



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON İLE
ÜRETİLMİŞ, SABİT DİKDÖRTGEN KESİTLİ
BETONARME KİRİŞLERDE KESME VE
EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

Salih CENGİZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalını

Haziran - 2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Salih CENGİZ tarafından hazırlanan “KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON İLE ÜRETİLMİŞ, SABİT DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME KİRİŞLERDE KESME VE EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 12/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan

Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN

Danışman

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

Üye

Doç. Dr. F. Kürşat FIRAT

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Yakup KARA
Enstitü Müdürü

*Bu tez çalışması Konya Teknik Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü tarafından 18201111 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Salih CENGİZ

12/06/2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETON İLE ÜRETİLMİŞ, SABİT DİKDÖRTGEN KESİTLİ BETONARME KİRİŞLERDE KESME VE EĞİLME DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Salih CENGİZ

Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

2019, 200 Sayfa

Jüri

Danışman Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

Daha az işçilik ve daha kısa sürede imalat kolaylığı sayesinde kendiliğinden yerleşen betonlar, yapıları daha ekonomik yapma imkânı sunmaktadır. Bu sebeple kendiliğinden yerleşen betonların kullanımı günden güne artmaktadır. Yapılara etki eden yükler karşısında kirişlerde oluşabilecek kırılma mekanizması yapı davranışı bakımından oldukça önemlidir. Bu sebeple kiriş elemanların çeşitli yükler altında test edilmesi gerekmektedir. Betonarme kirişlerin davranışının belirlenebilmesi amacıyla birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Ancak kendiliğinden yerleşen betonla üretilmiş kirişler ile ilgili yeterince çalışma bulunmamaktadır. Yapılan çalışmalarda da genellikle kirişlere donatı konulmamıştır. Betonarme binalardaki kirişlerde donatı mevcut olduğundan, araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar ve sonuçları, betonarme kirişlerin gerçek davranışından uzak kalmaktadır. Bu sebeple yapılmış olan bu çalışma kapsamında, kesme ve eğilme etkisi altındaki betonarme kirişlerin, kendiliğinden yerleşen beton ve normal beton kullanılması halinde oluşan farklılıklar hasar mekaniği açısından incelenmiştir. Etriye aralığı değişimi, beton türü ve beton dayanımı bu çalışmanın değişkenleridir. Etriye aralığı değişimini etriyesiz, $\phi 8/20$, $\phi 8/10$ ve $\phi 8/5$, beton türünü kendiliğinden yerleşen beton ve normal beton, beton dayanımını ise C30 ve C60 oluşturmaktadır. Bu özellikleri taşıyan toplam 16 adet 1/2 ölçekli betonarme kiriş numunesi dört noktalı eğilme düzeneğinde test edilmiştir. Deneysel çalışmada elde edilen verilerden yola çıkılarak yük-deplasman, rijitlik ve enerji tüketim grafikleri çizilip sonuçlar yorumlanmıştır. Kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen betonarme kirişlerin, normal beton ile üretilenlere göre çok daha fazla enerji tüketimi yaptığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Betonarme kiriş, deneysel çalışma, etriye aralığı, hasar mekaniği, kendiliğinden yerleşen beton.

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF SHEAR AND FLEXURAL BEHAVIOR OF CONSTANT RECTANGULAR SECTIONED REINFORCED CONCRETE BEAMS PRODUCED WITH SELF COMPACTING CONCRETE

Salih CENGİZ

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

2019, 200 Pages

Jury

**Advisor Prof. Dr. Mehmet KAMANLI
Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN
Assoc. Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT**

Because of less workmanship and shorter production time, the self-compacting concretes offer the possibility of making the construction more economical. Thanks to less workmanship and shorter production time, the self-compacting concretes offer the possibility of making the construction more economical. For this reason, the use of self-compacting concrete increases day by day. Beams, which are an important part of the structure carrier system, transfer the loads coming from building elements such as slabs and the loads directly on them to the columns. The fracture mechanism that can occur in the beams against the load acting on the structure is very important in terms of the structure behavior. For this reason, the beam elements must be tested under various loads. In the studies done, usually the rebars are not placed in the beams. Since reinforcement is available in reinforced concrete beams, the studies done by researchers and their results are far from the real behavior of reinforced concrete beams. In this study, the differences between reinforced concrete beams, self-compacting concrete and normal concrete under the effect of shear and flexural were investigated. Stirrup ratio, concrete type and concrete strength are the variables of this study. The stirrup ratios are without stirrup, $\phi 8/20$, $\phi 8/10$ and $\phi 8/5$, the concrete types are self compacting concrete and the concrete strengths are C30 and C60. Totally 16 1/2 scale beams were tested with 4 point bending test. Based on the data obtained in the experimental study, load-displacement, stiffness and energy consumption graphs were drawn and the results were interpreted. It has been observed that reinforced concrete beams produced with self compacting concrete make much more energy consumption than those produced with normal concrete.

Key Words: Experimental study, damage mechanics, reinforced concrete beam, self compacting concrete, stirrup ratio

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve tecrübelerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, beni sabırla dinleyip fikirleriyle yolumu aydınlatan, maddi ve manevi hep yanımda olan danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet KAMANLI'ya, tez süreci boyunca gerek deneysel çalışmamda gerekse tez yazımda beni hiç yalnız bırakmayan kıymetli hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Alptuğ ÜNAL'a ve bilgilerini benimle paylaşan Prof. Dr. Ülkü Sultan KESKİN'e şükranlarımı sunarım.

Deneylerimde bana yardım eden kıymetli arkadaşlarım Sayın Ramazan DİNÇ'e, Sayın Fatma Nur SÖZÜER'e, Sayın Burak Arda AKGÖBEK'e, Sayın Ahmet UĞUR'a, laboratuvar sorumlusu Sayın Yüksel ÇİFTÇİ'ye, deney elemanlarının üretiminde destek olan Yardımcı Prefabrik A.Ş.'ye ve bu süreçte beni her zaman motive edip umut aşılayan Sayın Betül Ay KARADÖL'e sonsuz teşekkür ederim.

Hayatım boyunca bana destek olan, hiçbir zaman manevi desteklerini esirgemeyen ve benim her zaman yanımda olan anneme ve babama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Salih CENGİZ
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı ve Önemi	2
1.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton	4
1.2.1. Kendiliğinden yerleşen betonun tarihsel gelişimi	4
1.2.2. Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri	5
1.2.3. Kendiliğinden yerleşen beton deneyleri	7
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	12
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	17
3.1. Kiriş Elemanlarının Donatı Hesabı	19
3.2. Deney Elemanlarının Özellikleri.....	23
3.3. Deney Elemanlarının Üretimi	25
3.4. Betonun Özellikleri	26
3.4.1. Çimento	27
3.4.2. Karışım suyu.....	27
3.4.3. Agrega	27
3.4.4. Silis dumanı	28
3.4.5. Kimyasal katkı.....	29
3.5. Beton Deneyleri	30
3.5.1. Taze beton deneyleri.....	30
3.5.2. Sertleşmiş beton deneyleri.....	32
3.6. Donatının Özellikleri.....	33
3.7. Deney Düzenegi	34
3.8. Ölçüm Yöntemi.....	35

4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	36
4.1. Deney Sonuçları	37
4.1.1. Deney 1 (NOR-C30-Etsz)	37
4.1.2. Deney 2 (NOR-C30-20)	45
4.1.3. Deney 3 (NOR-C30-10)	53
4.1.4. Deney 4 (NOR-C30-5)	62
4.1.5. Deney 5 (KYB-C30-Etsz)	70
4.1.6. Deney 6 (KYB-C30-20)	78
4.1.7. Deney 7 (KYB-C30-10)	86
4.1.8. Deney 8 (KYB-C30-5)	94
4.1.9. Deney 9 (NOR-C60-Etsz)	102
4.1.10. Deney 10 (NOR-C60-20)	110
4.1.11. Deney 11 (NOR-C60-10)	118
4.1.12. Deney 12 (NOR-C60-5)	127
4.1.13. Deney 13 (KYB-C60-Etsz)	135
4.1.14. Deney 14 (KYB-C60-20)	143
4.1.15. Deney 15 (KYB-C60-10)	151
4.1.16. Deney 16 (KYB-C60-5)	160
4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması	168
4.2.1. Etriye aralığının kiriş davranışına etkisi	169
4.2.2. Beton türünün kiriş davranışına etkisi	175
4.2.3. Beton dayanımının kiriş davranışına etkisi	181
4.2.4. Tüm numunelerin karşılaştırılması.....	187
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	188
5.1. Sonuçlar.....	188
5.2. Öneriler	195
KAYNAKLAR	196
ÖZGEÇMİŞ	199

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

a : Kesme açıklığı, mm
A_c : Kiriş enkesit alanı, mm²
A_s : Kiriş çekme donatısı alanı, mm²
A_{sb} : Dengeli durumda çekme donatısı alanı, mm²
A_{sw} : Kesme donatısı toplam kesme alanı, mm²
b_w : Kiriş genişliği, mm
c : Tarafsız eksen derinliği, mm
C30 : 28 gün suda bekletilmiş silindir basınç dayanımı 30 MPa olan beton
C60 : 28 gün suda bekletilmiş silindir basınç dayanımı 60 MPa olan beton
c_b : Dengeli durumda tarafsız eksen yüksekliği, mm
cm : Santimetre
d : Kiriş faydalı yüksekliği, mm
d' : Paspayı kalınlığı, mm
E_s : Donatının elastisite modülü, MPa
F_c : Basınç bölgesindeki beton basınç bileşkesi, kN
f_{cd} : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, MPa
f_{ck} : Betonun karakteristik silindir basınç dayanımı, MPa
f_{ctd} : Beton tasarım eksenel çekme dayanımı, MPa
f_{ctd} : Betonun tasarım çekme dayanımı, MPa
f_{ctf} : Betonun eğilmede çekme dayanımı, MPa
f_{ctk} : Beton karakteristik eksenel çekme dayanımı, MPa
f_{yd} : Donatının tasarım akma dayanımı, MPa
f_{yk} : Donatının karakteristik akma dayanımı, MPa
f_{ywd} : Enine donatının tasarım akma dayanımı, MPa
h : Kiriş yüksekliği, mm
k₁ : Beton sınıfına bağlı katsayı
K_{ilk} : Deney elemanında ilk yüklemede ölçülen rijitlik değeri, kN/mm
K_j : Deney elemanında i'inci yüklemede ölçülen rijitlik değeri, kN/mm
kN : Kilo Newton
l : En küçük boyuna donatı çapı, mm
L : Kiriş boyu, mm
L_{mes} : İki mesnet arasındaki net uzunluk, mm
l_n : Kiriş net açıklığı, mm
L_{top} : Toplam kiriş uzunluğu, mm
m : Metre
M_{cr} : Elemanın eğilmede çatlama momenti, kN.m
mm : Milimetre
MPa : Mega Pascal (N/mm²)
M_r : Taşıma gücü momenti, kN.m
M_{rb} : Dengeli durumda moment taşıma gücü, kN.m
M_y : Donatı akma anındaki moment kapasitesi, kN.m
N : Newton
N_d : Eksenel yük, kN
P : Kirişe uygulanan yük, kN
s : Enine donatı aralığı, mm

S420 : Donatı akma dayanımı 420 MPa olan donatı
y : En dış çekme lifinin tarafsız eksen den uzaklığı, mm
z : İki kuvvet kolu arasındaki mesafe, mm
z_b : Dengeli durumda iki kuvvet kolu arasındaki mesafe, mm
% : Yüzde
φ : Donatı çapı, mm
ρ_b : Dengeli donatı oranı
ρ_{max} : Maksimum donatı oranı
ρ_{min} : Minimum donatı oranı
σ : Gerilme, MPa
σ_c : Beton basınç gerilmesi, MPa
σ_s : Donatı çekme gerilmesi, MPa

Kısaltmalar

KYB : Kendiliğinden yerleşen beton
KYB-C30-Etsz : KYB beton türüne sahip C30 dayanımlı etriyesiz kiriş
KYB-C30-20 : KYB beton türüne sahip C30 dayanımlı 20 cm etriye aralıklı kiriş
KYB-C30-10 : KYB beton türüne sahip C30 dayanımlı 10 etriye aralıklı kiriş
KYB-C30-5 : KYB beton türüne sahip C30 dayanımlı 5 etriye aralıklı kiriş
KYB-C60-Etsz : KYB beton türüne sahip C60 dayanımlı etriyesiz kiriş
KYB-C60-20 : KYB beton türüne sahip C60 dayanımlı 20 cm etriye aralıklı kiriş
KYB-C60-10 : KYB beton türüne sahip C60 dayanımlı 10 etriye aralıklı kiriş
KYB-C60-5 : KYB beton türüne sahip C60 dayanımlı 5 etriye aralıklı kiriş
NOR-C30-Etsz : Normal beton türüne sahip C30 dayanımlı etriyesiz kiriş
NOR-C30-20 : Normal beton türüne sahip C30 dayanımlı 20 cm etriye aralıklı kiriş
NOR-C30-10 : Normal beton türüne sahip C30 dayanımlı 10 etriye aralıklı kiriş
NOR-C30-5 : Normal beton türüne sahip C30 dayanımlı 5 etriye aralıklı kiriş
NOR-C60-Etsz : Normal beton türüne sahip C60 dayanımlı etriyesiz kiriş
NOR-C60-20 : Normal beton türüne sahip C60 dayanımlı 20 cm etriye aralıklı kiriş
NOR-C60-10 : Normal beton türüne sahip C60 dayanımlı 10 etriye aralıklı kiriş
NOR-C60-5 : Normal beton türüne sahip C60 dayanımlı 5 etriye aralıklı kiriş
TBDY 2018 : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018
TS 500 (2000) : Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları

1. GİRİŞ

Günümüzde, dünyada en fazla kullanılan yapı malzemesi olan betonun birçok avantajı olduğu kadar dezavantajı da vardır. Kolay şekil verilebilme, yüksek basınç dayanımı, yangına karşı dayanıklılık, kolay temin edilebilme ve ucuz maliyet gibi avantajlarının yanında gevrek bir malzeme olması, geçirimli olması, çekme ve eğilme dayanımının düşük olması, kalıba yerleştirildikten sonra vibrasyonla sıkıştırılmaya ihtiyaç duyması ve segregasyon oluşabilmesi gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Araştırmacılar, betonun dezavantajlarını ortadan kaldırmak için sürekli gelişen teknoloji yardımıyla çalışmalar yapmaktadır. Beton, kendinden beklenen performansı gösterebilmesi için kalıba yerleştirildikten sonra iyi sıkıştırılmalı ve içinde boşluk bırakılmamalıdır. Bunun için de vibratör isimli bir alet, uygun bir şekilde kullanılmalıdır (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. Betonda vibrasyon uygulaması (Anonim, 2018a)

Betonda vibrasyon uygulaması iş ve zaman kaybı olmasının yanında, doğru uygulanmaması halinde beton içerisinde ayrışmalar ve boşluklar oluşmakta, bundan dolayı beton kendinden beklenen performansı gösterememektedir. Betondaki bu sorunları çözebilmek için 1980'lerin sonuna doğru Japonya'da H. Okamura ve ekibi tarafından kendiliğinden yerleşen beton (KYB) isminde özel bir beton geliştirilmiştir (Okamura, 1997). Bu özel beton, herhangi bir sıkıştırma işlemine ihtiyaç duymaksızın, kalıp içerisinde kendi kendine yerleşmekte ve sıkışmakta, içerisinde boşluk oluşmamaktadır.

Bünyesinde boşluk olmadığından dolayı basınç dayanımı ve geçirimsizlik gibi betondan beklenen en temel iki özellik, kendiliğinden yerleşen betonlarda yüksek seviyelere ulaşabilir. Bundan dolayı kendiliğinden yerleşen betonlar yüksek dayanımlı betonlar sınıfına girmektedir (Topçu ve ark., 2008).

Kendiliğinden yerleşen betonlar, çeşitli kongreler ve bildirgeler ile dünya genelinde kısa süre içinde yayılmıştır. Kullanım kolaylığı, zamandan ve işten tasarruf, yüksek performans özellikleri ile mühendislerin ilgisini çekmiştir. İlk başlarda su altı yapıları için tasarlanmış olsa da zamanla geliştirmiş ve tüm yapılarda kullanılabilir hale gelmiştir.

1.1. Tezin Amacı ve Önemi

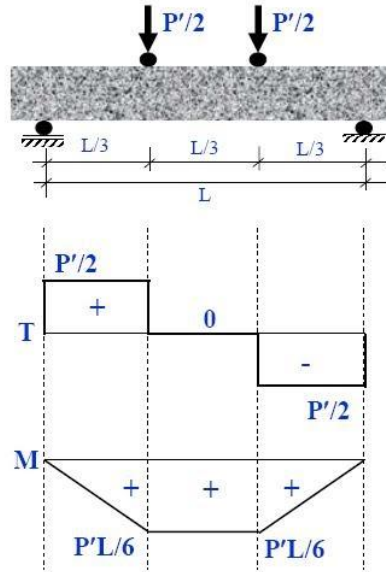
150 yılı aşkın süredir dünyamızı şekillendiren betonarme yapılar, sağladığı ekonomik ve mekaniksel avantajlarıyla inşaat sektörünün vazgeçilmez bir yapıtadır. İcadının ardından bir buçuk asırdan fazla bir zaman geçmesine rağmen hala üzerinde çalışılmaya devam edilmektedir ve birçok zayıf yönü geliştirilmeye çalışılmaktadır. Betonun zayıf yönlerini geliştirmek için özel betonlar icat edilmeye başlanmıştır. 1980’lerde Japonya’da ortaya çıkan “kendiliğinden yerleşen beton”, normal betondaki yerleştirme ve sıkıştırma zorluklarından dolayı bulunmuştur. Tarihsel olarak normal beton ile kendiliğinden yerleşen beton arasında bir asırdan fazla bir zaman olması, kendiliğinden yerleşen betonun üzerinde araştırma yapılabilecek daha birçok çalışma yapılması gerektiğini göstermektedir. Bu yüzden, inşaat sürelerinin uzamasının ekonomik olarak ciddi masraflara yol açtığı düşünülürse, kendiliğinden yerleşen betonun, normal beton yerine kullanımı önem arz etmektedir. Literatürde kendiliğinden yerleşen betonlarla ilgili birçok araştırma deneysel ve teorik olarak mevcuttur. Kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen kiriş numunelerinin eğilme dayanımı özelliklerinin bulunması da bunlardan bir tanesidir. Fakat araştırmacılar, çalışmalarında betonarme bir sistem yerine salt beton kullanarak numuneler üretmişleridir. Bu da kendiliğinden yerleşen betonun sahip olduğu fiziksel ve mekaniksel farklılıkların, yapılarda kullanılan betonarme sistemlere etkisini tam olarak anlamaya yardımcı olamamaktadır. Bu çalışma ile kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen farklı etriye aralığı ve beton dayanım sınıfına sahip betonarme kirişlerin, normal beton ile üretilen aynı özelliklerdeki betonarme kirişlerden mekanik açıdan farklı olarak nasıl davranış göstereceği araştırılmış olacaktır. Daha az boşluklu bir yapıya sahip olduğu ve daha iyi sıkıştığından dolayı kendiliğinden

yerleşen beton ile üretilen betonarme kirişlerin kesme ve eğilme dayanımları, normal betona göre daha fazla çıkacağı öngörülmektedir. Bu çalışma ile literatürde ve yönetmeliklerde kendiliğinden yerleşen betonlarla ilgili eksikliklerin tamamlanması amaçlanmaktadır.

Projesini tasarlayan bir inşaat mühendisi, yapıya gelen yükleri hesaplar ve öngördüğü malzeme dayanımlarına göre yapının taşıyıcı elamanlarını boyutlandırır. Betonarme yapılarda betonun basınç dayanımı ile betonarme çeliğinin çekme dayanımı malzeme dayanımı için esas alınır. Günümüzde bir yapının proje aşamasındaki analizi için bilgisayarlar ve buna bağlı olarak çeşitli analiz programları kullanılmaktadır. Projesini tasarladığı yapıda kendiliğinden yerleşen beton kullanmak isteyen bir inşaat mühendisi, analiz için kullandığı herhangi bir bilgisayar programına normal beton değerlerini ve özelliklerini girmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı felsefesi kapsamında, yapı ve yapı elemanlarının yeterli süneklik, yeterli rijitlik ve yeterli dayanım özelliklerini aynı anda sağlaması gerekmektedir. Aynı basınç dayanımındaki kendiliğinden yerleşen beton ile normal betonun süneklik özellikleri birbirinden farklı olabilir. Bu da inşaat mühendisinin tasarladığı projenin gerçekte farklı bir davranış sergilemesine ve ciddi sonuçlarla karşı karşıya kalınmasına neden olabilir. Eğer proje mühendisi kendiliğinden yerleşen betonun normal betondan farklı olarak nasıl davrandığını bilirse, proje tasarımında daha gerçekçi bir yol izleyecektir. Bu sebeple, kendiliğinden yerleşen beton ile normal betonun, betonarme kirişlerdeki kesme ve eğilme davranışları ile enerji yutabilme kabiliyetlerinin incelenmesi, bu çalışmanın ana hattını oluşturmaktadır.

Farklı etriye aralıkları ile her iki beton türündeki kesme kapasitesindeki değişimin gözlemlenmesi, farklı beton basınç dayanımları ile de dayanım artışının süneklik üzerindeki etkisinin irdelenmesi amaçlanmıştır. 4 farklı etriye aralığı, 2 farklı beton türü ve 2 farklı beton basınç dayanımı olmak üzere toplamda 16 adet 1/2 ölçekli betonarme kiriş üretilmiştir.

Deneysel çalışma için 4 noktalı eğilme testi seçilmiştir. 4 noktalı eğilme testi ile kiriş numunelerinin açıklık ortasında ölçüm yapılan kısımda kesme kuvveti sıfır ve moment sabit olduğu için kesme olmadan tek başına eğilme davranışı gözlemlenebilir. Ayrıca mesnet yakınında kesme kuvveti sabit ve maksimum olduğu için bu bölgelerde de kesme davranışı incelenebilir (Şekil 1.2). Bu yüzden 4 noktalı eğilme testi, kesme ve eğilme etkisi altındaki kiriş numunelerinin test edileceği en doğru yöntemdir.



Şekil 1.2. 4 noktalı eğilme deneyi (Anonim, 2009a)

1.2. Kendiliğinden Yerleşen Beton

Kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) herhangi bir dış etkiye (vibrasyon, şişleme, vb.) ihtiyaç duyulmaksızın kendi ağırlığı ile kalıba yerleşme ve ayrışmaya uğramadan donatılar arasından geçme özelliklerine sahip beton olarak tanımlanmaktadır. KYB'nin yüksek bir akıcılığa sahip olması gerekmektedir. Aynı zamanda ayrışma ve su kuma (terleme) olayları da gerçekleşmemelidir. Yüksek akıcılık süper akışkanlaştırıcılarla sağlanırken ayrışmama için ince malzeme miktarını artırmak ya da viskozite artırıcı katkıları kullanmak gerekmektedir (Topçu ve ark., 2008).

1.2.1. Kendiliğinden yerleşen betonun tarihsel gelişimi

KYB'ler ilk olarak 1980'li yılların sonunda su altı beton uygulamaları yapmak amacıyla Japonya'da geliştirilmiştir. KYB ile ilgili ilk sunum Ozawa tarafından 1989 yılında Doğu Asya ve Pasifik Yapı Mühendisliği Konferansı'nda yapılmıştır. Aynı sunum 1992 yılında İstanbul'daki CANMET & ACI Uluslararası Konferansı'nda da yapılmıştır. Bu da KYB'nin dünyaya yayılmasını hızlandırmıştır. KYB'ler 1994 yılında Bangkok'taki ACI çalıştayının ardından, mühendislerin ve araştırmacıların ilgisini çekmiş, 1996 yılında New Orleans'ta gerçekleştirilen ACI Sonbahar Kongresi ile Amerika ve Kanada'da da yaygınlaşmıştır. Sonuç olarak 20. yüzyılın son yıllarında tüm

dünyada yaygınlaşmış ve KYB ile ilgili araştırmalar yoğunlaşmıştır (Okamura ve Ouchi, 1999).

1.2.2. Kendiliğinden yerleşen betonun özellikleri

Kendiliğinden yerleşen betonlar ilk olarak su altı betonları için uygulanmış olsa da dar kesitli ve sık donatılı yapı elemanlarında homojen yapısını koruyarak herhangi bir sıkıştırma işlemine gerek duyulmaksızın kalıpları doldurabilmesinden dolayı kullanımı günden güne artmıştır (Sağlam ve Özkul, 2006). Kendiliğinden yerleşen beton literatürde Kendiliğinden Sıkışan Beton (Self-Compacting Concrete - SCC), Kendiliğinden Yüzeylenen Beton (Self-Levelling Concrete - SLC) Kendiliğinden Konsolide Olan, Çöken Beton (Self-Consolidating Concrete – SCC) isimleri ile anılmasına rağmen Türkiye’de çoğunlukla Kendiliğinden Yerleşen Beton terimi kullanılmakta olup Kendiliğinden Sıkışan Beton (KSB) veya Kendiliğinden Sıkışarak Yerleşen Beton isimleri de alternatif olarak kabul görmektedir (Felekoğlu, 2003).

Kendiliğinden yerleşen betonların performansları ile taze beton özellikleri arasında önemli bir ilişki vardır. Bir betonun kendiliğinden yerleşen beton özelliğine sahip olabilmesi için üç yeteneğe aynı anda sahip olması gerekmektedir. Bunlar: doldurma yeteneği, ayrışmaya karşı direnç ve geçiş yeteneği (Skarendahl ve Petersson, 2000).

1.2.2.1. Doldurma yeteneği

Kendiliğinden yerleşen betonlar ağırlıkları ile içine konuldukları kalıpları doldurabilmelidir. Doldurma özelliği, betonun ilk döküldüğü konumdan ne kadar uzağa yayılabildiği ve bu yayılmanın hızı kavramlarını kapsamaktadır. Bu özelliğin ölçümü çökme yayılma deneyi ile yapılmaktadır.

Betonun düzgün bir şekilde yayılabilmesi için, betonu oluşturan katı bileşenler (iri ve ince agrega, çimento) arasındaki sürtünmenin azaltılması gerekmektedir. Fakat bu yeterli değildir; çimento hamuru fazı da iyi deforme olabilmelidir. Akışkanlığının yüksek olmasının yanı sıra betonu oluşturan bileşenlerin ayrılmaya karşı dirençli olması, KYB’nin donatılar arasından geçerek doldurma kapasitesinin artırılması bakımından önemlidir (Kılınç, 2012).

Uygun doldurma yeteneği için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:

1. Çimento hamuru fazının deformasyon yeteneğinin arttırılması
 - Süper akışkanlaştırıcı katkı kullanımı
 - Dengelenmiş su/bağlayıcı oranı
2. Tanecikler arası sürtünmenin azaltılması
 - Düşük kaba agrega hacmi (yüksek imento hamuru fazı içeriği)
 - Kullanılan agrega ve çimentoya göre optimum gradasyon

1.2.2.2. Ayrışmaya karşı direnç

Ayrışma (segregasyon), betonu oluşturan malzemelerin homojen bir şekilde dağılmaması sonucu oluşan sorunlardan biridir. Boş bir kalıpta ayrışma olması zor olabilirken sık donatıların bulunması halinde bu durum çok daha kolay olmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonlar ise her iki durumda da ayrışma olmadan boşluksuz bir yapıya sahip olması gerekmektedir (Kılınç, 2012). Bunun için aşağıdaki sorunlar olmamalıdır:

- Terleme
- Çimento hamuru fazı ve agrega ayrışması
- Blokaja (kilitlenme) neden olan kaba agrega ayrışması
- Hava boşluğu dağılımında düzensizlik

Uygun ayrışma direnci için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

1. Katı maddelerin ayrışmasını azaltmak
 - Sınırlı agrega içeriği
 - Azaltılmış en büyük agrega tane apı
 - Düşük su/bağlayıcı oranı
 - Viskozite arttırıcı
2. Serbest terlemenin minimize edilmesi
 - Düşük su içeriği
 - Düşük su/bağlayıcı oranı
 - Yüzey alanı fazla olan bağlayıcılar
 - Viskozite arttırıcı katkılar

1.2.2.3. Geçiş yeteneği

Kendiliğinden yerleşen betonlar yüksek bir akıcılıkla beraber ayrışmaya karşı da dirençli olurlarsa etkili olurlar. Fakat sık donatıların ya da dar kesitlerin arasından geçerken iri agregaların da blokajlanmaması gerekir. Çok iyi bir akıcılığa ve doldurma yeteneğine sahip bir kendiliğinden yerleşen betonda eğer en büyük agrega tane çapı çok büyükse ve iri agregaların miktarı fazlaysa, iri agregaların blokajlanması kaçınılmazdır (Kılınç, 2012).

Uygun geçiş yeteneği için aşağıdakiler dikkate alınmalıdır:

1. Agregaların ayrışmasını önlemek için kohezyonu arttırmak
 - Düşük su/bağlayıcı oranı
 - Viskozite artırıcı katkıları
2. Uygun iri agrega kullanmak
 - Düşük kaba agrega hacmi
 - Düşük en büyük dane çaplı agrega

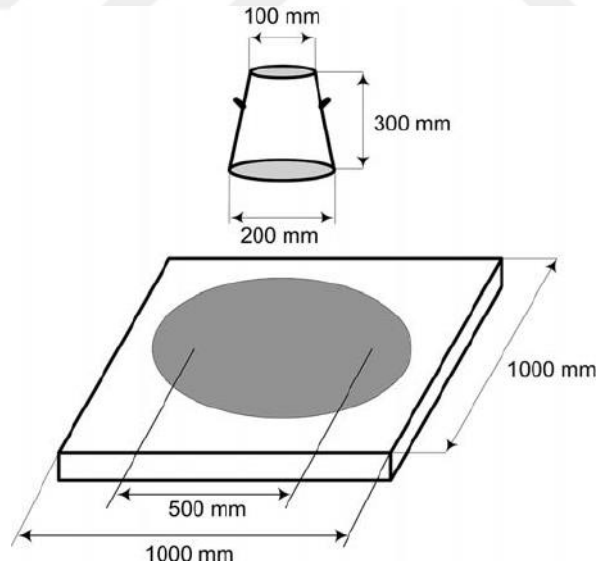
1.2.3. Kendiliğinden yerleşen beton deneyleri

Bir betonun KYB olup olmadığını tespit etmek için birtakım deneyler yapmak gerekmektedir. Çünkü KYB'ler normal betondan farklı olarak yüksek akışkanlığa, doldurma ve donatılar arasından geçebilme yeteneğine sahiptir. Uzmanlar tarafından standartlar çerçevesinde KYB'ye özel deneyler geliştirilmiştir. Bunlar;

- 1- Çökme Yayılma Deneyi (Slump Flow Test)
- 2- V-Hunisi Deneyi (V-Funnel Test)
- 3- L-Kutusu Deneyi (L-Box Test)
- 4- J-Halkası Deneyi (J-Ring Test)
- 5- Elekte Ayrışma Deneyi (Fill Box Test)

1.2.3.1. Çökme yayılma deneyi (slump flow test)-TS EN 12350-8

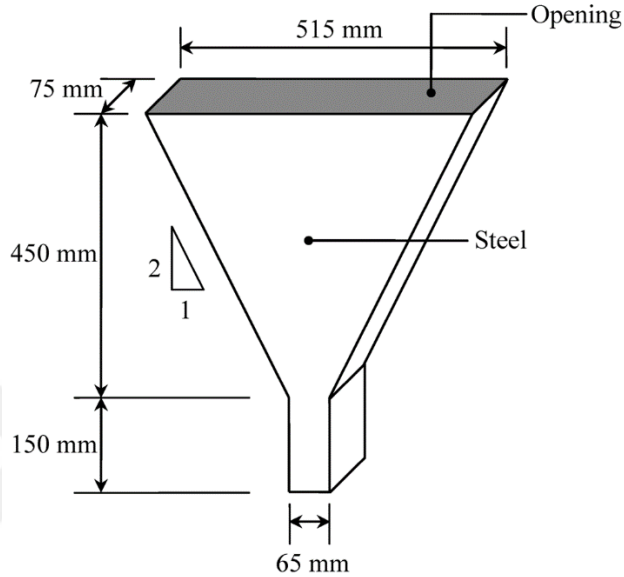
Çökme yayılma deneyi, kendiliğinden yerleşen betonun akıcılığını ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu deneyde amaç, betonun belirlenen bir mesafeye ne kadar sürede ulaşacağını bulmak ve yayılabileceği maksimum mesafeyi belirlemektir. Bu deneyde 100 cm x 100 cm çelik bir levha ile Abram's konisi olarak bilinen, çapları 10 cm ve 20 cm, yüksekliği 30 cm olan bir koni kullanılır. Levha üzerinde 50 cm çapında bir daire bulunur ve koni bu dairenin ortasına yerleştirilir. Koninin içi kendiliğinden yerleşen beton ile doldurulur. Koninin içine doldurulan betona herhangi bir sıkıştırma/şişleme işleminin yapılmamalıdır. Tamamı doldurulan koni, levhaya dik olarak kaldırılır. İlk olarak betonun 50 cm çapına ulaşmaya kadar geçen süre ölçülür (T_{50} süresi). Betonun yayılması durduktan sonra birbirine dik iki doğrultan mesafeler ölçülür ve aritmetik ortalaması alınır (Şekil 1.3). EN 206-12 Taslağı ile kendiliğinden yerleşen betonlar için sınıflandırmalar getirilmiştir. Çökme yayılma 550-650 mm arasında ise SF1, 660-750 mm arasında ise SF2, 760-850 mm arasında ise SF3 ile sınıflandırılmaktadır. EN 206-12 taslağında T_{50} süresi için de sınıflandırma getirilmiştir. T_{500} süresi 2 sn'den az ise VS1, eşit veya büyük ise VS2 sınıfını almaktadır (Bartos, 2005; Kılınç, 2012).



Şekil 1.3. Çökme yayılma deneyi (Anonim, 2018b)

1.2.3.2. V-hunisi deneyi (v-funnel test)-TS EN 12350-9

Bu deney kendiliğinden yerleşen betonun dar bir kesitten kendi ağırlığı altında geçiş yeteneğini incelemek için yapılan bir deneydir. V şeklinde dikdörtgen kesitli huninin en alt kesitinde betonun akışına izin vermek üzere kullanılan bir kapak bulunmaktadır (Şekil 1.4).



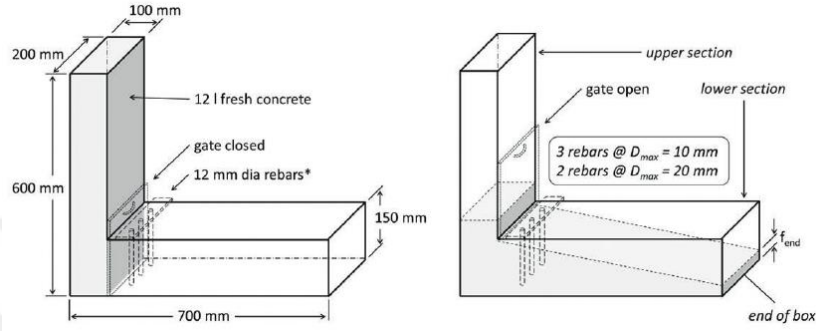
Şekil 1.4. V-hunisi deneyinin yapıldığı aparat (Safiuddin ve ark., 2015)

Huninin için nemlendirildikten sonra kendiliğinden yerleşen beton sıkıştırma işlemi yapılmadan üst yüzeye kadar doldurulur. Huninin altındaki kapak açıldığında beton akmaya başlar. Bu andan itibaren süre başlatılır ve huniye üstten bakıldığında ışık görününceye kadar geçen süre ölçülür. EN 206-12 taslağında V hunisi için de sınıflandırma getirilmiştir. V hunisinden akma süresi 9 s'den az ise VF1, 9-25 sn arasında ise VF2 adını almaktadır(Kılınç, 2012).

1.2.3.3. L-kutusu deneyi (L-box test)-TS EN 12350-10

Bu deney, L şeklinde tasarlanmış özel bir aparat sayesinde, kendiliğinden yerleşen betonun doldurma yeteneğini, geçiş yeteneğini ve ayrışmaya karşı direncini ölçmek için yapılır. Bu ölçümler için kutuda engel olarak kullanılan iki ya da üç adet demir çubuk bulunur. Üç çubuklu kutular daha sık donatılı durumları temsil eder. Kutunun dikey kısmı ile yatay kısmını ayıran bir kapak vardır. Dikey kısmın tamamı betonla doldurulduktan sonra kapak yukarı doğru çekilir. Betonun yayılması tamamlandıktan sonra dikey

kısımdaki betonun yüksekliği (H_1) ile yatay kısmın sonundaki beton yüksekliği (H_2) ölçülür ve H_2/H_1 oranı bulunur. Bu oran “geçiş yeterlilik oranı” olarak tanımlanmıştır. EN 206-12 taslağında L kutusu için de sınıflandırma getirilmiştir. 2 çubuklu L kutusunda PL (L kutusu ile ölçülen geçiş yeterlilik oranı) değeri 0,80’e eşit veya büyük ise PL1, 3 çubuklu L kutusunda PL değeri 0,80’e eşit veya büyük ise PL2 olarak sınıflandırılır (Kılınç, 2012; Altın ve ark., 2006).



Şekil 1.5. L-kutusu deneyinin şematik gösterimi (Qin ve Alehossein, 2013)

1.2.3.4. J-halkası deneyi (J-ring test)- EN 206-12

L kutusu deneyine benzeyen bu deney, KYB’nin donatılar ya da başka engeller arasından ayrışmadan geçebilme yeteneğini değerlendirmek için kullanılır. Dar çubuk aralıklı ve geniş çubuk aralıklı olmak üzere iki çeşit deney aleti mevcuttur. Dar çubuk aralıklı alet daha sık donatılı durumları temsil etmektedir. EN 206-12 taslağında J halkası deneyi için de sınıflandırma getirilmiştir. 12 çubuklu J halkasında PJ değeri 10’a eşit veya küçük ise PJ1, 16 çubuklu J halkasında PJ değeri 10’a eşit veya küçük ise PJ2 olarak sınıflandırılır (Kılınç, 2012).



Şekil 1.6. J-halkası deneyinin yapıldığı aparat (Anonim, 2018c)

1.2.3.5. Elekte ayrışma deneyi- TS EN 12350-11

Kendiliğinden yerleşen betonun ayrışmaya karşı direncinin değerlendirilmesi için kullanılır. Kendiliğinden yerleşen beton, numune olarak alındıktan sonra 15 dakika bekletilir. Numunenin belirlenmiş miktardaki üst tabakası, 5 mm göz açıklıklı kare gözlü elek üzerine dökülür. İki dakika sonrasında elekten geçen malzeme miktarı tartılarak kaydedilir. Ayrışma oranı, taze beton numune kütesinin, elekten geçen malzeme kütesine oranı olarak hesaplanır. 15 dakika bekleme süresinin sonunda, numune kabının kapağı açılır ve taze beton üzerinde görülebilir herhangi terleme suyu olup olmadığı kaydedilir. EN 206-12 taslağında elekte ayrışma için sınıflandırma getirilmiştir. SR (ayrışan beton kısmı) değeri 20'den küçük veya eşit ise SR1, 15'den küçük veya eşit ise SR2 olarak sınıflandırılmıştır(Kılınç, 2012).

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Altın ve ark. (2006), kendiliğinden yerleşen beton karışımında 4 farklı çimento ve agrega dozajı kullanarak ürettikleri numunelerin dayanım özelliklerini deneysel ortamda incelemişlerdir. Kendiliğinden yerleşen betonu yayılma, V-hunisi ve L-kutusu deneylerine tabi tutmuşlar ve ürettikleri betonun kendiliğinden yerleşen olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonuçlarına göre çimento dozajı artışının betonun mukavemetini artırmadığını gözlemlemişlerdir. Buldukları sonuçları SPSS istatistiksel paket programı ile Varyans analizi, F testi ve Tukey testleriyle yapılan çalışmanın güven aralığını incelemişlerdir.

Benaichaa ve ark. (2019), kendiliğinden yerleşen betonun reolojisiyle basınç dayanımı arasında bir ilişki kurmayı hedeflemişlerdir. Kendiliğinden yerleşen beton tasarımında 8 farklı dozajda süperakışkanlaştırıcı kullanmışlardır. Reoloji ölçümlerinde ise çökme yayılma deneyi, V-hunisi deneyi, L-kutusu deneyi, akma gerilmesi ve plastik viskozite kullanmışlardır. Kıyaslamalar ve ilişkiler için basınç deneyi kullanılmıştır. Araştırmacılar süperakışkanlaştırıcı dozajının artmasının, betonun basınç dayanımını, V-hunisi akış süresini, akma gerilmesini ve plastik viskozite değerini düşürürken, çökme yayılma çapını ve H_p/H_i oranını artırdığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca reolojide kullanılan ölçümlerle basınç dayanımı arasında formüller geliştirmişlerdir.

Özel ve Kaplan (2017) yaptıkları çalışmada, kalker kökenli agrega ile mermer, granit ve andezit kayaçlarını sırasıyla %25, %50 ve %75 oranlarında yer değiştirmiş, agrega tipinin yayılma çapı ve beton dayanımına etkisini araştırmışlardır. Deneysel çalışmada ürettikleri her bir seride 300, 350 ve 400 kg/m³ çimento dozajı kullanmışlardır. Doğal agregaların daha iyi akış özellikleri gösterdiğini, bunun yanında kırmataş agregaların daha yüksek dayanım sağladığını tespit etmişlerdir.

Alexandra ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada kalker filleri ve uçucu külün kendiliğinden yerleşen beton üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Bunun için çeşitli miktarlarda kalker filleri ve uçucu külü beton karışımlarında kullanıp kendiliğinden yerleşen betonun çökme yayılma değerlerine ve basınç dayanımlarına bakmışlardır. Sonuç olarak uçucu külün, betonun hazırlanma süresini uzattığını ve kalker fillerine göre basınç dayanımını düşürdüğünü gözlemlemişlerdir.

Safaa (2018) yapmış olduğu çalışmada betonarme kirişlerde çelik liflerin etriye yerine kullanımını araştırmıştır. 6 adet değişken kesitli, 3 adet prizmatik olmak üzere toplam 9 adet çelik lif katkılı betonarme kiriş numunesi üretmiştir. Tüm numuneleri 4

nokta eğilme deneyine tabi tutmuştur. Kiriş eğim açısı, kiriş türü ve çelik lif oranı çalışmasının parametrelerini oluşturmaktadır. Sonuç olarak betonarme kirişlerde etriye yerine çelik lif kullanımının, kirişlerin kesme mukavemetini ve sünekliğini artırdığını tespit etmiştir. En iyi sonucu %1 oranında çelik lif katkılı numune göstermiştir.

Aydın ve Bayrak (2016), 8 adet normal betonla, 12 adet kendiliğinden yerleşen betonla olmak üzere toplam 20 adet betonarme kiriş üretmişler ve bu kirişleri burulma deneyine tabi tutmuşlardır. Farklı etriye aralıkları ve beton basınç dayanımları, bu çalışmayı oluşturan diğer parametrelerdir. Çalışmanın sonuçlarında kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş numunelerin, normal beton ile üretilmiş numunelere göre burulma dayanımları çok daha fazla çıkmıştır. Deney sonuçlarını Amerika, Avrupa, Avustralya, İngiliz ve Türk standartlarıyla kıyaslamışlardır.

Akinpelu ve ark. (2017), normal betonlar ile kendiliğinden yerleşen betonların basınç ve çekme dayanımları arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Her iki beton türünden de basınç dayanımları C20, C30 ve C40 olan toplamda 36 adet 150x300 mm silindir numune üretmişlerdir. Üretilen silindirler aksenal basınç ve yarmada çekme deneylerine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak basınç dayanımı arttıkça çekme dayanımının düştüğünü ve her iki beton türünün de benzer sonuçlar verdiğini bulmuşlardır.

Nasim ve ark. (2018), yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen beton ile ürettikleri betonarme kirişlerde, geleneksel etriye yerine spiral etriye kullanımının kesme dayanımına etkisini 4 nokta eğilme deneyiyle incelemişlerdir. 2 adet geleneksel etriye aralıklı, 18 adet spiral etriye aralıklı ve açılı olmak üzere toplam 20 adet betonarme kiriş üretmişlerdir. Spiral etriye aralıklı kirişlerin az da olsa kesme kapasitesi açısından daha iyi sonuç verdiğini tespit etmişleridir.

Kumar ve Roy (2018), sisal ve abaca doğal liflerin kullanımının, kendiliğinden yerleşen betonda akış ve eğilme özelliklerini nasıl etkilediğini incelemişlerdir. Bunun için %0,5, %1,0 ve %1,5 oranlarında iki çeşit doğal lifi %0,3 ve %0,6 oranlarında çelik lif ile kıyaslamışlardır. Tüm lif çeşitlerinde kullanılan oran arttıkça akış yeteneği azalmıştır. Yarmada çekme deneyinde ise lif çeşitleri benzer sonuçlar göstermiştir.

Al-Shaar ve Göğüş (2018), yaptıkları çalışmada hafif beton ile kendiliğinden yerleşen betonun eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Bunun için çelik tüplerin içine beton doldurup bunları 4 nokta eğilme deneyine tabi tutmuşlardır. Her iki beton türü de benzer sonuçlar vermiştir.

Kamanlı (1999) yaptığı çalışmada, değişken kesitli kirişlerin davranışını hem geleneksel beton hem de hafif beton kullanarak incelemiştir. Her iki beton türündeki

kirişlerin basit eğilme altındaki davranışını, yük-sehim ve moment-eğrilik ilişkilerini, çatlama durumunu, enerji yutma kapasitesini belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapmış ve betonarmede normal beton için verilen hesap yöntemlerinin donatılı hafif beton için kullanılıp kullanılamayacağını irdelemiştir. Deneysel çalışmada elde ettiği sonuçları teorik olarak hesaplanan değerlerle karşılaştırmış, taşıma ve kullanma sınır durumları, yük-sehim, moment-eğrilik ve enerji yutma kapasitesi açısından bu değerleri yaklaşık olarak tespit etmiştir.

Ünal (2016), betonarme kirişlerin monotonik yükleme altında farklı mesnet koşullarına ve a/d oranına bağlı olarak kesme ve eğilme davranışlarını hasar mekaniği açısından deneysel olarak incelemiştir. Bunun için ankastre ve basit olmak üzere iki tip mesnet çeşidi; 1.0, 2.0 ve 3.0 olmak üzere üç tip a/d oranı; etriyesiz, 7.5, 15 ve 30 cm olmak üzere dört tip etriye aralığına sahip toplamda 16 adet 1/1 ölçekli betonarme kiriş kullanmıştır. Deney elemanlarının 4 tanesini basit mesnetli, 16 tanesini ankastre mesnetli düzenekte 4 nokta eğilme deneyine tabi tutmuştur. Mesnet koşullarının değişmesi ile kiriş davranışının oldukça değiştiğini ve a/d oranı ile etriye aralığı değişiminin kirişlerin kesme kapasitelerini etkilediğini tespit etmiştir.

Altın ve ark. (2004) kesme dayanımı yetersiz betonarme kirişleri kelepçelerle güçlendirerek kesmeye karşı dayanımlarını incelemişlerdir. Bunun için biri referans olmak üzere toplam 5 adet betonarme kiriş üretmişler ve bunları 4 nokta eğilme deneyine tabi tutmuşlardır. Kirişlerin a/d oranı 4'tür. Deneysel çalışmanın sonuçlarına göre kiriş elemanlarının dışarıdan kelepçelerle sarılması, elemanların kesme dayanımının oldukça artırdığını, buna bağlı olarak sünekliğin de arttığını tespit etmişlerdir.

Pajak (2016) yaptığı çalışmada, çelik ve polipropilen lifleri bir arada kullanarak ürettiği kendiliğinden yerleşen betonun basınç ve eğilme özelliklerini incelemiştir. Çelik lifleri %0,5, %1,0 ve %1,5 oranlarında, çelik lifleri ise %0,3 ve %0,9 oranlarında kullanmıştır. Basınç deneyi için 150x150x150 mm küp numuneler, eğilme deneyi için 100x100x400 mm kiriş numuneler kullanmıştır. Hibrit olarak kullanılan lifler betonun basınç dayanımını %5 ile %11 arasında artırmıştır. Eğilme davranışında ise en iyi sonucu her iki liften de en fazla oranda kullanılan numune vermiştir.

Altun (2004) yaptığı çalışmada betonarme kirişlerin güçlendirme işleminden önceki ve sonraki mekanik özelliklerini basit eğilme deneyi ile incelemiştir. Bunun için 9 adet betonarme kiriş kullanmıştır. Güçlendirme olarak mantolama yöntemini kullanmıştır. Deney elemanlarını donatıların akma noktasına kadar yüklemiş, daha sonra paspayını kazıyarak mantolama uygulamıştır. Bu aşamadan sonra kirişleri göçme

noktasına kadar yüklemiştir. Sonuçları maksimum yük kapasiteleri, süneklik ve rijitlik açısından değerlendirmiş ve mantolama uygulanan kirişlerin yük taşıma kapasitesi daha fazla çıkmıştır. Davranış olarak güçlendirilmiş numunelerle güçlendirilmemiş numuneler benzer özellikler gösterdiğini tespit etmiştir.

Ünal ve ark. (2018) yaptıkları çalışmada etriye aralıklarının, betonarme kirişlerin kesme ve eğilme davranışlarına etkisini incelemişlerdir. Bunun için etriyesiz, 20, 10 ve 5 cm olmak üzere toplam 4 adet 1/2 ölçekli betonarme kirişi 4 nokta eğilme deneyine tabi tutmuşlardır. Numunelerin yük-deplasman grafiklerini incelemişler ve etriye aralığının azalmasının, betonarme kirişlerin kesme kapasitelerini artırdığını ve buna bağlı olarak elemanların daha sünek davranış gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Özhan (2012) betonarme kirişlerin davranışını etkileyen birkaç parametrenin etkilerini deneysel olarak incelemiştir. Bu parametreler beton basınç dayanımı ve donatı oranıdır. Bunun için 3 farklı beton basınç dayanımı ve 3 farklı donatı oranı kullanarak toplamda 15 adet betonarme kirişi, statik yükleme altında test etmiştir. Beton dayanımı ve donatı oranı artışının betonun taşıma gücü kapasitesini artırdığını tespit etmiştir.

Kamolzoda (2018) yaptığı çalışmada, farklı basınç dayanımına sahip geleneksel betonlarla özel betonların gerilme-şekil değiştirme davranışlarını kıyaslamıştır. Özel beton olarak kendiliğinden yerleşen, çelik lifli ve polipropilen lifli beton kullanmıştır. C16, C30 ve C50 olmak üzere üç farklı beton basınç dayanımı kullanmıştır. Lif oranlarını ise %1 seçmiştir. Sonuç olarak beton dayanımı arttıkça elastisite modülünü artırdığını, çelik lifli betonların şekil değiştirme kapasitelerinin diğerlerinden daha fazla çıktığını ve tokluk değerlerinin yüksek olduğunu tespit etmiştir.

İnan (2017) yaptığı çalışmada çimento cinsi ve kimyasal katkı çeşidinin, kendiliğinden yerleşen betona etkisini incelemiştir. Bunun için farklı çimento ve üç farklı kimyasal katkı kullanarak beton üretmiştir. Su/çimento oranını 0,58 seçmiştir. Taze betonda birim kütle ve yayılma deneyleri, sertleşmiş betonda ultrases, basınç dayanımı ve su emme deneylerini yapmıştır. En iyi sonucu CEM I 42,5 çimentosunun verdiğini, kimyasal katkıların ise çimento türüne göre farklı sonuçlar ortaya çıkardığını tespit etmiştir.

Taşkın (2016) yaptığı çalışmada kendiliğinden yerleşen hafif beton üretiminde Bitlis pomzası kullanımını ve ürettiği betonun özelliklerini incelemiştir. İki farklı çimento dozajı ve iki farklı oranda barit tozu, uçucu kül ve volkanik pomza taşını katkı olarak kullanarak toplamda 9 adet kendiliğinden yerleşen hafif beton üretmiştir. Her betona basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve ultrasonik ses geçirgenlik ve durabilite

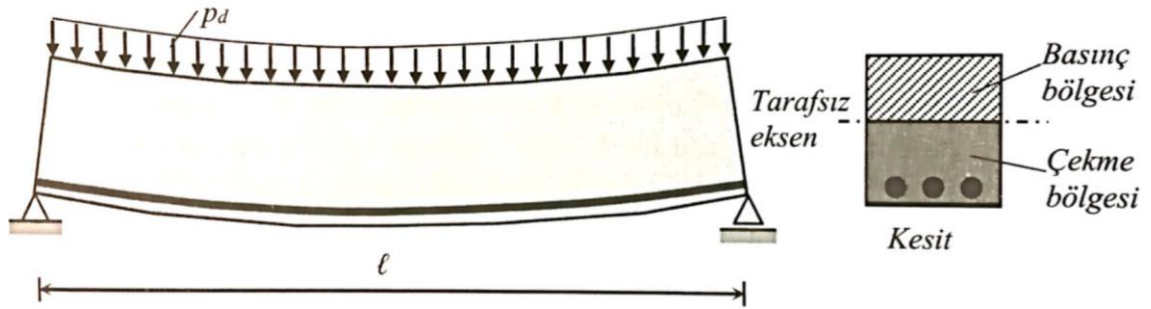
deneylerini uygulamıştır. Genel olarak en iyi sonuçları uçucu kül katkılı betonların verdiğini, barit tozunun birim ağırlığı artırmasının yanında pomza taşı ile benzer sonuçlar verdiğini tespit etmiştir.

Pajak ve Ponikiewski (2017) yaptıkları çalışmada, farklı uzunluk ve yüzey yapısına sahip çelik liflerin, kendiliğinden yerleşen betonun eğilme davranışına etkisini incelemişlerdir. Bunun için 6 mm ve 35 mm uzunluklu, düz ve dalgalı geometriye sahip çelik lifler kullanmışlardır. Lifleri %0,5, %1,0 ve %1,5 oranlarında kullanarak toplamda 9 adet 100x100x400 mm kiriş numuneleri üretilip eğilme deneyleri yapmışlardır. Lif oranı %2'yi geçen numuneler kirişlerin eğilme davranışını olumsuz etkilemiş olup diğer oranlar kirişlerin sünekliğini artırmıştır.

Cengiz ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen beton ile ürettikleri betonarme kirişlerin eğilme davranışlarını incelemişlerdir. Bunun için C30 ve C60 basınç dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonlarda, etriye aralığı değişiminin kiriş davranışına etkisini 4 nokta eğilme deneyi ile irdelemişlerdir. Etriyesiz, 20 cm, 10 cm ve 5 cm aralıklı etriyelerin 4 nokta eğilme deneyi sonucu elde ettikleri yük-deplasman ve enerji tüketim grafiklerini incelediklerinde, etriye aralığının kiriş davranışına doğrudan bir etkisi olduğunu sonucu bulmuşlardır. Genel olarak etriye aralığı azaldıkça sünekliğin arttığını, fakat 5 cm etriye aralıklı kirişlerde ani bir şekilde basınç kırılması oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Bu yüzden en uygun aralığın 10 cm olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

3. MALZEME VE YÖNTEM

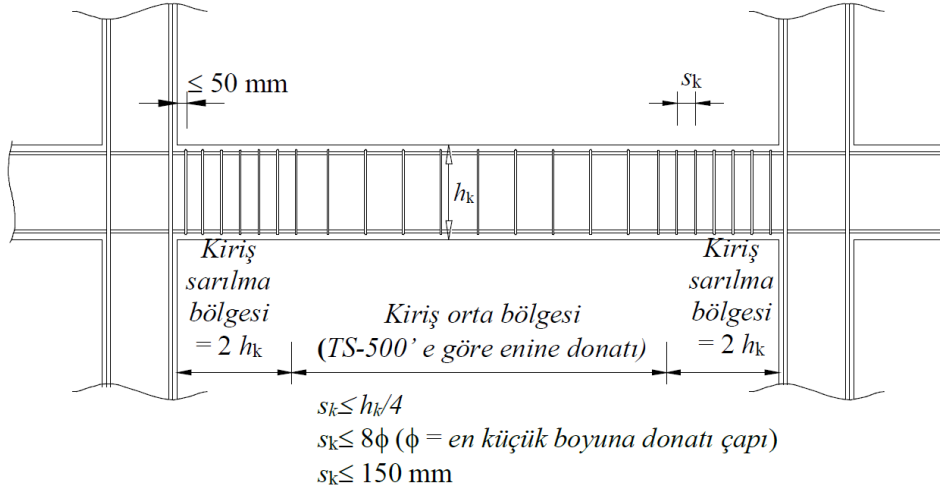
Betonarme kirişlerde diğer taşıyıcı yapı elemanlarından farklı olarak, üzerindeki yüklerin sonucunda bünyesinde daha fazla çekme gerilmesi meydana gelmektedir. Oluşan çekme gerilmeleri kirişin tarafsız ekseninin alt bölgesinde oluşmaktadır (Şekil 3.1). Kirişlerde oluşan çekme gerilmeleri, çekme bölgesinin altına yerleştirilen çelik çubuklar (donatılar) ile taşınmaktadır. Böylece kirişin tarafsız ekseninin üstünde kalan basınç bölgesi tam kapasite ile çalışabilmektedir.



Şekil 3.1. Düzgün yayılı yük etkisindeki kiriş (Doğangün, 2016)

TS500 ve TBDY 2018’de üzerinde durulan hususların en önemlilerinden biri, yapı taşıyıcı elemanlarının (kiriş, kolon, perde, temel vb.) kesme kırılması şeklinde değil, eğilme kırılması şeklinde hasar almasının istenmesidir. Yapılan hesapların büyük çoğunluğu, bu olguyu gerçekleştirmek içindir. Bunun nedeni, kesme kırılması gevrek ve ani bir kırılma olduğu içindir. Böyle bir kırılma durumunda yapı saniyeler içerisinde göçme durumuna gelir. Bunun önüne geçmek için yapı taşıyıcı elemanlarının tasarımı yapılırken, kesme kapasitelerinin her zaman eğilme kapasitelerinden fazla olmasına dikkat edilir. Eğer elemanların kesme kapasiteleri moment taşıma kapasitelerinden fazla olursa, üzerlerine gelen yükler (sabit, hareketli, deprem vb.) neticesinde kesme kırılması oluşmadan çok daha önce eğilme çatlakları meydana gelir ve enerji sönümlemesi sünek bir şekilde olur.

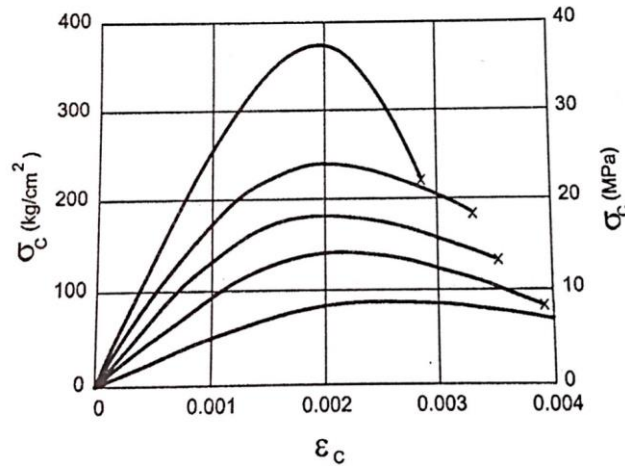
Betonarme elemanlarda, yüklerden dolayı oluşan momenti taşımak için boyuna donatılar kullanılırken, kesme kuvvetini taşımak için enine donatılar (etriyeler) kullanılır. Etriye eleman boyunca devam eden boyuna donatıları dıştan belli aralıklarla sarar. Bu aralıkların ne olacağı yönetmeliklerde mevcuttur (Şekil 3.2). Burada bahsedilecek olan husus, etriye aralığı değişiminin, taşıyıcı elemanın davranışına etkisi olacaktır.



Şekil 3.2. Kirişlerde enine donatı koşulları (TBDY, 2018)

Etriye aralığının Şekil 3.2’de görüldüğü gibi kolonlara yakın olan bölgelerinde daha sık olmasının nedeni, o bölgelerde kesme kuvvetinin daha fazla olmasından dolayıdır. Böyle tasarlanan kirişlerin kesme kapasiteleri daha fazla olmakta ve sünek bir davranış sergilemektedir. Bu çalışmanın konularından biri olan etriye aralığının değişimi ise betonarme kirişlerin süneklik düzeyini, dolayısıyla enerji yutma kapasitesini ne ölçüde etkilediğini incelemektir.

Sünekliği etkileyen bir diğer parametre ise betonun dayanımıdır. Betonun basınç dayanımı yükseldikçe yük taşıma kapasitesi artmakta; fakat enerji yutma kapasitesi yani sünekliği azalmaktadır (Şekil 3.3). Bu durumu göz önüne alarak, betonun dayanımındaki değişiklik, etriye aralığı değişimi ile birlikte, betonarme kirişlerin davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak için, bir diğer parametre olan beton basınç dayanımı deneysel çalışmaya eklenmiştir.



Şekil 3.3. Beton dayanımının gerilme-şekil değiştirme üzerindeki etkisi (Ersoy, 2015)

Böylelikle bu çalışma kapsamında;

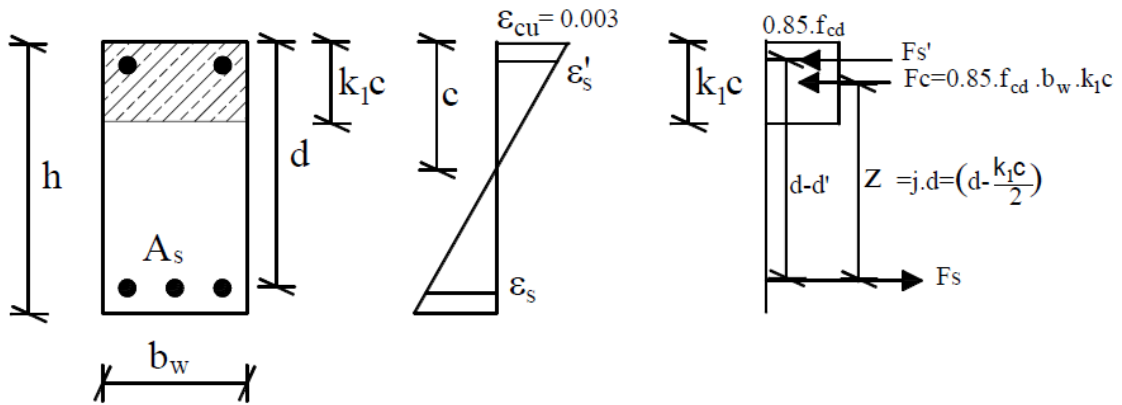
- I. Etriye aralığı
- II. Beton basınç dayanımı
- III. Beton türü

olmak üzere 3 tane parametre oluşturulmuştur. Her bir parametrenin ayrıntılı bilgisi ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

3.1. Kiriş Elemanlarının Donatı Hesabı

Bu çalışmada kullanılan beton ve donatı detayları ülkemizde taşıyıcı sistemi betonarme çerçevelerden oluşan yapılarda kullanılan detaylar göz önüne alınarak belirlenmiştir. Kirişlerde kullanılan beton sınıfının C30 ve C60, donatı sınıfının ise S420 olması planlanmıştır. Donatı hesabı düşük dayanımlı beton sınıfına göre yapılacaktır. Bunun nedeni C30 için hesaplanan denge altı donatı oranı, C60 için de kullanılabilir.

Betonarme kirişlerde çekme bölgesine yerleştirilen çelik çubuklar kirişlerde bu bölgede meydana gelen çekme gerilmelerini karşılayarak basınç bölgesindeki betonun tam kapasiteyle çalışmasına imkân verirler. Eğilmeye çalışan kiriş kesitlerine basınç bölgesindeki beton basınç bileşkesi F_c ve donatı çekme kuvveti F_s 'den oluşan bir kuvvet çifti etmektedir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Kirişlerde taşıma gücü momentinin bulunması

Kuvvetler dengesine bağlı olarak basınç donatısız bir kirişte;

$$F_c = F_s \quad (3.1)$$

olacaktır. Bu durumda moment denge denklemi yazılacak olursa;

$$M_r = F_c \cdot (z) = F_s \cdot (z) \quad (3.2)$$

olacaktır. Bu bağıntıda “z” iki kuvvet arasındaki mesafe olup;

$$z=d-k_1c/2 \quad (3.3)$$

olacak şekilde gösterilebilir. Basınç donatılı bir kirişte ise beton basınç bölgesinde de donatı bulunacağından;

$$F_c + F'_s = F_s \quad (3.4)$$

olacaktır. Bu durumda moment denge denklemi yazılacak olursa;

$$M_r = F_c.(z) + F'_s.(d-d') \quad (3.5)$$

olacaktır.

Basınç bölgesindeki bileşke kuvvetin hesaplanmasında, eğilme durumunda kesitte meydana gelen deformasyon değerlerinden ve basınç bölgesindeki gerilme dağılımı için beton malzemeye ait gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) bağıntılarından yararlanılır. En alt çekme lifindeki beton birim deformasyonu betonun çekme sınır birim deformasyonunu aştığından, çekme bölgesindeki beton kesit çatlamıştır. Bu yüzden, çekme bölgesindeki bileşke kuvvet hesaplanmasında, betonun katkısı dikkate alınmaz. Çekme bölgesindeki bileşke kuvvet, çekme donatısındaki birim deformasyona bağlı oluşan gerilme dağılımına göre belirlenir. Hesaplarda, çeliğin gerilme-şekil değiştirme (σ - ϵ) ilişkisi, elasto-plastik bir eğri ile idealize edilir.

$$f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 1.9 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = 1.25 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 420 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 365 \text{ MPa'dır.}$$

Kirişlerde açıklık boyunca asgari boyuna donatı oranı ve enine donatı oranı bulunmak zorundadır. Bu sebeple deneyleri yapılacak olan kirişlerde bu şartlar dikkate alınmıştır.

Deney elemanları tasarlanırken ilk olarak TBDY 2018’de belirtilen minimum boyuna donatı oranı dikkate alınmıştır.

$$\rho_{min}=0.8 f_{ctd}/f_{yd} \quad (3.6)$$

Bu denkleme göre minimum boyuna donatı oranı;

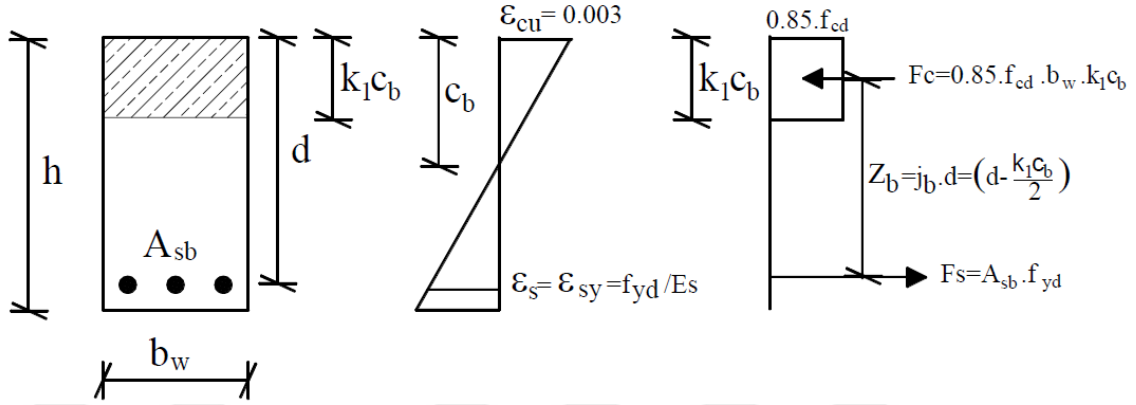
$$\rho_{min}=0.8 \cdot 1.25/365 = 0.00274 \quad \text{olarak bulunmuştur.}$$

Kirişlerde sünek bir davranışın sergilenmesi için boyuna donatının sınırlandırılması da gerekmektedir. Bu amaçla TS500 (2000) ve TBDY 2018’de kirişlerde kullanılabilecek maksimum donatı oranları da verilmiştir.

$$\rho_{\max} = 0.85\rho_b \quad (3.7)$$

$$\rho_{\max} = 0.02 \quad (3.8)$$

Denklem 3.7’de belirtilen eşitlikte “ ρ_b ” (dengeli donatı oranı) değerinin bulunması gerekmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Dengeli donatı oranının bulunması

Şekil 3.5’teki denge denklemlerinden;

$$\sum F = 0 \text{ ise } F_c = F_s \quad (3.9)$$

$$0.85 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot k_1 \cdot c_b = A_{sb} \cdot f_{yd} \quad (3.10)$$

$$\sum M = 0 \text{ ise } M_{rb} = F_{sb} \cdot (j_b \cdot d) = F_{sb} \cdot (d - k_1 \cdot c_b / 2) \quad (3.11)$$

$$M_{rb} = A_{sb} \cdot f_{yd} \cdot j_b \cdot d = A_{sb} \cdot f_{yd} \cdot (d - k_1 \cdot c_b / 2) \quad (3.12)$$

Şekil 3.5’teki uygunluk denklemlerinden;

$$\frac{cb}{\varepsilon_{cu}} = \frac{d-cb}{\varepsilon_{sy}} \quad (3.13)$$

$$\frac{cb}{0.003} = \frac{d-cb}{f_{yd}/E_s} \quad (3.14)$$

$$\frac{cb}{d} = \frac{0.003}{0.003 + f_{yd}/E_s} \quad (3.15)$$

$$\frac{cb}{d} = \frac{0.003 \cdot E_s}{0.003 \cdot E_s + f_{yd}} \quad (3.16)$$

Dengeli donatı oranı için Denklem 3.17 yazılabilir.

$$\rho_b = \frac{A_{sb}}{b_w \cdot d} \quad (3.17)$$

Denklem 3.17’deki A_{sb} değeri yerine Denklem 3.10 ifadesi konulduğunda Denklem 3.18 ve Denklem 3.19 elde edilir.

$$\frac{0.85 \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot k_1 \cdot cb}{f_{yd} \cdot b_w \cdot d} \quad (3.18)$$

$$\frac{0.85.f_{cd}.k_1.c_b}{f_y.d} \quad (3.19)$$

Denklem 2.19'de c_b/d yerine Denklem 3.16 konulursa Denklem 3.20 ifadesi elde edilmektedir.

$$\rho_b = \frac{0.85.f_{cd}.k_1}{f_{yd}} \cdot \frac{0.003.E_s}{0.003.E_s + f_{yd}} \quad (3.20)$$

Denklem 3.20'de bulunan eşitlik yardımıyla her donatı türü ve her beton türüne göre dengeli donatı oranı bulmak mümkün olacaktır (Ünal, 2016). Kiriş deneylerinde C30 ve C60 sınıfı beton ve S420 sınıfı donatı kullanılacaktır. Donatı hesapları C30 için yapılırsa, dengeli donatı oranı C60 için de uygun olacaktır. Denklem 3.20'de f_{cd} , f_{yd} , E_s ve k_1 değerleri yerlerine yazıldığında C30-S420 için dengeli donatı oranı $\rho_b = 0.0242$ olarak bulunmaktadır.

