

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yaşar Mehmet UYSAL

**KESME DONATISIZ BETONARME KİRİŞLERİN KESME
ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2019

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KESME DONATISIZ BETONARME KİRİŞLERİN KESME ETKİSİNDEKİ
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

Yaşar Mehmet UYSAL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 02/12/2019 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
ÜYE

.....
Prof. Dr. İlker Fatih KARA
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KESME DONATISIZ BETONARME KİRİŞLERİN KESME ETKİSİNDEKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Yaşar Mehmet UYSAL

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY
Yıl: 2019, Sayfa: 181
Jüri : Prof. Dr. İsmail H. ÇAĞATAY
: Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
: Prof. Dr. İlker Fatih KARA

Betonarme elemanların kesme etkisindeki davranışları, günümüz yapı mühendisliğinin en güncel araştırma konularından biridir. Özellikle kesme kuvvetine maruz kalan kesme donatısız kirişlerde oluşan kırılma ve dayanım mekanizmalarının nasıl geliştiği hakkında henüz tam anlamıyla fikir birliğine varılabilmiş değildir. Bu çalışmada dört farklı kesme açıklığı/faydalı derinlik ($a/d=2.0, 2.51, 3.13, 4.0$) oranı ve farklı beton sınıfına sahip 15 adet betonarme kiriş numuneleri, dört noktalı eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Kiriş numunelerinin deney sırasında gerçekleşen çatlakların gelişimleri detaylı olarak takip edilmiş ve yük-deplasman grafikleri elde edilmiştir. Deneylerden her numune için elde edilen maksimum kesme kuvveti, literatürde mevcut üç adet standartta önerilen ve bazı araştırmacıların önerdiği bağıntılar kullanılarak hesaplanan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmada yapılan deneylerde; kesme kuvveti etkisi altındaki kesme donatısız betonarme kirişlerin davranışını etkileyen en önemli değişkenlerden birinin (a/d) oranı olduğu gözlenmiştir. Beton basınç dayanımının kesme dayanımı ve kırılma yükü ile ilişkisinin tahmin edilenden daha karmaşık olduğu ve bu nedenle beton basınç dayanımının betonarme kirişlerin kesme davranışına etkisinin daha rasyonel bir şekilde belirlenebilmesi için daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Betonarme, Kesme kuvveti, (a/d) oranı, Kesme Donatısız Kiriş Davranışı, Kesme dayanımı.

ABSTRACT

MSc THESIS

THE INVESTIGATION ON SHEAR BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE BEAMS WITHOUT SHEAR REINFORCEMENT

Yaşar Mehmet UYSAL

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY
Year: 2019, Pages: 181
Jury : Prof. Dr. İsmail H. ÇAĞATAY
: Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
: Prof. Dr. İlker Fatih KARA

The shear behavior of reinforced concrete elements is one of the most recent research topics in structural engineering. There is not a consensus how the mechanisms of cracking and strength developed, especially in reinforced concrete beams without shear reinforcement subjected to shear force. In this study, four point bending tests were carried out on fifteen reinforced concrete beams with four different shear span/effective depth ($a/d=2.0, 2.51, 3.13, 4.0$) ratios and four different concrete compressive strength. The crack developments of the beams during the experiment were followed in detail and also load-displacement graphics were obtained. The maximum shear force obtained for each sample from the experiments was compared with the results calculated using the three standards available in the literature and the equations proposed by some researchers. As a result of this experimental study; it is observed that the ratio (a/d) is one of the most important variables affecting the shear behavior of reinforced concrete beams under shear force. It is concluded that the relationship between concrete compressive strength and shear strength and fracture load is more complicated than expected and therefore more studies are needed to determine the effect of concrete compressive strength on shear behavior of reinforced concrete beams in a more rational way.

Keywords: Reinforced Concrete, Shear, Shear span to depth ratio, Beam without shear reinforcement, Shear strength.

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Betonarme şüphesiz çağımız yapı mühendisliğinin en önemli malzemelerinden birisidir. Modern betonarmenin tarihi birkaç yüzyıl geriye gitmesine rağmen, teknik özellikleri ve farklı koşullar altındaki davranışı sıklıkla araştırmalara konu olmaktadır. Kesme kuvvetinin neden olabileceği gevrek kırılma ve buna bağlı oluşabilecek hasarlar yapı mühendisliğinin temel sorunlarından birisi olarak kabul edilmektedir. Özellikle kesme kuvvetine maruz bırakılan kesme donatısız betonarme kirişlerde gerçekleşen kırılma mekanizması ve buna bağlı olarak eleman davranışını etkileyen faktörlerin belirli düzeyde bilinmesine rağmen hangi koşullarda hangi parametrenin ne denli etkili olduğu ya da olmadığı hala tartışılmaktadır. Literatürde betonarme kirişlerin kesme davranışı ve kırılma mekaniğini açıklamaya yönelik çok sayıda model ve yaklaşım bulunmaktadır.

Bu çalışmada 7 adet normal dayanımlı beton ve 8 adet düşük dayanımlı beton kullanılarak toplam 15 adet betonarme kiriş üretilmiş ve kesme kuvvetine maruz kalacak şekilde farklı dört farklı ($a/d=2.0, 2.51, 3.13, 4.0$) oranı kullanılarak teste tabi tutulması planlanmıştır. Kiriş numunelerinin tamamı 200 mm genişliğe, 300 mm yüksekliğe ve 3000 mm uzunluğa ve %0,62 oranında boyuna donatı oranına sahiptir. Kullanılan betonlar Adana'da bulunan özel firmaya ait tesislerinde üretilmiş ve Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarına nakledilerek kalıplara doldurulmuştur. Her bir beton grubu için silindir, küp ve prizma numuneler de hazırlanmıştır. Normal dayanımlı betonlar 28. günde, düşük dayanımlı betonlar ise 7. ve 28. günlerde silindir ve küp basınç dayanım testlerine tabi tutularak beton sınıfları belirlenmiştir. Ayrıca her bir beton grubu için kiriş numunelerinin başladığı gün ayrıca silindir numuneler ile basınç dayanımları tespit edilmiştir. Silindir numune deneyleri sırasında analog komparatör saati yardımıyla deplasman değerleri ölçülmüş ve tüm numunelerin gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiş ve bu grafikte yer alan bilgilerle her

bir beton grubu için ortalama bir elastisite modülü belirlenmiştir. Ayrıca prizma numuneler dört noktalı yükleme deneyine tabi tutularak eğilmede çekme dayanımı belirlenmiştir.

Bu çalışmada kiriş numuneleri kullanılarak farklı (a/d) oranlarında düşük ve normal dayanımlı kesme donatısız kirişlerin davranışlarını gözlemlemek ve deney sonucu elde edilen maksimum kırılma yükleri, literatürde bazı araştırmacılar tarafından önerilen ve mevcut üç standartta yer alan kesme dayanımı bağıntıları ile karşılaştırılması hedeflenmiştir.

Sonuç olarak (a/d) oranının kesme davranışı ve kırılma mekaniğini etkileyen en önemli parametrelerden biri olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. (a/d) oranının 2 ile 2,5 arasında olduğunda kırılma tipinin ve mekanizmasının değiştiği söylenebilir. Bu değerden daha düşük (a/d) oranına sahip elemanlarda, yük mesnete daha yakın olduğundan yükün önemli bir kısmı basınç çubuğu üzerinden mesnete aktarılır ve bu sayede kesme kırılmasına neden olan çekme gerilmeleri daha düşük seviyelerde kalır. Yük ile mesnet arasında bir basınç çubuğu oluşurken boyuna donatı ise bir kemer gergisi gibi çekme gerilmelerini aktaracaktır. Bu durumda klasik kiriş davranışı yerine eleman gergili bir kemer gibi davranacaktır.

Beton basınç dayanımı, betonun çekme dayanımı için bir ölçü olarak kabul edilebileceğinden beton basınç dayanımının direk olarak davranışı etkileyeceği ancak kesme dayanımı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişkinin karmaşık olduğu söylenebilir.

Bunun yanı sıra literatürde yer alan kesme dayanımı bağıntıları incelendiğinde; beton basınç dayanımı ve donatı oranı gibi temel malzeme özelliklerinin yanı sıra boyut özellikleri ile ilgili (çoğunlukla a ve d) parametreleri içeren bağıntıların kabaca deney sonuçlarına daha yakın sonuçlar vermesi beklenmektedir.

Özellikle kesme donatısı bulunmayan eski yapılarda, düşük donatı oranına sahip yapılarda, beton kalitesinin düşük olduğu yapılarda ayrıca kötü işçilikten

dolayı kesme donatılarında aderansın azaldığı veya kaybolduğu durumlarda ve kesme donatı sıklığının az olduğu yapılarda kesme kuvvetinin neden olacağı gerilmelerin tehlikeli hasarlara neden olabileceği, bu tip kirişlerde özellikle deplasman kapasiteleri sınırlı olduğundan en küçük riskin bile titizlikle incelenmesi ve oluşacak çatlakların iyi belirlenmesi gerektiği, bu sayede olası göçme davranışı hakkında fikir elde edilebileceği öngörülmektedir.

Ayrıca bu konu ile ilgili daha detaylı bir analiz yapılabilmesi için farklı yükleme koşullarında farklı parametrelerin etkilerinin ölçülebileceği daha fazla sayıda numune ile deneyler yapılması gerektiği, bu deneysel sonuçların literatürde yer alan gelişmiş yaklaşımlarla birlikte değerlendirilmesi ile çok daha gerçekçi yaklaşımlar elde edileceği düşünülmektedir.



TEŞEKKÜR

Yükseköğrenimim tüm aşamalarında; fikirleri, görüşleri ve yönlendirmeleriyle tez çalışmamın şekillenmesine ve olgunlaşmasına olanak sağlayan kıymetli danışman hocam Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim ve tez çalışmalarım sırasında maddi, manevi ve özellikle psikolojik olarak hep yanımda olan, desteğini bir an olsun esirgemeyen sevgili eşim, Demet Begüm UYSAL'a sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca bu dönem boyunca desteklerini her zaman arkamda hissettiğim sevgili annem Hülya UYSAL'a ve ablam Ayşegül UYSAL GLİNİECKİ'ye ayrıca bu günlere gelmemde çok büyük emeği olan babam A. Serdar UYSAL'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamın önemli bir parçası olan laboratuvar çalışmalarım sırasında yardımları ve destekleri ile beni yalnız bırakmayan Arş. Gör. Ahmet AKKAYA, Arş. Gör. Arif BENLİOĞLU ve bölüm personeli Teknisyen Ömer KÜTÜK'e; ayrıca Arş. Gör. Sedat KARAAHMETLİ Arş. Gör. Timuçin ALPARSLAN başta olmak üzere tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve İnşaat Mühendisliği Bölümü çalışanlarına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XVI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XXIV
1. GİRİŞ	1
1.1. Genel.....	1
1.2. Tezin Amacı.....	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	7
2.1. Kesme Sorununun Tespiti ve İlk Yaklaşımlar.....	8
2.2. (a/d) Oranının Kesme Davranışı Üzerine Etkisi.....	9
2.3. Kesme Kuvvetini Dengeleyen Mekanizmalar	13
2.3.1. Çatlamamış Betonun Çekme Dayanımına Katkısı.....	17
2.3.2. Çatlak İçi Kesme Gerilmeleri	17
2.3.3. Kaldıraç Etkisi	19
2.3.4. Kemerlenme Etkisi.....	21
2.4. Boyut Etkisi.....	24
2.5. Kesme Kapasitesinin Tahminine Yönelik Çalışmalar	25
3. MATERYAL VE METOD.....	29
3.1. Materyal	29
3.1.1. Kalıp	29
3.1.2. Çelik.....	32

3.1.3. Paspayı.....	34
3.1.4. Beton.....	35
3.2. Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı.....	35
3.3. Kiriş Numuneleri Deney Düzeneği	41
3.4. Kiriş Numuneleri Deneyinde Kullanılan Metotlar ve Diğer Bilgiler.....	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	47
4.1. Numune Deneyleri	47
4.1.1. Silindir Numune Deneyleri.....	47
4.1.2. Küp Numune Deneyleri	56
4.1.3. Prizma Numune Deneyleri	58
4.2. Maksimum Yükn Teorik Olarak Araştırılması	61
4.3. Kiriş Deneyleri Bulguları.....	65
4.3.1. 3.Grup Kiriş Deneyleri	65
4.3.1.1. KI-DD-3-4 Kirişi Deney Bulguları	65
4.3.1.2. KI-DD-3-3 Kirişi Deney Bulguları	69
4.3.1.3. KI-DD-3-2 Kirişi Deney Bulguları	74
4.3.1.4. KI-DD-3-1 Kirişi Deney Bulguları	81
4.3.2. 2.Grup Kiriş Deneyleri	87
4.3.2.1. KI-ND-2-4 Kirişi Deney Bulguları	87
4.3.2.2. KI-ND-2-3 Kirişi Deney Bulguları	93
4.3.2.3. KI-ND-2-2 Kirişi Deney Bulguları	98
4.3.2.4. KI-ND-2-1 Kirişi Deney Bulguları	104
4.3.3. 4.Grup Kiriş Deneyleri	110
4.3.3.1. KI-DD-4-4 Kirişi Deney Bulguları.....	110
4.3.3.2. KI-DD-4-3 Kirişi Deney Bulguları.....	115
4.3.3.3. KI-DD-4-2 Kirişi Deney Bulguları.....	122
4.3.3.4. KI-DD-4-1 Kirişi Deney Bulguları.....	128

4.3.4. 1.Grup Kiriş Deneyleri	134
4.3.4.1. KI-ND-1-4 Kiriş Deney Bulguları.....	134
4.3.4.2. KI-ND-1-3 Kiriş Deney Bulguları.....	139
4.3.4.3. KI-ND-1-2 Kiriş Deney Bulguları.....	144
4.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	149
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	173
KAYNAKLAR	175
ÖZGEÇMİŞ	181





ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Üretilen Numunelere Ait Bilgiler	36
Çizelge 3.2. Deney Kirişleri Malzeme Özellikleri	43
Çizelge 3.3. Deneyde Kullanılan Yükleme Noktaları Ölçüleri.....	44
Çizelge 4.1. 1. Grup Silindir Numuneler Deney Sonuçları.....	48
Çizelge 4.2. 2. Grup (Normal Dayanımlı) Silindir Numune Deney Sonuçları	50
Çizelge 4.3. 3. Grup (Düşük Dayanımlı) Silindir Numune Deney Sonuçları	51
Çizelge 4.4. 4. Grup (Düşük Dayanımlı) Silindir Numune Deney Sonuçları	52
Çizelge 4.5. Teğet Modülüne Göre Hesaplanan Elastisite Modülü Değerleri	54
Çizelge 4.6. 1. Grup (Normal Dayanımlı) Küp Numune Deney Sonuçları	56
Çizelge 4.7. 2. Grup (Normal Dayanımlı) Küp Numune Deney Sonuçları	56
Çizelge 4.8. 3. Grup (Düşük Dayanımlı) Küp Numune Deney Sonuçları	57
Çizelge 4.9. 4. Grup (Düşük Dayanımlı) Küp Numune Deney Sonuçları	57
Çizelge 4.10. 1. Grup (Normal Dayanımlı) Prizma Numunelerin Deney Sonuçları	59
Çizelge 4.11. 2. Grup (Normal Dayanımlı) Prizma Numunelerin Deney Sonuçları	60
Çizelge 4.12. 3. Grup (Düşük Dayanımlı) Prizma Numunelerin Deney Sonuçları	60
Çizelge 4.13. 4. Grup (Düşük Dayanımlı) Prizma Numunelerin Deney Sonuçları	60
Çizelge 4.14. Bazı Araştırmacılar Tarafından Önerilen Kesme Dayanımı Bağıntıları.....	61
Çizelge 4.15. Araştırmacıların Bağıntılarına Göre Hesaplanan Kesme Kuvvetleri.....	62
Çizelge 4.16. Bazı Standartlarda Yer Alan Kesme Dayanımı Bağıntıları	63
Çizelge 4.17. Deney Numunelerine Ait Özellikler ve Bazı Standartlarda Yer Alan Bağıntılara Göre Hesaplanan Kesme Kuvvetleri	64
Çizelge 4.18. KI-DD-3-4 Numunesi Sonuçları.....	65

Çizelge 4.19. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	66
Çizelge 4.20. KI-DD-3-3 Numunesi Sonuçları.....	69
Çizelge 4.21. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	70
Çizelge 4.22. KI-DD-3-2 Numunesi Sonuçları.....	74
Çizelge 4.23. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	75
Çizelge 4.24. KI-DD-3-1 Numunesi Sonuçları.....	81
Çizelge 4.25. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	82
Çizelge 4.26. KI-ND-2-4 Numunesi Sonuçları.....	87
Çizelge 4.27. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	88
Çizelge 4.28. KI-ND-2-3 Numunesi Sonuçları.....	93
Çizelge 4.29. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	94
Çizelge 4.30. KI-ND-2-2 Numunesi Sonuçları.....	98
Çizelge 4.31. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	99
Çizelge 4.32. KI-ND-2-1 Numunesi Sonuçları.....	104
Çizelge 4.33. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	105
Çizelge 4.34. KI-DD-4-4 Numunesi Sonuçları.....	110
Çizelge 4.35. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	111
Çizelge 4.36. KI-DD-4-3 Numunesi Sonuçları.....	115
Çizelge 4.37. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	116
Çizelge 4.38. KI-DD-4-2 Numunesi Sonuçları.....	122
Çizelge 4.39. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	123
Çizelge 4.40. KI-DD-4-1 Numunesi Sonuçları.....	128
Çizelge 4.41. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	129
Çizelge 4.42. KI-ND-1-4 Numunesi Sonuçları.....	134
Çizelge 4.43. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	135
Çizelge 4.44. KI-ND-1-3 Numunesi Sonuçları.....	139
Çizelge 4.45. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	140
Çizelge 4.46. KI-ND-1-2 Numunesi Sonuçları.....	144

Çizelge 4.47. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler	145
Çizelge 4.48. 3. Grup Numunelerin ($f_c=15,68$ MPa) Momentleri	
Karşılaştırılması	157
Çizelge 4.49. 2. Grup Numunelerin ($f_c=56,78$ MPa) Momentleri	
Karşılaştırılması	158
Çizelge 4.50. 4. Grup Numunelerin ($f_c=28,31$ MPa) Momentleri	
Karşılaştırılması	159
Çizelge 4.51. 1. Grup Numunelerin ($f_c=58,63$ MPa) Momentleri	
Karşılaştırılması	160
Çizelge 4.52. Araştırmacıların Bağıntılarına Göre Hesaplanan Kesme	
Kuvvetlerinin Deney Sonuçlarına Oranı	168
Çizelge 4.53. Bazı Standartlarda Yer Alan Bağıntılara Göre Hesaplanan Kesme	
Kuvvetlerinin Deney Sonuçlarına Oranı	170



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1.	Basit Yükleme Durumunda Oluşan Asal Gerilmeler.....	2
Şekil 1.2.	Basit Yükleme Durumunda "a" ve "d"	3
Şekil 2.1.	(a/d) Oranının Davranış ve Kırılma Tipine Etkisi (Kim ve ark., 1996).....	9
Şekil 2.2.	Kesme Vadisinin Donatı Oranına Göre Değişimi (Kani, 1966)	11
Şekil 2.3.	Kesme Vadisinin Faydalı Yüksekliğe Göre Değişimi (Kani, 1967)	12
Şekil 2.4.	Çatlamış Bir Betonarme Kesitteki Kesme Transfer Mekanizmaları (Jelic ve ark., 1999)	14
Şekil 2.5.	Agrega Yüzeyleri ve Çatlak Gelişimi (Collins ve ark., 1996)	18
Şekil 2.6.	Kaldıraç Etkisi (Ersoy ve Özcebe, 2012).....	20
Şekil 2.7.	Eğilme Çatlakları Sonucu Oluşan Dışlar ve Basınç Çubuğu (Kani, 1964)	22
Şekil 2.8.	Kırılma Sonucu Oluşan Basınç Çubuğu ve Dışlar (Kani, 1964)	22
Şekil 3.1.	Deneyde Kullanılan Kalıp Sistemi.....	31
Şekil 3.2.	Donatı Detayı.....	32
Şekil 3.3.	Donatı Fotoğrafları	33
Şekil 3.4.	Taşıma Kancası (a) Detayı, (b) Fotoğrafı	34
Şekil 3.5.	Beton Dökümü Öncesi Kiriş İçine Yerleştirilen Paspayları	35
Şekil 3.6.	Deney Kirişlerinin Hazırlanması	37
Şekil 3.7.	Deney Kirişlerinin Hazırlanması ve Bakımı	38
Şekil 3.8.	Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	39
Şekil 3.9.	Deney Numunelerinin Kür Havuzunda Muhafaza Edilmesi	40
Şekil 3.10.	Kükürt Karışımı ile Başlıklama Yapılmış Bir Numune.....	40
Şekil 3.11.	Dört Noktalı Yüklemede Eğilme ve Kesme Bölgeleri.....	41
Şekil 3.12.	Deneyde Kullanılan Cihazların Şematik Olarak Gösterimi	42

Şekil 4.1.	Silindir Numunelerde Kullanılan Komparatör.....	47
Şekil 4.2.	1.Grup Silindir Numunelerin 28 Günlük Gerilme-Deformasyon Grafiği.....	49
Şekil 4.3.	2.Grup Silindir Numunelerin 28 Günlük Gerilme-Deformasyon Grafiği.....	50
Şekil 4.4.	3.Grup Silindir Numunelerin 7 ve 28 Günlük Gerilme- Deformasyon Grafiği	51
Şekil 4.5.	4.Grup Silindir Numunelerin 7 ve 28 Günlük Gerilme- Deformasyon Grafiği	52
Şekil 4.6.	7 ve 28 Günlük Tüm Silindir Numunelerin Gerilme- Deformasyon Grafikleri	53
Şekil 4.7.	Normal ve Düşük Dayanımlı Küp Numunelerin Deney Sonuçları	58
Şekil 4.8.	Prizma Deneyleri Düzeneği	59
Şekil 4.9.	KI-DD-3-4 Numunesi Deney Düzeneği	65
Şekil 4.10.	KI-DD-3-4 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	66
Şekil 4.11.	KI-DD-3-4 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	67
Şekil 4.12.	KI-DD-3-4 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	68
Şekil 4.13.	KI-DD-3-4 Numunesinin Değişimi	68
Şekil 4.14.	KI-DD-3-3 Numunesi Deney Düzeneği	69
Şekil 4.15.	KI-DD-3-3 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	71
Şekil 4.16.	KI-DD-3-3 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	71
Şekil 4.17.	KI-DD-3-3 Numunesinin Kırılma Tipi	72
Şekil 4.18.	KI-DD-3-3 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	73
Şekil 4.19.	KI-DD-3-3 Numunesinin Değişimi	73
Şekil 4.20.	KI-DD-3-2 Numunesi Deney Düzeneği	74

Şekil 4.21.	KI-DD-3-2 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	76
Şekil 4.22.	KI-DD-3-2 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	76
Şekil 4.23.	KI-DD-3-2 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	77
Şekil 4.24.	KI-DD-3-2 Numunesinin Kırılma Tipi	77
Şekil 4.25.	Kirişten Kopan Parçanın Görüntüsü	78
Şekil 4.26.	Yük ile Mesnet Arasında Meydana Gelen Diğer Çatlak.....	79
Şekil 4.27.	KI-DD-3-2 Numunesinin Değişimi	80
Şekil 4.28.	KI-DD-3-1 Numunesi Deney Düzeneği	81
Şekil 4.29.	KI-DD-3-1 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	83
Şekil 4.30.	KI-DD-3-1 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	83
Şekil 4.31.	KI-DD-3-1 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	84
Şekil 4.32.	KI-DD-3-1 Numunesinin Kırılma Tipi.....	84
Şekil 4.33.	KI-DD-3-1 Numunesinin Değişimi	86
Şekil 4.34.	KI-ND-2-4 Numunesi Deney Düzeneği	87
Şekil 4.35.	KI-ND-2-4 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	90
Şekil 4.36.	KI-ND-2-4 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	90
Şekil 4.37.	KI-DD-2-4 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	91
Şekil 4.38.	KI-ND-2-4 Numunesi Eğilme Bölgesinde Oluşan Çatlaklar.....	91
Şekil 4.39.	KI-ND-2-4 Numunesinin Değişimi	92
Şekil 4.40.	KI-ND-2-3 Numunesi Deney Düzeneği	93
Şekil 4.41.	KI-ND-2-3 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	96
Şekil 4.42.	KI-ND-2-3 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	96
Şekil 4.43.	KI-ND-2-3 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	97
Şekil 4.44.	KI-ND-2-3 Numunesinin Değişimi	97

Şekil 4.45.	KI-ND-2-2 Numunesi Deney Düzeneği	98
Şekil 4.46.	KI-ND-2-2 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	101
Şekil 4.47.	KI-ND-2-2 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	101
Şekil 4.48.	KI-DD-2-2 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	102
Şekil 4.49.	KI-DD-2-2 Numunesinin Kırılma Tipi	102
Şekil 4.50.	KI-ND-2-2 Numunesinin Değişimi	103
Şekil 4.51.	KI-ND-2-1 Numunesi Deney Düzeneği	104
Şekil 4.52.	KI-ND-2-1 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	107
Şekil 4.53.	KI-ND-2-1 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	107
Şekil 4.54.	KI-DD-2-1 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	108
Şekil 4.55.	KI-ND-2-1 Numunesi Kırılma Tipi	108
Şekil 4.56.	KI-ND-2-1 Numunesinin Değişimi	109
Şekil 4.57.	KI-DD-4-4 Numunesi Deney Düzeneği	110
Şekil 4.58.	KI-DD-4-4 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	112
Şekil 4.59.	KI-ND-4-4 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	113
Şekil 4.60.	KI-ND-4-4 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	113
Şekil 4.61.	KI-DD-4-4 Numunesinin Değişimi	114
Şekil 4.62.	KI-DD-4-3 Numunesi Deney Düzeneği	115
Şekil 4.63.	KI-DD-4-3 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	118
Şekil 4.64.	KI-DD-4-3 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	119
Şekil 4.65.	KI-DD-4-3 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	119
Şekil 4.66.	KI-DD-4-3 Numunesi Kırılma Tipi	120
Şekil 4.67.	KI-DD-4-3 Numunesinin Değişimi	121
Şekil 4.68.	KI-DD-4-2 Numunesi Deney Düzeneği	122

Şekil 4.69.	KI-DD-4-2 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	124
Şekil 4.70.	KI-DD-4-2 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	125
Şekil 4.71.	KI-DD-4-2 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	125
Şekil 4.72.	KI-DD-4-2 Numunesinin Kırılma Tipi	126
Şekil 4.73.	KI-DD-4-2 Numunesinin Değişimi	127
Şekil 4.74.	KI-DD-4-1 Numunesi Deney Düzeneği	128
Şekil 4.75.	KI-DD-4-1 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	130
Şekil 4.76.	KI-DD-4-1 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	131
Şekil 4.77.	KI-DD-4-1 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	131
Şekil 4.78.	KI-DD-4-1 Numunesinin Kırılma Tipi	132
Şekil 4.79.	KI-DD-4-1 Numunesinin Değişimi	133
Şekil 4.80.	KI-ND-1-4 Numunesi Deney Düzeneği	134
Şekil 4.81.	KI-ND-1-4 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	136
Şekil 4.82.	KI-ND-1-3 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	137
Şekil 4.83.	KI-ND-1-3 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	137
Şekil 4.84.	KI-ND-1-3 Numunesinin Değişimi	138
Şekil 4.85.	KI-ND-1-3 Numunesi Deney Düzeneği	139
Şekil 4.86.	KI-ND-1-3 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	141
Şekil 4.87.	KI-ND-1-3 Numunesi Kırılma Tipi	141
Şekil 4.88.	KI-ND-1-3 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	142
Şekil 4.89.	KI-ND-1-3 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	142
Şekil 4.90.	KI-ND-1-3 Numunesinin Değişimi	143
Şekil 4.91.	KI-ND-1-2 Numunesi Deney Düzeneği	144
Şekil 4.92.	KI-ND-1-2 Numunesinde Oluşan Çatlaklar	146

Şekil 4.93.	KI-ND-1-2 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği.....	147
Şekil 4.94.	KI-ND-1-2 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği	147
Şekil 4.95.	KI-ND-1-2 Numunesinin Kırılma Tipi	148
Şekil 4.96.	KI-ND-1-2 Numunesinin Değişimi	148
Şekil 4.97.	3. Grup ($f_c=15,68$ MPa) Numunelerde Oluşan Diyagonal Çatlak Tipleri	149
Şekil 4.98.	2. Grup ($f_c=56,78$ MPa) Numunelerde Oluşan Diyagonal Çatlak Tipleri	150
Şekil 4.99.	4. Grup ($f_c=28,32$ MPa) Numunelerde Oluşan Diyagonal Çatlak Tipleri	151
Şekil 4.100.	1. Grup ($f_c=58,63$ MPa) Numunelerde Oluşan Diyagonal Çatlak Tipleri	152
Şekil 4.101.	3. Grup Numunelerin ($f_c=15,68$ MPa) Yük Deplasman Grafikleri.....	154
Şekil 4.102.	2. Grup Numunelerin ($f_c=56,78$ MPa) Yük Deplasman Grafikleri.....	154
Şekil 4.103.	4. Grup Numunelerin ($f_c=28,31$ MPa) Yük Deplasman Grafikleri.....	155
Şekil 4.104.	1. Grup Numunelerin ($f_c=58,63$ MPa) Yük Deplasman Grafikleri.....	155
Şekil 4.105.	3. Grup Numunelerin ($f_c=15,68$ MPa) Moment Yüzdesi-(a/d) Grafiği.....	157
Şekil 4.106.	2. Grup Numunelerin ($f_c=56,78$ MPa) Moment Yüzdesi -(a/d) Grafiği.....	158
Şekil 4.107.	4. Grup Numunelerin ($f_c=28,31$ MPa) Moment Yüzdesi -(a/d) Grafiği.....	159

Şekil 4.108.	1. Grup Numunelerin ($f_c=58,63$ MPa) Moment Yüzdesi-(a/d) Grafiği.....	160
Şekil 4.109.	Tüm Numunelerin Moment Yüzdesi -(a/d) Grafiği.....	161
Şekil 4.110.	Beton Basınç Dayanımının Kesme Vadisine Etkisi (Kani, 1966) .	162
Şekil 4.111.	Deney Sonuçlarına Göre Kırılma Yüğü ile Beton Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki ($a/d=2$)	164
Şekil 4.112.	Deney Sonuçlarına Göre Kırılma Yüğü ile Beton Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki ($a/d=2,51$)	164
Şekil 4.113.	Deney Sonuçlarına Göre Kırılma Yüğü ile Beton Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki ($a/d=3,13$)	165
Şekil 4.114.	Deney Sonuçlarına Göre Kırılma Yüğü ile Beton Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki ($a/d=4$)	165
Şekil 4.115.	3. Grup Numunelerin Kesme Kuvveti - (a/d) Oranı İlişkisi	166
Şekil 4.116.	2. Grup Numunelerin Kesme Kuvveti - (a/d) Oranı İlişkisi	166
Şekil 4.117.	4. Grup Numunelerin Kesme Kuvveti - (a/d) Oranı İlişkisi	167
Şekil 4.118.	1. Grup Numunelerin Kesme Kuvveti - (a/d) Oranı İlişkisi	167
Şekil 4.119.	Bazı Araştırmacıların Bağıntılarının Deney Sonuçlarına Oranı ile (a/d) Arasındaki İlişki	170
Şekil 4.120.	Bazı Standartlarda Yer Alan Bağıntılarının Deney Sonuçlarına Oranı ile (a/d) Arasındaki İlişki	172



SİMGELER VE KISALTMALAR

a	: Yükleme noktasının mesnete olan uzaklığı
b_w	: Kiriş genişliği
d	: Kiriş faydalı yüksekliği
d_a	: Maksimum agrega çapı
E_c	: Betonun elastisite modülü
f'_c	: 28 günlük beton basınç dayanımı
f_{yl}	: Boyuna donatı akma dayanımı
h	: Kiriş yüksekliği
L	: Kiriş boyu
M	: Moment
M_{cr}	: Çatlama momenti
M_{rf}	: Kirişin eğilmedeki taşıma gücü
M_u	: Kırılma anında ulaşılan maksimum moment
M_{ult}	: Nihai Moment
V_a	: Çatlak içinde kesme gerilmeleri toplamının düşey bileşkesi
V_c	: Betonunun çatlamamış bölgesi tarafından karşılanan kesme kuvveti
V_d	: Boyuna donatı tarafından karşılanan kesme kuvveti
V_{hesap}	: Hesaplanan kesme kuvveti
V_{test}	: Deney sonucunda elde edilen kesme kuvveti
ε	: Şekil Değiştirme
ρ	: Boyuna donatı oranı
σ	: Gerilme



1. GİRİŞ

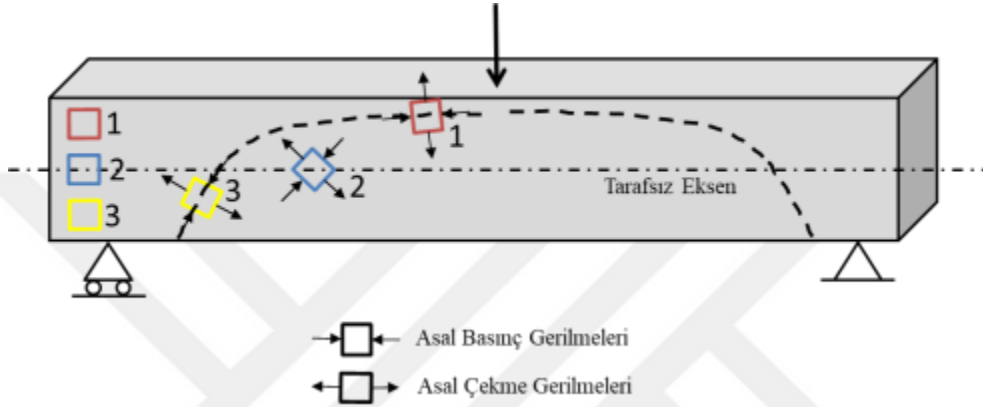
1.1. Genel

Beton ve çeliğin bir arada kullanılması ile elde edilen betonarme, günümüzün en önemli yapı elemanlarından biridir. Betonun yüksek basınç dayanımı ile çeliğin çekme kuvvetine karşı gösterdiği yüksek performansın yanı sıra bu iki malzemenin çok iyi aderans (kenetlenme) sağlaması betonarmeyi ön plana çıkaran temel özelliklerdir.

Betonarmenin yapısını oluşturan iki temel malzemedir beton; agrega, kum, çimento ve su ile çoğu zaman kimyasal katkı malzemelerinden oluşmaktadır. Bu malzemelerin üretim koşulları, karışım oranları, basınç ve çekme dayanımları, kimyasal ve fiziksel özellikleri elbette betonun dayanımını ve özelliklerini etkileyecektir. Bunun yanı sıra çeliğin fiziksel ve kimyasal özellikleri, beton ve çelik arasındaki aderans, betonarme tasarım koşulları, imalat, işçilik, bakım ve buna benzer çok sayıda değişkenin bulunduğu düşünüldüğünde betonarme zaten yapısı itibarıyla karmaşık bir malzemedir. Ayrıca; doğrusal, elastik ve homojen olmayıp, gerilmeleri yük geçmişine bağlıdır. Dolayısıyla betonarme elemanların özelliklerini ve davranışlarını hesaplara aktarmak kolay olmamaktadır (Ersoy ve Özcebe, 2012). Bunun sonucu olarak yapı mühendisliğinde kullanılan hesap ve yöntemlerin büyük bir çoğunluğu, temelde çok sayıda varsayıma ve kabule dayanmaktadır.

Yapı elemanları kullanım süreleri boyunca çoğu zaman farklı tip yüklere maruz kalırlar. Yapının güvenliğini etkileyebilecek ani ve gevrek kırılmalara neden olabilecek kesme kuvveti, günümüz yapı mühendisliğinin en temel problemlerinden biridir. Kesme kuvvetinin neden olabileceği tehlikeli hasarlar 20. yüzyılın başlarında fark edilmiştir. Literatürde kesme sorunu olarak bilinen bu problemin, aslında asal çekme gerilmelerden kaynaklandığı görüşü ilk kez Ritter tarafından öne sürülmüş ve 1916 yılında Mörsch tarafından geliştirilmiştir (Ersoy ve Özcebe, 2012). Yükleme maruz bırakılmış basit mesnetli betonarme bir

kirişte, kesme kuvvetine ek olarak iç gerilmeler (basınç ve çekme) oluşacaktır. Betonun çekme dayanımının basınç dayanımına göre çok düşük olduğu göz önünde bulundurulduğunda, kirişin düşük dayanımlı çekme gerilmeleri nedeniyle zorlanacağı ve asal çekme gerilmelerine dik yönde çatlaklar oluşacağı basitçe öngörülebilir (Şekil 1.1.).



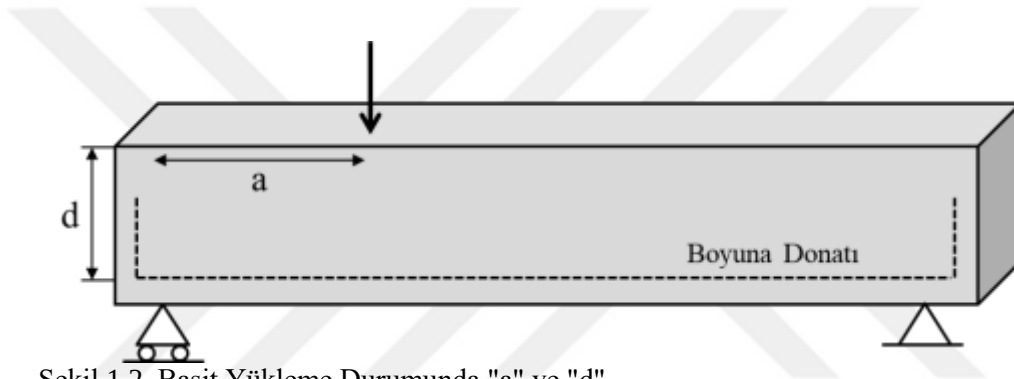
Şekil 1.1. Basit Yükleme Durumunda Oluşan Asal Gerilmeler

Bilindiği gibi betonarme, çeliğin sağladığı süneklik kabiliyeti ile genellikle yüksek bir eğilme kapasitesine sahiptir. Kiriş ve döşeme gibi yatay betonarme elemanların çoğu zaman sünek bir davranış göstererek eğilme kapasitesine ulaşması, bu sayede kırılma durumunda dahi yapıda meydana gelecek hasarların gözlemlenebilmesi ve sonuç olarak can ve mal kaybı riskinin en aza indirilmesi hedeflenir. Basit yükleme durumunda da tasarım, eğilme hesabına göre şekillendirilir. Ancak betonarmede “kesme sorunu” olarak bilinen problem, bu noktada ortaya çıkmaktadır.

Kimi durumlarda kiriş; eğilme kapasitesine ulaşmadan kesme kuvvetinin neden olduğu asal çekme gerilmelerinin büyümesi ve kiriş eksenine boyunca gelişmesiyle oluşan “eğik çatlak” nedeniyle ani ve gevrek bir şekilde kırılır. Bunun yanı sıra kirişe uygulanan yükün iç kuvvetlerce dengelendiği durumlarda, kiriş çatladıktan sonra dahi bir miktar yük aktarmaya devam eder ve sonucunda kırılma basınç bölgesindeki betonun ezilmesi sonucu gerçekleşebilir. Kesme kırılması

kadar ani olmasa da kesme ezilme kırılması da gevrek bir kırılmadır (Ersoy ve Özcebe, 2012).

Betonarmede kesme davranışını etkileyen parametreler ve bunların kırılma mekanizmasını nasıl etkiledikleri hala çok sayıda araştırmaya konu olmakta ve hala tartışılmaktadır. Yirminci yüzyılın ortalarında çok sayıda kiriş üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, davranışı etkileyen en önemli parametrenin; yükleme noktasının mesnete olan uzaklığının, kiriş faydalı yüksekliğine oranı olan ve “ a/d ” olarak ifade edilen oran olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 1.2.).



Şekil 1.2. Basit Yükleme Durumunda "a" ve "d"

(a/d) oranının yanı sıra, betonarmede kesme davranışını etkileyen başka parametreler de bulunmaktadır. Bunlar; betonun çekme dayanımı ve boyuna donatı oranıdır. Ayrıca eleman boyutları farklı kirişlerin farklı davranışlar sergileyeceği varsayımına dayanan boyut etkisi ve dolayısıyla kesit yüksekliği ile betonda kullanılan maksimum agrega boyutunun da kesme davranışı üzerine etkisi olduğu yapılan çalışmalar sonucu ortaya konmuş olup kesme davranışını etkileyen parametrelerle ilgili hala çok sayıda araştırma yapılmaktadır.

Günümüzde TS-500 dâhil birçok yönetmelik ve standartta, kesme donatısı bulundurulması zorunludur. Buna rağmen betonarme kirişlerin kesme etkisi altındaki davranışlarının ve kırılma mekanizmasının daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla kesme donatısız kirişlerle çok sayıda araştırma yapılmaktadır. Sertkaya (2017) tarafından yapılan çalışmada, Kim (2004) tarafından yapılan derlemede 20.

yüzyılın ortalarından itibaren yapılan deneysel çalışmalara ait bilgilerden oluşan veri tabanında yer alan betonarme kirişlerin yaklaşık %82'sinde etriyesiz (sargı donatısız) elemanlara yer verildiği görülmektedir.

1.2. Tezin Amacı

Günümüz yönetmelikleri gevrek kırılmaların önüne geçebilmek adına çok sayıda sınırlama ve tasarım zorunluluğu getirmişse de gevrek kırılmalara neden olan davranış biçimlerinin araştırılması son derece önem taşımaktadır.

Özellikle son yıllarda geliştirilen modern yaklaşımlara rağmen kesme güvenliği konusunda hala fikir birliğine varılamamıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler arasında ciddi farklılıklar bulunmaktadır (El-Mal ve ark., 2015). Bunun yanı sıra kesme dayanımını etkileyen ana parametreler ve eğik çatlama oluşumunu tetikleyen mekanizmalar hakkında da fikir birliğine varılabilmiş değildir. Bu nedenle kesme konusunda ilerlemenin en tutarlı yolu olarak kesme başarısızlığı sürecinin ayrıntılı ölçümü ve ele alınmasıdır (Cavagnis ve ark., 2017).

Her ne kadar deneysel çalışmaların; bazı parametrelerin etkilerinin tam olarak ölçülememesi veya dikkate alınmaması, numune üretimindeki farklılıklar, laboratuvar koşullarının tam olarak gerçeği yansıtamaması gibi dezavantajları bulunsa da betonarme gibi davranışı karmaşık parametrelere bağlı bir malzeme için teorik çalışmalar ile birlikte değerlendirilmeleri daha kesin sonuçlar elde edilmesine olanak sağlayacaktır.

Bu nedenle yapı mühendisliğinde özellikle kesme konusunda teorik çalışmaların yanı sıra özellikle hesaplara aktarılamayan karmaşık parametrelerin ve beklenmedik davranışların tahmin edilebilmesine olanak sağlayan deneysel çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada 15 adet betonarme kiriş dört noktalı yükleme deneyine tabi tutulmuş ve elde edilen sonuçlar literatürde yer alan bilgilerle karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı basit mesnetli, aynı geometriye, donatı oranına ve iki farklı çeşit

beton sınıfına sahip toplam 15 adet betonarme kiriş numuneleri için (a/d) oranının kesme davranışı ve kırılma türü üzerindeki etkisinin araştırılması ve literatürde yer alan sonuçlarla karşılaştırılmasıdır.





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Betonarmenin ilk kullanımından bu yana kesme konusu çok sayıda araştırmaya ve tartışmaya konu olmuştur. Hala günümüz yapı mühendisliğinin en önemli ve güncel problemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle kesme donatısı bulunmayan kirişlerde elemanın deformasyon potansiyelinin düşük olması ve kırılmanın gevrek olması nedeniyle kesme kuvveti kritik olarak kabul edilmektedir (Cavangis ve ark., 2015).

Enine donatısız betonarme elemanların kayma dayanımını tahmin etmek için birçok teorik ve deneye dayalı formül önerilmiştir. Bu yaklaşımların sadece ortaya çıkan tasarım ifadelerinde değil, aynı zamanda yönetim parametrelerinde ve kırılma mekanizmalarının yorumlanmasında ve kesme-aktarma işlemlerinde de farklı olduğu belirtilmelidir. Ayrıca, boyut ve gerilme etkilerinin kesme mukavemeti üzerinde nasıl hesaba katılması gerektiği konusunda genel bir fikir birliği henüz yoktur (Ruiz ve ark., 2015).

Ayrıca bu modellerin, mekanik parametreleri ve kırılmaya karşı kesme kuvveti aktarım mekanizmaları arasında ciddi farklılıklar vardır ve hala tartışmalı bir konudur (Cavagnis ve ark., 2018).

Bazant ve ark. (1987)'nin çalışmasında; betonarme kirişlerin diyagonal kesme başarısızlığının klasik ve zorlu bir problem olduğu, onlarca yıldır yapılan çalışmalara rağmen hala tatmin edici bir çözüm bulunamadığı ifade edilmiştir.

Literatürde kesme konusu ile ilgili yapılan araştırmalar incelendiğinde karşımıza çok sayıda ve çok farklı içeriğe sahip çalışmalar çıkmaktadır. Bu bölümde literatürdeki çalışmalar altı genel kategori altında incelenmiştir. Bu kategoriler; kesme sorununun tespiti ve ilk yaklaşımlar, (a/d) oranının kesme davranışı üzerine etkisi, kesme kuvvetini dengeleyen mekanizmalar, boyut etkisi, kesme kapasitesinin tahminine yönelik çalışmalardır.

2.1. Kesme Sorununun Tespiti ve İlk Yaklaşımlar

Betonarme elemanlarda gevrek kırılmalara sebep olan, bu nedenle ciddi bir problem olarak kabul edilen ve literatürde kesme sorunu olarak bilinen eğik çatlakların neden olduğu kırılma tipinin, kesme gerilmelerinden değil asal çekme gerilmelerinden kaynaklandığı ilk olarak 20. yüzyılın başlarında Ritter tarafından öne sürülmüştür. Ardından Mörsch tarafından geliştirilen ve **“Ritter-Mörsch Kafes Kiriş Analojisi”** olarak bilinen teoriye göre; çatlamış betonun çekme dayanımına katkısı bulunmadığı, çekme gerilmelerinin yalnızca donatı tarafından karşılandığı ve betonun yalnızca basınç yönünde katkısı olduğu varsayılmış ve kesme donatısı hesabı bu varsayıma göre yapılmıştır.

20. yüzyılın ortalarından itibaren konu ile ilgili yapılan çalışmalar yoğunlaşmış ve Mörsch teorisinin yalnızca kenetlenmenin tam olduğu durumlarda geçerli olacağı ve kesme dayanımı etkileyen başka parametrelerin var olduğu ortaya konmuştur.

Yine aynı dönemde Talbot, çatlamış bir kesitte dahi beton katkısının olduğunu varsaymış ve Amerika Birleşik Devletleri’nde bu varsayım dikkate alınarak kullanılmıştır.

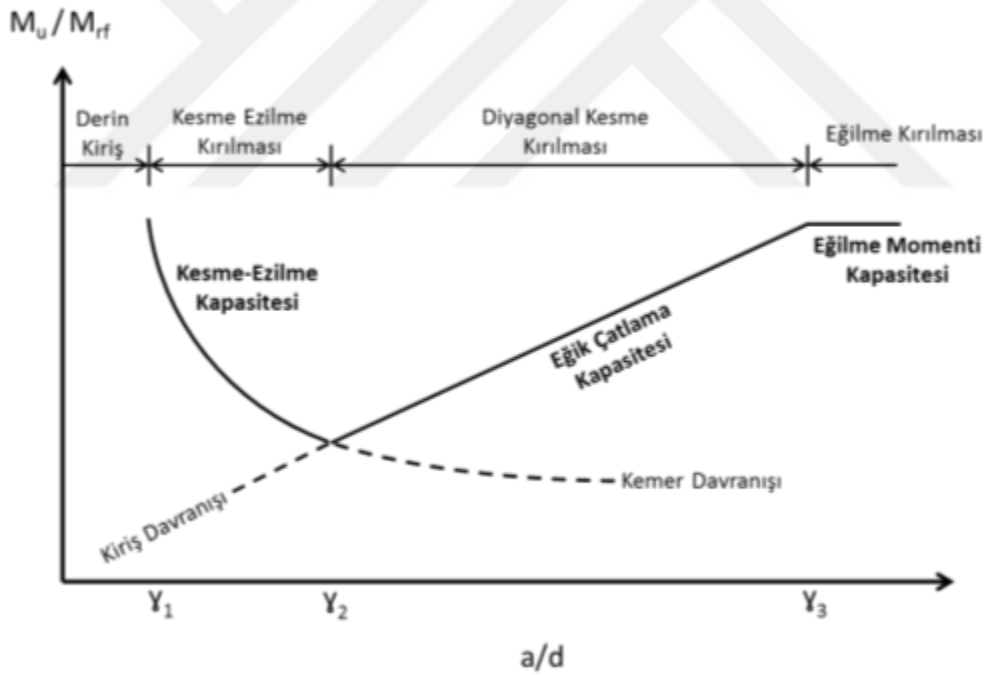
1955 yılında Amerika Birleşik Devletlerinin Ohio Eyaletinde yer alan Shelby kasabasında Wilkins Hava Kuvvetleri deposunun çatısı, 91,4 cm derinliğine sahip ve yalnızca çatının ağırlığını taşıyan kirişlerinde meydana gelen kesme kırılması nedeniyle aniden çökmüştür. Çökmeden sonra yapılan hesaplamalarda 20 MPa dayanıma sahip betonarme kirişlerin kritik bölümlerindeki kayma gerilmesinin yalnızca 0,50 MPa olduğu ortaya çıkmıştır. O dönem geçerli olan ACI yönetmeliği; 20 MPa beton sınıfı için 0,62 MPa kesme gerilmesine izin vermektedir. İki yıl sonra çöken elemanı test etmek üzere birtakım deneyler yapılmıştır. Bunun sonucunda aslında kirişin 1 MPa kesme gerilmesine dayanabileceği ancak eksenel yük altında iken kayma kapasitesinin %50 azaldığı fark edilmiştir (Ghannoum, 1998; Birgisson 2011’den).

O tarihlerden bu yana kesme güvenliği ve kesme gerilmeleri sonucu oluşan mekanizmalar hakkında araştırmalar yoğunlaşmış olup, konu ile ilgili çok sayıda araştırma ve çalışma yapılmıştır.

2.2. (a/d) Oranının Kesme Davranışı Üzerine Etkisi

Yine 1960'lı yıllardan itibaren sıkça araştırmalara konu olan kesme konusunda özellikle Kani (1964, 1966, 1967) ile Leondhardt ve ark. (1961) tarafından çok sayıda deney numuneleri ile yapılan çalışmalarda; kesme davranışı ve kırılma türü ile (a/d) oranı arasında yakın bir ilişki olduğu ortaya konmuştur.

(a/d) oranı, kirişin davranışını ve buna bağlı olarak da kırılma tipini belirleyen çok önemli bir parametre olarak ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.1. (a/d) Oranının Davranış ve Kırılma Tipine Etkisi (Kim ve ark., 1996)

Şekil 2.1’de (a/d) oranının eleman davranışı ve kırılma tipine etkisi gösterilmiştir. Grafikteki M_u kırılma anında ulaşılan maksimum moment, M_{rf} ise kirişin eğilmedeki taşıma gücüdür.

(a/d) oranının $a/d > \gamma_3$ olduğu durumlarda asal çekme gerilmeleri çok fazla gelişemediğinden kiriş eğilme kapasitesine ulaşabilecektir.

(a/d) oranının $\gamma_3 > a/d > \gamma_2$ olduğu durumlarda kirişin çekme bölgesinde eksenine dik yönde kesme çatlakları oluşacak ve artan yüklerle birlikte çatlaklar basınç bölgesine doğru eğikleşerek ilerleyecek ve “eğik çatlama” durumu oluşacaktır. Bu noktadan iç kuvvetler bir miktar daha kesme kuvveti taşıyabilecek ve sonra yükün artışıyla çatlak hızla gelişerek ani ve gevrek bir kırılmaya neden olacaktır. Bu kırılma tipi kesme sorunu olarak bilinen gerçek eğik çekme kırılmasıdır.

(a/d) oranının $\gamma_2 > a/d > \gamma_1$ durumlarda ise; eğik çekme çatlaklarının gelişimi bir noktadan sonra yerel basınç gerilmeleri tarafından engellenir. Kiriş çatlamış olmasına rağmen bir miktarda yük taşımaya devam eder. Oluşan bu yeni durumda yük ile mesnet arasında yük aktarımı sağlanır ve kiriş gövdesi bir basınç çubuğu gibi davranır. Yükün artışı ile de basınç bölgesindeki beton ezilerek kiriş yük taşıma kapasitesine ulaşır. Dolayısıyla bu tip davranışta çatlama yükü ile kırılma yükü birbirinden farklıdır.

