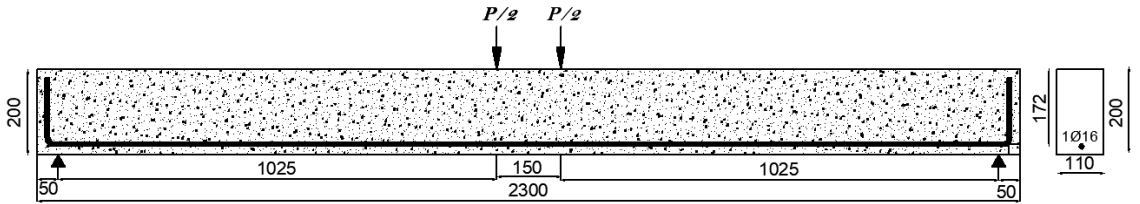
Numune Adı	L(mm)	hk(mm)	b _w (mm)	d(mm)	a _v (mm)	a/d	Çekme donatısı(mm)
Kesit (105x105)	736	105	105	81	243	3	2φ8
(mm)	1222	105	105	81	486	6	2φ8



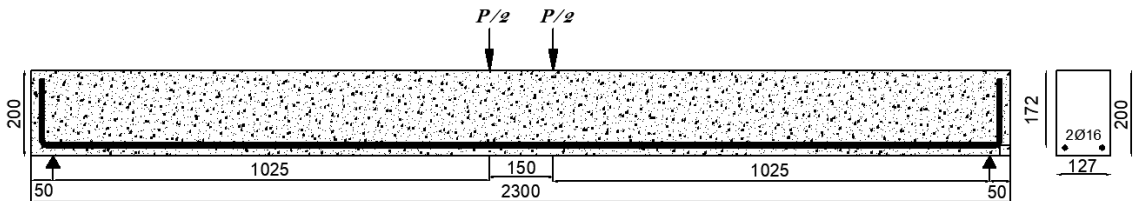
Şekil 3.1. Minimum donatı oranından az donatılı numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi



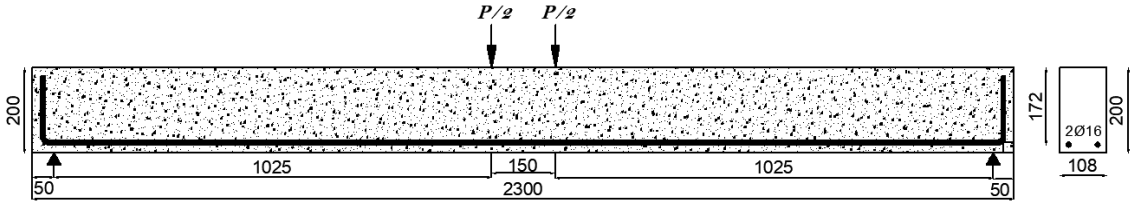
Şekil 3.2. Minimum donatı oranında donatılı numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi



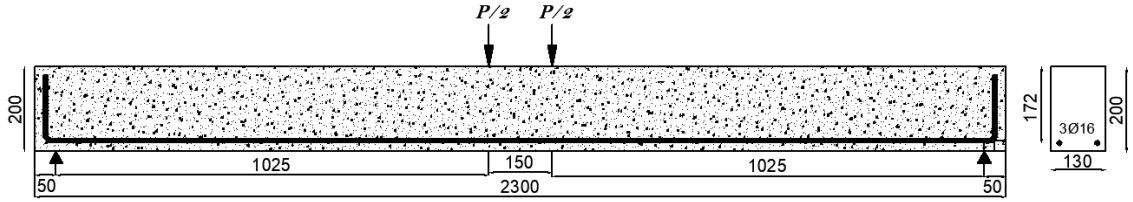
Şekil 3.3. Minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi



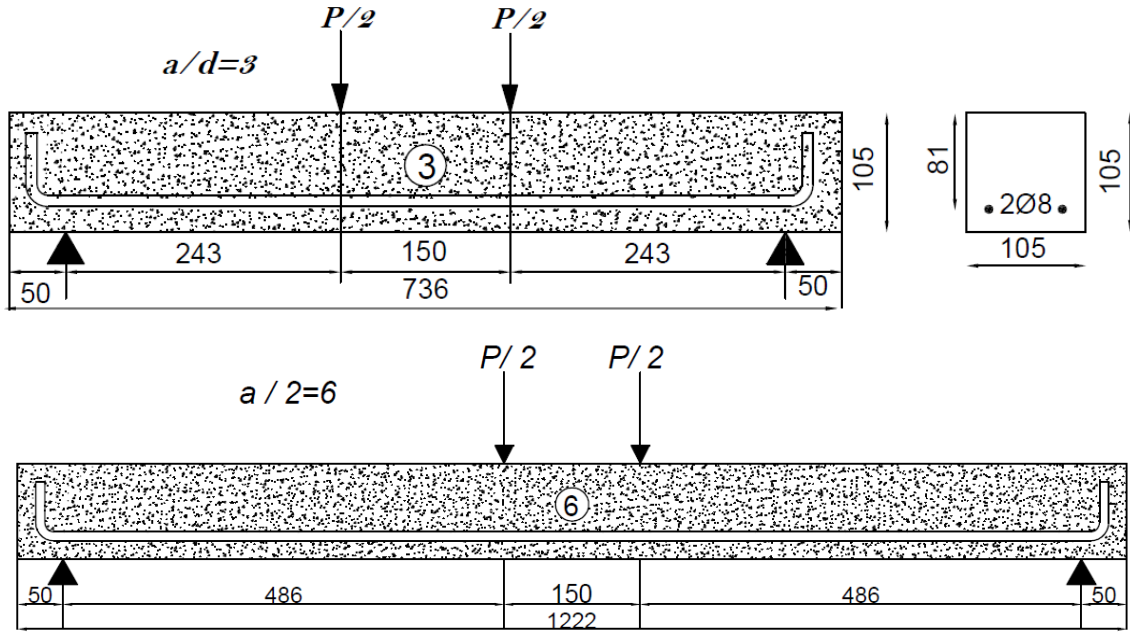
Şekil 3.4. Maksimum donatı oranında donatılı numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi



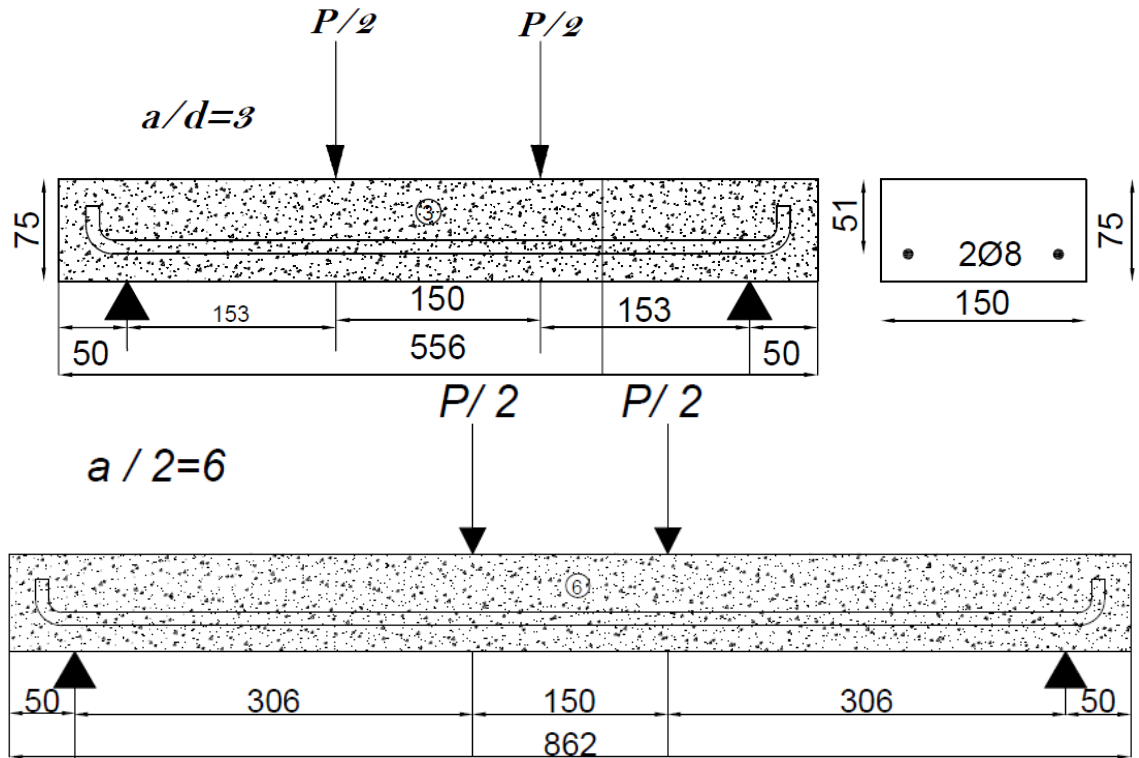
Şekil 3.5. Dengeli donatı oranında donatılı numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi



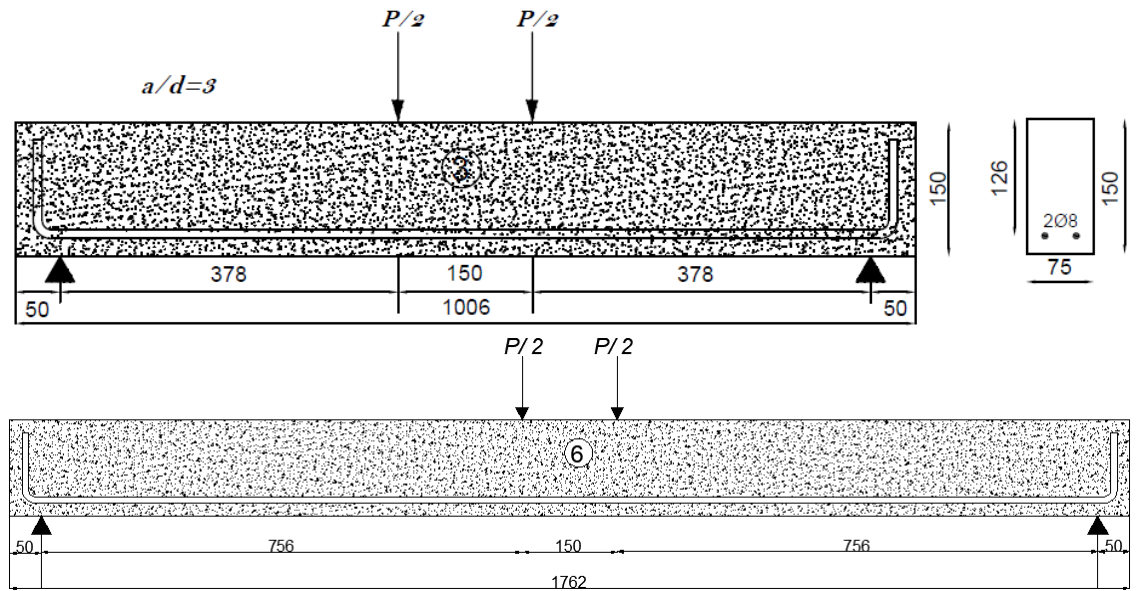
Şekil 3.6. Dengeli donatı oranından fazla donatılı numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi



Şekil 3.7. Kesit 105x105 numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi



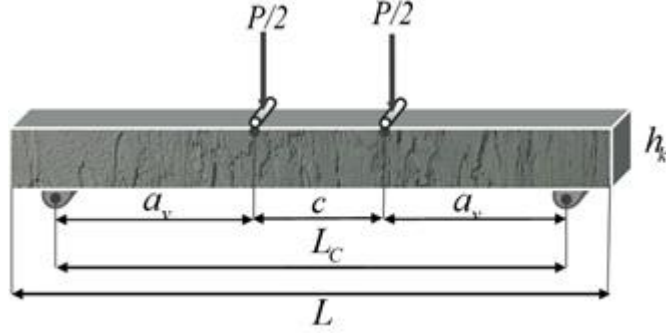
Şekil 3.8. Kesit 150x150 numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi



Şekil 3.9. Kesit 150x75 numunesinin geometrik özellikleri ve donatı çizimi

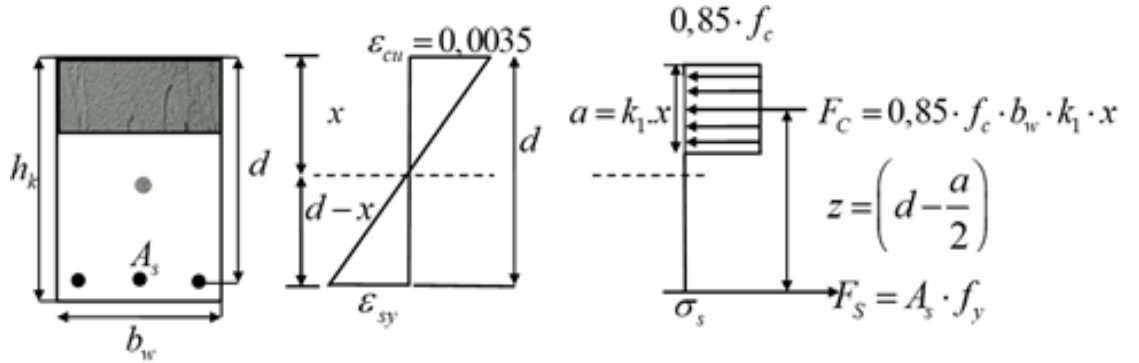
3.2. Tek Donatılı Dikdörtgen Kirişlerin Taşıma Gücü Hesabı

Dört noktalı eğilme deneyine ait şematik gösterim Şekil 3.12 de verilmiştir.



Şekil 3.12. Tipik bir kirişin eğilme altındaki çizim ve ayrıntıları.

Şekilde; P yük, h_k kiriş yüksekliği, a_v kesme açıklığı, c iki yük arasındaki mesafe, L_c iki mesnet arasındaki mesafe ve L tüm kirişin uzunluğunu göstermektedir. Şekil 3.13'te güç tükenme momentine ulaşmış tek donatılı dikdörtgen kesit görülmektedir.



Şekil 3.13. Güç tükenme momentine ulaşmış tek donatılı dikdörtgen kesit

Dengeli donatı oranına sahip tek donatılı dikdörtgen kirişlerin bir betonarme kesitte F_c ve F_s kuvvet denge denklemi $\Sigma F = 0$; $F_c = F_s$

$$A_s \cdot f_y = 0,85 \cdot f_c \cdot b_w \cdot a \quad (3.1)$$

Denklem 3.1'den a çekilirse;

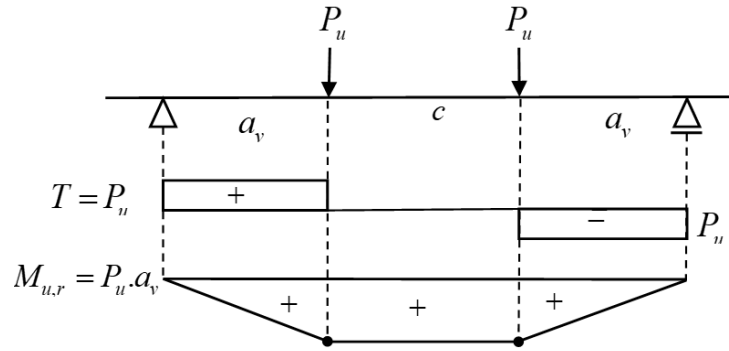
$$a = \frac{A_{sb} \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c \cdot b_w} \quad (3.2)$$

Şekil 3.5'den F_C veya F_s bileşke kuvvetinin etki ettiği noktasına göre moment alınırsa güç tükenme momentini yazabiliriz;

$$M_u = A_s \cdot f_s \cdot \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (3.3)$$

Bu bağıntılarda, b_w kiriş gövde genişliği, d faydalı yükseklik; çekme donatısının ağırlık merkezinin üst kenarına olan uzaklık, A_s boyuna çekme donatı alanı, a eşdeğer dikdörtgen gerilme bloğu derinliği, f_c betonun basınç dayanımı, f_y boyuna donatının akma dayanımı, N / mm^2 olarak dikkate alınmıştır.

Daha sonra kirişin kesme kuvveti ve moment diyagramı tipik olarak şekil 3.14'te çizilerek maksimum moment tanımlanmıştır.