Denklem 3.7'de ρ_b değeri yerine konulursa $\rho_{max} = 0.0205$ olarak bulunmaktadır. Bu işlemlerin sonucunda kiriş deneylerinde kullanılacak olan donatı oranının ρ_{min} ve ρ_{max} değerleri arasında olmalıdır.

$$\rho_{min} = 0.002 < \rho < \rho_{max} = 0.0205 \quad (3.21)$$

Betonarme kiriş deney elemanlarında 3Ø8 boyuna donatı kullanıldığında;

$$\rho = A_s/(b_w.d) = 1.5/(12,5.23) = 0.00521 \quad (3.22)$$

olarak bulunmaktadır. Bu değer ρ_{min} ve ρ_{max} değerleri arasında olup kiriş numuneleri için 3Ø8 boyuna donatı kullanılmıştır.

Kiriş numunelerinde minimum bir kesme donatısı hesabı yapmak gerekmektedir. Bunun için TS500 (2000)'de belirtilen minimum kesme donatısı Denklem 3.23'te verilmiştir.

$$A_{sw}/s = 0.3 \cdot f_{ctd}/f_{ywd} \cdot b_w \quad (3.23)$$

Denklem 3.23'te A_{sw} , f_{ctd} , f_{ywd} ve b_w değerleri yerine yazılırsa $s \leq 54,5$ cm olarak bulunmaktadır. Bu şartların yanında etriye aralıklarının sınırlandığı şartlar da TBDY 2018'de verilmektedir. Bu yönetmelikte kirişlerde sarılma bölgesi ve sarılma bölgesi dışı için ayrı şartlar mevcuttur.

Sarılma bölgesi dışında;

$$s \leq d/2 = 24/2 = 12 \text{ cm}$$

Sarılma bölgesinde;

$$s \leq h_k/4 = 25/4 = 6.25 \text{ cm}$$

$$s \leq 8\phi_l = 8 \times 0.8 = 6.4 \text{ cm}$$

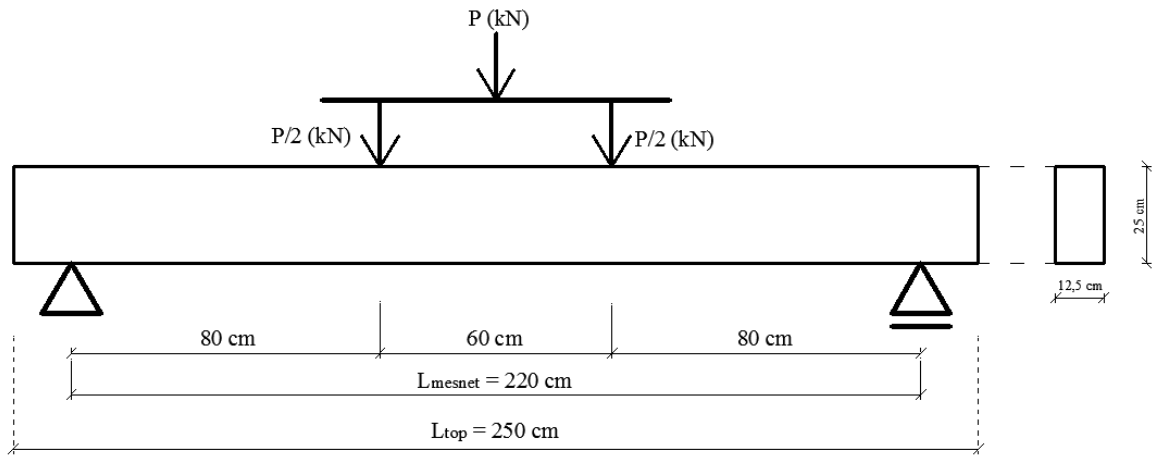
$$s \leq 15 \text{ cm}$$

Kiriş boyunca etriyesi bulunan deney elemanlarında yapısal sebeplerden dolayı montaj donatısı bulunmalıdır. Bu yüzden kesme donatısı bulunan deney numunelerinde 2Ø8 montaj donatısı kullanılmıştır.

Deney elemanlarında her iki uçtan 30 cm'lik kısım mesnet bölgelerinin içinde kaldığından ve bu kısmın çok fazla hasar alması istenmediğinden bu bölgelere sık etriye uygulaması yapılmıştır. Bu bölgelerde Ø6/5 enine donatı kullanılmıştır.

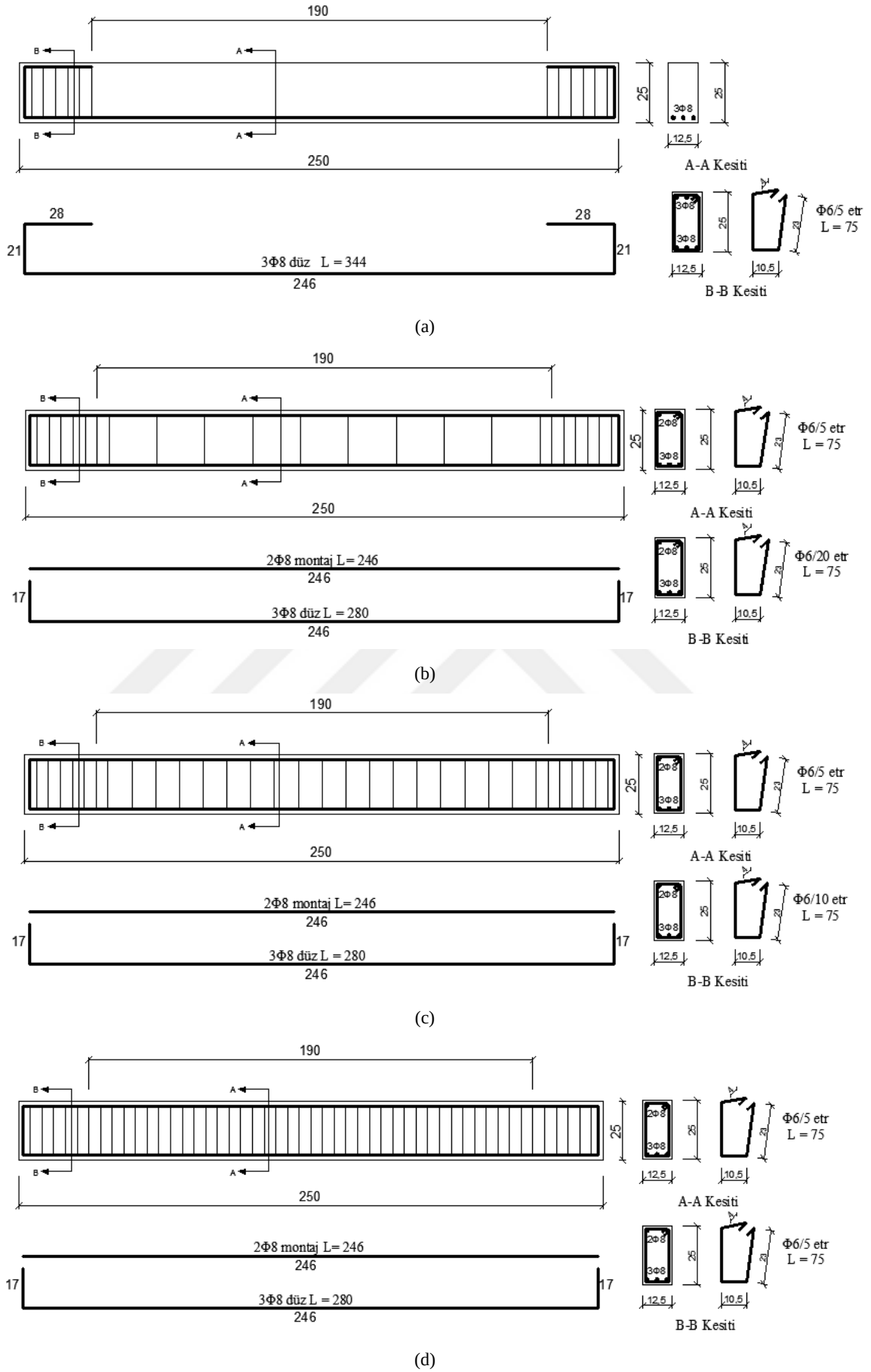
3.2. Deney Elemanlarının Özellikleri

Kiriş elemanlarının kesme açıklığı/faydalı yükseklik (a/d) oranı $80/24=3,33$ seçilmiştir (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Deney düzeneğindeki yük ve mesnet mesafeleri

Deneyde kullanılacak elemanların malzeme, boyut, dayanım gibi özellikleri standartlara ve yönetmeliklere uygun olarak seçilmiş ve hazırlanmıştır. Kirişlerin boyutları seçilirken, uygulamada yapılan kirişlerin boyutları dikkate alınmış olup, deney koşulları ve ekonomi göz önünde bulundurularak 1/2 ölçekli olması tercih edilmiştir. Etriye aralıkları birbirinin katı olacak şekilde ve yönetmelik koşulları göz önüne alınarak 5 cm, 10 cm ve 20 cm şeklinde seçilmiştir (Şekil 3.7). Beton basınç dayanımları seçiminde öncelikli hedef, ülkemizdeki yapıların inşaatında en fazla kullanılan C20 beton ve buna ek olarak C40 betonu; fakat kendiliğinden yerleşen betonlar sahip olduğu fiziksel avantajlar (boşluk içermeme vs.) nedeni ile en düşük dayanımlı KYB'nin beton dayanımının C25'ten bile çok daha fazla çıkmasından dolayı, C30 ve C60 betonlar tasarlanmıştır.



Şekil 3.7. Deney elemanlarına ait donatı şemaları: a) Etriyesiz, b) $\Phi 6/20$, c) $\Phi 6/10$, d) $\Phi 6/5$

3.3. Deney Elemanlarının Üretimi

Deney elemanları Konya 2. Organize Sanayi Bölgesi'nde bulunan Yardımcı Prefabrik A.Ş. tesisinde üretilmiş ve gerekli kür işlemlerinin ardında Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Yapı ve Deprem Araştırma Laboratuvarı'na getirilmiştir. Tesiste kalıp olarak çelik kalıplar kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kirişlerin ebatlarında kalıplar ayarlanmış ve donatılar da uygun bir şekilde hazırlanmıştır (Şekil 3.8a).

Donatılar kalıplara yerleştirildikten sonra hazırlanan betonlar kalıplara dökülmüştür. Beton dökme işlemi her bir tür beton için (örneğin C30 KYB veya C60 Normal) tek seferde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.8b).



(a)

(b)

Şekil 3.8. Deney elemanlarına ait: a) Kalıp ve donatılar, b) Kalıplara beton döküm işlemi

Kalıpta 1 gün bekleyen elemanlar dışarı çıkarılmış ve bir hafta boyunca kür işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Kalıptan çıkarılan numuneler

3.4. Betonun Özellikleri

Daha önce de bahsedildiği üzere deneysel çalışmada iki farklı türde beton kullanılmıştır. Bunlar kendiliğinden yerleşen beton ve normal (geleneksel) betondur. Her iki beton türü için de C30 ve C60 basınç dayanımlı beton tasarımı yapılmıştır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Deney elemanlarını oluşturan betonların karışım miktarları (kg/m³)

Betonlar Bileşenler	KYB		NORMAL	
	C30	C60	C30	C60
Çimento	320	500	300	550
Su	207	187	160	245
İnce Agrega (0-4 mm)	1222	1017	1011	580
İri Agrega (4-12 mm)	726	635	821	905
Taş Unu (0-0,25 mm)	92	-	-	-
Silis Dumanı	-	51	-	-
Süper Akışkanlaştırıcı	4,20	8,32	-	-

3.4.1. Çimento

Beton üretiminde Konya Çimento firmasına ait CEM II/A-M (P,L) 42,5R isimli çimento kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Özellikler	Çimento değeri	TS EN 197-1’e göre minimum değerler	TS EN 197-1’e göre maksimum değerler
2. günün sonunda basınç dayanımı (N/mm ²)	24,8	20	
28. günün sonunda basınç dayanımı (N/mm ²)	47,2	42,5	62,5
Priz başlangıç süresi (dk)	190	60	
Hacim genleşme değeri (mm)	1		10

Tablo 3.2. Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Özellikler	Çimento değeri	TS EN 197-1’e göre minimum değerler	TS EN 197-1’e göre maksimum değerler
SO ₃ değeri (%)	3,37		4,0
Cl değeri (%)	0,06		0,1
Toplam katkı (%)	17	6	20
K ₂ O değeri (%)	0,71		
Na ₂ O değeri (%)	0,63		

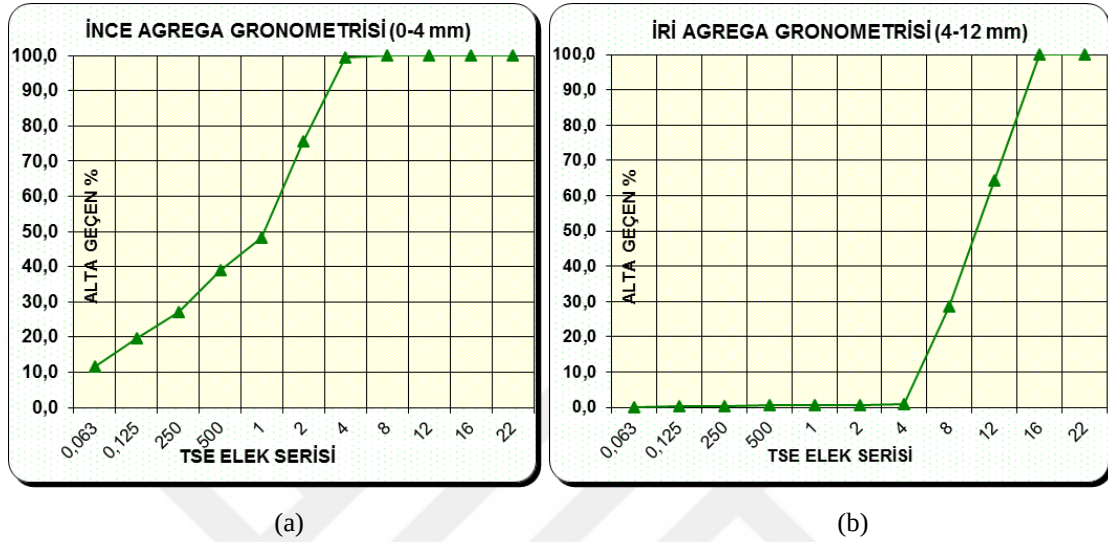
3.4.2. Karışım suyu

Beton karışımında kullanılan su, Konya 2. Organize Sanayi Bölgesi’ne ait şebeke suyundan temin edilmiştir.

3.4.3. Agregalar

Beton karışımında kullanılan agregalar Konya-Ankara yolunun 32. km’sinde bulunan Öztaşoğlu firmasına ait taş ocağından temin edilmiş olup bunlar 0-4 mm kum ve 4-12 mm çakıl olmak üzere 2 çeşittir.

Uygun karışımın sağlanması için agregaların özgül ağırlıkları bulundu, iri agregalar için 3 kg, ince agregalar için 1 kg olmak üzere agrega örneği elek serisinden elendi. Elekten yüzdeye geçen değerler hesaplandı. Sonuçlar grafik üzerinde gösterilerek granülometri eğrisi çizildi (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Agregaların granülometri eğrileri a) İnce agregalar, b) İri agregalar

Kullanılan agregaların özgül ağırlıkları Tablo 3.3'te, su emme yüzdeleri Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Deneysel çalışmada kullanılan agregaların özgül ağırlıkları

0-4 mm İnce Agregalar (g/cm^3) :	2,63
4-12 mm İri Agregalar (g/cm^3) :	2,68

Tablo 3.4. Deneysel çalışmada kullanılan agregaların su emme yüzdeleri

0-4 mm İnce Agregalar (%) :	1,48
4-12 mm İri Agregalar (%) :	0,36

3.4.4. Silis dumanı

C60 KYB tasarımı yapılırken, betona hem dayanım hem de akıcılık özelliklerini kazandırmak için silis dumanı kullanılmıştır. Kullanılan silis dumanı Antalya Eti Elektrometalurji A.Ş.'den temin edilmiştir. Bu ürünle ilgili kimyasal ve fiziksel bilgiler Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Silis dumanına ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Kimyasal Özellikler	
Kimyasal Bileşim	(%)
S(SiO ₂)	91
A(Al ₂ O ₃)	0,58
F(Fe ₂ O ₃)	0,24
CaO	0,71
MgO	0,33
SO ₃	1,06
Na ₂ O	0,38
K ₂ O	4,34
C	0.8-1.0
S+A+F	91,82
Fiziksel Özellikler	
Kızdırma Kaybı	1,84
Yoğunluk, (g/cm ³)	2,20
Özgül Yüzey (cm ² /g)	144000

3.4.5. Kimyasal katkı

Kendiliğinden yerleşen beton üretiminde, Fosroc firmasına ait polikarboksilat esaslı Auracast 550 SM süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu ürünle ilgili özellikleri Tablo 3.6’da verilmiştir.

Tablo 3.6. Süper akışkanlaştırıcının özellikleri

Görünüm	Sıvı
Renk	Kahverengi
pH	6 +/- 1
Özgül Ağırlığı (g/cm³)	1,07 +/- 0,02
Klorid İçeriği (%)	≤ 0,1
Alkali İçeriği (%)	≤ 2,0

3.5. Beton Deneyleri

Deney kapsamında üretimi yapılan betonların, istenilen özelliklerde olup olmadığını anlayabilmek için bazı deneylerin yapılması gerekmektedir. Taze ve sertleşmiş olmak üzere iki çeşit beton deneyi vardır. Bu çalışmada taze beton deneyleri kendiliğinden yerleşen betonları kapsarken, sertleşmiş beton deneyleri tüm betonlara uygulanmıştır.

3.5.1. Taze beton deneyleri

Daha önce 1.2.3 bölümünde anlatıldığı gibi bir betonun kendiliğinden yerleşen beton olup olmadığını tespit etmek için birtakım deneylerin yapılması gerekmektedir. Bu sebeple üretimi yapılan kendiliğinden yerleşen betonlara;

- Çökme-Yayılma (Şekil 3.7)
- L-Kutusu (Şekil 3.8)
- V-Hunisi (Şekil 3.9)

deneyleri yapılmıştır (Tablo 3.7).

Tablo 3.7. KYB deney sonuçları

Numuneler	Slump flow (mm)	V-funnel (sec)	L-box
C30-KYB	747	9	0.9
C60-KYB	682	14	0.8
EFNARC limit	650-800	6-15	0.8-1.0

Taze beton deney sonuçlarına bakıldığında üretimi yapılan betonların kendiliğinden yerleşen beton özelliklerini sağladığı görülmektedir.



Şekil 3.7. Çökme-Yayılma deneyi



Şekil 3.8. L-Kutusu deneyi



Şekil 3.9. V-Hunisi deneyi

3.5.2. Sertleşmiş beton deneyleri

Karışım hesabı yapıldıktan sonra hazırlanan betonun, istenilen basınç dayanımına sahip olduğunu anlamak için sertleşmiş beton deneylerinden biri olan basınç deneyi bu çalışma kapsamında yapılmıştır. Karışım hesabı yapılırken C60 ve C30 olarak iki farklı dayanımda beton tasarlanmıştır. Kür havuzunda bekletilen 15x15x15 cm küp numuneler, 7 ve 28 gün sonra havuzdan çıkarılıp basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deney aleti Baz Makina firmasına ait olup yükleme hızı 0,4 MPa/s olarak ayarlanmıştır (Şekil 3.10).

Beton basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde C30 ve C60 karakteristik dayanımları için üretim yapılmış ve istenilen sonuçlar elde edilmiştir. Normal ve kendiliğinden yerleşen betonların dayanımları, birbirlerine oldukça yakın değerlerde olduğu için çalışmayı oluşturan parametrelerden biri olan basınç dayanımı sağlanmıştır.



Şekil 3.10. Beton basınç deneyi aleti

Tablo 3.8. Beton basınç dayanımları (N/mm²)

	7 Günlük Dayanım		28 Günlük Dayanım	
C30 KYB	33,04	33,32	40,84	40,16
	33,62		39,53	
	33,29		40,11	
C30 NORMAL	34,28	33,65	40,32	40,53
	33,43		40,00	
	33,24		41,27	
C60 KYB	59,93	59,26	74,40	73,41
	61,88		74,92	
	55,96		70,90	
C60 NORMAL	62,50	63,78	77,40	72,78
	66,98		75,06	
	61,87		65,87	

3.6. Donatının Özellikleri

Deney elemanlarındaki enine donatılar için Ø6, boyuna donatılar için Ø8 çaplı S420 sınıfı nervürlü donatılar kullanılmıştır. Her iki donatı çapı için 3'er adet olmak üzere toplam 6 adet donatı kesilerek Konya Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Malzeme Laboratuvarında test edilmiş ve deneylerde kullanılan donatılara ait mekanik özellikler belirlenmiştir (Şekil 3.11). Donatı çekme deneyleri sırasında akma kuvveti, akma dayanımı, çekme kuvveti, çekme dayanımı, kopma kuvveti, kopma dayanımı, uzama ve elastisite modülleri belirlenmiştir (Tablo 3.9).

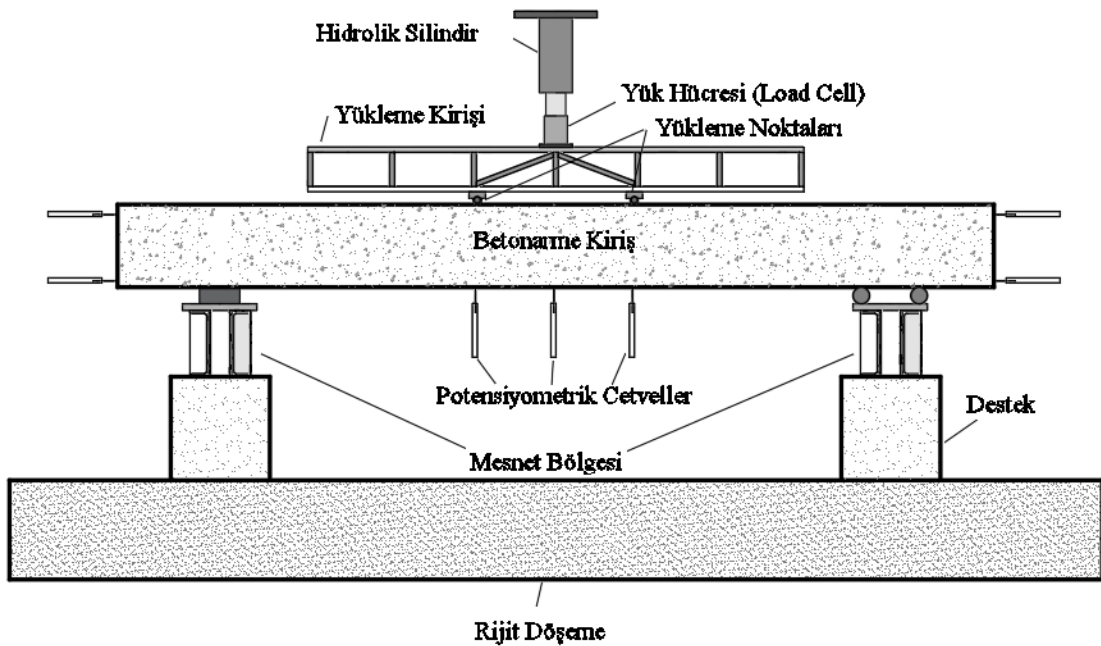
**Şekil 3.9.** Donatıların mekanik özelliklerinin belirlenmesi

Tablo 3.9. Donatıların mekanik özellikleri

	Ø6			Ø8		
Mekanik Özellik	1. Numune	2. Numune	3. Numune	4. Numune	5. Numune	6. Numune
Akma Kuvveti (N)	9070	9930	9600	16840	15540	15690
Akma Dayanımı - R_e (MPa)	320,9	351,4	339,7	335,2	309,3	312,3
Çekme Kuvveti (N)	15610	11360	14010	22060	21280	21210
Çekme Dayanımı - R_m (MPa)	552,4	402	495,8	439,1	423,6	422,2
Kopma Kuvveti (N)	15200	11010	13800	21180	20340	20370
Kopma Mukavemeti (MPa)	538	390	488	422	405	405
R_m/R_e	1,72	1,14	1,46	1,31	1,37	1,35
Uzama (%)	12,9	11,3	22,8	36,1	37,7	45,2
Elastisite Modülü (MPa)	190110	217410	217110	208830	214460	189260

3.7. Deney Düzeneği

Deney düzeneği 1.1 bölümünde anlatıldığı gibi 4 nokta eğilme deneyinin yapılacağı şekilde hazırlanmıştır. Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Yapı ve Deprem Araştırma Laboratuvarı'nda mevcut olan bir düzenek, bu deney için kullanılmıştır. Deney düzeneğinin şematik gösterimi Şekil 3.10'dadır.

**Şekil 3.10.** Deney düzeneğinin şematik gösterimi

3.8. Ölçüm Yöntemi

Deneylerde yük ölçümünü yapmak için 1 adet load cell (yük hücresi), yüke bağlı olarak elemanlarda meydana gelen deplasmanları ölçmek için 7 adet potansiyometrik cetvel (LVDT) kullanılmıştır (Şekil 3.11). Elemanların altında bulunan 3 adet LVDT orta nokta yük-deplasman, rijitlik azalım ve enerji grafikleri için kullanılırken, yanlarda bulunan 2'şer adet LVDT ise moment-eğrilik ve mesnet dönmeleri grafikleri için kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Deneylerde kullanılan: a) potansiyometrik cetvel, b) yük hücresi

LVDT'ler ve yük hücresi bir veri toplama cihazına bağlanmaktadır. Yük ve deplasman değerleri, önce bu cihaza, daha sonra aygıt geçidi adı verilen başka bir cihaza aktarılmakta, son olarak da bilgisayarda depolanmaktadır (Şekil 3.12). Bilgisayara aktarılan veriler, bir program sayesinde bilgisayar ekranında görülebilmekte ve deneyle eşzamanlı olarak yük-deplasman grafikleri çizilebilmektedir.



Şekil 3.12. Deneylerde kullanılan veri toplama sistemi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu bölümde test edilen her bir numuneye ait deneysel sonuçlar verilmiştir. Tüm deney elemanlarına aynı yükleme protokolü uygulanmıştır. Bu protokol şu şekildedir:

- Deney, elemanlara 5 kN (500 kg) yük verilerek başlanmıştır.
- Yük-deplasman eğrisi yatay konuma gelene kadar (donatı akma sınırına ulaşana kadar) her bir yüklemede 5 kN yük artırımı yapılmıştır.
- Donatı akma sınırına ulaştıktan sonra deplasman kontrolüne geçilmiş olup, 50 mm deplasman değerine kadar 5 mm, 50 mm deplasman değerinden sonra 10 mm deplasman artışlarıyla deneylere devam edilmiştir.
- Deneyler her bir elemanın göçme noktasına ulaşmasına kadar devam etmiştir.

Deney sonuçlarının daha iyi yorumlanabilmesi için elemanlara isimler verilmiştir. Bu isimler Tablo 4.1’de görülmektedir.

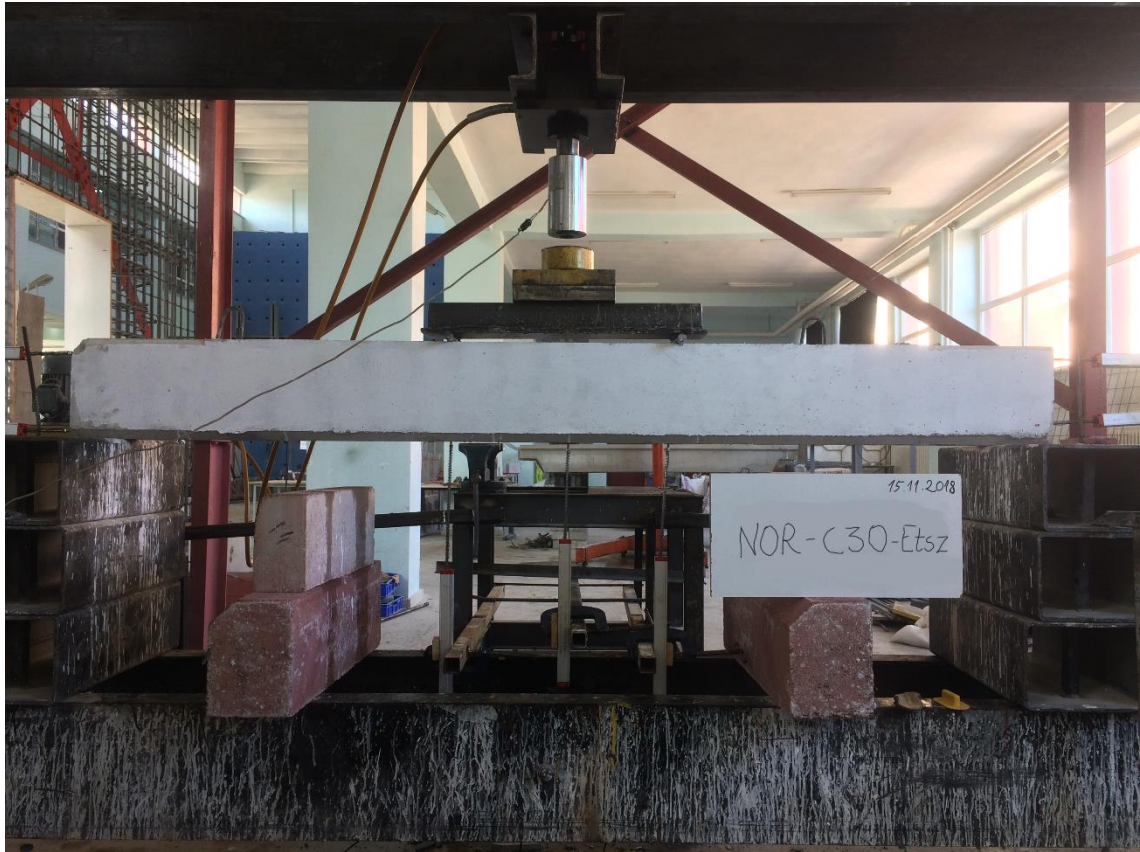
Tablo 4.1. Deney elemanlarının isimleri

Numune Adı	Beton Türü	Basınç Dayanımı	Etriye Aralığı
NOR-C30-Etsz	Normal	C30	Etriyersiz
NOR-C30-20	Normal	C30	20 cm
NOR-C30-10	Normal	C30	10 cm
NOR-C30-5	Normal	C30	5 cm
NOR-C60-Etsz	Normal	C60	Etriyersiz
NOR-C60-20	Normal	C60	20 cm
NOR-C60-10	Normal	C60	10 cm
NOR-C60-5	Normal	C60	5 cm
KYB-C30-Etsz	KYB	C30	Etriyersiz
KYB-C30-20	KYB	C30	20 cm
KYB-C30-10	KYB	C30	10 cm
KYB-C30-5	KYB	C30	5 cm
KYB-C60-Etsz	KYB	C60	Etriyersiz
KYB-C60-20	KYB	C60	20 cm
KYB-C60-10	KYB	C60	10 cm
KYB-C60-5	KYB	C60	5 cm

4.1. Deney Sonuçları

4.1.1. Deney 1 (NOR-C30-Etsz)

Bu eleman C30 basınç dayanıma sahip, etriyesiz, normal beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.1’dedir. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. NOR-C30-Etsz elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.2. NOR-C30-Etsz’e ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
5,12	0,46	İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
12,23	0,80	
16,09	1,71	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
21,22	3,00	Yeni eğilme çatlakları meydana geldi. İlk çatlakların boyları 3-4 cm uzadı.
25,14	4,07	Sağ yükleme noktası altında yaklaşık 10 cm uzunluğunda yeni çatlak oluştu. Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
30,16	5,76	Her iki yükleme noktası dışında yeni çatlaklar oluştu. Önceki çatlak boyları yaklaşık 2 cm uzadı.
37,48	7,21	Önceki çatlakların boyları yaklaşık 2-3 cm uzadı.
41,51	9,03	İki yükleme noktası arasında yeni eğilme çatlağı oluştu. Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
42,22	13,78	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Deplasman kontrolüne geçildi. Çatlaklarda dallanmalar başladı.</u>
43,29	20,11	Dallanan çatlakların boyları uzadı.
43,65	25,15	Çatlak boyları 1-2 cm uzadı.
43,77	30,42	Çatlak genişlikleri arttı. Sağ yükleme noktası altında çatlak giriş en üst noktasına ulaştı.
43,89	36,15	Çatlak genişlikleri 2 mm oldu.
43,95	40,55	Çatlak genişlikleri arttı.
44,56	46,50	Çatlak genişlikleri arttı.
46,02	50,80	Çatlak genişlikleri arttı.
46,16	60,22	Sol yükleme noktasının altına 45 derecelik açıyla yeni kesme çatlağı oluştu.
46,81	70,15	Sağ yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi. Çatlak genişlikleri 1 cm oldu.
47,02	80,45	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri artmaya devam etti. İki yükleme noktası arasında basınç çatlağı oluştu.</u>
-	88,62	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 16 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. NOR-C30-Etsz elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 42 kN yük seviyesinde ve 13,78 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3. NOR-C30-Etsz deney elemanın akma anındaki durumu

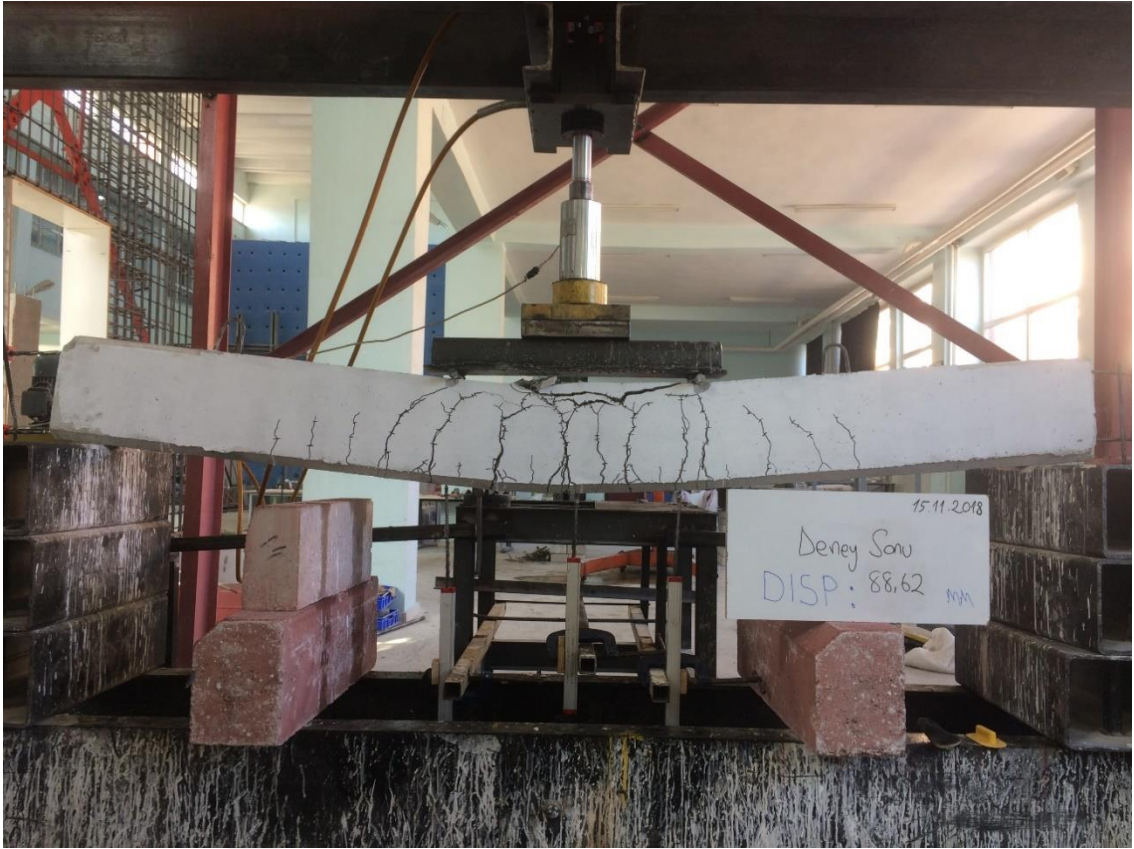
Deney elemanı maksimum yüke yaklaşık 47 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 80,45 mm olup kesme çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. NOR-C30-Etsz deney elemanının maksimum yük anındaki durumu

Elemana yük verme işlemi 88 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur (Şekil 4.5). Bu noktada belirgin basınç çatlağı oluşmuştur. Basınç çatlağının genişliği ciddi miktarda arttığı ve eleman yük taşıyamaz hale geldiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.6).

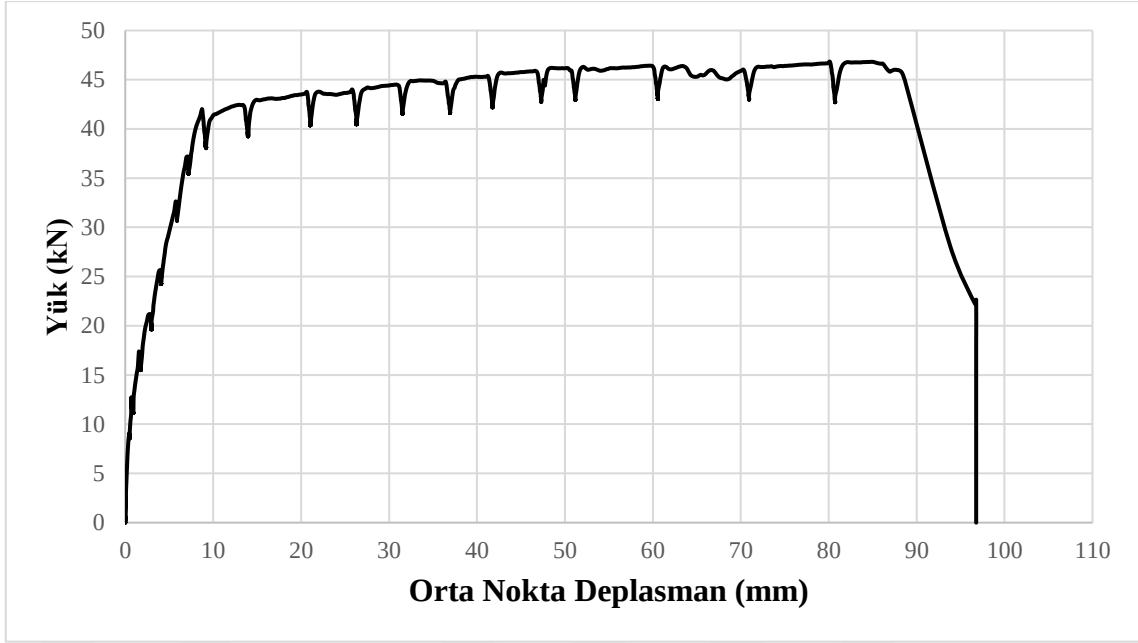
NOR-C30-Etsz deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.5. NOR-C30-Etsz deney elemanının deney sonundaki durumu

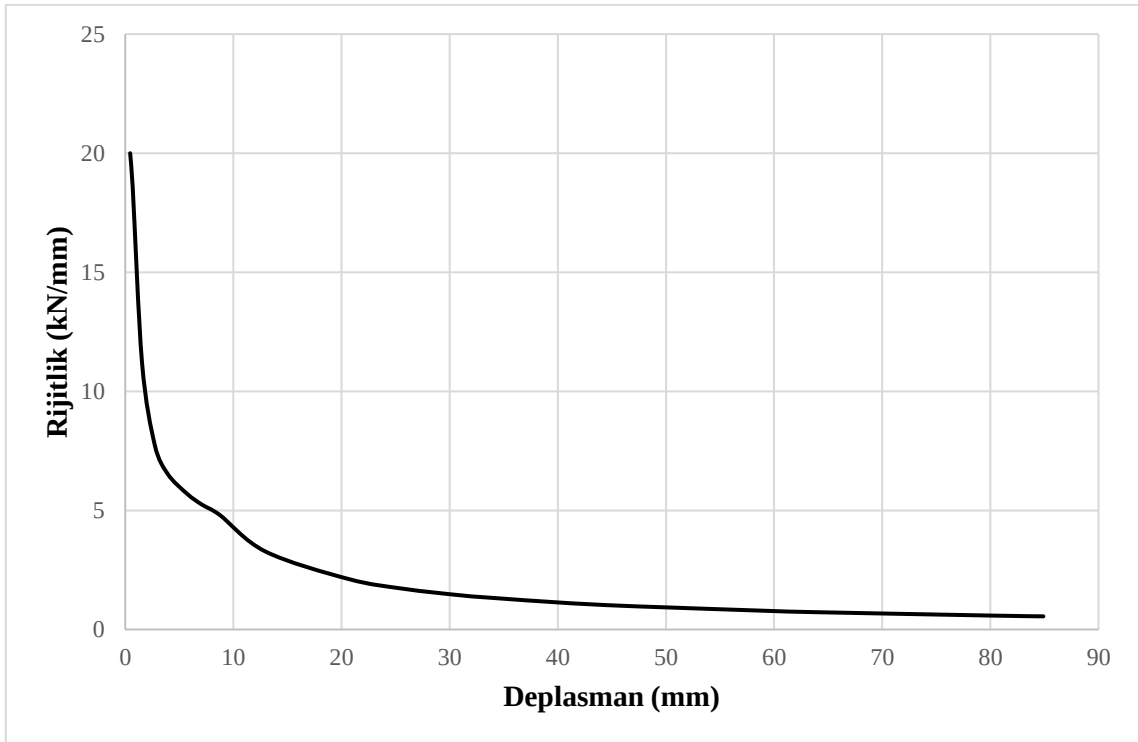


Şekil 4.6. NOR-C30-Etsz deney elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



Şekil 4.7. NOR-C30-Etsz deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.

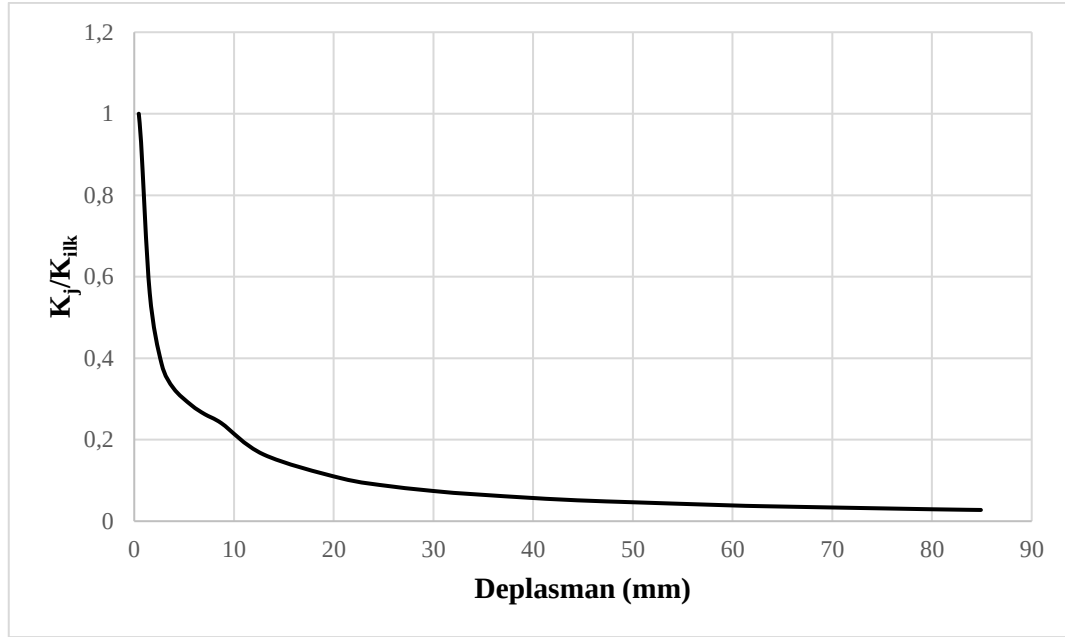


Şekil 4.8. NOR-C30-Etsz deney elemanının rijitlik grafiği

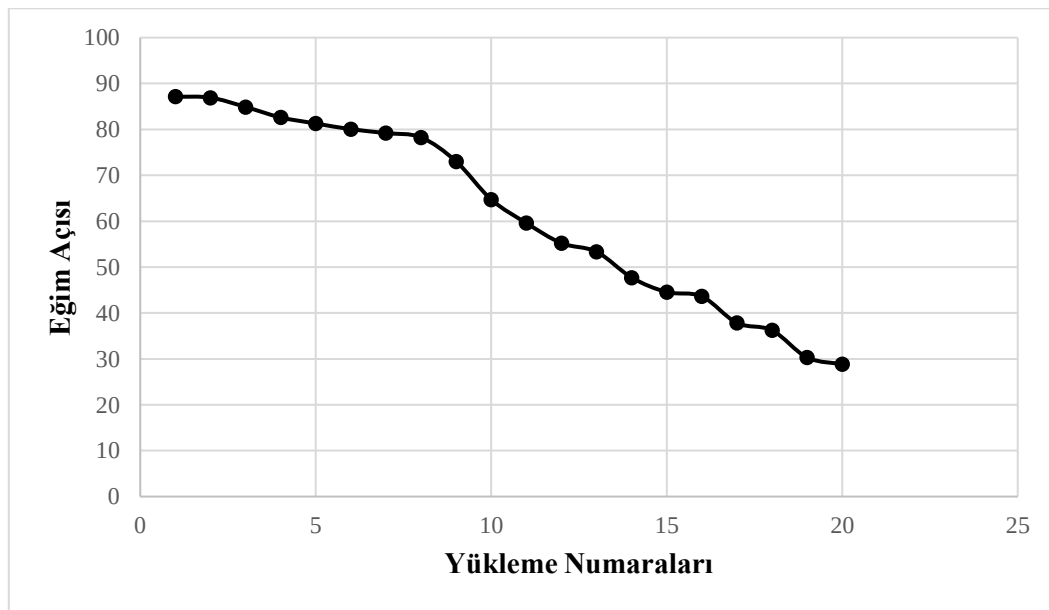
Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.9).

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemde yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

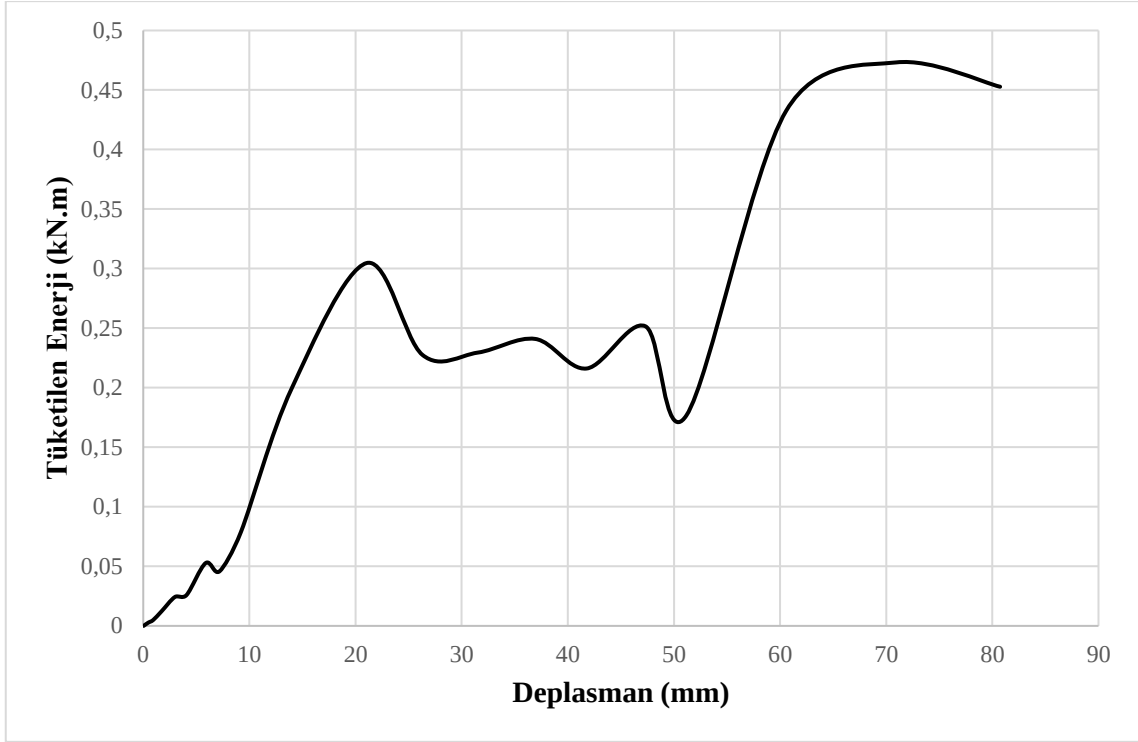
Deney elemanının her bir yüklemdeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.11'dedir. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.12'de verilmiştir.



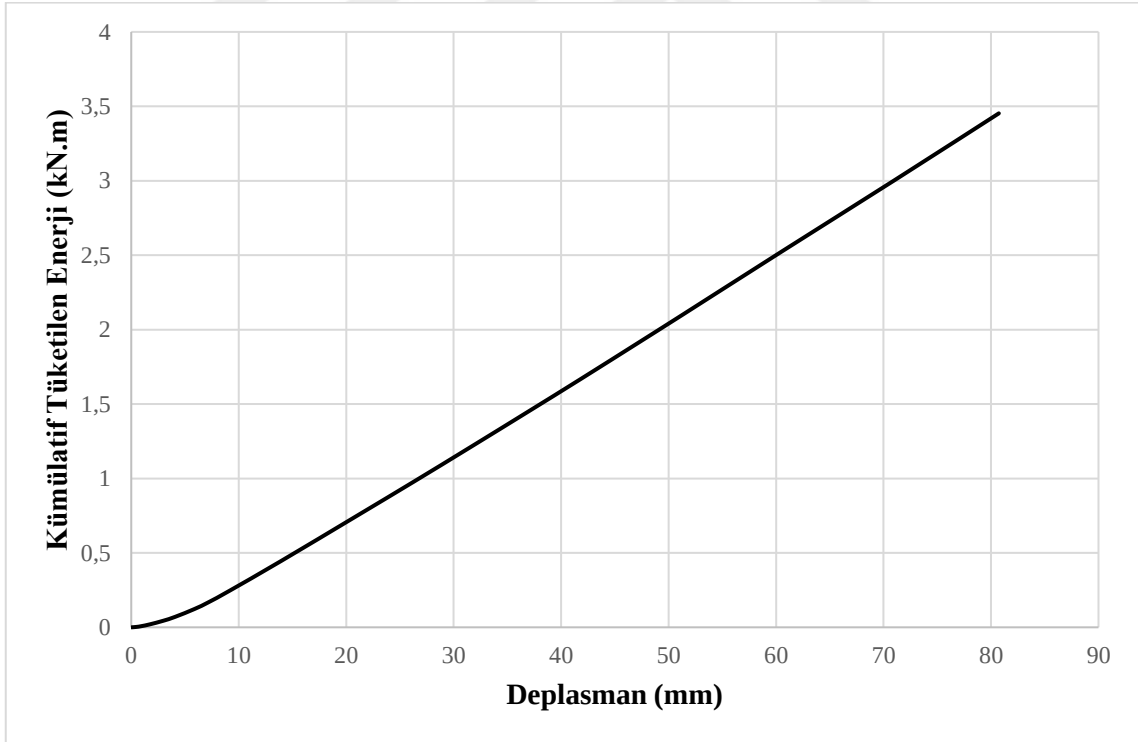
Şekil 4.9. NOR-C30-Etsz deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği



Şekil 4.10. NOR-C30-Etsz deney elemanının eğim açısı grafiği



Şekil 4.11. NOR-C30-Etsz deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.12. NOR-C30-Etsz deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.2. Deney 2 (NOR-C30-20)

Bu eleman C30 basınç dayanıma sahip, 20 cm etriye aralıklı, normal beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.13'tedir. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.13. NOR-C30-20 elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.3. KYB-C30-20'ye ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
8,82	0,38	İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
15,23	1,15	
20,06	2,23	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
28,25	4,62	Yeni eğilme çatlakları oluştu. Daha önce oluşan çatlakların boyları yaklaşık 4-5 cm uzadı.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
38,19	7,31	Yüklemeye noktaları dışında yeni eğilme çatlakları oluştu. Önceki çatlakların boyları 1-2 cm uzadı.
41,12	8,32	Önceki çatlakların boyları 1-2 cm uzadı. Çatlaklarda dallanmalar başladı.
42,51	12,90	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi.</u>
43,06	20,80	Dallanan çatlakların boyları uzadı.
44,36	27,15	Çatlak genişlikleri artmaya başladı.
45,26	35,75	Çatlak genişlikleri arttı.
46,19	40,78	Çatlak genişlikleri arttı.
46,68	46,12	Sol yükleme noktası altındaki çatlak boyu 4-5 cm uzadı.
47,56	51,70	Çatlaklar yatay olarak uzamaya başladı.
48,69	60,07	Çatlak genişlikleri arttı.
49,43	71,55	Çatlak genişlikleri 1 cm oldu.
51,13	81,15	Çatlak genişlikleri arttı.
49,52	90,01	Çatlak genişlikleri arttı. Sol yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi.
50,32	100,15	Çatlak genişlikleri arttı.
50,43	110,08	Çatlak genişlikleri 2 cm oldu.
50,51	120,03	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri arttı.</u>
50,13	130,23	İki yükleme noktası arasında basınç çatlağı oluştu.
50,16	140,32	Basınç çatlakları ve çatlak genişlikleri arttı.
-	145,23	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 20 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. NOR-C30-20 elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 42 kN yük seviyesinde ve 12,90 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.15'te görülmektedir.

Deney elemanı maksimum yüke 50,51 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 120,03 mm olup basınç çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.16).

Elemana yük verme işlemi 145 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Bu noktada belirgin basınç ve çekme çatlakları oluşmuş fakat kesme çatlakları gözlemlenmemiştir (Şekil 4.17). Basınç bölgesi ezildiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.18).

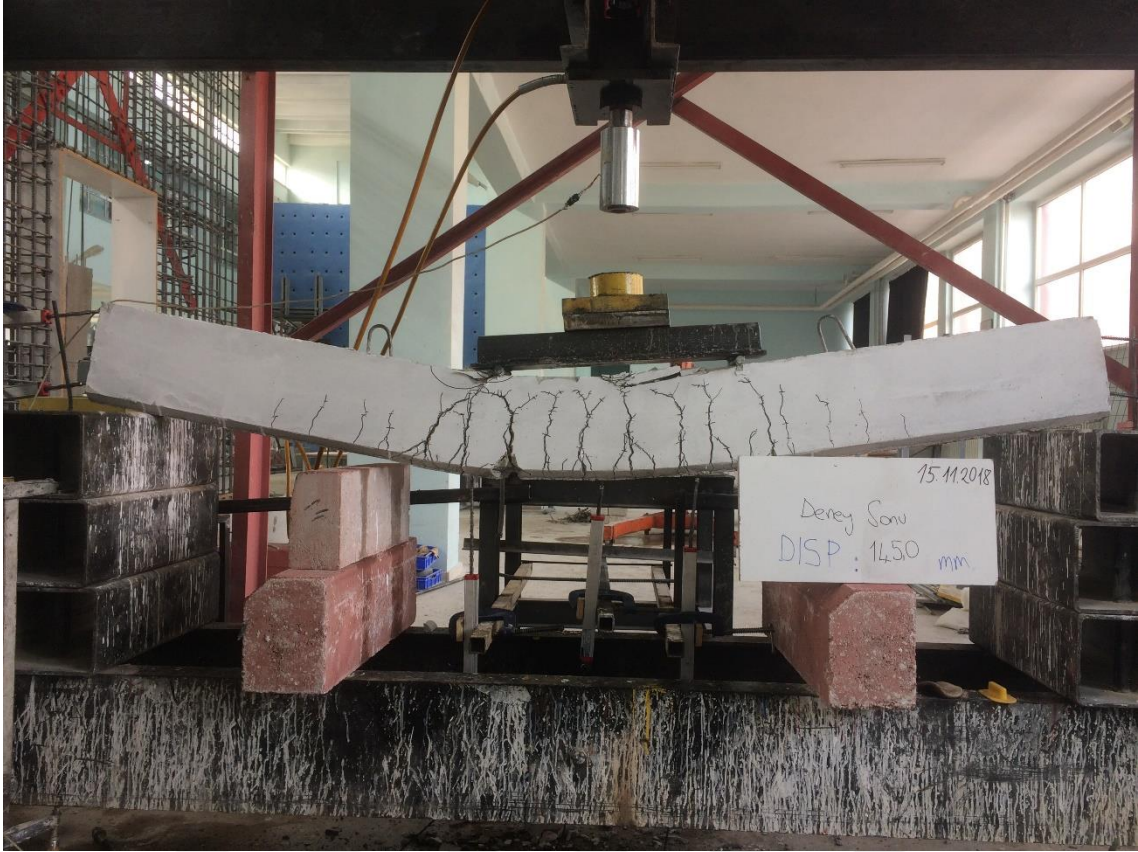
NOR-C30-20 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.15. KYB-C60-10 deney elemanının akma anındaki durumu



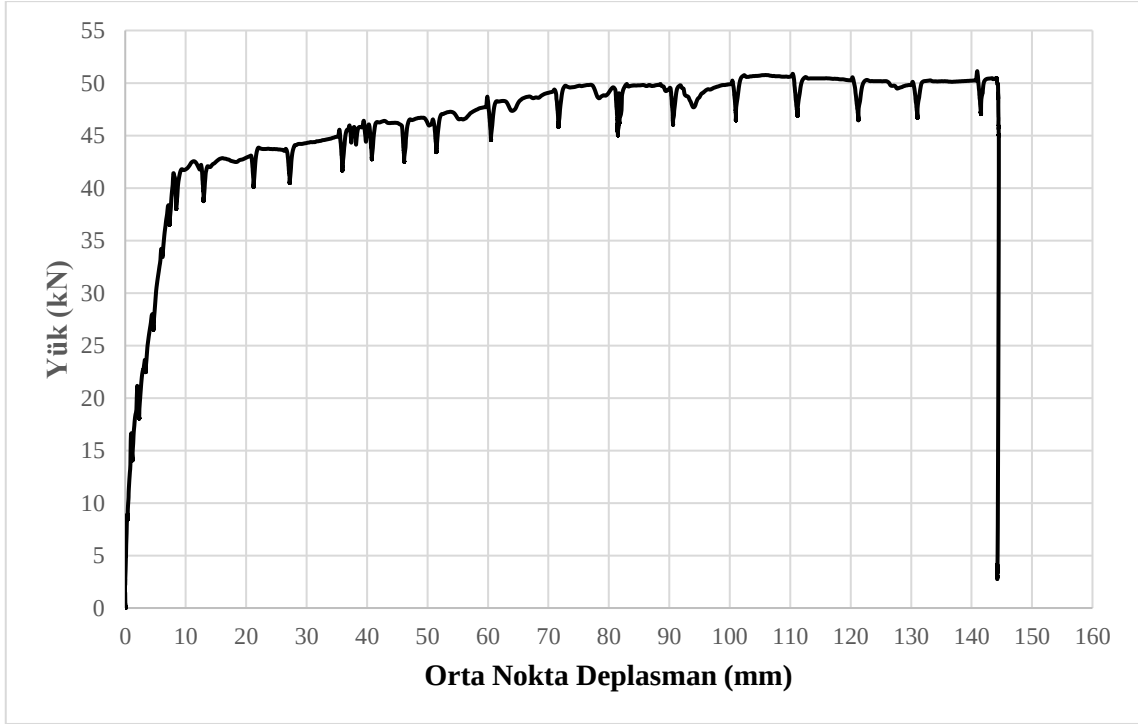
Şekil 4.16. NOR-C30-20 deney elemanının maksimum yük anındaki durumu



Şekil 4.17. NOR-C30-20 deney elemanın deney sonundaki durumu

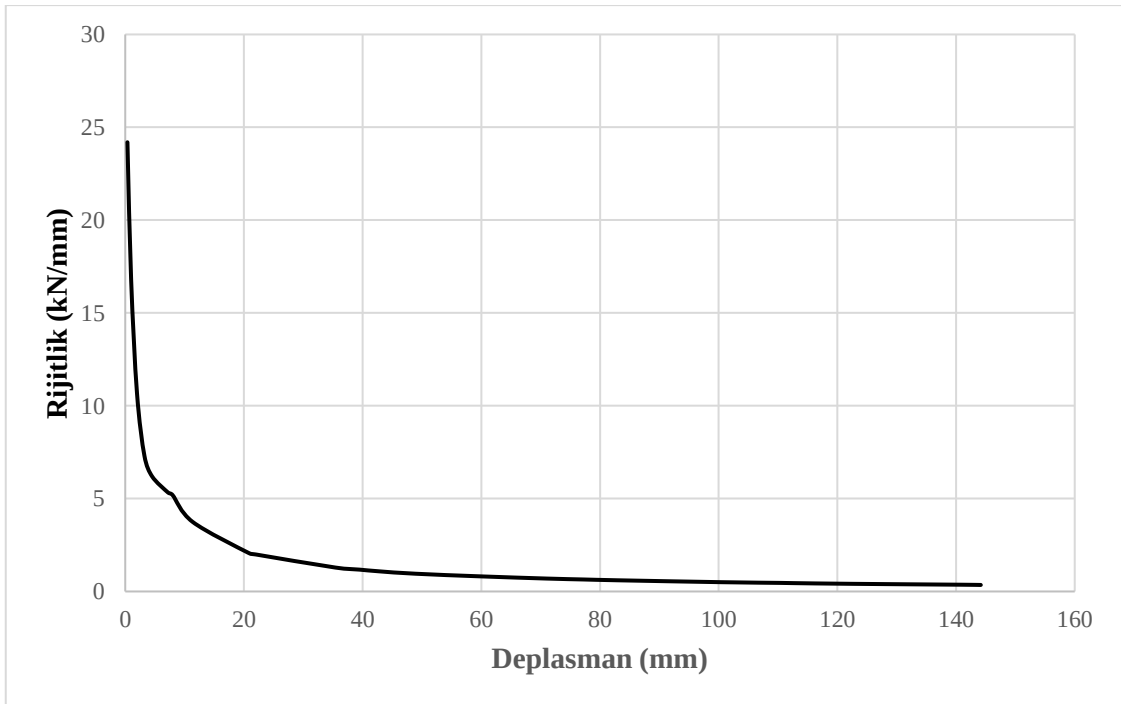


Şekil 4.18. NOR-C30-20 deney elemanın deney sonundaki çatlak dağılımı



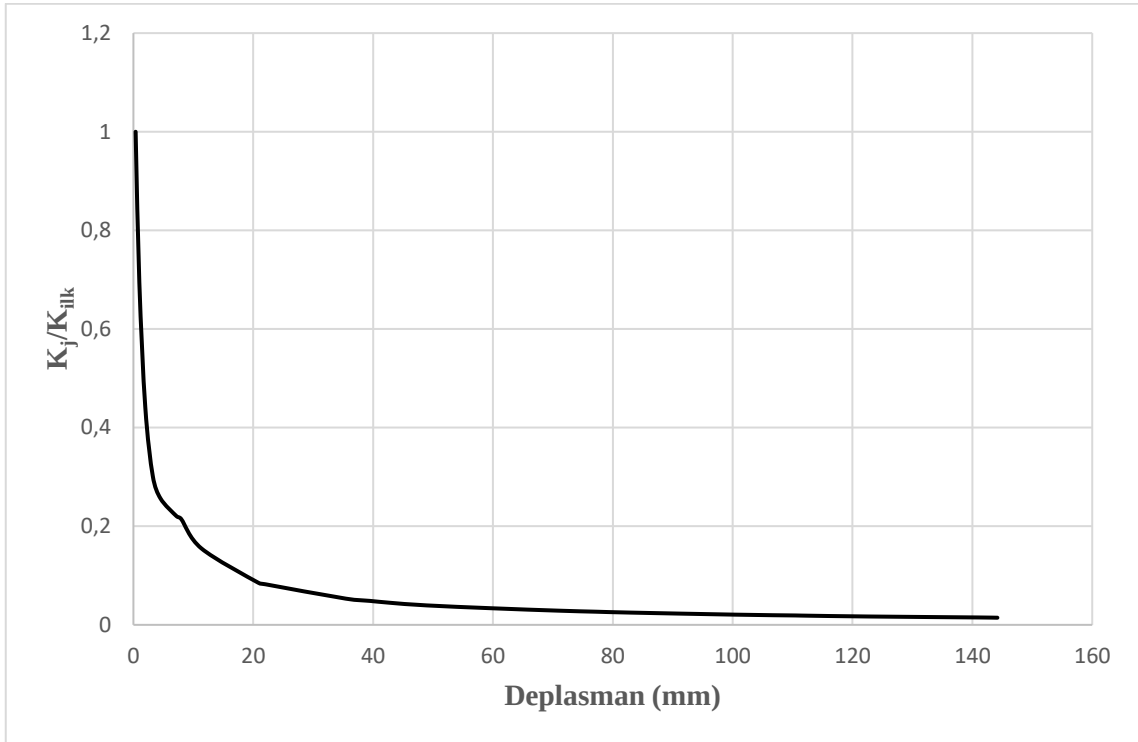
Şekil 4.20. NOR-C30-20 deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.21’de gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



Şekil 4.21. NOR-C30-20 deney elemanının rijitlik grafiği

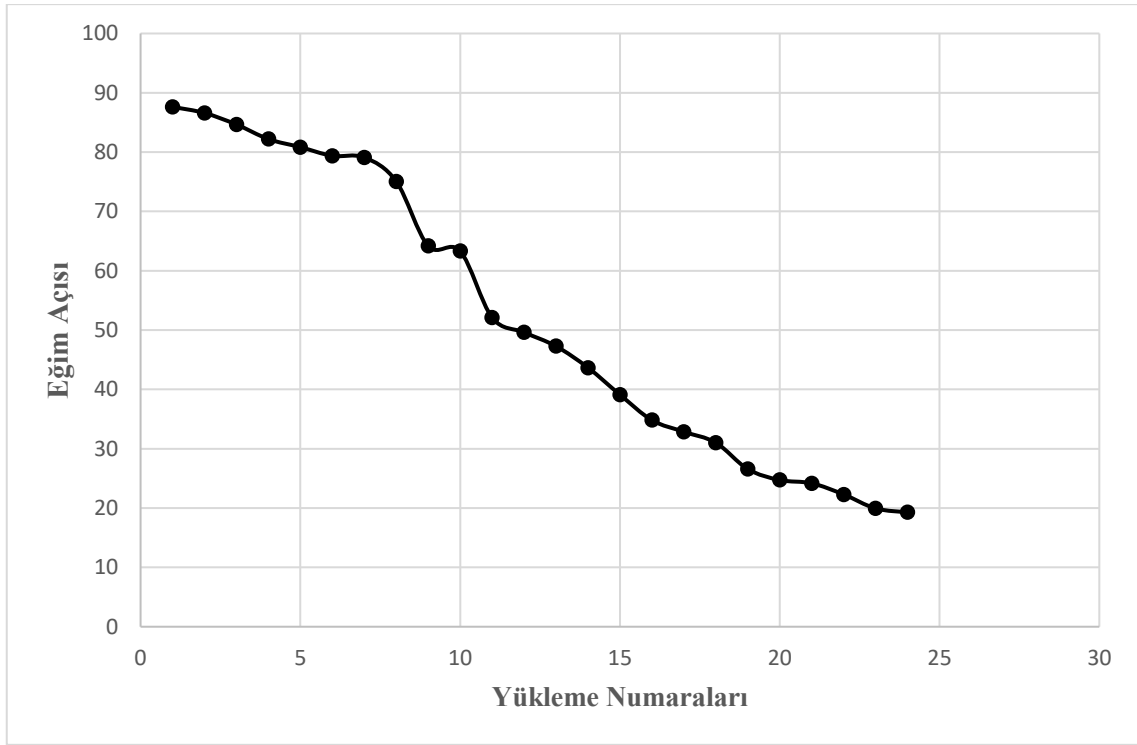
Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.22).



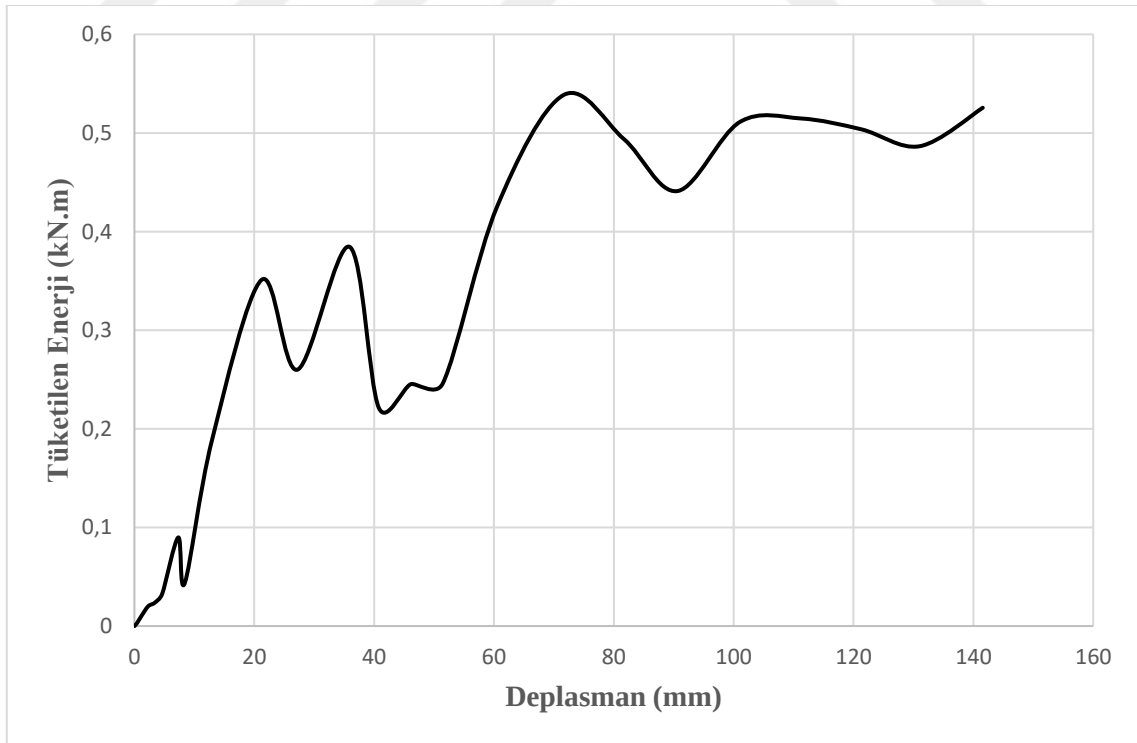
Şekil 4.22. NOR-C30-20 deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemde yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.23'te gösterilmiştir.