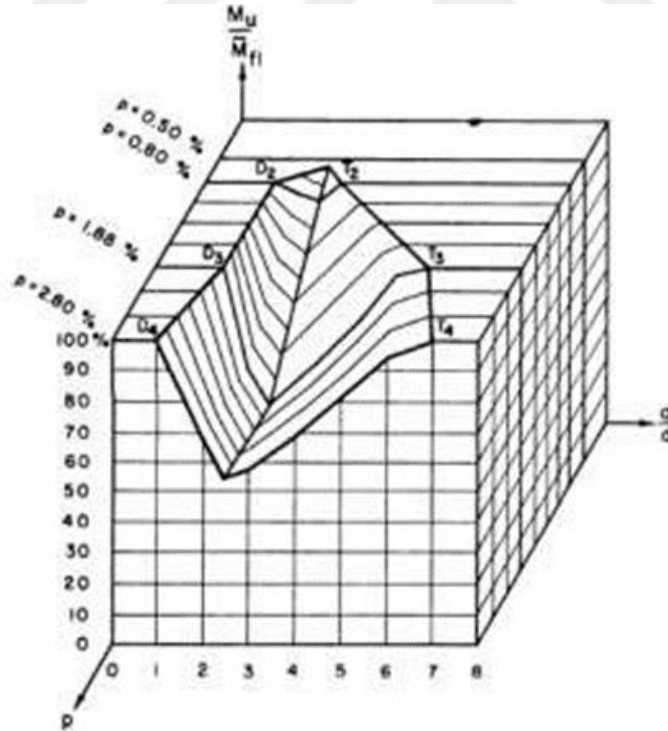
(a/d) oranının $\gamma_1 > a/d$ olduğu durumlarda ise; eğik çatlak oluşana kadar kiriş, benzer yükleme davranışı gösterir ancak eğik çatlak oluşuktan sonra kiriş gergili bir kemer gibi davranmaya başlar. Yük ile mesnet arasında oluşan basınç çubuğu “kemer gövdesi”, boyuna donatı ise “gergi” görevi görmektedir. Bu mekanizmada yük aktarımı çok büyük ölçüde oluşan basınç çubuğu ile sağlanacağından donatıdaki gerilme sabit kalır. Bu nedenle eğilme davranışı gözlenmez ancak kiriş kırılmadan donatı akma konumuna geleceğinden, kirişin eğilme kapasitesine ulaşacağı söylenebilir.

Ayrıca aynı şekilde (a/d) oranının betonarme kirişlerde kırılma tipine olan etkisi gösterilmektedir. (a/d) oranı; çok küçük kirişlerde $(a/d < \gamma_1)$ derin kiriş

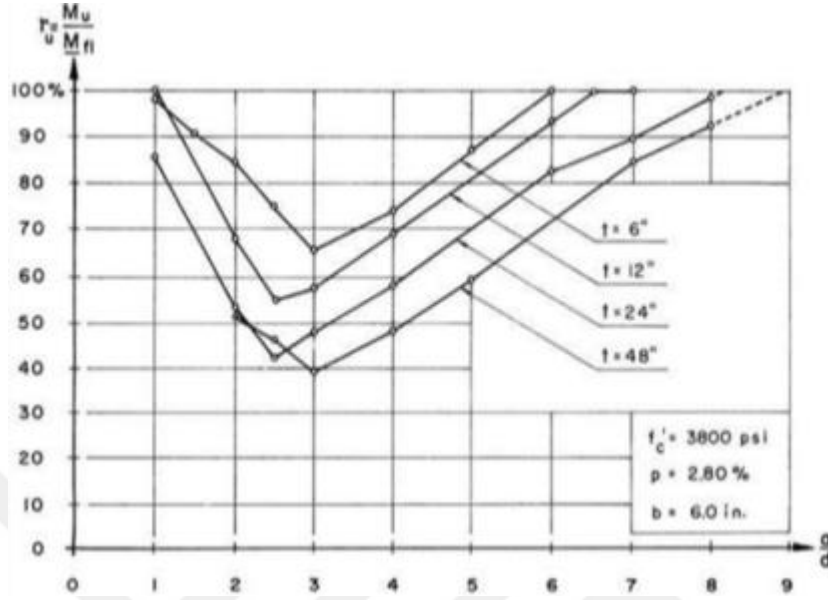
davranışı gözleneceği, γ_1 ile γ_2 arasında olan kirişlerde kesme ezilme kırılması, γ_2 ile γ_3 arasında olan kirişlerde eğik çatlak (diyagonal kesme çatlağı) oluşarak kırılmanın eğik çatlak ile gerçekleşeceği, γ_3 'ten büyük olan kirişlerde ise eğilme davranışı gözleneceği belirtilmiştir.

Şekil 2.1'de γ_1 ve γ_3 arasında kalan kısım “**Kesme Vadisi**” olarak adlandırılmıştır (Kani, 1967). Bu kısım kirişin eğilme kapasitesine ulaşmadan kesme kuvvetinin neden olduğu gerilmeler sonucu kırılmanın kesme etkisinde gerçekleştiği kritik aralık olarak kabul edilmektedir.

Kani (1966 ve 1967) tarafından yapılan çalışmalarda; kesme vadisinin derinliğinin donatı oranı ve faydalı yüksekliğe göre değişeceği belirtilmiştir. Dolayısıyla yukarıda açıklanan ve davranış biçimleri arası geçiş olarak kabul edilen γ_1 , γ_2 ve γ_3 değerlerinin eleman boyutları ve donatı oranının değişimine göre değişeceği ortaya konmuştur.



Şekil 2.2. Kesme Vadisinin Donatı Oranına Göre Değişimi (Kani, 1966)



Şekil 2.3. Kesme Vadisinin Faydalı Yüksekliğe Göre Değişimi (Kani, 1967)

Yukarıda açıklananlar değerlendirildiğinde, (a/d) oranının davranış üzerinde büyük bir etkisi olduğu görülmektedir. Hatta davranışı etkileyen en önemli parametre olduğu ifade edilebilir. Kesme konusunda yapılan neredeyse tüm araştırmalarda, (a/d) oranının davranışa ciddi bir etkisi olduğu ifade edilmektedir.

Şekil 2.1'den de anlaşıldığı gibi (a/d) oranının γ_2 'den küçük olduğu durumlarda, kiriş davranışı ile birlikte yeni bir davranış mekanizması oluşmaktadır. "a" mesafesinin küçük olmasından dolayı çekme çatlaklarının gelişimi basınç gerilmeleri tarafından karşılanır. Bu durumda yük ile mesnet arasında kiriş gövdesinde basınç çubukları oluşur ve yükün aktarımı mesnet üzerine oturan bu basınç çubuğu ile sağlanır. Bu durumda oluşan davranış kemer davranışı olarak ifade edilmektedir. Bu mekanizmada dayanım oluşan basınç çubuğunun dayanımı ile ilgilidir. "a" mesafesinin daha da az olduğu durumlarda ise eğik çatlak oluşumu ile eğilme etkisi neredeyse hiç olmayacağından eğilme davranışı sonucu oluşması beklenen çekme gerilmeleri çok az olacak ve davranışa tamamen kemer davranışı hâkim olacaktır. Derin kiriş davranışı olarak anılan bu tip kirişlerde klasik kiriş davranış geçerli olmayacaktır. Kısaca (a/d) oranı yaklaşık γ_2 'den küçük kirişlerde

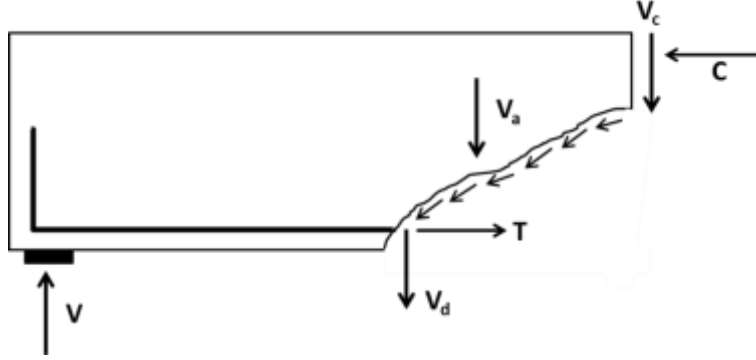
hem kiriş hem de kemer davranışı aynı anda, (a/d) oranı γ_1 'den küçük kirişlerde ise tamamen kemer davranışı gözlemlendiği kabul edilmektedir.

Dolayısıyla kiriş davranışı ile kemer davranışı mekanizmaları birbirlerinden çok farklı olduğundan, belirli bir (a/d) değerinden itibaren davranışın değişeceği kabul edilerek hesap yöntemi de buna göre değişmektedir. Buna bağlı olarak literatürde önerilen birçok bağıntıda ya her iki durum için ayrı ayrı bağıntılar önerilmiştir ya da (a/d) oranının değişimine göre değişen katsayılar eklenmiştir.

Kotsovos (1984 ve 1986) (a/d) oranı 1 ila 2,5 arası olan kirişler için ayrı, 2,5'tan büyük olan kirişler için ayrı çalışmalar yapmıştır. Aynı şekilde Zsutty (1971), (a/d) oranı 2,5'tan fazla olan kirişler için bir bağıntı önermiştir. Kim ve ark. (1996) ile Rebeiz (1999) önerdikleri bağıntılarda ise (a/d) oranına göre değişen değerler eklemiştir.

2.3. Kesme Kuvvetini Dengeleyen Mekanizmalar

Kesme kuvveti etkisi altında çatlamış bir betonarme kirişte kesme kuvveti aktarımına izin veren çeşitli mekanizmalar bulunmaktadır. Bu mekanizmalar; konsol hareketi, çatlamamış kısımdaki betonun çekme dayanımı, kaldırıcı etkisi, çatlak içi kesme gerilmeleri (agrega kenetlenmesi) ve bunların bir birleşimi olarak kemerlenme etkisidir (Cavagnis ve ark., 2018). Şekil 2.4'te uygulanan yüke karşı oluşan iç kuvvetler dengesi gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Çatlamış Bir Betonarme Kesitteki Kesme Transfer Mekanizmaları (Jelic ve ark., 1999)

Şekil 2.4.'te de yer alan " V_d " boyuna donatı tarafından karşılanan kesme kuvvetini (uygulanan kesme kuvveti ile donatının aşağı yönde hareketi engellemesi sonucu gerilmenin neden olduğu etkiye "*kaldıraç etkisi*" denilmektedir), " V_c " betonunun çatlamamış bölgesi tarafından karşılanan kesme kuvvetini, " V_a " ise çatlak içinde yer alan agregalardan dolayı çatlak yüzündeki yer değiştirmeler ile oluşan kesme gerilmeleri toplamının düşey bileşkesini ifade etmektedir. Buna göre toplam kesme kuvveti; $V = V_c + V_a + V_d$ olarak ifade edilir.

Bu mekanizmaların her birinin toplam kesme kapasitesini taşımada ne denli katkısı olduğu ile ilgili Kim ve ark. (1996) tarafından yapılan çalışmada; toplam kesme kuvvetinin yaklaşık %20-40'ının betonunun çatlamamış bölgesi tarafından, yaklaşık %15-25'inin kaldıraç etkisi tarafından ve yaklaşık %33-50 kadarının ise çatlak içi gerilmeleri tarafından karşılandığı belirtilmiştir.

Kesme sorununun tam olarak anlaşılabilmesi için kesme kuvvetinin neden olduğu hasarların ve eğik çatlak oluştuktan sonra oluşan mekanizmaların incelendiği çok sayıda çalışma bulunmaktadır.

Campana ve ark. (2013) tarafından, az miktarda kesme donatısı bulunan kirişlerde yapılan araştırma sonucunda; kesme kuvvetinin çatlak içi gerilmeleri (agrega kenetlenmesi), kesme donatısı, çekme gerilmeleri, kaldıraç etkisi ve basınç çubuğunun eğimine bağlı olduğu, hemen hemen tüm kesme kuvvetinin kaldıraç

etkisi, kesme donatısı ve çatlak içi gerilmelerinin birleşimi tarafından taşındığı, ayrıca eğik çatlak daha dik bir açıyla oluştuğu durumlarda agrega kenetlenmesi, daha az eğimli bir açıyla oluştuğunda ise kaldıraç etkisi ve kesme donatısının daha baskın hale geldiği ve kesme donatısız kirişlerde agrega kenetlenmesinin boyuna donatı olmadığından daha önem kazanacağı belirtilmiştir.

Cavagnis ve ark. (2017) tarafından yapılan çalışmada; etriyesiz betonarme kirişlerin kesme çatlak mekanizmasının anlaşılabilmesi dijital görüntü tekniği kullanılarak toplam 20 kiriş üzerinde çalışılmıştır. Sonuç olarak; çatlamanın yeri ve şekline göre mekanizmalardan bazılarının önem kazandığı bazılarının ise önemini yitirdiği, kinematik ölçüm teknikleri ile her bir mekanizmanın katkısının ölçülebileceği, eğik çatlağın düz olduğu durumlarda agrega kenetlenmesinin ihmal edilebileceği belirtilmiştir.

Muttoni ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada ise; kesme donatısı bulunmayan betonarme kirişler ile tek yönlü döşemelerin kayma dayanımları incelenmiştir. Kayma dayanımı ilk olarak; çatlamamış betonun bulunduğu kısım mesnet, eğilme çatlaklarının bulunduğu alt kısım ise bir konsol gibi düşünülürse bu konsolun dayanımına (yani betonun çatlamamış kısmının çekme dayanımına) çatlak içi gerilmelerine (agrega kenetlenmesi) ve kaldıraç etkisine bağlıdır. Ancak eğik kesme çatlağının oluşması ile bu üç mekanizmaların önemini yitirdiği belirtilmiştir. Eğik çatlağın bir üst kısmında kalan basınç çubuğunun mesnete yük aktarabilmesi halinde elemanın yük taşımaya devam edebileceği bu nedenle eğik çatlak oluşuktan sonra yalnızca kemerlenme etkisinin önem kazandığı, bunun da kritik çatlağın yeri, çatlak genişliği ve agrega boyu ile ilgili olduğu belirtilmiş ve kesme kapasitesinin tahminine yönelik analitik bir model önerilmiştir.

Cavagnis ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmada; kesme donatısı bulunmayan betonarme kirişlerin yük kapasitesini ve eğik çatlağın yerini tahmin etmek üzere kritik kesme çatlağı teorisine uygun mekanik bir model önerilmiş ve literatürdeki sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, çatlak mekaniği ile ilgili

parametrelerin çoğunun şartlara göre değiştiği ve kritik kesme çatlağı teorisi ile uyumlu olduğu ve geliştirilebileceği belirtilmiştir.

Cavagnis ve ark. (2015) tarafından eğik çatlağın gelişimi ile ilgili yapılan çalışmada; Literatürdeki çok sayıda deneysel araştırmaya rağmen gerçekte çatlağın nasıl geliştiği ile ilgili hemen hemen hiçbir kesin bilgi bulunmadığı belirtilerek, 13 adet betonarme kiriş, gerçekte olması muhtemel çeşitli yükleme şartlarında kesme deneyine tabi tutulmuştur. Çatlama tipleri ve bunlarla ilişkili kinematikler, test sırasında ve özellikle kırılma anında yüksek frekanslarda fotogrametrik teknikler kullanılarak ve kesme kırılmasına yol açan gerçek çatlak gelişimi hakkında veri sağlama amacıyla detaylı bir şekilde izlenmiştir. Sonuç olarak; kesme transfer eylemleri ve bunların etkileri hakkında yapılan araştırmalarda çatlak oluşuktan sonra oluşan mekanizmalarla birlikte, çatlak oluşumunun öncesi ve tam oluşumunun da incelenmesi gerektiği ifade edilmiştir. Çatlağın detaylı analizi ve takibi için fotogrametri tekniğinin çok uygun bir yöntem olduğu, deneysel sonuçlara göre çok farklı çatlama çeşitleri oluşabileceği, eğilme sonucu oluşan çatlağın yeri, eğimi ve genişliğinin kesme dayanımında büyük rol oynadığı ve çatlak açısının kesme kuvvetinin seviyesinden etkilendiği belirtilmiştir. Ayrıca çalışmanın çatlak kinematığı ile ilgili rasyonel modeller geliştirilmesine katkı sağlayacağı ifade edilmiştir. Test sonuçlarına göre, kayma dayanımının tutarlı bir şekilde modellenmesi prensip olarak tüm potansiyel kayma aktarım eylemlerinin yanı sıra çatlama durumuna, çeşidine ve çatlak gelişimine bağlı olacak şekilde hesaba katılması gerektiği de ifade edilmiştir.

Ruiz ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada; çatlak içi kesme gerilmeleri ile beton çatlamamış kısmındaki çekme gerilmelerin etkisinin eğik çatlak oluşumu ile ortaya çıktığı ve çatlak genişliği arttıkça bu etkilerin azalacağı belirtilmiştir. Ayrıca yine aynı çalışmada; kesme transfer mekanizmalarını simüle eden mekanik modellere göre narin kirişlerde tüm mekanizmaların aynı fiziksel parametrelerden (beton basınç dayanımı, eleman boyutları, boyuna donatı ve donatı oluşan gerilmeler ile maksimum agrega boyutu) etkilendiklerini göstermiştir.

Ayrıca çalışmada kritik kesme çatlağının gelişimi ile bu parametrelerin tamamının etkisinin azaldığı ifade edilmiştir.

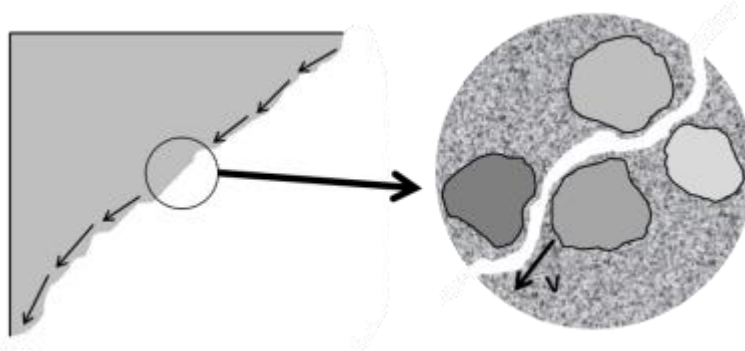
2.3.1. Çatlamamış Betonun Çekme Dayanımına Katkısı

Kesme donatısı bulunmayan betonarme bir kirişte, eğik çatlak meydana geldikten sonra çatlayan bölgenin üst kısmında kalan çatlamamış betonun çekme mukavemeti bir miktar kesme kuvveti taşımaya devam eder. Yük arttıkça çatlak içi gerilmelerin taşıyacağı kesme kuvveti miktarı azalacak, bunun sonucu olarak boyuna donatıda (V_d) ve beton basınç bölgesindeki (V_c) kesme kuvveti artacak ve kırılma bu bölgeden gerçekleşecektir (Birgisson, 2011). Kesit çatladıktan sonra tarafsız eksenin konumu betonun elastisite modülüne ve boyuna donatı oranına bağlıdır. Çeliğin elastisite modülünün neredeyse sabit olduğu göz önünde bulundurulduğunda çatlamamış kesit tarafından taşınan kesme kuvveti beton basınç dayanımı ve boyuna donatı oranına bağlı olacaktır (Kim ve ark., 1996).

Çatlamış bir kesitte, çatlağın üst kısmında kalan betonun çekme dayanımını hesaplamaya yönelik Hordijk (1992) tarafından önerilen bağıntı bu konuda yapılan çalışmalarda genel anlamda kabul görmüştür (Campana ve ark., 2013; Cavagnis ve ark. 2017).

2.3.2. Çatlak İçi Kesme Gerilmeleri

Kesme donatısı bulunmayan betonarme bir kirişte, eğik çatlak meydana geldikten sonra oluşan çatlağın iç kısmında yer alan agrega yüzeylerinin pürüzlü olması nedeniyle çatlağın her iki tarafının birbirlerine göreli yer değiştirmeleri kesme kuvvetini dengelemeye yardımcı olacaktır (Ersoy ve Özcebe, 2012). Yapılan araştırmalar, çatlamış bir kesitte oluşan kesme kuvvetinin büyük kısmının agrega yüzeylerinde oluşan kesme gerilmeleri tarafından karşılandığını göstermektedir (Ziara, 1993; Kim ve ark., 1996; Birgisson, 2011).



Şekil 2.5. Agregayüzeyleri ve Çatlak Gelişimi (Collins ve ark., 1996)

Aynı şekilde oluşan çatlakın ilerlemesi sırasında beton içerisinde yer alan agregaların, çatlakın ilerleyişine direnç göstermesi nedeniyle agregaçapının büyüklüğü de kesme gerilmelerinin büyüklüğünü etkileyecektir. Sherwood ve ark. (2007) tarafından normal ağırlıklı ve yüksekliği 140 cm olan kirişler kullanılarak yapılan çalışmada; maksimum agregaçapı 9,5 mm'den 51 mm'ye arttırıldığında kesme direncinin % 24 arttığı, yüksekliği daha küçük kirişlerde (d=28 cm) bu artışın % 6 olduğu belirtilmiştir.

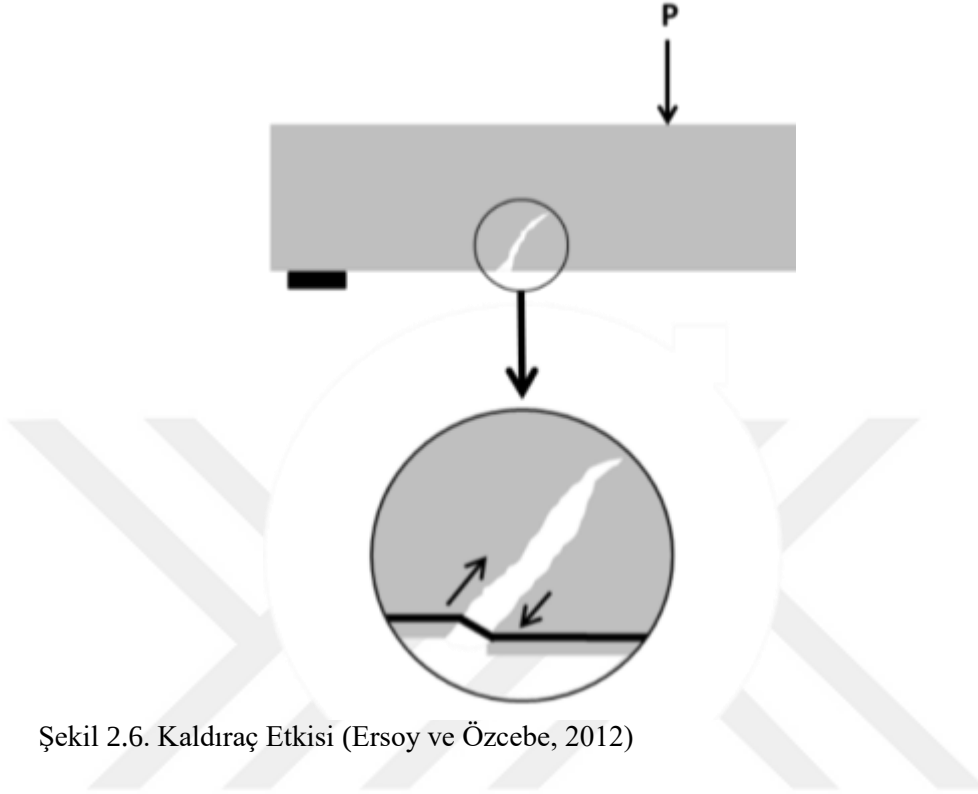
Cavagnis ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada; çatlak içi gerilmelerinin, temelde çatlak geometrisine ve kinematiğine bağlı olduğu belirtilmiştir. Yine aynı çalışmada; yeni çatlaklar geliştikçe bu taşıma mekanizmasının azalacağı, ayrıca mevcut çatlak içi gerilmeleri modellerine göre yapılan analizler ve kırılmadaki çatlama cinsi ve kinematiğini ölçümlerine göre çatlak içi gerilmelerinin kesme transfer mekanizmasında büyük bir rolü olduğu da belirtilmektedir.

Çatlak içi toplam kesme gerilmelerinin hesabına yönelik, pürüzlü yüzeyler arası kayma ve çatlak genişliğine dayalı birtakım yaklaşımlar önerilmiş olup bu konuda tutarlı bir yaklaşım Walvaren (1981) tarafından geliştirilmiştir. Cavagnis ve ark. (2018) Walvaren'in yaklaşımının sayısal analiz gerektirdiği ve kapalı çözüm yapılamadığını ancak ifadenin karmaşık olmasına rağmen belirli açıklık ve kayma

değerleri için aktarılan gerilmelerinin hesaplanmasına olanak sağladığı belirtilmiştir.

2.3.3. Kaldıraç Etkisi

Betonarme bir kirişte kesit çatladıktan sonra çatlağın bir tarafı (mesnete uzak olan tarafı) artan yükün etkisiyle birlikte düşey yönde yer değiştirme yapma eğiliminde olacaktır. Kirişte yer alan boyuna donatı ise çatlağın mesnete yakın diğer tarafından aldığı kuvvet ile bu düşey yer değiştirme hareketini engellemeye çalışacaktır. Bunun sonucunda boyuna donatı, çatlağın bir tarafında oluşan düşey kuvvet ve çatlağın mesnet tarafından buna karşı koyan kısmın oluşturduğu ters yönlü diğer kuvvet sonucunda üzerinde bir miktar kesme kuvveti oluşacak ve bu kuvvet çatlağın mesnete yakın tarafındaki betonu donatı boyunca yırtmaya zorlayacaktır. Donatı üzerinde oluşan bu kesme kuvvetine “Kaldıraç Etkisi” denilmektedir. Kaldıraç etkisinin de elemanın toplam kesme kuvveti dengeleme mekanizmasına katkısı bulunmaktadır.



Şekil 2.6. Kaldıraç Etkisi (Ersoy ve Özcebe, 2012)

Campana ve ark (2013)'ın çalışmasında; kesme donatısı bulunmayan veya çok az bulunan elemanlarda kaldıraç kuvvetinin daha çok önem kazandığı belirtilmiştir. Ayrıca yine aynı çalışmada eğik çatlağın eğimi arttıkça kaldıraç etkisinin öneminin artacağı belirtilmiştir.

Jelic ve ark. (1999) tarafından yapılan çalışmada; Kaldıraç etkisinin çap ve sayıdan bağımsız olarak eğilme donatılarının toplam alanı ile ilgili olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca kaldıraç etkisinin çatlamış bir betonarme kesitte kesme mekanizmasının kayma direncine önemli bir katkısı olmayacağı, kayma direnci için ana bileşenin betonun çekme dayanımı olduğu belirtilmiştir.

Kim ve ark. (1996) tarafından yapılan çalışmada ise; boyuna donatıların sayısı ve düzenlenmesi, eğilme çatlaklarının genişliği ve donatıyı saran beton örtü miktarı gibi faktörlerin kaldıraç hareketini etkileyeceği ancak kaldıraç etkisini

etkileyen ana faktörlerin boyuna donatıların eğilme dayanımı olduğu ifade edilmiştir.

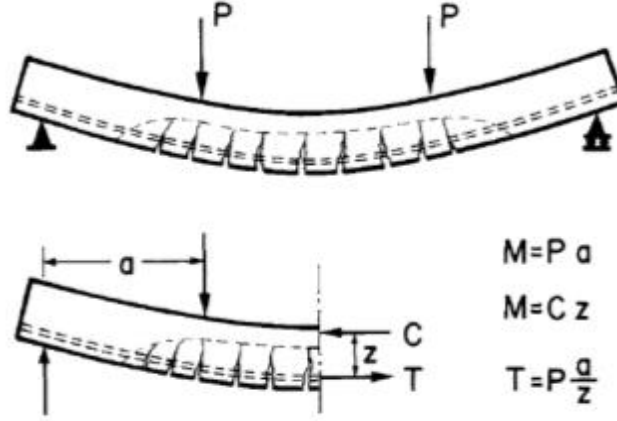
Kolhapure (2013) tarafından kesme donatıları kullanılan numuneler ile yapılan çalışma sonucunda ise; kesme donatıları arası mesafe azaldıkça kaldıraç etkisi ile taşınan kesme kuvveti miktarında artış olacağı belirtilmiştir.

Yine Ruiz ve ark. (2015)'nin yaptığı çalışmada ise; kaldıraç etkisinin narin kirişlerde sınırlı bir katkı göstereceği ancak yine de ihmal edilemeyecek kadar önemli olduğu, bu etkinin donatı çapı ve eleman yüksekliği ile ilgili olduğu belirtilmiştir.

2.3.4. Kemerlenme Etkisi

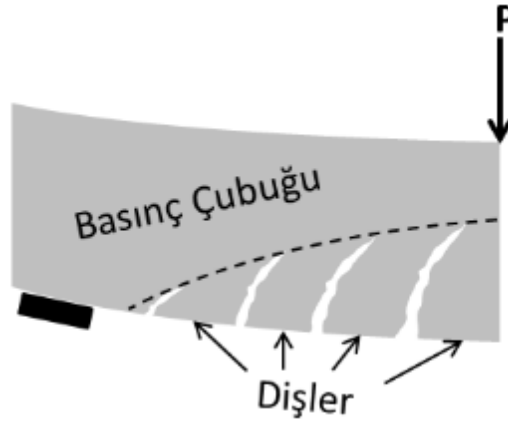
(a/d) oranının kesme davranışına etkisi başlığında bahsedildiği gibi, temelde (a/d) oranı belli bir değeri aştıktan sonra kiriş davranışı, bu değeri altında iken kemer davranışı görülmektedir. Kani (1964)'nin yapmış olduğu çalışmada, artan yük altındaki bir betonarme kirişte çekme bölgesinde eğilme çatlakları ve bu çatlaklar arasında dişler oluşacağını belirtmiştir. Bu dişler, basınç bölgesindeki betona mesnetlenen birer konsol gibi düşünülebilir. Bunun yanı sıra basınç bölgesinden mesnete doğru bir basınç çubuğu da oluşacaktır (Şekil 2.8.).

Elemana uygulanan yük daha da arttığında çatlaklar kiriş üst yüzüne doğru ilerleyecek ve konsol gibi davranan dişlerdeki moment artacağından eğik çatlak gelişimi devam edecektir. Bir noktadan sonra dişler yük taşıma kapasitesini yitirecek ve yük aktarımı bir süre daha yük ile mesnet arasında oluşan basınç çubuğu ile devam edecektir. Bu nedenle kemerlenme etkisinin kesme kuvvetini dengeleyen bir etkisi bulunmaktadır.



Şekil 2.7. Eğilme Çatlakları Sonucu Oluşan Dişler ve Basınç Çubuğu (Kani, 1964)

Oluşan bu yapısal sistemde, çatlaklar arasında yer alan dişlerin taşıma gücü aşıncaya kadar davranışa kiriş davranışı hâkim olurken, dişlerin dayanımı tükendikten sonra davranışa tamamen kemerlenme etkisi nedeniyle kemer davranışı hâkim olacaktır. Dolayısıyla bu noktadan sonra oluşan basınç çubuğunun dayanımı elemanın kesme dayanımı olacaktır (Kani, 1964).



Şekil 2.8. Kırılma Sonucu Oluşan Basınç Çubuğu ve Dişler (Kani, 1964)

Yine Kani (1964)'nin aynı çalışmasında belirtildiği gibi, (a/d) oranı çok küçük olan kirişlerde kemerlenme etkisiyle tamamen farklı denge mekanizması gerçekleştiği bilinmektedir. Kısa açıklıklı (derin) kiriş davranışı olarak incelenen

bu konu ile ilgili literatürde çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Aynı zamanda kısa açıklı kirişlerde, kiriş davranışından çok kemer davranışı etkili olduğundan oluşan mekanizma ve buna bağlı olarak hesap yöntemleri de tamamen farklı olmaktadır.

Sagaseta ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada; kısa açıklı kirişlerde oluşan mekanizma ve davranışın normal kiriş davranışı ve derin kiriş davranışından önemli ölçüde farklı olduğu ve Kani (1966), Zsutty (1988) ve Reagan (1971) tarafından yapılan çalışmalarda; kiriş etkili yüksekliğinin iki katı mesafeden yüklenen ($a/d=2$) kirişlerde oluşan kemer mekanizması nedeniyle kesme kapasitesinde artış olduğunun gösterildiği belirtilmiştir.

Yine Ruiz ve ark. (2015)'nin yaptığı çalışmada; kemerlenme etkisinin kısa (a/d) oranına sahip kirişlerde çok önemli olduğu, narin kirişlerde kritik kesme çatlağının oluşumu ile basınç çubuğunun eğiminin azalacağını ve kesme çatlağının buna bağlı olarak kemerlenme etkisini azalttığı belirtilmiştir.

2.4. Boyut Etkisi

Betonarme kirişlerde kesme kapasitesini etkileyen bir diğer önemli faktör, elemanın yüksekliği ile ilgili olduğu kabul edilen boyut etkisidir. Literatürde bu konu ile ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında ilk olarak Leonhardt ve Walter (1961 ve 1962) ve Kani (1967)'nin çalışmaları olduğu görülmektedir.

Leonhardt ve ark. (1961, 1962) tarafından yapılan çalışmada; benzerlik yasası gereği tüm malzeme özellikleri oransal olarak sabit tutulduğunda boyutların artışı ile kırılma yükü artışının paralel olması gerektiği ancak farklı yüksekliğe sahip kirişler ile yapılan deney sonuçlarına göre kiriş yüksekliği arttıkça kesme mukavemetinin azaldığı gösterilmiştir. Yapılan iki grup deneyde en küçük ve en büyük yüksekliğe sahip elemanlar arasında %21 ($h=150$ mm ve $h=600$ mm) ve %37 ($h=70$ mm ve $h=280$ mm) düzeyinde farklar ortaya çıktığı belirtilmiştir (Birgisson, 2011).

Aynı şekilde Kani (1967)'nin çalışmasında da eleman yüksekliği arttıkça kesme dayanımının azaldığı açık bir şekilde ortaya konmuştur (Şekil 2.4)

Bazant ve ark. (1991) tarafından yapılan çalışmada; ilk çatlama yükü için boyut etkisinin çok küçük olduğu ve ihmal edilebileceği ancak maksimum yük için güçlü bir boyut etkisi bulunduğu, bu durumun da maksimum yük hesabının gerekliliğini ortaya koyduğu bu nedenle bu hesabın boyut etkisini de içermesi gerektiği ifade edilmiştir.

Zararis ve ark. (2001) tarafından yapılan çalışmada; narin kirişlerdeki boyut etkisinin hesaba katılması için bir düzeltme faktörü elde edilmesi gerektiği ve boyut etkisinin sadece kiriş faydalı yüksekliğinin boyutuna değil, aynı zamanda (a/d) oranına da bağlı olduğu ifade edilmiştir.

Slowik ve ark. (2014)'nin etriyesiz kirişlerde L/d oranı üzerine yapmış olduğu çalışmada (L : kiriş uzunluğu); aynı (a/d) oranına sahip uzun ve kısa kirişler kullanılarak yapılan deneyler sonucunda; boyut etkisiyle aynı (a/d) oranına sahip kirişlerin farklı davranışlar gösterebileceği, (a/d) davranışı etkileyen ana parametre olmasına karşın, L/d oranının da davranışı etkileyeceği, ayrıca boyut etkisinin

yalnızca derinlikle değil elemanın tüm boyut özellikleri ile ilgili olduğu belirtilmiştir.

Huber ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada ise; etriyesiz ve minimum etriyeli farklı boy ve kesitli toplam 12 adet betonarme kiriş üzerinde deney yapılmıştır. Kesme donatısı kullanımı ile boyut etkisi arasındaki ilişki incelenmiş olup, kesme donatısının boyut etkisini sınırladığı dolayısıyla etriyesiz kirişlerde boyut etkisinin çok daha önemli bir faktör olduğu belirtilmiştir.

2.5. Kesme Kapasitesinin Tahminine Yönelik Çalışmalar

Düşey yüke maruz kalan bir betonarme kirişin kesme dayanımının tahmini ile ilgili genel anlamda kabul görmüş ve tüm dünyada fikir birliğine varılmış bir yöntem bulunmadığından, literatürde kesme dayanımının tahminine yönelik farklı yaklaşımlar ve deneye dayalı formüller veya modeller önerildiği görülmektedir. Bunun yanı sıra önerilen ifadelerin farklı deney koşullarında nasıl sonuç verdiklerinin araştırılmasını konu olan bazı çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazılarına aşağıda kısaca yer verilmiştir.

Arslan (2012 ve 2014) tarafından yapılan çalışmalarda; kesme donatısız betonarme kirişlerin kayma dayanımının tahminine yönelik bir bağıntı önerilmiş olup, ayrıca altı standartta (ACI-318-08, TS500, CSA, NZS, EN1992-1-1:2004, CEB-FIB90) yer alan ve yedi farklı araştırmacının (Zsutty, 1971; Okamura ve ark., 1980; Bazant ve ark., 1984; Kim ve ark., 1996; Collins ve ark., 1999; Rebeiz, 1999; Khuntia ve ark., 2001) önerdiği bağıntılar, toplam 282 deney verisi ile karşılaştırılmış olup, Arslan tarafından önerilen denklemin deneysel sonuçlar ile iyi bir uyum içerisinde olduğu belirtilmiştir.

Bukhari ve ark. (2008) tarafından yüksek dayanımlı kesme donatısız 27 adet betonarme kiriş ile yapılan deney sonuçları ve literatürdeki benzer özelliklere sahip 95 adet numune kullanılarak yapılan analizde, dört standartta (ACI-318-02, CSA, AASTO, CEB-FIB90) yer alan bağıntı ile Zararis (2003) tarafından önerilen bağıntılar incelenmiş ve sonucunda; kayma mukavemeti ve kırılma cinsinin kayma

açıklığı ve donatı oranının bağlı olduğu, (a/d) oranı 2,5'tan küçük örneklerde kayma dayanımlarının yüksek çıktığı, 2,5 ile 6 arasında ise öngörülen sonuçların daha yüksek çıktığı ayrıca donatı oranı %1'den büyük olduğu durumda ACI, küçük olduğu durumlarda Zararis (2003) denkleminin iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Kim ve ark. (1996) tarafından yapılan çalışmada; kesme donatısız betonarme kirişlerin dayanımının tahminine yönelik mekanik temelli rasyonel bir denklem ile basitleştirilmiş bir başka denklem önerilmiş ve ACI-318-89, Zsutty (1971) ve Bazant ve ark. (1987)'nin önerdiği bağıntılarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak önerilen bağıntının karşılaştırılan diğer bağıntılara göre iyi sonuç verdiği ayrıca literatürde yer alan deney verileri ile karşılaştırıldığında denklemin; beton basınç dayanımı, boyuna donatı oranı, (a/d) oranı ve faydalı yükseklik gibi parametrelerin etkilerini doğru tahmin ettiği ifade edilmiştir.

Reddy ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada; (a/d) oranı 1, 2, 3 ve 4 olan toplam 8 adet yüksek dayanımlı ve kesme donatısız kiriş kullanılarak iki noktalı yükleme deneyi yapılmış ve deneyde elde edilen sonuçlar literatürde yer alan 2 araştırmacının (Zsutty, 1968; Bazant, 1987) önerdiği denklemler ve 3 standartta (ACI, CSA ve CEP-FIP Model) yer alan denklemlerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak (a/d) oranının 2'den küçük olduğu durumlarda kemerlenme mekanizmasının bir sonucu olarak kesme dayanımının çok arttığı, önerilen denklemlerin (a/d) oranı ancak 2'den fazla olduğu durumlarda iyi sonuçlar verdiği, diğer durumda sonuçlar arasında büyük farklılıklar olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Zsutty (1968) tarafından önerilen denklemin kesme donatısız yüksek mukavemetli betonarme kirişlerin kayma dayanımlarının öngörülmesi için basitleştirilmiş bir denklem olduğu ve test verilerine en mükemmel uyumu sağladığı belirtilmiştir.

Russo ve ark., (2005) tarafından yapılan çalışmada ise kesme donatısı bulunmayan betonarme kirişler için kayma dayanım formülü önerilmiş ve literatürde yer alan 917 deney sonucu kullanılarak üç standart (Eurocode, CEN 1992; AASHTO Standards, 1999; ACI Code, 2002) ve beş araştırmacı (Zsutty,

1971; Bazant ve ark., 1987; Kim ve ark., 1996; Nielsen, 1998 ve Rebeiz, 1999) tarafından önerilen denklem sonuçları ile karşılaştırılmış ve önerilen bağıntı sonucu elde edilen verilerin üç standartta da yer alan yaklaşımlara göre daha tutarlı olduğu belirtilmiştir.





3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Bu tez çalışmasında toplam 15 adet betonarme kiriş üretilmiştir. Tüm numuneler; ölçüleri 200 x 300 mm x 3000 mm olacak şekilde ahşap kalıplar yardımıyla hazırlanmıştır. 15 adet kirişin 7 adedinde C50 (normal dayanımlı) sınıfı diğer 8 adedinde ise C16 (düşük dayanımlı) sınıfı beton kullanılması hedeflenmiştir. Kirişlerin tamamında 3 adet ϕ 12 nervürlü betonarme demiri boyuna donatı olarak kullanılmıştır. Donatıların alt kısımlarına ise 25 mm'lik plastik paspayı konulmuştur.

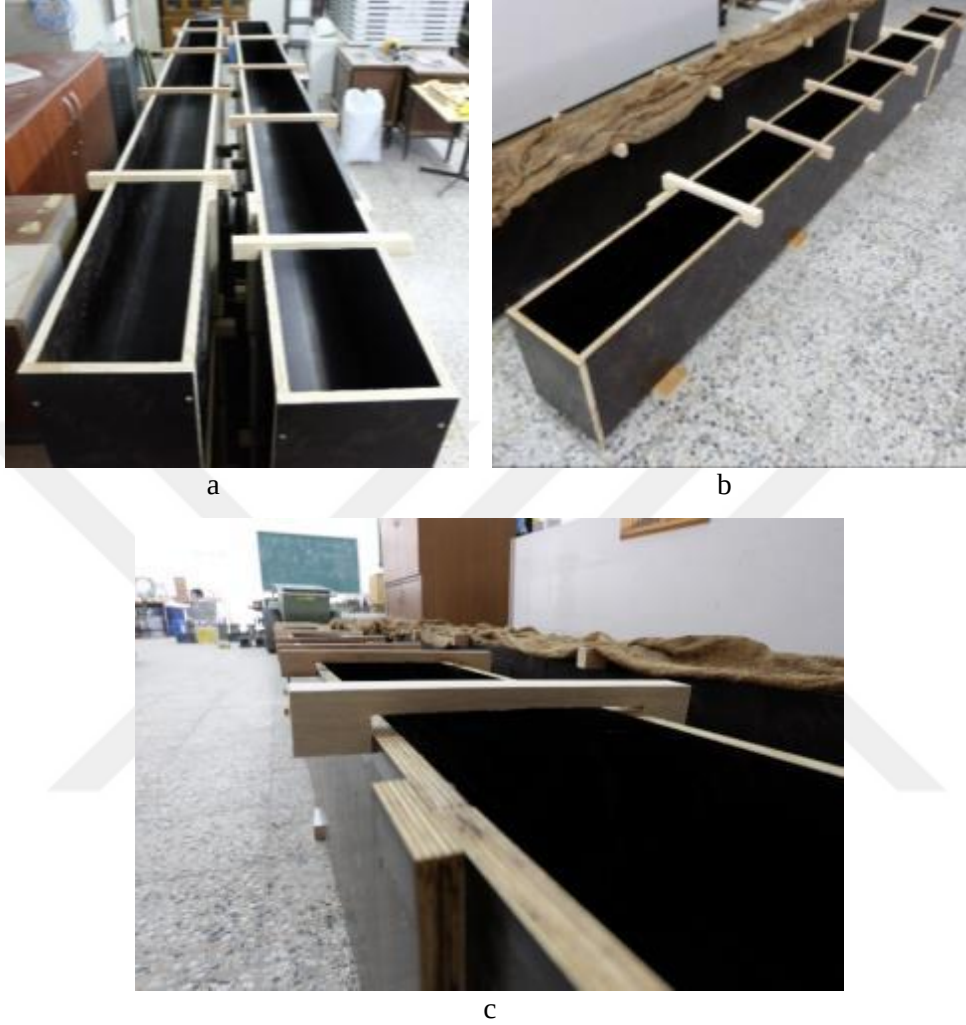
Deneyde kullanılan malzemeler hazır olarak temin edilmiş; kalıpların demonte edilmesi ve tekrar montajı, demirlerin hazırlanması ve beton dökümü gibi yerinde yapılması gereken iş ve işlemler Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında yapılmıştır. Aynı zamanda bahsi geçen işler için laboratuvarında bulunan demirbaş ve makinalardan da faydalanılmıştır. Yine deney kirişleri ile birlikte üretilen silindir, küp ve prizma numunelerin üretimi için daha önceden temin edilen ve laboratuvarında hazır bulunan çelik kalıplar kullanılmıştır. Materyaller ile ilgili detaylara alt başlıklar halinde aşağıda yer verilmiştir.

3.1.1. Kalıp

Bu çalışmada; 200 x 300 mm x 3000 mm boyutlarında kiriş numunelerinin üretimi için plywood kalıp kullanılmıştır. Plywood kalıplar, birtakım kimyasal yapıştırma işlemleri ile en az yedi kat ahşap plakanın preslenmesi ve her iki üst yüzeyinin ince bir film tabakası ile kaplanması ile hazırlanan mekanik dayanıklılığı yüksek, uzun ömürlü, suya dayanıklı ve hafif bir kalıp cinsidir. Özellikle film kaplı yüzeyi sayesinde betona temas eden yüzeylerin düzgün imal edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu sayede beton yüzeylerinde segregasyon (betonu oluşturan agregaların ayrışması ve aralarında boşluk kalması sonucu beton yüzeyinde oluşan

bir çeşit hasar) oluşma riskini azaltmaktadır. Bunun yanı sıra kullanımı kolay ve çelik kalıplara nispeten ucuzdur. Genellikle 1220 veya 1250 mm genişlik, 2440 veya 2500 mm uzunluk ve 12, 15, 18 ve 21 mm kalınlıklarda plakalar şeklinde üretilmektedirler. İnşaat sahalarında ahşap, plastik veya çelik kalıp sistemleri ile desteklenerek çeşitli yapı elemanlarının inşasında ayrıca betonarme elemanların sıvasız şekilde kullanıldığı modern yapılarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kalınlığı 18 mm olan “Woodpeckerply” marka ahşap plywood plakalar, kiriş ölçülerine göre kesilip 50 mm’lik ahşap vidaları ile birbirlerine monte edilerek numune kalıbı haline getirilmiştir. Kalıpların alt yüzeylerinde 2 kat 18 mm’lik plakalar üst üste konup birbirlerine vidalanarak toplam 36 mm’lik sağlam bir taban oluşturulmuştur. Beton dökümü sırasında kalıpların uzun kenarlarında yer alan plakalarda herhangi bir esneme, zorlanma, eğilme gibi istenmeyen bir hareket oluşmasına karşı tedbir almak amacıyla ortalama her bir kalıba en az 4-5 adet olacak şekilde kalıpların üst yüzlerine kolaylıkla konulup çıkarılabilen ters U şeklinde ahşap başlıklar eklenmiştir (Şekil 3.1. c).



Şekil 3.1. Deneyde Kullanılan Kalıp Sistemi

Bu çalışma kapsamında toplam 8 adet kalıp kullanılmıştır. Her bir kalıp iki kez kullanılmış olup, kalıplar beton dökümünden sonra betonun istenilen prizi kazanmasında sonra vida bağlantı noktalarından sökülerek, bir sonraki beton dökümü için temizlenmiş aynı montaj adımları izlenerek tekrardan birleştirilmiştir.

3.1.2. Çelik

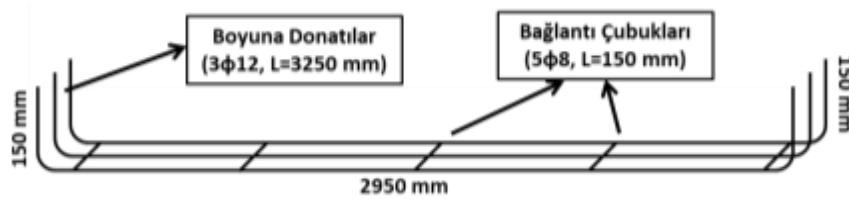
Deney kirişlerinde 12 mm kalınlığında, nervürlü betonarme çeliği kullanılmıştır. Bu betonarme çeliği, TS 708:2010'da belirtilen teknik özelliklere göre üretilen, akma dayanımı en az 420 MPa ve çekme mukavemeti en az 500 MPa olan, S420 çeliğidir. Ülkemizde ve dünyada yaygın olarak kullanılan inşaat çeliği cinsinden birisidir. Üretim çapları 8 mm ile 32 mm arasında değişmekte olup, 12 metrelik uzunluklarda imal edilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan çelikler, istenilen ölçülerde kesilerek ve bükme makinesinde eğilerek kullanıma hazır bir şekilde özel bir firmadan temin edilmiştir.

Bu çalışmada düşük donatı oranına sahip kirişlerin kullanılması hedeflendiği için tüm deney kirişlerinde 3'er adet 12 mm çapta sıcakta haddelenmiş S420 nervürlü betonarme çeliği kullanılmıştır.

Tüm numunelerdeki donatı oranı % 0,62'dir. Numunelerin hiçbirinde enine donatı (kesme donatısı) kullanılmamıştır. Beton dökümü sırasında boyuna donatıların yer değiştirme yapmamaları ve birbirlerine olan mesafelerinin korunması amacıyla, üst kısımlarına 150 mm boyunda ve yine 8 mm'lik nervürlü çelik ile bağ teli kullanılarak bağlantı çubukları yapılmıştır. Bu sayede boyuna donatıların stabilitesinin sağlanması amaçlanmıştır. Her numune için 5 adet bağlantı çubuğu kullanılmıştır.

Ayrıca üretilen kiriş numunelerinin çalışmanın yapıldığı laboratuvarında bulunan tavan vinci yardımıyla taşınması amacıyla her bir kirişe 2 adet olmak üzere 8 mm'lik nervürlü S420 çeliğinden taşıma kancası hazırlanmış ve beton dökümü sırasında numunelere konulmuştur.



Şekil 3.2. Donatı Detayı



a

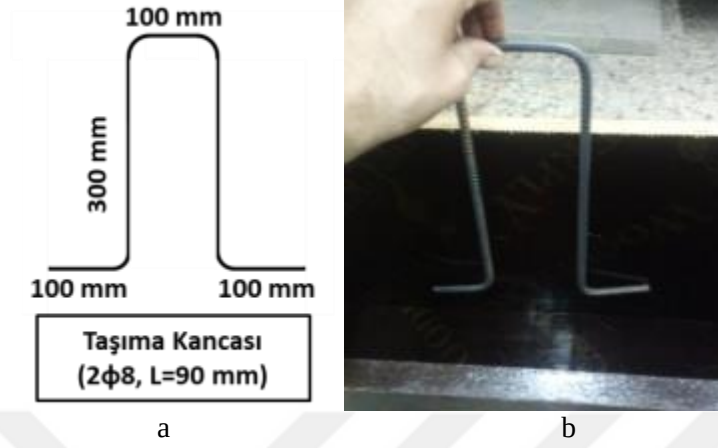


b



c

Şekil 3.3. Donatı Fotoğrafları



Şekil 3.4. Taşıma Kancası (a) Detayı, (b) Fotoğrafi

3.1.3. Paspayı

Bilindiği gibi betonarme elemanların yapısı oluşturan çeliğin; nem, yağmur vb. hava koşullarından korunması ve bu nedenle paslanarak dayanım kaybına uğramasını engellemek ayrıca çeliğin yangına karşı korunması amacıyla beton en dış yüzeyi ile en dıştaki çelik arasında bırakılan mesafedir. TS 500'de betonarme kirişlerde minimum paspayı mesafesi 25 mm olarak tanımlanmıştır.

Bu çalışmada üretilen kirişlerde 25 mm paspayı mesafesi bırakılmış ve bunun için Çim Plastik marka 25 mm'lik plastik paspayı kullanılmıştır. Plastik paspayı, beton dökümü sırasında donatıların hareket etme ihtimalini azaltması ve boşluklu yapısı sayesinde betonun akışına izin vermesi gibi avantajları nedeniyle uzun yıllardır her çeşit betonarme yapının inşasında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu deneyde kullanılacak ürün özel bir firmadan temin edilmiştir.



Şekil 3.5. Beton Dökümü Öncesi Kiriş İçine Yerleştirilen Paspayları

3.1.4. Beton

Bu çalışmada toplam 15 adet kiriş numunesi üretilmiştir. Kirişlerde normal dayanımlı ve düşük dayanımlı olmak üzere iki farklı beton sınıfı (7 adet C50 ve 8 adet C16) kullanılması hedeflenmiştir.

Normal dayanımlı beton karışımında; 0-5 mm, 5-15 mm ve 15-22,4 mm çaplarında kırma agregası, PÇ 52,5 çimento ve su ile birlikte katkı malzemesi olarak uçucu kül ve süper akışkanlaştırıcı; düşük dayanımlı beton karışımında ise yine 0-5 mm, 5-15 mm ve 15-22,4 mm çaplarında kırma agregası, PÇ 42,5 çimento, su ve uçucu kül kullanılmıştır. Normal dayanımlı betonda su/çimento oranı 0,38; düşük dayanımlı betonda ise 1,06 olarak kullanılmıştır.