Şekil 3.14. Tipik kirişin MNT diyagramı

Aşağıda belirtilen denklemler kullanılarak kırılma yükü hesaplanmıştır.

$$M_d \leq M_{ur} \quad (3.3)$$

$$M_d = p_u \cdot a_v \quad (3.4)$$

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

3.3. Eğilme Etkisindeki Betonarme Kirişin Çekme Kırılmasına Bağlı Tasarımı

Tek donatıya sahip olan betonarme dikdörtgen kirişler yalnız çekme donatısı bulunan kirişlerdir; çekme kuvvetini donatı, basınç kuvvetini ise beton karşılar.

Kirişlerde sünek çekme kırılmasının oluşabilmesi için kullanılacak donatı oranı için yönetmeliklerde minimum ve maksimum sınırlar verilmiştir. Denklem 3.6 da minimum sınır verilmiştir.

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

Denklem 3.6 'da f_{ctd} betonun tasarım çekme dayanımı, f_{yd} ise çeliğin tasarım akma dayanımını göstermektedir. Yukarıdaki denkleme göre C25/S420 için minimum donatı oranı;

$$\rho_{\min} = 0,8 \cdot \frac{1,20}{365} = 0,0026 \quad (3.7)$$

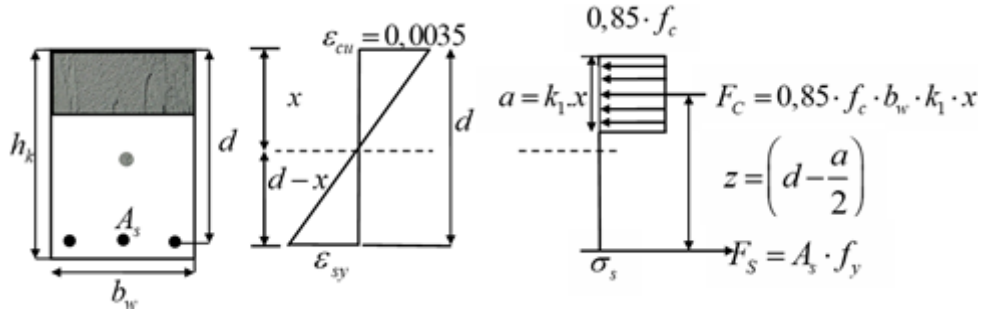
olarak elde edilmiştir.

Kirişlerde kırılma türleri donatı oranlarına bağlı olup dengeli kırılmayı sağlayan donatı oranına dengeli donatı oranı denilip ve ρ_b ile gösterilmiştir. Kirişlerdeki kırılma türleri dengeli donatı oranı esas alınarak belirlenmiştir. Maksimum donatı oranına karşı gelen dengeli donatı oranı *TS500* ve *TBDY2018* 'de aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

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

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

Denklem 3.8'deki ρ_b değerinin bulunması aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.15. Denge donatı oranının bulunması

Şekil 3.15'deki tek donatılı denge denklemlerinden çekme ve basınç gerilmelerinin bileşkesi;

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

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

Moment denge denklemleri yazılırsa;

$$\Sigma M = A_{sb} \cdot f_{yd} \cdot \left(d - \frac{k_1 \cdot c_b}{2} \right) \quad (3.12)$$

Donatının akma anındaki birim deformasyon yazılırsa;

$$\varepsilon_{sy} = \frac{f_{yd}}{E_s} \quad (3.13)$$

Üçgenlerin benzerliğinden;

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

Şekil 3.7'deki birim deformasyon dağılımında ε_{sy} yerine denklem 3.13'deki konulursa;

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

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

olarak bulunur.

TS 500'de $E_s = 2 \times 10^5 \text{ MPa}$ olarak seçildiğinde aşağıdaki denklem yazılabilir;

$$\frac{c_b}{d} = \frac{0,0035 \cdot 2 \times 10^5}{0,0035 \cdot 2 \times 10^5 + f_{yd}} \quad (3.17)$$

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

Dengeli donatı oranı denklem 3.19'dan belirlenebilir;

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

(A_{sb}) Değeri 3.11 denkleminde çekilip 3.19 (ρ_b) değeri yerine yazılıp ve lüzumlu düzenlemeler yapılırsa;

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

Denklem 3.20'de c_b / d yerine 3.16'daki uygunluk bağıntısı yazıldığında;

$$\rho_b = 0,85 \cdot k_1 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \left(\frac{700}{700 + f_{yd}} \right) \quad (3.21)$$

Deneysel çalışmada, C25 betonu ve S420 donatı sınıfları tercih edilmiştir. Denklem 3.21'de k_1 , f_{cd} ve f_{yd} değerleri yerine yazılırsa dengeli donatı oranı; $\rho_b = 0.0217$ olarak bulunur. Denklem 3.8'de ρ_b değeri yazılırsa, $\rho_{maks} = 0.0184$ olarak bulunup ve denklem 3.7'de f_{yd} ve f_{cd} değerleri yazılırsa, $\rho_{min} = 0.0026$ olarak bulunmaktadır. Daha önce de bahsedildiği gibi çalışmanın birinci kısmında donatı oranının kiriş davranışına etkisi incelenecektir. Bu sebeple Çizelge 3.1'de verilen 6 farklı donatı oranı kullanılarak üretilen kirişler test edilecektir. İkinci kısımda ise kiriş kesitinin genişlik/yükseklik oranının davranışa etkisi incelenecektir. İkinci kısımda incelenen kirişlerde kullanılan donatı oranları ρ_{maks} ve ρ_{min} değerler arasında seçilmiştir.

$$\rho_{min} = 0.0026 < \rho < \rho_{maks} = 0.0184 \quad (3.22)$$

Bu durumda ikinci kısımda incelenen kirişlerde boyuna çekme donatısını olarak 2 ϕ 8 kullanıldığında;

$$\rho_{(75 \times 150)} = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{100.53}{75 \cdot 126} = 0.011 \quad (3.23)$$

$$\rho_{(150 \times 75)} = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{100.53}{150 \cdot 51} = 0.013 \quad (3.24)$$

$$\rho_{(105 \times 105)} = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{100.53}{105 \cdot 81} = 0.012 \quad (3.25)$$

Olarak hesaplanmaktadır.

Bütün elemanlarda kullanılan beton C25 ve çelik S420 kalitesinde olup betonarme hesap adımları eğilme etkisindeki betonarme kirişin çekme kırılmasına göre hesaplanıp ve ayrıca kirişler ile ilgili özellikler, teorik kırılma, akma, çatlama yükleri ve teorik eğilme momenti-eğrilik ilişkileri Çizelge 3.5 ile 3.18’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. En kesiti 75x150 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik kırılma yükleri

≠ Deneş adı	L(mm)	a/d	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü P _u (KN)
Kesit (75x150)	1006	3	2φ8	25.18
(mm)	1762	6	2φ8	12.59

Çizelge 3.6. En kesiti 150x75 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik kırılma yükleri

≠ Deneş adı	L(mm)	a/d	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü P _u (KN)
Kesit (150x75)	556	3	2φ8	65.49
(mm)	860	6	2φ8	32.75

Çizelge 3.7. En kesiti 105x105 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik kırılma yükleri

≠ Deneş adı	L(mm)	a/d	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü P _u (KN)
Kesit (105x105)	736	3	2φ8	24.86
(mm)	1222	6	2φ8	12.43

Çizelge 3.8. Deneş kirişlerinin yönetmelikte verilen minimum ve maksimum donatı oranları ve teorik kırılma yükleri

Deneş adı	L(mm)	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü P _u (KN)
200x200	2300	1φ8	7.14
110x200	2300	1φ8	7.06
110x200	2300	1φ16	23.61
127x200	2300	2φ16	7.14
108x200	2300	2φ16	44.55
130x200	2300	3φ16	74.07

Çizelge 3.9. En kesiti 75x150 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik akma yükleri

≠ Deneş adı	L(mm)	a/d	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü P _y (KN)
Kesit (75x150)	1006	3	2φ8	25.18
(mm)	1762	6	2φ8	12.59

Çizelge 3.10. En kesiti 150x75 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik akma yükleri

≠ Deneş adı	L(mm)	a/d	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü P _y (KN)
Kesit (150x75)	556	3	2φ8	66.67
(mm)	860	6	2φ8	33.33

Çizelge 3.11. En kesiti 105x105 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik akma yükleri

≠ Deneş adı	L(mm)	a/d	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü P _y (KN)
Kesit (105x105)	736	3	2φ8	25.10
(mm)	1222	6	2φ8	12.55

Çizelge 3.12. Deneş kirişlerinin yönetmelikte verilen minimum ve maksimum donatı oranları ve teorik akma yükleri

Deneş adı	L(mm)	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü P _y (KN)
200x200	2300	1φ8	6.95
110x200	2300	1φ8	6.85
110x200	2300	1φ16	25.37
127x200	2300	2φ16	49.37
108x200	2300	2φ16	48.98
130x200	2300	3φ16	72.39

Çizelge 3.13. En kesiti 75x150 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik çatlama yükleri

≠ Deneş adı	L(mm)	a/d	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü P _{cr} (KN)
Kesit (75x150)	1006	3	2φ8	5.93
(mm)	1762	6	2φ8	2.96

Çizelge 3.14. En kesiti 150x75 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik çatlama yükleri

≠ Deneş adı	L(mm)	a/d	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü P _{cr} (KN)
Kesit (150x75)	556	3	2φ8	18.95
(mm)	860	6	2φ8	9.48

Çizelge 3.15. En kesiti 105x105 a/d oranı kirişlere ait özellikler ve teorik çatlama yükleri

≠ Deneş adı	L(mm)	a/d	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü P _{cr} (KN)
Kesit (105x105)	736	3	2φ8	6.10
(mm)	1222	6	2φ8	3.05

Çizelge 3.16. Deneş kirişlerinin yönetmelikte verilen minimum ve maksimum donatı oranları ve teorik çatlama yükleri

Deneş adı	L(mm)	Çekme Donatısı (mm)	Teorik Kırılma Yüğü P _{cr} (KN)
200x200	2300	1φ8	9.54
110x200	2300	1φ8	5.31
110x200	2300	1φ16	5.37
127x200	2300	2φ16	6.89
108x200	2300	2φ16	6.24
130x200	2300	3φ16	7.80

Çizelge 3.17. Minimuma maksimum donatı oranlarına sahip kirişlerin teorik eğilme momenti-eğrilik ilişkileri

Deney adı (mm)	Betonun çekmede çatlamaşı		Donatının akmaya erişmesi		Betonun kısalma kapasitesine erişmesi	
	Moment (N.mm) 10^6	Eğrilik (rad/mm) 10^{-6}	Moment (N.mm) 10^6	Eğrilik (rad/mm) 10^{-6}	Moment (N.mm) 10^6	Eğrilik (rad/mm) 10^{-6}
(200x200)	4.89	1.21	3.56	13.70	3.66	684.93
(110x200)	2.72	1.21	3.51	14.37	3.62	376.29
(110x200)	2.75	1.24	13.00	17.75	12.10	94.14
(127x200)	3.53	1.23	25.30	19.93	3.66	54.30
(108x200)	3.20	1.29	25.10	20.76	22.83	46.20
(130x200)	4.00	1.31	37.10	22.05	31.96	37.07

Çizelge 3.18. Farklı a/d donatı oranlarına sahip kirişlerin teorik eğilme momenti-eğrilik ilişkileri

Deney adı (mm)	Betonun çekmede çatlamaşı		Donatının akmaya erişmesi		Betonun kısalma kapasitesine erişmesi	
	Moment (N.mm) 10^6	Eğrilik (rad/mm) 10^{-6}	Moment (N.mm) 10^6	Eğrilik (rad/mm) 10^{-6}	Moment (N.mm) 10^6	Eğrilik (rad/mm) 10^{-6}
(75x150)	1.12	1.65	4.76	24.24	4.76	128.33
(150x75)	1.45	3.26	5.10	19.33	5.01	256.74
(105x105)	0.74	2.35	3.05	38.46	3.02	176.69

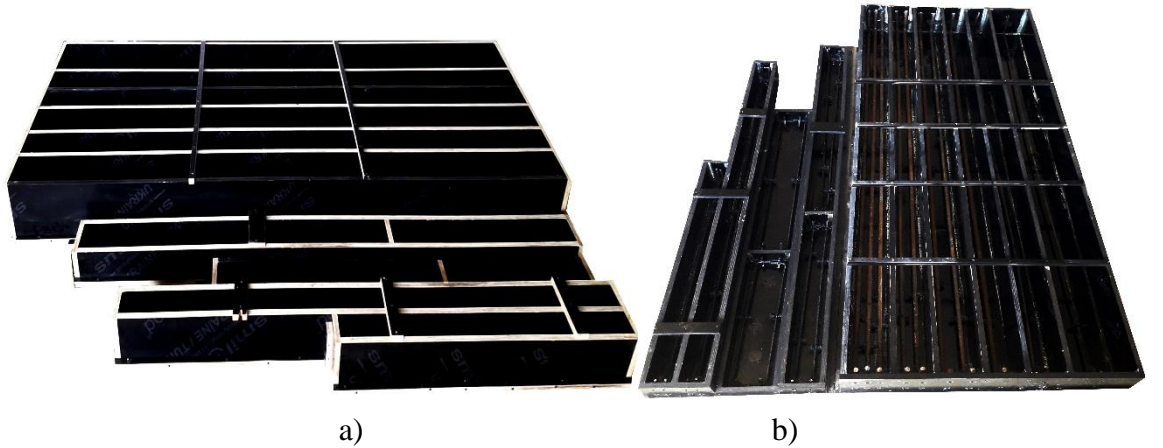
3.4. Betonarme Kirişlerin Deneysel Olarak Üretilmesi

Deneysel çalışmada ilk olarak deney numunelerinin donatı, boyut ve malzeme özellikleri belirlenmiştir. Boyuna çekme donatı uçlarının sıyrılmasını önlemek amacı ile 90 derece eğirerek kiriş gövdesine uzatılmıştır. Deney kiriş kalıpları 18 mm kalınlığında plywood'tan üretilmiştir. Tüm deney kirişlerde paspayı 20 mm olarak sabit alınmıştır. Deney elemanlarının üretimi aşamasında ilk olarak boyuna donatılar hazırlanmıştır (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Boyuna donatıların hazırlanması

Daha sonra betonarme kiriş kalıpları hazırlanarak ardından donatılar kalıplara yerleştirilmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. a) Hazırlanan kalıplar, b) Kalıp içerisine yerleşen donatılar

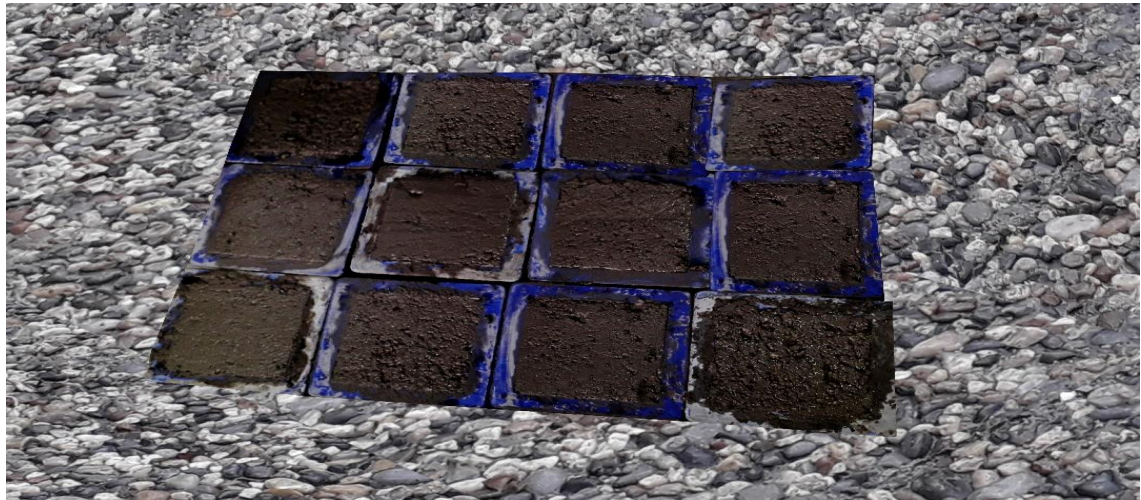
Deneysel çalışmada beton santralinden transmikser kamyon ile nakledilen hazır beton kalıplara yerleştirilerek bütün elemanlar aynı anda üretilmiştir. Ayrıca betonun

yerleştirilmesi sırasında yerleşmenin tam gerçekleşmesi amacıyla bir vibratör sayesinde beton sıkılaştırılmış ve aşağıdaki Şekil 3.18’de verilmiştir.