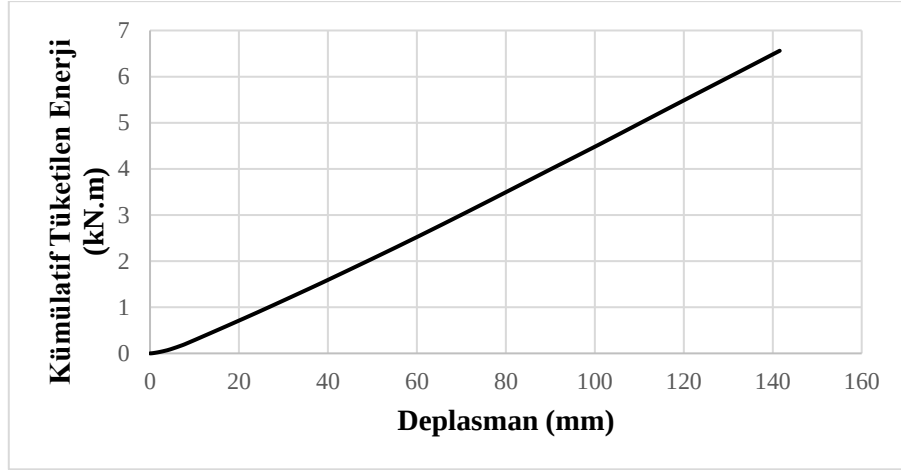
Deney elemanının her bir yüklemdeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.24'tedir. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.25'te verilmiştir.



Şekil 4.23. NOR-C30-20 deney elemanının eğim açısı grafiği



Şekil 4.24. NOR-C30-20 deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.25. NOR-C30-20 deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.3. Deney 3 (NOR-C30-10)

Bu eleman C30 basınç dayanıma sahip, 10 cm etriye aralıklı, normal beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.26'dadır. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.26. NOR-C30-10 elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.4. NOR-C30-10'a ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
7,60	0,32	İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
13,26	1,00	
23,15	3,15	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
25,49	4,10	Yeni eğilme çatlakları oluştu. Daha önce oluşan çatlakların boyları yaklaşık 1-2 cm uzadı.
31,16	6,01	Her iki yükleme noktasının dışında yaklaşık 12 cm uzunluğunda birer yeni çatlak oluştu. Diğer çatlakların boyları yaklaşık 1-2 cm uzadı.
38,44	7,98	Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
42,11	10,14	İki yükleme noktası arasında yeni eğilme çatlakları oluştu. Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
42,86	15,62	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi.</u>
44,18	20,67	İki yükleme noktası arasındaki çatlaklarda dallanmalar meydana geldi. Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
44,39	25,76	Önceki çatlakların boyu uzadı.
44,54	30,44	Çatlakların genişlikleri artmaya başladı. Çatlak genişlikleri yaklaşık 2 mm oldu.
45,64	35,89	Çatlak genişlikleri arttı. Önceki çatlaklarda dallanmalar oluştu.
46,42	40,79	Çatlak genişlikleri arttı.
47,14	45,65	Sol yükleme noktası altında yeni eğilme çatlağı oluştu.
45,51	50,35	Çatlak genişlikleri arttı. İki yükleme noktası arasında yaklaşık 20 cm uzunluğunda yeni çatlak oluştu.
47,58	60,58	Çekme bölgesinde dallanmalar oluştu. Çatlak genişlikleri arttı.
48,27	70,23	Çatlak genişlikleri arttı.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
49,24	80,74	Çatlak genişlikleri arttı.
49,53	90,65	Sol yükleme noktası altında yeni eğilme çatlağı oluştu.
50,50	100,85	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri arttı.</u>
50,12	110,96	Çatlak genişlikleri arttı. Sağ yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi.
50,16	120,56	Basınç çatlakları ve çatlak genişlikleri arttı.
50,27	130,78	Çatlak genişlikleri arttı. Sol yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi.
50,06	140,95	Çatlak genişlikleri arttı.
50,11	150,67	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 23 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.27).



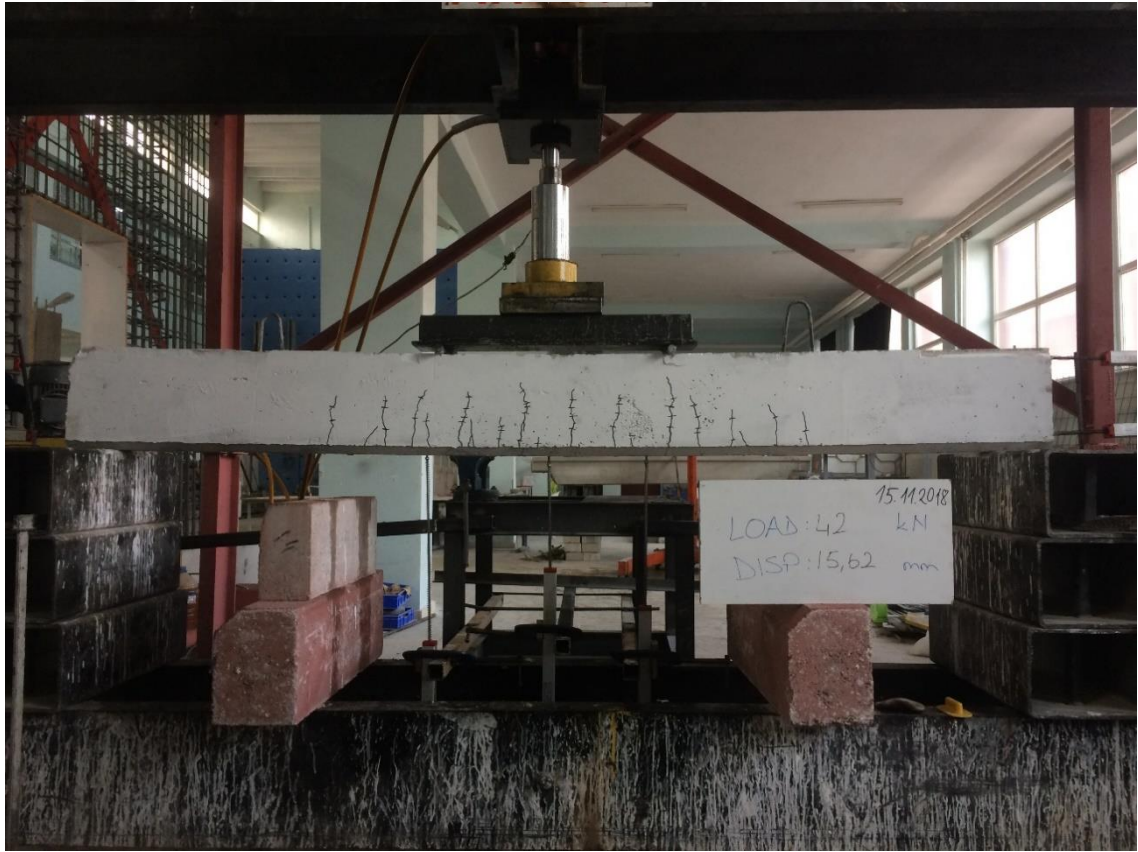
Şekil 4.27. NOR-C30-10 elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 42 kN yük seviyesinde ve 15,62 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.28’de görülmektedir.

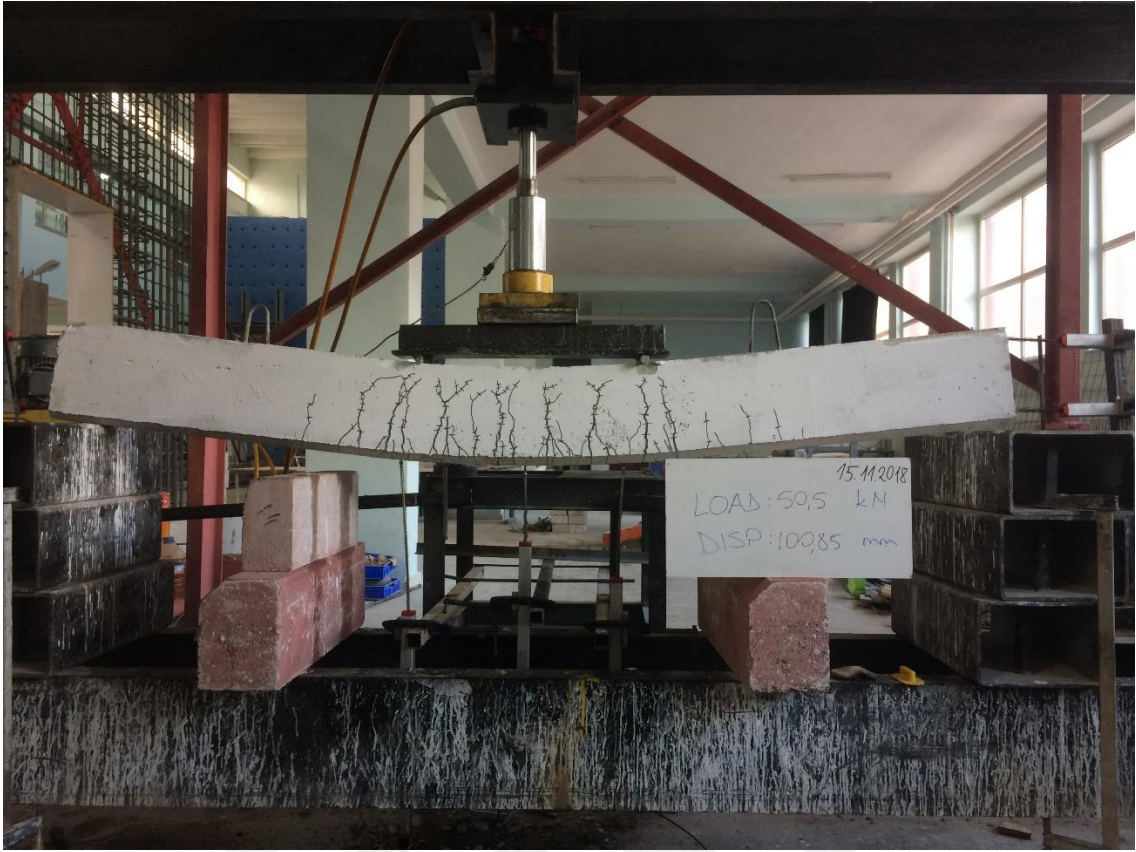
Deney elemanı maksimum yüke 50,5 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 100,85 mm olup basınç çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.29).

Elemana yük verme işlemi 150 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Bu noktada belirgin basınç ve çekme çatlakları oluşmuş fakat kesme çatlakları gözlemlenmemiştir (Şekil 4.30). Basınç bölgesi ezildiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.31).

NOR-C60-10 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.28. NOR-C30-10 deney elemanının akma anındaki durumu



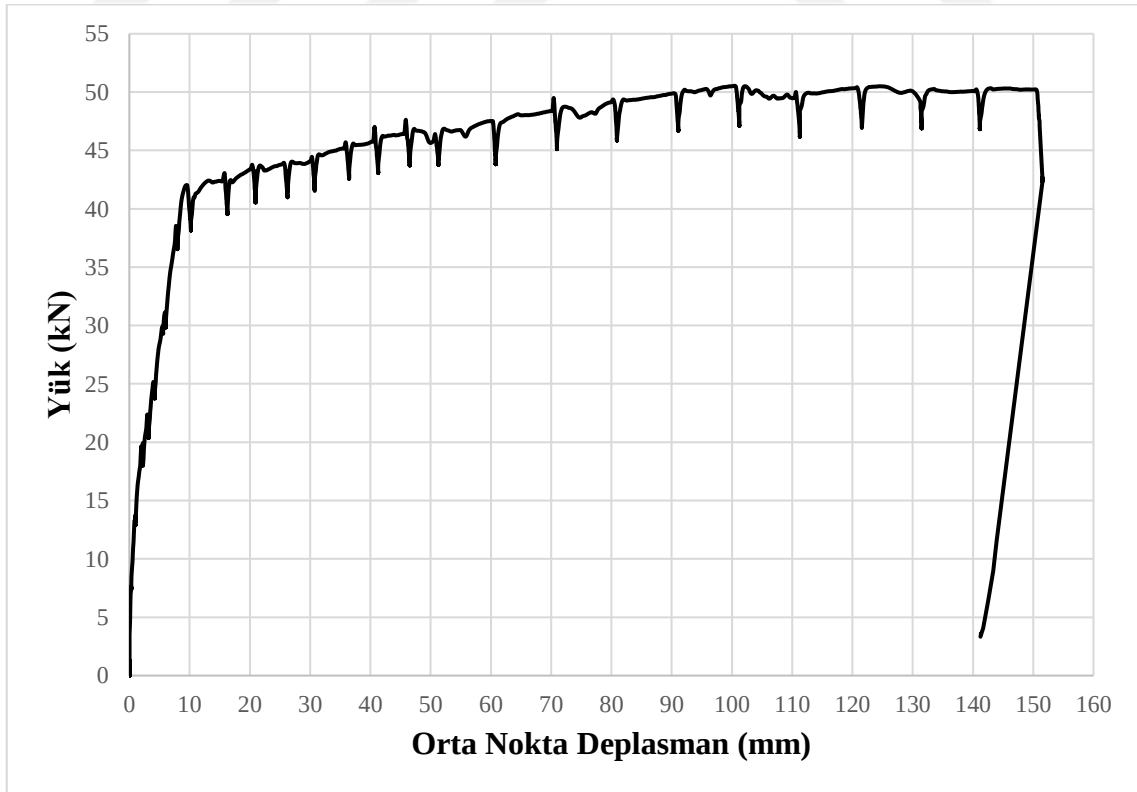
Şekil 4.29. NOR-C30-10 deney elemanının maksimum yük anındaki durumu



Şekil 4.30. NOR-C30-10 deney elemanının deney sonundaki durumu

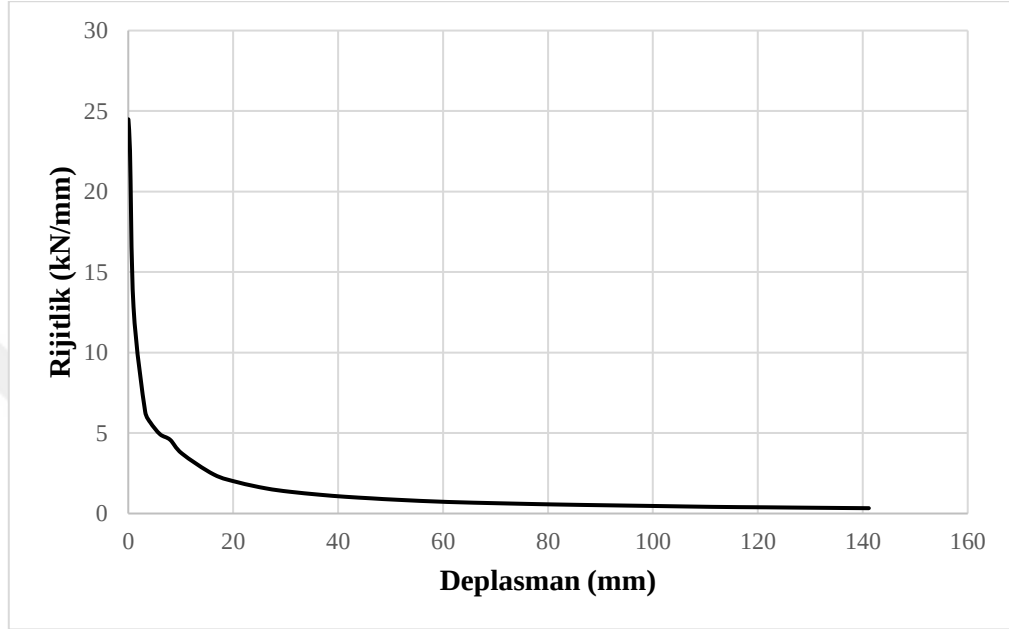


Şekil 4.31. NOR-C30-10 deney elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



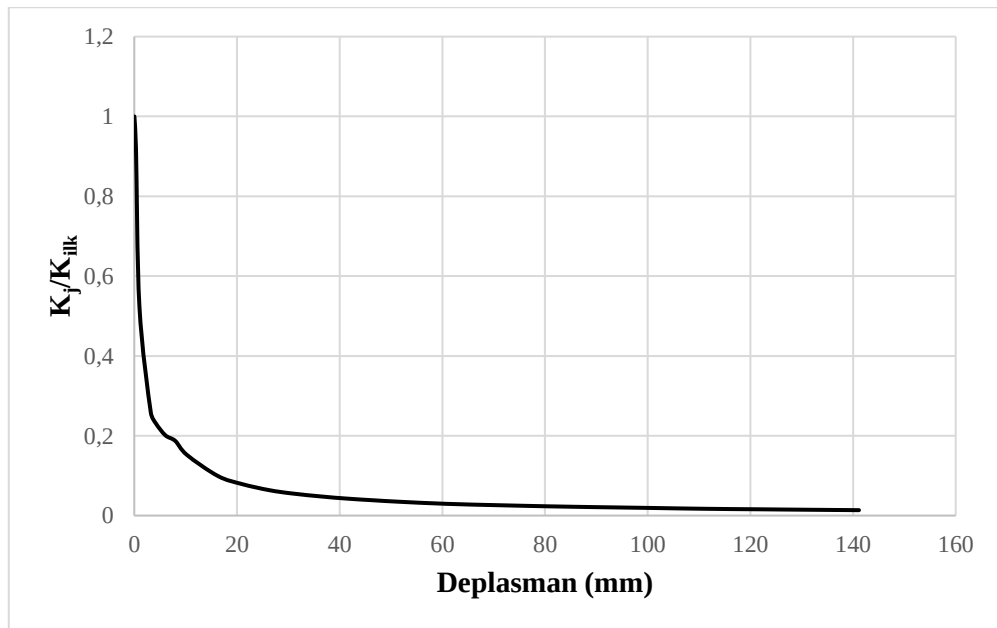
Şekil 4.32. NOR-C30-10 deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.33'te gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



Şekil 4.33. NOR-C30-10 deney elemanının rijitlik grafiği

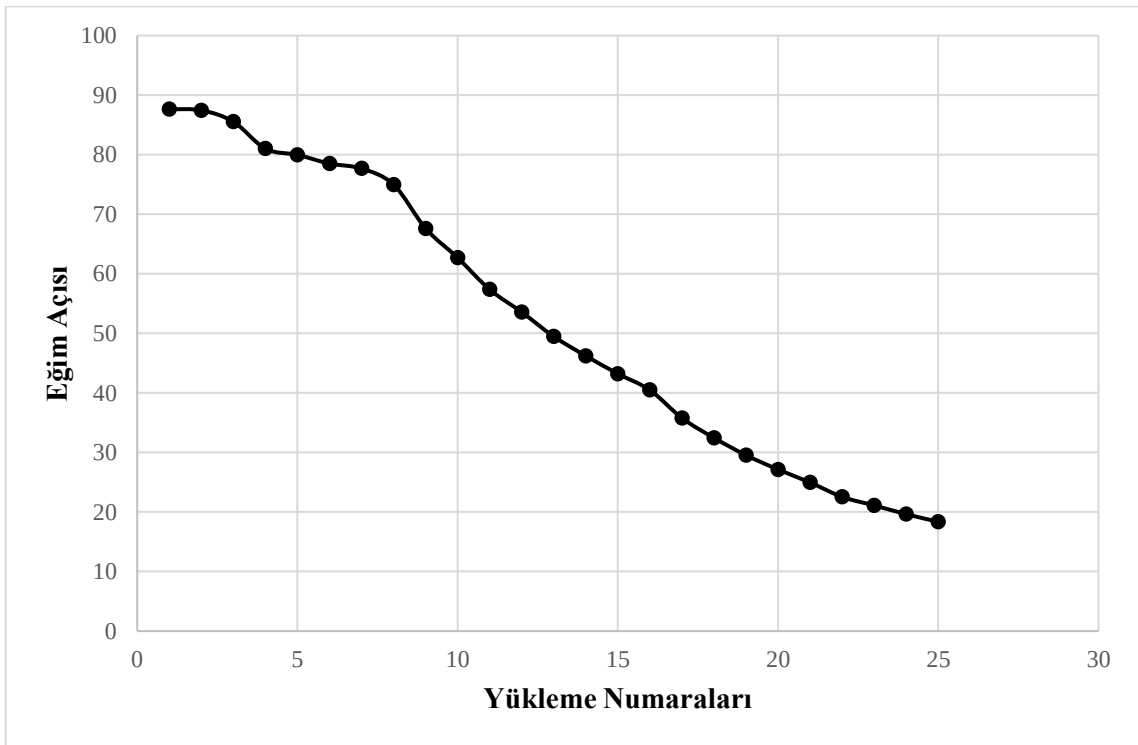
Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.34).



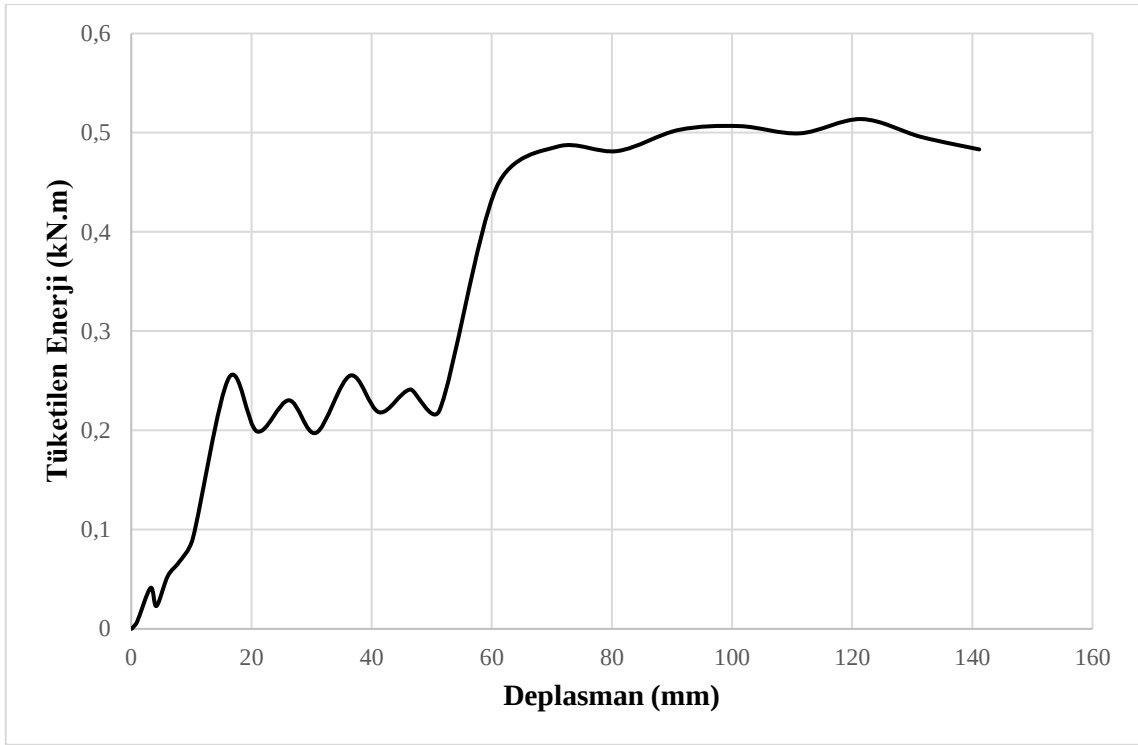
Şekil 4.34. NOR-C30-10 deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemde yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.35'te gösterilmiştir.

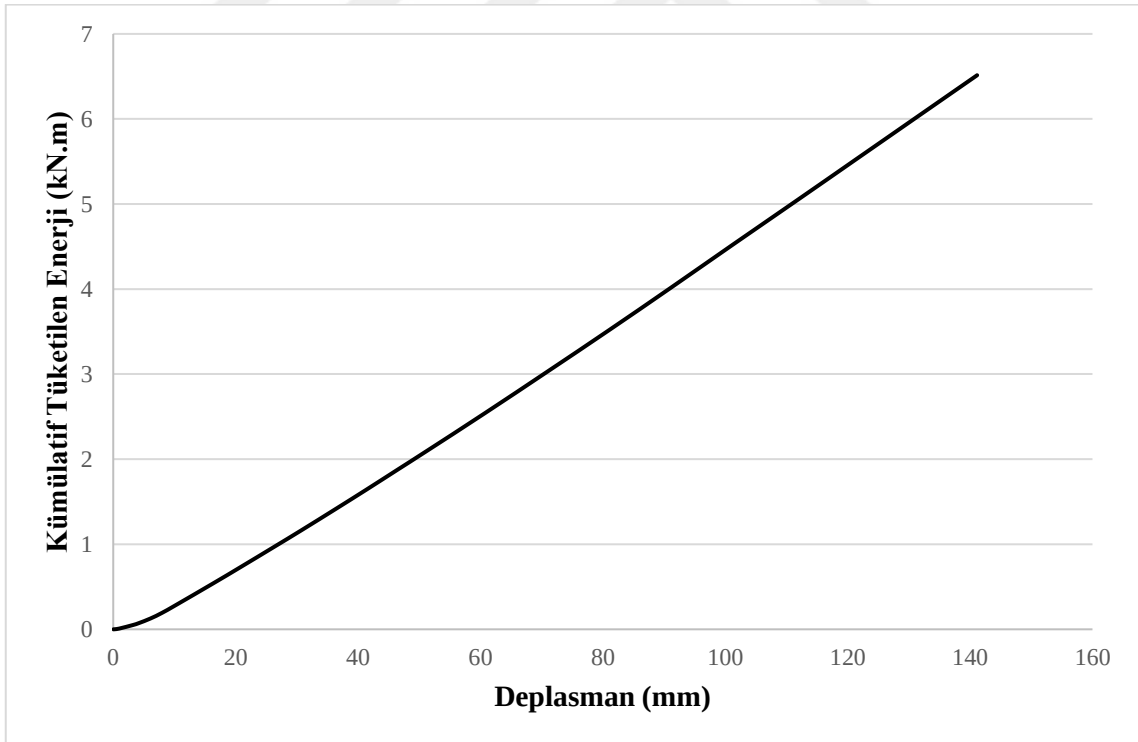
Deney elemanının her bir yüklemdeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.36'dadır. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.37'de verilmiştir.



Şekil 4.35. NOR-C30-10 deney elemanının eğim açısı grafiği



Şekil 4.36. NOR-C30-10 deney elemanın tüketicen enerji grafiğı



Şekil 4.37. NOR-C30-10 deney elemanın kümülatif tüketicen enerji grafiğı

4.1.4. Deney 4 (NOR-C30-5)

Bu eleman C30 basınç dayanıma sahip, 5 cm etriye aralıklı, normal beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.38'dedir. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.38. NOR-C30-5 elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.5. NOR-C30-5'e ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
5,07	0,13	İlk üç yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
10,10	0,49	
15,12	0,53	
22,08	1,53	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>

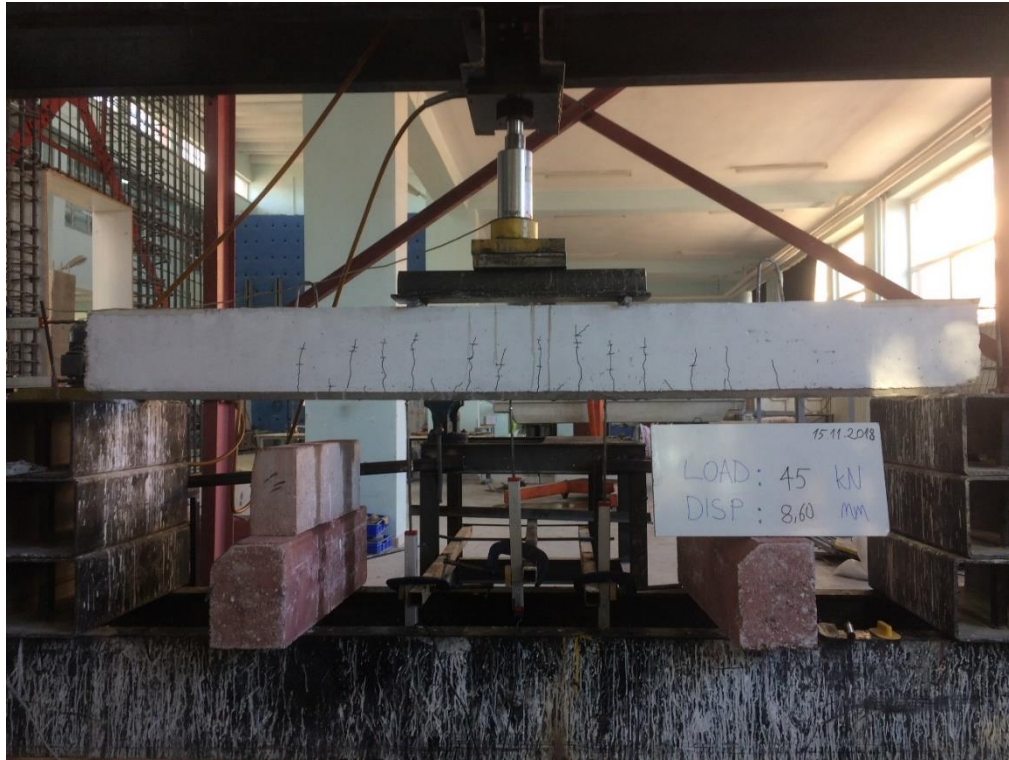
<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
27,45	2,80	İki yükleme noktasının arasında yaklaşık 10'ar cm yeni çatlaklar meydana geldi. Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
30,06	3,53	İki yükleme noktasının dışında yeni çatlaklar oluştu. Önceki çatlak boyları yaklaşık 2 cm uzadı.
40,26	5,20	Önceki çatlakların boyları yaklaşık 2-3 cm uzadı. Sol yükleme noktasının solunda iki yeni çatlak oluştu.
45,14	8,60	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi. Çatlaklarda dallanmalar başladı.</u>
46,03	15,01	Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı. Çatlaklarda dallanmalar oluştu.
47,05	20,09	Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
47,34	25,04	Çatlak boyları genişlemeye başladı.
48,15	30,24	İki yükleme noktası arasındaki çatlakların boyları uzadı.
49,02	35,18	Çatlak genişlikleri arttı.
50,11	40,22	Çatlak genişlikleri arttı.
50,78	45,15	Çatlak genişlikleri arttı.
51,36	50,49	Çatlak genişlikleri arttı.
52,36	60,34	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri artmaya devam etti. Her iki yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi.</u>
50,64	70,08	Çatlak genişlikleri 2 mm oldu.
51,12	80,11	İki yükleme noktası arasında basınç çatlağı oluştu
46,23	90,19	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 22 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.39).



Şekil 4.39. NOR-C30-5 elemanında oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 45 kN yük seviyesinde ve 8,60 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.40'ta görülmektedir.



Şekil 4.40. NOR-C30-5 deney elemanının akma anındaki durumu

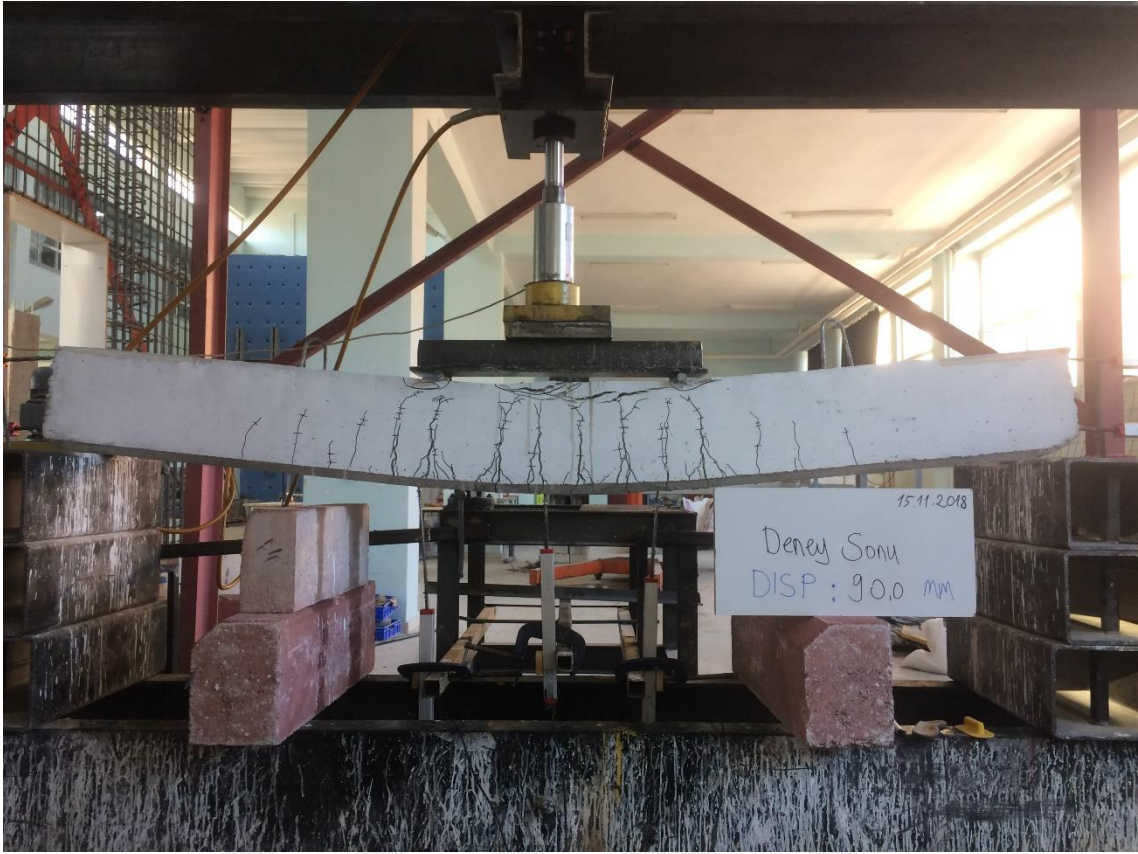
Deney elemanı maksimum yüke yaklaşık 52 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 60,34 mm olup kesme çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.41).

Elemana yük verme işlemi 90 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Bu noktada belirgin basınç çatlağı oluşmuştur (Şekil 4.42). Basınç çatlağı ciddi miktarda arttığı ve eleman yük taşıyamaz hale geldiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.43).

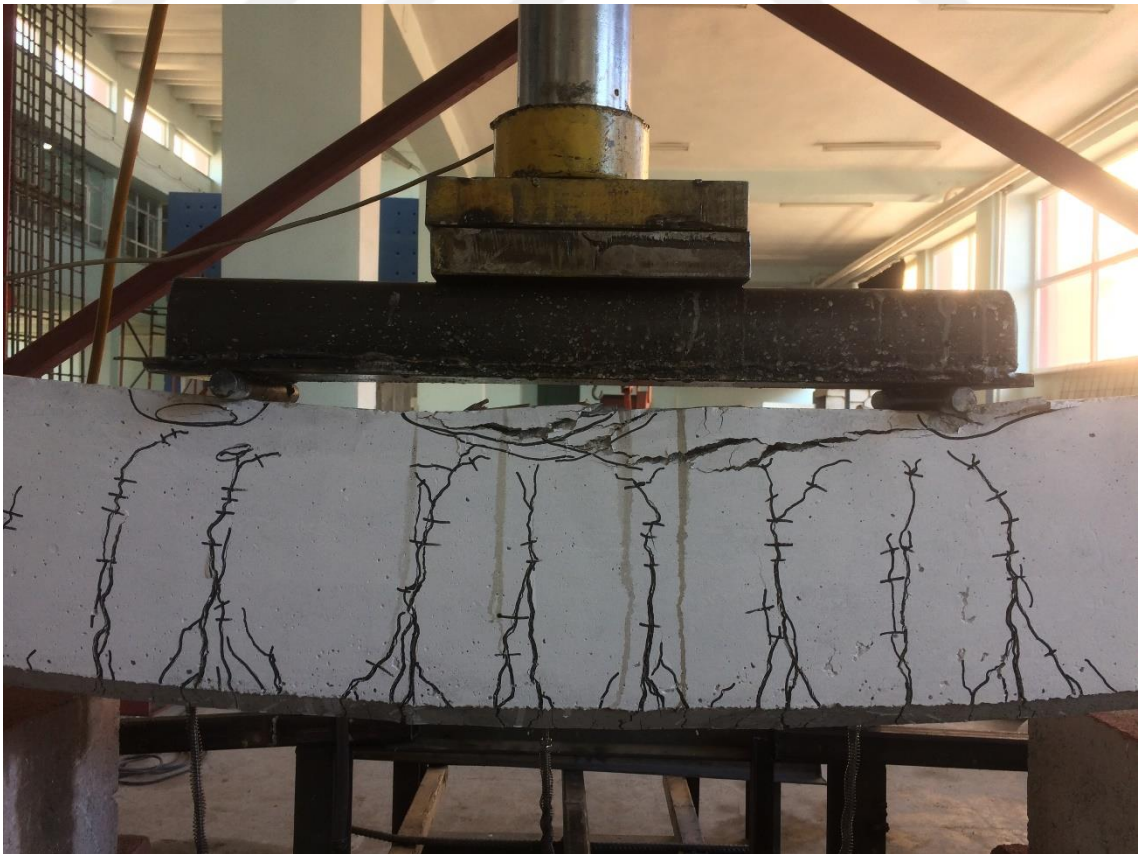
NOR-C30-5 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.44'te verilmiştir.



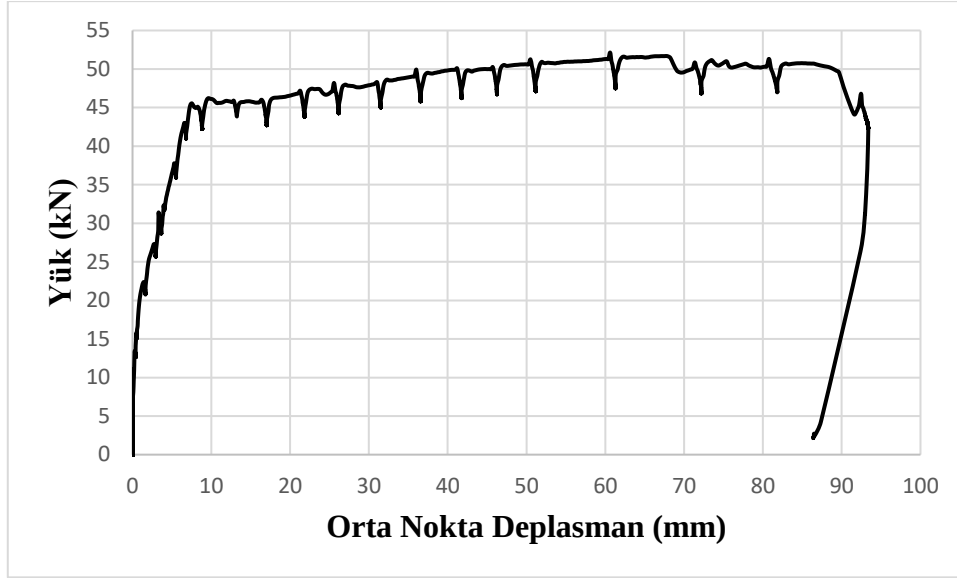
Şekil 4.41. NOR-C30-5 deney elemanının maksimum yük anındaki durumu



Şekil 4.42. NOR-C30-5 deney elemanın deney sonundaki durumu

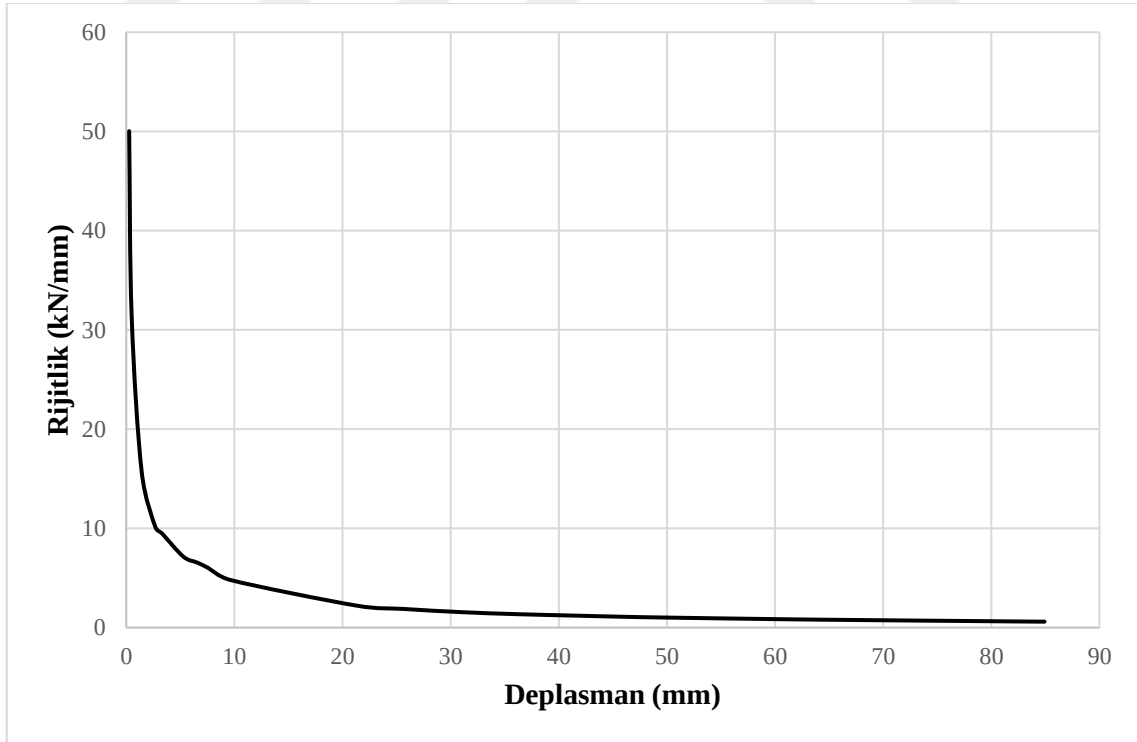


Şekil 4.43. NOR-C30-5 deney elemanın deney sonundaki çatlak dağılımı



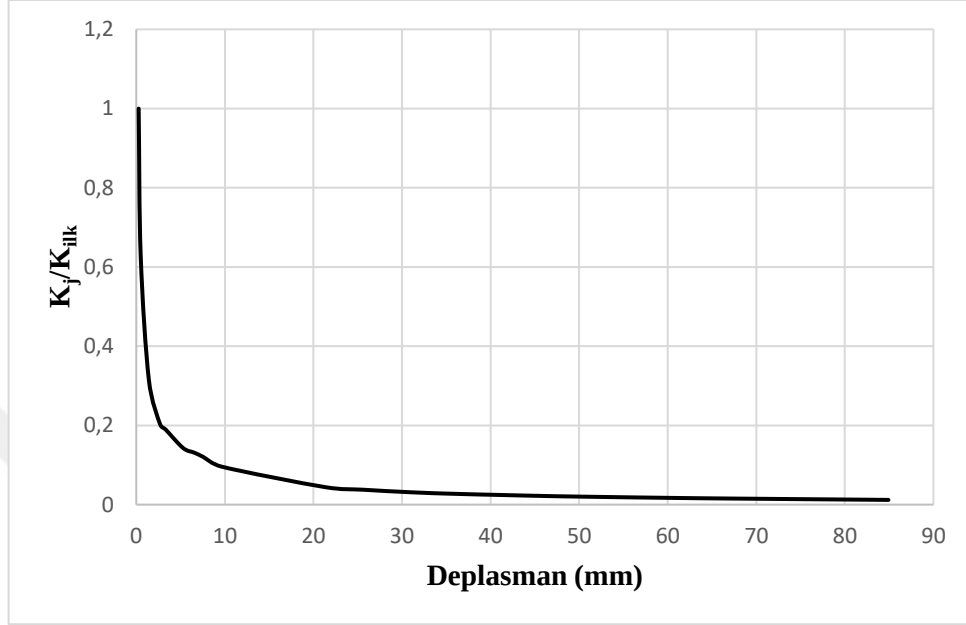
Şekil 4.44. NOR-C30-5 deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.45'te gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



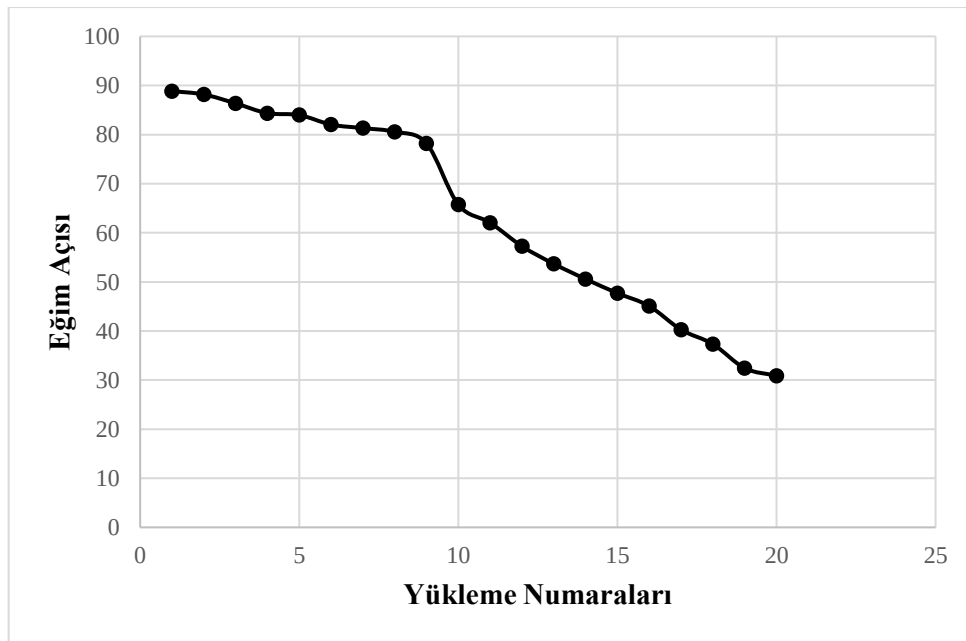
Şekil 4.45. NOR-C30-5 deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.46).



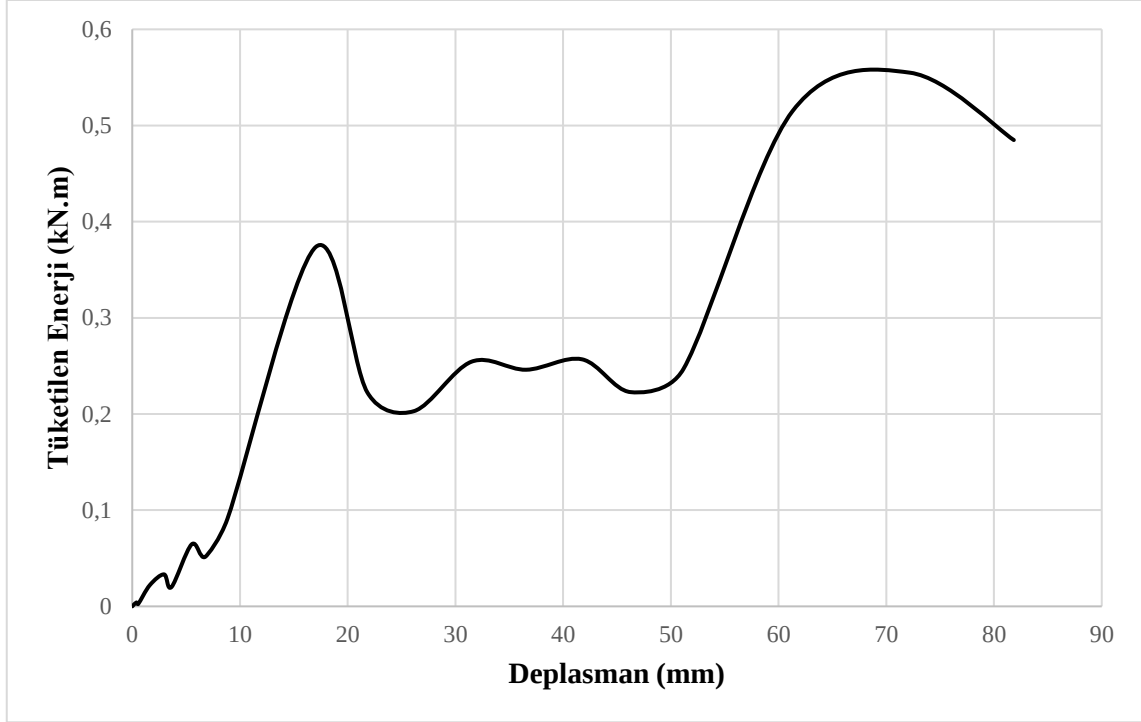
Şekil 4.46. NOR-C30-5 deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemde yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.47'de gösterilmiştir.

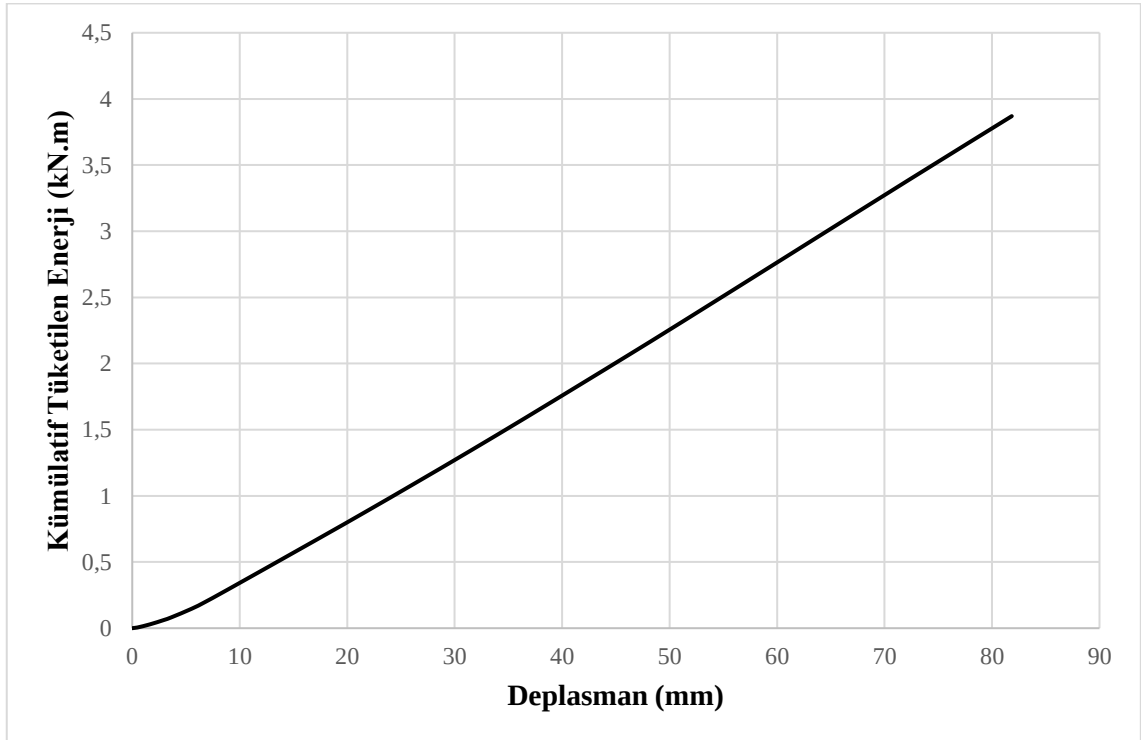


Şekil 4.47. NOR-C30-5 deney elemanının eğim açısı grafiği

Deney elemanının her bir yüklemedeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.48'dedir. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.49'da verilmiştir.



Şekil 4.48. NOR-C30-5 deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.49. NOR-C30-5 deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.5. Deney 5 (KYB-C30-Etsz)

Bu eleman C30 basınç dayanıma sahip, etriyesiz, KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.50'dedir. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.50. KYB-C30-Etsz elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.6. KYB-C30-Etsz'e ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
9,48	0,60	İlk yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
17,68	1,67	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
22,15	3,15	Yeni eğilme çatlakları meydana geldi. İlk çatlakların boyları 6-7 cm uzadı.
27,05	4,51	Yeni eğilme çatlakları meydana geldi. İlk çatlakların boyları 3-4 cm uzadı.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
32,42	5,91	İki yükleme noktasının yaklaşık 30'ar cm dışında yeni çatlaklar meydana geldi. Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
35,22	6,91	Sol yükleme noktasının 35 cm solunda yeni çatlak oluştu. Önceki çatlak boyları yaklaşık 2 cm uzadı.
40,19	8,36	Önceki çatlakların boyları yaklaşık 2-3 cm uzadı.
42,16	11,69	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi. Çatlaklarda dallanmalar başladı.</u>
42,23	15,02	Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
43,25	20,13	Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
44,16	25,32	Çatlak boyları genişlemeye başladı.
45,46	30,14	Çatlak genişlikleri arttı. Çatlaklarda dallanmalar meydana geldi.
44,76	35,23	Her iki yükleme noktası altındaki çatlaklar, kiriş en üst noktasına ulaştı. Çatlak genişlikleri 2 mm oldu.
45,56	40,69	Sol yükleme noktası altındaki çatlağın genişliği arttı.
45,68	45,36	Çatlak genişlikleri arttı.
46,32	50,77	Çatlak genişlikleri arttı.
47,49	60,88	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri artmaya devam etti. Sol yükleme noktası altındaki 45 derecelik kesme çatlağının genişliği arttı. Sol yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi.</u>
45,82	70,13	Sağ yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi. Çatlak genişlikleri 5 mm oldu.
46,23	80,15	Kesme çatlağının genişliği önemli ölçüde arttı.
46,39	85,19	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 17 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.51).



Şekil 4.51. KYB-C30-Etsz elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 42 kN yük seviyesinde ve 11,69 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.52’de görülmektedir.

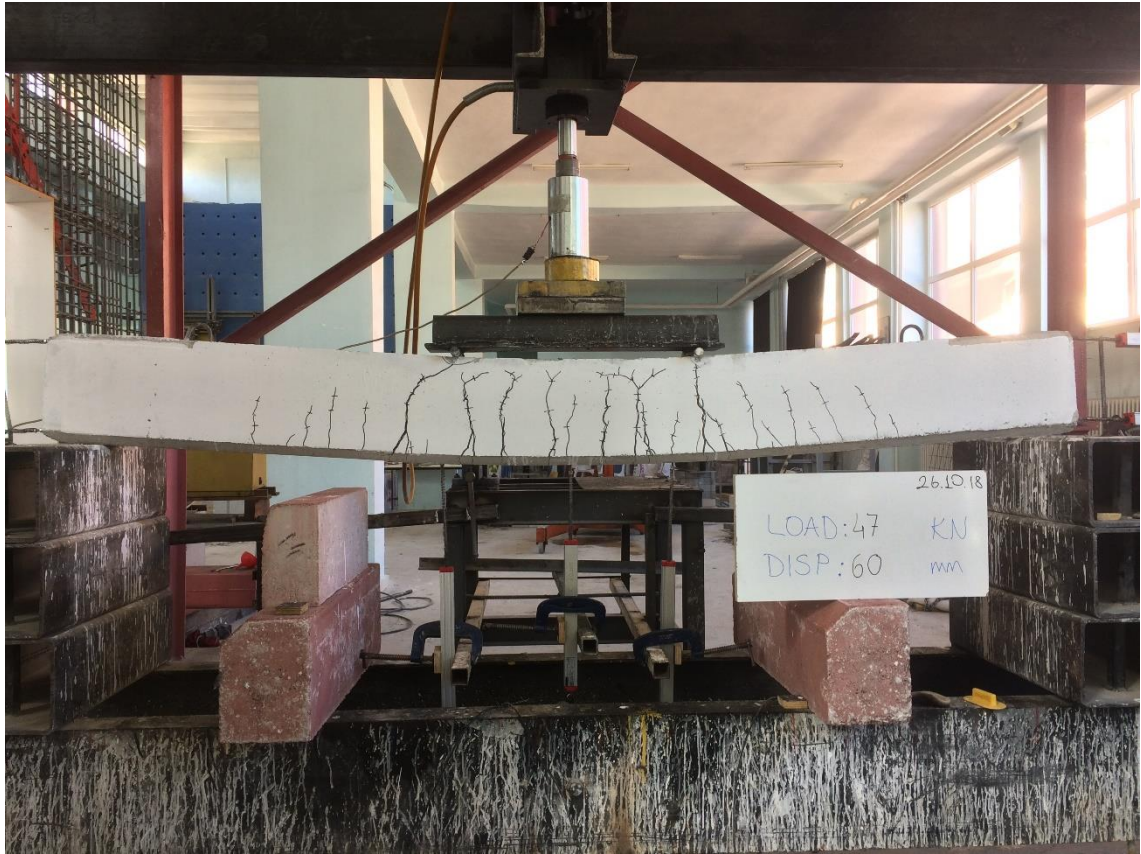


Şekil 4.52. KYB-C30-Etsz deney elemanın akma anındaki durumu

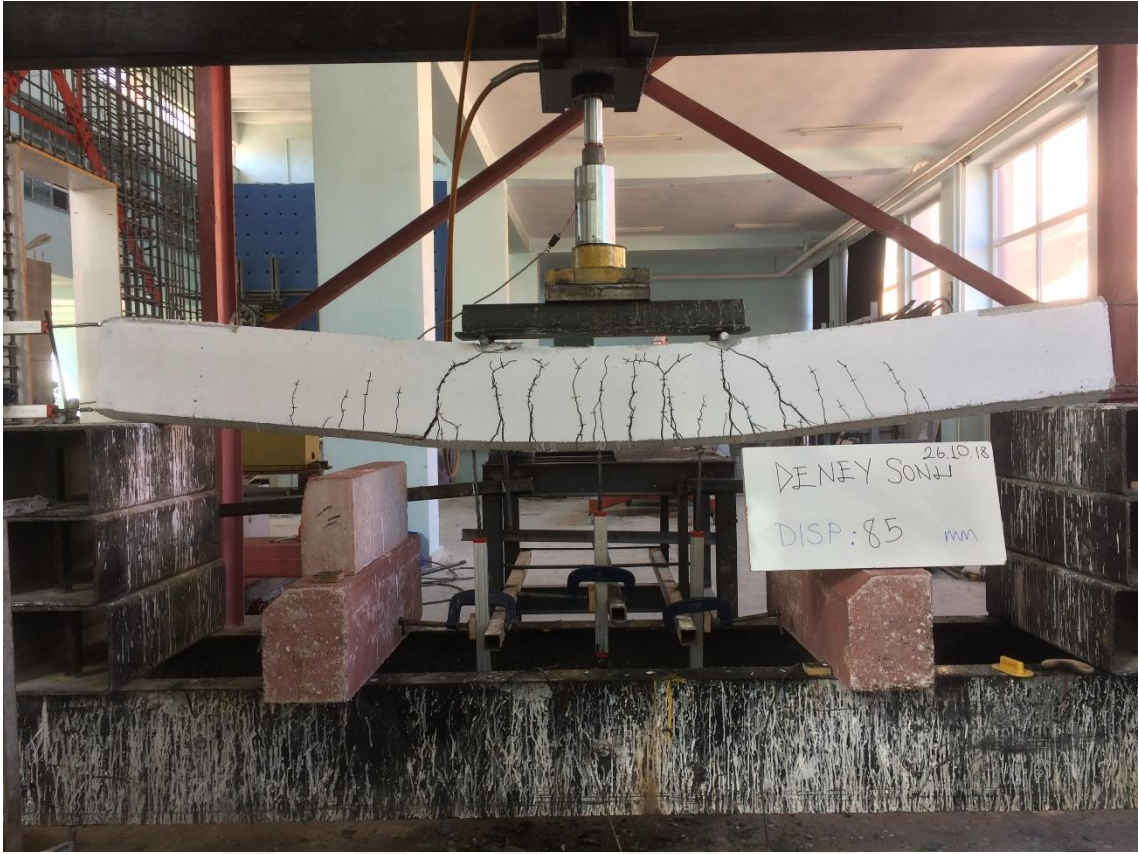
Deney elemanı maksimum yüke yaklaşık 47 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 60,88 mm olup kesme çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.53).

Elemana yük verme işlemi 80 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur (3.54). Bu noktada belirgin kesme çatlağı oluşmuştur. Kesme çatlağının genişliği ciddi miktarda arttığı ve eleman yük taşıyamaz hale geldiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.55).

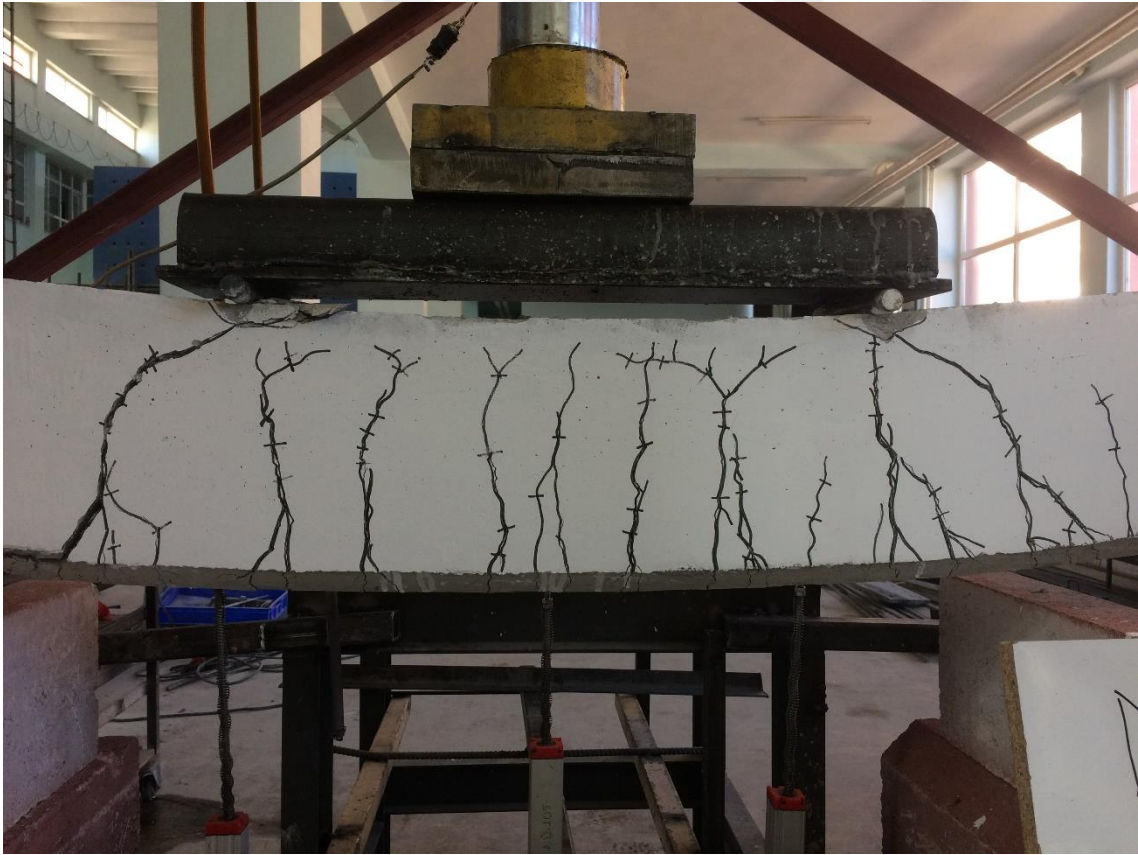
KYB-C30-Etsz deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.56’te verilmiştir.



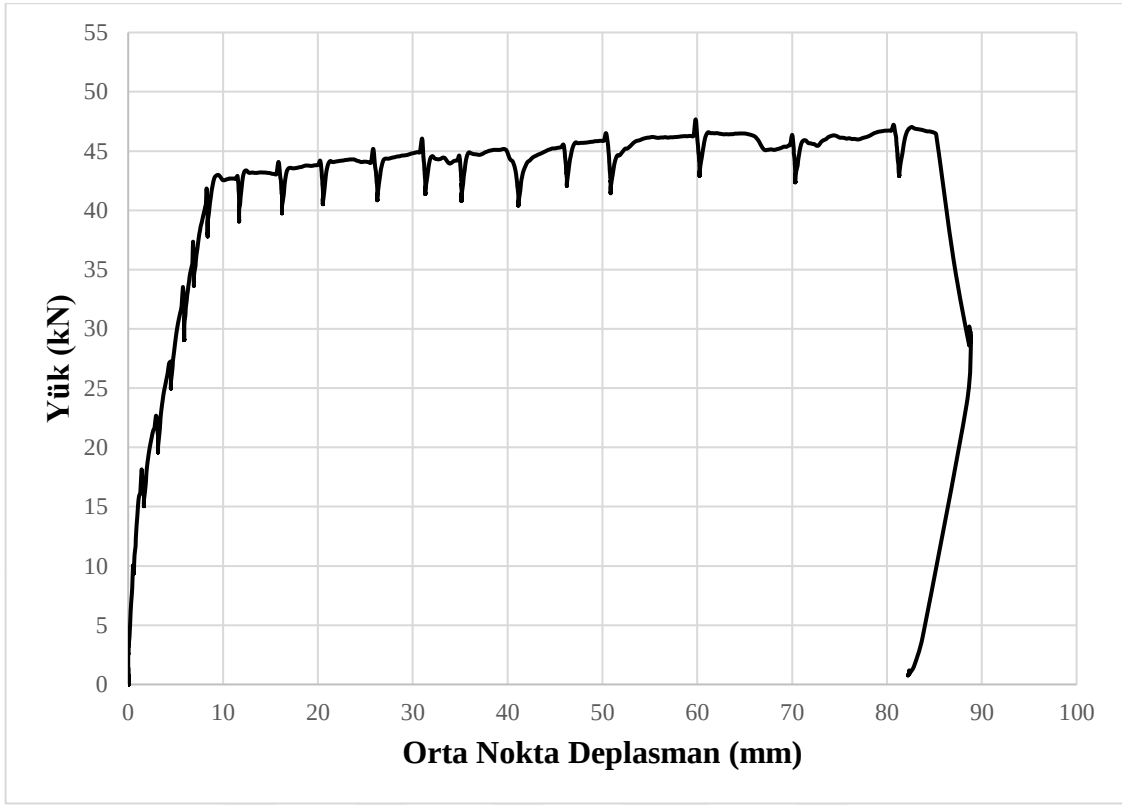
Şekil 4.53. KYB-C30-Etsz deney elemanının maksimum yük anındaki durumu



Şekil 4.54. KYB-C30-Etsz deney elemanının deney sonundaki durumu

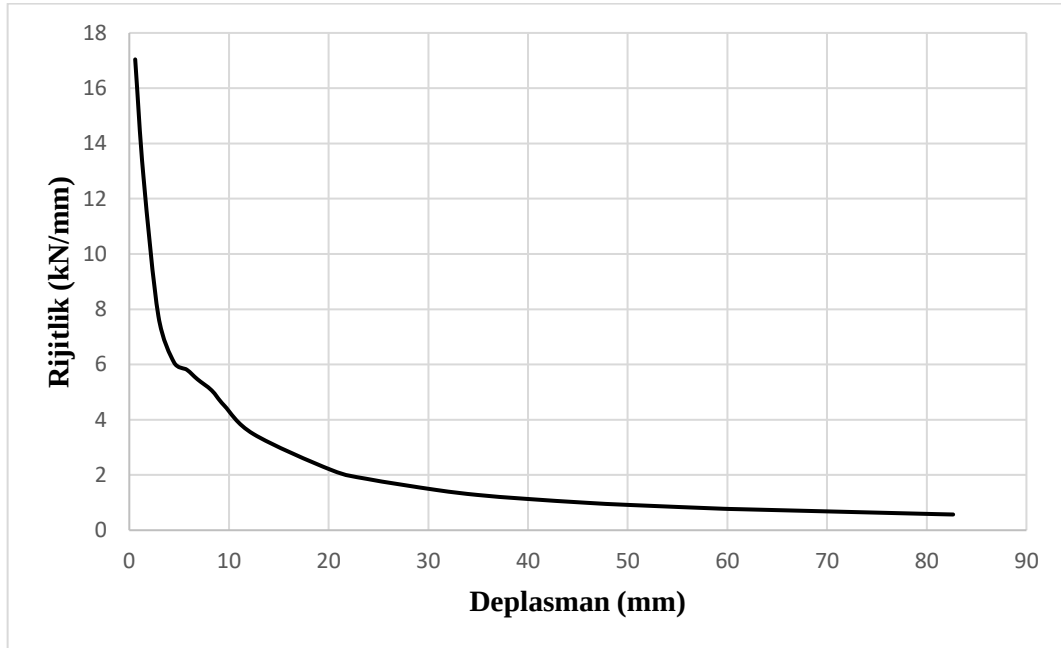


Şekil 4.55. KYB-C30-Etsz deney elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



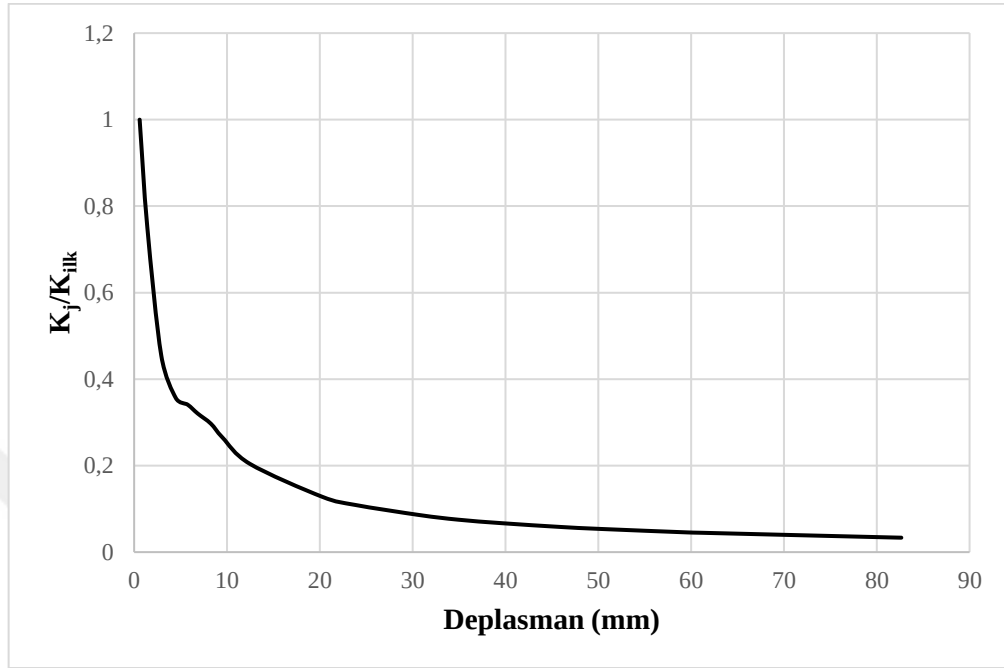
Şekil 4.56. KYB-C30-Etsz deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.57’de gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



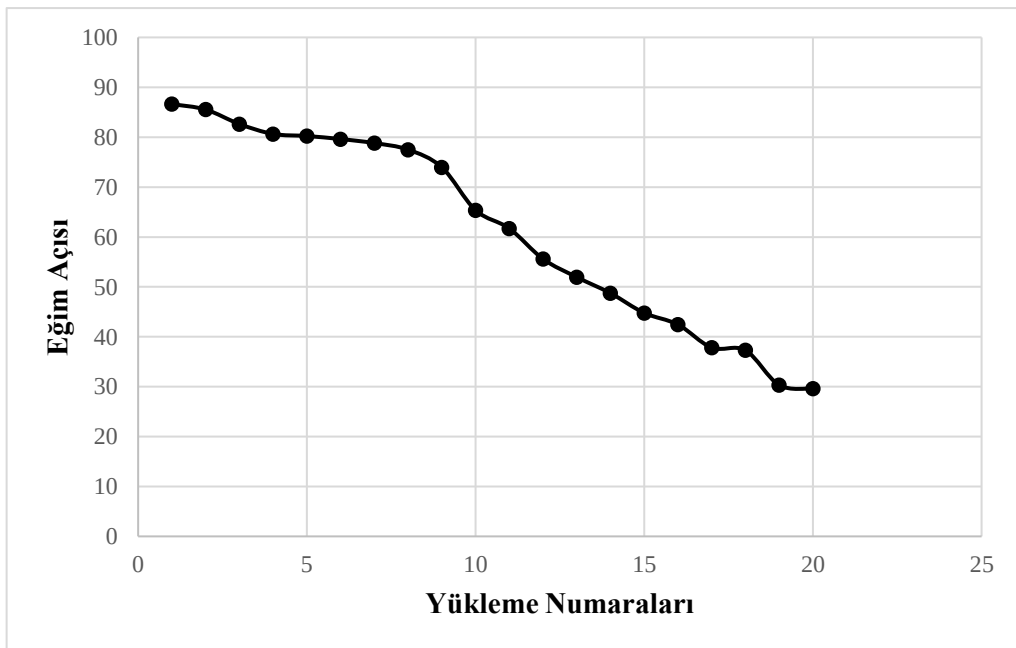
Şekil 4.57. KYB-C30-Etsz deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.58).