3.2. Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı

Bu çalışma kapsamında hazırlanan kiriş numuneleri ile silindir, küp ve prizma numunelerin üretimi için toplam 4 farklı beton dökümü yapılmıştır. İlk iki grup beton dökümünde normal dayanımlı, üçüncü ve dördüncü grup beton dökümünde ise düşük dayanımlı betonlar kullanılmıştır. Dolayısıyla 4 farklı grup beton sınıfı elde edilmiştir.

Çizelge 3.1. Üretilen Numunelere Ait Bilgiler

	Üretilen Kiriş (Adet)	Silindir Numune (Adet)	Küp Numune (Adet)	Prizma Numune (Adet)	Slump Değeri (cm)	28 Günlük Ortalama Silindir Basınç Dayanımı (MPa)
1.Grup	4	6	3	2	7,5	49,02
2.Grup	4	6	3	2	22	47,64
3.Grup	4	9	6	2	28	7,32
4.Grup	4	9	6	2	20	18,18

Her bir beton dökümünde 4 adet 200x300x3000 mm ölçülerinde kiriş numunesi ile ayrıca beton teknik özelliklerinin tayin edilmesi amacıyla; 2 adet 100x100x500 mm ölçülerinde prizma numune ve normal dayanımlı betonlarda 6'şar adet, düşük dayanımlı betonlarda ise 9'ar adet 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde silindir numune ile 150x150x150 mm ölçülerinde küp numune üretilmiştir.

Kullanılan beton, özel bir beton üretim santralinde hazırlanmış ve mikser ile Çukurova Üniversitesi Yapı Laboratuvarına taşınarak, pompa kullanılmadan el arabası ve kürek yardımıyla kalıplara doldurulmuştur. Kiriş numunelerinde, beton dökümü sırasında betonun kalıba düzgün ve homojen yerleşmesinin sağlanması amacıyla elektrikli beton vibratörü kullanılmıştır. Silindir, küp ve prizma numunelere ise sarsma tablasında titreşim uygulanarak betonun düzgün yerleşimleri sağlanmıştır. Ayrıca beton dökümü sırasında taze betonun slump değerleri ölçülmüştür (Çizelge 3.1).

Silindir, küp ve prizma numuneler TS EN 12390-2 standardına uygun bir şekilde beton dökümünden yaklaşık 24 saat sonra çelik kalıplardan çıkarılarak kür havuzunda muhafaza edilmiştir. Kiriş numuneleri ise güneş ışığından uzak ve serin bir ortamda muhafaza edilmiş ve ayrıca hidrasyon nedeniyle yaşanacak su

kaybının engellenmesi ve betonun sağlıklı bir şekilde mukavemetini kazanması amacıyla ilk 28 gün boyunca sulama yöntemiyle nemli kalmaları sağlanmıştır.



a



b

Şekil 3.6. Deney Kirişlerinin Hazırlanması



a



b

Şekil 3.7. Deney Kirişlerinin Hazırlanması ve Bakımı



a



b

Şekil 3.8. Deney Numunelerinin Hazırlanması



Şekil 3.9. Deney Numunelerinin Kür Havuzunda Muhafaza Edilmesi

Ayrıca, yalnızca silindir numunelerde, numunelerin üst yüzeylerinde bulunan pürüzlerin düzeltilmesi ve uygulanan yükün düzgün yayılı dağılımının sağlanması amacıyla numunelerin yalnızca pürüzlü üst yüzeylerine kükürt karışım ile kükürt başlık işlemi yapılmıştır.

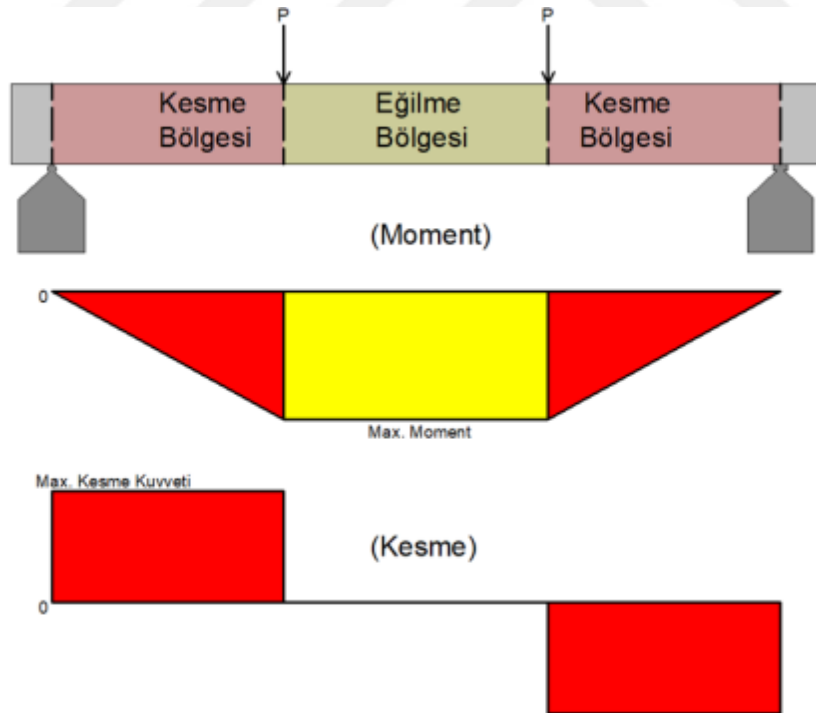


Şekil 3.10. Kükürt Karışımı ile Başlıklama Yapılmış Bir Numune

3.3. Kiriş Numuneleri Deney Düzeneği

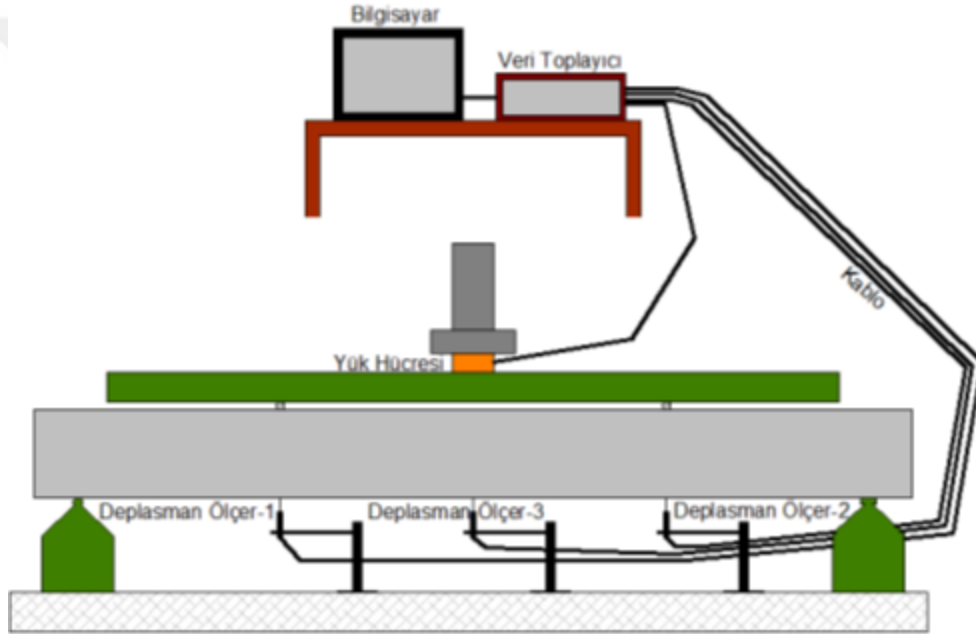
Bu çalışmada üretilen kiriş numunelerinin; eleman boyutları, donatı oranı ve cinsi, paspayı mesafesi gibi özellikleri aynı seçilmiş ve yalnızca beton basınç dayanımları ve (a/d) oranları farklı olarak dört noktalı yükleme deneyine göre yük etkisi altındaki davranışları incelenmiştir. Yükleme noktalarının yeri değiştirilerek farklı (a/d) oranları elde edilmiştir.

Dört noktalı yükleme deneyinde her iki mesnet ile yükler arasında yükleme başladıktan sonra yükün ve mesnet reaksiyonun oluşturduğu ters yönlü kuvvetler sonucu kesme kuvveti ve bir miktar eğilme kuvveti (Şekil 3.11’de kırmızı bölgeler), iki yük arasında ise yalnızca eğilme kuvveti oluşacaktır (Şekil 3.11’de sarı bölge). Kiriş numuneleri üzerinde oluşan çatlaklar tespit edildikleri konuma itibarıyla bu bölgelere göre sınıflandırılacak ve elemanın sağ ve solu bakış yönüne göre nitelendirilecektir.



Şekil 3.11. Dört Noktalı Yüklemede Eğilme ve Kesme Bölgeleri

Bu deney için toplam 200 kN kapasiteli PCM 304 model hidrolik yükleme cihazı, toplam 50 tonf kapasiteye sahip Tokyo Sokki Kenkyujo marka uygulanan yükün ölçümünü sağlayan yük hücresi (load cell), 3 adet Tokyo Sokki Kenkyujo marka CDP-50 model deplasman ölçer (displacement transducer - şekillerde LVDT olarak kısaltılmış olup, İngilizce açılımı; *“linear variable differential transformer”* dir) ile bu dört ölçüm aletin bağlı olduğu ve verilerin dönüştürülerek kaydedildiği Tokyo Sokki Kenkyujo marka TDS-530 model veri toplayıcı (data logger) ile bu verilerin aktarıldığı bir adet masaüstü bilgisayar kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Deneyde Kullanılan Cihazların Şematik Olarak Gösterimi

Çizelge 3.2. Deney Kirişleri Malzeme Özellikleri

Eleman Adı	h	d	b _w	L	a/d	f _c (28 Gün)	f _c (Deney Günü)	Max. Agrega Çapı	ρ
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(MPa)	(MPa)	(mm)	(%)
KI-ND-1-2	300	275	200	270	2,51	49,02	58,63	22,4	0,62
KI-ND-1-3	300	275	200	270	3,13			22,4	0,62
KI-ND-1-4	300	275	200	270	4			22,4	0,62
KI-ND-2-1	300	275	200	270	2	47,64	56,78	22,4	0,62
KI-ND-2-2	300	275	200	270	2,51			22,4	0,62
KI-ND-2-3	300	275	200	270	3,13			22,4	0,62
KI-ND-2-4	300	275	200	270	4			22,4	0,62
KI-DD-3-1	300	275	200	270	2	7,31	15,68	22,4	0,62
KI-DD-3-2	300	275	200	270	2,51			22,4	0,62
KI-DD-3-3	300	275	200	270	3,13			22,4	0,62
KI-DD-3-4	300	275	200	270	4			22,4	0,62
KI-DD-4-1	300	275	200	270	2	18,18	28,32	22,4	0,62
KI-DD-4-2	300	275	200	270	2,51			22,4	0,62
KI-DD-4-3	300	275	200	270	3,13			22,4	0,62
KI-DD-4-4	300	275	200	270	4			22,4	0,62

3.4. Kiriş Numuneleri Deneyinde Kullanılan Metotlar ve Diğer Bilgiler

Kiriş deneylerinde, dört farklı beton basınç dayanımına sahip grup için yine dört farklı yükleme noktası ve dolayısıyla dört farklı (a/d) oranı seçilmiştir. Deney numunelerinin testine 28 günlük beton basınç dayanımı en düşük olan 3. Grup numunelerden başlanmış ve grup içerisinde ise (a/d) oranı en yüksek olan kirişten en düşük olan kirişe doğru bir sıra izlenmiştir. Deney kirişlerinin sonuçları ve bulgularına da aynı sıra ile yer verilmiştir.

Bilindiği gibi tüm kiriş numunelerinin geometrik özellikleri (b_w , d , d' , h , L) aynı olup, farklı (a/d) oranları yalnızca “a” değerinin değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Bu deney düzeneğinde dört farklı a değeri seçilmiş ve her bir kiriş için seçilen deney düzeneği ayrıca numuneye ait başlığın altında şematik olarak gösterilmiştir.

Çizelge 3.3. Deneyde Kullanılan Yükleme Noktaları Ölçüleri

a (cm)	d (cm)	İki Yük Arası (cm)	(a/d) Oranı
110	27,5	55	4
86	27,5	98	3,13
69	27,5	132	2,51
55	27,5	160	2

Ayrıca her bir deney kirişi için yük-deplasman grafiklerine yer verilmiştir. Grafikte yer alan yük değeri yük hücresinde kaydedilen değer olup iki tekil yükte oluşan kuvvetin toplamıdır.

Kiriş numunelerin büyük bir çoğunluğunda (KI-DD-3-4 hariç) deney sırasında detaylı çatlak takibi yapılmıştır. Gözle yapılan kontrolde anlık olarak tespit edilen çatlaklar kiriş üzerine olduğu fark edilen yük ile birlikte not edilmiştir. Bu veriler, video kameralar ve fotoğraf makinesinde elde edilen dijital görüntüler yardımıyla doğrulanarak kontrolleri sağlanmış ve bu şekilde

kaydedilmiştir. Her bir kiriş için işaretlenen bu çatlak izleri, fotoğraflar üzerinde Adobe Photoshop programı yardımıyla kalın fırça ile üzerinden geçilerek gerçek dışı (çatlak kalınlığı bakımından abartılı) fakat görünür bir çatlak izi elde edilmiş olup, her bir numune başlığında “... *Numunesinin Değişimi*” şeklinde yer verilmiştir (KI-DD-3-4 hariç). Bu görsellerde yer alan çatlaklar gerçek çatlak izlerinden yola çıkılarak bilgisayar ortamında oluşturulmuştur. Yine Adobe Photoshop programında kırılma anındaki çatlak genişliği, çatlağın en geniş olduğu kısmı baz alınarak piksel cinsinden ölçülmüştür. Bu ölçüm fotoğraftaki bilinen ölçülerle orantılanarak gerçeğe çok yakın bir ölçü “*mm*” cinsinden elde edilmiş ve numuneye ait başlık altında bu değere yer verilmiştir.

Kiriş numuneleri üzerinde oluşan çatlakların daha kolay takip edilmesi ve renk zıtlığı oluşturarak fark edilmesinin kolaylaşması amacıyla kırıların bakış yönüne göre görünür ön ve arka yüzleri yalnızca kireç ve su karışımı ile kireç badana hazırlanıp tek kat olarak boyanmıştır. Ancak bu işlemin çok küçük kılcal çatlakların görünürlüğünü azaltmış olabileceği değerlendirilerek bu işleme 5. numuneden itibaren son verilmiştir. Bu nedenle test sırasına göre yalnızca ilk dört kiriş numunesine (3. Grup; KI-DD-3-4, KI-DD-3-3, KI-DD-3-2 ve KI-DD-3-1) bu işlem uygulanmıştır.

Her bir numunenin bulgularına yer verilen başlık altında bir çizelge ile deney sonuçlarının genel bir özetine yer verilmiştir. Burada; tespit edilen ilk çatlak yükü, ilk çatlak oluştuğu andaki moment, eğik çatlağın oluştuğu yük, ulaşılan maksimum yük, ulaşılan maksimum moment, kırılma anında oluşan anlık düşey deplasman, toplam maksimum deplasman, kırılma anında oluşan çatlak genişliği, kırılma tipi ve toplam deney süresine yer verilmiştir. Burada kırılma anında oluşan anlık düşey deplasman ölçülürken kırıının orta noktasına yerleştirilen deplasman ölçer baz alınmıştır.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Numune Deneyleri

4.1.1. Silindir Numune Deneyleri

Bu çalışma kapsamında üretilen normal dayanımlı betonlar için 28 günlük, düşük dayanımlı betonlar için ise hem 7 günlük hem de 28 günlük silindir basınç dayanımı testleri yapılmıştır. 28 günlük silindir basınç dayanımlarının aritmetik ortalamaları alınarak hesaplarda kullanılmak üzere karakteristik basınç dayanımları elde edilmiştir. Bunun dışında her bir grup için kiriş numune deneylerinin başladığı günkü basınç dayanımlarının tespiti amacıyla silindir dayanım testleri yapılmıştır.

Tüm silindir numune deneylerinde analog komparatör saati yardımıyla anlık deplasmanlar ve deplasman değerlerine denk gelen yük değerleri okunarak video kamera ile kaydedilmiştir. Bu verilere göre tüm numuneler için gerilme-deformasyon grafikleri elde edilmiştir. Aynı zamanda elde edilen bu grafiklerden yararlanılarak her bir numune için yaklaşık olarak 28 günlük ve her bir grup için kiriş numunelerinin yükleme testinin başladığı gün için elastisite modülleri ve karakteristik basınç dayanımları elde edilmiştir.



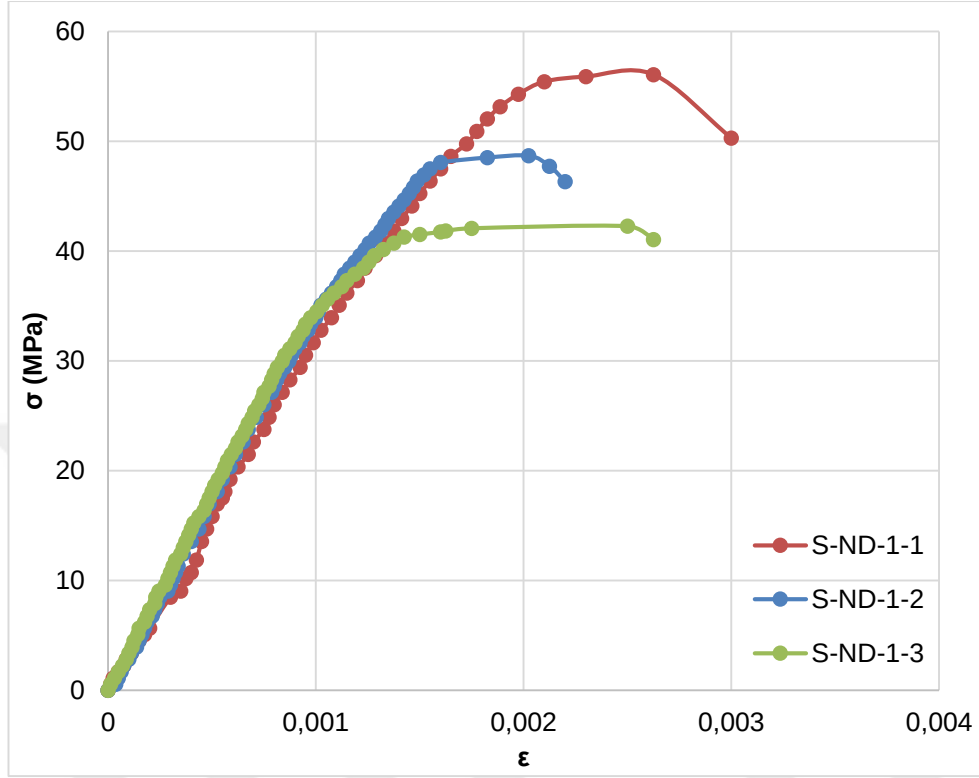
Şekil 4.1. Silindir Numunelerde Kullanılan Komparatör

Çalışmanın başında düşük ve normal dayanımlı olmak üzere C16 ve C50 beton sınıfı elde etmek amaçlanmıştır. Ancak düşük dayanımlı beton sınıfı için planlanan 3. Grupta istenen basınç dayanımı değerlerine 28 gün sonunda ulaşılammıştır. 4. Grupta ise 28 gün sonunda istenen değerin üstü bir sonuç elde edilmiştir. Her bir kiriş grubunun teste tabi tutulmaya başlanan gününde yeniden 3 adet silindir numune ile yapılan uzun vadeli dayanımlarda (ortalama 172 gün ile 250 gün arası); 15,68 MPa, 28,32 MPa, 56,78 MPa ve 58,61 MPa olmak üzere; yaklaşık olarak ikisi normal ile yüksek dayanım sınırına çok yakın, biri normal biri de düşük dayanım olarak esasen 3 farklı beton sınıfı elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında üretilen kiriş numunelerinde kullanılan betonların bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla her beton grubu için alınan silindir numune deneylerinden elde edilen sonuçlara aşağıda yer verilmiştir.

Çizelge 4.1. 1. Grup Silindir Numuneler Deney Sonuçları

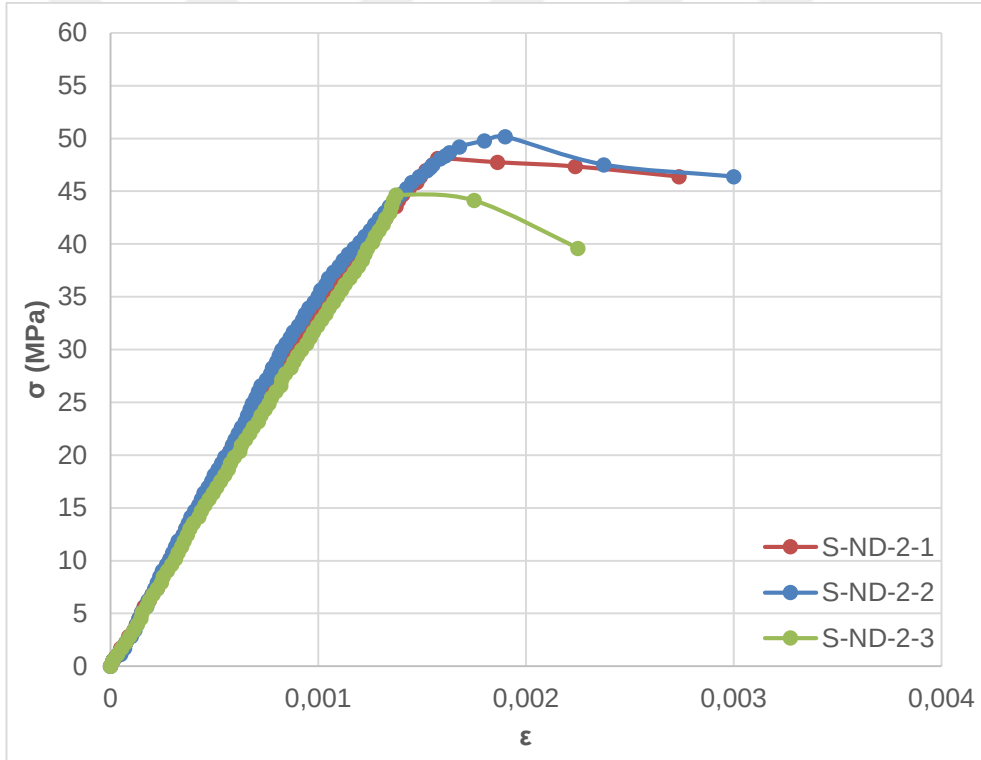
Eleman	Kısaltma	Karakteristik Basınç Dayanımı (MPa)			
		28 Günlük		250 Günlük	
		Sonuç	Ortalama	Sonuç	Ortalama
1.Grup Silindir Numunesi-1	S-ND-1-1	56,07	49,02	54,96	58,61
1.Grup Silindir Numunesi-2	S-ND-1-2	48,70		63,97	
1.Grup Silindir Numunesi-3	S-ND-1-3	42,27		56,90	



Şekil 4.2. 1.Grup Silindir Numunelerin 28 Günlük Gerilme-Deformasyon Grafiği

Çizelge 4.2. 2. Grup (Normal Dayanımlı) Silindir Numune Deney Sonuçları

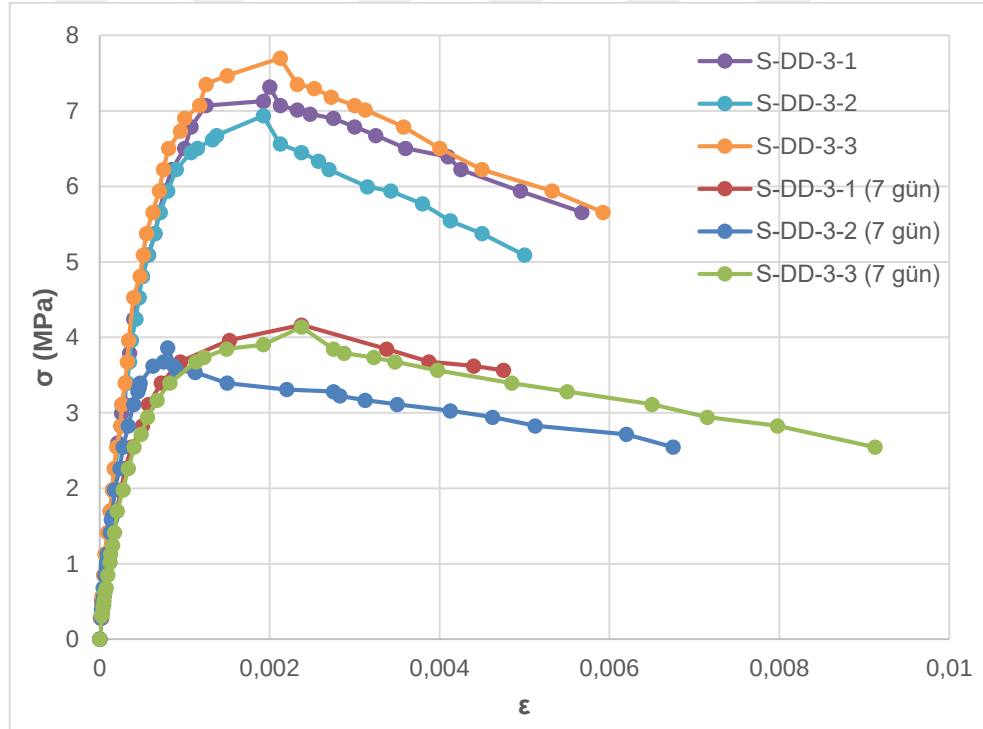
Eleman	Kısaltma	Karakteristik Basınç Dayanımı (MPa)			
		28 Günlük		229 Günlük	
		Sonuç	Ort.	Sonuç	Ort.
2.Grup Silindir Numunesi-1	S-ND-2-1	48,12	47,64	56,13	56,78
2.Grup Silindir Numunesi-2	S-ND-2-2	50,16		55,10	
2.Grup Silindir Numunesi-3	S-ND-2-3	44,63		59,11	



Şekil 4.3. 2.Grup Silindir Numunelerin 28 Günlük Gerilme-Deformasyon Grafiği

Çizelge 4.3. 3. Grup (Düşük Dayanımlı) Silindir Numune Deney Sonuçları

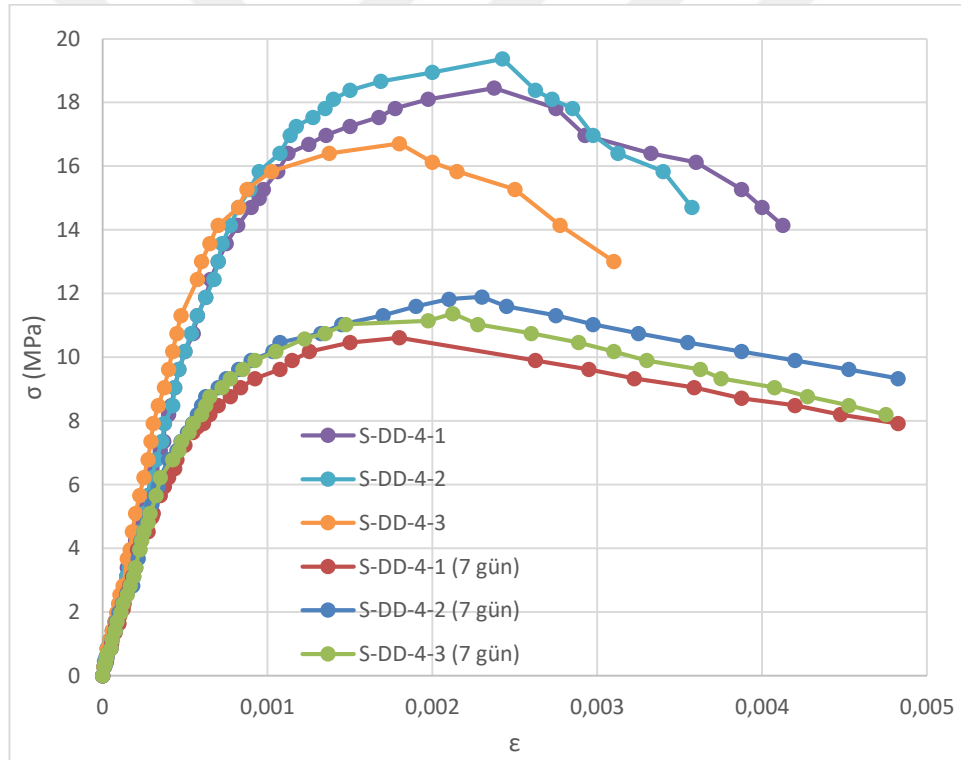
Eleman	Kısaltma	Karakteristik Basınç Dayanımı (MPa)					
		7 Günlük		28 Günlük		176 Günlük	
		Sonuç	Ort.	Sonuç	Ort.	Sonuç	Ort.
3.Grup Silindir Numunesi-1	S-DD-3-1	4,16	4,05	7,32	7,31	13,93	15,68
3.Grup Silindir Numunesi-2	S-DD-3-2	3,87		6,93		17,89	
3.Grup Silindir Numunesi-3	S-DD-3-3	4,13		7,70		15,24	



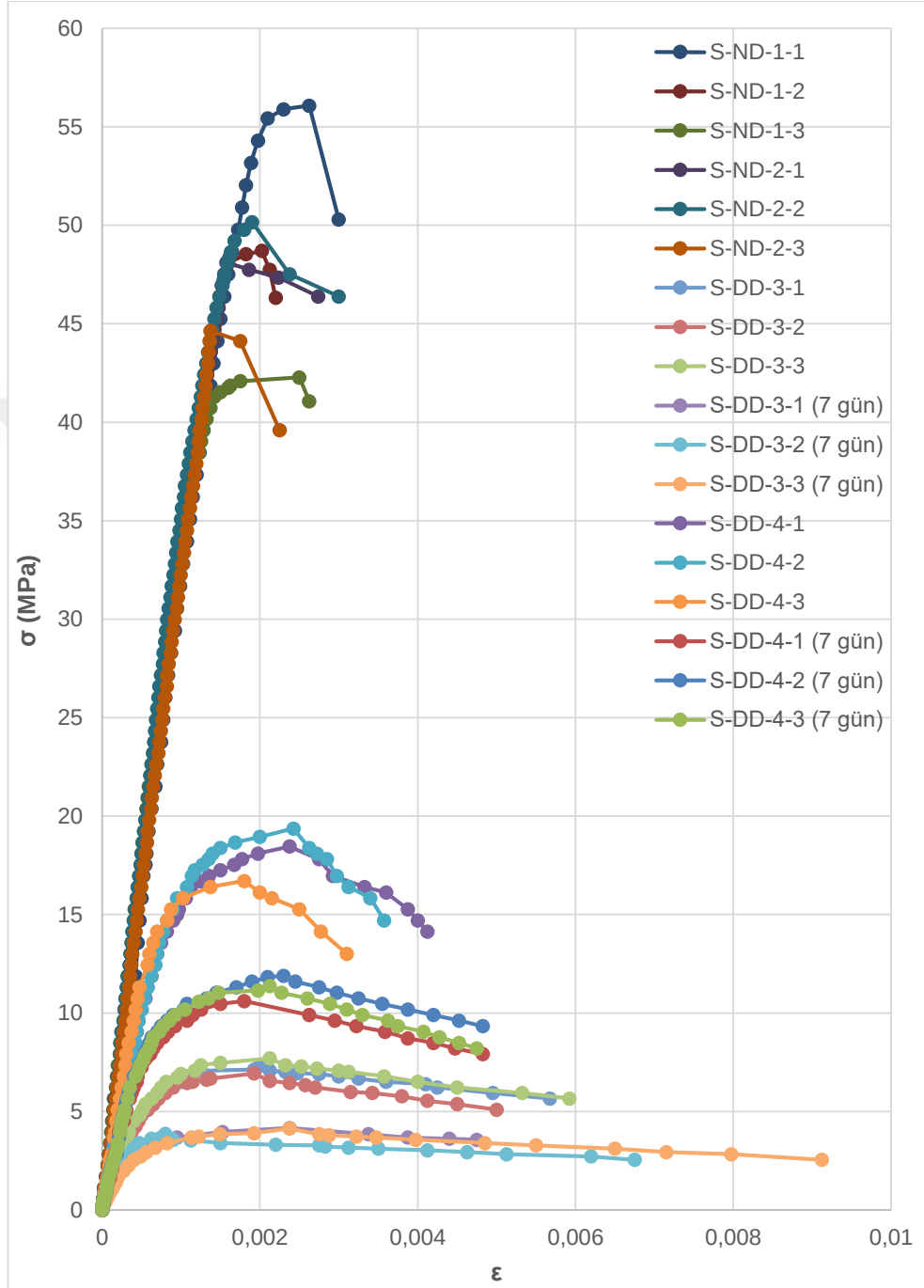
Şekil 4.4. 3.Grup Silindir Numunelerin 7 ve 28 Günlük Gerilme-Deformasyon Grafiği

Çizelge 4.4. 4. Grup (Düşük Dayanımlı) Silindir Numune Deney Sonuçları

Eleman	Kısaltma	Karakteristik Basınç Dayanımı (MPa)					
		7 Günlük		28 Günlük		176 Günlük	
		Sonuç	Ort.	Sonuç	Ort.	Sonuç	Ort.
4.Grup Silindir Numunesi-1	S-DD-4-1	10,61	11,29	18,46	18,18	22,97	28,32
4.Grup Silindir Numunesi-2	S-DD-4-2	11,89		19,37		30,26	
4.Grup Silindir Numunesi-3	S-DD-4-3	11,37		16,71		31,72	



Şekil 4.5. 4.Grup Silindir Numunelerin 7 ve 28 Günlük Gerilme-Deformasyon Grafiği



Şekil 4.6. 7 ve 28 Günlük Tüm Silindir Numunelerin Gerilme-Deformasyon Grafikleri

Her bir silindir numuneye ait gerilme-deformasyon grafikleri kullanılarak, Teğet modülüne göre yaklaşık elastisite modülleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.5). Grafiğin maksimum gerilme değerinin %40'ının, bu değere en yakın ölçülen değere karşılık gelen deformasyon değerine bölünmesi ile yaklaşık olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. Teğet Modülüne Göre Hesaplanan Elastisite Modülü Değerleri

Eleman	Kısaltma	28 Günlük Elastisite Modülü (MPa)		Her Grubun Deney Gün Hesaplanan Elastisite Modülü (MPa)	
		Hesaplanan	Ortalama	Hesaplanan	Ortalama
1.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Silindir Numunesi-1	S-ND-1-1	32323,23	34338,92	38200,18	36728,01
1.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Silindir Numunesi-2	S-ND-1-2	34967,86		37571,28	
1.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Silindir Numunesi-3	S-ND-1-3	35725,68		34412,57	
2.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Silindir Numunesi-1	S-ND-2-1	35288,67	34250,30	-	42080,34
2.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Silindir Numunesi-2	S-ND-2-2	35415,02		43722,25	
2.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Silindir Numunesi-3	S-ND-2-3	33085,57		40438,43	

Çizelge 4.5. Teğet Modülüne Göre Hesaplanan Elastisite Modülü Değerleri
(devamı)

3.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Silindir Numunesi-1	S-DD-3-1	11756,78	11900,40	20569,33	21160,4
3.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Silindir Numunesi-2	S-DD-3-2	11978,61		20285,61	
3.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Silindir Numunesi-3	S-DD-3-3	11965,81		22626,26	
4.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Silindir Numunesi-1	S-DD-4-1	19874,42	21661,37	28282,83	27600,45
4.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Silindir Numunesi-1	S-DD-4-2	20426,49		24888,89	
4.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Silindir Numunesi-1	S-DD-4-3	24683,20		29629,63	

4.1.2. Küp Numune Deneyleri

Yine silindir numunelerde olduğu gibi üretilen normal dayanımlı betonlar için 28 günlük, düşük dayanımlı betonlar için ise hem 7 günlük hem de 28 günlük küp basınç dayanımı testleri yapılmıştır. 28 günlük silindir basınç dayanımlarının aritmetik ortalamaları kontrol edilmesi amacıyla 28 günlük küp numune basınç dayanımlarının aritmetik ortalamaları alınmıştır.

7 ve 28 günlük basınç dayanım testlerinde elde edilen sonuçlar aşağıdaki çizelgelerde gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. 1. Grup (Normal Dayanımlı) Küp Numune Deney Sonuçları

Eleman	Kısaltma	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçülen Değer	Ortalama
1.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Küp Numunesi-1	K-ND-1-1	65,55	57,54
1.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Küp Numunesi-2	K-ND-1-2	42,93	
1.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Küp Numunesi-3	K-ND-1-3	64,133	

Çizelge 4.7. 2. Grup (Normal Dayanımlı) Küp Numune Deney Sonuçları

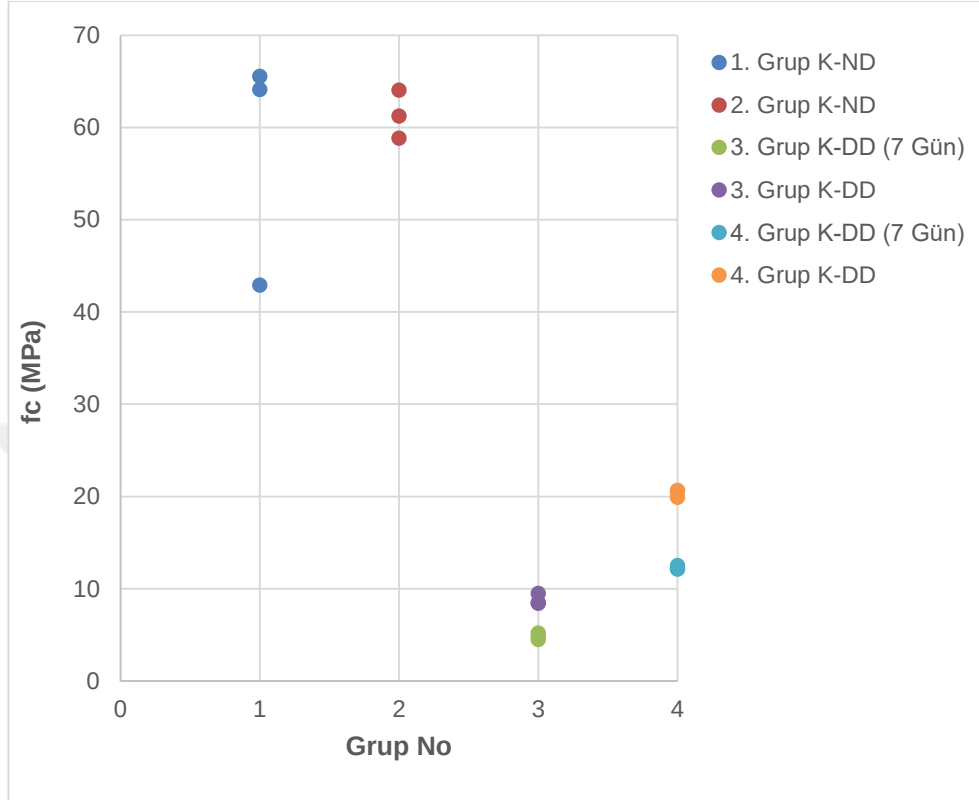
Eleman	Kısaltma	28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçülen Değer	Ortalama
2.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Küp Numunesi-1	K-ND-2-1	58,84	61,37
2.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Küp Numunesi-2	K-ND-2-2	61,24	
2.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Küp Numunesi-3	K-ND-2-3	64,04	

Çizelge 4.8. 3. Grup (Düşük Dayanımlı) Küp Numune Deney Sonuçları

Eleman	Kısaltma	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)		28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçülen Değer	Ortalama	Ölçülen Değer	Ortalama
3.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Küp Numunesi-1	K-DD-3-1	4,78	4,82	8,44	8,82
3.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Küp Numunesi-2	K-DD-3-2	4,50		9,50	
3.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Küp Numunesi-3	K-DD-3-3	5,19		8,51	

Çizelge 4.9. 4. Grup (Düşük Dayanımlı) Küp Numune Deney Sonuçları

Eleman	Kısaltma	7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)		28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	
		Ölçülen Değer	Ortalama	Ölçülen Değer	Ortalama
4.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Küp Numunesi-1	K-DD-4-1	12,51	12,28	20,68	20,39
4.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Küp Numunesi-2	K-DD-4-2	12,15		20,56	
4.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Küp Numunesi-3	K-DD-4-3	12,18		19,93	

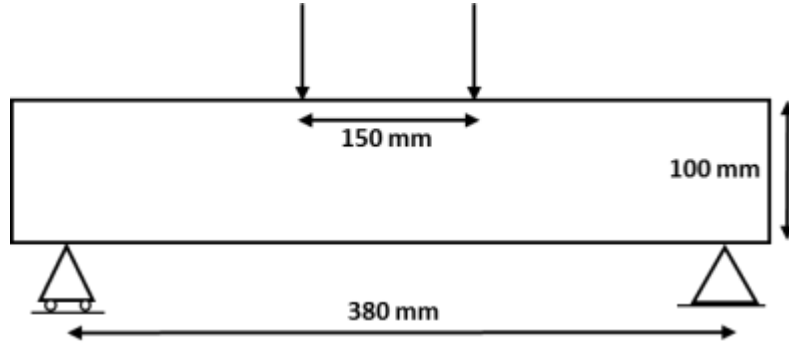


Şekil 4.7. Normal ve Düşük Dayanımlı Küp Numunelerin Deney Sonuçları

4.1.3. Prizma Numune Deneyleri

Prizma numuneler eğilmede çekme dayanımının tespiti amacıyla TS EN 12390-5 standardında yer alan eğilme deneyine tabi tutulmuştur.

Her dört grup beton için ikişer adet prizma numunenin 28. Gününde eğilmede çekme deneyleri yapılmıştır. Kırılma yükü kullanılarak kullanılan betonun eğilmede çekme dayanımı hesaplanmış ve bu iki değer aritmetik ortalaması eğilmede çekme dayanımı olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.8. Prizma Deneyleri Düzenegi

Çizelge 4.10. 1. Grup (Normal Dayanımlı) Prizma Numunelerin Deney Sonuçları

Eleman	Kısaltma	Kırılma Yüğü (kN)		Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	
		Ölçülen Değer	Aritmetik Ortalama	Hesap Sonucu	Aritmetik Ortalama
1.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Prizma Numunesi-1	P-ND-1-1	25,08	24,03	8,65	8,29
1.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Prizma Numunesi-2	P-ND-1-2	22,97		7,92	

Çizelge 4.11. 2. Grup (Normal Dayanımlı) Prizma Numunelerin Deney Sonuçları

Eleman	Kısaltma	Kırılma Yüğü (kN)		Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	
		Ölçülen Değer	Aritmetik Ortalama	Hesap Sonucu	Aritmetik Ortalama
2.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Prizma Numunesi-1	P-ND-2-1	18,62	20	6,42	6,90
2.Grup (Normal Dayanımlı) Beton Prizma Numunesi-2	P-ND-2-2	21,38		7,37	

Çizelge 4.12. 3. Grup (Düşük Dayanımlı) Prizma Numunelerin Deney Sonuçları

Eleman	Kısaltma	Kırılma Yüğü (kN)		Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	
		Ölçülen Değer	Aritmetik Ortalama	Hesap Sonucu	Aritmetik Ortalama
3.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Prizma Numunesi-1	P-DD-3-1	11,06	11,13	3,81	3,83
3.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Prizma Numunesi-2	P-DD-3-2	11,19		3,86	

Çizelge 4.13. 4. Grup (Düşük Dayanımlı) Prizma Numunelerin Deney Sonuçları

Eleman	Kısaltma	Kırılma Yüğü (kN)		Eğilmede Çekme Dayanımı (MPa)	
		Ölçülen Değer	Aritmetik Ortalama	Hesap Sonucu	Aritmetik Ortalama
4.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Prizma Numunesi-1	P-DD-4-1	13,67	13,86	4,72	4,78
4.Grup (Düşük Dayanımlı) Beton Prizma Numunesi-2	P-DD-4-2	14,04		4,84	

4.2. Maksimum Yükün Teorik Olarak Araştırılması

Deney kirişlerinin taşıdıkları malzeme özellikleri ve yükleme koşullarına göre maksimum taşıma kapasitelerinin hesabına yönelik literatürde yer alan bazı çalışmalardaki bağıntılar ile bazı ülkelerce kullanılan standartlarda yer alan bağıntılara göre inceleme yapılacaktır.

Bu çalışmada Zsutty (1971), Bazant ve ark. (1987), Kim ve ark. (1996), Rebeiz (1999) ve Russo (2005) tarafından önerilen kayma dayanımı bağıntılarına göre kiriş numunelerinin maksimum kesme kapasiteleri hesaplanmış ve deney grubundaki diğer iki değişkeni (a/d oranı ve beton sınıfı) de içerecek şekilde aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Bazı Araştırmacılar Tarafından Önerilen Kesme Dayanımı Bağıntıları

No	Kaynak	Bağıntı
1	Zsutty (1971)	$V_u = 2,2 \left(f'_c \rho \frac{d}{a} \right); \text{Eğer } (a/d) \geq 2,5$ $V_u = 2,2 \left(f'_c \rho \frac{d}{a} \right) * \left(2,5 \frac{d}{a} \right); \text{Eğer } (a/d) < 2,5$
2	Bazant ve ark. (1987)	$V_u = 0,54 \sqrt[3]{\rho} \left(\sqrt{f'_c} + 249 \sqrt{\frac{\rho}{a/d^5}} \right) * \frac{1 + \sqrt{5,08/d_a}}{\sqrt{1 + d/(25d_a)}}$
3	Kim ve ark. (1996)	$V_u = 3,5 f'_c{}^{\alpha/3} \rho^{3/8} (0,4 + d/a) * \left(\frac{1}{\sqrt{1 + 0,08d}} + 0,18 \right)$ Eğer $(a/d) \geq 3$ ise $\alpha = 1$ Eğer $1 \leq (a/d) < 3$ ise $\alpha = 2 - (a/d)/3$
4	Rebeiz (1999)	$V_u = 0,4 + \sqrt{f'_c \rho \left(\frac{d}{a} \right) * (10 - A_d)};$ Eğer $(a/d) \geq 2,5$ ise $A_d = 2,5$; Eğer $(a/d) < 2,5$ ise $A_d = (a/d)$
5	Russo (2005)	$V_u = 1,13 \xi \left[\rho^{0,4} f'_c{}^{0,39} + 0,5 \rho^{0,83} f_{yl}{}^{0,89} \left(\frac{a}{d} \right)^{-1,2-0,45(a/d)} \right]$ $\xi = \frac{1 + \sqrt{5,08/d_a}}{\sqrt{1 + d/(25d_a)}}$

Çizelge 4.15. Araştırmacıların Bağlıntılarına Göre Hesaplanan Kesme Kuvvetleri

Eleman Adı	a/d	f _c (MPa)	Zsutty (1971) (kN)	Bazant ve ark. (1987) (kN)	Kim ve ark. (1996) (kN)	Rebeiz (1999) (kN)	Russo (2005) (kN)	Deney Sonucu (kN)
KI-ND-1-2	2,51	58,63	63,45	63,35	63,85	74,22	60,36	45,16
KI-ND-1-3	3,13	58,63	58,96	57,88	59,03	68,77	53,41	52,75
KI-ND-1-4	4	58,63	54,32	54,45	53,30	63,35	49,68	40,99
KI-ND-2-1	2	56,78	84,63	72,40	114,38	114,09	71,94	74,97
KI-ND-2-2	2,51	56,78	62,78	62,55	80,76	73,38	59,76	51,61
KI-ND-2-3	3,13	56,78	58,33	57,08	58,40	68,03	52,81	50,63
KI-ND-2-4	4	56,78	53,74	53,65	52,74	62,70	49,08	41,40
KI-DD-3-1	2	15,68	55,11	48,85	64,56	70,39	53,22	52,59
KI-DD-3-2	2,51	15,68	40,88	39	49,03	49	41,04	48,83
KI-DD-3-3	3,13	15,68	37,99	33,53	38,03	46,19	34,09	44,34
KI-DD-3-4	4	15,68	35	30,11	34,34	43,99	30,36	34,62
KI-DD-4-1	2	28,32	67,12	57,82	83,96	87,04	60,06	60,10
KI-DD-4-2	2,51	28,32	49,79	47,97	61,66	58,92	48,49	64,35
KI-DD-4-3	3,13	28,32	46,26	42,50	46,31	54,51	41,54	52,92
KI-DD-4-4	4	28,32	42,62	39,07	41,82	50,74	37,81	39,77

Ayrıca TS 500, Eurocode 2 ve ACI'da kesme donatısız betonarme kirişler için önerilen bağıntılar kullanılarak hesaplanan kesme dayanımları ile deney sonucunda elde edilen veriler karşılaştırılmıştır.

ACI ve Eurocode'de yer alan bağıntılarda beton basınç dayanımı yer alırken TS500'de yer alan bağıntıda betonun çekme dayanımı yer almaktadır. Bu çalışma kapsamında üretilen kirişlerde kullanılan her bir beton sınıfı için eğilmede çekme dayanımı tayini yapıldığından, TS500'deki bağıntı hem TS500'deki çekme dayanımı formülü ile hem de eğilmede çekme dayanımı sonucunda elde edilen değer kullanılarak hesaplanmıştır. Deney sonucunda elde edilen çekme dayanımı kullanılarak hesaplanan sonuçlar Çizelge 4.17'de **"TS500"** olarak yer almaktadır.