Şekil 3.18. Betonun kalıplara yerleştirilmesi

Üretilen kirişlerde kullanılan malzeme özelliklerinin belirlemek için TS500 (2000) ile TS708 (2010) yönetmeliklerinde tanımlanan hususlara göre örnek numuneleri alınmıştır. Beton numunesi alınmasında, 12 adet 100x100x100 mm’lik küp kalıplar kullanılmıştır (Şekil 3.19).



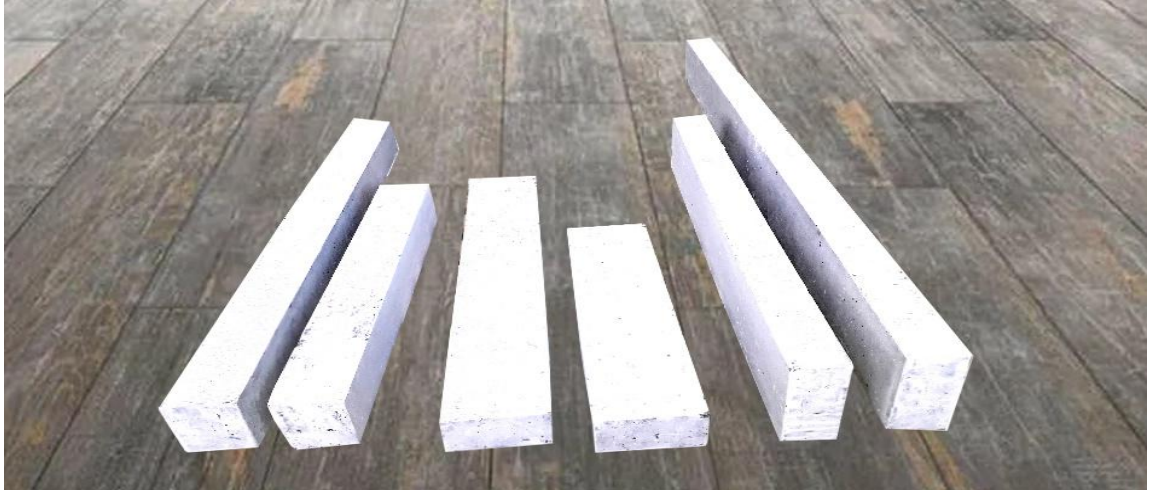
Şekil 3.19. Betondan alınan malzeme örnek numuneleri

Dökümü tamamlanan numuneler kalıptan sökülünceye kadar su kaybını engellemek amacı ile ıslak havluları üzerine yerleştirilerek korunmuştur (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. Döküm sonrası numuneler

Çatlakların daha net görülebilmesi için numuneler su esaslı beyaz boya ile boyanmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Deney kirişlerin boyanması

3.6. Deney Numunelerinde Betonun Basınç Dayanımları

Beton küp numunelerin basınç dayanımları kapasitesi 300 kN olan beton presi ile elde edilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Beton test presi ve test edilmiş küp numuneler

Elde edilen numuneler beton presinde denemeye tabi tutularak karakteristik basınç dayanımları tanımlanmıştır. Deneylerinden elde edilen 12 adet 150x150x150 mm'lik küp deney numunelerin ortalama beton basınç dayanımları Çizelge 3.19'da tanımlanmıştır. 150x300 mm silindire çevrilmiş değerleri ise Çizelge 3.20'de tanımlanmıştır. Malzeme dayanımını belirlemek amacıyla alınan 3'er numunenin aritmetik ortalaması olarak irdelenmiştir.

Çizelge 3.19. küp deneylerin ortalama basınç dayanımları

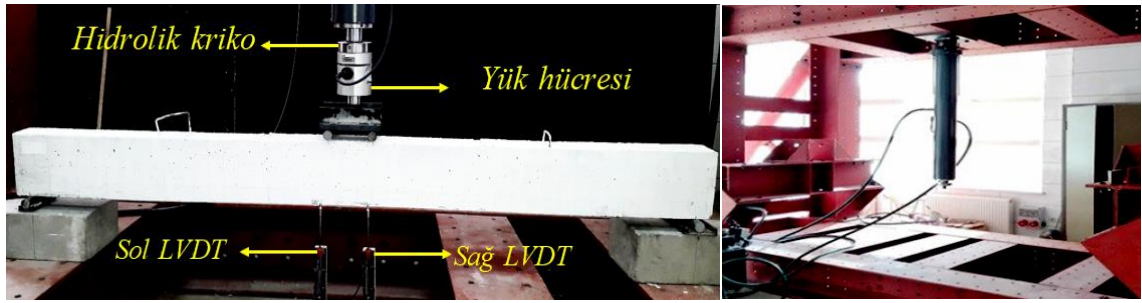
3 günlük ortalama basınç dayanımı (MPa)	6 günlük ortalama basınç dayanımı (MPa)	9 günlük ortalama basınç dayanımı (MPa)
20.92	24.83	31.50

Çizelge 3.20. Küp dayanımlarının silindire çevrilmiş hali

3 günlük ortalama basınç dayanımı (MPa)	6 günlük ortalama basınç dayanımı (MPa)	9 günlük ortalama basınç dayanımı (MPa)
16.737	19.86	25.20

3.7. Betonarme Kirişlerin Deney Düzeneği İle Ölçüm Cihazları

Üretilen kiriş numuneleri Bursa Uludağ Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında mevcut olan 4 nokta yükleme deney düzeneğinde eğilme testi cihazı ile mesnetlerinden birisi sabit ve öbürü hareketli olacak şekilde deneye tabi tutulmuştur (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Kirişin deney düzeneği ile ölçüm cihazı

Bununla beraber test sırasında kirişlerde meydana gelen deplasmanları ölçebilmek amacı ile tekil yüklerin etki ettiği noktalar altına iki adet 100 mm kapasiteli esnekli potansiyometrik cetvel (LVDT) yerleştirilmiş olup dijital yük hücresi ile beraber potansiyometrik cetveller bir veri toplama aletine bağlanmaktadır (Şekil 3.24).



a) potansiyometrik cetvel (LVDT)

b) Veri toplama aleti

Şekil 3.24. potansiyometrik cetvel (LVDT) ve veri toplama aleti

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

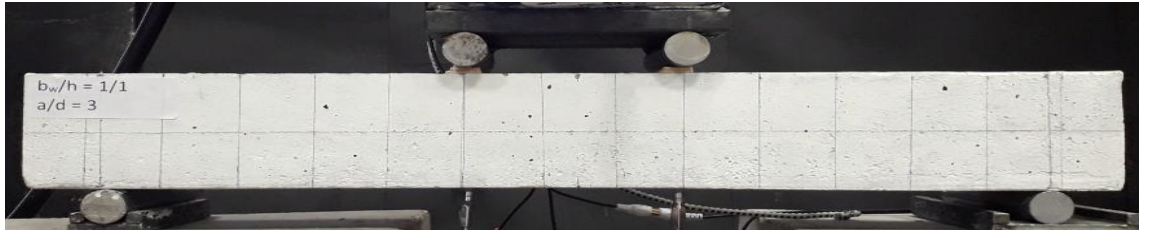
Deneysel çalışma kapsamında 12 adet betonarme kiriş numunesi imal edilmiş ve iki grup şeklinde deneye tabi tutulmuştur.

- Birinci grupta: Kesme baskın ve eğilme baskın olacak şekilde iki farklı a/d oranına sahip ve 3 farklı (b_w/h) genişlik/yükseklik oranı olacak şekilde toplam 6 tane betonarme kiriş test edilmiştir.
- İkinci grupta: Aşağıdaki donatı oranlarında sahip kirişler test edilmiştir:
 - Minimum donatı oranından daha az donatılı
 - Minimum donatı oranında donatılı
 - Minimum ile maksimum donatı oranları arasında donatılı
 - Maksimum donatı oranında donatılı
 - Dengeli donatı oranında donatılı
 - Dengeli donatı oranından daha fazla donatılı

4.1. Birinci Grup, Farklı (b_w/h) Genişlik/Yükseklik Oranına Sahip Numunelerin Davranışlarının İncelenmesi

4.1.1. En Kesiti 105 mm x 105 mm ($b_w/h=1$) ve $a/d=3$ Olan Deney Numunesi

En kesiti 105 mm x 105 mm ($b_w/h=1$) ve kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 3 olan deney numunesinin test öncesi hasarsız görüntüsü Şekil 4.1.'de verilmiştir.



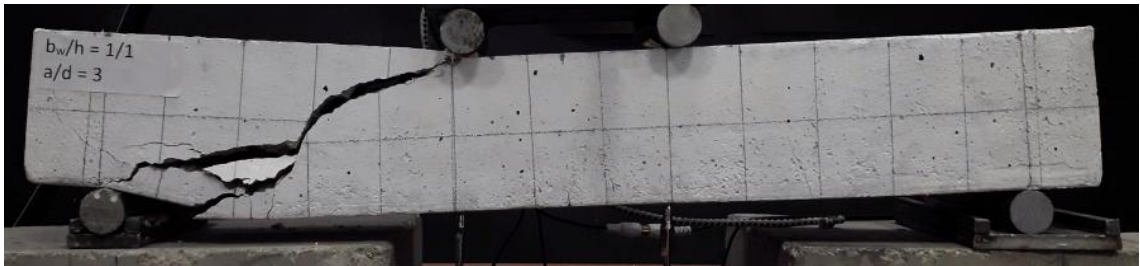
Şekil 4.1. En kesiti 105 mm x 105 mm ($b_w/h=1$) ve $a/d=3$ olan numunenin test öncesi görüntüsü

Numunede ilk çatlaklar 22.15 kN yük değeri aşıldığında numunenin orta bölgesinde meydana gelmiştir. Bu anda kirişte sol ve sağ yüklem noktaları hizasındaki potansiyometrik cetvellerde okunan düşey yer değiştirme değerleri sırasıyla 2.45 mm ve 2.20 mm olarak okunmuştur (Şekil 4.2).



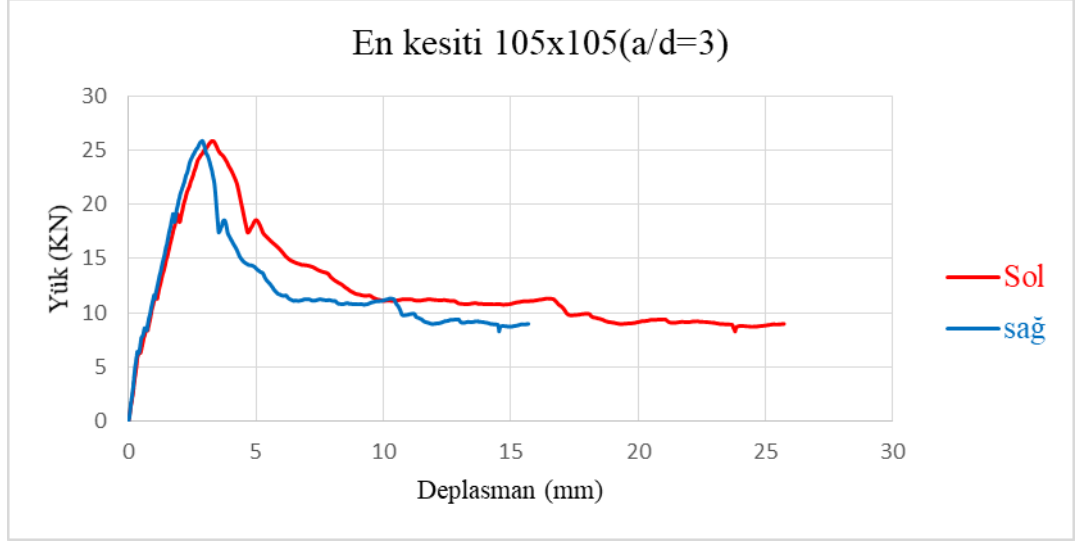
Şekil 4.2 En kesiti 105 mm x 105 mm ($b_w/h=1$) ve $a/d=3$ olan numunede oluşan ilk çatlaklar

Bu kirişte donatıda akma meydana gelmemiş olup numuneye uygulanan yük artışı ile beraber çatlaklar sol mesnetten sol tekil yükün uyguladığı noktaya devam edip eğik çatlaklara dönüşerek eleman maksimum taşıma kapasitesine erişmiştir. Maksimum yük 25.85 kN değerine ulaştığında bu yüke karşılık gelen deplasman sol ve sağ potansiyometrik cetvellerde sırasıyla 3.34 mm ve 2.91 mm olarak elde edilmiş olup eleman kesmeden dolayı göçme noktasına ulaşmıştır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. En kesiti 105 mm x 105 mm ($b_w/h=1$) ve $a/d=3$ olan numunenin deney sonundaki görüntüsü

Deneyde elde edilen yük-deplasman grafiği Şekil.4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4. En kesiti 105 mm x 105 mm ($b_w/h=1$) ve $a/d=3$ olan numunenin yük –deplasman eğrisi

4.1.2. En Kesiti 105 mm x 105 mm ($b_w/h=1$) ve $a/d=6$ Olan Deney Numunesi

En kesiti 105 mm x 105 mm ($b_w/h=1$) ve kesme açıklığının faydalı yükseklığe oranı (a/d) 6 olan deney numunesinin test öncesi hasarsız görüntüsü Şekil 4.5.'de verilmiştir.



Şekil 4.5. En kesiti 105 mm x 105 mm ($b_w/h=1$) ve $a/d=6$ olan numunenin test öncesi görüntüsü

Numunede donatıda akma yaklaşık 17 kN yük değerine ulaşıldığında numunenin orta bölgesinde meydana gelmiştir. Bu anda kirişte sol ve sağ yükleme noktaları hizasındaki potansiyometrik cetvellerde okunan düşey yer değıştirme değerleri sırasıyla 7.1 mm ve 7.4 mm olarak okunmuştur (Şekil 4.6).



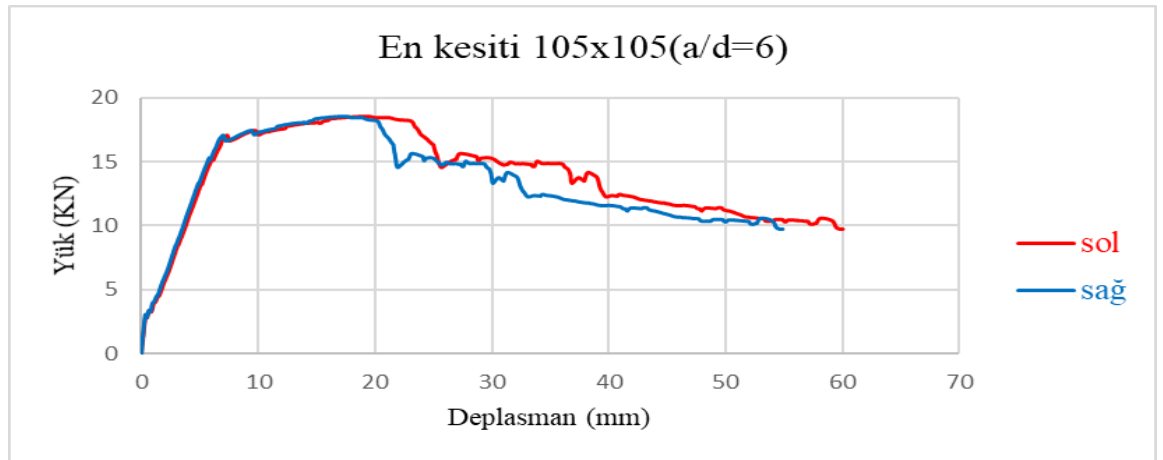
Şekil 4.6 En kesiti 105 mm x 105 mm ($b_w/h=1$) ve $a/d=6$ olan numunede donatının akması

Bu kirişte donatıda akma meydana geldikten sonra kiriş sehim yapmaya devam etmiş, çatlak genişlikleri artmıştır. Yük yaklaşık 18.2 kN değerine ulaştığında basınç bölgesindeki betonun ezilmesiyle kiriş taşıma gücüne ulaşmıştır. Bu yüke karşılık gelen deplasman sol ve sağ potansiyometrik cetvellerde sırasıyla 23.2 mm ve 20.3 mm olarak elde edilmiş olup eleman eğilmeden dolayı göçme noktasına ulaşmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. En kesiti 105 mm x 105 mm ($b_w/h=1$) ve $a/d=6$ olan numunenin deney sonundaki görüntüsü

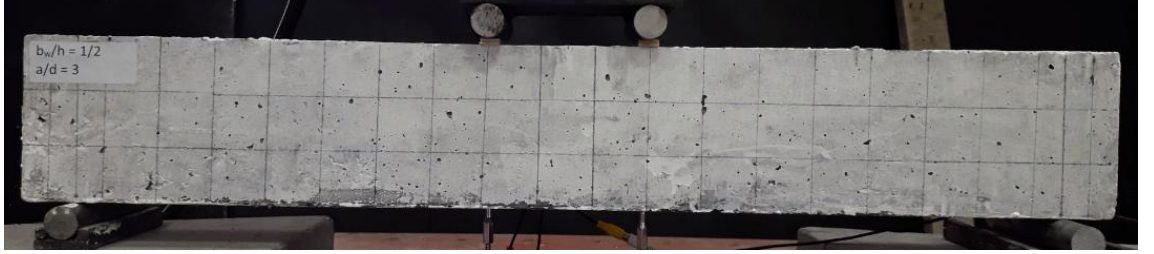
Deneyde elde edilen yük-deplasman grafiği Şekil.4.8'te verilmiştir.