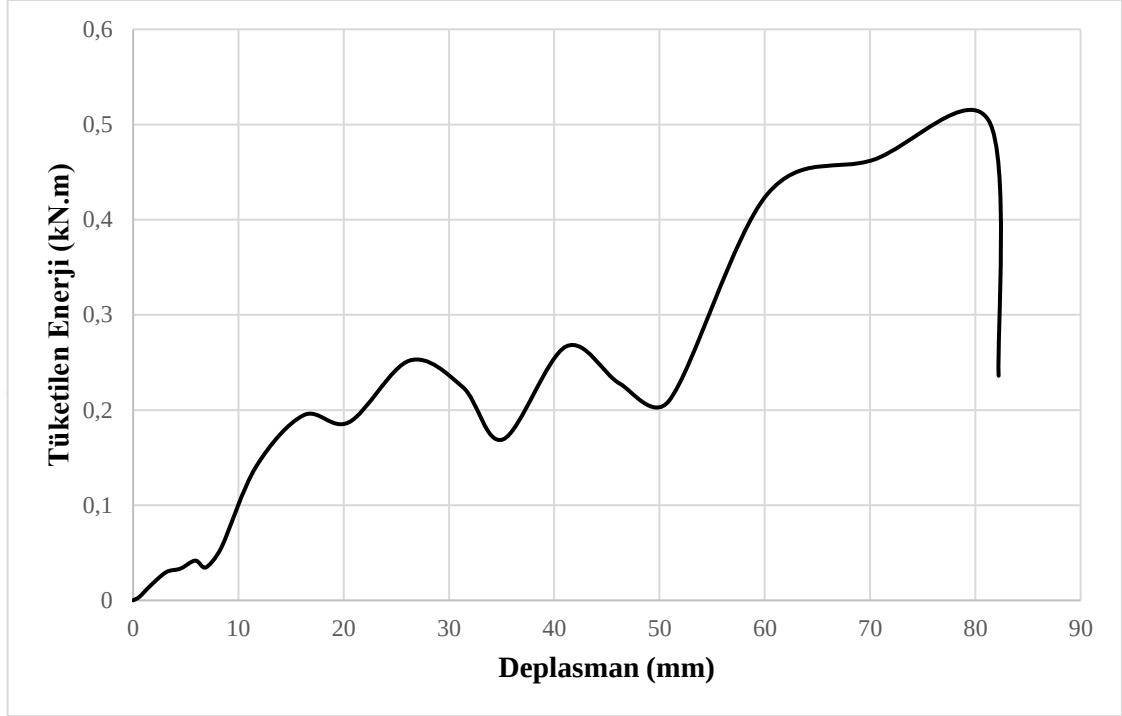
Şekil 4.58. KYB-C30-Etsz deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemde yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.59'da gösterilmiştir.

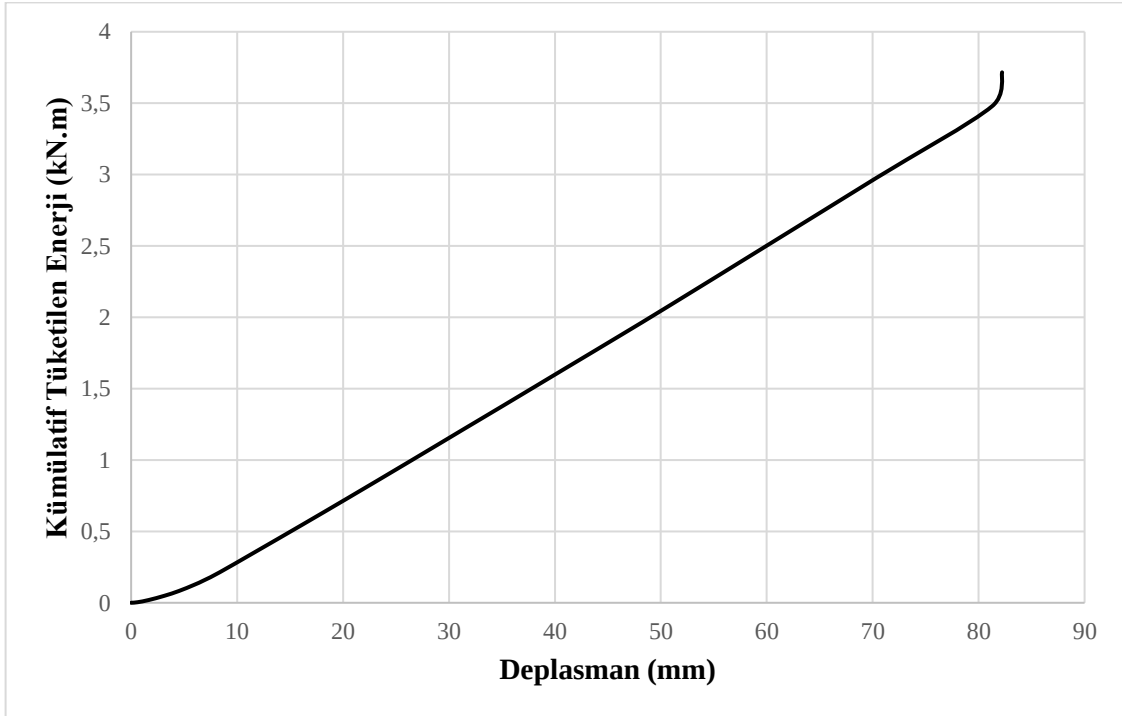


Şekil 4.59. KYB-C30-Etsz deney elemanının eğim açısı grafiği

Deney elemanının her bir yüklemedeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.60'tadır. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.61'de verilmiştir.



Şekil 4.60. KYB-C30-Etsz deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.61. KYB-C30-Etsz deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.6. Deney 6 (KYB-C30-20)

Bu eleman C30 basınç dayanıma sahip, 20 cm etriye aralıklı, KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.62’dedir. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.7’de verilmiştir.



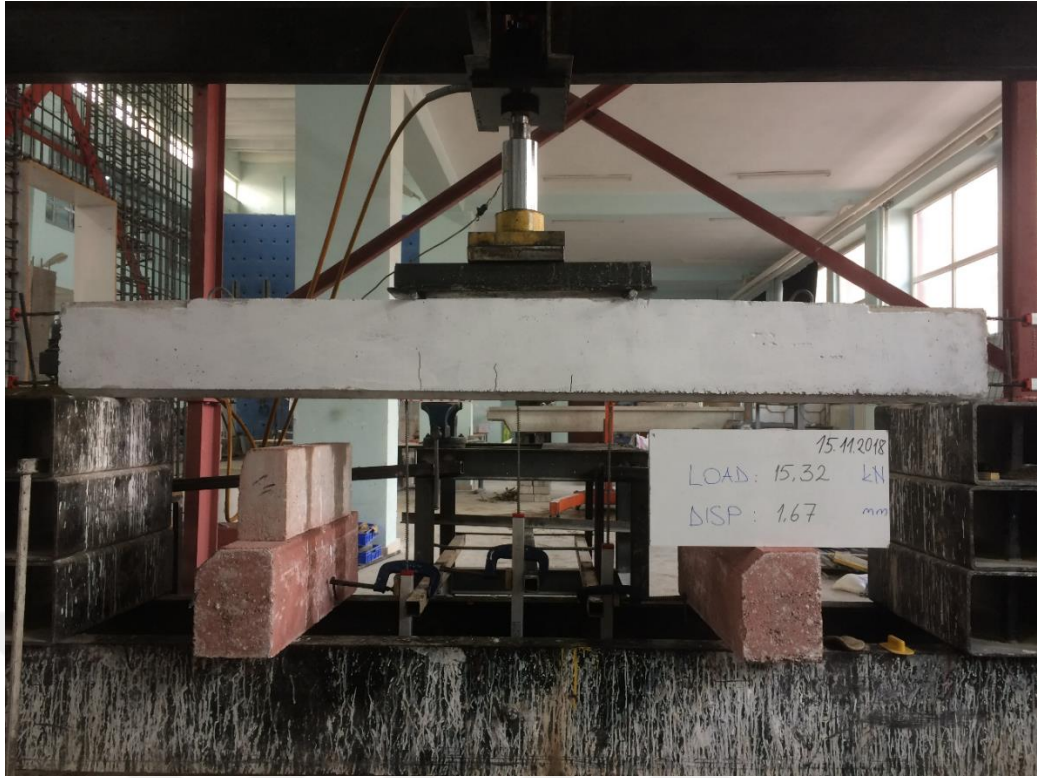
Şekil 4.62. KYB-C30-20 elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.7. KYB-C30-20’ye ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
5,69	0,17	İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
10,17	0,61	
15,52	1,85	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
21,76	3,77	Yeni eğilme çatlakları oluştu. Daha önce oluşan çatlakların boyları yaklaşık 2-3 cm uzadı.

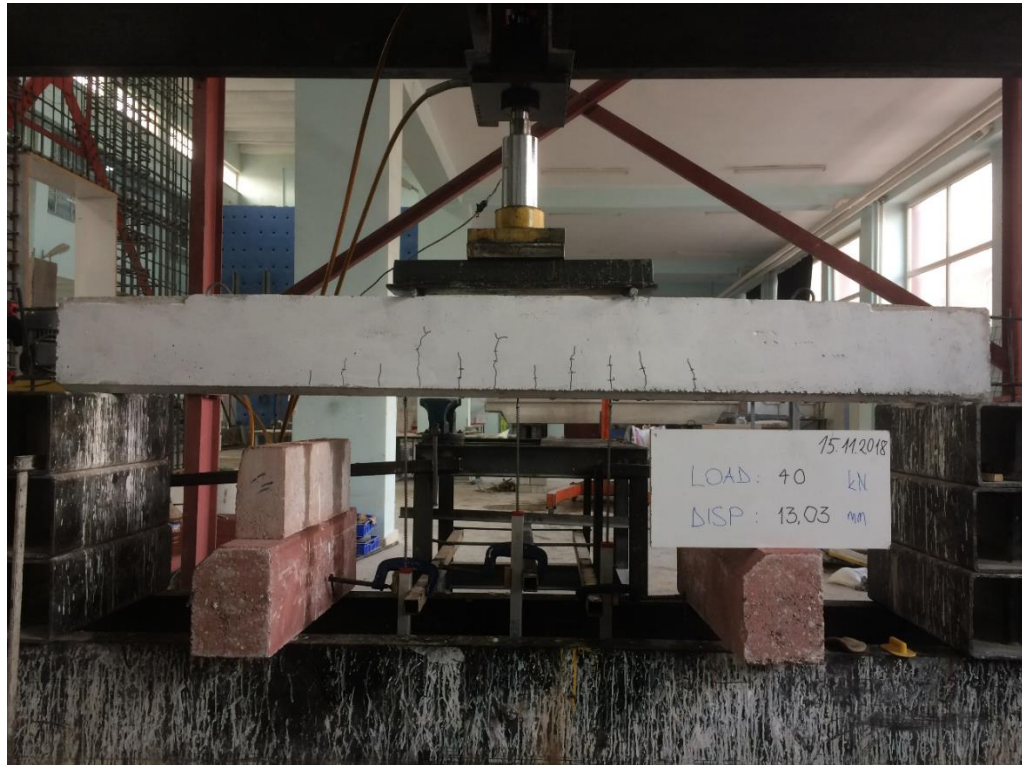
<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
25,83	5,22	Yüklemeye noktaları dışında yeni eğilme çatlakları oluştu. Önceki çatlakların boyları 1-2 cm uzadı.
31,85	6,75	Önceki çatlakların boyları 1-2 cm uzadı. Çatlaklarda dallanmalar başladı.
35,22	8,26	Önceki çatlakların boyları 1-2 cm uzadı.
38,32	9,36	Dallanan çatlakların boyları uzadı.
40,02	13,03	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi.</u>
40,07	23,04	Çatlak genişlikleri arttı.
40,59	30,36	Çatlak genişlikleri arttı.
42,78	35,08	Sol yükleme noktası altındaki çatlak boyu 4-5 cm uzadı.
42,49	40,13	Çatlaklar yatay olarak uzamaya başladı.
42,75	45,23	Çatlak genişlikleri arttı.
42,93	51,27	Çatlak genişlikleri 1 cm oldu.
43,77	60,59	Çatlak genişlikleri arttı.
45,50	72,02	Çatlak genişlikleri arttı. Sol yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi.
46,59	80,89	Çatlak genişlikleri arttı.
46,73	91,94	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri arttı.</u>
46,14	99,32	Çatlak genişlikleri 2 cm oldu.
46,15	110,78	İki yükleme noktası arasında basınç çatlağı oluştu.
47,60	118,53	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 15 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.63).



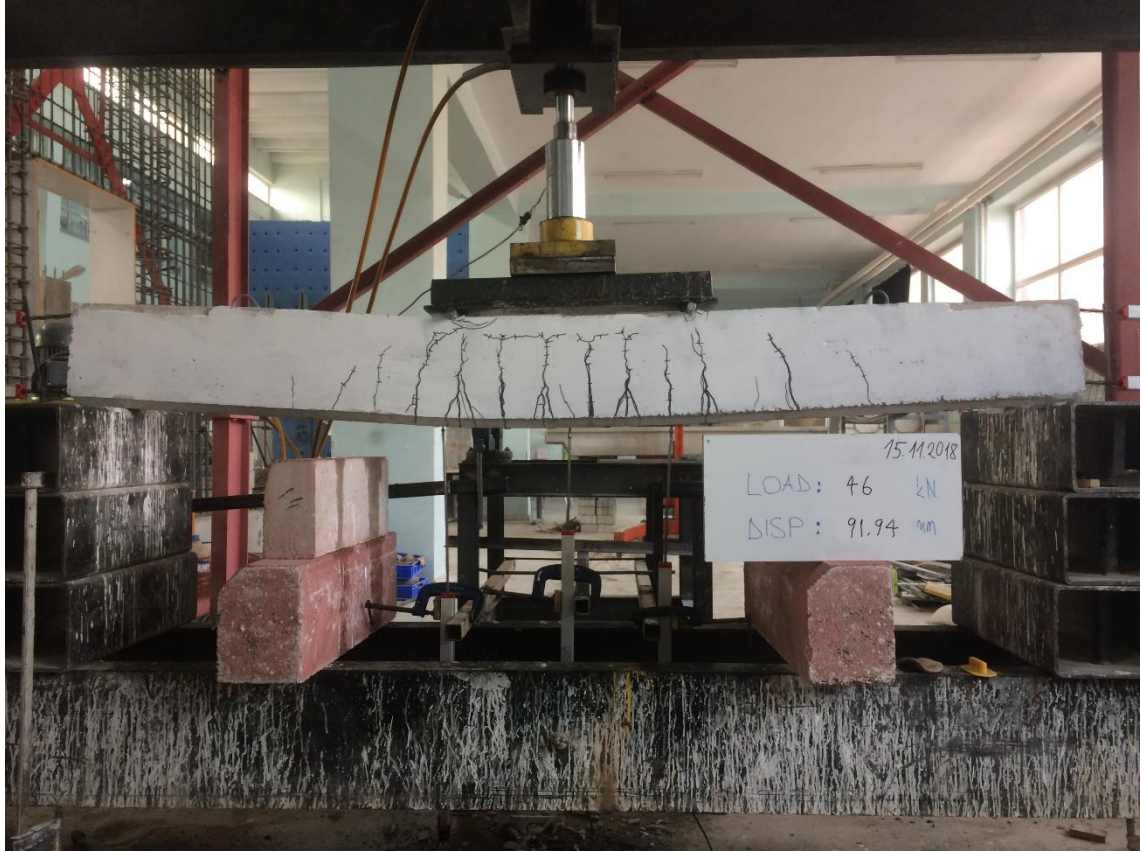
Şekil 4.63. KYB-C30-20 elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 40 kN yük seviyesinde ve 13,03 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.64'te görülmektedir.



Şekil 4.64. KYB-C30-20 deney elemanının akma anındaki durumu

Deney elemanı maksimum yüke 46 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 91,94 mm olup basınç çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.65).



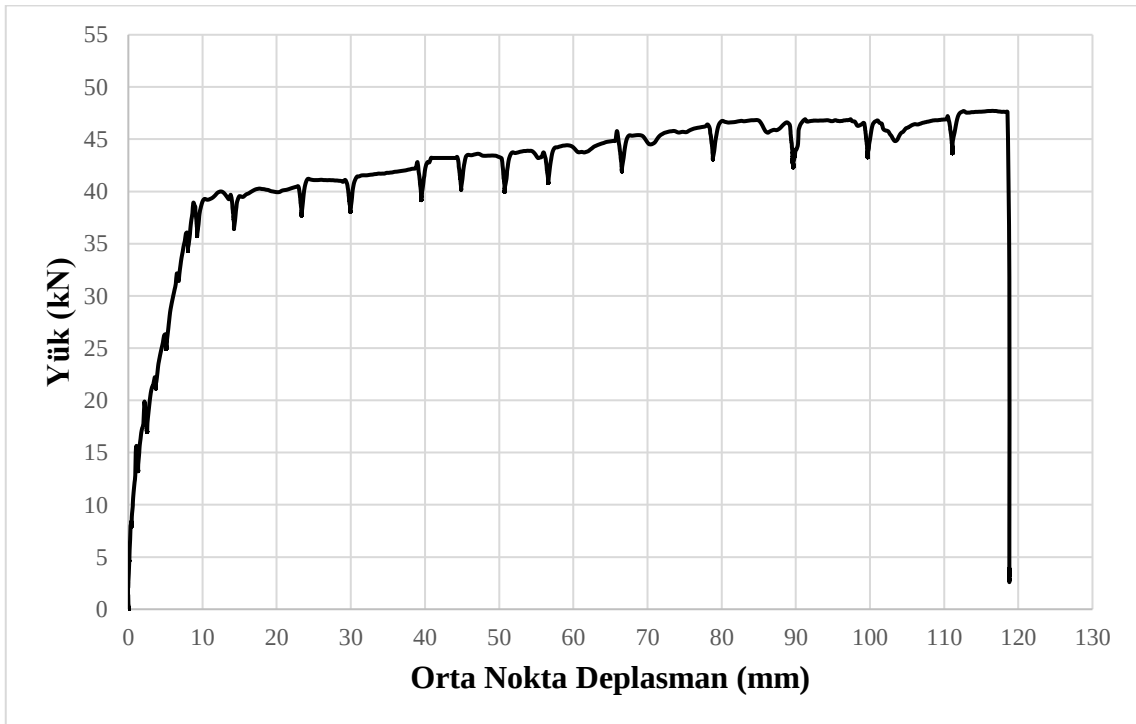
Şekil 4.65. KYB-C30-20 deney elemanının maksimum yük anındaki durumu

Elemana yük verme işlemi 118 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Bu noktada belirgin basınç ve çekme çatlakları oluşmuş fakat kesme çatlakları gözlemlenmemiştir (Şekil 4.66). Basınç bölgesi ezildiği için deneye son verilmiştir.

KYB-C30-20 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.67'de verilmiştir.

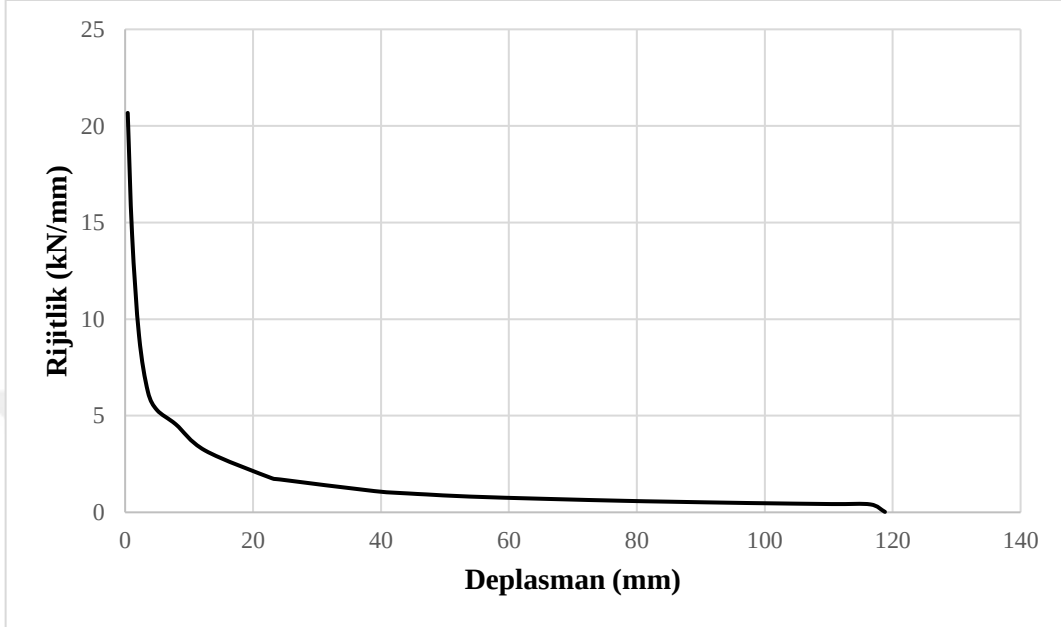


Şekil 4.66. KYB-C30-20 deney elemanının deney sonundaki durumu



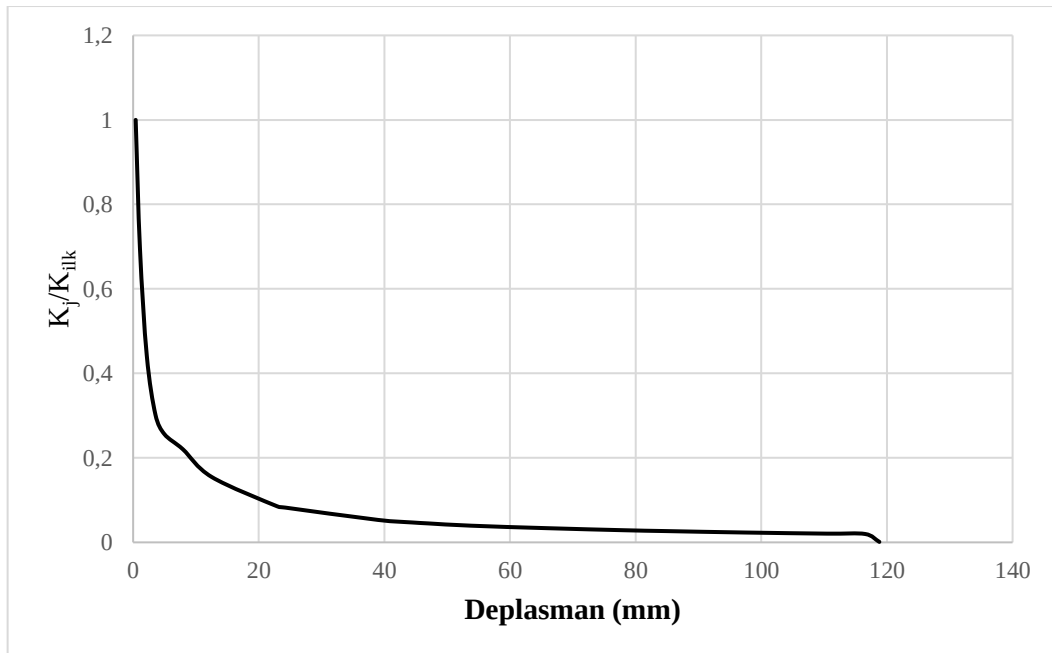
Şekil 4.67. KYB-C30-20 deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.68’te gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



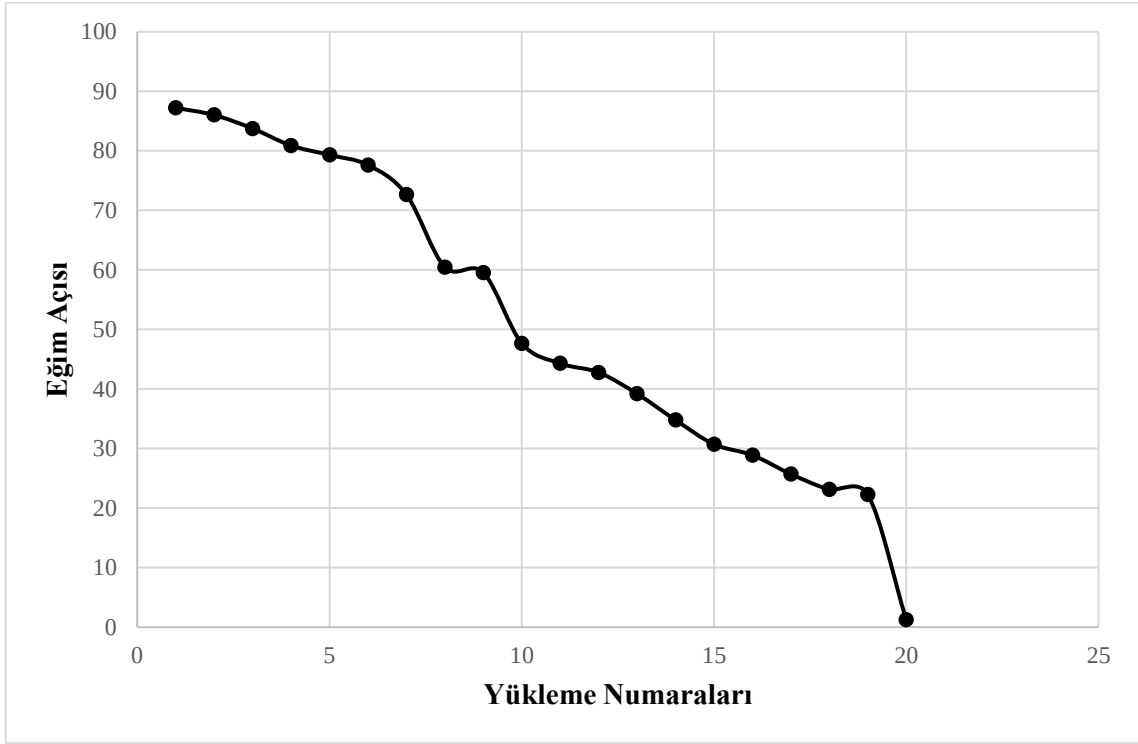
Şekil 4.68. KYB-C30-20 deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.69).



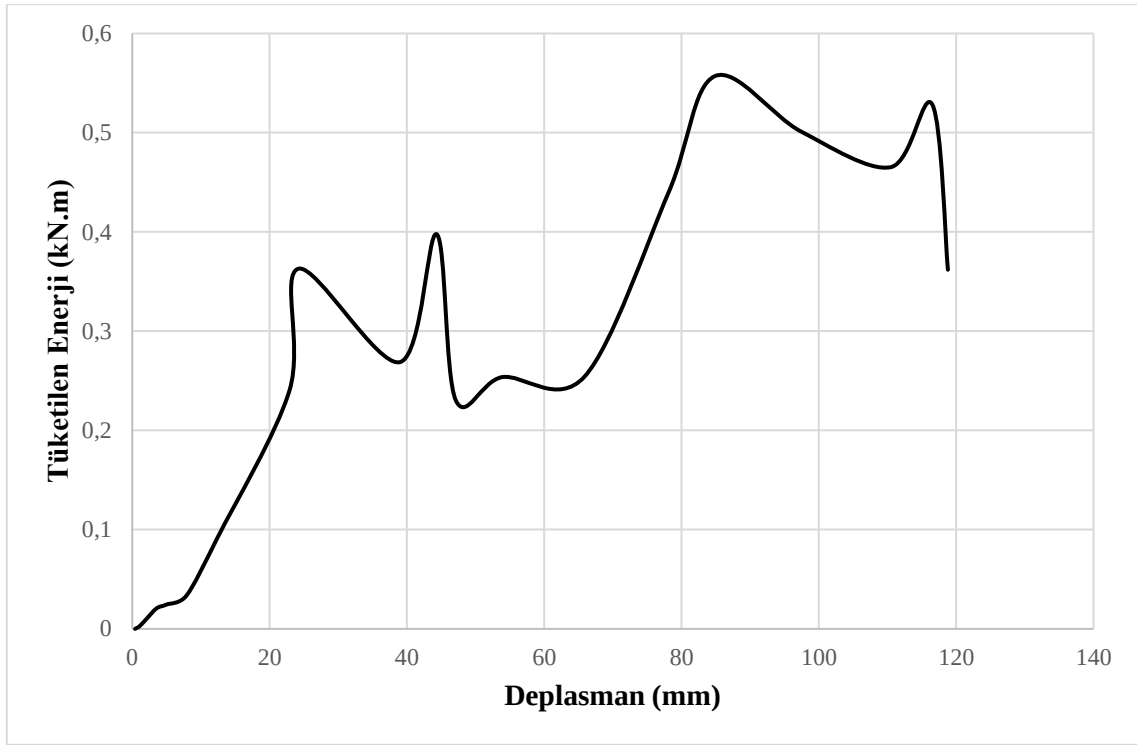
Şekil 4.69. KYB-C30-20 deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemede yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.70’te gösterilmiştir.

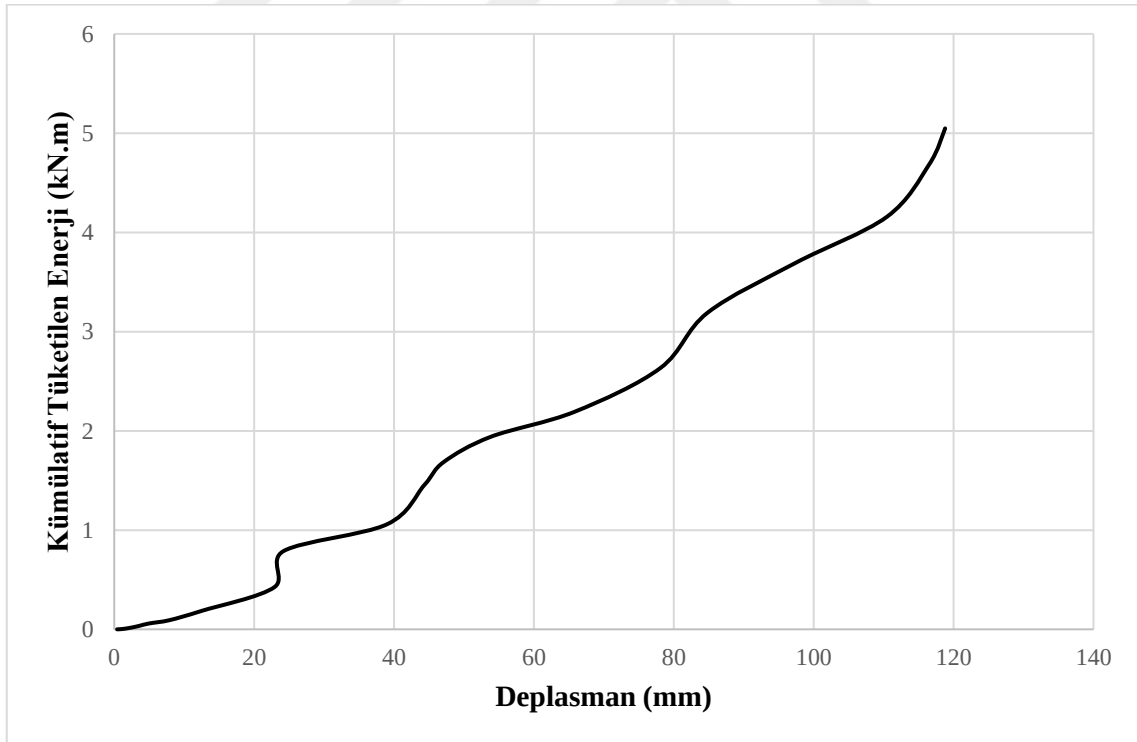


Şekil 4.70. KYB-C30-20 deney elemanın eğim açısı grafiği

Deney elemanın her bir yüklemedeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.71’dedir. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.72’de verilmiştir.



Şekil 4.71. KYB-C30-20 deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.72. KYB-C30-20 deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.7. Deney 7 (KYB-C30-10)

Bu eleman C30 basınç dayanıma sahip, 10 cm etriye aralıklı, KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.73'tedir. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.73. KYB-C30-10 elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.8. KYB-C30-10'a ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
5,23	0,16	İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
10,49	0,58	
15,21	2,44	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
20,37	3,69	Yeni eğilme çatlakları oluştu. Daha önce oluşan çatlakların boyları yaklaşık 1-2 cm uzadı.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
25,27	4,55	Her iki yükleme noktasının dışında yaklaşık 12 cm uzunluğunda birer yeni çatlak oluştu. Diğer çatlakların boyları yaklaşık 1-2 cm uzadı.
30,43	6,15	Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
35,27	8,50	İki yükleme noktası arasında yeni eğilme çatlakları oluştu. Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
40,84	11,32	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi.</u>
40,93	16,27	Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
42,71	20,90	İki yükleme noktası arasındaki çatlaklarda dallanmalar meydana geldi. Önceki çatlakların genişlikleri arttı.
42,42	24,65	Önceki çatlak genişlikleri arttı.
43,89	30,29	Çatlak genişlikleri arttı. Sağ yükleme noktasının altındaki eğilme çatlağı, yükleme noktasına ulaştı.
45,20	36,89	Çatlak genişlikler arttı.
45,16	39,23	Çatlak genişlikleri yaklaşık 2 mm oldu.
45,82	46,25	Çatlak genişlikleri arttı. İki yeni eğilme çatlağı oluştu.
46,87	49,57	Çatlak genişlikleri arttı.
47,76	60,56	Çatlak genişlikleri arttı. Sağ yükleme noktasının en sağındaki çatlağın boyu uzadı.
47,58	70,45	Sol yükleme noktası altında yeni eğilme çatlağı oluştu. Çatlak genişlikleri arttı.
47,65	80,24	Sağ yükleme noktası altında ve iki yükleme noktası ortasında yeni eğilme çatlakları oluştu.
47,23	90,12	Basınç çatlakları oluştu. Çekme çatlağı genişlikleri arttı.
47,26	100,19	Çatlak genişlikleri arttı.
46,78	110,04	Basınç çatlakları ve çatlak genişlikleri arttı.
47,27	120,18	Çatlak genişlikleri arttı.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
47,51	130,07	Çatlak genişlikleri arttı.
48,65	140,11	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Sağ yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi. Çatlak genişlikleri arttı.</u>
48,13	151,65	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 15 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.74).



Şekil 4.74. KYB-C30-10 elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 40 kN yük seviyesinde ve 11,32 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.75'te görülmektedir.

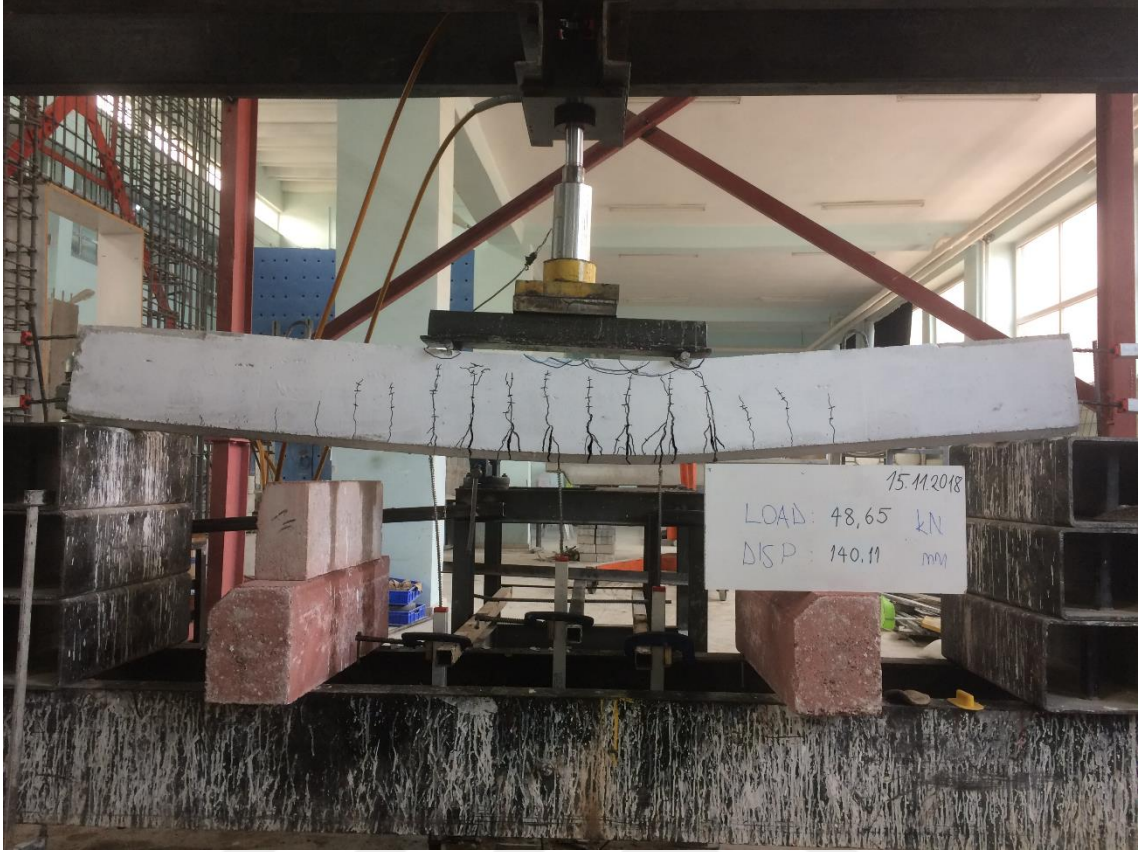


Şekil 4.75. KYB-C30-10 deney elemanının akma anındaki durumu

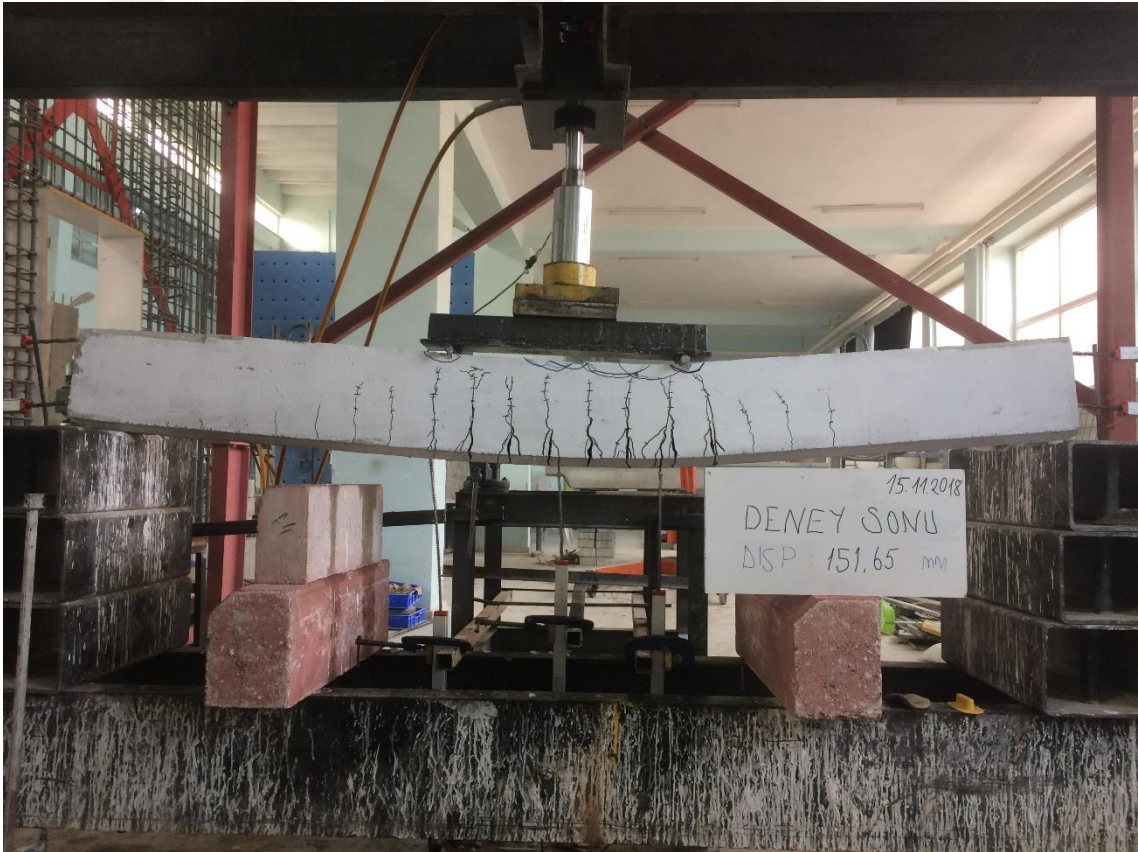
Deney elemanı maksimum yüke 48 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 140,11 mm olup basınç çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.76).

Elemana yük verme işlemi 150 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Bu noktada belirgin basınç ve çekme çatlakları oluşmuş fakat kesme çatlakları gözlemlenmemiştir (Şekil 4.77). Basınç bölgesi ezildiği için deneye son verilmiştir.

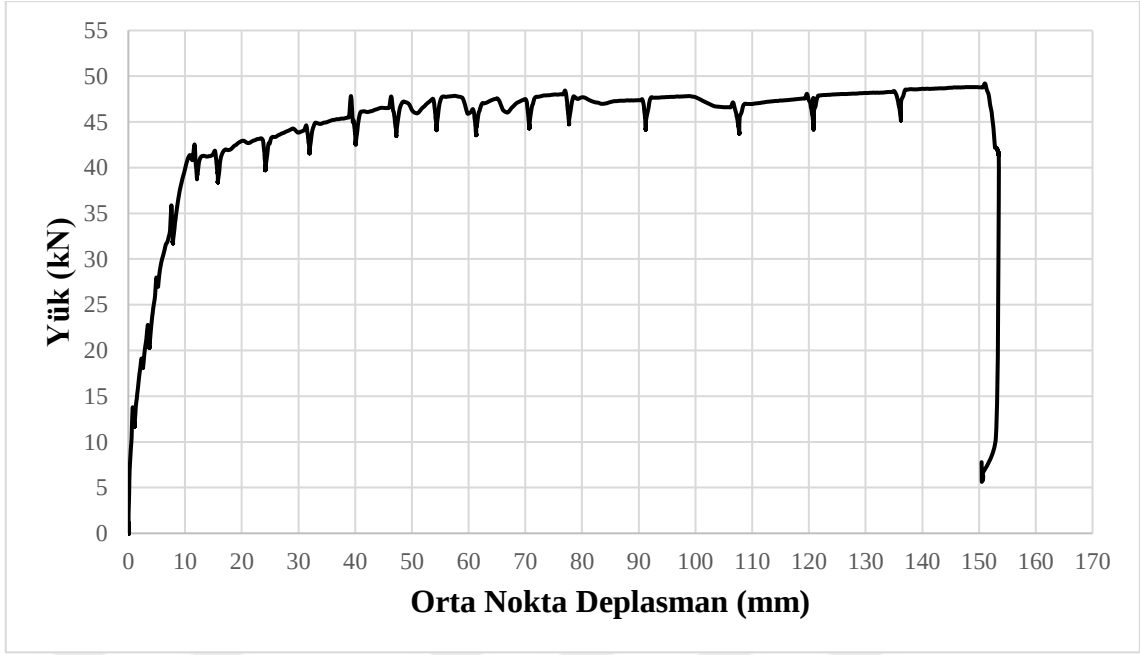
KYB-C30-10 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.78’de verilmiştir.



Şekil 4.76. KYB-C30-10 deney elemanının maksimum yük anındaki durumu

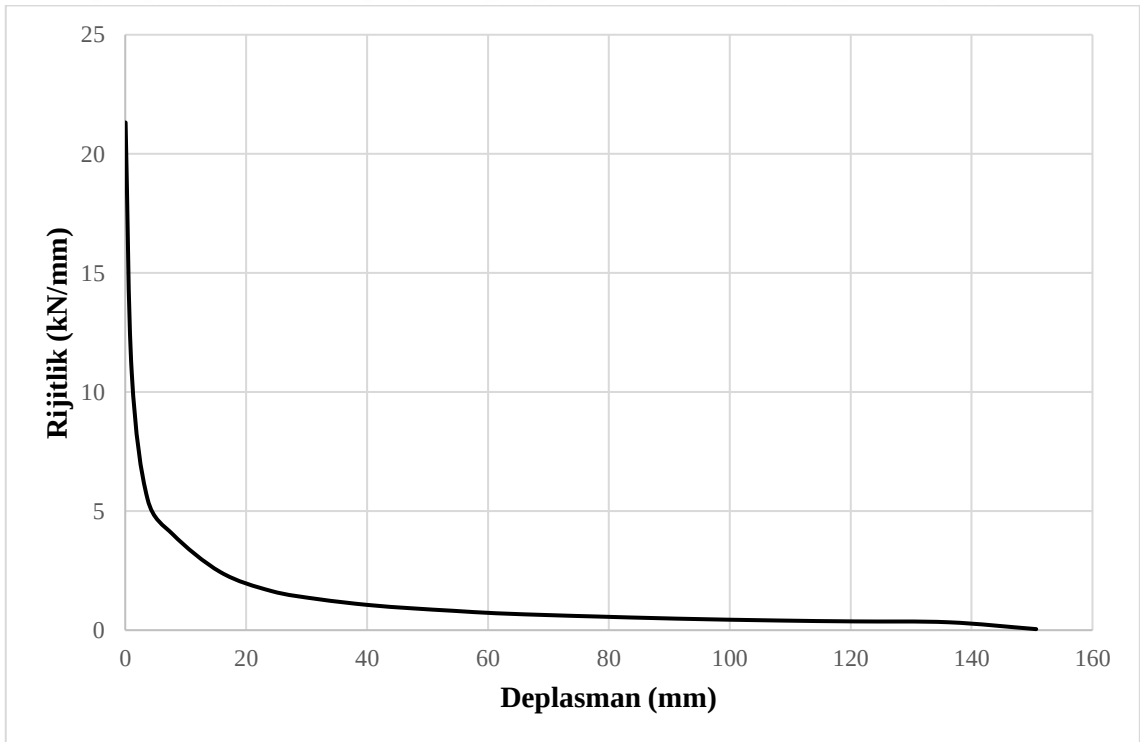


Şekil 4.77. KYB-C30-10 deney elemanının deney sonundaki durumu



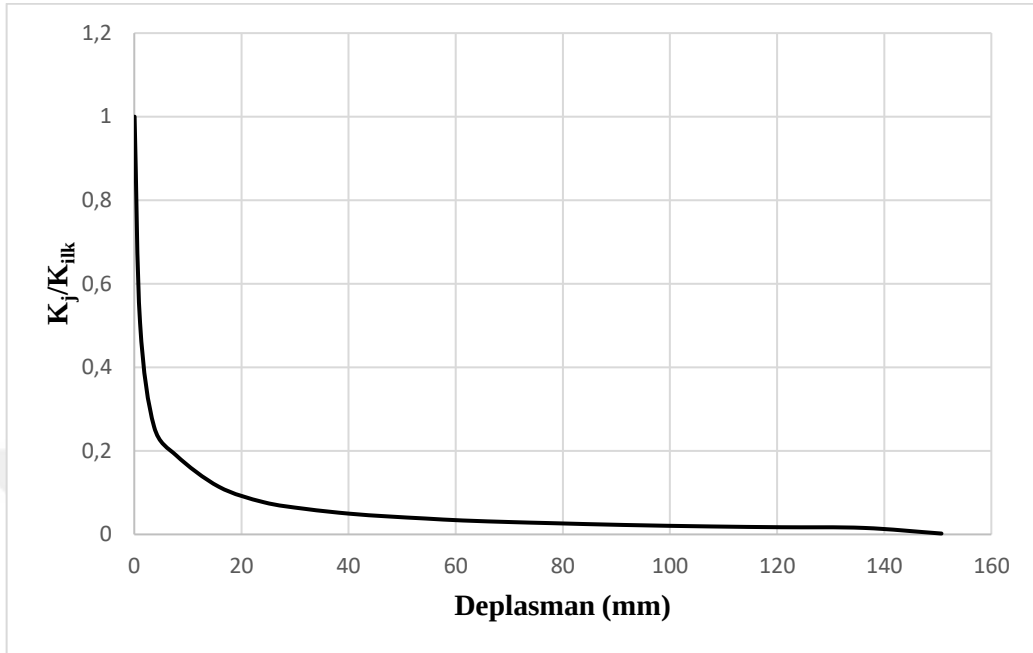
Şekil 4.78. KYB-C30-10 deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.79’da gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



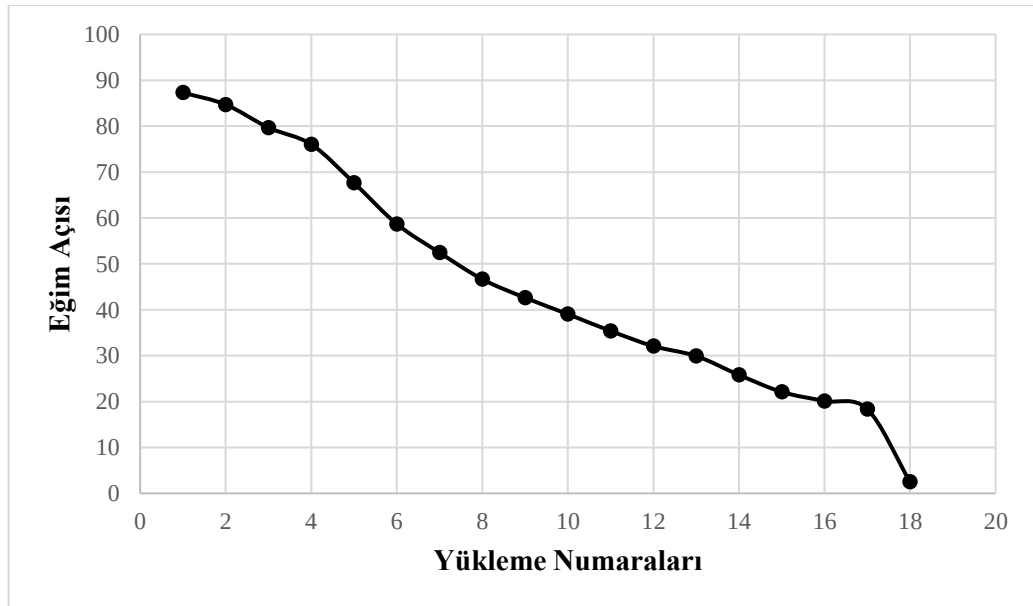
Şekil 4.79. KYB-C30-10 deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.80).



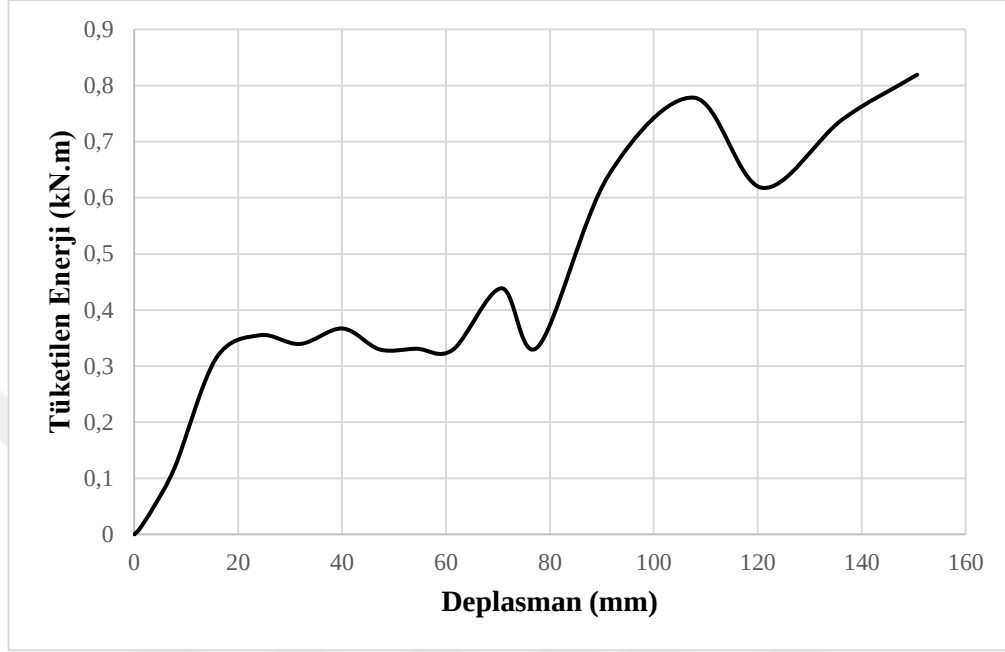
Şekil 4.80. KYB-C30-10 deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemelerde yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.81'de gösterilmiştir.

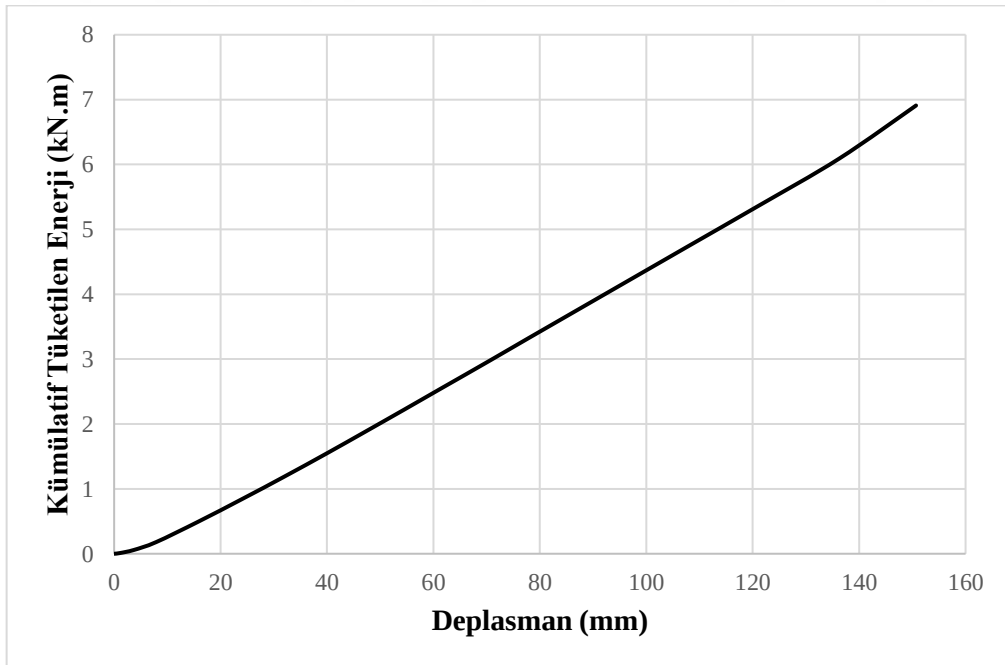


Şekil 4.81. KYB-C30-10 deney elemanının eğim açısı grafiği

Deney elemanının her bir yüklemedeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.82'dedir. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.83'te verilmiştir.



Şekil 4.82. KYB-C30-10 deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.83. KYB-C30-10 deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.8. Deney 8 (KYB-C30-5)

Bu eleman C30 basınç dayanıma sahip, 5 cm etriye aralıklı, KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.84'tedir. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.84. KYB-C30-5 elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.9. KYB-C30-5'e ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
5,66	0,14	İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
10,92	0,42	
17,31	1,37	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
20,67	2,48	Yükleme noktalarının altların birer çatlak meydana geldi. Önceki çatlakların boyları 5-6 cm uzadı.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
25,56	4,28	Yüklemeye noktalarının dışında yeni eğilme çatlakları meydana geldi. Önceki çatlaklar 2-3 cm uzadı.
31,95	5,77	Sağ yükleme noktasının yaklaşık 25 cm sağında yeni bir çatlak oluştu.
36,12	6,41	Çatlakların boyları yaklaşık 3-4 cm uzadı.
40,69	8,31	Çatlakların boyları 1-2 cm uzadı.
42,56	13,00	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi.</u>
43,14	19,90	İki yükleme noktası arasındaki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
43,74	26,76	Çatlak genişlikleri 1-2 cm arttı. Çatlaklar genişlemeye başladı.
44,01	29,53	Sağ yükleme noktasının yaklaşık 50 cm sağında 20 cm uzunluğunda yeni çatlak oluştu.
44,33	35,71	Çekme çatlakları kirişin en üst noktasına ulaştı.
44,46	41,06	Çatlak genişlikleri arttı. İki yükleme noktasının ortasındaki çatlağın boyu yaklaşık 10 cm uzadı.
44,59	46,78	Çatlak genişlikler 2 mm oldu.
45,67	50,02	Çatlak genişlikleri arttı.
46,11	60,71	Çatlak genişlikleri arttı. Sol yükleme noktasının hemen sağında yaklaşık 15 cm uzunluğunda yeni çatlak meydana geldi.
46,45	70,72	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri artmaya devam etti. Yeni çatlak oluştu. Sol yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi.</u>
44,98	81,54	Sol yükleme noktasında basınç ezilmesi oluştu.
45,54	88,60	Sağ yükleme noktasında basınç ezilmesi oluştu.
40,98	101,45	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 17 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.85).



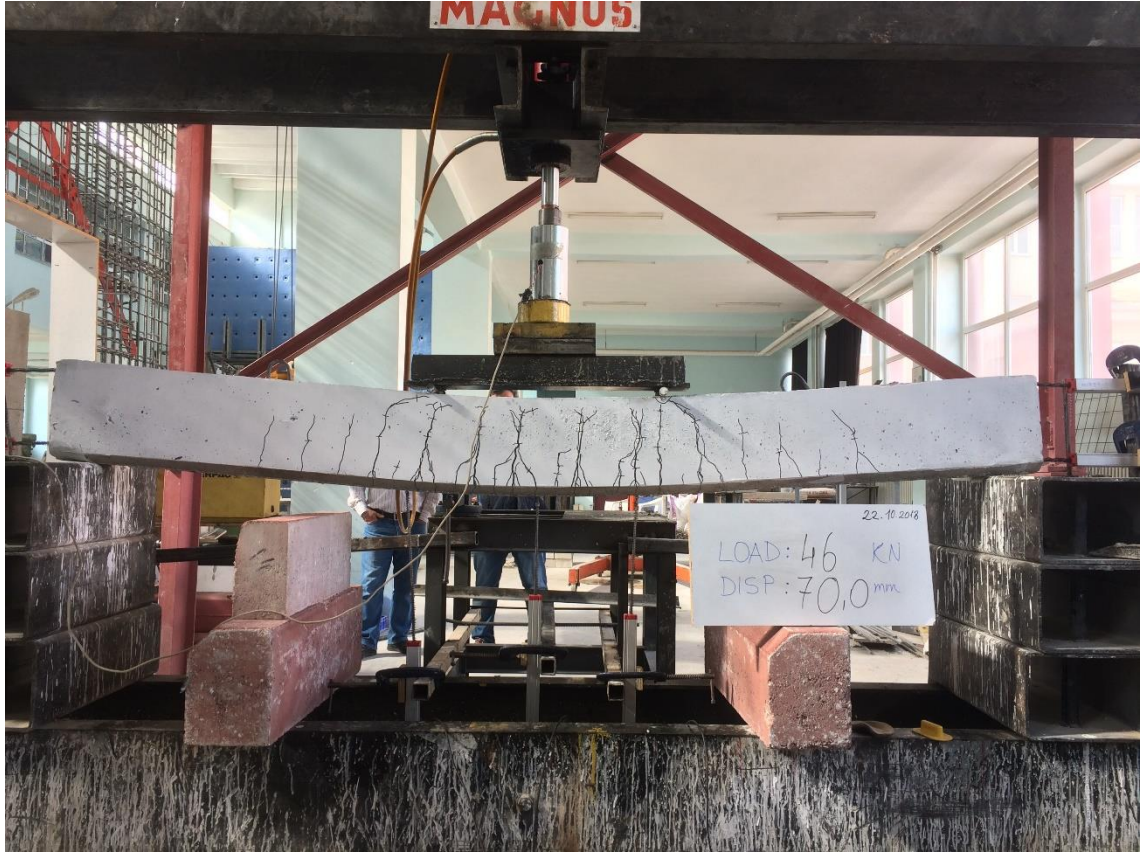
Şekil 4.85. KYB-C30-5 elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 42 kN yük seviyesinde ve 13,0 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.86’da görülmektedir.



Şekil 4.86. KYB-C30-5 deney elemanının akma anındaki durumu

Deney elemanı maksimum yüke yaklaşık 46 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 70,72 mm olup basınç çatlakları oluşmamıştır (Şekil 4.87).



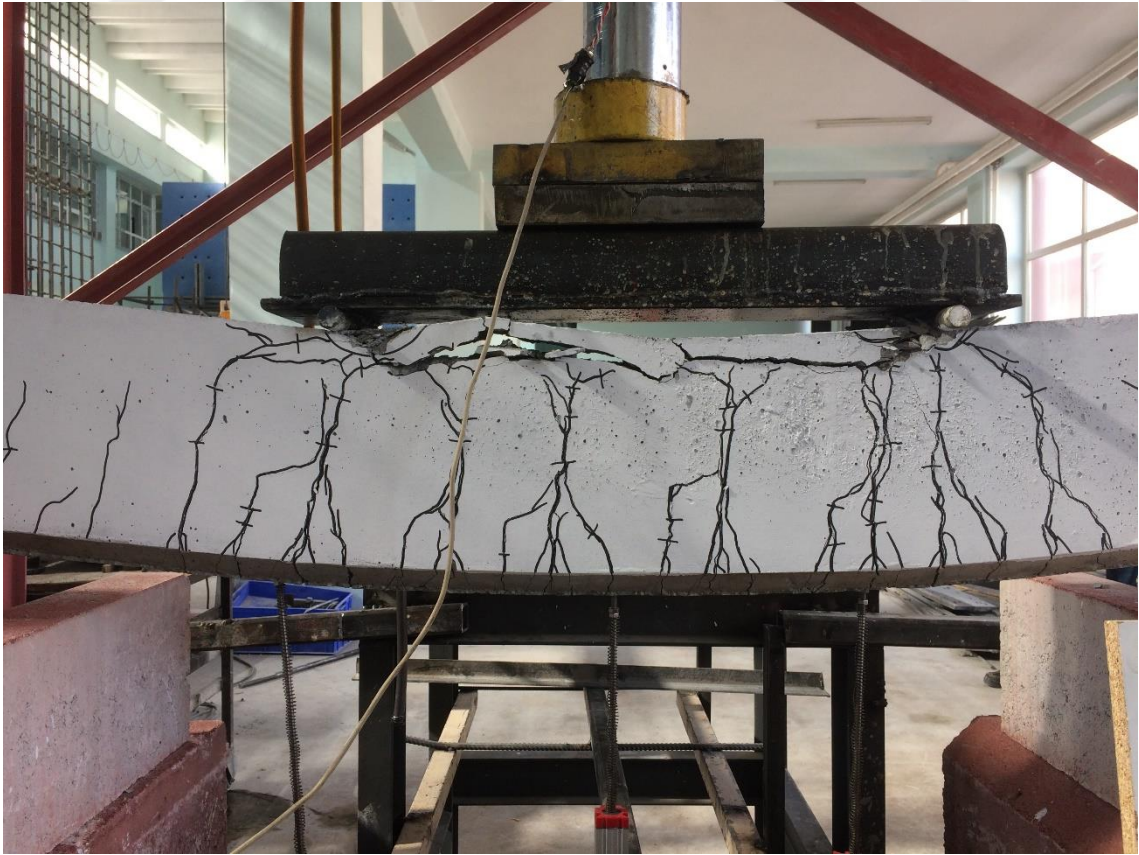
Şekil 4.87. KYB-C30-5 deney elemanının maksimum yük anındaki durumu

Elemana yük verme işlemi 101,45 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur (Şekil 4.88). Bu noktada ciddi miktarda basınç çatlağı oluşmuştur. Basınç çatlağı büyük olduğu ve eleman yük taşıyamaz hale geldiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.89).

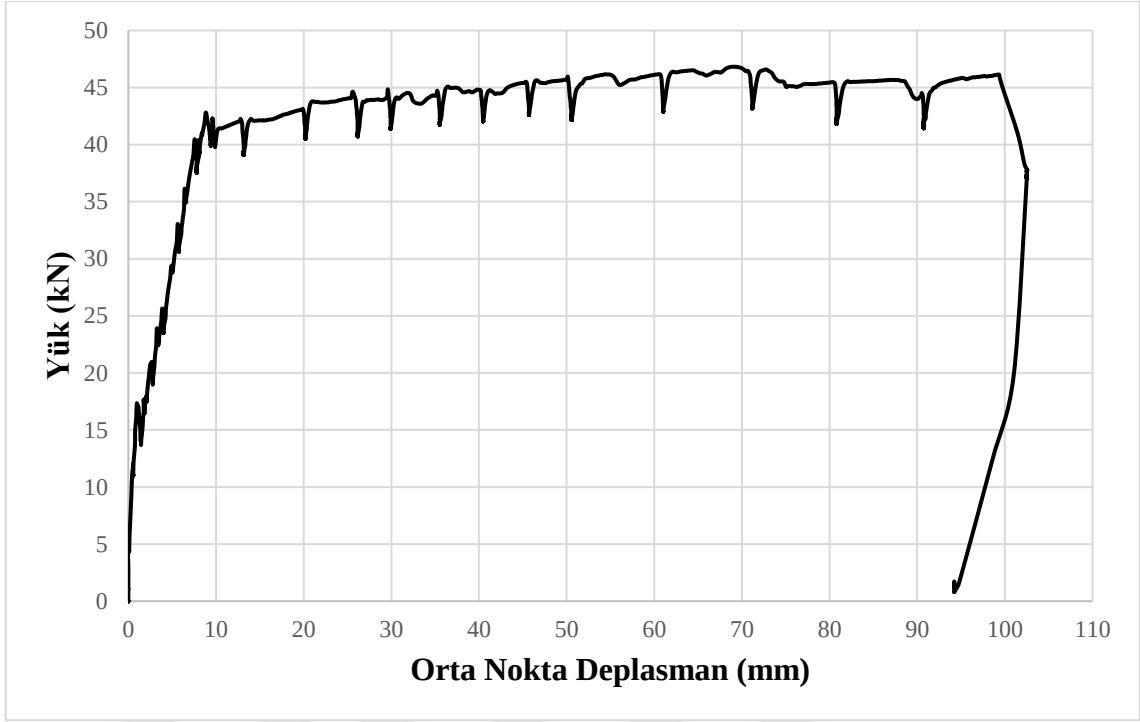
KYB-C30-5 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.90'da verilmiştir.



