

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**YÜKSEK DAYANIMLI BETONARME KİRİŞLERDE BETONUN KESME
DAYANIMINA KATKISININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hidayetullah SADRI

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

İnşaat Mühendisliği Programı

Haziran, 2019

T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**YÜKSEK DAYANIMLI BETONARME KİRİŞLERDE BETONUN KESME
DAYANIMINA KATKISININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Hidayetullah SADRI
(Y1613.090015)

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
İnşaat Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Cem AYDEMİR

Haziran, 2019



T.C.
İSTANBUL AYDIN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı **Y1613.090015** numaralı öğrencisi **HİDAYETULLAH SADRI**'nin "**YÜKSEK DAYANIMLI BETONARME KİRİŞLERDE BETONUN KESME DAYANIMINA KATKISININ İNCELENMESİ**" adlı tez çalışması Enstitümüz Yönetim Kurulunun 16.07.2019 tarih ve 2019/14 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından **03/08/2019** ile Tezli Yüksek Lisans tezi olarak **kararlaştırılmış** edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

İmzası

Tez Savunma Tarihi : 31/07/2019

1) **Tez Danışmanı:** Doç. Dr. Cem AYDEMİR



2) **Jüri Üyesi :** Doç. Dr. Müberra ESER AYDEMİR



3) **Jüri Üyesi :** Prof. Dr. Güray ARSLAN



Not: Öğrencinin Tez savunmasında **Başarılı** olması halinde bu form **imzalanacaktır**. Aksi halde geçersizdir.

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Yüksek Dayanımlı Betonarme Kirişlerde betonun Kesme Dayanımına Katkısı” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadar ki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazdığımı ve yararlandığım eserlerin Kaynakça’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (31/07/2019)

Hidayetullah SADRI

ÖNSÖZ

‘Yüksek Dayanımlı Betonarme Kirişlerde Betonun Kesme Dayanımına Katkısının incelenmesi’ adlı çalışmayı içeren bu yüksek lisans tezini hazırlamam sırasında bilgi ve hoşgörü ile yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Cem AYDEMİR’e içten teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez aşamasında gösterdikleri sabır ve manevi destek için aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

Haziran, 2019

Hidayetullah SADRI

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGE LİSTESİ	xi
KISALTMA LİSTESİ	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
ABSTRACT	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Araştırması	1
1.2 Tezin Amacı	5
1.3 Hipotez	5
2. DENEY PROGRAMI	7
2.1 Deney Numunesi	7
2.1.1 KY01-3.6 numunesinin genel özellikleri.....	7
2.2 Deney Sistemi.....	10
2.2.1 Gerinim pulları ve LVDT konum ve montajı	11
2.2.2 Veri toplayıcı	15
2.3 Yükleme Geçmişi	15
3. DENEYSEL SONUÇ VE İRDELENMESİ	17
3.1 KY01-3.6 Numunesinin Yük-Yerdeğiştirme Eğrisi.....	17
4. DENEYSEL SONUCUN KARŞILAŞTIRMASI	21
4.1 Deneysel Kesme Mukavemeti ile Literatürde Önerilen Denklem Tahminlerinin Karşılaştırılması.....	21
4.2 Deney Kirişi Sonucun Karşılaştırılması	22
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	25
KAYNAKLAR	27
ÖZGEÇMİŞ	29

SİMGE LİSTESİ

ρ_w	: Enine donatı oranı
a	: Kiriş kesme açıklığı
b	: Kiriş genişliği
d	: Kiriş etkili derinliği
f_c	: Deneş günü yapılan standard silindir numune basınç dayanımı
f_{ctk}	: Betonun karakteristik çekme dayanımı
f_{su}	: Boyuna donatı deneysel çekme dayanımı
f_y	: Boyuna donatı deneysel akma dayanımı
f_{yw}	: Enine donatı deneysel akma dayanımı
h	: Kiriş yüksekliği
L	: Kiriş boyu
M	: Hesaplama anındaki moment
P	: Hesaplama anındaki yük
V	: Kesme kuvveti
V_c	: Betonun karşıladığı kesme kuvveti
V_s	: Donatının karşıladığı kesme kuvveti
Δ	: Hesaplama anındaki tepe yerdeğiştirme
ϵ_{sh}	: Boyuna donatı pekleşme başlangıcı birim şekil değiştirmesi
ϵ_{su}	: Boyuna donatı kopma birim şekil değiştirmesi
θ	: Dönme değeri (%)
ρ	: Boyuna donatı oranı
Φ	: Donatı çapı

KISALTMA LİSTESİ

ACI	: American Concrete Institute
ATC	: Applied Technology Council
CSA	: Canadian Standards Association
DBYBHY	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
EC	: Eurocode
NZS	: New Zealand Standard
TS	: Türk Standartı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: KY01-3.6 Numunesinin Boyut Özellikleri.....	7
Çizelge 2.2: KY01-3.6 Numunesinin Malzeme Özellikleri.....	8
Çizelge 2.3: KY01-3.6 Numunesinin Boyuna ve Enine Donatı Oranları	9
Çizelge 4.1: Çeşitli Kaynaklardaki Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımı Bağıntısı	21
Çizelge 4.2: Deneysel Sonuç ile Önerilen Denklemlerin Kesme Kuvveti Karşılaştırılması	23

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1:	Kiriş Kesme Açıklığında Denge Bir Elemanda İç Kuvvetler	3
Şekil 2.1:	Deney Numunesinin Adlandırılmasında Kullanılan Kısaltmalar.....	7
Şekil 2.2:	KY01-3.6 Deney Kirişinin Donatı İmalat Detayları	8
Şekil 2.3:	KY01-3.6 Numunesinin İmalat Aşamalarına Ait Fotoğraflar.....	9
Şekil 2.4:	Test Sistemi	10
Şekil 2.5:	Hidrolik Krikonun Sabitlenmesi	11
Şekil 2.6:	Birim Şekil Değiştirme Ölçerlerin Konumları	12
Şekil 2.7:	Konsol Numune Boyunca Yerleştirilen LVDT'lerin Konumu	13
Şekil 2.8:	Düşey Doğrultuda Yerleştirilen LVDT'lerin Konumu	14
Şekil 2.9:	LVDT Yerleştirilmesinde Kullanılan Tijlerin Montajı	14
Şekil 2.10:	Veri Toplayıcı Bağlantıları.....	15
Şekil 2.11:	Yerdeğiştirme Sünekliği Kontrollü Yükleme Geçmişi	16
Şekil 3.1:	(a) deney başlamadan önceki numune şekli (b) deney başladıktan sonra oluşan çatlak	18
Şekil 3.2:	KY01-3.6 Kiriş Numunesinin Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi	19

YÜKSEK DAYANIMLI BETONARME KİRİŞLERDE BETONUN KESME DAYANIMINA KATKISININ İNCELENMESİ

ÖZET

Günümüze kadar yapılan deneysel ve teorik çalışmalarda normal dayanımlı betonarme kirişlerin kesme dayanımını tahmin etmek için literatürde çok sayıda denklem önerilmiştir. Bu çalışmada 1 adet yüksek dayanımlı betonarme kiriş, kesme açıklığının kiriş etkili derinliğe oranı 3.6 olan numune imal edilerek deneye tabi tutulmuştur, deneysel kesme dayanımı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürde kabul görmüş kesme dayanımı veren denklemlerle karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *Betonarme, kiriş, kesme açıklığı, kiriş etkili derinliği, yüksek dayanımlı, normal dayanımlı*

CONTRIBUTION OF CONCRETE TO SHEAR STRENGTH IN HIGH STRENGTH REINFORCED CONCRETE BEAMS

ABSTRACT

In the previous experimental and analytical studies, many equations have been proposed to predict normal shear strength of reinforced concrete beams. In this study, one high strength reinforced concrete beam was tested with a ratio of shear span/beam effective depth of 3.6 and experimental shear strength was obtained. The results obtained were compared with the shear strength equations accepted in the literature.