Şekil 4.8. En kesiti 105 mm x 105 mm ($b_w/h=1$) ve $a/d=6$ olan numunenin yük-deplasman eğrisi

4.1.3. En Kesiti 75x150 (bw/h=1/2) ve a/d=3 Olan Deney Numunesi

En kesiti 75 mm x 150 mm (bw/h=1/2) ve kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 3 olan deney numunesinin test öncesi hasarsız görüntüsü Şekil 4.9.'de verilmiştir.



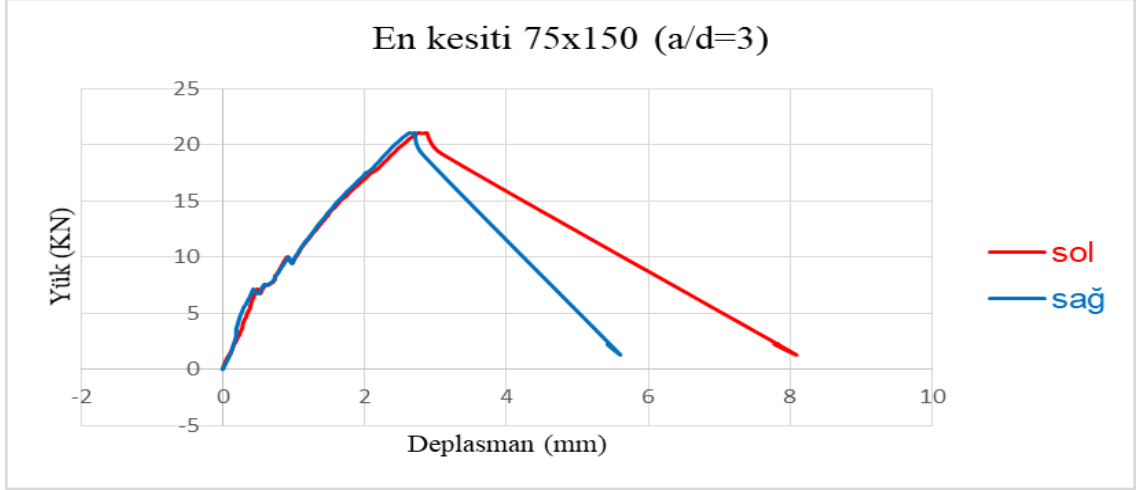
Şekil 4.9. En kesiti 75 mm x 150 mm (bw/h=1/2) ve a/d=3 olan numunenin test öncesi görüntüsü

Bu kirişte donatıda akma meydana gelmemiş olup numuneye uygulanan yük artışı ile beraber çatlaklar sol mesnetten sol tekil yükün uyguladığı noktaya devam edip eğik çatlaklara dönüşerek eleman maksimum taşıma kapasitesine erişmiştir. Maksimum yük 21.04 kN değerine ulaştığında bu yüke karşılık gelen deplasman sol ve sağ potansiyometrik cetvellerde sırasıyla 2.88 mm ve 2.71 mm olarak elde edilmiş olup eleman kesmeden dolayı göçme noktasına ulaşmıştır (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. En kesiti 75 mm x 150 mm (bw/h=1/2) ve a/d=3 olan numunenin deney sonundaki görüntüsü

Deneyde elde edilen yük-deplasman grafiği Şekil.4.11'te verilmiştir.



Şekil 4.11. En kesiti 75 mm x 150 mm ($bw/h=1/2$) ve $a/d=3$ olan numunenin yük –deplasman eğrisi

4.1.4. En Kesiti 75x150 ($bw/h=1/2$) ve $a/d=6$ Olan Deney Numunesi

En kesiti 75 mm x 150 mm ($bw/h=1/2$) ve kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 6 olan deney numunesinin test öncesi hasarsız görüntüsü Şekil 4.12.'de verilmiştir.



Şekil 4.12. En kesiti 75 mm x 150 mm ($bw/h=1/2$) ve $a/d=6$ olan numunenin test öncesi görüntüsü

Numunede ilk çatlaklar 6.65 kN yük değeri aşıldığında numunenin orta bölgesinde meydana gelmiştir. Bu anda kirişte sol ve sağ yükleme noktaları hizasındaki potansiyometrik cetvellerde okunan düşey yer değiştirme değerleri sırasıyla 3.51 mm ve 3.37 mm olarak okunmuştur (Şekil 4.13).



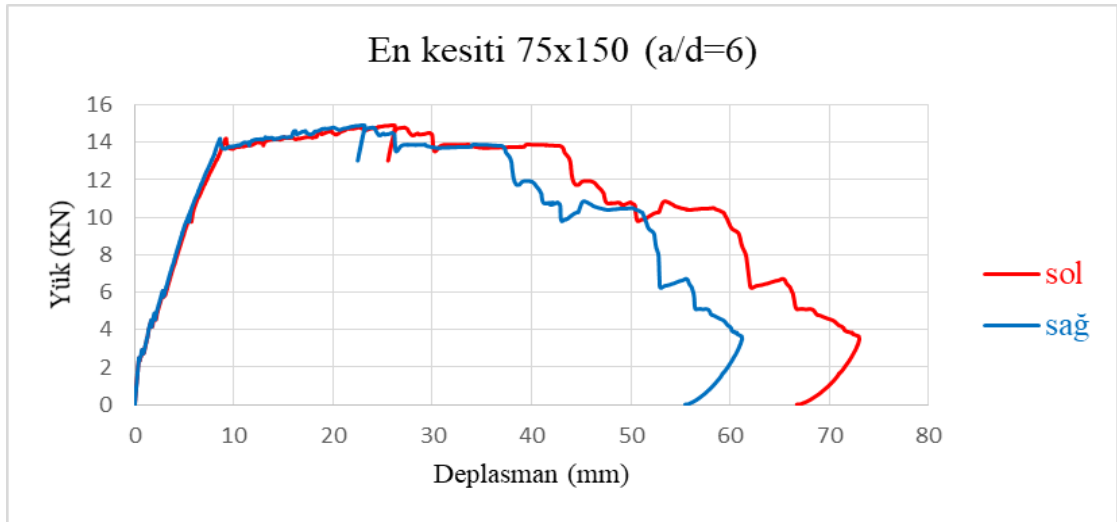
Şekil 4.13 En kesiti 75 mm x 150 mm ($bw/h=1/2$) ve $a/d=6$ olan numunede oluşan ilk çatlaklar

Betonarme kiriş numunesine uygulanan yük artışı ile numunenin orta kısmında eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Numunede meydana gelen eğilme çatlakları basınç çubuğu eksenine doğru ilerleyerek numune maksimum dayanıma ulaşarak yük taşıma kapasitesine erişmiştir. İki tekil yük bölgesinde kirişin üst kısmında basınçtan dolayı ezilmeler meydana gelmiştir. Numune maksimum 14.91 kN yük değerinde erişmiştir. Dolayısıyla yüke karşılık gelen yük–düşey yerdeğiştirmeler sol ile sağ LVDT’lerde görünen değerler sırasıyla 26.08 mm ve 23.04 mm olup deney sonucunda numune eğilme dayanımına ulaşarak eğilmeden göçmüştür (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. En kesiti 75 mm x 150 mm ($bw/h=1/2$) ve $a/d=6$ olan numunenin deney sonundaki görüntüsü

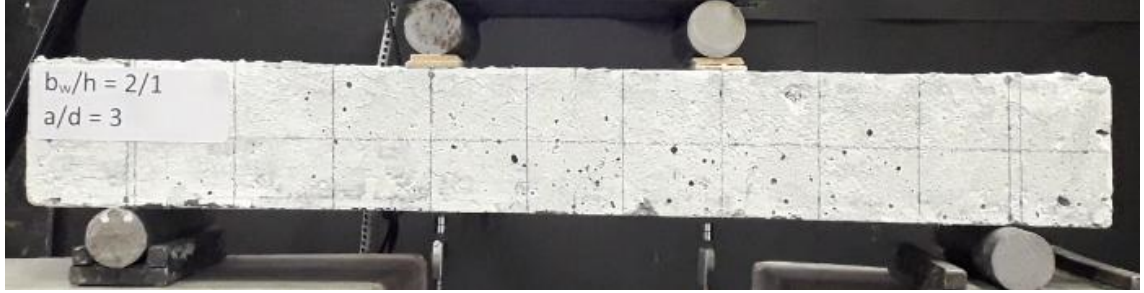
Deneyde elde edilen yük-deplasman grafiği Şekil.4.15’te verilmiştir.



Şekil 4.15. En kesiti 75 mm x 150 mm ($bw/h=1/2$) ve $a/d=6$ olan numunenin numunenin yük –deplasman eğrisi

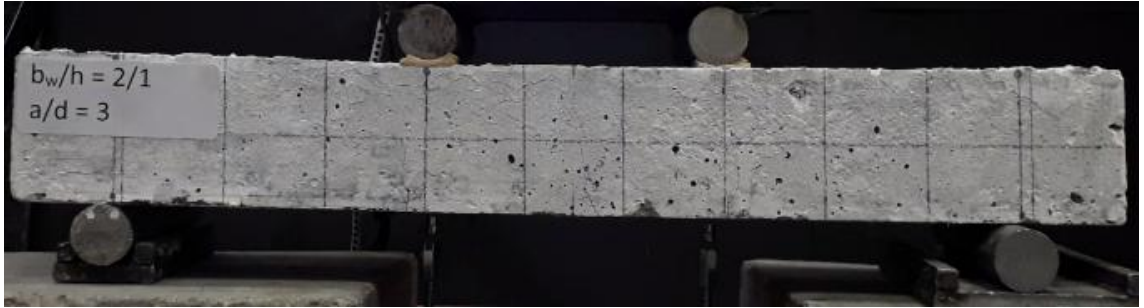
4.1.5. En Kesiti 150x75 ($b_w/h=2/1$) ve $a/d=3$ Olan Deney Dumunesi

En kesiti 150 mm x 75 mm ($b_w/h=2/1$) ve kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 3 olan deney numunesinin test öncesi hasarsız görüntüsü Şekil 4.16.'de verilmiştir.



Şekil 4.16. En kesiti 150 mm x 75 mm ($b_w/h=2/1$) ve $a/d=3$ olan numunenin test öncesi görüntüsü

Numunede ilk çatlaklar 26.80 kN aşıldığında ve numunenin iki tekil yük bölgesinde yükün sağ ve solunda oldukça ince eğilme çatlakları görülmüştür. Kirişin yük–deplasman grafiğine bakıldığında sol ve sağ LVDT’lerde görünen düşey yerdeğiştirme değerleri sırasıyla 3.26 mm ve 3.00 mm olarak elde edilmiştir (Şekil 4.17).



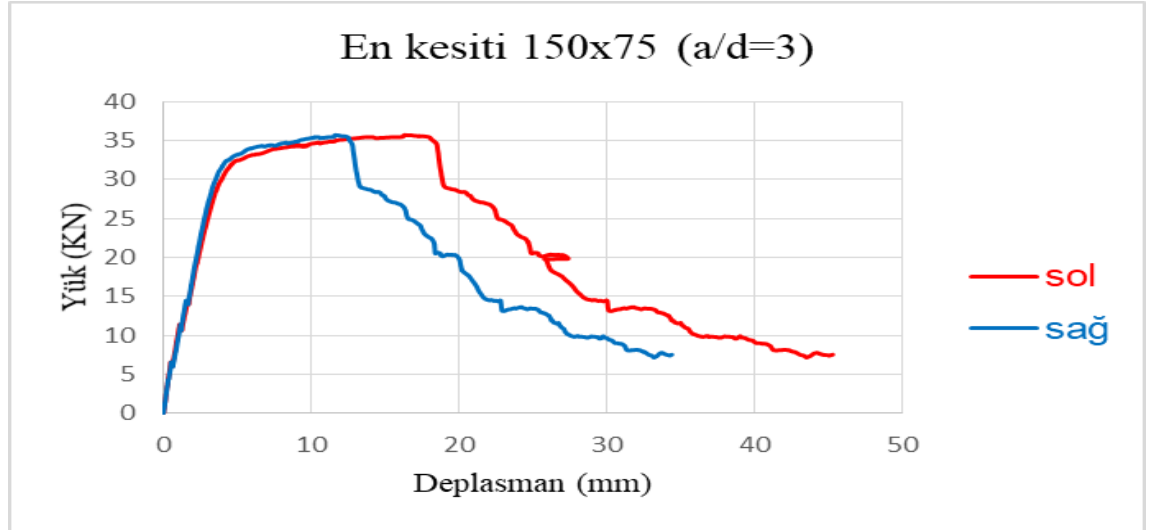
Şekil 4.17 En kesiti 150 mm x 75 mm ($b_w/h=2/1$) ve $a/d=3$ olan numunede oluşan ilk çatlaklar

Deney sonucunda numunede 34.21 kN yüklendiğinde akma meydana gelmiş olup yüke karşılık gelen yük–deplasmanlar sol ile sağ LVDT’lerde değerleri 9.47 mm ve 6.84 mm olarak elde edilmiştir. Bu kiriş maksimum yüke 35.67 kN iken erişmiştir. Yüke karşılık gelen yerdeğiştirmeler sol ve sağ LVDT’lerde okunan değerler 16.59 mm ve 11.75 mm olarak elde edilmiştir. Numunenin deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.18 da verilmiştir.



Şekil 4.18. En kesiti 150 mm x 75 mm ($b_w/h=2/1$) ve $a/d=3$ olan numunenin deney sonundaki görüntüsü

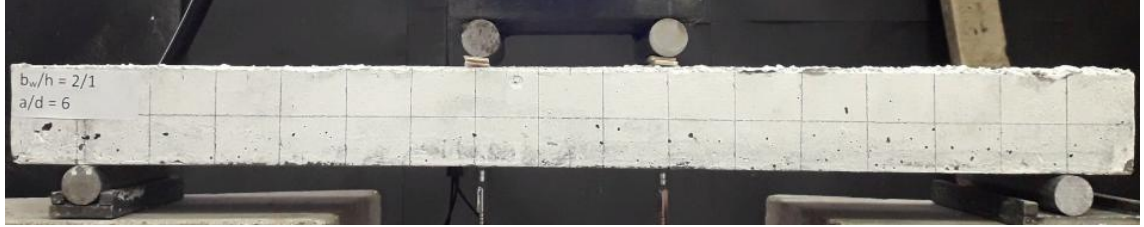
Deneyde elde edilen yük-deplasman grafiği Şekil.4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19. En kesiti 150 mm x 75 mm ($b_w/h=2/1$) ve $a/d=3$ olan numunenin yük –deplasman eğrisi

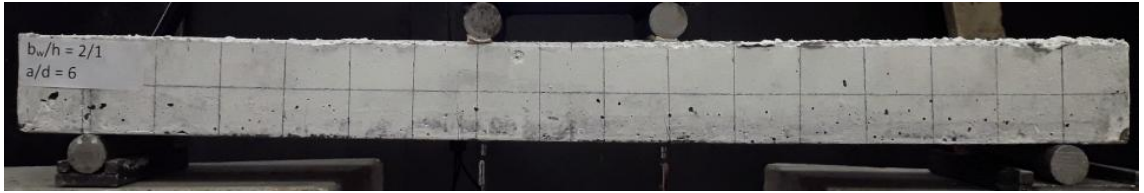
4.1.6. En Kesiti 150x75 (bw/h=2/1) ve a/d=6 Olan Deney Dumunesi

En kesiti 150 mm x 75 mm (bw/h=2/1) ve kesme açıklığının faydalı yüksekliğe oranı (a/d) 6 olan deney numunesinin test öncesi hasarsız görüntüsü Şekil 4.20.'de verilmiştir.