Çizelge 4.16. Bazı Standartlarda Yer Alan Kesme Dayanımı Bağıntıları

No	Kaynak	Bağıntı
1	TS500 (2000)	$V_{cr} = 0,65 f_{ctd} b_w d$; (Eksenel deformasyon ihmal edilmiştir) $V_c = 0,8 V_{cr}$ ve $f_{ctd} = f_{ck}/1,5$
2	EN 1992-1-1 (2004)	$V_{Rd,c} = \left[C_{Rd,c} * k * (100 * \rho * f_c)^{\frac{1}{3}} \right] * b_w * d$; $C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c$; $\gamma_c = 1,5$ (normal dayanımlı beton için) ; $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2,0$; $\rho \leq 0,02$ (Eksenel deformasyon ihmal edilmiştir)
3	ACI-318 (2019)	$V_c = 0,17 * \lambda * \sqrt{f_c} * b_w * d$ $\lambda = 1$ (normal yoğunluklu betonda)

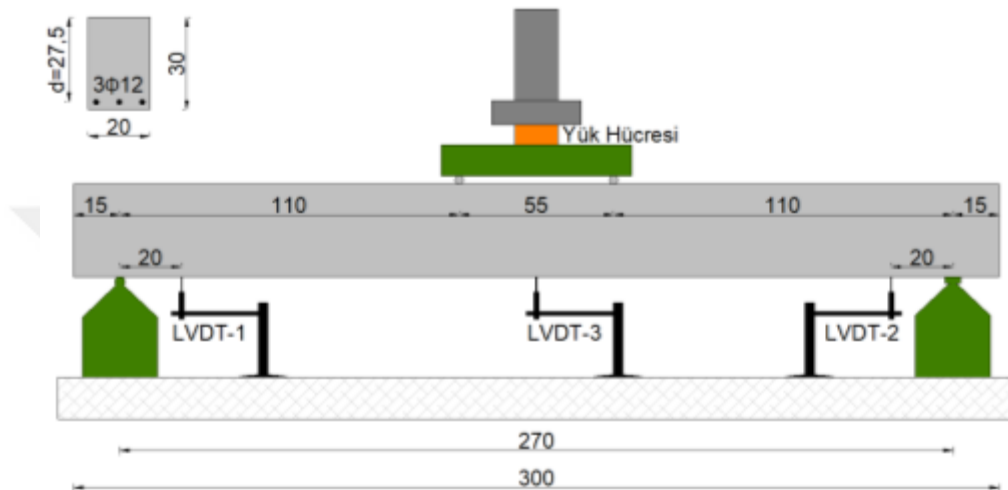
Çizelge 4.17. Deney Numunelerine Ait Özellikler ve Bazı Standartlarda Yer Alan Bağıntılara Göre Hesaplanan Kesme Kuvvetleri

Eleman Adı	a/d	f _c (MPa)	TS500 (kN)	TS500* (kN)	EN (kN)	ACI (kN)	Deney Sonucu (kN)
KI-ND-1-2	2,51	58,63	51,10	78,94	43,98	71,59	45,16
KI-ND-1-3	3,13	58,63					52,75
KI-ND-1-4	4	58,63					40,99
KI-ND-2-1	2	56,78	50,29	65,78	43,51	70,45	74,97
KI-ND-2-2	2,51	56,78					51,61
KI-ND-2-3	3,13	56,78					50,63
KI-ND-2-4	4	56,78					41,40
KI-DD-3-1	2	15,68	26,43	36,42	28,33	37,02	52,59
KI-DD-3-2	2,51	15,68					48,83
KI-DD-3-3	3,13	15,68					44,34
KI-DD-3-4	4	15,68					34,62
KI-DD-4-1	2	28,32	35,51	45,57	34,50	49,76	60,10
KI-DD-4-2	2,51	28,32					64,35
KI-DD-4-3	3,13	28,32					52,92
KI-DD-4-4	4	28,32					39,77

4.3. Kiriş Deneyleri Bulguları

4.3.1. 3.Grup Kiriş Deneyleri

4.3.1.1. KI-DD-3-4 Kirişi Deney Bulguları



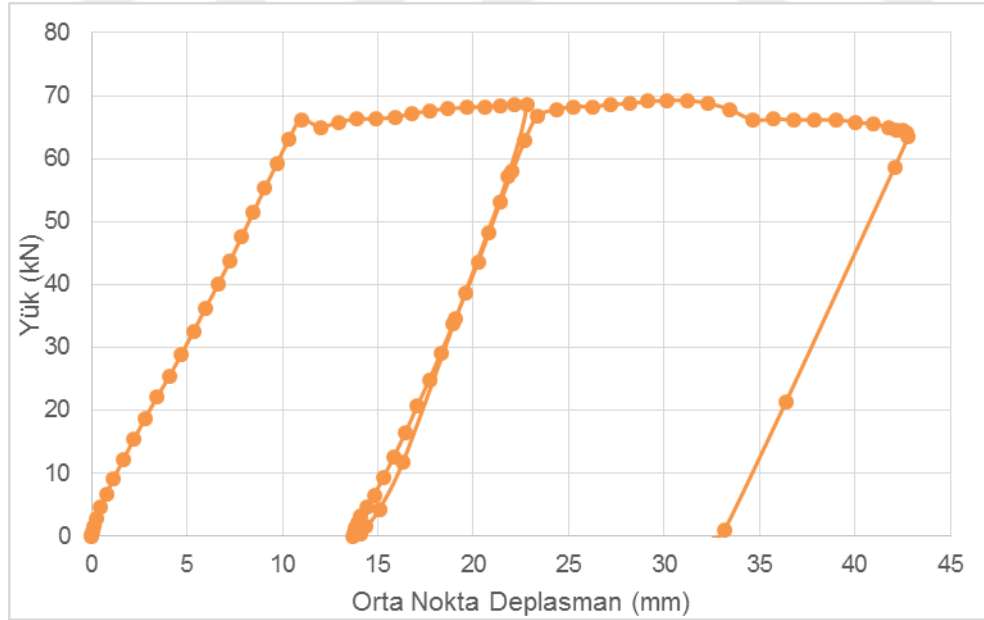
Şekil 4.9. KI-DD-3-4 Numunesi Deney Düzenegi

Çizelge 4.18. KI-DD-3-4 Numunesi Sonuçları

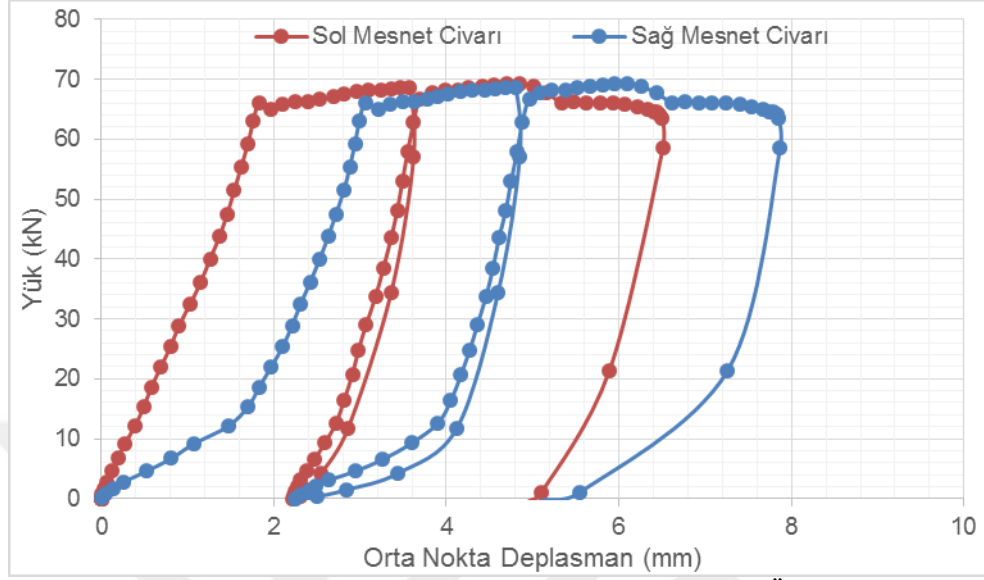
Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	60
İlk Çatlak Oluştuğı Andaki Moment	kNm	33
Eğik Çatlağın Oluştuğı Yüğü	kN	-
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	69,25
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	38,09
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	-
Toplam Maksimum Deplasman	mm	42,78
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliğı	mm	2,10
Kırılma Tipi	Eğilme (Sünek)	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	09:28

Çizelge 4.19. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yüklemeye Başladı			
60	Kirişin orta noktası ile sağ yandaki yük arasında dik yönlü eğilme çatlakları oluştuğu gözlemlendi	1	Eğilme
62	Kirişin orta noktası ile sol yandaki yük arasında dik yönlü eğilme çatlakları oluştuğu gözlemlendi	2	Eğilme
68 kN Yük Eleman Üzerindeyken Yüklemeye Durduruldu			
0 kN'dan yeniden Yüklemeye Başladı			
66	1 ve 2 nolu çatlakların arasında yaklaşık kirişin tam orta noktasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	3	Eğilme
68	1 nolu çatlakların donatı yöresinde çok sayıda küçük çatlak oluştuğu gözlemlendi	1	Eğilme
69,25	68 kN'dan itibaren ani olmayan bir şekilde kirişin üst yüzünde beton basınç bölgesinde ezilme çatlakları oluştuğu gözlemlendi	4	Yük Altı
Yüklemeye Durduruldu			



Şekil 4.10. KI-DD-3-4 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiki

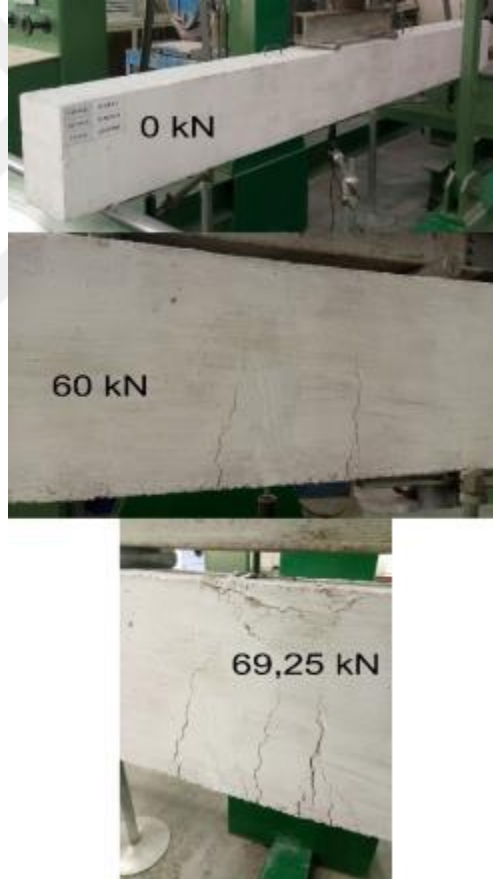


Şekil 4.11. KI-DD-3-4 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği

KI-DD-3-4 numunesi, deney kirişleri içerisinde ilk teste tabi tutulan kiriştir. Yükleme hızı 3590 N/sn olarak deneye başlanmıştır. Bu yükleme hızında çatlak tespitinin çok güç olduğu fark edilmiş ve diğer numunelerde çok daha düşük yükleme hızları kullanılmıştır. Ayrıca yükleme devam ederken, yükün doğrusal artışının yavaşladığı ve düşey deplasmanların ve çatlak genişliklerinin ani olarak arttığı 68 kN civarında donatılardaki gerilmenin ani olarak artış gösterdiği (akma konumuna geldiği) kabul edilerek, eleman üzerindeki yük boşaltılmış ve kiriş yeniden yüklenmiştir. İkinci yüklemede ise 69,25 kN civarında beton basınç bölgesinde ezilme çatlakları oluşmuştur. Donatının akma konumuna geldiği andan sonraki bir yükte ezilme çatlakları gerçekleştiğinden davranışın sünek (eğilme davranışı) olduğu söylenebilir.

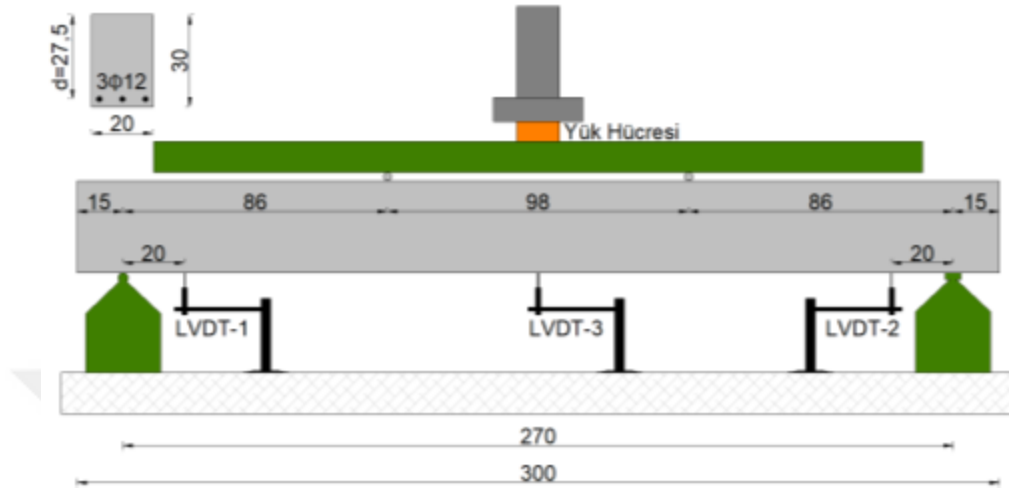


şekil 4.12. KI-DD-3-4 Numunesinde Oluşan çatlaklar



şekil 4.13. KI-DD-3-4 Numunesinin Değişimi

4.3.1.2. KI-DD-3-3 Kirişi Deney Bulguları



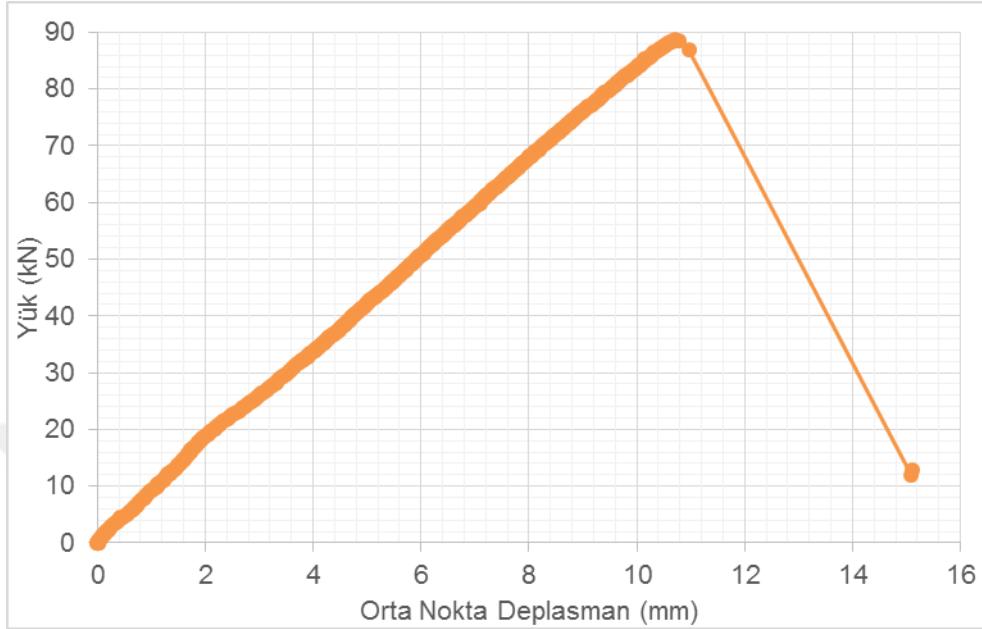
Şekil 4.14. KI-DD-3-3 Numunesi Deney Düzenneği

Çizelge 4.20. KI-DD-3-3 Numunesi Sonuçları

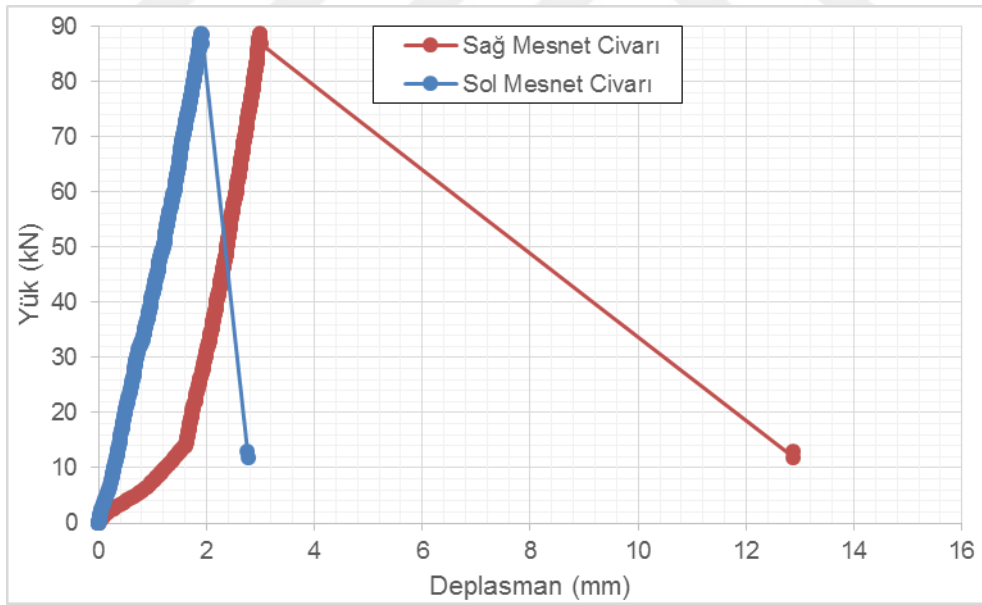
Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	47
İlk Çatlak Oluştığı Andaki Moment	kNm	20,21
Eğik Çatlağın Oluştığı Yüğü	kN	83
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	88,69
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	38,14
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	4,13
Toplam Maksimum Deplasman	mm	15,12
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliği	mm	15,06
Kırılma Tipi	Diyagonal Çatlak	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	06:44

Çizelge 4.21. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yükleme Başladı			
47	Sol yük ile sol mesnet arasında ilk çatlak gözlemlendi	1	Kesme
49	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Eğilme
54	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
55	Kirişin yaklaşık orta noktasında yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Eğilme
59	1 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	1	Kesme
62	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Kesme
63	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Kesme
64	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Eğilme
66	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Eğilme
67	Sağ yandaki yük ile mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	9	Kesme
73	Sol yandaki yük ile mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	10	Kesme
74	5 nolu çatlak mesnet tarafında çok yakınında yeni bir çatlak gözlemlendi	11	Kesme
76	1 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	1	Kesme
78	Sağ yandaki yük ile mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	12	Kesme
80	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	13	Eğilme
81	Sağ yandaki yükün hizasında kirişin en altında yeni bir çatlak gözlemlendi	14	Eğilme
82	Sağ yandaki yük ile mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	15	Kesme
83	Sağ yandaki yük ile mesnet arasında yeni bir eğik çatlak gözlemlendi	16	Kesme
87	Sol yandaki yük ile mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	17	Kesme
88,69	16 nolu çatlak eğikleşerek aniden gelişti ve diyagonal kesme kırılması gerçekleşerek elemanda güç tükenmesine erişildi	16	Kesme
Yükleme Durduruldu			



Şekil 4.15. KI-DD-3-3 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği



Şekil 4.16. KI-DD-3-3 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği

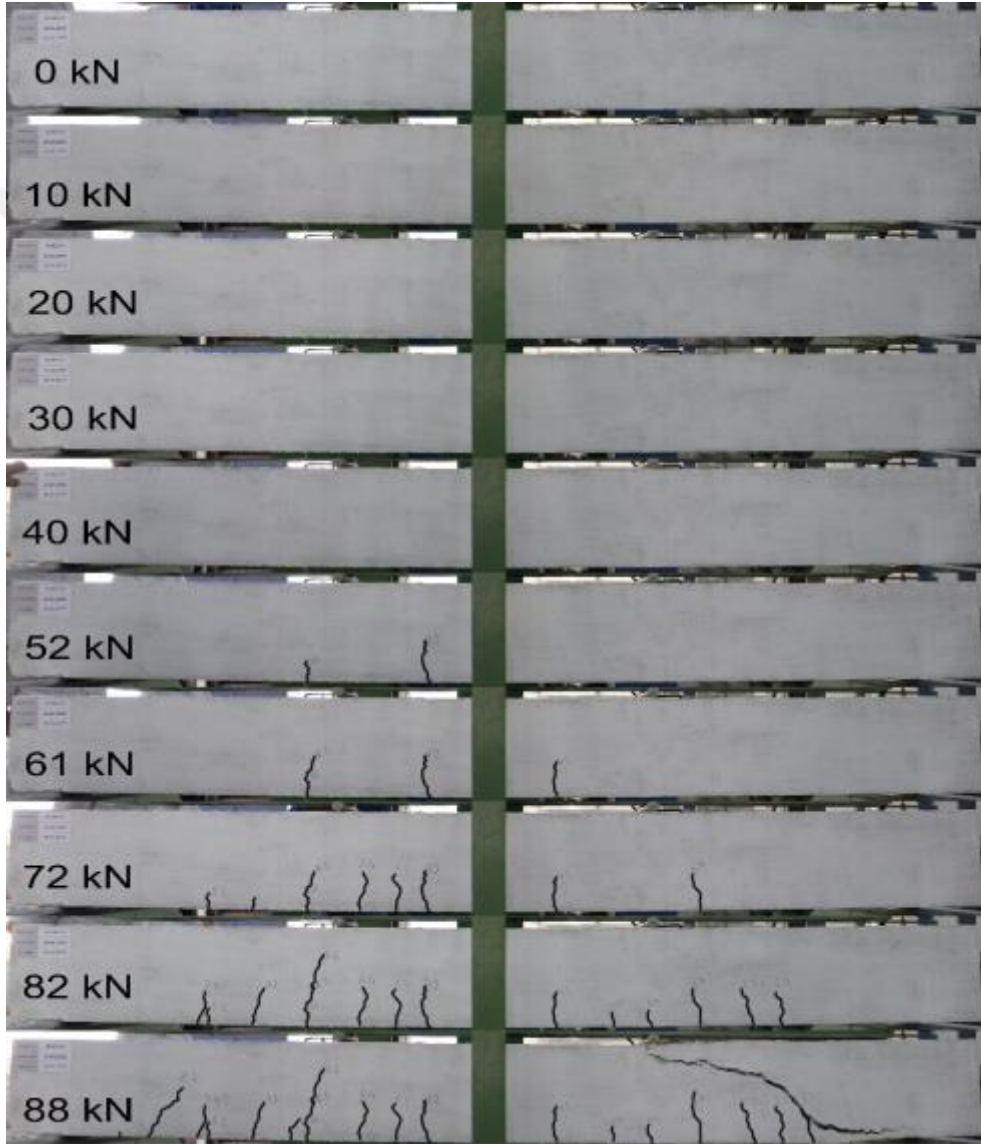
KI-DD-3-3 numunesinin deneyinde, bir önceki deney numunesinde kullanılan yükleme hızı 163 N/sn olarak azaltılmıştır. (a/d) oranı bir önceki deneyde 4 iken bu deneyde 3,13 olarak test edilmiş ve beklendiği gibi tipik diyagonal eğik çekme kırılması gerçekleşmiştir. Kırılma, yine beklendiği gibi ani ve gevrek gerçekleşmiştir. Kırılmanın gerçekleştiği sağ mesnet civarında Şekil 4.17.'de görülebileceği gibi ani bir düşey deplasman artışı gerçekleşmiştir. Kırılmanın gerçekleştiği 16 nolu çatlak ilk belirtisi ancak 83 kN civarında fark edilmiştir. Bu andan yaklaşık 28 saniye sonra da eğik çatlak ani olarak gelişmiş ve mesnet yöresinde donatıdaki sıyrılma nedeniyle düzleşerek devam etmiştir (Şekil 4.18.).



Şekil 4.17. KI-DD-3-3 Numunesinin Kırılma Tipi

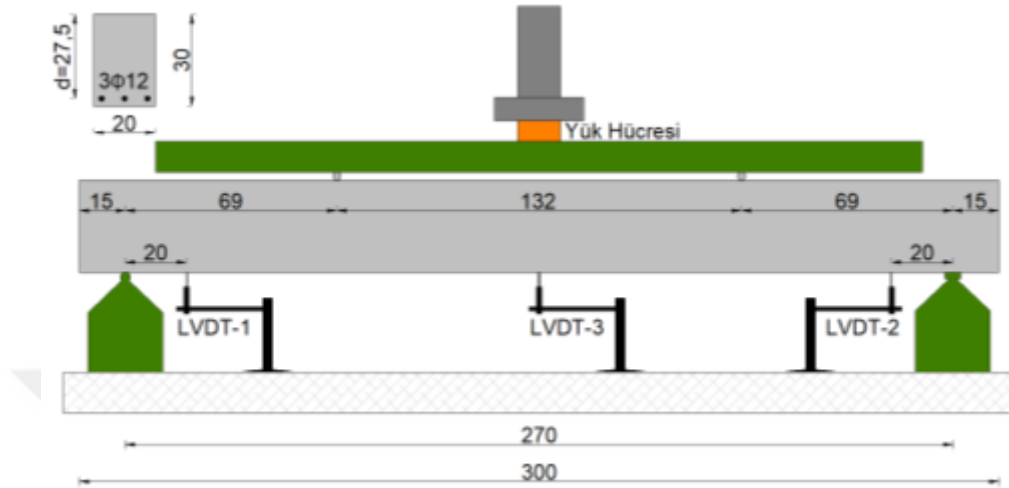


Şekil 4.18. KI-DD-3-3 Numunesinde Oluşan Çatlaklar



Şekil 4.19. KI-DD-3-3 Numunesinin Değişimi

4.3.1.3. KI-DD-3-2 Kirişi Deney Bulguları

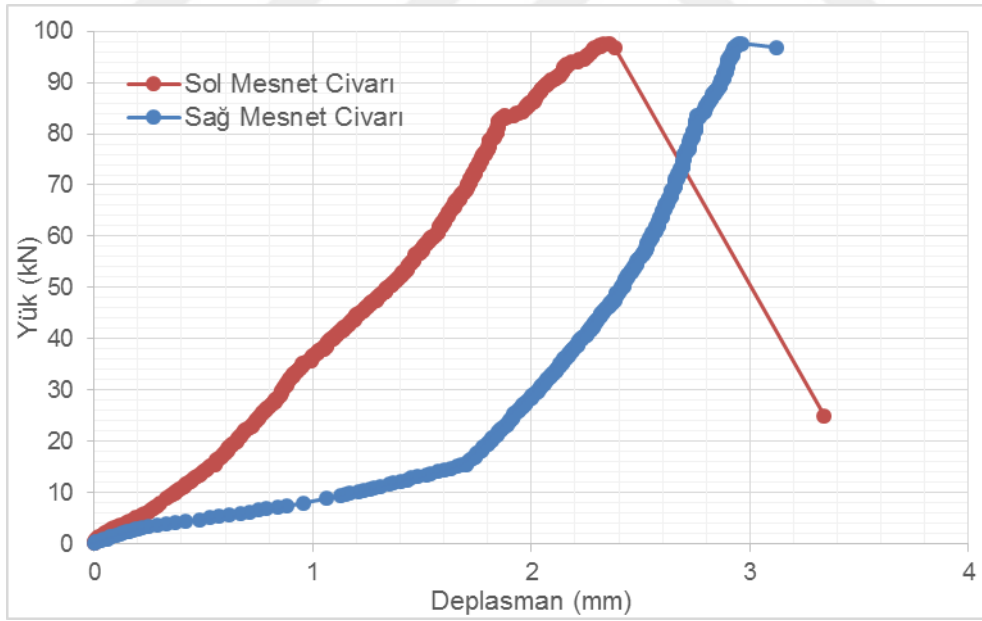


Çizelge 4.23. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yükleme Başladı			
40	İki yük arasında sağ yükün çok yakınında ilk çatlak gözlemlendi	1	Eğilme
50	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Kesme
55	2 nolu çatlağın eksen boyunda bir miktar ilerlediği gözlemlendi	2	Kesme
58	İki yük arasında sol yükün yakınında yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
65	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Kesme
67	İki yük arasında sağ yükün çok yakınında yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Eğilme
69	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Eğilme
71	2 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	2	Kesme
80	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Kesme
82	Sağ yükün yaklaşık olarak tam alt hizasında 5 nolu çatlağın birkaç cm sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Kesme
84	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir eğik çatlak gözlemlendi	9	Kesme
94	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir eğik çatlak gelişimi gözlemlendi	10	Kesme
94	9 nolu çatlağın mesnet tarafında kiriş alt kotunda yeni bir eğik çatlak gelişimi gözlemlendi	11	Kesme
97,67	10 nolu çatlak eğikleşerek aniden gelişti ve diyagonal kesme kırılması gerçekleşerek elemanda güç tükenmesine erişildi	10	Kesme
Yükleme Durduruldu			



Şekil 4.21. KI-DD-3-2 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği



Şekil 4.22. KI-DD-3-2 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği



Şekil 4.23. KI-DD-3-2 Numunesinde Oluşan Çatlaklar

KI-DD-3-2 numunesinin deneyinde ise daha önceki iki numuneden farklı olarak (a/d) oranı 2,51 olarak teste tabi tutulmuştur. Yükleme yine 163 N/sn olarak seçilmiştir. Yine diyagonal eğik çekme kırılması ani ve gevrek olarak gerçekleşmiştir. Kırılmanın gerçekleştiği 10 nolu çatlağın ilk belirtisi ancak 94 kN civarında fark edilmiştir. Bu andan yaklaşık 19 saniye sonra da eğik çatlak ani olarak gelişmiş ve yine mesnet yöresinde donatıdaki sıyrılma nedeniyle düzleşerek devam etmiştir (Şekil 4.25.).



Şekil 4.24. KI-DD-3-2 Numunesinin Kırılma Tipi

Bir önceki numuneden farklı olarak donatının alt kısmında yer alan paspayı bölgesi kirişten koparak ani bir şekilde yere düşmüştür. Bir önceki numuneye göre daha düşük (a/d) oranında kemerlenme etkisinin daha fazla yük aktarımı sağladığı ve bunun doğal bir sonucu olarak donatıların üzerinde daha yüksek gerilim olduğu sonucu çıkarılabilir. Kirişten koparak ayrılan parçanın yere düşen fotoğrafına bakıldığında donatı izleri da çok net görülmektedir (Şekil 4.26.). Bu parçanın kırılma ile birlikte düşmesi nedeniyle kırılma anında sağ mesnet civarındaki anlık deplasman artışı deplasman ölçer tarafından ölçülememiştir. Bu nedenle Şekil 4.22'deki mavi eğri, kırılma anından bir saniye önce ölçülen son değerde bitmektedir.

Ayrıca bu parçanın koptuğu kısımda kaldırıcı kuvveti nedeniyle oluşan kuvvetin donatıyı nasıl eğdiği de net bir şekilde görülmektedir. Bir önceki numuneye göre kırılmanın gerçekleştiği eğik çatlağın genişliğinin çok arttığı da görülmektedir.



Şekil 4.25. Kirişten Kopan Parçanın Görüntüsü

Bir diğer önemli bulgu ise eğik çatlağın oluştuğu anda yükün mesnet tarafında dik yönlü bir başka çatlağın oluşması ve eğik çatlak ile kesişmesi sonucu kiriş üst yüzünde kirişten tamamen ayrılan bir başka parça oluşmasıdır (Şekil 4.26).

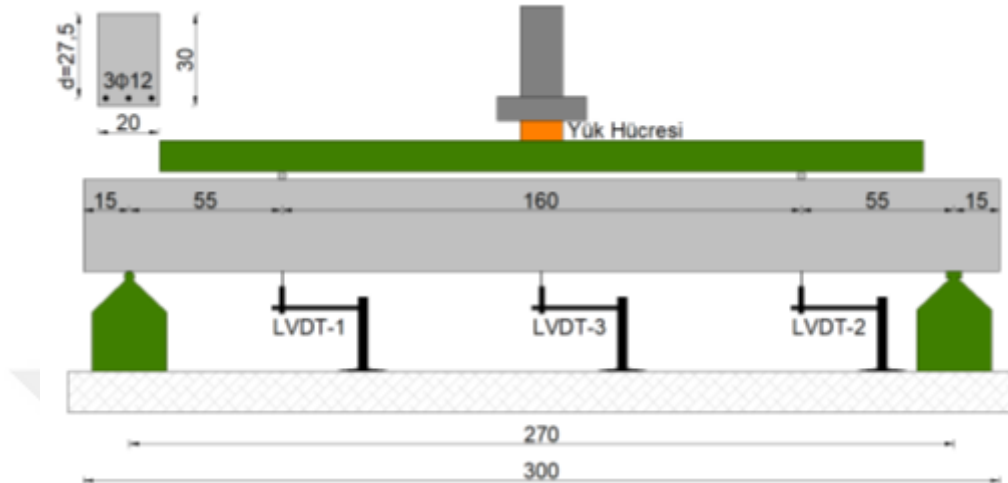


Şekil 4.26. Yük ile Mesnet Arasında Meydana Gelen Diğer Çatlak



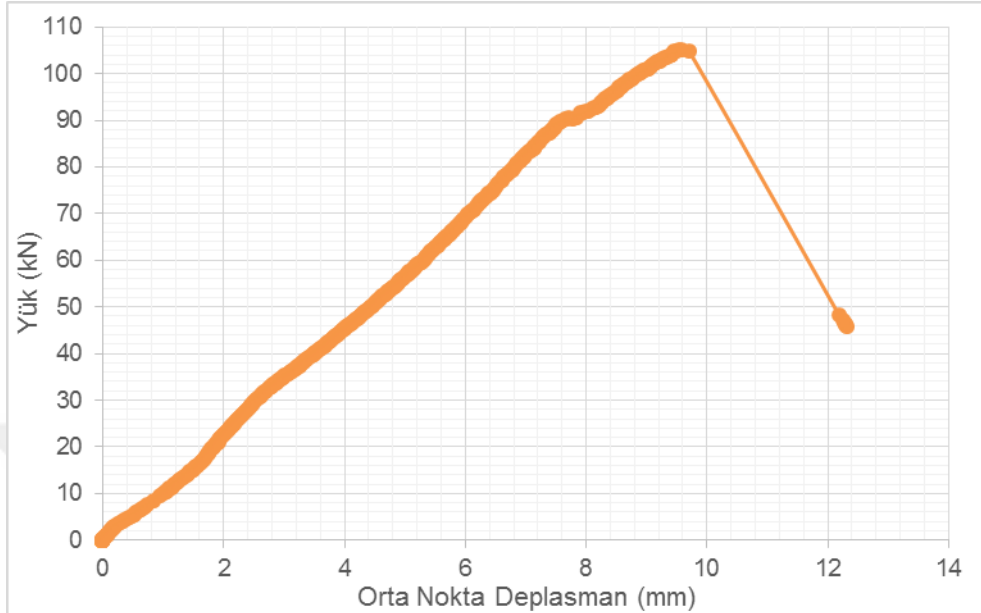
Şekil 4.27. KI-DD-3-2 Numunesinin Değişimi

4.3.1.4. KI-DD-3-1 Kirişi Deney Bulguları

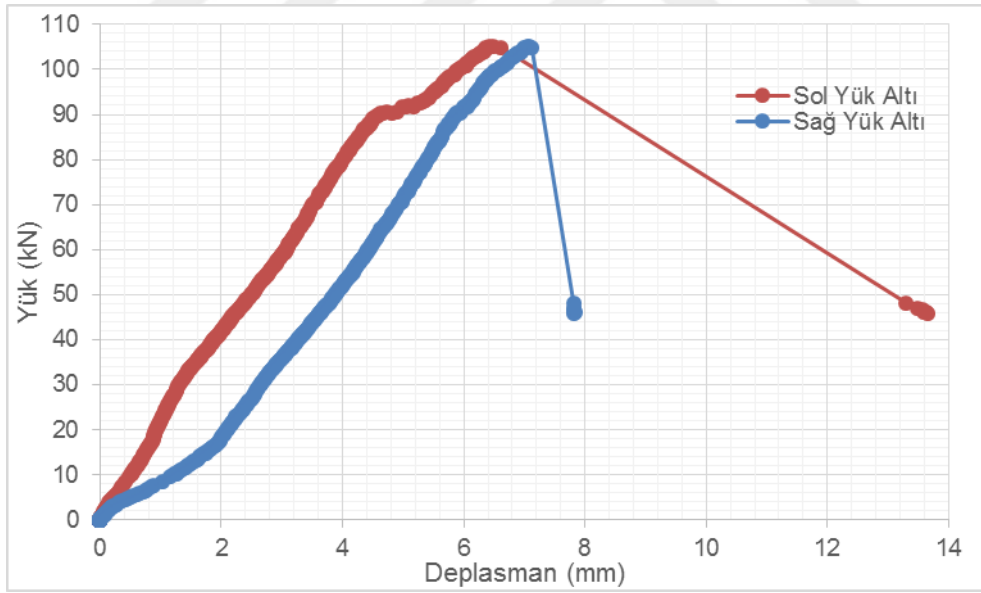


Çizelge 4.25. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

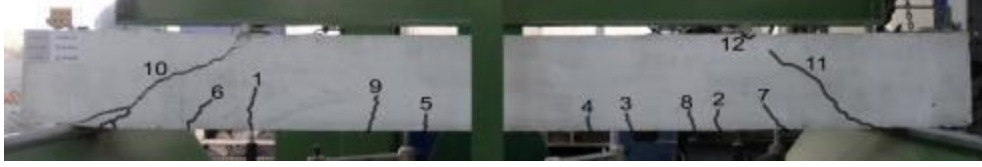
Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yükleme Başladı			
52	İki yük arasında yaklaşık olarak yükün tam alt hizası civarında ilk çatlak gözlemlendi	1	Eğilme
55	İki yük arasında yaklaşık olarak yükün tam alt hizası civarında yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Eğilme
57	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
61	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Eğilme
64	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Eğilme
67	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Kesme
70	6 nolu çatlakların bir miktar ilerlediği gözlemlendi	6	Kesme
72	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Kesme
79	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Eğilme
84	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	9	Eğilme
87	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir eğik çatlak gözlemlendi	10	Kesme
87	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir eğik çatlak gözlemlendi	11	Kesme
87	Sağ yükün hemen altında basınç bölgesindeki betonda yüzeysel bir ezilme çatlakları gözlemlendi	12	Yük Altı
90	10 nolu eğik çatlakların kirişin hem alt hem de üst kotuna doğru geliştiği gözlemlendi	10	Kesme
103	10 nolu eğik çatlakların kirişin hem alt hem de üst kotuna doğru geliştiği gözlemlendi	10	Kesme
105,19	10 nolu çatlak eğikleşerek aniden gelişti ve diyagonal kesme kırılması gerçekleşerek elemanda güç tükenmesine erişildi	10	Kesme
Yükleme Durduruldu			



Şekil 4.29. KI-DD-3-1 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği



Şekil 4.30. KI-DD-3-1 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği



Şekil 4.31. KI-DD-3-1 Numunesinde Oluşan Çatlaklar



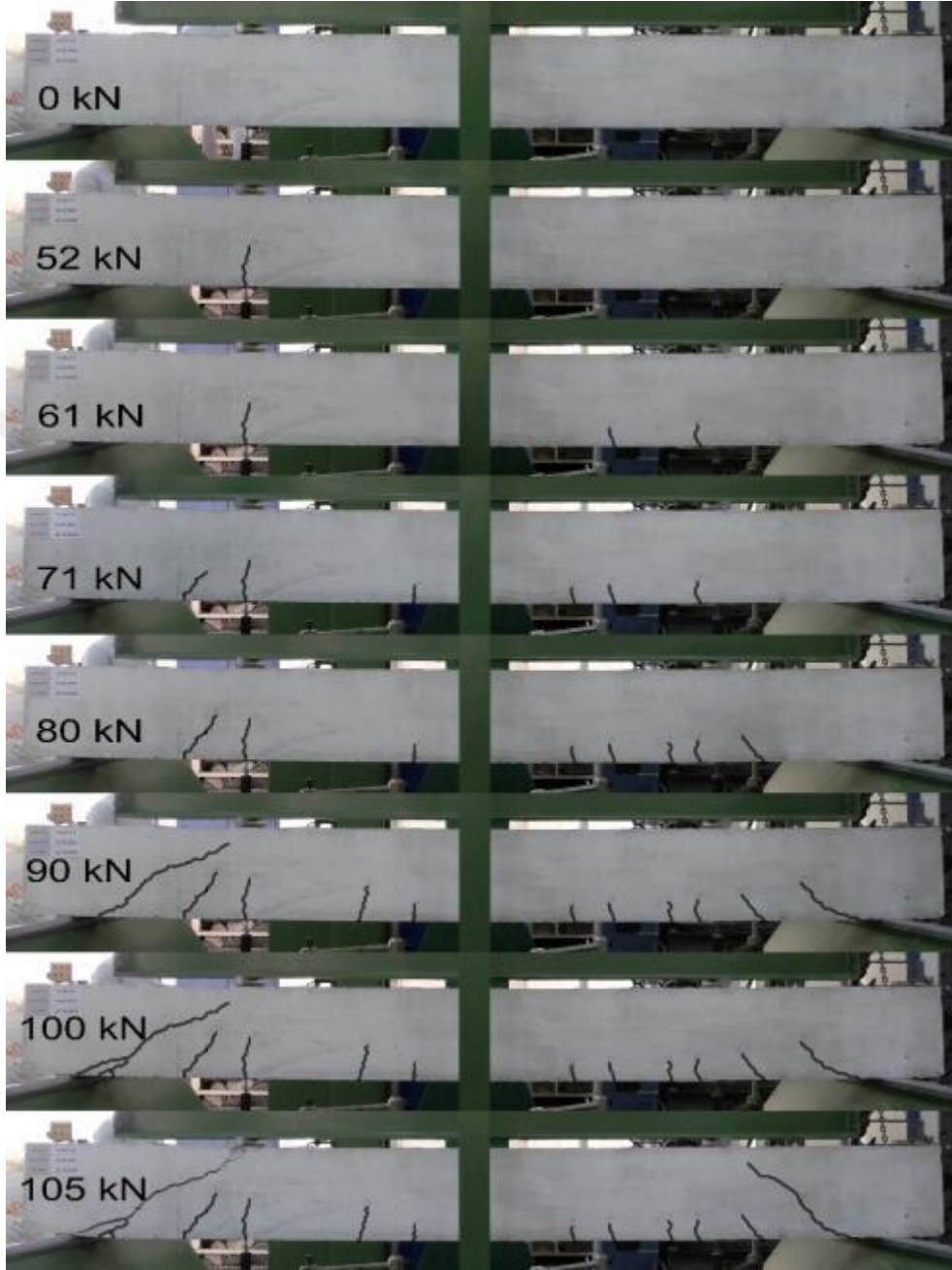
Şekil 4.32. KI-DD-3-1 Numunesinin Kırılma Tipi

KI-DD-3-1 numunesinin deneyinde, daha önceki kiriş deneylerinde mesnetlerin 20 cm yakınına konan deplasman ölçerler, tam olarak her iki yükün alt hizasına alınmıştır. Bundan sonra test edilen kirişlerde de deneye bu şekilde devam edilmiştir. KI-DD-3-2 numunesinin kırıldığı anda kopan parça nedeniyle sağ mesnetin 20 cm uzağında konan deplasman ölçerde anlık deplasman ölçümü yapılamadığından bu değişiklik yapılmıştır.

Bu deneyde şunu belirtmek gerekir ki; eğik çatlak gözle görülür bir biçimde yaklaşık 87 kN civarında kirişin sol ve sağ tarafından meydana gelmiştir. Bu andan itibaren kirişe yaklaşık 18 kN daha yükleme yapılmış ve kırılma eleman üzerinde 105,17 kN yük varken gerçekleşmiştir. (a/d) oranının 2 olduğu bu deneyde kesme kuvvetini dengeleyen mekanizmalara kemerlenme etkisinin çok daha fazla destek olduğu görülmektedir. Ayrıca bu kırılma her ne kadar gevrek ve ani olsa da, kesme kırılması ile gücü tükenen diğer iki kirişe göre, çatlağın uzun

süre görünür biçimde durması ve yaklaşık 18 kN daha yük alabilmiş olması önemlidir. Davranış gevrek olsa dahi eğik çatlak oluşuktan sonra bile eleman uzun sayılabilecek bir süre yük taşımaya devam etmiştir. Buradan yapı güvenliği için kritik bir unsur olan hasar kapasitesinin nispeten yüksek olduğu anlamı çıkarılabilir. Ayrıca kırılma anında ortaya çıkan çatlağın genişliği, kesme kırılması gerçekleşen diğer iki numuneye göre daha küçüktür.

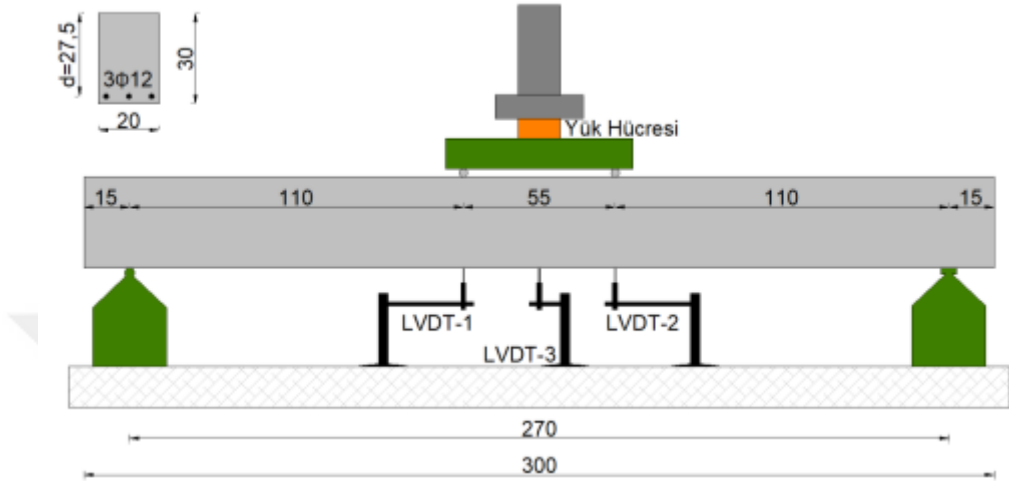




Şekil 4.33. KI-DD-3-1 Numunesinin Değişimi

4.3.2. 2.Grup Kiriş Deneyleri

4.3.2.1. KI-ND-2-4 Kirişi Deney Bulguları



Şekil 4.34. KI-ND-2-4 Numunesi Deney Düzenegi

Çizelge 4.26. KI-ND-2-4 Numunesi Sonuçları

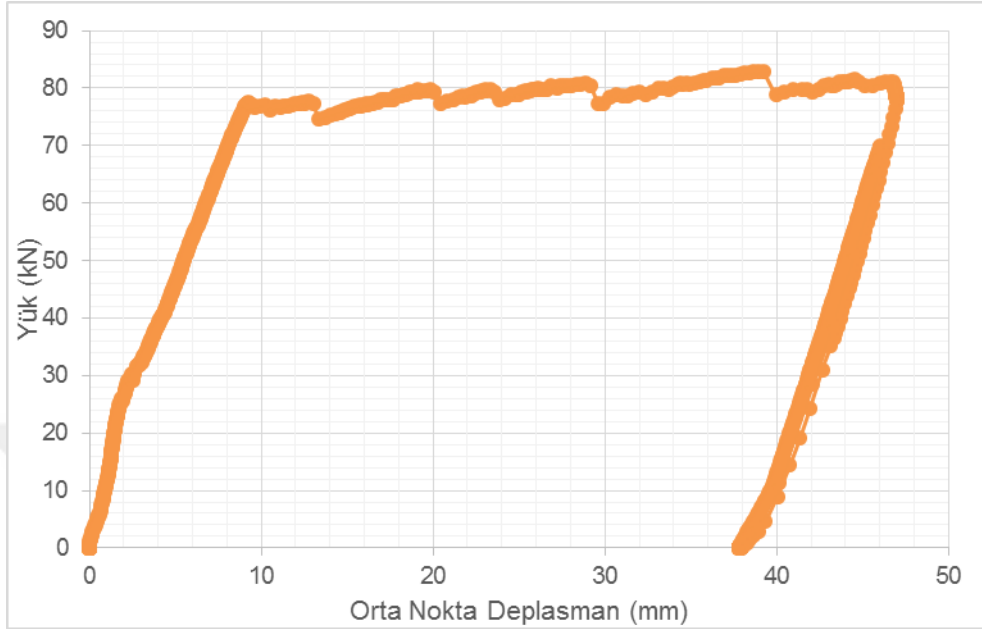
Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	24
İlk Çatlak Oluştugu Andaki Moment	kNm	13,20
Eğik Çatlağın Oluştugu Yüğü	kN	-
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	82,81
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	45,54
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	-
Toplam Maksimum Deplasman	mm	46,03
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliğı	mm	2,60
Kırılma Tipi	Eğilme (Sünek)	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	19:09

Çizelge 4.27. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

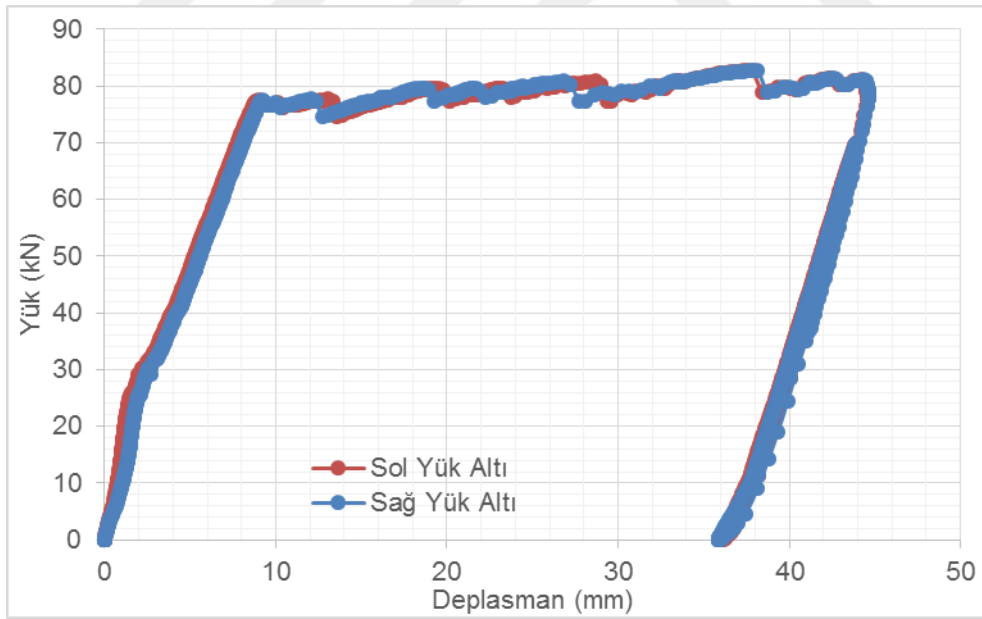
Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yükleme Başladı			
24	Kirişin orta noktasının çok yakınında iki yük arasında ilk çatlak gözlemlendi.	1	Eğilme
28	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Eğilme
32	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
34	Sol mesnet ile sol yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Kesme
36	İki yük arasında sağ yüke çok yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Eğilme
41	Sağ mesnet ile sağ yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Kesme
42	Sol mesnet ile sol yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Kesme
44	7 nolu çatlakların sol tarafında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Kesme
45	2 nolu çatlakların bir miktar daha geliştiği gözlemlendi	2	Eğilme
46	1 nolu çatlakların hemen sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	9	Eğilme
47	7 nolu çatlakların az bir miktar daha geliştiği gözlemlendi	7	Kesme
48	5 nolu çatlakların bir miktar daha geliştiği gözlemlendi	5	Eğilme
49	Sağ mesnet ile sağ yük arasında yeni bir dik yönlü eğilme çatlakları gelişimi gözlemlendi	10	Kesme
50	3 nolu çatlakların bir miktar daha geliştiği gözlemlendi	3	Eğilme
51	7 nolu çatlakların bir miktar daha geliştiği gözlemlendi	7	Kesme
52	1 nolu çatlakların hemen solunda yeni bir dik yönlü eğilme çatlakları gelişimi gözlemlendi	11	Eğilme
54	10 nolu çatlakların kirişin orta noktasının bir miktar üstüne kadar geliştiği gözlemlendi	10	Kesme
55	Sağ mesnet ile sağ yük arasında açıklığın hemen hemen orta noktasında yeni bir dik yönlü eğilme çatlakları gelişimi gözlemlendi	12	Kesme
56	3 nolu çatlakların küçük bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	3	Eğilme
57	10 nolu çatlakların bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	10	Kesme
58	12 nolu çatlakların bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
59	Sol mesnet ile sol yük arasında açıklığın hemen hemen orta noktasında yeni bir dik yönlü eğilme çatlakları gelişimi gözlemlendi	13	Kesme
60	7 ve 8 nolu çatlaklar arasında yeni bir dik yönlü eğilme çatlakları oluştuğu gözlemlendi	14	Kesme

Çizelge 4.27. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler (devamı)

63	10 ve 12 nolu çatlaklar arasında yeni bir dik yönlü eğilme çatlağı oluştuğu gözlemlendi	15	Kesme
64	5 nolu çatlağın bir miktar daha geliştiği gözlemlendi	5	Eğilme
65	8 nolu çatlağın bir miktar daha geliştiği gözlemlendi	8	Kesme
66	9 nolu çatlağın hemen sağında giriş orta noktasına çok yakın yeni bir eğilme çatlağı gelişimi gözlemlendi	16	Eğilme
68	10 nolu çatlağın küçük bir miktar daha geliştiği gözlemlendi	10	Kesme
69	12 nolu çatlağın sağında diğer çatlaklara göre daha eğik açıya sahip yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	17	Kesme
70	12 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
71	2 nolu çatlağın bir miktar daha geliştiği gözlemlendi	2	Eğilme
76	5 nolu çatlağın bir miktar daha geliştiği gözlemlendi	5	Eğilme
76	2 nolu çatlağın genişliğinin arttığı gözlemlendi	2	Eğilme
77	9 nolu çatlağın bir miktar daha geliştiği gözlemlendi	9	Eğilme
78	6 nolu çatlağın hemen sağında eğik yönlü bir çekme çatlağı oluştuğu gözlemlendi	18	Kesme
78	3 nolu çatlağın genişliğinin arttığı gözlemlendi	3	Eğilme
78	3 nolu çatlağın bir miktar daha geliştiği ve iki kola ayrıldığı gözlemlendi	3	Eğilme
79	2 nolu çatlağın bir miktar daha geliştiği ve iki kola ayrıldığı gözlemlendi	2	Eğilme
80	3 nolu çatlağın çekme bölgesinde ikiye ayrıldığı gözlemlendi	3	Eğilme
82,81 kN Yük Eleman Üzerindeyken Donatının Akma Konumuna Ulaştığı Değerlendirilerek Yükleme Durduruldu			
0 kN'dan yeniden Yükleme Başladı			
69,74 kN'da Yükleme Durduruldu			



Şekil 4.35. KI-ND-2-4 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği



Şekil 4.36. KI-ND-2-4 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği

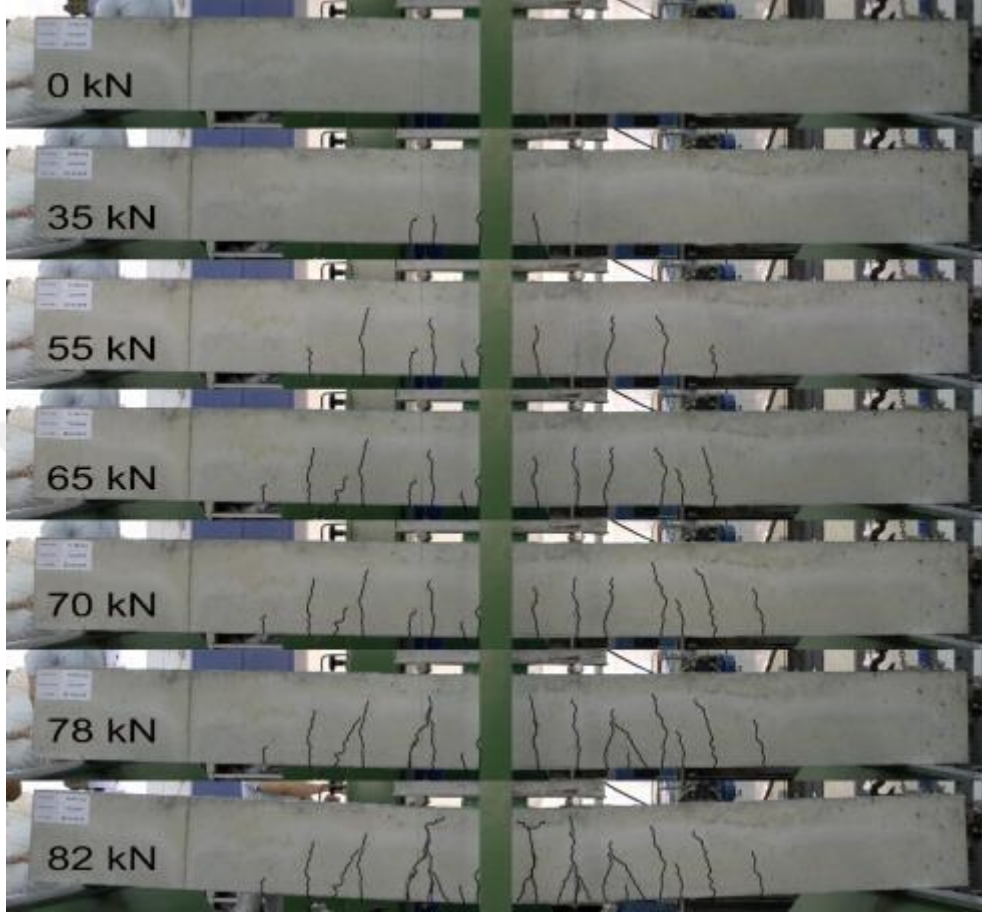


Şekil 4.37. KI-DD-2-4 Numunesinde Oluşan Çatlaklar



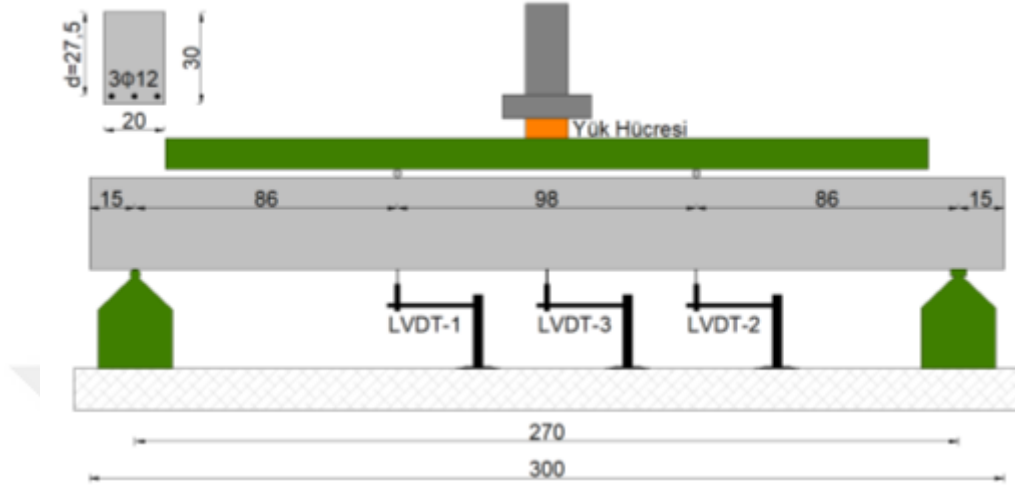
Şekil 4.38. KI-ND-2-4 Numunesi Eğilme Bölgesinde Oluşan Çatlaklar

KI-ND-2-4 Numunesi, 2. Grup normal dayanımlı beton kullanılarak üretilen kiriş numunelerinden ilk olarak teste tabi tutulan numune olup (a/d) oranı 4 olarak test edilmiştir. Tıpkı 1. Grup numune de olduğu gibi, davranışa çeliğin özelliklerinin hâkim olduğu eğilme kırılması gerçekleşmiştir. Yük 80 kN civarlarında iken yükteki artışın çok azaldığı buna karşın deplasmanların ve eğilme çatlaklarının genişliklerinin hızla arttığı ve bu sırada donatının akma konumuna geldiği değerlendirilerek davranışın sünek eğilme davranışı olduğu söylenebilir.