Keywords: *Reinforced concrete, beam, shear span, effective depth of beam, high strength, normal strength*

1. GİRİŞ

1.1 Literatür Araştırması

Betonarme elemanların kesme kuvveti sırasıyla betonun ve donatının katkısı ile belirlenmektedir. Deperme dayanıklı yapıların kiriş plastik mafsallık bölgesindeki kesme kırılmalarını önlemek için betonarme elemanların kesme dayanımları eğilme dayanımlarından çok daha büyük olacak şekilde tasarlanmalıdır [2]. İlk kez Mörsch tarafından önerilen yaklaşımda, göçme kayma gerilmesi beton çekme mukavemeti ile ilişkilidir [23]. Yani, eğik çatlak oluşumu sonrası kirişin mukavemetini kaybettiği, betonun kesme mukavemetine katkısı olmayacağı varsayılmaktadır. Yönetmeliklerin temelini deneysel tahminler oluşturmaktadır. Bugüne kadar çatlama ve göçme kesme mukavemetini veren çok sayıda deneysel ve teorik denklemler önerilmiştir. Bu denklemler aşağıdaki parametre ve/veya parametreleri içerir [24]: Betonun çekme mukavemeti (genellikle beton basınç mukavemetinin fonksiyonudur), boyuna donatı oranı, kesme açıklığının kiriş etkili derinliğine oranı (a/d veya $M/(Vd)$), boyut etkisini dikkate almak için eleman yüksekliği ve öngerilmeli elemanlarda öngerme miktarı veya eksenel kuvvettir. Son kırk yıl boyunca bir çok denklem betonarme kirişlerin kesme dayanımlarının tahmin etmesini önerdi, ancak tahminlerin doğruluk ve tekdüzeliği açısından mevcut test sonuçları, araştırmacıların tahminleri ve beton tasarım kodu gereksinimleri arasında çok önemli farklılıklar var [3]. TS 500 ve diğer yönetmeliklerde (TS500 [4], CSA [6], ACI318 [5], NZS3101 [7], Eurocode 2 [8]) betonarme kirişlerin kesme dayanımları, V_n , beton kesitin katkısı, V_c , ve enine donatının katkısı, V_s , ile oluşmaktadır.

$$V_n = V_c + V_s \quad (1.1)$$

ACI318[5]'de, kesme dayanımına beton kesitin katkısı kesit eğik çatlamanın başlangıcına karşılık gelen kesme dayanımı olarak tanımlanır ve deneysel sonuçlardan elde edilen ampirik bağıntı ile tahmin edilmektedir.

$$v_c = 0.17\sqrt{f_c} \quad (1.2)$$

TS500[4]'de kesme dayanımına beton kesitin katkısı ACI318[5] bağıntısı uyarlanarak (1.3) bağıntısı elde edilmiştir.

$$v_c = 0.23\sqrt{f_c} \quad (1.3)$$

Eurocode 2 (2004) [8]'e göre kesme mukavemetine beton kesitin katkısı (v_c), v_{min} 'den büyük veya eşit olmalıdır. Aksi takdirde kesme mukavemetine beton kesitin katkısı ihmal edilmiştir. Kesme mukavemetine enine donatının katkısı, v_s , (1.7), bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$v_n = v_c + v_s \quad (1.4)$$

$$v_{rd,c} = C_{rd,c}k(100\rho f_c)^{1/3}, v_{min} = 0.035k^{3/2}\sqrt{f_c} \quad (1.5)$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0 \quad (1.6)$$

$$v_{rd,s} = 0.9\rho_w f_{yw} \cot \theta, 1 \leq \cot \theta \leq 2.5 \quad (1.7)$$

Bağıntılarda; $C_{rd,c}$ değeri için tavsiye edilen değer $0.18/\gamma_c$ ifadesi ile bulunur. ρ boyuna donatı oranı, θ beton gerilme kuvveti kolu ile kiriş eksenini arasındaki kesme kuvvetine dik açıdır.

Yeni Zelanda [7] yönetmeliğinde, plastik mafsallı bölgedeki beton kesitin kesme dayanımına katkısı, v_c , (1.8), bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bağıntıdaki ρ boyuna donatı oranıdır.

$$v_c = (0.07 + 10\rho)\sqrt{f_c} \quad (1.8)$$

Arslan (2008) [9] tarafından yapılan çalışmada betonarme kirişlerin kesme dayanımına beton kesitin katkısı (v_c), (1.9) bağıntısı ile hesaplanmaktadır.

$$v_c = 0.12(f_c)^{0.5} + 0.02(f_c)^{0.65} \quad (1.9)$$

G. Campione, A. Monaco, G. Minafo [10] tarafından yapılan çalışmada yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin kesme kapasitesine beton kesitin katkısı (v_c), kirişin ve kemer etkisinin toplamına eşittir. Şekil 1.1'e göre eğilme momenti (M) ve kesme kuvveti (V) herhangi bir kesitte boyuna donatıya bağlı aksiyel yük (T) ve iç kuvvet kolu (jd) ile ifade edilir.

G. Russo, G. Somma ve P. Angeli [11] tarafından yapılan çalışmada yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin betonun kesme dayanımına katkısı (v_c), maksimum agrega boyutu etkisi düşünülerek (1.10) ve (1.11) bağıntılarından hesaplanmaktadır.

$$V_c = \xi \left[0.97\rho^{0.46} f_c^{1/2} + 0.2\rho^{0.91} f_c^{0.38} f_{yl}^{0.96} \left(\frac{a}{d} \right)^{-2.33} \right] \quad (1.10)$$

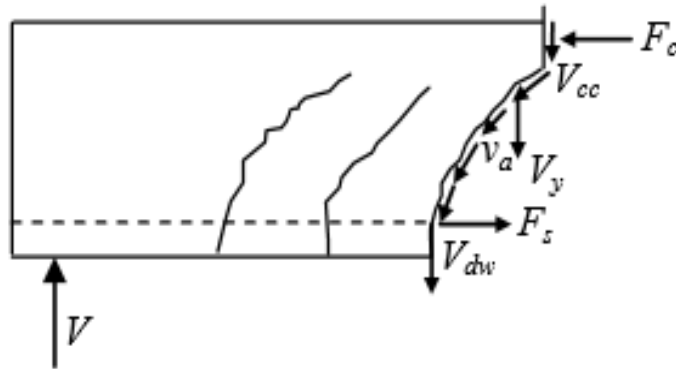
$$\xi = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{d}{(25da)}}} \quad (1.11)$$

(1.10) ve (1.11) bağıntılarındaki; f_{yl} , boyuna donatının akma dayanımı; ξ , agregaların boyut etkisine karşılık gelen bir fonksiyon; d_a , maksimum agrega boyutudur.

Şekil 1.1'de sabit kesme kuvvetine maruz enine donatısız basit mesnetli bir betonarme kiriş parçası gösterilmektedir. Eğik çatlak ile sınırlandırılmış yüzünde, serbest kısmı için dengeyi sağlayan iç kuvvetler tanımlanabilir. Göz önüne alınan kesitte, dış yüklerden ileri gelen V kesme kuvveti, aşağıdaki iç kuvvet bileşenleri ile karşılanır [22]:

- Çatlamamış beton basınç bölgesinin karşıladığı kesme kuvveti: V_{cc} ;
- Eğilme donatısının kaldıraç etkisi ile karşıladığı kesme kuvveti: V_{dw} ;
- Eğik çatlak yüzeyindeki sürtünme ve agrega kenetlenmesinden oluşan kesme kuvvetleri toplamının düşey bileşeni: V_y .

Kirişte enine donatı bulunmadığı durumda basınç bölgesinin kesme taşıma gücü, agrega kenetlenmesi ve kaldıraç etkisinin katkısını gösteren biçimde ifade edilebilir [22].



Şekil 1.1: Kiriş Kesme Açıklığında Denge Bir Elemanda İç Kuvvetler [22]

Taylor'un yaptığı deneylerde [22], eğik çatlakların üstündeki basınç bölgesinin kesme-taşıma kapasitesi, kesitin toplam kesme kapasitesinin en çok %25-40'ına ulaşabildiğini göstermiştir. Bu yüzden kesmenin kalan kısmı tarafsız eksenin altında kirişin çekme bölgesinde taşınmaktadır. Agreganın kenetlenmesi ve kaldırma mekanizmasının etkisini kaybetmesi ile artan kesme kuvvetini basınç bölgesi karşılayamaz ve eğilmeden kaynaklanan basınç kuvveti ilavesiyle kiriş basınç bölgesinde beton ezilerek geçer.

Yönetmeliklerde; deneysel ve teorik çalışmalardan çıkarılmış çatlama kesme mukavemetini veren denklemler karşılaştırıldığında, aşağıdaki parametrelerin etkisi ile bazı farklar ortaya çıkmaktadır [24]. Basitleştirilmiş denklemlerde, karmaşık parametrelerin etkisini değerlendirmedeki belirsizlikler; uygun olmayan deneyler nedeni ile seçilen deney sonuçlarının dağılımı (örneğin, eğilme göçmesi veya ankraj göçmesi gibi), deneylerde bazı parametrelerin yeterince dikkate alınmaması (örneğin, düşük donatı oranına sahip çok küçük elemanlar ve beton mukavemeti yüksek elemanlar) ve son olarak deney numunelerindeki beton çekme mukavemetinin genellikle numune alınarak değerlendirilmemesidir. İfade edilen bu hususlar; deneysel denklemlerin doğruluğunu sınırlar, gerçekçi modellerin gerekliliğini artırır ve teorik ilişkilere değer kazandırır [23].