Şekil 4.88. KYB-C30-5 deney elemanının deney sonundaki durumu

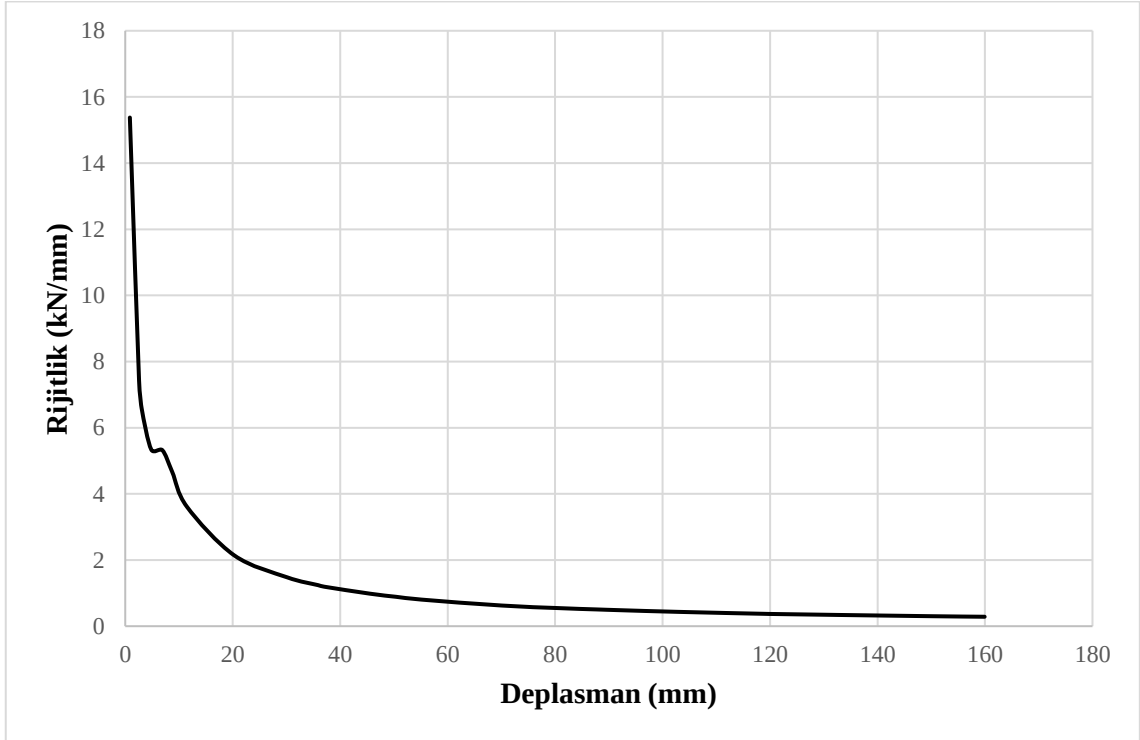


Şekil 4.89. KYB-C30-5 deney elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



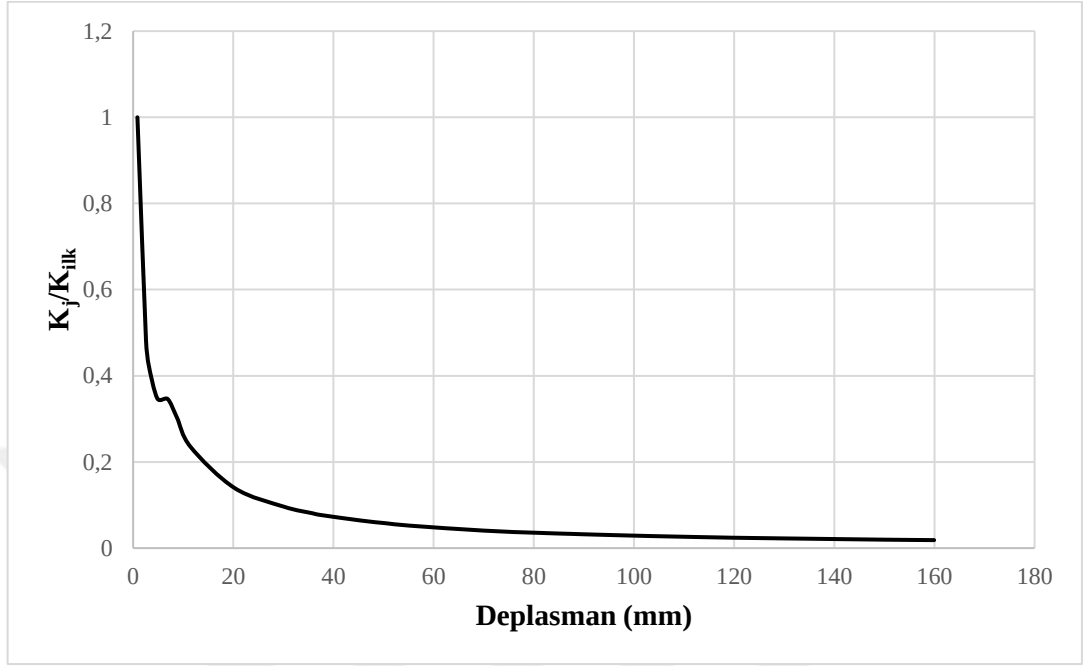
Şekil 4.90. KYB-C30-5 deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.91’de gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



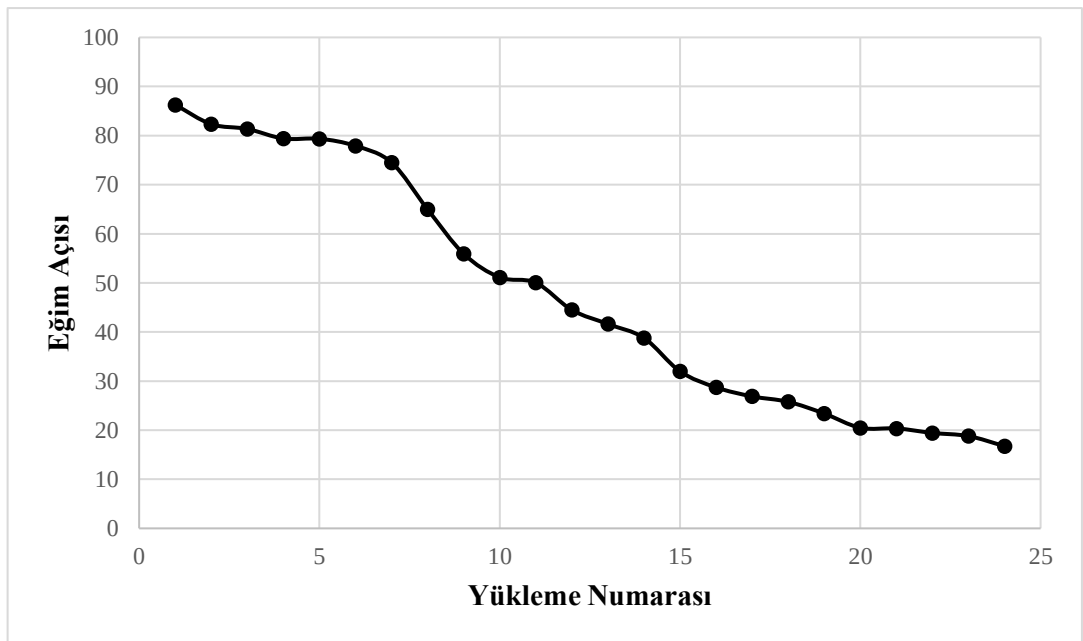
Şekil 4.91. KYB-C30-5 deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.92).



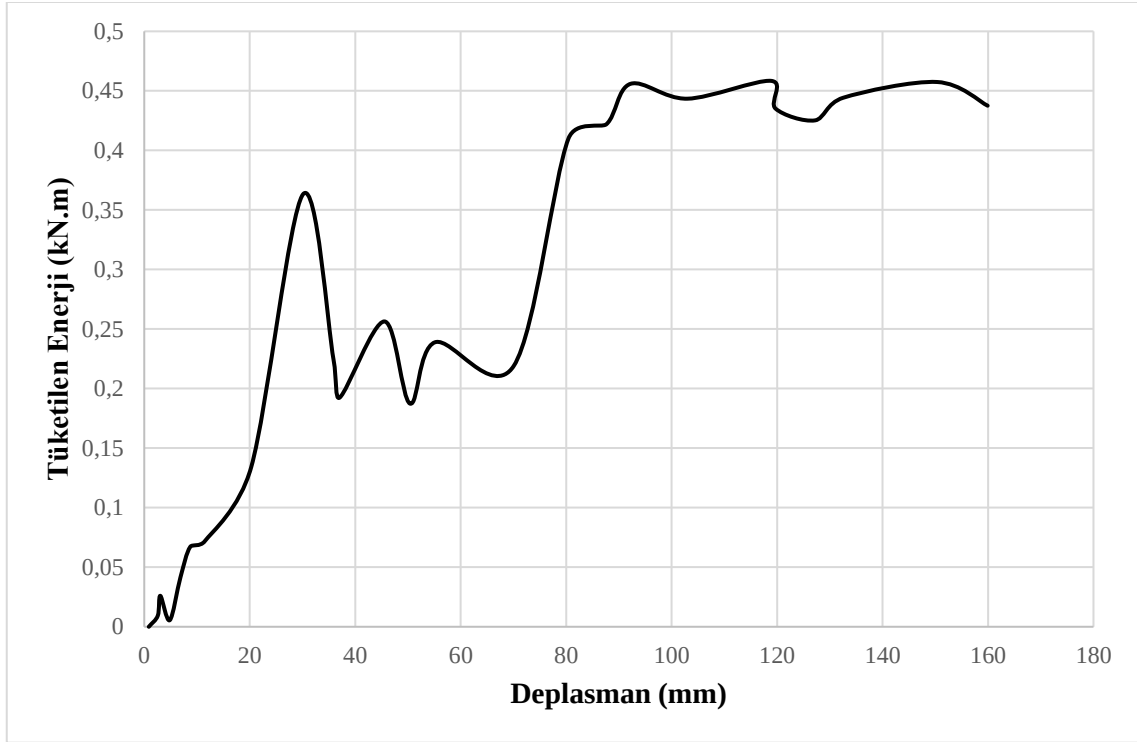
Şekil 4.92. KYB-C30-5 deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemde yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.93'te gösterilmiştir.

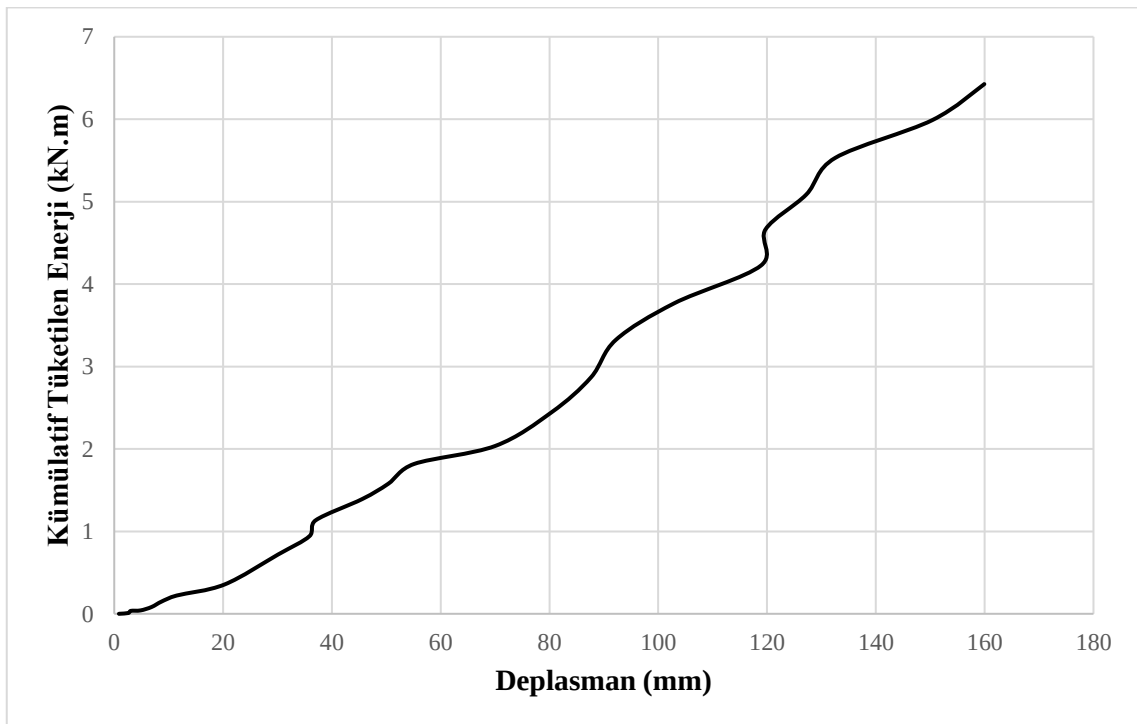


Şekil 4.93. KYB-C30-5 deney elemanının eğim açısı grafiği

Deney elemanının her bir yüklemdeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.94'tedir. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.95'te verilmiştir.



Şekil 4.94. KYB-C30-5 deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.95. KYB-C30-5 deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.9. Deney 9 (NOR-C60-Etsz)

Bu eleman C60 basınç dayanıma sahip, etriyesiz, normal beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.96'dadır. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.96. NOR-C60-Etsz elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.10. NOR-C60-Etsz'e ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
9,15	0,30	İlk üç yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
15,42	0,60	
20,03	1,24	
25,11	2,50	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
30,00	3,84	Yeni eğilme çatlakları oluştu. Yeni oluşan çatlakların boyları yaklaşık 10 cm uzunluğundadır.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
34,50	4,83	Sol yükleme noktasının 10 cm solunda yeni çatlak oluştu. Önceki çatlak boyları yaklaşık 2 cm uzadı.
40,02	6,50	Sağ yükleme noktasının yaklaşık 25 cm sağında iki yeni çatlak oluştu. Önceki çatlakların boyları yaklaşık 1-2 cm uzadı
45,33	10,02	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi.</u>
46,00	16,13	İki yükleme noktası arasındaki çatlaklarda dallanmalar meydana geldi. Önceki çatlakların genişlikleri arttı.
46,00	20,76	Çatlak boylarında bir artış gözlemlenmezken, çatlak genişlikleri artmıştır.
46,50	26,30	Sol yükleme noktası altındaki çatlak genişliği 2 mm oldu.
47,00	30,40	Çatlak genişlikleri arttı. Yeni çatlak oluşmadı.
48,00	36,41	Çatlak genişlikler arttı. Sağ üst yükleme noktasında ezilme meydana geldi.
49,00	40,90	Çatlak genişlikler arttı. Çekme çatlakları kirişin basınç bölgesinin en dış lifine kadar ulaştı.
50,00	46,57	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri artmaya devam etti. Sağ yükleme noktası altındaki 45 derecelik açıyla kesme çatlağı oluştu.</u>
47,00	50,92	Sağ yükleme noktası altındaki 45 derecelik çatlağın genişliği arttı ve o çatlağın altında yatay konumda yeni bir çatlak oluştu.
47,50	61,15	Sağ yükleme noktası altındaki 45 derecelik çatlağın genişliği yaklaşık 2 cm oldu. Sol yükleme noktasında ezilme meydana geldi.
46,23	70,26	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 25 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.97).



Şekil 4.97. NOR-C60-Etsz elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 45 kN yük seviyesinde ve 12,34 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.98’de görülmektedir.



Şekil 4.98. NOR-C60-Etsz deney elemanının akma anındaki durumu

Deney elemanı maksimum yüke yaklaşık 50 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 46,57 mm olup basınç çatlakları oluşmamıştır (Şekil 4.99).



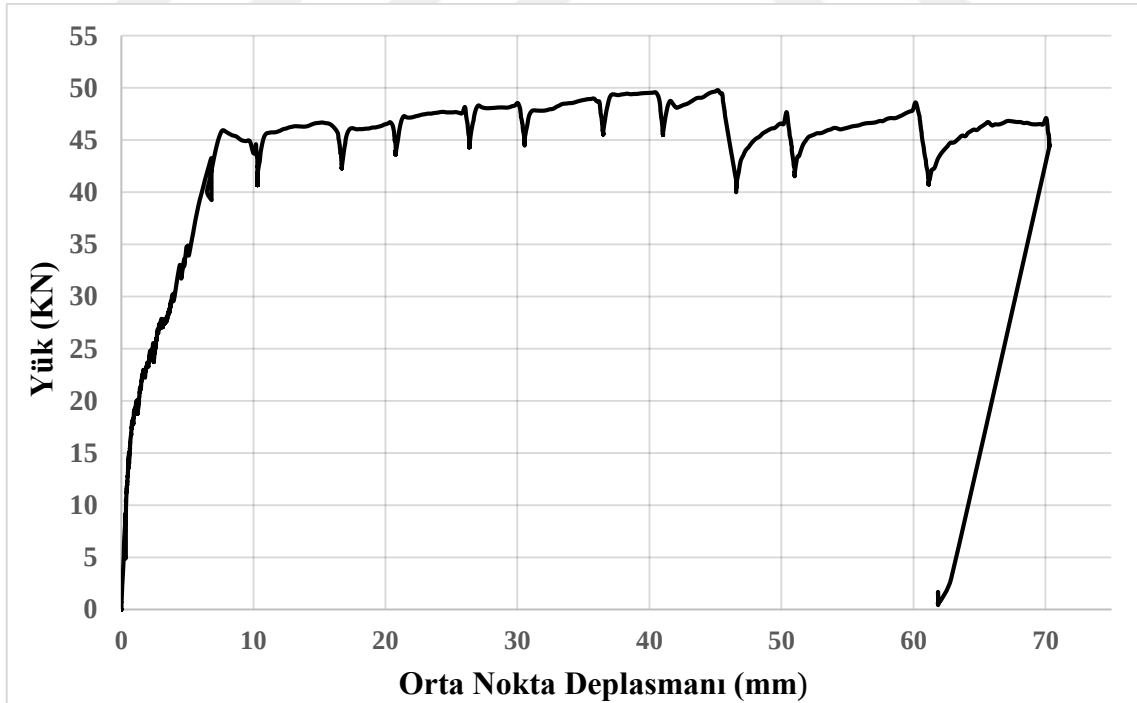
Şekil 4.99. NOR-C60-Etsz deney elemanının maksimum yük anındaki durumu

Elemana yük verme işlemi 70,26 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Bu noktada belirgin kesme çatlağı oluşmuştur. Kesme çatlağının genişliği ciddi miktarda arttığı ve eleman yük taşıyamaz hale geldiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.100).

NOR-C60-Etsz deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.101’de verilmiştir.

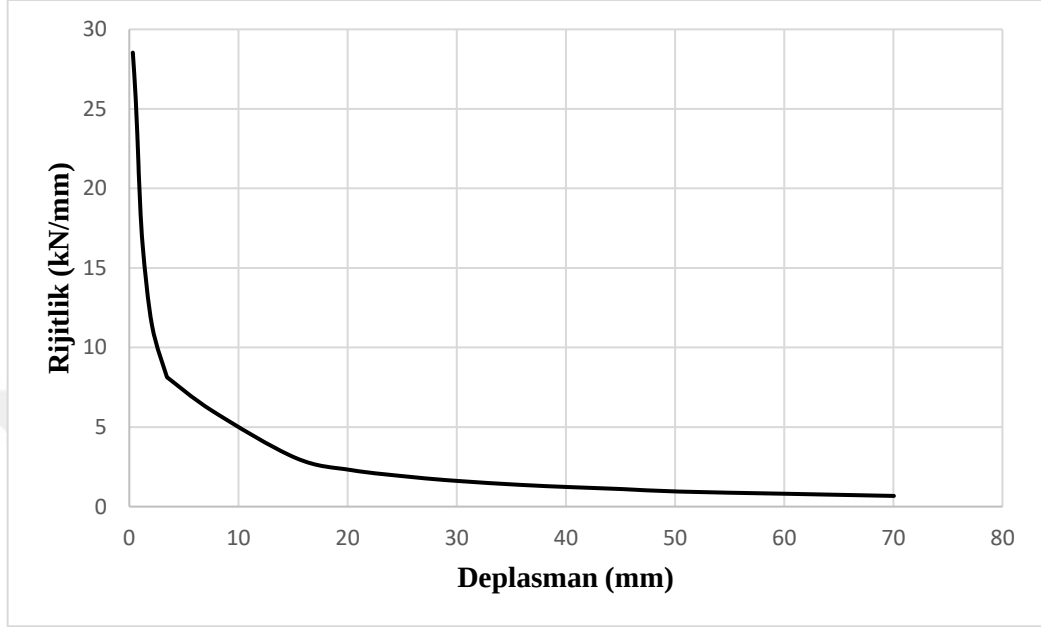


Şekil 4.100. NOR-C60-Etsz deney elemanının deney sonundaki durumu



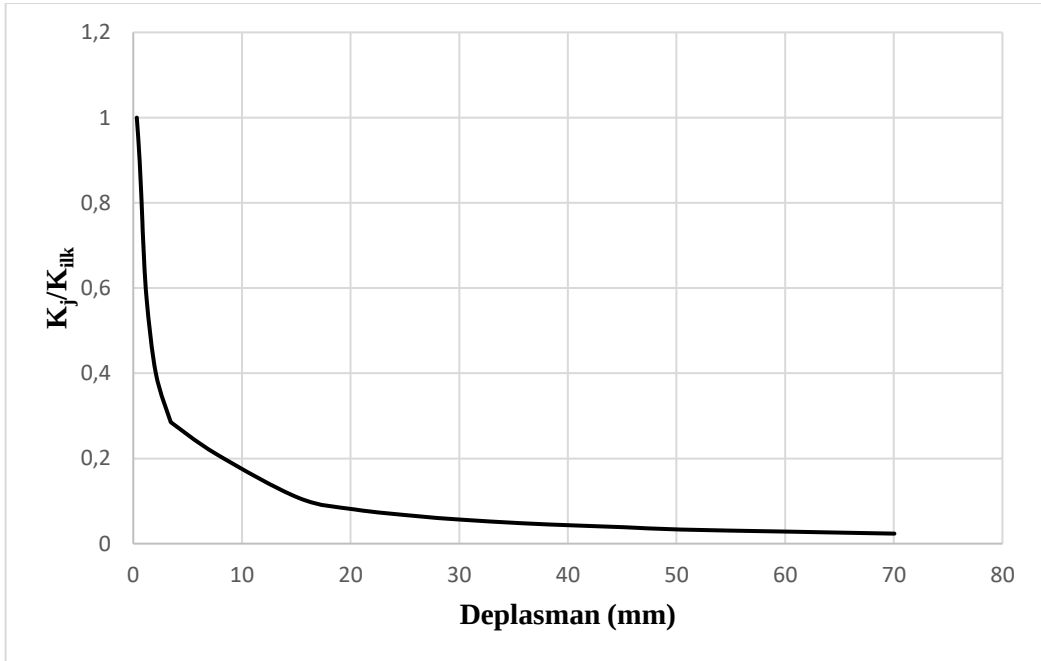
Şekil 4.101. NOR-C60-Etsz deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.102’de gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



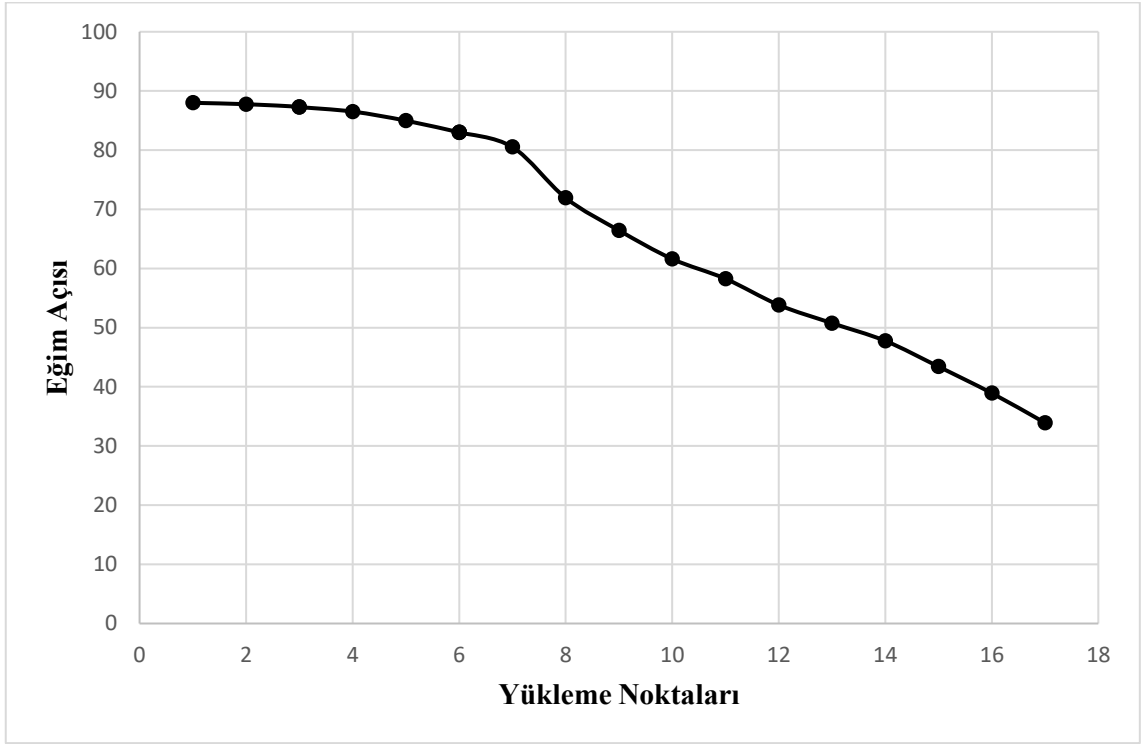
Şekil 4.102. NOR-C60-Etsz deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.103).



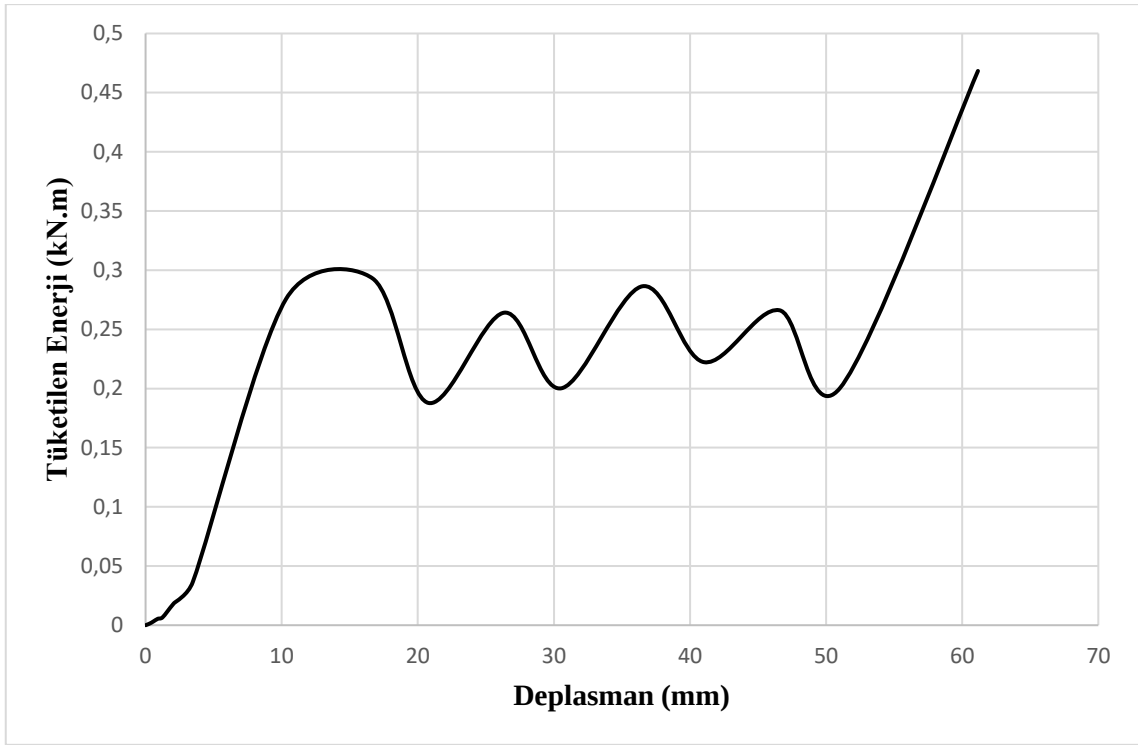
Şekil 4.103. NOR-C60-Etsz deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemede yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.104'te gösterilmiştir.

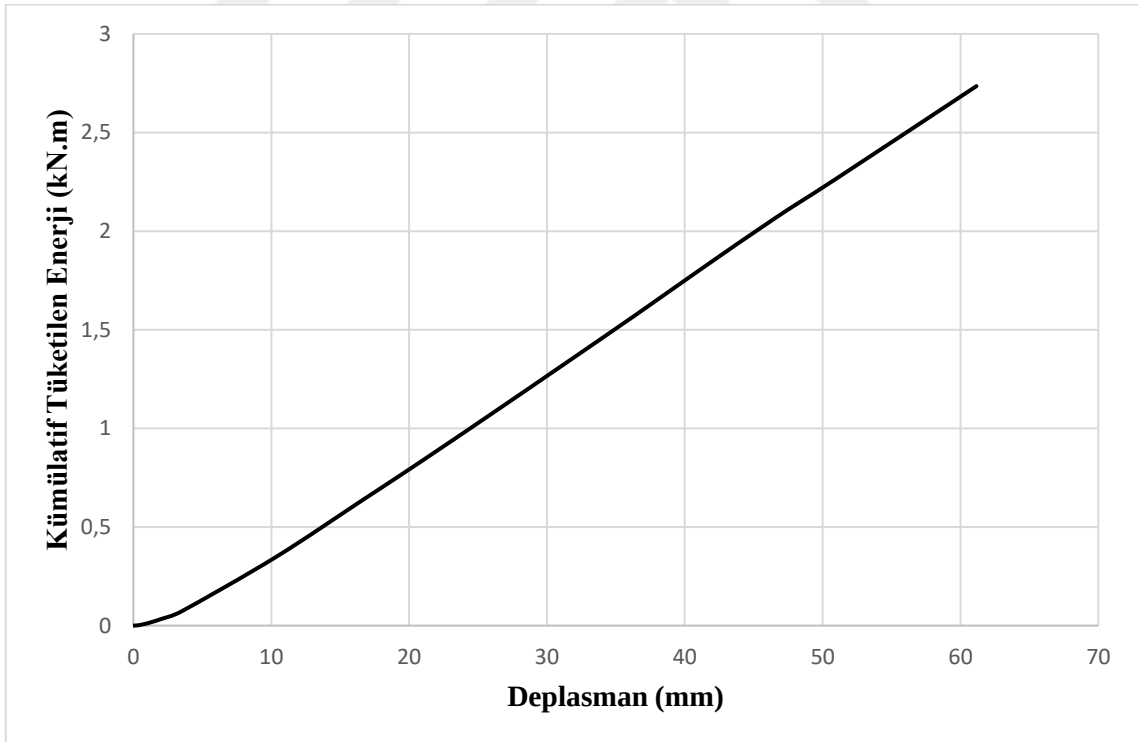


Şekil 4.104. NOR-C60-Etsz deney elemanın eğim açısı grafiği

Deney elemanın her bir yüklemedeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.105'tedir. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.106'da verilmiştir.



Şekil 4.105. NOR-C60-Etsz deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.106. NOR-C60-Etsz deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.10. Deney 10 (NOR-C60-20)

Bu eleman C60 basınç dayanıma sahip, 20 cm etriye aralıklı, normal beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.107'dedir. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.107. NOR-C60-20 elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.11. KYB-C60-20'a ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
5,00	0,01	İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
12,58	0,37	
20,02	1,13	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
25,46	2,64	Yeni eğilme çatlakları oluştu. Daha önce oluşan çatlakların boyları yaklaşık 1-2 cm uzadı.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
30,16	3,87	Yüklemeye noktaları dışında yeni eğilme çatlakları oluştu. Önceki çatlakların boyları 3-4 cm uzadı.
35,78	5,17	Yüklemeye noktaları dışında yeni eğilme çatlakları oluştu. Önceki çatlakların boyları 3-4 cm uzadı.
40,24	6,31	Yüklemeye noktaları dışındaki çatlaklar uzadı.
42,38	10,28	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi. Sağ yüklemeye noktasının yaklaşık 30 cm sağında yeni bir çatlak oluştu.</u>
45,14	15,67	Sağ yüklemeye noktasının yaklaşık 40 cm sağında yeni bir çatlak oluştu. Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
46,17	21,16	İki yüklemeye noktası arasındaki çatlaklarda dallanmalar meydana geldi. Önceki çatlakların genişlikleri arttı.
46,29	25,03	Önceki çatlak genişlikleri arttı.
46,38	30,21	Çatlak genişlikleri arttı. Sağ yüklemeye noktasının altındaki eğilme çatlağı, yüklemeye noktasına ulaştı.
46,46	35,11	Çatlak genişlikler arttı.
47,06	40,04	Çatlak genişlikleri yaklaşık 2 mm oldu.
49,54	46,12	Çatlak genişlikleri arttı. İki yeni eğilme çatlağı oluştu.
48,89	50,13	Çatlak genişlikleri arttı.
51,13	60,08	Çatlak genişlikleri arttı. Sağ yüklemeye noktasının en sağındaki çatlağın boyu uzadı.
51,29	70,21	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri arttı.</u>
50,21	82,16	Deney sonu

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 20 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.108).



Şekil 4.108. KYB-C60-20 elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 42 kN yük seviyesinde ve 10,28 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.109’da görülmektedir.



Şekil 4.109. KYB-C60-20 deney elemanının akma anındaki durumu

Deney elemanı maksimum yüke 51,29 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 70,21 mm olup basınç çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.110).

Elemana yük verme işlemi 82 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Bu noktada belirgin basınç ve çekme çatlakları oluşmuş fakat kesme çatlakları gözlemlenmemiştir (Şekil 4.111). Basınç bölgesi ezildiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.112).

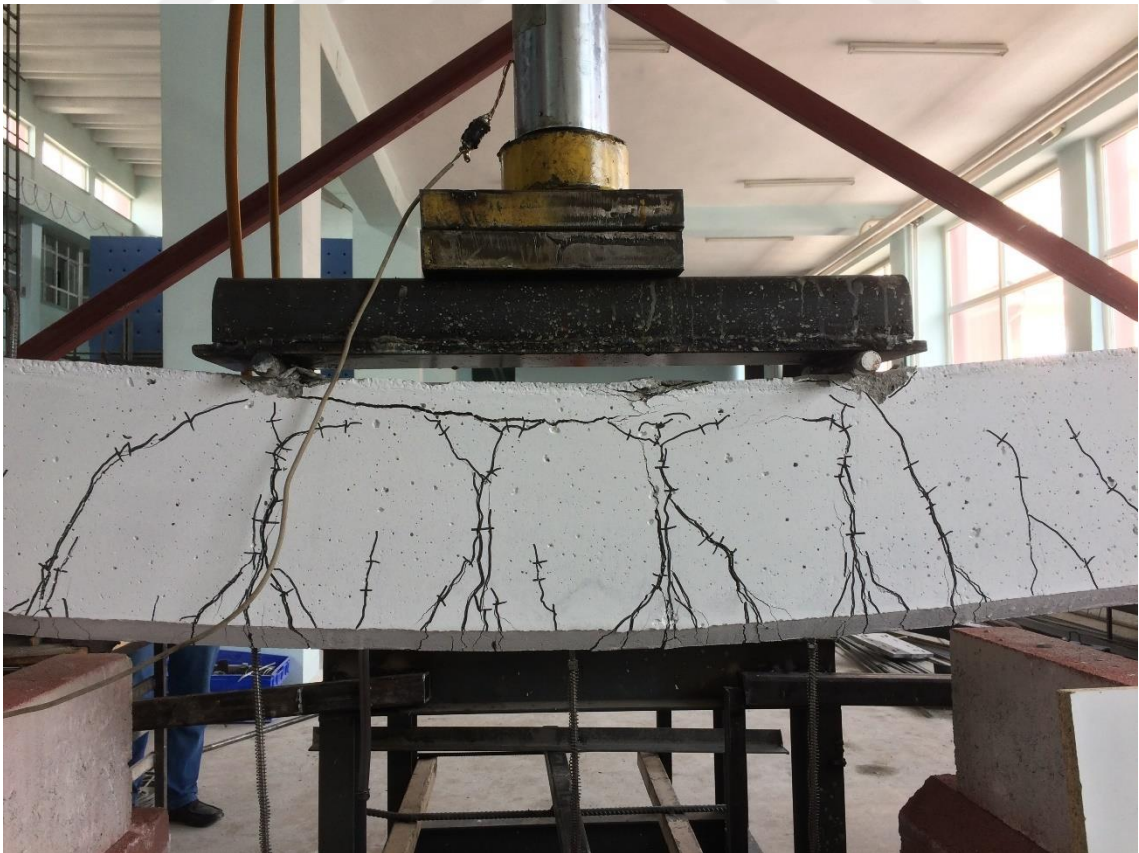
KYB-C60-20 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.113'te verilmiştir.



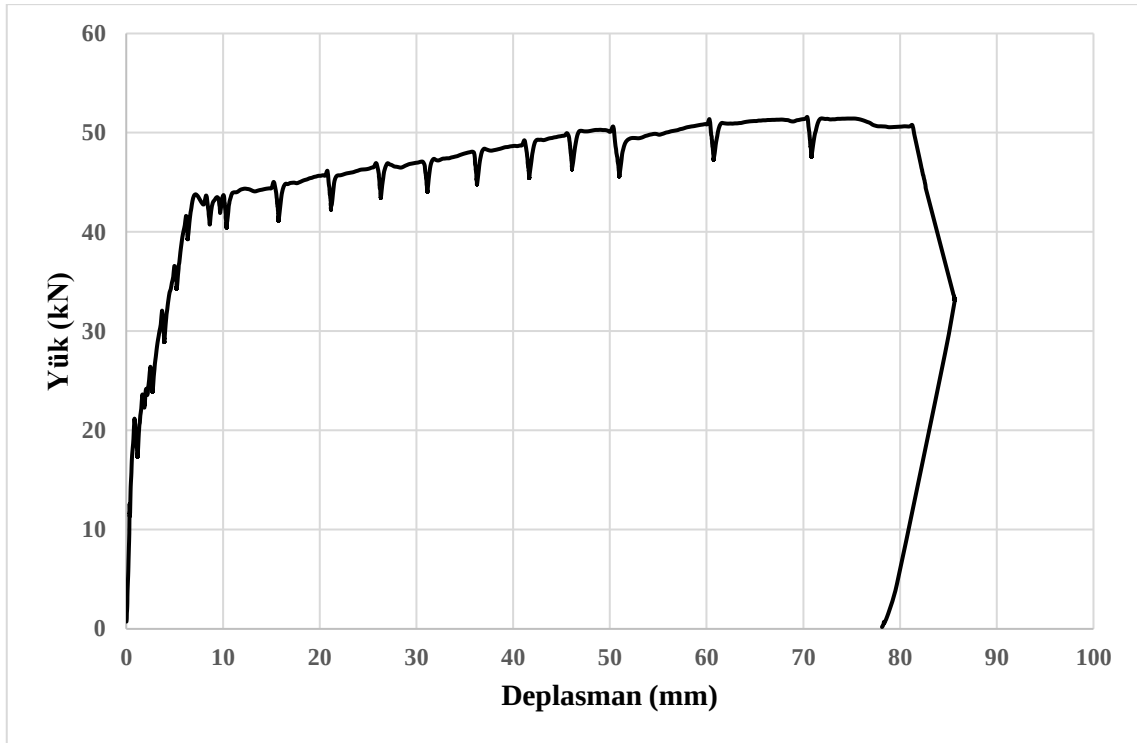
Şekil 4.110. KYB-C60-20 deney elemanının maksimum yük anındaki durumu



Şekil 4.111. KYB-C60-20 deney elemanın deney sonundaki durumu

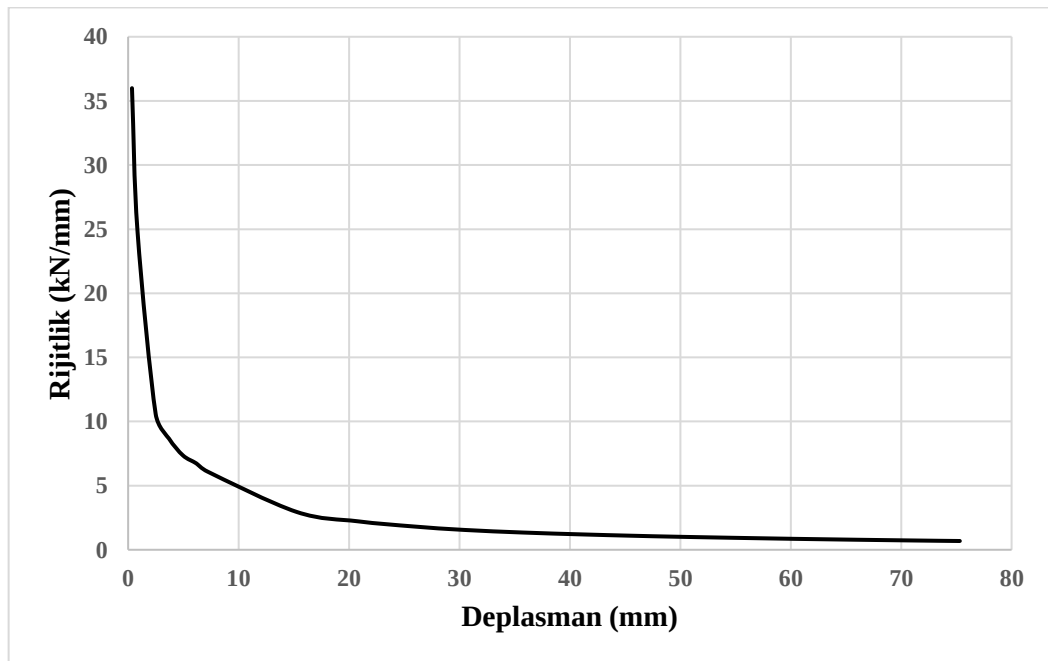


Şekil 4.112. KYB-C60-20 deney elemanın deney sonundaki çatlak dağılımı



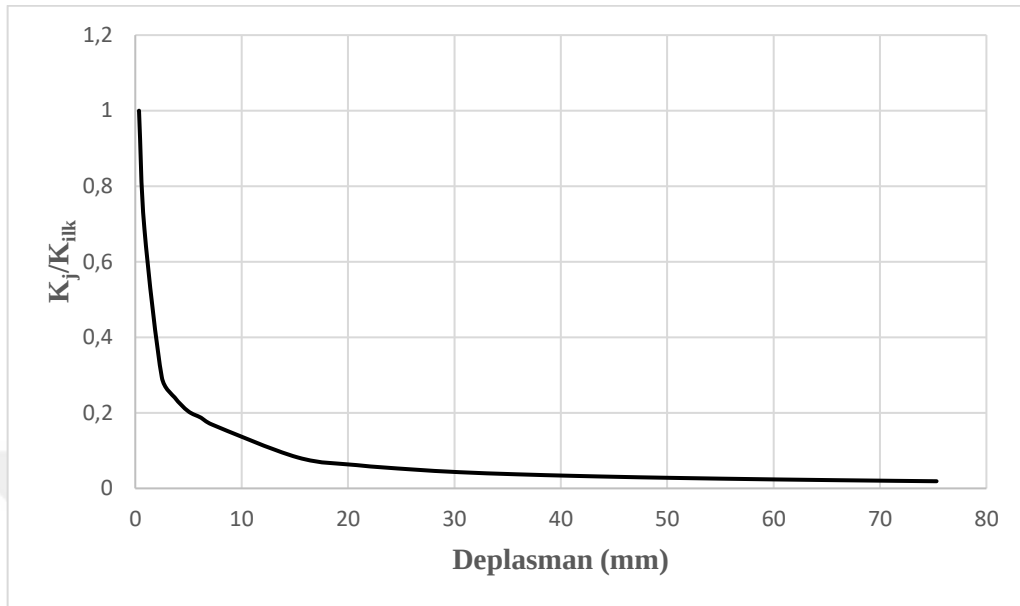
Şekil 4.113. KYB-C60-20 deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.114'te gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



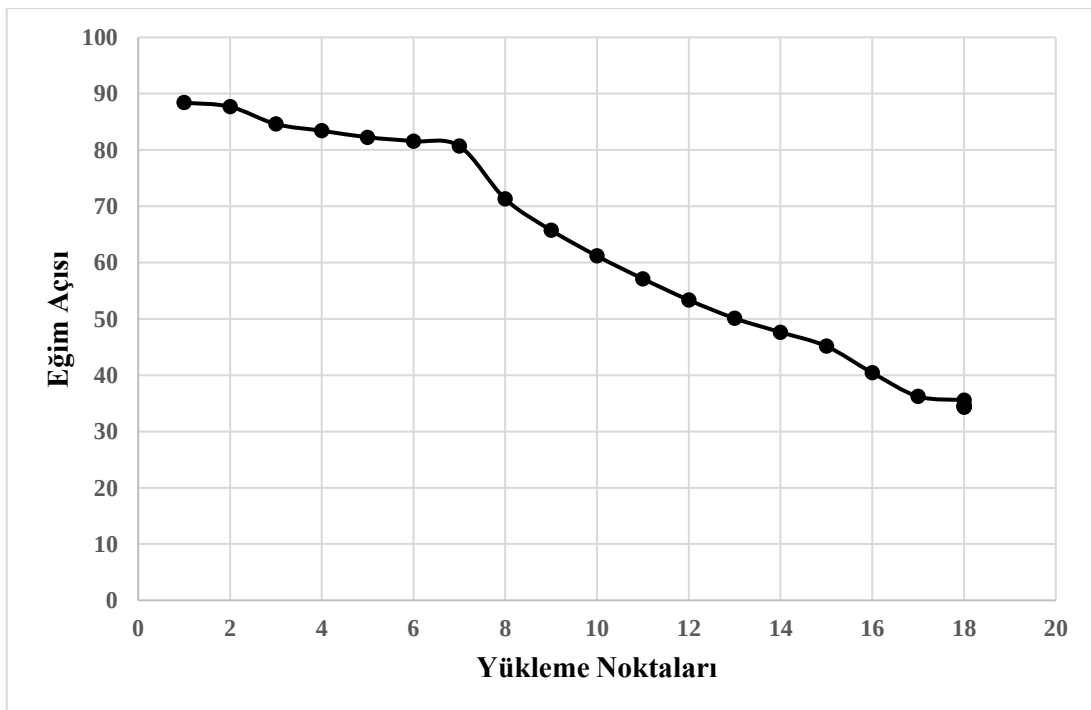
Şekil 4.114. NOR-C60-20 deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.115).



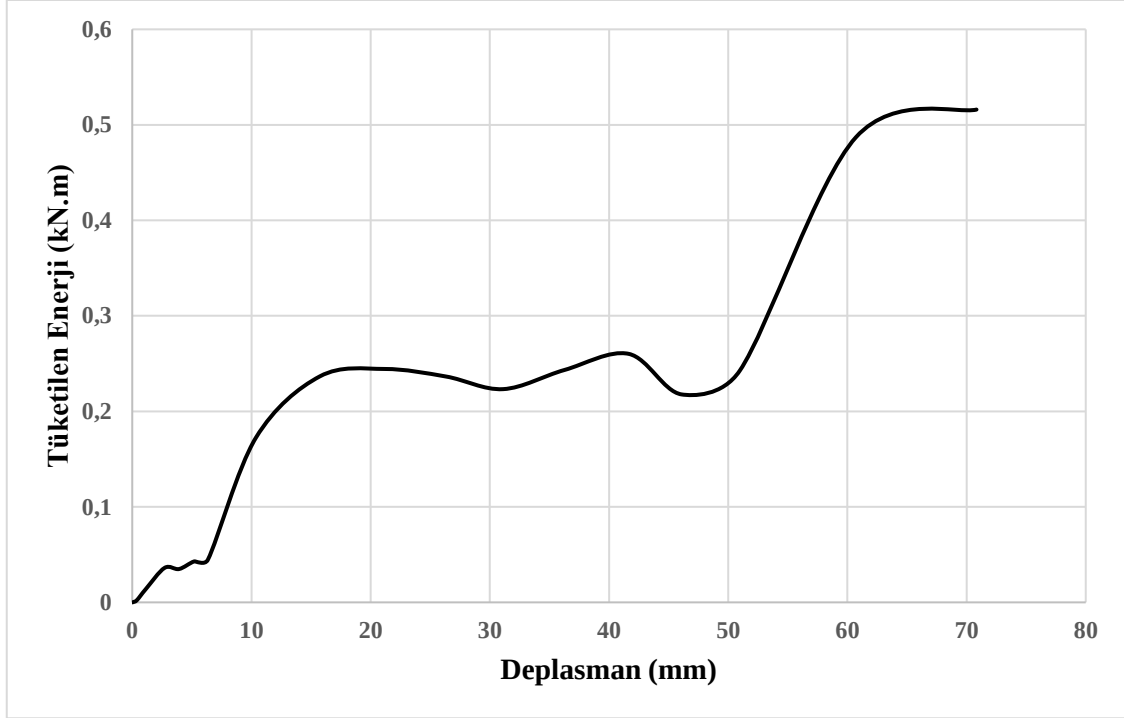
Şekil 4.115. NOR-C60-20 deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemde yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.116'da gösterilmiştir.

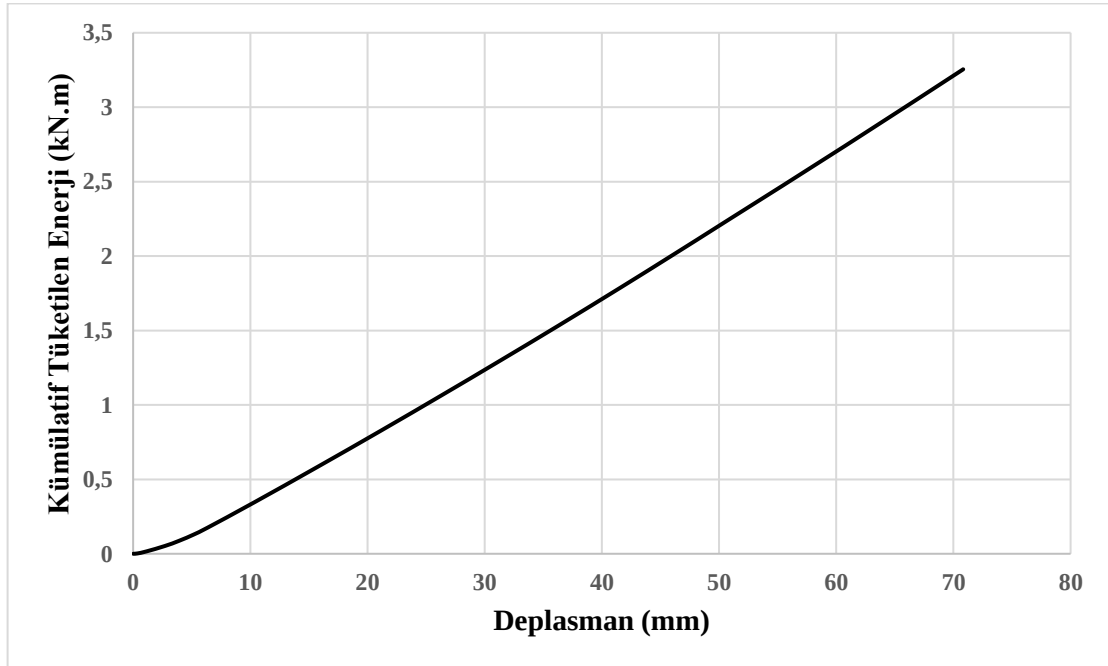


Şekil 4.116. NOR-C60-20 deney elemanının eğim açısı grafiği

Deney elemanının her bir yüklemedeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.117’dedir. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.118’de verilmiştir.



Şekil 4.117. NOR-C60-20 deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.118. NOR-C60-20 deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.11. Deney 11 (NOR-C60-10)

Bu eleman C60 basınç dayanıma sahip, 10 cm etriye aralıklı, normal beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.119’dadır. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.119. NOR-C60-10 elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.12. NOR-C60-10’a ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
5,27	0,00	İlk üç yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
10,54	0,01	
15,13	0,01	
25,48	0,75	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
30,93	2,19	Yeni eğilme çatlakları oluştu. Daha önce oluşan çatlakların boyları yaklaşık 8 cm uzadı.
35,74	3,41	Sol yükleme noktasının 10 cm solunda yeni çatlak oluştu. Önceki çatlak boyları yaklaşık 2 cm uzadı.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
40,79	5,19	Yüklemeye noktasındaki çatlakların boyları uzadı ve yüklemeye noktaları ile mesnetler arasındaki bölgede yeni çatlaklar oluştu.
45,26	8,48	İki yüklemeye noktasının ortasındaki çatlakta dallanma meydana geldi.
43,33	12,34	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Deplasman kontrolüne geçildi.</u>
41,50	18,25	İki yüklemeye noktası arasındaki çatlaklarda dallanmalar meydana geldi. Önceki çatlakların genişlikleri arttı.
42,33	23,28	Önceki çatlak genişlikleri arttı. Çatlakların boyları bir miktar uzadı.
43,50	35,12	Çatlak genişlikleri arttı. Yeni çatlak oluşmadı.
44,40	40,06	Çatlak genişlikleri arttı. İki yüklemeye noktası arasında yeni çatlaklar oluştu.
44,70	45,00	Çatlak genişlikleri yaklaşık 2 mm oldu.
47,22	51,43	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri artmaya devam etti.</u>
44,70	60,15	Sol yüklemeye noktasında basınç çatlağı meydana geldi.
43,22	70,14	Basınç bölgesindeki çatlaklar arttı. Çekme bölgesinde yeni çatlaklar oluştu.
41,03	80,00	İki yüklemeye noktası arasındaki basınç bölgesinde kırılma oldu. Çekme çatlakları kirişin basınç bölgesinin en dış lifine kadar ulaştı.
41,20	90,36	Basınç çatlakları büyüdü. Çekme çatlağı genişlikleri arttı.
41,20	100,05	Basınç çatlakları büyüdü. Çekme çatlağı genişlikleri arttı.
41,20	110,64	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 25 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.120).



Şekil 4.120. NOR-C60-10 elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 45 kN yük seviyesinde ve 12,34 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.121’de görülmektedir.



Şekil 4.121. NOR-C60-10 deney elemanının akma anındaki durumu

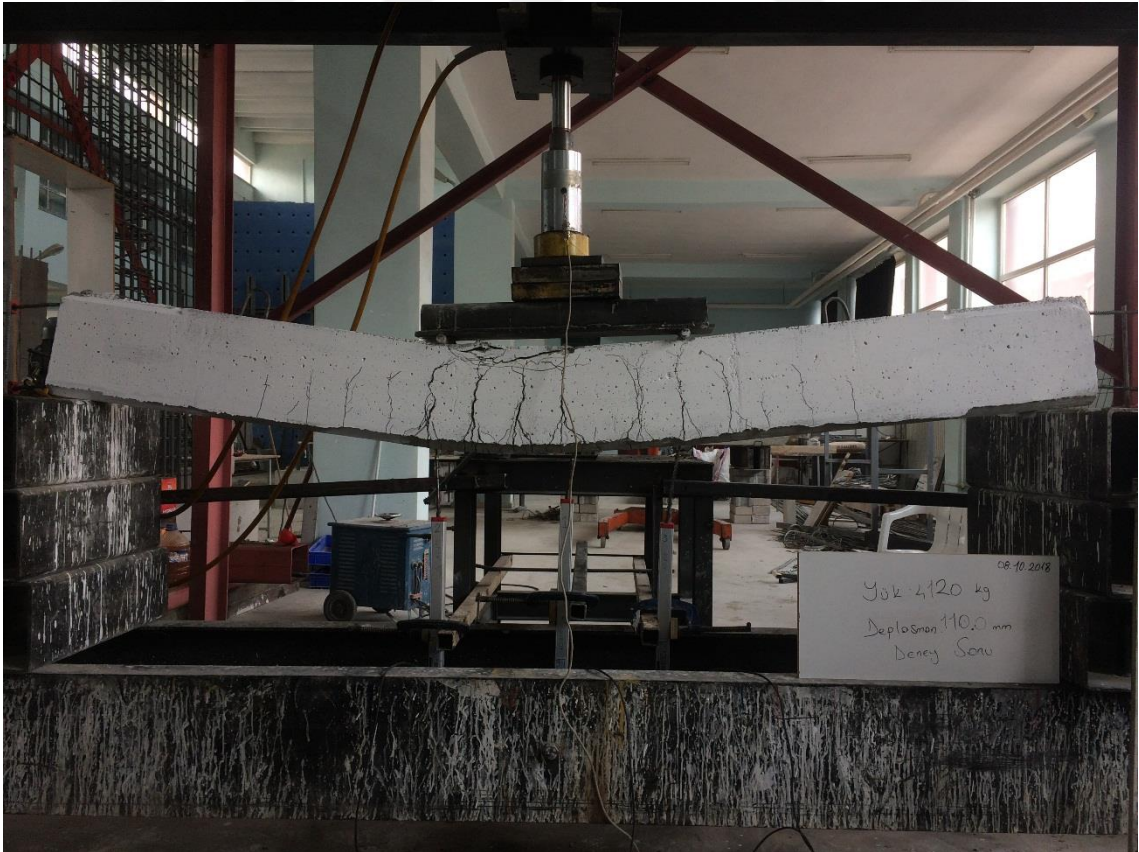
Deney elemanı maksimum yüke 47,22 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 51,43 mm olup basınç çatlakları oluşmamıştır (Şekil 4.122).

Elemana yük verme işlemi 110 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Bu noktada belirgin basınç ve çekme çatlakları oluşmuş fakat kesme çatlakları gözlemlenmemiştir (Şekil 4.123). Basınç bölgesi ciddi miktarda ezildiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.124).

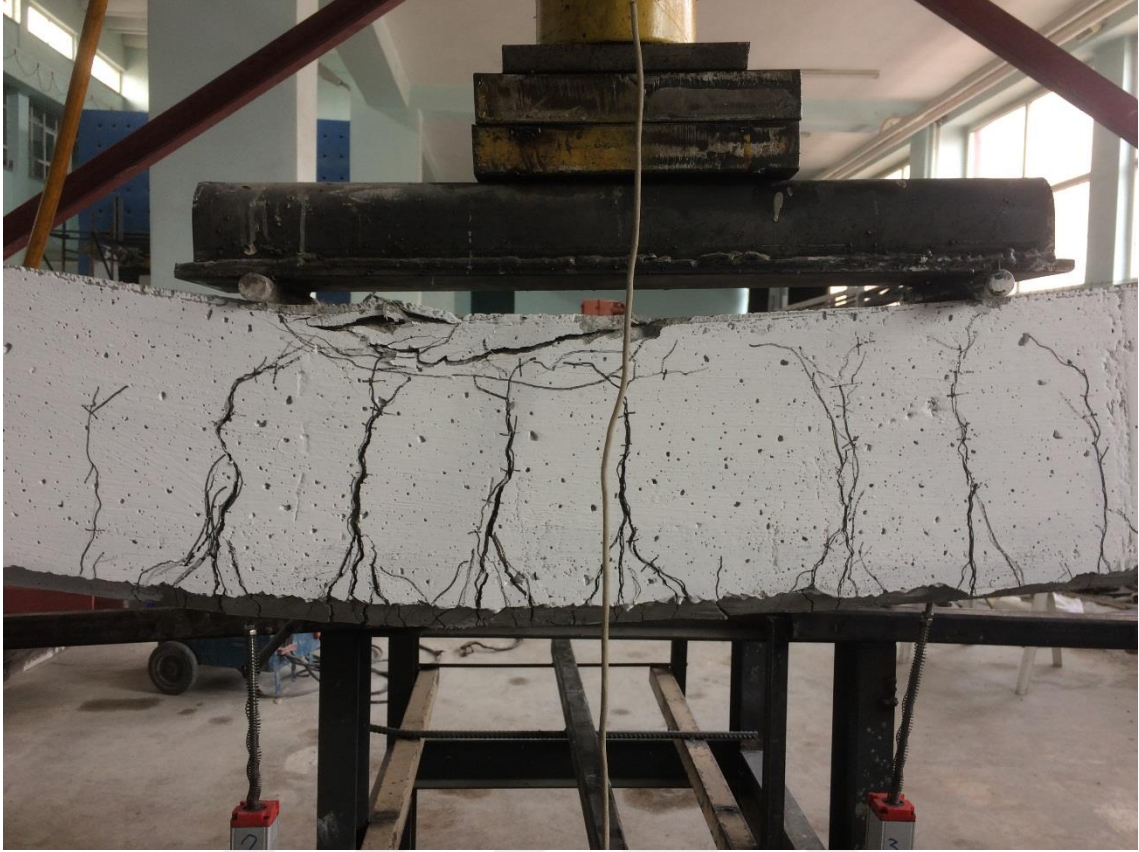
NOR-C60-10 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.125'te verilmiştir.



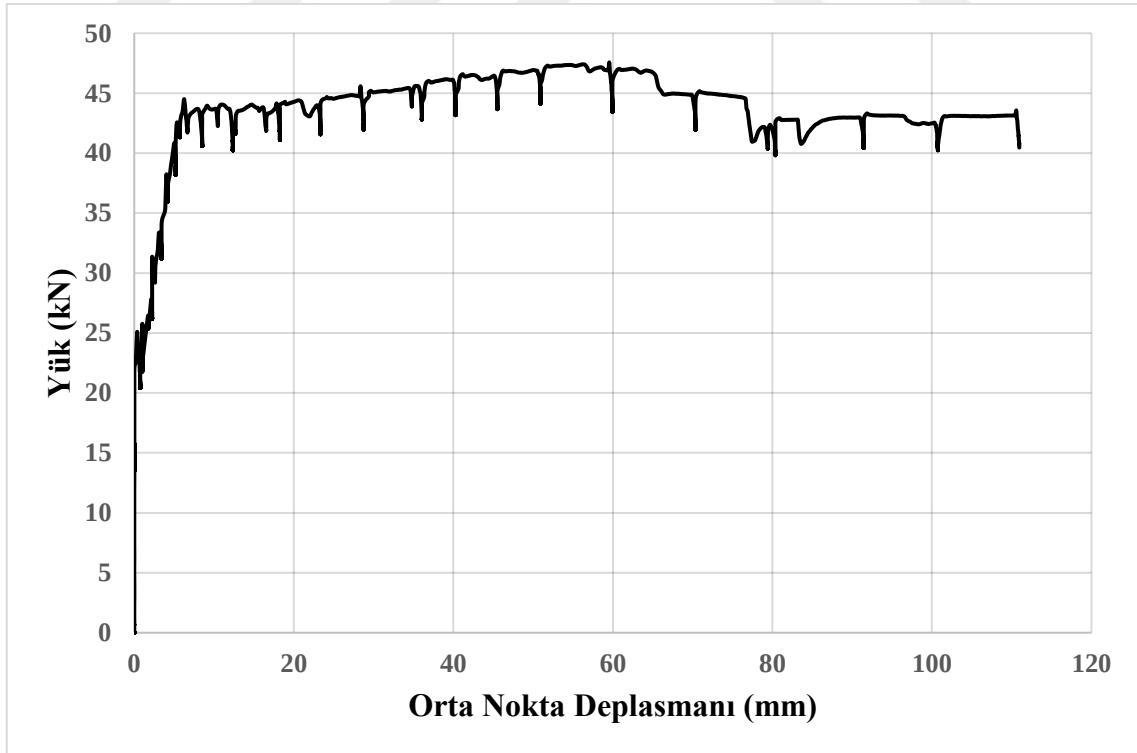
Şekil 4.122. NOR-C60-10 deney elemanının maksimum yük anındaki durumu



Şekil 4.123. NOR-C60-10 deney elemanının deney sonundaki durumu

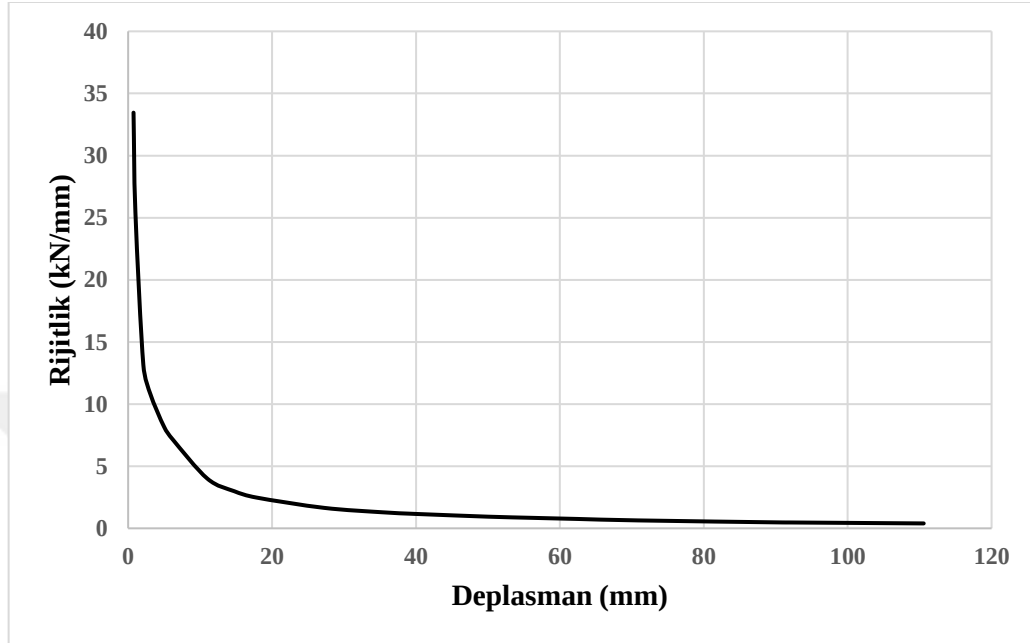


Şekil 4.124. NOR-C60-10 deney elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



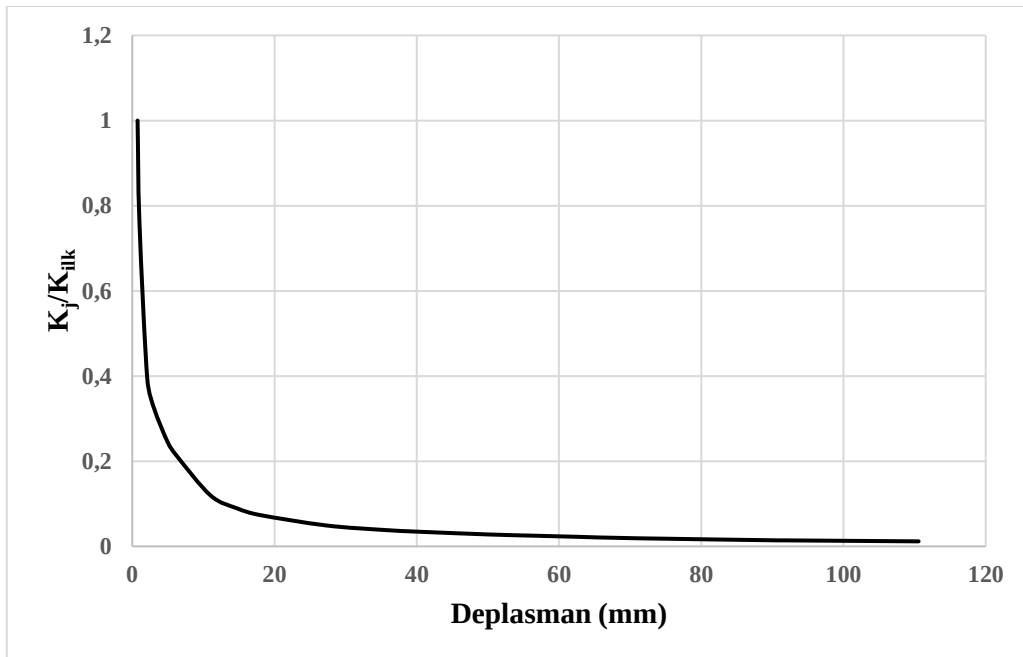
Şekil 4.125. NOR-C60-10 deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.126’da gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



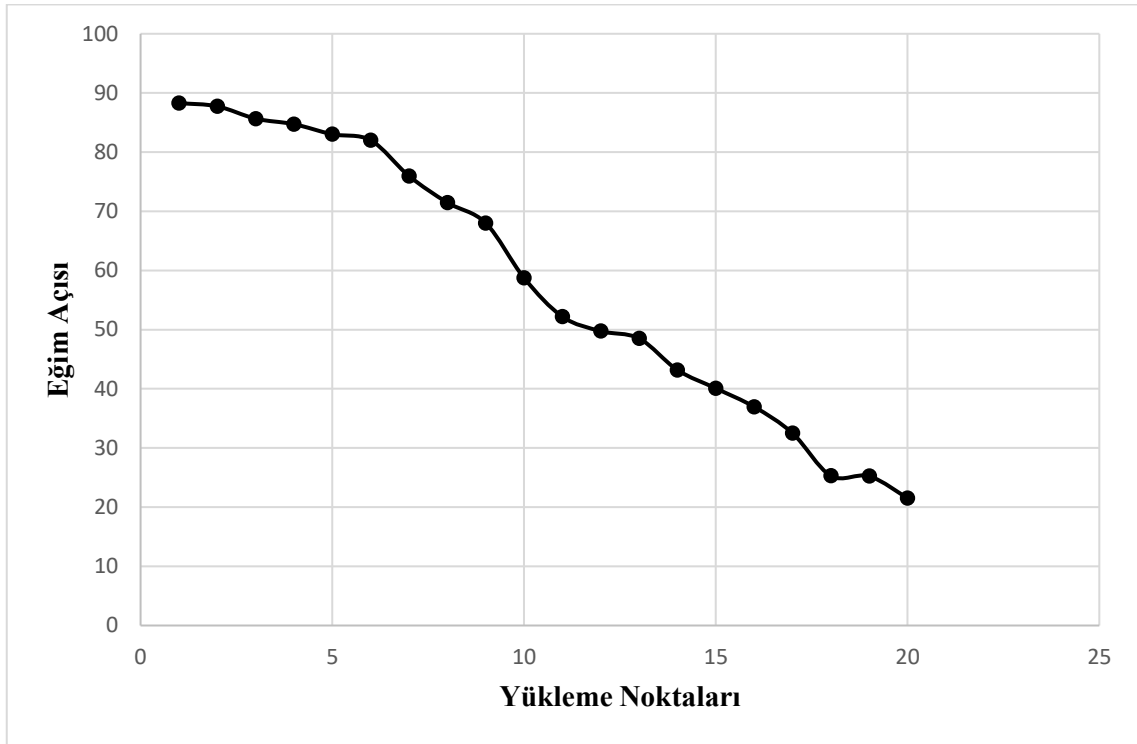
Şekil 4.126. NOR-C60-10 deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.127).



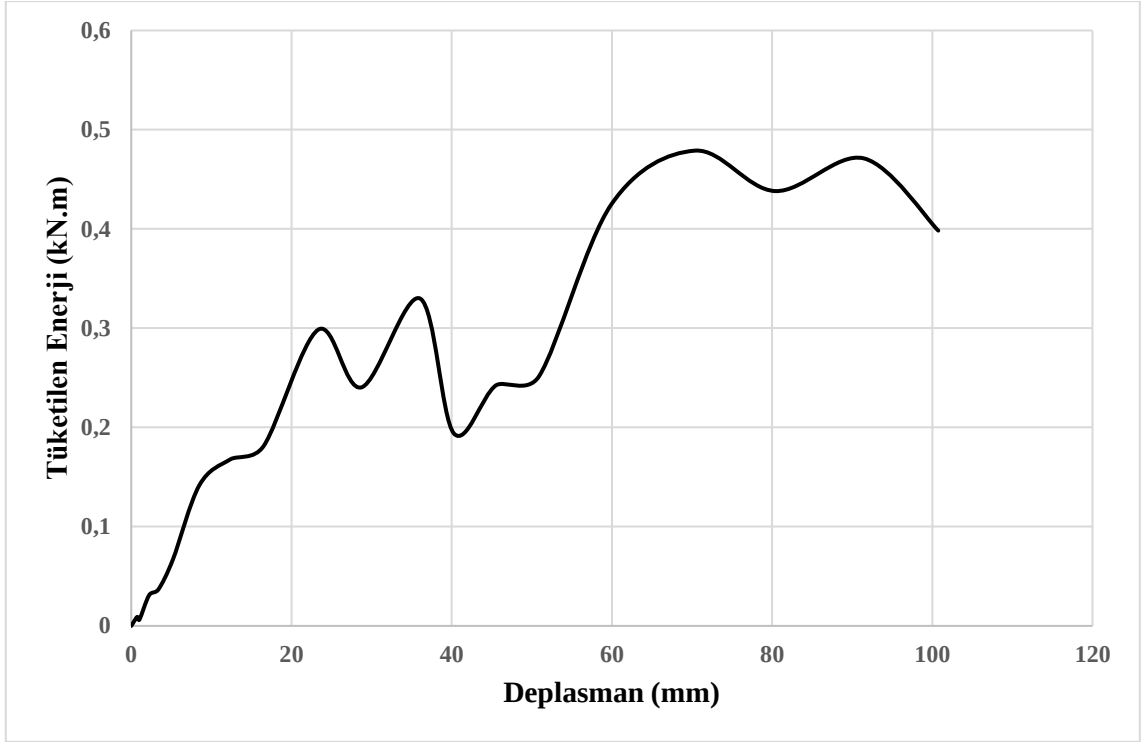
Şekil 4.127. NOR-C60-10 deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemede yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.128’de gösterilmiştir.