Şekil 4.39. KI-ND-2-4 Numunesinin Değişimi

4.3.2.2. KI-ND-2-3 Kirişi Deney Bulguları



Şekil 4.40. KI-ND-2-3 Numunesi Deney Düzeneği

Çizelge 4.28. KI-ND-2-3 Numunesi Sonuçları

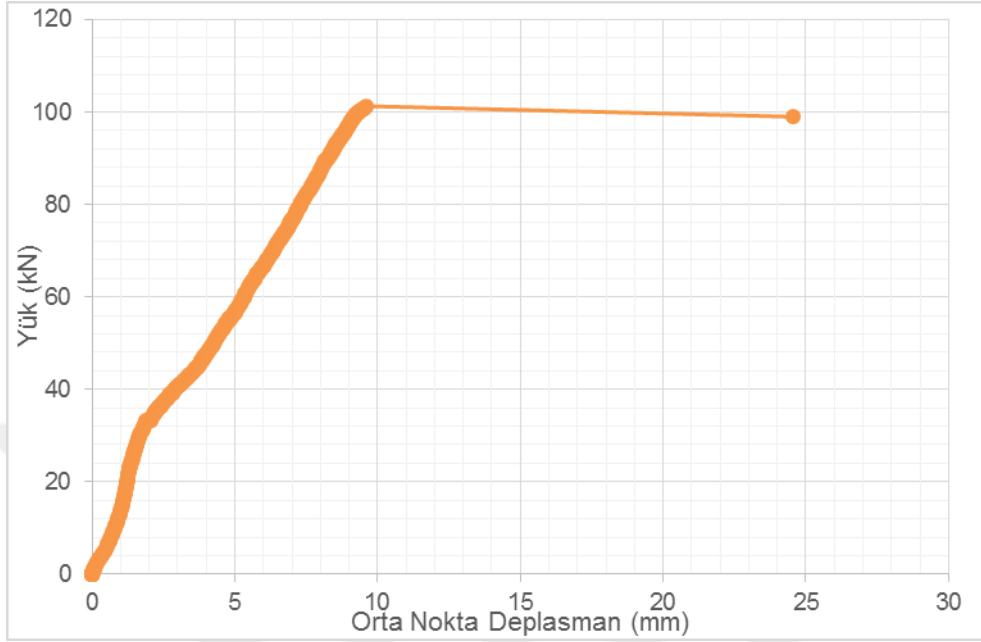
Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	39
İlk Çatlak Oluştığı Andaki Moment	kNm	16,77
Eğik Çatlağın Oluştığı Yüğü	kN	80
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	101,27
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	43,55
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	14,92
Toplam Maksimum Deplasman	mm	23,77
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliği	mm	23,12
Kırılma Tipi	Diyagonal Çatlak	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	08:08

Çizelge 4.29. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

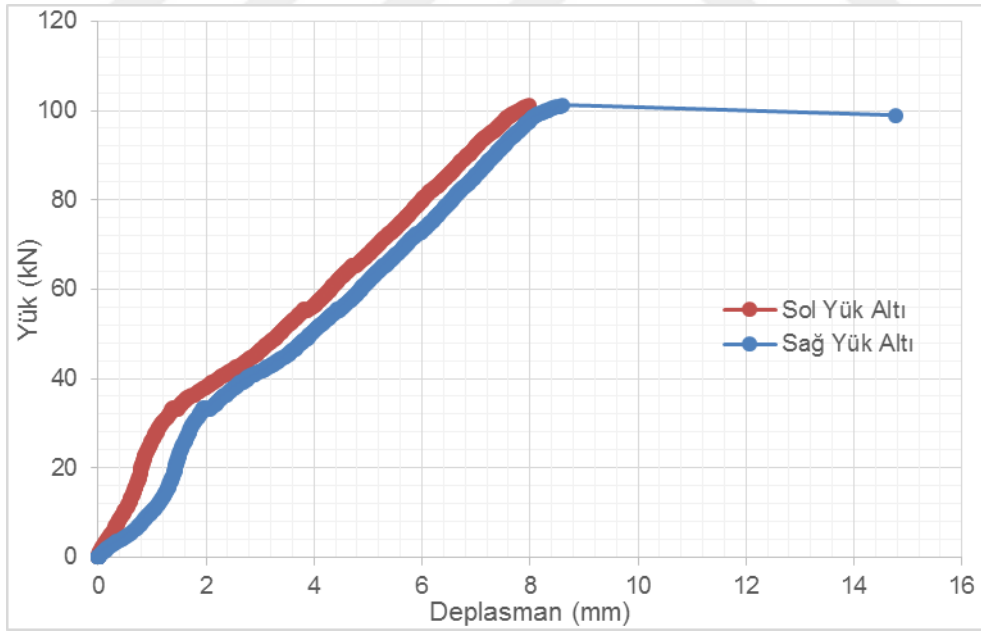
Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yükleme Başladı			
39	İki yük arasında ilk çatlak gözlemlendi	1	Eğilme
39	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Kesme
40	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Kesme
41	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 2 nolu çatlak sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Kesme
42	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Eğilme
42	1 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	1	Eğilme
44	5 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	5	Eğilme
45	1 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	1	Eğilme
46	3 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	3	Kesme
46	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Eğilme
46	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Eğilme
47	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Eğilme
52	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	9	Kesme
52	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 4 nolu çatlak sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	10	Kesme
57	5 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	5	Eğilme
58	10 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	10	Kesme
60	4 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	4	Kesme
63	7 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	7	Eğilme
63	9 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	9	Kesme
68	10 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	10	Kesme
72	9 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	9	Kesme
73	6 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	6	Eğilme
81	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 10 nolu çatlak sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	11	Kesme
82	İki yük arasında 5 nolu çatlak yakınında yeni bir eğilme çatlak gözlemlendi	12	Eğilme
83	1 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	1	Eğilme
85	11 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	11	Kesme
87	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	13	Kesme
96	Sağ yükün hemen altında beton basınç bölgesinde yeni bir ezilme çatlak gözlemlendi	14	Yük Altı

Çizelge 4.29. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler (devamı)

100	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 11 nolu çatlağın sağında eğik bir çekme çatlağı gözlemlendi	15	Kesme
101,27	15 nolu çatlak hızla gelişerek eğik çekme kırılması ile güç tükenmesine erişildi.	15	Kesme
Yükleme Durduruldu			



Şekil 4.41. KI-ND-2-3 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği

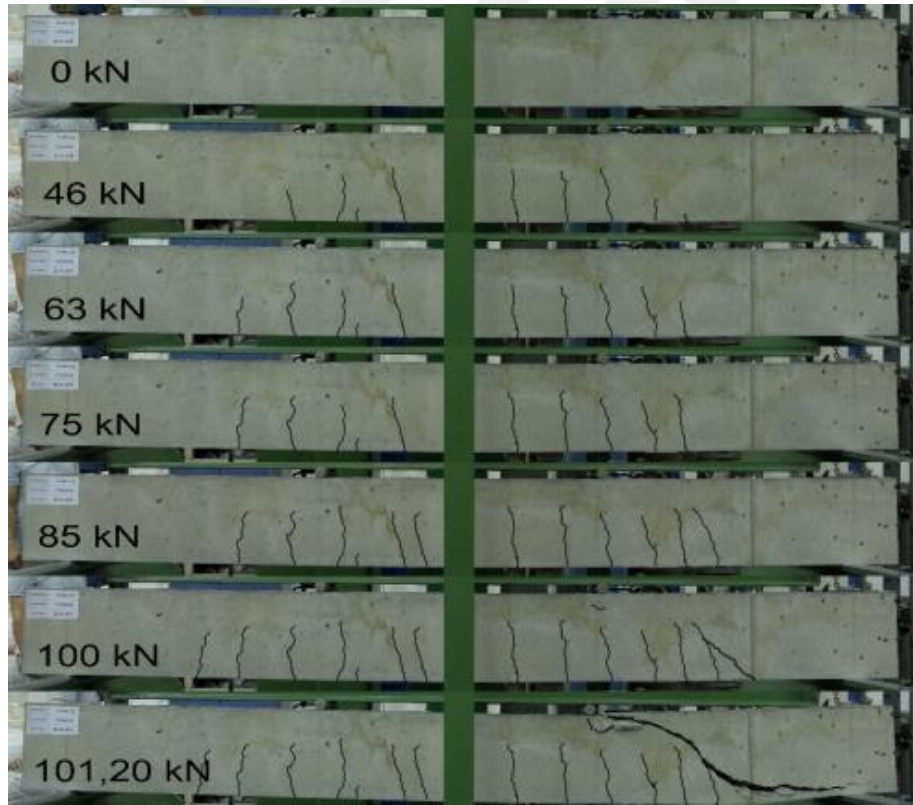


Şekil 4.42. KI-ND-2-3 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği



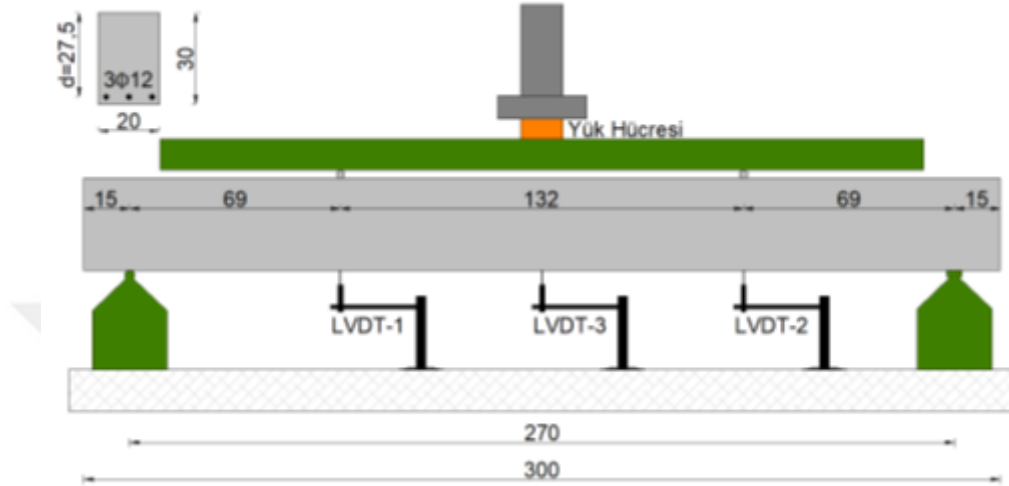
Şekil 4.43. KI-ND-2-3 Numunesinde Oluşan Çatlaklar

KI-ND-2-3 numunesinin deneyinde, bir önceki grubun aynı (a/d) oranına sahip numunesine çok benzer bir kırılma tipi gözlenmiştir. Kırılmayı meydana getiren diyagonal çatlak; önce 11 nolu çatlak daha sonra kırılmadan hemen önce yaklaşık 100 kN yük civarında ortaya çıkan 15 nolu çatlakların birleşiminden oluşmuştur. Bu iki çatlaktan 11 nolu (ekseni daha dik olan) 81 kN’da, 15 nolu çatlak ise 100 kN’da gözlenmiştir. Kırılma yine ani ve gevrek gerçekleşmiştir.



Şekil 4.44. KI-ND-2-3 Numunesinin Değişimi

4.3.2.3. KI-ND-2-2 Kirişi Deney Bulguları



Şekil 4.45. KI-ND-2-2 Numunesi Deney Düzenneği

Çizelge 4.30. KI-ND-2-2 Numunesi Sonuçları

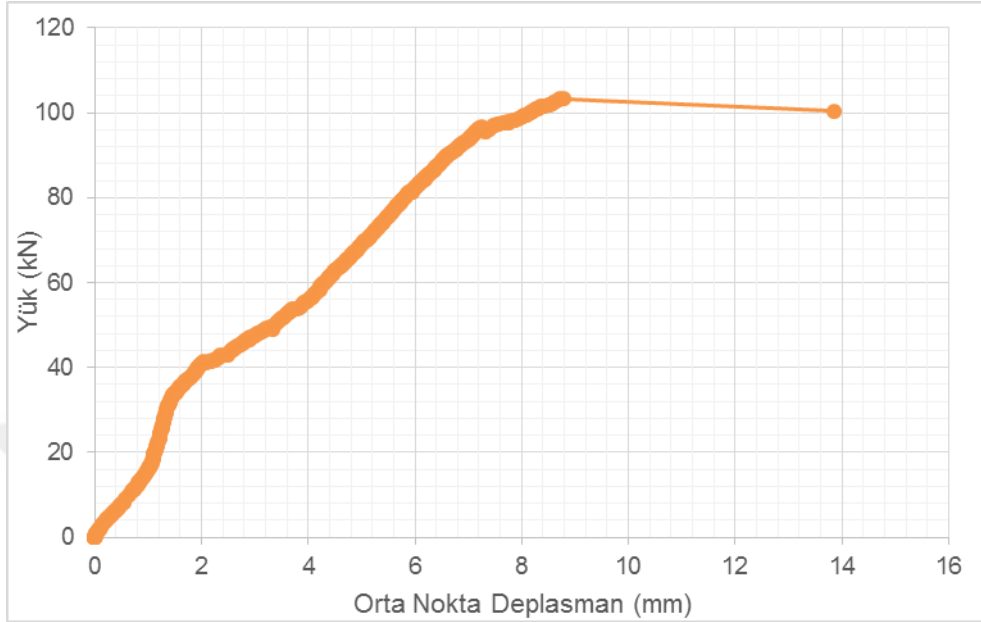
Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	39
İlk Çatlak Oluştuğu Andaki Moment	kNm	13,45
Eğik Çatlağın Oluştuğu Yüğü	kN	90
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	103,23
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	35,61
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	5,49
Toplam Maksimum Deplasman	mm	14,27
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliği	mm	14,87
Kırılma Tipi	Diyagonal Çatlak	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	08:08

Çizelge 4.31. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

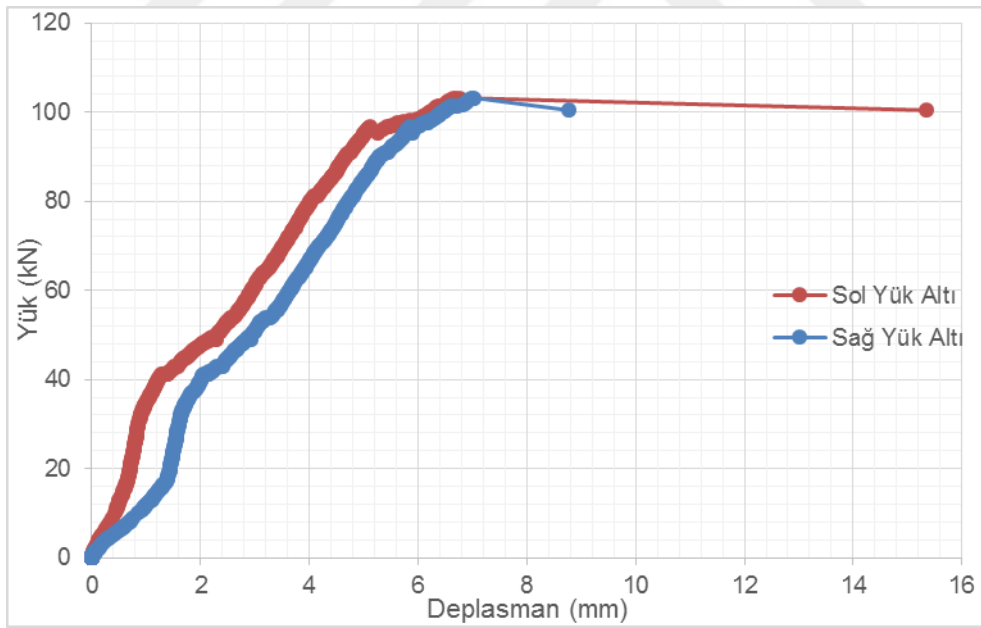
Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yükleme Başladı			
39	İki yük arasında ilk çatlak gözlemlendi	1	Eğilme
41	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Eğilme
44	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
47	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Eğilme
48	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Eğilme
50	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Eğilme
50	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Eğilme
56	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	8	Kesme
58	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	9	Eğilme
59	Sol yükün yaklaşık tam altında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	10	Eğilme
60	Sağ yükün yaklaşık tam altında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	11	Kesme
61	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	12	Kesme
67	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	13	Kesme
72	Sol yük ile giriş orta noktası arasında, yükün yaklaşık tam altında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	14	Eğilme
73	13 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	13	Kesme
74	8 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	8	Kesme
75	10 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	10	Eğilme
76	12 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
79	Sağ yük ile giriş orta noktası arasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	15	Eğilme
80	Sağ yük ile giriş orta noktası arasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	16	Eğilme
82	4 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	4	Eğilme
84	6 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	6	Eğilme
86	Sol yük ile giriş orta noktası arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	17	Eğilme
86	5 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	5	Eğilme
90	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	18	Kesme
94	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir eğik çatlak gelişimi gözlemlendi	19	Kesme
97	18 nolu çatlak eğikleşerek ilerlediği gözlemlendi	18	Kesme

Çizelge 4.31. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler (devamı)

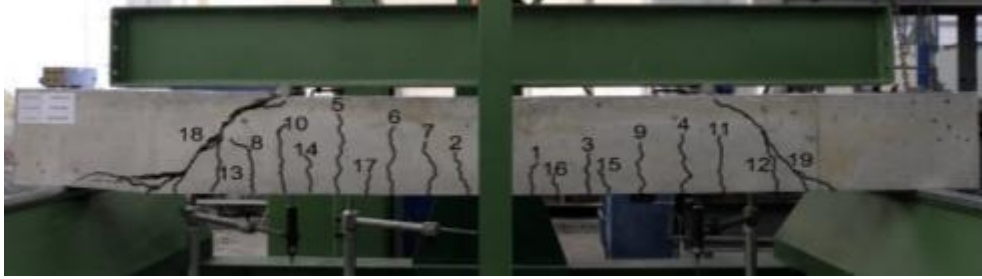
98	19 nolu çatlağın eğikleşerek bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	19	Kesme
99	18 ve 19 nolu çatlakların hızla ilerlediği gözlemlendi	18-19	Kesme
100	18 ve 19 nolu çatlakların hızla ilerlediği gözlemlendi	18-19	Kesme
103,23	18 nolu çatlağın hızla ilerlemesi ile diyagonal eğik çekme çatlağı oluşarak güç tükenmesine erişildiği gözlemlendi	18	Kesme



Şekil 4.46. KI-ND-2-2 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği



Şekil 4.47. KI-ND-2-2 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği

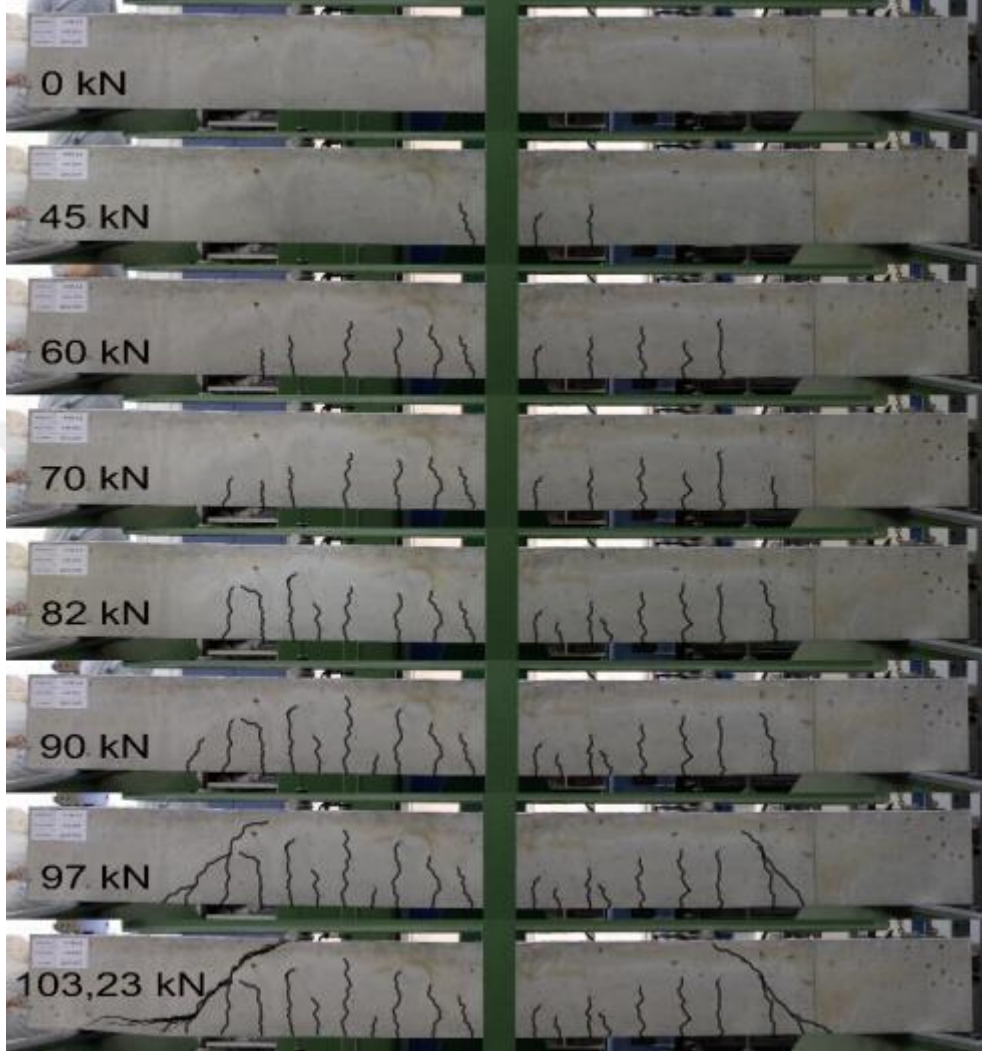


Şekil 4.48. KI-DD-2-2 Numunesinde Oluşan Çatlaklar



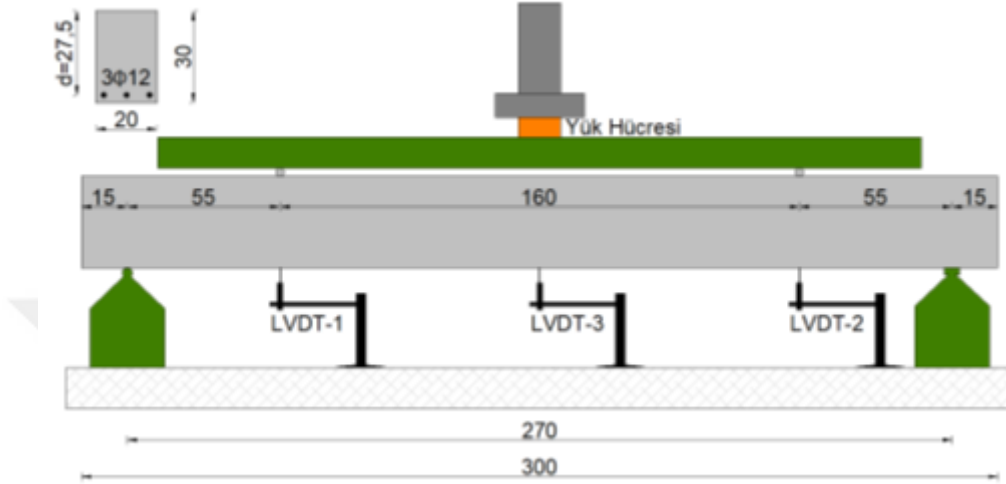
Şekil 4.49. KI-DD-2-2 Numunesinin Kırılma Tipi

KI-DD-2-2 numunesinin deneyinde de diyagonal eğik çekme kırılması ani ve gevrek olarak gerçekleşmiştir. Kırılmayı meydana getiren çatlak 90 kN civarında fark edilmiştir. Bu andan 70 saniye sonra 103,23 kN iken kırılma gerçekleşmiştir. 3. Grup numunlerin aynı (a/d) oranına sahip numunesinde beton basınç bölgesinde oluşan dik yönlü çatlak ve buna bağlı olarak yük ile mesnet arasında oluşan kopuk parça bu deneyde gözlenmemiştir.



Şekil 4.50. KI-ND-2-2 Numunesinin Değişimi

4.3.2.4. KI-ND-2-1 Kirişi Deney Bulguları



Şekil 4.51. KI-ND-2-1 Numunesi Deney Düzeneği

Çizelge 4.32. I-ND-2-1 Numunesi Sonuçları

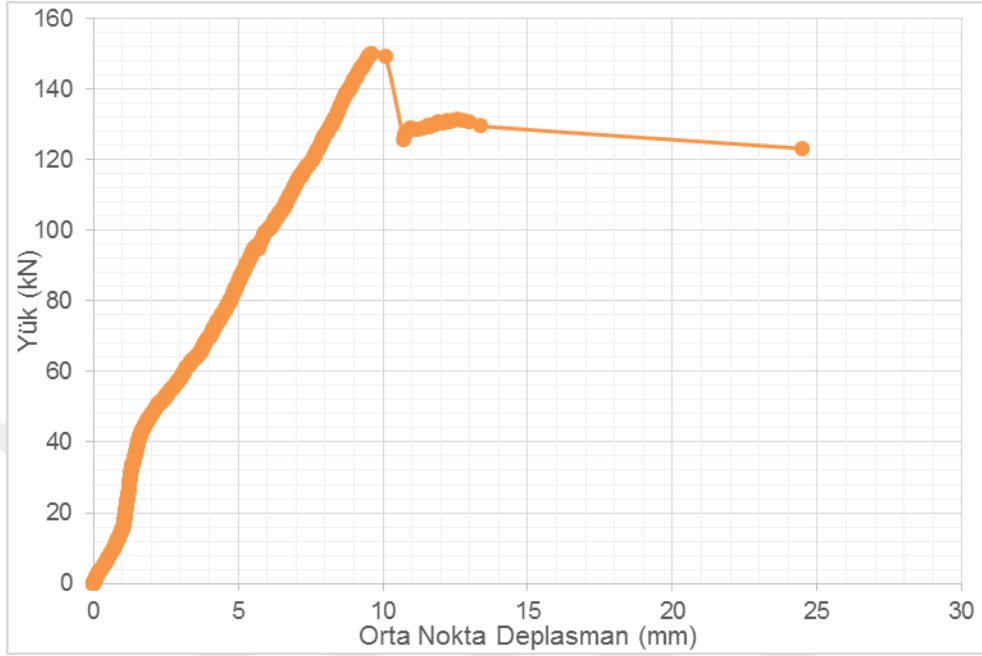
Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	46
İlk Çatlak Oluştığı Andaki Moment	kNm	12,65
Eğik Çatlağın Oluştığı Yüğü	kN	82
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	149,94
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	41,23
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	11,12
Toplam Maksimum Deplasman	mm	24,49
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliği	mm	19,11
Kırılma Tipi	Diyagonal Çatlak	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	09:44

Çizelge 4.33. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

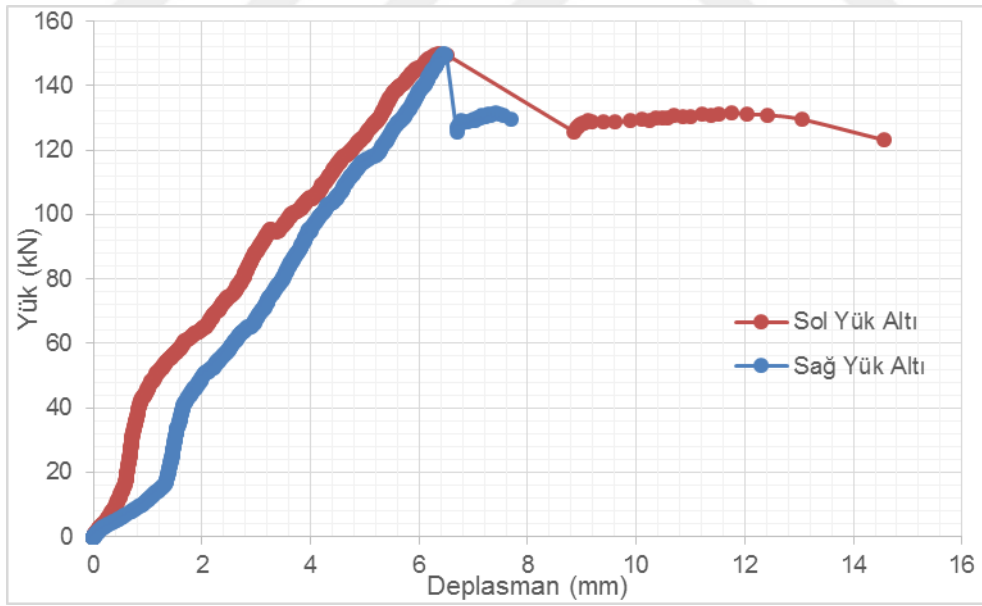
Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yükleme Başladı			
46	Sağ yük ile kiriş orta noktası arasında ilk çatlak gözlemlendi	1	Eğilme
50	Sağ yük ile kiriş orta noktası arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Eğilme
52	Sol yük ile kiriş orta noktası arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
57	Sol yük ile kiriş orta noktası arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Eğilme
58	Sağ yük ile kiriş orta noktası arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Eğilme
59	Sağ yük ile kiriş orta noktası arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Eğilme
60	Sol yük ile kiriş orta noktası arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Eğilme
61	Sağ yük ile kiriş orta noktası arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Eğilme
64	7 nolu çatlakın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	7	Eğilme
65	4 nolu çatlakın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	4	Eğilme
66	3 nolu çatlakın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	3	Eğilme
66	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	9	Kesme
70	4 nolu çatlakın hemen solunda yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	10	Eğilme
70	8 nolu çatlakın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	8	Eğilme
72	3 nolu çatlakın hemen sağında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	11	Eğilme
74	Sol yükün hemen altında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	12	Kesme
78	8 nolu çatlakın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	8	Eğilme
82	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	13	Kesme
88	5 nolu çatlakın hemen solunda yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	14	Eğilme
89	5 nolu çatlakın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	5	Eğilme
94	13 nolu çatlakın eğikleşerek ilerlediği gözlemlendi	13	Kesme
101	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir eğik çatlak gelişimi gözlemlendi	15	Kesme
104	13 nolu çatlakın her iki yönden ilerlemeye devam ettiği gözlemlendi	13	Kesme
105	15 nolu çatlakın mesnete doğru ilerlediği gözlemlendi	15	Kesme

Çizelge 4.33. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler (devamı)

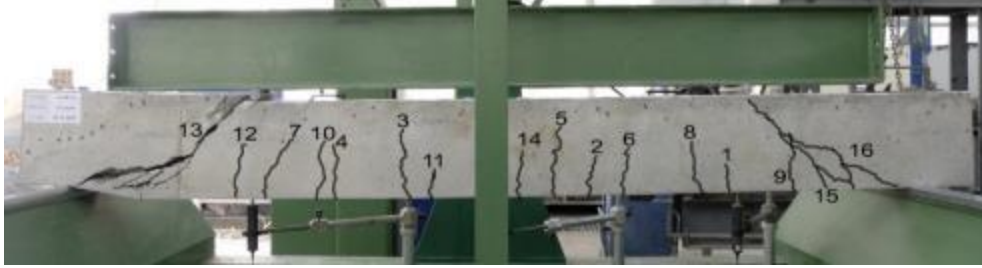
108	15 nolu çatlağın hemen sağında yeni bir eğik çatlak gelişimi gözlemlendi	16	Kesme
132	16 ve 13 nolu çatlakların genişlediği gözlemlendi	16-13	Kesme
140	16 ve 13 nolu çatlakların mesnet yöresinde yeni aderans çatlakları oluştuğu gözlemlendi	16-13	Kesme
149,94	13 nolu çatlakta ani bir yatay yer değiştirme yaşandığı ve eğik çatlak genişliğinin anlık olarak arttığı ancak kirişin yük taşıma kapasitesinin devam ettiği gözlemlendi	13	Kesme
125	Kirişin yük taşımaya devam ettiği gözlemlendi		
131,48	13 nolu çatlağın hızla ilerlemesi ile diyagonal eğik çekme çatlağı oluşarak güç tükenmesine erişildiği gözlemlendi	13	Kesme
Yükleme Durduruldu			



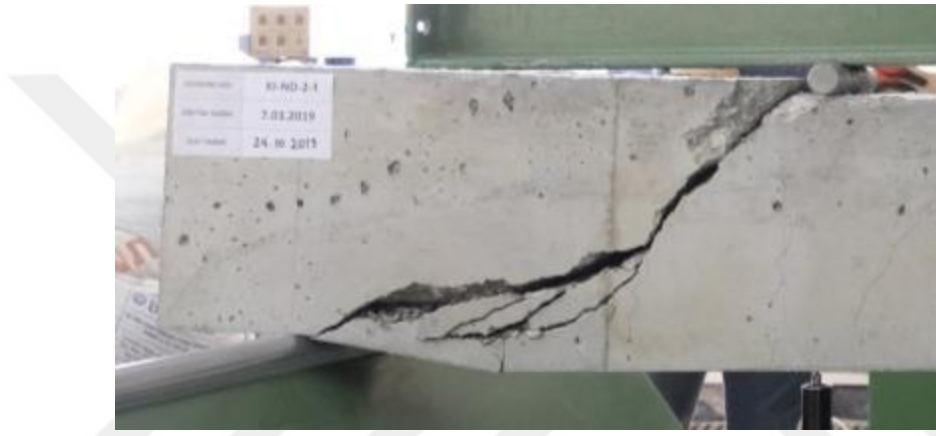
Şekil 4.52. KI-ND-2-1 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği



Şekil 4.53. KI-ND-2-1 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği



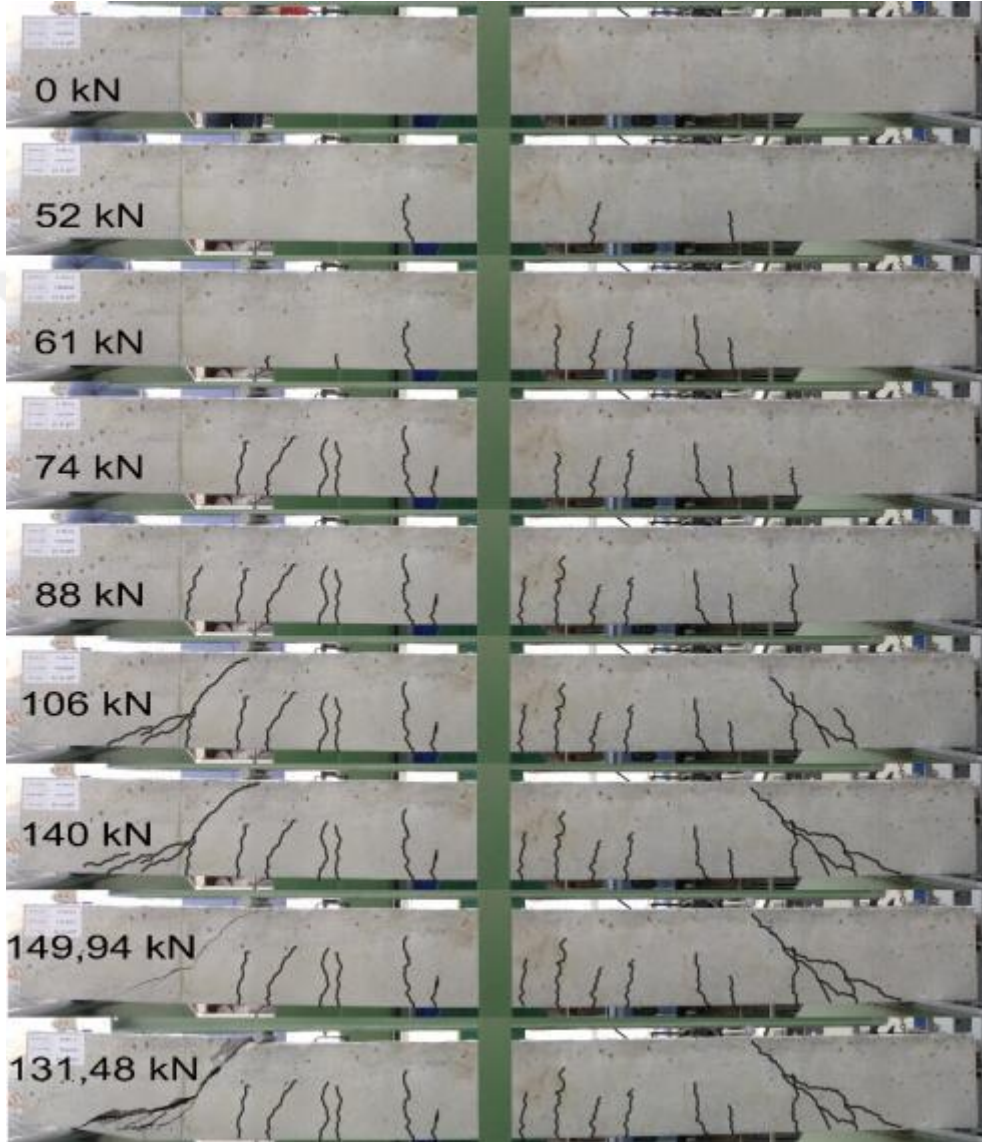
Şekil 4.54. KI-DD-2-1 Numunesinde Oluşan Çatlaklar



Şekil 4.55. KI-ND-2-1 Numunesi Kırılma Tipi

KI-ND-2-1 numunesinin deneyinde kırılmanın gerçekleştiği sol yanda eğik çatlağı oluşturan çatlak 82 kN'da gözlenmiştir. Bu andan itibaren bu çatlağın her iki yöne doğru ilerlediği, kiriş alt kotunda aderans çatlakları oluşturduğu ayrıca bu çatlağın genişliğinin de yük arttıkça arttığı görülmüştür. Yükün 149,94 olduğu anda bu çatlakta ani bir düşey deplasman artışı ile birlikte çok küçük birkaç parça beton kirişten kopmuştur. Ancak eleman yük taşımaya devam etmiş ve bir çeşit mafsallı oluştuğu değerlendirilmiştir. Bu anda eleman üzerindeki yük 125 kN'a kadar düşmüştür. Yükleme devam ettiğinde yaklaşık 131 kN civarında gerçek diyagonal çatlak meydana gelmiştir. Mafsallı oluştuğu an ile kırılmanın gerçekleştiği an arasında yaklaşık 24 saniye ölçülmüş, bu sırada eleman yaklaşık 6 kN daha yük alabilmiştir.

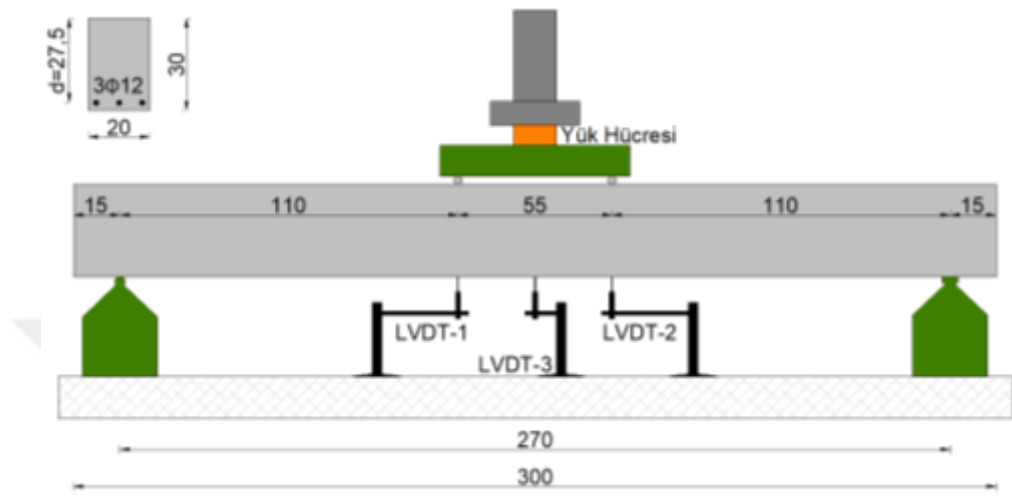
Ayrıca bu kirişte çatlağın donatı yöresinde düzleştiği kısımda daha büyük çatlak genişliği ve hasar gözlenmiştir. Mafsal oluşumu sırasında donatılar üzerindeki gerilmenin buna neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.56. KI-ND-2-1 Numunesinin Değişimi

4.3.3. 4.Grup Kiriş Deneyleri

4.3.3.1. KI-DD-4-4 Kirişi Deney Bulguları



Şekil 4.57. KI-DD-4-4 Numunesi Deney Düzenegi

Çizelge 4.34. KI-DD-4-4 Numunesi Sonuçları

Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	25
İlk Çatlak Oluştugu Andaki Moment	kNm	13,75
Eğik Çatlağın Oluştugu Yüğü	kN	-
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	79,54
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	43,75
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	-
Toplam Maksimum Deplasman	mm	47,99
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliğı	mm	3,14
Kırılma Tipi	Eğilme (Sünek)	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	16:24

Çizelge 4.35. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

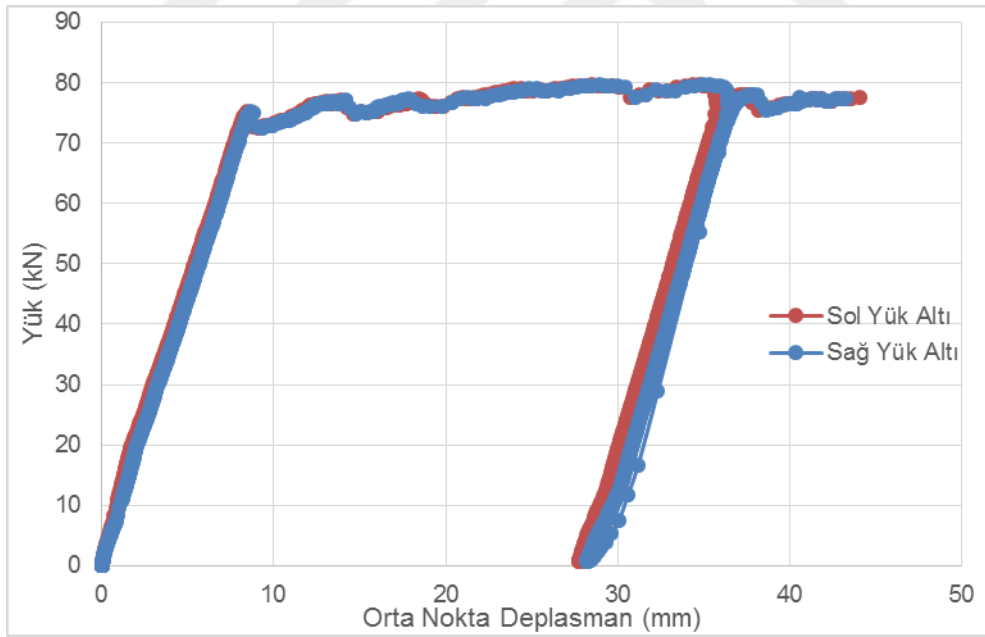
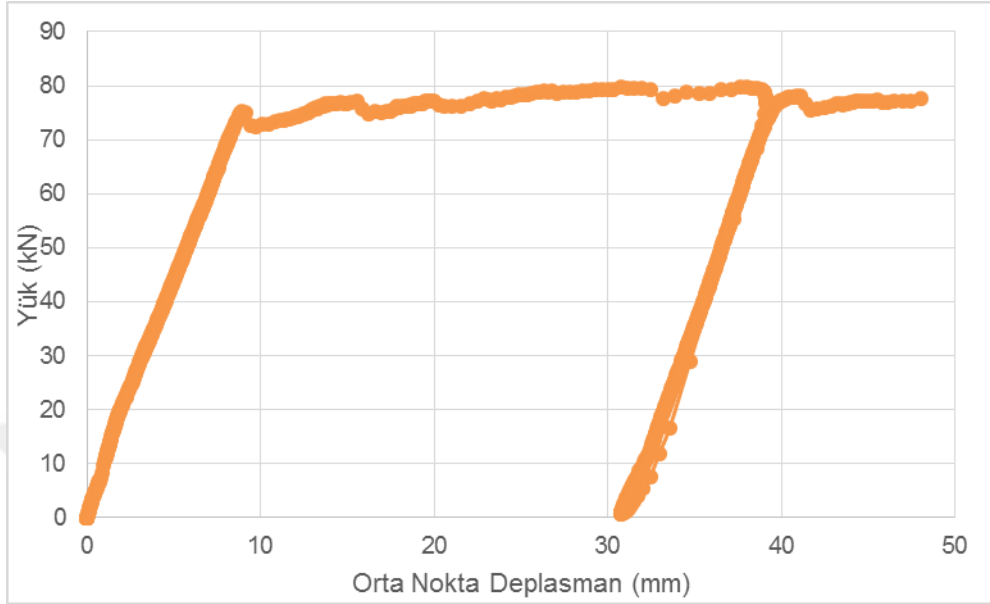
Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yükleme Başladı			
25	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yükün yaklaşık olarak tam altında ilk çatlak gözlemlendi	1	Kesme
25	Sol yük ile sol mesnet arasında yükün yaklaşık olarak tam altında yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Kesme
34	İki yük arasında kirişin orta noktasının çok yakınında yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
34	İki yük arasında sol yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Eğilme
35	İki yük arasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	5	Eğilme
37	2 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	2	Kesme
40	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 1 nolu çatlak sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Kesme
40	3 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	3	Eğilme
42	5 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	5	Eğilme
47	Sol yük ile sol mesnet arasında 2 nolu çatlak solunda yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Kesme
48	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 6 nolu çatlak sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Kesme
49	1 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	1	Kesme
50	İki yük arasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	9	Eğilme
50	Sol yük ile sol mesnet arasında 7 nolu çatlak solunda yeni bir çatlak gözlemlendi	10	Kesme
52	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 8 nolu çatlak sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	11	Kesme
53	1 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	1	Kesme
53	6 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	6	Kesme
56	Sol yük ile sol mesnet arasında 10 nolu çatlak solunda yeni bir çatlak gözlemlendi	12	Kesme
57	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 11 nolu çatlak sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	13	Kesme
58	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 13 nolu çatlak sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	14	Kesme
58	7 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	7	Kesme
62	Sol yük ile sol mesnet arasında 7 nolu çatlak hemen solunda yeni bir çatlak gözlemlendi	15	Kesme
67	11 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	11	Kesme
67	4 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	4	Eğilme
70	3 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	3	Eğilme

Çizelge 4.35. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler (devamı)

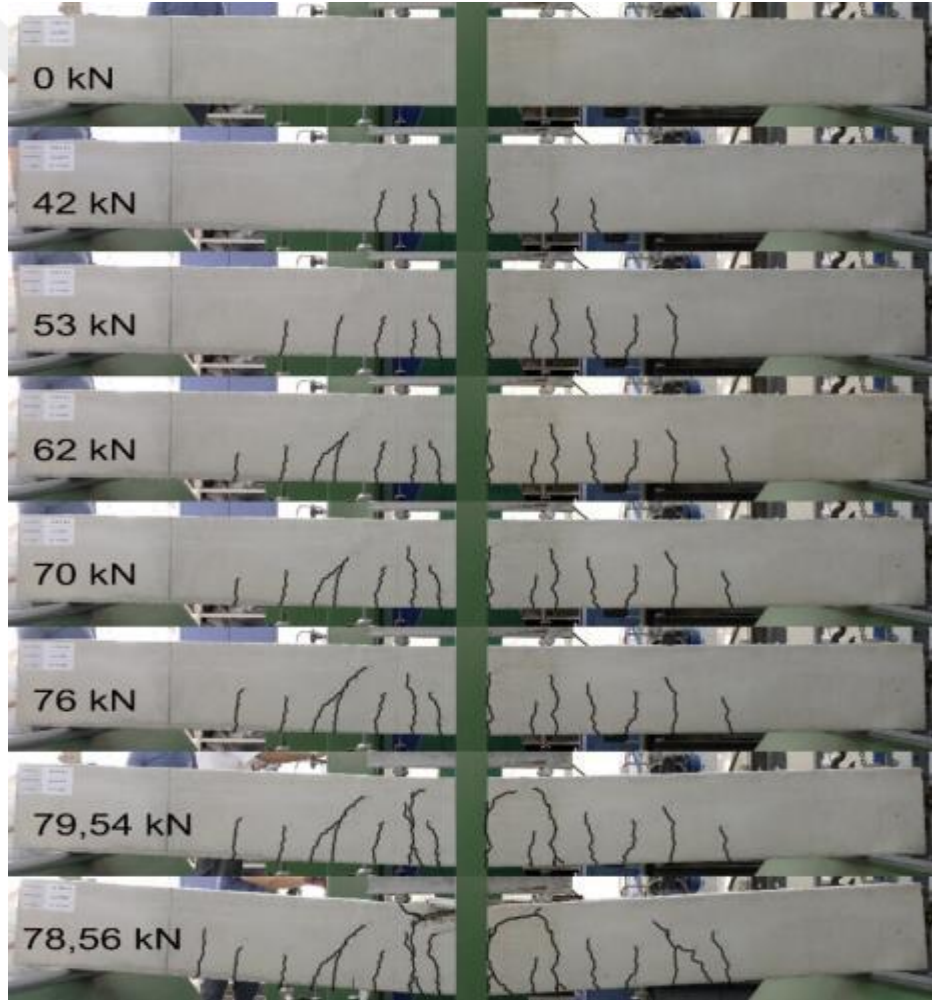
74	3 nolu çatlak iki kola ayrılarak iki yük arasına doğru genişlediği gözlemlendi	3	Eğilme
75	Orta nokta deplasmanında hızlı bir artış gözlemlendi	-	-
75	12 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
76	7 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	7	Kesme
76	4 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	4	Eğilme
79	4 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	4	Eğilme
79	3 nolu çatlağın bir her iki kolunda çatlak ilerleyişinin devam ettiği gözlemlendi	3	Eğilme
79,54	1 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	1	Kesme
79,54 kN Yük Eleman Üzerindeyken Donatının Akma Konumuna Ulaştığı Değerlendirilerek Yükleme Durduruldu			
0 kN'dan yeniden Yükleme Başladı			
Yükleme yeniden başlatıldı			
54	Sol yük ile sol mesnet arasında 12 nolu çatlağın solunda yeni bir çatlak gözlemlendi	16	Kesme
65	14 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	14	Kesme
67	11 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	11	Kesme
69	3 nolu çatlağın bir kolunun kiriş orta noktasına doğru ilerlediği gözlemlendi	3	Eğilme
74	6 nolu çatlağın donatı yöresinde yeni bir aderans çatlağı olduğu gözlemlendi	6	Kesme
76,93	Sol yük civarında basınç bölgesindeki betonun ezildiği gözlemlendi	17	Kesme
Yükleme Durduruldu			



Şekil 4.58. KI-DD-4-4 Numunesinde Oluşan Çatlaklar

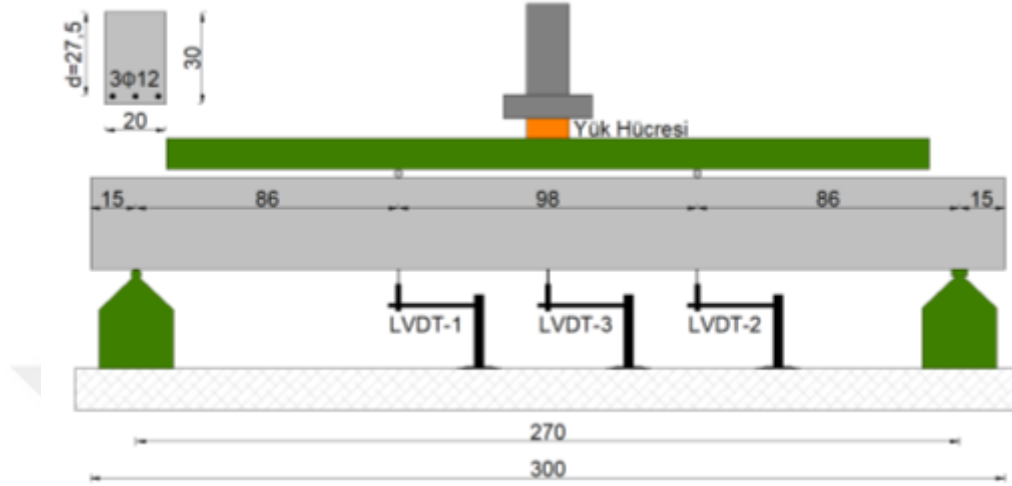


KI-DD-4-4 Numunesi, 4. Grup normal dayanımlı beton kullanılarak üretilen kiriş numunelerinden ilk olarak teste tabi tutulan numune olup (a/d) oranı 4 olarak test edilmiştir. Tıpkı 3. ve 2. grup numunelerde olduğu gibi, davranışa çeliğin özelliklerinin hâkim olduğu eğilme kırılması gerçekleşmiştir. Yük 75 kN civarlarında iken yükteki artışın çok azaldığı buna karşın deplasmanların ve eğilme çatlaklarının genişliklerinin hızla arttığı ve bu sırada donatının akma konumuna geldiği değerlendirilerek davranışın sünek eğilme davranışı olduğu söylenebilir.