İkinci bölümde; yüksek dayanımlı betonarme kirişler için deney kirişinin üretilmesi ve deneysel çalışmada göz alınan parametreler açıklanmıştır. Bölüm 3'de üretilen betonarme kirişin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin kesme mukavemeti ile ilgili olarak, son yıllarda yoğun bir şekilde çalışmalar yapılmıştır. Yapılan deneysel ve teorik çalışmalardan, yüksek dayanımlı betonarme kirişin kesme mukavemetini tahmin etmek için yönetmeliklerde ve çalışmalarda önerilmiş denklemlerin bazıları Bölüm 4'de verilmiştir. Bu bölümde, deneysel çalışmadan bulunan yüksek dayanımlı betonarme kirişin kesme mukavemeti ile betonarme kirişlerin kesme mukavemetini veren denklemlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Ayrıca yüksek dayanımlı betonarme kirişler için tanımlanan yönetmelik ve araştırmalardaki denklemlerin deneysel kesme mukavemetini ne ölçüde doğru tahmin ettiği karşılaştırılarak özetlenmiştir. Bölüm 5'de sonuç kısmı yazılmıştır.

1.2 Tezin Amacı

Bir yapı tasarlanırken belirlediğimiz hedeflerden biri; yapının kullanımı boyunca maruz kalması ihtimal etkiler altında yeterli güvenli olmasıdır. Kolon, kiriş, döşeme vb gibi yapısal elemanların güvenilirliği, elemanın dayanımına, elemana etkiyebilecek maksimum yükü karşılamada yeterli olduğunun gösterilmesi ile sağlanabilir. Deprem tesirine kalan yapılardaki taşıyıcı elemanlar, taşıma kapasitelerini hiç bir zaman kesme kırılmasıyla kaybetmeyecek şekilde dizayn edilmeli, çünkü ani ve gevrek kırılmaların olmadığı yapı sistemlerinin oluşturulması büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla kirişlerin kesme etkileri altında mukavemetinin yeteri doğru tahmini önemlidir. Bilindiği üzere Ülkemizdeki betonarme hesap esaslarına ait yönetmelik ve standartlar normal dayanımlı beton içindir. Bu çalışmada, yüksek dayanımlı betonla imal edilen betonarme kirişlerde betonun kesme dayanımına katkısı deneysel olarak incelenecektir. Elde edilen sonuçlar çeşitli yönetmelik önerileriyle karşılaştırılacaktır.

1.3 Hipotez

Bu çalışmada, yüksek dayanımlı betonarme kiriş numuneleri hazırlanıp deneye tabi tutularak kesme kuvvetlerine karşı davranışları incelenmiş, çatlama ve göçme dayanımları değerlendirilerek bu konu ile ilgili çeşitli yönetmelik, deneysel ve teorik çalışmalarda yer alan ve kabul gören denklemlerle karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. DENEY PROGRAMI

2.1 Deney Numunesi

Bu çalışmada bir adet deney numunesinin sonuçları değerlendirilmiştir. KY01-3.6 isimli deney numunesi BAP2015-01 nolu proje kapsamında İstanbul Aydın Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü desteği ile üretilmiştir.

Betonarme konsol kiriş olarak dizayn edilen deney numunesinin adlandırılmasında kullanılan kısaltmalar Şekil 2.1 üzerinde açıklanarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Deney Numunesinin adlandırılmasında Kullanılan Kısaltmalar

Deney numunesinin genel özellikleri aşağıdaki bölümde anlatılmıştır.

2.1.1 KY01-3.6 numunesinin genel özellikleri

KY01-3.6 kiriş numunesinin boyut özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1: KY01-3.6 Numunesinin Boyut Özellikleri

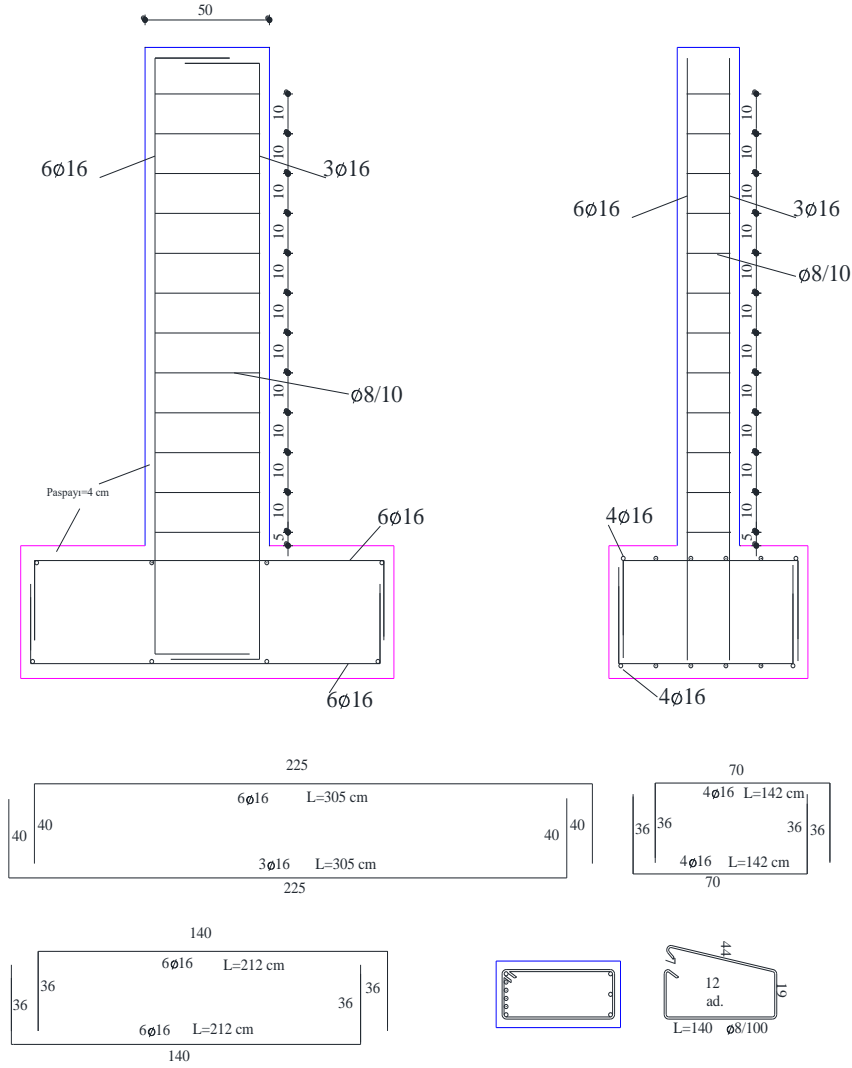
a/d	a (cm)	d (cm)	b (cm)	h (cm)	L (cm)
3.6	165	46	25	50	215

KY01-3.6 numunesinin malzeme sınıfı C60/S420 dir. Numune beton tasarımında TS802-2009 [13] göre amaç dayanım 68 MPa elde edilmiştir. Deney numunesi enine ve boyuna donatı mekanik özellikleri [14,15,16] ve deney günü Standard silindir numunedan alınan [17,18,19,20] beton basınç dayanımı Çizelge 2.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 2.2: KY01-3.6 Numunesinin Malzeme Özellikleri

f_c (MPa)	f_y (MPa)	f_{su} (MPa)	f_{yw} (MPa)	ϵ_{sh}	ϵ_{su}
64.4	490	688	611	0.009	0.140

Donatı detayları aşağıda Şekil 2.2’de verilen deney kirişinin boyuna ve enine donatı oranları Çizelge 2.3’de özetlenmiştir.