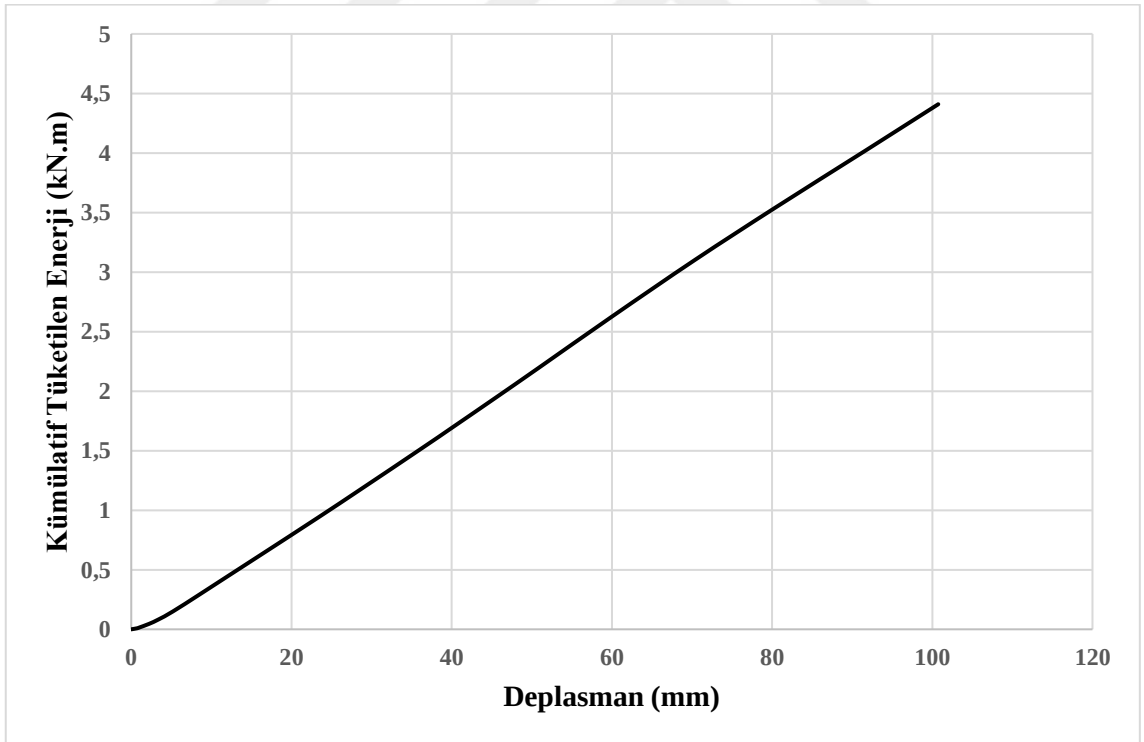


Şekil 4.128. NOR-C60-10 deney elemanın eğim açısı grafiği

Deney elemanın her bir yüklemedeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.129’dadır. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.130’da verilmiştir.



Şekil 4.129. NOR-C60-10 deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.130. NOR-C60-10 deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.12. Deney 12 (NOR-C60-5)

Bu eleman C60 basınç dayanıma sahip, 5 cm etriye aralıklı, normal beton ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.131'dedir. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.131. NOR-C60-5 elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.13. NOR-C60-Etsz'e ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
5,46	0,26	İlk üç yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
10,21	0,44	
19,86	0,95	
25,03	2,34	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
30,14	3,99	Yeni eğilme çatlakları oluştu. Yeni oluşan çatlakların boyları yaklaşık 10 cm uzunluğundadır.
35,03	5,00	İki yükleme noktası arasında yeni eğilme çatlakları oluştu. Önceki çatlakların boyları uzadı.
40,02	6,44	Sol yükleme noktasının yaklaşık 25 cm solunda üç yeni çatlak oluştu. Önceki çatlakların boyları yaklaşık 1-2 cm uzadı
45,14	8,15	Çatlakların boyları 1-2 cm uzadı.
46,00	12,00	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. İki yükleme noktası arasındaki çatlakların birinde dallanma meydana geldi. Deplasman kontrolüne geçildi.</u>
47,09	17,23	Çatlak boylarında bir artış gözlemlenmezken, çatlaklarda dallanmalar oluştu.
46,33	21,03	Çatlak genişlikleri arttı.
47,02	25,04	Çatlak genişlikleri 2 mm oldu.
50,25	29,87	Çatlak genişlikler arttı. Çatlaklarda dallanmalar meydana geldi.
51,80	35,41	Çatlak genişlikleri arttı. Sol yükleme noktasının hemen solundaki çatlağın boyu yaklaşık 7 cm uzadı.
51,49	40,66	Çatlak genişlikleri arttı.
51,84	46,25	Çatlak genişlikleri arttı.
51,11	50,12	Çatlak genişlikleri arttı. Sol yükleme noktasının hemen sağında yaklaşık 20 cm uzunluğunda yeni çatlak meydana geldi.
52,27	59,13	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri artmaya devam etti. Yeni çatlak oluştu. Sol yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi.</u>
50,38	71,01	Çatlak genişlikleri arttı. İki yükleme noktası arasında basınç ezilmesi oluştu.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
47,02	80,57	Çatlak genişlikleri yaklaşık 2 cm oldu. Basınç ezilmeleri arttı.
43,75	91,66	Çatlak genişlikleri arttı. Basınç ezilmeleri arttı.
44,55	101,01	Çatlak genişlikleri arttı. Basınç ezilmeleri arttı.
44,95	111,55	Çatlak genişlikleri arttı. Basınç ezilmeleri arttı.
45,63	121,08	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 25 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.132).



Şekil 4.132. NOR-C60-5 elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 46 kN yük seviyesinde ve 12,13 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.133'te görülmektedir.

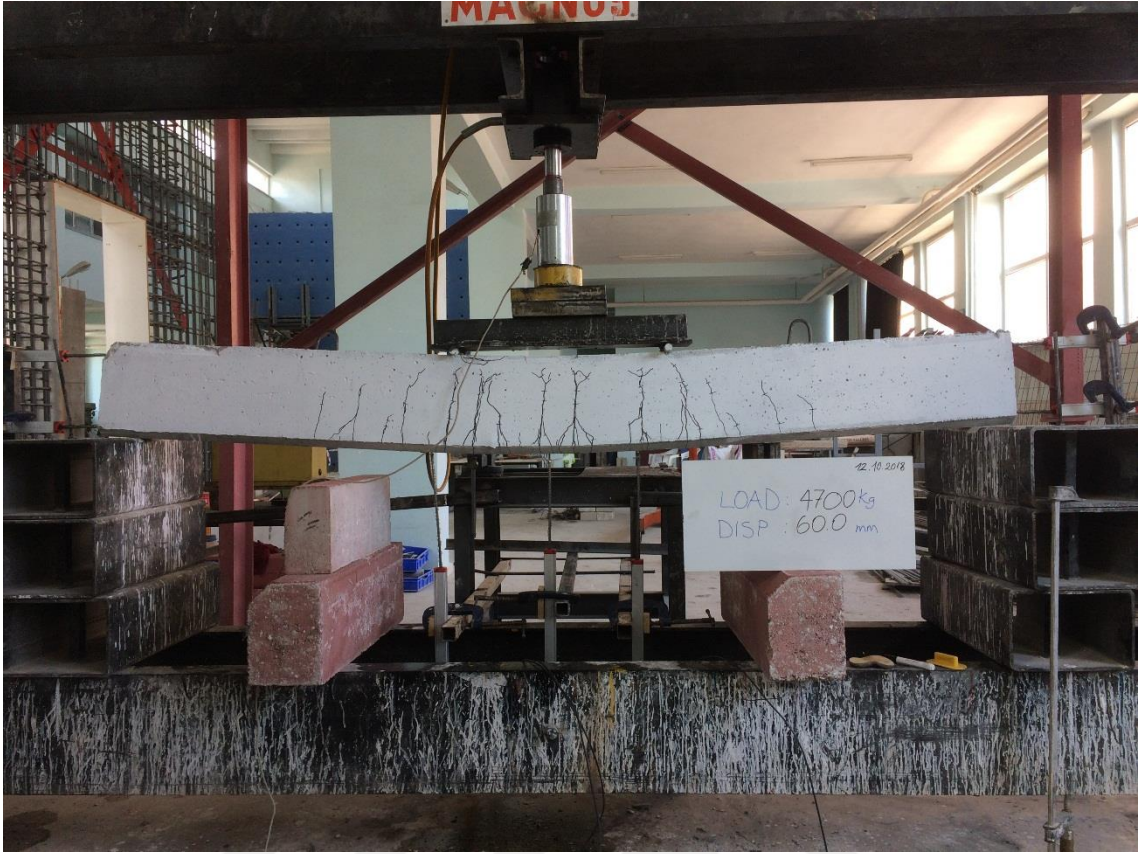


Şekil 4.133. NOR-C60-5 deney elemanın akma anındaki durumu

Deney elemanı maksimum yüke yaklaşık 52 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 59,13 mm olup basınç çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.134).

Elemana yük verme işlemi 121,08 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Bu noktada ciddi miktarda basınç çatlağı oluşmuştur. Basınç çatlağı büyük olduğu ve eleman yük taşıyamaz hale geldiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.135).

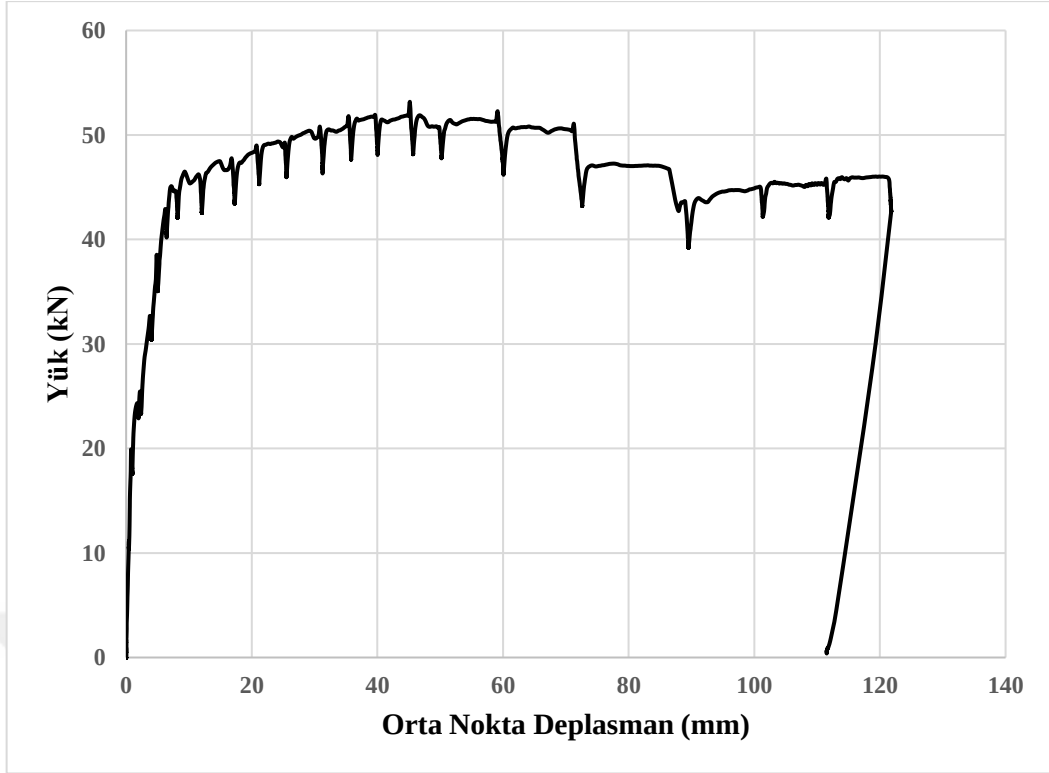
NOR-C60-5 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.136'da verilmiştir.



Şekil 4.134. NOR-C60-5 deney elemanının maksimum yük anındaki durumu

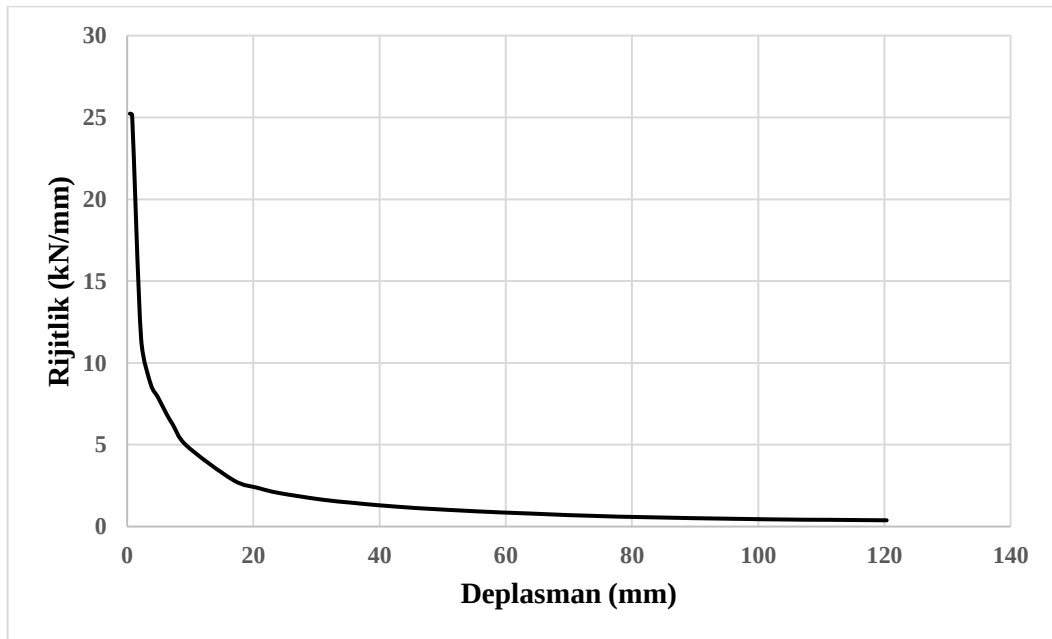


Şekil 4.135. NOR-C60-5 deney elemanının deney sonundaki durumu



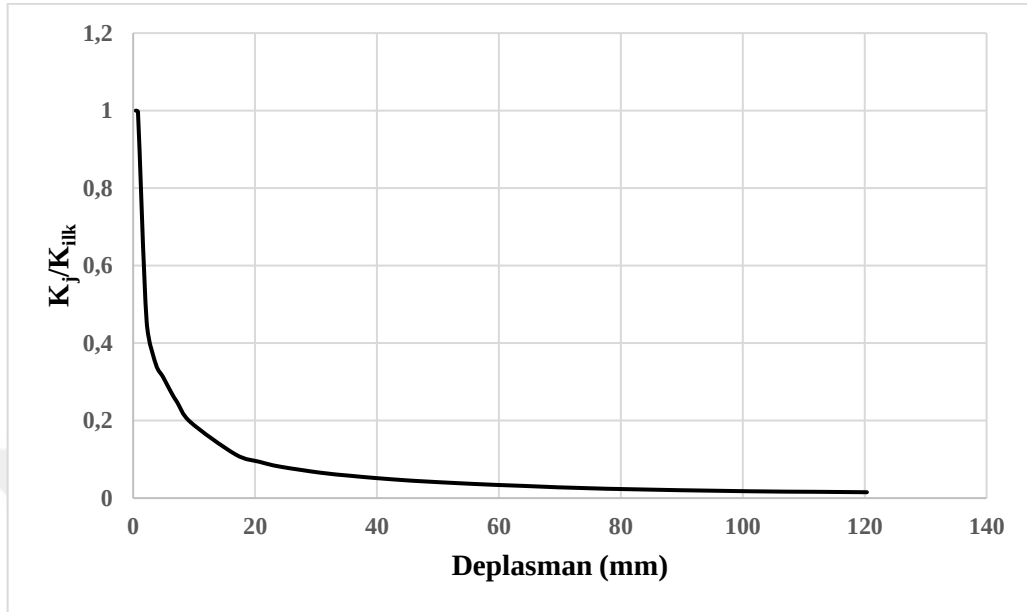
Şekil 4.136. NOR-C60-5 deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.137’de gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



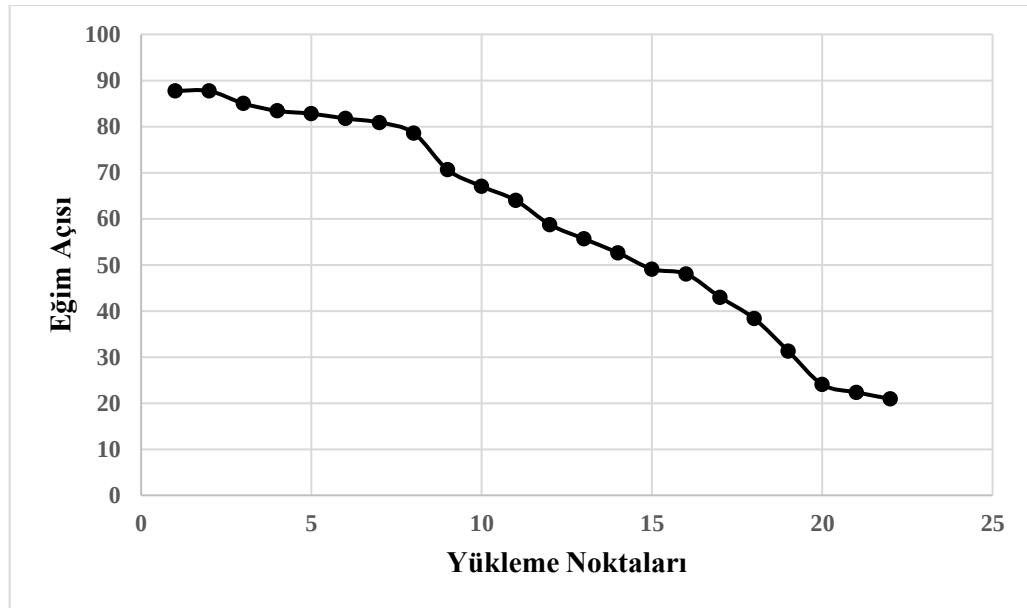
Şekil 4.137. NOR-C60-5 deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.138).



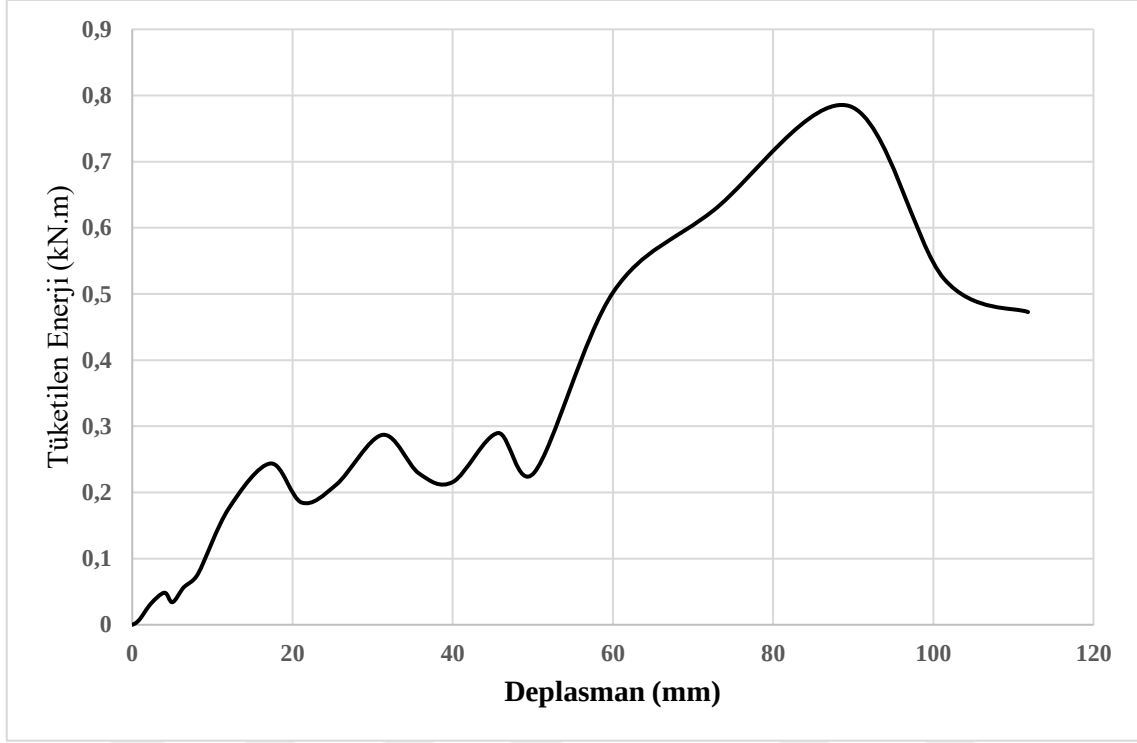
Şekil 4.138. NOR-C60-5 deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemde yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.139'da gösterilmiştir.

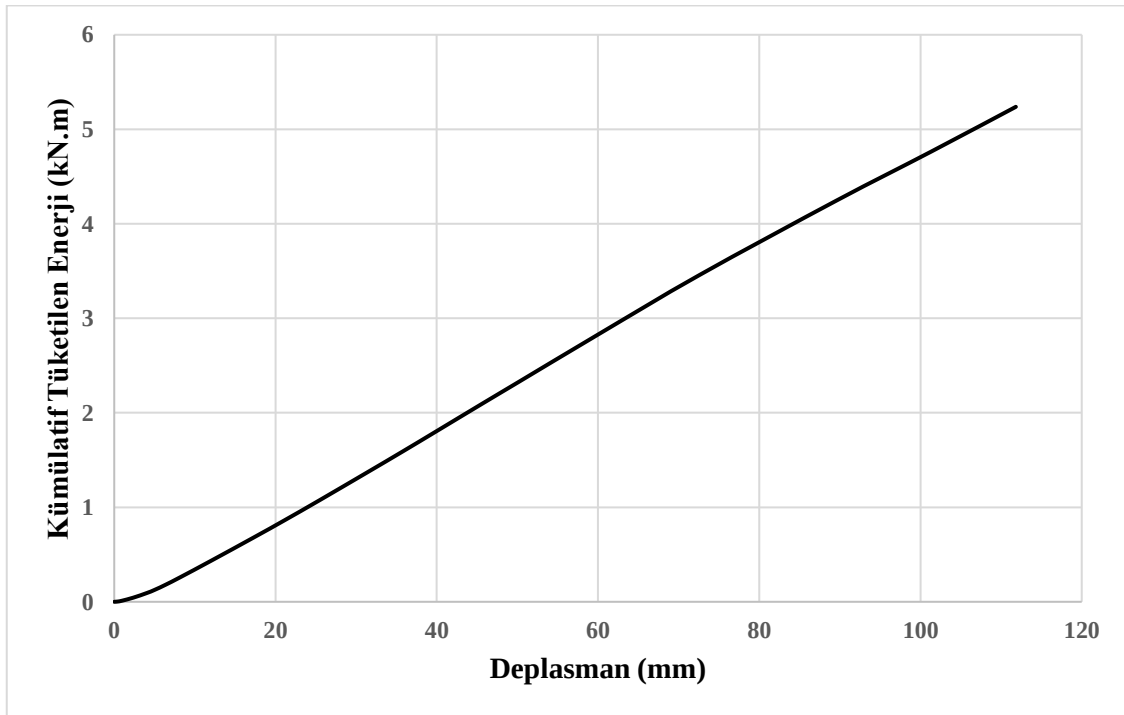


Şekil 4.139. NOR-C60-5 deney elemanının eğim açısı grafiği

Deney elemanının her bir yüklemedeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.140'da. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.141'de verilmiştir.



Şekil 4.140. NOR-C60-5 deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.141. NOR-C60-5 deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.13. Deney 13 (KYB-C60-Etsz)

Bu eleman C60 basınç dayanıma sahip, etriyesiz, KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.142'dedir. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.142. KYB-C60-Etsz elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.14. KYB-C60-Etsz'e ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
7,12	0,02	İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
10,28	0,20	
17,12	1,37	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
19,78	2,52	Yeni eğilme çatlakları oluştu. Daha önce oluşan çatlakların boyları yaklaşık 1-2 cm uzadı.
25,75	4,18	Önceki çatlakların boyları yaklaşık 5-6 cm uzadı

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
31,82	5,68	Sağ yükleme noktasının yaklaşık 30 cm sağında iki yeni çatlak oluştu. Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
35,31	6,69	İki yükleme noktası dışındaki çatlakların boyları 5-6 cm uzadı.
40,39	8,28	Sol yükleme noktasının yaklaşık 30 cm solunda yeni bir çatlak oluştu.
42,13	13,76	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi. Çatlaklarda dallanmalar meydana geldi.</u>
42,22	21,55	Sol yükleme noktasının altındaki çatlaklar giriş en üst noktasına ulaştı.
42,25	26,29	Dallanma oluşan çatlaklar yatay yönde uzuyor.
42,32	31,33	Çatlak genişlikleri arttı. Dallanan çatlakların uzunlukları arttı.
42,51	34,71	Çatlak genişlikleri 2 mm oldu.
42,83	40,68	Çatlak genişlikleri arttı.
42,85	46,51	Çatlak genişlikleri arttı. İki yeni eğilme çatlağı oluştu.
43,10	51,25	Çatlak genişlikleri arttı.
44,01	60,66	Çatlak genişlikleri arttı. Sağ yükleme noktasında basınç ezilmesi oluştu.
44,80	71,37	Sol yükleme noktasında basınç ezilmesi oluştu. Çatlak genişlikleri arttı. Sol yükleme noktasının yaklaşık 40 cm solunda yeni bir çatlak oluştu.
44,61	79,80	Çatlak genişlikleri 1 cm oldu.
44,61	90,61	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 17 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.143).



Şekil 4.143. KYB-C60-Etsz elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 42 kN yük seviyesinde ve 13,76 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.144'te görülmektedir.



Şekil 4.144. KYB-C60-Etsz deney elemanın akma anındaki durumu

Deney elemanı maksimum yüke 44,80 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 71,37 mm olup basınç çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.145).



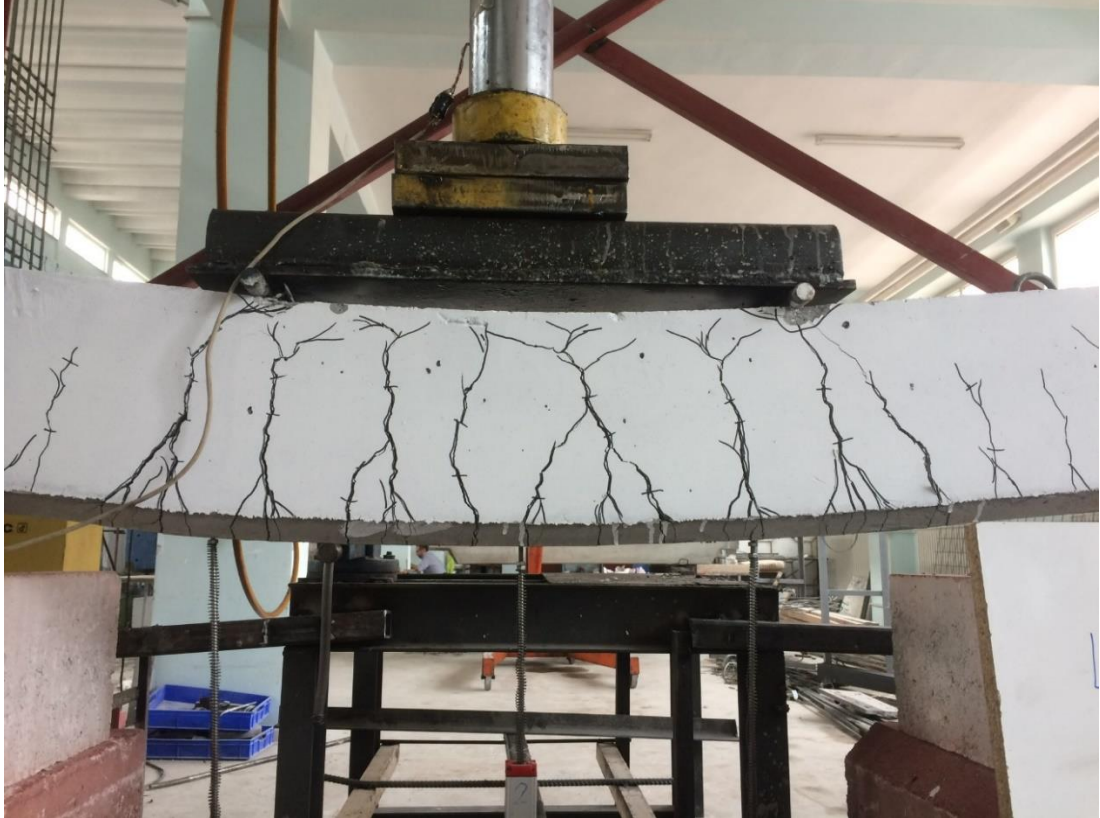
Şekil 4.145. KYB-C60-Etsz deney elemanının maksimum yük anındaki durumu

Elemana yük verme işlemi 90 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur (Şekil 4.146). Kesme kırılması olduğu için deneye son verilmiştir (Şekil 4.147).

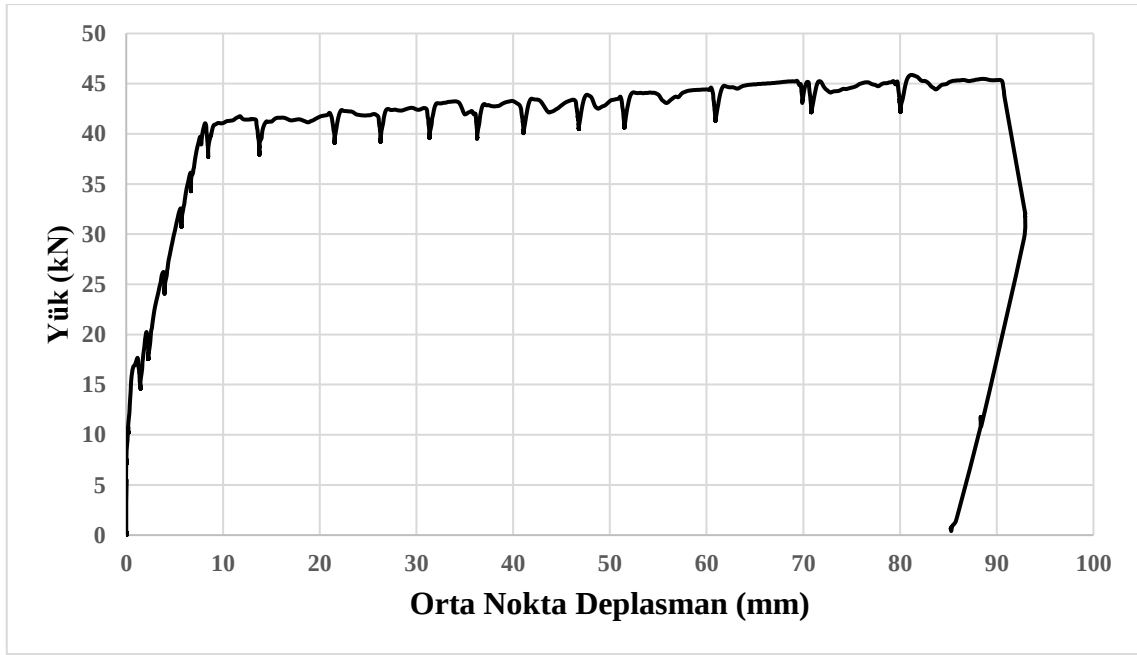
KYB-C60-10 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.148’de verilmiştir.



Şekil 4.146. KYB-C60-Etsz deney elemanının deney sonundaki durumu

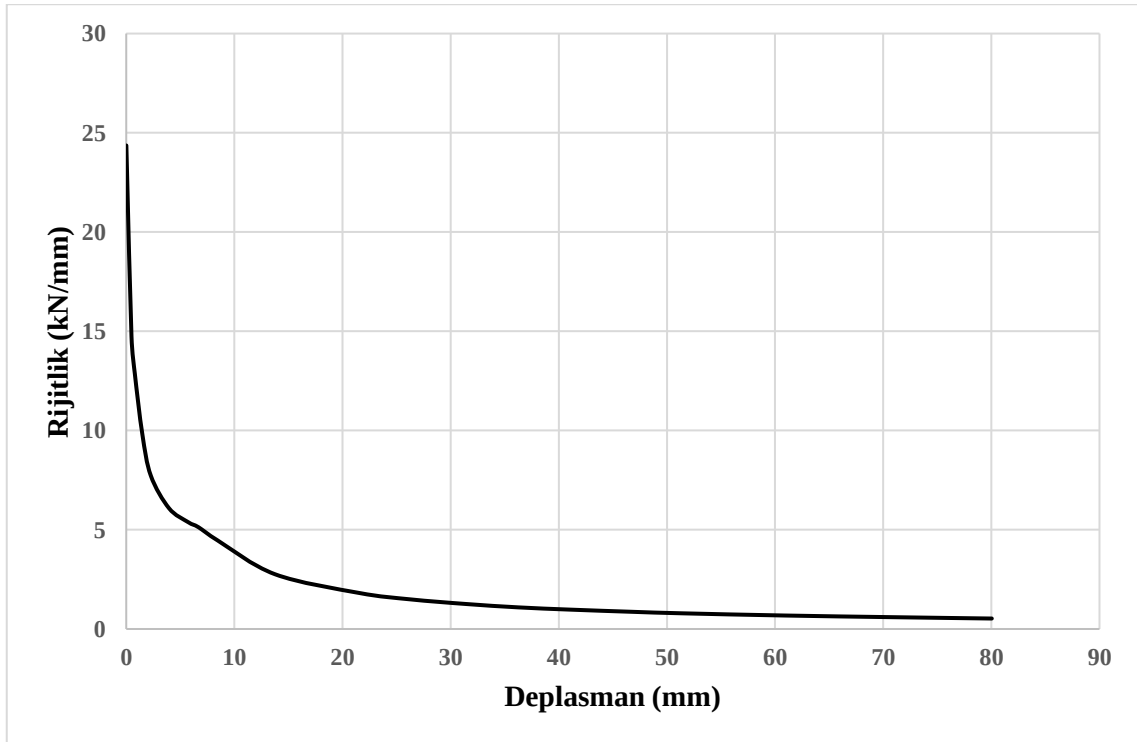


Şekil 4.147. KYB-C60-Etsz deney elemanının deney sonundaki durumu



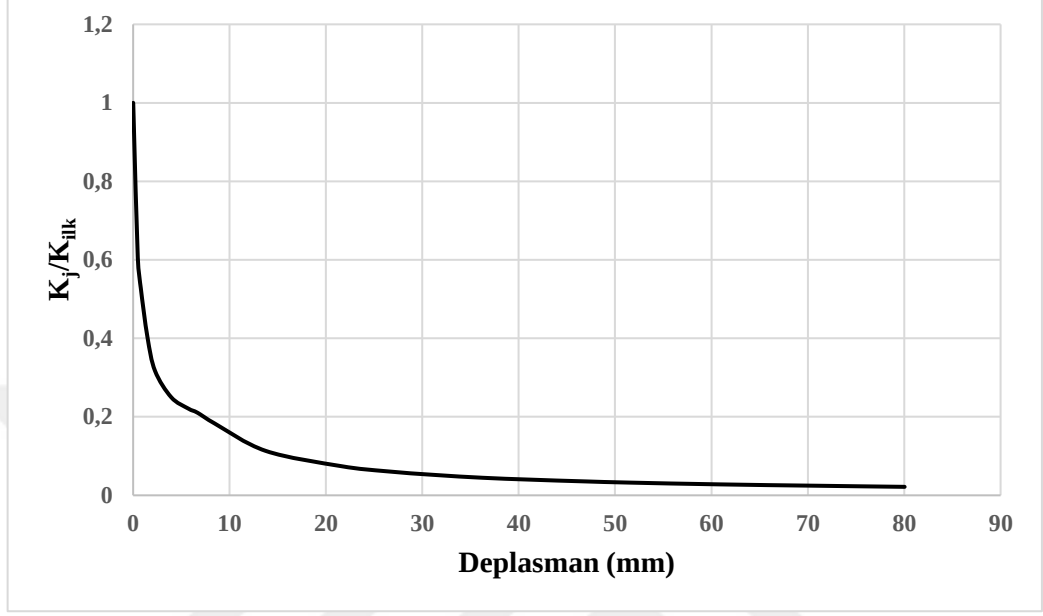
Şekil 4.148. KYB-C60-Etsz deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.149’da gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



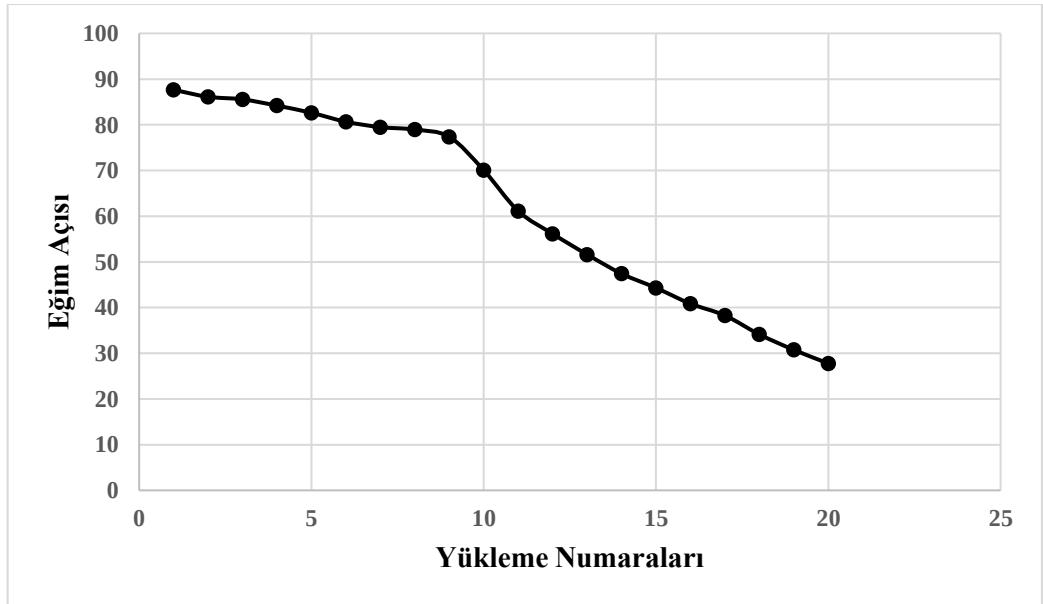
Şekil 4.149. KYB-C60-Etsz deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.150).



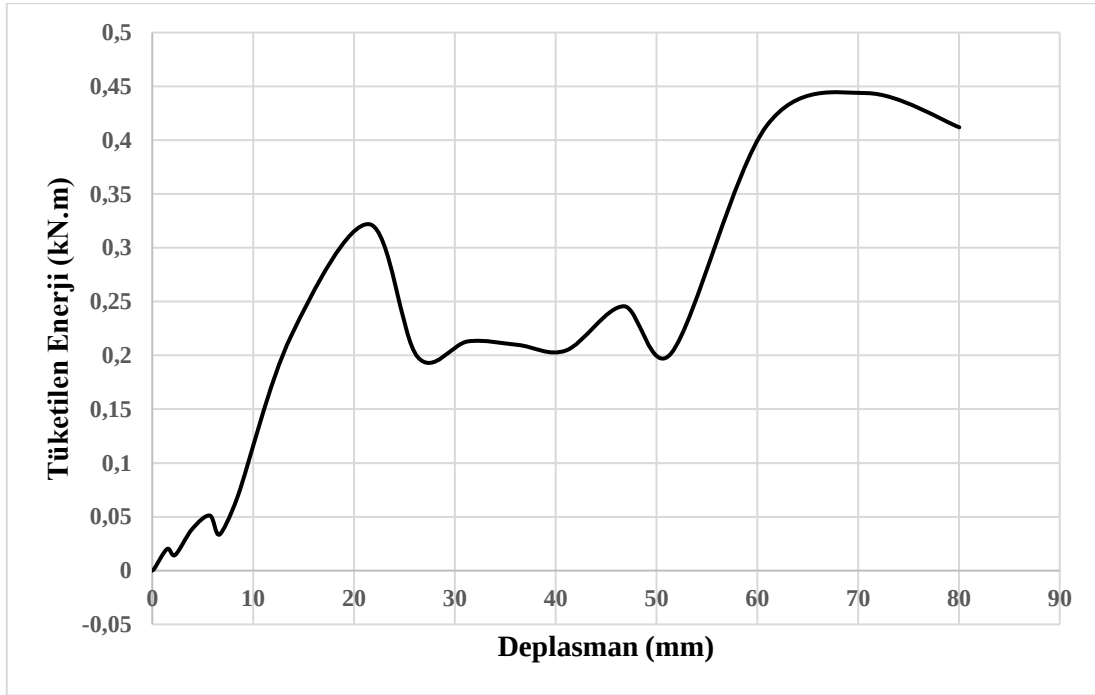
Şekil 4.150. KYB-C60-Etsz deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemde yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.151'de gösterilmiştir.

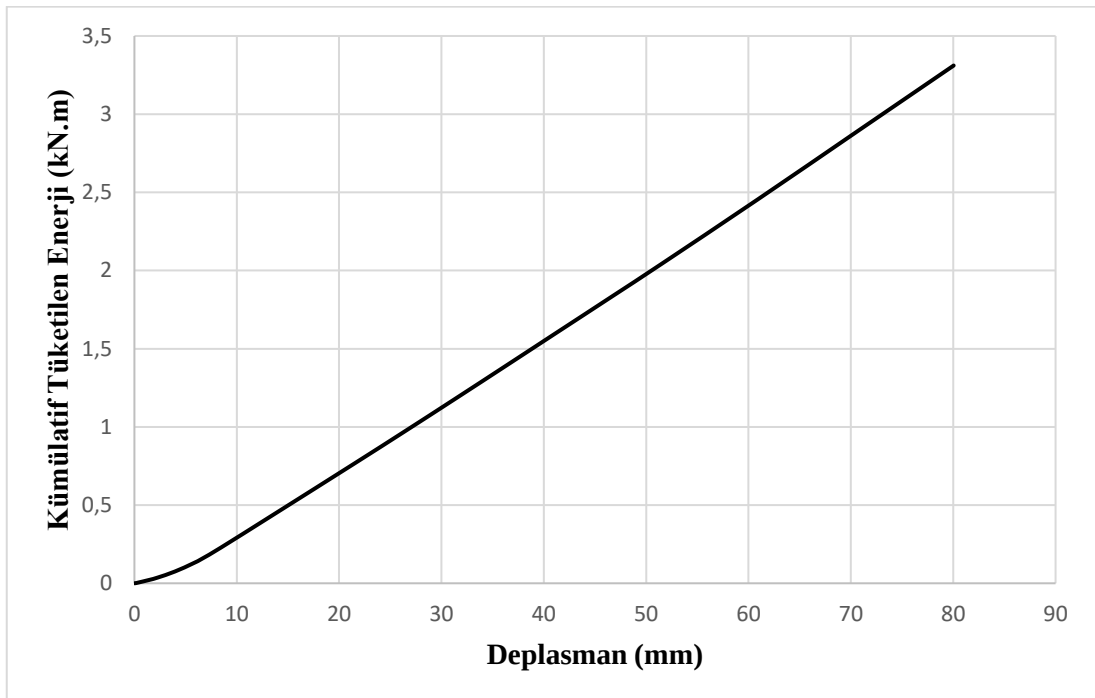


Şekil 4.151. KYB-C60-Etsz deney elemanının eğim açısı grafiği

Deney elemanının her bir yüklemedeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.152’dedir. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.153’te verilmiştir.



Şekil 4.152. KYB-C60-Etsz deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.153. KYB-C60-Etsz deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.14. Deney 14 (KYB-C60-20)

Bu eleman C60 basınç dayanıma sahip, 20 cm etriye aralıklı, KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.154'tedir. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.154. KYB-C60-20 elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.15. KYB-C60-20'ye ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
5,11	0,06	İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
10,06	0,45	
17,47	1,08	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
20,15	1,45	Yeni eğilme çatlakları oluştu. Daha önce oluşan çatlakların boyları yaklaşık 1-2 cm uzadı.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
26,77	2,86	Her iki yükleme noktasının dışında yaklaşık 15 cm uzunluğunda birer yeni çatlak oluştu. Diğer çatlakların boyları yaklaşık 1-2 cm uzadı.
30,31	3,39	Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
35,13	5,45	İki yükleme noktası arasında yeni eğilme çatlakları oluştu. Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
40,92	13,14	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi.</u>
42,77	20,48	Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı. Sağ yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi.
43,12	25,65	İki yükleme noktası arasındaki çatlaklarda dallanmalar meydana geldi. Önceki çatlakların genişlikleri arttı.
44,36	30,14	Önceki çatlak genişlikleri arttı.
45,49	36,66	Çatlak genişlikleri arttı. Sağ yükleme noktasının altındaki eğilme çatlağı, yükleme noktasına ulaştı.
46,14	40,35	Çatlak genişlikler arttı.
45,79	46,36	Çatlak genişlikleri yaklaşık 2 mm oldu.
46,78	51,87	Çatlak genişlikleri arttı. İki eğilme çatlağı oluştu.
46,01	61,30	Çatlak genişlikleri arttı.
47,96	71,77	Çatlak genişlikleri arttı. Sağ yükleme noktasının en sağındaki çatlağın boyu uzadı.
48,32	81,70	Sol yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi. Çatlakların genişlikleri arttı.
48,69	90,26	Çatlak genişlikleri 2 mm oldu.
48,67	100,39	Çekme çatlakları kirişin en üst noktasına ulaştı.
49,78	110,78	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri arttı.</u>
46,89	120,96	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 17 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.155).



Şekil 4.155. KYB-C60-20 elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 40 kN yük seviyesinde ve 13,14 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.156'da görülmektedir.



Şekil 4.156. KYB-C60-20 deney elemanının akma anındaki durumu

Deney elemanı maksimum yüke 49,78 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 110,78 mm olup basınç çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.157).



Şekil 4.157. KYB-C60-20 deney elemanının maksimum yük anındaki durumu

Elemana yük verme işlemi 120 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Bu noktada belirgin basınç ve çekme çatlakları oluşmuş fakat kesme çatlakları gözlemlenmemiştir (Şekil 4.158). Basınç bölgesi ezildiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.159).

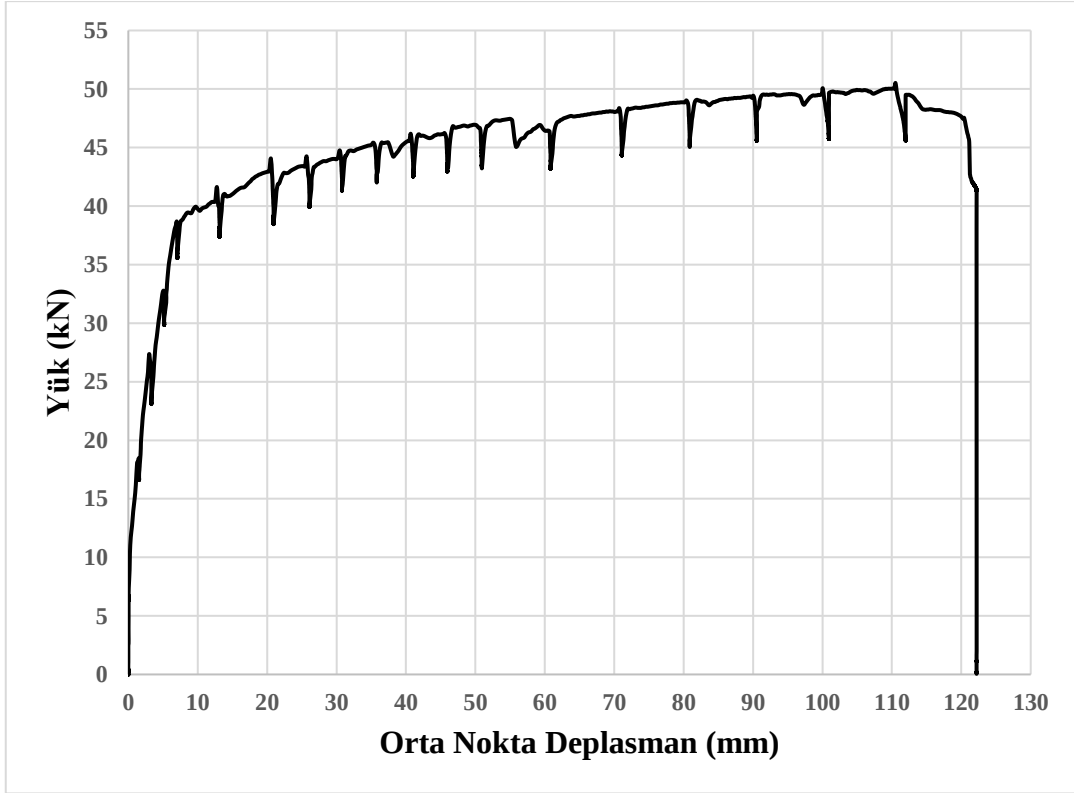
KYB-C60-20 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.160'da verilmiştir.



Şekil 4.158. KYB-C60-20 deney elemanın deney sonundaki durumu

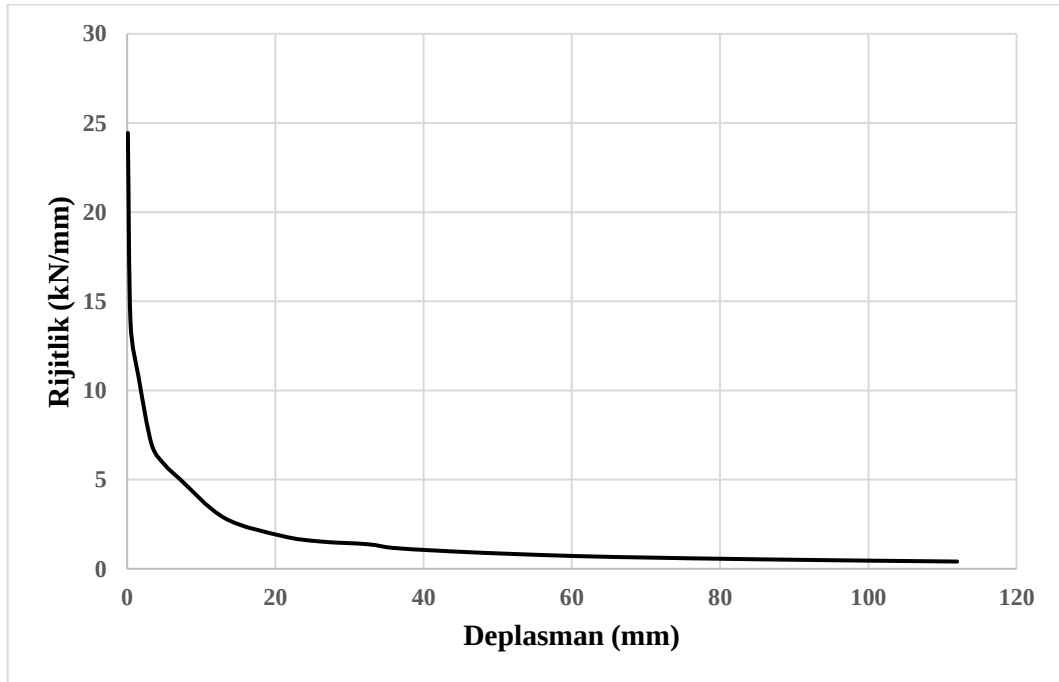


Şekil 4.159. KYB-C60-20 deney elemanın deney sonundaki çatlak dağılımı



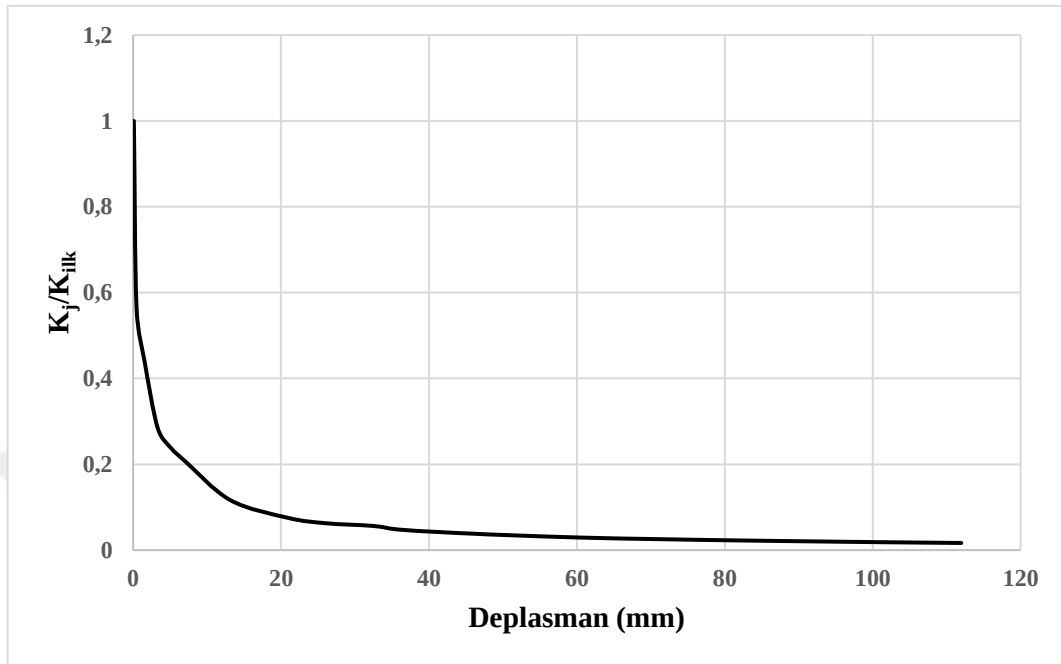
Şekil 4.160. KYB-C60-20 deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.161’de gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



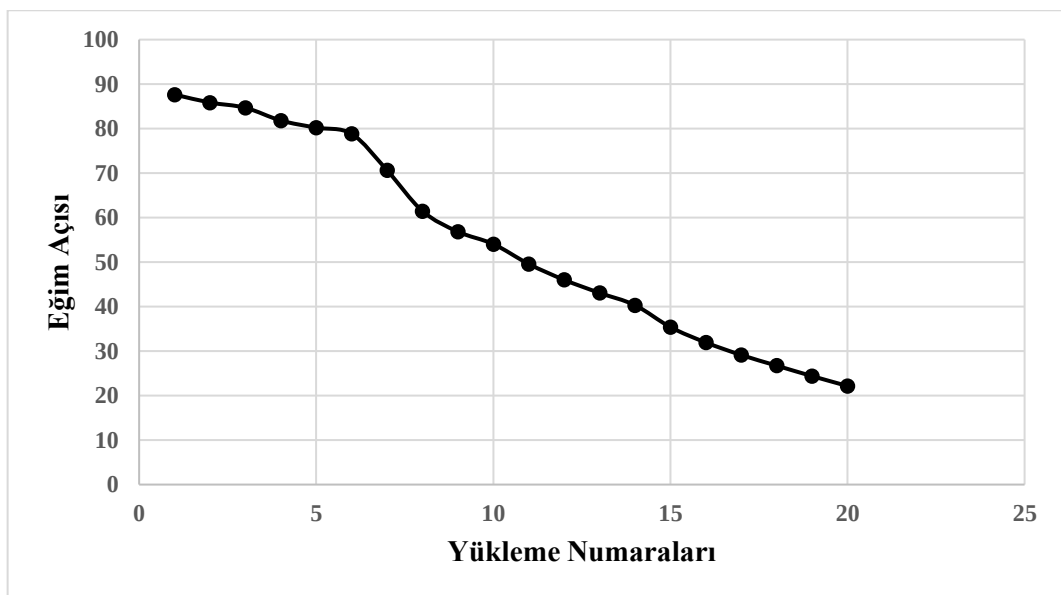
Şekil 4.161. KYB-C60-20 deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.162).



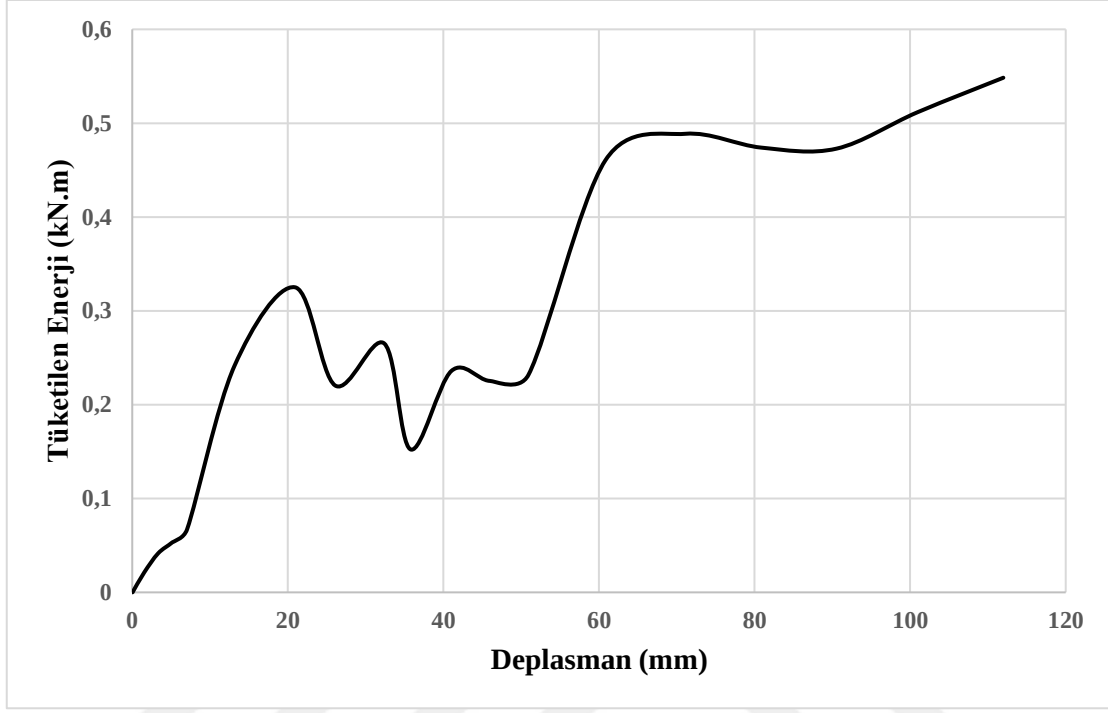
Şekil 4.162. KYB-C60-20 deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemde yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.163'te gösterilmiştir.

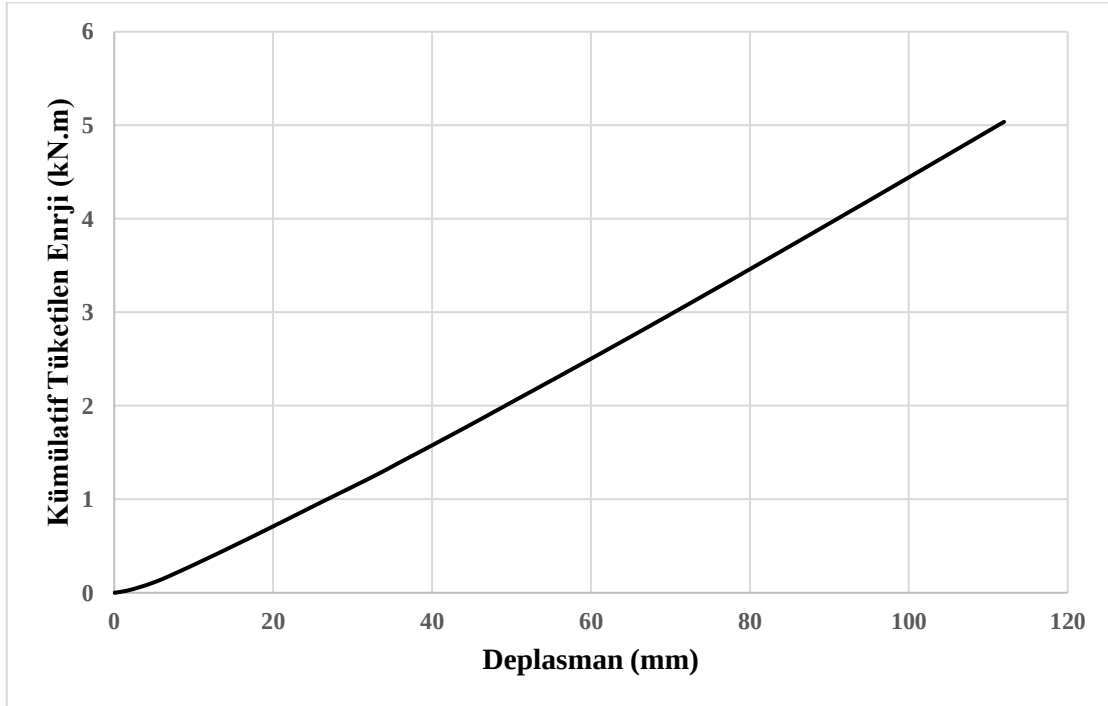


Şekil 4.163. KYB-C60-20 deney elemanının eğim açısı grafiği

Deney elemanının her bir yüklemedeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.164'tedir. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.165'te verilmiştir.



Şekil 4.164. KYB-C60-20 deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.165. KYB-C60-20 deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.15. Deney 15 (KYB-C60-10)

Bu eleman C60 basınç dayanıma sahip, etriyesiz, KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.166'dadır. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.166. KYB-C60-10 elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.16. KYB-C60-10'a ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
8,14	0,43	İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
10,00	0,64	
15,32	1,77	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
23,12	3,83	Yeni eğilme çatlakları oluştu. Daha önce oluşan çatlakların boyları yaklaşık 1-2 cm uzadı.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
27,06	4,92	Her iki yükleme noktasının dışında yaklaşık 12 cm uzunluğunda birer yeni çatlak oluştu. Diğer çatlakların boyları yaklaşık 1-2 cm uzadı.
35,08	7,47	Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
40,42	8,78	İki yükleme noktası arasında yeni eğilme çatlakları oluştu. Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
40,69	14,81	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi. Sol yükleme noktasının yaklaşık 30 cm solunda yeni bir çatlak oluştu. Sol yükleme noktasında basınç ezilmesi oldu.</u>
40,82	21,55	Sağ yükleme noktasının yaklaşık 40 cm sağında yeni bir çatlak oluştu. Önceki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
41,31	26,17	İki yükleme noktası arasındaki çatlaklarda dallanmalar meydana geldi. Önceki çatlakların genişlikleri arttı.
41,65	30,64	Önceki çatlak genişlikleri arttı.
41,92	35,67	Çatlak genişlikleri arttı. Sağ yükleme noktasının altındaki eğilme çatlağı, yükleme noktasına ulaştı.
42,55	40,54	Çatlak genişlikler arttı.
42,85	46,32	Çatlak genişlikleri yaklaşık 2 mm oldu.
43,20	50,59	Çatlak genişlikleri arttı. İki yeni eğilme çatlağı oluştu.
43,69	60,05	Çatlak genişlikleri arttı.
44,01	70,72	Çatlak genişlikleri arttı. Sağ yükleme noktasının en sağındaki çatlağın boyu uzadı.
45,05	81,06	Sol yükleme noktası altında yeni eğilme çatlağı oluştu. Çatlak genişlikleri arttı.
45,38	89,92	Sağ yükleme noktası altında ve iki yükleme noktası ortasında yeni eğilme çatlakları oluştu.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
44,70	100,44	Basınç çatlakları oluştu. Çekme çatlağı genişlikleri arttı.
45,51	111,01	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Sağ yükleme noktasında basınç ezilmesi meydana geldi. Çatlak genişlikleri arttı.</u>
44,80	120,63	Basınç çatlakları ve çatlak genişlikleri arttı.
45,25	131,01	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 15 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.167).



Şekil 4.167. KYB-C60-10 elemanın oluşan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 40 kN yük seviyesinde ve 14,81 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.168’de görülmektedir.



Şekil 4.168. KYB-C60-10 deney elemanının akma anındaki durumu

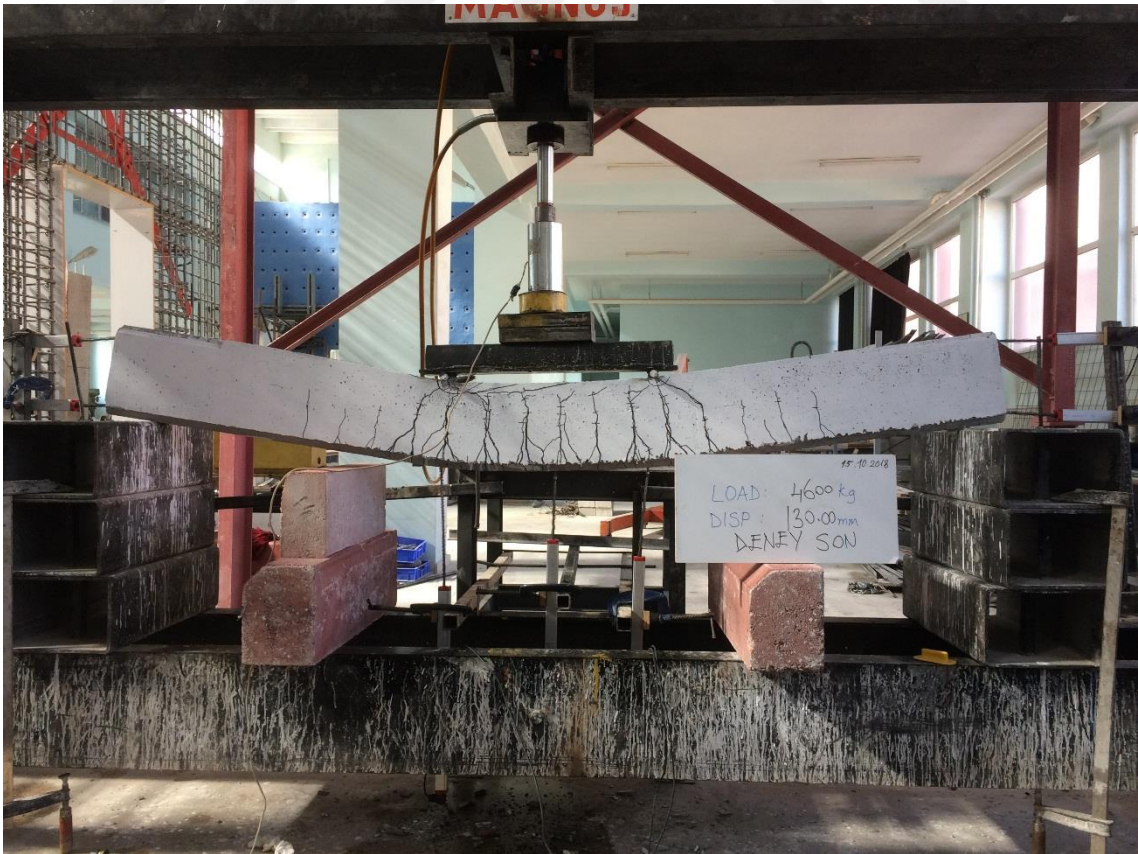
Deney elemanı maksimum yüke 45,51 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 111,01 mm olup basınç çatlakları oluşmuştur (Şekil 4.169).

Elemana yük verme işlemi 130 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Bu noktada belirgin basınç ve çekme çatlakları oluşmuş fakat kesme çatlakları gözlemlenmemiştir (Şekil 4.170). Basınç bölgesi ezildiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.171).

KYB-C60-10 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.172’de verilmiştir.