Şekil 4.61. KI-DD-4-4 Numunesinin Değişimi

4.3.3.2. KI-DD-4-3 Kirişi Deney Bulguları



Şekil 4.62. KI-DD-4-3 Numunesi Deney Düzeneği

Çizelge 4.36. KI-DD-4-3 Numunesi Sonuçları

Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	27
İlk Çatlak Oluştığı Andaki Moment	kNm	11,61
Eğik Çatlağın Oluştığı Yüğü	kN	105,84
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	105,84
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	45,51
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	3,40
Toplam Maksimum Deplasman	mm	44,96
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliği	mm	11,34
Kırılma Tipi	Diyagonal Çatlak	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	50:45

Çizelge 4.37. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

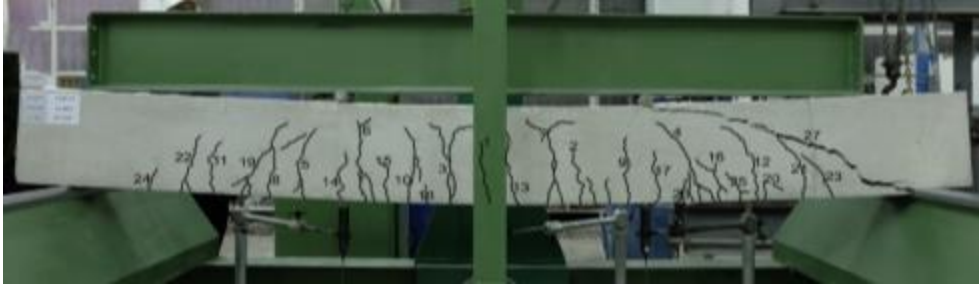
Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yükleme Başladı			
27	İki yük arasında kirişin orta noktasının çok yakınında ilk bir çatlak gözlemlendi	1	Eğilme
29	İki yük arasında sağ yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Eğilme
31	İki yük arasında sol yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
32	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Kesme
32	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Kesme
34	İki yük arasında sol yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Eğilme
34	İki yük arasında sağ yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Eğilme
38	4 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	4	Kesme
39	5 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	5	Kesme
42	1 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	1	Kesme
42	6 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	6	Kesme
43	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Kesme
44	İki yük arasında sağ yüke yakın 2 nolu çatlak sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	9	Eğilme
45	2 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	2	Kesme
45	3 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	3	Kesme
48	7 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	7	Kesme
49	3 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	3	Kesme
49	6 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	6	Kesme
49	3 ve 6 nolu çatlaklar arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	10	Eğilme
50	Sol yük ile sol mesnet arasında açıklığın yaklaşık olarak tam ortasında yeni bir çatlak gözlemlendi	11	Kesme
51	Sağ yük ile sağ mesnet arasında açıklığın yaklaşık olarak tam ortasında yeni bir çatlak gözlemlendi	12	Kesme
52	9 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	9	Kesme
53	11 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	11	Kesme
53	8 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	8	Kesme
53	5 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	5	Kesme
53	4 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	4	Kesme

Çizelge 4.37. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler (devamı)

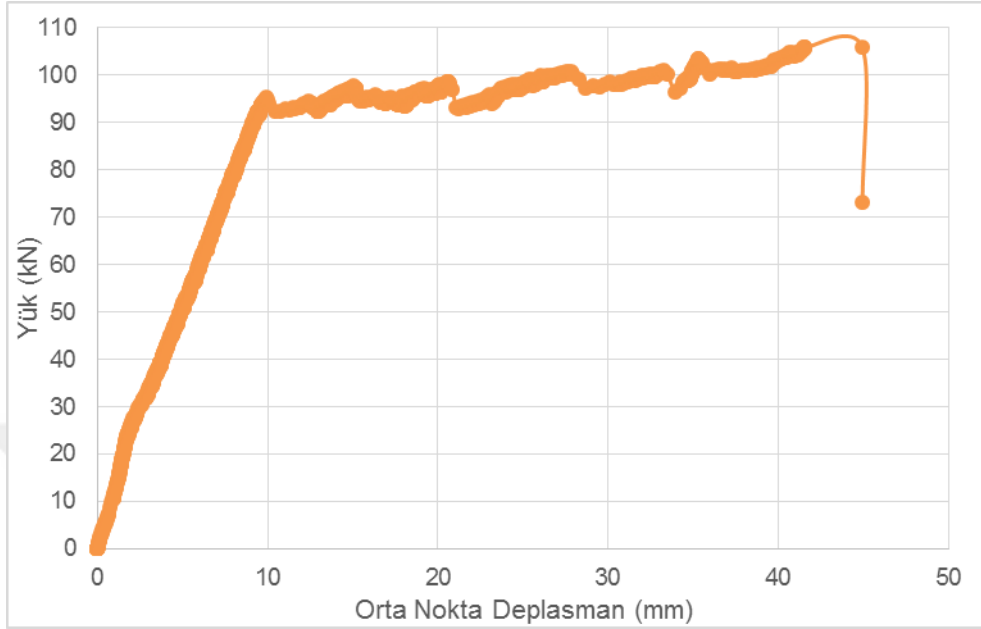
53	İki yük arasında kirişin orta noktasının çok yakınında yeni bir çatlak gözlemlendi	13	Eğilme
54	Sol yük tam alt hizasında yeni bir çatlak gözlemlendi	14	Eğilme
54	6 ve 10 nolu çatlaklar arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	15	Eğilme
56	12 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
57	13 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	13	Kesme
59	10 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	10	Kesme
61	12 ve 13 nolu çatlaklar arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	16	Kesme
62	Sağ yük tam alt hizasında yeni bir çatlak gözlemlendi	17	Kesme
62	2 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	2	Kesme
64	11 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	11	Kesme
66	12 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
66	9 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	9	Kesme
68	3 ve 10 nolu çatlaklar arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	18	Eğilme
69	8 ve 11 nolu çatlaklar arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	19	Kesme
70	12 nolu çatlağın sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	20	Kesme
73	4 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	4	Kesme
75	20 nolu çatlağın sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	21	Kesme
76	8 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	8	Kesme
79	19 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği ve 8 nolu çatlakla hemen hemen birleştiği gözlemlendi	19	Kesme
82	5 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	5	Kesme
83	16 nolu çatlağın iki kola ayrılarak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	16	Kesme
84	11 nolu çatlağın solunda yeni bir çatlak gözlemlendi	22	Kesme
85	8 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	8	Kesme
88	14 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	14	Kesme
90	12 nolu çatlağın bir eğikleşerek miktar daha ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
91	21 nolu çatlağın sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	23	Kesme
92	19 nolu çatlağın donatı civarında birkaç kola ayrılarak aderans çatlakları oluşturduğu gözlemlendi	19	Kesme
92	21 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	21	Kesme
93	3 nolu çatlağın ani şekilde genişleyerek bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	3	Kesme
93	17 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	17	Kesme
94	22 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	22	Kesme
94	22 nolu çatlağın solunda yeni bir çatlak gözlemlendi	24	Kesme

Çizelge 4.37. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler (devamı)

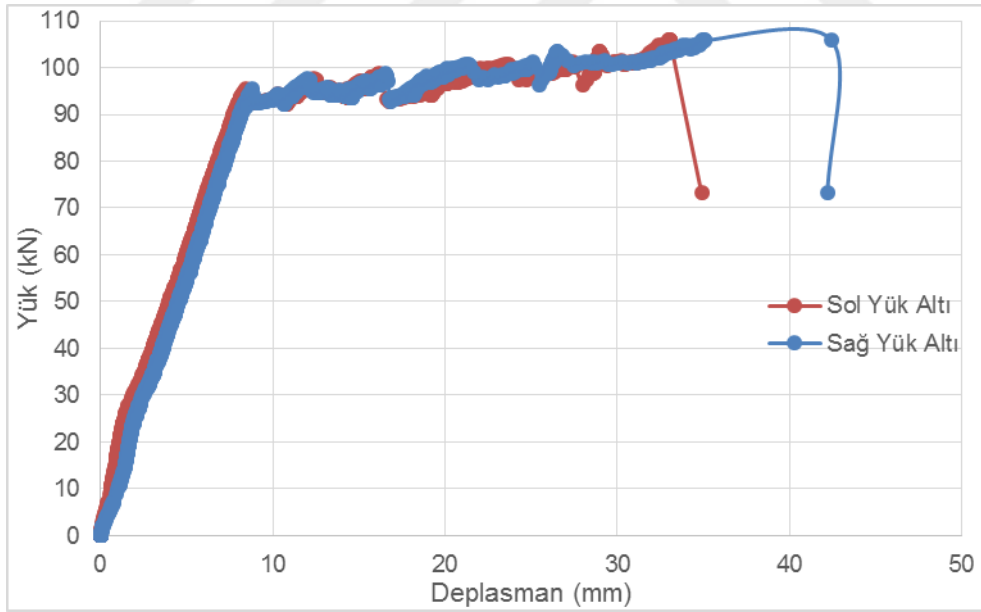
94	3 nolu çatlaklağın donatı yöresinde yeni bir kola ayrıldığı gözlemlendi	3	Kesme
95	12 ve 16 nolu çatlaklar arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	25	Kesme
95	21 nolu çatlaklağın eğikleşerek bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	21	Kesme
95	7 nolu çatlaklağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	7	Kesme
96	8 nolu çatlaklağın eğikleşerek ve yeni bir kola ayrılarak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	8	Kesme
96	14 nolu çatlaklağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	14	Kesme
96	7 nolu çatlaklağın bir basınç bölgesinde iki kola ayrılarak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	7	Kesme
97	4, 16 ve 25 nolu çatlaklarının donatı yöresinde eğik aderans çatlakları oluşturdıkları gözlemlendi	4, 16, 25	Kesme
97	17 ve 4 nolu çatlaklar arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	26	Kesme
103	7 nolu çatlaklağın bir basınç bölgesinde bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	7	Kesme
105,84	Sağ mesnet ile sağ yük arasında yeni bir eğik çatlak ani olarak oluşup diyagonal kesme kırılması ile güç tükenmesine erişildi.	27	Kesme
Yükleme Durduruldu			



Şekil 4.63. KI-DD-4-3 Numunesinde Oluşan Çatlaklar



Şekil 4.64. KI-DD-4-3 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği

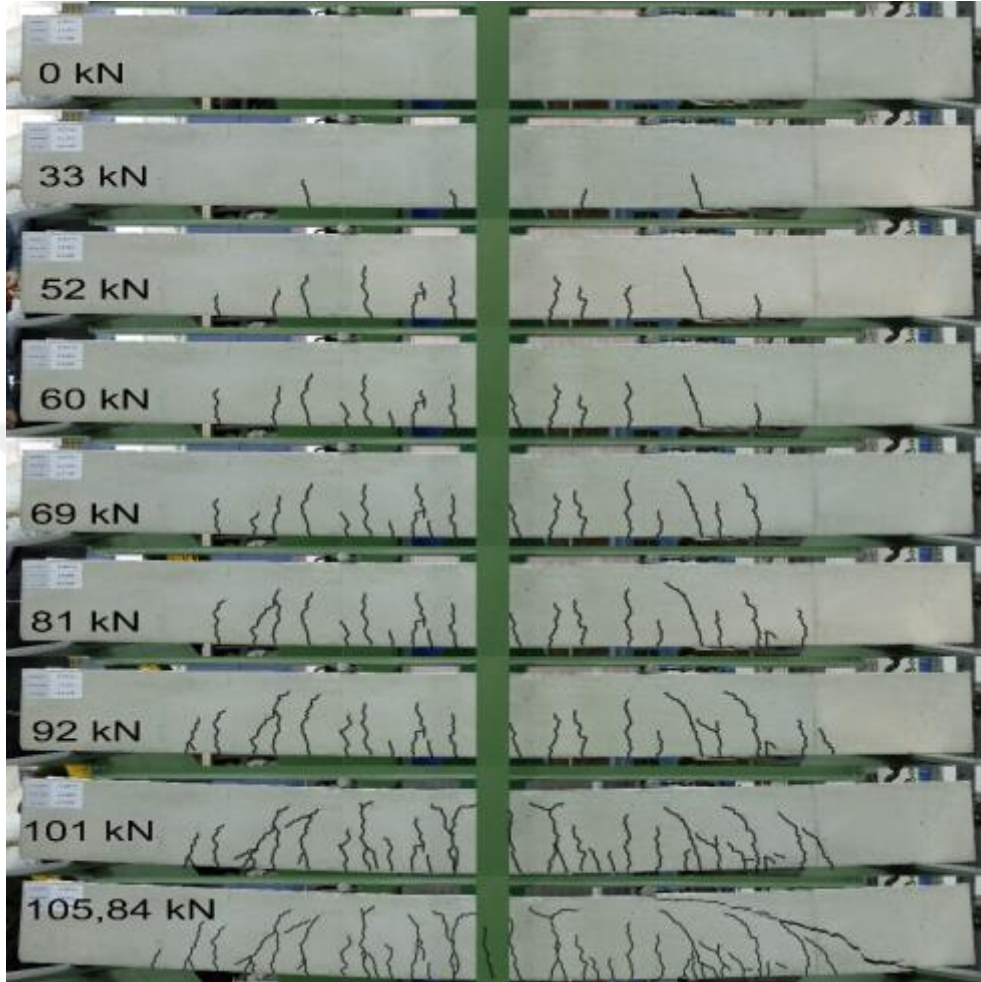


Şekil 4.65. KI-DD-4-3 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği



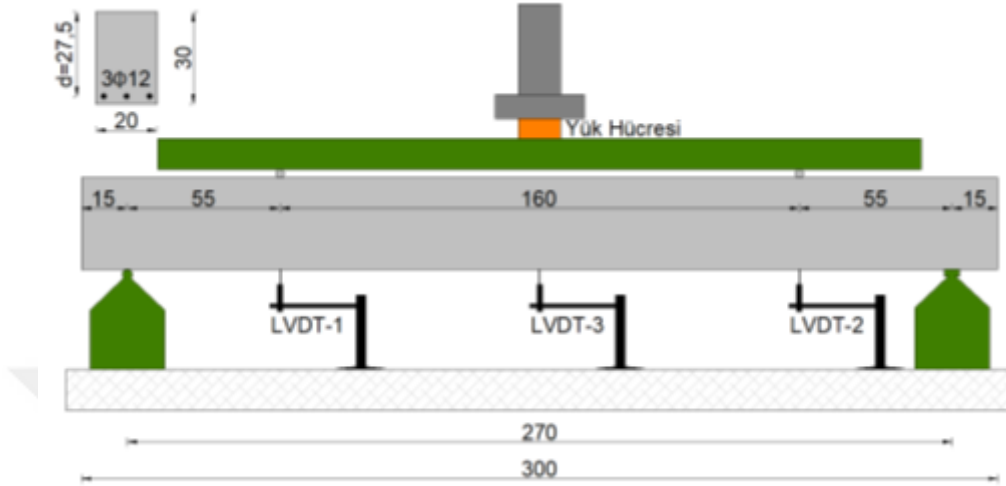
Şekil 4.66. KI-DD-4-3 Numunesi Kırılma Tipi

KI-DD-4-3 numunesinin deneyi sırasında öngörülemeyen bir sorunla karşılaşıldı. Yükleme cihazı yükü istenilen hızın çok altında ve kimi zaman duraksayarak yükledi. Bunun sonucunda benzer numune deneyleri 7-10 dakika civarlarında sürerken bu kirişin deneyi yaklaşık 51 dakika sürmüştür. Yani kiriş numunesi düzenli yük almaktan çok sabit yük altındaymış gibi bir davranışa da zorlanmış olması muhtemel görünmektedir. Tıpkı eğilme kırılmasında olduğu gibi 95 kN'dan sonra yükteki artışın azalmasıyla eğilme çatlaklarının sayısında ve genişliklerinde artışlar meydana gelmiştir. Yine diğer eğilme kırılmasına maruz kalan numunelerde olduğu gibi henüz kiriş kırılmadan gözle görülür bir düşey deplasman artışı gözlenmiştir. Örneğin yük 100 kN iken orta nokta deplasman değeri yaklaşık 34 mm civarındayken, yükün 105 kN'a yükselmesiyle orta nokta deplasman değeri 41 mm civarına yükselmiştir. Ancak yukarıda bahsedildiği gibi elemanın, yükleme hızının kontrol edilememesi sonucu sabit yüke maruz kalan bir eleman gibi davranabileceği de düşünülmektedir. Diyagonal çatlığa ek olarak tıpkı eğilmeye maruz kalan numunelerde olduğu gibi kirişin eğilme bölgesinde genişliği fazla eğilme çatlaklarının meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.67. KI-DD-4-3 Numunesinin Değişimi

4.3.3.3. KI-DD-4-2 Kirişi Deney Bulguları



Şekil 4.68. KI-DD-4-2 Numunesi Deney Düzeneği

Çizelge 4.38. KI-DD-4-2 Numunesi Sonuçları

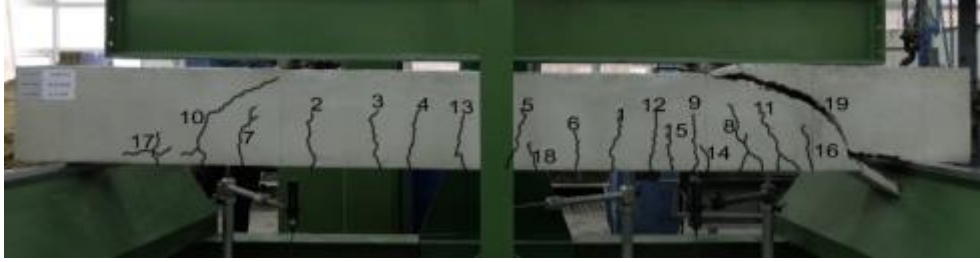
Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	33
İlk Çatlak Oluştugu Andaki Moment	kNm	11,38
Eğik Çatlağın Oluştugu Yüğü	kN	125
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	128,71
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	44,41
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	6,49
Toplam Maksimum Deplasman	mm	16,23
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliği	mm	30,12
Kırılma Tipi	Diyagonal Çatlak	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	08:38

Çizelge 4.39. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

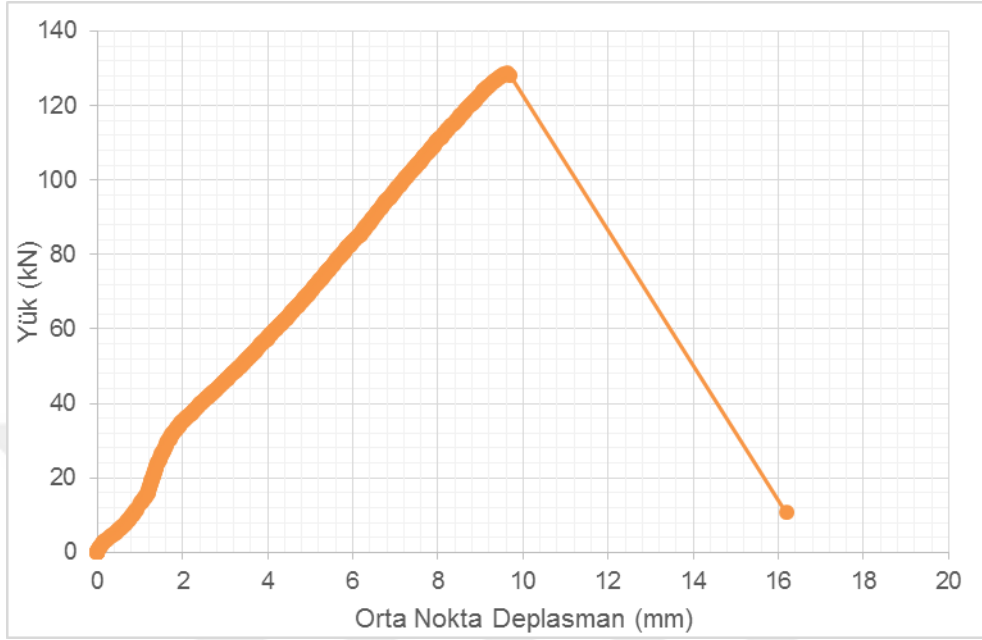
Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yükleme Başladı			
33	İki yük arasında sağ yüke yakın ilk çatlak gözlemlendi	1	Eğilme
40	İki yük arasında sol yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Eğilme
41	İki yük arasında sol yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
42	İki yük arasında sol yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Eğilme
44	İki yük arasında sağ yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Eğilme
46	İki yük arasında sağ yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Eğilme
49	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Kesme
52	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Kesme
55	1 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	1	Eğilme
57	8 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	8	Kesme
62	4 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	4	Eğilme
64	2 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	2	Eğilme
65	7 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	7	Kesme
67	5 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	5	Eğilme
70	İki yük arasında sağ yüke çok yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	9	Eğilme
75	Sol yük ile sol mesnet arasında 7 nolu çatlak solunda yeni bir çatlak gözlemlendi	10	Kesme
78	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 8 nolu çatlak sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	11	Kesme
80	8 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	8	Kesme
83	8 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	8	Kesme
85	10 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	10	Kesme
87	1 ve 8 nolu çatlaklar arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	12	Eğilme
90	İki yük arasında kirişin orta noktasının çok yakınında yeni bir çatlak gözlemlendi	13	Eğilme
94	7 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	7	Kesme
100	11 nolu çatlak bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	11	Kesme
104	11 nolu çatlak donatı civarında yeni bir kola ayrılarak aderans çatlakları oluşturduğu gözlemlendi	11	Kesme

Çizelge 4.39. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler (devamı)

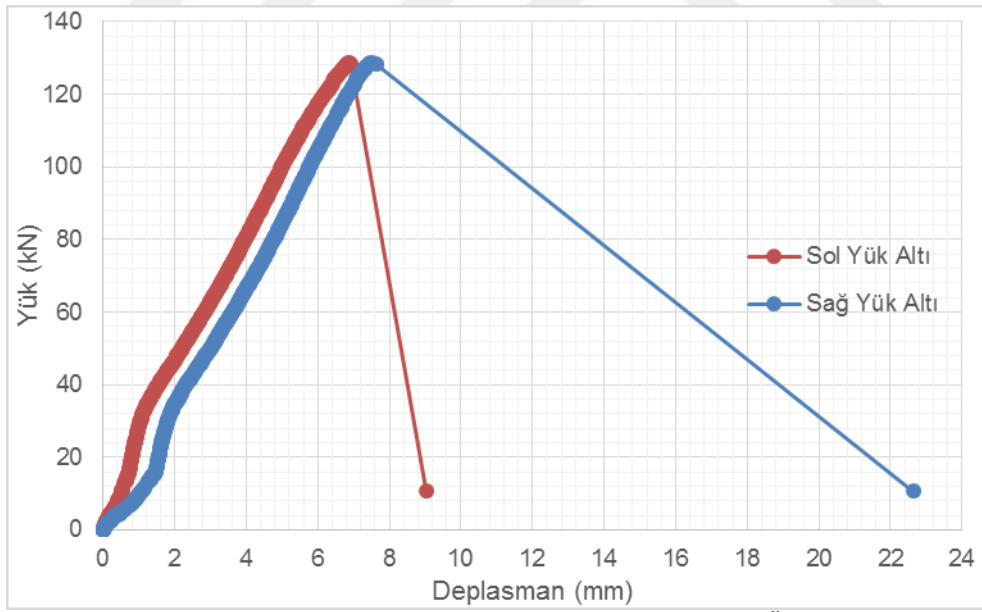
106	8 nolu çatlağın donatı civarında yeni bir kola ayrılarak aderans çatlakları oluşturduğu gözlemlendi	8	Kesme
107	8 ve 9 nolu çatlaklar arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	14	Eğilme
107	9 ve 12 nolu çatlaklar arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	15	Eğilme
110	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 11 nolu çatlağın sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	16	Kesme
112	Sol yük ile sol mesnet arasında 10 nolu çatlağın solunda yeni bir çatlak gözlemlendi	17	Kesme
113	10 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	10	Kesme
115	İki yük arasında kirişin orta noktasının çok yakınında yeni bir çatlak gözlemlendi	18	Eğilme
121	10 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	10	Kesme
125	Sağ yük ile sağ mesnet arasında eğik yönlü yeni bir çatlak gözlemlendi	19	Kesme
128,71	19 nolu çatlak ani olarak gelişip diyagonal kesme kırılması ile güç tükenmesine erişildi.	19	Kesme
Yükleme Durduruldu			



Şekil 4.69. KI-DD-4-2 Numunesinde Oluşan Çatlaklar



Şekil 4.70. KI-DD-4-2 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği



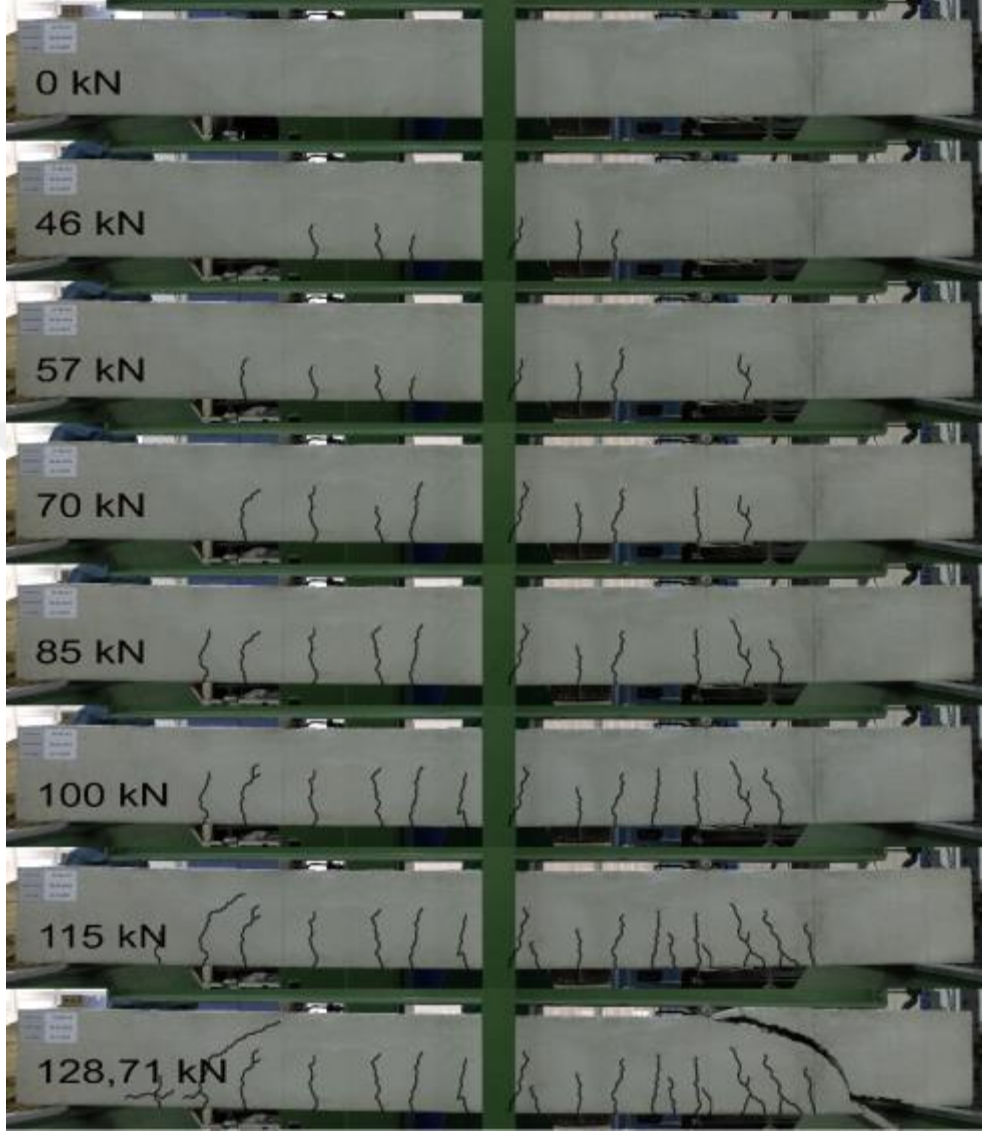
Şekil 4.71. KI-DD-4-2 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği



Şekil 4.72. KI-DD-4-2 Numunesinin Kırılma Tipi

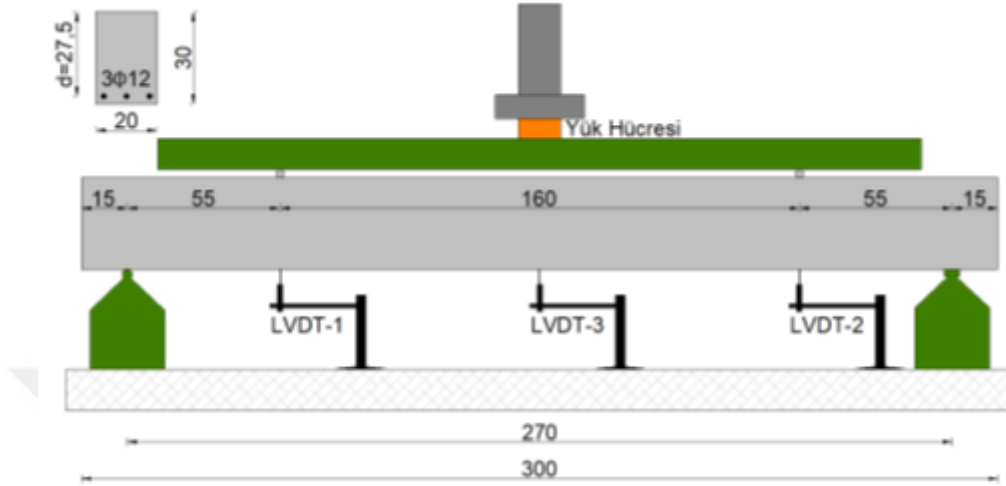
KI-ND-4-2 numunesinin deneyinde Şekil 4.70’de de görüldüğü gibi donatı civarına kadar neredeyse tam bir elips şeklinde bir çatlak oluşmuştur. Bu bakımdan beton basınç çubuğu olarak adlandırılan çatlağın üst kısmında yer alan ve mesnete direk yük aktarımı sağlayan parça tıpkı bir kemer gibi görünmektedir. Yine daha önce KI-DD-3-2 numunesinde görüldüğü gibi kırılmayla birlikte paspayı bölgesinde kopma ve basınç bölgesinde eğik çatlakla kesişen dik yönlü bir çatlak ortaya çıkmıştır.

Ayrıca yaklaşık 104 kN yükten itibaren adereans çatlakları gözlenmiş, eleman 128,71 kN’a kadar yük taşımaya devam etmiştir. Ancak kırılmaya neden olan çatlak yaklaşık 125 kN’da ortaya çıkmış ve daha yüksek (a/d) oranına sahip numunelere oranla daha ani bir kırılma meydana gelmiştir.



şekil 4.73. KI-DD-4-2 Numunesinin Değişimi

4.3.3.4. KI-DD-4-1 Kirişi Deney Bulguları



Şekil 4.74. KI-DD-4-1 Numunesi Deney Düzenegi

Çizelge 4.40. KI-DD-4-1 Numunesi Sonuçları

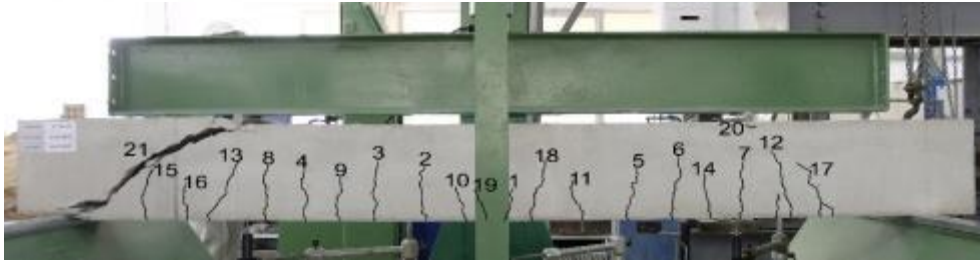
Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	39
İlk Çatlak Oluştugu Andaki Moment	kNm	10,72
Eğik Çatlağın Oluştugu Yüğü	kN	120,21
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	120,21
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	33,06
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	5,32
Toplam Maksimum Deplasman	mm	12,86
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliğı	mm	25,16
Kırılma Tipi	Diyagonal Çatlak	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	07:45

Çizelge 4.41. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

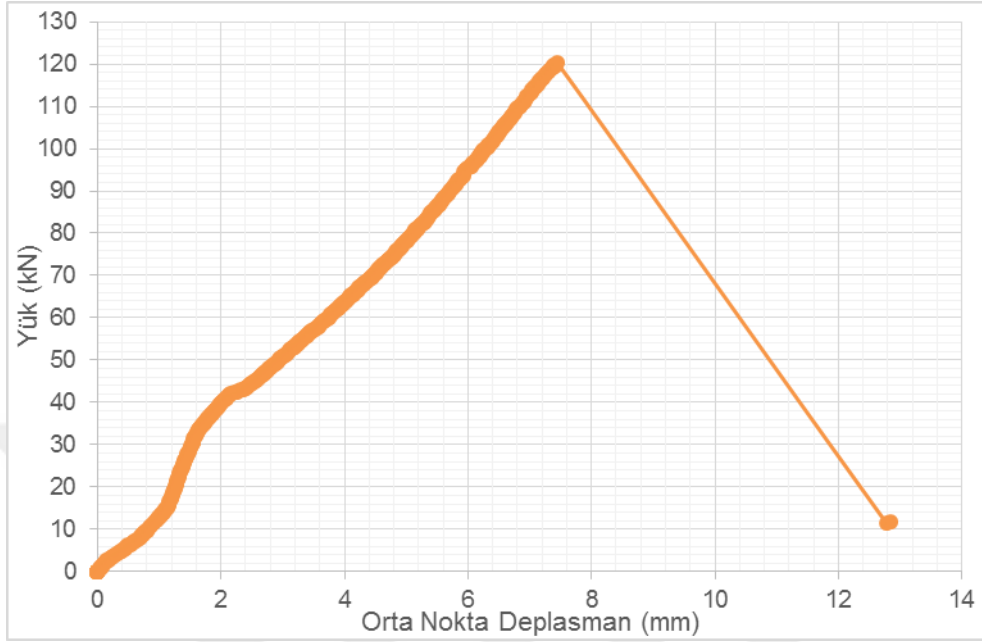
Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yüklemeye Başladı			
39	İki yük arasında orta noktaya çok yakın ilk çatlak gözlemlendi	1	Eğilme
43	İki yük arasında sol yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Eğilme
44	İki yük arasında sol yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
45	İki yük arasında sol yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Eğilme
47	İki yük arasında sağ yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Eğilme
48	İki yük arasında sağ yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Eğilme
51	İki yük arasında sağ yükün yaklaşık olarak tam altında yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Eğilme
54	İki yük arasında sol yükün yaklaşık olarak tam altında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Eğilme
57	İki yük arasında 3 ve 4 nolu çatlakların arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	9	Eğilme
59	İki yük arasında 1 ve 2 nolu çatlakların arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	10	Eğilme
60	İki yük arasında 1 ve 5 nolu çatlakların arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	11	Eğilme
63	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	12	Kesme
66	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	13	Kesme
69	5 nolu çatlakların bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	5	Eğilme
70	6 nolu çatlakların bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	6	Eğilme
72	7 nolu çatlakların bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	7	Eğilme
72	İki yük arasında 6 ve 7 nolu çatlakların arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	14	Eğilme
73	12 nolu çatlakların bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
76	Sol yük ile sol mesnet arasında açıklığın yaklaşık olarak orta noktasına çok yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	15	Kesme
81	13 nolu çatlakların bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	13	Kesme
83	Sol yük ile sol mesnet arasında 13 ve 15 nolu çatlakların arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	16	Kesme

Çizelge 4.41. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler (devamı)

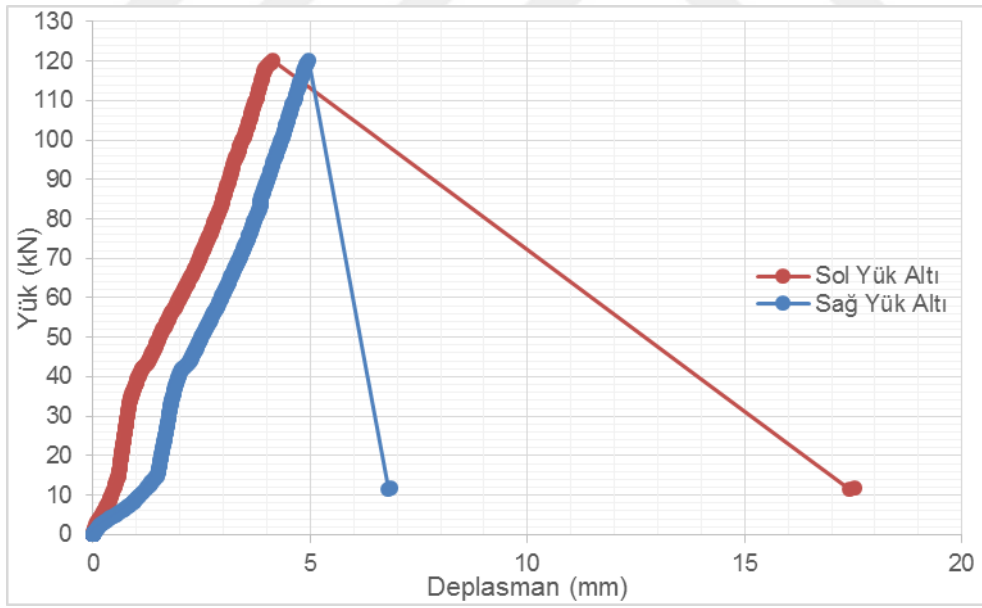
84	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 12 nolu çatlağın sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	17	Kesme
86	12 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
90	8 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	8	Eğilme
91	3 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	3	Eğilme
92	4 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	4	Eğilme
93	2 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	2	Eğilme
98	17 nolu çatlağın eğikleşerek bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	17	Kesme
100	İki yük arasında 1 ve 11 nolu çatlakların arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	18	Eğilme
103	İki yük arasında 1 nolu çatlağın çok yakınında yeni bir çatlak gözlemlendi	19	Eğilme
107	17 nolu çatlağın donatı civarında yeni bir kola ayrılarak aderans çatlakları oluşturduğu gözlemlendi	17	Kesme
108	Sağ yükün hemen altında beton basınç bölgesinde yeni bir çatlak gözlemlendi	20	Yük Altı
116	15 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	15	Kesme
119	17 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	17	Kesme
120,21	15 nolu çatlak ile kesişen yeni bir çatlak ani olarak gelişip diyagonal kesme kırılması ile güç tükenmesine erişildi.	21	Kesme



Şekil 4.75. KI-DD-4-1 Numunesinde Oluşan Çatlaklar



Şekil 4.76. KI-DD-4-1 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği

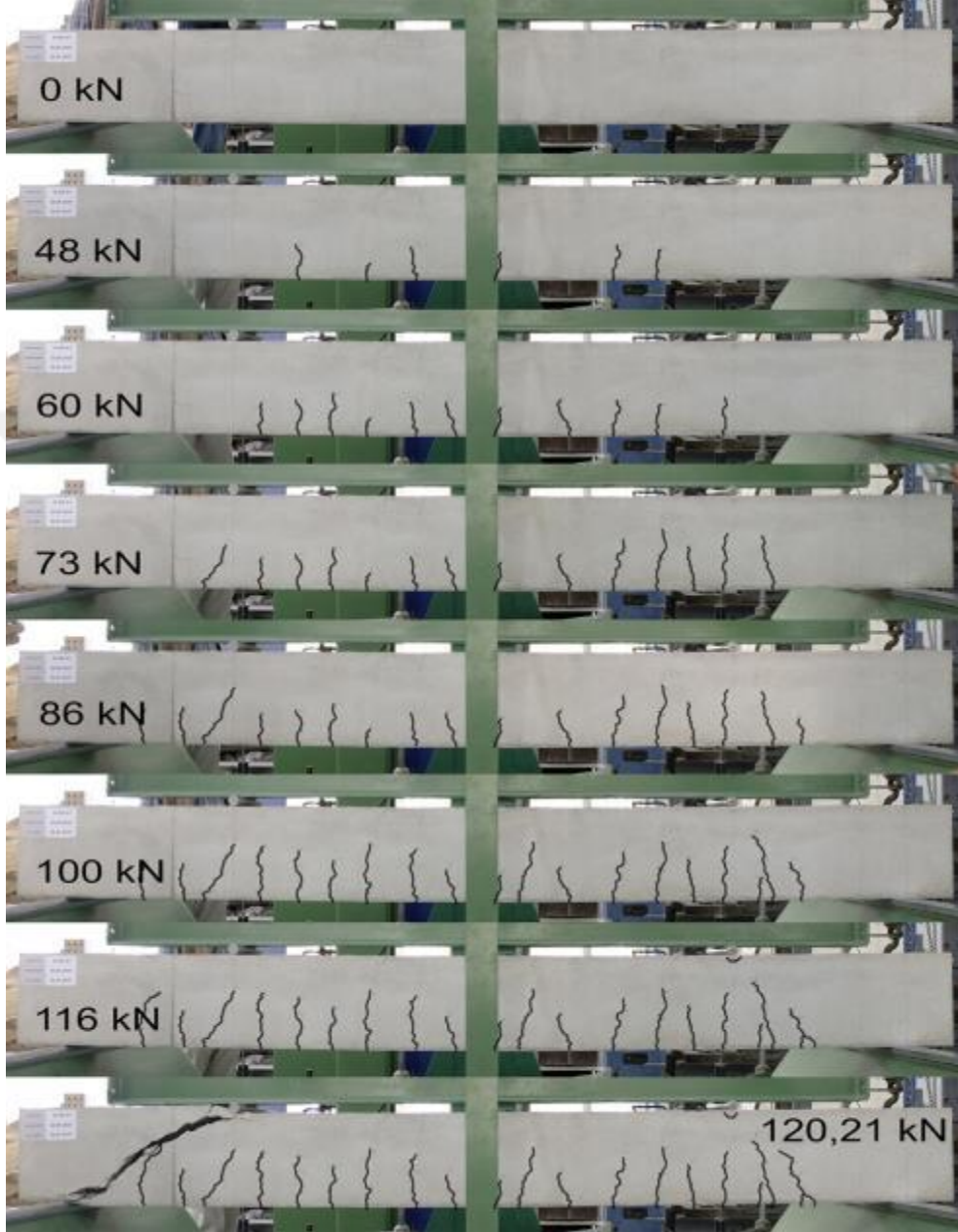


Şekil 4.77. KI-DD-4-1 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği



Şekil 4.78. KI-DD-4-1 Numunesinin Kırılma Tipi

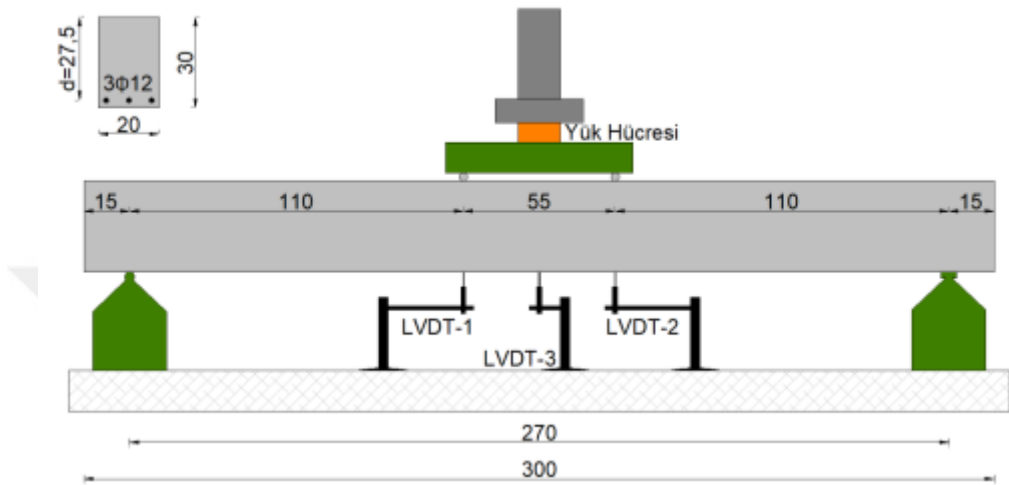
KI-DD-4-1 numunesinin deneyinde, kırılmaya neden olan eğik çatlak kırılmadan önce hiç gözlenememiştir. Kırılma anında ani bir şekilde oluşmuştur. Ancak çok yakınında bulunan 15 nolu çatlağın 116 kN civarında bir miktar ilerlediği görülmüştür. Kırılma ani ve gevrek gerçekleşmiştir.