Şekil 2.2: KY01-3.6 Deney Kirişinin Donatı İmalat Detayları

Çizelge 2.3: KY01-3.6 Numunesinin Boyuna ve Enine Donatı Oranları

KY01-3.6 Boyuna ve Enine Donatı Oranları		
Mesnet kesiti üst donatı oranı	6Φ16	0.0105
Mesnet kesiti alt donatı oranı	3Φ16	0.0052
Enine donatı oranı	Φ8/15	0.0027

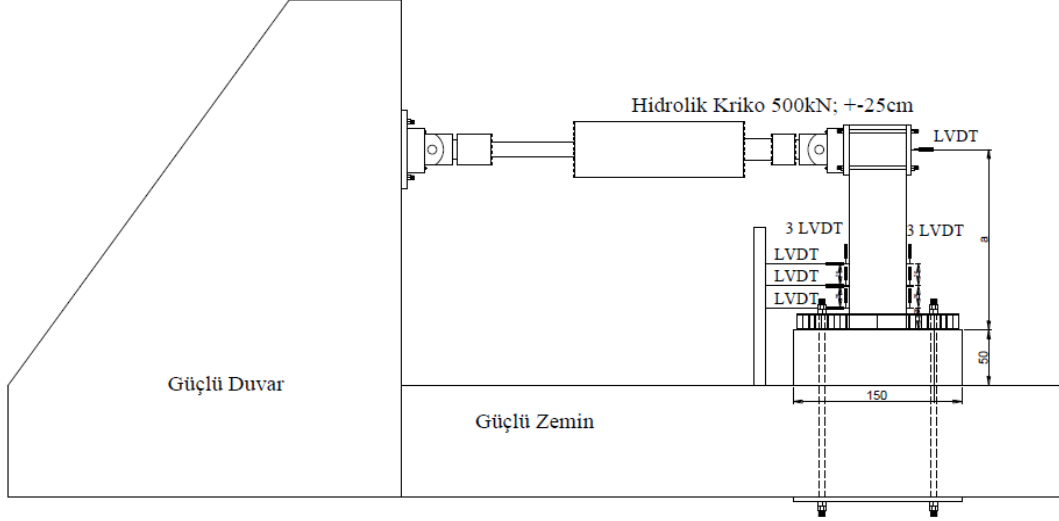
KY01-3.6 numunesinin imalat aşamalarına ait fotoğraflar şekil 2.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 2.3: KY01-3.6 Numunesinin İmalat Aşamalarına Ait Fotoğraflar

2.2 Deney Sistemi

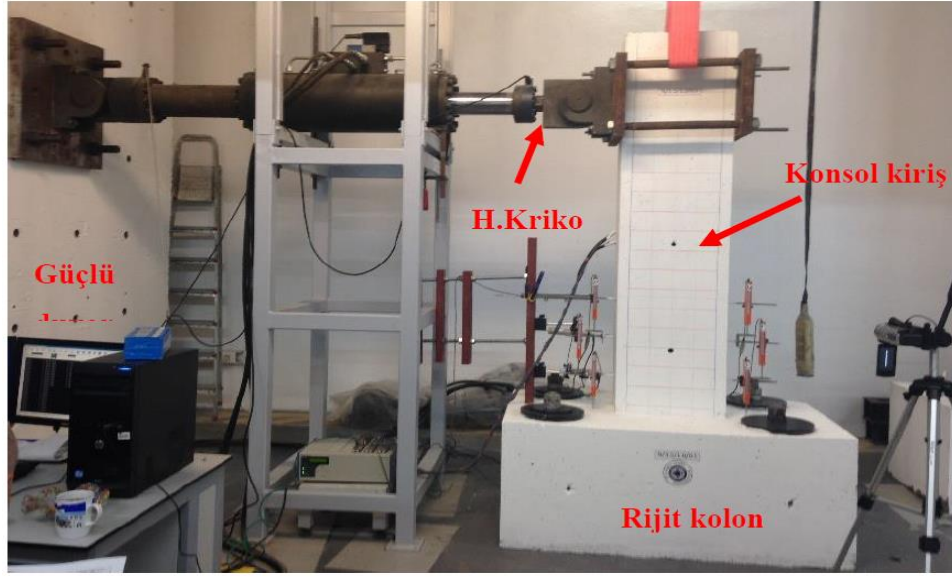
Kiriş numunesi, T.C. İstanbul Aydın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında deneyi yapılmıştır. Deneyde kullanılan test sistemi Şekil 2.4’de görsel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.4: Test Sistemi

Şekilden de görüleceği üzere kiriş numunesi güçlü zemin üzerine sabitlenip, konsol olarak mesnetlenmiştir. Konsol numunede yük uygulama noktasının gerçek yapı davranışında kiriş açıklık bölgesindeki moment sıfır noktasını, konsol temelini ise gerçek yapı davranışında rijit bir kolonu temsil ettiği düşünülebilir.

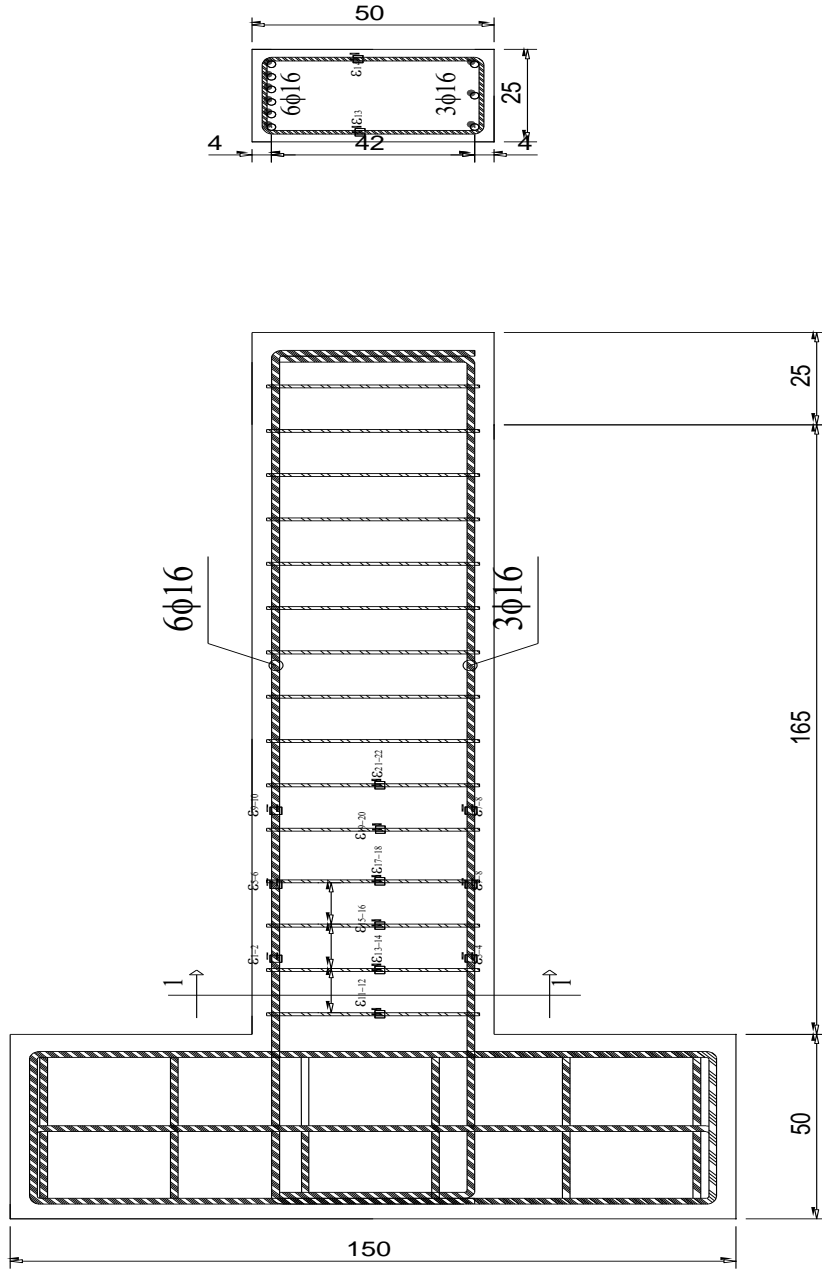
Deney sisteminde kuvvet ve/veya yer değiştirme kontrollü statik benzeri yükleme, güçlü duvar üzerine mesnetlenen hidrolik bir kriko ile uygulanmaktadır. Hem güçlü duvar, hem de deney numunesine mafsallı olarak bağlı olan bu kriko ± 500 kN yük ve ± 25 cm yer değiştirme kapasitesine sahiptir (Bkz Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Hidrolik Krikonun Sabitlenmesi