Şekil 4.20. En kesiti 150 mm x 75 mm (bw/h=2/1) ve a/d=6 olan numunenin test öncesi görüntüsü

Numunede ilk çatlaklar 12.51 kN değerinde iken numunenin orta bölgesinde kirişin yük-deplasman grafiğine bakıldığında sol ve sağ LVDT'lerde görünen düşey yerdeğiştirme değerleri sırasıyla 4.04 mm ve 3.81 mm olarak elde edilmiştir (Şekil 4.21).



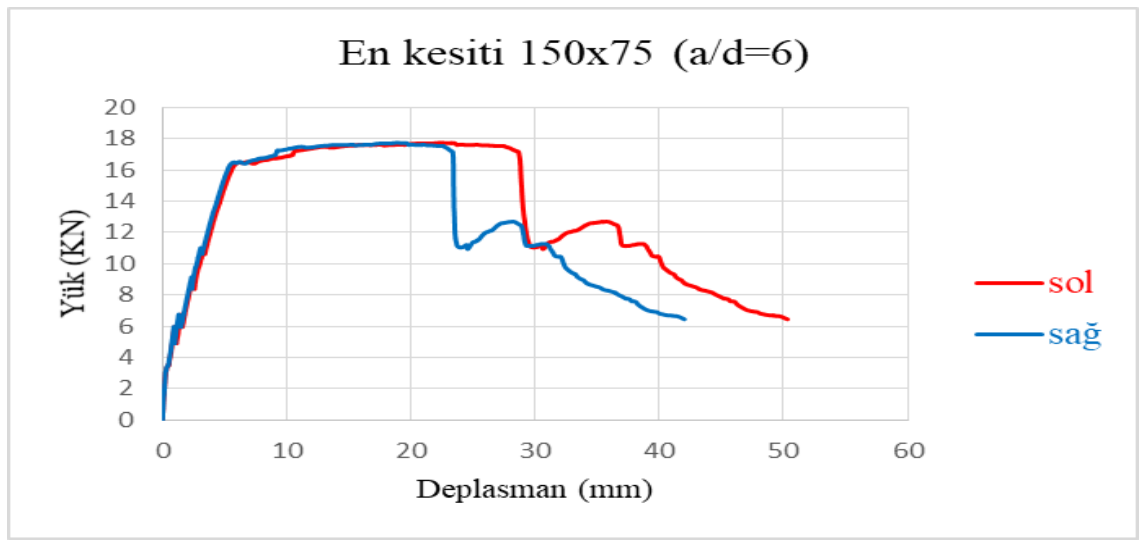
Şekil 4.21 En kesiti 150 mm x 75 mm (bw/h=2/1) ve a/d=6 olan numunede oluşan ilk çatlaklar

Betonarme kiriş numunesine uygulanan yük artışı ile numunenin orta kısmında eğilme çatlakları meydana gelmiştir. Numunede meydana gelen eğilme çatlakları basınç bölgesine doğru ilerleyerek numune maksimum dayanıma ulaşarak yük taşıma kapasitesine erişmiştir. İki tekil yük bölgesinde kirişin üst kısmında basınçtan dolayı ezilmeler meydana gelmiştir. Numune maksimum 17.71 kN yük değerinde erişmiştir. Bu yüke karşılık gelen deplasman değerleri sırasıyla 23.35 mm ve 19.56 mm olup deney sonucunda numune eğilme dayanımına ulaşarak eğilmeden göçmüştür. Numunenin deney sonundaki görüntüsü Şekil 4.22 de verilmiştir.



Şekil 4.22. En kesiti 150 mm x 75 mm ($b_w/h=2/1$) ve $a/d=6$ olan numunenin deney sonundaki görüntüsü

Deneyde elde edilen yük-deplasman grafiği Şekil.4.23'te verilmiştir.

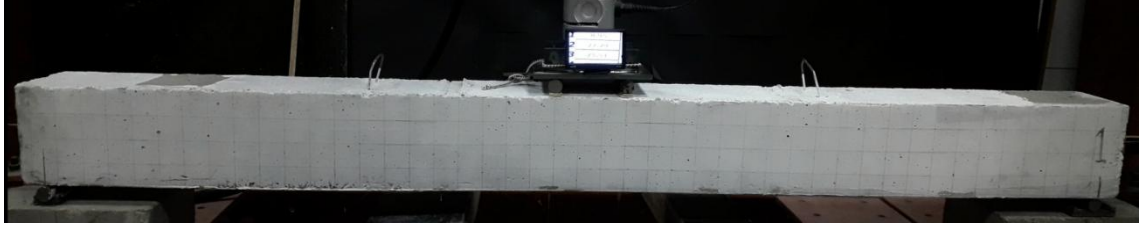


Şekil 4.23. En kesiti 150 mm x 75 mm ($b_w/h=2/1$) ve $a/d=6$ olan numunenin yük -deplasman eğrisi

4.2. İkinci Grup, Değişik Donatı Oranları İçeren Kiriş Elemanlarda Oluşan Eğilme ve Kesme Etkilerinin İncelenmesi

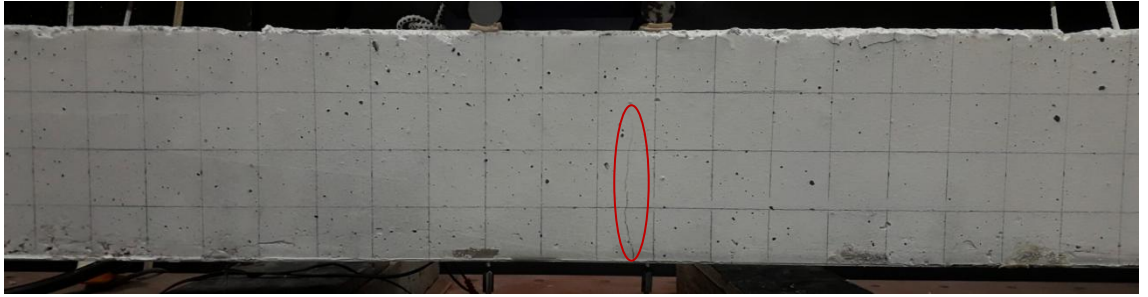
4.2.1. Minimum Donatı Oranından Az Donatılı

Aşağıda verilen minimum donatı oranından az donatılı betonarme kiriş 200×200 mm'lik kesit boyutlarına sahip olup bu numunenin toplam boyu 2300 mm'dir. Numune kesit içerisinde 8 mm çapında çekme donatısına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Kiriş numunesinin test öncesi hasarsız görüntüsü Şekil 4.24'te verilmiştir.



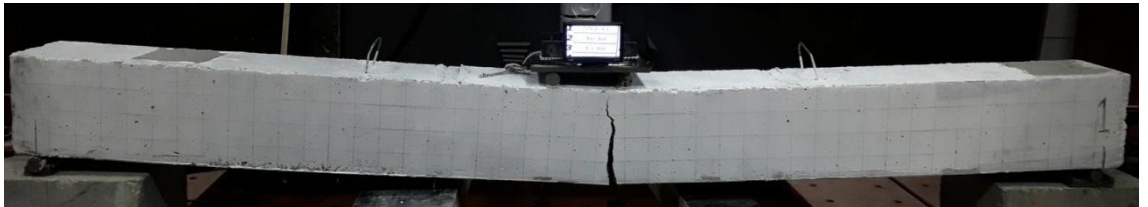
Şekil 4.24. Teste tabi tutulan minimum donatı oranından az donatılı numunenin deney öncesi görüntüsü

Kirişte ilk çatlak tam sağdaki uygulanan yükün altında yaklaşık 2.5 cm solunda eksenel yük 7.10 kN iken oluşmuştur. Numunenin iki tekil yük arası açıklık ortası civarındaki yük–deplasman grafiğine bakıldığında sol ve sağ LVDT’lerde görünen düşey yerdeğiştirme değerleri 2.45 mm ve 2.33 mm olarak elde edilmiştir (Şekil 4.25).



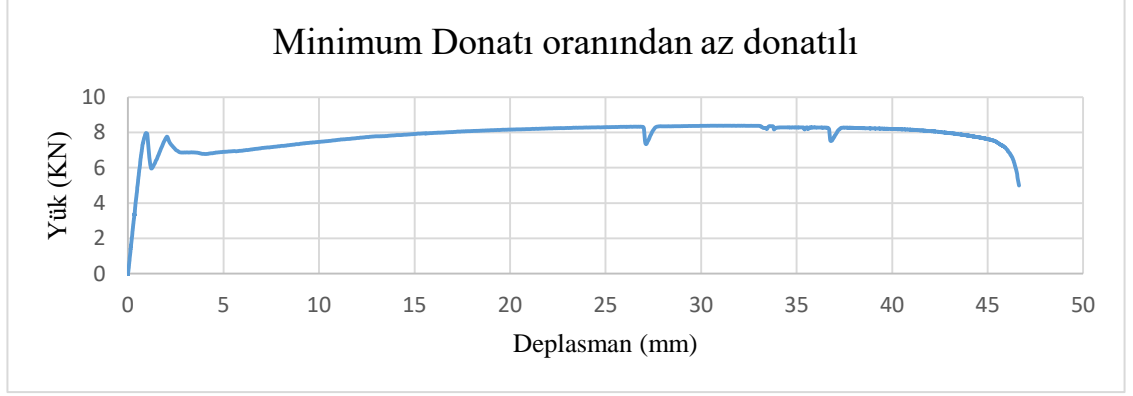
Şekil 4.25. En kesiti 200x200 minimum donatı oranından az donatılı deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

Kirişte akma gözlemlenmemiş olup kirişin son durumunu görebilmek amacıyla yüklemeye devam edilmiştir. Betonarme kiriş maksimum yüke 8.38 kN değerinde ulaşmıştır. Yük–deplasman grafiğine bakıldığında sol ve sağ LVDT’lerde görünen düşey yerdeğiştirme değerleri 32.35 mm ve 30.29 mm olarak elde edilmiştir.

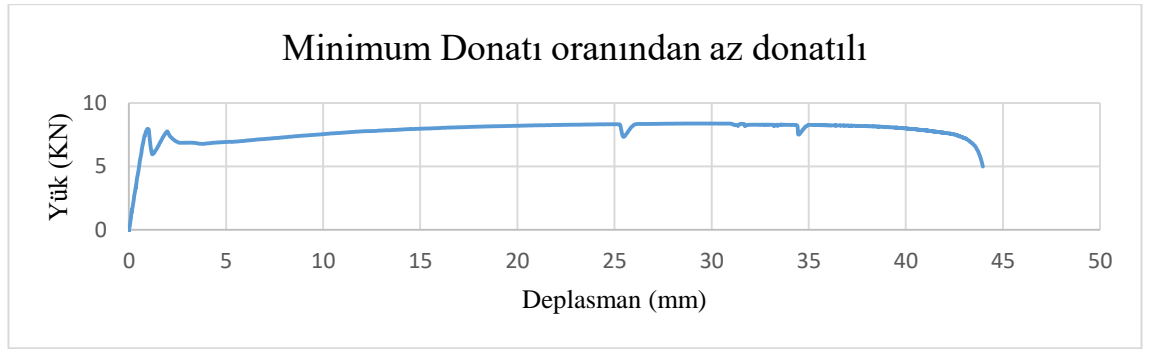


Şekil 4.26. En kesiti 200x200 minimum donatı oranından az donatılı numunenin deney sonundaki davranışı

Uygulanan yükler sonucunda farklı donatı oranları içeren numunelerde yük deplasman ilişkileri sol ve sağ LVDT'lerde Şekil.4.27-4.28'de sunulmuştur. İlk çatlamanın meydana geldiği ana kadar yük deplasman ilişkilerinin lineer olduğu görülmüştür.



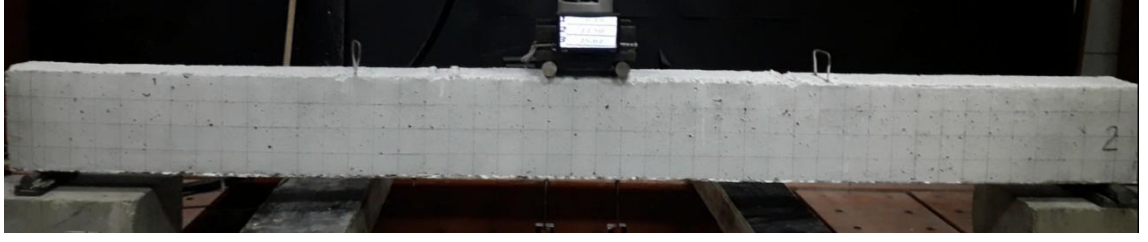
Şekil 4.27. En kesiti 200x200 minimum donatı oranından az donatılı numunenin sol LVDT'de elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.28. En kesiti 200x200 minimum donatı oranından az donatılı numunenin sağ LVDT'de elde edilen yük-deplasman eğrisi

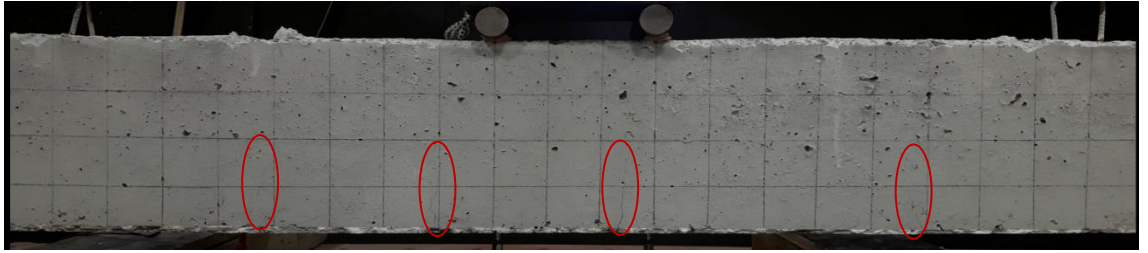
4.2.2. Minimum Donatı Oranında Donatılı

Aşağıda verilen minimum donatı oranında donatılı betonarme kiriş 110×200 mm'lik kesit boyutlarına sahip olup bu numunenin toplam boyu 2300 mm'dir. Numune, Kesit içerisinde 8 mm çapında çekme donatısı kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Kiriş numunesinin test öncesi hasarsız görüntüsü Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.29. Teste tabi tutulan Minimum donatı oranında donatılı numunenin deney öncesi görüntüsü

Deneysel çalışma sonucunda yüklemeye tabi tutulan numunede ilk olarak çatlaklar iki tekil yük arası açıklık ortası civarında eksenel yük 5.84 kN iken oluşmuştur. Bu numunede ilk çatlama yükünün kiriş içerisindeki donatı oranından tarafsız olduğu görülmüştür. Numunenin iki tekil yük arası açıklık ortası civarındaki yük-deplasman grafiğine bakıldığında sol ve sağ LVDT'lerde görünen düşey yerdeğiştirme değerleri 2.74 mm ve 2.76 mm olarak elde edilmiştir (Şekil 4.30).