Şekil 4.79. KI-DD-4-1 Numunesinin Değişimi

4.3.4. 1.Grup Kiriş Deneyleri

4.3.4.1. KI-ND-1-4 Kirişi Deney Bulguları



Şekil 4.80. KI-ND-1-4 Numunesi Deney Düzeneği

Çizelge 4.42. KI-ND-1-4 Numunesi Sonuçları

Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	17
İlk Çatlak Oluştığı Andaki Moment	kNm	9,35
Eğik Çatlağın Oluştığı Yüğü	kN	-
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	80,69
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	44,38
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	-
Toplam Maksimum Deplasman	mm	50,07
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliği	mm	9,36
Kırılma Tipi	Eğilme	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	09:56

Çizelge 4.43. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

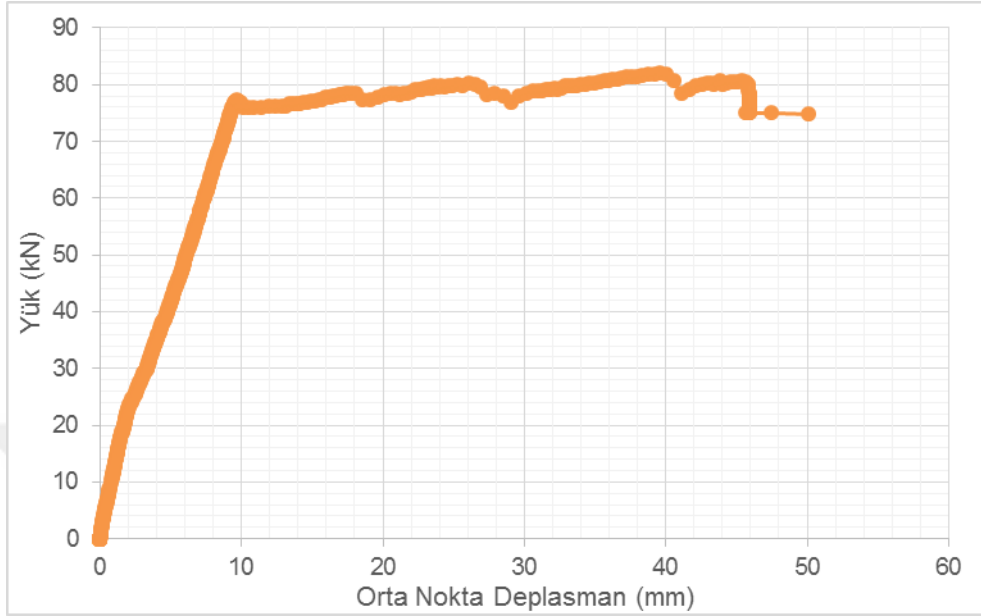
Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yükleme Başladı			
17	İki yük arasında sağa yüke daha yakın ilk çatlak gözlemlendi	1	Eğilme
24	İki yük arasında sağ yüke daha yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Eğilme
27	Sol yükün yaklaşık olarak tam altında yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
29	İki yük arasında sol yüke daha yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Eğilme
30	İki yük arasında orta noktaya çok yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Eğilme
31	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Kesme
33	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Kesme
34	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Kesme
36	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	9	Kesme
37	6 nolu çatlakların bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	6	Kesme
39	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	10	Kesme
42	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	11	Kesme
42	6 nolu çatlakların donatı civarında yeni bir kola ayrıldığı gözlemlendi	6	Kesme
43	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	12	Kesme
44	4 nolu çatlakların bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	4	Eğilme
46	İki yük arasında sol yüke çok yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	13	Eğilme
47	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	14	Kesme
48	12 nolu çatlakların bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
51	1 ve 5 nolu çatlakların ilerleyerek birleştiği gözlemlendi	1 ve 5	Eğilme
53	8 nolu çatlakların bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	8	Kesme

Çizelge 4.43. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler (devamı)

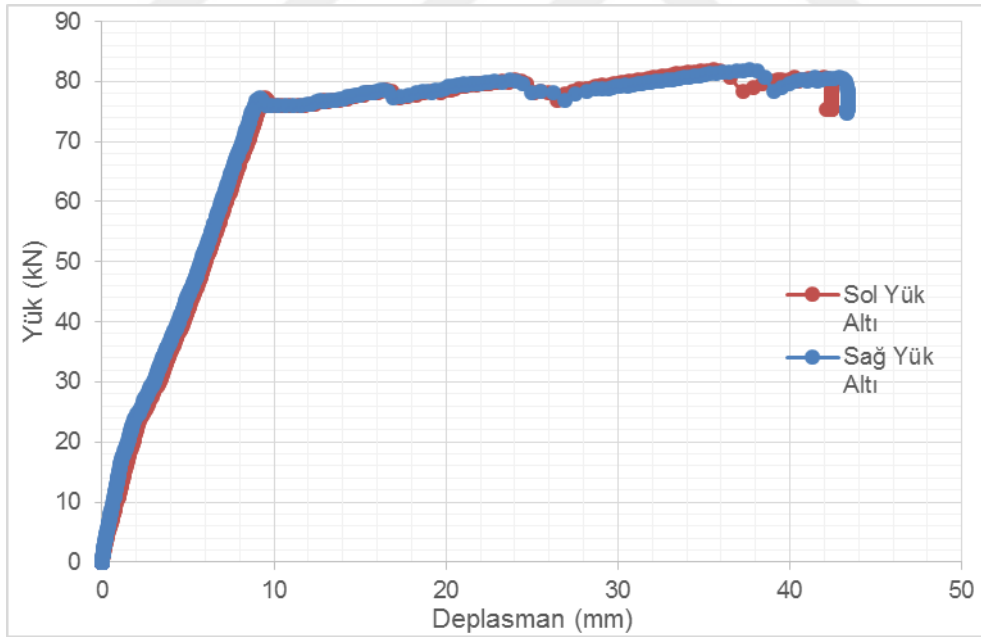
54	7 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	7	Kesme
54	10 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	10	Kesme
55	14 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	14	Kesme
58	2 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	2	Eğilme
60	7 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	7	Kesme
61	İki yük arasında 13 ve 4 nolu çatlakların arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	15	Eğilme
63	6 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	6	Kesme
64	9 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği gözlemlendi	9	Kesme
68	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	16	Kesme
68	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	17	Kesme
69	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	18	Kesme
73	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	19	Kesme
76	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	20	Kesme
77	5 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği ve beton basınç bölgesinde iki kola ayrıldığı gözlemlendi	5	Eğilme
77	Eğilme bölgesindeki çatlaklarda ani genişleme ve kırış genelinde hızlı deplasman artışı gözlemlendi	-	-
78	4 nolu çatlağın bir miktar daha ilerlediği ve beton basınç bölgesinde iki kola ayrıldığı gözlemlendi	4	Eğilme
80 kN Yük Eleman Üzerindeyken Donatının Akma Konumuna Ulaştığı Değerlendirilerek Yükleme Durduruldu			
69 kN'dan yeniden Yükleme Başladı			
81,99	Sol yükün civarında ani gelişen ve 13 ve 4 nolu çatlaklarla birleşen ezilme çatlağı ile güç tükenmesine erişildi	13 ve 4	Eğilme
Yükleme Durduruldu			



Şekil 4.81. KI-ND-1-4 Numunesinde Oluşan Çatlaklar



Şekil 4.82. KI-ND-1-3 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği

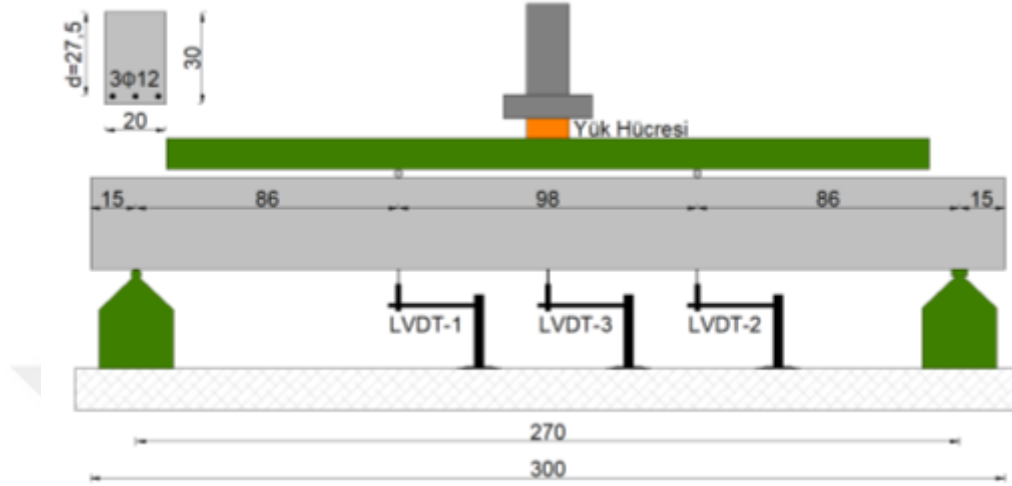


Şekil 4.83. KI-ND-1-3 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği



şekil 4.84. KI-ND-1-3 Numunesinin Değişimi

4.3.4.2. KI-ND-1-3 Kirişi Deney Bulguları



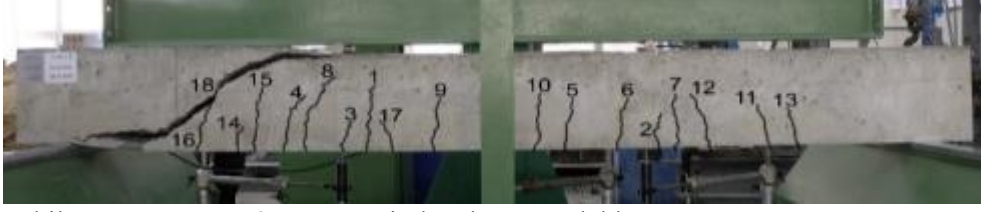
Şekil 4.85. KI-ND-1-3 Numunesi Deney Düzeneği

Çizelge 4.44. KI-ND-1-3 Numunesi Sonuçları

Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	32
İlk Çatlak Oluştugu Andaki Moment	kNm	13,76
Eğik Çatlağın Oluştugu Yüğü	kN	104
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	105,51
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	45,37
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	7,47
Toplam Maksimum Deplasman	mm	16,58
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliği	mm	26,98
Kırılma Tipi	Diyagonal Çatlak	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	06:48

Çizelge 4.45. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

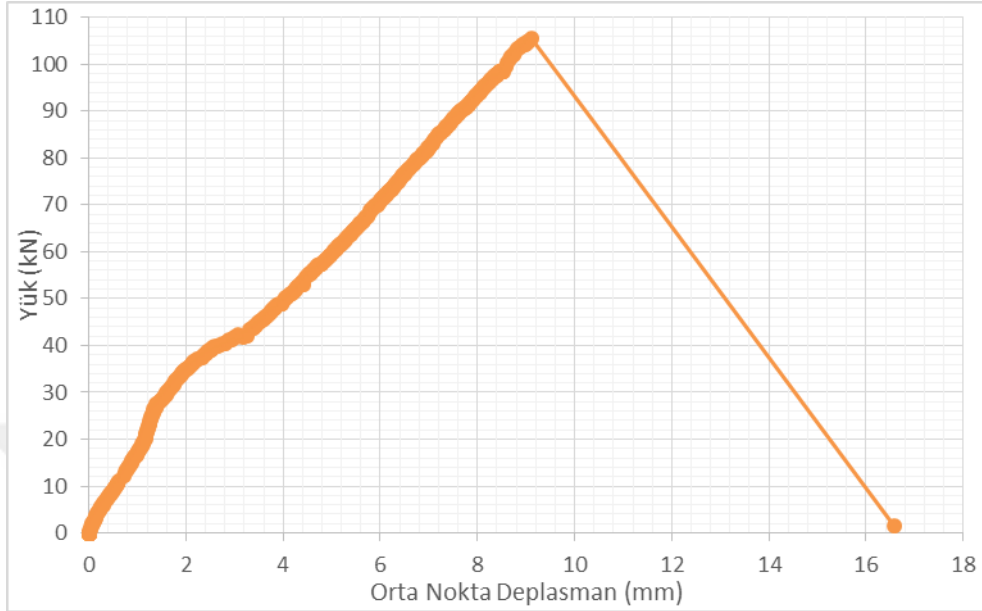
Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yükleme Başladı			
32	İki yük arasında sol yüke daha yakın ilk çatlak gözlemlendi	1	Eğilme
36	Sağ yükün yaklaşık olarak tam altında yeni bir çatlak gözlemlendi	2	Kesme
38	Sol yükün yaklaşık olarak tam altında yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
40	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Kesme
43	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Eğilme
45	İki yük arasında sağ yüke yakın yeni çatlak gözlemlendi	6	Eğilme
48	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Kesme
51	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Kesme
53	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	9	Eğilme
56	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	10	Eğilme
63	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	11	Kesme
66	1 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	1	Eğilme
69	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	12	Kesme
72	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	13	Kesme
76	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	14	Kesme
78	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	15	Kesme
80	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	16	Kesme
83	7 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	7	Kesme
87	15 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	15	Kesme
88	8 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	8	Kesme
90	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	17	Eğilme
94	12 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
104	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	18	Kesme
105,51	18 nolu çatlak hızla ilerlemesi ile diyagonal eğik çekme çatlak oluşarak güç tükenmesine erişildiği gözlemlendi	18	Kesme
Yükleme Durduruldu			



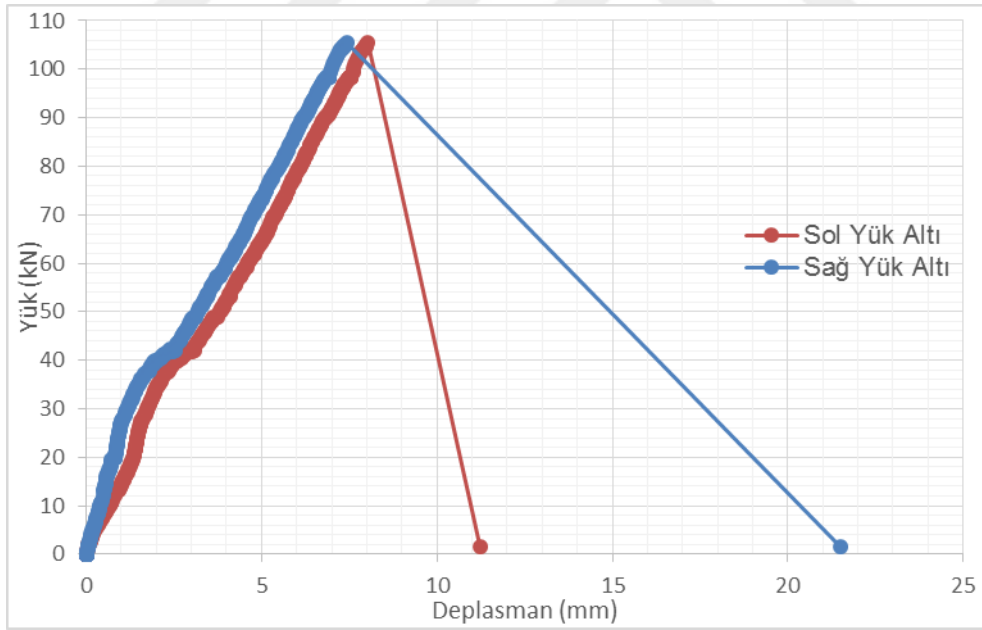
Şekil 4.86. KI-ND-1-3 Numunesinde Oluşan Çatlaklar



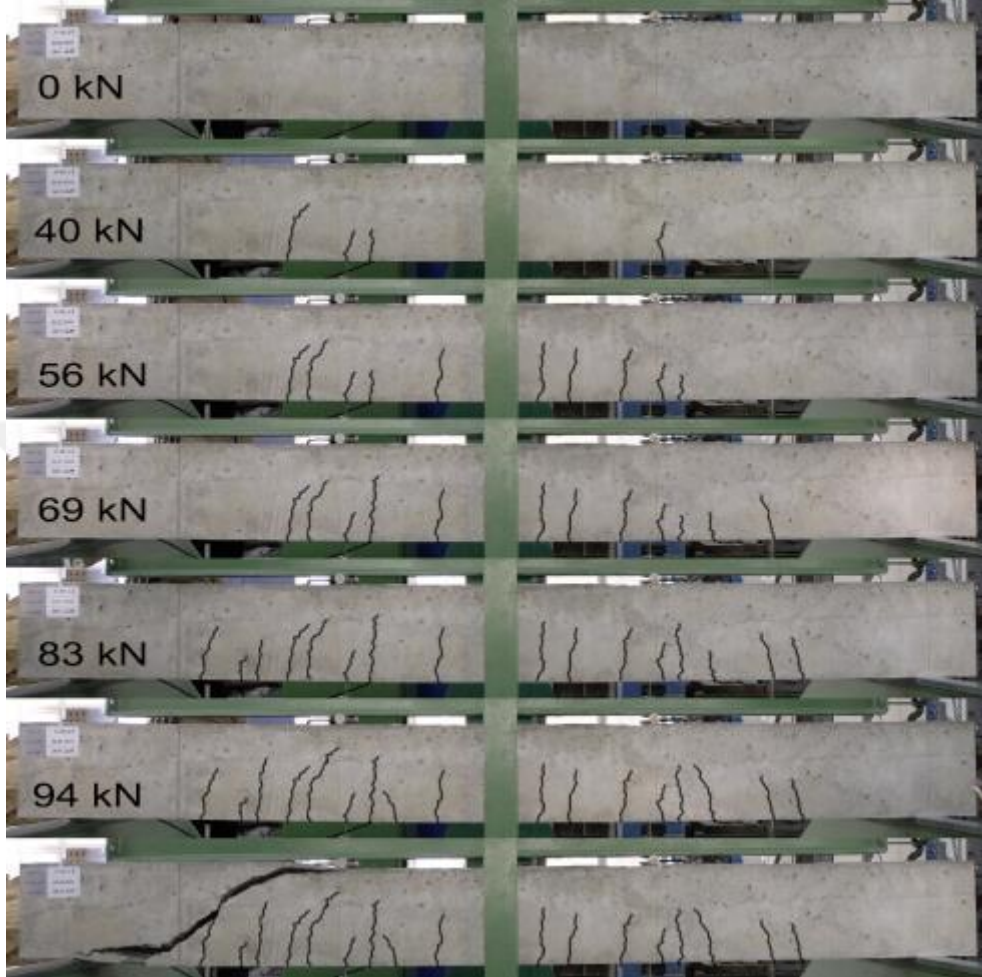
Şekil 4.87. KI-ND-1-3 Numunesi Kırılma Tipi



Şekil 4.88. KI-ND-1-3 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği

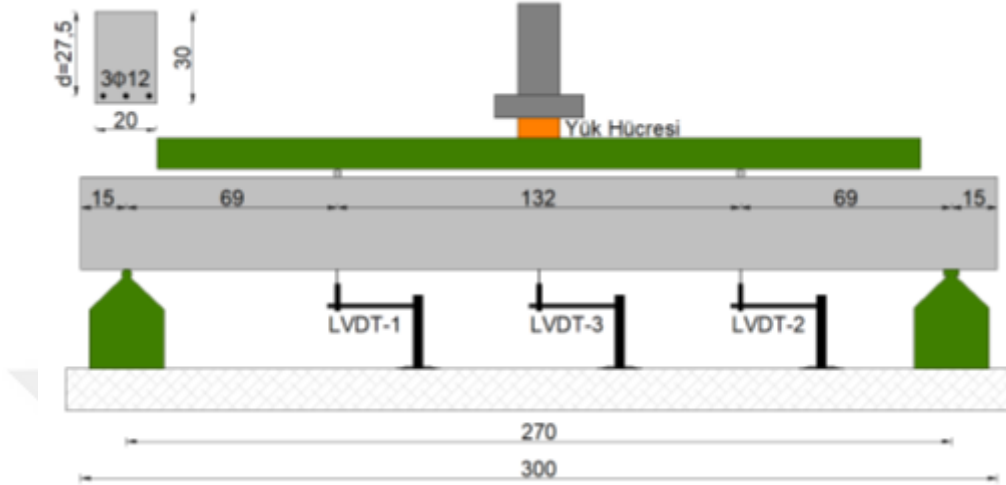


Şekil 4.89. KI-ND-1-3 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği



Şekil 4.90. KI-ND-1-3 Numunesinin Değişimi

4.3.4.3. KI-ND-1-2 Kirişi Deney Bulguları



Şekil 4.91. KI-ND-1-2 Numunesi Deney Düzeneği

Çizelge 4.46. KI-ND-1-2 Numunesi Sonuçları

Tespit Edilen İlk Çatlak Yüğü	kN	24
İlk Çatlak Oluştuğu Andaki Moment	kNm	8,28
Eğik Çatlağın Oluştuğu Yüğü	kN	87
Ulaşılan Maksimum Yüğü	kN	90,32
Ulaşılan Maksimum Moment	kNm	31,16
Kırılma Anında Oluşan Anlık Düşey Deplasman	mm	4,67
Toplam Maksimum Deplasman	mm	12,22
Kırılma Anında Oluşan Çatlak Genişliği	mm	26,92
Kırılma Tipi	Diyagonal Çatlak	
Toplam Deney Süresi	dk:sn	11:56

Çizelge 4.47. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler

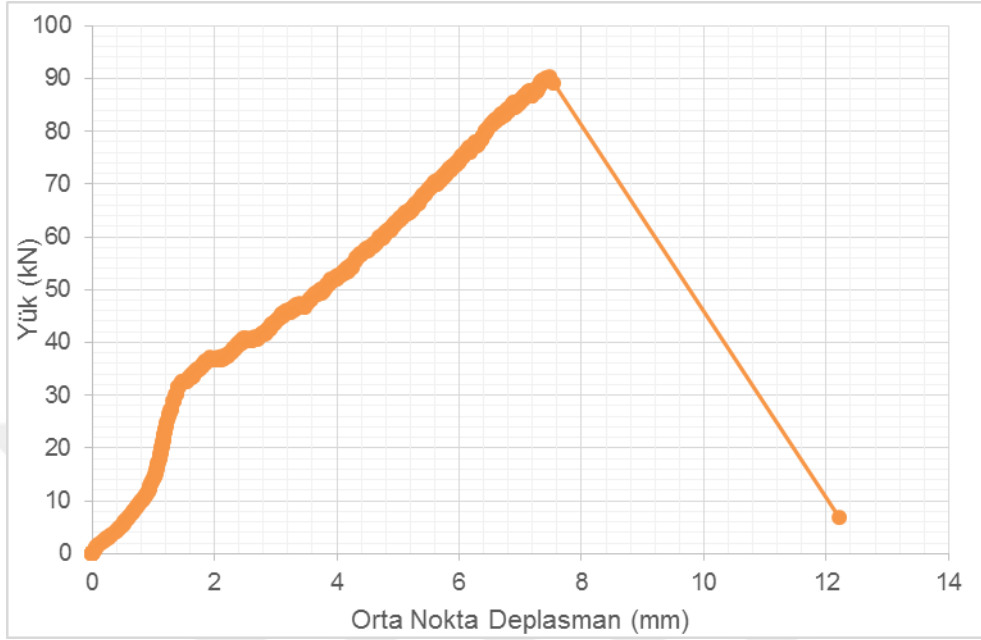
Yük (kN)	Olay	Çatlak	
		No	Bölgesi
Yüklemeye Başladı			
24	İki yük arasında orta noktaya yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	1	Eğilme
33	İki yük arasında sağ yüke daha yakın ilk çatlak gözlemlendi	2	Eğilme
34	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	3	Eğilme
36	1 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	1	Eğilme
36	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	4	Eğilme
37	İki yük arasında sol yüke yakın yeni bir çatlak gözlemlendi	5	Eğilme
43	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	6	Eğilme
43	İki yük arasında 6 nolu çatlak sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	7	Eğilme
45	İki yük arasında sol yükün yaklaşık tam altında yeni bir çatlak gözlemlendi	8	Eğilme
46	İki yük arasında sağ yükün yaklaşık tam altında yeni bir çatlak gözlemlendi	9	Eğilme
49	Sol yük ile sol mesnet arasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	10	Kesme
51	Sağ yük ile sağ mesnet arasında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	11	Kesme
53	10 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	10	Kesme
54	6 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	6	Eğilme
54	8 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	8	Eğilme
56	3 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	3	Eğilme
57	2 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	2	Eğilme
58	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 11 nolu çatlak sağında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	12	Kesme
59	9 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	9	Eğilme
61	Sol yük ile sol mesnet arasında 10 nolu çatlak solunda yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	13	Kesme
62	10 nolu çatlak bir miktar ilerlediği gözlemlendi	10	Kesme
66	Sol yük ile sol mesnet arasında 13 nolu çatlak solunda yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	14	Kesme
69	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	15	Eğilme
70	İki yük arasında yeni bir çatlak gözlemlendi	16	Eğilme

Çizelge 4.47. Deney Sırasında Gözlenen Gelişmeler (devamı)

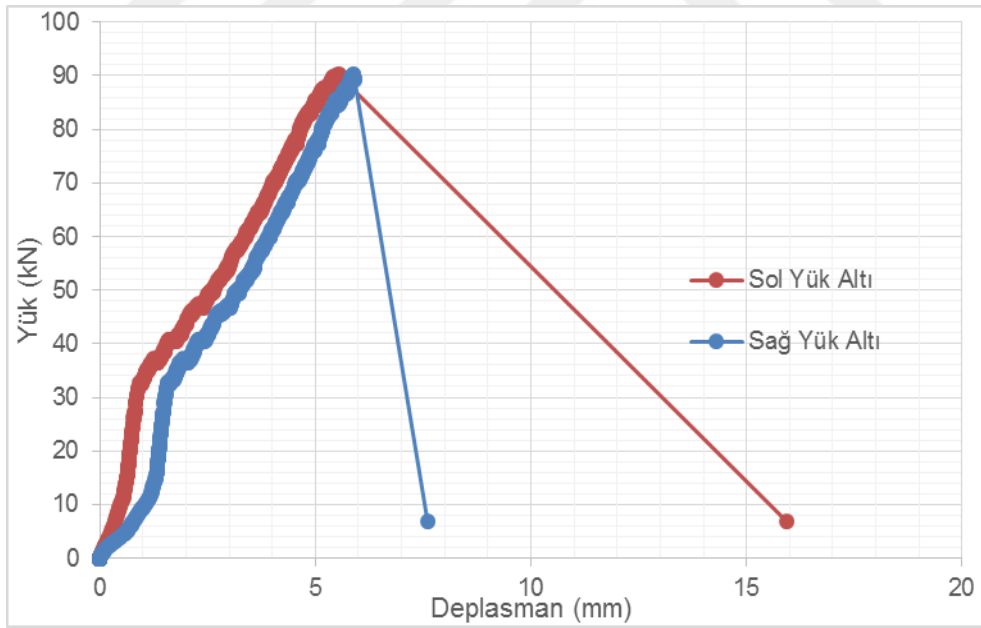
73	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 12 nolu çatlağın sağında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	12	Kesme
73	12 nolu çatlağın bir miktar ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
73	5 nolu çatlağın bir miktar ilerlediği gözlemlendi	5	Eğilme
75	İki yük arasında kiriş orta noktasının çok yakınında yeni bir çatlak gözlemlendi	18	Eğilme
76	14 nolu çatlağın bir miktar ilerlediği gözlemlendi	14	Kesme
78	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 12 nolu çatlağın sağında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	12	Kesme
78	12 nolu çatlağın bir miktar ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
81	İki yük arasında 3 nolu çatlağın sağında yeni bir çatlak gözlemlendi	19	Eğilme
84	7 nolu çatlağın bir miktar ilerlediği gözlemlendi	7	Eğilme
86	Sağ yük ile sağ mesnet arasında 17 nolu çatlağın sağında yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	20	Kesme
87	Sol yük ile sol mesnet arasında 14 nolu çatlağın solunda yeni bir çatlak gelişimi gözlemlendi	21	Kesme
88	12 nolu çatlağın aşağı yöne doğru aderans çatlağı oluşturarak ilerlediği gözlemlendi	12	Kesme
88	14 nolu çatlağın bir miktar ilerlediği gözlemlendi	14	Kesme
90,32	21 nolu çatlağın hızla ilerlemesi ile diyagonal eğik çekme çatlağı oluşarak güç tükenmesine erişildiği gözlemlendi	21	Kesme
Yükleme Durduruldu			



Şekil 4.92. KI-ND-1-2 Numunesinde Oluşan Çatlaklar



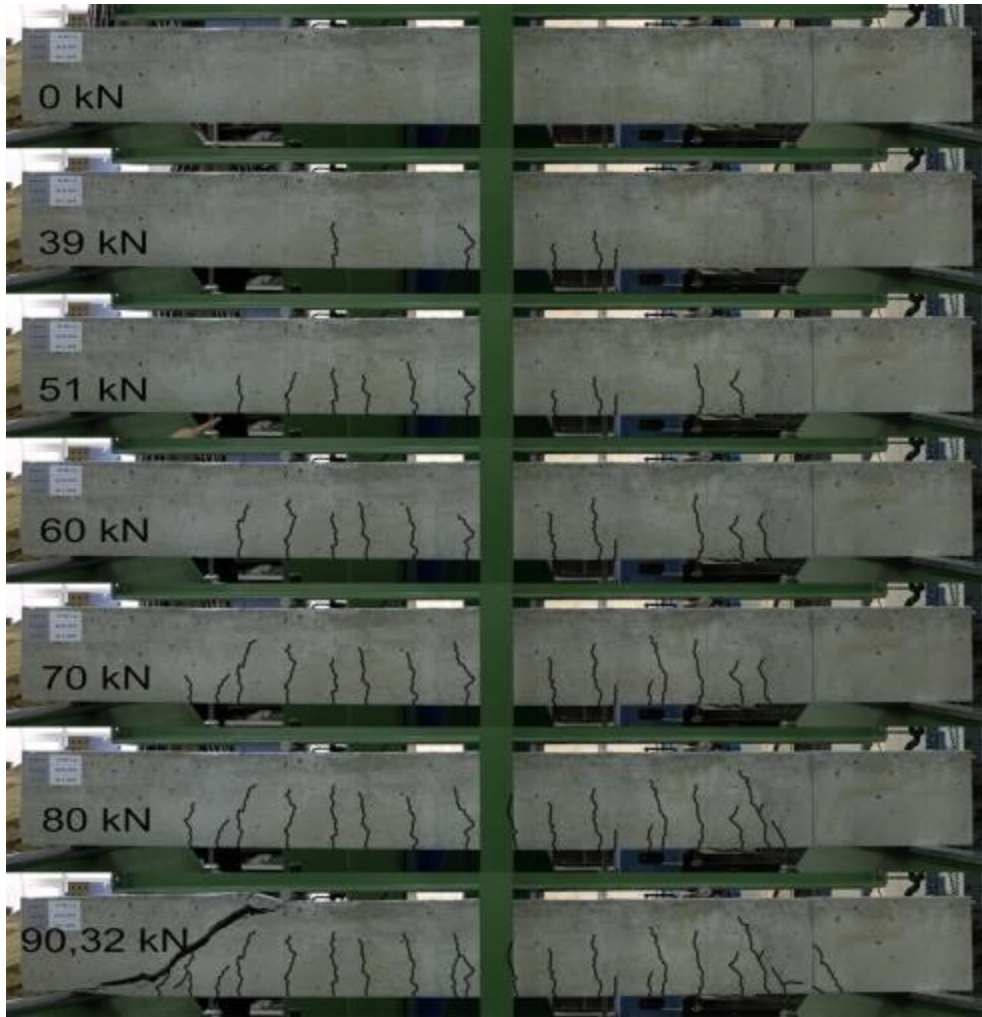
Şekil 4.93. KI-ND-1-2 Numunesi Yük-Orta Nokta Deplasman Grafiği



Şekil 4.94. KI-ND-1-2 Numunesi Yük ve Diğer Deplasman Ölçerlerle Okunan Deplasman Grafiği



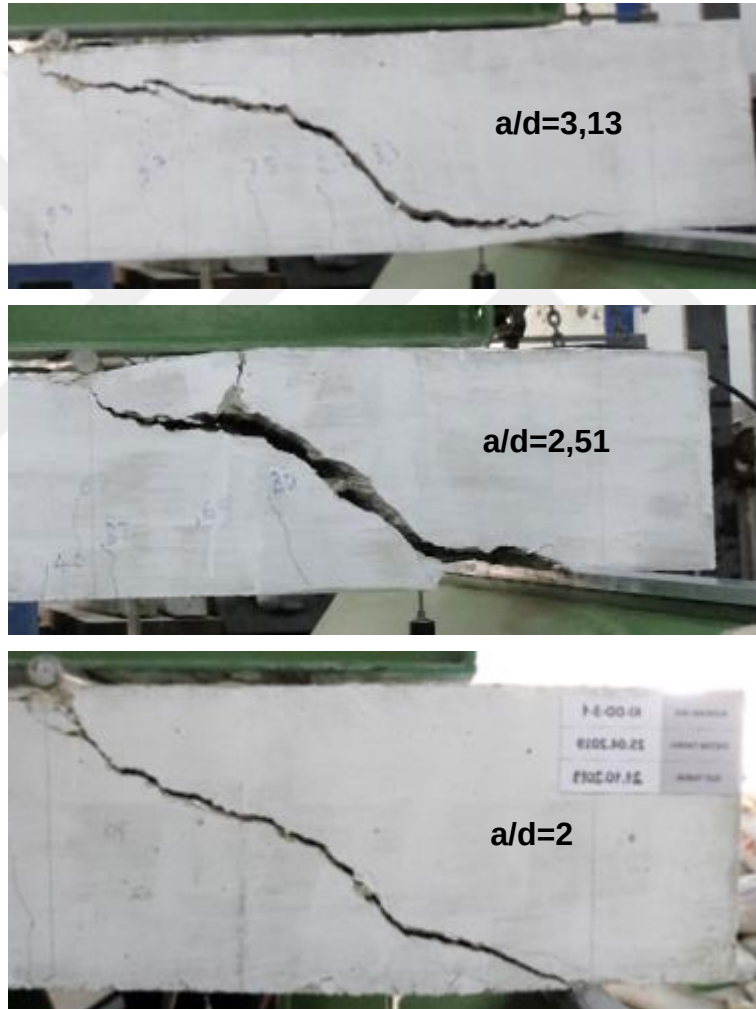
Şekil 4.95. KI-ND-1-2 Numunesinin Kırılma Tipi



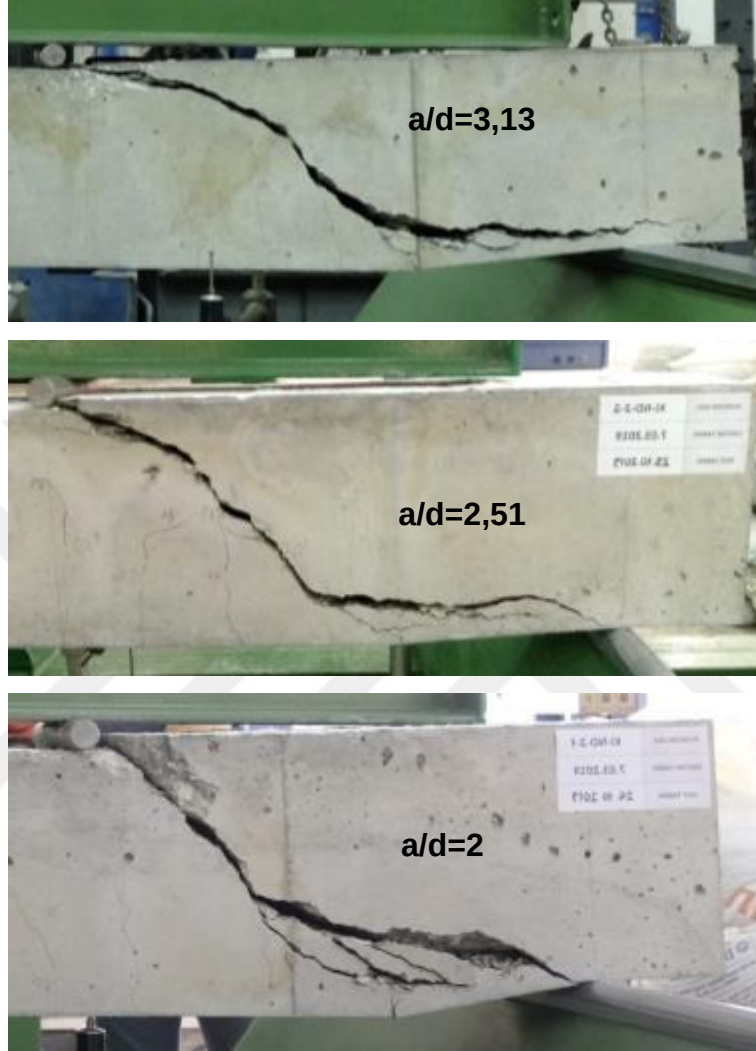
Şekil 4.96. KI-ND-1-2 Numunesinin Değişimi

4.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

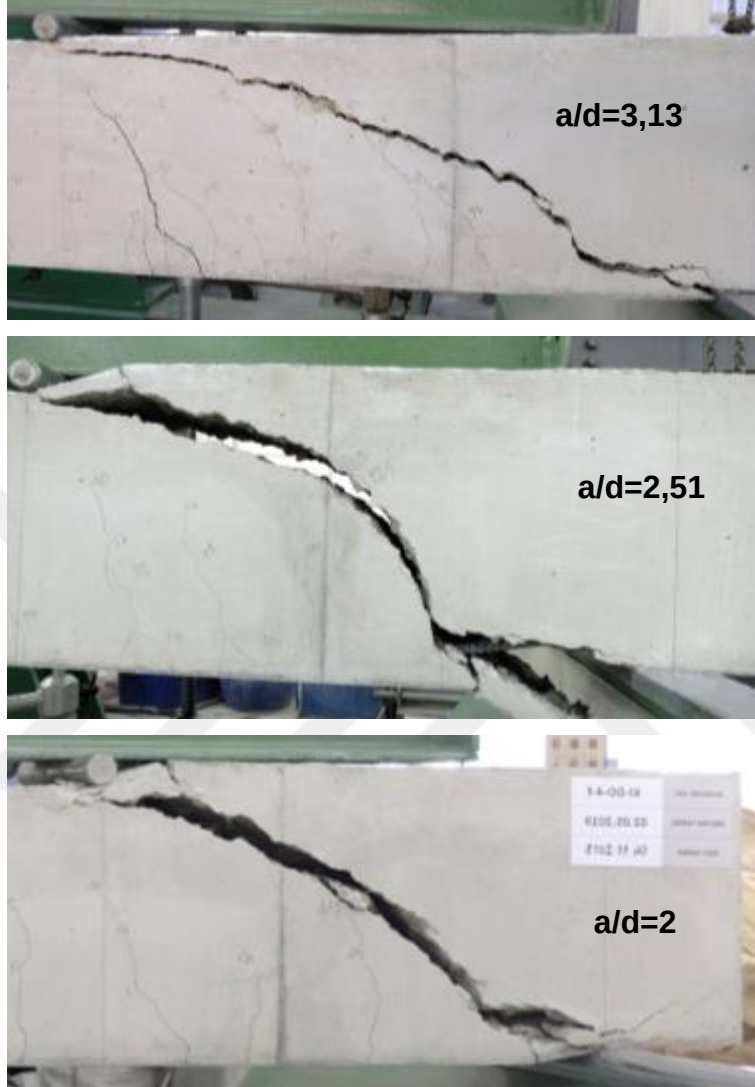
Deneyler sonucunda kesme bölgesinde oluşan diyagonal çatlak ile kırılan kiriş numunelerinin fotoğrafları aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Tüm numunelerin kıyaslanması daha kolay olması amacıyla yönleri aynı olacak şekilde düzenlenmiş ve bu nedenle bazı numunelere ait fotoğraflar en/boy oranı değişmeyecek şekilde ters simetriği alınarak aşağıdaki şekillere yerleştirilmiştir.



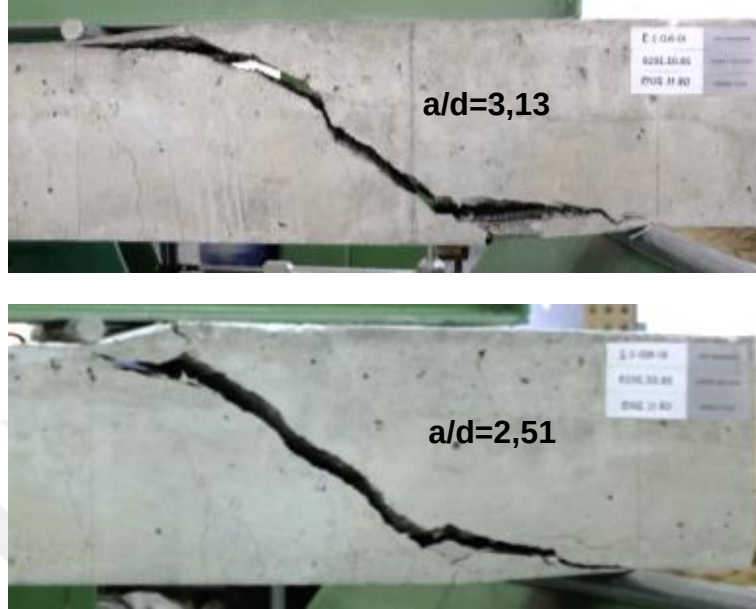
Şekil 4.97. 3. Grup ($f_c=15,68$ MPa) Numunelerde Oluşan Diyagonal Çatlak Tipleri



Şekil 4.98. 2. Grup ($f_c=56,78$ MPa) Numunelerde Oluşan Diyagonal Çatlak Tipleri



Şekil 4.99. 4. Grup ($f_c=28,32$ MPa) Numunelerde Oluşan Diyagonal Çatlak Tipleri

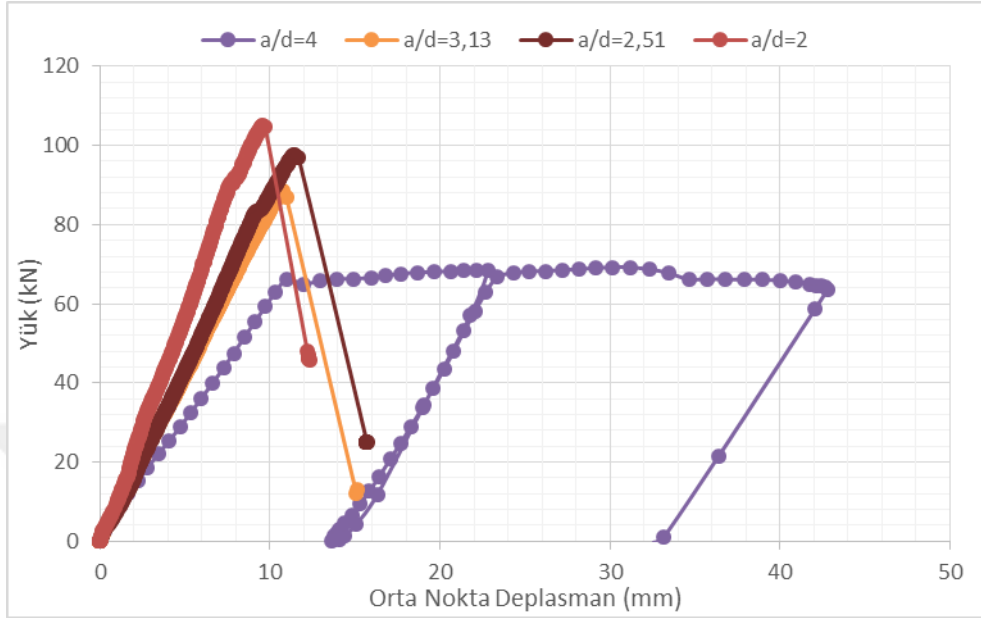
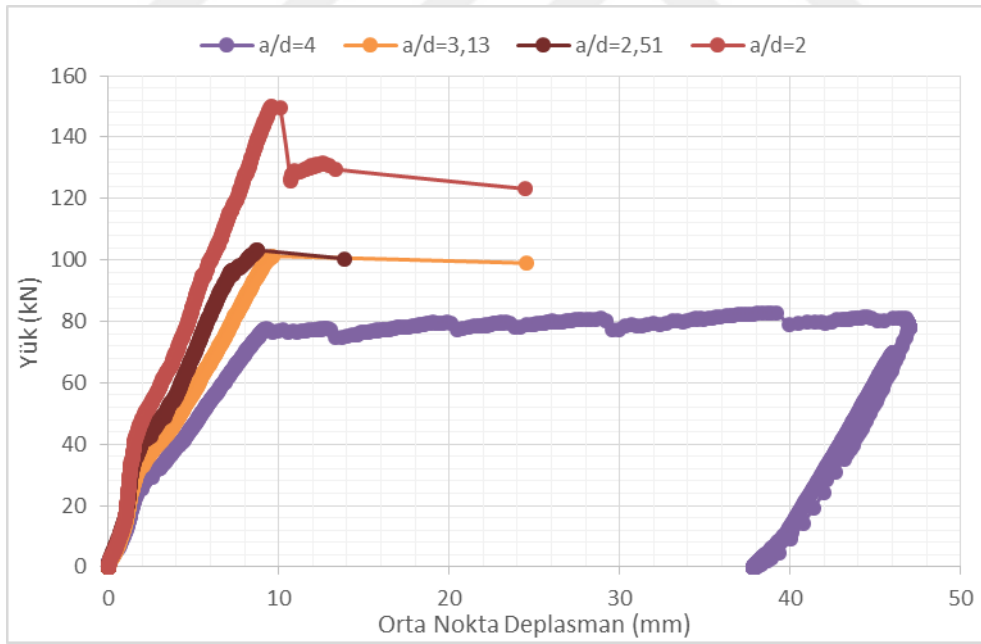


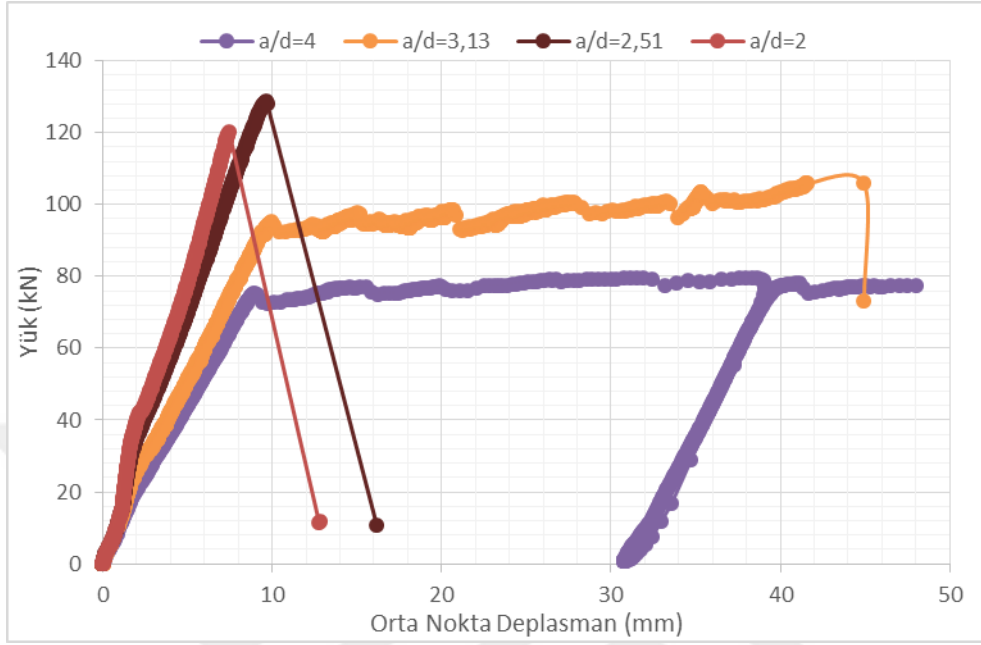
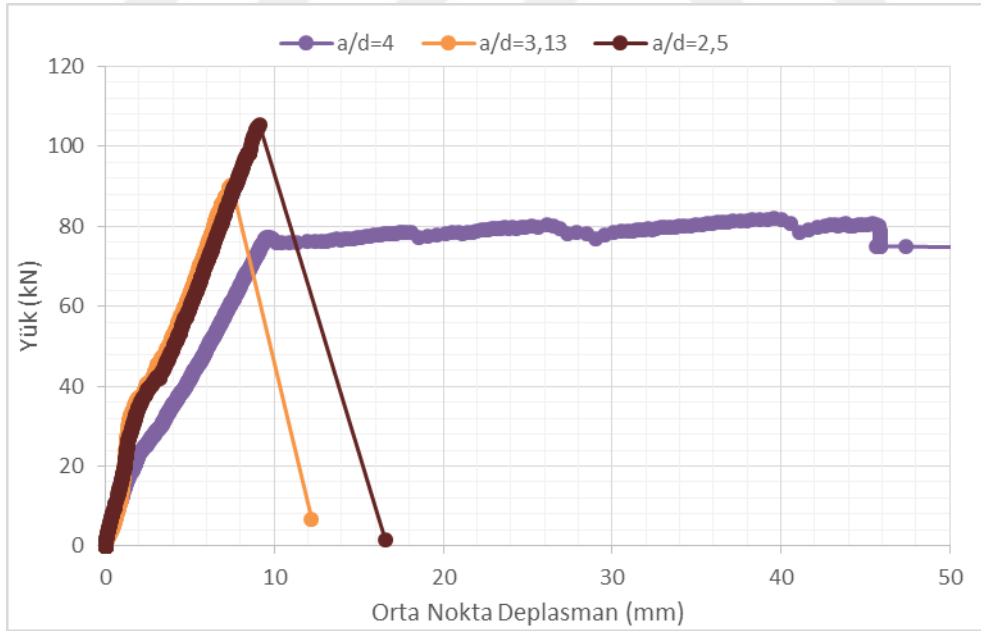
Şekil 4.100. 1. Grup ($f_c=58,63$ MPa) Numunelerde Oluşan Diyagonal Çatlak Tipleri

Dört farklı (a/d) oranı ve 4 farklı beton sınıfı kullanılarak 15 kiriş numunesi ile yapılan dört noktalı yükleme deneyleri sonucunda ölçülen, elde edilen ve gözlenen bulgular, aşağıda genel olarak değerlendirilmiştir.

Yalnızca ilk deney haricinde (KI-DD-3-4 numunesi) deney numunelerinin tamamında yükleme devam ederken kirişin yaklaşık 40-50 cm yakınından gözle çatlak kontrolü yapılmış ve gözlenen çatlaklar eleman üzerine işaretlenmiştir. Dolayısıyla kayıt altına alınan çatlakların tamamı gözleme dayalıdır ve elbette hata payı içermektedir. Çatlaklar ancak gözle görülebilir bir genişliğe ulaştıklarında tespit edilebilmektedir. Bu nedenle ilk çatlağın oluştuğu yük, tespit edilen yüklerden çok daha küçük bir değer olmalıdır. Buna rağmen bu gözlemler, çatlakların oluştuğu bölge ve şekilleri açısından fikir vermektedir. Örneğin yüklemenin başlamasıyla birlikte elemanda ilk çatlakların; genellikle iki yük arasında yer alan eğilme bölgesinde yüklerin uygulandığı noktalar civarında ve kiriş eksenine dik açıya yakın bir açıyla oluştukları gözlemlenmiştir.

Her bir grup numunelerinin yük-deplasman grafiklerine aynı grafik üzerinde bakıldığında; 1. 2. ve 3. grup numunelerde (a/d) oranının azalmasıyla kırılma yüklerinin arttığı görülmektedir. Ancak 4. grup numunelerde (a/d) oranı 2,51 olan kiriş numunesinin kırılma yükü 128,71 kN iken, (a/d) oranı 2 olan numunenin kırılma yükü 120,21 kN olarak ölçülmüştür. Bu istisna dışında kırılma yükleri ile (a/d) oranı arasında ters orantı olduğu bu deney grubundan elde edilen sonuçlara göre söylenebilir.

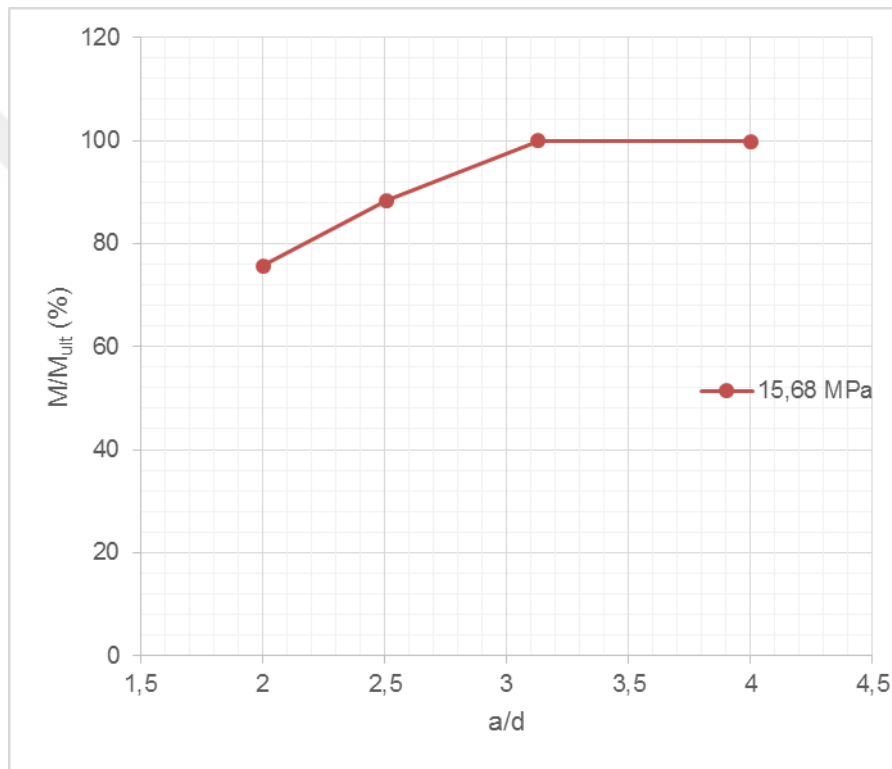
Şekil 4.101. 3. Grup Numunelerin ($f_c=15,68$ MPa) Yük Deplasman GrafikleriŞekil 4.102. 2. Grup Numunelerin ($f_c=56,78$ MPa) Yük Deplasman Grafikleri

Şekil 4.103. 4. Grup Numunelerin ($f_c=28,31$ MPa) Yük Deplasman GrafikleriŞekil 4.104. 1. Grup Numunelerin ($f_c=58,63$ MPa) Yük Deplasman Grafikleri

Kani (1966 ve 1967) tarafından yapılan çalışmalarda ortaya konan ve “Kesme Vadisi” olarak bilinen, (a/d) oranının değişimine göre moment kapasitesi değişimini gösteren grafiğin bir benzeri, elde edilen deney sonuçları ile aşağıda oluşturulmuştur. Her bir grupta deney sırasında ölçülen maksimum yükler baz alınarak maksimum momentler hesaplanmıştır. Bu momentlerin içerisinde en büyük değere sahip moment, maksimum moment olarak kabul edilmiş, diğer momentlerin maksimum momente göre yüzdeleri alınarak aşağıdaki grafiklerin y eksenini oluşturulmuştur. Aslında Kani’nin Kesme Vadisindeki y eksenini maksimum momentin eğilmedeki momente göre yüzdesi olarak hesaplanmıştır. Ancak bu deney grubu için ölçülen en yüksek moment eğilmedeki moment olarak kabul edilmiştir. Zaten 2. Grup numunelerde en yüksek moment kapasitesi (a/d) oranı 4 iken yani eğilmedeki momentinde gerçekleşmiş ancak diğer numunelerde (a/d) oranı 3,13 iken en yüksek moment kapasitesine erişilmiştir. Ancak bu gruplarda dahi eğilmedeki maksimum moment ($a/d=4$ iken) ile (a/d) ’nin 3,13 olduğu durumlardaki maksimum momentler arasındaki fark %5’ten azdır.