2.2.1 Gerinim pulları ve LVDT konum ve montajı

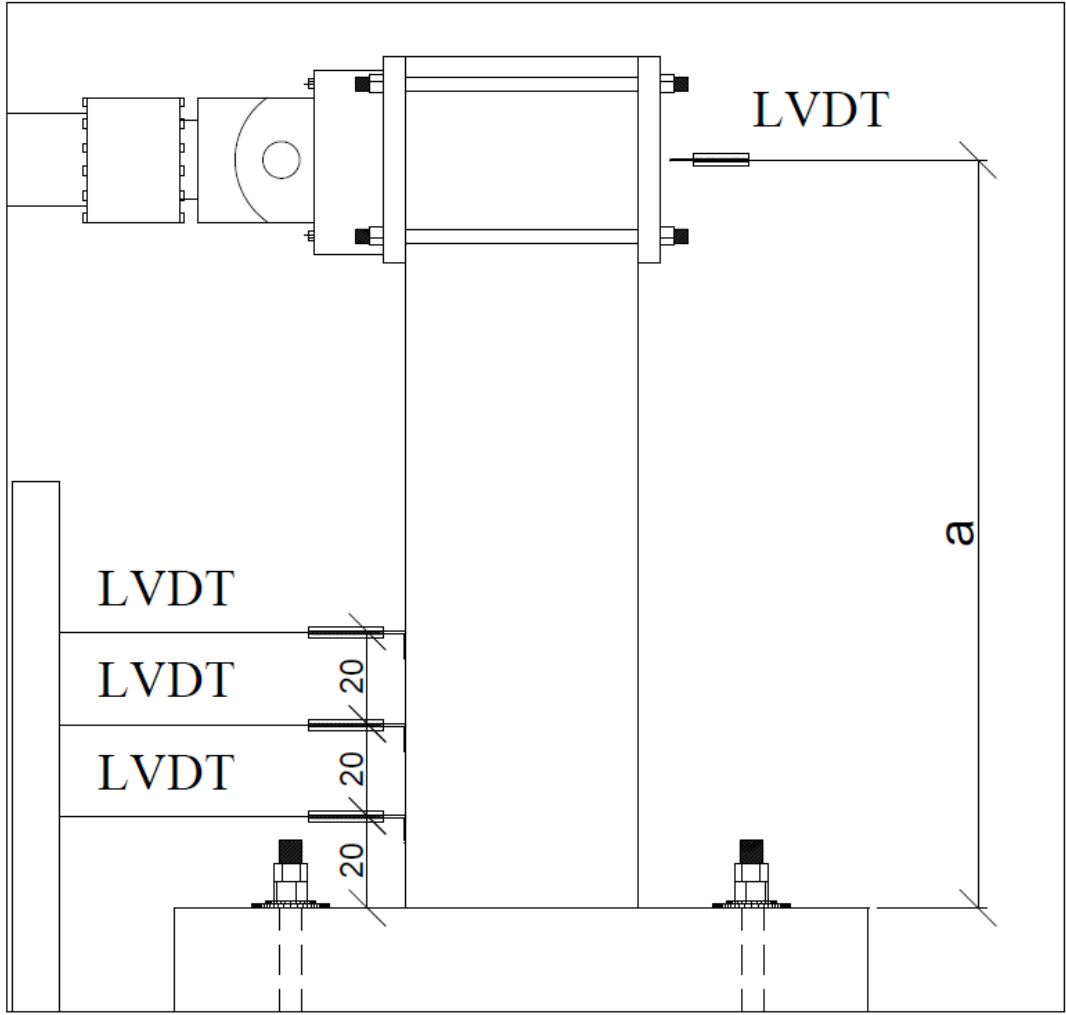
Deneyde boyuna ve enine donatılardaki birim şekil değiştirmelerin ölçülmesi amacıyla kiriş mesnet bölgesine birim şekil değiştirme ölçerler yerleştirilmiştir. Şekil değiştirme ölçerlerden daha yüksek performans alınması amacıyla her bir şekil değiştirme ölçer kablosu makaron içine alınmıştır. Ayrıca gerinim pullarının donatıya yapıştırılmasının ardından her biri voltmetre ile test edilip, tamamının çalıştığından emin olunmuştur (Bkz Şekil 2.6).



KY01-3.6

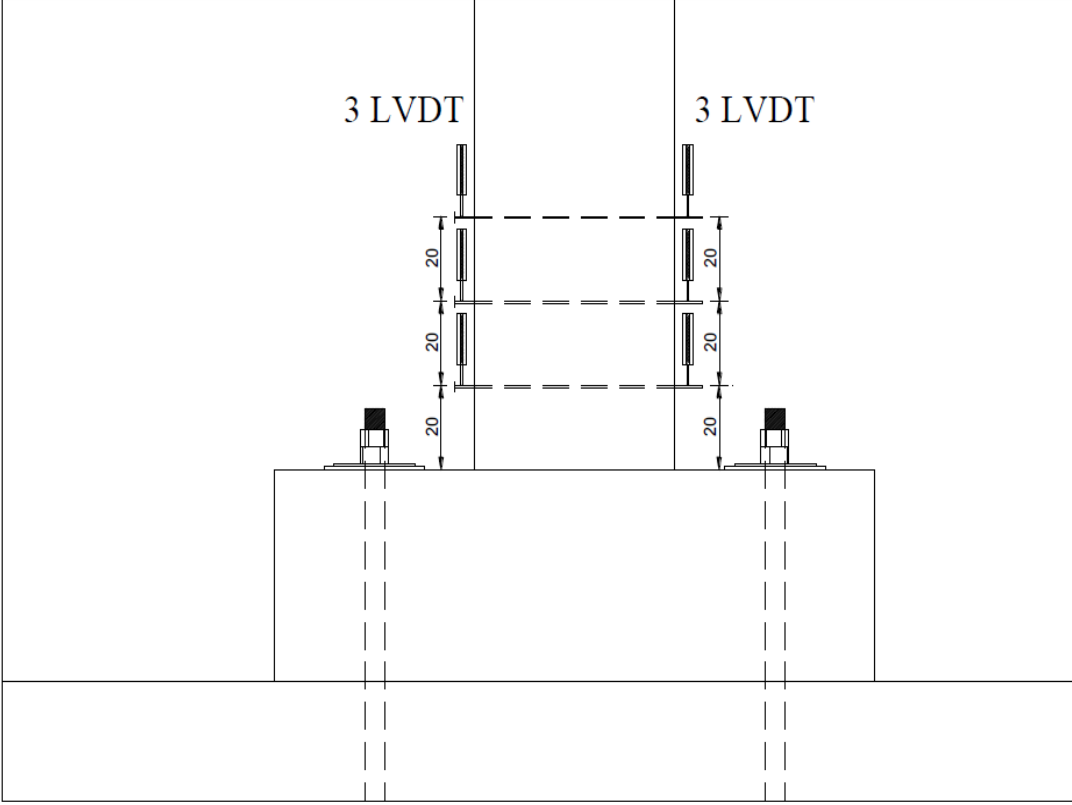
Şekil 2.6: Birim Şekil Değişirme Ölçerlerin Konumları

Konsol deney numunesinde meydana gelen yer değiştirmelerin ölçülmesi amacıyla harici potansiyometreler (LVDT) kullanılmıştır. Konsol numune boyunca 4 farklı noktadan ölçüm alan yatay konumdaki LVDT'lerin montaj şeması Şekil 2.7'de gösterilmiştir.