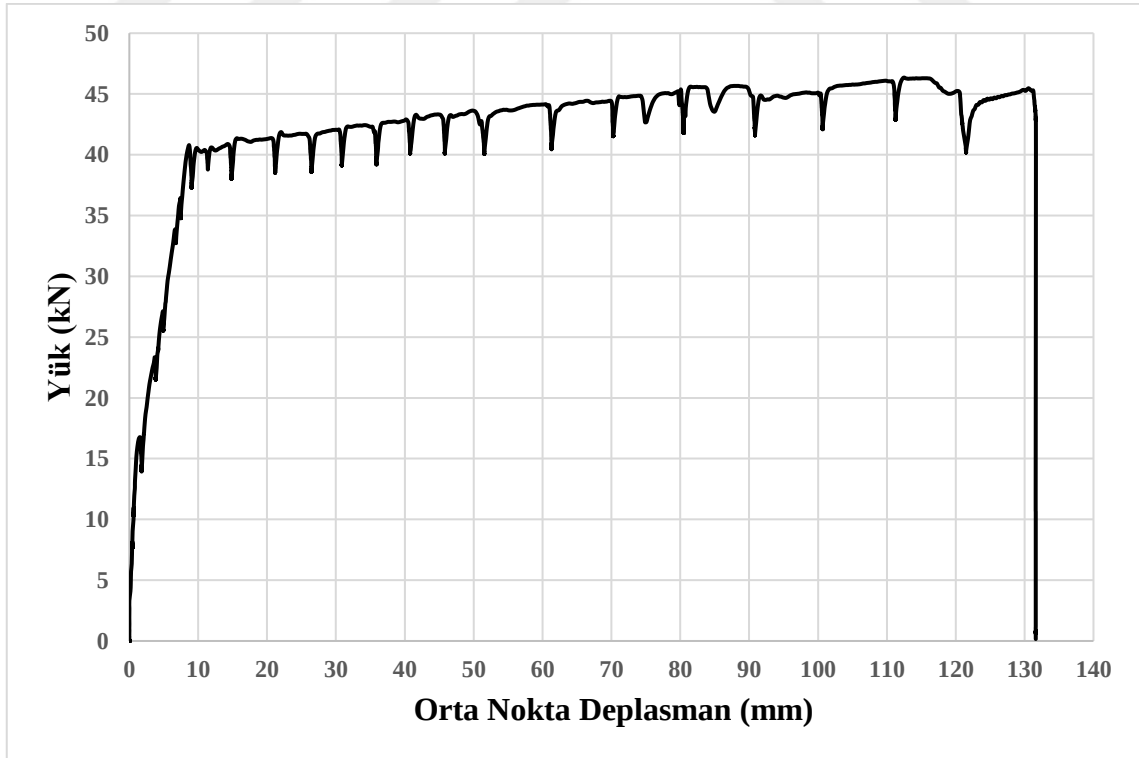
Şekil 4.169. KYB-C60-10 deney elemanının maksimum yük anındaki durumu



Şekil 4.170. KYB-C60-10 deney elemanının deney sonundaki durumu

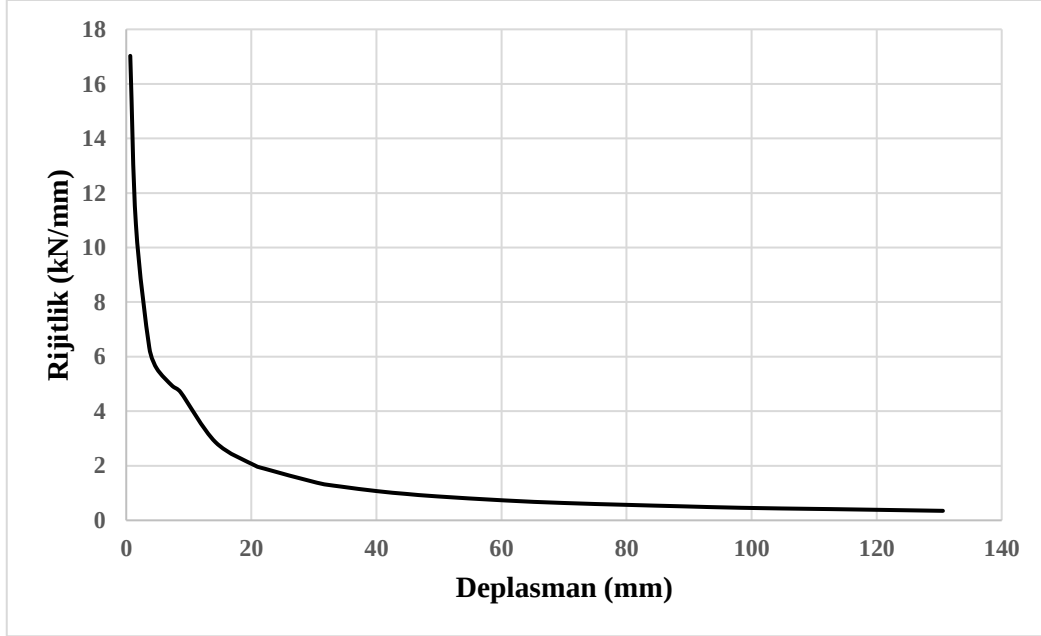


Şekil 4.171. KYB-C60-10 deney elemanının deney sonundaki çatlak dağılımı



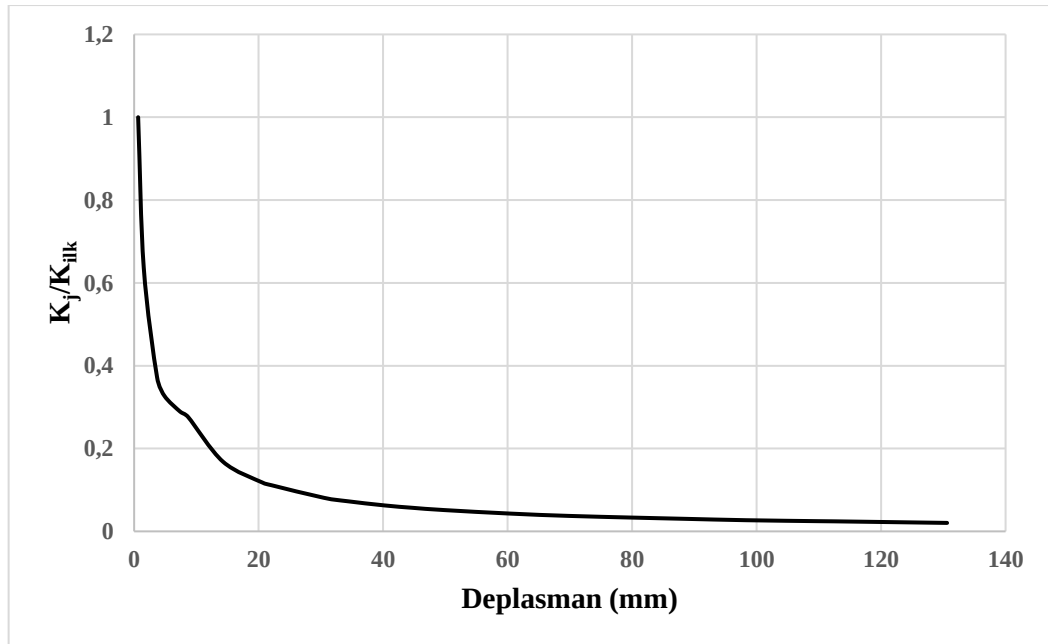
Şekil 4.172. KYB-C60-10 deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.173'te gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



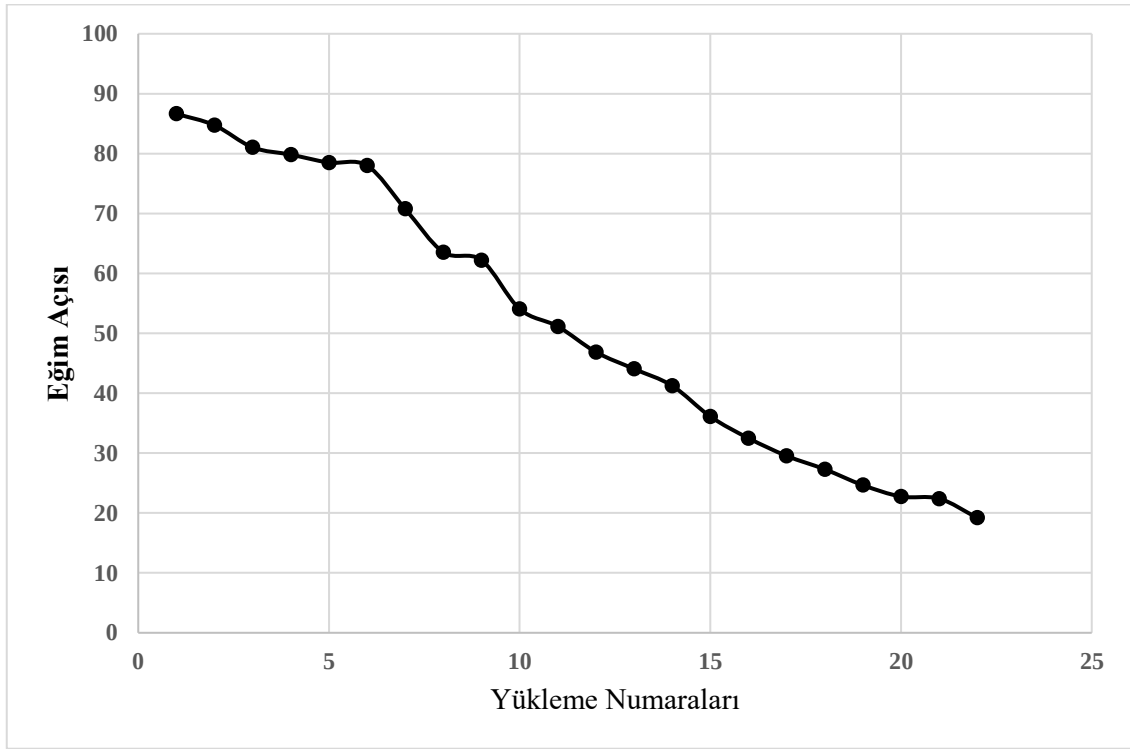
Şekil 4.173. KYB-C60-10 deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.174).



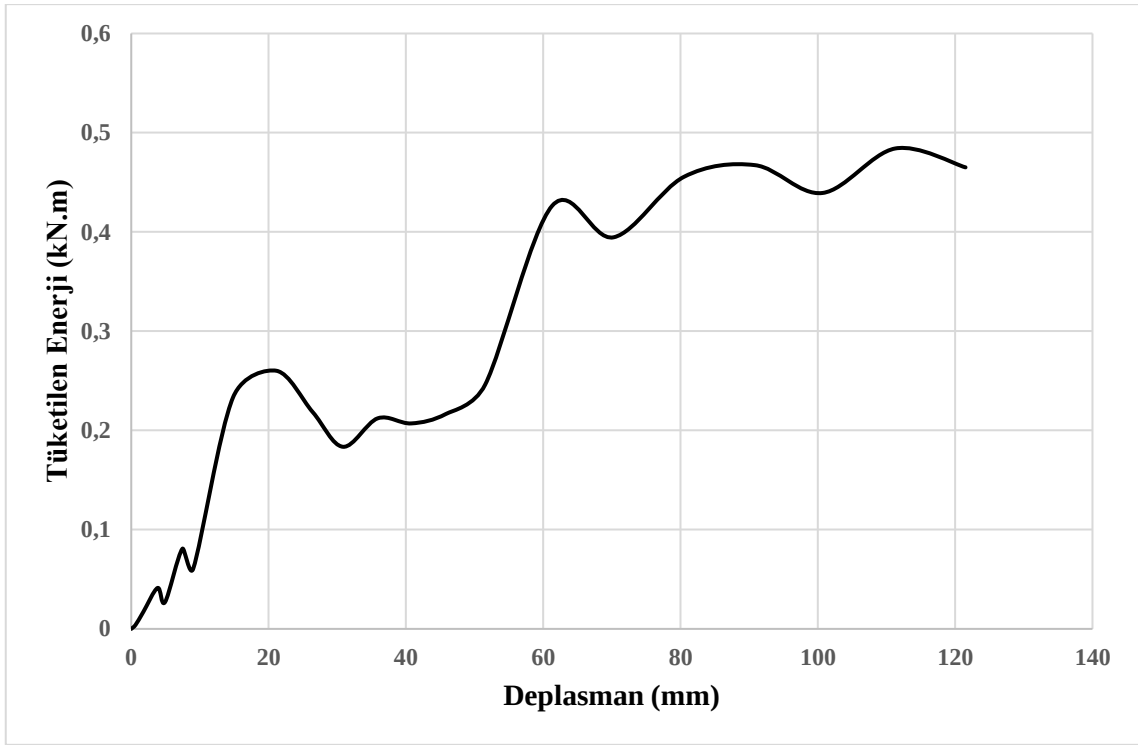
Şekil 4.174. KYB-C60-10 deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemede yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.175'te gösterilmiştir.

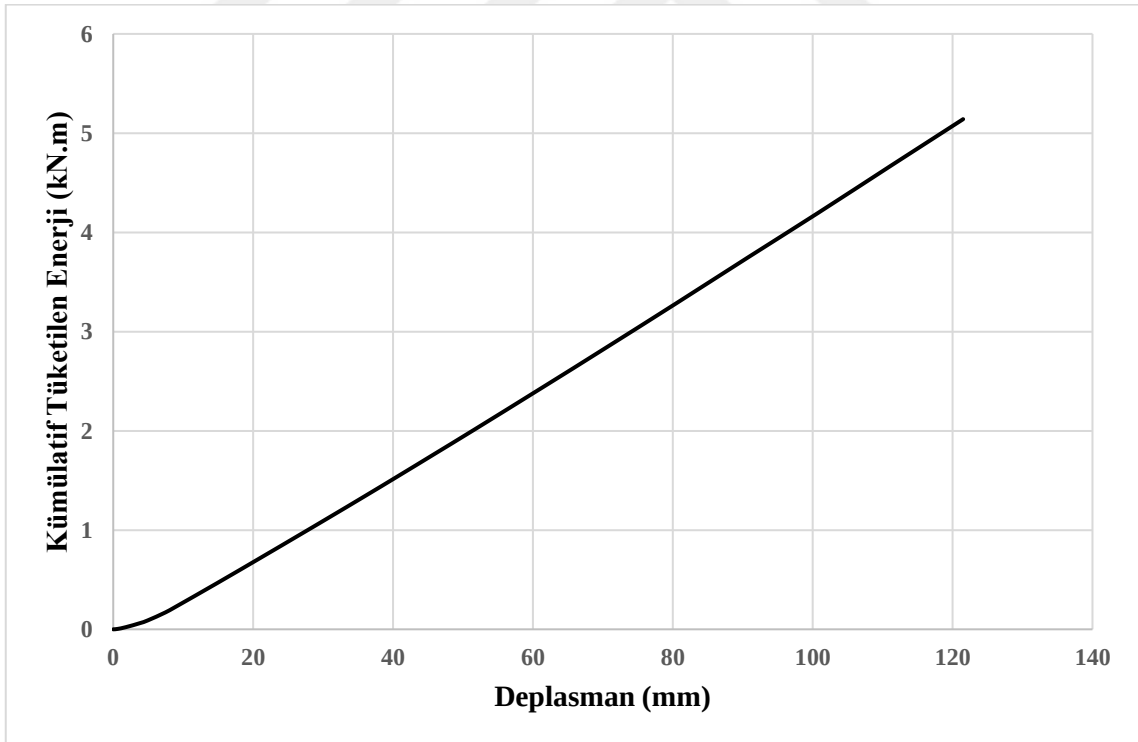


Şekil 4.175. KYB-C60-10 deney elemanının eğim açısı grafiği

Deney elemanının her bir yüklemedeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.176'tadır. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.177'de verilmiştir.



Şekil 4.176. KYB-C60-10 deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.177. KYB-C60-10 deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.1.16. Deney 16 (KYB-C60-5)

Bu eleman C60 basınç dayanıma sahip, 5 cm etriye aralıklı, KYB ile üretilmiş betonarme kiriştir. Elemana ait görüntü Şekil 4.178'dedir. Deney sırasında uygulanan yüke bağlı olarak elemanda oluşan şekil değiştirmeler ve hasarlar Tablo 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.178. KYB-C60-5 elemanın ilk görüntüsü

Tablo 4.17. KYB-C60-5'e ait şekil değiştirme ve hasar oluşumları

Uygulanan Yük (kN)	Orta Nokta Deplasmanı (mm)	Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar
5,66	0,14	İlk iki yüklemede herhangi bir çatlak oluşmadı.
10,92	0,42	
17,31	1,37	<u>İlk çatlaklar oluştu. Bu çatlaklar iki yükleme noktası arasında eğilme çatlağı olarak meydana geldi.</u>
20,67	2,48	Yükleme noktalarının altların birer çatlak meydana geldi. Önceki çatlakların boyları 5-6 cm uzadı.

<i>Uygulanan Yük (kN)</i>	<i>Orta Nokta Deplasmanı (mm)</i>	<i>Deney Elemanında Oluşan Şekil Değiştirme ve Hasarlar</i>
25,56	4,28	Yükleme noktalarının dışında yeni eğilme çatlakları meydana geldi. Önceki çatlaklar 2-3 cm uzadı.
31,95	5,77	Sağ yükleme noktasının yaklaşık 25 cm sağında yeni bir çatlak oluştu.
36,12	6,41	Çatlakların boyları yaklaşık 3-4 cm uzadı.
40,69	8,31	Çatlakların boyları 1-2 cm uzadı.
42,56	13,00	<u>Donatı akma noktasına ulaştı. Önceki çatlak boyları uzadı. Deplasman kontrolüne geçildi.</u>
43,14	19,90	İki yükleme noktası arasındaki çatlakların boyları 2-3 cm uzadı.
43,74	26,76	Çatlak genişlikleri 1-2 cm arttı. Çatlaklar genişlemeye başladı.
44,01	29,53	Sağ yükleme noktasının yaklaşık 50 cm sağında 20 cm uzunluğunda yeni çatlak oluştu. Çatlak genişlikleri arttı.
44,33	35,71	Çekme çatlakları kirişin en üst noktasına ulaştı.
44,46	41,06	Çatlak genişlikleri arttı. İki yükleme noktasının ortasındaki çatlağın boyu yaklaşık 10 cm uzadı.
44,59	46,78	Çatlak genişlikler 2 mm oldu.
45,67	50,02	Çatlak genişlikleri arttı.
46,11	60,71	Çatlak genişlikleri arttı. Sol yükleme noktasının hemen sağında yaklaşık 15 cm uzunluğunda yeni çatlak meydana geldi.
46,45	70,72	<u>Maksimum yüke ulaşıldı. Çatlak genişlikleri artmaya devam etti. Yeni çatlak oluştu.</u>
44,98	81,54	Sol yükleme noktasında basınç ezilmesi oluştu.
45,54	88,60	Sağ yükleme noktasında basınç ezilmesi oluştu.
40,98	101,45	Deney sonu.

Deney elemanında ilk çatlaklar yaklaşık 17 kN yük değerinde oluşmuştur (Şekil 4.179).



Şekil 4.179. KYB-C60-5 elemanın oluşturan ilk çatlaklar

Deney elemanı akma noktasına yaklaşık 42 kN yük seviyesinde ve 13,0 mm deplasman konumundayken ulaştı. Elemanın bu andaki durumu Şekil 4.180’de görülmektedir.



Şekil 4.180. KYB-C60-5 deney elemanının akma anındaki durumu

Deney elemanı maksimum yüke yaklaşık 46 kN değerinde ulaşmıştır. Bu yükteki deplasman değeri 70,72 mm olup basınç çatlakları oluşmamıştır (Şekil 4.181).



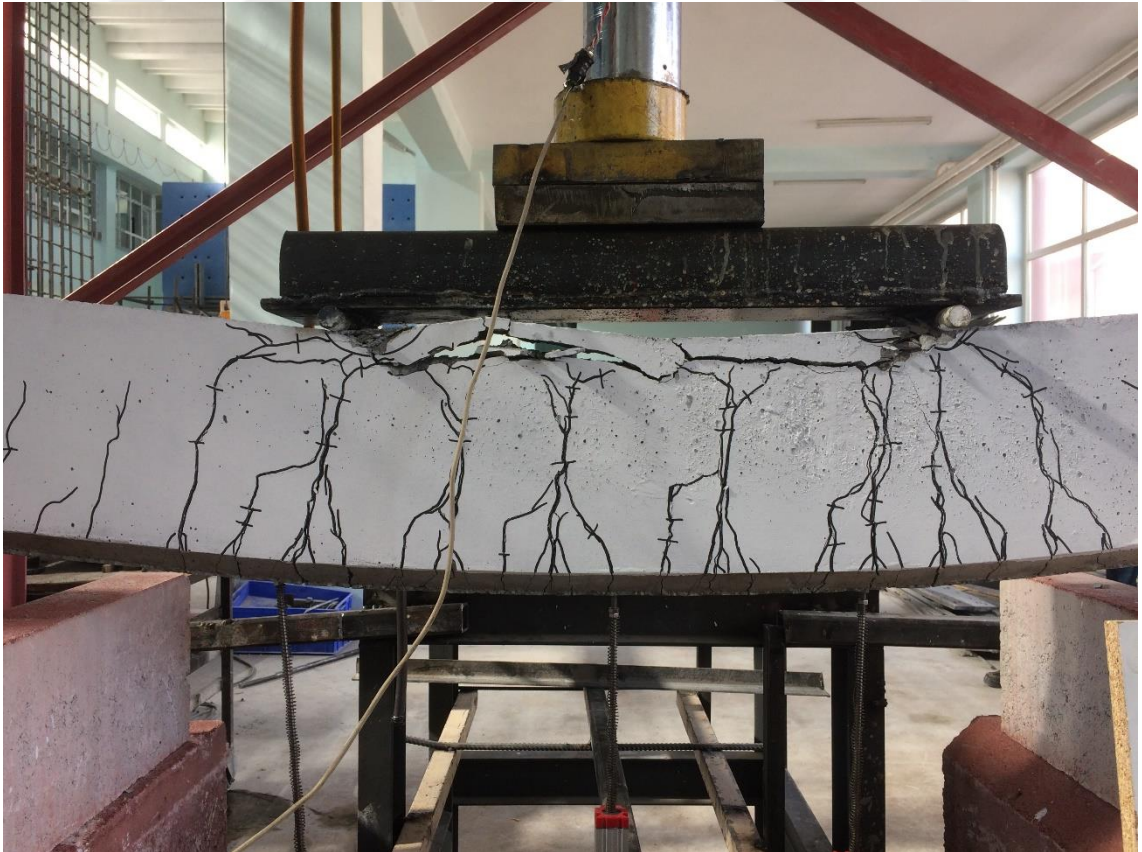
Şekil 4.181. KYB-C60-5 deney elemanının maksimum yük anındaki durumu

Elemana yük verme işlemi 101,45 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur (Şekil 4.182). Bu noktada ciddi miktarda basınç çatlağı oluşmuştur. Basınç çatlağı büyük olduğu ve eleman yük taşıyamaz hale geldiği için deneye son verilmiştir (Şekil 4.183).

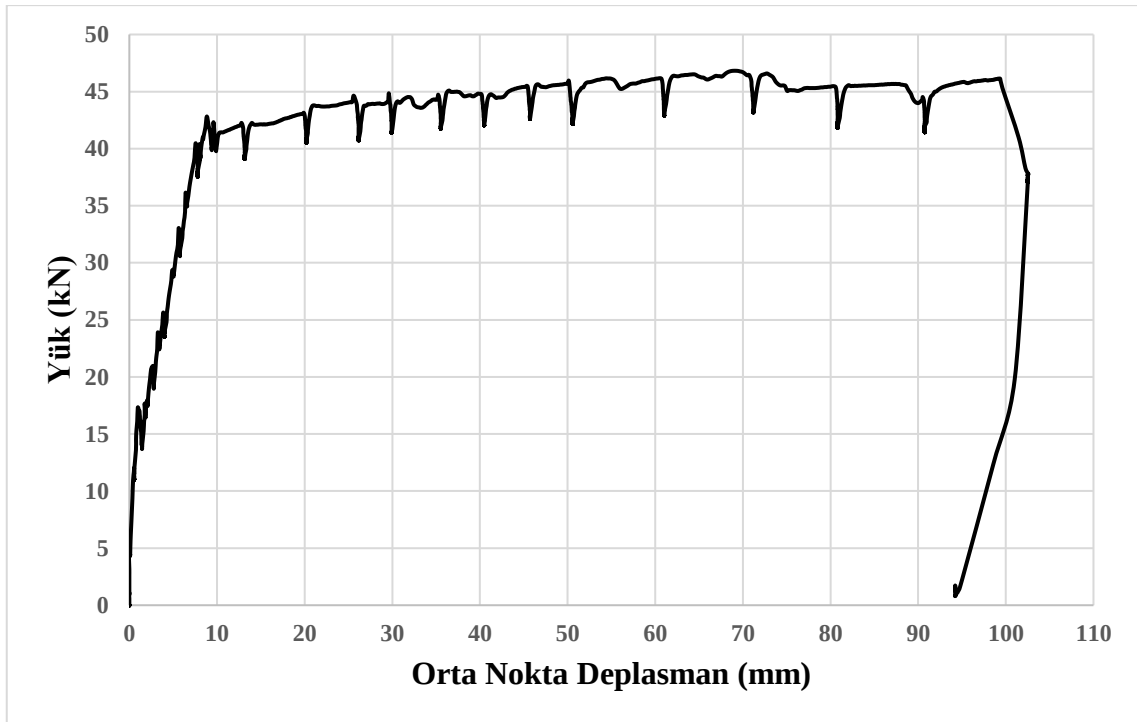
KYB-C60-5 deney elemanına ait orta nokta yük deplasman grafiği Şekil 4.184'te verilmiştir.



Şekil 4.182. KYB-C60-5 deney elemanın deney sonundaki durumu

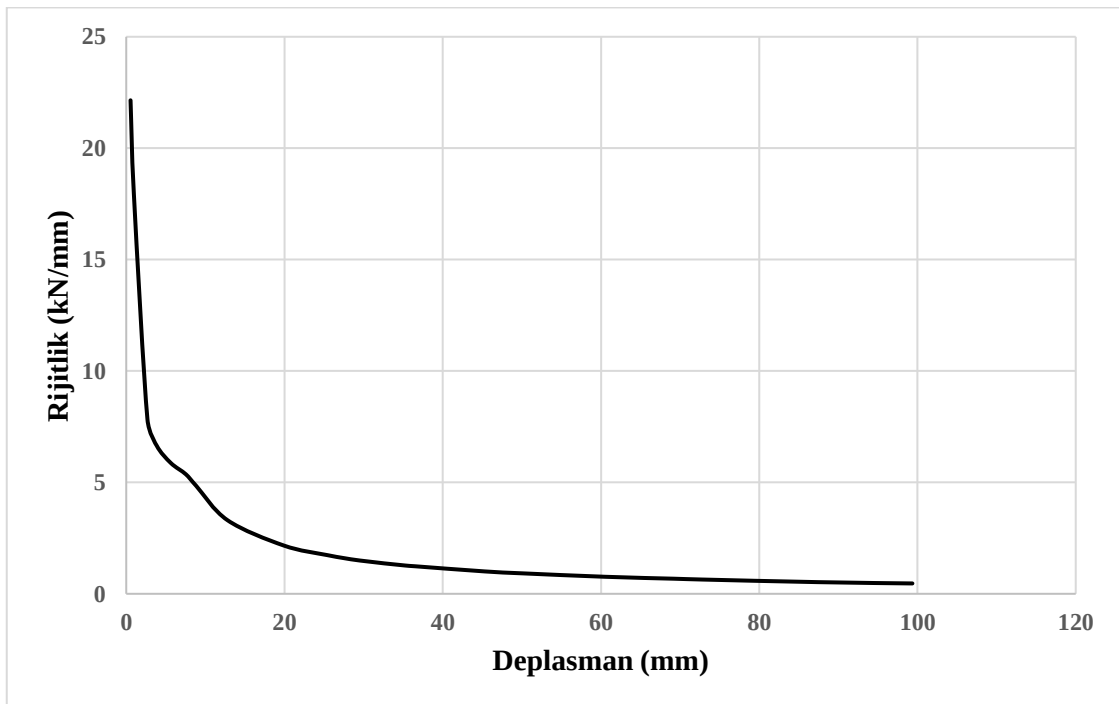


Şekil 4.183. KYB-C60-5 deney elemanın deney sonundaki çatlak dağılımı



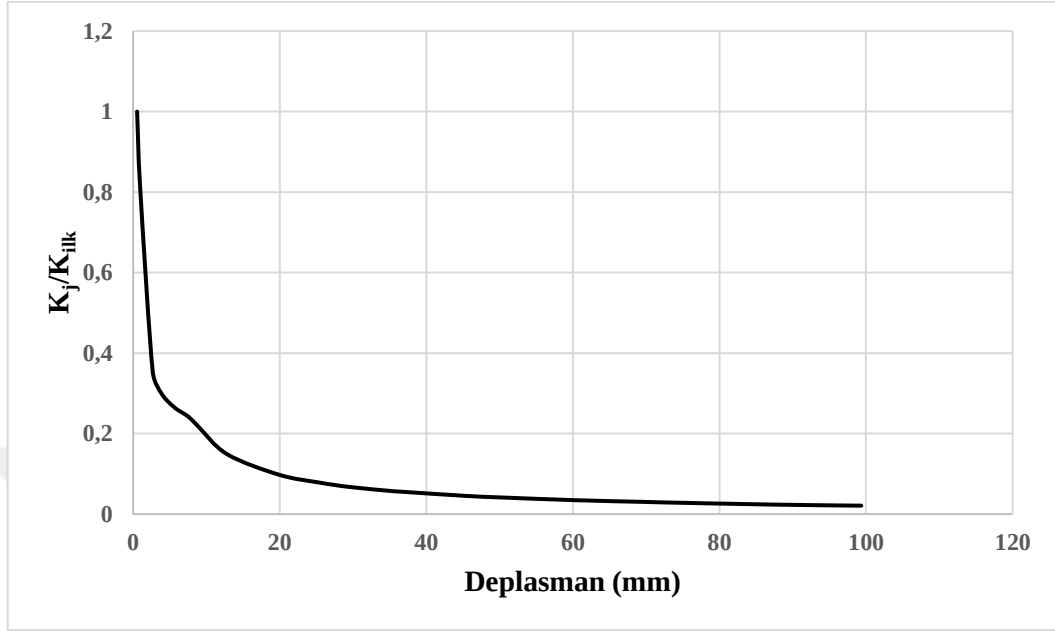
Şekil 4.184. KYB-C60-5 deney elemanının yük-deplasman grafiği

Deney elemanına ait rijitlik grafiği Şekil 4.185’te gösterilmiştir. Bu grafik, her bir yüklemedeki yük değerinin, o noktadaki deplasman değerine bölünmesi ile elde edilmiştir.



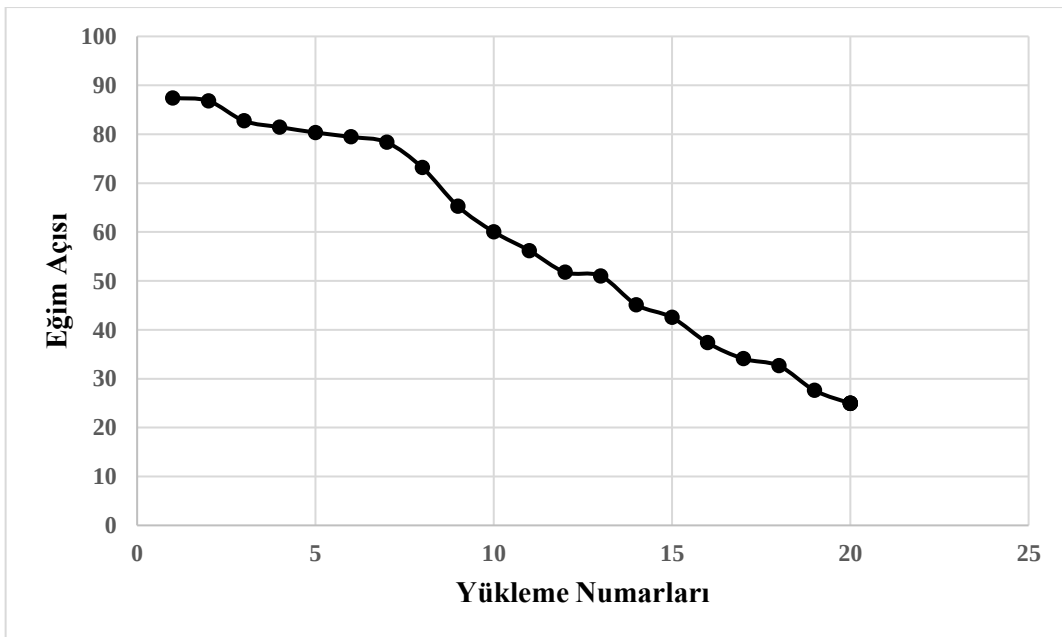
Şekil 4.185. KYB-C60-5 deney elemanının rijitlik grafiği

Elemanın tüm yüklemelerdeki rijitlik değerinin, ilk yüklemedeki rijitlik değerine bölünmesiyle de K_j/K_{ilk} grafiği elde edilmiştir (Şekil 4.186).



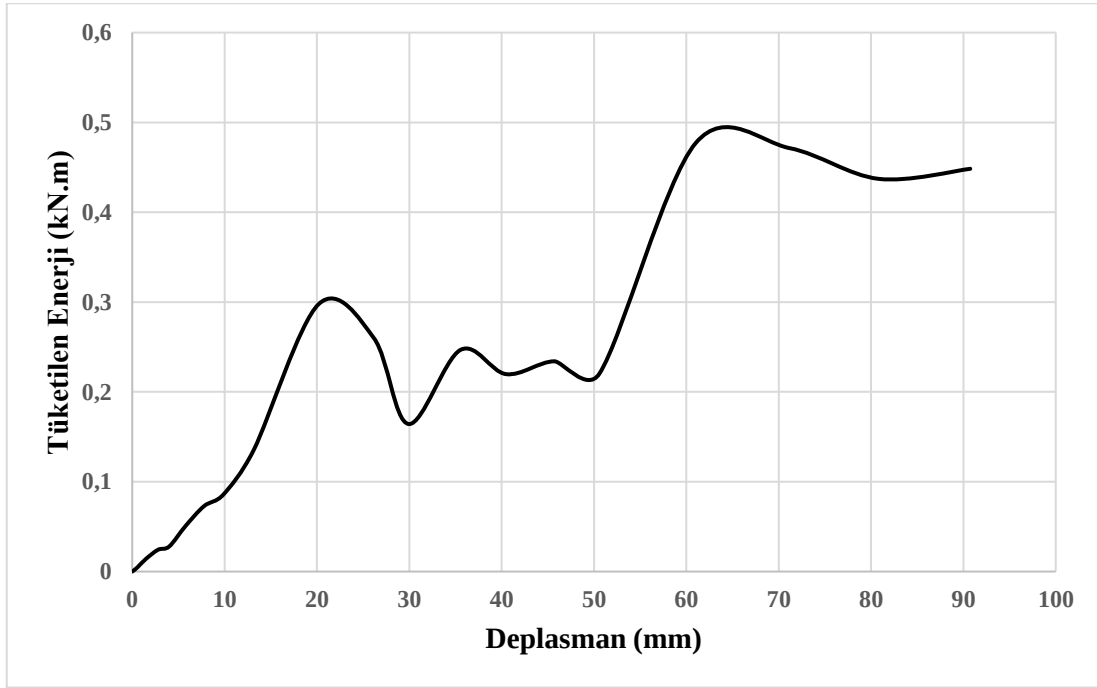
Şekil 4.186. KYB-C60-5 deney elemanının K_j/K_{ilk} grafiği

Elemanın davranışının belirlenmesinde önemli bir gösterge olan eğim açısı grafikleri ise her bir yüklemde yük-deplasman değerinin yatay ile yaptığı açılar belirlenerek Şekil 4.187'de gösterilmiştir.

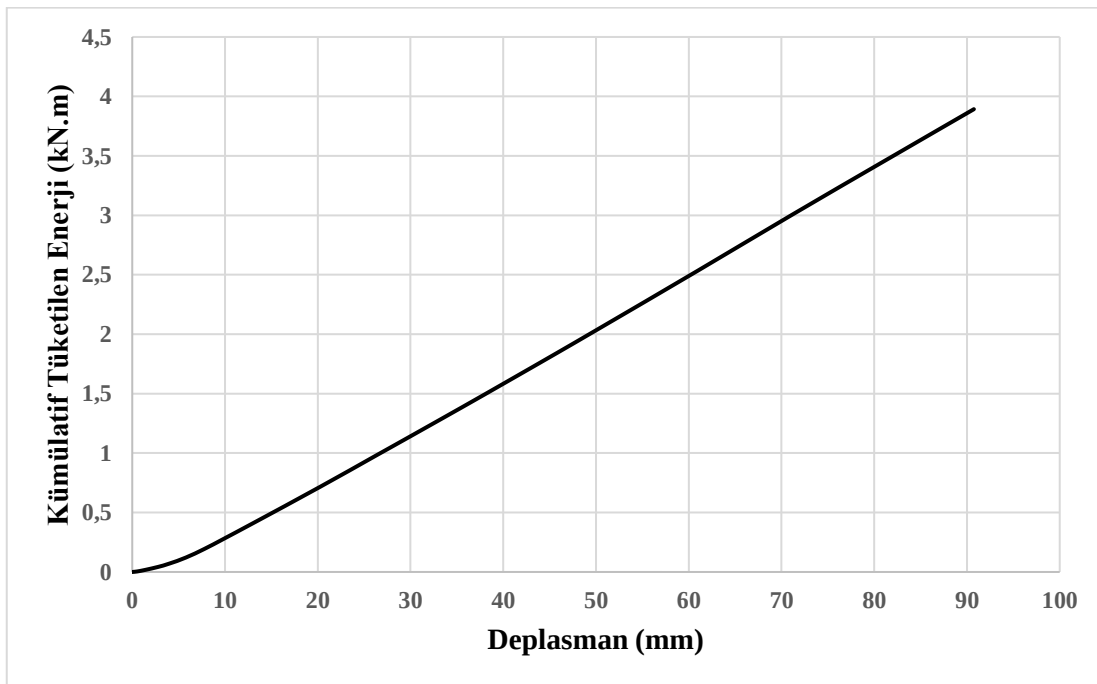


Şekil 4.187. KYB-C60-5 deney elemanının eğim açısı grafiği

Deney elemanının her bir yüklemedeki tükettiği enerjiyi gösteren grafik Şekil 4.188’dedir. Elemanın kümülatif tükettiği enerjiyi gösteren grafik ise Şekil 4.189’da verilmiştir.



Şekil 4.188. KYB-C60-5 deney elemanının tüketilen enerji grafiği



Şekil 4.189. KYB-C60-5 deney elemanının kümülatif tüketilen enerji grafiği

4.2. Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu bölümde, 16 adet betonarme kiriş elemanının deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılırken deneysel çalışmanın amacı dikkate alınmış olup deney elemanları gruplara ayrılmıştır (Tablo 4.18). Oluşturulan bu gruplarda karşılaştırılması yapılan numuneler, son olarak hepsinin bir arada verildiği bir grafikte karşılaştırılmıştır. Kıyaslaması yapılan deney elemanlarında, aşağıda verilen grafikler kullanılmıştır:

- a) Yük-Deplasman Grafiği
- b) Rijitlik Grafiği
- c) Eğim Açısı Grafiği
- d) Tüketilen Enerji Grafiği
- e) Kümülatif Tüketilen Enerji Grafiği

Tablo 4.18. Deney elemanları karşılaştırılırken kullanılan gruplar

<i>Grup No</i>	<i>Karşılaştırma</i>	<i>Karşılaştırmada Kullanılan Deney Elemanları</i>
1	Etriye Aralığının Kiriş Davranışına Etkisi	A) NOR-C30-Etsz, NOR-C30-20, NOR-C30-10 ve NOR-C30-5
		B) KYB-C30-Etsz, KYB-C30-20, KYB-C30-10 ve KYB-C30-5
		C) NOR-C60-Etsz, NOR-C60-20, NOR-C60-10 ve NOR-C60-5
		D) KYB-C60-Etsz, KYB-C60-20, KYB-C60-10 ve KYB-C60-5
2	Beton Türünün Kiriş Davranışına Etkisi	A) NOR-C60-Etsz ve KYB-C60-Etsz
		B) NOR-C60-20 ve KYB-C60-20
		C) NOR-C60-10 ve KYB-C60-10
		D) NOR-C60-5 ve KYB-C60-5
3	Beton Dayanımının Kiriş Davranışına Etkisi	A) KYB-C30-Etsz ve KYB-C60-Etsz
		B) KYB-C30-20 ve KYB-C60-20
		C) KYB-C30-10 ve KYB-C60-10
		D) KYB-C30-5 ve KYB-C60-5

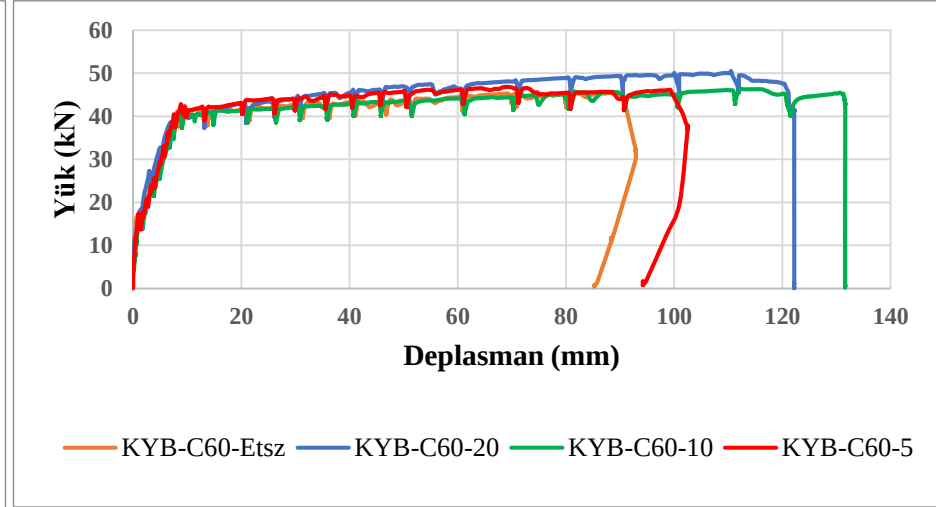
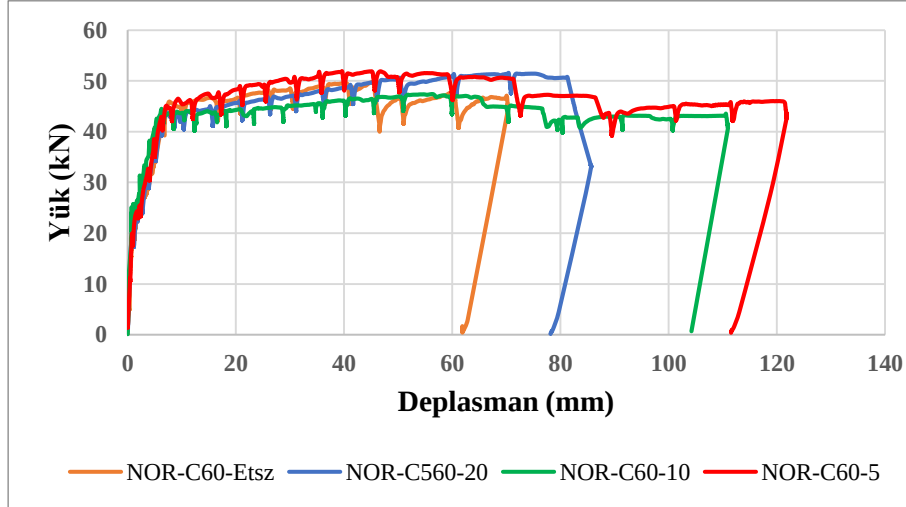
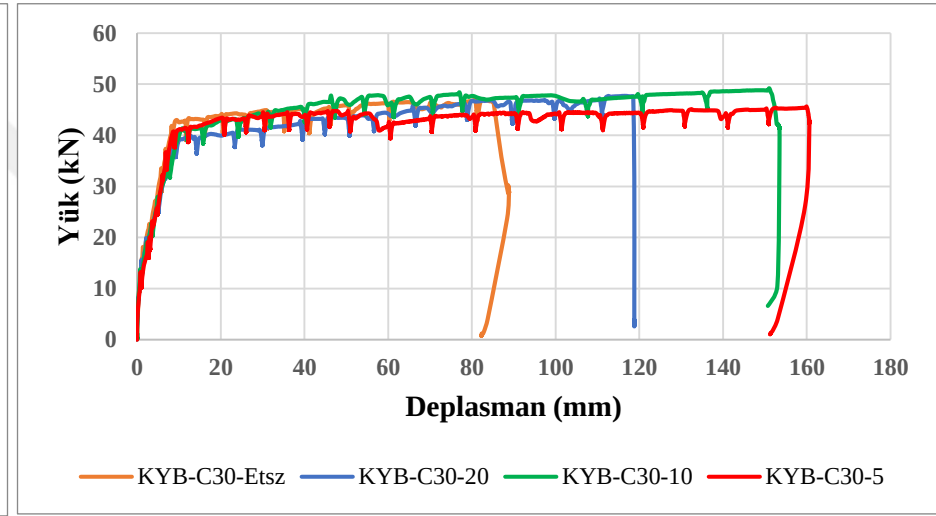
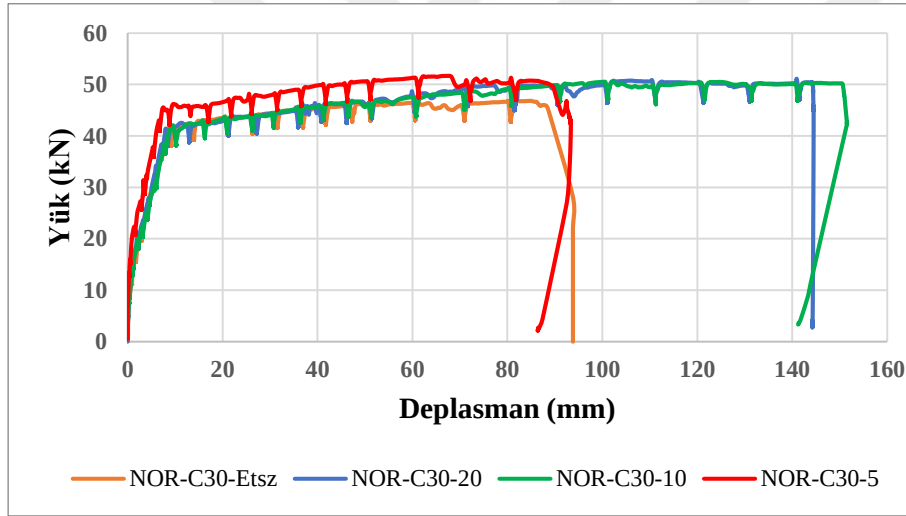
4.2.1. Etriye aralığının kiriş davranışına etkisi

Bu bölümde etriye aralığı değişiminin betonarme kirişlerin davranışına etkisini incelemek amacıyla Tablo 4.18'deki Grup-1 elemanlarının deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Tüm özellikleri aynı, sadece etriye aralıkları farklı olan kiriş numuneler kendi aralarında karşılaştırılmıştır.

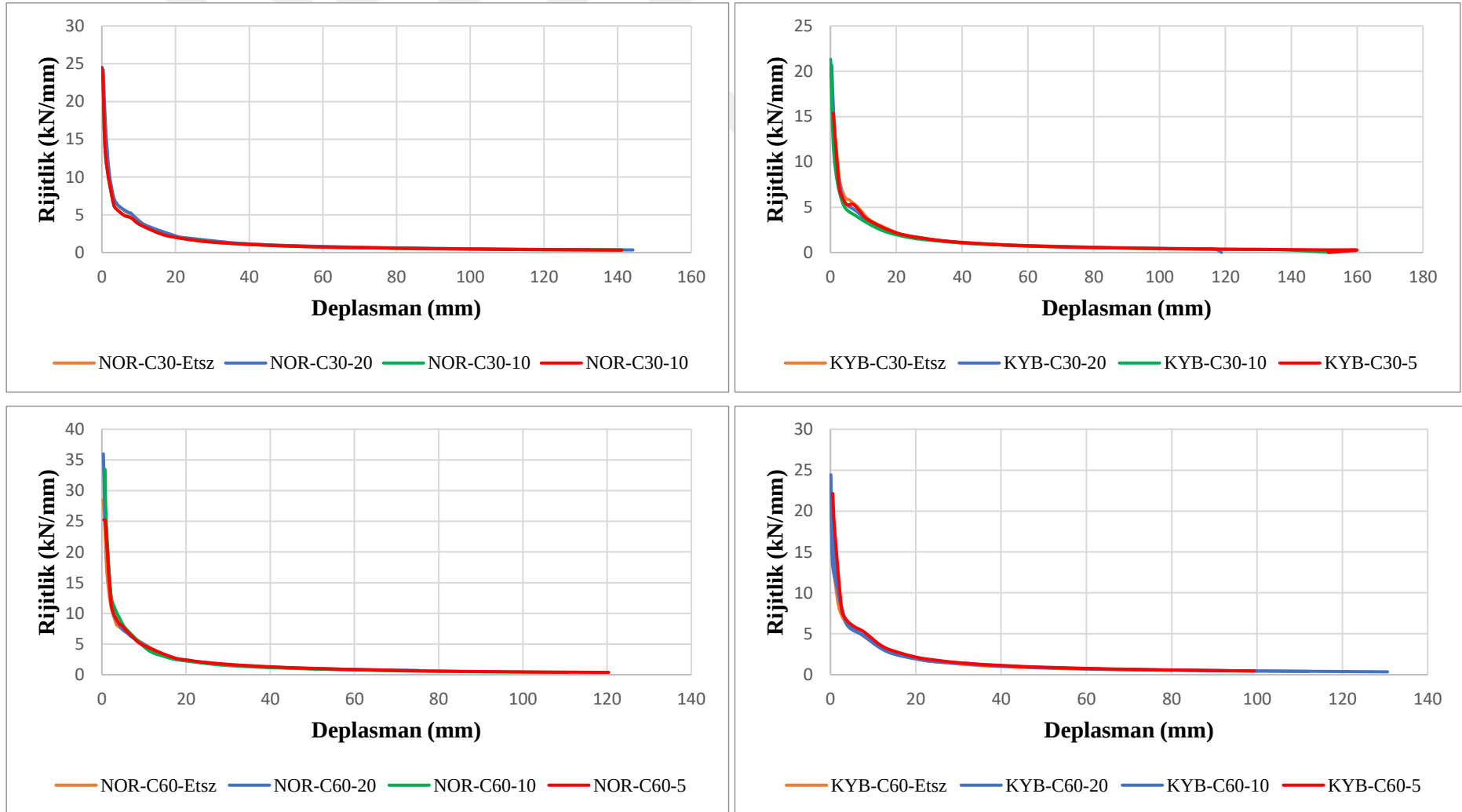
Grup-1'e ait yük-deplasman grafikleri Şekil 4.190'da verilmiştir. Genel olarak etriye aralığının artışı beraberinde deplasman artışını da getirmiştir. Etriye aralığı arttıkça elemanların kırılma biçimi kesmeye yaklaşmıştır. Bu durum etriye aralığının fazla olmasının, elemanı ve dolayısıyla yapıyı tehlikeye atacağı anlamına gelmektedir. Grafik incelendiğinde yük taşıma kapasitesi en büyük olan numune 51,6 kN ile NOR-C30-5 isimli numunedir. Fakat bu numunede yükleme sırasında ciddi miktarda ve ani olarak basınç kırılması olduğu için yaklaşık 90 mm deplasman seviyesinde göçmüş olup diğer numunelere kıyasla çok fazla enerji tüketememiştir. Tüm numuneler incelendiğinde en fazla deplasman yapan eleman 160,6 mm deplasman ile KYB-C30-5 isimli numunedir. NOR-C30 özellikli numuneler ile KYB-C60 özellikli numunelere bakıldığı zaman 5 cm etriye aralığına sahip numuneler beklenen deplasman değerini gösterememiştir. Fakat tüm numunelerde 10 cm etriye aralığına sahip numuneler beklenen değerleri göstermiştir. KYB-C30-Etsz numunesi hariç diğer tüm etriyesiz numunelerde kesme kırılması meydana gelmiştir. Fakat KYB-C30-Etsz isimli numune neredeyse 5 cm etriye aralığına sahip numune ile benzer bir davranış sergilemiştir.

Grup-1'e ait rijitlik grafikleri Şekil 4.191'de verilmiştir. Tüm numuneler aynı deplasman değerlerinde benzer davranış gösterecekler de ilk rijitlikleri birbirinden farklıdır. NOR-C30 özellikli numunelerde 5 cm etriyeli, KYB-C30 özellikli numunelerde 10 cm etriyeli, NOR-C60 ve KYB-C60 özellikli numunelerde ise 20 cm etriyeli kirişlerin başlangıç rijitlikleri diğerlerinden fazladır. Şekil 4.192'den de görüleceği üzere etriye aralığı kirişin eğim açısını çok fazla etkilememektedir.

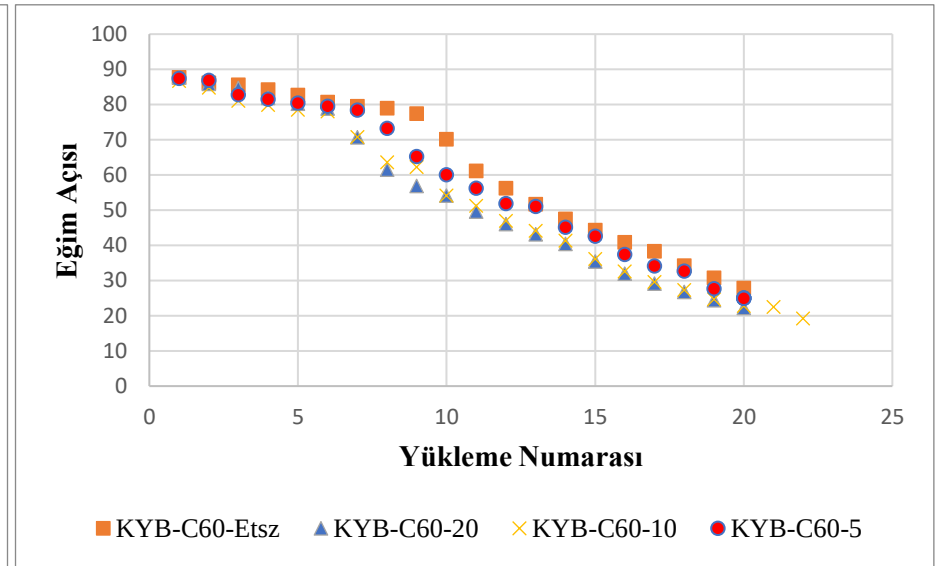
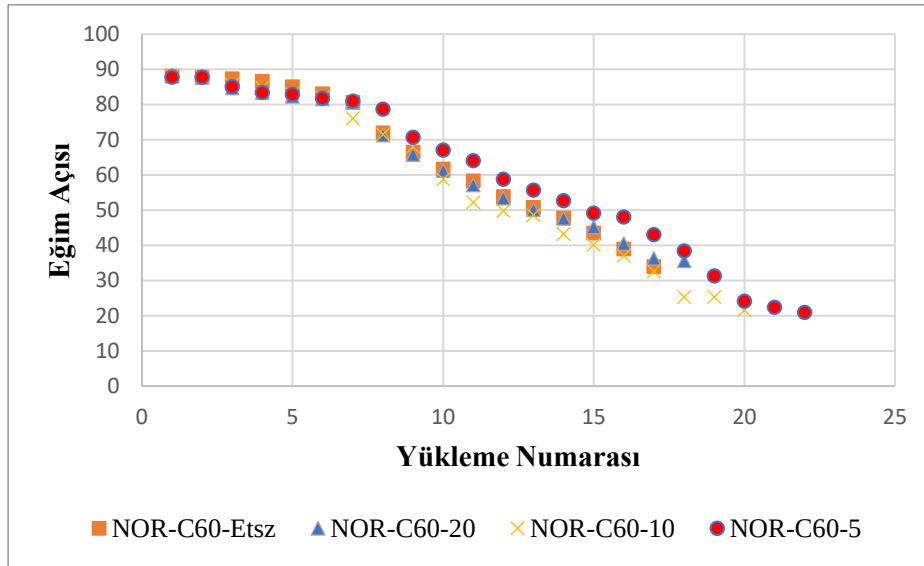
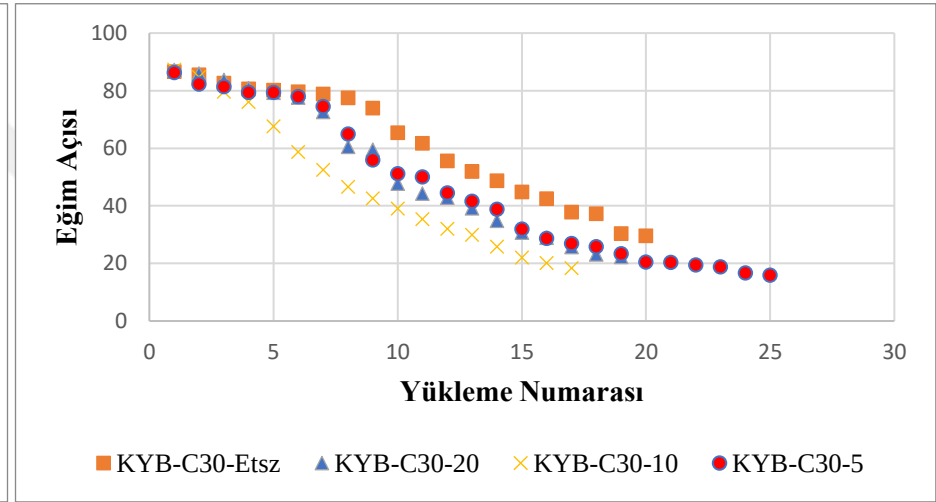
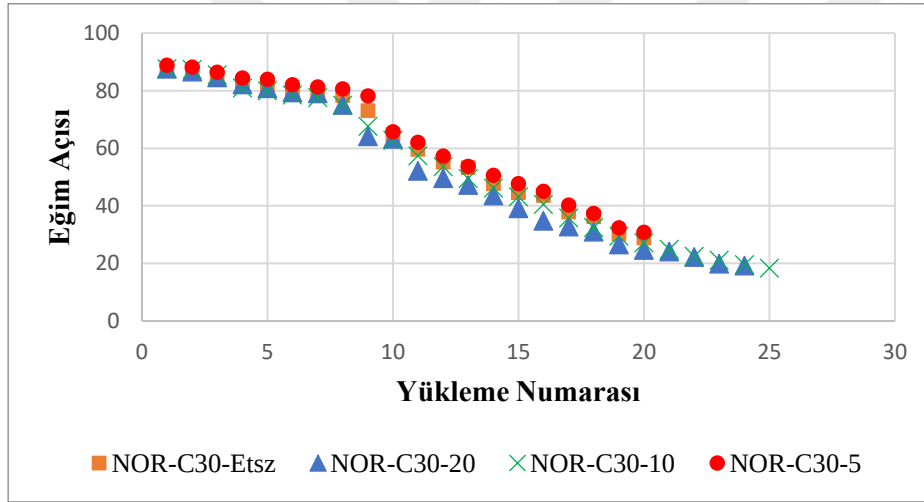
Grup-1'e ait tüketilen enerji grafikleri Şekil 4.193'te, kümülatif tüketilen enerji grafikleri ise Şekil 4.194'te verilmiştir. NOR-C60 özellikli elemanlarda 5 cm etriyeli kiriş en fazla enerji tüketirken, diğer tüm numuneler arasında en çok enerji tüketen kiriş 10 cm etriyeye sahip olandır.



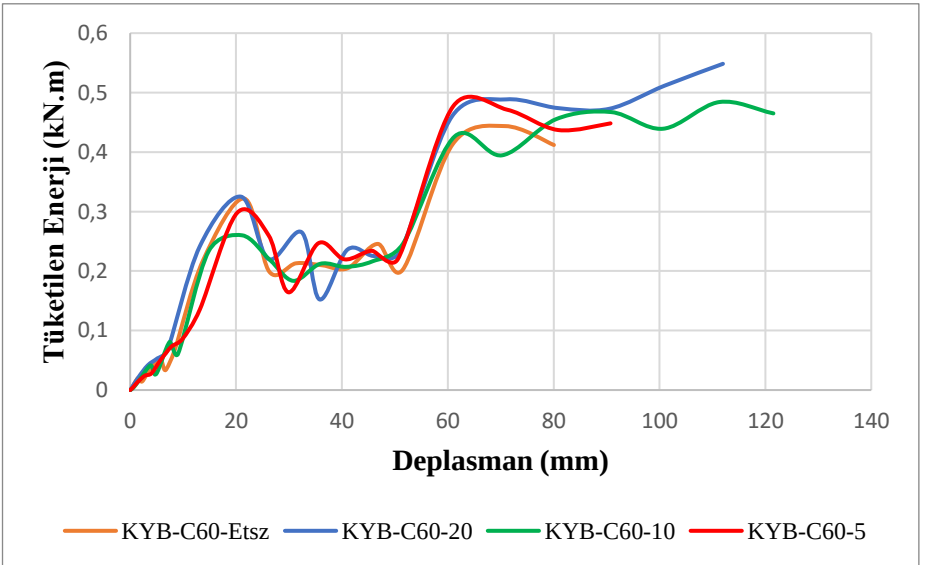
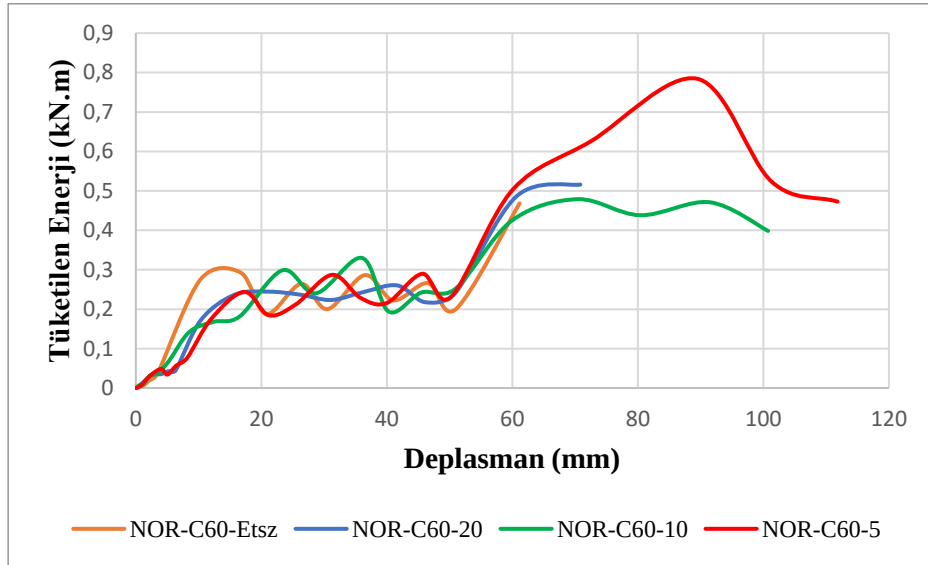
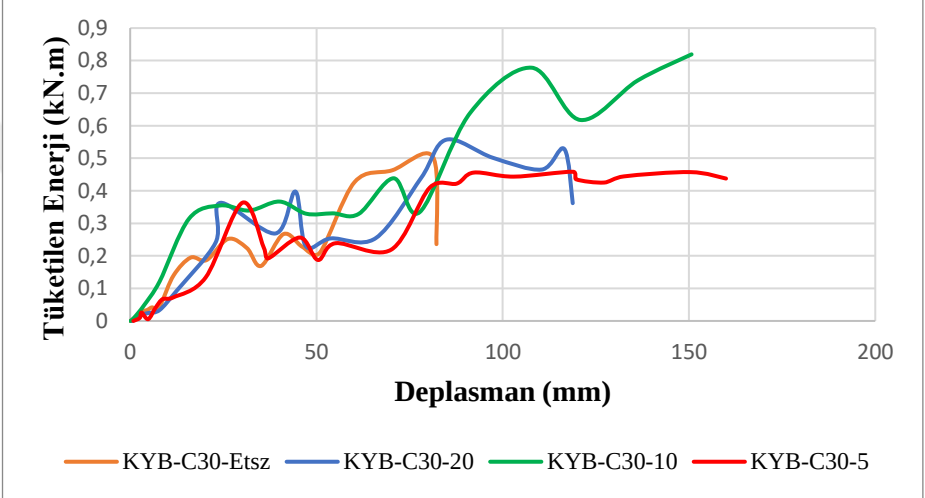
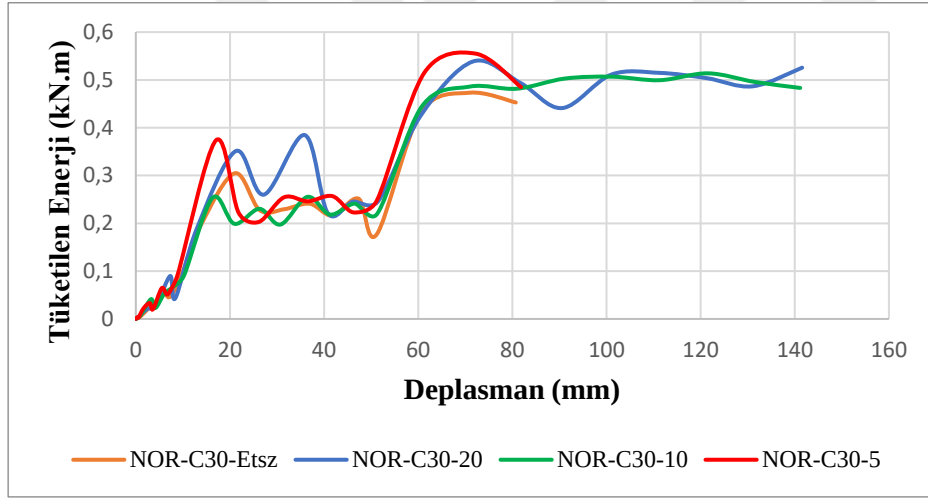
Şekil 4.190. Grup 1'e ait yük-deplasman grafikleri



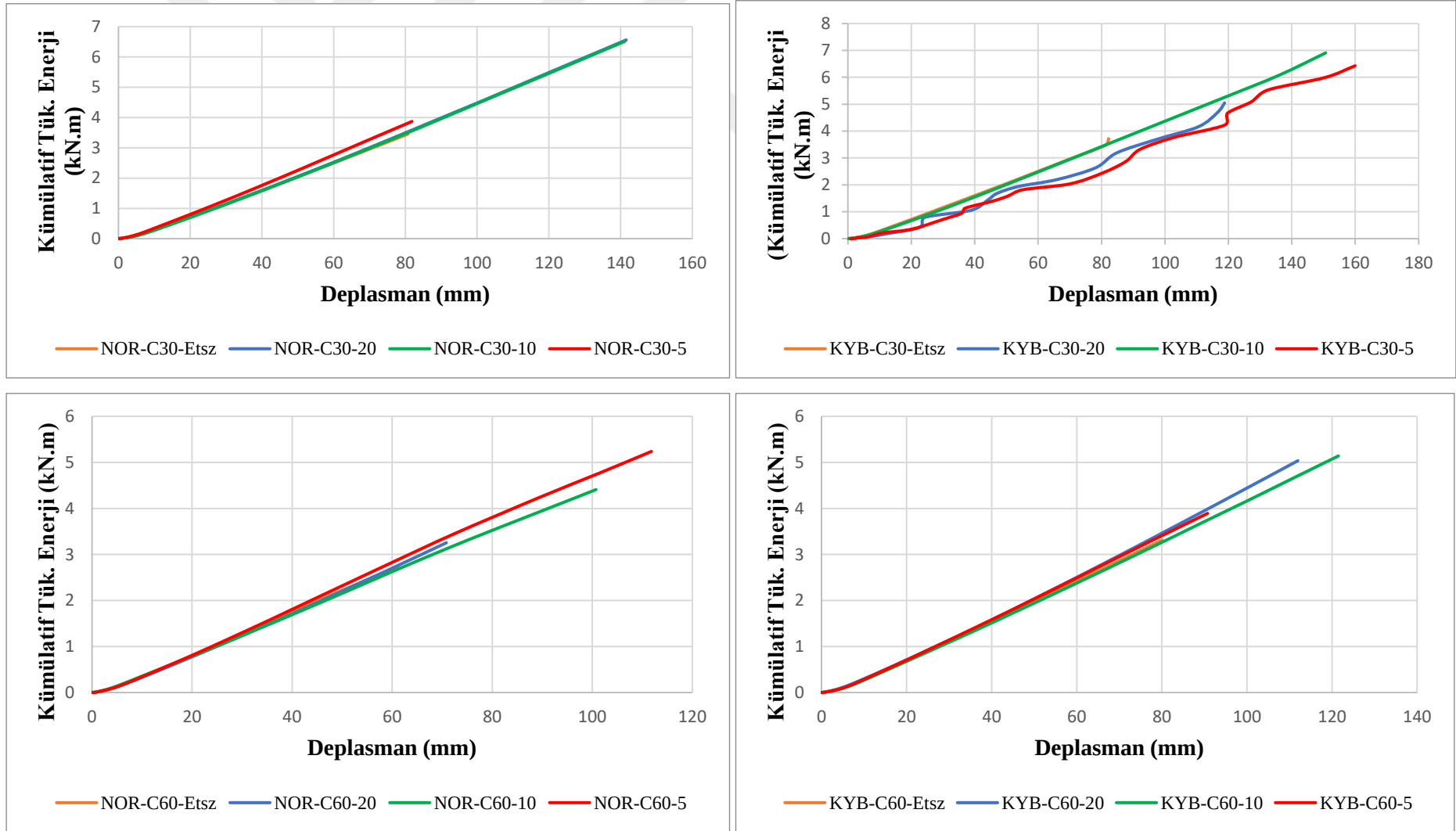
Şekil 4.191. Grup 1'e ait rijitlik grafikleri



Şekil 4.192. Grup 1'e ait eğim açısı grafikleri



Şekil 4.193. Grup 1'e ait tüketilen enerji grafikleri



Şekil 4.194. Grup 1'e ait kümülatif tüketilen enerji grafikleri

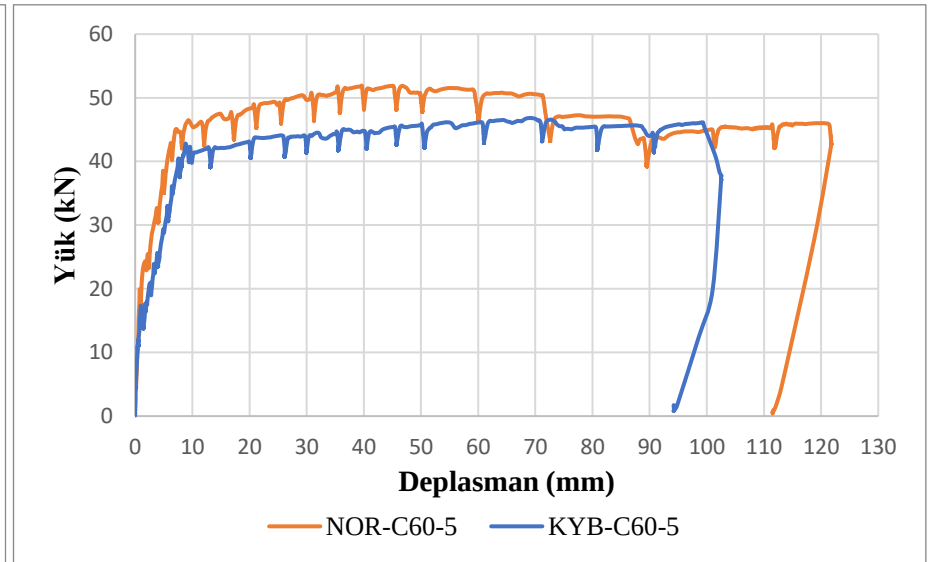
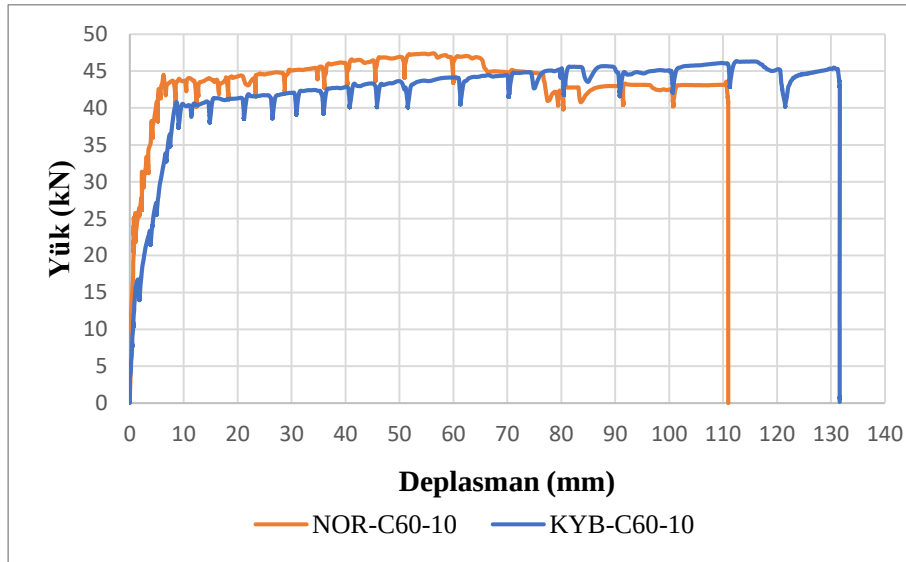
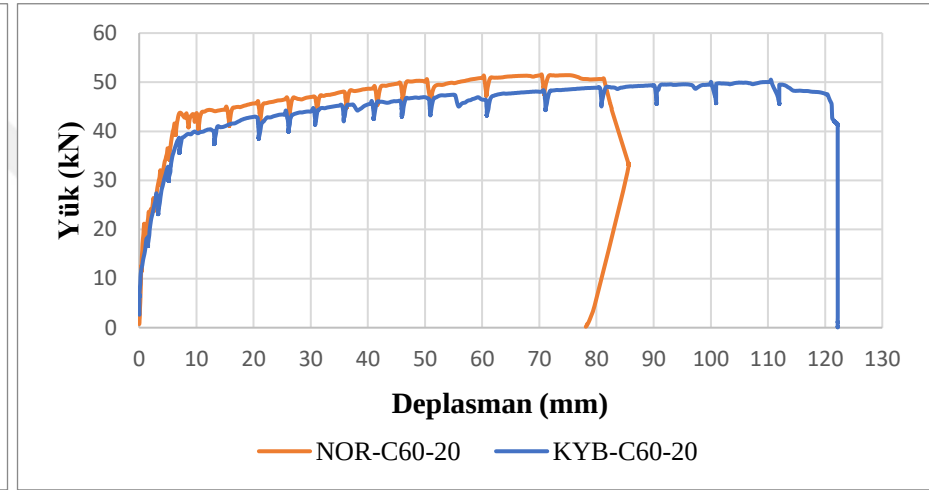
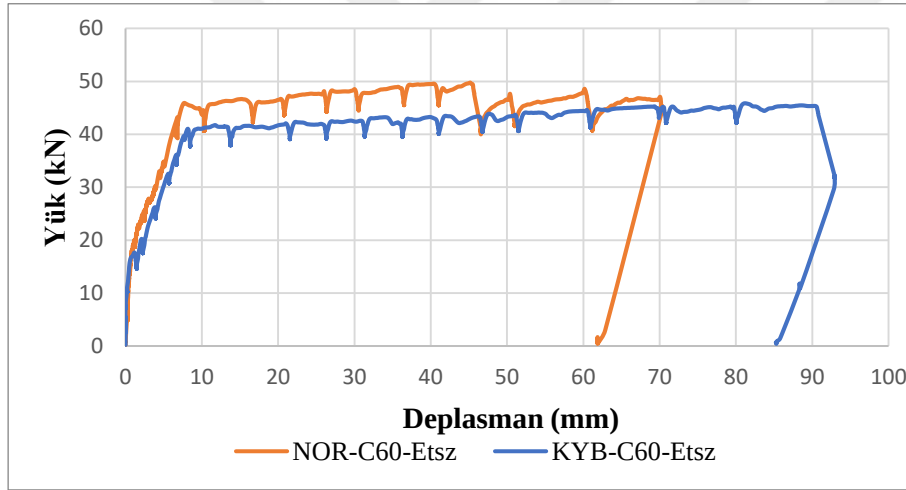
4.2.2. Beton türünün kiriş davranışına etkisi

Bu bölümde beton türünün betonarme kirişlerin davranışına etkisini incelemek amacıyla Tablo 4.18'deki Grup-2 elemanlarının deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Beton dayanımı C60 olarak sabit tutulup, her bir kirişi aynı etriye aralığına sahip diğer beton türüyle üretilen kiriş ile karşılaştırması yapılmıştır.