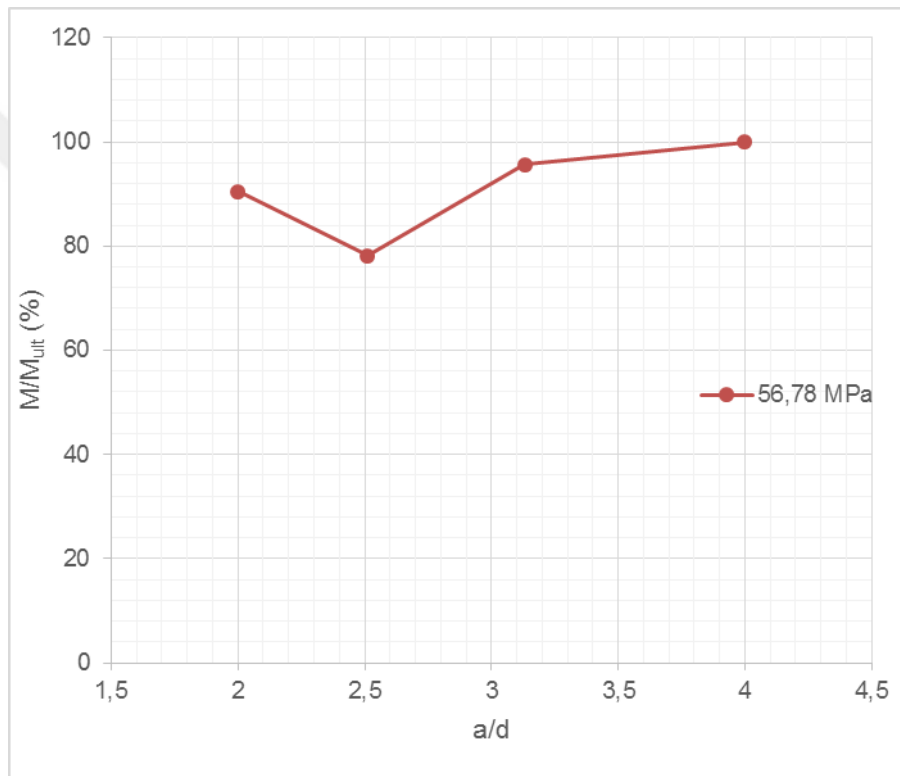
Çizelge 4.48. 3. Grup Numunelerin ($f_c=15,68$ MPa) Momentleri Karşılaştırılması

a/d	P	V	L	M	M/M _{ult}
	(kN)	(kN)	(m)	(kNm)	%
2	105,02	52,51	0,55	28,8805	75,7289
2,51	97,67	48,835	0,69	33,69615	88,3562
3,13	88,69	44,345	0,86	38,1367	100
4	69,25	34,625	1,1	38,0875	99,871

Şekil 4.105. 3. Grup Numunelerin ($f_c=15,68$ MPa) Moment Yüzdesi-(a/d) Grafiği

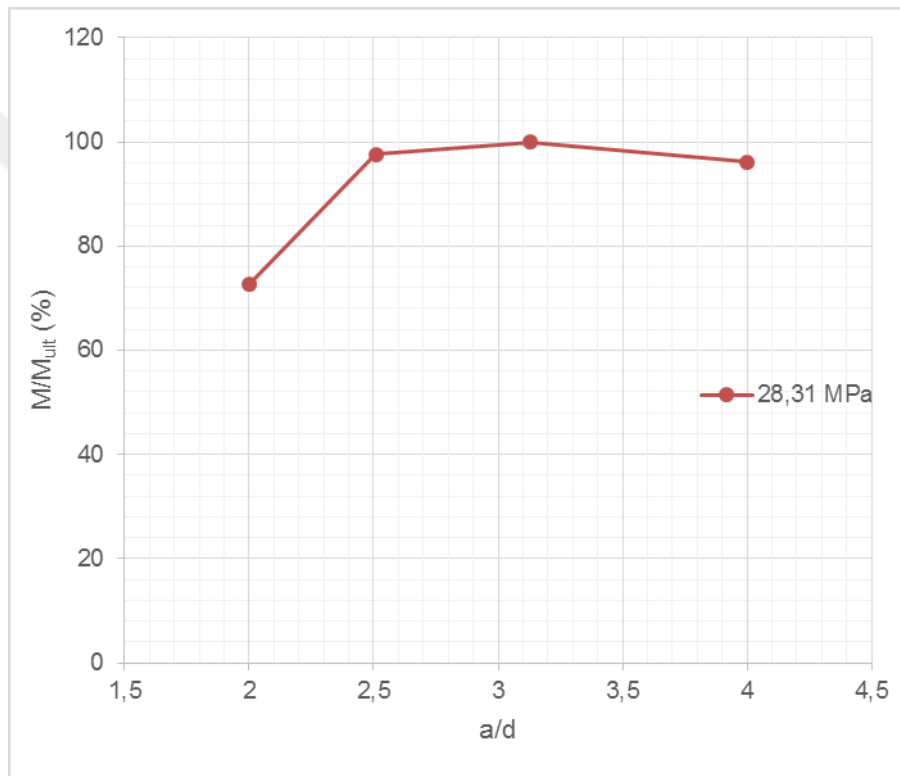
Çizelge 4.49. 2. Grup Numunelerin ($f_c=56,78$ MPa) Momentleri Karşılaştırılması

a/d	P	V	L	M	M/M _{ult}
	(kN)	(kN)	(m)	(kNm)	%
2	149,94	74,97	0,55	41,2335	90,5325
2,51	103,23	51,615	0,69	35,61435	78,1951
3,13	101,27	50,635	0,86	43,5461	95,6101
4	82,81	41,405	1,1	45,5455	100

Şekil 4.106. 2. Grup Numunelerin ($f_c=56,78$ MPa) Moment Yüzdesi -(a/d) Grafiği

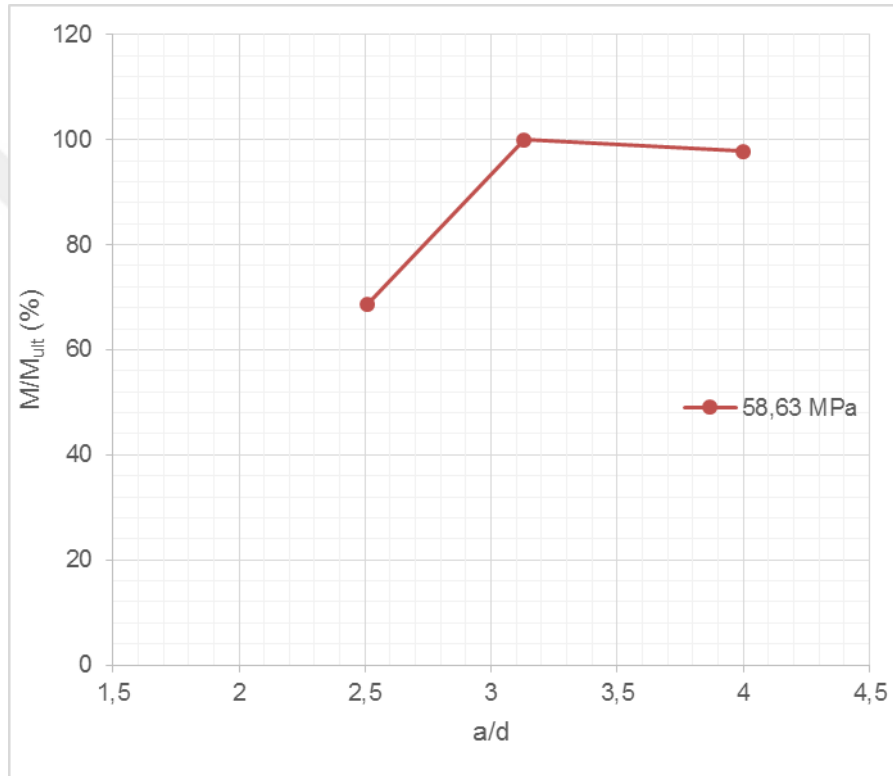
Çizelge 4.50. 4. Grup Numunelerin ($f_c=28,31$ MPa) Momentleri Karşılaştırılması

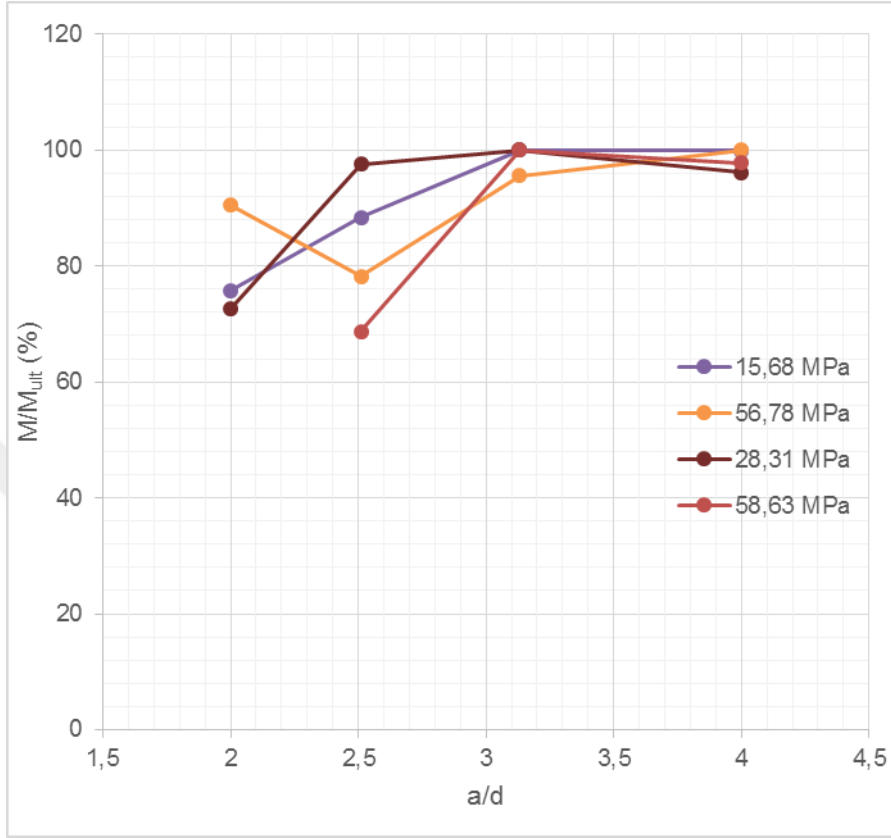
a/d	P	V	L	M	M/M _{ult}
	(kN)	(kN)	(m)	(kNm)	%
2	120,21	60,105	0,55	33,05775	72,6365
2,51	128,71	64,355	0,69	44,40495	97,5693
3,13	105,84	52,92	0,86	45,5112	100
4	79,54	39,77	1,1	43,747	96,1236

Şekil 4.107. 4. Grup Numunelerin ($f_c=28,31$ MPa) Moment Yüzdesi -(a/d) Grafiği

Çizelge 4.51. 1. Grup Numunelerin ($f_c=58,63$ MPa) Momentleri Karşılaştırılması

a/d	P	V	L	M	M/M _{ult}
	(kN)	(kN)	(m)	(kNm)	%
2,51	90,32	45,16	0,69	31,1604	68,6817
3,13	105,51	52,755	0,86	45,3693	100
4	80,69	40,345	1,1	44,3795	97,8183

Şekil 4.108. 1. Grup Numunelerin ($f_c=58,63$ MPa) Moment Yüzdesi-(a/d) Grafiği



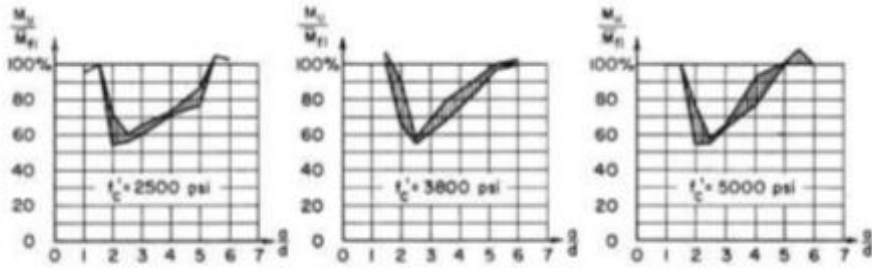
Şekil 4.109. Tüm Numunelerin Moment Yüzdesi -(a/d) Grafiği

Beton basınç dayanımının sonuçlar üzerine etkisine bakılacak olursa; tüm numunelere aynı kesme vadisi grafiği üzerinde bakılması anlamlı olacaktır (Şekil 4.102). Beton basınç dayanımları 15,68 MPa ve 28,32 MPa olan 1. ve 3. grup numunelerin en düşük moment kapasitesine (a/d) oranının 2 olduğu durumda ulaştığı beton basınç dayanımı 56,78 MPa olan grupta ise (a/d) oranının 2,51 olduğu durumda en düşük moment kapasitesi olduğu görülmektedir.

Elbette bu sonuçlar dört farklı (a/d) oranı için yapılan deneyleri kapsamaktadır. Özellikle düşük dayanımlı numunelerin deney sayısı daha düşük (a/d) oranına sahip numuneler ile arttırılsaydı kemerlenme etkisinin neden olduğu moment kapasitesi artışının görülmesi beklenirdi.

Beton basınç dayanımı 56,78 MPa olan grupta (a/d)'nin 2 olduğu durumda gerçekleşen moment kapasitesindeki artış; Kani'nin çalışmalarında belirtilen kemerlenme etkisi sonucu dayanımın ve buna bağlı olarak moment kapasitesinin artacağı görüşünü desteklemekte olup, bu grup numunelerle elde edilen sonuçlara tam bir kesme vadisi oluşmuştur (Şekil 4.103.).

Her ne kadar Kani, beton basınç dayanımının sonuçlar üzerinde anlamlı bir fark oluşturmadığını belirtmişse de (Şekil 4.103.), bu deney sonuçlarına göre beton basınç dayanımının vadinin en alt noktasının hangi (a/d) oranına denk geldiğini etkileyebileceği düşünülmektedir. Kani'nin bu karşılaştırma için kullandığı deney serisindeki numunelerin beton basınç dayanımların 19,3 MPa, 26,2 MPa ve 34,5 MPa, donatı oranı ise % 1,88'dir (Birgisson, 2011). Ancak bu çalışma kapsamında kullanılan beton sınıfları 15,68 MPa, 28,32 MPa, 56,78 MPa ve 58,63 MPa olup, daha geniş bir aralığı temsil etmektedir.



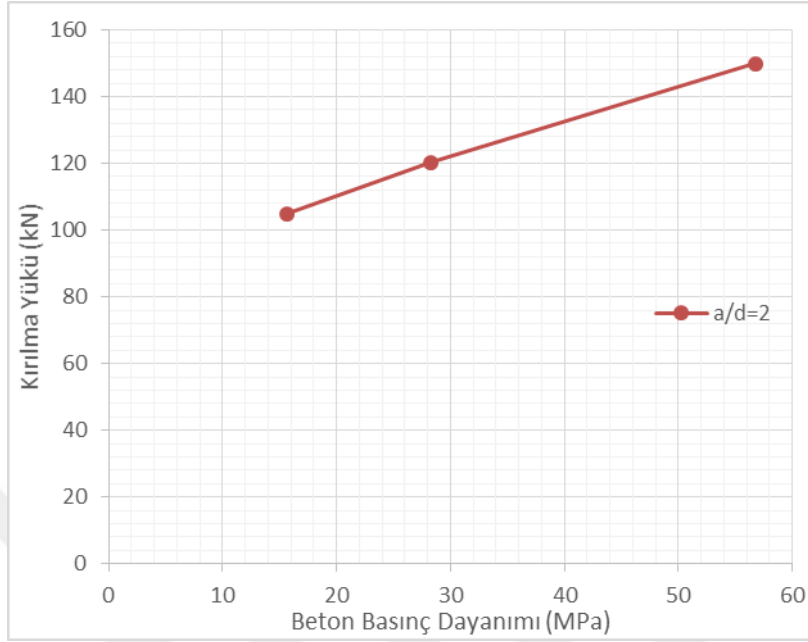
Şekil 4.110. Beton Basınç Dayanımının Kesme Vadisine Etkisi (Kani, 1966)

Beton basınç dayanımının kırılma yükü ile ilişkisine bakıldığında ise kırılma yükü bakımından Kani'nin çalışması ile uyumlu olduğu, gerçekten beton basınç dayanımı artışı ile kırılma yükü arasında tutarlı bir ilişki elde edilemediği söylenebilir. (a/d) oranının 2 olduğu numuneler için (Şekil 4.108.) beton basınç dayanımı arttıkça kırılma yükünün de arttığı görülmektedir. Aynı şekilde (a/d) oranı 4 olan numunelerde de beton basınç dayanımı 56,78 MPa ve 58,63 MPa olan numunelerin kırılma yükleri arasındaki küçük sayılabilecek fark ihmal edilirse

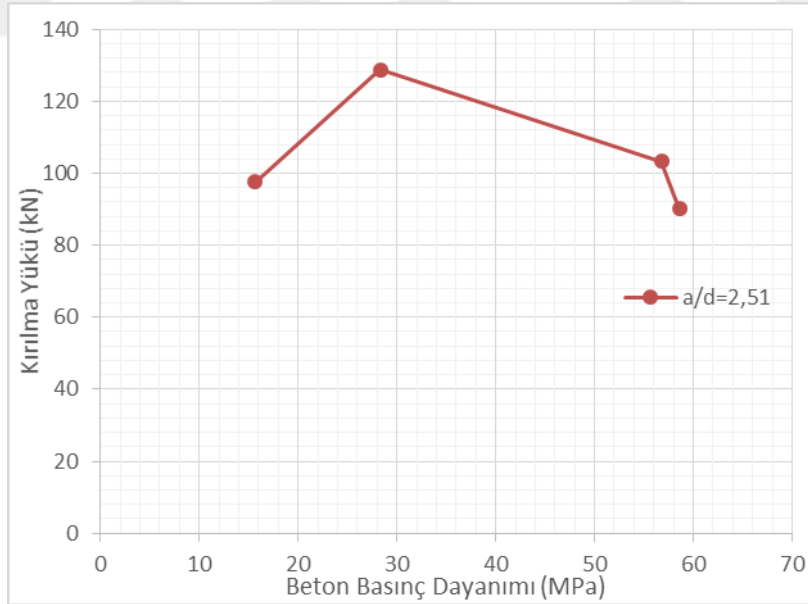
benzer bir şekilde beton basınç dayanımının artışı ile kırılma yükünün de arttığı söylenebilir. Ancak (a/d) oranının 2,51 ve 3,13 olduğu numunelere bakıldığında, beklentinin tersine anlamlı olmaktan uzak sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin (a/d) oranı 3,13 olan numunelerde beton basınç dayanımı 28,32 MPa olan numune ile 58,63 MPa olan numunelerin kırılma yükleri hemen hemen aynı çıkmıştır.

Öte yandan beton basınç dayanımı haricinde tüm deney koşulları tamamen aynı olan 2,51 (a/d) oranına sahip kiriş numunelerine bakıldığında; beton basınç dayanımı 15,68 MPa olan KI-DD-3-2 numunesi 97,68 kN'da, beton basınç dayanımı 28,32 MPa olan KI-DD-4-2 numunesi 128,71 kN'da kırılırken, beton basınç dayanımı 56,78 MPa olan KI-ND-2-2 numunesi 103,23 kN'da, beton basınç dayanımı 58,61 MPa olan KI-ND-1-2 numunesi ise 90,32 kN'da kırılmıştır (Şekil 4.109.).

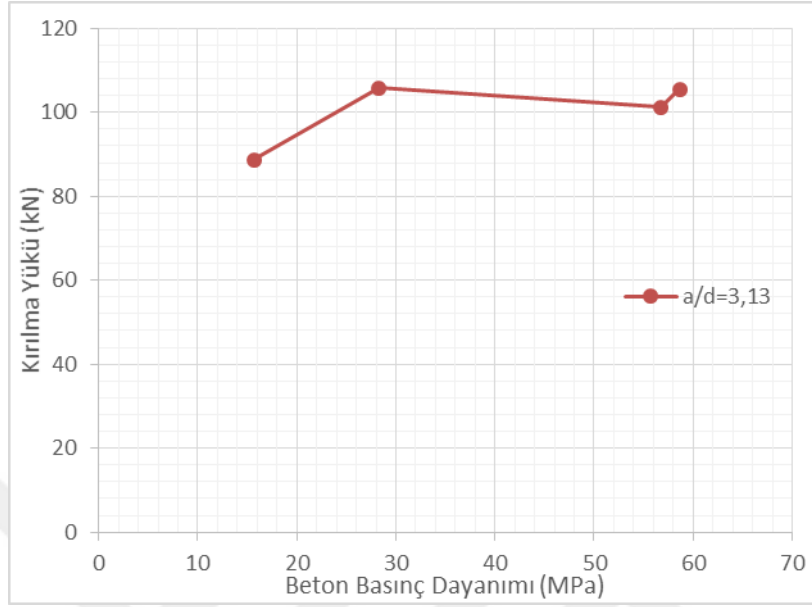
Beton basınç dayanımı neredeyse tüm standartlar ve araştırmacılar tarafından önerilen kesme dayanımı bağıntılarında yer alan temel parametrelerden biridir. Ancak farklı (a/d) oranlarında farklı ilişkiler olduğu görülmektedir. Beton basınç dayanımı ile kesme dayanımı arasındaki ilişkinin tahmin edilenden daha karmaşık olabileceği düşünülmektedir. Elbette bu fikir doğrulanmaya muhtaç ve tartışmaya açıktır. Ancak betonarme kirişlerin kesme davranışını tam olarak açıklayabilmenin ne kadar zor ve karmaşık bir sorun olduğunu ortaya koyması bakımından önemli olduğu düşünülmektedir.



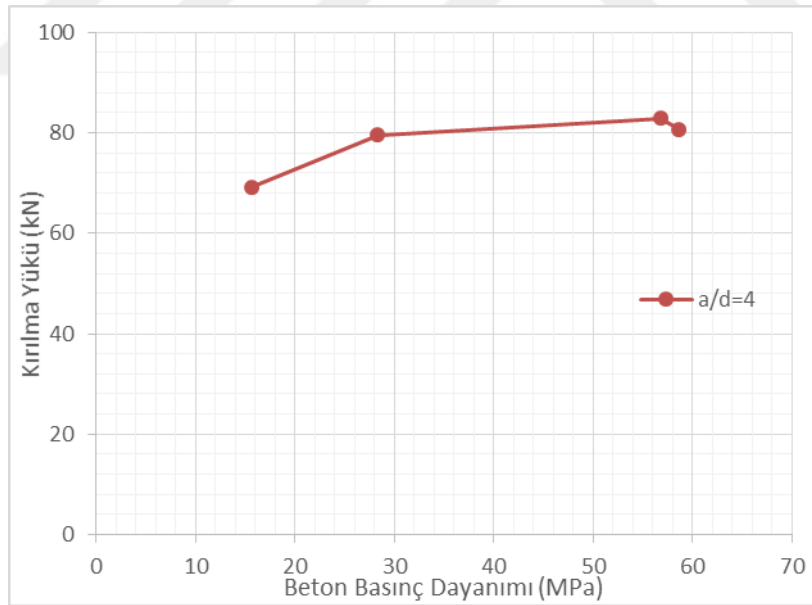
Şekil 4.111. Deney Sonuçlarına Göre Kırılma Yüğü ile Beton Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki ($a/d=2$)



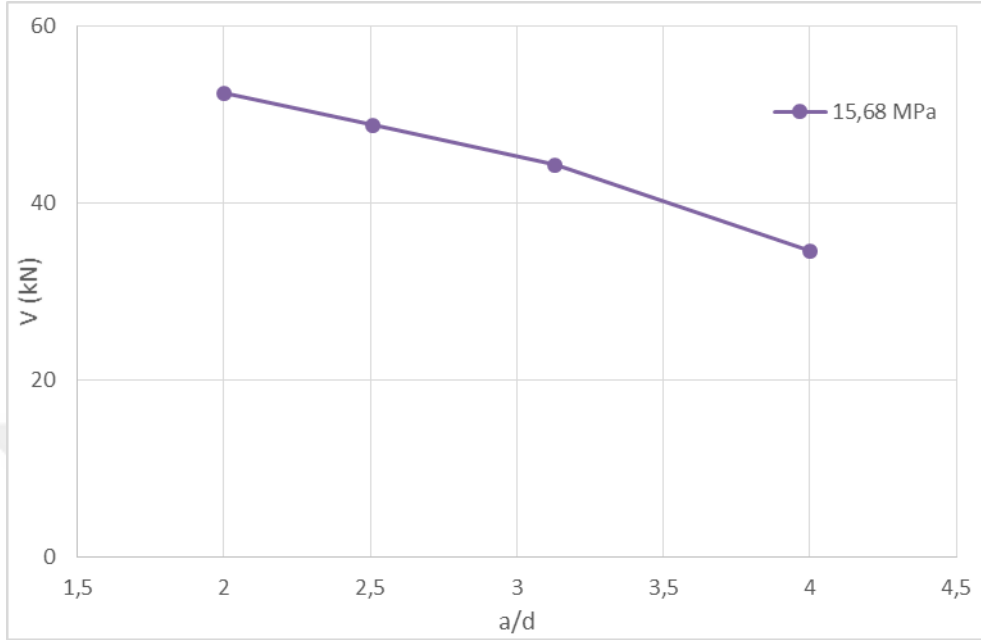
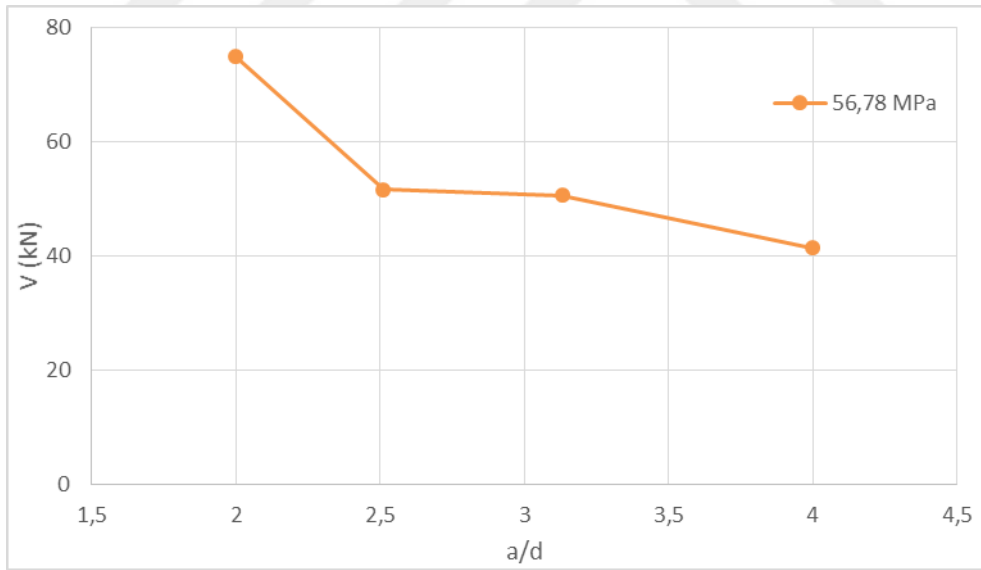
Şekil 4.112. Deney Sonuçlarına Göre Kırılma Yüğü ile Beton Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki ($a/d=2,51$)

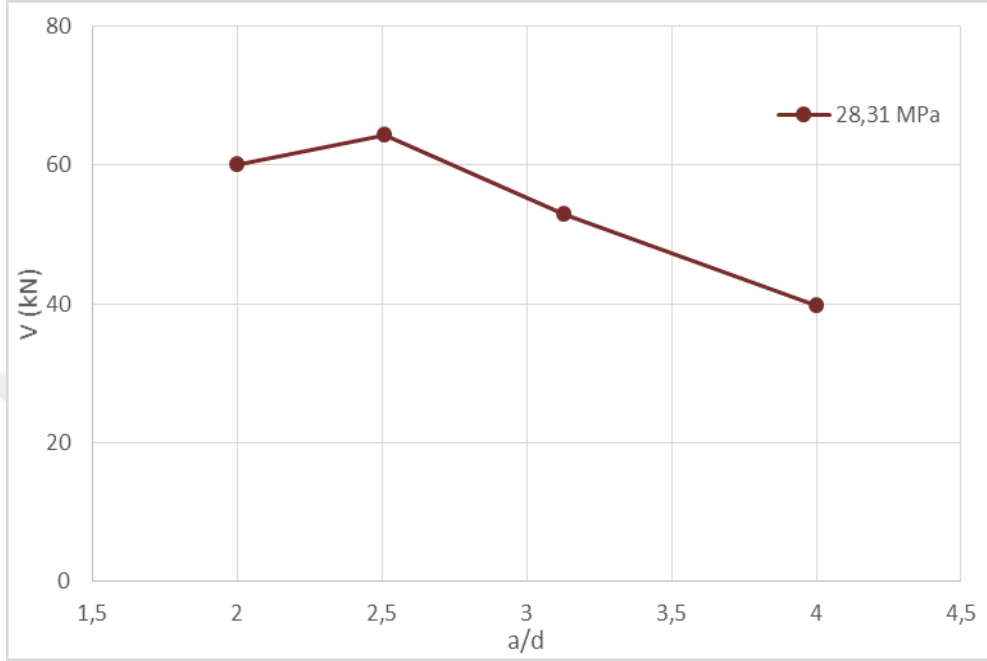
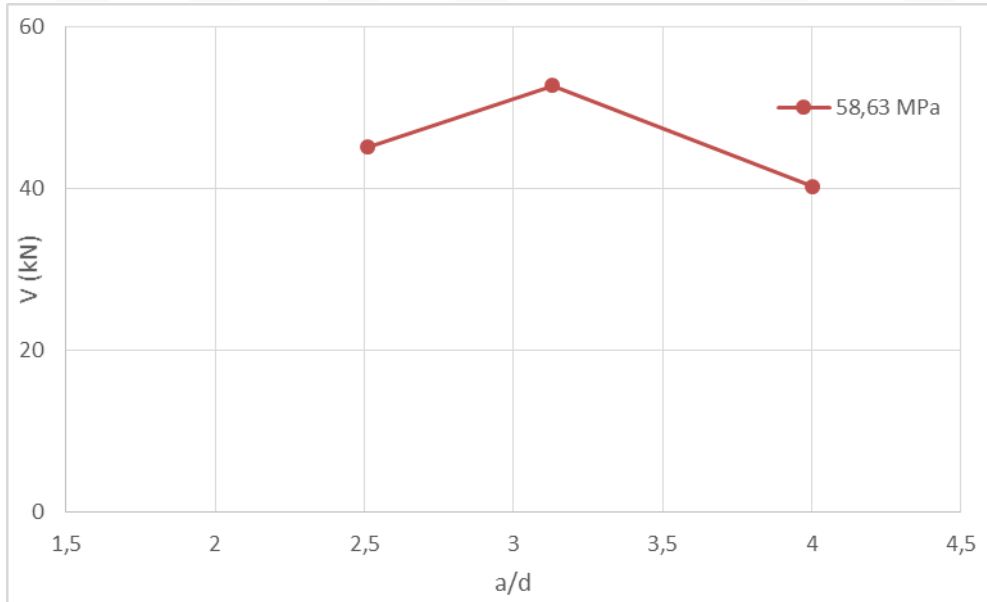


Şekil 4.113. Deney Sonuçlarına Göre Kırılma Yüğü ile Beton Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki ($a/d=3,13$)



Şekil 4.114. Deney Sonuçlarına Göre Kırılma Yüğü ile Beton Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki ($a/d=4$)

Şekil 4.115. 3. Grup Numunelerin Kesme Kuvveti - (a/d) Oranı İlişkisiŞekil 4.116. 2. Grup Numunelerin Kesme Kuvveti - (a/d) Oranı İlişkisi

Şekil 4.117. 4. Grup Numunelerin Kesme Kuvveti - (a/d) Oranı İlişkisiŞekil 4.118. 1. Grup Numunelerin Kesme Kuvveti - (a/d) Oranı İlişkisi

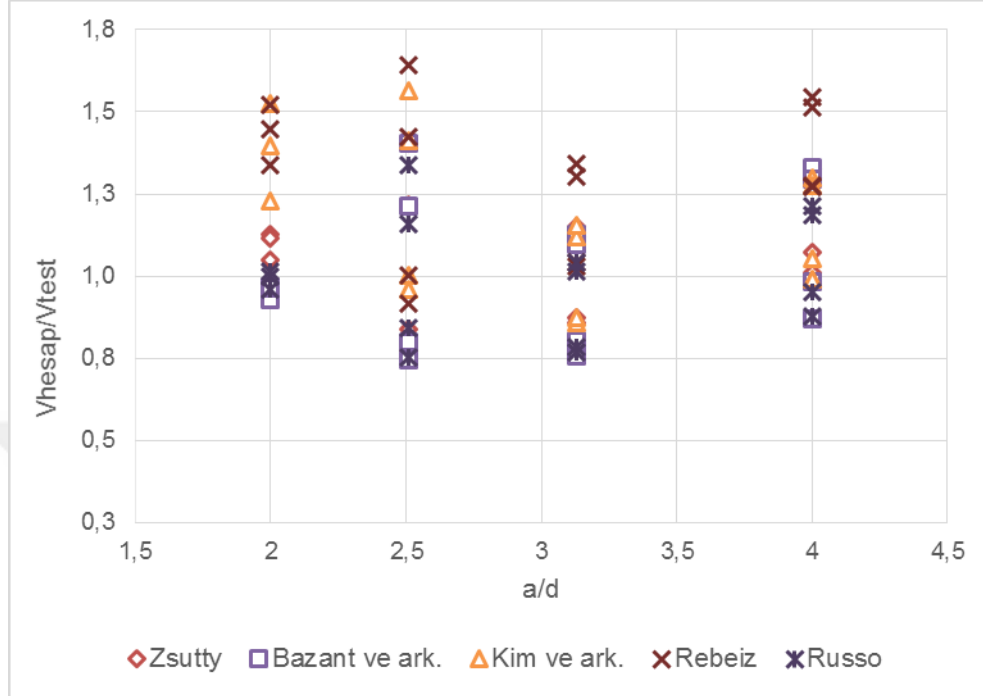
Kesme dayanımının tahmine yönelik bağıntıların deney sonuçları ile ne derece uyumlu olduğuna bakıldığında, literatürde kabul görmüş beş araştırmacının bağıntısının deney sonuçlarına oranı Çizelge 4.55'te görülmektedir.

Çizelge 4.52. Araştırmacıların Bağıntılarına Göre Hesaplanan Kesme Kuvvetlerinin Deney Sonuçlarına Oranı

Eleman Adı	a/d	f _c (MPa)	V _{hesap} /V _{test}				
			Zsutty (1971)	Bazant ve ark. (1987)	Kim ve ark. (1996)	Rebeiz (1999)	Russo (2005)
KI-ND-1-2	2,51	58,63	1,405	1,403	1,414	1,643	1,337
KI-ND-1-3	3,13	58,63	1,118	1,097	1,119	1,304	1,013
KI-ND-1-4	4	58,63	1,325	1,328	1,300	1,545	1,212
KI-ND-2-1	2	56,78	1,129	0,966	1,526	1,522	0,960
KI-ND-2-2	2,51	56,78	1,216	1,212	1,565	1,422	1,158
KI-ND-2-3	3,13	56,78	1,152	1,127	1,153	1,344	1,043
KI-ND-2-4	4	56,78	1,298	1,296	1,274	1,514	1,186
KI-DD-3-1	2	15,68	1,048	0,929	1,228	1,338	1,012
KI-DD-3-2	2,51	15,68	0,837	0,799	1,004	1,003	0,840
KI-DD-3-3	3,13	15,68	0,857	0,756	0,858	1,042	0,769
KI-DD-3-4	4	15,68	1,011	0,870	0,992	1,271	0,877
KI-DD-4-1	2	28,32	1,117	0,962	1,397	1,448	0,999
KI-DD-4-2	2,51	28,32	0,774	0,745	0,958	0,916	0,754
KI-DD-4-3	3,13	28,32	0,874	0,803	0,875	1,030	0,785
KI-DD-4-4	4	28,32	1,072	0,982	1,052	1,276	0,951
Ortalama Değer			1,082	1,018	1,181	1,308	0,993

Çizelge 4.52’de her bir araştırmacının bağıntısı kullanılarak hesaplanan kesme dayanımının deney sonucunda elde edilen kesme dayanımına oranları yer almaktadır. Bu oranlarının ortalamaları alındığında; Russo (2005) tarafından önerilen bağıntının 0,993 ile 1’e en yakın sonucu verdiği, en uzak sonuç ise 1,308 ile Rebeiz (1999) tarafından önerilen bağıntı olduğu hesaplanmıştır. Çok kaba bir ifadeyle bu bağıntılar arasında, deney sonuçları en yakın tahmin eden bağıntının Russo (2005) tarafından önerilen bağıntı olduğu ifade edilebilir. Zsutty (1971) ve Bazant ve ark. (1987) tarafından önerilen bağıntıların da deney sonuçları iyi bir uyum içerisinde olduğu söylenebilir. Kim ve ark. (1996) ile Rebeiz (1999) tarafından önerilen bağıntıların ise diğer bağıntılara göre deney sonuçları ortalama daha yüksek tahmin ettikleri görülmektedir.

Her bir numuneye ayrı ayrı bakıldığında ise; deney sonuçlarına en uzak sonuç 1,643, en yakın sonuç ise 0,999 çıkmıştır.



Şekil 4.119. Bazı Araştırmacıların Bağıntıların Deney Sonuçlarına Oranı ile (a/d) Arasındaki İlişki

TS 500, Eurocode2 ve ACI'da yer alan bağıntılar kullanılarak hesaplanan kesme dayanımlarının deney sonuçlarına oranını gösteren çizelgeye aşağıda yer verilmiştir.

Çizelge 4.53. Bazı Standartlarda Yer Alan Bağıntılara Göre Hesaplanan Kesme Kuvvetlerinin Deney Sonuçlarına Oranı

Eleman Adı	a/d	f _c (MPa)	V _{hesap} /V _{test}			
			TS500	TS500*	EC2	ACI-318-19
KI-ND-1-2	2,51	58,63	1,132	1,748	0,974	1,585
KI-ND-1-3	3,13	58,63	0,969	1,496	0,834	1,357
KI-ND-1-4	4	58,63	1,247	1,926	1,073	1,747

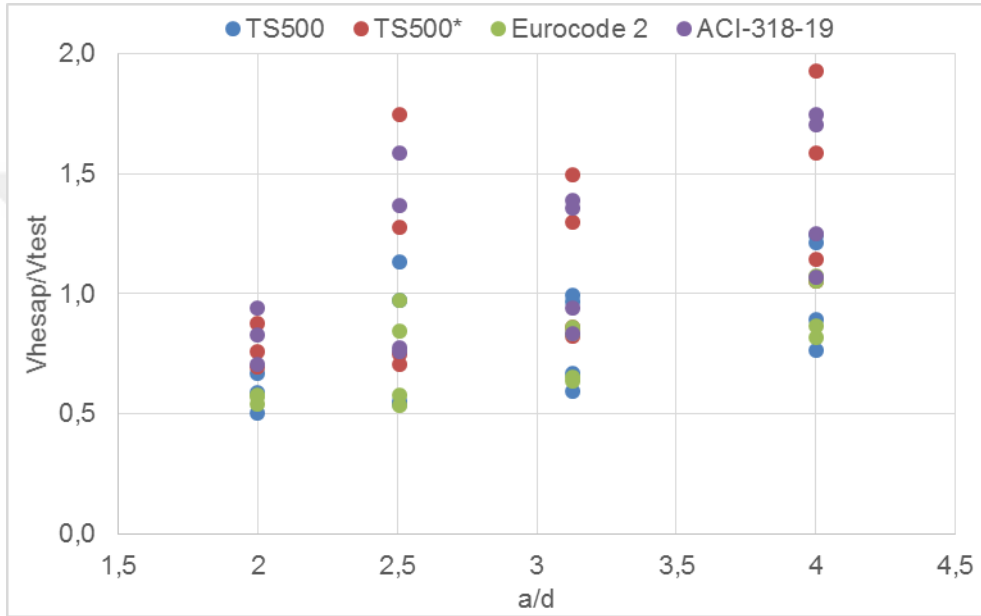
KI-ND-2-1	2	56,78	0,671	0,877	0,580	0,940
KI-ND-2-2	2,51	56,78	0,974	1,275	0,843	1,365
KI-ND-2-3	3,13	56,78	0,993	1,299	0,859	1,391
KI-ND-2-4	4	56,78	1,215	1,589	1,051	1,702
KI-DD-3-1	2	15,68	0,503	0,693	0,539	0,704
KI-DD-3-2	2,51	15,68	0,541	0,746	0,580	0,758
KI-DD-3-3	3,13	15,68	0,596	0,821	0,639	0,835
KI-DD-3-4	4	15,68	0,763	1,052	0,818	1,069
KI-DD-4-1	2	28,32	0,591	0,758	0,574	0,828
KI-DD-4-2	2,51	28,32	0,552	0,708	0,536	0,773
KI-DD-4-3	3,13	28,32	0,671	0,861	0,652	0,940
KI-DD-4-4	4	28,32	0,893	1,146	0,867	1,251
Ortalama			0,821	1,133	0,761	1,150

Çizelge 4.53'te eğilmede çekme dayanımı deneyinden elde edilen çekme dayanımı kullanılarak hesaplanan sonuçlar “TS500*” olarak yer almaktadır.

Aynı şekilde Çizelge 4.56’da TS500, Eurocode2 ve ACI’da yer alan kesme donatısız kirişlerin kesme dayanımları bağıntıları kullanılarak hesaplanan kesme dayanımının deney sonucunda elde edilen kesme dayanımına oranları yer almaktadır. Bu oranlarının ortalamaları alındığında; TS500* yani, eğilmede çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanımı kullanılarak hesaplanan TS500 formülünün 1,133 ile 1’e en yakın sonuç verdiği, 0,761 ile en uzak sonuç ise Eurocode2 formülü ile elde edilmiştir. Ancak burada şunu da belirtmek gerekir ki; Eurocode2 bağıntısının 1. ve 2. grup normal dayanımlı kirişlerdeki ortalaması 0,888, düşük dayanımlı 3. grup kirişlerdeki ortalaması 0,644 ve 28,32 MPa basınç dayanımına sahip 4. Grup kirişlerde ise 0,657’dir. Bu deney kirişlerine göre;

Eurocode2 bağıntısının düşük dayanımlı betonlarda iyi sonuç vermediği çıkarılabilir.

Her bir numuneye ayrı ayrı bakıldığında ise; deney sonuçlarına en uzak sonuç olarak üst bölgede 1,926, ve alt bölgede 0,503 çıkmıştır.



Şekil 4.120. Bazı Standartlarda Yer Alan Bağıntıların Deney Sonuçlarına Oranı ile (a/d) Arasındaki İlişki

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kesme donatısı bulunmayan betonarme kirişlerin kesme davranışlarının araştırılması konulu bu tez çalışması kapsamında dört farklı beton sınıfı ve dört farklı (a/d) oranı kullanılarak dört nokta yükleme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca kullanılan betonların basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla silindir ve küp numuneler ile basınç dayanım testleri ve çekme dayanımını belirlemek amacıyla ise prizma numune kullanılarak eğilmede çekme dayanımı testi yapılmıştır. Aynı zamanda silindir numunelerin testi sırasında yapılan ölçümlerle gerilme-deformasyon eğrileri ve elastisite modülleri hesaplanmış, bunun yanı sıra kirişlerin kesme kuvvetleri 5 araştırmacının önerdiği bağıntı ve 3 adet standartta yer alan bağıntı kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

(a/d) oranının; tüm deney koşullarında davranışı açık bir şekilde etkilediği görülmektedir. Bu nedenle (a/d) oranının kesme davranışı üzerinde güçlü bir etkisi olduğu söylenebilir.

Kesme açıklığı azaldıkça kemerlenme etkisinin önemi arttırdığından yük noktası ile mesnet arasındaki basınç çubuğunun yatayla yaptığı açının arttığı ve dolayısıyla kesme dayanımının artacağı söylenebilir.

Bu deney grubunda kesme kırılması gerçekleşen tüm numunelerde diyagonal çatlak oluşumu gözlenmiştir. (a/d) oranının belli bir değerin altına düştüğünde (bu deney grubunda 4'ten 3,13'e) davranışın eğilme davranışından kesme davranışına dönüştüğü gözlemlenmiştir. 2. Grup numune deneylerinde (a/d) oranı 2 olduğunda ise, elemanın kesme davranışı göstermesine karşın moment kapasitesinde bir miktar artış olduğu da görülmüştür. 3. ve 4. Grup numunelerde ise en küçük moment kapasitesi (a/d) oranı 2 olan numunelerde gözlenmiştir.

Daha önceden çokça belirtildiği gibi kesme donatısız betonarme kirişlerin kesme davranışları, betonarmenin en güncel araştırma konularında birisidir. Bu bağlamda farklı değişkenlerin etkilerinin tutarlı bir şekilde ortaya konmasının

sağlanması amacıyla konu ile ilgili daha fazla sayıda çalışma yapılması gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- ACI 318-19: ACI Committee 318, Building Code Requirements for Structural Concrete, 2019, American Concrete Institute.
- Al-Mahaidi, R., S., H., 1978. Nonlinear finite element analysis of reinforced concrete deep members. Department of Structural Engineering, Cornell University; 79(1): 357.
- Arslan G., İbiş A. and Noyan Alacalı S., 2014. Enine Donatısız Betonarme Kiriş Kesme Mukavemeti Bağıntılarının Güvenilirliğinin İrdelenmesi. İMO Teknik Dergi, 121: 6601-6623.
- Arslan, G., 2012. Diagonal Tension Failure of RC Beams Without Stirrups. Journal of Civil Engineering and Management, 18(2): 217-226.
- Bazant, Z., P. and Sun, H., H., 1987. Size Effect in Diagonal Shear Failure: Influence of Aggregate Size and Stirrups. ACI Materials Journal, 84(4): 259-272.
- Bazant, Z., P. and Kazemi, M., T., 1991. Size Effect on Diagonal Shear Failure of Beams without Stirrups. ACI Structural Journal, 88(3): 268-276.
- Bazant, Z., P. and Kim, J., K., 1984. Size Effect In Shear Failure of Longitudinally Reinforced Beams. ACI Structural Journal, 81(5): 456-468.
- Bischoff, P., H., 2005. Reevaluation for deflection prediction for concrete beams reinforced with steel and fiber reinforced polymer bars. Journal of Structural Engineering, 131(5):752–67.
- Bukhari, I., A. and Ahmad, S., 2008. Evaluation of Shear Strength of High-Strength Concrete Beams Without Stirrups. The Arabian Journal for Science and Engineering, 33(2B): 321-336.

- Campana, S., Ruiz M.F., Anastasi A. and Muttoni A., 2013. Analysis of Shear-Transfer Actions On One-Way RC Members Based On Measured Cracking Pattern And Failure Kinematics. *Magazine of Concrete Research*, 65(6): 386-404.
- Cavagnis, F., Ruiz M.F. and Muttoni A., 2015. Shear failures in reinforced concrete members without transverse reinforcement: An analysis of the critical shear crack development on the basis of test results. *Engineering Structures*, 103: 157–173.
- Cavagnis, F., Ruiz M.F. and Muttoni A., 2017. An Analysis of The Shear-Transfer Actions In Reinforced Concrete Members Without Transverse Reinforcement Based On Refined Experimental Measurements. *Structural Concrete*, 19: 49–64.
- Cavagnis, F., Ruiz M.F. and Muttoni A., 2018. A Mechanical Model For Failures In Shear of Members Without Transverse Reinforcement Based On Development of A Critical Shear Crack. *Engineering Structures*, 157: 300–315.
- Cladera, A. and Mari A.R., 2004. Shear Design Procedure For Reinforced Normal And High-Strength Concrete Beams Using Artificial Neural Networks. Part I: Beams Without Stirrups. *Engineering Structures* 26: 917–926.
- Cladera, A., Mari A., Ribas C., Bairán J. and Oller E., 2015. Predicting The Shear–Flexural Strength of Slender Reinforced Concrete T And I Shaped Beams. *Engineering Structures*, 101: 386–398.
- Collins, M., P. and Kuchma, D., A., 1999. How Safe Are Our Large, Lightly Reinforced Concrete Beams, Slabs and Footings. *Structural Journal ACI* 96(4): 482–490.
- Collins, M., P., Mitchell, D., Adebar P., and Vecchio F.J., 1996. A General Shear Design Method. *ACI Structural Journal*, 93(1): 36-45.

- Dundar, C., Tanrikulu, A., K., Frosch, R., J., 2015. Prediction of load–deflection behavior of multi-span FRP and steel reinforced concrete beams. *Composite Structures*, 132: 680-693.
- El-Mal, H.S.S.A., Sherbini, A.S. and Sallam, H.E.M., 2015. Locating The Site of Diagonal Tension Crack Initiation And Path In Reinforced Concrete Beams. *Ain Shams Engineering Journal*, 6: 17–24.
- EN 1992-1-1: Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings. (2004). Brussel: European Committee for Standardization.
- Ersoy, U. and Özcebe G., 2012, *Betonarme*, Evrim Yayınevi, İstanbul, 816.
- Ghannoum, W., 1998. Size effect on shear strength of reinforced concrete beams. Department of Civil Engineering and Applied Mechanics, Yüksek Lisans Tezi, Montréal, 126s.
- Huber, P. and Kolleger J., 2014. Shear behaviour of concrete beams without and with minimum shear reinforcement. 10th fib International PhD Symposium in Civil Engineering. July 21 to 23, 2014, Université Laval, Québec, Canada.
- Jelic, I., Pavlovic, M. N. and Kotsovos, M. D., 1999. A study of dowel action in reinforced concrete beams. *Magazine of Concrete Research*, 51(2): 131-141.
- Kani, G.N.J., 1964. The Riddle of Shear Failure and its Solution. *Journal Proceedings*, 64(1): 441–468.
- Kani, G.N.J., 1966. Basic Facts Concerning Shear Failure. *Journal of the American Concrete Institute*, 63(32): 675–691.
- Kani, G.N.J., 1967. How Safe are Our Large Reinforced Concrete Beams?. *Journal Proceedings*, 64(3): 128-141.

- Khuntia, M. and Stojadinovic, B., 2001. Shear Strength of Reinforced Concrete Beams Without Transverse Reinforcement. *ACI Structural Journal*, 98(5): 648–656.
- Kim K. S., 2004. Shear behavior of RC Beams and Prestressed Concrete Beams. University of Illinois at Urbana-Campaign, Doktora Tezi, Urbana, 475p.
- Kim, J.K., and Park J.D., 1996. Prediction of Shear Strength of Reinforced Concrete Beams Without Web Reinforcement. *ACI Materials Journal*, 93(3): 213-222.
- Kolhapure, B.K., 2013. Shear Behavior of Reinforced Concrete Slender Beams Using High-Strength Concrete. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 2(1): 79-84.
- Kotsovos, M. D., 1983. Mechanisms of 'Shear' Failure. *Magazine of Concrete Research* 35(123):99-106
- Kotsovos, M. D., 1984. Behavior of Reinforced Concrete Beams with a Shear Span to Depth Ratio Between 1.0 and 2.5. *ACI Journal*, 81(3): 279-286.
- Kotsovos, M. D., 1986. Behavior of Beams with Shear Span-to-Depth Ratios Grater Than 2.5. *ACI Journal*, 83: 1026-1034.
- Leonhardt, F., and Walther, R., 1961, 1962. Contribution to the treatment of shear in reinforced concrete (Vol. Technical Translation 1172). (J. Verschuren, & J. MacGregor, Trans.) National Research Council of Canada.
- Muttoni, A. and Ruiz M.A., 2008. Shear Strength of Members without Transverse Reinforcement as Function of Critical Shear Crack Width. *ACI Structural Journal*, 105(17): 163-172.
- Okamura, H. and Higai, T., 1980. Proposed Design Equation For Shear Strength of R.C. Beams Without Web Reinforcement. *Proceedings of Japan Society of Civil Engineering* 300: 131–141.

- Rebeiz, K., S., 1999. Shear Strength Prediction For Concrete Member. *Journal of Structural Engineering ASCE*, 125(3): 301–308.
- Reddy, S.L., Rao R.N.V. and Rao G.T.D., 2010. Shear Resistance of High Strength Concrete Beams Without Shear Reinforcement. *International Journal of Civil And Structural Engineering*, 1(1): 101-113.
- Regan, P.E., 1971. Shear in reinforced concrete -An analytical study. Report to the Construction Industry Research and Information Association – CIRIA. London: CIRIA.
- Ruiz, M.F., Muttoni, A. and Sagaseta, J., 2015. Shear Strength of Concrete Members Without Transverse Reinforcement: A Mechanical Approach To Consistently Account For Size And Strain Effects. *Engineering Structures* 99: 360–372.
- Russo, G., Somma, G. And Mitri, D., 2005. Shear Strength Analysis and Prediction for Reinforced Concrete Beams without Stirrups. *Journal of Structural Engineering*, 131(1): 66-74.
- Sagaseta, J. and Vollum, R., 2008. Strut-and-Tie Modelling of Short Span Beams. *International FIB Symposium*, 2008-05-19 - 2008-05-21, Amsterdam, Netherlands.
- Sertkaya, M., S., 2017. Betonarme ve Öngerilmeli Beton Kirişlerin Kesme Kapasitelerinin Tahminine Yönelik Bir Araştırma. Selçuk Üniversitesi. Yüksek Tezi, Konya, 153s.
- Slowik, M., 2014. Shear Failure Mechanism In Concrete Beams. *Procedia Materials Science*, 3: 1977 – 1982.
- Türk Standartları Enstitüsü TS500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Ankara, 75s.

- Türk Standartları Enstitüsü TS EN 12390-5, 2002. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Ankara, 5s.
- Xu, T. and Li, J., 2019. Experimental Investigations of Failure Modes of Reinforced Concrete Beams Without Web Reinforcement. *Engineering Structures*, 185: 47–57.
- Zararis P., D. and Papadakis, G., C., 2001. Diagonal Shear Failure And Size Effect In Rc Beams Without Web Reinforcement. *Journal of Structural Engineering*, 127(7): 733-742.
- Zararis, P., D., 2003. Shear Strength and Minimum Shear Reinforcement of Reinforced Concrete Slender Beams. *ACI Structural Journal*, 100(2): 203–214.
- Ziara, M., M., 1993. The influence of confining the compression zone in the design of structural concrete beams. Heriot-Watt University, Yüksek Lisans Tezi, Edinburgh, 469s.
- Zsutty, T. C., 1971. Shear Strength Prediction for Separate Categories of Simple Beam Tests. *ACI Journal*, (68)2: 138-143.
- Zsutty, T., C., 1968. Beam Shear Strength Prediction by Analysis of Existing Data. *ACI Journal*, 65: 943–951.

ÖZGEÇMİŞ

1989 yılında Adana’da doğdu. İlköğrenimini Özel Adana İlköğretim Okulunda ve ortaöğrenimi Özel Adana Fen Lisesinde tamamladı. 2010 yılında Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2010-2014 yılları arası Adana İl Özel İdaresinde mühendis olarak görev yaptı. 2014 yılında Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2014’ten bu yana Adana Büyükşehir Belediyesinde mühendis kadrosunda görevine devam etmektedir.