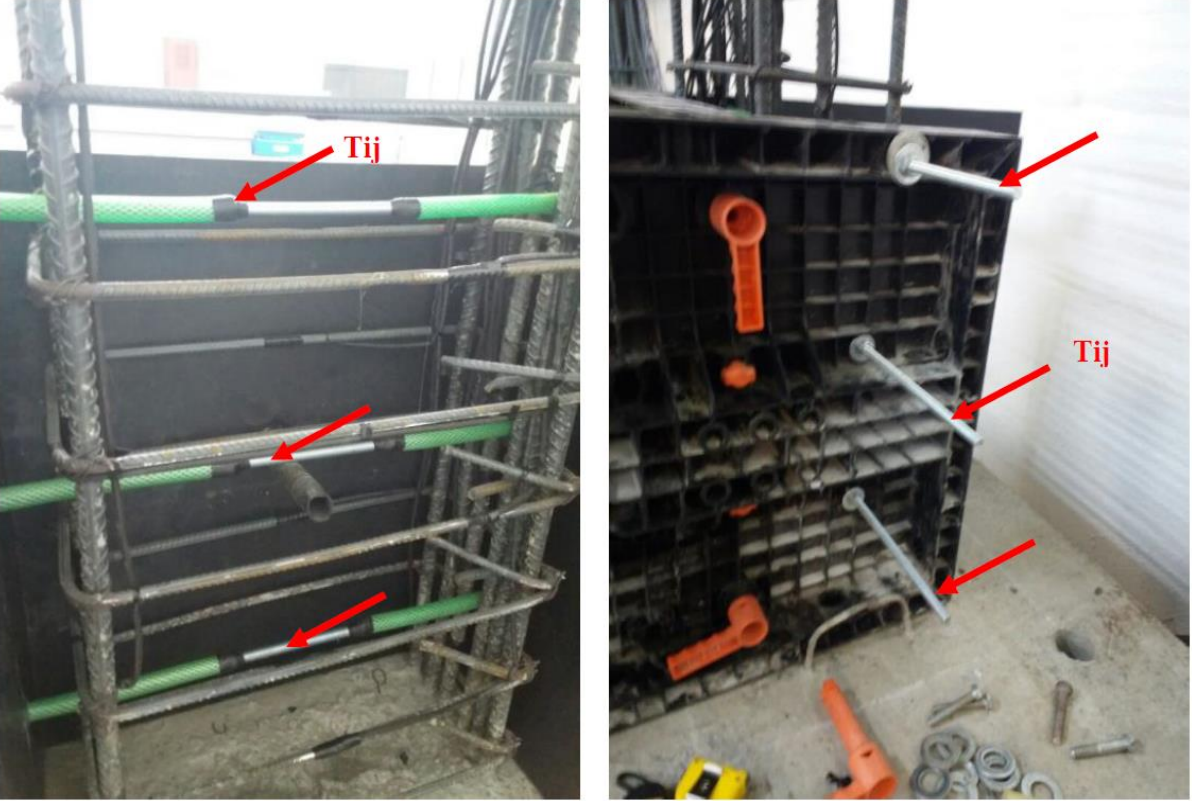


Şekil 2.7: Konsol Numune Boyunca Yerleştirilen LVDT'lerin Konumu

Deney numunesinin potansiyel hasar bölgesi olan mesnet kesitlerinde basınç ve çekme bölgelerindeki birim şekil değiştirmelerin ölçülebilmesi için 3 ayrı konumda yerleştirilen LVDT'lerin montaj şeması Şekil 2.8'da, montaj için kullanılan tijlerin imalat detayları Şekil 2.9'da gösterilmiştir. Tijlerin betonarme kiriş içerisinde donatı gibi çalışmasını önlemek amacıyla uç kısımları plastik borular ile muhafaza edilmiş, hareket etmesini engellemek amacıyla da orta kısmı serbest bırakılmıştır.



Şekil 2.8: Düşey Doğrultuda Yerleştirilen LVDT'lerin Konumu



Şekil 2.9: LVDT Yerleştirilmesinde Kullanılan Tijlerin Montajı

2.2.2 Veri toplayıcı

Deney sisteminde kullanılan tüm ölçüm donanımları (yük, yer değiştirme ve birim şekil değiştirme ölçerler) 30 kanallı ve 100 Hz'lik bir veri kaydediciye (Data Logger) bağlanmıştır (Bkz Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Veri Toplayıcı Bağlantıları

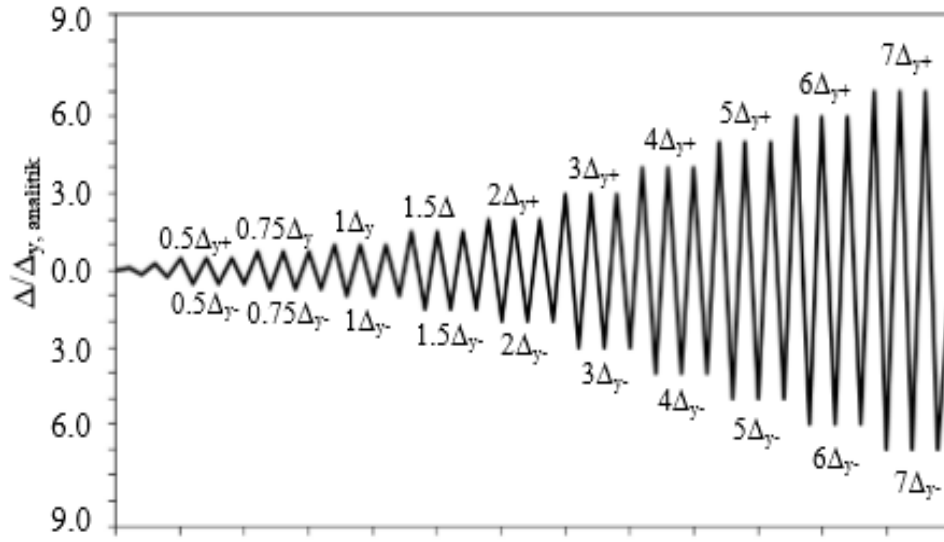
Deney sonunda veri kaydediciden elde edilen yük ve toplam yer değiştirmeler ile aşağıdaki bağıntılar kullanılarak, moment ve dönme değerleri hesaplanmıştır.

$$M = P \times a \quad (2.1)$$

$$\theta = \Delta / a \times 100 \quad (2.2)$$

2.3 Yükleme Geçmişi

Deney kirişine uygulanan yer değiştirme kontrollü yükleme geçmişi şekil 2.11'de gösterilmiştir. Yükleme geçmişinde, kirişin analitik akma yer değiştirmesi yardımıyla belirlenen nominal yer değiştirme sünekliği oranları $\left(\Delta / \Delta_{y,analitik} \right)$ hedeflenmektedir.



Şekil 2.11: Yerdeğiştirme Sünekliği Kontrollü Yükleme Geçmişi

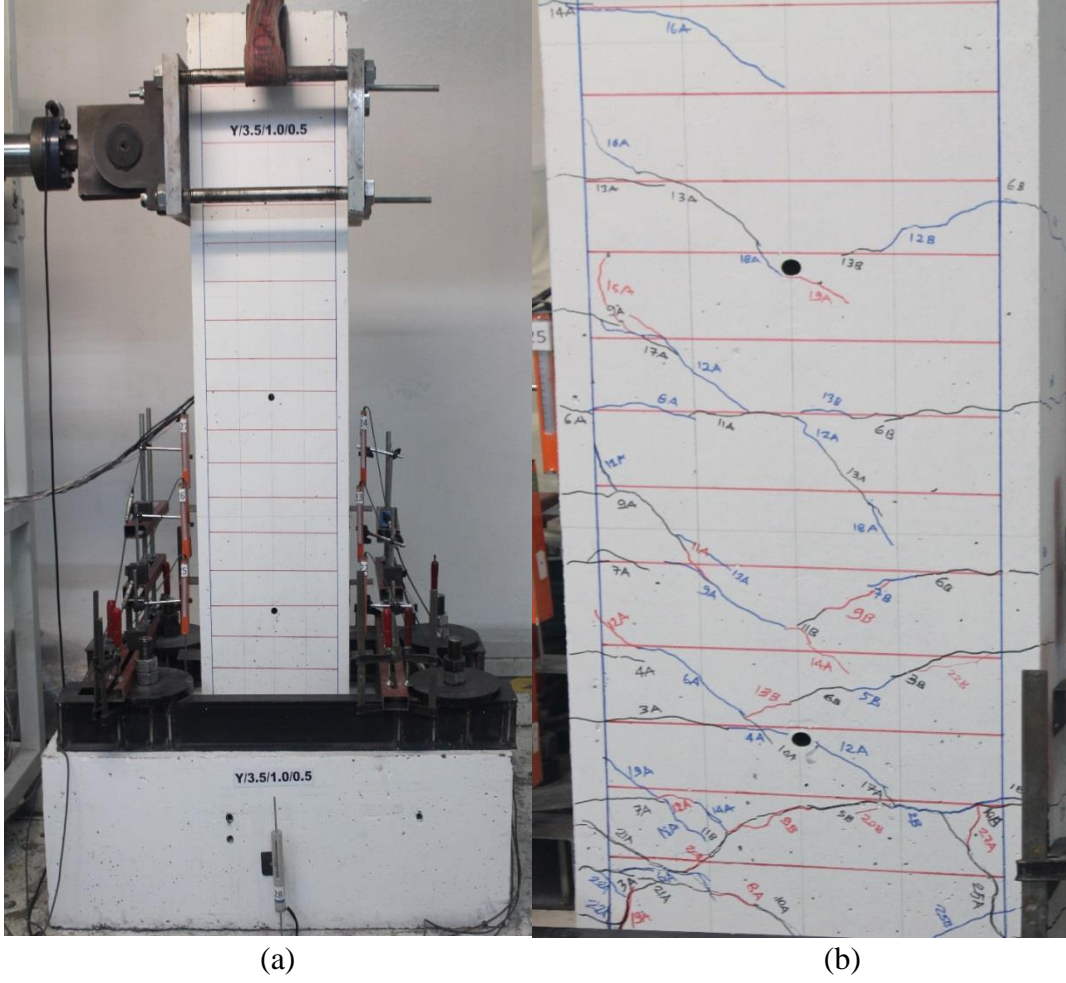
3. DENEYSEL SONUÇ VE İRDELENMESİ

Kiriş açıklığının etkili derinliğe oranı 3.6 olan deney numunesinin yük-yerdeğiştirme eğrisi bu bölümde verilmiştir.