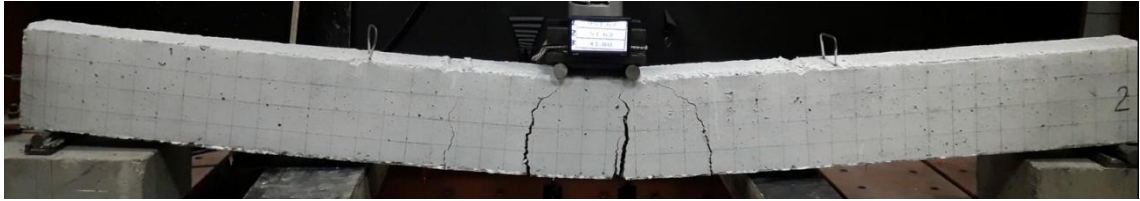
Şekil 4.30. En kesiti 110x200 Minimum donatı oranında donatılı deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

Betonarme kiriş 8.47 kN iken akma noktasına ulaşmış olup sol ve sağ LVDT'lerde okunan deplasman değerleri 14.43 mm ile 14.97 mm olarak belirlenmiştir (Şekil 4.31).



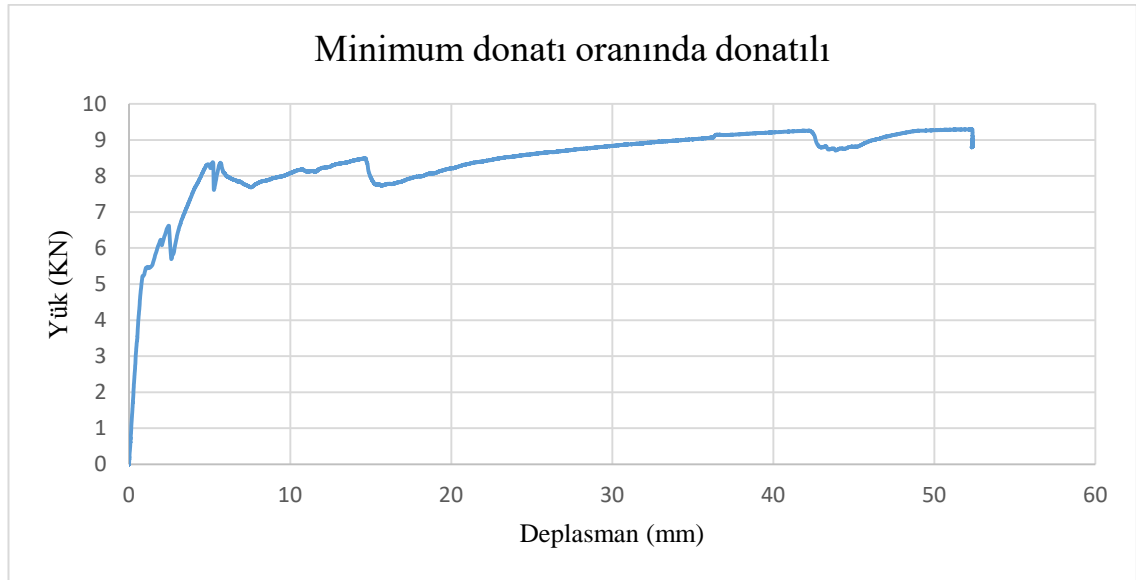
Şekil 4.31. En kesiti 110x200 Minimum donatı oranında donatılı deney numunesin akma durumu

Bu numunede yük artışı ile beraber mevcut çatlakların derinlik hem de genişliğinin arttığı kesme çatlakları ile beraber tekil yükün uyguladığı kısma devam edip taşıma gücü yüküne erişmesi ile birlikte yeni çatlak oluşumunun belirli derecede çoğaldığı gözlemlenmiştir. Kiriş maksimum yük 9.53 kN değerine ulaştığında yüke karşılık gelen yük-deplasman sol ve sağ LVDT’lerde görünen değerler 51.91 mm ve 42.16 mm olarak elde edilmiş olup eleman eğilmeden dolayı göçme noktasına ulaşmıştır (Şekil 4.32).

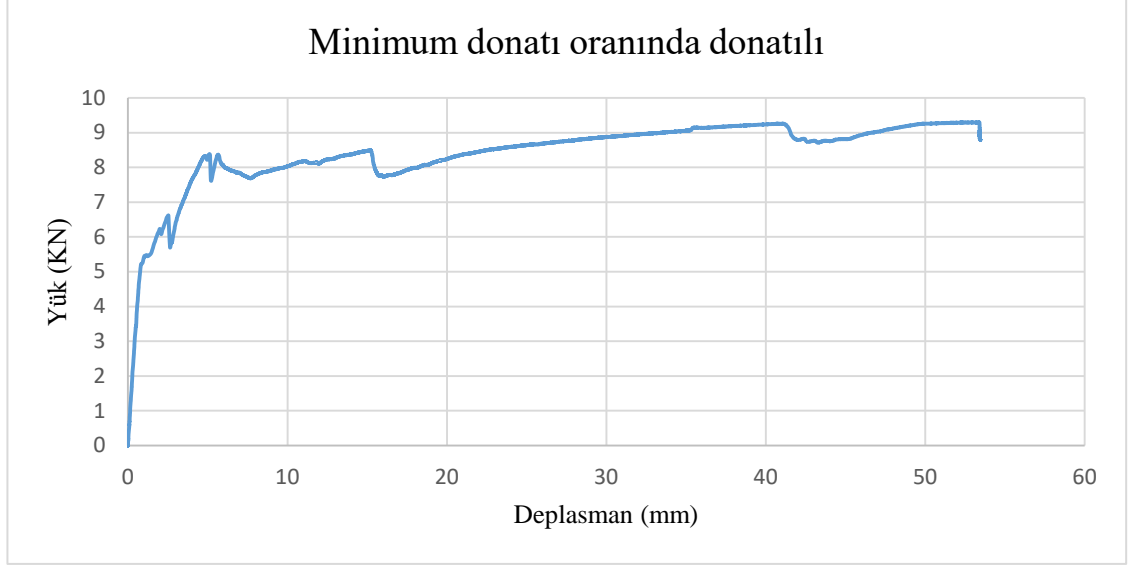


Şekil 4.32. En kesiti 110x200 minimum donatı oranında donatılı deney numunesinin yük altındaki davranışı

Uygulanan yükler sonucunda farklı donatı oranları içeren numunelerde yük deplasman ilişkileri sol ve sağ LVDT’lerde Şekil.4.33-4.34’te sunulmuştur. İlk çatlamanın meydana geldiği ana kadar yük deplasman ilişkilerinin lineer olduğu görülmüştür.



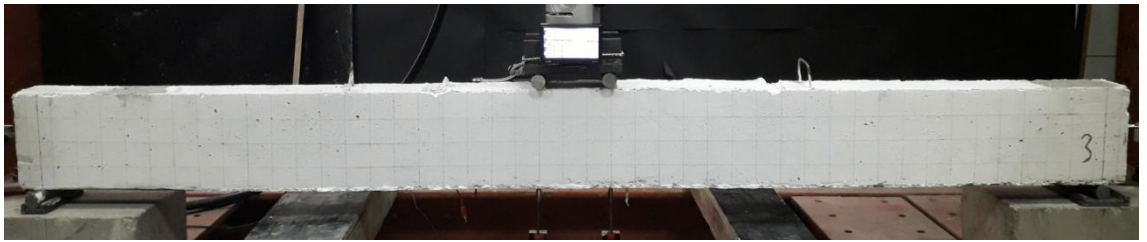
Şekil 4.33. En kesiti 110x200 minimum donatı oranında donatılı numunenin sol LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.34. En kesiti 110x200 minimum donatı oranında donatılı numunenin sağ LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi

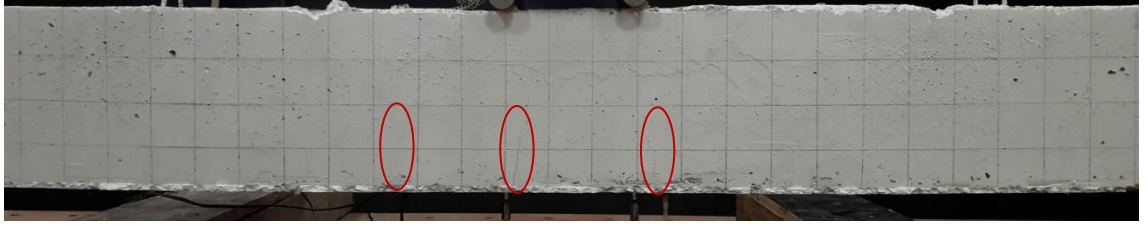
4.2.3. Minimum İle Maksimum Arası Donatı Oranından Donatılı

Aşağıda verilen minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı betonarme kiriş 110×200 mm’lik kesit boyutlarına sahip olup bu numunenin toplam boyu 2300 mm’dir. Numune, kesit içerisinde 16 mm çapında çekme donatısı kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Kiriş numunesinin test öncesi hasarsız görüntüsü Şekil 4.35’de verilmiştir.



Şekil 4.35. Teste tabi tutulan minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı numunenin deney öncesi görüntüsü

Deneysel çalışma sonucunda yüklemeye tabi tutulan numunede eğilme çatlakları açıklık ortasında aksenal yük 21.51 kN iken oluşmuştur. Numunede yük deplasman ilişkileri sol ve sağ LVDT’lerde görünen düşey yerdeğiştirme değerleri 6.82 mm ve 6.63 mm olarak elde edilmiştir (Şekil 4.36).



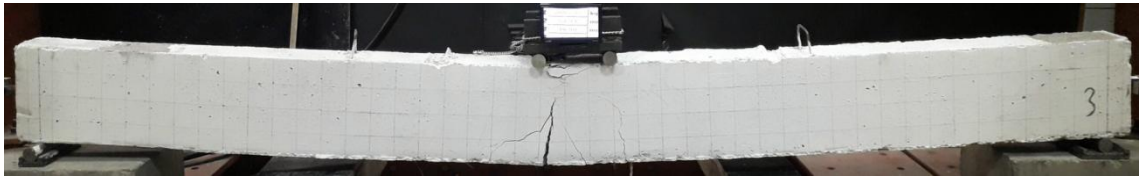
Şekil 4.36. En kesiti 110x200 minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

Numune 28.88 kN yük değerinde akma noktasına ulaşmış olup kirişte yük deplasman ilişkileri sol ve sağ LVDT'lerde 10.26 mm ve 9.96 mm iken meydana gelmiştir (Şekil 4.37).



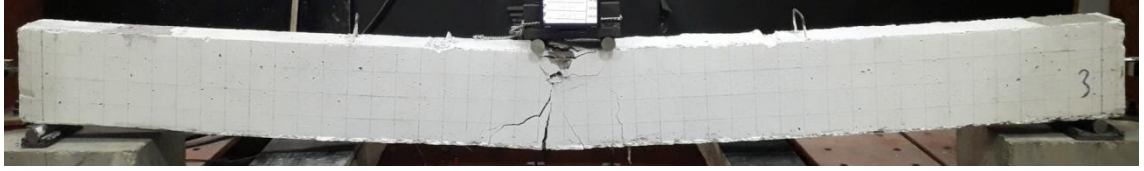
Şekil 4.37. En kesiti 110x200 minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı deney numunesinin akma anındaki davranışı

Numuneye uygulanan yük artışı ile birlikte numunenin orta kısmında eğilme çatlakları meydana gelmiş olup eğilme çatlakları basınç kısmına doğru devam ederek numune maksimum yük taşıma kapasitesine erişmiştir. Numunenin iki tekil yük kısmında numunenin üst bölgesinde basınç nedeni ile ezilmeler gözlemlenmiştir. Numune maksimum 30.63 kN yük değerinde iken ulaşmıştır. Kirişte yük deplasman ilişkileri sol ve sağ LVDT'lerde okunarak 19.58 mm ve 18.12 mm şeklinde elde edilmiştir (Şekil 4.38).



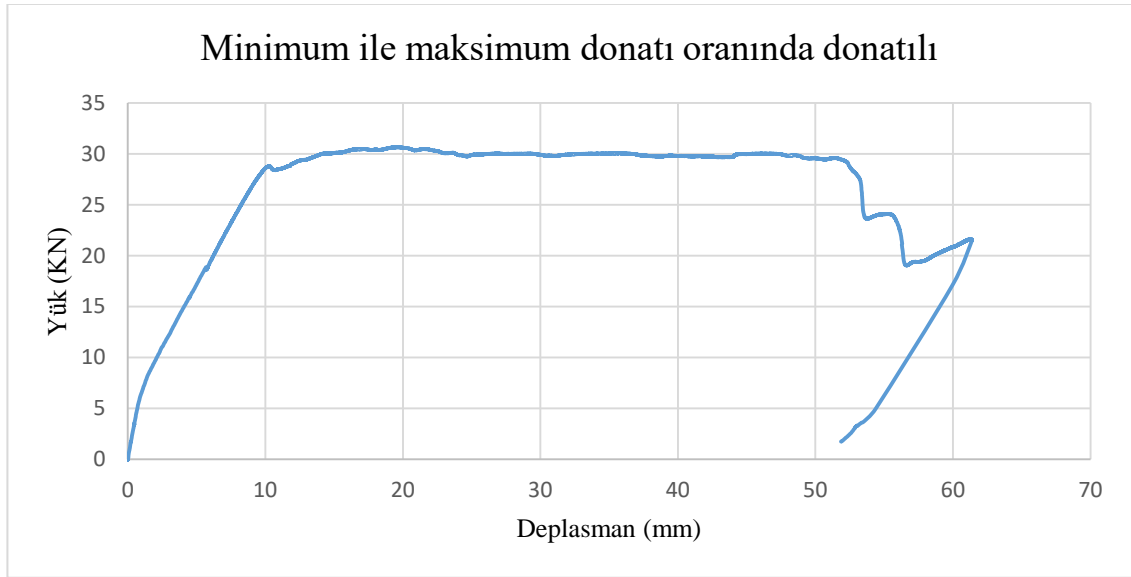
Şekil 4.38. En kesiti 110x200 minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı deney numunesinin maksimum yük altındaki davranışı

Numunenin son davranışını incelediğimizde maksimum yük seviyesinden sonra numune yük taşıyamaz durumuna gelmiş ancak deplasman sünek olarak artmaya devam etmiş olup aderans çatlak oluşması sebebi ile deneye son verilmiştir (Şekil 4.39).

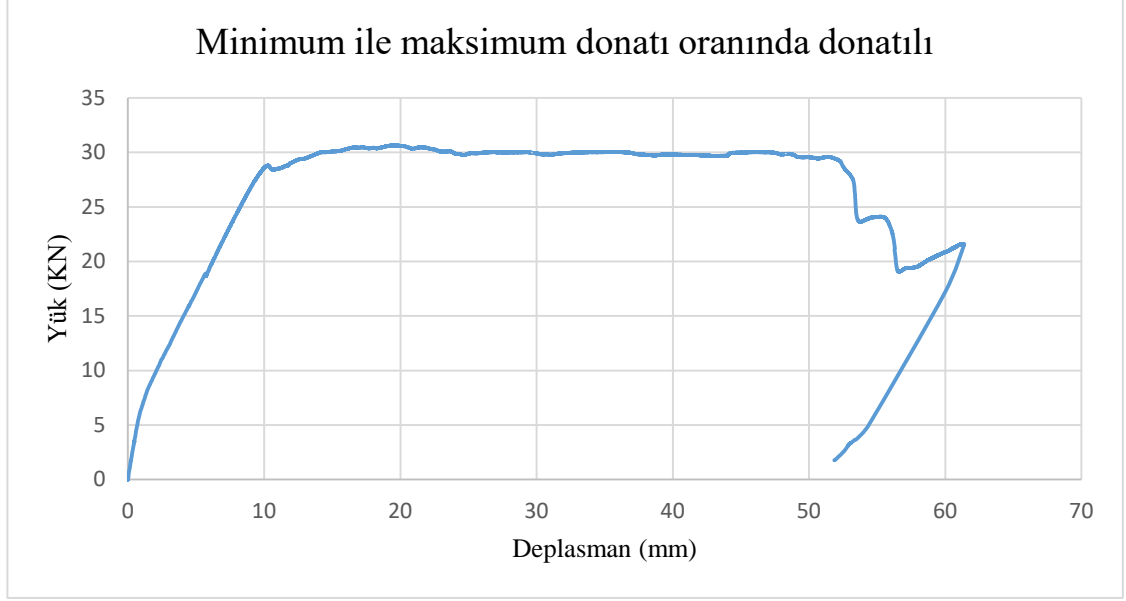


Şekil 4.39. En kesiti 110x200 minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı numunesinin deney sonundaki davranışı

Uygulanan yükler sonucunda farklı donatı oranları içeren numunelerde yük deplasman ilişkileri sol ve sağ LVDT'lerde Şekil.4.40-4.41'de sunulmuştur. İlk çatlamanın meydana geldiği ana kadar yük deplasman ilişkilerinin lineer olduğu görülmüştür.