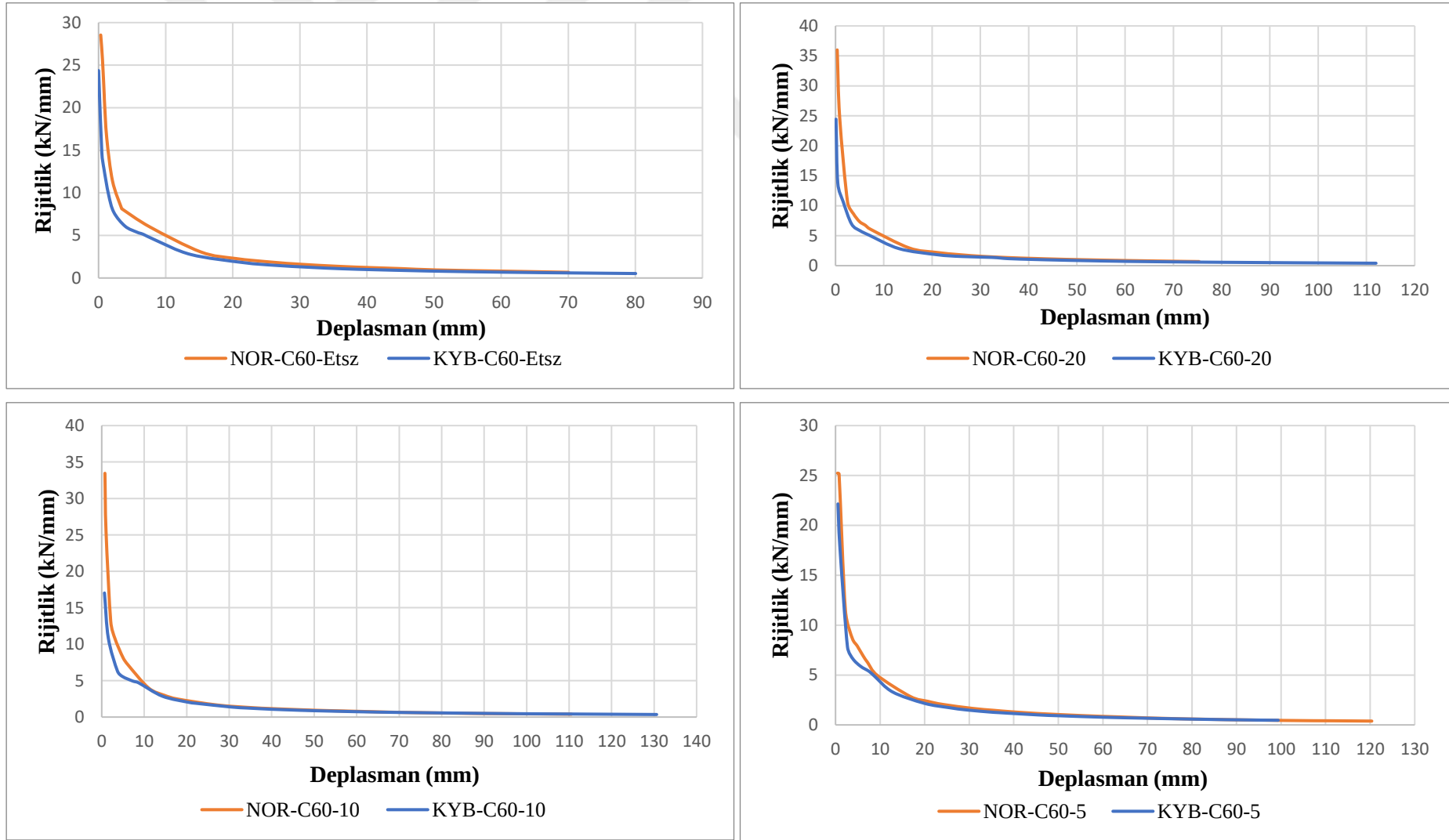
Grup-2'ye ait yük-deplasman grafikleri Şekil 4.195'te verilmiştir. Grafikler incelendiğinde kendiliğinden yerleşen betonun yük taşıma kapasitesi normal betona göre bir miktar düşük çıkmıştır. Buna karşılık 5 cm etriye aralıklı kiriş hariç, diğer tüm kirişlerde kendiliğinden yerleşen beton, normal betona göre çok daha fazla deplasman yapabilmektedir. Bu durum enerji grafiklerini doğrudan etkilemiştir. Tüm numuneler arasında yük taşıma kapasitesi en fazla olan kiriş 51,5 kN yük değeri ile NOR-C60-5'tir. En fazla deplasman yapan kiriş, 131,6 mm deplasman değeri ile 10 cm etriye aralıklı kendiliğinden yerleşen betonla üretilmiş KYB-C60-10'dur.

Grup-2'ye ait rijitlik grafikleri Şekil 4.196'da verilmiştir. Grafikleri incelendiğinde normal beton ile üretilen kirişlerin rijitliği kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen kirişlerin rijitliğinden oldukça fazla çıkmıştır. En fazla rijitliğe sahip kiriş 35,99 kN/mm değeri ile NOR-C60-20'dir. Bu kirişin karşılaştırıldığı KYB-C60-20'nin rijitliği ise 24,43 kN/mm değerinde kalmıştır. En düşük rijitlik değerini ise 17,08 kN/mm değeri ile KYB-C60-10 vermiştir. Şekil 4.197'deki eğim açısı grafiklerindeki sonuçlar is benzer özellikler göstermiştir. Normal beton ile üretilen kirişlerin, aynı yükleme numarasında kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen kirişlerden daha fazla eğim açısına sahip olduğu görülmektedir.

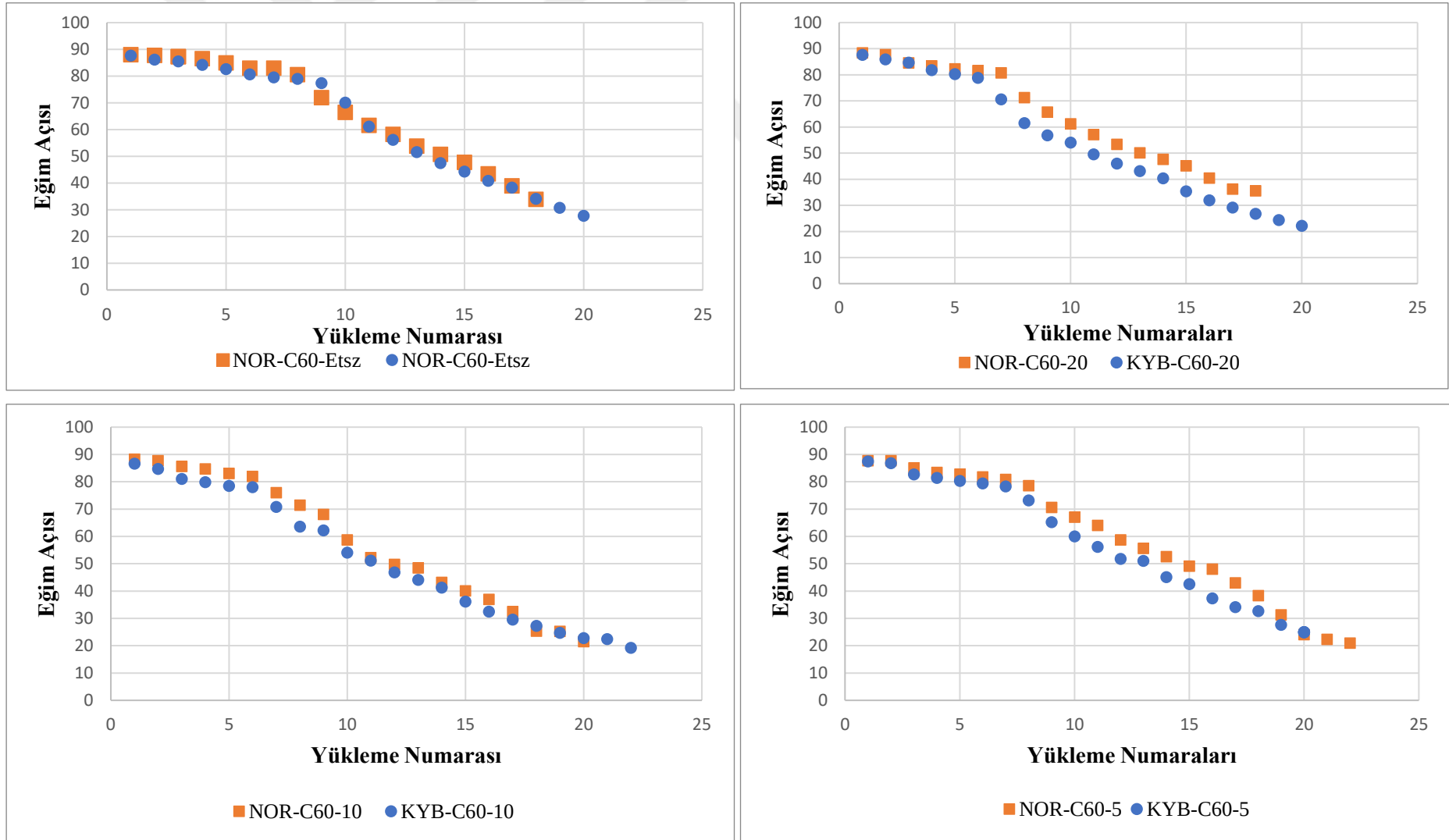
Şekil 4.198 ve Şekil 4.199'deki tüm grafikler incelendiğinde, kendiliğinden yerleşen betonun enerji tüketme kabiliyetinin normal betondan yaklaşık %25 daha fazla çıktığı görülmektedir. 5 cm etriye aralığına sahip kiriş hariç diğer tüm kirişlerde kendiliğinden yerleşen beton daha fazla enerji tüketmiştir. En fazla enerjiyi ise 5,23 kN.m enerji değerine sahip NOR-C60-5 tüketmiştir.



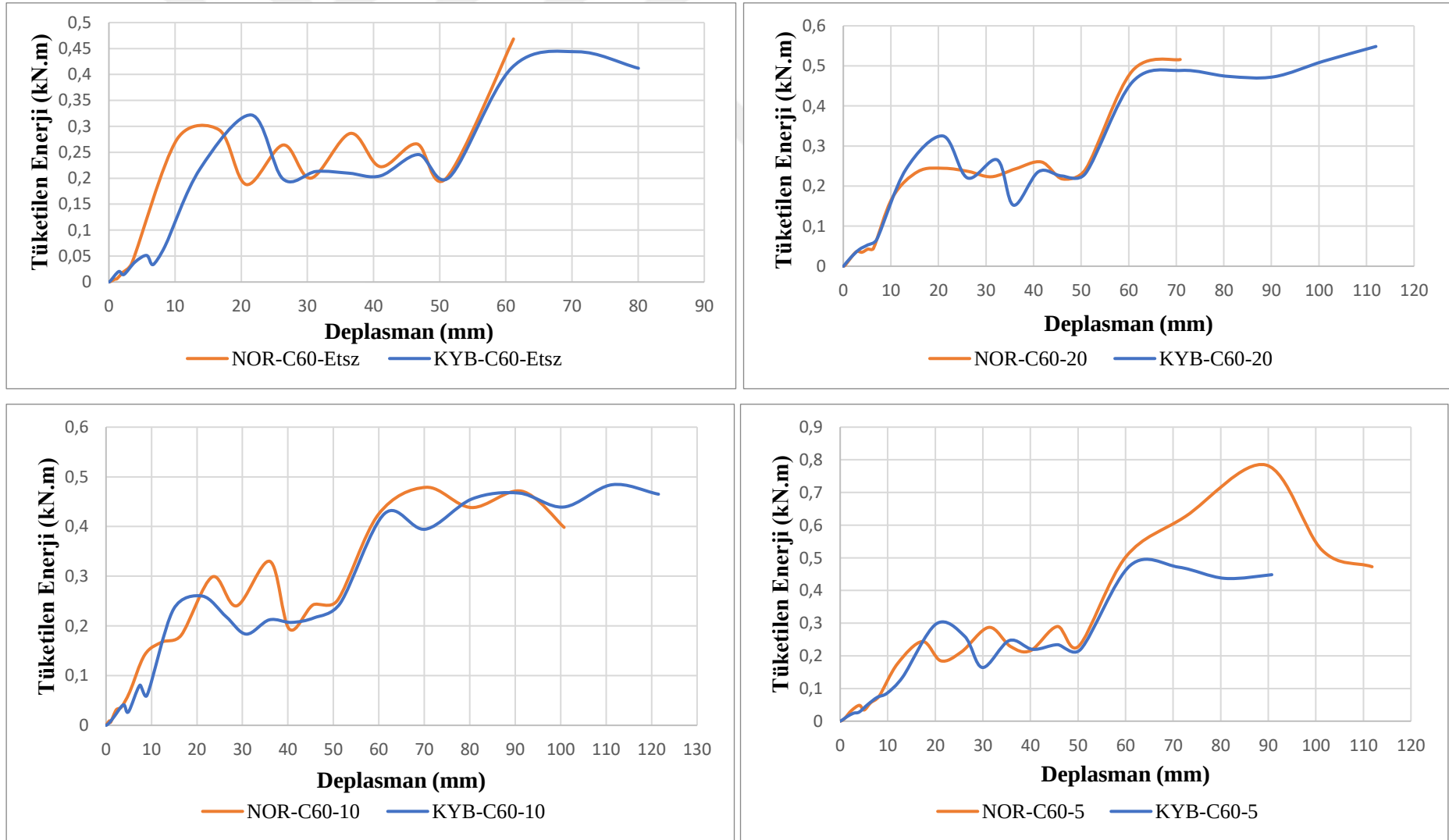
Şekil 4.195. Grup 2'ye ait yük-deplasman grafikleri



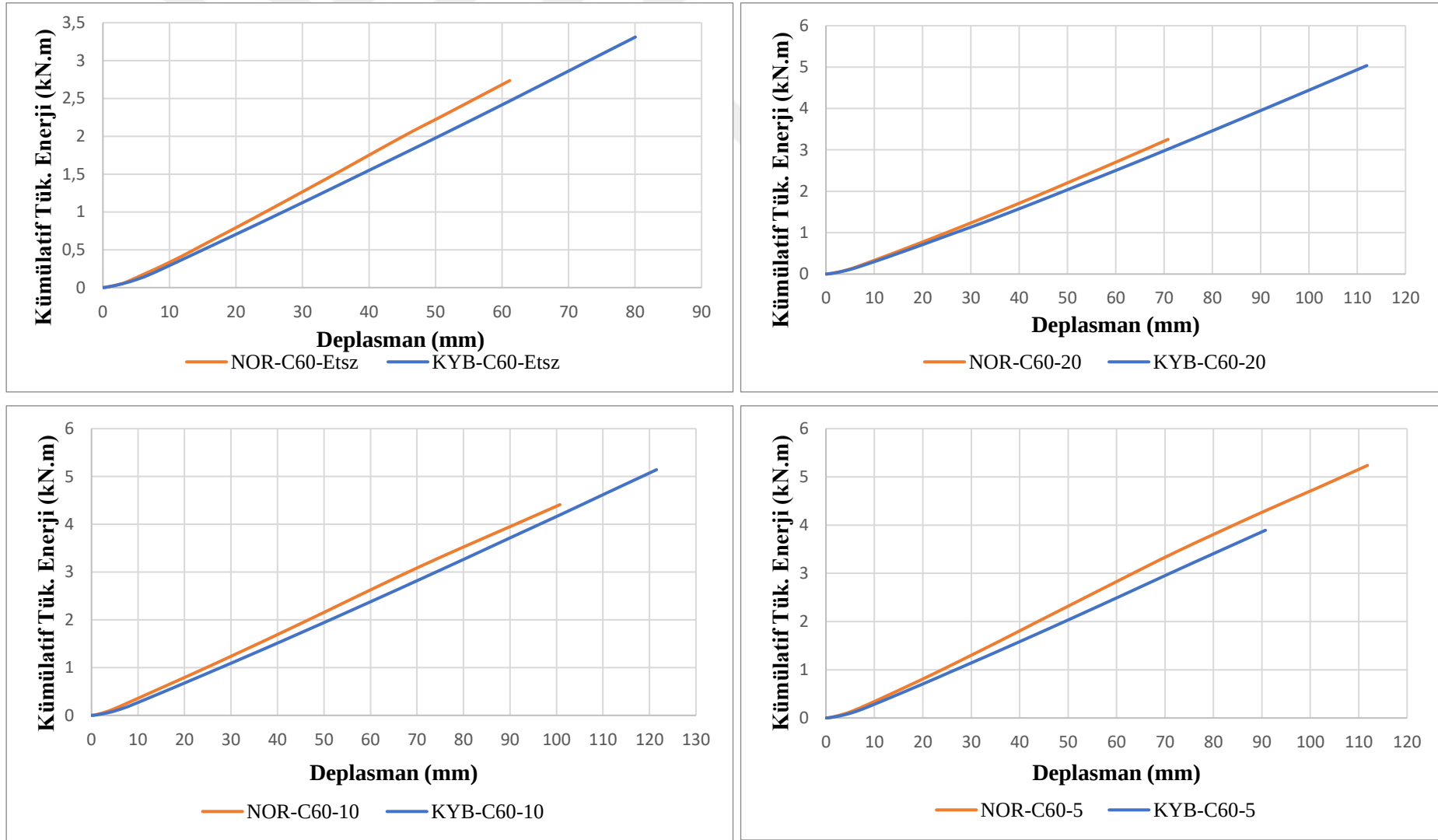
Şekil 4.196. Grup 2'ye ait rijitlik grafikleri



Şekil 4.197. Grup 2'ye ait eğim açısı grafikleri



Şekil 4.198. Grup 2'ye ait tüketilen enerji grafikleri



Şekil 4.199. Grup 2'ye ait kümülatif tüketilen enerji grafikleri

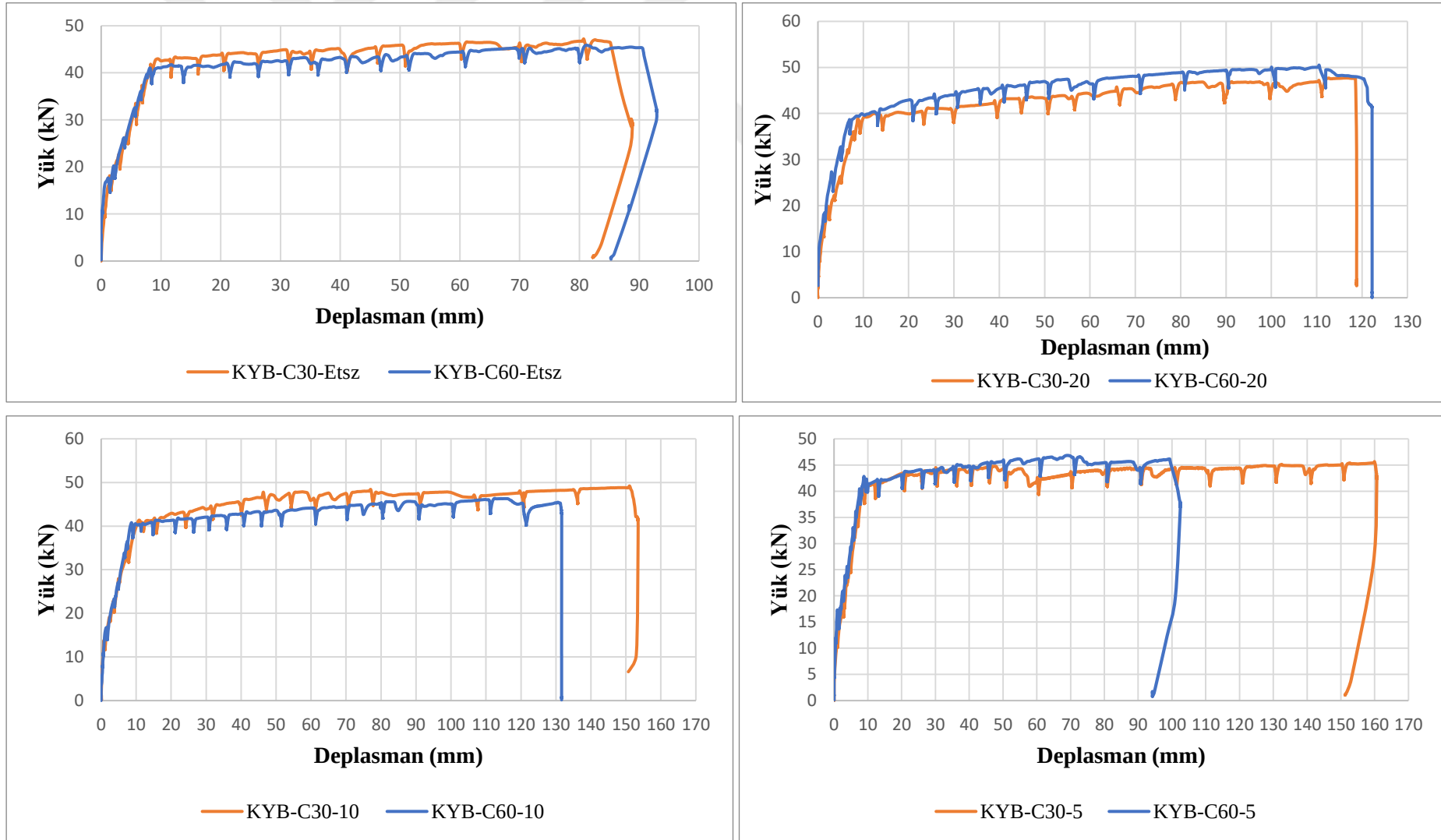
4.2.3. Beton dayanımının kiriş davranışına etkisi

Bu bölümde beton dayanımının betonarme kirişlerin davranışına etkisini incelemek amacıyla Tablo 4.18'deki Grup-3 elemanlarının deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Beton türü KYB olarak sabit tutulup, her bir kirişi aynı etriye aralığına sahip diğer beton dayanımıyla üretilen kiriş ile karşılaştırması yapılmıştır.

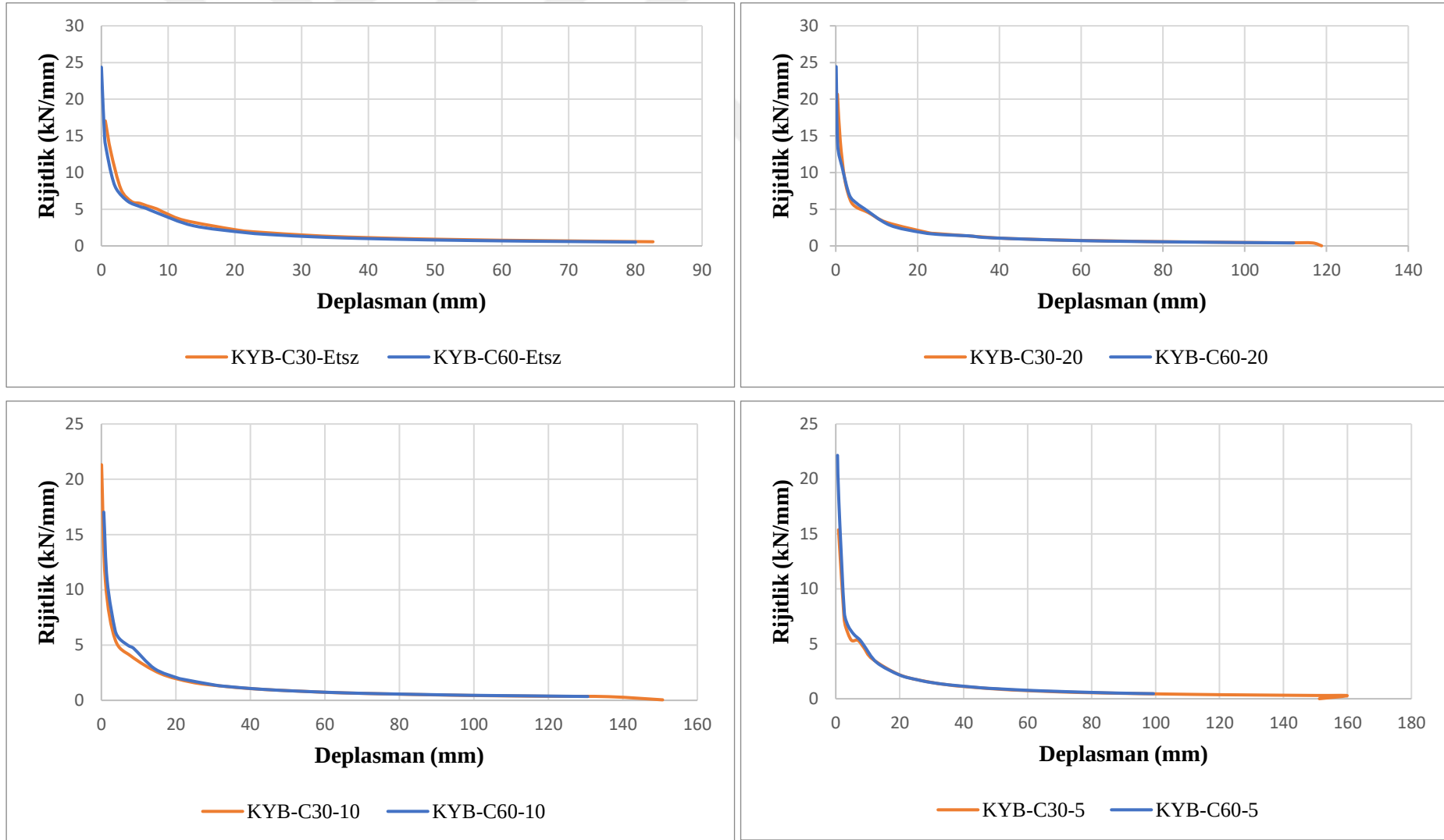
Grup-3'e ait yük-deplasman grafikleri Şekil 4.200'de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde etriye aralığı arttıkça C30 dayanımlı kirişler C60 dayanımlılardan daha fazla deplasman yapabilmektedir. Bununla birlikte yük taşıma kapasitelerinde her iki beton dayanımına sahip kirişler benzer özellikler göstermiştir. En fazla deplasman değerini 160,2 mm ile KYB-30-5 göstermiştir. En az deplasmanı ise KYB-C60-Etsz yapmıştır.

Grup-3'e ait rijitlik grafikleri Şekil 4.201'de verilmiştir. 10 cm etriye aralığına sahip kiriş hariç diğer tüm kirişlerde C60 dayanımlı betonların rijitliği C30'a göre daha fazla çıkmıştır. Eğim açısı grafikleri incelendiğinde C60 dayanımlı betonların eğim açısı C30'dan daha fazla çıkmıştır (Şekil 4.202). Bununla birlikte her iki beton da aynı yüklemelerde benzer özellikler sergilemiştir.

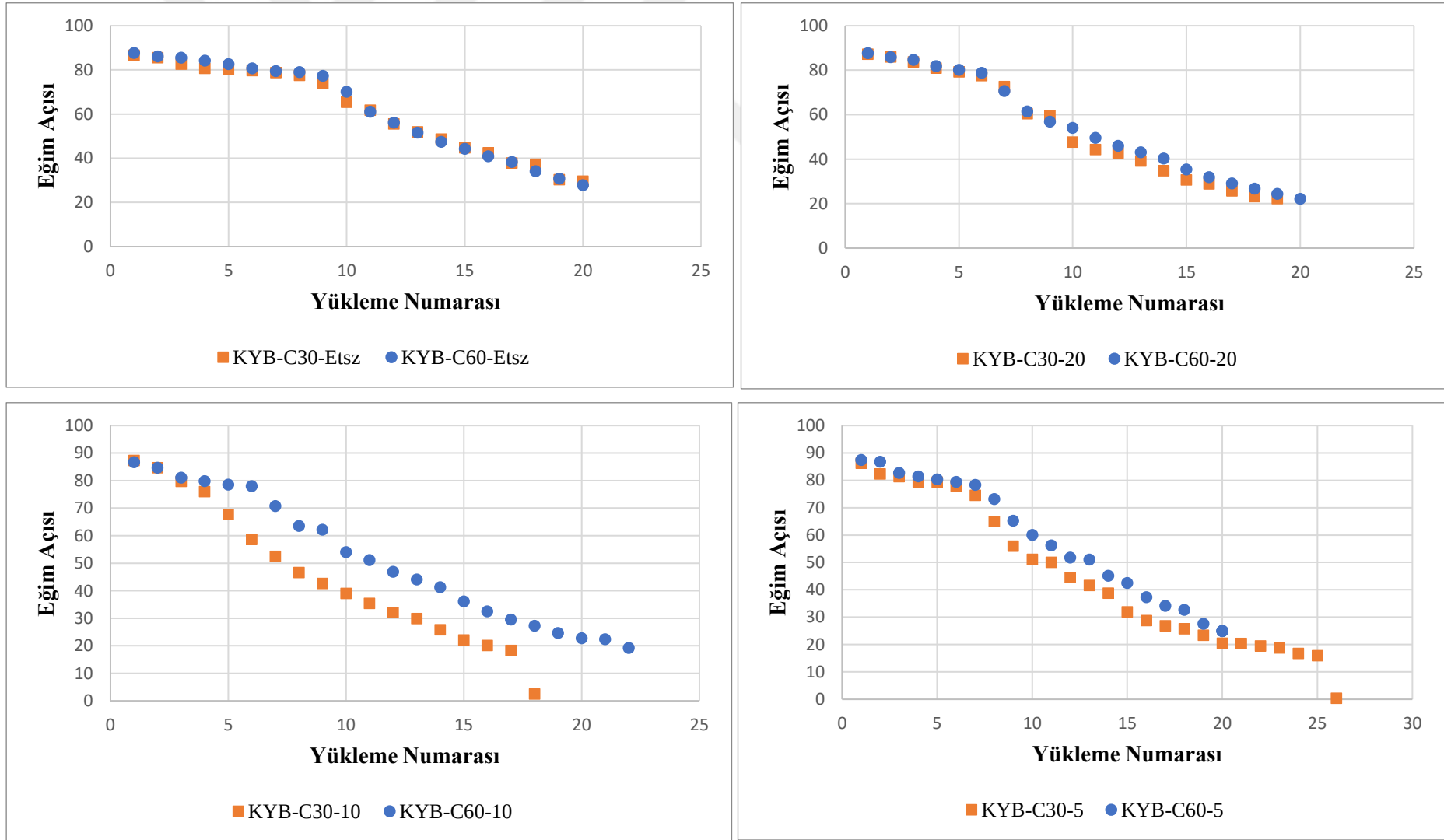
Grup-3'e ait enerji grafikleri incelendiğinde C30 dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonlu kirişlerin C60 dayanımlılara göre çok daha fazla enerji tükettiği görülmektedir (Şekil 4.303, Şekil 4.304). C30 dayanımlı kirişler yaklaşık olarak %30 daha fazla enerji tüketmiştir.



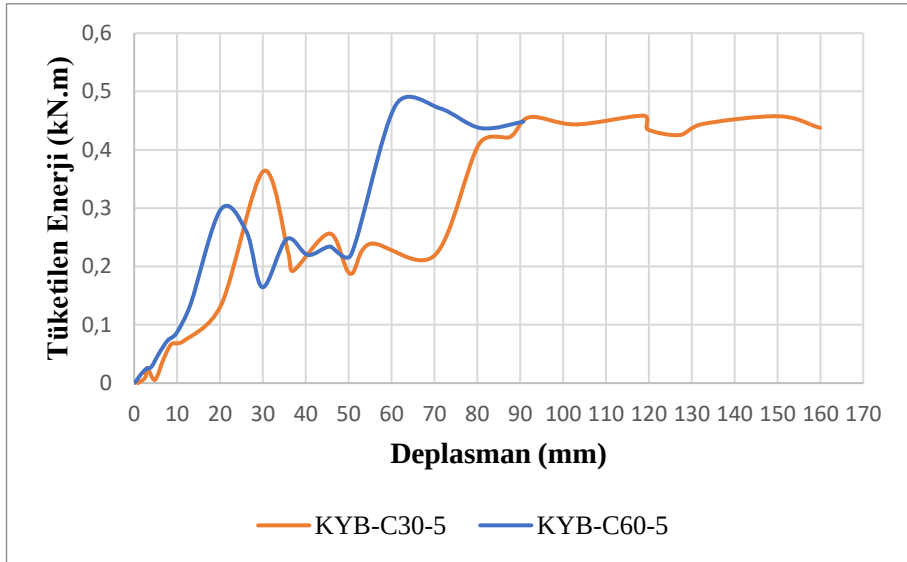
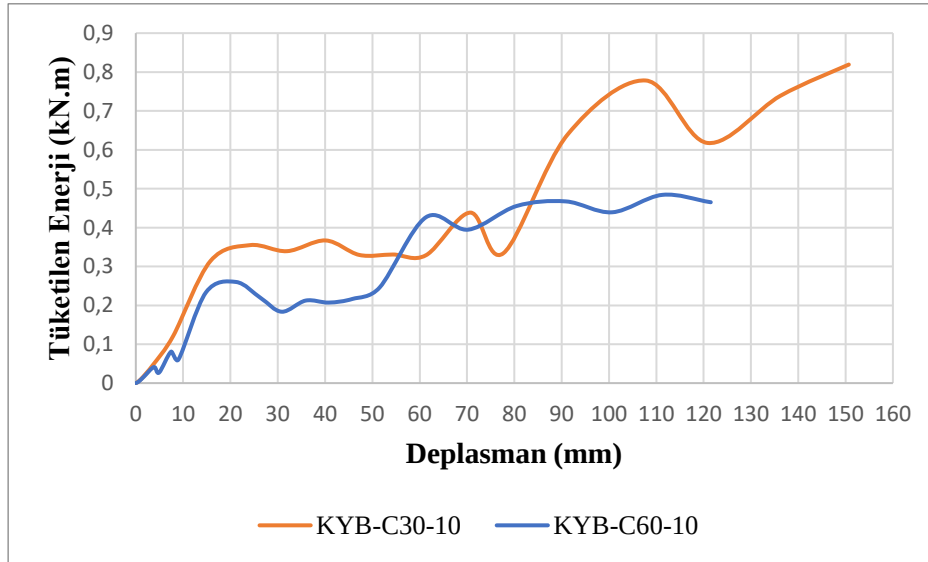
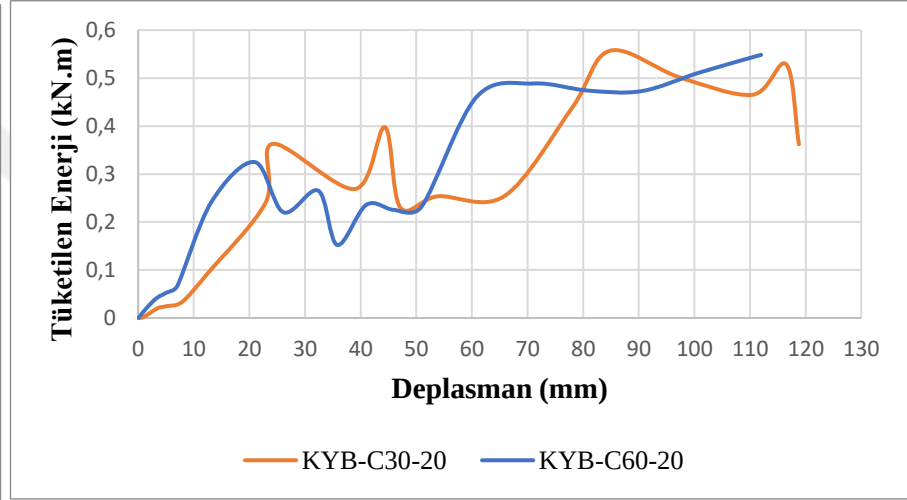
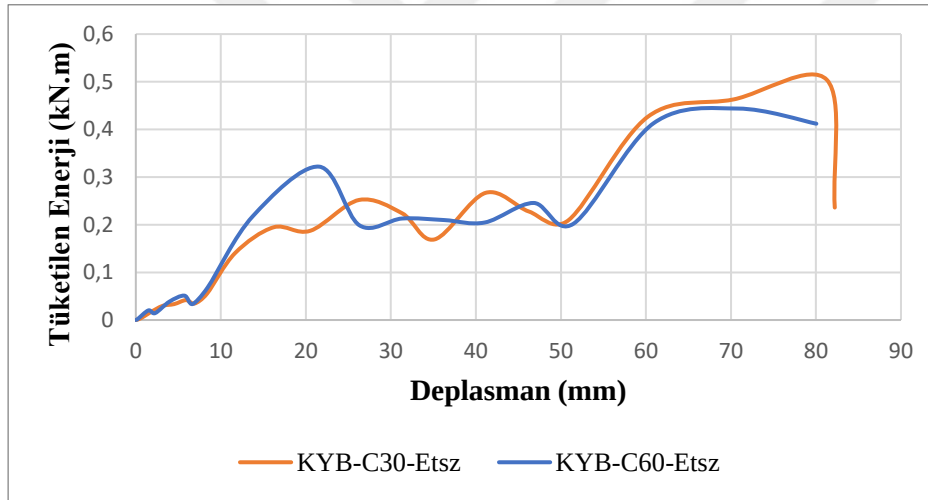
Şekil 4.200. Grup 3'e ait yük-deplasman grafikleri



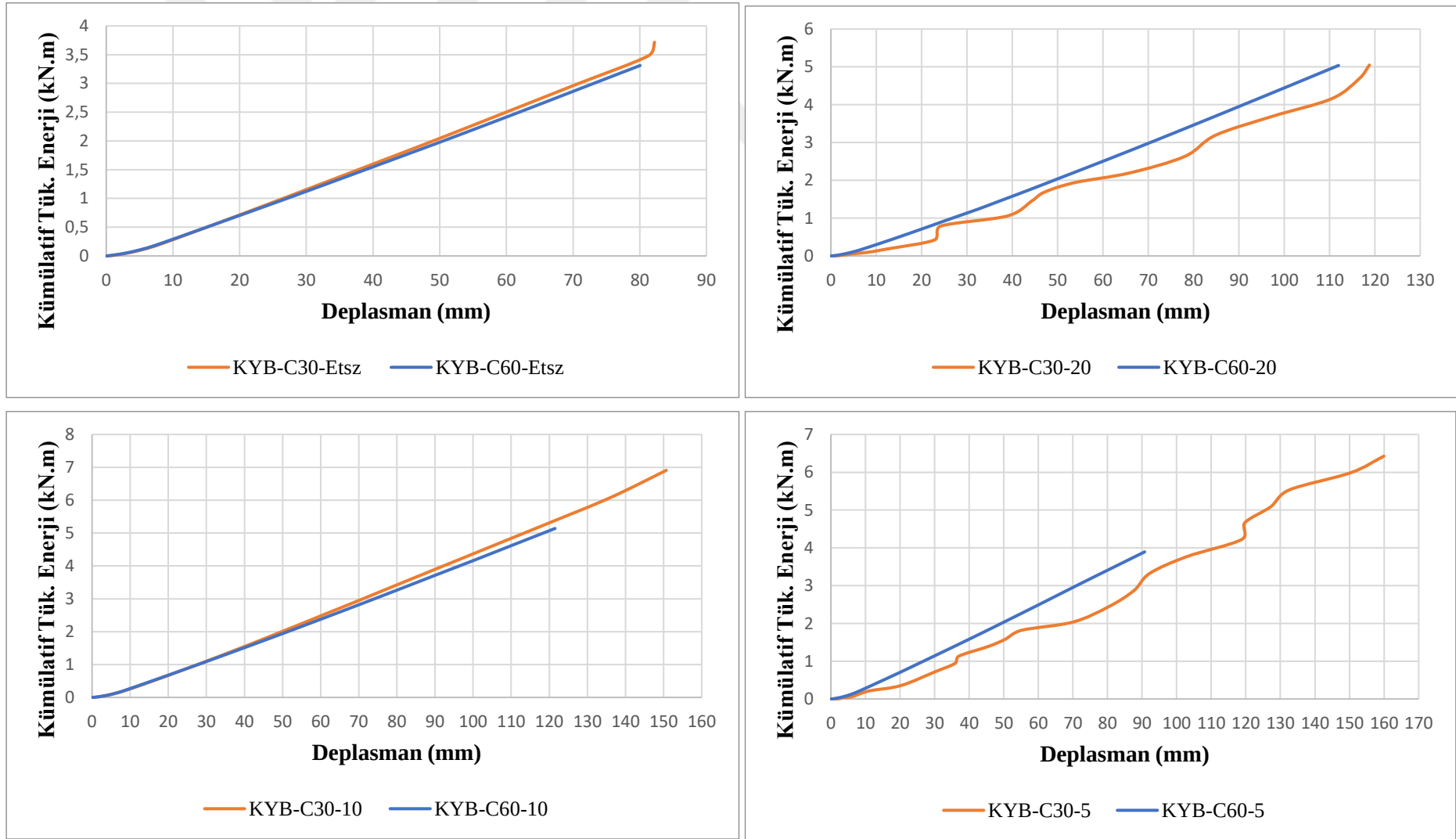
Şekil 4.201. Grup 3'e ait rijitlik grafikleri



Şekil 4.202. Grup 3'e ait eğim açısı grafikleri



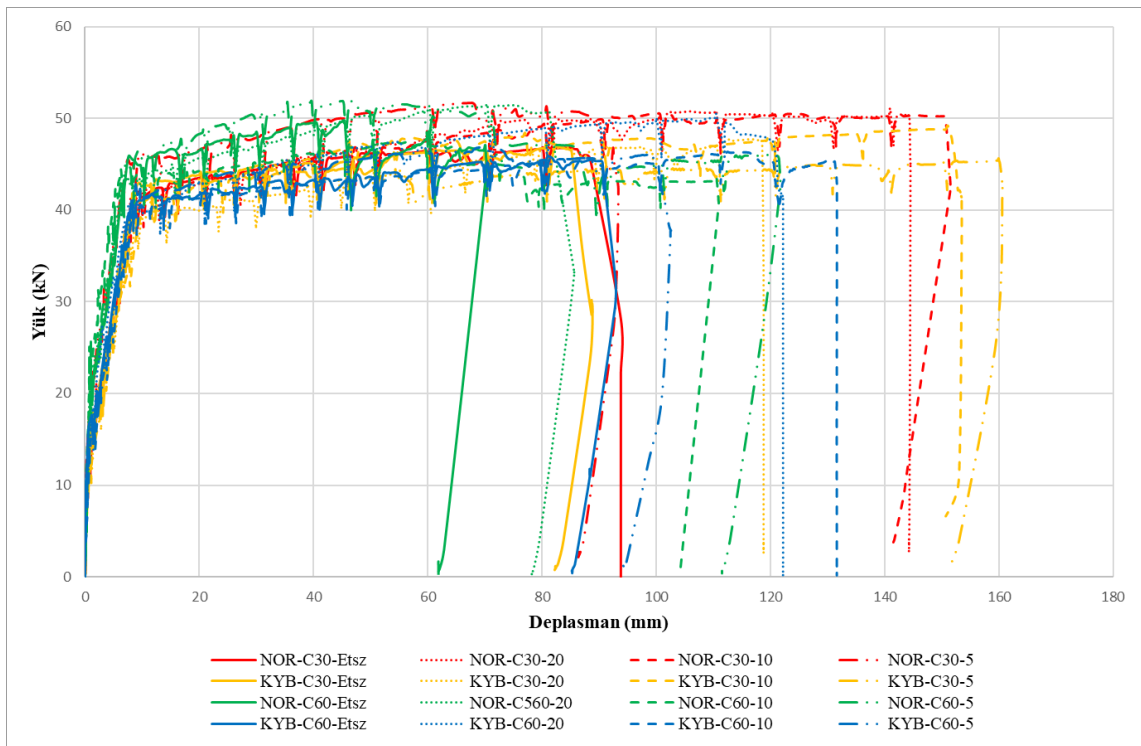
Şekil 4.203. Grup 3'e ait tüketilen enerji grafikleri



Şekil 4.204. Grup 2'ye ait kümülatif tüketilen enerji grafikleri

4.2.4. Tüm numunelerin karşılaştırılması

Deneysel çalışma kapsamında test edilen tüm numunelere ait yük-deplasman grafiği Şekil 4.205'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde en fazla yük taşıma kapasitesine sahip eleman 51,48 kN değeri ile NOR-C60-5'tir. Bununla birlikte en fazla deplasman yapan eleman 160,3 mm deplasman değeri ile KYB-C30-5 olurken, en düşük deplasman yapan numune ise 70,22 mm deplasman değeri ile NOR-C60-Etsz olmuştur.



Şekil 4.205. Tüm numunelere ait yük-deplasman grafiği

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yürütülen bu yüksek lisans tezi kapsamında, betonarme kirişlerin davranışına, etriye aralığının, beton türünün ve beton dayanımının etkisi araştırılmıştır. Toplamda 16 adet 1/2 ölçekli betonarme kiriş 4 nokta eğilme deneyine tabi tutulmuştur. Her bir elemana ait yük-deplasman verilerinden yola çıkılarak aşağıdaki grafikler elde edilmiştir:

- a) Yük-deplasman grafiği
- b) Rijitlik grafiği
- c) K_j/K_{ilk} grafiği
- d) Eğim açısı grafiği
- e) Tüketilen enerji grafiği
- f) Kümülatif tüketilen enerji grafiği

Bu sonuç ve grafiklerle, kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen betonarme kirişlerin farklı etriye aralıklarında ve farklı dayanımlarda, normal betona göre nasıl bir davranış farkı sergilediği gösterilmiştir.

5.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında yapılan deneyler sonunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- ❖ NOR-C30-Etsz elemanında ilk çatlak 16 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 42 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 13,78 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 47 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 80,45 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 88 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 20,00 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 1,07 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,44 kN.m iken maksimum yükte 3,45 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.
- ❖ NOR-C30-20 elemanında ilk çatlak 20 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 42 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 12,90 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 50 kN olup bu

noktadaki yaptığı deplasman değeri 120,03 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 145 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 24,19 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,40 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,41 kN.m iken maksimum yükte 5,50 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.

- ❖ NOR-C30-10 elemanında ilk çatlak 23 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 42 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 15,62 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 50 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 100,85 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 150 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 24,49 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,45 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,51 kN.m iken maksimum yükte 4,50 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.
- ❖ NOR-C30-5 elemanında ilk çatlak 22 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 45 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 8,60 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 52 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 60,34 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 90 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 50,02 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,89 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,28 kN.m iken maksimum yükte 2,80 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.
- ❖ KYB-C30-Etsz elemanında ilk çatlak 17 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 42 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 11,69 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 47 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 60,88 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 80 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 17,02 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,75 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,35 kN.m iken maksimum yükte 2,51 kN.m'dir. Eleman kesme kırılmasından dolayı göçmüştür.
- ❖ KYB-C30-20 elemanında ilk çatlak 15 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 40 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 13,03 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 46 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 91,94 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 118 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 20,67 kN/mm,

maksimum yükteki rijitliği ise 0,52 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,19 kN.m iken maksimum yükte 3,30 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.

- ❖ KYB-C30-10 elemanında ilk çatlak 15 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 40 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 11,32 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 48 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 140,11 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 150 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 21,31 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,32 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,47 kN.m iken maksimum yükte 6,40 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.
- ❖ KYB-C30-5 elemanında ilk çatlak 17 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 42 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 13,00 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 46 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 70,72 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 101 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 15,37 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,62 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,24 kN.m iken maksimum yükte 2,03 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.
- ❖ NOR-C60-Etsz elemanında ilk çatlak 25 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 45 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 12,34 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 50 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 46,57 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 70 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 28,53 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 1,10 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,45 kN.m iken maksimum yükte 2,06 kN.m'dir. Eleman kesme kırılmasından dolayı göçmüştür.
- ❖ NOR-C60-20 elemanında ilk çatlak 20 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 43 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 10,28 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 51 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 70,29 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 82 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 35,99 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,73 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma

anında 0,34 kN.m iken maksimum yükte 3,25 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.

- ❖ NOR-C60-10 elemanında ilk çatlak 25 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 45 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 12,34 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 47 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 51,43 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 110 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 35,45 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,93 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,40 kN.m iken maksimum yükte 2,20 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.
- ❖ NOR-C60-5 elemanında ilk çatlak 25 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 46 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 12,13 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 52 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 59,13 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 121 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 25,14 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,85 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,43 kN.m iken maksimum yükte 2,83 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.
- ❖ KYB-C60-Etsz elemanında ilk çatlak 17 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 42 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 13,76 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 45 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 71,37 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 90 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 24,36 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,59 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,44 kN.m iken maksimum yükte 2,89 kN.m'dir. Eleman kesme kırılmasından dolayı göçmüştür.
- ❖ KYB-C60-20 elemanında ilk çatlak 17 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 40 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 13,14 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 49 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 110,78 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 120 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 24,44 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,40 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,42 kN.m iken maksimum yükte 5,03 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.

- ❖ KYB-C60-10 elemanında ilk çatlak 15 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 40 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 14,81 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 45 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 110,78 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 130 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 17,02 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,40 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,46 kN.m iken maksimum yükte 4,67 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.
- ❖ KYB-C60-5 elemanında ilk çatlak 17 kN yük değerinde oluşmuştur. Eleman akma noktasına 42 kN yük seviyesinde ulaşmıştır ve bu noktadaki deplasman seviyesi 13,00 mm'dir. Elemanın ulaştığı maksimum yük 46 kN olup bu noktadaki yaptığı deplasman değeri 70,72 mm'dir. Elemana yük verme işlemi 101 mm deplasman seviyesinde durdurulmuştur. Elemanın ilk rijitliği 22,14 kN/mm, maksimum yükteki rijitliği ise 0,67 kN/mm'dir. Kümülatif enerji tüketimi akma anında 0,41 kN.m iken maksimum yükte 3,00 kN.m'dir. Eleman eğilme kırılmasından dolayı göçmüştür.

Deney sonuçlarının toplu gösterimi Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Tüm numunelere ait deney sonuçları

Numune Adı	İlk Çatlak (kN)	Akma Noktası		Maksimum Nokta		Maksimum Dep. (mm)	Rijitlik (kN/mm)		Tüketilen Enerji (kN.m)		Kırılma Biçimi
		Yük (kN)	Dep. (mm)	Yük (kN)	Dep. (mm)		Akma	Maks.	Akma	Maks.	
NOR-C30-Etsz	16	42	13,78	47	80,45	88	20,00	1,07	0,44	3,45	EĞİLME
NOR-C30-20	20	42	12,90	50	120,03	145	24,19	0,40	0,41	5,50	EĞİLME
NOR-C30-10	23	42	15,62	50	100,85	150	24,49	0,45	0,51	4,50	EĞİLME
NOR-C30-5	22	45	8,60	52	60,34	90	50,02	0,84	0,28	2,80	EĞİLME
KYB-C30-Etsz	17	42	11,69	47	60,88	80	17,02	0,75	0,35	2,51	KESME
KYB-C30-20	15	40	13,03	46	91,94	118	20,67	0,52	0,19	3,30	EĞİLME
KYB-C30-10	15	40	11,32	48	140,11	150	21,31	0,32	0,47	6,40	EĞİLME
KYB-C30-5	17	42	13,00	46	70,72	101	15,37	0,62	0,24	2,03	EĞİLME
NOR-C60-Etsz	25	45	12,34	50	46,57	70	28,53	1,10	0,45	2,06	KESME
NOR-C60-20	20	43	10,28	51	70,29	82	35,99	0,73	0,34	3,25	EĞİLME
NOR-C60-10	25	45	12,34	47	51,43	110	33,45	0,93	0,40	2,20	EĞİLME
NOR-C60-5	25	46	12,13	52	59,13	121	25,14	0,85	0,43	2,83	EĞİLME
KYB-C60-Etsz	17	42	13,76	45	71,37	90	24,36	0,59	0,44	2,89	KESME
KYB-C60-20	17	40	13,14	49	110,78	120	24,44	0,40	0,42	5,03	EĞİLME
KYB-C60-10	15	40	14,81	45	111,01	130	17,02	0,40	0,46	4,67	EĞİLME
KYB-C60-5	17	42	13,00	46	70,72	101	22,14	0,67	0,41	3,00	EĞİLME

- Kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş kirişlerde oluşan ilk çatlaktaki yük değerleri normal beton ile üretilmişlere göre daha düşük çıkmıştır.
- Tüm numunelerdeki çekme donatıları, ortalama 42 kN yük seviyesinde akma noktasına ulaşmıştır. Aynı noktadaki deplasman değerleri yine benzer sonuçlar vermiştir.
- Normal beton ile üretilmiş kirişlerin taşıyabildiği maksimum yük değeri kendiliğinden yerleşen ile üretilmişlerden daha fazla çıkmıştır.
- Genel olarak kendiliğinden yerleşen betonların kırılma olmadan deplasman yapabilme özelliği normal betona göre daha fazladır. Bu da kendiliğinden yerleşen betonun normal betona göre daha sünek olduğunu göstermektedir.
- Normal beton ile üretilmiş kirişlerin başlangıç rijitlikleri, kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmişlere göre çok daha fazladır. Bu da normal betonun kendiliğinden yerleşen betondan daha rijit olduğunu göstermektedir.
- Kendiliğinden yerleşen beton ile üretilmiş kirişler, normal beton ile üretilmişlere göre çok daha fazla enerji tüketmiştir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli bir özellik olan enerji tüketebilme yeteneği, kendiliğinden yerleşen betonda daha fazladır.
- KYB-C30-Etsz kirişi hariç diğer tüm etriyesiz kirişlerde kesme kırılması oluşmuştur.
- Genel olarak en iyi sonucu veren numuneler 10 cm etriye aralığına sahip numunelerdir. 5 cm etriyeye sahip numunelerde kirişler gevrek bir davranış gösterip ani bir şekilde göçebilmektedir.
- Genel olarak etriye aralığı azaldıkça kirişler daha fazla deplasman yapmakta, buna bağlı olarak tükettiği enerji de artmaktadır. Bu yüzden etriye aralığının uygun bir değerde olması kirişlerin davranışı açısından oldukça önemlidir.
- En fazla enerji tüketimi yapan kiriş KYB-C30-10, en az tüketen ise NOR-C60-Etsz'dir.
- Beton dayanımı arttıkça kirişler daha gevrek bir davranış sergilemeye meyillidir.
- Tüm bu sonuçlar ışığında, uygulamada kendiliğinden yerleşen betonlar, normal betonların yerine kullanılabilir. Mekanik açıdan her iki beton türünün de benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Beton dayanımı ile etriye aralığı değişimi ise kirişlerin davranışını doğrudan etkilediğinden uygun bir dayanım ve etriye aralığı belirlenmelidir. Çünkü her ne kadar genel olarak etriye aralığı azaldıkça kirişlerin sünekliği, dolayısıyla enerji yutma kapasitesi artsa da 5 cm etriye aralıklı

kirişlerde ani bir şekilde basınç kırılması oluşmuştur. Bu da kirişlerin tükettiği enerjiyi düşürmüştür. Beton türü olarak kendiliğinden yerleşen beton kullanmak isteyen proje mühendisi, hesaplarını normal betona göre yapabilir.

5.2. Öneriler

Bu deneysel çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki önerilerde bulunulabilir:

- Bu çalışmada her bir numuneden birer adet kullanılmıştır. Her bir numuneden üçer adet kullanılıp, sonuçların ortalaması alınırsa daha doğru sonuçlar elde edilecektir.
- Deneye tabi tutulan kiriş boyutları 1/2 ölçeklidir. Eğer 1/1 ölçekli numuneler kullanılırsa daha gerçekçi sonuçlar elde edilecektir. Bu sonuçlara göre boyut etkisinin kirişlerin davranışına etkisi de araştırılabilir.
- Kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen kirişlerin farklı mesnet şartlarında nasıl bir davranış sergilediğini incelemek için mesnetler ankastre olarak düzenlenebilir.
- Yapılan bu çalışmaya ek olarak, daha çok prefabrik olarak üretilen, köprü ya da viyadük gibi yapılarda kullanılan prizmatik olmayan kesitli kirişler üretilip iki beton türündeki kiriş davranışları incelenebilir.
- Kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen betonarme kolonlar, normal beton ile üretilenlerle deneysel olarak kıyaslanabilir.
- Beton karışımlarına çelik ve polipropilen lifler eklenerek eğilme davranışları incelenebilir.
- Her iki beton türü ile üretilen numunelerin imalat süresi ve maliyeti hesaplanarak uygulamaya olan etkisi araştırılabilir.
- Eğilme deneyleri yapılan kirişler güçlendirme teknikleri ile güçlendirilip farklılıklar değerlendirilebilir.
- Her iki beton türü ile üretilen kiriş-kolon çerçeve sistemlerin, tersinir tekrarlanır yanal yükler altındaki davranışları incelenebilir. Böylelikle deprem etkisi altında her iki betonun davranışları daha net belirlenmiş olur.

KAYNAKLAR

- Akinpelu, M. A., Odeyemi, S. O., Olafusi, O. S., Muhammed, F. Z. (2017). "Evaluation of splitting tensile and compressive strength relationship of self-compacting concrete", *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*.
- Alexandra, C., Bogdan, H., Camelia, N., Zoltan, K. (2018). "Mix design of self-compacting concrete with limestone filler versus fly ash addition.", *Procedia Manufacturing*, 301-308.
- Al-Shaar, A. A., Göğüş, M. T. (2017). "Flexural behavior of Lightweight Concrete and Self-Compacting Concrete-Filled Steel Tube Beams.", *Journal of Constructional Steel Research*, 153-164.
- Altın, M., Çöğürçü, M. T., Döndüren, M. S. (2006). "Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dayanım Özellikleri İçin Deneysel Bir Çalışma.", *Selçuk-Teknik Dergisi*, 5(3), 77-88.
- Altın, S., Anıl, Ö., Gökten, Y. (2004). "Betonarme Kirişlerin Kesmeye Karşı Güçlenirilmesinde Bir Kelepçe Uygulaması.", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 19(4), 415-422.
- Altun, F. (2004). "An experimental study of the jacketed reinforced-concrete beams under bending. *Construction and Building Materials*", 18(8), 611-618.
- Anonim. (2009a). <http://santiyeci.blogspot.com/2009/06/uc-nokta-silindir-deneyi.html> adresinden alındı. (Erişim tarihi: 14.10.2018)
- Anonim. (2018a). <http://www.smcmakina.com.tr/Omuz-Askili-Beton-Vibratoru.php> adresinden alındı. (Erişim tarihi: 14.10.2018)
- Anonim. (2018b). <http://www.enjoymyanmarholiday.com/index.php/service/1343/> adresinden alındı. (Erişim tarihi: 14.10.2018)
- Anonim. (2018c). <https://www.humboldtmg.com/j-ring-test-set-for-self-consolidating-concrete.html> adresinden alındı. (Erişim tarihi: 14.10.2018)
- Bartos, P. J. (2005). "Testing – SCC: Towards New European Standards For Fresh SCC. First International Symposium on Design", Performance and Use of Self Consolidating Concrete SCC, (26-28 May). Changsha, Hunan, China.
- Benaichaa, M., Alaouib, A. H., Jalbaudc, O., Burtschell, Y. (2019). "Dosage effect of superplasticizer on self-compacting concrete correlation between rheology and strength.", *Journal of Materials Research and Technology*. doi:10.1016/j.jmrt.2019.01.015
- Cengiz S., Kamanlı, M., Ünal, A., (2019). "Kendiliğinden Yerleşen Beton İle Üretilmiş Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışının İncelenmesi", 10. Uluslararası Beton Kongresi, 2-4 Mayıs. Bursa, Türkiye.

- Doğangün, A. (2016). "Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı.", İstanbul: Birsan Yayınevi.
- Ersoy, U. (2015). "Betonarme", İstanbul: Evrim Yayınevi.
- Felekoğlu, B. (2003). "Kendiliğinden yerleşen betonun fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin araştırılması", Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. İzmir.
- İnan, B. (2017). "Kendiliğinden yerleşen betonlar'da kimyasal katkı ve çimentoların beton özelliklerine etkisi.", İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kamanlı, M. (1999). "Değişken Kesitli Kirişlerin Davranışının Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi.", Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- KAMOLZODA, T. (2018). "Farklı dayanımlı bazı özel betonlar ile geleneksel betonun gerilme-şekil değiştirme davranışlarının karşılaştırılması", Erzurum : Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Kılınç, C. (2012), "Kendiliğinden Yerleşen Betonlar.", *THBB*, 70-75. THBB. adresinden alındı
- Kumar, P., Roy, R. (2018). "Study and Experimental Investigation of Flow and Flexural Properties of Natural Fiber Reinforced Self Compacting Concrete.", *6th International Conference on Smart Computing and Communications, ICSCC* (s. 598-608). Kurukshetra, India: Procedia Computer Science.
- Nasim, S., Musa, M. H., Hasan, K. (2018). "Shear Capacity Investigation of Self Compacting Concrete Beams With Rectangular Spiral Reinforced.", *Construction and Building Materials*, 189, 640-648.
- Okamura, H. (1997). "Self Compacting High Performance Concrete", *Concrete International*, 19(7), 50-54.
- Okamura, H., Ouchi, M. (1999). "Self Compacting Concrete Development, Present and Future", 1st International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete. Sweden.
- Özel, C., Kapkan, A. N. (2017). "Kendiliğinden Yerleşen Beton Özellikleri Üzerinde Agrega Özelliklerinin Etkisi", *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 1-6.
- Özhan, V. K. (2012). "Farklı beton sınıfına bağlı betonarme kirişlerin eğilme kapasitelerinin deneysel olarak incelenmesi", Afyonkarahisar: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Pajak, M. (2016). "Investigation On Flexural Properties of Hybrid Fibre Reinforced Self-Compacting Concrete", *Procedia Engineering*, 161, 121-126.

- Pajać, M., Ponikiewski, T. (2017). "Experimental investigation on hybrid steel fibers reinforced self-compacting concrete under flexure", *Procedia Engineering*, 193, 218-225.
- Qin, Z., Alehossein, H. (2013). "Performance control tests and numerical simulations for concrete in deep foundations", *Concrete in Australia*, 39(4), 26-34.
- Safaa, Y. (2018). "Kendiliğinden Yerleşen Betonla Üretilmiş Değişken Kesitli Kirişlerde Etriyenin Yerine Çelik Liflerin Kullanılabilirliğinin Araştırılması", Gaziantep: Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Safiuddin, M., Raman, S. N., Zain, M. F. (2015). "Effects of Medium Temperature and Industrial By-Products on the Key Hardened Properties of High Performance Concrete", *Materials*, 8(12), 8608-8623.
- Sağlam, A. R., Özkul, M. H. (2006). "Kendiliğinden Yerleşen Betonların Reolojik Özelliklerine Bileşim Parametrelerinin Etkisi", *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 5(1b), 239-250.
- Skarendahl, A., Petersson, Ö. (2000). "Self Compacting Concrete", RILEM publication: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC.
- Taşkın, V. (2016). "Bitlis pomzası ile kendiliğinden yerleşen hafif beton tasarımı ve özelliklerinin araştırılması", Bitlis: Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Ankara: Başkanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi.
- Topçu, İ. B., Bilir, T., Baylavlı, H. (2008). "Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri", *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. ve Mim. Fak. Dergisi*, 21(1), 1-22.
- Ünal, A. (2016). "Sabit Dikdörtgen Kesitli Kirişlerin Farklı Mesnet Koşullarında Kesme Kapasitesinin Araştırılması", Konya: Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Ünal, A., Kamanlı, M., Cengiz, S. (2018). "Effect of Stirrup Ratio on the Shear Behavior of 1/2 Scale RC Beams", *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 7(4), 309-313.
- Walraven, J. (2003). "Structural Aspects of Self Compacting Concrete", 3rd International Rilem Symposium on Self Compacting Concrete. Iceland.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Salih CENGİZ
Uyruğu : Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya/Meram – 10.03.1994
e-mail : cengizsalih42@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Konya Lisesi (Anadolu), Meram, Konya	2012
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2017
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2019

UZMANLIK ALANI

Mekanik, Betonarme

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

Uluslararası Makaleler:

1. Alptuğ Ünal, Mehmet Kamanlı, **Salih Cengiz**, “Effect of Stirrup Ratio on the Shear Behavior of 1/2 Scale RC Beams.”, International Journal of Structural and Civil Engineering Research Vol. 7, No. 4, 309-313, 2018.

Uluslararası Bildiriler:

Tam Metinli Bildiriler (Yabancı dilde sözlü sunulan ve tam metni yayınlananlar):

1. **Salih Cengiz**, Mehmet Kamanlı, Alptuğ Ünal, Fatih Mehmet Aşık, (2019), “Niğde İş-Kur Binası Hasarlı Yapı Analizi”, Ereğli International Science and Academic Congress (INSAC), 9-10 March, Ereğli, Konya/Turkey.

2. Ehsanullah Samadoghli, Mehmet Kamanlı, **Salih Cengiz**, Alptuğ Ünal, (2019), “Karot Basınç Dayanımının Etkileyen Faktörlerin Araştırılması”, 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS), 19-21 April, Ankara/Turkey.

3. Salih Cengiz, Mehmet Kamanlı, Alptuğ Ünal, (2019), “Kendiliğinden Yerleşen Beton İle Üretilmiş Betonarme Kirişlerin Eğilme Davranışının İncelenmesi”, 10. Uluslararası Beton Kongresi, 2-4 Mayıs, Bursa/Türkiye. **(Yüksek Lisans Tezinden Türetilmiştir.)**

Özet (Yabancı dilde sözlü sunulan ve özeti yayınlananlar):

1. Salih Cengiz, Fatma Nur Sözüer, Mehmet Kamanlı, Ülkü Sultan Keskin, Alptuğ Ünal, Oğuzhan Öztürk, “The Effects of Ground Limestone on the Permeability of Concrete.”, 3rd International Conference on Civil and Enviromental Engineering (ICOCEE), 24-27 April 2018, Çeşme/Turkey.

2. Fatma Nur Sözüer, Salih Cengiz, Mehmet Kamanlı, Ülkü Sultan Keskin, Alptuğ Ünal, Oğuzhan Öztürk, “Effect Of Fine Corn Stalk Ash On The Permeability And Mechanical Properties Of Lightweight Concrete.”, 3rd International Conference on Civil and Enviromental Engineering (ICOCEE), 24-27 April 2018, Çeşme/Turkey.

3. Burak Arda Akgöbek, Mehmet Kamanlı, **Salih Cengiz**, Alptuğ Ünal, “Dikdörtgen Planlı 19. YY. Konya Sille Subaşı Camii Statik Analizi.”, Uluslararası Türk Dünyası Araştırmaları Sempozyumu, 23-25 Kasım 2018, Afyonkarahisar/Türkiye.

4. Salih Cengiz, Mehmet Kamanlı, Alptuğ Ünal, (2018), “Investigation of Shear and Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beams Produced with Self Compacting Concrete.”, 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS-Winter), November 30-December 2, Samsun/Turkey. **(Yüksek Lisans Tezinden Türetilmiştir.)**

5. Mehmet Kamanlı, Dhikra Ghiloufi , Bilgehan Kekeç, Burak Demirbaş, Atila Demiröz, **Salih Cengiz**, (2019), “Microstructural Analysis on the Effect of Using Recycled Aggregate (RA) in Concrete on its Internal Transition Zone (ITZ) Using Scanning Electron Microscopy (SEM)”, 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies (ISAS), 19-21 April, Ankara/Turkey.

Ulusal Bildiriler:

Tam metinli bildiriler (Sözlü sunulan ve tam metni yayınlananlar):

1. Fatma Nur Sözüer, Salih Cengiz, Mehmet Kamanlı, Ülkü Sultan Keskin, (2018), “Mısır Sapı Külü Katkılı Hafif Betonların Basınç Dayanımının Araştırılması.”, 9. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi – UKAY, 9-12 Mayıs 2018, Konya/Türkiye.