3.1 KY01-3.6 Numunesinin Yük-Yerdeğiştirme Eğrisi

Bir önceki bölümde tanımlanan deney numunesinin yük uygulamadan önceki şekli ve yük uygulandıktan sonra oluşan kesme çatlakları şekil 3.1’de gösterilmiştir. Bölüm 1, Şekil 1.1’de kesme kuvvetine maruz enine donatısız kiriş mekanizması anlatılmış ve bu kuvvet karşı hangi iç kuvvetlerin karşıladığı gösterilmiştir. Bu çalışmada enine donatı (v_s)’nın kesmeye katkısı, donatılara yerleştirilen gerinim pulları yardımıyla şekil değiştirmeleri ölçüldü ve bu şekil değiştirme yardımıyla donatının kesmeye katkısı hesaplandı. Deney kirişine uygulanan kuvvet (kesme dayanımı) ve donatı mukavemeti bileşenleri elde edildikten sonra “betonun kesme dayanımına katkısı” (v_c) bağıntı 3.1 ile hesaplanır.

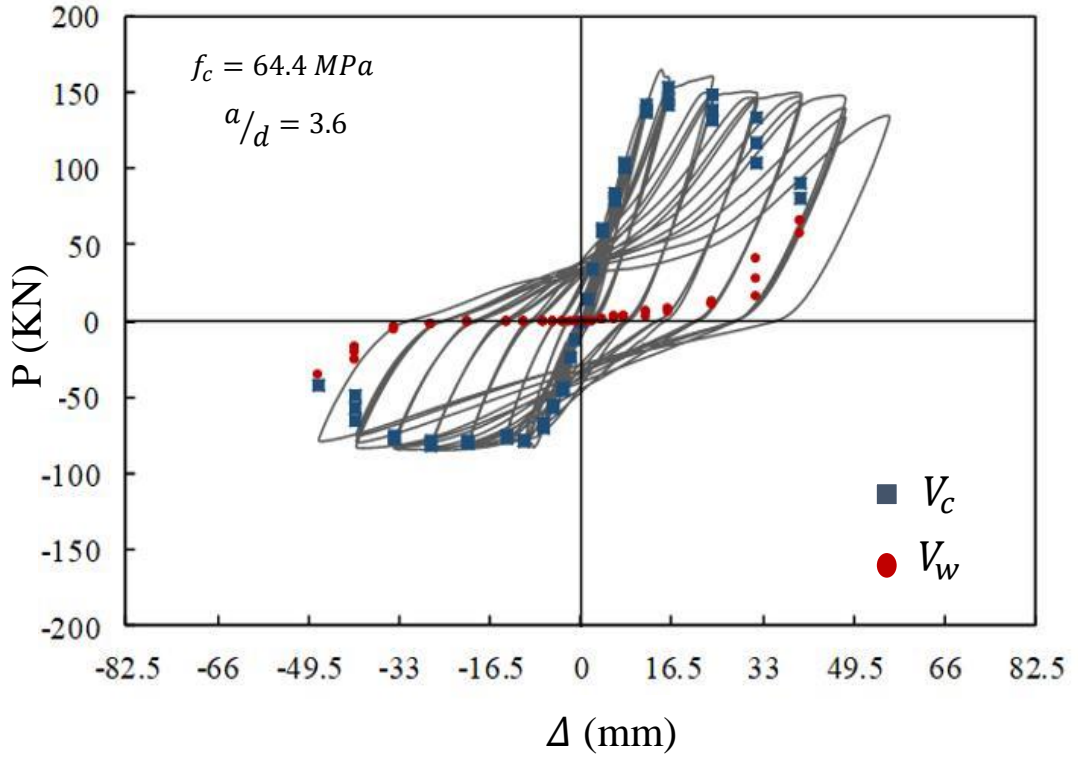
$$V_c = V - V_w \quad (3.1)$$



Şekil 3.1: (a) deney başlamadan önceki numune şekli (b) deney başladıktan sonra oluşan çatlak

Deney elemanın tekrarlı yükler altındaki yük-yerdeğiştirme ilişkisi şekil 3.2’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi kirişlerde betonun basınç dayanımı (f_c)’nın artışı ile kirişlerin yük taşıma kapasitesi artarken, aynı yük değerlerindeki yerdeğiştirme kapasitesinde azalma görülmektedir.

KY01-3.6 kiriş numunesinde eğik çatlakların oluşumu sonrası kesme kırılması şeklinde güç tükenmesi meydana gelmiştir. Kirişin yük-yerdeğiştirme eğrisi üzerinde betonun ve donatının kesme dayanımı şekil 3.2’de verilmiştir.



Şekil 3.2: KY01-3.6 Kiriş Numunesinin Yük-Yerdeğiştirme İlişkisi

4. DENEYSEL SONUCUN KARŞILAŞTIRMASI

4.1 Deneysel Kesme Mukavemeti ile Literatürde Önerilen Denklem Tahminlerinin Karşılaştırılması

Son 40 yıl boyunca birçok denklem betonarme kirişlerin kesme mukavemetini tahmin etmesini önermiştir [3]. Yönetmeliklerin hemen hemen hepsi (TS500, 2000; ACI318, 2011; CSA, 2007; NZS, 2006; Eurocode 2:2004) normal dayanımlı betonarme kirişler için tahmin etmiştir. Ama bu çalışmada yüksek dayanımlı betonarme kirişin, betonun kesme dayanımına katkısı araştırılmış ve diğer yönetmelik ve araştırmacılarla karşılaştırılmıştır. Beton kesme dayanımı tahmini ile ilgili denklemler arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıkların nedenleri; basit bir denklem ile çok sayıda parametrelerin etkisini değerlendirmedeki belirsizliklerin, deneylerde bazı parametrelerin göz ardı edilmesi (ortam koşulları gibi), deneysel parametrelerin yeteri kadar doğru belirlenmemesinden kaynaklanan deneysel sonuçların oluşturduğu istatistiksel dağılım ve betonun çekme mukavemetinin sıklıkla kontrol elemanları ile deneyinin yapılamaması sayılabilir [23].

Bu tez çalışmasında, tez kapsamında yapılan deneysel sonuçlar kullanılarak yedi farklı yönetmelik ve araştırmadan elde edilen (TS500, 2000; ACI318, 2011; CSA, 2007; NZS, 2006; Eurocode 2:2004; Arslan, 2008; Arslan, 2010;) kesme mukavemeti tahmini için önerilen denklemlerin yüksek dayanımlı betonarme kirişlerin mukavemetini ne ölçüde doğru tahmin ettiği incelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan denklemler Çizelge 4.1'de özetlenmiştir. f_c Betonun silindir basınç dayanımıdır.

Çizelge 4.1: Çeşitli Kaynaklardaki Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımı Bağlantısı

Kaynak	Bağıntı	Koşul
TS500 (2000)	$v_c = 0.65f_{ctk}, f_c (MPa)$	$f_{ctk} = 0.35\sqrt{f_c}$
ACI318 (2011)	$v_c = 0.17\sqrt{f_c}, f_c (MPa)$	$a/d \geq 2.5f_c < 70MPa$

Çizelge 4.1 (devam): Çeşitli Kaynaklardaki Betonarme Kirişlerin Kesme Dayanımı Bağıntısı

Kaynak	Bağıntı	Koşul
CSA (2007)	$v_c = 0.2\sqrt{f_c}, f_c (MPa)$	$d \leq 300mm$ $d > 300mm$
NZS (2006)	$v_c = \left(\frac{260}{1000 + d}\right)\sqrt{f_c} \geq 0.1\sqrt{f_c}$ $v_c = (0.07 + 10\rho)\sqrt{f_c}, f_c (MPa)$	$a/d \geq 2$
Eurocode 2 (2004)	$v_{rd,c} = 0.18k(100\rho f_c)^{1/3}$ $\geq 0.035k^{3/2}\sqrt{f_c}$	$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}$ $\leq 2.0, d(mm)$ $\rho = \frac{A_s}{b_w * d} \leq 0.02$
Arslan (2008)	$v_c = 0.12(f_c)^{0.5} + 0.02(f_c)^{0.65}, f_c (MPa)$	$f_c \geq 41.4MPa$
Arslan (2010)	$v_{cr} = 0.3 \left[\left(\frac{c}{d}\right)\sqrt{f_c} + \sqrt{\rho f_c} \right] \left(\frac{300}{d}\right)^{0.28}$	$2.5 \leq a/d \leq 6.0$ $60.8MPa \leq f_c \leq 91.8MPa$
Kırıştioğlu (2014)	$v_c = 0.68 \left(\frac{\Delta u}{\Delta y}\right)^{-1.03} \sqrt{f_c}$	

4.2 Deneysel Kiriş Sonucun Karşılaştırılması

Deneysel çalışmadan elde edilen kesme mukavemeti literatürde kabul görmüş kesme mukavemeti ile karşılaştırılmıştır.