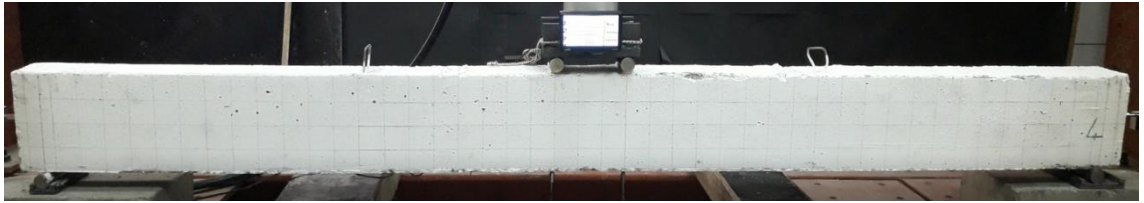
Şekil 4.40. En kesiti 110x200 minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı numunenin sol LVDT'de elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.41. En kesiti 110x200 minimum ile maksimum arası donatı oranından donatılı numunenin sağ LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi

4.2.4. Maksimum Donatı Oranında Donatılı

Aşağıda verilen maksimum donatı oranında donatılı betonarme kiriş 127×200 mm’lik kesit boyutlarına sahip olup bu numunenin toplam boyu 2300 mm’dir. Numune, kesit içerisinde 16 mm çapında çekme donatısı kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Kiriş numunesinin test öncesi hasarsız görüntüsü Şekil 4.42.’da verilmiştir.



Şekil 4.42. Teste tabi tutulan maksimum donatı oranında donatılı numunenin deney öncesi görüntüsü

Yüklemeye tabi tutulan numunede ilk olarak çatlaklar açıklık ortası civarında aksenal yük 30.52 kN iken oluşmuştur. Numunenin yük–deplasman grafiğine bakıldığında sol ve sağ LVDT’lerde görünen düşey yerdeğiştirme değerleri 6.47 mm ve 6.30 mm olarak elde edilmiştir (Şekil 4.43).



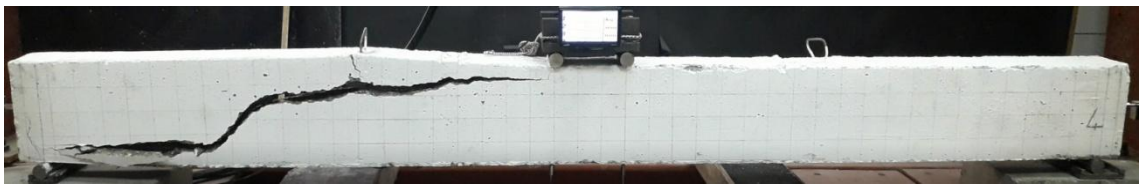
Şekil 4.43. En kesiti 127x200 maksimum donatı oranında donatılı deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

Betonarme kiriş 41.27 KN yük altında akma gerçekleşmiş olup sol ve sağ LVDT'lerde görünen deplasman değerleri sırasıyla 8.78 mm ve 8.49 mm iken ulaşmıştır (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. En kesiti 127x200 maksimum donatı oranında donatılı deney numunesinin akma anındaki durumu

Kiriş maksimum 42.62 kN yük değerine ulaştığında yüke karşılık gelen yük–deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde görünen değerler 10.85 mm ve 10.43 mm olarak elde edilmiştir (Şekil 4.45).



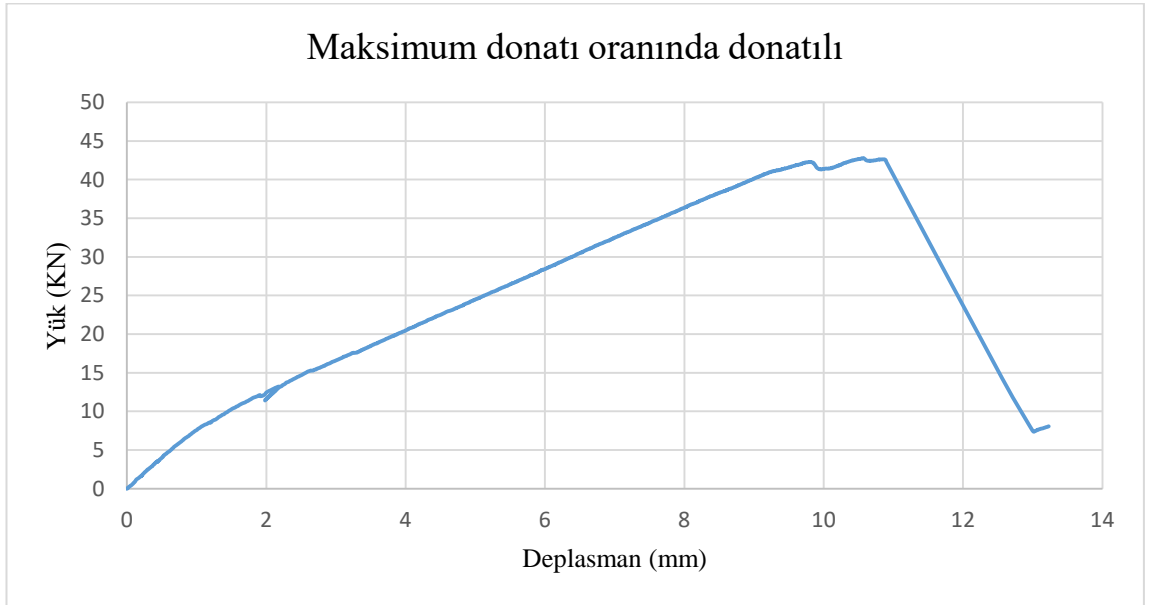
Şekil 4.45. En kesiti 127x200 maksimum donatı oranında donatılı deney numunesinin maksimum yük altındaki durumu

Kırılma aşırı derece ani ve gevrek gerçekleşmiş olup çatlak çok hızlı bir şekilde gelişerek bunu çıplak göz ile izlemek olanaksız olmuştur. Donatıya paralel ilerleyen çatlaklar aderans çatlakları olup ve o yönde kenetlenmenin zayıfladığı anlamına gelmektedir. Kiriş kesmeden dolayı kırılmıştır (Şekil 4.46).

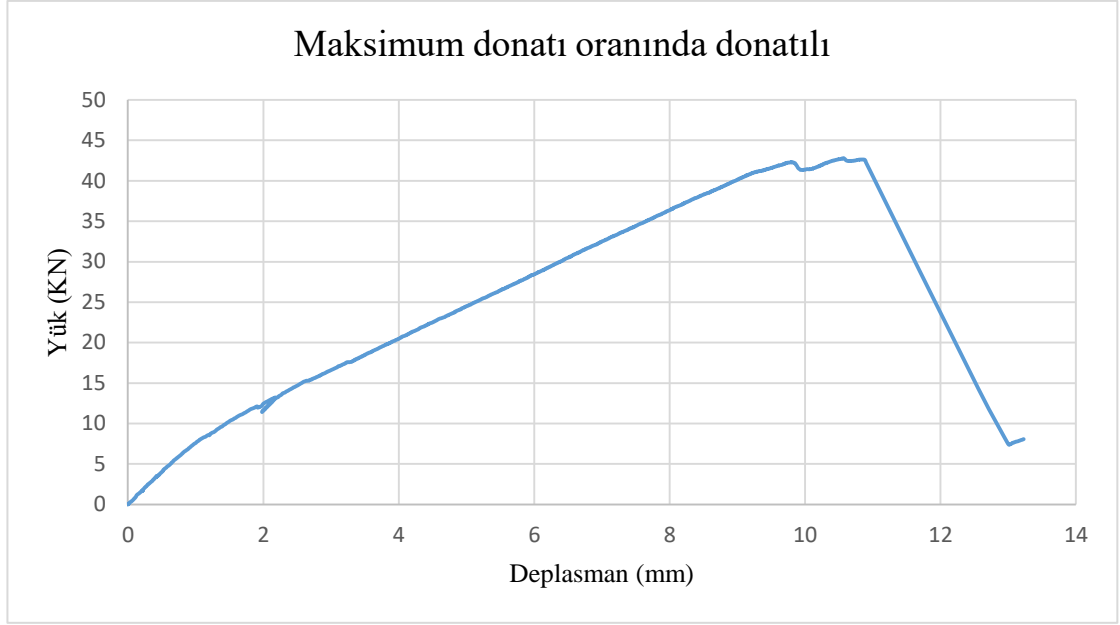


Şekil 4.46. En kesiti 127x200 maksimum donatı oranında donatılı deney numunesinin deney sonundaki durumu

Uygulanan yükler sonucunda farklı donatı oranları içeren numunelerde yük deplasman ilişkileri sol ve sağ LVDT'lerde Şekil.4.47-4.48'de sunulmuştur. İlk çatlamanın meydana geldiği ana kadar yük deplasman ilişkilerinin lineer olduğu görülmüştür.



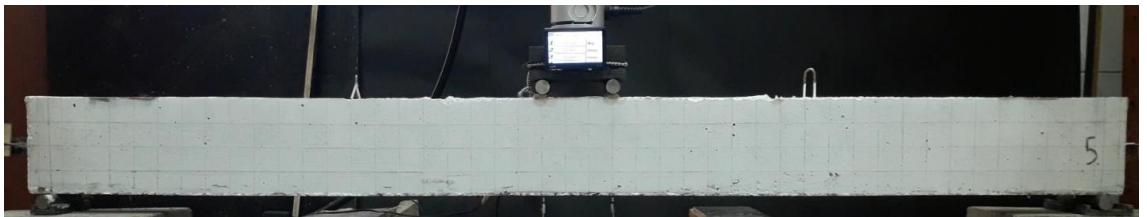
Şekil 4.47. En kesiti 127x200 maksimum donatı oranında donatılı numunesinin sol LVDT'de elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.48. En kesiti 127x200 maksimum donatı oranında donatılı numunesinin sağ LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi

4.2.5. Dengeli Donatı Oranında Donatılı

Aşağıda verilen dengeli donatı oranında donatılı betonarme kiriş 108x200 mm’lik kesit boyutlarına sahip olup bu numunenin toplam boyu 2300 mm’dir. Numune, Kesit içerisinde 2 adet 16 mm çapında çekme donatısı kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Kiriş numunesinin test öncesi hasarsız görüntüsü Şekil 4.49’da verilmiştir.



Şekil 4.49. Teste tabi tutulan dengeli donatı oranında donatılı numunenin deney öncesi görüntüsü

Yüklemeye tabi tutulan numunede ilk olarak çatlak tekil yükün 40 cm sağında aksenal yük 40.50 kN iken oluşmuştur. Numunenin açıklık ortası civarındaki yük-deplasman grafiğine bakıldığında sol ve sağ LVDT’lerde görünen düşey yerdeğiştirme değerleri 10.85mm ve 10.64 mm olarak elde edilmiştir (Şekil 4.50).



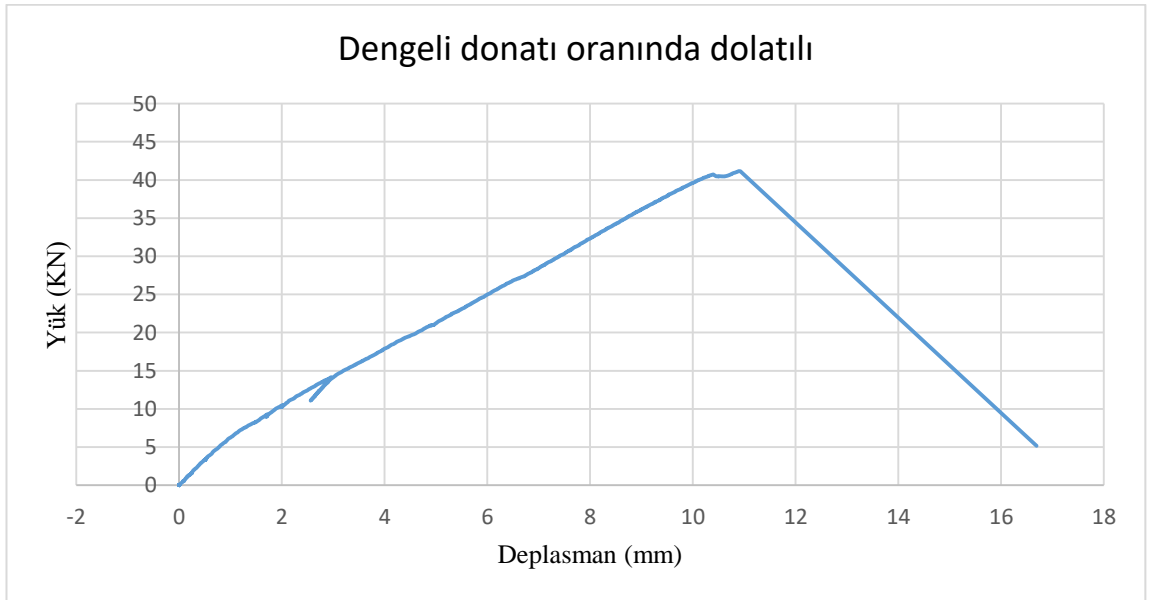
Şekil 4.50. En kesiti 108x200 dengeli donatı oranında donatılı deney numunesinde oluşan ilk çatlak

Betonarme kirişte akma görülmemiştir. Yük artırıldığında eğik çatlaklar kirişin sol tarafında hızla devam ederek kiriş maksimum 41.15 kN yük değerine ulaştığında yüke karşılık gelen yük-deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde görünen değerler 11.10 mm ve 10.87 mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.51. En kesiti 108x200 dengeli donatı oranında donatılı deney sonundaki durumu

Uygulanan yükler sonucunda farklı donatı oranları içeren numunelerde yük deplasman ilişkileri sol ve sağ LVDT'lerde Şekil.4.52-4.53'te sunulmuştur. İlk çatlamanın meydana geldiği ana kadar yük deplasman ilişkilerinin lineer olduğu görülmüştür.



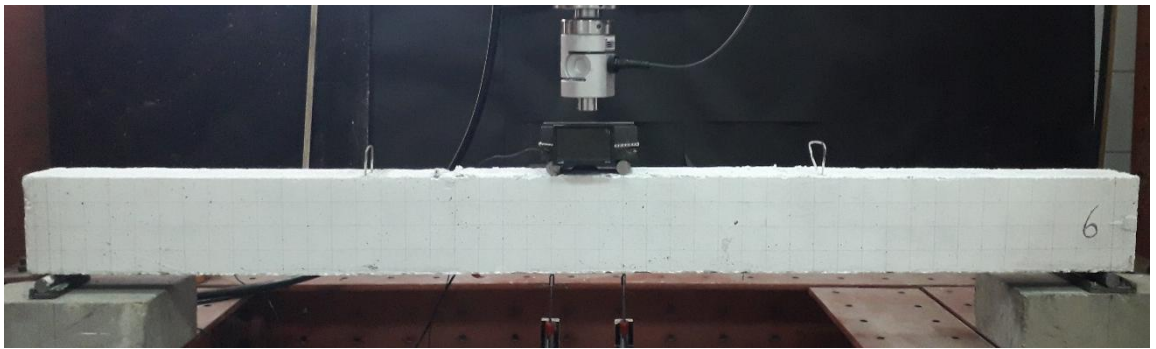
Şekil 4.52. En kesiti 108x200 dengeli donatı oranında donatılı numunesinin sol LVDT'de elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.53. En kesiti 108x200 dengeli donatı oranında donatılı numunesinin sağ LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi

4.2.6. Dengeli Donatı Oranından Fazla Donatılı

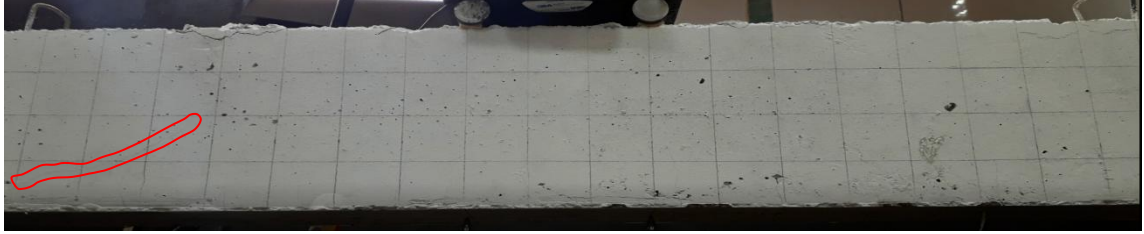
Aşağıda verilen dengeli donatı oranından fazla donatılı betonarme kiriş 130×200 mm’lik kesit boyutlarına sahip olup bu numunenin toplam boyu 2300 mm’dir. Numune, Kesit içerisinde 3 adet 16 mm çapında çekme donatısı kapsayacak şekilde tasarlanmıştır. Kiriş numunesinin test öncesi hasarsız görüntüsü Şekil 4.54’te verilmiştir.



Şekil 4.54. Teste tabi tutulan dengeli donatı oranından fazla donatılı numunenin deney öncesi görüntüsü

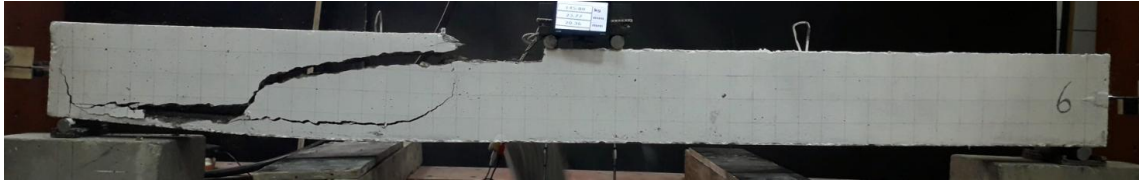
Yüklemeye tabi tutulan numunede ilk olarak çatlak tekil yükün yaklaşık 25 cm solunda aksenal yük 52.63 kN iken oluşmuştur. Numunenin açıklık ortası civarındaki yük-

deplasman grafiğine bakıldığında sol ve sağ LVDT'lerde görünen düşey yerdeğiştirme değerleri 10.48 mm ve 10.12 mm olarak elde edilmiştir (Şekil 4.55).



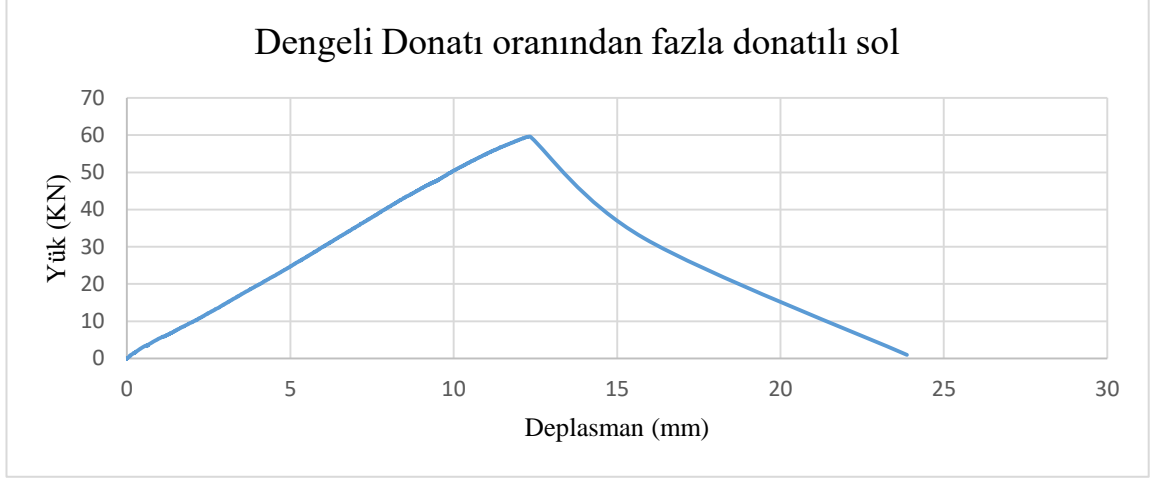
Şekil 4.55. En kesiti 130x200 dengeli donatı oranından fazla donatılı deney numunesinde oluşan ilk çatlaklar

Betonarme kirişte akma görünmemiştir. Yük artırıldığında eğik çatlaklar kirişin sol yönünde hızla devam ederek Kiriş maksimum 59.74 kN yük değerine ulaştığında yüke karşılık gelen yük–deplasmanlar sol ve sağ LVDT'lerde görünen değerler 12.28 mm ve 11.83 mm olarak elde edilmiştir.

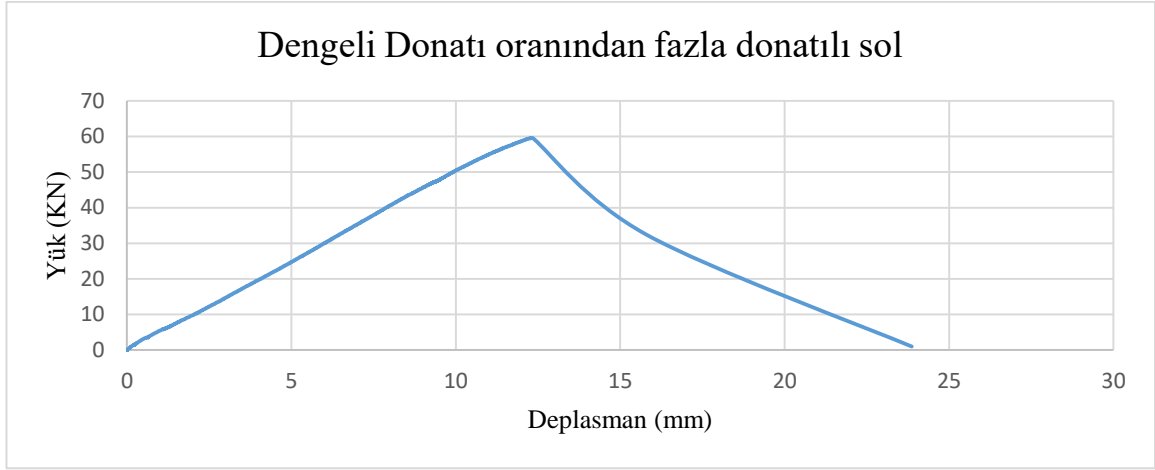


Şekil 4.56. En kesiti 130x200 dengeli donatı oranından fazla donatılı deney sonundaki durumu

Uygulanan yükler sonucunda farklı donatı oranları içeren numunelerde yük deplasman ilişkileri sol ve sağ LVDT'lerde Şekil.4.57-4.58'de sunulmuştur. İlk çatlamanın meydana geldiği ana kadar yük deplasman ilişkilerinin lineer olduğu görülmüştür.



Şekil 4.57. En kesiti 130x200 dengeli donatı oranından fazla donatılı numunesinin sol LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi



Şekil 4.58. En kesiti 130x200 dengeli donatı oranından fazla donatılı numunesinin sağ LVDT’de elde edilen yük-deplasman eğrisi

5. SONUÇ

Bu tez çalışması kapsamında, her bir kiriş numunesi için deneysel sonuçları belirlenmiş olup ve her bir kirişe ait yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Deneysel kirişlerde oluşan çatlaklar, göçme şekilleri ayrıntılı bir şekilde kıyaslanmıştır. Gerçekleşmiş olan deneysel çalışmada kirişler iki aşamada incelenmiştir. Birinci aşamada betonarme kirişlerde farklı b_w/h oranının kiriş davranışına etkisi incelenmiştir. İkinci aşamada ise yönetmelikte verilen minimum ve maksimum donatı oranları sınırlarına uyularak ve uyulmayarak üretilen kirişlerin davranışları incelenmiştir.

- Minimum donatı oranından az donatılı, Minimum donatı oranında donatılı ve minimum ile maksimum donatı oranında donatılı kirişlerde eğilme çatlakları oluşmuştur.
- Maksimum donatı oranında donatılı, dengeli donatı oranında donatılı ve dengeli donatı oranından fazla donatılı kirişlerde ise kesme aderans kırılması oluşmuştur.
- En kesiti $(105/105)(1/1)$ $a/d=3$ ve en kesiti $(75/150)(1/2)$ $a/d =3$ olan kirişlerde aderans kırılması
- En kesiti $(105/105)(1/1)$ $a/d =6$, en kesiti $(75/150)(1/2)$ $a/d =6$, en kesiti $(150/75)(2/1)$ $a/d =3$ ve 6 olan kirişte eğilme çatlakları oluşmuştur.
- Betonarme kirişlerde donatı miktarı arttıkça numunelerde kırılma yükünün de genel olarak arttığı görülmüştür.
- Uygulanan yükler etkisi altındaki değişik donatı oranlarına sahip numunelerde ilk çatlamanın meydana geldiği ana kadar yük yerdeğiştirme eğrilerinin lineer olduğu görülmekte olup ve daha sonra çatlamların meydana gelmesi ile beraber kirişlerin rijitliklerinde azalmalar mevcut olduğu görülmüştür.

KAYNAKLAR

- Alkan, D., & Dönmez, C. (2015). Yatık kirişli betonarme çerçevelerin deprem davranışını iyileştirme yolunda yapısal sisteme yönelik bazı müdahalelerin yapı maliyetine etkileri üzerine bir çalışma. 3. *Türkiye deprem mühendisliği ve sismoloji konferansı* (s. 1-9). İzmir: Deprem mühendisliği uygulama ve araştırma merkezi (Demar).
- Branson, D. (1967). *Instantaneous and time-dependent deflections of simple and continuous reinforced concrete beams*. Alabama: Alabama highway department / US.
- Benavent-Climent, A., Cahis, X., & Vico, J. (2010). Interior wide beam-column connections in existing RC frames subjected to lateral earthquake loading. *Bulletin of earthquake engineering* , 401-420.
- Canbay, E., Ersoy, U., Özcebe, G., Sucuoğlu, H., Bakır, S., & Wasti, T. (2010). *Binalar İçin Deprem mühendisliği / temel ilkeler*. Ankara: Akademik kitaolar yayınevi.
- DÖNMEZ, C. (2015-I). Seismic performance of wide-beam infill-joist block RC frames in turkey. *journal of performance of constructed facilities* , 04014026-9.
- ERSOY, U. (1998). Betonarme kiriş ve kolonların moment kapasitesinin saptanması. *teknik dergi* , 1781-1997.
- Gentry, T. R., & WIGHT, J. K. (1994). wide beam - column connections under earthquake- type loading. (TRG) DEPT. Of civil mühendislik katolik üniversitesi, washington , 675-703.
- LAFAVE, J. M., & WIGHT, J. K. (2001). Reinforced concrete wide - beam construction vs. Conventional construction:Resistance to lateral earthquake loads. (JMW) Department of civil and envirnmental, university of michigan, ann arbor , 479-505.
- Sevecan, M. H., Kara, İ. F., & Akçaözöğlü, K. (2016). Değişik yüklemeler etkisi altında farklı donatı oranlarına sahip betonarme kirişlerde oluşan deplasmanların deneysel olarak incelenmesi. *Niğde üniversitesi mühendislik bilimleri dergisi* , 135-147.
- YÜKSEL, B., JAMAL, R., & FOROUGHİ, S. (2020). Kirişlerde basınç donatısı oranının moment-eğrilik ilişkisine etkisi. *Konya mühendislik bilimleri dergisi* , 1-17.
- Doğangün A, *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı*, Birsen Yayınevi, 2016.
- Ersoy U, Özcebe G, *Betonarme*, Evrim Yayınevi ve Tic. Ltd. Şti., 2001.
- Kani, G.N.J., How Safe Are Our Large Reinforced Concrete Beams? ACI Journal, Vol, 64, March 1967.

Leonhardt F, Reducing the Shear Reinforcement in Reinforced Concrete Beams and Slabs, Magazine of Concrete Research, Vol. 17, No.53 December 1965, pp. 187-198.
Nawy EG, Reinforced Concrete – A Fundamental Approach, Sixth edition, Prentice Hall, New Jersey, 2009.

DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Ankara: Bayındırlık ve İskân Bakanlığı.

TBDY (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

TS 500, (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (ICS 91.080.40), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ACI 318-11 (2011) Building Code Requirements for Structural Concrete, Michigan. USA

ÖZKAL, F. M., (2017). Kesme açıklığı küçük olan betonarme kirişlerin etriye düzeni ve kenetlenme yönünden incelenmesi. XX. Ulusal Mekanik Kongresi (pp.551-561). Bursa, Turkey

G.N.J. Kani, (1964) The riddle of shear failure and its solution, ACI Journal Proceedings. 61(4), 441-468

Demir, A. (2018) Betonarme yüksek kirişlerde kesme çatlaklarının artık yük taşıma kapasitesine etkisinin incelenmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi.

Bousselham, A., and Chaallal, O. (2004). “Shear strengthening reinforced concrete beams with fiber-reinforced polymer: Assessment of influencing parameters and required research.” ACI Struct. J., 101(2), 219–227.

Bousselham, A., and Chaallal, O. (2006’a). “Behaviour of reinforced concrete T-beams strengthened in shear with CFRP—An experimental study.” ACI Struct. J., 103(3), 339–347.

Bousselham, A., and Chaallal, O. (2006b). “Effect of transverse steel and shear span on the performance of RC beams strengthened in shear with CFRP.” Composites Part B, 37(1), 37–46.

Kani GNJ. (1966). Basic facts concerning shear failure. ACI J Proc; 63(6):675–92.

Bazant ZP, Kim JK. (1984). Size effect in shear failure of longitudinally reinforced beams. ACI J;81(5):456–68.

Russo G, Zingone G, Puleri G. (1991). Flexure–shear interaction model for longitudinally reinforced beams. ACI Struct J;88(1):60–8.

Russo G, Puleri G. (1997) Stirrup effectiveness in reinforced concrete beams under flexure and shear. *ACI Struct J*;94(3):227–38

BRANSON, D.E., Instantaneous and Time-Dependent Deflections of Simple and Continuous Reinforced Concrete Beams, HPR Report, Alabama Highway Department/US, Report No.7, Part 1, 78, 1967.

AL-SHAIKH, A.H., AL-ZAID, R.Z., “Effect of Reinforced Ratio on the Effective Moment of Inertia of Reinforced Concrete Beams”, *ACI Structural J.*, 90, 144-149, 1993.

GHALI, A., “Deflection of Reinforced Concrete Members: A Critical Review”, *ACI Structural Journal*, 90, 364-373, 1993.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON, Manual on Cracking and Deformation, Bulletin d’Information, No.158-E, 1985.

SAKAI, K., KAKUTA, Y., “Moment–Curvature Relationship of Reinforced Concrete Members Subjected to Combined Bending and Axial Force”, *ACI Structural Journal*, 77, 189–94, 1980.

NING, F., Lateral Stiffness Characteristics of Tall Reinforced Concrete Buildings Under Service Loads, PhD Dissertation, Dept. Of Civ. Eng., Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, 1998.

DUNDAR, C., KARA, İ.F., “Three Dimensional Analysis of Reinforced Concrete Frames with Cracked Beam and Column Elements”, *Engineering Structures*, 29, 2262-2273, 2007.

KARA, İ.F, DUNDAR, C., “Effect of Loading Types and Reinforcement Ratio on an Effective Moment of Inertia and Deflection of a Reinforced Concrete Beam”, *Adv. In Engineering Software*, 40, 836-846, 2007.

CEDOLIN, L., DEI, P., “Finite Element Studies of Shear Critical Reinforced Concrete Beams”, *J. Engineering Mech. Div., ASCE, EM3*, 1977.

AL-MAHAIDI, R.S.H., Nonlinear Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Deep Members, Department of Struc. Eng., Cornell University, Report No. 79-1, 1978.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmad Farid TURAN
Doğum Yeri ve Tarihi :
Yabancı Dil : Farsça, Türkçe, İngilizce, Hintçe

Eğitim Durumu
Lise : Amir Ali Shir Nawai Lisesi / Faryab, Afganistan
Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : MUTLUTAŞ MÜHENDİSLİK MİMARLIK LTD. ŞTİ.
Çevre İnşaat Prefabrik

İletişim (e-posta) :
Yayınları :