Üretilen deneysel kirişinin sayısı 1 olmasına rağmen, bu çalışmada değerlendirilen denklemlerin deneysel akma beton kesme kuvveti sonucu ne ölçüde doğru tahmin ettiği incelendiğinde (Çizelge 4.2);

- Arslan (2010) ve Kırıştioğlu (2014) denklemlerinin deneysel kesme mukavemetinden daha yüksek tahmin ettiği, dolayısıyla yeteri kadar güvenliği olmadığı söylenebilir.
- NZS ve Eurocode 2 (2004) ile yapılan kesme mukavemeti tahmininin deneysel olarak bulunan değerden düşük kaldığı görülmüştür.

- TS500, ACI318, CSA ve Arslan (2008) denklemlerinin deneysel kesme mukavemetine yakın tahmin ettiği, dolayısıyla iyi sonuç verdiği söylenbilir.

Aynı Şekilde değerlendirilen denklemlerin deneysel nihai beton kesme dayanımını sonucunu ne lde tahmin ettiği incelendiğinde (izelge 4.2);

- Deneysel sonuç sekiz yönetmelik ve araştırmacıdan elde ettiğimiz sonuca göre düşük kaldığı dolayısıyla elde ettiğimiz değerin üst katlarını karşılayabildiği görülmüştür.

Çizelge 4.2: Deneysel Sonuç ile nerilen Denklemlerin Kesme Kuvveti Karşılaştırılması

Kaynak	V_{c,y} (kN)	V_{c,u} (kN)
KY01-3.6	160	128
TS500 (2000)	167.96	358.03
ACI318 (2011)	156.88	329.45
CSA (2007)	164.35	345.13
NZS (2006)	80.73	169.53
EUROCODE 2 (2004)	94.53	198.52
ARSLAN (2008)	145.22	304.96
ARSLAN (2010)	174.28	365.98
KIŘIŐTIOĐLU (2014)	627.16	294.77

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneysel çalışması yapılan KY01-3.6 kirişinde;

- Beton sınıfı artışı ile (yüksek dayanımlı) kirişlerin yük taşıma kapasitesi artarken, yerdeğiştirme kapasitesinde azalma görülmektedir.

Sekiz farklı yönetmelik ve araştırmadan üretilen (TS500, 2000; ACI318, 2011; CSA, 2007; NZS, 2006; EN 1992:2004; Arslan, 2008; Arslan, 2010; Kırıştioğlu, 2014;) kesme mukavemeti tahminleri kirişin deneysel akma kesme kuvveti sonucu ile karşılaştırılarak değerlendirildiğinde;

- Arslan (2010) ve Kırıştioğlu (2014) denklemlerinin deneysel kesme mukavemetinden daha yüksek tahmin ettiği, dolayısıyla yeteri kadar güvenliği olmadığı söylenebilir.
- NZS ve Eurocode 2 (2004) ile yapılan kesme mukavemeti tahmininin deneysel olarak bulunan değerden düşük kaldığı görülmüştür.
- TS500, ACI318, CSA ve Arslan (2008) denklemlerinin deneysel kesme mukavemetine yakın tahmin ettiği, dolayısıyla iyi sonuç verdiği söylenebilir.

Aynı şekilde değerlendirilen denklemlerin deneysel nihai beton kesme dayanımını sonucunu ne ölçüde tahmin ettiği incelendiğinde;

- Deneysel sonuç sekiz yönetmelik ve araştırmacıdan elde ettiğimiz sonuca göre düşük kaldığı dolayısıyla elde ettiğimiz değer üst katlarını karşılayabildiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] **TDY**, (2007), *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY 2007-TDY 2007)*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı; 26454 & 26511 sayılı Resmi Gazete-Türkiye Cumhuriyeti
- [2] **Arslan G, Kiristioglu I**, (2016), *Influence of displacement ductility on concrete contribution to shear strength*, 60(2), (2016), 1-8, DOI: 10.3311/ppci.xxxx
- [3] **Arslan G**, (2010), *Shear strength of reinforced concrete slender beams, institution of civil engineers*, 195-205, DOI: 10.1680/stbu.2010.163.3.195
- [4] **TS500** (2000). “*Betonarme yapıların hesap ve tasarımı*” Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,
- [5] **ACI Committe 318**, (2011). Building code requirements for structural concrete (ACI 318M-11) and commentary, *American Concrete Institute*, Farmington Hills, MI.
- [6] **CSA**, (2007), Design of concrete structures. CSA standard A23.3-04. *Canadian Standards Association*, Ottawa,
- [7] **NZS 3101-1** (2006), *Concrete structures standard – The design of concrete structures* [By Authority of Development Sponsored By the Earthquake Commission (EQC) and Departement of Building and Housing (DBH)]
- [8] **CEN** (2004), Eurocode 2: Design of concrete structures, part 1-1: General rules and rules for buildings. *CEN*, Brussels, EN 1992-1-1: 2004.
- [9] **Arslan G**, (2008), Shear strength of reinforced concrete beams with stirrups, *Materials and Structures* 41:113-122, DOI: 10.1617/s11527-007-9223-3
- [10] **G. Campione, A. Monaco, G. Minafo**, (2013), Shear strength of high-strength concrete beams: Modeling and design recommendations, *Engineering structures* 69: 116-122
- [11] **G. Russo, G. Somma, P. Angeli**. (2004), Design shear strength formula for high strength concrete beams, *Materials and Structures*, Vol. 37, 680-688, 2004
- [12] **Aydemir C. ve Aydemir Eser M.** (2017). “*Betonarme Kirişlerin Hasar Sınırlarının Deneysel Gözlemlerle İrdelenmesi*” *İMO Teknik Dergi*, 2017 8023-8049, Yazı 486

- [13] **TS 802** (2016), “Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [14] **TS 708** (2016), “Çelik-Betonarme İçin-Donatı Çeliği” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [15] **TS EN ISO 15630-1** (2012), “Çelik-Betonarme ve Öngermeli Beton İçin-Deney Yöntemleri-Bölüm 1-Donatı Çubukları, Halatı ve Teli” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [16] **TS EN ISO 6892-1** (2016), “Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi-Bölüm 1-Ortam Sıcaklığında Deney Metodu” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [17] **TS EN 12390-3** (2010), “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [18] **TS EN 12350-1** (2010), “Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 1: Numune alma” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [19] **TS EN 12390-1** (2002), “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil, boyut ve diğer özellikleri” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [20] **TS EN 12390-2** (2002), “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması” *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara
- [21] **ATC-38** (2000), *Database on the Performance of Structures Near Strong-Motion Recordings: 1994 Northridge, California, Earthquake*
- [22] **Park, R., and Paulay, T.**, (1975), “*Reinforced Concrete Structures*”, John Wiley and Sons, New York
- [23] **ASCE-ACI 445** (1998), “Recent Approaches to Shear Design of Structural Concrete”, State-of-the-Art-Report by ASCE-ACI Committee 445 on Shear and Torsion. *ASCE-Journal of Structural Engineering*, 124(12); 1375-1417
- [24] **Arslan, G.**, (2005), “Tersinir yükler altında betonarme çubukların kesme mukavemeti”, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad ve Soyad : Hidayetullah SADRI
Doğum Tarihi ve Yeri : 1991, Afganistan
E posta : hidayetullahsadri@yahoo.com



Eğitim Bilgileri

Lisans : 2012–2016, Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği
Yüksek Lisans : 2016–2019, İstanbul Aydın Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği