

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DARBE YÜKÜ ETKİSİ ALTINDAKİ BETONARME KİRİŞLERİN
SONLU ELEMANLAR METODU İLE İNCELENMESİ**

Yusuf BAHÇACI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Mekanik Programı

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep FIRAT ALEMDAR

Temmuz, 2021

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DARBE YÜKÜ ETKİSİ ALTINDAKİ BETONARME KİRİŞLERİN
SONLU ELEMANLAR METODU İLE İNCELENMESİ

Yusuf BAHÇACI tarafından hazırlanan tez çalışması 12.07.2021 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep FIRAT
ALEMDAR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Zeynep FIRAT ALEMDAR, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Çağrı MOLLAMAHMUTOĞLU, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI, Üye

Konya Teknik Üniversitesi

Danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep FIRAT ALEMDAR sorumluluğunda tarafımda hazırlanan Darbe Yüğü Etkisi Altındaki Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Metodu ile İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Yusuf BAHÇACI

İmza



Aileme
ve
Biricik Eşime

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca her daim değerli vaktini ayırıp bilgi ve birikimleri ile bana destek olan, tez çalışmasının planlanmasından yazılmasına kadar her aşamada yardımlarını esirgemeyen, araştırmaya, öğrenmeye teşvik edip akademik anlamda ışık tutan değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep FIRAT ALEMDAR'a şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince her daim bilgi ve tecrübelerini esirgmeden paylaşan, akademik anlamda yol gösteren çok kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih ALEMDAR'a sonsuz teşekkür ederim.

Hayatım boyunca arkamda olduklarını hissettiren, her konuda destek olup yol gösteren, hayatımın her anında doğru ve dürüst yaşamaya teşvik eden, her türlü fedakarlığı esirgmeden bu günlere gelmemi sağlayan, haklarını hiçbir şekilde ödeyemeyeceğim çok değerli anneme, babama ve kardeşlerime sonsuz minnet ve şükranlarımı sunarım.

Her anımda yanımda olup desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, gerek hayat içerisinde gerekse tez sürecimde maddi ve manevi beni motive eden, hayattaki en büyük desteğim, sevgili eşim Şüheda Berna BAHÇACI'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yusuf BAHÇACI

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	xv
ABSTRACT	xvii
1 GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Tezin Amacı	25
1.3 Hipotez	25
2 KİRİŞ ELEMEN ve KİRİŞ ELEMEN TÜRLERİ	26
2.1 Destek Koşullarına Göre Kirişler.....	26
2.2 Yapı Malzemelerine Göre Kirişler.....	28
2.3 Kesit Şekillerine Göre Kirişler.....	30
2.4 Geometrisine Göre Kirişler.....	31
3 ANALİZDE KULLANILAN KİRİŞLERİN ÖZELLİKLERİ ve DARBE YÜKÜ	33
3.1 Kiriş Tasarımları.....	33
3.2 Malzeme Modeli.....	40
3.3 Darbe Yüğü	44
4 SONLU ELEMENLER METODU	50
4.1 ABAQUS.....	52
5 SONLU ELEMEN ANALİZLERİ	55
5.1 Uygulanacak Yöntem Özeti.....	55
5.2 C25 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerin Analizleri	55
5.3 C60 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerin Analizi.....	96
6 ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	136
7 SONUÇ ve ÖNERİLER	152
KAYNAKÇA	154
TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR	156

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Darbe Testleri İçin Numune Tutucu ve Ray Sistemi	2
Şekil 1.2 Düz Betonun Darbe Kırılması, Çarpmadan Sonraki İlk 18 ms.	3
Şekil 1.3 Deney Kirişi İçin Orta Açıklıkta Çeşitli Tepe Yer Değiştirme Yüzdelerine Karşılık Gelen Analitik Çatlak Modelleri	4
Şekil 1.4 Bir Deney Elemanı İçin İlk Çarpma Anında Kayıt Edilen Hasar Aşamaları	6
Şekil 1.6 5, 6, 7 ve 8 m Düşme Yükseklikleri İçin Kirişlerde Oluşan Çatlak Profilleri	8
Şekil 1.7 Test Numunelerinin Üç Boyutlu Sonlu Eleman Modelleri	9
Şekil 1.8 50*50 Numunelerin Gerilme Dağılımı.....	10
Şekil 1.9 100*100 Numunelerin Gerilme Dağılımı	10
Şekil 1.10 Dört Farklı CFRP Güçlendirme Türü Şemaları, TCN, TCC, TLB ve TLC ..	12
Şekil 1.11 Darbe Yükleme Test Düzenegi.....	13
Şekil 1.12 Tek Darbeli Yükleme Testinde Maksimum Orta Açıklık Sapmaları	13
Şekil 1.13 Tek Darbeli Yükleme Testinde 100 mm Düşme Yüksekliğinde Hasar Modları	14
Şekil 1.14 Tek Darbeli Yükleme Testinde 400 mm Düşme Yüksekliğinde Hasar Modları	14
Şekil 1.15 Normal Dayanımlı Numunelerin Hasar Modları.....	16
Şekil 1.16 Çelik Fiber Takviyeli Numunelerin Hasar Modları.....	16
Şekil 1.17 Çelik Profilinin Maksimum Yer Değiştirme Hali	17
Şekil 1.18 Deney Numunesinin; a) Önceki, b) Sonraki Hali	19
Şekil 1.20 (a) Eğilme Hasarı ve (b) Kesme Hasarı Modları İçin Değişen Darbe Hızları Altındaki Çatlak Modellerinin Karşılaştırmalı Analizi	21
Şekil 1.21 Tanımlanan E1 Alanının t_0 'dan t_5 'e Evrim Sürecinde Statik Testi İçin Hasar Profilleri.....	22
Şekil 1.22 Tanımlanan E1 Alanının t_0 'dan t_5 'e Evrim Sürecinde Darbe Testi İçin Hasar Profilleri.....	22
Şekil 1.23 Test Düzenegi Kurulumu	23
Şekil 1.24 Toplu Hasar Kiriş Modeli; a) Elastik Olmayan Mafsallara Sahip Elastik Kiriş, b) Genelleştirilmiş Deformasyonlar, c) Genelleştirilmiş Gerilmeler, d) Plastik Dönme ve Hasar Değişkeni	24
Şekil 1.25 Analiz Edilen Kirişlerin Çatlama Düzeni Şeması	24
Şekil 2.1 İki Ucu Ankastre Mesnet Olan Sabit Kiriş.....	26
Şekil 2.2 Bir Ucu Sabit, Diğer Ucu Serbest Olan Konsol Kiriş.....	27
Şekil 2.3 Bir Ucu Sabit, Bir Ucu Hareketli Mesnet Olan Basit Kiriş.....	27
Şekil 2.4 İki den Fazla Noktadan Mesnetlenen Sürekli Kiriş.....	27
Şekil 2.5 Betonarme Kiriş	28
Şekil 2.6 I Profil Çelik Kiriş.....	28
Şekil 2.7 Ahşap Kiriş	29
Şekil 2.8 Kompozit Kiriş	29
Şekil 2.9 Dikdörtgen Kesitli Kiriş.....	30
Şekil 2.10 T ve L Profil Kiriş.....	30
Şekil 2.11 Çelik Kiriş Profilleri.....	31

Şekil 2.12 Düz Kirişler	31
Şekil 2.13 Kavisli Kirişler	32
Şekil 2.14 Konik Kiriş	32
Şekil 3.1 Özel Deprem Etriyeleri	36
Şekil 3.2 Etriye Aralığı Sınırları	37
Şekil 3.3 Tamamı Etriyesiz Kiriş Tasarımı	38
Şekil 3.4 Tamamı 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Tasarımı	39
Şekil 3.5 Sıklaştırma Bölgesinde 10 cm, Orta Bölgede 20 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Eleman.....	39
Şekil 3.6 Eksenel Çekme Altında Beton Davranışı	41
Şekil 3.7 Eksenel Basınç Altında Beton Davranışı	41
Şekil 3.8 C25 ve C60 Beton İçin Kullanılan Malzeme Modeli Basınç Grafiği	42
Şekil 3.9 C25 ve C60 Beton İçin Kullanılan Malzeme Modeli Çekme Grafiği	42
Şekil 3.10 Analizlerde Kullanılan Embedded Özelliği	43
Şekil 3.11 Betonarme Binaya Çarpan Araç	44
Şekil 3.12 Betonarme Binaya Çarpan Kamyon.....	45
Şekil 3.13 Gence'ye Atılan Füze Sonrası Betonarme Binada Oluşan Hasarlar	45
Şekil 3.14 Gümüşhane'de Betonarme Bir Binaya Düşen Kaya Parçaları	46
Şekil 3.15 Boğazda Bir Geminin Yalya Çarpması Sonucu Oluşan Hasar	46
Şekil 3.16 Pakistan'da Betonarme Bir Binada Gerçekleşen Patlama Sonrası Oluşan Hasarlar	47
Şekil 3.17 Farklı Yükleme Durumlarında Yapılarda Oluşan Şekil Değiştirme Hızı	48
Şekil 3.18 Analizlerde Kullanılan Kirişlerin Genel Görünümü	48
Şekil 3.19 X Doğrultusunda Yüke Maruz Bırakılan Kirişlerin Genel Görünümü	49
Şekil 4.1 Sonlu Elemanlar İle Modellenen a) Boşluklu Plak b) Köprü Plağı	51
Şekil 4.2 Sonlu Elemanlar İle Modellenen a) Su Deposu b) Hava Yastığı Simulasyon	51
Şekil 4.3 Abaqus/Standart Çözümlemesi	52
Şekil 4.4 Abaqus/Explicit Çözümlemesi	53
Şekil 4.4 Abaqus/CFD Çözümlemesi	53
Şekil 4.5 Abaqus/CAE Çözümlemesi Örnekleri	54
Şekil 5.1 C25 Etriyesiz Kiriş Modeli	55
Şekil 5.2 C25 Etriyesiz Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği	56
Şekil 5.3 C25 Etriyesiz Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman	56
Şekil 5.4 C25 Etriyesiz Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği	57
Şekil 5.5 C25 Etriyesiz Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı	58
Şekil 5.6 C25 Etriyesiz Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	59
Şekil 5.7 C25 Etriyesiz Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	59
Şekil 5.8 C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli	60
Şekil 5.9 C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği	60

Şekil 5.10	C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman	61
Şekil 5.11	C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği	61
Şekil 5.12	C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı	62
Şekil 5.13	C25 10 cm Etriye Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	63
Şekil 5.14	C25 10 cm Etriye Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	63
Şekil 5.15	C25 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	64
Şekil 5.16	C25 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	64
Şekil 5.17	C25 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 65 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	65
Şekil 5.18	C25 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	66
Şekil 5.19	C25 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 45 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	66
Şekil 5.20	C25 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	67
Şekil 5.21	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli.....	68
Şekil 5.22	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği	68
Şekil 5.23	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman	69
Şekil 5.24	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği.....	69
Şekil 5.25	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı	70
Şekil 5.26	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	71
Şekil 5.27	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	71
Şekil 5.28	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	72
Şekil 5.29	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	72
Şekil 5.30	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 70 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	73

Şekil 5.31	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	74
Şekil 5.32	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 30 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	74
Şekil 5.33	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	75
Şekil 5.34	C25 Etriyesiz Kiriş Modeli.....	76
Şekil 5.35	C25 Etriyesiz Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği.....	76
Şekil 5.36	C25 Etriyesiz Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman	77
Şekil 5.37	C25 Etriyesiz Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği	77
Şekil 5.38	C25 Etriyesiz Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı	78
Şekil 5.39	C25 Etriyesiz Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	79
Şekil 5.40	C25 Etriyesiz Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	79
Şekil 5.41	C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli	80
Şekil 5.42	C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği.....	80
Şekil 5.43	C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman	81
Şekil 5.44	C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği	81
Şekil 5.45	C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı	82
Şekil 5.46	C25 10 cm Etriyeli Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	83
Şekil 5.47	C25 10 cm Etriyeli Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	83
Şekil 5.48	C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	84
Şekil 5.49	C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 45 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	84
Şekil 5.50	C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	85
Şekil 5.51	C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	86
Şekil 5.52	C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 35 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	86
Şekil 5.53	C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 45 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme.....	87

Şekil 5.54	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli.....	88
Şekil 5.55	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği	88
Şekil 5.57	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği.....	89
Şekil 5.58	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı	90
Şekil 5.59	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	91
Şekil 5.60	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	91
Şekil 5.61	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	92
Şekil 5.62	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 30 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	92
Şekil 5.63	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	93
Şekil 5.64	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	94
Şekil 5.65	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	94
Şekil 5.66	C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 70 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	95
Şekil 5.67	C60 Etriyesiz Kiriş Modeli	96
Şekil 5.68	C60 Etriyesiz Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği.....	96
Şekil 5.69	C60 Etriyesiz Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman	97
Şekil 5.70	C60 Etriyesiz Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği	97
Şekil 5.71	C60 Etriyesiz Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı	98
Şekil 5.72	C60 Etriyesiz Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	99
Şekil 5.73	C25 Etriyesiz Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	99
Şekil 5.74	C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli	100
Şekil 5.75	C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği.....	100
Şekil 5.76	C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman	101

Şekil 5.77	C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği	101
Şekil 5.78	C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı	102
Şekil 5.79	C60 10 cm Etriye Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	103
Şekil 5.80	C60 10 cm Etriye Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	103
Şekil 5.81	C60 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	104
Şekil 5.82	C60 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	104
Şekil 5.83	C60 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 65 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	105
Şekil 5.84	C60 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	106
Şekil 5.85	C60 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 45 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	106
Şekil 5.86	C60 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	107
Şekil 5.87	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli.....	108
Şekil 5.88	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği	108
Şekil 5.89	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman	109
Şekil 5.90	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği.....	109
Şekil 5.91	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı	110
Şekil 5.92	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	111
Şekil 5.93	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	111
Şekil 5.94	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	112
Şekil 5.95	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	112
Şekil 5.96	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 70 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	113
Şekil 5.97	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	114

Şekil 5.98	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme	114
Şekil 5.99	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 70 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme	115
Şekil 5.100	C60 Etriyesiz Kiriş Modeli	116
Şekil 5.101	C60 Etriyesiz Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği.....	116
Şekil 5.102	C60 Etriyesiz Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman.....	117
Şekil 5.103	C60 Etriyesiz Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği.....	117
Şekil 5.104	C60 Etriyesiz Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı.....	118
Şekil 5.105	C60 Etriyesiz Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme	118
Şekil 5.106	C60 Etriyesiz Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme	119
Şekil 5.107	C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli	119
Şekil 5.108	C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği	120
Şekil 5.109	C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman	120
Şekil 5.110	C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği.....	121
Şekil 5.111	C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı	121
Şekil 5.112	C60 10 cm Etriyeli Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme	122
Şekil 5.113	C60 10 cm Etriyeli Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme	123
Şekil 5.114	C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme	123
Şekil 5.115	C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 45 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme	124
Şekil 5.116	C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme	125
Şekil 5.117	C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme	125
Şekil 5.118	C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme	126
Şekil 5.119	C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 65 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme	127

Şekil 5.120	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli	127
Şekil 5.121	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği	128
Şekil 5.122	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman.....	128
Şekil 5.123	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği.....	129
Şekil 5.124	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı.....	129
Şekil 5.125	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	130
Şekil 5.126	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	131
Şekil 5.127	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	131
Şekil 5.128	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	132
Şekil 5.129	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 70 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	133
Şekil 5.130	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme	133
Şekil 5.131	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	134
Şekil 5.132	C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 70 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme.....	135
Şekil 6.1	C25 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Max. Deplasmanlar	137
Şekil 6.2	C25 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilme – Şekil Değiştirme Grafiği	138
Şekil 6.3	C25 ve C60 Etriyesiz Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Max. Deplasman.....	138
Şekil 6.4	C25 ve C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Max. Deplasman	139
Şekil 6.5	C25 ve C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Max. Deplasman.....	139
Şekil 6.6	C25 ve C60 Etriyesiz Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilme – Şekil Değiştirme Grafiği	140

Şekil 6.7 C25 ve C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilme – Şekil Değiştirme Grafiği	140
Şekil 6.8 C25 ve C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilme – Şekil Değiştirme Grafiği.....	141
Şekil 6.9 C60 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Max. Deplasmanlar	141
Şekil 6.10 C60 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilme – Şekil Değiştirme Grafiği.....	142
Şekil 6.11 C25 ve C60 Etriyersiz Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı.....	143
Şekil 6.12 C25 ve C60 10 cm Etriyeli Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı.....	144
Şekil 6.13 C25 ve C60 20_10 cm Etriyeli Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı.....	145
Şekil 6.14 C25 Etriyersiz Kirişin X Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı.....	146
Şekil 6.15 C60 Etriyersiz Kirişin X Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı.....	146
Şekil 6.16 C25 10 cm Etriyeli Kirişin X Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı.....	147
Şekil 6.17 C60 10 cm Etriyeli Kirişin X Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı.....	147
Şekil 6.18 C25 20_10 cm Etriyeli Kirişlerin X Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı.....	148
Şekil 6.19 C60 20_10 cm Etriyeli Kirişlerin X Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı.....	148
Şekil 6.20 C25 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerde Oluşan Kuvvet – Deplasman Grafiği	149
Şekil 6.21 C60 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerde Oluşan Kuvvet – Deplasman Grafiği	149
Şekil 6.22 C25 ve C60 Etriyersiz Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Kuvvet - Deplasman Grafiği	150
Şekil 6.23 C25 ve C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Kuvvet - Deplasman Grafiği	150
Şekil 6.24 C25 ve C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Kuvvet - Deplasman Grafiği	151

Darbe Yüğü Etkisi Altındaki Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Metodu İle İncelenmesi

Yusuf BAHÇACI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zeynep FIRAT ALEMDAR

Geçmişten günümüze önemli ve uygulamada yaygın kullanıma sahip bir yapı elemanı olan betonarme kirişler, hizmet ömürleri boyunca statik ve dinamik yükler gibi çeşitli yüklere maruz kalmaktadırlar. Zaman sürecine yayılı sabit yükler olarak tanımlanabilen statik yüklerin aksine; dinamik yükler, anlık bir zamana toparlanmış ani yükler olarak tanımlanabilir. Yapı elemanları statik yükler altında yüksek mukavemet gösterirken, dinamik yükler altında gevrek bir davranış sergileyip aniden kırılmaktadır. Ani bir dinamik yükleme olarak kabul edilen darbe yükleri altındaki betonarme yapı elemanlarının tasarımı, son yıllarda artış gösteren yıkıcı depremler, terör saldırıları ve patlamalar gibi yapıların üzerinde darbe yüğü etkisi oluşturan olayların yanısıra; mermi, roket, gemi, uçak, kaya ve araç benzeri cisimlerin binalara çarpması gibi olaylar nedeniyle de günümüzde gittikçe daha çok önem kazanan bir konu haline gelmiştir. Özellikle günümüzde terör saldırılarının her geçen gün artması karşısında, yapı elemanlarının darbe yüklerine karşı dayanımının, hastahane ve devlet binaları gibi stratejik öneme sahip yapılarda bir hayli önem arz ettiği gözlemlenmiştir. Buna rağmen problemin kompleks yapısından ötürü betonarme yapı elemanlarının bu tür yüklere karşı tasarımı için genel kabul görmüş herhangi bir yönetmelik ya da yönerge bulunmamaktadır.

Bundan dolayı, darbe yüklerine maruz kalan betonarme yapı elemanlarının tasarım ve analizi için yaygın olarak sonlu elemanlar yöntemi gibi sayısal yöntemlere başvurulmaktadır. Buradan hareketle bu tez çalışmasında inşaat sektöründe yaygın bir yapı elemanı olarak kullanılan basit mesnetli kiriş elemanının farklı beton sınıfları ve farklı etriye aralıkları gibi parametreler altında, x ve y doğrultularında darbe yüklerine maruz bırakılarak doğrusal olmayan sonlu elemanlar programı ile analizi yapılmıştır. Yükleme sonucu elde edilen analiz sonuçları gerilme-deformasyon, deformasyon-zaman gibi grafikler ve hasar davranışı açısından karşılaştırılmış olup gerekli çıkarımlar yapılarak literatüre katkı sağlanılmaya çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Darbe yükü, sonlu elemanlar, beton dayanımı, etriye aralıkları

Investigation of Reinforced Concrete Beams Under Impact Loads by the Finite Element Method

Yusuf BAHÇACI

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Zeynep FIRAT ALEMDAR

Reinforced concrete beams, which are an important and widely used building element from past to present, are exposed to various loads such as static and dynamic loads throughout their service life. Unlike static charges that can be defined as constant loads spread over time; dynamic loads can be defined as sudden loads accumulated in an instantaneous time. While structural elements show high strength under static loads, they can exhibit a brittle behavior under dynamic loads and break suddenly. The design of reinforced concrete structural members under impact loads, which are accepted as a sudden dynamic loading, in addition to the events that cause impact load on the structures such as destructive earthquakes, terrorist attacks and explosions that have increased in recent years; It has become an increasingly important issue nowadays due to events such as bullets, rockets, ships, planes, rocks and vehicle-like objects hitting buildings. It has been observed that the resistance of structural elements against impact loads is of great importance in strategically important structures such as hospitals and government buildings, especially in the face of increasing terrorist attacks today. However, due to the complex nature of the problem, there are no generally accepted regulations or guidelines for the design of reinforced concrete structural members against such

loads. Therefore, numerical methods such as the finite element method are widely used for the design and analysis of reinforced concrete structural members exposed to impact loads. From this point of view, in this thesis, the simple supported beam element, which is used as a common building element in the construction industry, was analyzed with the nonlinear finite element program by subjecting it to impact loads in the x and y directions under parameters such as different concrete classes and different stirrup spacing. The analysis results obtained as a result of loading were compared in terms of graphs such as stress-strain, strain-time and damage behavior, and it was tried to contribute to the literature by making necessary inferences.

Keywords: Impact load, finite elements, concrete strength, stirrups spacings

Geçmişten günümüze önemli ve uygulamada yaygın kullanıma sahip bir yapı elemanı olan betonarme kirişler, hizmet ömürleri boyunca statik ve dinamik yükler gibi çeşitli yüklere maruz kalmaktadırlar. Dinamik yükler olarak nitelendirilen rüzgar ve deprem yükü gibi yüklerin yanısıra aniden oluşan ve gerçekleşme sıklığı az olmasına karşın etkisi direkt ve büyük olan darbe yükleri gibi dinamik yüklerin de etkisinde kalabilmektedirler. Kiriş veya döşeme gibi yapı elemanlarına bir cismin çarpması ya da düşmesi, endüstriyel bir yapı olan fabrikanın ya da sanat yapısı olan bir köprünün kolonuna arabaların, endüstriyel araçların çarpması, uçaktan atılan bir bombanın binaya etki etmesi gibi durumlar betonarme yapı elemanlarının maruz kaldığı darbe yüklerine örnek olarak verilebilir. Hastahane, okul, devlet binaları gibi stratejik binaların yanısıra; konut olarak kullanılan betonarme binalar da bu tür yüklere maruz kalmakta ve ciddi yapısal hasarlara ya da göçmelere sebep olmaktadır.

Betonarme yapılardaki darbe yükü etkisi düşünüldüğünde büyük hasarlara yol açabileceği için yapı elemanlarının darbe yükü etkisi altındaki davranışları ve tasarımı önem arz etmektedir. Bu konuyla ilgili geçmişten günümüze hem uluslararası hem de ulusal anlamda birçok çalışma yapılmasına karşın ülkemizde betonarme yapı elemanlarının darbe yükü etkisi altındaki tasarımı ile ilgili herhangi bir yönerge ya da yönetmelik bulunmamaktadır.

Bu bağlamda bu tez çalışmasında, betonarme yapı elemanlarından olan iki ucu basit mesnetli kiriş elemanın darbe yükü etkisi altındaki davranışı Abaqus sonlu elemanlar programı kullanılarak analiz edilmiş ve farklı parametrelere sahip kiriş elemanların analiz sonuçları karşılaştırılarak gerekli çıkarımlarda bulunulmuştur.

Çalışmanın analiz kısmında farklı etriye aralıklarına ve beton sınıflarına sahip iki ucu basit mesnetli betonarme kiriş elemanına x ve y yönünde darbe yükleri etkittirilmiş olup, kiriş elemanlarının deplasman-zaman, kuvvet-deplasman ve gerilme-şekil değiştirme grafikleri elde edilmiştir.

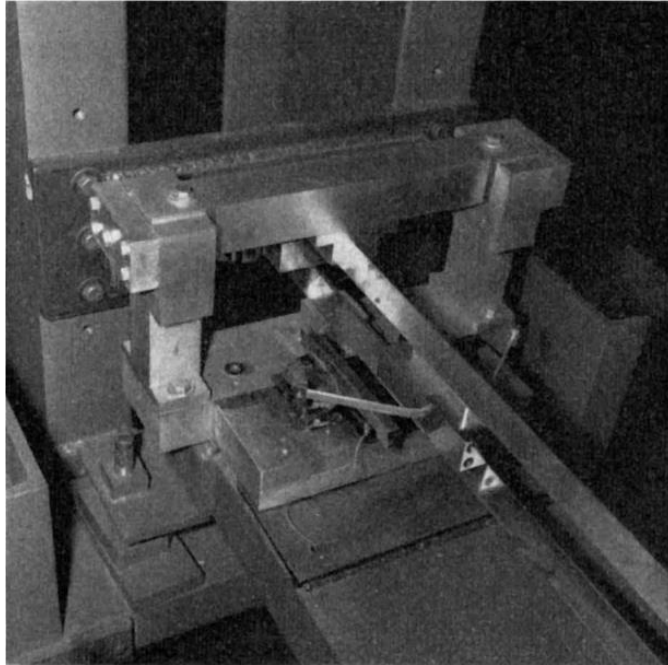
1.1 Literatür Özeti

Kirişler üzerinde tanımlanan darbe yükü kavramı uluslararası literatürde 1960 yılında S. R. BODNER ve P. S. SYMONDS'ın yapmış olduğu "Plastic Deformation in Impact and Impulsive Loading of Beams" adlı çalışma ile ortaya çıkmıştır.

Deneyler, yumuşak çelikten ve alüminyum alaşımından yapılmış konsol kiriş numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiş ve teori ile deneyler arasındaki tutarsızlıkların temel nedeninin gerinim hızı etkilerinden olduğu ortaya konulmuştur.

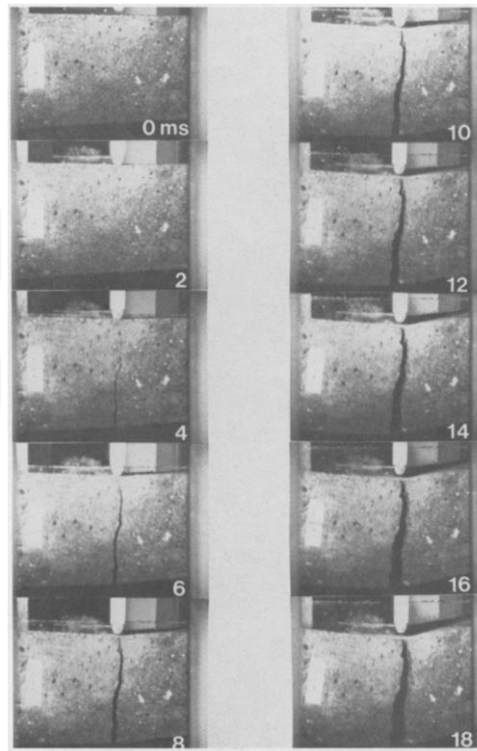
Rijit plastik kavramlarının dinamik plastisite problemlerine girmesinden bu yana, hızlı yüklemeye maruz kalan yapıların kalıcı deformasyonu hakkında önemli bir literatür geliştirilmiştir.

Çalışmanın sonucunda; temel dinamik rijit-plastik teorisinin; elastik deformasyonların, şekil değiştirme sertleşmesinin, şekil değiştirme hızı duyarlılığının, kayma deformasyonunun ve büyük deformasyonlarla ilişkili kısıtlayıcı veya kararsızlaştırıcı etkiler dahil olmak üzere geometri değişikliklerinin ihmal edilmesiyle karakterize edildiği sonucu çıkarılmıştır. [1]



Şekil 1.1 Darbe Testleri İçin Numune Tutucu ve Ray Sistemi

1985 yılında ise Sidney Mindess ve Arnon Bentur “A preliminary study of the fracture of concrete beams under impact loading, using high speed photography” adlı çalışma ile; yüksek hızlı fotoğrafçılık kullanılarak darbe yüklemesi altındaki kirişlerin kırılmasını incelemişlerdir. Saniyede 500 kare hızında fotoğraflar çekilmiş ve bu sayede, kırılma olayı sırasında çatlak gelişimi izlenmiştir. Bu çalışmada, kiriş numunelerinin darbe yüklemesi sırasında gelişen çatlak modellerinin fotoğraflık bir kaydını sunmaktadır. Darbe yüklemesi sonrasında ilk 18 ms kayıt altına alınmış olup çatlak gelişimleri tek tek fotoğraflanmıştır. Yaklaşık 10 ms'de, aletli tüp tarafından kaydedilen yükün sıfıra düştüğü gözlemlenmiştir. [2]



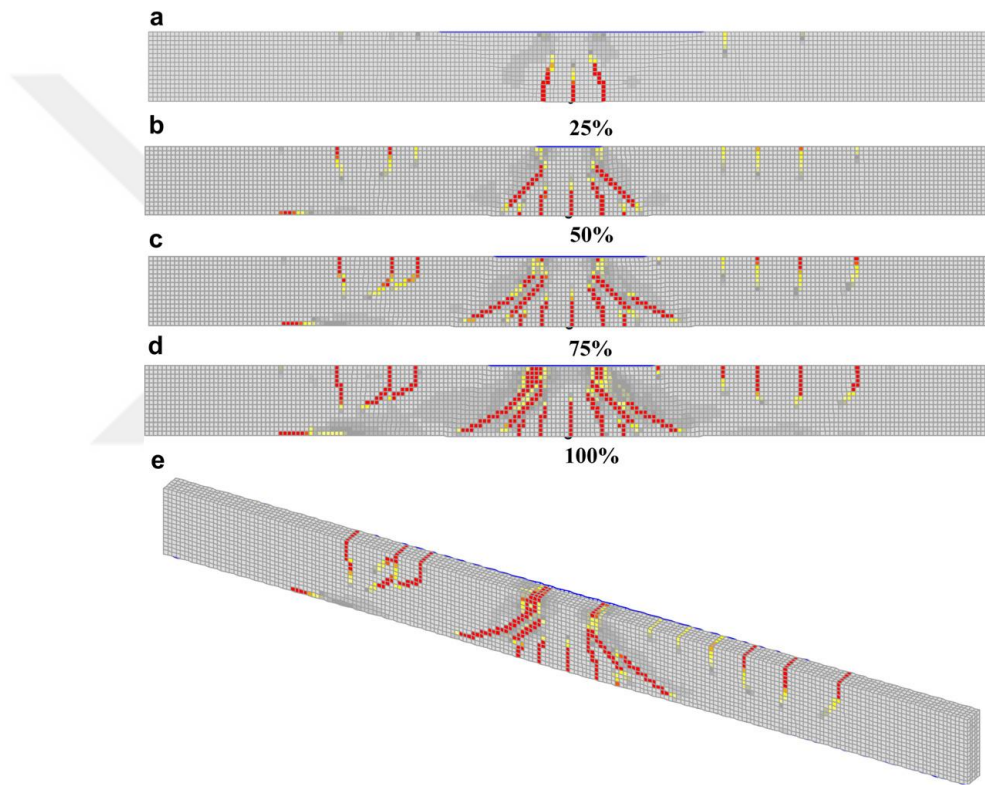
Şekil 1.2 Düz Betonun Darbe Kırılması, Çarpımdan Sonraki İlk 18 ms.

2001 yılında T. U. Ahmed, L. S. Ramachandra ve S. K. Bhattacharyya'nın üzerinde çalışmış olduğu “Elasto-plastic response of free-free beams subjected to impact loads” adlı çalışmanın sonucunda tek noktadan darbeye pozitif plastik bölgenin orijininin her iki tarafına 0,67L'ye kadar yayılabildiği, ancak kirişin bazı bölgelerinin bu maksimum sınır içinde hiçbir zaman akma noktasına girmediği görülmüştür. [3]

2011 yılında yapılan başka bir çalışmada ise Joško Ožbolta ve Akanshu Sharma “Numerical simulation of reinforced concrete beams with different shear reinforcements under dynamic impact loads” adlı çalışmasında; dinamik darbe

yükleri altında farklı kesme donatıları ile betonarme kirişlerin sayısal simülasyonunu incelemişlerdir. Çalışma şu şekilde özetlenebilir;

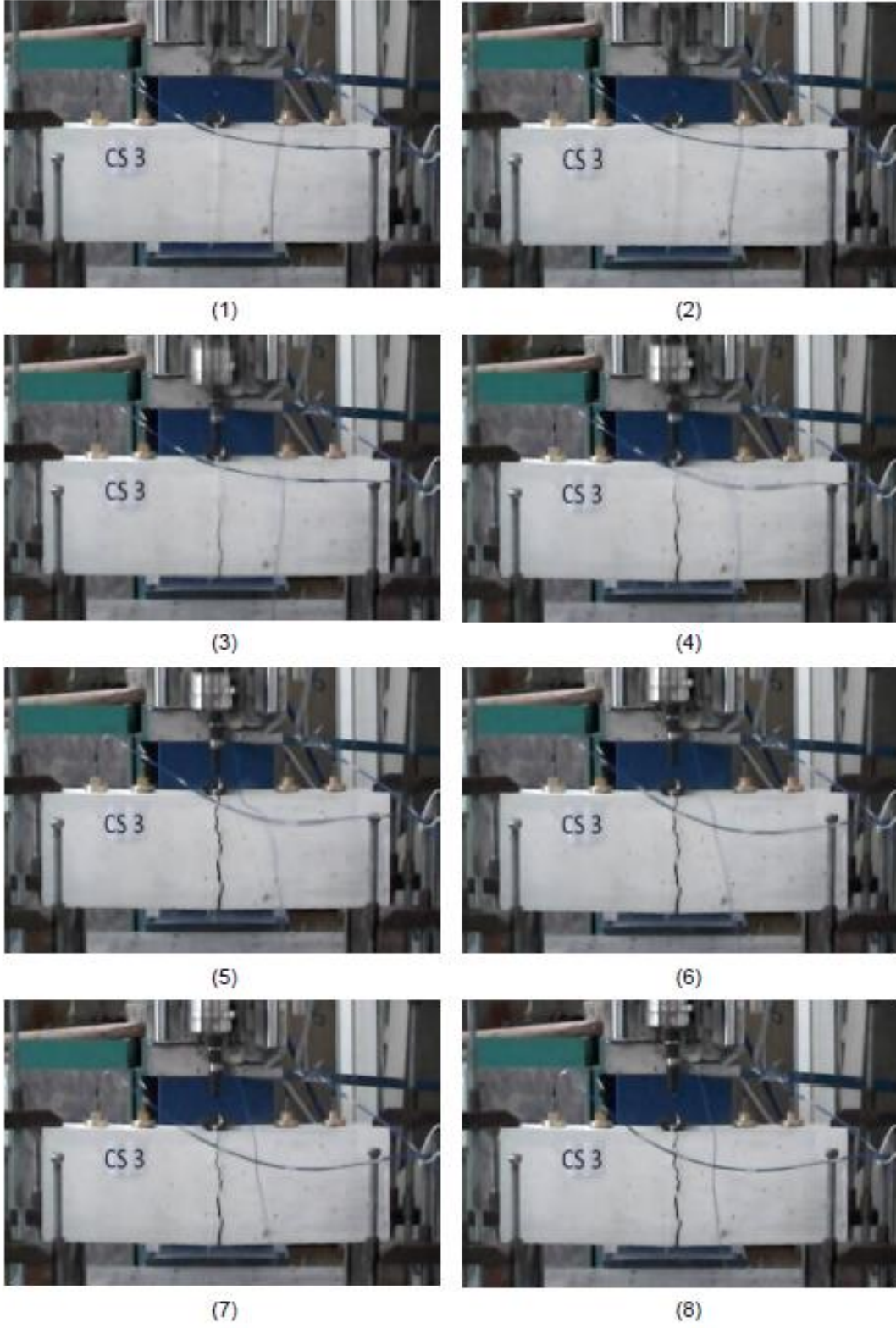
- Darbe altında değişen kesme donatılı betonarme kirişlerin 3D sonlu elemanlar çalışması yapılmıştır.
- Hıza duyarlı mikro düzlem modeli, beton için bünye kanunu olarak kullanılır.
- Çalışmada simüle edildiği gibi darbeli yükler altında etriye aktif hale gelmez.
- Dinamik reaksiyonlar, kirişlerdeki etriye miktarından neredeyse bağımsızdır.
- Kesme güçlendirmesi, çatlak modelini önemli ölçüde etkiler. [4]



Şekil 1.3 Deneysel Kiriş İçin Orta Açıklıkta Çeşitli Tepe Yer Değiştirme Yüzdelerine Karşılık Gelen Analitik Çatlak Modelleri

Recep Tuğrul ERDEM ise 2013 yılında "Farklı Kesit Boyutlarına Sahip Beton ve Betonarme Elemanların Çarpma Etkisi Altında İncelenmesi" adı altında bir tez çalışması yürütmüştür. Yapılan tez çalışmasında, boyutları 100x100x710 ile 200x200x710 mm arasında değişen 6 beton ve 6 betonarme eleman üretilmiştir. Üretilen 12 adet deney elemanı, tasarlanan deney düzeneği ile çarpma etkisi altında incelenmiştir. Çekiç ağırlığı 8 kg, serbest düşme yüksekliği ise 1000 mm alınmıştır.

Deneylerde, 4 adet ivmeölçer, 1 adet kuvvet algılayıcısı, 1 adet veri toplayıcı, 1 adet bilgisayar ve ölçüm bağlantı kabloları ile uygulanan çarpma kuvvetini deney elemanları üzerine üniform olarak yaymak ve çarpma anında oluşan içsel etkileri azaltmak için çelik plaka ve kauçuk tabaka kullanılmıştır. Düşme zamanları, deney düzeneğinde yer alan optik fotoseller yardımıyla ölçülmüştür. Farklı kesit boyutlarına sahip deney elemanlarında oluşan hasar durumları belirlenmiş ve bu hasar durumları için ivme-zaman, hız-zaman, deplasman-zaman, çarpma kuvveti-zaman ve çarpma kuvveti-deplasman grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca, deney elemanları tarafından yutulan enerji miktarları hesaplanmıştır. Deney elemanlarında hasar durumlarını oluşturan düşme sayıları ve deneylerde yapılan toplam düşme sayıları, deney düzeneğinde yer alan elektronik ekrandan okunmuştur. Bunun yanında, her bir deney elemanında oluşan sıçrama sayıları ve zaman aralıkları belirlenmiştir. Deneysel çalışmanın ardından yapılan sonlu elemanlar analiz kısmında ise, deney düzeneği ve deney elemanları, ABAQUS sonlu elemanlar analiz programında modellenmiştir. Malzeme özellikleri ve mesnet koşulları tanımlandıktan sonra, deney elemanları çarpma etkisi altında analiz edilmiştir. Çekicinin yaptığı ilk düşme hareketi için gerilme dağılımları elde edilmiştir. Son olarak, sonlu elemanlar analizleri ile elde edilen grafikler ve enerji yutma kapasiteleri, deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve önerilerde bulunulmuştur. [5]

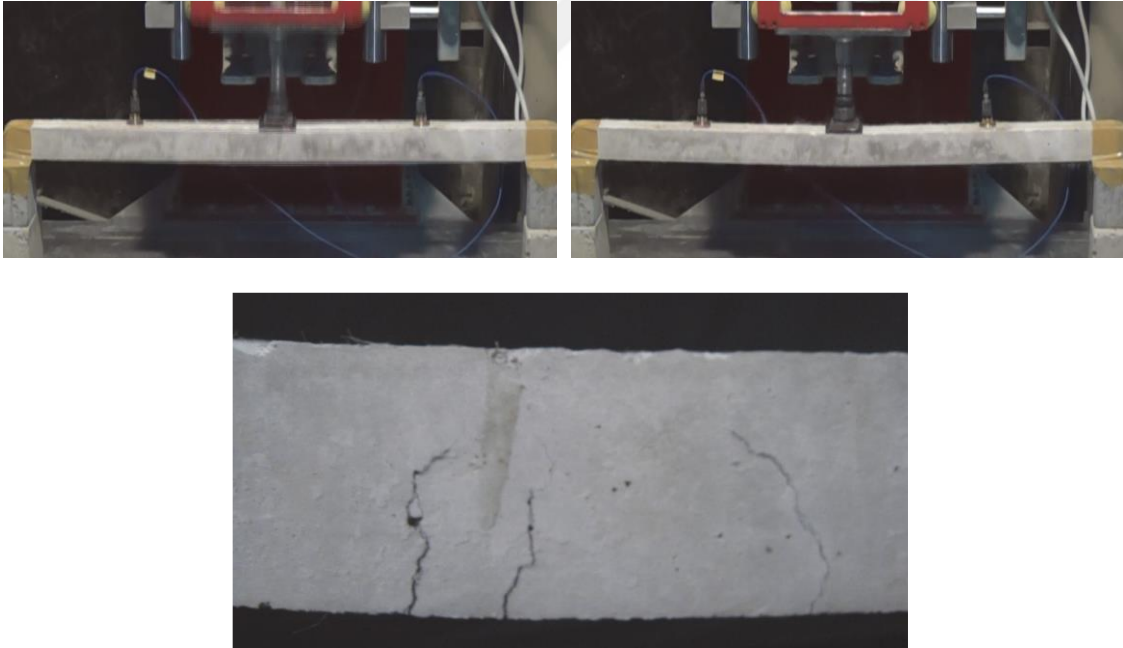


Şekil 1.4 Bir Deney Elemanı İçin İlk Çarpma Anında Kayıt Edilen Hasar Aşamaları

Mahmut Cem YILMAZ 2014 yılında “Betonarme Kirişlerin Darbe Yüğü Etkisinde Davranışlarının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi” adı altında bir tez çalışması yürütmüştür. Bu tez çalışmasında önemli bir yapı elemanı olan betonarme kirişlerin düşük hızlı darbe yükleri altındaki davranışı analitik ve deneysel olarak incelenmiş ve ayrıca bir sonlu elemanlar programı kullanılarak nümerik analizler yapılmıştır. Nümerik çalışma bölümünde; deneysel çalışmada yapılan kirişler bir sonlu elemanlar programı (ANSYS) ile bilgisayar ortamında modellenmiş ve sayısal analizler yapılmıştır.

Sonuçlar özetlenecek olursa:

- Çarpma deneylerinde, analitik çalışma ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- Deneylerde çarpışma ile birlikte rijit plastik kiriş davranışının ortaya çıktığı ve plastik göçme mekanizmasının gerçekleştiği görülmüştür. (Şekil 1.5)
- Sonlu elemanlar programı ile yapılan analizler, deneylerle ivme, deplasman ve çatlak gelişimi bakımından oldukça uyumlu sonuçlar vermiştir. [6]



Şekil 1.5 Deneysel Çalışmada Bir Numunenin Çarpışma Anındaki Görüntü Akışı

2015 yılında “Failure behaviors of reinforced concrete beams subjected to high impact loading” adı altında bir çalışma yürüten Tingbian Zhanac, Zhihua Wangb ve Jianguo Ning, cismin düşüş yüksekliğinin betonarme kirişlerdeki hasar davranışı üzerindeki etkisini incelemişler ve aşağıdaki çıkarımlarda bulunmuşlardır;

- Darbe yüklerinin etkimesiyle orta açıklıktaki sapmalar, çatlak profilleri ve gerilmeler elde edilmiştir. (Şekil 1.6)
- Kirişlerin maksimum yük kapasitesinin belirli bir eşik hızı olduğu elde edilmiştir.
- Maksimum ve artık sapmaların, çarpma enerjisi ile neredeyse orantılı olduğu bulunmuştur.
- Test verilerine dayanarak, iki ampirik formül önerilmiştir.
- Elde edilen iki formülün, yapılan deneysel sonuçlarla iyi bir uyum içinde olduğu kanısına varılmıştır. [7]

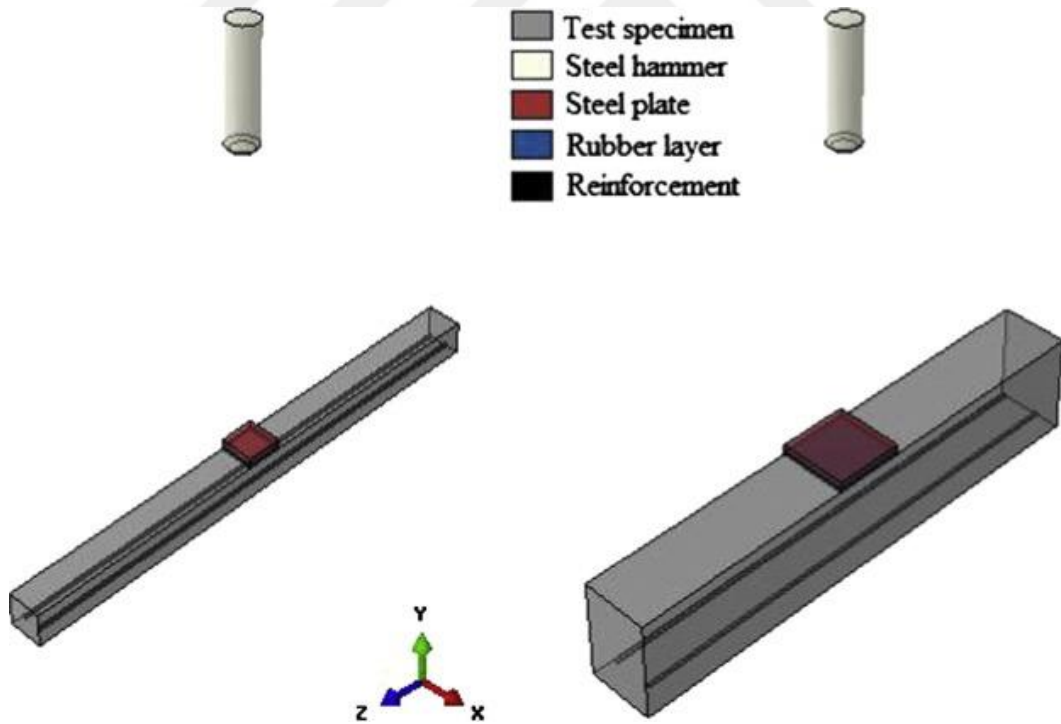


Şekil 1.6 5, 6, 7 ve 8 m Düşme Yükseklikleri İçin Kirişlerde Oluşan Çatlak Profilleri

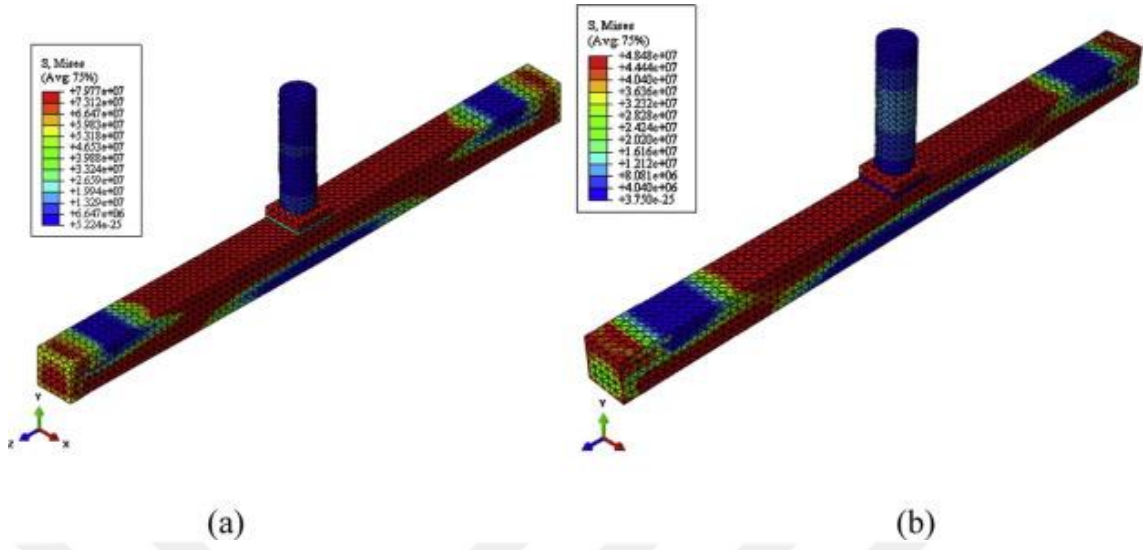
2016 yılında Özgür Anıl, Cengizhan Durucan, R. Tuğrul Erdem ve M. Arif Yorgancılar “Experimental and numerical investigation of reinforced concrete beams with variable material properties under impact loading” adlı çalışmada katkı maddesi kullanılan betonarme kirişlerin darbe yüklemesi altındaki davranışını deneysel ve sayısal olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışma şu şekilde özetlenebilir;

- Betonarme kirişlerin davranışları deneysel olarak incelenmiştir.
- Düşük dayanım, normal dayanım ve PVA (polivinil alkol) lifleri içeren ECC (engineered cementitious composite) betonu test edilmiştir.
- Test edilen kirişlerin sonlu eleman analizleri de Abaqus program aracılığıyla yapılmıştır. (Şekil 1.8) (Şekil 1.9)
- PVA lif içeren malzeme türünün test numunelerinde gözlenen çatlakların genişliğini etkilediği görülmüştür.

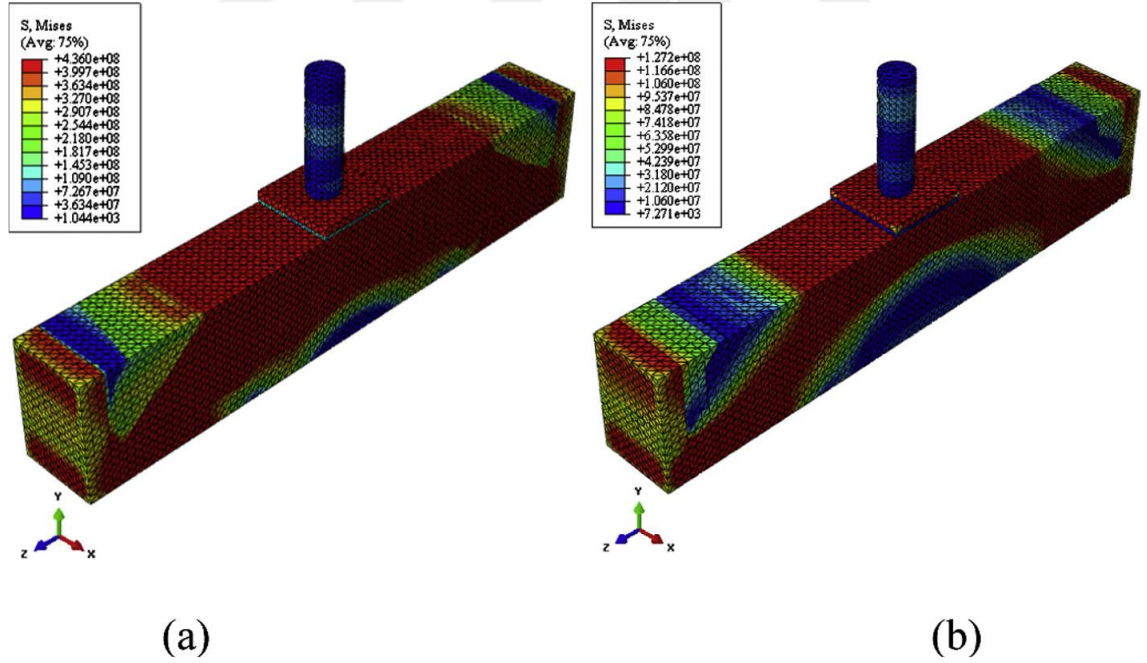
FEA (Sonlu Elemanlar Analizi) sonuçlarının, test numunelerindeki çatlak modelleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. [8]



Şekil 1.7 Test Numunelerinin Üç Boyutlu Sonlu Eleman Modelleri



Şekil 1.8 50*50 Numunelerin Gerilme Dağılımı



Şekil 1.9 100*100 Numunelerin Gerilme Dağılımı

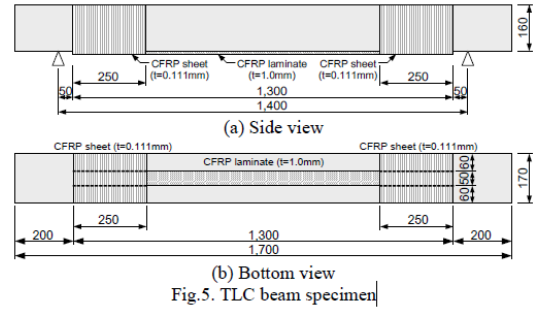
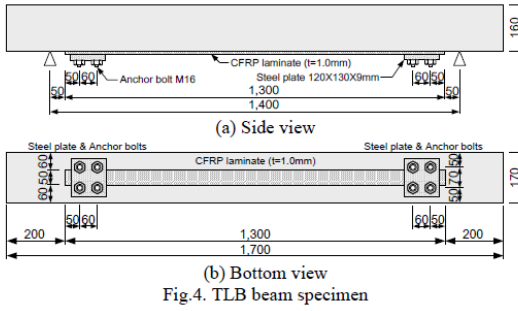
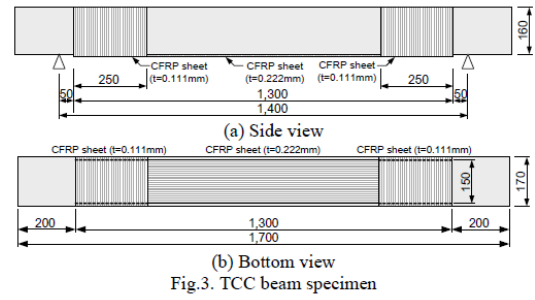
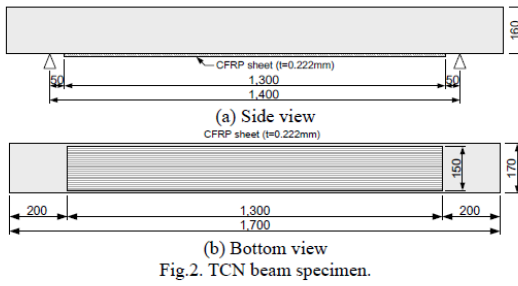
2017 yılında Yong Jae Yu, Chyng-Hyeon Kim ve Jae-Yeol Cho “Investigation of Behavior of RC Beams Subjected to Impact Loading Considering Combination of Mass and Impact Velocity” adlı çalışmada; RC (betonarme) kirişlerin davranışını, LS-DYNA programını kullanarak FE analizi ile kütle ve çarpma hızının kombinasyonunu dikkate alarak incelemişlerdir. Önceki çalışmalar, betonarme kirişlerin darbe yükü altındaki performansını tahmin eden ampirik denklemler önermiştir. Ancak, çarpma kütlesi ve çarpma hızı kombinasyonunun etkisi dikkate alınmamıştır. Bu nedenle, bu çalışmada kütle ve çarpma hızı kombinasyonunun RC kirişlerin davranışı üzerindeki etkisini araştırmak için FE analizi yapılmıştır. FE analizi sonuçlarından aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Maksimum ve artık sapma, kütle hız kombinasyonuna göre değişiklik gösterir. Özellikle kütle büyük ve çarpma hızının düşük olması durumundaki maksimum ve artık sapma, kütle küçük ve çarpma hızının yüksek olması durumuna nazaran daha büyüktür.
- Darbe kuvvetinin zaman geçmişi kombinasyona bağlıdır. Kütle büyük ve çarpma hızının düşük olması durumunda maksimum çarpma kuvveti küçüktür, ancak süresi uzundur. Kütle küçük ve çarpma hızının yüksek olması durumunda, maksimum çarpma kuvveti büyüktür, ancak süresi azdır.
- Sonuçlar, kombinasyonun RC kirişlerin davranışı üzerindeki etkisinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın başka bir yönü, doğrulama deneyini gerçekleştirerek değiştirilmiş bir ampirik denklem sağlamak olacaktır.

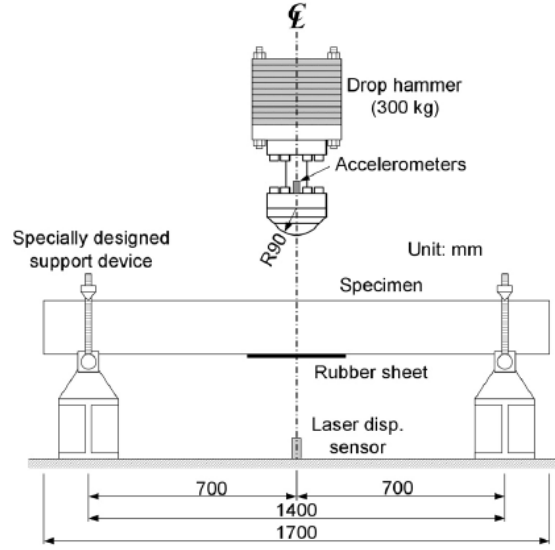
Sonuç olarak; RC kirişlerinin davranışlarının kombinasyonla ilişkili olduğu doğrulanmıştır. Bu sonuçlar, önceki ampirik denklemlerin ve darbe yüklemesine maruz kalan beton yapıların tasarımının, kütle ve çarpma hızının kombinasyonunu dikkate alması gerektiğini ima etmektedir. [9]

2017 yılında Kazunori Fujikake, Sam Soeum ve Takahiro Matsui tarafından yapılan “CFRP strengthened RC beams subjected to impact loading” adlı çalışma ise CFRP (Karbon fiber takviyeli polimer) ile güçlendirmiş betonarme kirişlerin darbe yüklerine karşı davranışını incelemek amacıyla yapılmış olup CFRP katkı malzemesinin önemli ölçüde betonarme kirişlerin dayanımını iyileştirildiğini ortaya çıkarmıştır. [10]

Şekil 1.10’da ise deneylerde kullanılmış olan kirişlerin farklı tip güçlendirme şemaları görülmektedir.

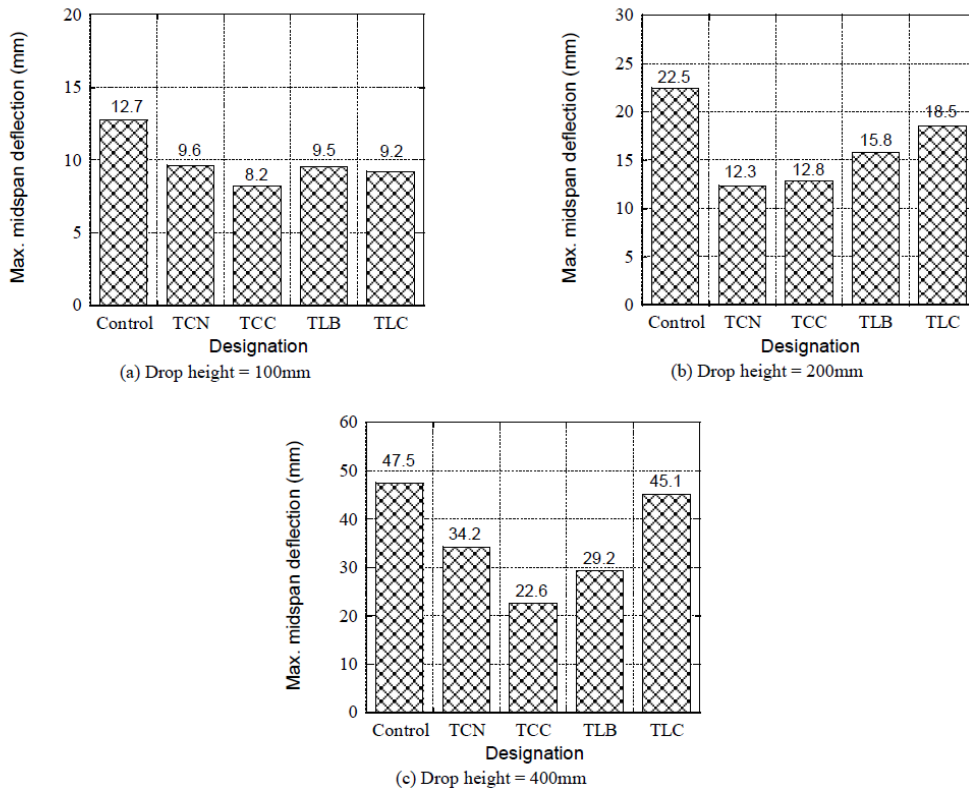


Şekil 1.10 Dört Farklı CFRP Güçlendirme Türü Şemaları, TCN, TCC, TLB ve TLC



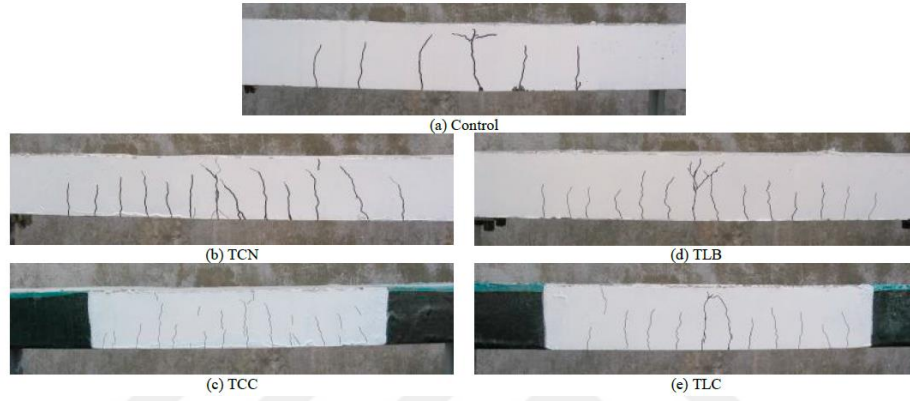
Şekil 1.11 Darbe Yükleme Test Düzenegi

Şekil 1.12’de ise Şekil 1.10’da verilen güçlendirilmiş kiriş tiplerinin darbe yüküne maruz bırakıldığı deneyler sonucunda kirişlerin orta açıklıklarında gözlemlenen max. sapsmalar görülmektedir.

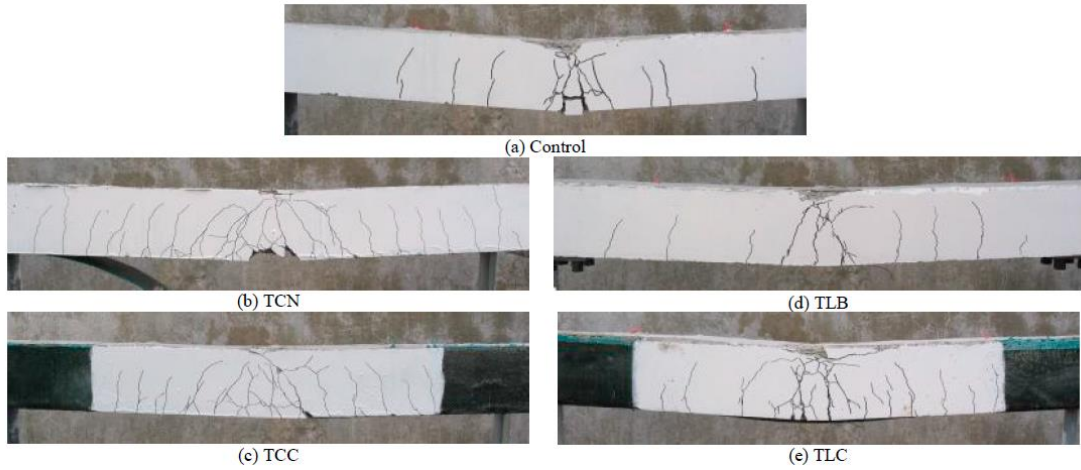


Şekil 1.12 Tek Darbeli Yükleme Testinde Maksimum Orta Açıklık Sapsmaları

Şekil 1.13 ve Şekil 1.14'te, farklı tip güçlendirme tiplerine sahip kirişlere, cisimlerin farklı yüksekliklerden düşmesi sonucunda oluşan hasar tipleri görülmektedir. Şekiller incelendiğinde darbe etkisi oluşturan cisimlerin serbet düşme yaptığı yüksekliğin fazla olduğu durumlarda kirişlerde oluşan hasarların daha çok olduğu gözlemlenmektedir. Bunun yanında güçlendirme tipi ne olursa olsun düşüş yüksekliğinin hasar oranı ile doğru orantılı olduğu yorumu yapılabilmektedir.



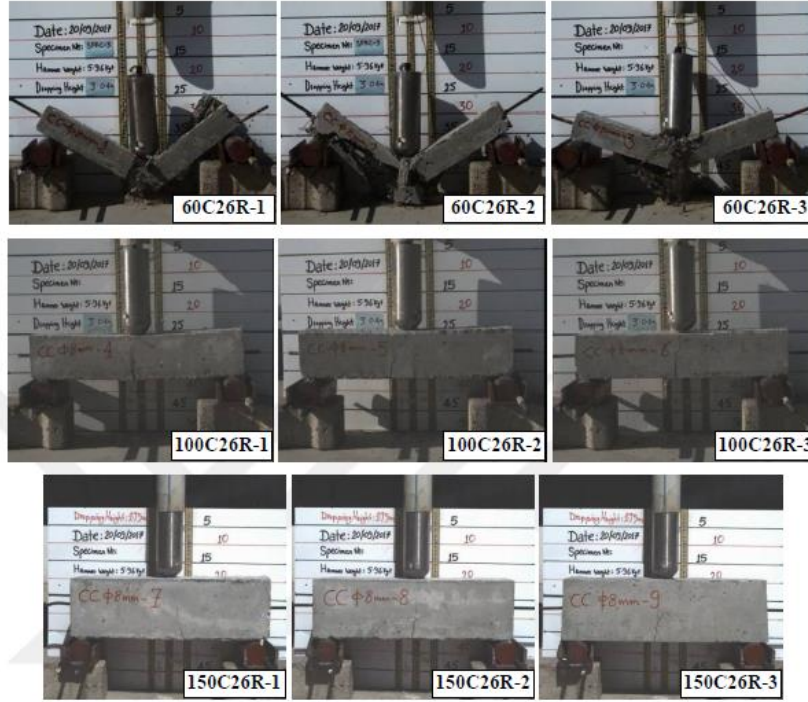
Şekil 1.13 Tek Darbeli Yükleme Testinde 100 mm Düşme Yüksekliğinde Hasar Modları



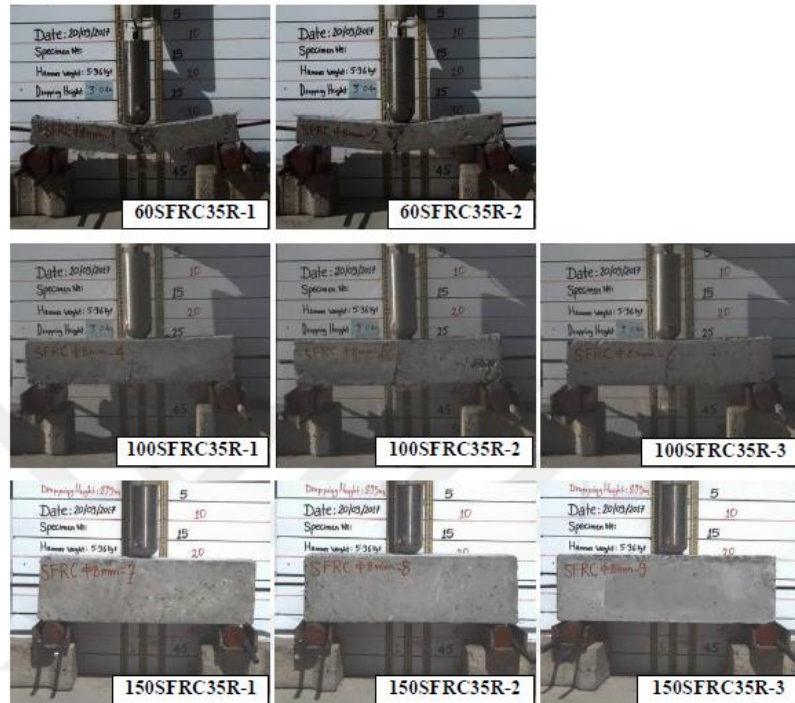
Şekil 1.14 Tek Darbeli Yükleme Testinde 400 mm Düşme Yüksekliğinde Hasar Modları

2018 yılında Azdeen Saleh Alkabeer NAJAH "Experimental and Analytical Investigation on Impact Behavior of Conventional and Steel Fiber Reinforced Concrete Beams" adlı tez çalışmasında; Normal ve çelik lifli beton kullanılan betonarme kirişlerin darbe etkisi altındaki davranışını deneysel ve analitik olarak incelemiştir. Bu çalışmada donatılı ve donatısız geleneksel beton (GB) ve çelik lifli beton (ÇLB) kullanılan kirişlerin darbe yüklemesi altındaki deneysel ve analitik davranışları araştırılmıştır. ÇLB için Dramix ZP-305 tipi çelik lifler kullanılmıştır. Kirişlerin yarısında donatı kullanılmamış, diğer yarısında ise elemanların tam ortasında bir adet 8 mm çapında çelik donatı kullanılmıştır. Bu çalışmadaki beton silindir basınç dayanımları, GB için 12 ve 26 MPa, ÇLB için 35 MPa olarak ölçülmüştür. Kiriş numuneler 60×60×500, 100×100×500 ve 150×150×500 mm boyutlarında üretilmiştir. Numunelerin darbe yüküne maruz bırakılması için 58.5 N ağırlığında çekice sahip, düşen çekiç test düzeneği kullanılmıştır. Bu çekiç ağırlığı deney numunesi boyutlarına göre farklı yüksekliklerden bırakılmıştır (donatısız elemanlar için 1.20, 2.00 ve 2.95 m, donatılı elemanlar için 2.95, 3.00 ve 3.04 m). Deney sırasında 2000 kare hıza sahip yüksek hızlı fotoğraf makinası kullanılarak numunelerin yavaş çekim videoları kaydedilmiştir. Kaydedilen videolar TEMA Hareket Analiz Programı kullanılarak analiz edilmiş ve çekiç için deneysel hız-zaman ilişkileri elde edilmiştir. Deney ve modelleme sonuçlarının karşılaştırılması ile çekiç için oluşturulan hız-zaman ilişkilerinin farklı beton basınç dayanımları ve farklı kesit boyutları için çok iyi uyum içinde olduğu saptanmıştır. Bu araştırma sonucunda kalibre edilmiş modeller kullanılması durumunda, donatısız ve donatılı GB ve ÇLB kullanılan elemanların darbe etkisi altındaki davranışları iyi bir şekilde tahmin edilebilmektedir. [11]

Şekil 1.15 ve Şekil 1.16'da GB ve ÇLB numunelerinin deney anında çekilmiş olan fotoğrafları görülmektedir. ÇLB'nun GB'na göre darbe yükü altında davranış açısından daha tok bir davranış sergilediği görülmektedir. Bunun yanında kiriş boyutunun küçük olduğu durumlarda çelik fiber liflerinin kirişlerin davranışına daha çok katkısı olduğu sonucuna da varılabilir.

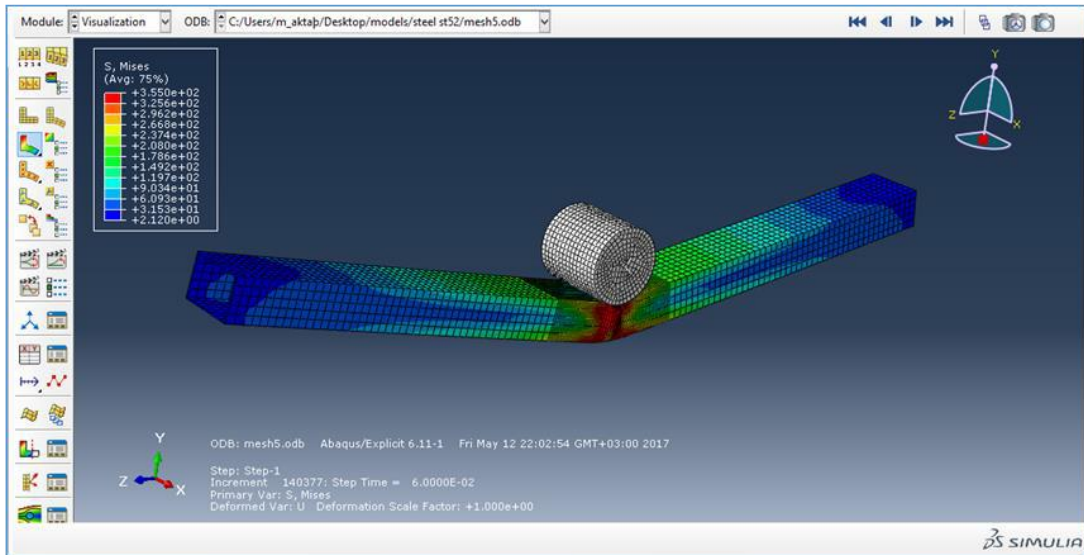


Şekil 1.15 Normal Dayanımlı Numunelerin Hasar Modları



Şekil 1.16 Çelik Fiber Takviyeli Numunelerin Hasar Modları

Mohammad Jamil MASHAL tarafından 2019 yılında “Darbe Yüğü Etkisi Altında Çelik Kiriş Elemanların Deneysel ve Sonlu Eleman Metodu ile İncelenmesi” adı altında yürütölen tez çalışmasında, bir yapı elemanı olarak çelik bir kirişin dinamik karakterli darbe yüğü etkisine maruz kalması durumundaki gerçek davranışını deneysel olarak analiz etmek, deneysel çalışmadan elde edilecek sonuçlarla deney elemanının ve deney sınır şart ve koşullarının sonlu eleman model ortamında simölasyonunu oluşturmak ve literatüre kazandırılacak bu sonlu eleman modeli ile laboratuvar koşul ve şartlarındaki risklere maruz kalmadan parametre değiştirerek oluşturulacak yeni modellerin bilgisayar ortamında gerçellenmiş deney sonuçlarına ulaşılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada sonlu eleman programı olarak, yük etkisi altındaki bir eleman davranışını en iyi yansıttığı düşünölen ABAQUS sonlu eleman programı kullanılmıştır. Sonlu eleman programına deney düzeneği tam ve uygun bir şekilde yansıtılmış, uygun malzeme ve eleman tipleri seçilmiş, numuneye ani yükleme yapılmış, ivme değerleri elde edilmiştir. Şekil 1.17’de ise çelik profil kiriş elemanının darbe yüğü etkisi altında oluşun max. orta açıklık sapması sonlu elemanlar program aracılığıyla gözlemlenmiştir. Deneysel yapılan çalışmadan elde edilen ivme değerleri bu değerler ile karşılaştırılmış, sonlu eleman çözümü, deney ile doğrulanmıştır. [12]



Şekil 1.17 Çelik Profilinin Maksimum Yer Değiştirme Hali

2019 yılında yapılmış bir tez çalışmasında Gamze DEMİRTAŞ “Çarpma Etkisindeki Ultra Yüksek Performanslı Lifli Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Analizi” adı altında bir çalışma yürütmüştür. Bu çalışmada; literatürden seçilen, dinamik ve statik yüklemeye maruz kalan UYPL (Ultra Yüksek Performanslı Lifli) betonarme kirişler sonlu eleman programı ile modellenmiş ve nümerik modelin davranışı temsil etme kabiliyeti incelenmiştir.

Analizler ABAQUS sonlu eleman programı ile beton için Beton Hasar Plastisite (BHP) modeli ve donatı için klasik metal plastisite modeli kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Malzeme modelini oluşturmak için gerekli parametreler basınç ve çekme deneylerinden elde edilmiştir. Nümerik modellerden elde edilen sonuçlar, Beton Hasar Plastisite modelinin ultra yüksek performanslı lifli betonarme kirişlerin dinamik ve statik yükleme altındaki davranışlarını doğru bir şekilde temsil edebildiğini göstermektedir.

Doğrulanmış nümerik modellerden biri seçilerek parametrik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Parametrik çalışma ile geometri, malzeme özellikleri ve boyut sabit tutularak ultra yüksek performanslı lifli beton (UYPLB) ile üretilen betonarme kirişlerin dinamik davranışına etriye aralığının, boyuna donatı dayanımının ve çarpma hızının etkisi incelenerek elde edilen deplasman-zaman değerlerinin karşılaştırması yapılmıştır. Tek seferlik çarpma yüklemesine maruz kalan kirişlerin davranışı üzerinde etriye aralığı değişiminin belirgin bir etkisi olmadığı, boyuna donatı dayanımının düşmesi ile hem maksimum hem de kalıcı yer değiştirmelerde belirgin artışlar olduğu gözlemlenmiştir. Elemanın deforme olmasında en etkili parametrenin çarpma hızının değişimi olduğu belirlenmiştir. Hız artması ile kiriş ortasındaki maksimum ve kalıcı yer değiştirmelerde belirgin artışlar oluşmaktadır.

[13]

Esra BIYIKLIOĞLU tarafından 2019 yılında hazırlanan “Aramid Fiber Malzemesi Kullanılarak Güçlendirilen Çelik Kirişlerin Darbe Yükü Etkisi Altındaki Davranışının İncelenmesi” adlı tez çalışmasında, bir yapı elemanı olarak çelik bir kirişin aramid fiberle (AF) güçlendirildikten sonra dinamik karakterli darbe yükü etkisi altındaki davranışı ağırlık düşürme yöntemi ile deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, darbe kuvvetine maruz kalma riski bulunan çelik yapılardaki çelik kiriş elemanının farklı uzunluklarda aramid fiberle güçlendirilmesi sonrası eleman davranışındaki değişimlerin incelenmesidir. Güçlendirilmiş bir yapı elemanında, elemana etki eden yükün büyüklüğü ve etki eden darbe kuvvetinin etkisi önemli olduğu gibi, güçlendirme malzemesinin miktarı da kiriş elemanının davranışında etkili olmaktadır. Çalışmada 2 farklı aramid uzunluğunun dayanıma gösterdiği etki araştırılmıştır. Bu çalışmada görüldüğü gibi aramid fiber malzemenin uzunluğunun fazla olması durumunda (Şekil1.19) çelik kirişteki enerji sönmüleme kapasitesini artırdığı ve deformasyonu azalttığı görülmüştür. [14]



a)

b)

Şekil 1.18 Deney Numunesinin; a) Önceki, b) Sonraki Hali



a)

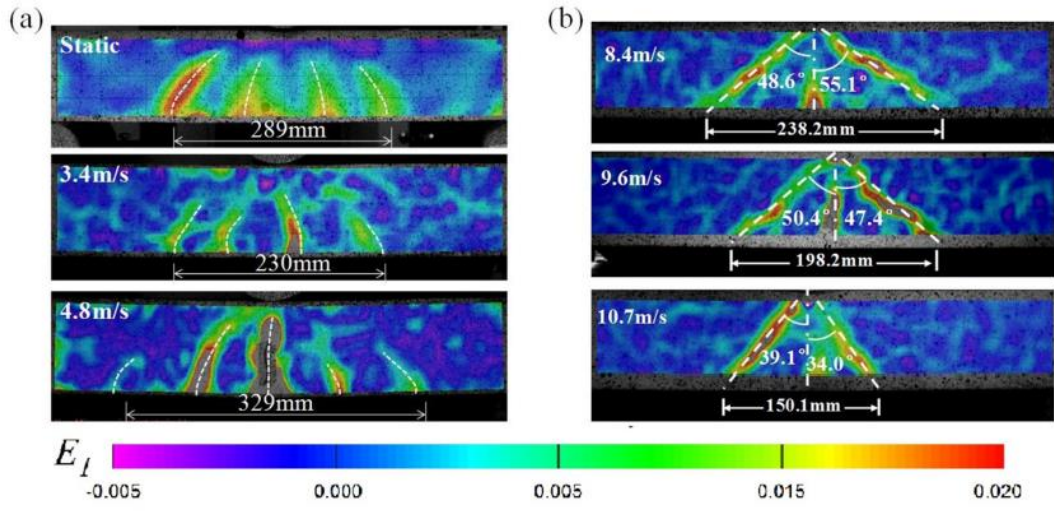
b)

Şekil 1.19 AF ile Güçlendirilmiş Deney Numunesinin; a) Önceki, b) Sonraki Hali

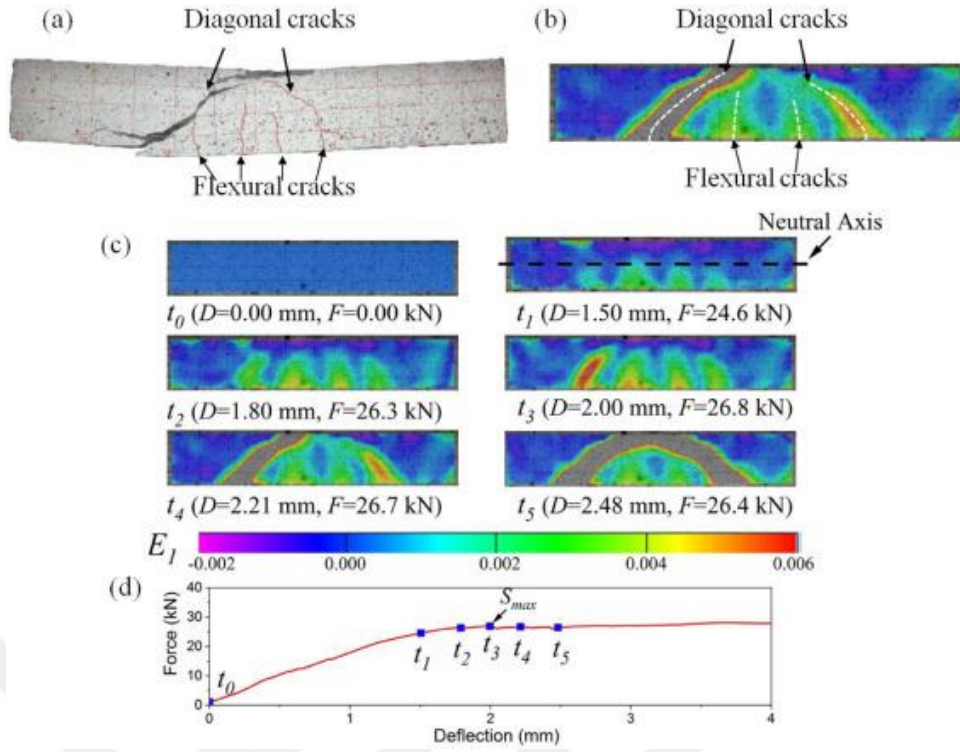
2020 yılında Yingqian Fu, Xinlu Yu, Xinlong Dong, Fenghua Zhou, Jianguo Ning, Ping Li ve Yuxuan Zheng “Investigating the failure behaviors of RC beams without stirrups under impact loading” adlı bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu çalışmada, statik ve darbeli yükleme koşulları altında etriye olmaksızın basitçe desteklenen betonarme kirişlerin hasar davranışları araştırılmıştır. (Şekil 1.21)(Şekil 1.22) Farklı hasar modlarındaki çatlak modellerinin gerçek zamanlı gelişimi, yüksek hızlı kamera ve DIC teknikleriyle görselleştirilmiştir. Eğilmeden kesme hasar moduna geçiş mekanizması, çarpma hızları ile çatlak-desen evriminin karşılaştırmalı analizi ile araştırılmıştır. Bu çalışmada ayrıca, hasar modlarının darbe direnci ve emilen enerji üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Darbe yüklemesi altında soğurulan enerjiyi değerlendirmek için basit bir yöntem önerilmiştir. Sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Çatlak desen profilleri, nispeten düşük çarpma hızında bir eğilme-hasar modu sergiler. Kirişin orta açıklığında birden fazla dikey çatlak başlar ve kirişin çekme bölgesinden yukarı doğru yayılır. Bu çatlaklar, orta aralıktan mesnetlere doğru ilerleyen bir sırayla gelişir. Düşük darbe hızı altında bazı testlerde çapraz çatlaklar da gözlenmektedir. DIC sonuçları, bu diyagonal çatlakların dikey olarak altta başladığını ve ardından yükleme noktasına doğru eğildiğini ve kirişlerde eğilme hasarlarının oluştuğunu göstermektedir.
- Çatlak desen profilleri, nispeten yüksek darbe hızında bir kesme-hasar modu sergiler. İki çapraz çatlığa sahip bir kesme tapası yükleme noktasında başlar ve kirişin altına doğru yayılır. Eğilme çatlakları, kesme-hasar modunda da gözlenirken, gelişimleri kesme tapası içinde sınırlıdır. Çarpma hızının artırılmasıyla, çapraz çatlakların eğim açıları zımbalama hasarını temsil eden 55°'den 34°'ye düşmüştür. (Şekil 1.20)
- Eğilme ve kesme hasar modları arasında bir geçiş olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada incelenen betonarme kirişi için bu geçişin kritik darbe hızı 6,9 ile 8,4 m/s arasında değiştiği söylenebilir.
- Karşılaştırmalı analiz sonucunda, darbe direncinin hasar modlarıyla ilgili olduğunu öne sürülmüştür: Maksimum darbe kuvveti, eğilme-hasar modunda homojen olan yapının genel mekanizması tarafından kontrol edilirken, kesme-hasar modunda malzemelerin yerel hasarıyla kontrol edilir.

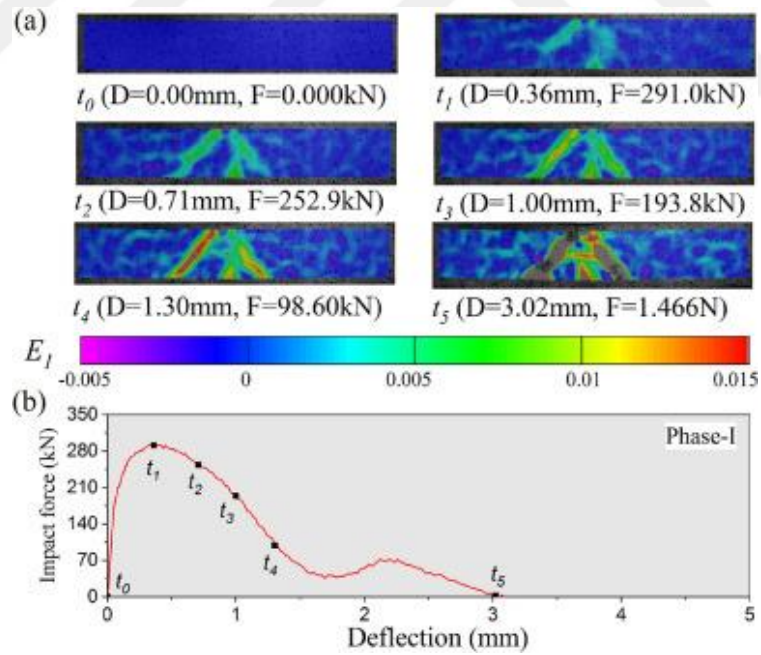
- Boyuna donatı oranının artırılmasının eğilme-hasar moduna nazaran, kesme-hasar modunda kirişin direncini artırmada daha az etkili olmasının beklendiği düşünülmektedir.
- Basit mesnetli betonarme kirişlerde, emilen enerji eğilme-hasar modunda artar ve çarpma hızını artmasıyla kesme-hasar modunda azalır. Soğurulan enerji kapasitesindeki azalma, muhtemelen daha yüksek çarpma hızındaki daha konsantre kesme hasarından kaynaklandığı öngörülmüştür. [15]



Şekil 1.20 (a) Eğilme Hasarı ve (b) Kesme Hasarı Modları İçin Değişen Darbe Hızları Altındaki Çatlak Modellerinin Karşılaştırmalı Analizi



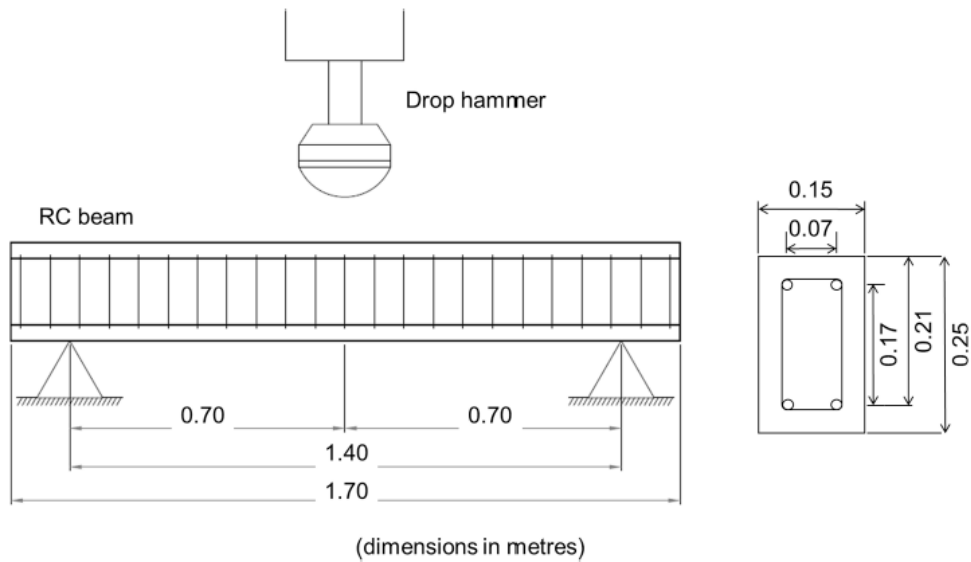
Şekil 1.21 Tanımlanan E1 Alanının t_0 'dan t_5 'e Evrim Sürecinde Statik Testi İçin Hasar Profilleri



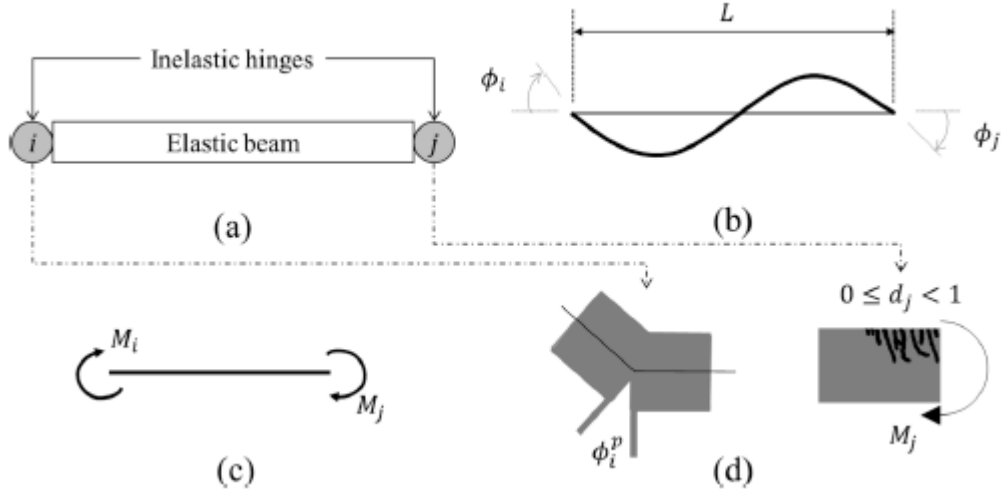
Şekil 1.22 Tanımlanan E1 Alanının t_0 'dan t_5 'e Evrim Sürecinde Darbe Testi İçin Hasar Profilleri

2020 yılında yapılmış olan bir başka çalışma ise; Daniel V.C. Teles, Mateus C. Oliveira, David L.N.F. Amorim'in yürütmüş olduğu "A simplified lumped damage model for reinforced concrete beams under impact loads" adlı çalışmadır. Bu çalışma ise şu şekilde özetlenebilir;

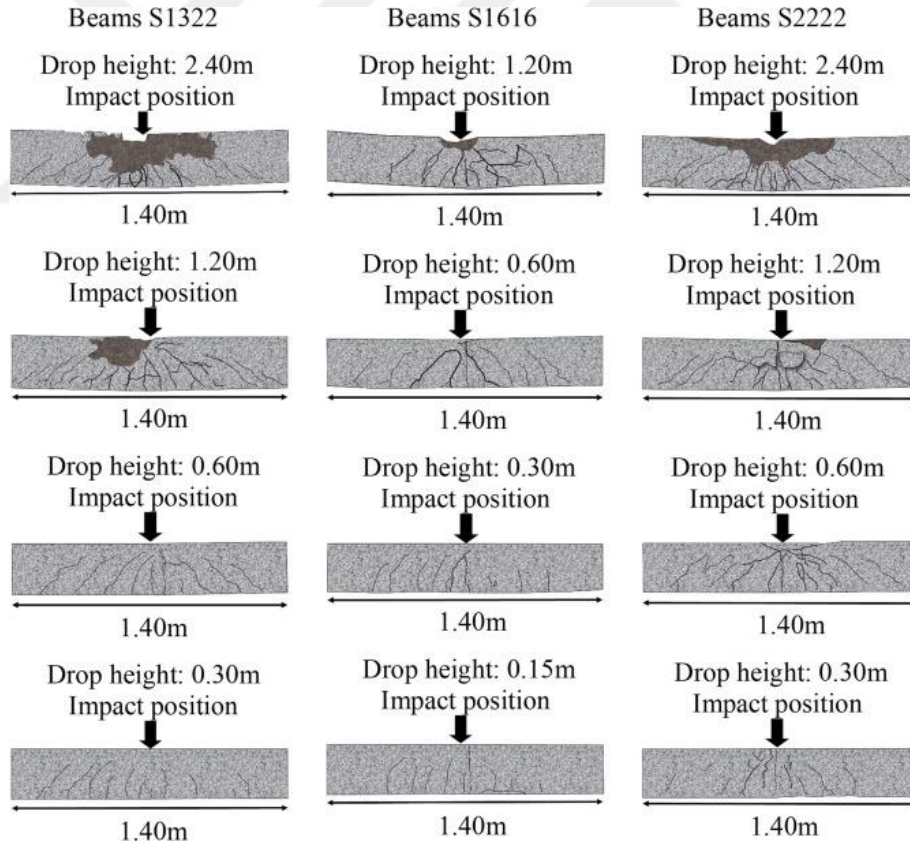
- Betonarme kirişlerin çarpma yükü altında doğrusal olmayan eğilme tepkisini analiz etmek için dört farklı yükseklikten salınan 400 kg'lık bir düşme çekiç kullanılarak üç set kiriş üzerinde bazı deneyler yapılmıştır (Şekil 1.25). Her bir kiriş seti, boyuna donatı düzenlemesinden sonra adlandırılmıştır. Set S1322, basınç bölgesinde 13 mm'lik iki donatı ve çekme bölgesinde 22 mm'lik iki donatı içerir. Beton basınç dayanımı 42 MPa'dır. 13 mm, 16 mm ve 22 mm boyuna donatılar sırasıyla 397 MPa, 426 MPa ve 418 MPa akma gerilimine sahiptir. 75 mm aralıklı 10 mm çapında ve 295 MPa akma gerilimine sahip donatılar etriye olarak kullanılmıştır.
- Darbe yükleri altında betonarme kirişleri analiz etmek için toplu bir hasar modeli önerilmiştir. (Şekil 1.24)
- Önerilen toplu hasar modeli termodinamik olarak kabul edilebilir.
- Önerilen modeli doğrulamak için deneysel sonuçlar kullanılmıştır.
- Önerilen model, pratik uygulamalar için uygundur. [16]



Şekil 1.23 Test Düzeneği Kurulumu



Şekil 1.24 Toplu Hasar Kiriş Modeli; a) Elastik Olmayan Mafsallara Sahip Elastik Kiriş, b) Genelleştirilmiş Deformasyonlar, c) Genelleştirilmiş Gerilmeler, d) Plastik Dönme ve Hasar Değişkeni



Şekil 1.25 Analiz Edilen Kirişlerin Çatlama Düzeni Şeması

1.2 Tezin Amacı

Günümüzde stratejik öneme sahip okul, hastane gibi binalardan devlet binalarına, konutlardan iş merkezlerine, stadyumlardan çok katlı binalara kadar birçok yapı betonarme olarak inşaa edilmektedir. Betonarme yapılar ise hizmet ömürleri boyunca statik ya da dinamik yükler gibi değişik yüklere maruz kalmaktadırlar. Bu çalışmadaki amaç dinamik bir yük olarak kabul edilen darbe yükünün, farklı enine donatı aralıklarına ve farklı beton dayanımlarına sahip iki ucu basit mesnetli kirişlere x ve y doğrultularında etkidiğini düşünerek, kirişler üzerindeki etkisini araştırmaktır. Çalışma kapsamında kiriş modellemeleri ve analizleri, ABAQUS sonlu elemanlar program kullanılarak yapılmıştır.

1.3 Hipotez

TS-500 ve TBDY2018 yönetmeliklerinde betonarme yapı elemanları, sünek bir davranış sergileyip eğilme kırılması ile birlikte dışardan etki eden gerek statik yüklerin gerekse deprem yüklerinin enerjisini sönmüleyebilmek üzere tasarlanmıştır. Ancak; betonarme yapı elemanlarının hizmet ömürleri boyunca statik ve deprem yüklerinin yanında, zamana bağlı olan dinamik yüklere de maruz kaldıkları bilinmektedir. Bununla birlikte, dinamik darbe yüklerine maruz kalan betonarme yapı elemanlarda; sünek bir davranışla eğilme kırılması oluşmasından ziyade, gevrek bir davranışla kesme ve basınç kırılmasının oluşması düşünülmektedir. Bu tezdeki çalışma kapsamında ise bu konu ele alınarak, kirişlerdeki enine donatı aralıklarının ve betonun dayanımının farklı doğrultulardaki darbe yüküne karşı etkisi araştırılmıştır.

KİRİŞ ELEMAN ve KİRİŞ ELEMAN TÜRLERİ

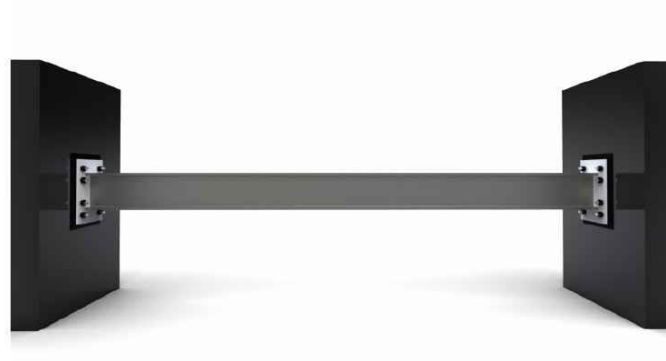
Kiriş eleman, betonarme taşıyıcı sistemlerde düşey yüklerin ve deprem, rüzgar gibi yatay yüklerin karşılanmasında döşemelere mesnetlik yaparak, yüklerin düşey taşıyıcı kolonlar vasıtası ile temele iletilmesini sağlayan yapı elemanlarına denir. Ayrıca kolonları birbirine bağlayarak taşıyıcı sistemde çerçeve meydana getirirler.

Betonarme yapı elemanlarının tasarımında kullanım amaçlarına göre farklı tip kirişler kullanılabilir.

2.1 Destek Koşullarına Göre Kirişler

2.1.1 Sabit Kirişler

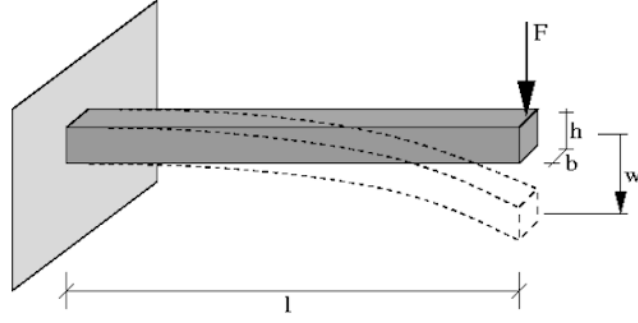
Her iki ucunda yatay ve düşey deplasmanın yanında dönmeye de direnç gösteren kiriş tipidir. Uçlarda tepki kuvvetlerine ilaveten moment üretilir.



Şekil 2.1 İki Ucu Ankastre Mesnet Olan Sabit Kiriş

2.1.2 Konsol Kirişler

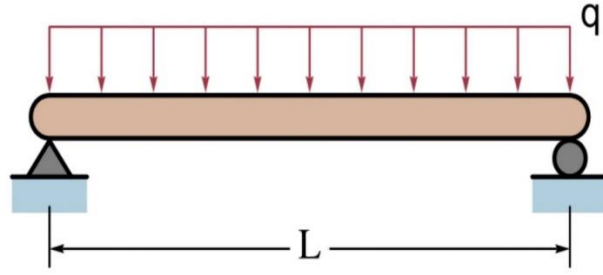
Bir ucu sabit, diğer ucu serbest olan kirişe konsol kiriş denir. Kiriş, gelen yükü sabit olan uca dağıtarak absorbe eder. Konsol kirişler cumbalı pencere, balkon ve bazı köprülerin oluşturulmasında kullanılır.



Şekil 2.2 Bir Ucu Sabit, Diğer Ucu Serbest Olan Konsol Kiriş

2.1.3 Basit Kirişler

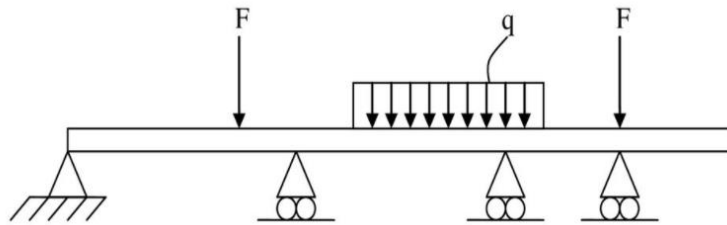
Her iki ucunun da destek bulunan fakat dönmekte serbest olan en basit yapısal elemanlardan biridirler. Bir ucu yatay ve düşey deplasman yapmaya karşı direnç gösterirken bir ucu sadece düşey deplasmana karşı direnç gösterir. Betonarme yapı elemanlarında en sık kullanılan kiriş tiplerinden birisidir.



Şekil 2.3 Bir Ucu Sabit, Bir Ucu Hareketli Mesnet Olan Basit Kiriş

2.1.4 Sürekli Kirişler

En az iki mesnete sahip olan, yani ara mesnetler üzerinde devamlı olan kirişlerdir.



Şekil 2.4 İki'den Fazla Noktadan Mesnetlenen Sürekli Kiriş

2.2 Yapı Malzemelerine GÖre Kirişler

2.2.1 Betonarme Kirişler

Farklı dayanımlara sahip beton ve farklı çelik sınıfına sahip donatılardan oluşan kompozit kirişlere denir. Betonarme yapıların en temel yapı elemanlarından birisidir.



Şekil 2.5 Betonarme Kiriş

2.2.2 Çelik Kirişler

Yapı malzemesi olarak çelik kullanılan kirişlerdir. I, H, U, Z profil gibi farklı türleri vardır. Daha çok endüstriyel yapılar ve sanat yapılarında kullanılır.



Şekil 2.6 I Profil Çelik Kiriş

2.2.3 Ahşap Kirişler

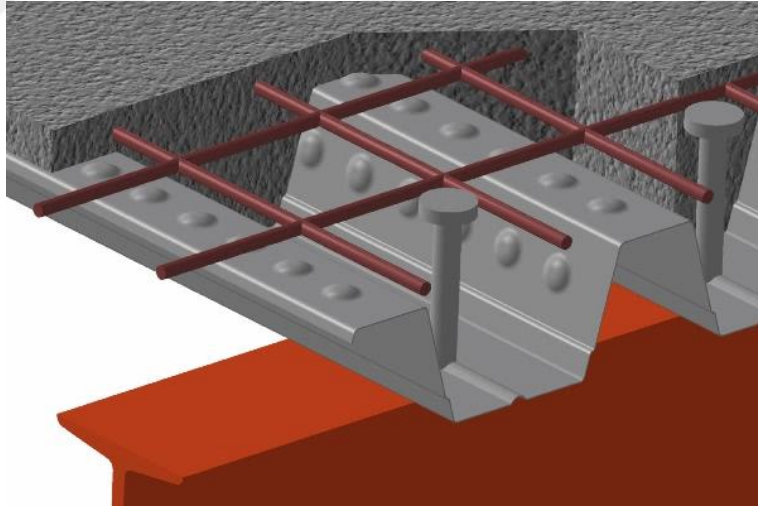
Ana malzemesi ahşap olan kirişlerdir. Ahşap kirişler daha çok eski yapılarda kullanılmıştır.



Şekil 2.7 Ahşap Kiriş

2.2.4 Kompozit Kirişler

Çelik ve beton gibi iki veya daha fazla malzemeden üretilen kirişlere denir.

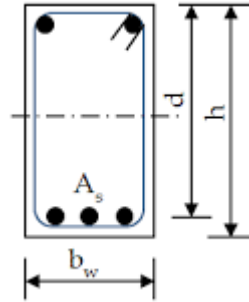


Şekil 2.8 Kompozit Kiriş

2.3 Kesit Şekillerine Göre Kirişler

2.3.1 Dikdörtgen Kesitli Betonarme Kiriş

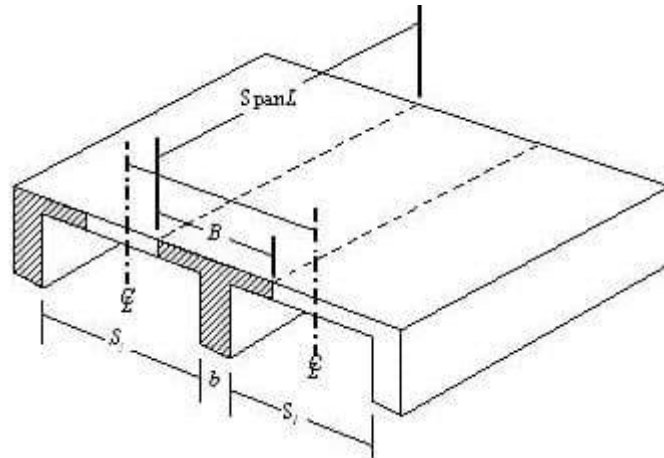
Betonarme yapılarda yaygın olarak kullanılan kirişlerdir. Yönetmeliklere göre yüksekliği(h) genişliğinden(b) büyük olarak tasarlanır.



Şekil 2.9 Dikdörtgen Kesitli Kiriş

2.3.2 Betonarme T-L-profil Kirişi

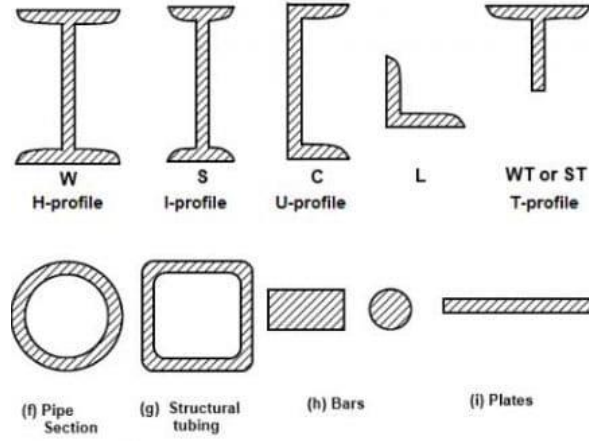
Daha çok döşemelerle birlikte tek parça halinde inşa edilen kirişlerdir. Dişli ve kaset döşemelerde yaygın olarak kullanılır. Döşemenin uç kısımlarında L profili olarak görülür.



Şekil 2.10 T ve L Profil Kiriş

2.3.3 Çelik Profil Kirişler

Çelik profil kirişler; kare, dikdörtgen, dairesel, I, H, T, Z, C, L şeklinde kullanım alanlarına göre farklı farklı üretilebilirler.

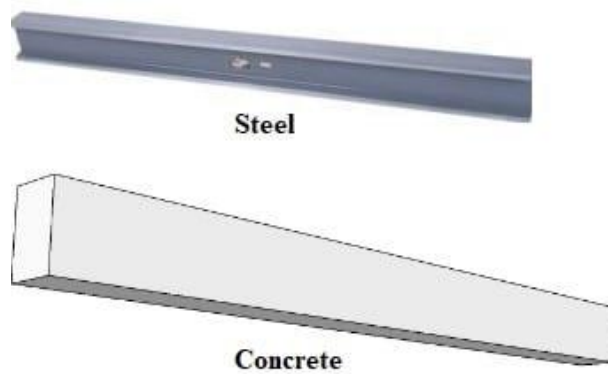


Şekil 2.11 Çelik Kiriş Profilleri

2.4 Geometrisine Göre Kirişler

2.4.1 Düz Kirişler

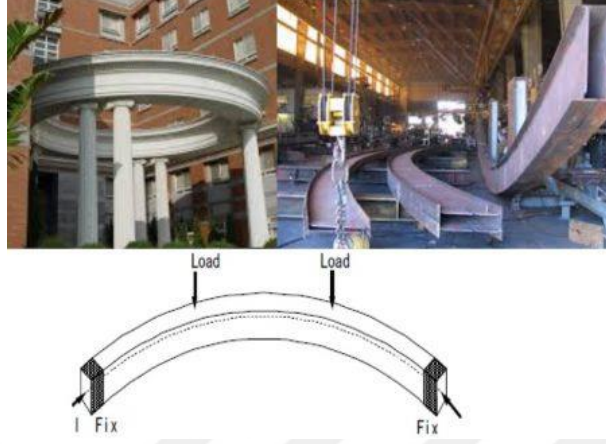
Kesit olarak bir düzlem boyunca devam eden kirişlerdir. Yapılardaki kullanılan çoğu kiriş düz kiriştir.



Şekil 2.12 Düz Kirişler

2.4.2 Kavisli Kirişler

Dairesel olup başladığı yerde bitebilen veya kavis şeklini alan kirişlerdir.



Şekil 2.13 Kavisli Kirişler

2.4.3 Konik Kirişler

Konik kesitli kirişlere denir. Yapılarda nadir kullanılır.



Şekil 2.14 Konik Kiriş

ANALİZDE KULLANILAN KİRİŞLERİN ÖZELLİKLERİ ve DARBE YÜKÜ

3.1 Kiriş Tasarımları

Analizlerde kullanılan kirişlerin ön çizimleri AutoCAD programı kullanılarak yapılmıştır. Kirişler tasarlanırken TS500 ve TBDY2018 yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanmış olup, günümüzdeki hastane ve okul projelerinden faydalanılmıştır. TS500 ve TBDY2018'e göre süneklik düzeyi yüksek kirişlerin tasarımındaki en kesit koşulları şu şekilde sıralanabilir: [17][18]

- Kiriş gövde genişliği en az 250 mm olacaktır.
- Kiriş gövde genişliği, kirişin yüksekliği ile birleştiği kolonun veya perdenin kirişe dik genişliğinin toplamını geçmeyecektir.
- Kiriş yüksekliği, döşeme kalınlığının 3 katından ve 300 mm'den daha az olmayacaktır. Bu şartı sağlamayan elemanlar, çözümlemede döşeme elemanları ile beraber modellenecek, kiriş gibi donatılacak, ancak çerçeve kirişi olarak kabul edilmeyecektir.
- Kiriş yüksekliği gövde genişliğinin 3.5 katından fazla olmayacaktır.
- Kiriş yüksekliği serbest açıklığın 1/4 'ünden daha fazla olduğu durumda kirişin gövdesinin her iki yüzüne, kiriş yüksekliği boyunca boyuna gövde donatısı konulacaktır.
- Toplam boyuna gövde donatısı alanı, sağ veya sol mesnet kesitlerinde üst ve alt boyuna donatı alanları toplamının en büyüğünün %30'undan daha az olmayacaktır.
- Gövde donatısı çapı 12 mm'den az, aralığı ise 300 mm'den fazla olmayacaktır.
- Gövde donatısı kullanılan kirişlerde, kirişin yüksekliği boyunca 600 mm'yi ve kirişin eksen boyunca 400 mm'yi geçmeyen aralıklarla yatay gövde çirozları konulacaktır.
- Boyuna donatıların kenetlenmesine benzer biçimde, gövde donatılarının kenetlenmesi için de aynı şartlar uygulanacaktır.
- Kirişin genişliği ve yüksekliği ile ilgili olarak belirtilen bu sınırlamalar, kolonlara mafsallı olarak bağlanan betonarme kirişler, bağ kirişli (boşluklu)

perdelerin bağ kirişleri ve çerçeve kirişlerine kolon-kiriş düğüm noktaları dışında saplanan ikincil kirişler için zorunlu değildir.

- Kiriş olarak boyutlandırılıp donatılacak taşıyıcı sistem elemanlarında, tasarım aksenal basınç kuvvetinin;

$$Nd \leq 0.10 Ac fck \quad (2.1)$$

koşulunu sağlaması zorunludur. Aksi durumda, bu elemanlar kolon olarak boyutlandırılıp donatılacaktır.

Yukarıda verilmiş olan en kesit koşulları kapsamında analizleri yapılacak olan tek ačkıklık, basit mesnetli, betonarme kirişlerin; yüksekliği 600, genişliği 300, ačkıklıđı da 5000 mm olarak sečilmiřtir ve gövde donatısı kullanılmamıştır. Bir ucu sabit diğer ucu hareketli olan mesnetler kolonun uçlarından h/2 mesafe kadar içeri yerleştirilmiştir.

Analizleri yapılacak olan kirişlerin TS500 ve TBDY2018'e göre boyuna donatı koşulları ise şu şekilde sıralanabilir;

- Boyuna donatıların çapı 12 mm'den küçük olmayacaktır. Kiriřin alt ve üstünde en az iki donatı çubuğu, kiriş ačkıklıđı boyunca sürekli olarak bulunacaktır.
- Kirişlerde çekme donatısı oranı ρ , Denklem (2.2)'deki değerden az olamaz.

$$\rho = \frac{A_s}{bwd} \geq \rho_{min} = 0.8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} \quad (2.2)$$

- Deprem Tasarım Sınıfı; DTS =1, 1a ve DTS = 2, 2a olan taşıyıcı sistemlerde, kiriş mesnedindeki alt donatı, aynı mesnetteki üst donatının %50'sinden daha az olamaz. Ancak, diğer durumlarda bu oran %30'a indirilebilir.
- Ačkılık ve mesnetlerdeki çekme donatısı oranı TS 500'de verilen maksimum değerden ve %2'den fazla olmayacaktır.

Bu bağlamda kirişlerde kullanılacak olan minimum çekme donatısı oranı, Denklem (2.2)'den ve TS-500'de bulunan diğer bağıntılardan faydalanılarak hesaplanmıştır. Betonun karakteristik aksenal çekme dayanımı aşağıda verilen bağıntıdan hesaplanabilir. (TS-500_3.3.2 bağıntıdan bu şekilde mi referans veriliyor?)

$$f_{ctk} = 0,35 \cdot \sqrt{f_{ck}} \quad (2.3)$$

Malzeme dayanımlarının istatistik dağılımı gözönünde bulundurularak, hesaplarda kullanılacak "tasarım dayanımı" değerleri, karakteristik malzeme dayanımı

değerlerinin "malzeme katsayısı" diye adlandırılan 1,0 veya 1,0'den büyük katsayılarla bölünmesiyle elde edilir. Taşıma gücü sınır durumu için beton ve çelik hesap dayanımları aşağıda verilmiştir. (TS-500_6.2.5)

$$\text{Beton için;} \quad f_{cd} = f_{ck}/\gamma_{mc}, f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_{mc} \quad (2.4)$$

$$\text{Çelik için;} \quad f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{ms} \quad (2.5)$$

Yerinde dökülen betonlar için $\gamma_{mc} = 1,5$ alınacaktır. Bu katsayı, öndökümlü betonlar için 1,4 alınabilir. Ancak, betonda nitelik denetiminin gerektiği gibi yapılamadığı durumlarda, bu katsayı tasarımcının kararı ile 1,7 alınır. Donatı çeliğinin tüm sınıfları için $\gamma_{ms}=1,15$ alınacaktır. Kullanılabilirlik sınır durumu için hesap yapılırken, genellikle malzeme katsayıları 1,0 alınmalıdır.

Denklem 2.2, 2.3, 2.4 ve 2.5'ten yola çıkarak C25 ve C60 beton dayanımına sahip kirişlerin çekme donatıları hesaplanmıştır.

C25 için;

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$d' = 2,5 \text{ cm}$$

$$d = 60 - 3,3 = 56,7 \text{ cm}$$

$$f_{ctk} = 0,35 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \cdot \sqrt{25} \approx 1,8$$

$$f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_{mc} = 1,8/1,5 = 1,2 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_{ms} = 420/1,15 = 365 \text{ MPa}$$

$$\rho_{\min} = 0,8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0,0026301$$

$$A_{s\min} = 4,47 \text{ cm}^2$$

$$\text{Seçilen çekme donatısı} = 4\emptyset 16 = 8,04 \text{ cm}^2$$

C60 için;

$$b_w = 30 \text{ cm}$$

$$d' = 2,5 \text{ cm}$$

$$d = 60 - 3,3 = 56,7 \text{ cm}$$

$$f_{ctk} = 0,35 \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,35 \cdot \sqrt{60} \approx 2,71$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_{mc} = 2,71 / 1,5 = 1,8 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{mc} = 420 / 1,15 = 365 \text{ MPa}$$

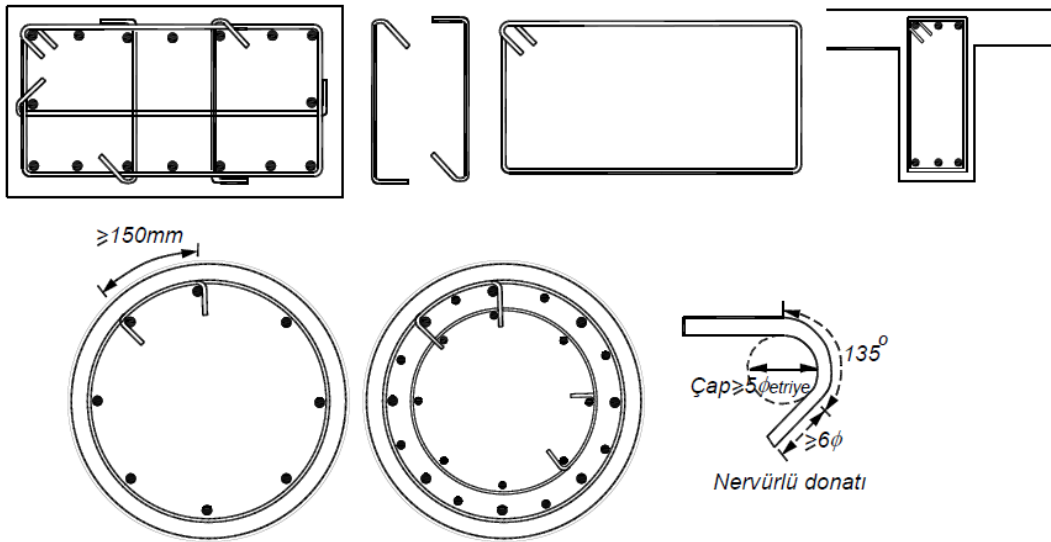
$$\rho_{min} = 0,8 \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0,0039452$$

$$A_{smin} = 6,71 \text{ cm}^2$$

$$\text{Seçilen çekme donatısı} = 4\emptyset 16 = 8,04 \text{ cm}^2$$

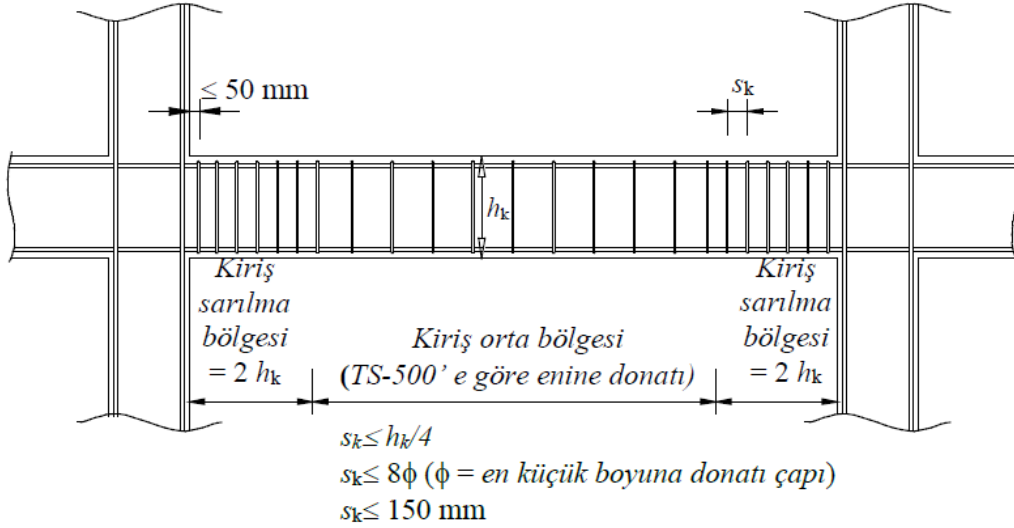
Analizleri yapılacak olan kirişlerin enine donatı koşulları TS500 ve TBDY2018'e göre şu şekilde sıralanabilir;

- Kiriş mesnetlerinde kolon yüzünden itibaren kiriş yüksekliğinin iki katı kadar uzunluktaki bölge, Sarılma Bölgesi olarak tanımlanır. Bu bölge boyunca özel deprem etriyeleri kullanılacaktır.



Şekil 3.1 Özel Deprem Etriyeleri

- Sarılma bölgelerinde $\emptyset 8$ 'den küçük çaplı enine donatı kullanılmayacak ve ilk etriyenin kolon yüzüne uzaklığı en çok 50 mm olacaktır.
- Etriye aralıkları kiriş etkili yüksekliğinin $1/4$ 'ünü, en küçük boyuna donatı çapının sekiz katını ve 150 mm'yi aşmayacaktır.



Şekil 3.2 Etriye Aralığı Sınırları

- Sarılma bölgesi dışında, TS 500'de verilen enine donatı koşullarına uyulacaktır. Kiriş eksenine dik doğrultuda etriye kolları aralığı 350 mm'yi aşmayacaktır.

Yukarıda bahsedilen kiriş en kesiti, boyuna ve enine donatı koşulları kapsamında TS500, TBDY2018'den yararlanılarak ve uygulamaya geçmiş olan hastane ve okul projeleri incelenerek analizlerde kullanılmak üzere 6 farklı kiriş tasarlanmıştır. Kirişlerin basınç bölgesinde $2\emptyset 14$ donatı kullanılırken çekme bölgesinde minimum donatı şartını sağlayabilmek için $4\emptyset 16$ donatı kullanılmıştır. Farklı enine donatı aralıkları ve farklı beton sınıflarına sahip olan bu 6 farklı kiriş 2 farklı doğrultuda analize tâbi tutulmuştur. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında 6 farklı kiriş Abaqus sonlu elemanlar programında modellenmiş ve toplam 12 farklı doğrusal olmayan dinamik analiz yapılmıştır. Sonraki bölümlerde kirişlerin özelliklerinden ve tasarım ayrıntılarından bahsedilmiştir.

3.1.1 Kiriş Boyunca Etriyesiz Olan Kiriş Eleman

İki ucu basit mesnetli tek açıklıklı betonarme kirişte, kiriş boyunca etriye bulunmamaktadır. Bu kiriş, hiçbir enine donatıya sahip olmayan bir kirişin darbe yükü altındaki davranışının araştırılması hedeflenerek tasarlanmıştır. Kiriş boyunca uygulamaya yönelik olması açısından sadece 5Ø8 enine montaj donatısı yerleştirilmiştir.

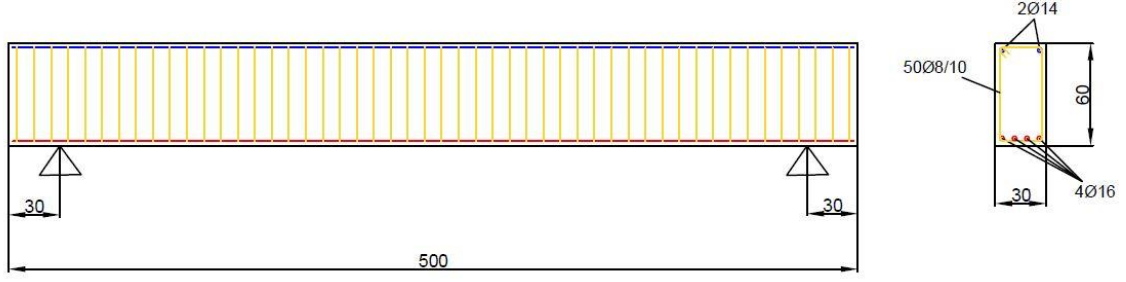


Şekil 3.3 Tamamı Etriyesiz Kiriş Tasarımı

3.1.2 Kiriş Boyunca Etriye Aralığı 10 cm Olan Kiriş Eleman

İki ucu basit mesnetli tek açıklıklı betonarme kirişte, kiriş boyunca 10 cm aralığa sahip enine donatılar bulunmaktadır. Enine donatılar, yönetmeliklerde belirtildiği üzere kolon yüzünden 50 mm mesafe boşluk bırakılarak yerleştirilmeye başlanmıştır.

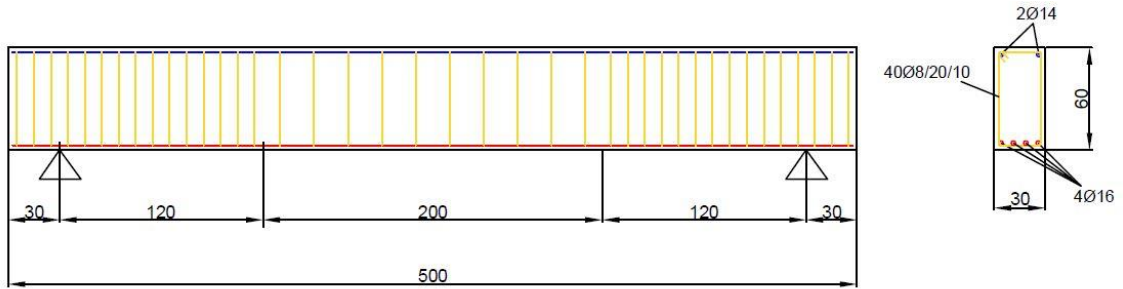
Kirişler, önceki bölümlerde bahsedilen yönetmelikler doğrultusunda sünek bir davranış gösterip eğilme kırılmasına maruz kalması düşünülerek tasarlanır. Buna bağlı olarak kesme kırılmasına maruz kalmaması için sıklaştırma bölgelerinde enine donatıların adım mesafeleri azaltılır. Bu bağlamda bu kiriş tasarlanırken; darbe yükünün ani bir yükleme ile kirişin orta bölgelerine etki edeceği dikkate alınmış ve kirişin orta bölgelerinde de sıklaştırma yapılarak, kirişe etkiyen darbe yükü etkisine karşı katkısının araştırılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.4 Tamamı 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Tasarımı

3.1.3 Etriye Aralığı Sıklaştırma Bölgesinde 10 cm, Orta Bölgede 20 cm Olan Kiriş Eleman

İki ucu basit mesnetli tek açıklıklı betonarme kirişte, kirişin orta bölgesinde 20 cm, sıklaştırma bölgelerinde ise 10 cm adım aralığına sahip enine donatılar bulunmaktadır. Enine donatılar, önceki kirişlerde olduğu gibi, yönetmeliklerde belirtildiği üzere kolon yüzünden 50 mm mesafe boşluk bırakılarak yerleştirilmeye başlanmıştır. Bu kiriş tasarlanırken, özellikle orta bölgede enine donatıların adım sıklığının daha az olması ile, kirişe etkileyen darbe yükü etkisine karşı davranışının araştırılması hedeflenmiştir.



Şekil 3.5 Sıklaştırma Bölgesinde 10 cm, Orta Bölgede 20 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Eleman

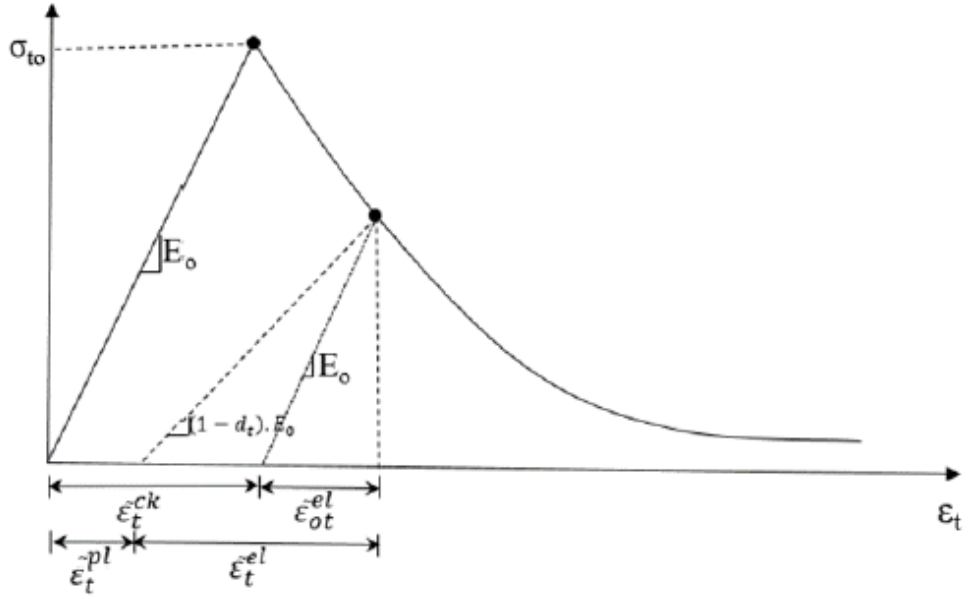
3.2 Malzeme Modeli

Abaqus programında cisimler analize tabii tutulurken, cisimlerin çeşitli yükler altında karakteristik bir davranış sergileyebilmeleri için malzeme modeli tanımlanmaktadır. Kiriş numunelerinin analizleri yapılmadan önce; ayrı ayrı C25 ve C60 beton için, donatılarda kullanılan S420 çeliği için ve darbe yükü etkisi oluşturan cisim için literatürde yer alan makalelerden faydalanılarak malzeme modelleri oluşturulmuştur.

3.2.1 Beton Malzeme Modeli

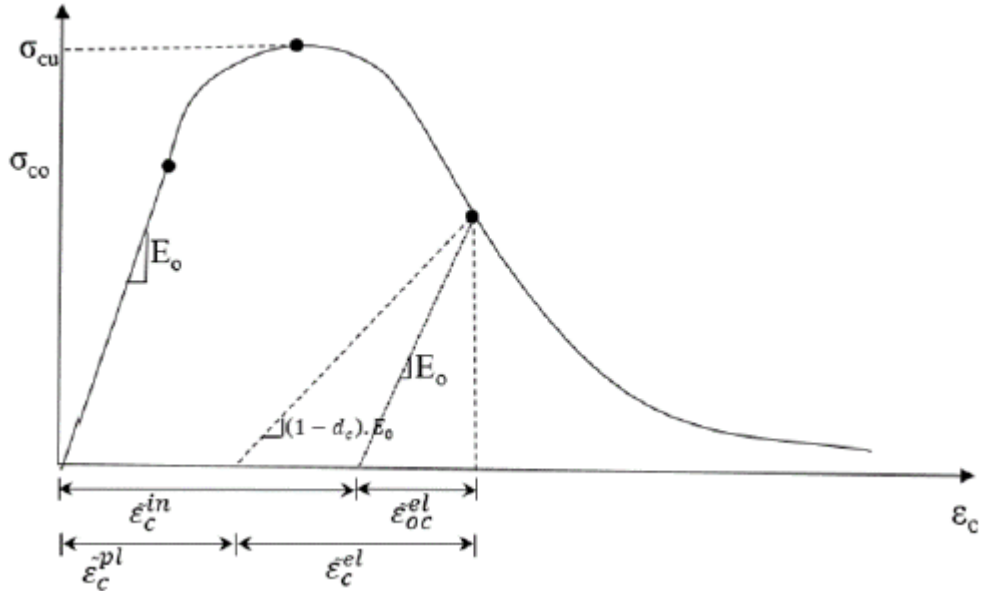
Abaqus sonlu elemanlar analiz programında temel olarak kullanılan beton malzeme modellerinden birisi concrete damage plasticity (CDP), yani Türkçe deyişiyle beton hasar plastisite (BHP) modelidir. Beton için yaygın olarak kullanılan BHP modeli, ABAQUS'ta uygulanan, ilk olarak Lubliner ve arkadaşları tarafından 1989 yılında kullanılan, ardından 1998 yılında Lee ve Fenves'in çalışması ile geliştirilen, hasar ve plastisiteyi birleştiren bir çatlak bir modelidir.

Model, basınç ezilmesi ve çekme çatlamaşının, malzemenin ana iki kırılma mekanizması olduğunu varsayar. Tek eksenli çekme yüklemesi altındaki BHP modelinin tepkisi, kırılma gerilmesi değeriine (σ_{t0}) kadar doğrusal-elastik gerilme – şekil değıştirme ilişkisi ile karakterize edilir. Böyle bir gerilmede betonda mikro çatlaklar oluşmaya başlar. Mikro çatlakların makro çatlaklara aşamalı bir şekilde dönüşmesiyle gerilme – şekil değıştirme eğrisinde dayanımın azaldığı bölge çekme rijitliği olarak tanımlanır. Bu bölge, betonun çekme çatlamaşını modeller ve ya bir kırılma sonrası gerilme – şekil değıştirme ilişkisi ya da bir kırılma enerjisi sönümlenmesiyle gerilme yumuşaması olarak tanımlanabilir. (Şekil 3.6)



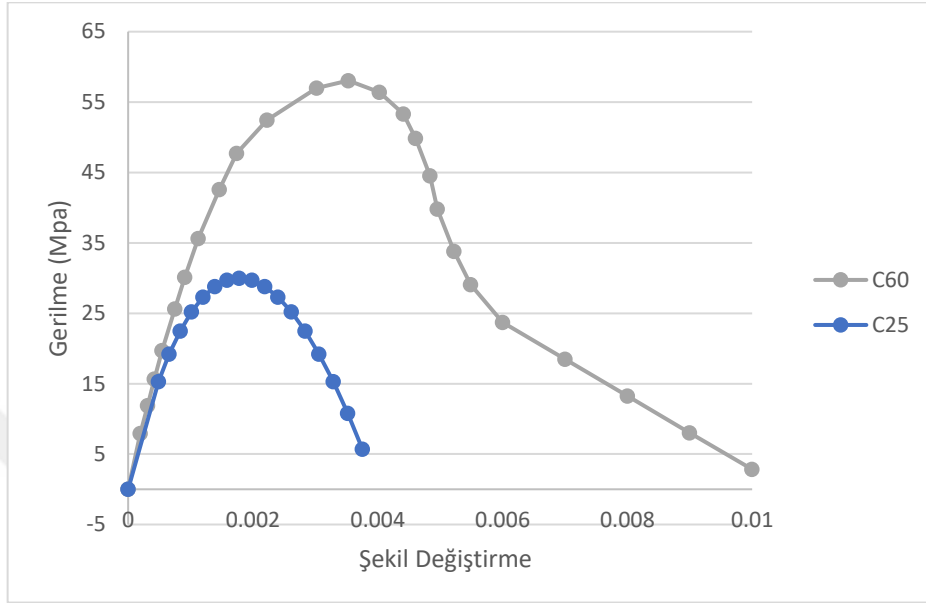
Şekil 3.6 Eksenel Çekme Altında Beton Davranışı

Tek eksenli basınç yüklemesi altında ise, beton BHP modelinde ilk akma değerine (σ_{c0}) ulaşılan kadar doğrusal-elastik bir davranış sergiler. Ardından nihai gerilmenin ötesinde yani σ_{c0} 'dan sonra σ_{cu} 'ya kadar bir dayanım sertleşmesi ve σ_{cu} 'dan sonra ise dayanım yumuşaması gerçekleşir. (Şekil 3.7)

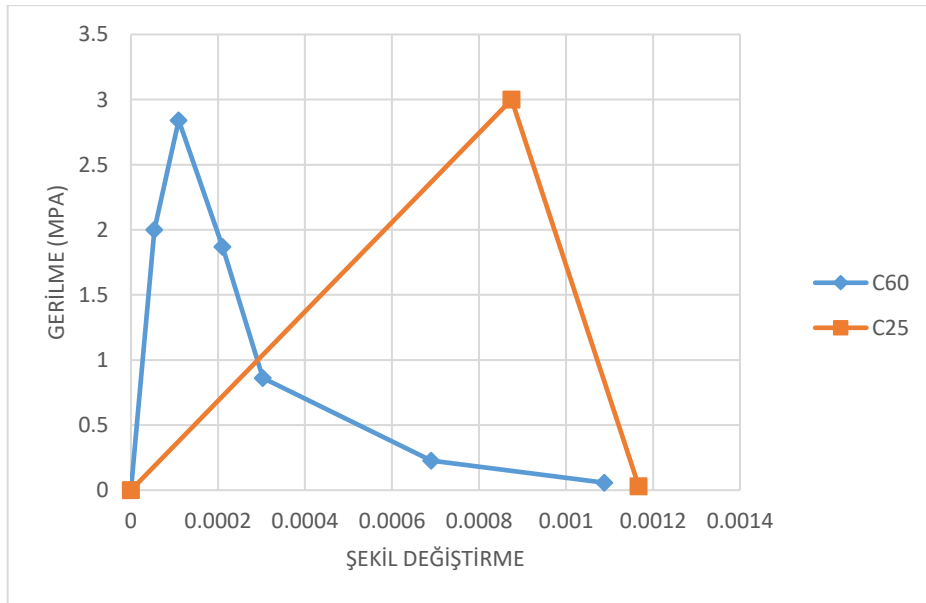


Şekil 3.7 Eksenel Basınç Altında Beton Davranışı

Kiriş numuneleri BHP modeli ile modellenirken C25 ve C60 beton için literatürdeki çeşitli makalelerden faydalanılmıştır [19][20]. C25 ve C60 betonu için kullanılan malzeme modellerinin basınç ile çekme davranışı grafikleri Şekil 3.8 ve 3.9'da gösterilmiştir.



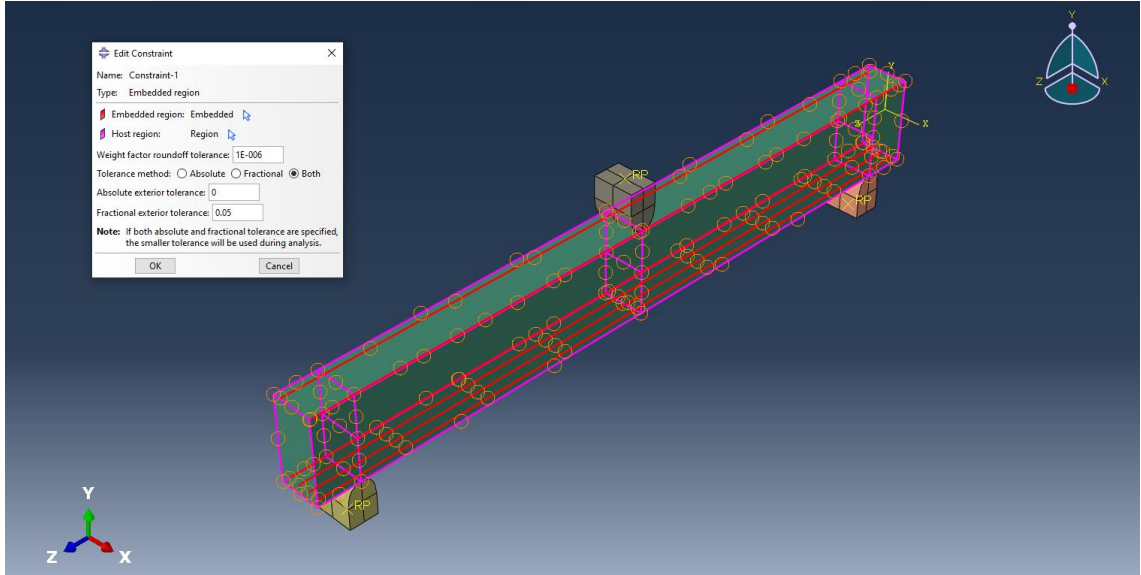
Şekil 3.8 C25 ve C60 Beton İçin Kullanılan Malzeme Modeli Basınç Grafiği



Şekil 3.9 C25 ve C60 Beton İçin Kullanılan Malzeme Modeli Çekme Grafiği

3.2.2 Donatı Malzeme Modeli

Çelik donatının mekanik davranışını tanımlayabilmek için elastik davranışının yanısıra plastik davranışı da dikkate alınmıştır. Aynı zamanda, S420 çeliğinin plastik davranışının program aracılığıyla daha iyi gözlemlenebilmesi için malzeme modelinde “Shear Damage” (Kesme Hasarı) ve “Ductile Damage” (Sünek Hasar) değerlerine de yer verilmiştir. Bunun yanında, donatılar ve betonun birlikte kompozit bir malzeme olarak çalışabilmesi için program içerisinde “Embedded” özelliğinden yararlanılmıştır (Şekil 3.10). Ayrıca programın “General Contact” özelliği kullanılarak tüm sistemin birlikte çalışabilmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.10 Analizlerde Kullanılan Embedded Özelliği

3.3 Darbe Yüğü

Darbe yüğü, ani olarak çok kısa sürede gerçekleşen ve büyük kütle etkisi oluşturan yükleme durumu olarak tanımlanabilir. Statik yüklemelere nazaran dinamik bir yükleme olan darbe yüklemelerinde yükleme hızı çok daha büyük, yükleme süresi ise ani, anlık, çok küçük olmaktadır. Yükleme hızının büyüklüğüne göre yapı ve yapı elemanlarının davranışı ve hasar tipleri değişiklik gösterebilmektedir. Literatür çalışmaları incelendiğinde; statik yükleme altında yapı elemanları eğilme kırılmasına maruz kalırken ani dinamik yükleme olan darbe yüküne maruz kalan yapı elemanlarında basınç ve kesme hasarının oluştuğı gözlemlenmiştir.

Darbe yüküne maruz kalan birkaç yapı veya yapı elemanı olarak aşağıdaki durumlar örnek olarak gösterilebilir.



Şekil 3.11 Betonarme Binaya Çarpan Araç

Yukarıdaki Şekil 3.11’de betonarme binaya hız ve ivme ile çarparak darbe etkisi oluşturan ve buna bağlı olarak binada kalıcı hasar oluşturma potansiyeline sahip bir araç görülmektedir.



Şekil 3.12 Betonarme Binaya Çarpan Kamyon



Şekil 3.13 Gence'ye Atılan Füze Sonrası Betonarme Binada Oluşan Hasarlar



Şekil 3.14 Gümüşhane’de Betonarme Bir Binaya Düşen Kaya Parçaları



Şekil 3.15 Boğazda Bir Geminin Yalıya Çarpması Sonucu Oluşan Hasar



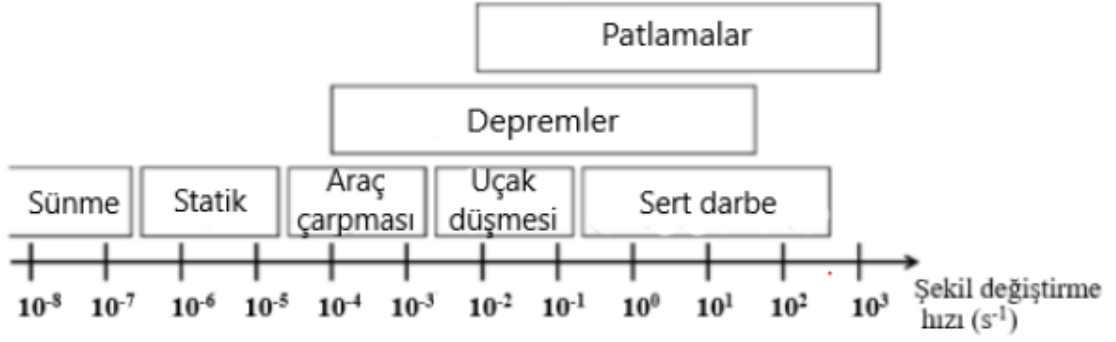
Şekil 3.16 Pakistan’da Betonarme Bir Binada Gerçekleşen Patlama Sonrası Oluşan Hasarlar

Yukarıdaki Şekil 3.11-16’dan da anlaşılacağı üzere darbe yükü etkisi hayatımızın bir gerçeği olup göz ardı edilemeyecek kadar önem arz etmektedir. Darbe yükü etkisi, kimi yapılarda sadece taşıyıcı olmayan elemanlara zarar vermekte iken kimi yapılarda ise kalıcı yapısal hasarlar oluşmakta ve hatta göçme durumu sonucunda acı olaylara sebebiyet vermektedir.

Darbe yükünün etkisinde önemli rol oynayan; yükleme (çarpma) hızı, çarpan cismin düşme yüksekliği, çarpan cismin darbe etkisi oluşturduğu kesit alanı gibi birkaç etken vardır. Literatüdeki çalışmalar da incelendiğinde, darbe yükü etkisinin oluşumundaki etkenlerden en önemlisinin yükleme hızı olduğu görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında; cismin düşme yüksekliği ve cismin çarpma anındaki etkidiği kesit alanı sabit tutulmuş olup yükleme hızı ile ilgili bilgiler aşağıdaki bölümde verilmiştir.

3.3.1 Yükleme Hızı

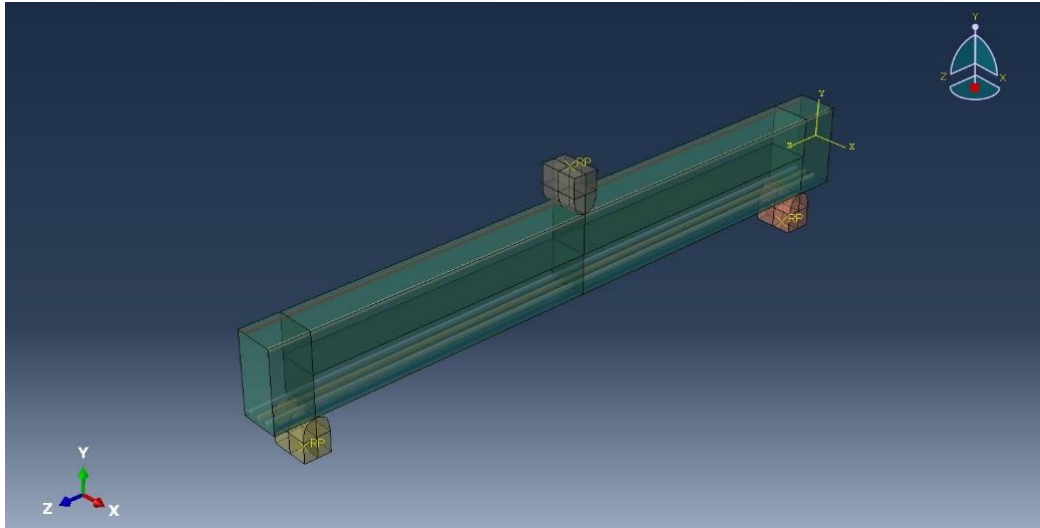
Yükleme hızı, yapı ve yapı elemanlarında kullanılan birçok malzemenin davranışını etkileyen önemli bir etkendir. Yapı malzemelerinin mekanik özellikleri ise şekil değiştirme hızına bağlı olarak belirlenmektedir. Yapıların hizmet ömürleri boyunca maruz kaldıkları yükler doğrultusunda oluşan şekil değiştirme hızı çizelgesi Şekil 3.17’de verilmiştir. [21]



Şekil 3.17 Farklı Yükleme Durumlarında Yapılarda Oluşan Şekil Değişirme Hızı

Yükleme hızının, düşme yüksekliğine bağlı olduğu temel Newton kanunlarından bilinmektedir. Bu tez çalışmasında ise düşme yüksekliği sabit tutularak dolayısıyla analizi yapılan kiriş elemanlarının yükleme hızı da sabit tutulmuştur.

Darbe yükü olarak, ABAQUS sonlu elemanlar programında kiriş genişliği ve yüksekliği boyunca etkiyecek olan bir cisim modellenmiştir. (Şekil 3.18). Cismin malzeme modeli olarak darbe yükü etkisi oluşturabilecek mermi, roket, füze gibi cisimlerden esinlenerek çelik kullanılmıştır.



Şekil 3.18 Analizlerde Kullanılan Kirişlerin Genel Görünümü

Abaqus sonlu elemanlar programında darbe yükü oluşturacak cisimi farklı yöntemler ile modellemek mümkündür. Bunlardan birisi darbe yükü oluşturacak olan cismin kiriş yüzeyine çok yakın bir şekilde yerleştirilerek çarpma anındaki hızı

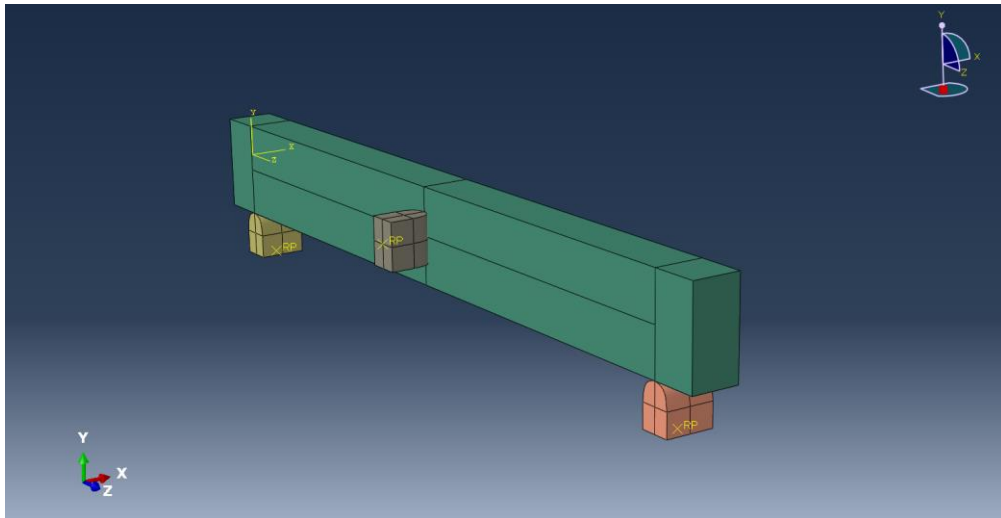
cisme tanımlanabilir. Bu çalışma kapsamında da tek seferlik ani yükleme ile darbe yükü etkisi oluşturacak cisim kiriş yüzeyine çok yakın bir şekilde konumlandırılarak 500 m yükseklikten serbest bırakıldığı düşünülmüş ve cismin kirişe çarptığı andaki hızı Denklem (3.1)'e göre hesaplanmıştır.

$$m \cdot g \cdot h = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 \quad (3.1)$$

Hesaplamalar sonucunda cismin hızı 100 m/s olarak programa işlenmiş ve darbe etkisi oluşturan cismin hareketi, sadece kirişin genişliğine ve yüksekliğine dik doğrultuda hareket edebilecek şekilde sınırlandırılmıştır. Darbe etkisi oluşturacak cisim ile kiriş arasındaki temas ise "General Contact" özelliğinden faydalanarak sağlanmıştır.

3.3.2 Yükleme Doğrultusu

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, deneysel ve analitik çalışmalarda yapı elemanlarına etkittirilen darbe yüklerinin sadece bir doğrultuda olduğu o doğrultunun da genellikle kirişin genişliğine dik olduğu gözlemlenmiştir. Buna karşın, önceki bölümlerde bahsedilen darbe yüklerinin yapı ve yapı elemanlarına hangi doğrultuda etki edeceği kesin olmamasından dolayı; bu çalışma kapsamında kirişlere etkittirilen darbe yükü, kirişlerin hem genişliğine (Y Doğrultusu) hem de yüksekliğine (X Doğrultusu) dik olacak şekilde iki doğrultuda etkittirilmiştir. (Şekil 3.19)



Şekil 3.19 X Doğrultusunda Yüke Maruz Bırakılan Kirişlerin Genel Görünümü

SONLU ELEMANLAR METODU

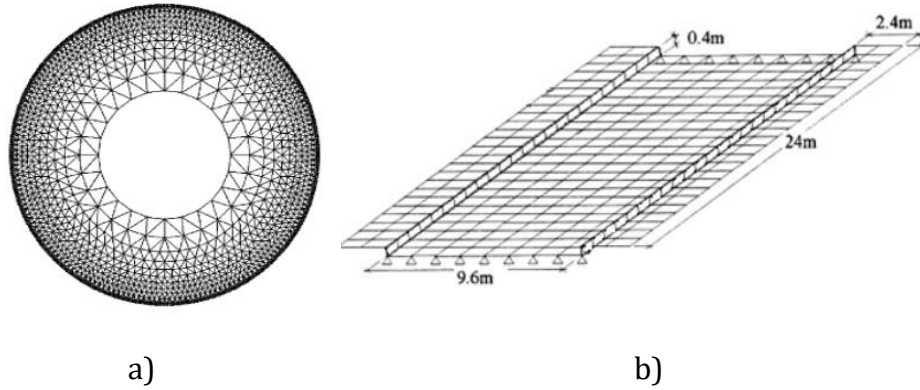
Sonlu elemanlar yöntemi ya da sonlu elemanlar metodu (FEM), mühendislik ve matematiksel modellerde sıklıkla kullanılan bir sayısal analiz yöntemidir. FEM, özellikle yapı statiği, ısı aktarımı, akışkanlar mekaniği, kütle aktarımı ve elektrik potansiyeli problemlerinde kullanılır; yöntem, özellikle iki veya üç boyutlu kısmi diferansiyel denklemleri ve sınır değer problemlerinin çözümünde uygulanır.

FEM, esasta geniş bir sistemi sonlu eleman adı verilen daha küçük bileşenlere ayırır: bu, denklemin çözüldüğü uzayın ayrıklaştırılarak küçük bölgelere bölünmesi ile gerçekleştirilir. Sınır değer probleminin bu formülasyonu sonucu bir cebirsel denklem sistemi elde edilir. Bu sistem daha sonra Rayleigh–Ritz veya Galerkin metodu gibi değişkenli metodlar ile çözülür. Bu metodlarda sonuçlar temel fonksiyonlar (basis function) cinsinden elde edilir: diğer bir deyişle bu fonksiyonlar kullanılarak asıl çözümün interpolasyonu yapılır. [22]

Sonlu elemanlar methodu'nun matematiksel temeli; Lord Rayleigh (1842-1919)-İngiliz, Boris Grigorievich Galerkin (1871-1945)-Rus, Walther Ritz (1878-1909)-Alman, Richard Courant (1888-1972)-Alman, Alexander Hrennikoff (1896-1984)-Rus tarafından atılmıştır. 1940-1945'li yıllarda ilk bilgisayarın kullanılmaya başlanması ve zamanla gelişmesi ile günümüzde birçok alanda ve akademik çalışmada sıklıkla kullanılan sonlu elemanlar methodunun 1960'lı yıllarda doğmasına yol açtı. Sonlu elemanlar metodu ile ilgili ilk yayın; "Stiffness and Deflection Analysis of Complex Structures" adı ile M. J. Turner, R. W. Clough, H. C. Martin ve L. J. Topp tarafından 1956 yılında hazırlanmıştır. "Sonlu Elemanlar Metodu" ismini hayata geçiren Ray. W. Clough'dır. Sonlu elemanlar metodu isminin geçtiği ilk yayın ise Ray W. Clough tarafından hazırlanan "The Finite Element Method in Plane Stress Analysis" olarak 1960 yılında tarihe geçmiştir. Sonlu elemanlar ile ilgili ilk kitap ise O. C. Zienwick tarafından 1967 yılında yayınlanan "The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals"dır.

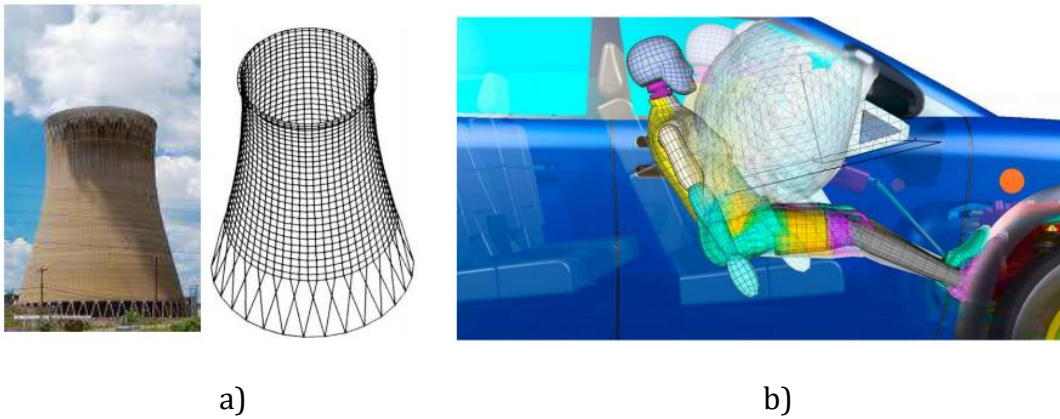
Sonlu elemanlar metodu sayesinde; yapı statiği derslerindeki cross, aç, kuvvet yöntemleri ile çözümlenen iç kuvvet ve şekil değiştirme hesaplamalarının yerini

olarak levha, plak, kabuk ve bunların birleşiminden oluşan karmaşık sistemler gibi hiperstatik sistemlerde iç kuvvet ve gerilme hesabı yapılır. (Şekil 4.1)



Şekil 4.1 Sonlu Elemanlar İle Modellenen a) Boşluklu Plak b) Köprü Plağı

Sistemin yükü, geometrisi, destek sistemi, malzemesi değişken olabilir. Sonlu elemanlar metodunda kabuk, plak gibi 2 boyutlu elemanların yanısıra düzlem ve uzay sistemlerinde de çözümler yapılabilir. (Şekil 4.2) Uzay sistemde çözümler yapılabilirdi birçok bilgisayar program mevcuttur. Bunlardan birisi de ayrıntılı eleman ve malzeme modelleme altyapısına ve arayüzüne sahip olan Abaqus programıdır. Bu tez kapsamında da modellemeler ve analizler Abaqus programı aracılığıyla yapılmış olup Abaqus ile alakalı ayrıntılı bilgi aşağıdaki bölümde verilmiştir.



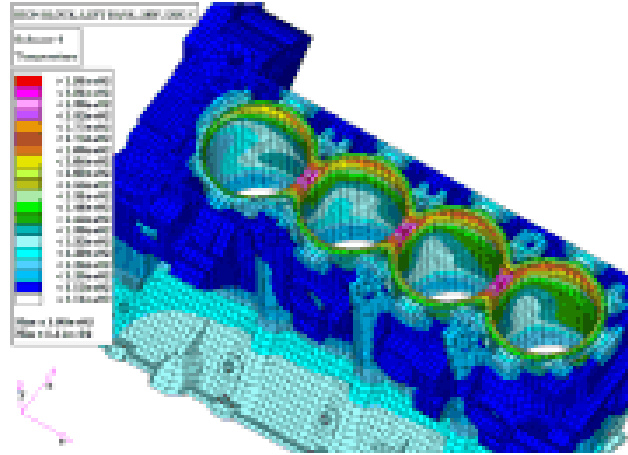
Şekil 4.2 Sonlu Elemanlar İle Modellenen a) Su Deposu b) Hava Yastığı Simulasyon

4.1 ABAQUS

Abaqus, sonlu elemanlar ağı oluşturarak analiz yapan ve bilgisayar destekli mühendislik tasarımları için hazırlanmış bir yazılım programıdır. Abaqus SE programı diğer sonlu elemanlar yazılımlarına göre daha gerçekçi, hata payı düşük ve yüksek performanslı modeller oluşturmaya imkan sağlayarak detaylı çözümler yapma olanağı oluşturur. Yazılımın içinde halihazırda bulunan farklı malzeme modelleri ve sonlu eleman modellemeleri sayesinde çözümlenmesi zor olan lineer ve non-lineer sistemleri analiz etme imkanı sunar. Abaqus, dört ana çekirdek yazılımdan oluşmaktadır. Bunlar: Standard, Explicit, CFD, ve CAE' dir.

4.1.1 Abaqus/Standart

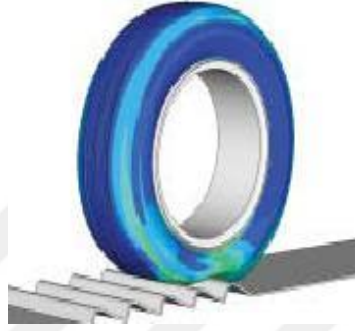
Statik, Dinamik, Isı Transferi, Akustik ve bunların bağımlı (çift-etkili) çözümlenmesi için geliştirilmiş, geniş ve gelişmiş eleman, malzeme ve temas modelleme kabiliyetine sahip güçlü ve güvenilir bir Kapalı (Implicit) sonlu elemanlar çözücüsüdür. Abaqus/Standard ayrıca plastik enjeksiyon kalıp çözümlenmesi için ilgili yazılımlarla sonuç alış verişi yapabilmektedir.



Şekil 4.3 Abaqus/Standart Çözümlemesi

4.1.2 Abaqus/Explicit

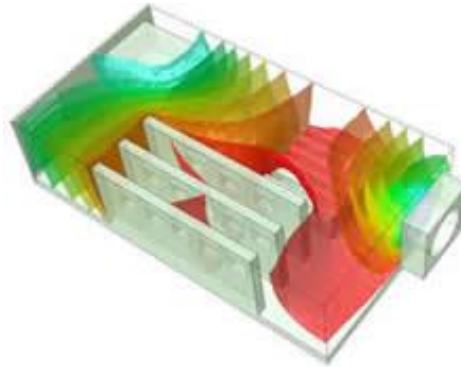
Zamana bağılı dinamik ve statik problemlerin modellenmesi ve çözümlenmesi için geliştirilmiş Açık (Explicit) bir SE çözücüsüdür. Düşürme testi benzetimleri, çarpışma (kaza) ve ürün benzetimleri gibi yüksek derecede doğrusalsızlığın bulunduğu devinim problemlerinin çözümü için uygundur. Mevcut yazılımlar arasındaki en kararlı ve güvenilir, tam ve yarı otomatik temas modelleme kabiliyetine sahiptir. Gelişmiş malzeme modellerine ve yüksek paralel işlem başarımına sahiptir.



Şekil 4.4 Abaqus/Explicit Çözümlemesi

4.1.3 Abaqus/CFD

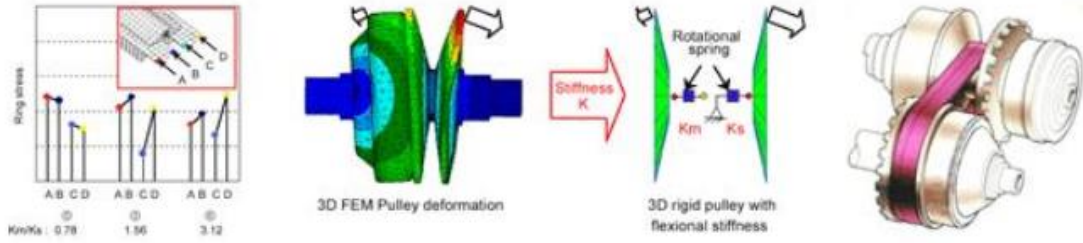
İleri seviye Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) çözücüsüdür. Abaqus/CAE ile entegre çalışmakta olup Ön/Son (Pre&Post) özellikleri Abaqus/CAE tarafından desteklenmektedir. Abaqus/CFD ile, doğrusal olmayan ısı-akış ve yapısal-akış problemleri gibi bir çok uygulamanın etkin ve gerçekçi bir biçimde benzetimi mümkündür.



Şekil 4.4 Abaqus/CFD Çözümlemesi

4.1.4 Abaqus/CAE

Yukarıda bahsedilen Abaqus çözümleri için tümünden bir kullanıcı ara yüzü ortamı sağlar. Günümüz kullanıcı ve bilgisayar ihtiyaçlarına yönelik olarak geliştirilmiş bir sonlu elemanlar Ön/Son (Pre&Post) yazılımıdır. Diğer çağdaş CAD yazılımlarında olduğu gibi unsur tabanlı değiştirgeçli (parametrik) modelleme kabiliyetine sahiptir. Doğrudan ve dolaylı yollardan dışarıdan geometri okunabilmekte ve sadeleştirilebilmektedir (defeaturing). Abaqus çözüm sonuçlarının değerlendirilmesi veya son işlemi Abaqus/CAE ile yapılmaktadır. Çok büyük çözüm dosyaları (>3Gb), pahalı grafik kartlarını ihtiyaç duyulmadan çok hızlı bir şekilde okunabilmekte, model rahatlıkla döndürülebilmektedir.



Şekil 4.5 Abaqus/CAE Çözümüleri Örnekleri

Abaqus programının sahip olduğu mafsal eleman kütüphanesi ve çözüm yöntemiyle, mekanizmaların kinematik ve dinamik analizlerini, hem katı hem de esnek olarak modelleyip gerilme çözümleri yapılabilmektedir. Bu özelliğin, Implicit ve Explicit sonlu elemanlar modelleri ile birlikte kullanılmasıyla, iş makineleri mekanizmalarının çalıştırılması ve mekanizmaların çalışması sırasında her bir uzuv üzerindeki gerilme dağılımının hesaplanması, araç dinamiğinin sanal modellemesi, dayanıklılık (durability) ve NVH analizlerinin tek bir yazılım ve tek bir model ile diğer yazılımlara göre çok daha gerçekçi ve doğru yapılabilmektedir.

Bu çalışma kapsamında, zamana bağlı dinamik analiz yapılması hedeflendiği için Abaqus/Explicit yazılımı kullanılmıştır. [23]

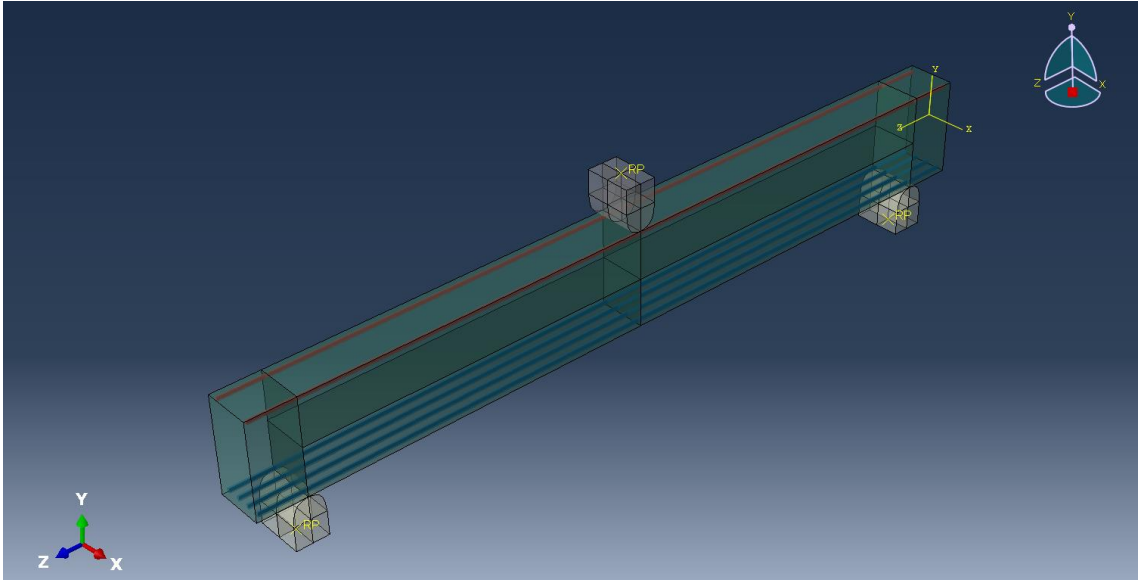
5.1 Uygulanacak Yöntem Özeti

Çalışma kapsamında farklı etriye aralıklarına ve farklı beton sınıflarına sahip basit mesnetli betonarme kirişler, X ve Y doğrultusunda; yani kirişlerin yüksekliğine ve genişliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmışlardır. Darbe yüküne maruz bırakılan kirişlerin o doğrultudaki maksimum deplasmanları ve kuvvet-deplasman grafiklerinin yanısıra betonda, donatılarda ve etriyelerde oluşan gerilme-şekil değiştirme grafikleri elde edilmiş ve çıkarımlarda bulunulmuştur. Aynı zamanda kirişlerin darbe yükü altında gösterdikleri şekil değiştirme davranışları da incelenmiş ve görsellerle desteklenmiştir.

5.2 C25 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerin Analizleri

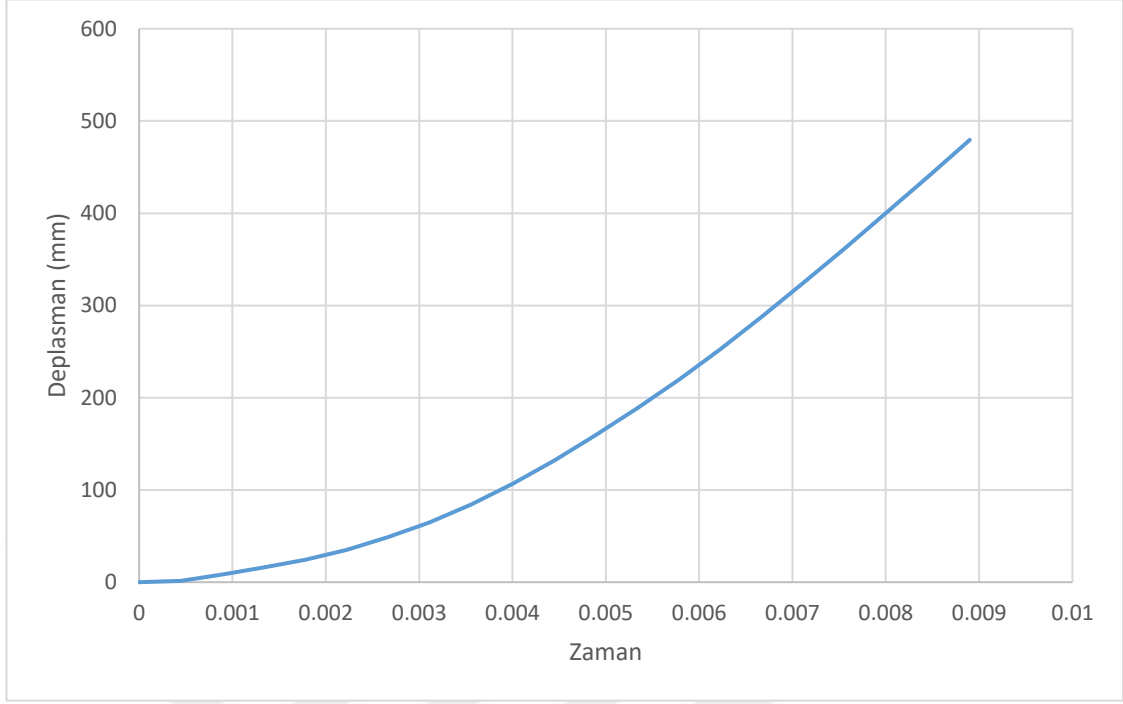
5.2.1 Etriyesiz Kiriş Numunesinin Y Doğrultusundaki Analizi

Autocad ile tasarlanan Şekil 3.3'teki kiriş numunesi Abaqus programında modellenmiş ve kiriş genişliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Numunenin modellenmiş hali Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



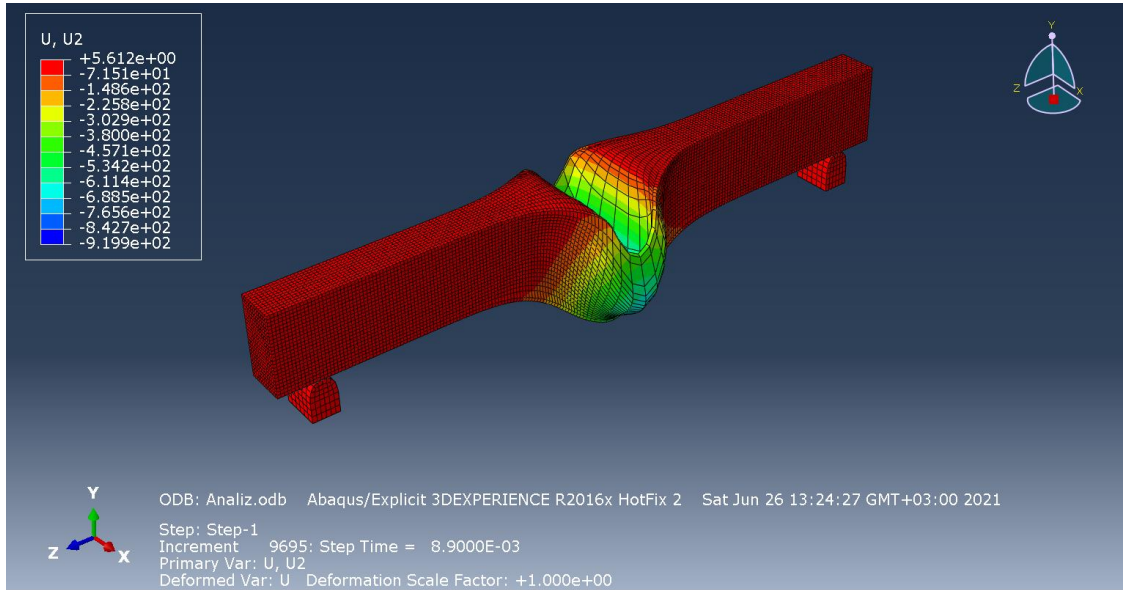
Şekil 5.1 C25 Etriyesiz Kiriş Modeli

Kirişin analizinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.2-7’de verilmiştir.

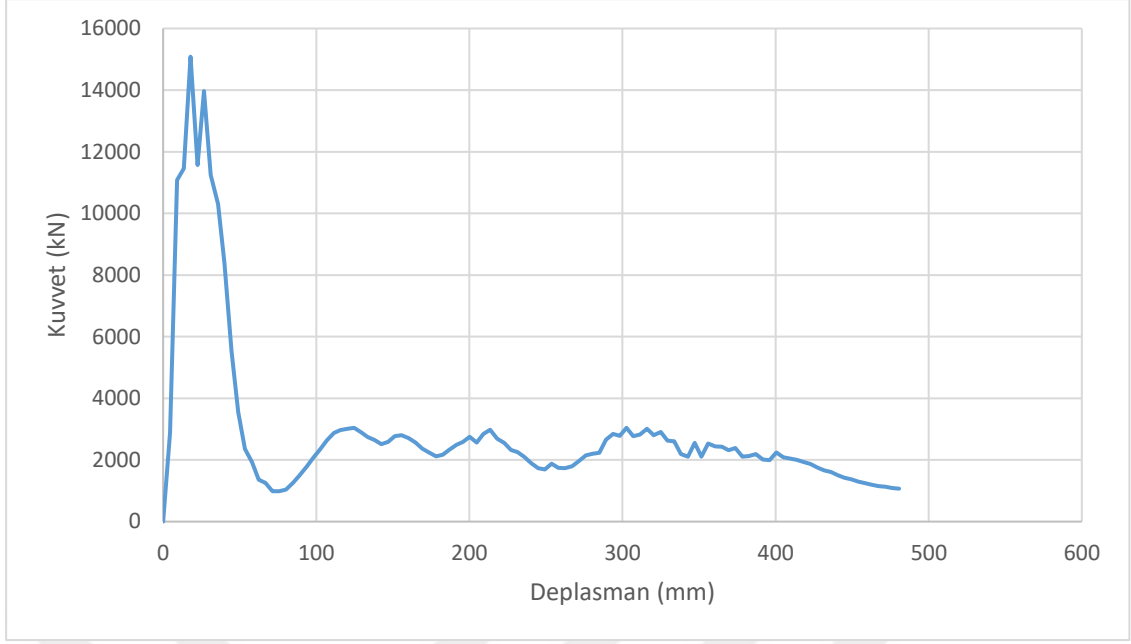


Şekil 5.2 C25 Etriyersiz Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği

C25 etriyesiz kiriş numunesinin alt orta noktasının U2 doğrultusunda yaptığı max. deplasman 479 mm olarak belirlenmiş ve Şekil 5.2’de gösterilmiştir. Şekil 5.3’te ise C25 etriyesiz kirişin darbe yükü altında U2 doğrultusunda deforme olmuş haline yer verilmiştir.

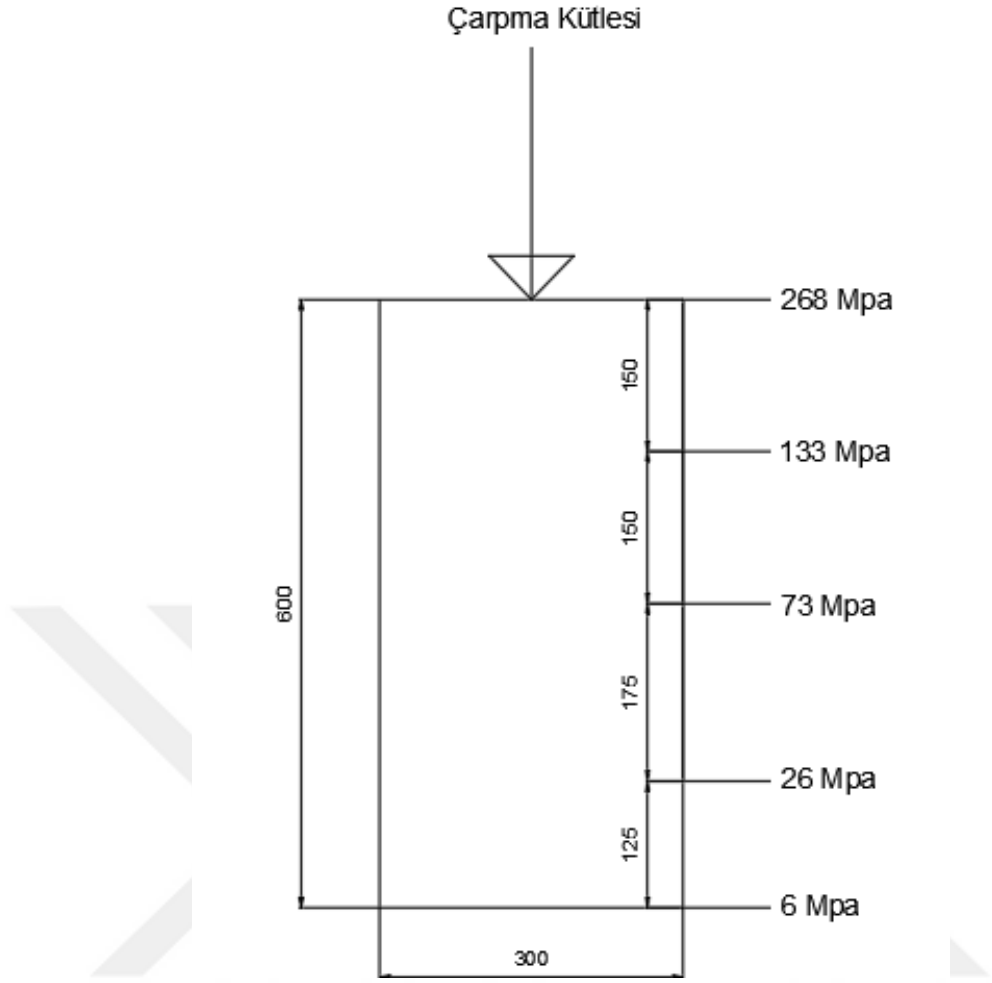


Şekil 5.3 C25 Etriyersiz Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman



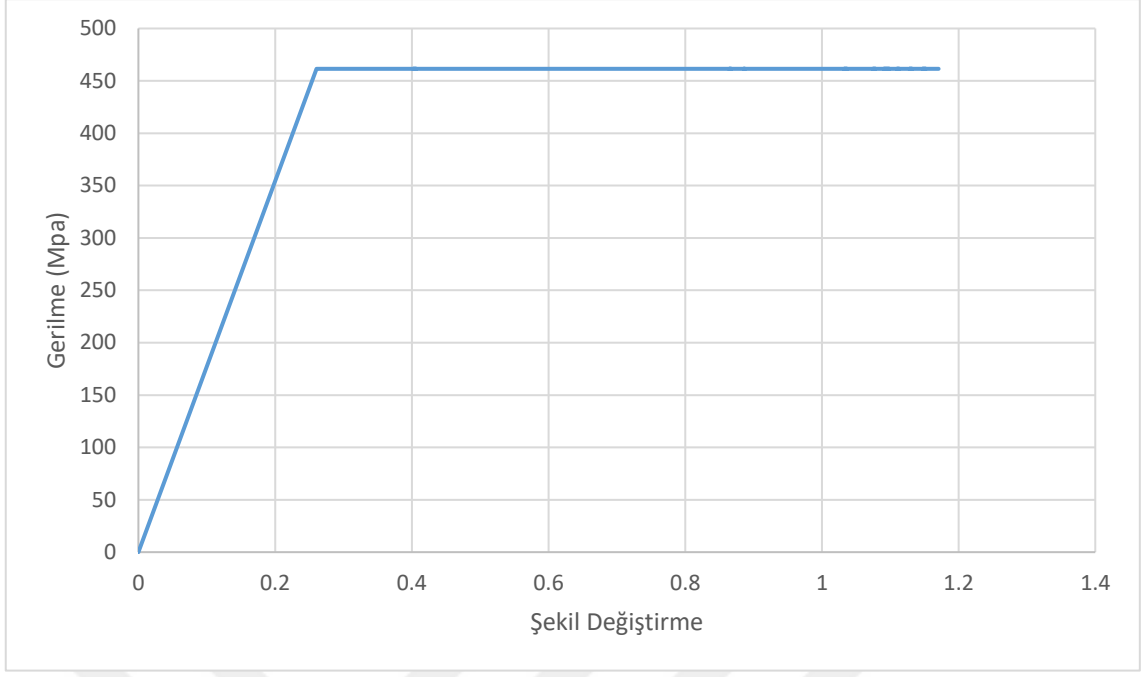
Şekil 5.4 C25 Etriyesiz Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği

Şekil 5.5'te kirişin darbe yüküne maruz kalmasıyla çarpma kütesinin farklı derinliklerde kiriş kesitinde oluşturduğu gerilmeler gözükmemektedir. Kirişin üst yüzeyinden itibaren belirli derinliklerde oluşan gerilmeler not edilmiş ve 475 mm derinliğe kadar C25 beton dayanımını geçtiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak betonda 475 mm derinliğe kadar hasarların oluşarak dökülmelerin ve kırılmaların meydana geldiği çıkarımında bulunulmuştur.

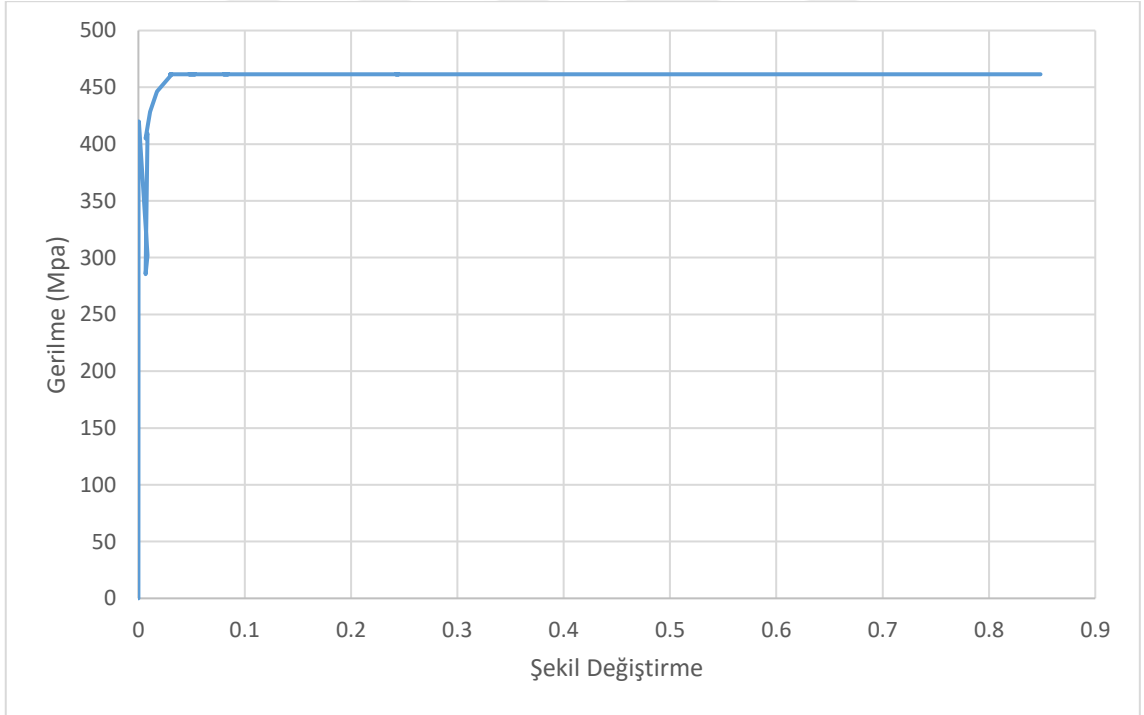


Şekil 5.5 C25 Etriyesiz Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı

Kiriş kesitinde oluşan gerilmelerin yanısıra boyuna basınç ve çekme donatılarında oluşan gerilmeler de incelenmiş ve Şekil 5.6, Şekil 5.7'de gösterilmiştir. Donatılarda, basınç bölgesinde ani bir gerilme artışı ile S420 çeliğinin 461 MPa'da kopmaya uğradığı gözlemlenirken çekme bölgesinde donatıların karakteristik bir davranışla 420 MPa'da akmaya uğradığı ve sonrasında 460 MPa değerine ulaştığı ve koptuğu gözlemlenmiştir.



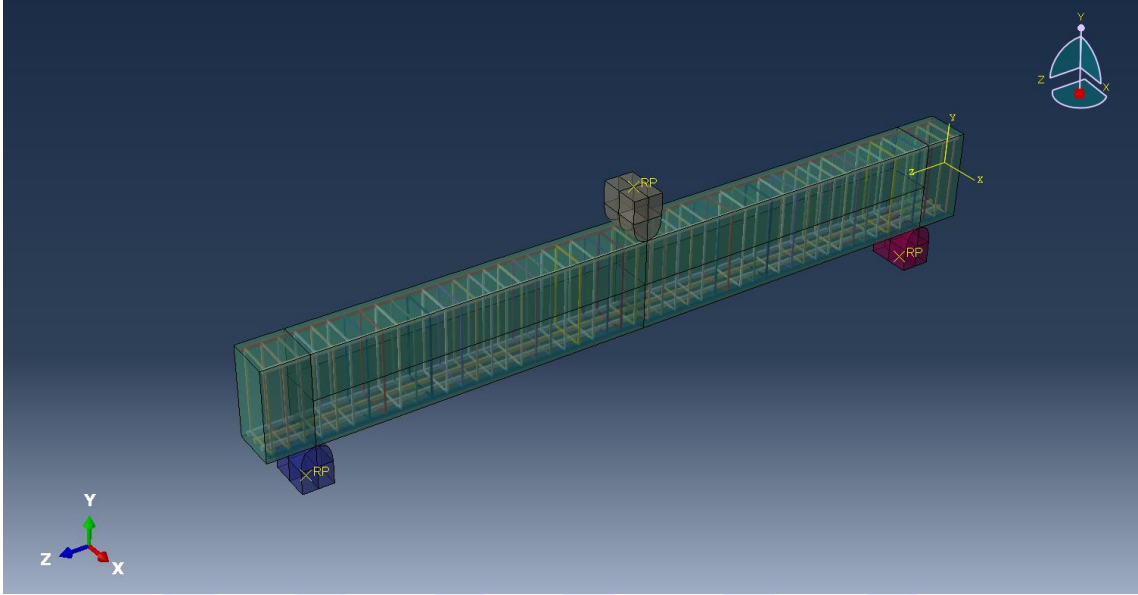
Şekil 5.6 C25 Etriyersiz Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme



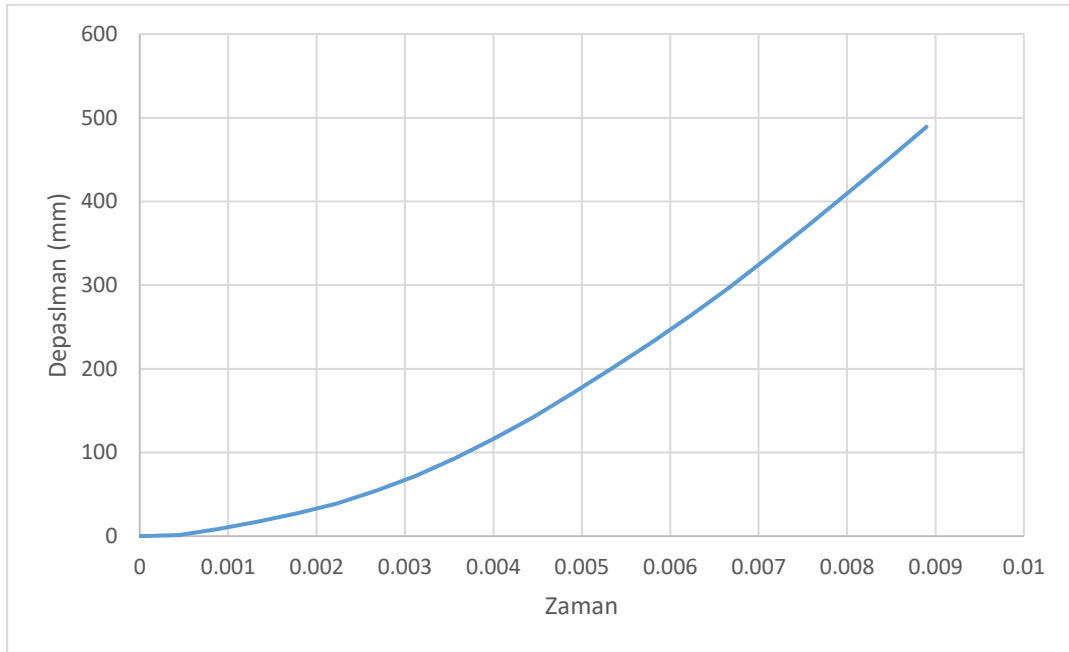
Şekil 5.7 C25 Etriyersiz Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

5.2.2 Kiriş Boyunca 10 cm Etriye Aralığına Sahip Olan Kiriş Numunesinin Y Doğrultusundaki Analizi

Autocad ile tasarlanan Şekil 3.4'teki kiriş numunesi Abaqus programında modellenmiş ve kiriş genişliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Numunenin modellenmiş hali Şekil 5.8'de gösterilmiştir.

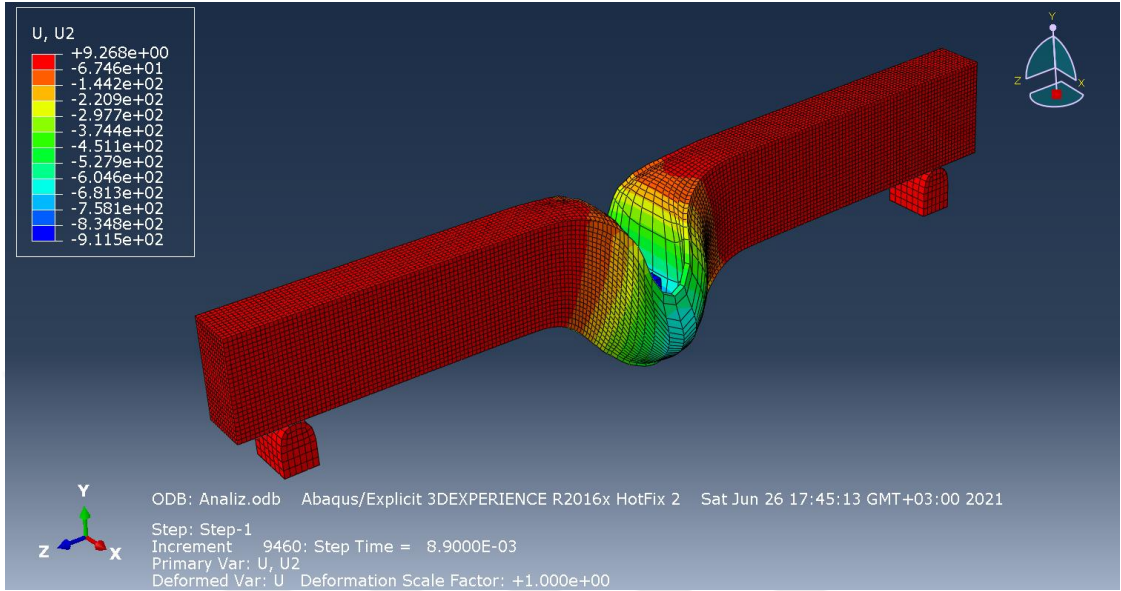


Şekil 5.8 C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli

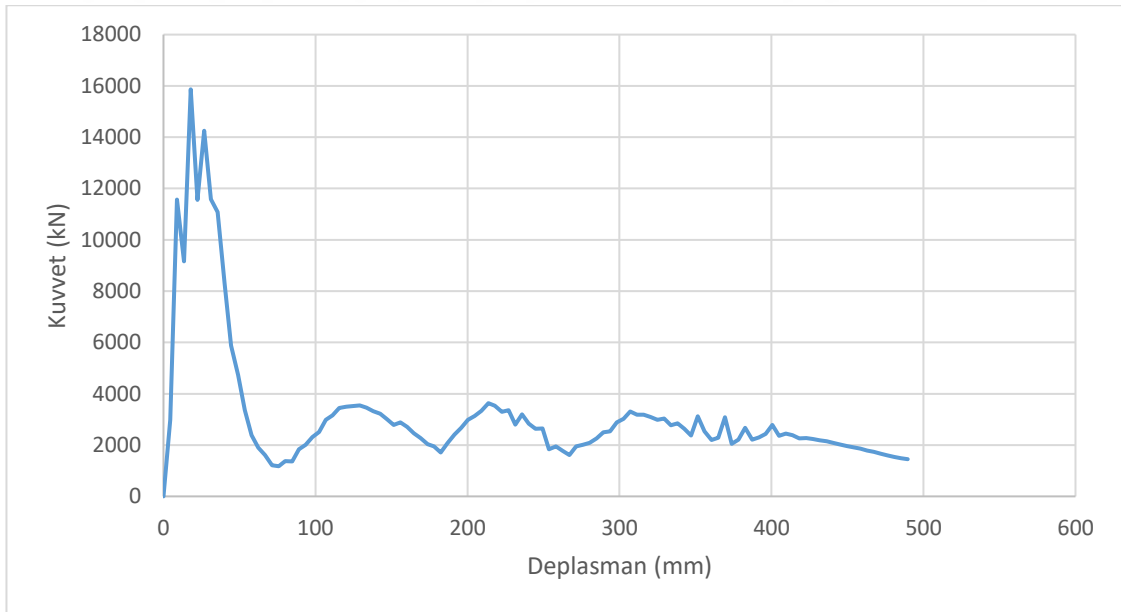


Şekil 5.9 C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Depaslan Grafiği

C25 10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesinin alt orta noktasının U2 doğrultusunda yaptığı max. deplasman 489 mm olarak belirlenmiş ve Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Şekil 5.10'da ise C25 10 cm etriye aralığına sahip olan kirişin darbe yükü altında U2 doğrultusunda deforme olmuş haline yer verilmiştir.

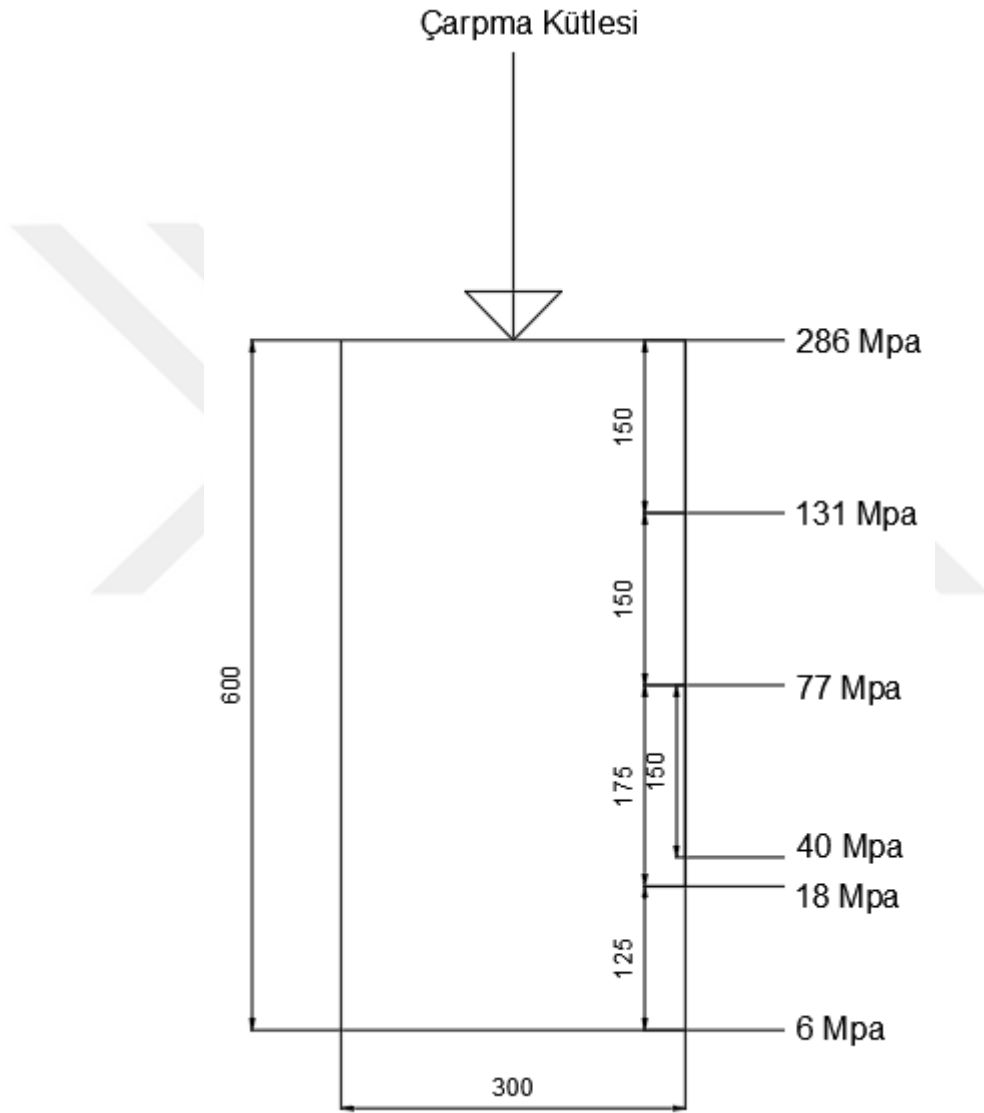


Şekil 5.10 C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman



Şekil 5.11 C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği

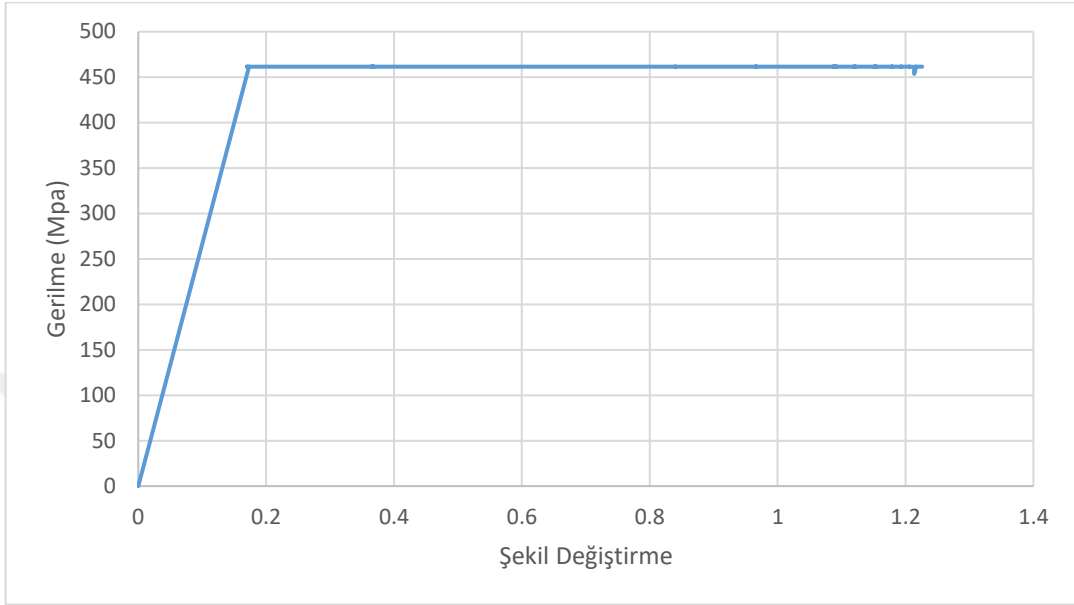
Şekil 5.12'da kirişin darbe yüküne maruz kalmasıyla çarpma kütesinin farklı derinliklerde kiriş kesitinde oluşturduğu gerilmeler gözükmemektedir. Kirişin üst yüzeyinden itibaren belirli derinliklerde oluşan gerilmeler not edilmiş ve yaklaşık 460 mm derinliğe kadar C25 beton dayanımını geçtiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak betonda 460 mm derinliğe kadar hasarların oluşarak dökülmelerin ve kırılmaların meydana geldiği çıkarımında bulunulmuştur.



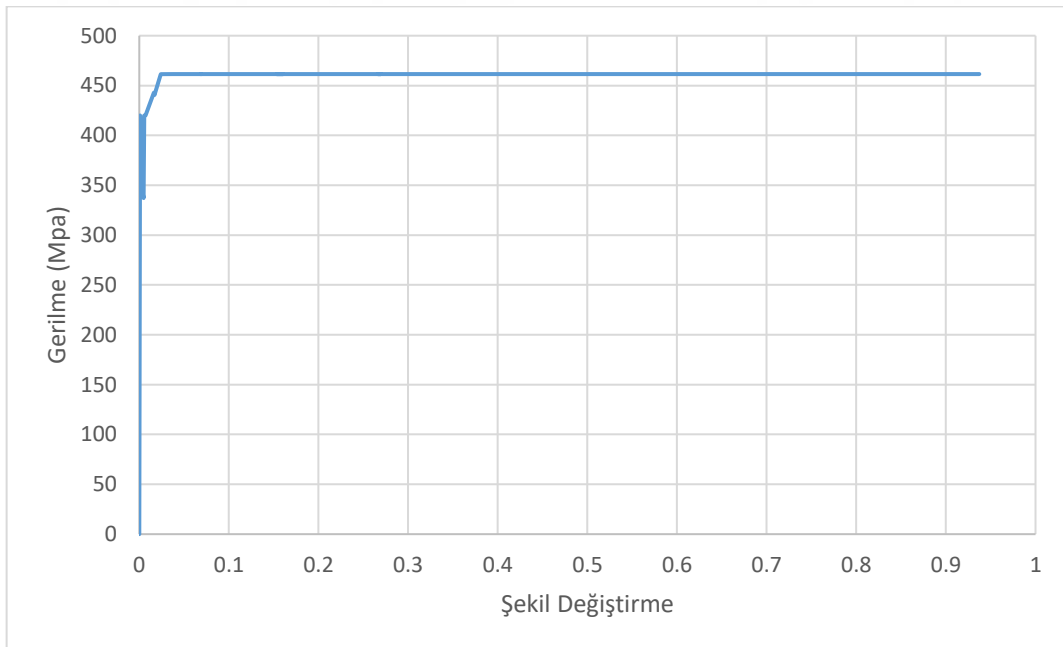
Şekil 5.12 C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı

Kiriş kesitinde oluşan gerilmelerin yanısıra boyuna basınç, çekme donatılarında ve etriyelerde oluşan gerilmeler de incelenmiş ve Şekil 5.13-20'de gösterilmiştir. Şekil

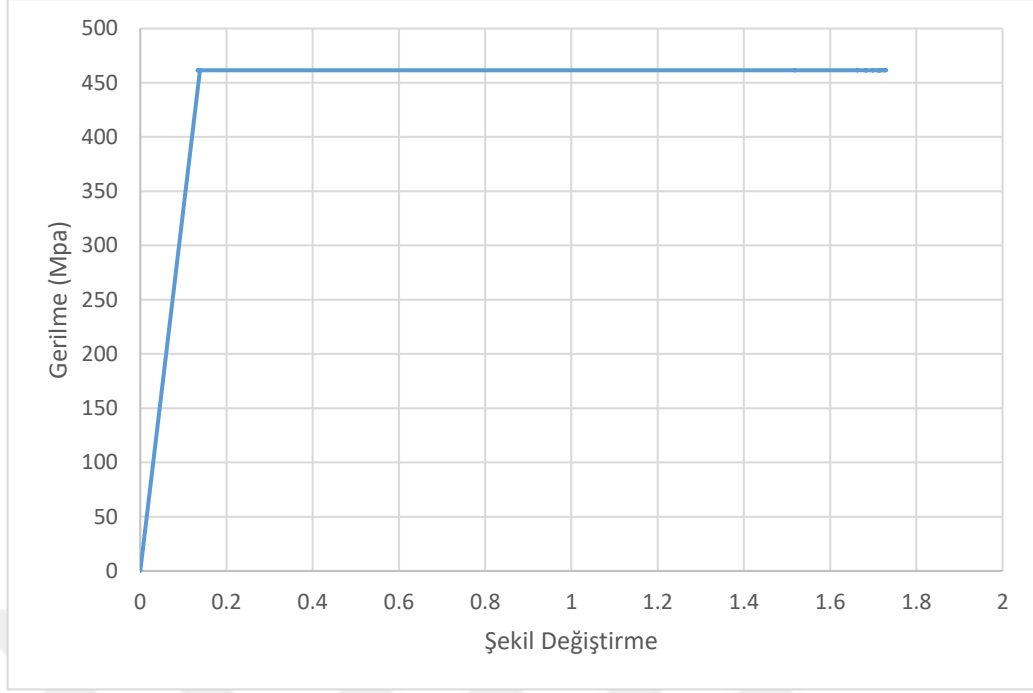
Şekil 5.13'te boyuna donatılarda, basınç bölgesinde ani bir gerilme artışı ile S420 çeliğinin 461 Mpa'da kopmaya uğradığı gözlemlenirken Şekil 5.14'te çekme bölgesinde donatıların karakteristik bir davranışla 420 MPa'da akmaya uğradığı ve sonrasında 460 MPa değerine ulaştığı ve koptuğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.13 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

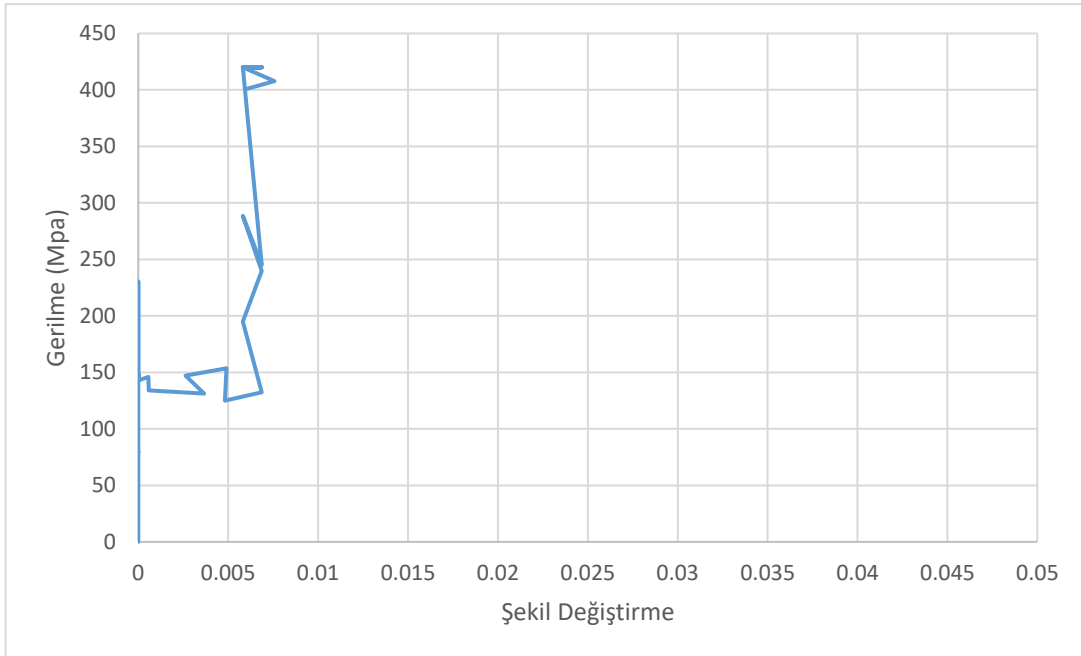


Şekil 5.14 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme



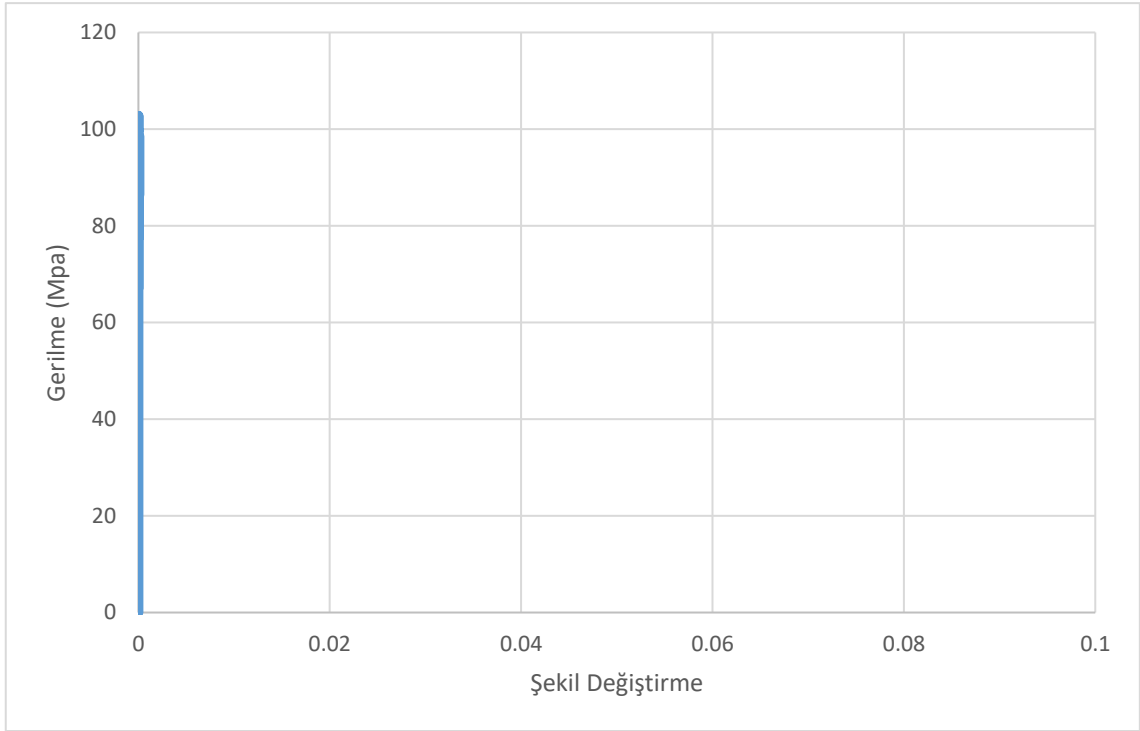
Şekil 5.15 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.15'ten de görüldüğü üzere basınç orta bölgesindeki etrilyeler de boyuna basınç donatılarının gösterdiği davranışı sergilemiş ve ani bir gerilme artışı ile 461 MPa'da kopmaya uğramıştır.



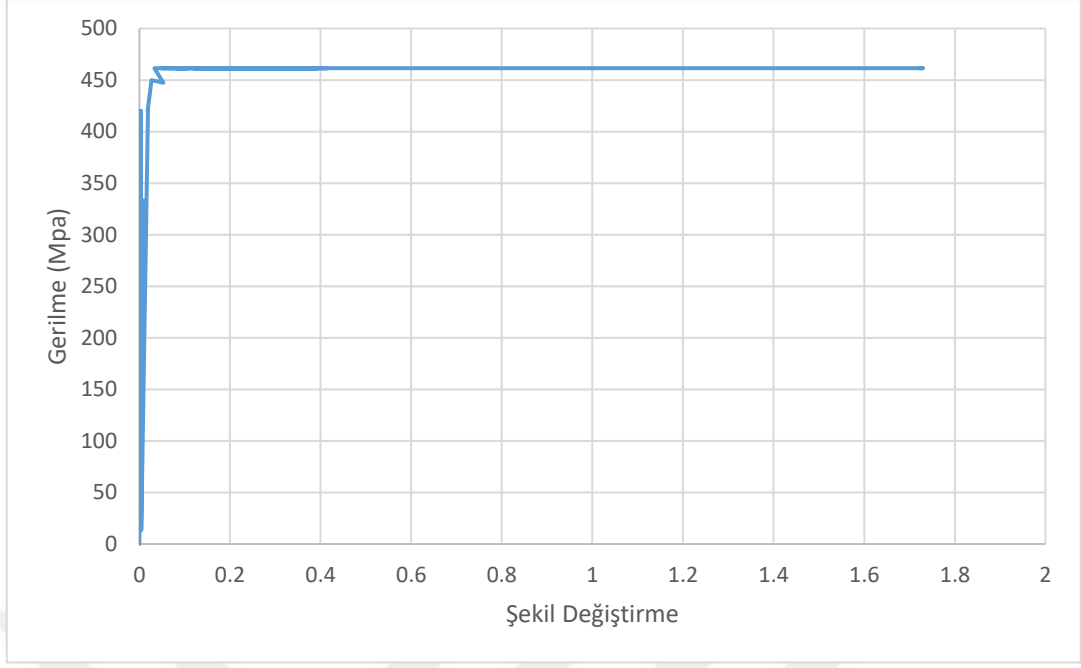
Şekil 5.16 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

C25 beton dayanımına ve 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, Y doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.16'da gösterildiği gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 55 cm'lik mesafe boyunca etriyelerin basınç bölgesinde 420 MPa'da akma dayanımına ulaştıkları, 55 cm'lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 65 cm mesafedeki etriyenin basınç bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.17'de verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 65 cm mesafede etriyelerin basınç bölgesinde oluşan max. gerilme 105 MPa olarak not edilmiştir.



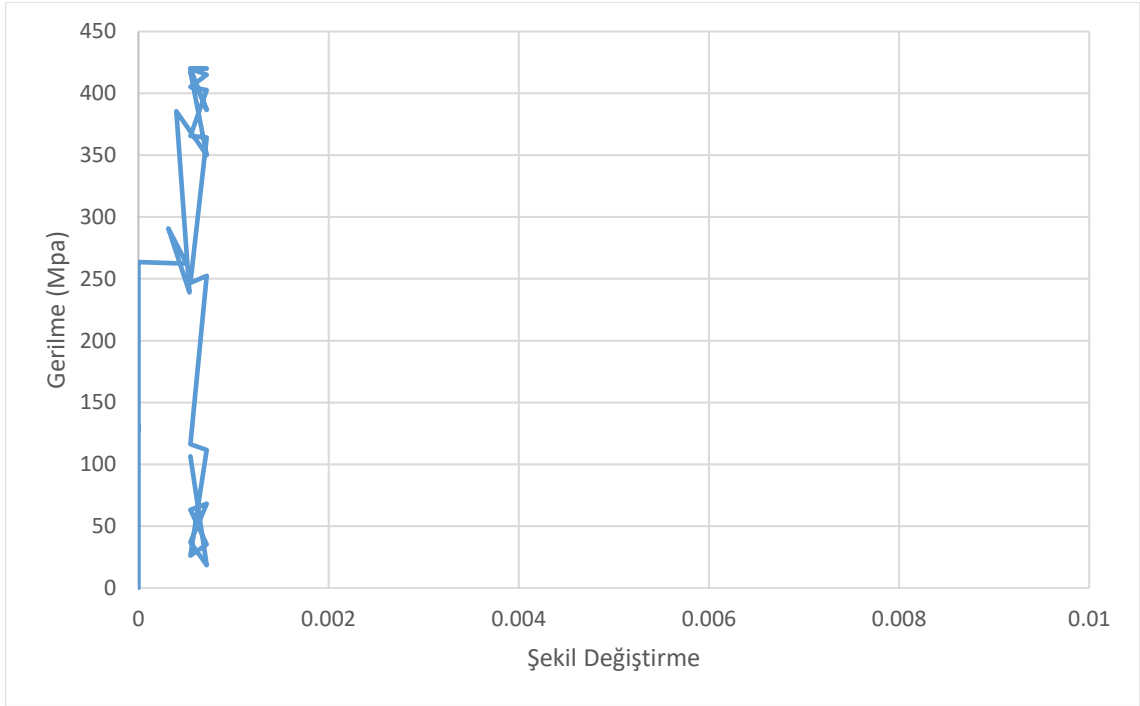
Şekil 5.17 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 65 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme

Etriyelerin basınç bölgesinde oluşan gerilmelerin yanısıra çekme bölgesinde oluşan gerilmeler de incelenerek not edilmiş ve Şekil 5.18'de gösterilmiştir.



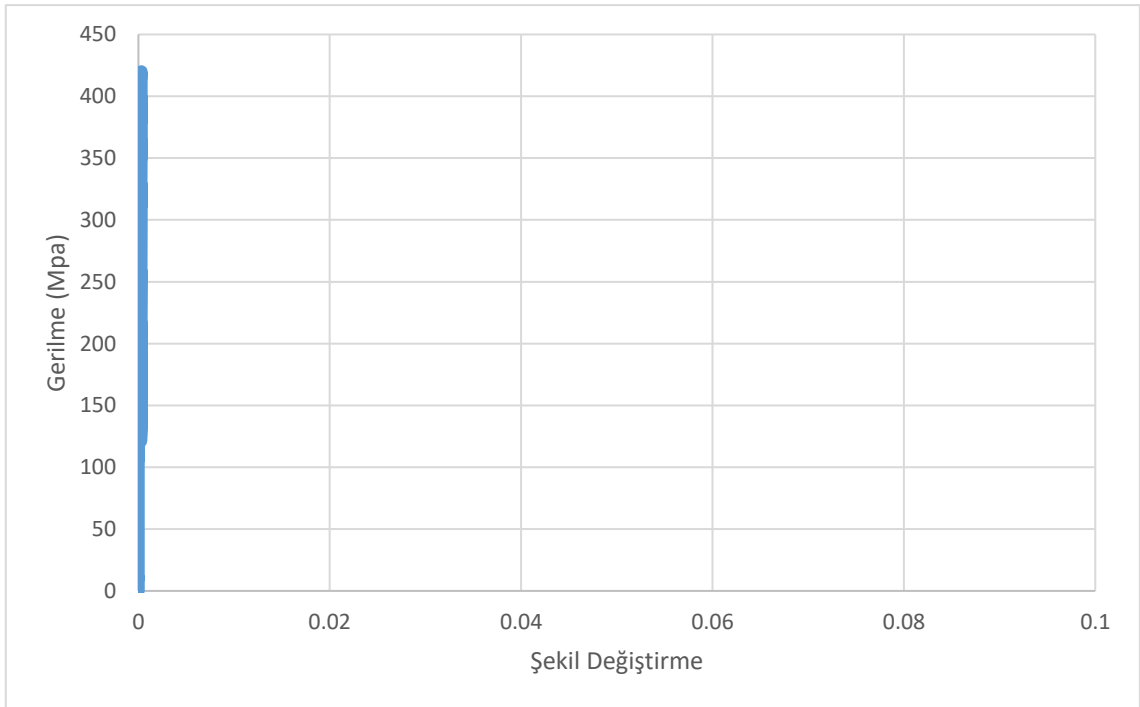
Şekil 5.18 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.18'den de görüldüğü üzere çekme orta bölgesindeki etriyeler 420 MPa'da akma dayanımına ulaşmış ve ani bir gerilme artışı ile 461 MPa'da kopmaya uğramıştır.



Şekil 5.19 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 45 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

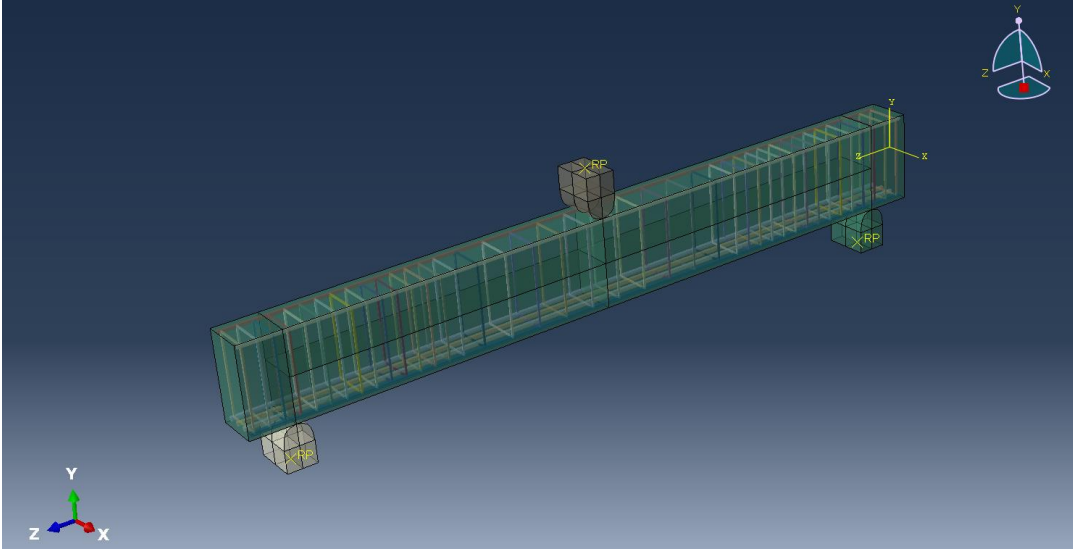
C25 beton dayanımına ve 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, Y doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.19’da gösterildiği gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 45 cm’lik mesafe boyunca etriyelerin çekme bölgesinde 420 MPa’da akma dayanımına ulaştıkları, 45 cm’lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 55 cm mesafedeki etriyenin çekme bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.20’de verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 55 cm mesafede etriyelerin çekme bölgesinde oluşan max. gerilme 411 MPa olarak not edilmiştir.



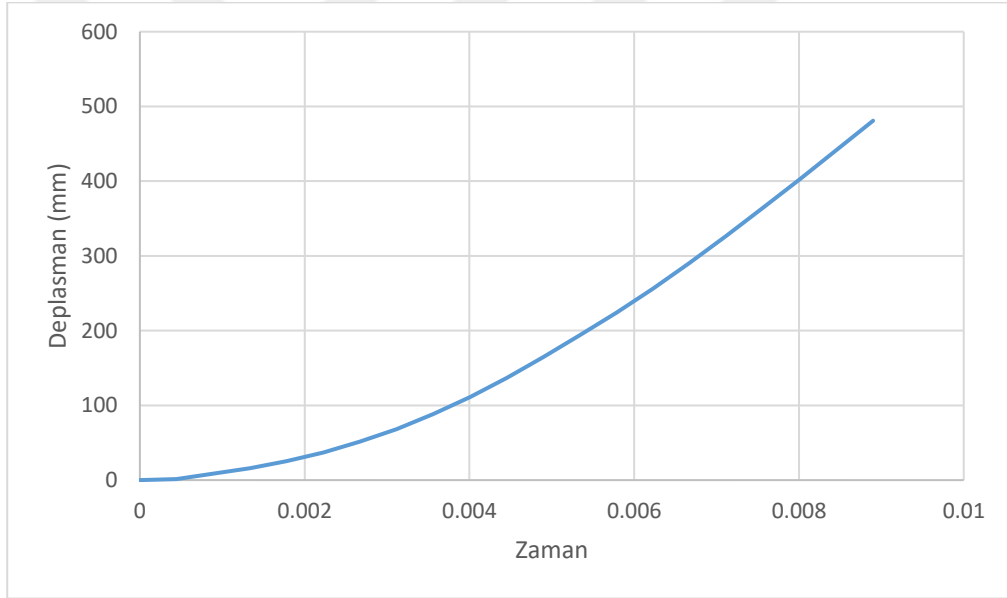
Şekil 5.20 C25 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

5.2.3 Sıklaştırma Bölgesi 10 cm, Orta Bölgesi 20 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Numunesinin Y Doğrultusundaki Analiz

Autocad ile tasarlanan Şekil 3.5’teki kiriş numunesi Abaqus programında modellenmiş ve kiriş genişliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Numunenin modellenmiş hali Şekil 5.21’de gösterilmiştir.

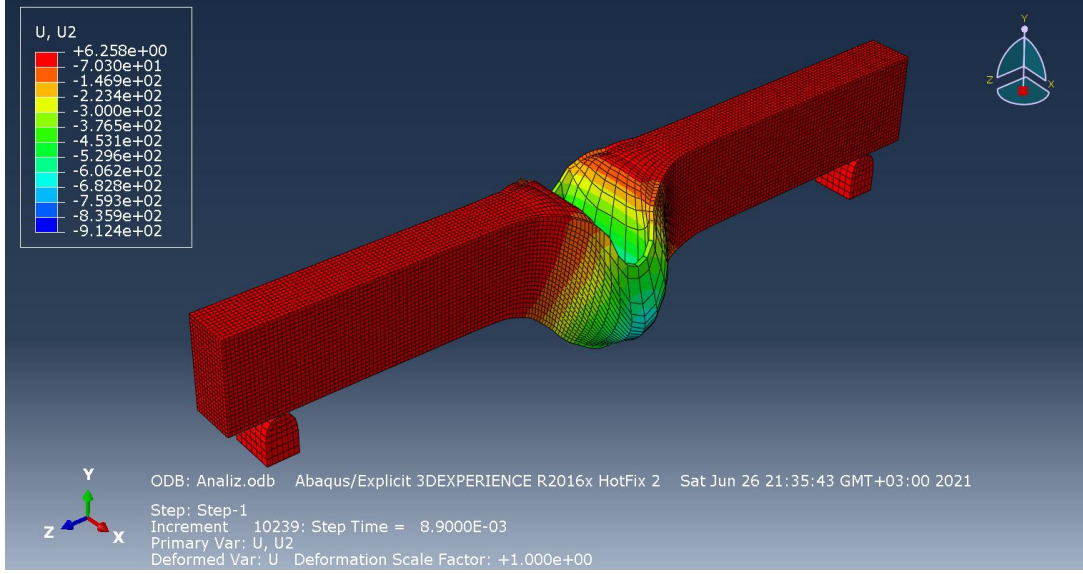


Şekil 5.21 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli

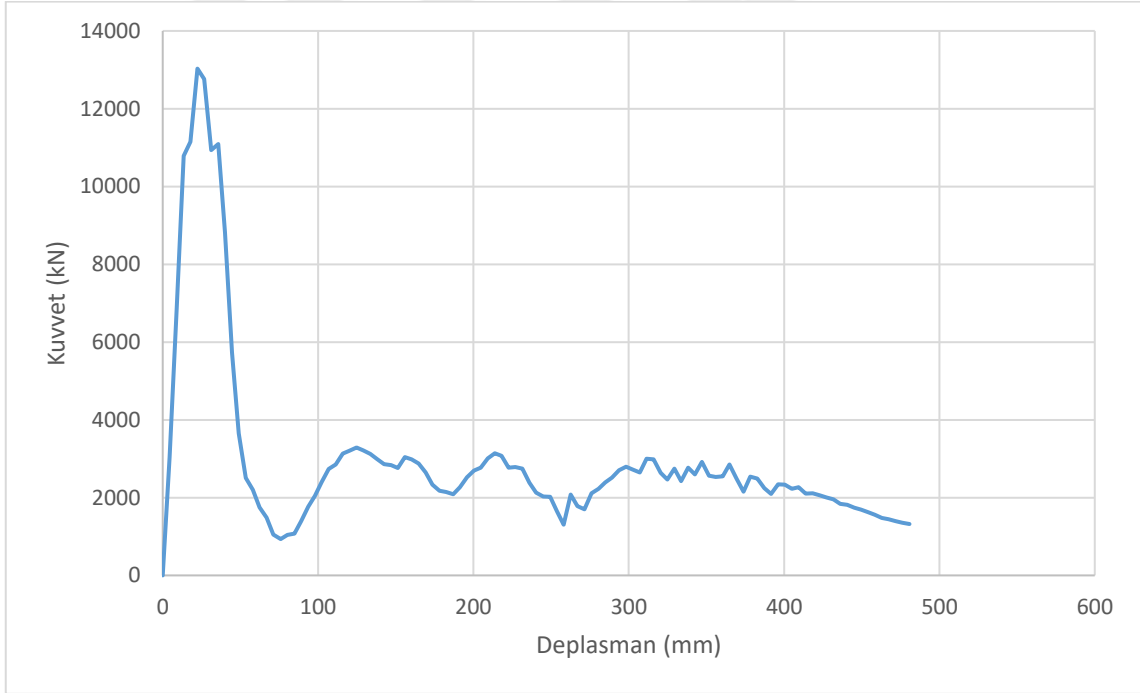


Şekil 5.22 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği

C25 orta bölgede 20 cm, sıklaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesinin alt orta noktasının U2 doğrultusunda yaptığı max. deplasman 480 mm olarak belirlenmiş ve Şekil 5.22'de gösterilmiştir. Şekil 5.23'de ise C25 orta bölgede 20 cm, sıklaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip olan kirişin darbe yükü altında U2 doğrultusunda deforme olmuş haline yer verilmiştir.



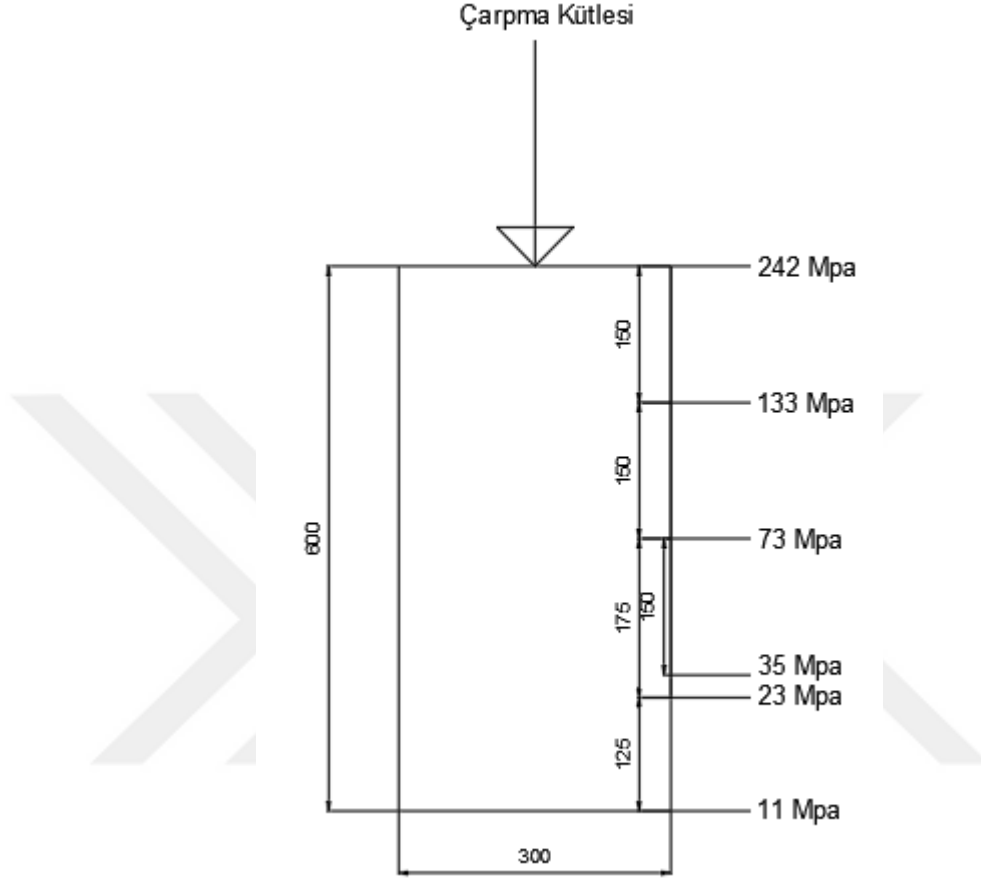
Şekil 5.23 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman



Şekil 5.24 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği

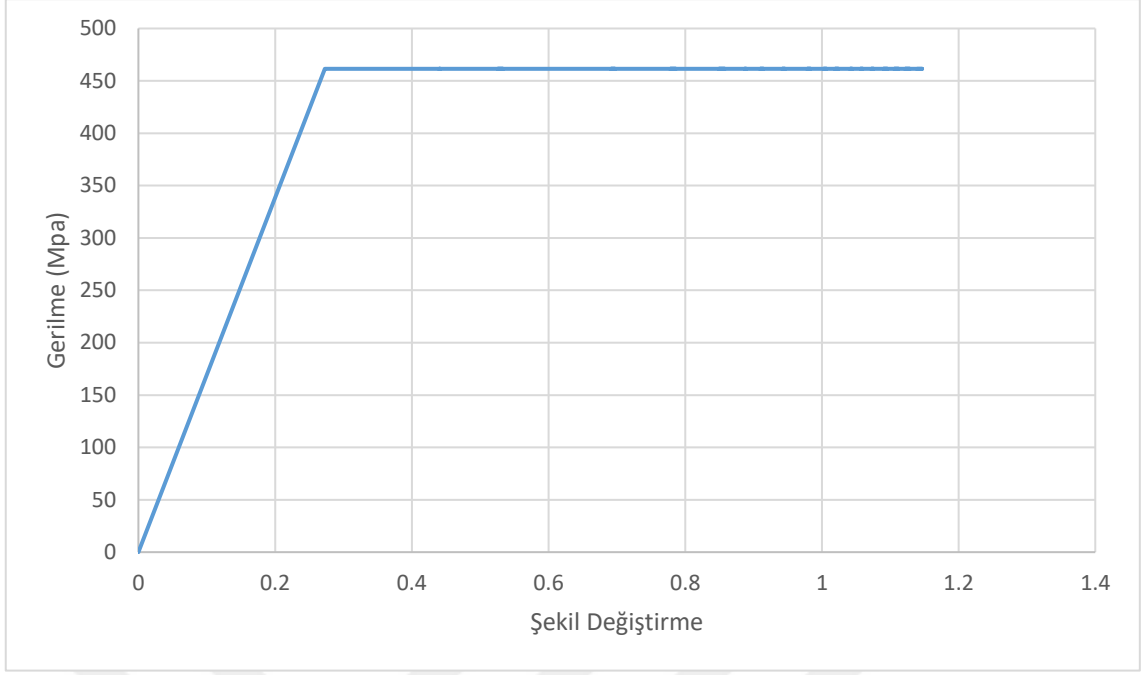
Şekil 5.25'te kirişin darbe yüküne maruz kalmasıyla çarpma kütlelerinin farklı derinliklerde kiriş kesitinde oluşturduğu gerilmeler gözükmemektedir. Kirişin üst yüzeyinden itibaren belirli derinliklerde oluşan gerilmeler not edilmiş ve yaklaşık

470 mm derinliğe kadar C25 beton dayanımını geçtiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak betonda 470 mm derinliğe kadar hasarların oluşarak dökülmelerin ve kırılmaların meydana geldiği çıkarımında bulunulmuştur.

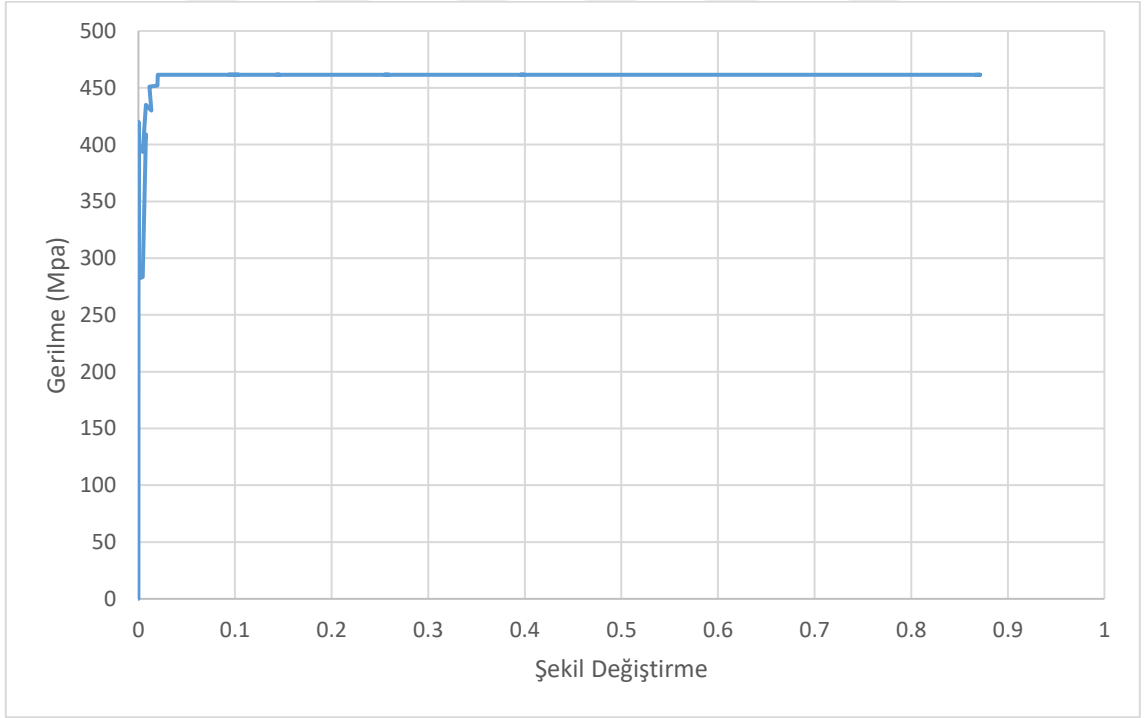


Şekil 5.25 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı

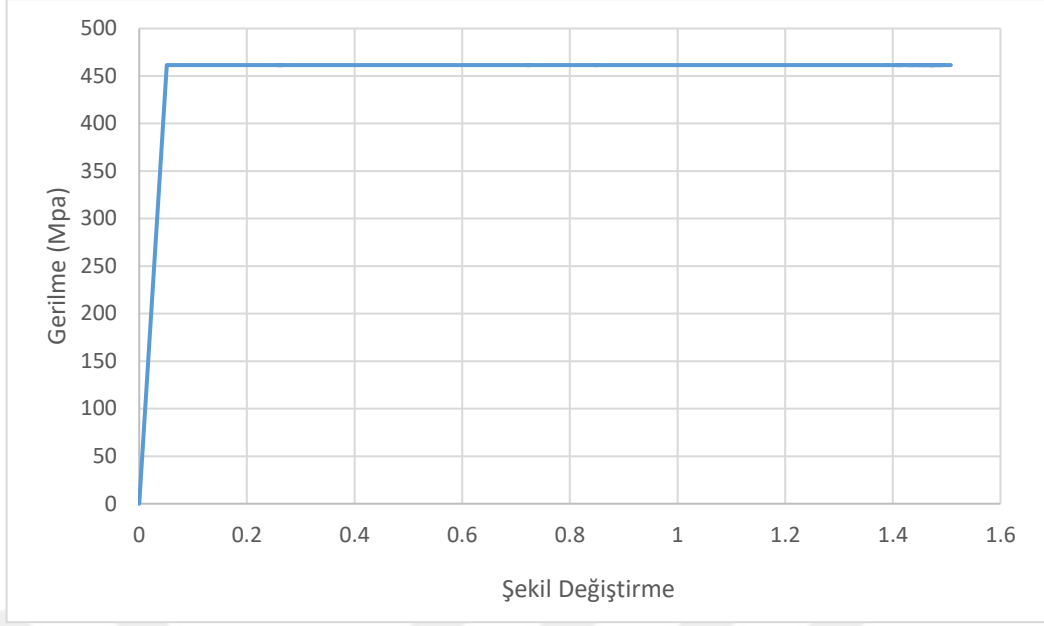
Kiriş kesitinde oluşan gerilmelerin yanısıra boyuna basınç, çekme donatılarında ve etriyelerde oluşan gerilmeler de incelenmiş ve Şekil 5.26-33'te gösterilmiştir. Şekil 5.26 'da boyuna donatılarda, basınç bölgesinde ani bir gerilme artışı ile S420 çeliğinin 461 MPa'da kopmaya uğradığı gözlemlenirken, Şekil 5.27'de çekme bölgesinde donatıların karakteristik bir davranışla 420 MPa'da akmaya uğradığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.26 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

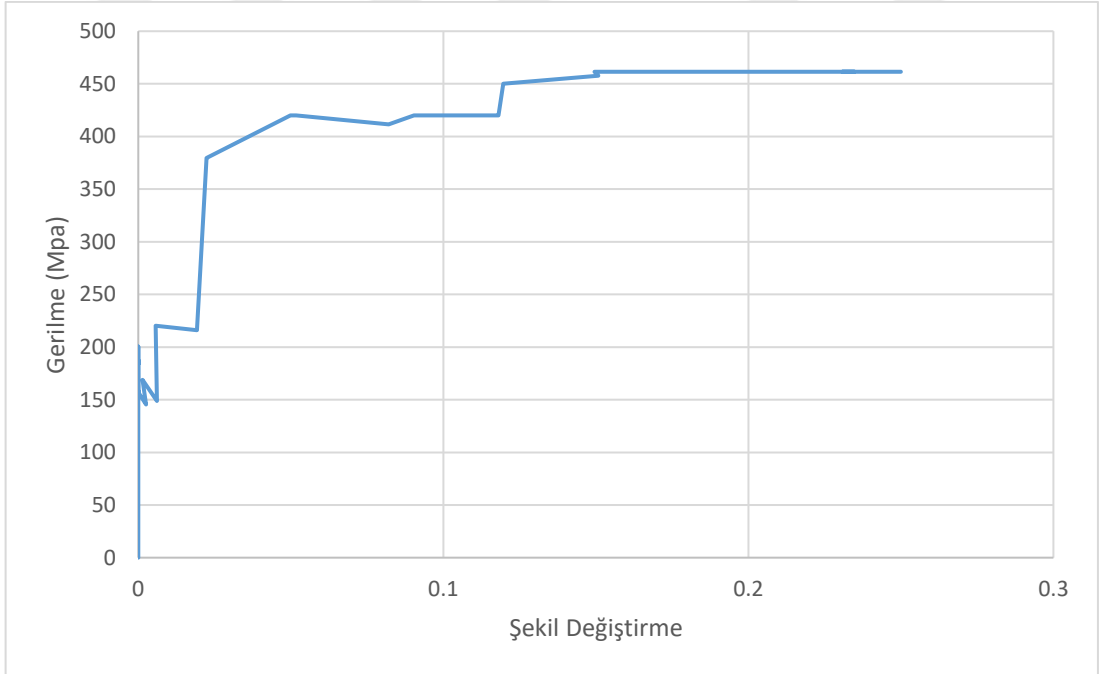


Şekil 5.27 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme



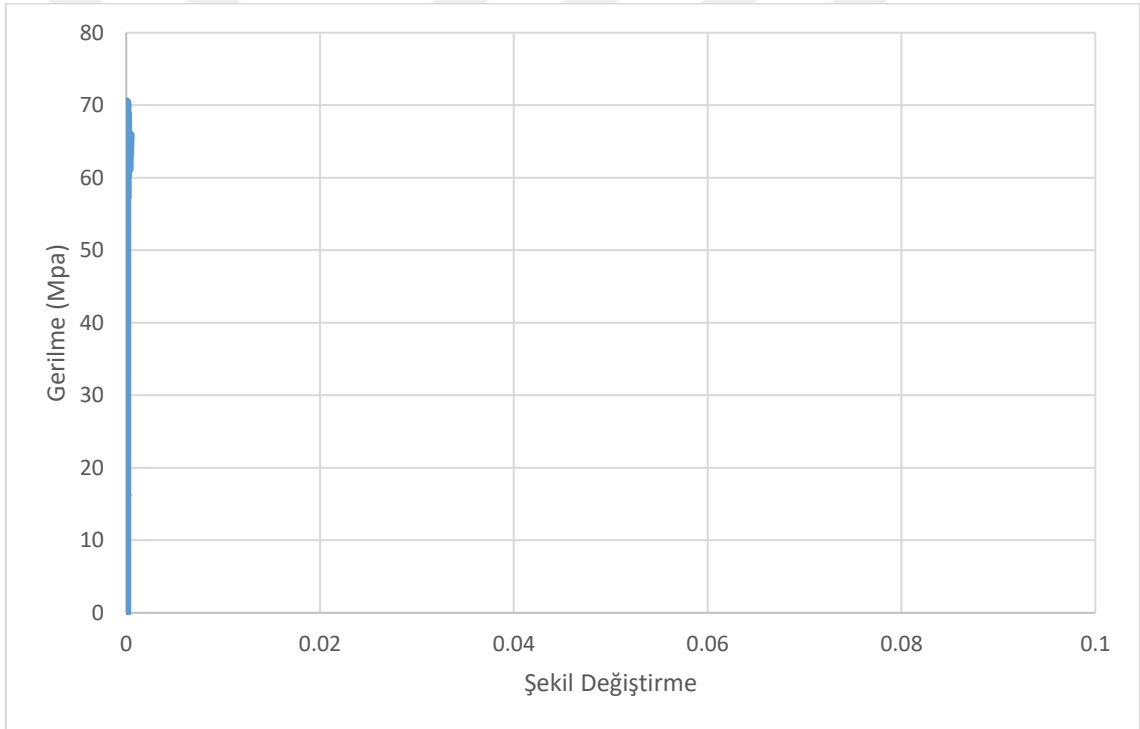
Şekil 5.28 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.28'ten de görüldüğü üzere basınç orta bölgesindeki etriyeler de boyuna basınç donatılarının gösterdiği davranışı sergilemiş ve ani bir gerilme artışı ile 461 MPa'da kopmaya uğramıştır.



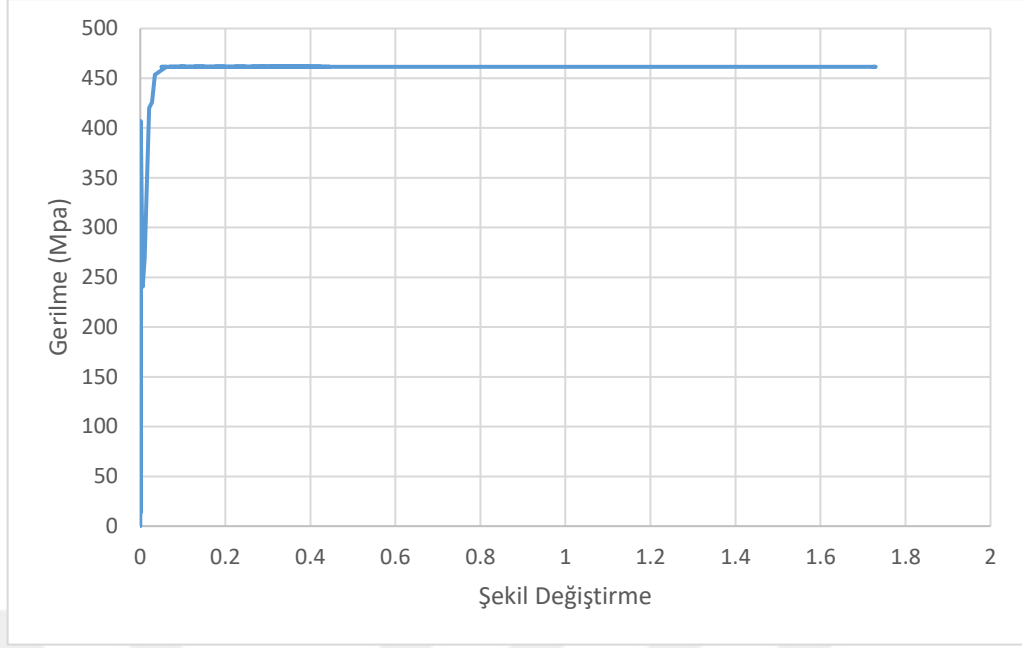
Şekil 5.29 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

C25 beton dayanımına ve orta bölgelerde 20 cm, sıklaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, Y doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.29'da görüldüğü gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 50 cm'lik mesafe boyunca etriyelerin basınç bölgesinde 420 Mpa'da akma dayanımına ulaştıkları, 50 cm'lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 70 cm mesafedeki etriyenin basınç bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.30'da verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 70 cm mesafede etriyelerin basınç bölgesinde oluşan max. gerilme 70 Mpa olarak not edilmiştir.



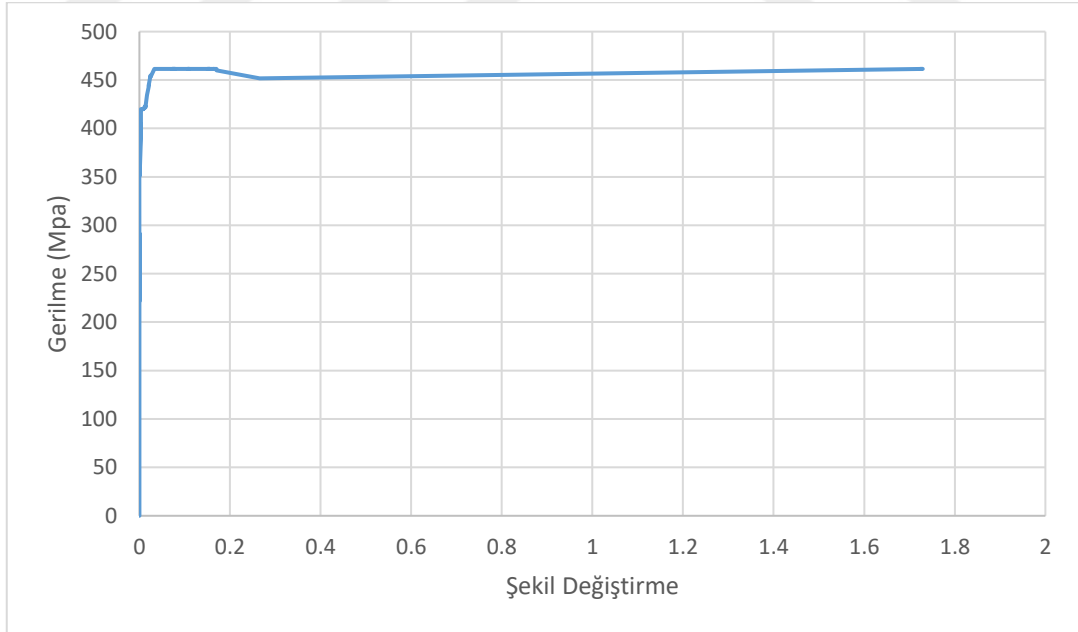
Şekil 5.30 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 70 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme

Etriyelerin basınç bölgesinde oluşan gerilmelerin yanısıra çekme bölgesinde oluşan gerilmeler de incelenerek not edilmiş ve Şekil 5.31'de gösterilmiştir.



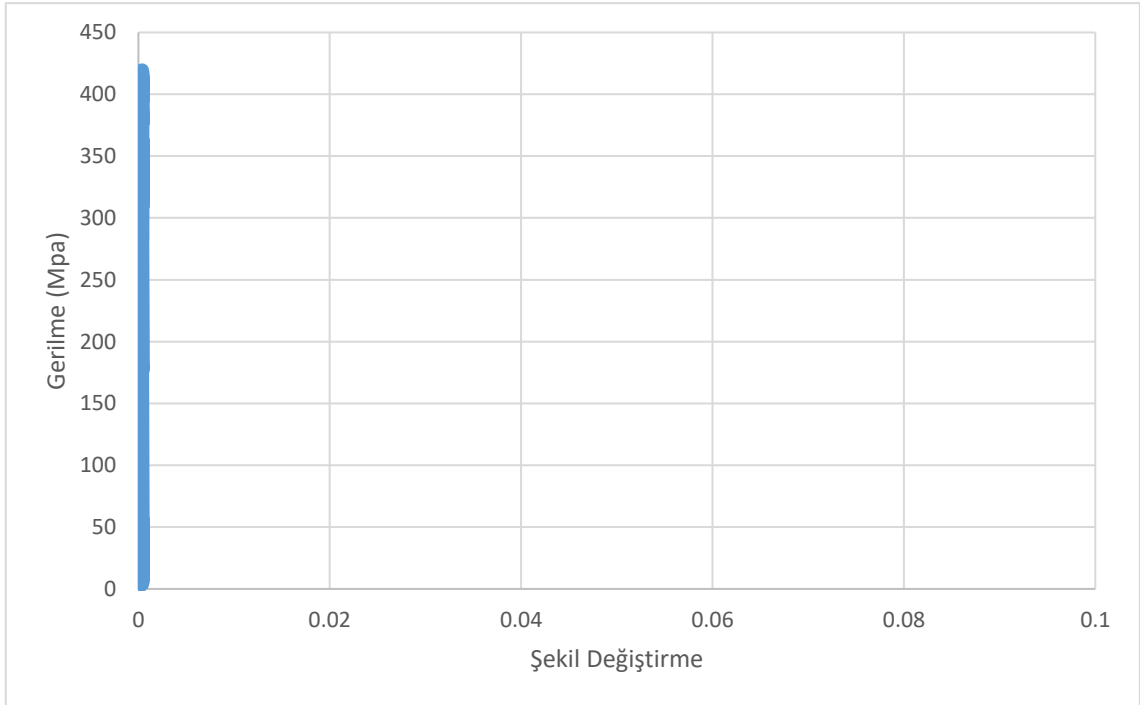
Şekil 5.31 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.31'den de görüldüğü üzere çekme orta bölgesindeki etriyeler 420 MPa'da akma davranışı sergilemiş ve ani bir gerilme artışı ile 461 MPa'da kopmaya uğramıştır.



Şekil 5.32 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 30 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

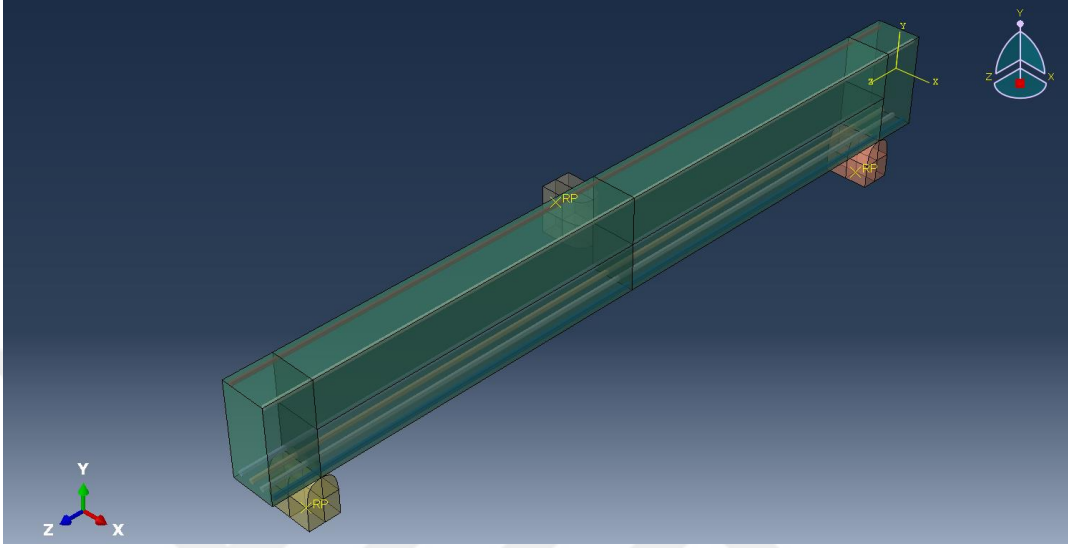
C25 beton dayanımına ve orta bölgelerde 20 cm, sıklaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, Y doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.32'den görüldüğü gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 30 cm'lik mesafe boyunca etriyelerin çekme bölgesinde 420 MPa'da akma dayanımına ulaştıkları, 30 cm'lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 50 cm mesafedeki etriyenin çekme bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.33'te verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 50 cm mesafedeki max. gerilme 419 MPa olarak not edilmiştir.



Şekil 5.33 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme

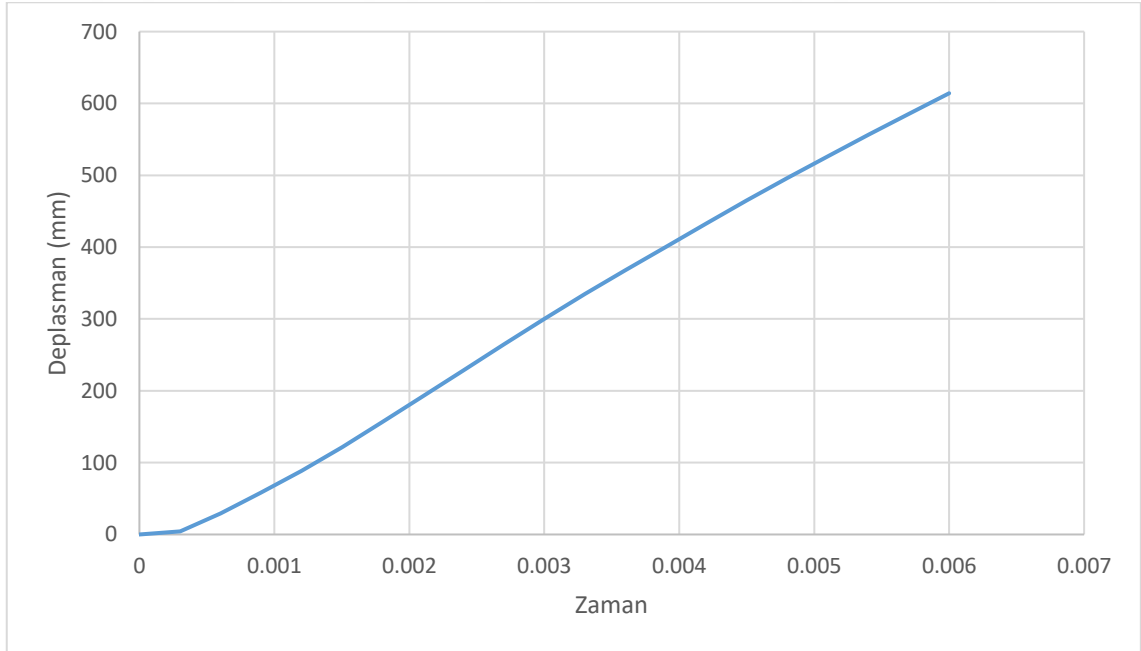
5.2.4 Etriyesiz Kiriş Numunesinin X Doğrultusundaki Analizi

Autocad ile tasarlanan Şekil 3.3'teki kiriş numunesi Abaqus programında modellenmiş ve kiriş yüksekliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Numunenin modellenmiş hali Şekil 5.34'te gösterilmiştir.



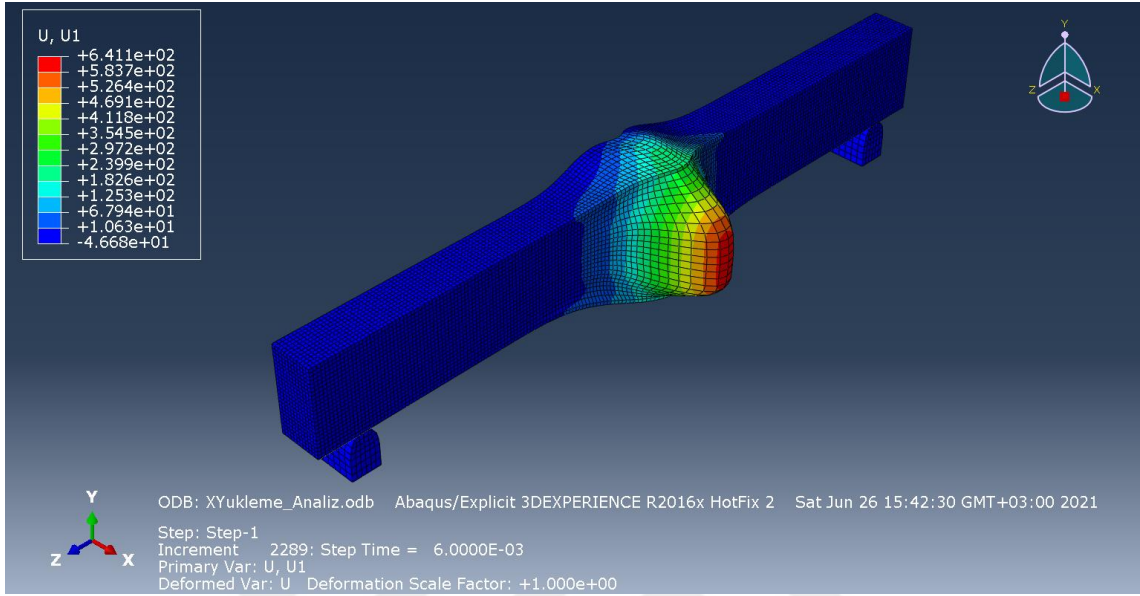
Şekil 5.34 C25 Etriyesiz Kiriş Modeli

Kirişin analizinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.35-40'da verilmiştir.

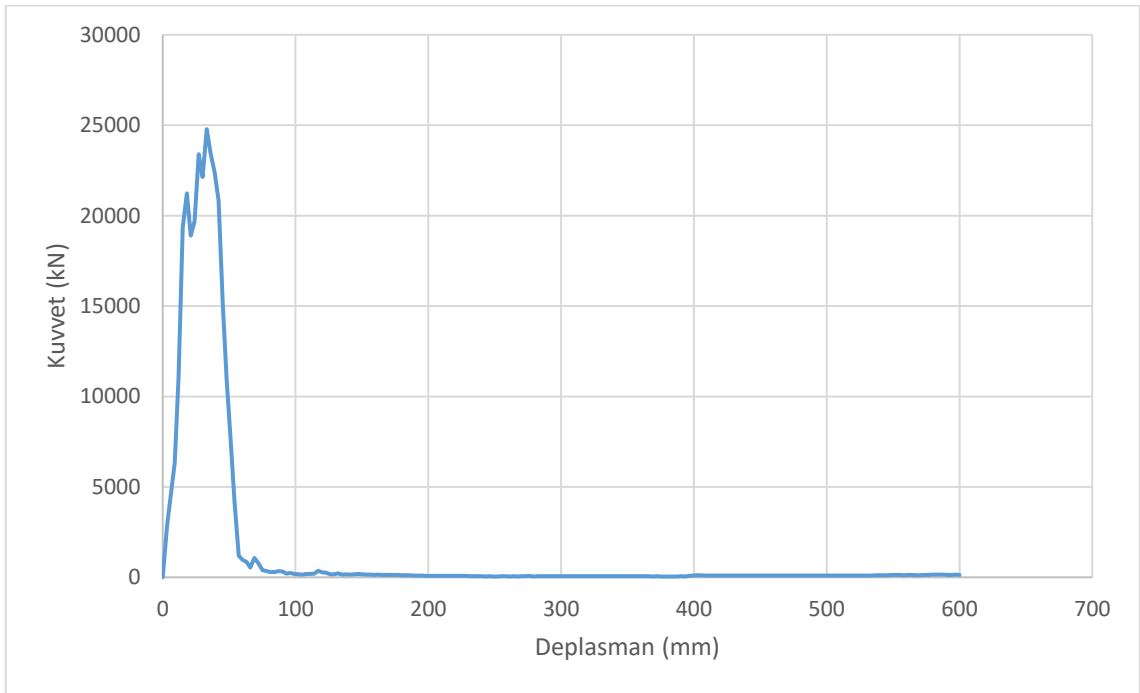


Şekil 5.35 C25 Etriyesiz Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği

C25 etriyesiz kiriş numunesinin yüksekliğinin orta noktasının U1 doğrultusunda yaptığı max. deplasman 614 mm olarak belirlenmiş ve Şekil 5.35'te gösterilmiştir. Şekil 5.36'da ise C25 etriyesiz kirişin darbe yükü altında U1 doğrultusundaki deforme olmuş haline yer verilmiştir.

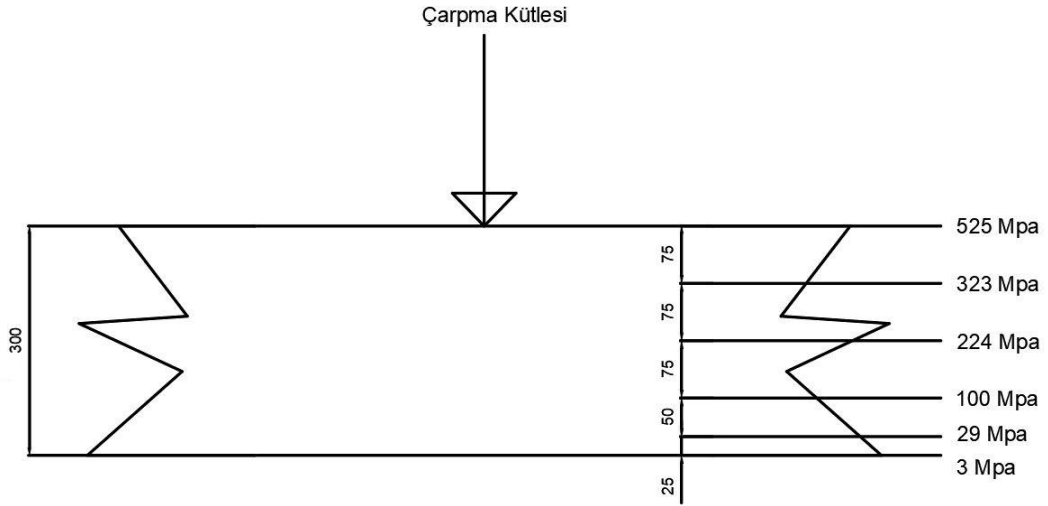


Şekil 5.36 C25 Etriyasız Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman



Şekil 5.37 C25 Etriyasız Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği

Şekil 5.38’de kirişin darbe yüküne maruz kalmasıyla çarpma kütesinin farklı derinliklerde kiriş kesitinde oluşturduğu gerilmeler gözükmemektedir. Kirişte yükün etki ettiği yüzeyden itibaren belirli derinliklerde oluşan gerilmeler not edilmiş ve 275 mm derinliğe kadar C25 beton dayanımını geçtiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak betonda 275 mm derinliğe kadar hasarların oluşarak dökülmelerin ve kırılmaların meydana geldiği çıkarımında bulunulmuştur.

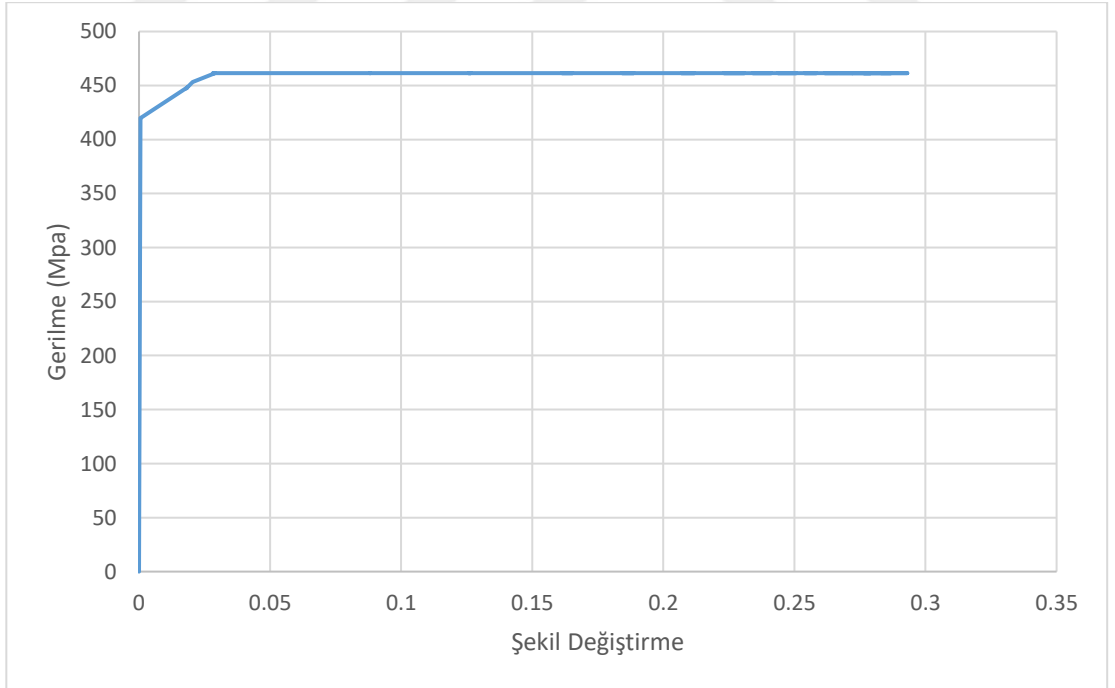


Şekil 5.38 C25 Etriyesiz Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı

Kiriş kesitinde oluşan gerilmelerin yanısıra boyuna basınç ve çekme donatılarında oluşan gerilmeler de incelenmiş ve Şekil 5.39, Şekil 5.40'ta gösterilmiştir. Donatılarda, basınç bölgesinde donatının 450 Mpa'da akmaya uğradığı gözlemlenirken çekme bölgesinde donatıların sürekli artış göstererek max. 461 MPa'a ulaştığı gözlemlenmiştir. Bunun yanında hem basınç hem de çekme bölgesinde donatıların 461 MPa'da kopmaya uğradığı gözlemlenmiştir.



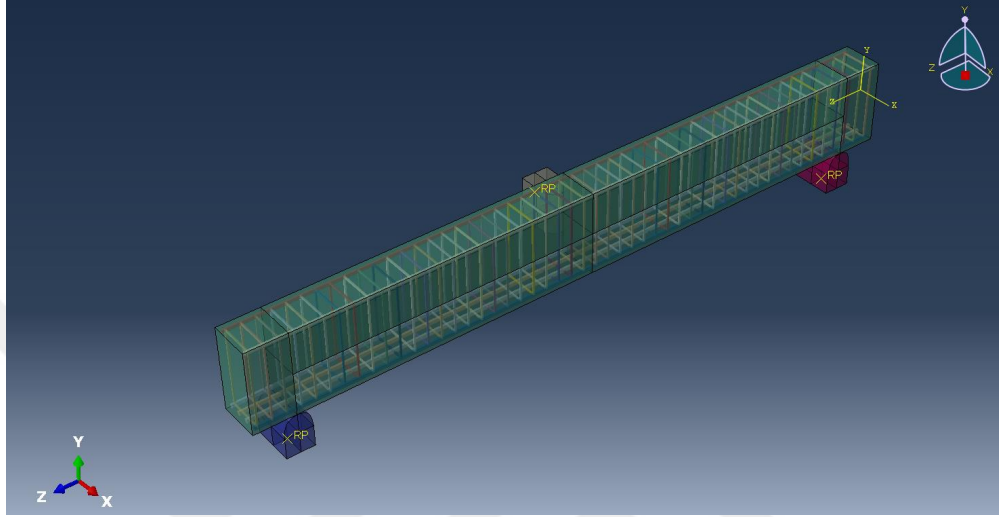
Şekil 5.39 C25 Etriyesiz Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme



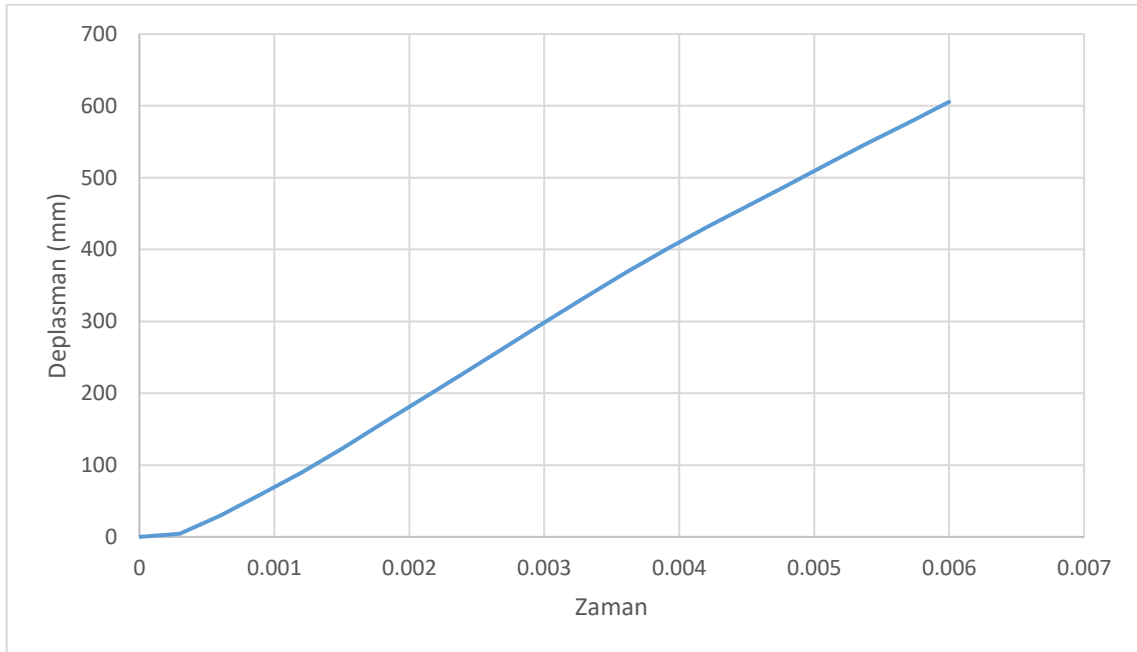
Şekil 5.40 C25 Etriyesiz Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

5.2.5 Kiriş Boyunca 10 cm Etriye Aralığına Sahip Olan Kiriş Numunesinin X Doğrultusundaki Analizi

Autocad ile tasarlanan Şekil 3.4'teki kiriş numunesi Abaqus programında modellenmiş ve kiriş yüksekliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Numunenin modellenmiş hali Şekil 5.41'de gösterilmiştir.

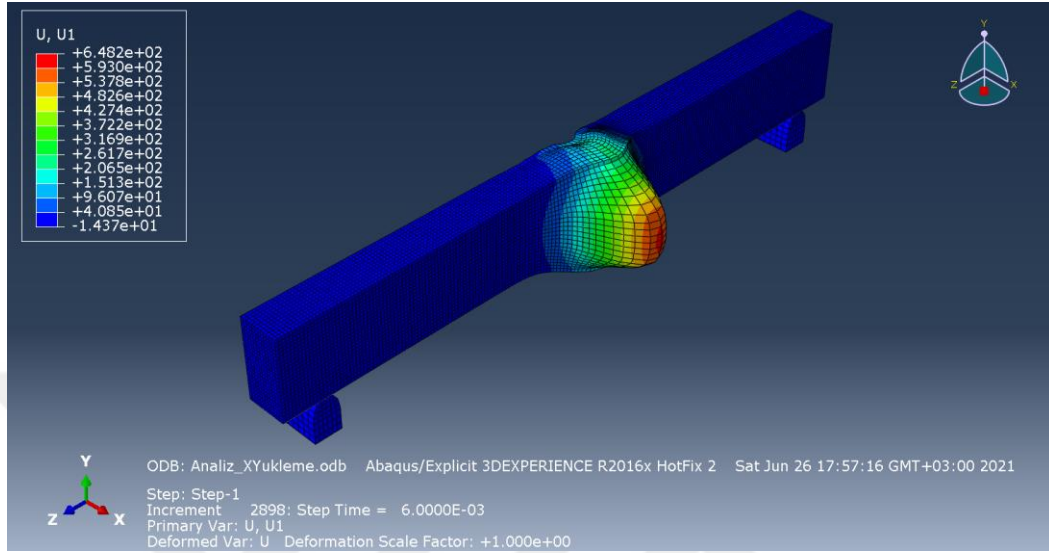


Şekil 5.41 C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli

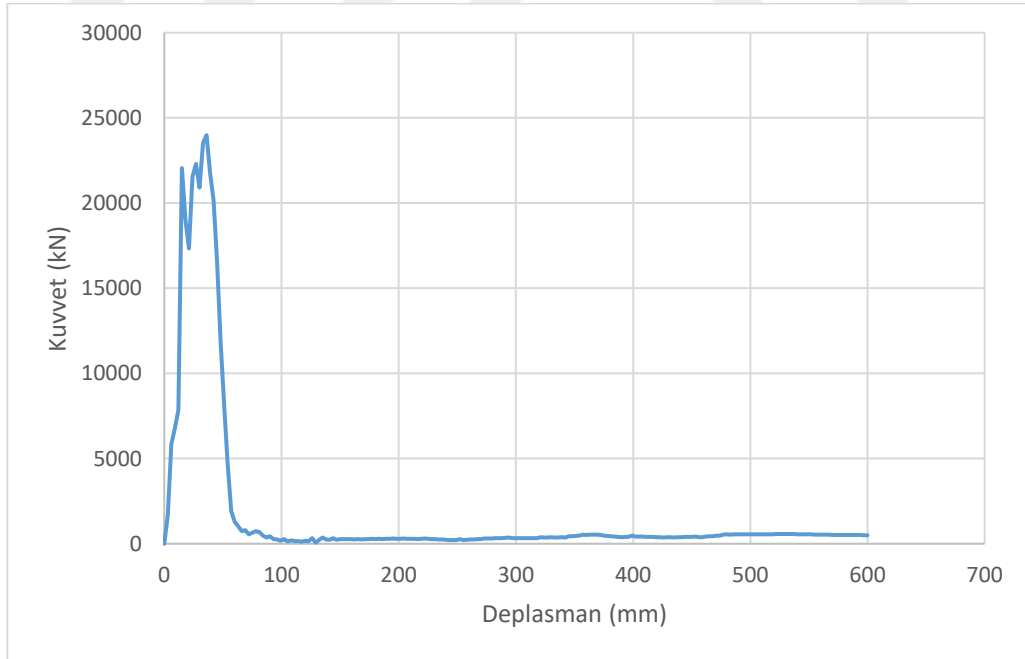


Şekil 5.42 C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği

C25 10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesinin yüksekliğinin orta noktasının U1 doğrultusunda yaptığı max. deplasman 605 mm olarak belirlenmiş ve Şekil 5.42’de gösterilmiştir. Şekil 5.43’te ise C25 10 cm etriye aralığına sahip olan kirişin darbe yükü altında U1 doğrultusunda deforme olmuş haline yer verilmiştir.

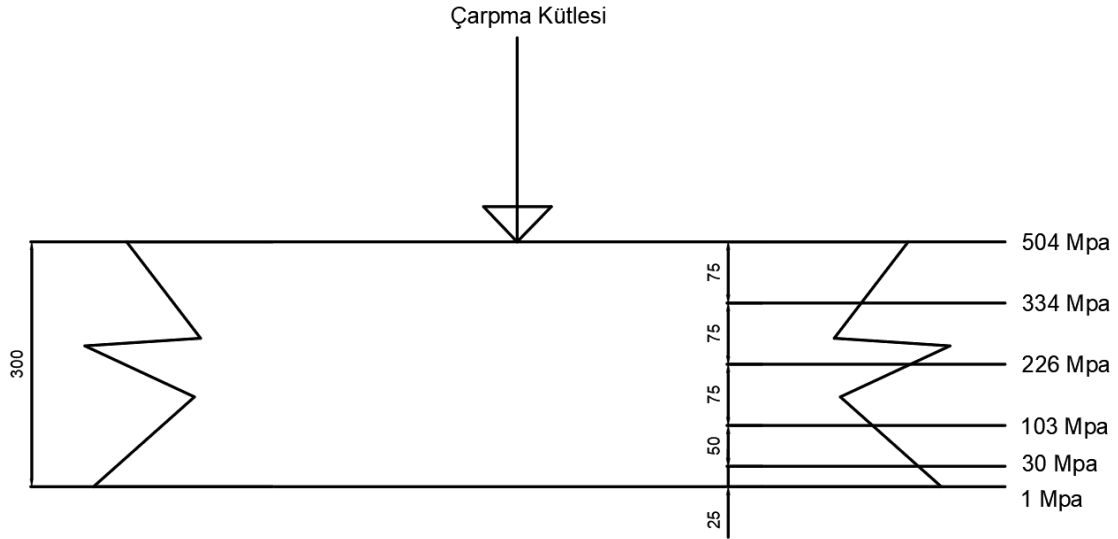


Şekil 5.43 C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman



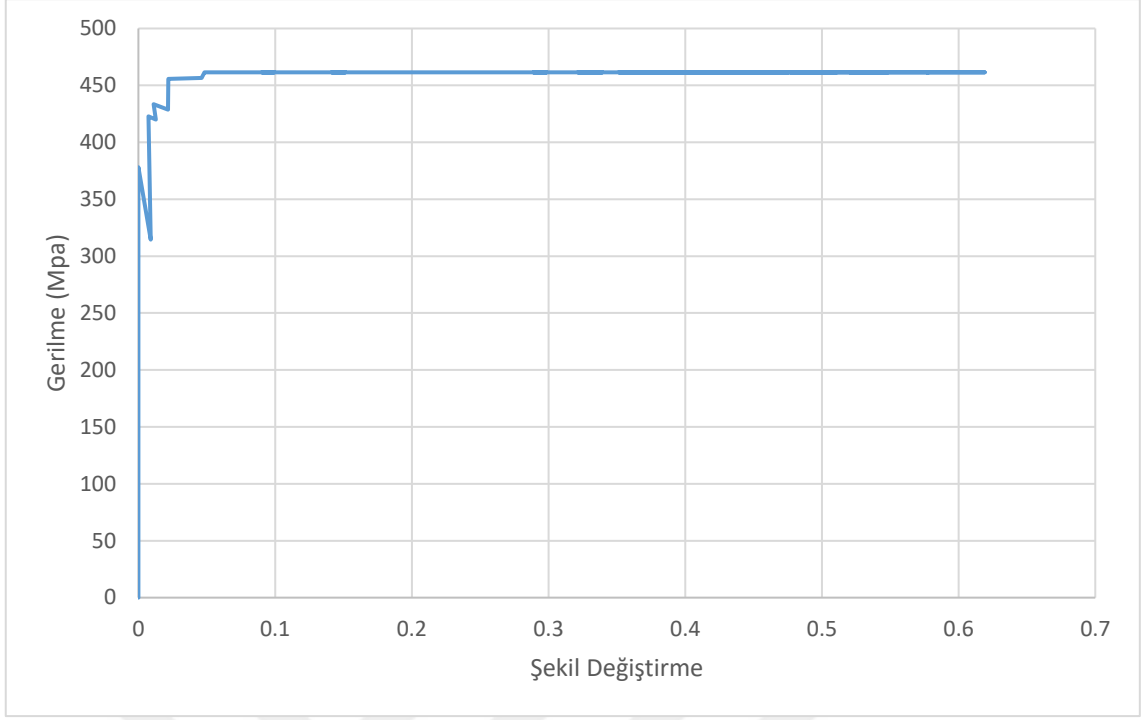
Şekil 5.44 C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği

Şekil 5.45'te kirişin darbe yüküne maruz kalmasıyla çarpma kütlelerinin farklı derinliklerde kiriş kesitinde oluşturduğu gerilmeler gözükmemektedir. Kirişte yükün etkilediği yüzeyden itibaren belirli derinliklerde oluşan gerilmeler not edilmiş ve yaklaşık 275 mm derinliğe kadar C25 beton dayanımını geçtiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak betonda 275 mm derinliğe kadar hasarların oluşarak dökülmelerin ve kırılmaların meydana geldiği çıkarımında bulunulmuştur.

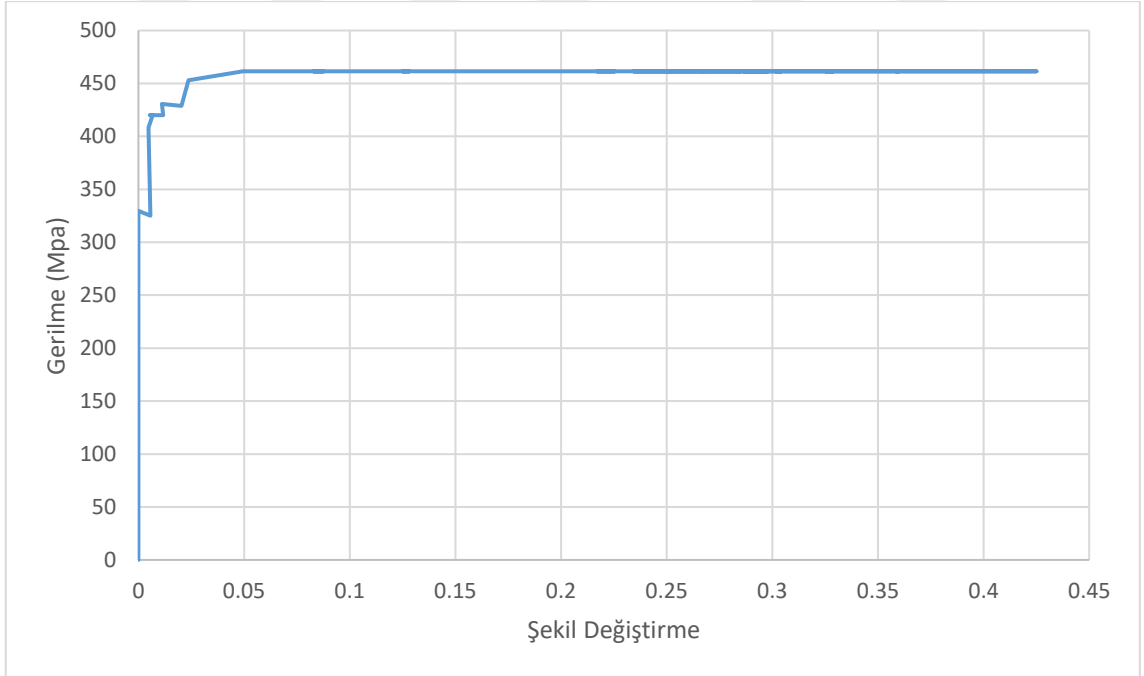


Şekil 5.45 C25 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı

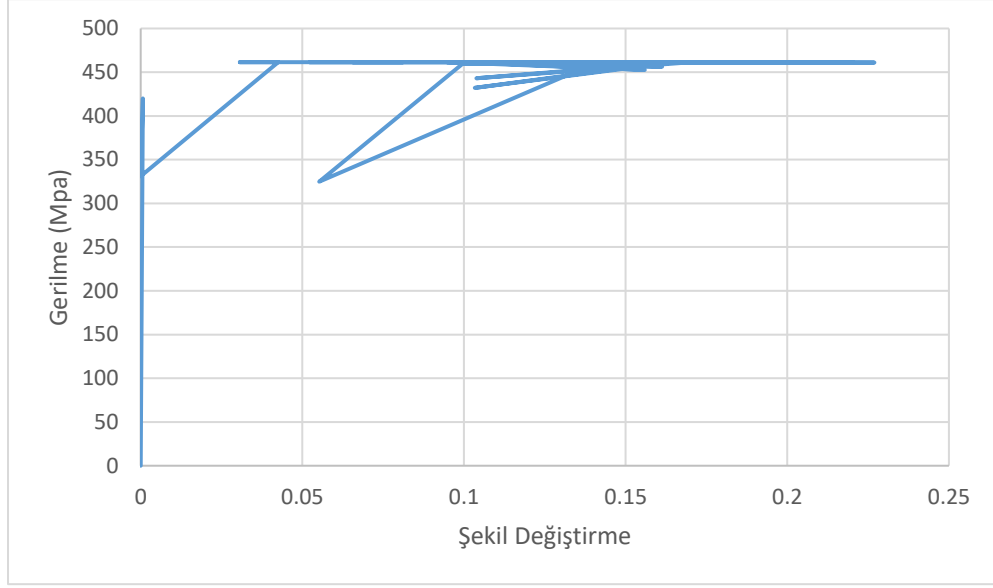
Kiriş kesitinde oluşan gerilmelerin yanısıra boyuna basınç, çekme donatılarında ve etriyelerde oluşan gerilmeler de incelenmiş ve Şekil 5.46-53'te gösterilmiştir. Şekil 5.46'da boyuna donatılarda, basınç bölgesinde S420 çeliğinin ani gerilme artışı ile 422 MPa'da akmaya uğradığı gözlemlenirken, Şekil 5.47'de çekme bölgesinde donatıların 430 MPa'da akmaya uğradığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.46 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

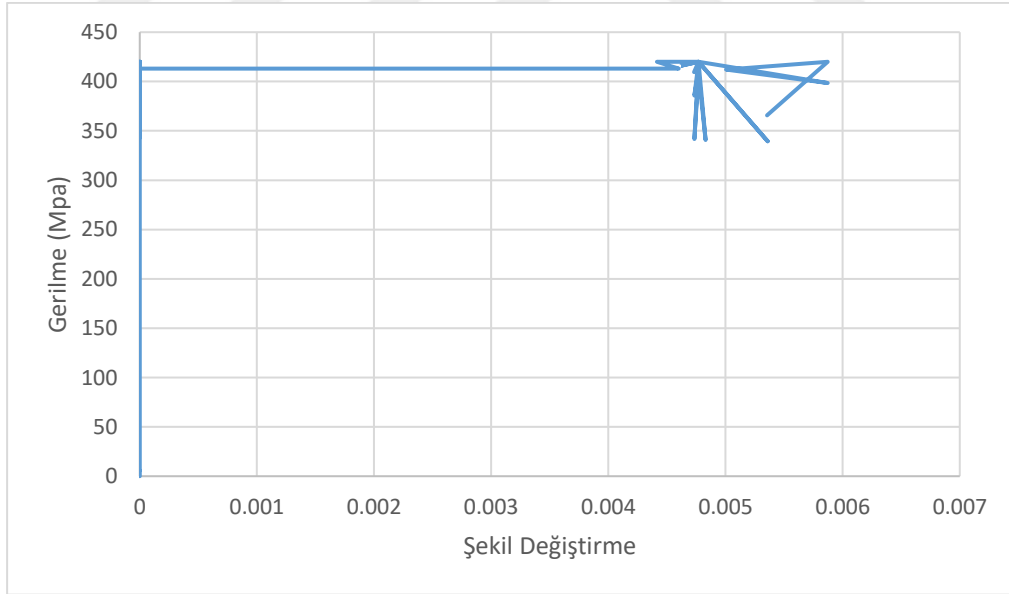


Şekil 5.47 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme



Şekil 5.48 C25 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

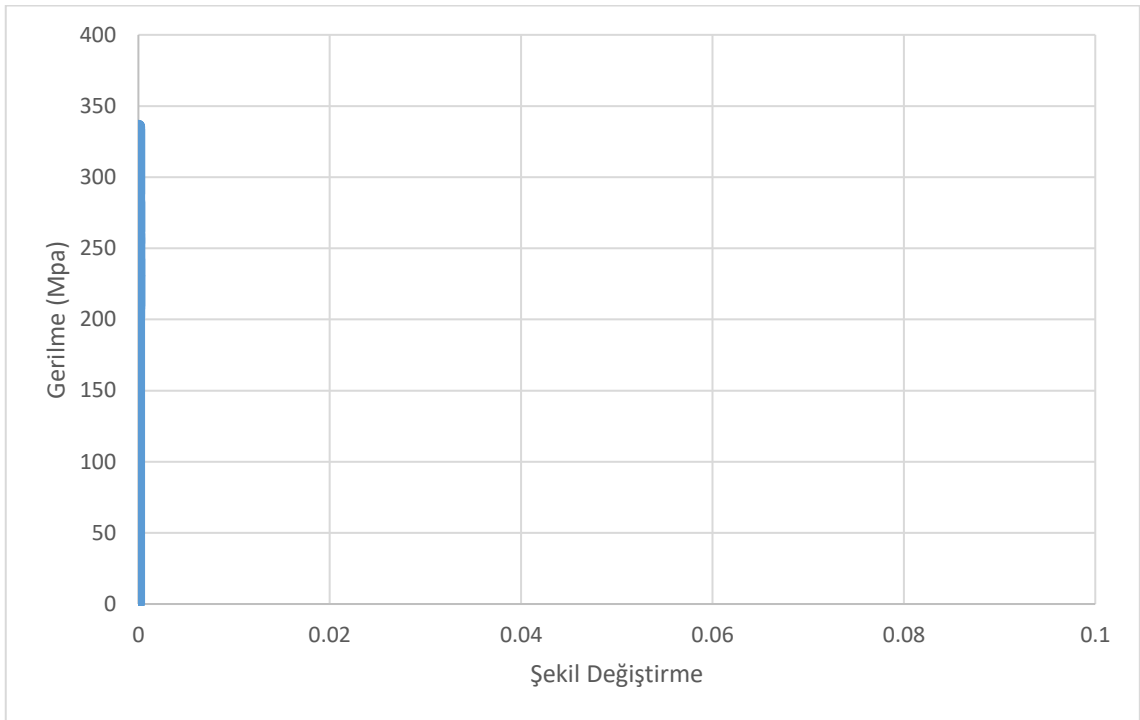
Şekil 5.48'den de görüldüğü üzere basınç orta bölgesindeki etriyeler çok hızlı bir gerilmeye maruz kalarak çok kısa bir sürede akma dayanımına ulaşmışlardır. Sonrasında etriyelerde max. gerilme meydana gelerek 461 MPa'da kopma yapmıştır.



Şekil 5.49 C25 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 45 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

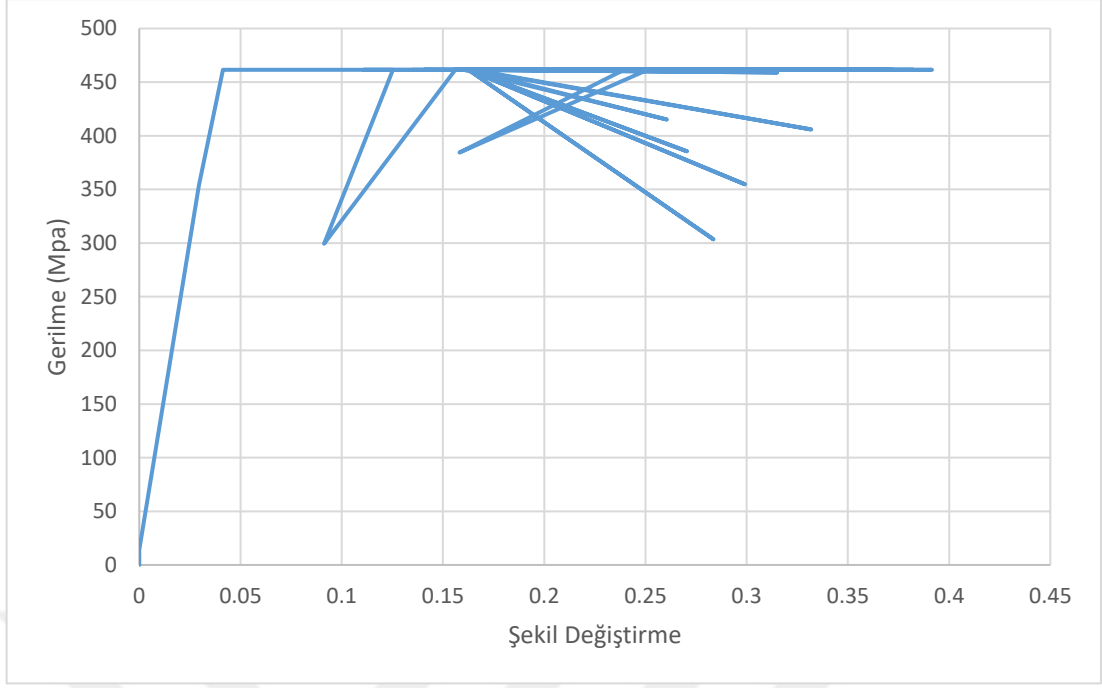
C25 beton dayanımına ve 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, X doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar

paylaşmıştır. Şekil 5.49’da gösterildiği gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 45 cm’lik mesafe boyunca etriyelerin basınç bölgesinde 420 MPa’da akma dayanımına ulaştıkları, 45 cm’lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 55 cm mesafedeki etriyenin basınç bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.50’de verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 55 cm mesafede etriyelerin basınç bölgesinde oluşan max. gerilme 333 MPa olarak not edilmiştir.



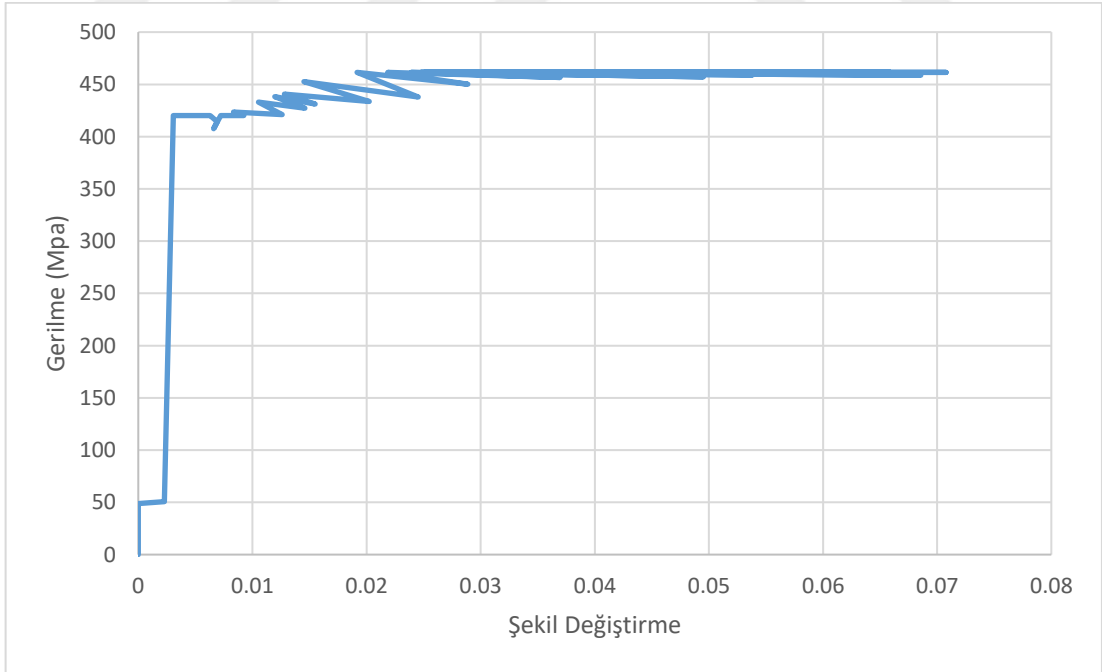
Şekil 5.50 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Etriyelerin basınç bölgesinde oluşan gerilmelerin yanısıra çekme bölgesinde oluşan gerilmeler de incelenerek not edilmiş ve Şekil 5.51’de gösterilmiştir.



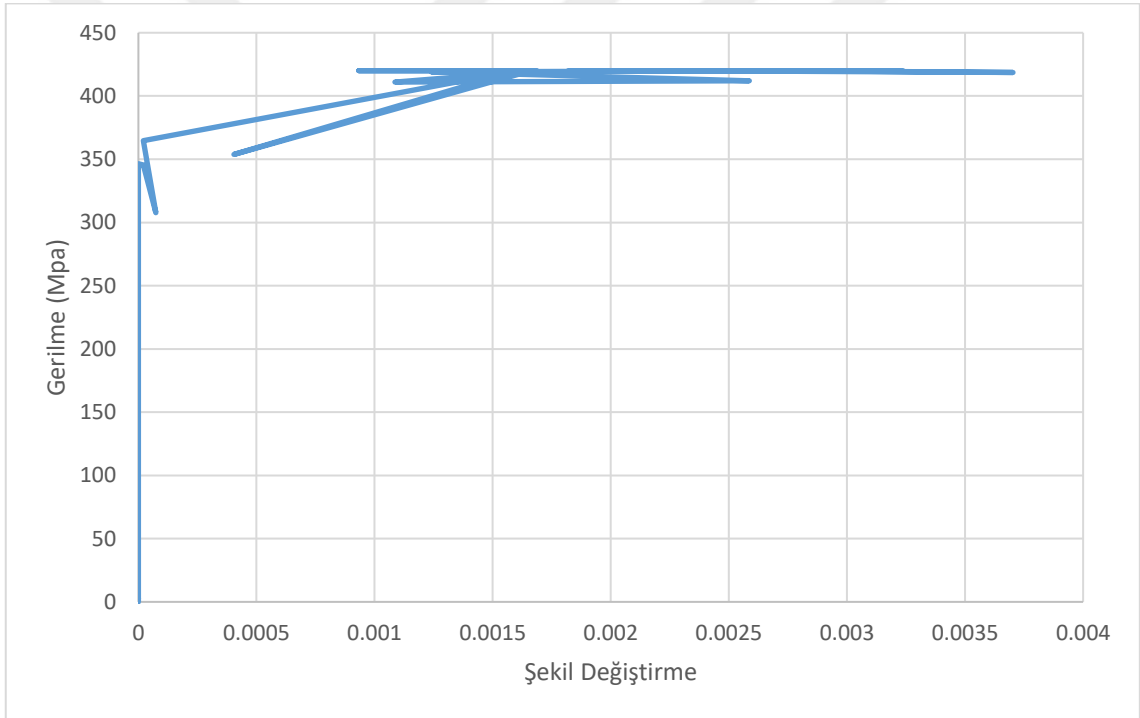
Şekil 5.51 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.51'den de görüldüğü üzere çekme orta bölgesindeki etriyelerin gerilmesi ani bir gerilme artışı ile 461 MPa'a ulaşmış ve kopmaya uğramıştır.



Şekil 5.52 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 35 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

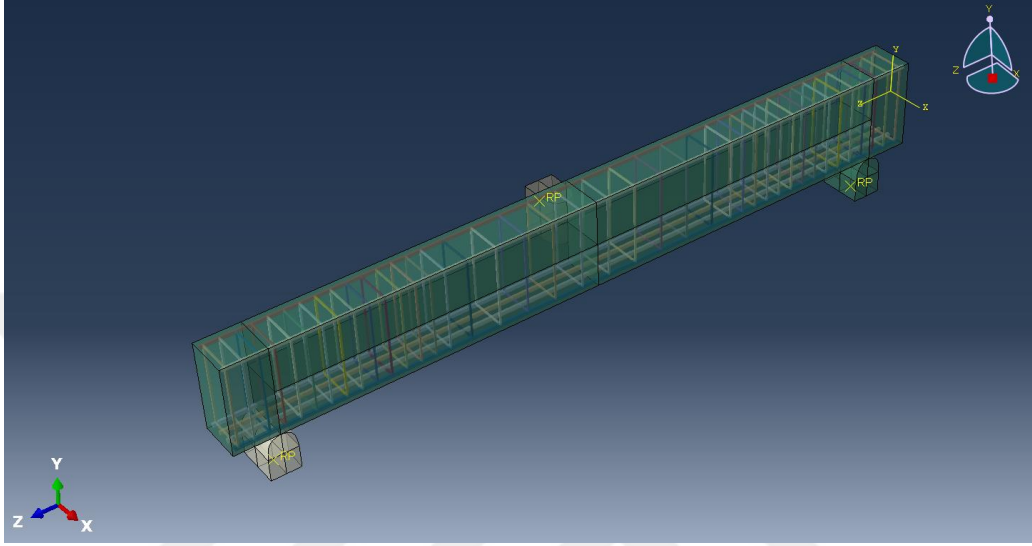
C25 beton dayanımına ve 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, X doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.52’de gösterildiği gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 35 cm’lik mesafe boyunca etriyelerin çekme bölgesinde 420 MPa’da akma dayanımına ulaştıkları, 35 cm’lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 45 cm mesafedeki etriyenin çekme bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.53’te verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 45 cm mesafede etriyelerin çekme bölgesinde etriyeler, 346 MPa’da akmaya uğramış ve gerilmeleri 419 MPa’a kadar çıkmıştır.



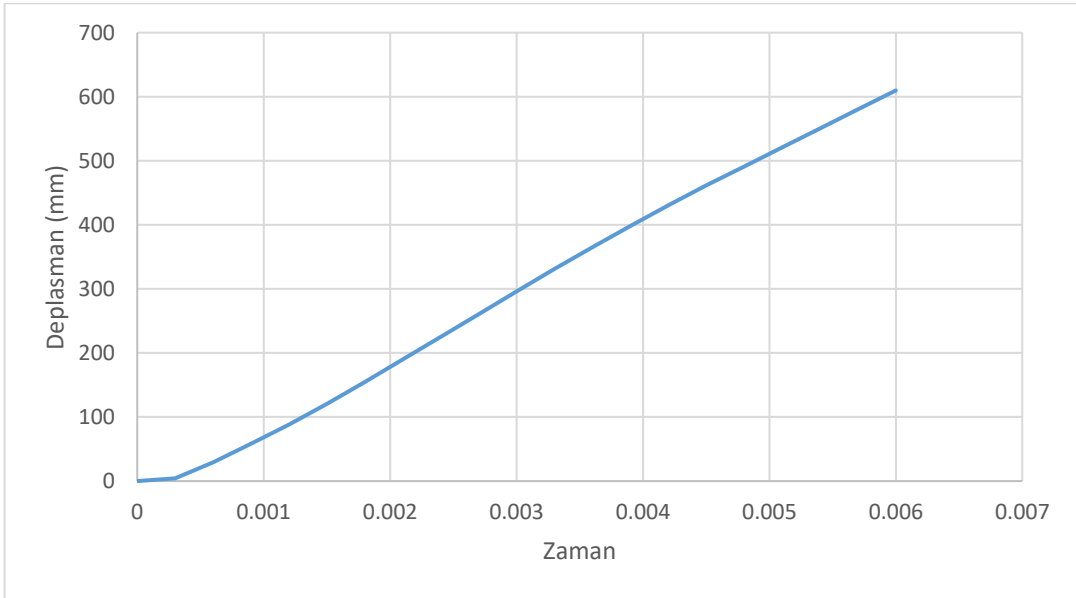
Şekil 5.53 C25 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 45 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme

5.2.6 Sıklaştırma Bölgesi 10 cm, Orta Bölgesi 20 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Numunesinin X Doğrultusundaki Analiz

Autocad ile tasarlanan Şekil 3.5'teki kiriş numunesi Abaqus programında modellenmiş ve kiriş yüksekliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Numunenin modellenmiş hali Şekil 5.54'te gösterilmiştir.

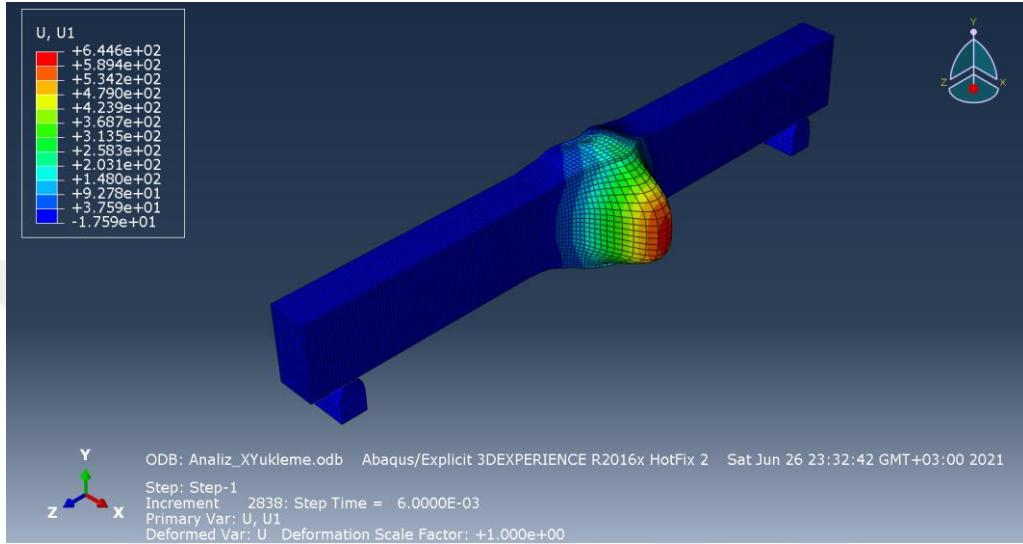


Şekil 5.54 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli

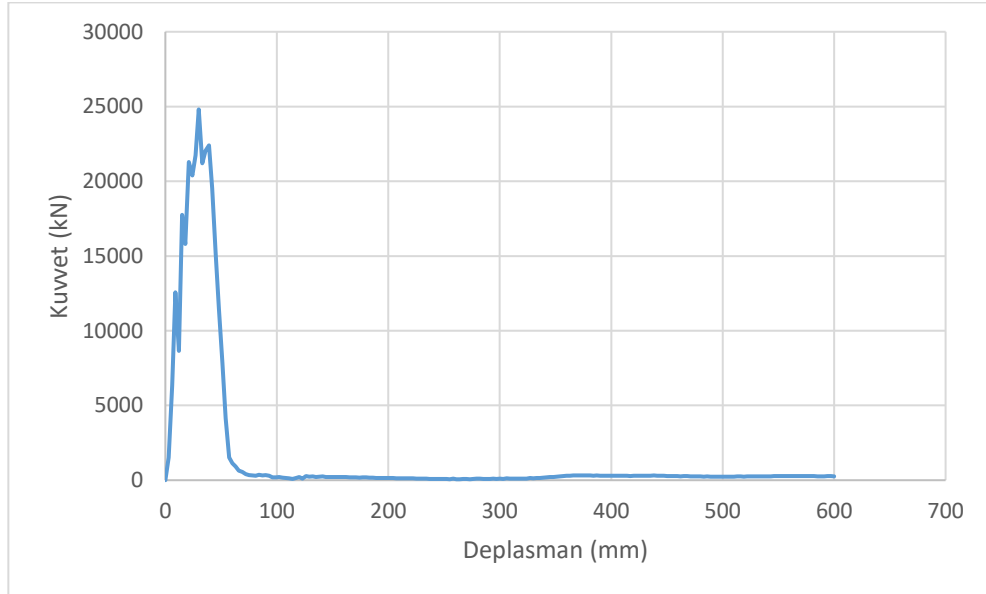


Şekil 5.55 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği

C25 orta bölgede 20 cm, sıkılaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesinin yüksekliğinin orta noktasının U1 doğrultusunda yaptığı max. deplasman 609 mm olarak belirlenmiş ve Şekil 5.55'te gösterilmiştir. Şekil 5.56'da ise C25 orta bölgede 20 cm, sıkılaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip olan kirişin darbe yükü altında U1 doğrultusunda deforme olmuş haline yer verilmiştir.

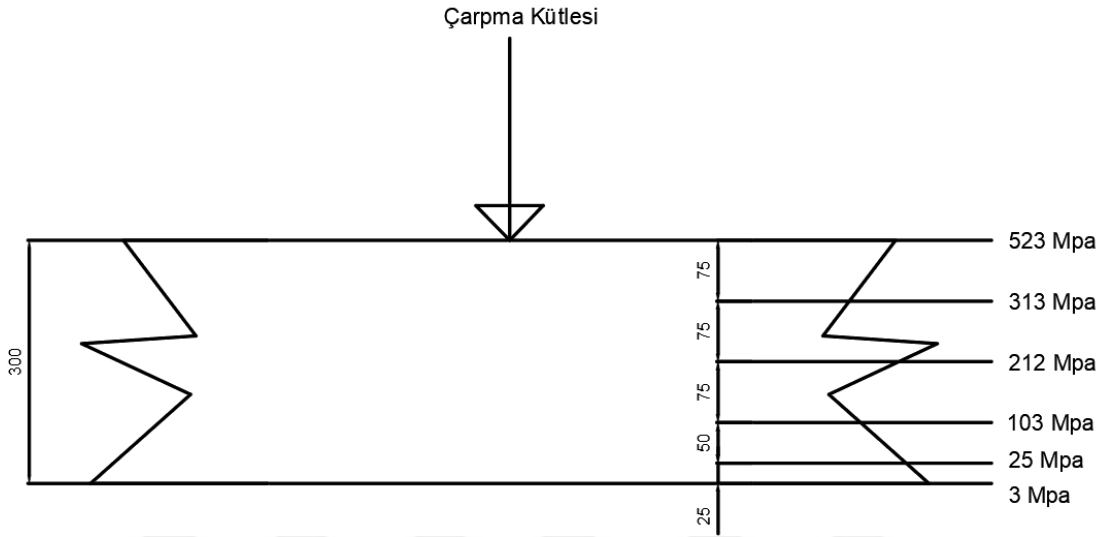


Şekil 5.56 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman



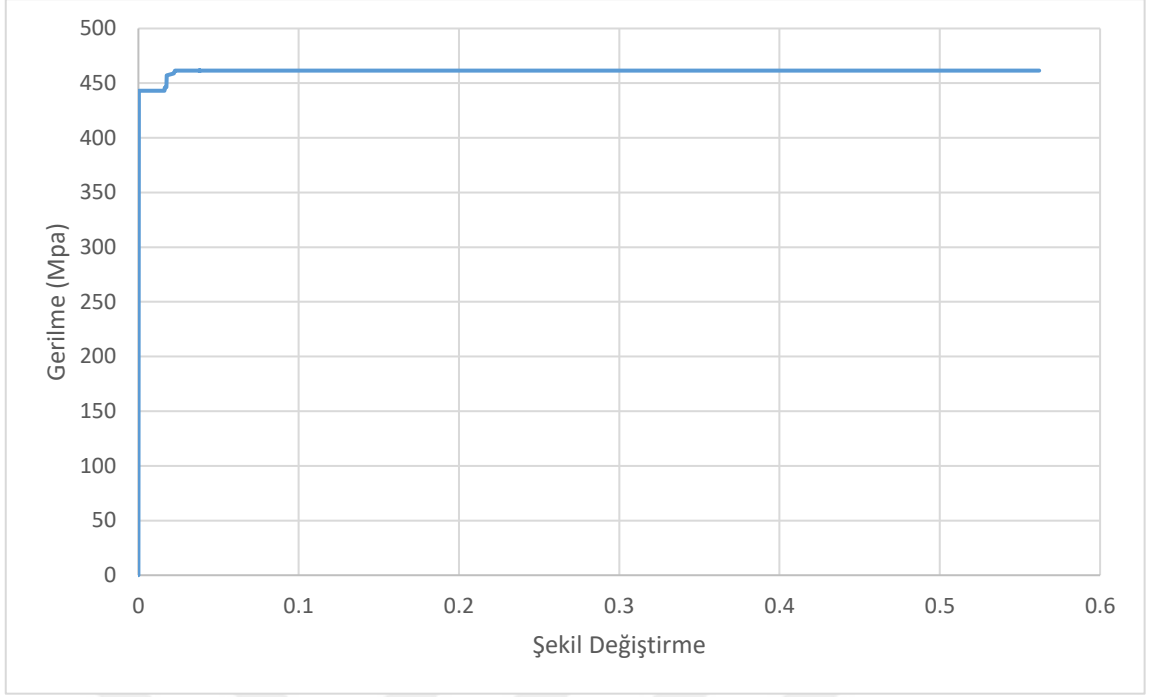
Şekil 5.57 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği

Şekil 5.58'de kirişin darbe yüküne maruz kalmasıyla çarpma kütesinin farklı derinliklerde kiriş kesitinde oluşturduğu gerilmeler gözükmemektedir. Kirişte yükün etkilediği yüzeyden itibaren belirli derinliklerde oluşan gerilmeler not edilmiş ve yaklaşık 275 mm derinliğe kadar C25 beton dayanımını geçtiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak betonda 275 mm derinliğe kadar hasarların oluşarak dökülmelerin ve kırılmaların meydana geldiği çıkarımında bulunulmuştur.

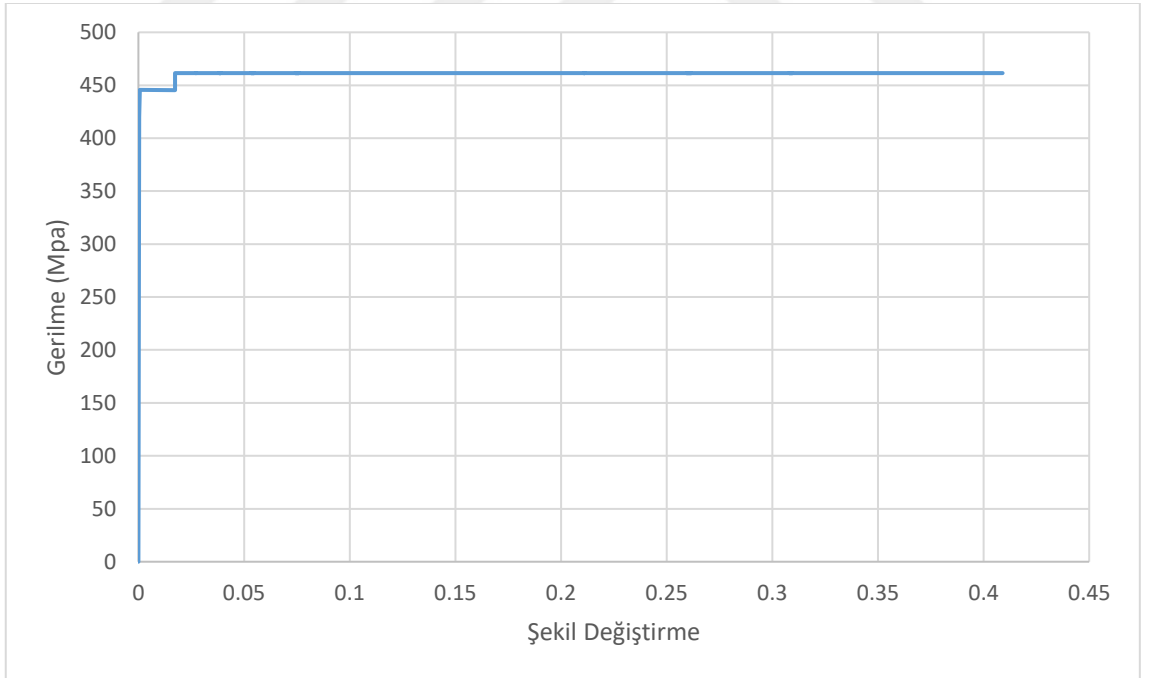


Şekil 5.58 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı

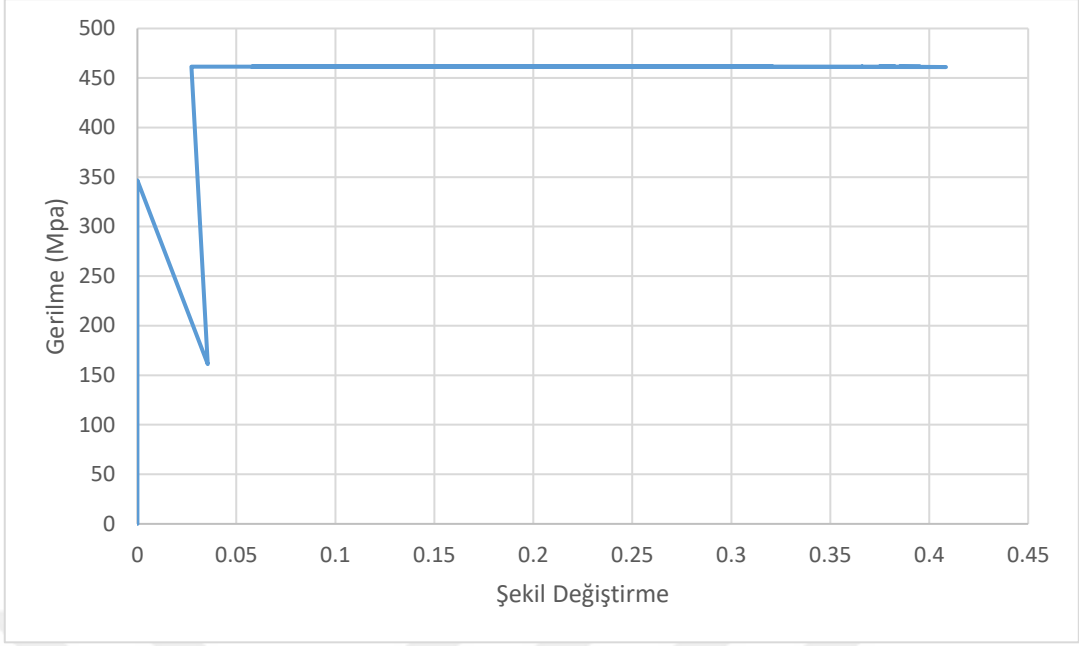
Kiriş kesitinde oluşan gerilmelerin yanısıra boyuna basınç, çekme donatılarında ve etriyelerde oluşan gerilmeler de incelenmiş ve Şekil 5.59-66'da gösterilmiştir. Şekil 5.59 ve Şekil 5.50'de boyuna donatılarda, basınç ve çekme bölgesinde ani bir gerilme artışı ile S420 çeliğinin 461 MPa'da kopmaya uğradığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.59 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

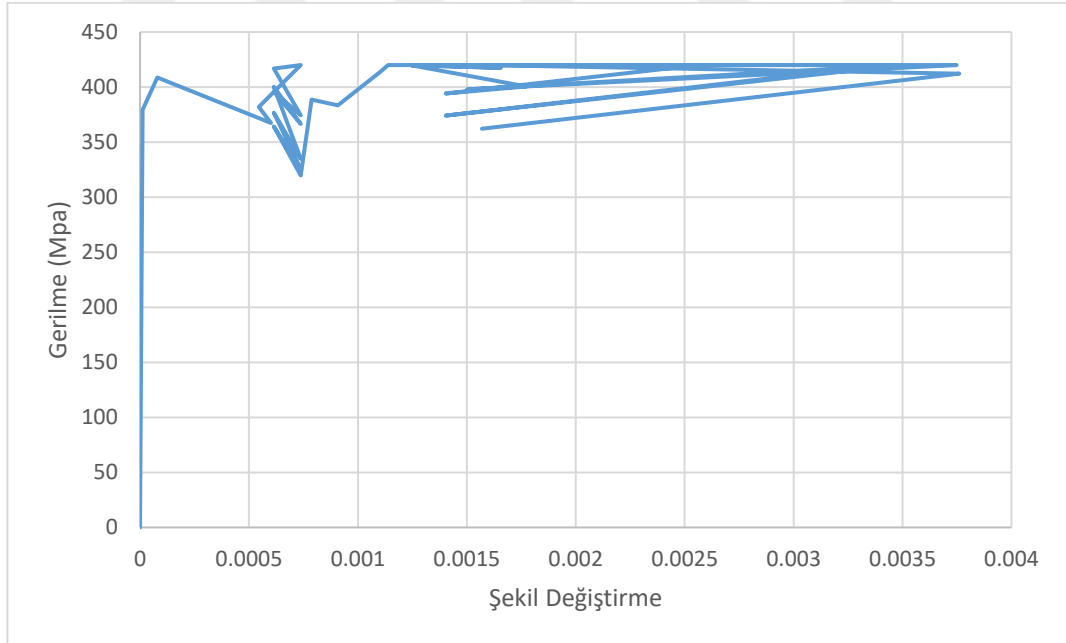


Şekil 5.60 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme



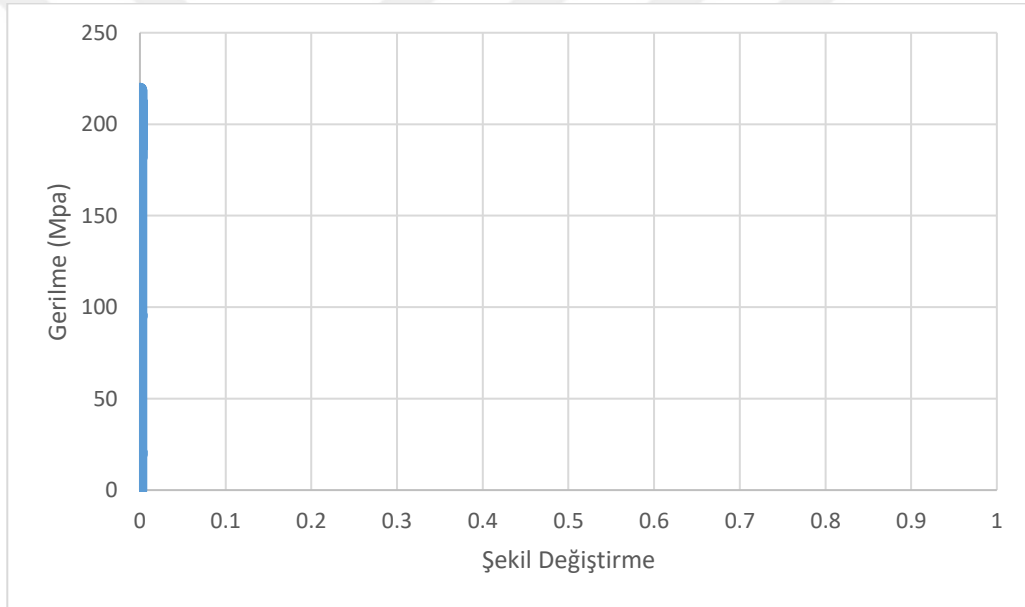
Şekil 5.61 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.61'den de görüldüğü üzere basınç orta bölgesindeki etriyeler 346 MPa'da akmaya uğramış, sonrasında 461 MPa dayanıma kadar çıkarak kopmuştur.



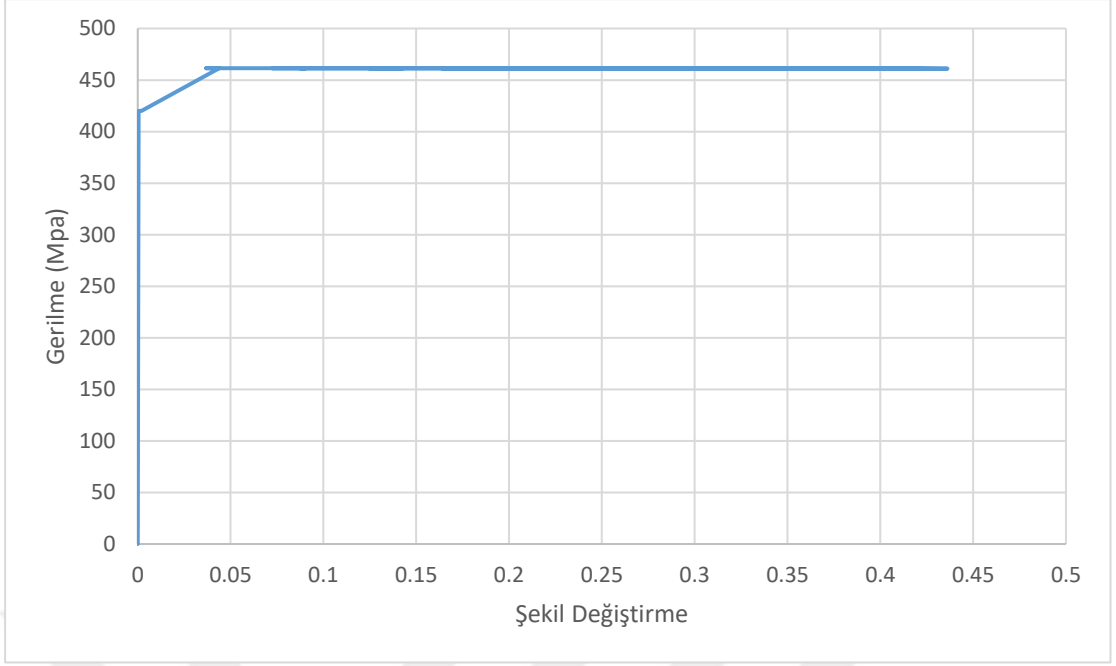
Şekil 5.62 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 30 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

C25 beton dayanımına ve orta bölgelerde 20 cm, sıklaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, X doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.62’de görüldüğü gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 30 cm’lik mesafe boyunca etriyelerin basınç bölgesinde 420 MPa’da akma dayanımına ulaştıkları, 30 cm’lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 50 cm mesafedeki etriyenin basınç bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.63’te verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 50 cm mesafede etriyelerin basınç bölgesinde oluşan max. gerilme 218 MPa olarak not edilmiştir.



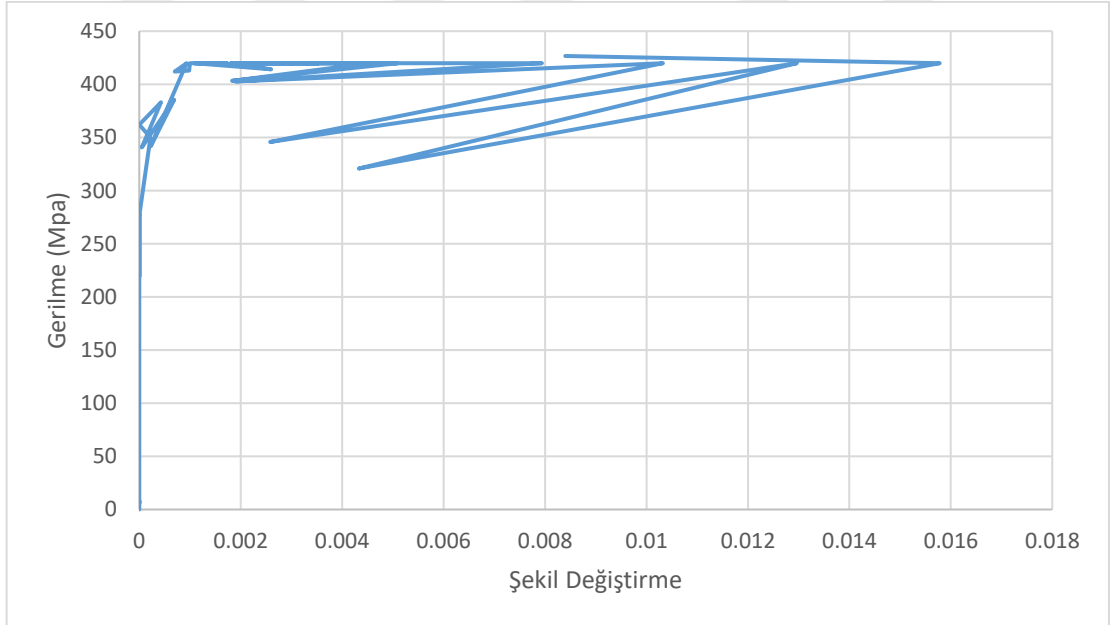
Şekil 5.63 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm’lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme

Etriyelerin basınç bölgesinde oluşan gerilmelerin yanısıra çekme bölgesinde oluşan gerilmeler de incelenerek not edilmiş ve Şekil 5.64’te gösterilmiştir.



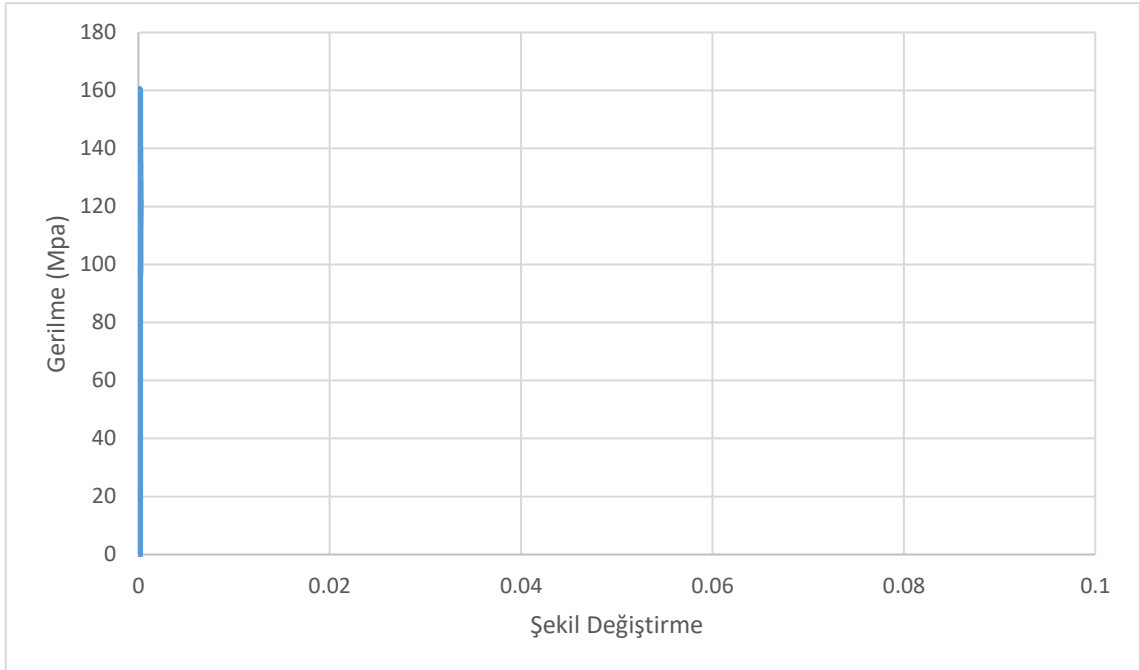
Şekil 5.64 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.64'ten de görüldüğü üzere çekme orta bölgesindeki etriyeler ani bir gerilme artışı ile 461 Mpa'da kopmaya uğramıştır.



Şekil 5.65 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

C25 beton dayanımına ve orta bölgelerde 20 cm, sıklaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, X doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.65'ten görüldüğü gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 50 cm'lik mesafe boyunca etriyelerin çekme bölgesinde 420 MPa'da akma dayanımına ulaştıkları, 50 cm'lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 70 cm mesafedeki etriyenin çekme bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.66'da verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 70 cm mesafedeki max. gerilme 160 MPa olarak not edilmiştir.

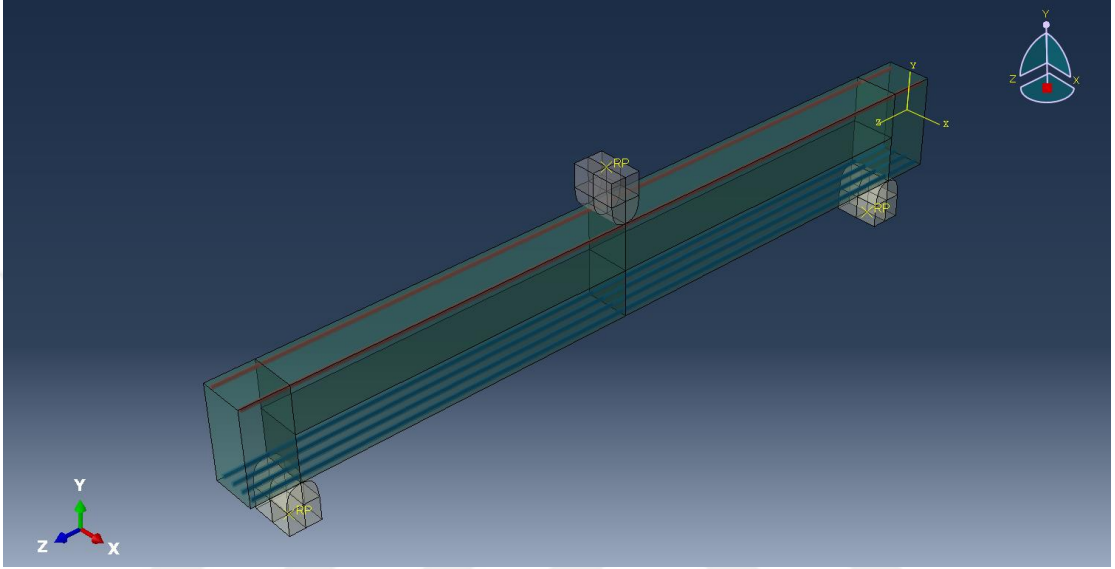


Şekil 5.66 C25 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 70 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme

5.3 C60 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerin Analizi

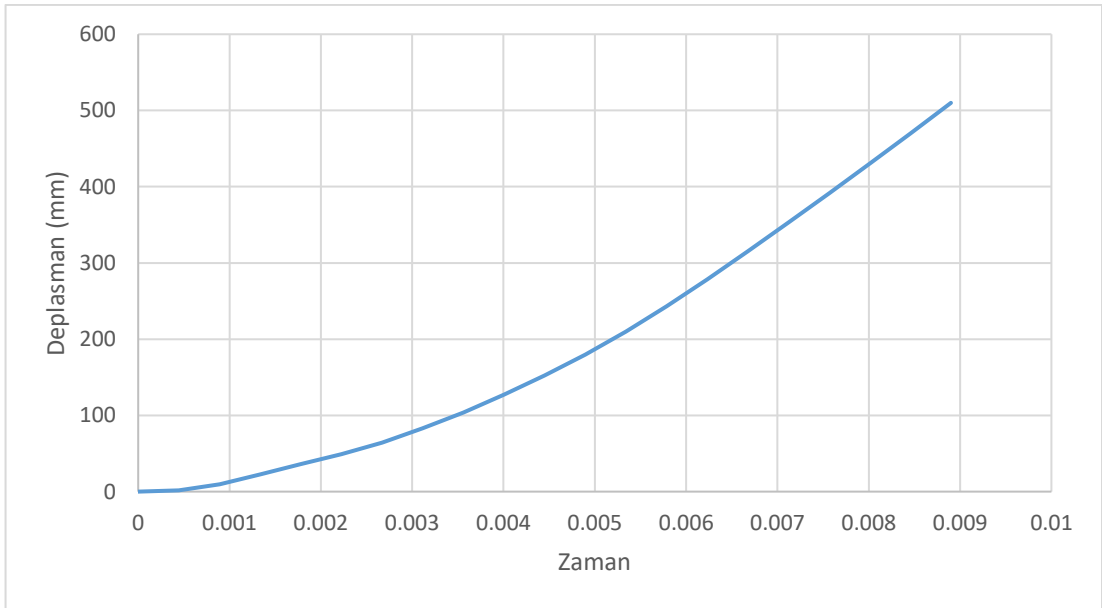
5.3.1 Etriyesiz Kiriş Numunesinin Y Doğrultusundaki Analizi

Autocad ile tasarlanan Şekil 3.3'teki kiriş numunesi Abaqus programında modellenmiş ve kiriş genişliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Numunenin modellenmiş hali Şekil 5.67'de gösterilmiştir.



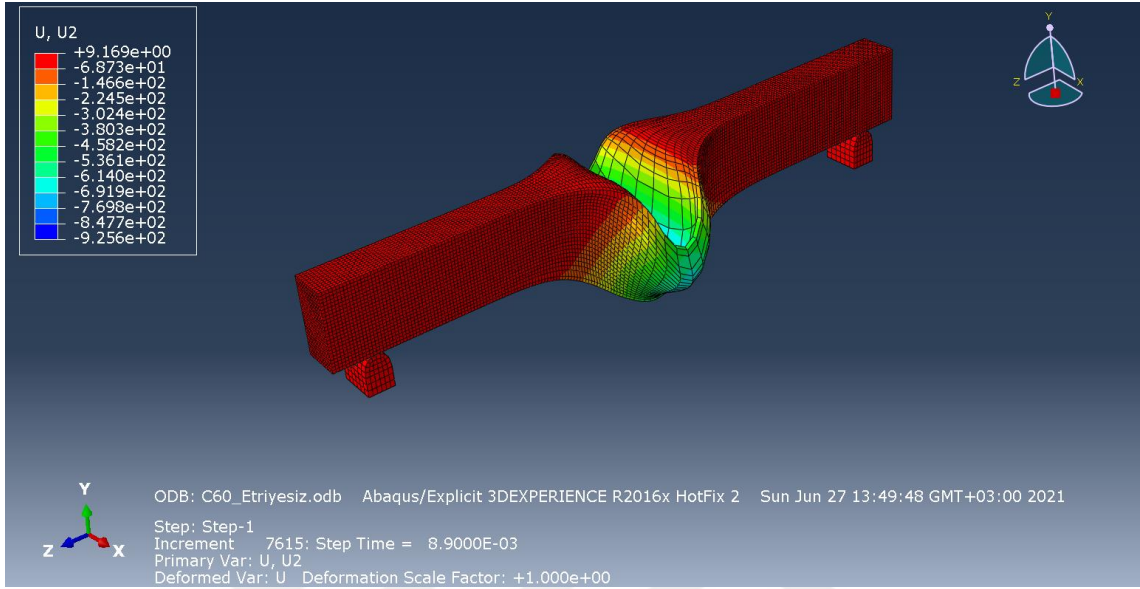
Şekil 5.67 C60 Etriyesiz Kiriş Modeli

Kirişin analizinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.68-73'de verilmiştir.

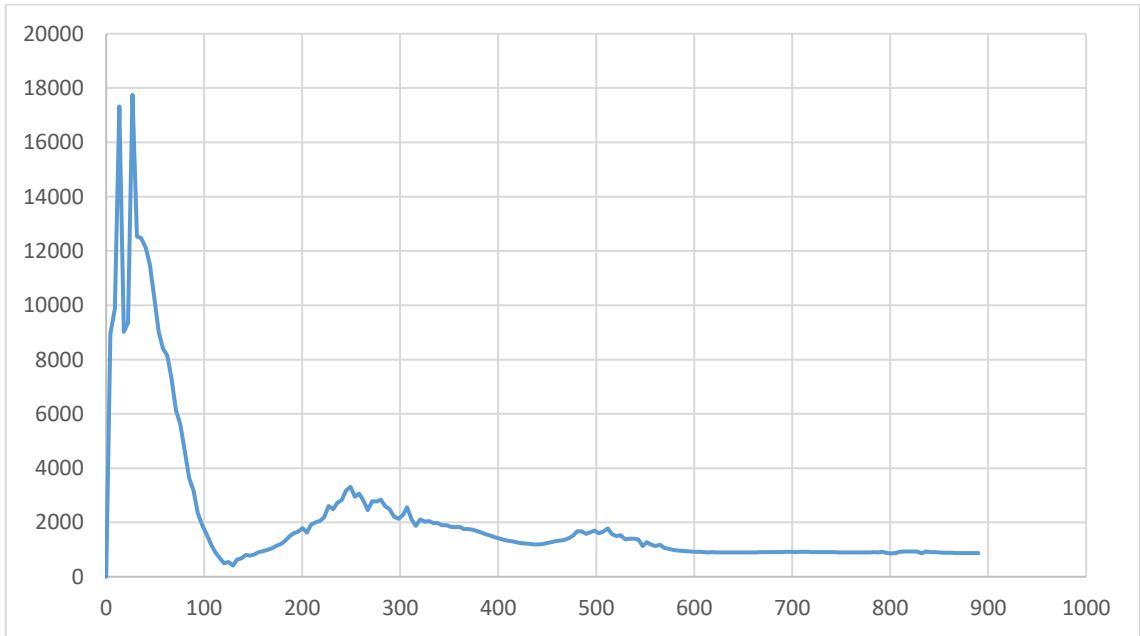


Şekil 5.68 C60 Etriyesiz Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği

C60 etriyesiz kiriş numunesinin alt orta noktasının U2 doğrultusunda yaptığı max. deplasman 509 mm olarak belirlenmiş ve Şekil 5.68'de gösterilmiştir. Şekil 5.69'da ise C60 etriyesiz kirişin darbe yükü altında U2 doğrultusunda deforme olmuş haline yer verilmiştir.

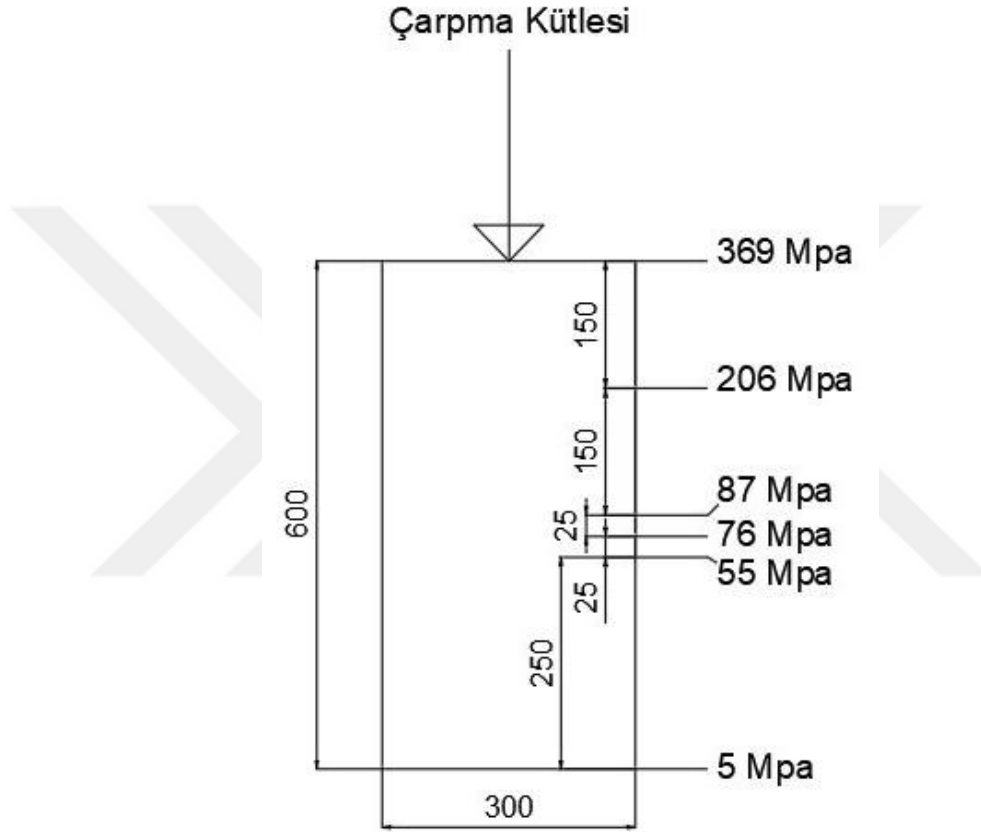


Şekil 5.69 C60 Etriyersiz Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman



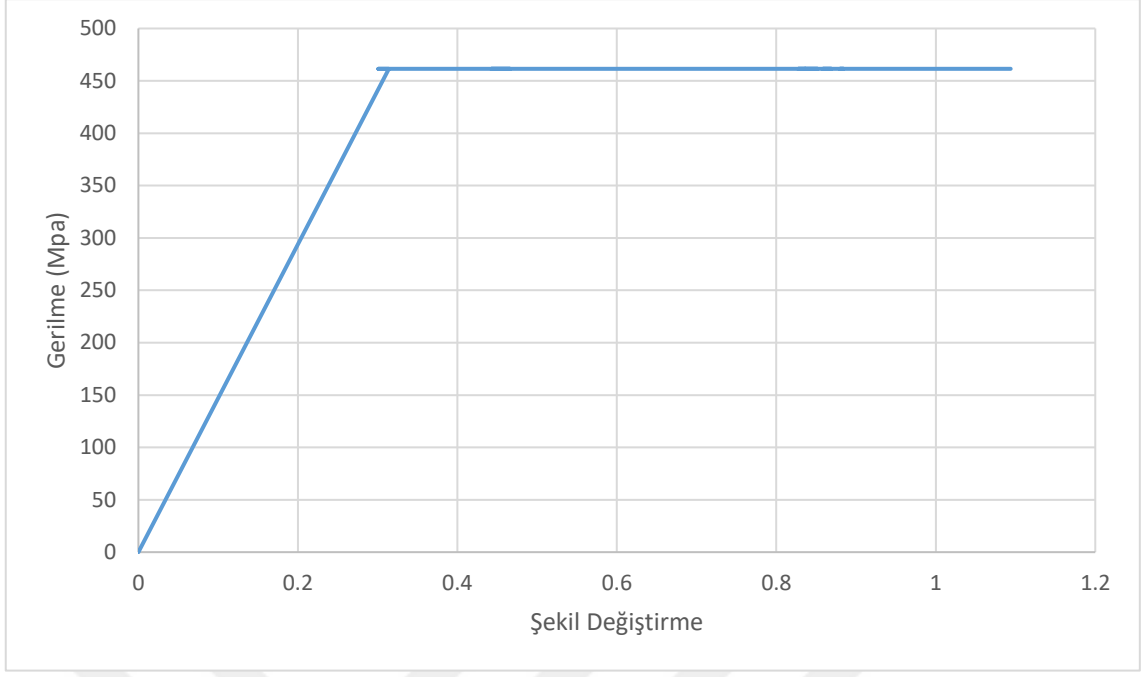
Şekil 5.70 C60 Etriyersiz Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği

Şekil 5.71’de kirişin darbe yüküne maruz kalmasıyla çarpma kütesinin farklı derinliklerde kiriş kesitinde oluşturduğu gerilmeler gözükmemektedir. Kirişin üst yüzeyinden itibaren belirli derinliklerde oluşan gerilmeler not edilmiş ve 325 mm derinliğe kadar C60 beton dayanımını geçtiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak betonda 325 mm derinliğe kadar hasarların oluşarak dökülmelerin ve kırılmaların meydana geldiği çıkarımında bulunulmuştur.

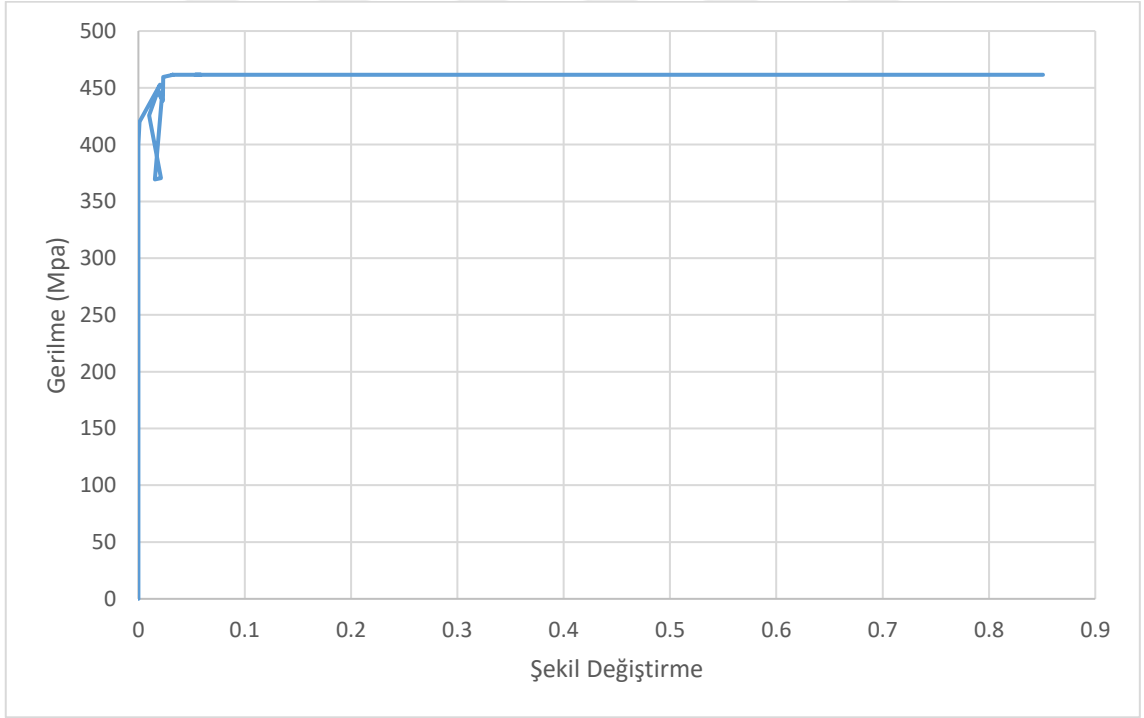


Şekil 5.71 C60 Etriyesiz Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı

Kiriş kesitinde oluşan gerilmelerin yanısıra boyuna basınç ve çekme donatılarında oluşan gerilmeler de incelenmiş ve Şekil 5.72, Şekil 5.73’te gösterilmiştir. Donatılarda, basınç bölgesinde ani bir gerilme artışı ile S420 çeliğinin 461 MPa’da kopmaya uğradığı gözlemlenirken çekme bölgesinde donatıların karakteristik bir davranışla 420 MPa’da akmaya uğradığı gözlemlenmiştir.



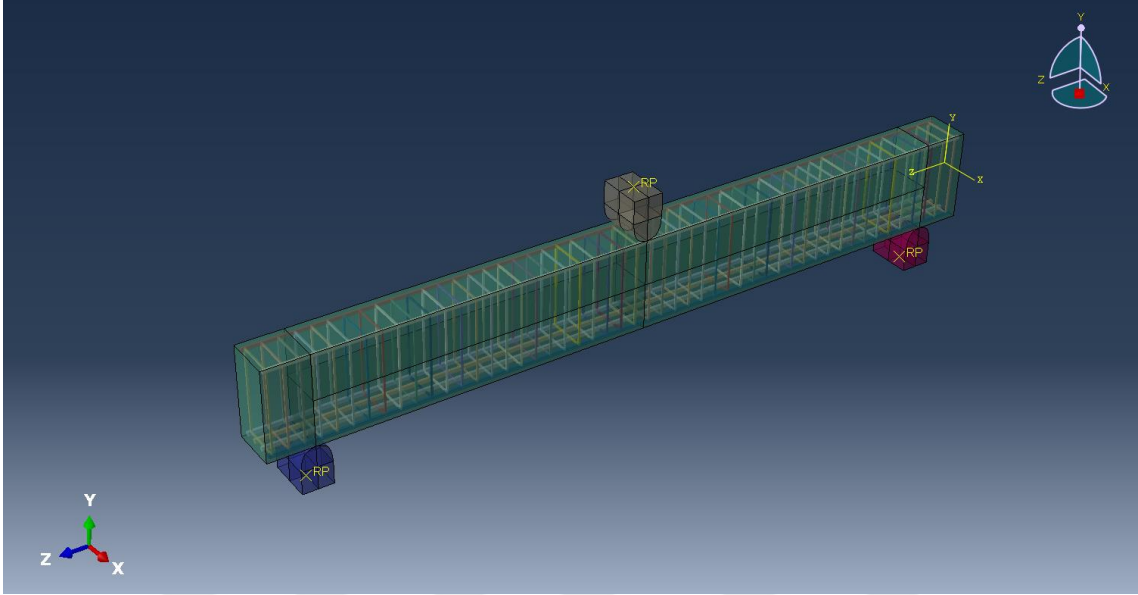
Şekil 5.72 C60 Etriyersiz Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme



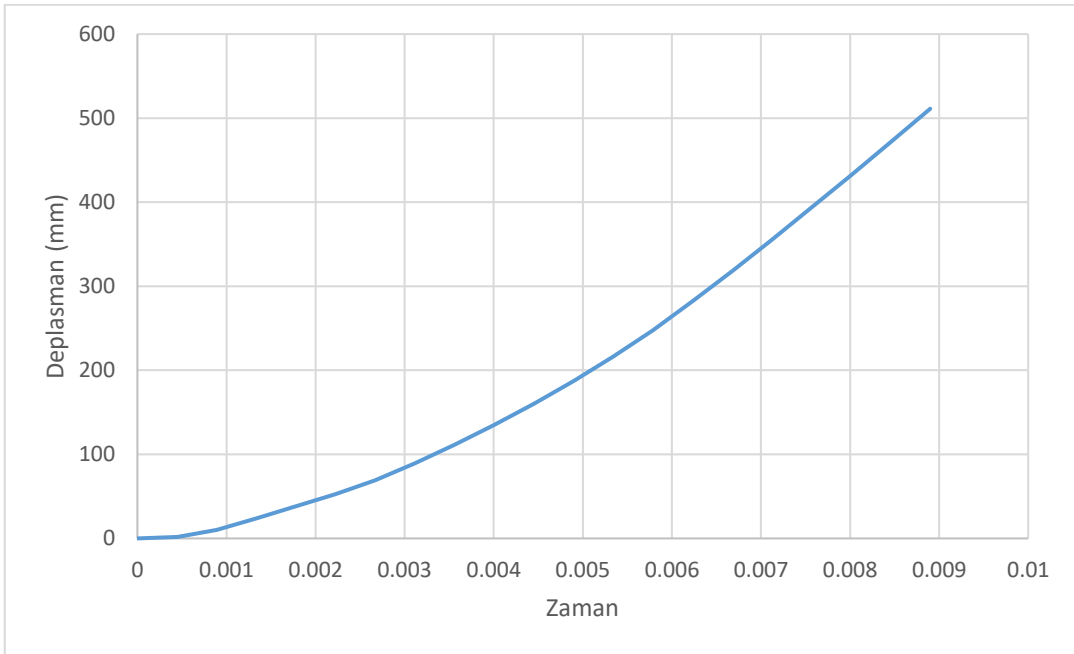
Şekil 5.73 C25 Etriyersiz Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

5.3.2 Kiriş Boyunca 10 cm Etriye Aralığına Sahip Olan Kiriş Numunesinin Y Doğrultusundaki Analizi

Autocad ile tasarlanan Şekil 3.4'teki kiriş numunesi Abaqus programında modellenmiş ve kiriş genişliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Numunenin modellenmiş hali Şekil 5.74'te gösterilmiştir.

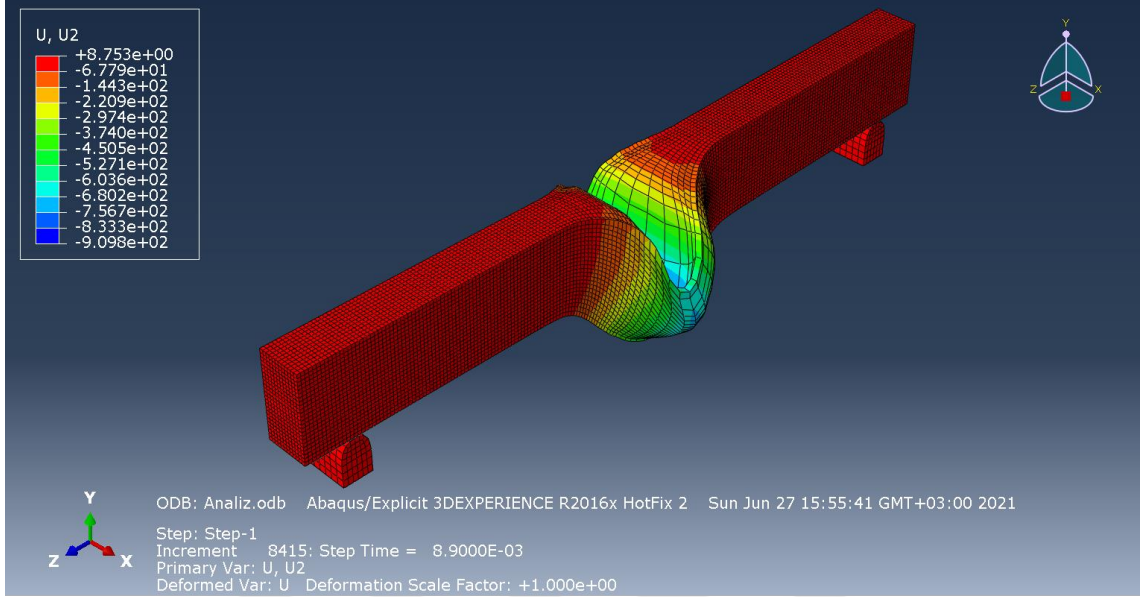


Şekil 5.74 C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli

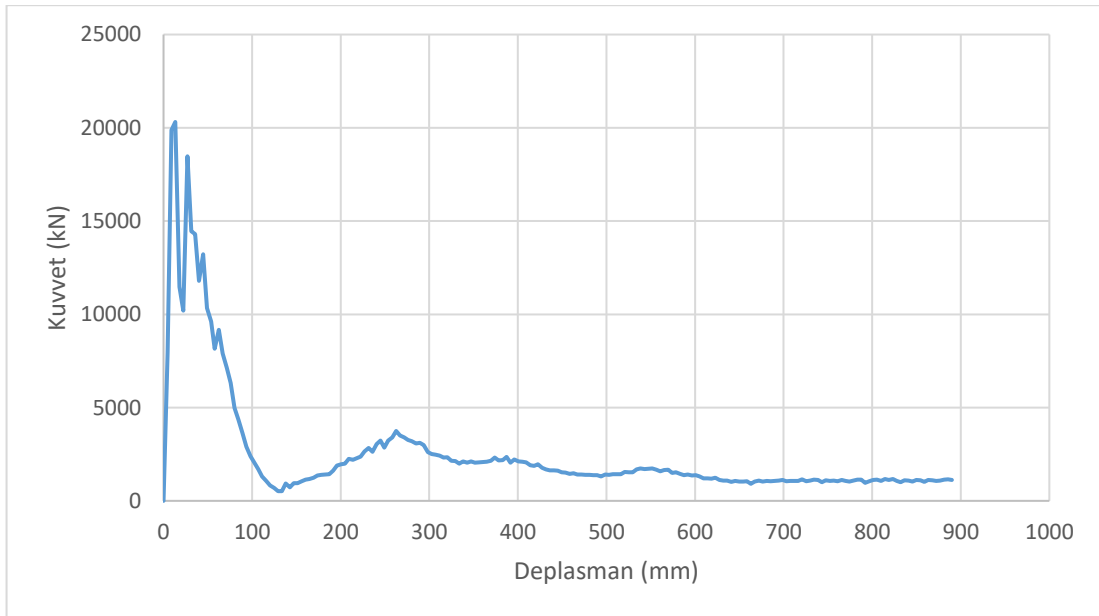


Şekil 5.75 C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği

C60 10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesinin alt orta noktasının U2 doğrultusunda yaptığı max. deplasman 511 mm olarak belirlenmiş ve Şekil 5.75'te gösterilmiştir. Şekil 5.76'da ise C60 10 cm etriye aralığına sahip olan kirişin darbe yükü altında U2 doğrultusunda deforme olmuş haline yer verilmiştir.

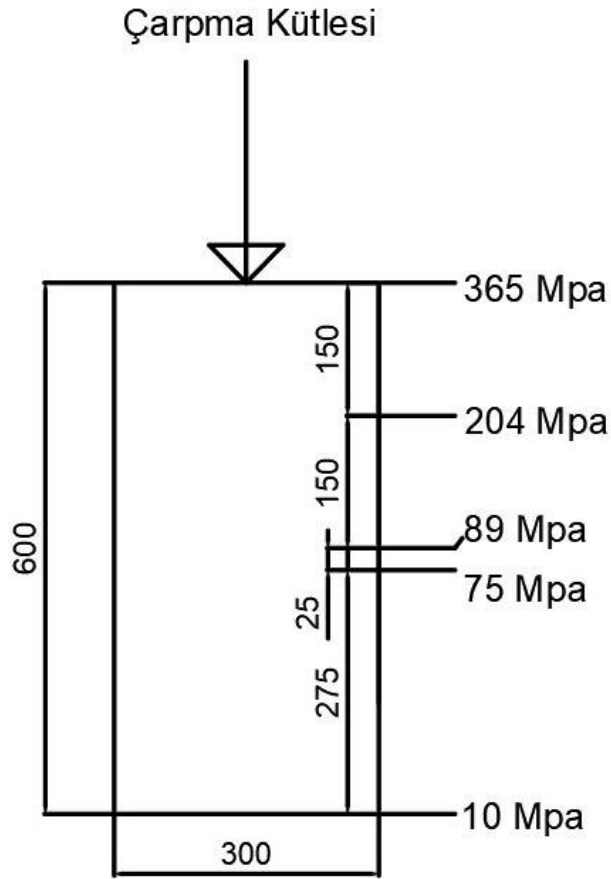


Şekil 5.76 C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman



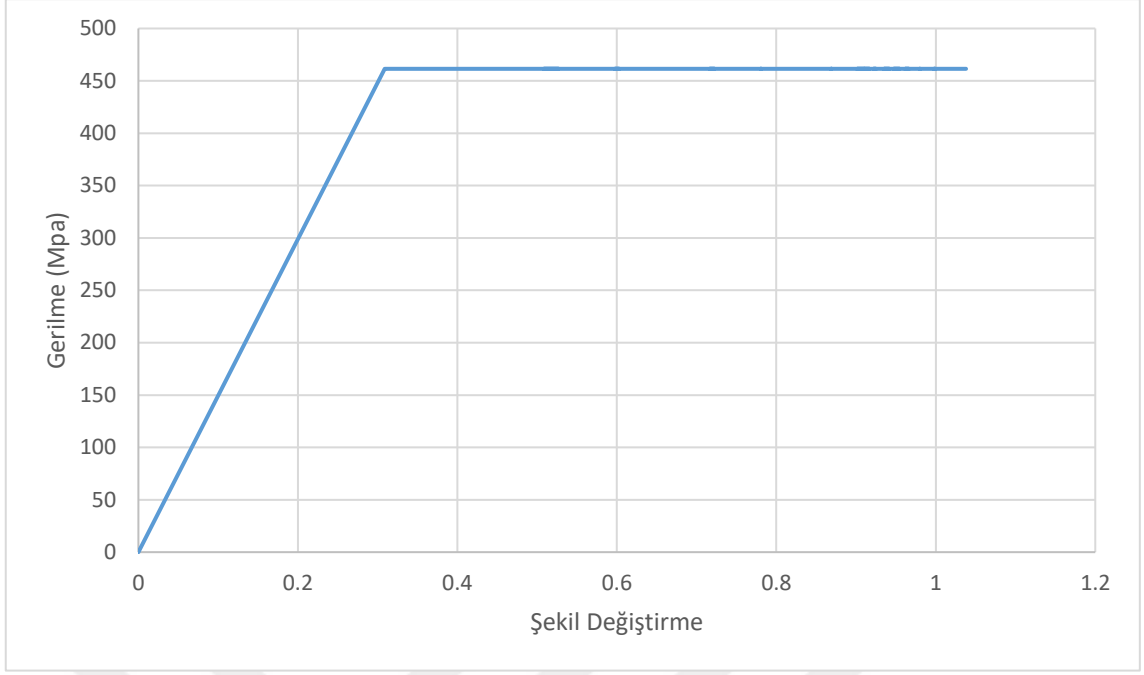
Şekil 5.77 C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği

Şekil 5.78'de kirişin darbe yüküne maruz kalmasıyla çarpma kütesinin farklı derinliklerde kiriş kesitinde oluşturduğu gerilmeler gözükmemektedir. Kirişin üst yüzeyinden itibaren belirli derinliklerde oluşan gerilmeler not edilmiş ve yaklaşık 325 mm derinliğe kadar C60 beton dayanımını geçtiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak betonda 325 mm derinliğe kadar hasarların oluşarak dökülmelerin ve kırılmaların meydana geldiği çıkarımında bulunulmuştur.

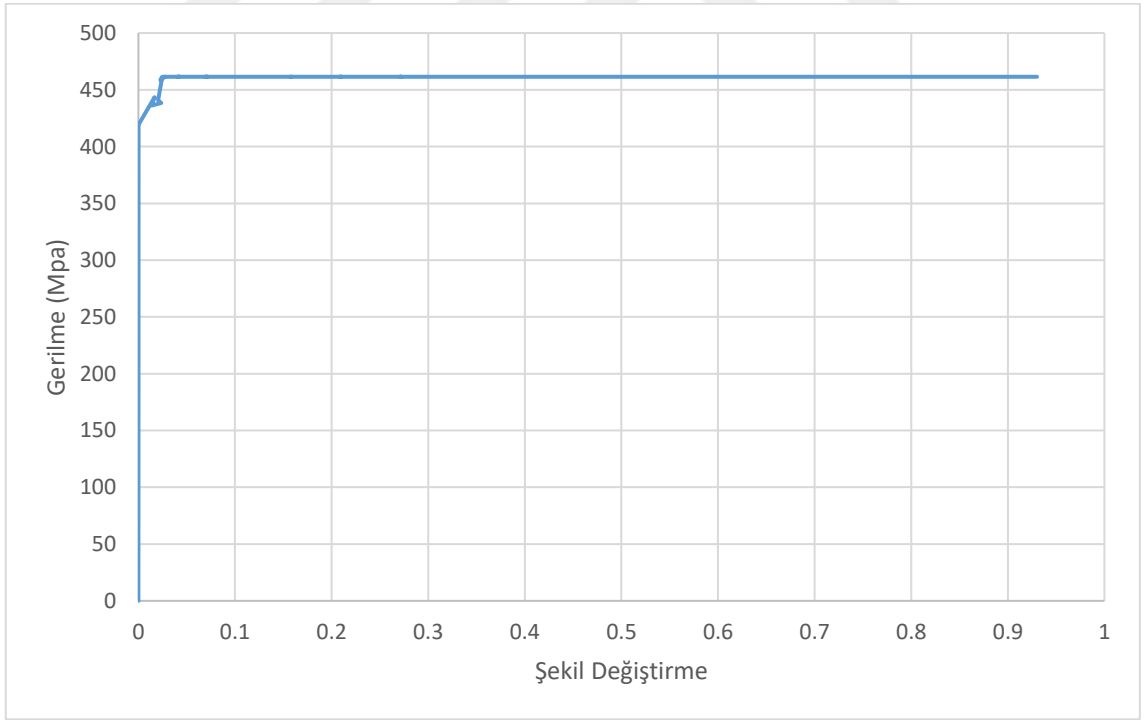


Şekil 5.78 C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı

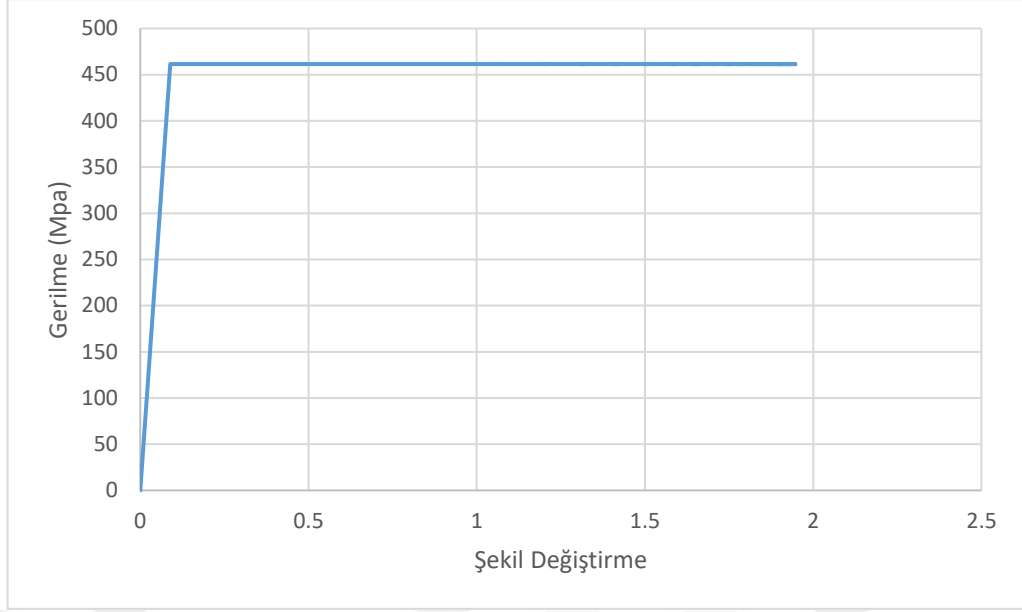
Kiriş kesitinde oluşan gerilmelerin yanısıra boyuna basınç, çekme donatılarında ve etriyelerde oluşan gerilmeler de incelenmiş ve Şekil 5.79-86'de gösterilmiştir. Şekil 5.79'da boyuna donatılarda, basınç bölgesinde ani bir gerilme artışı ile S420 çeliğinin 461 MPa'da kopmaya uğradığı gözlemlenirken, Şekil 5.80'de çekme bölgesinde donatıların karakteristik bir davranışla 420 MPa'da akmaya uğradığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.79 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

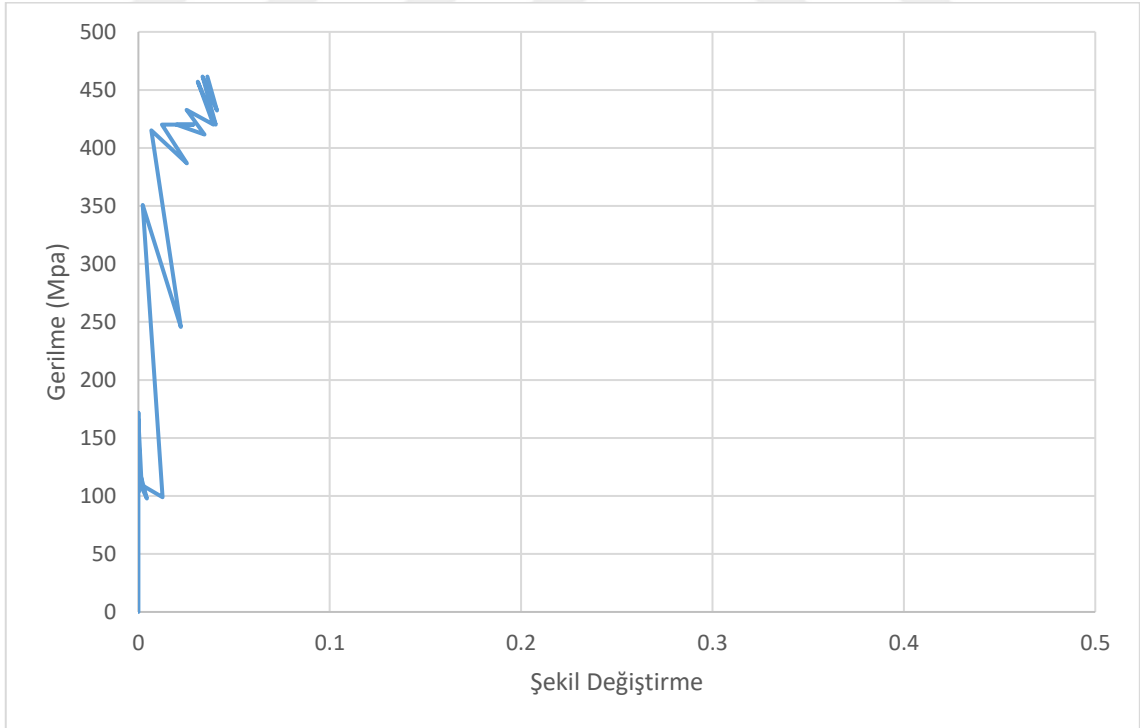


Şekil 5.80 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme



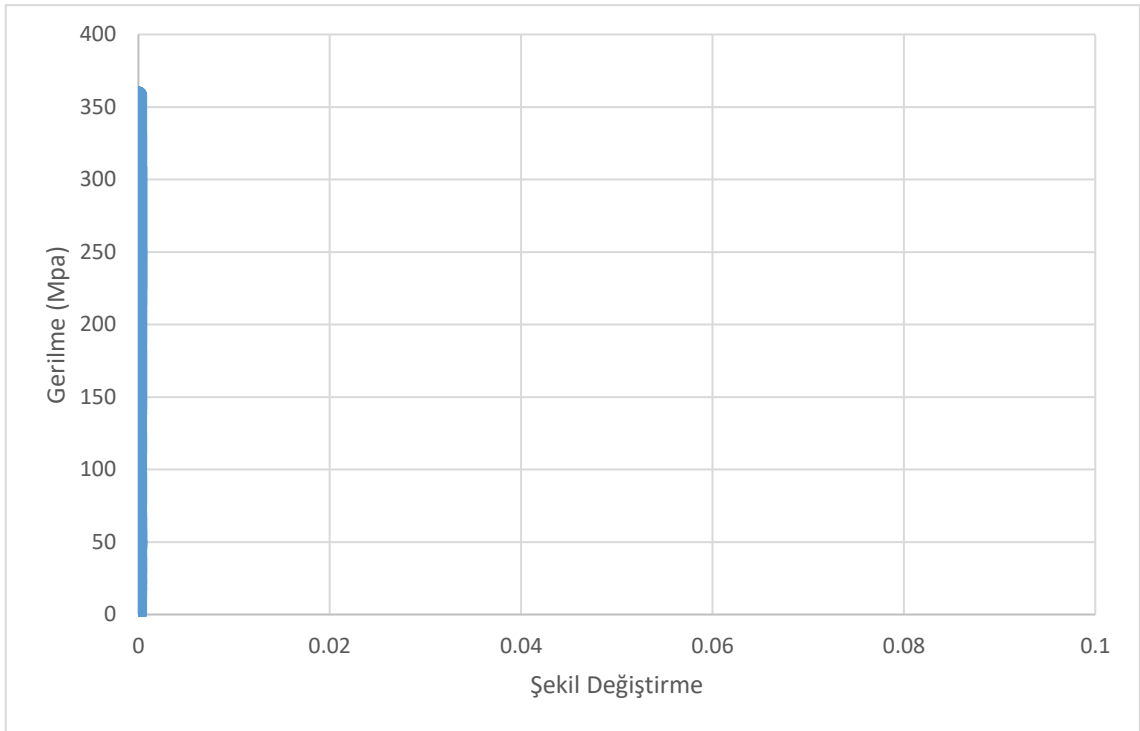
Şekil 5.81 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.81'den de görüldüğü üzere basınç orta bölgesindeki etrilyeler de boyuna basınç donatılarının gösterdiği davranışı sergilemiş ve ani bir gerilme artışı ile 461 MPa'da kopmaya uğramıştır.



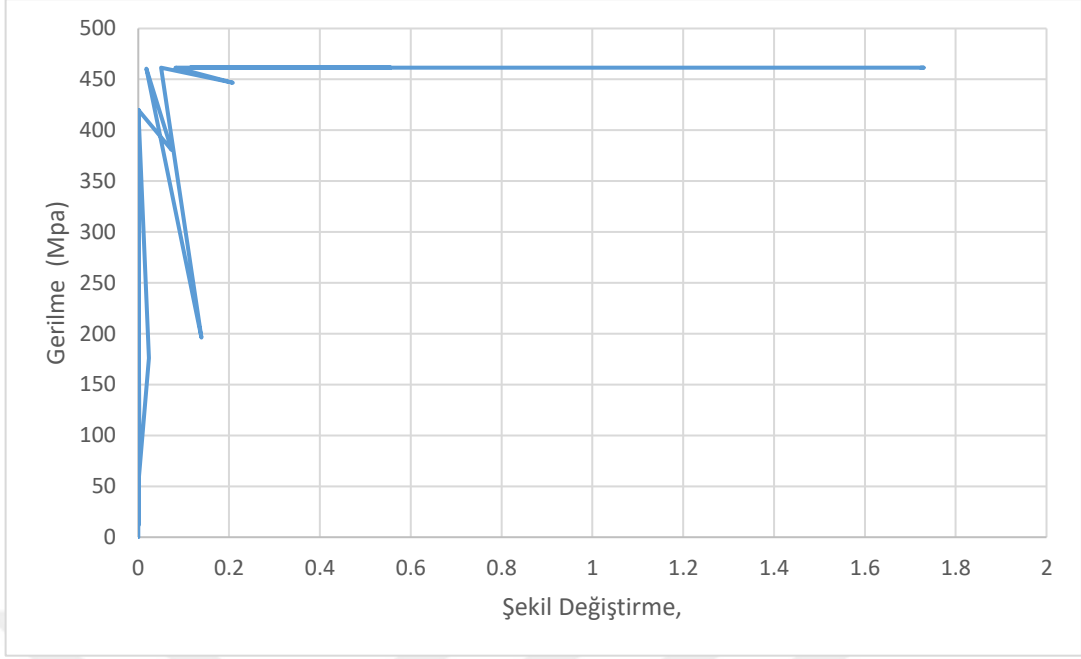
Şekil 5.82 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

C60 beton dayanımına ve 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, Y doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.82’de gösterildiği gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 55 cm’lik mesafe boyunca etriyelerin basınç bölgesinde 420 MPa’da akma dayanımına ulaştıkları, 55 cm’lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 65 cm mesafedeki etriyenin basınç bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.83’te verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 65 cm mesafede etriyelerin basınç bölgesinde oluşan max. gerilme 358 MPa olarak not edilmiştir.



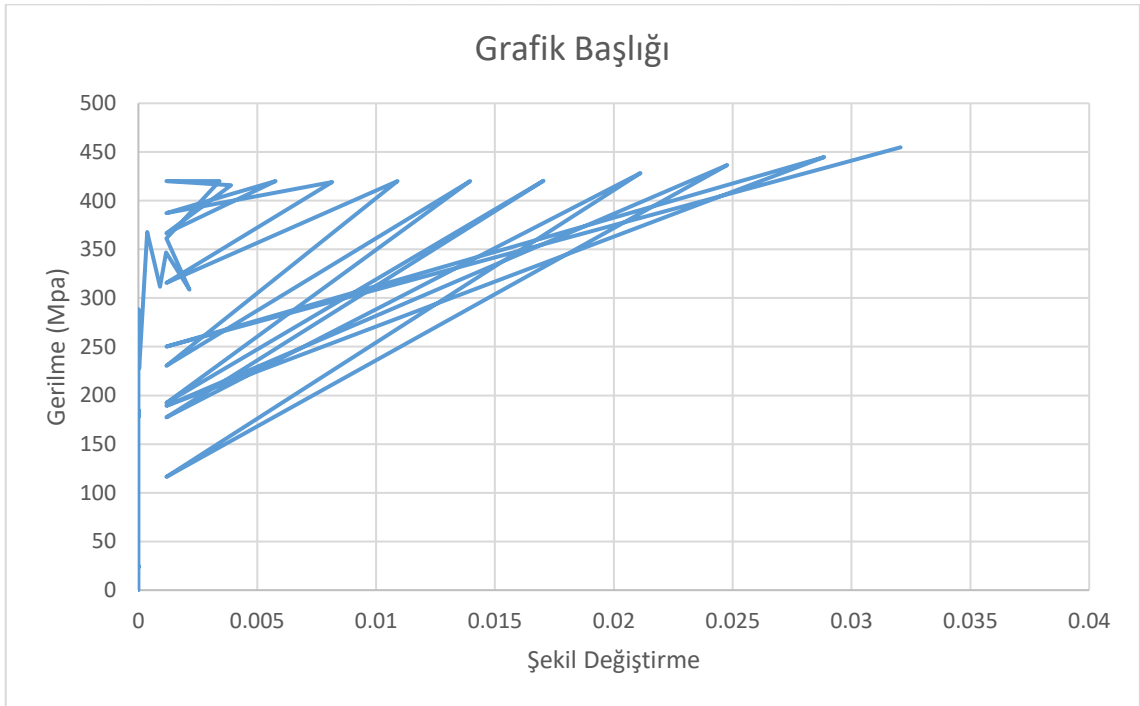
Şekil 5.83 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 65 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme

Etriyelerin basınç bölgesinde oluşan gerilmelerin yanısıra çekme bölgesinde oluşan gerilmeler de incelenerek not edilmiş ve Şekil 5.84’de gösterilmiştir.



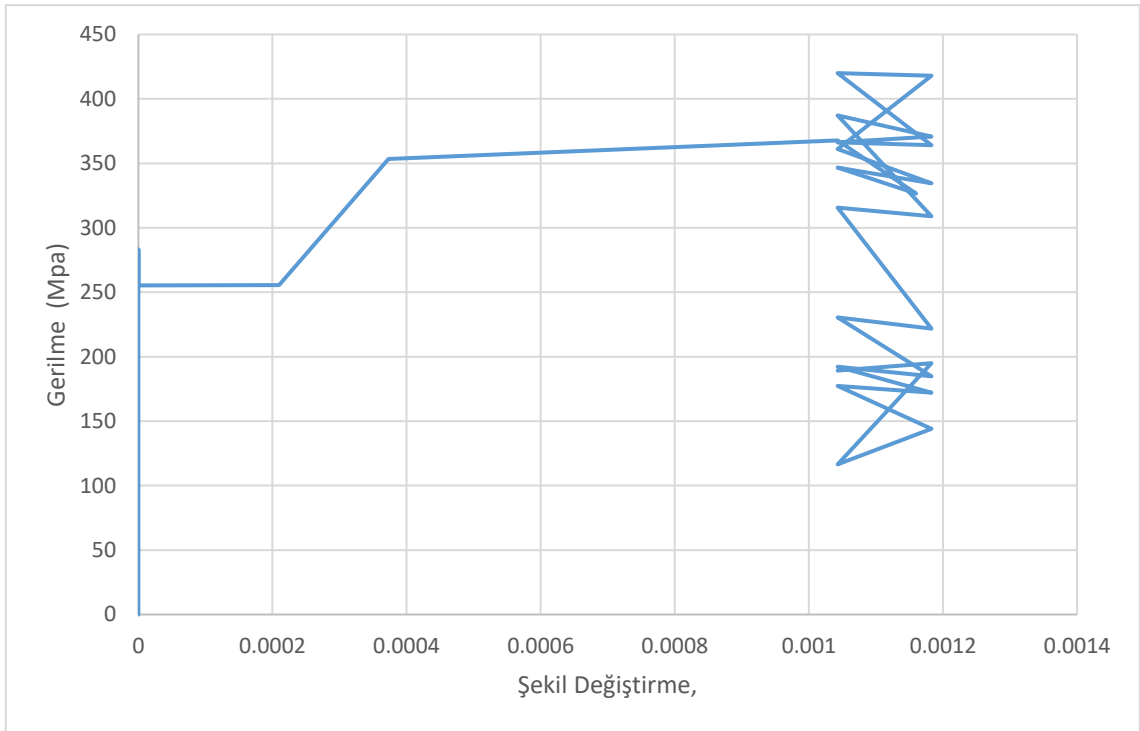
Şekil 5.84 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.84'den de görüldüğü üzere çekme orta bölgesindeki etriyeler, düşük gerilmelerde ard arda birkaç defa akmaya uğramış ve ani bir gerilme artışı ile 461 MPa'da kopmaya uğramıştır.



Şekil 5.85 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 45 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

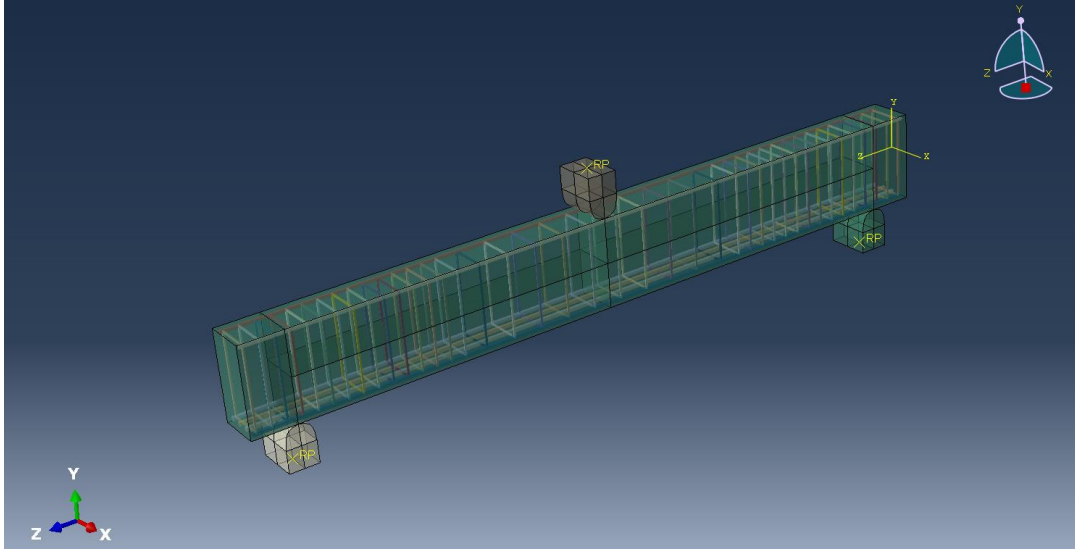
C60 beton dayanımına ve 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, Y doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.85'te gösterildiği gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 45 cm'lik mesafe boyunca etriyelerin çekme bölgesinde 420 MPa'da akma dayanımına ulaştıkları, 45 cm'lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 55 cm mesafedeki etriyenin çekme bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.86'da verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 55 cm mesafede etriyelerin çekme bölgesinde oluşan max. gerilme 417 MPa olarak not edilmiştir.



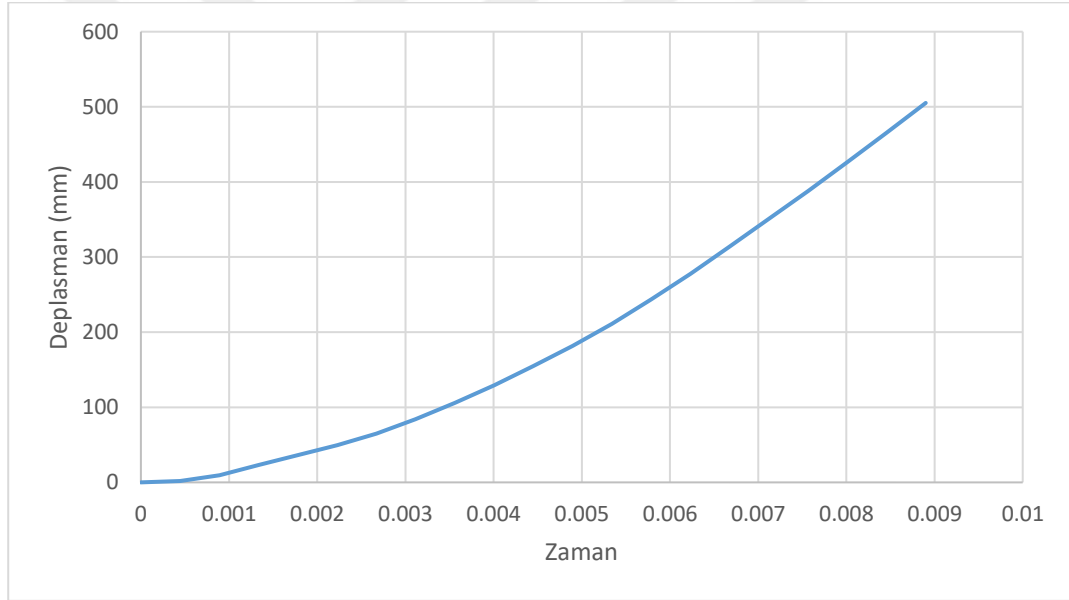
Şekil 5.86 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme

5.3.3 Sıklaştırma Bölgesi 10 cm, Orta Bölgesi 20 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Numunesinin Y Doğrultusundaki Analiz

Autocad ile tasarlanan Şekil 3.5'teki kiriş numunesi Abaqus programında modellenmiş ve kiriş genişliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Numunenin modellenmiş hali Şekil 5.87'de gösterilmiştir.

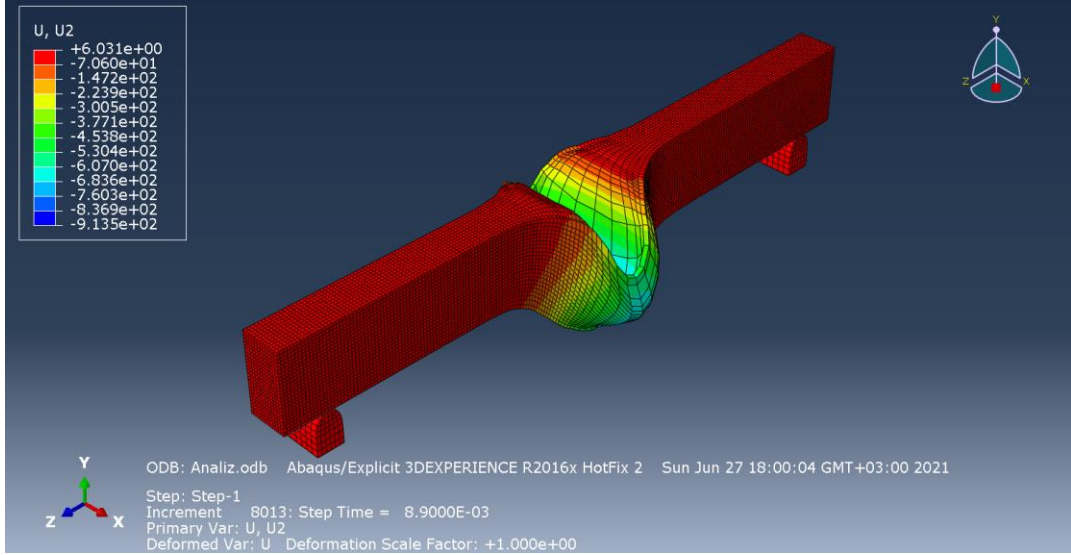


Şekil 5.87 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli

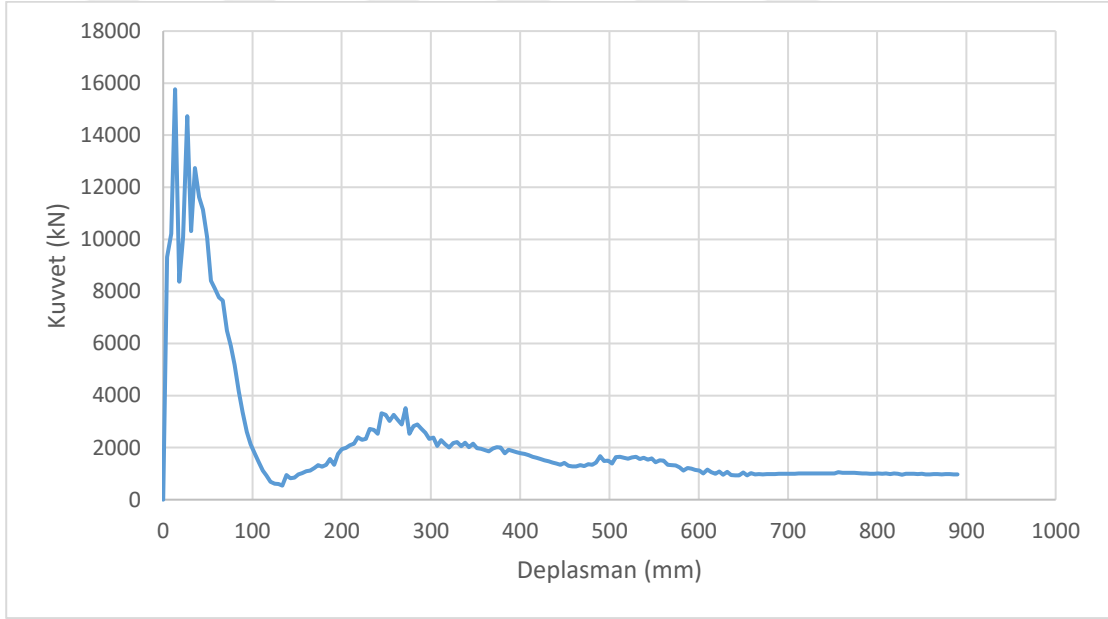


Şekil 5.88 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği

C60 orta bölgede 20 cm, sıkılaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesinin alt orta noktasının U2 doğrultusunda yaptığı max. deplasman 505 mm olarak belirlenmiş ve Şekil 5.88'de gösterilmiştir. Şekil 5.89'da ise C60 orta bölgede 20 cm, sıkılaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip olan kirişin darbe yükü altında U2 doğrultusunda deforme olmuş haline yer verilmiştir.

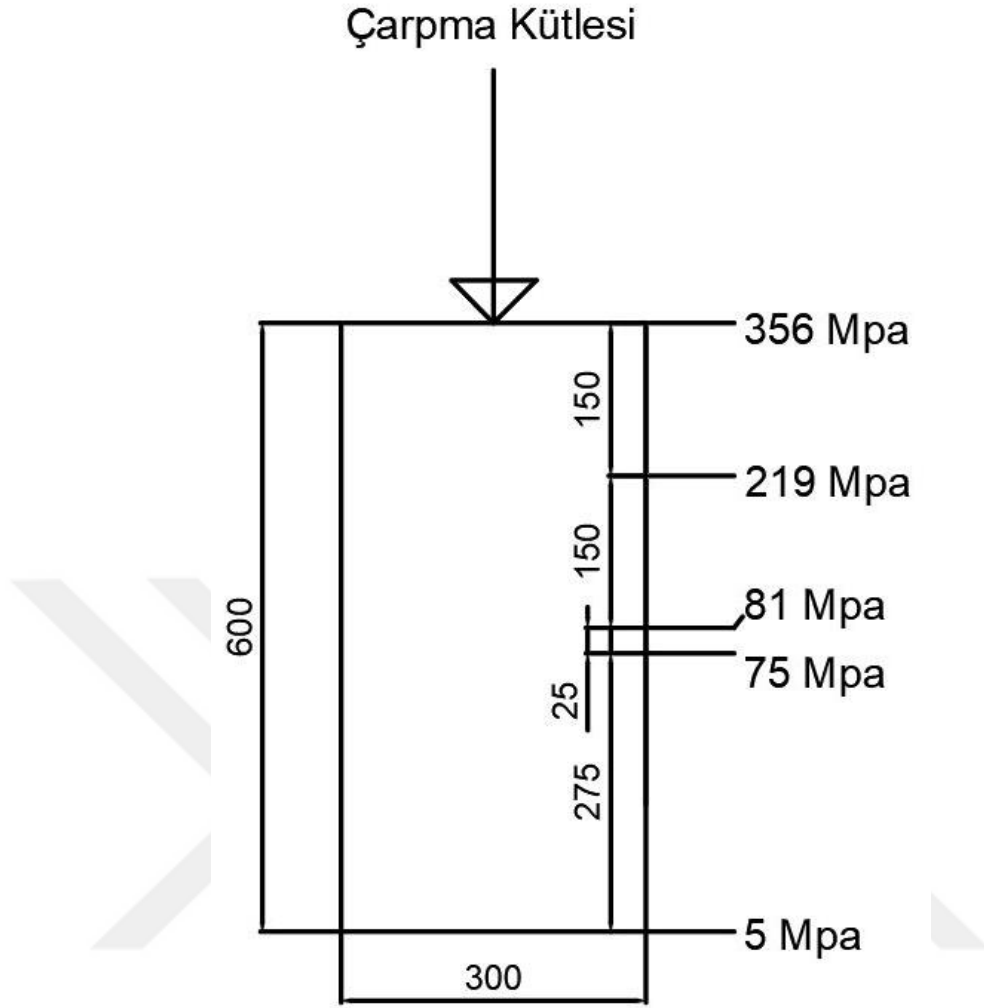


Şekil 5.89 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U2 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman



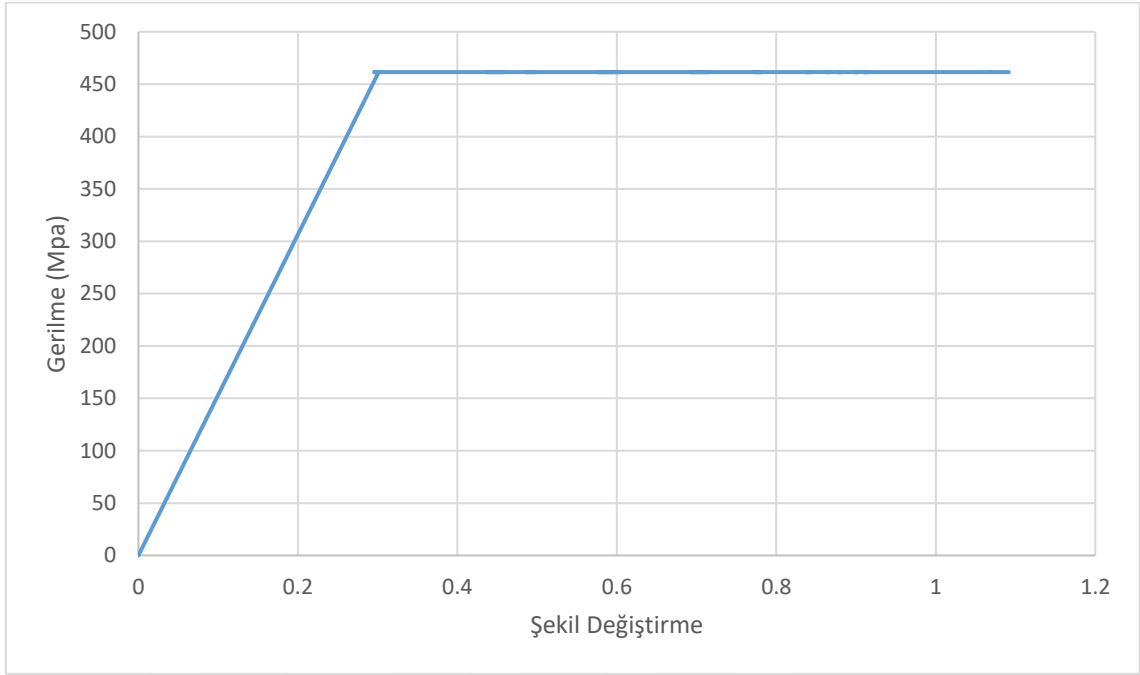
Şekil 5.90 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği

Şekil 5.91’de kirişin darbe yüküne maruz kalmasıyla çarpma kütlelerinin farklı derinliklerde kiriş kesitinde oluşturduğu gerilmeler gözükmemektedir. Kirişin üst yüzeyinden itibaren belirli derinliklerde oluşan gerilmeler not edilmiş ve yaklaşık 325 mm derinliğe kadar C60 beton dayanımını geçtiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak betonda 325 mm derinliğe kadar hasarların oluşarak dökülmelerin ve kırılmaların meydana geldiği çıkarımında bulunulmuştur.

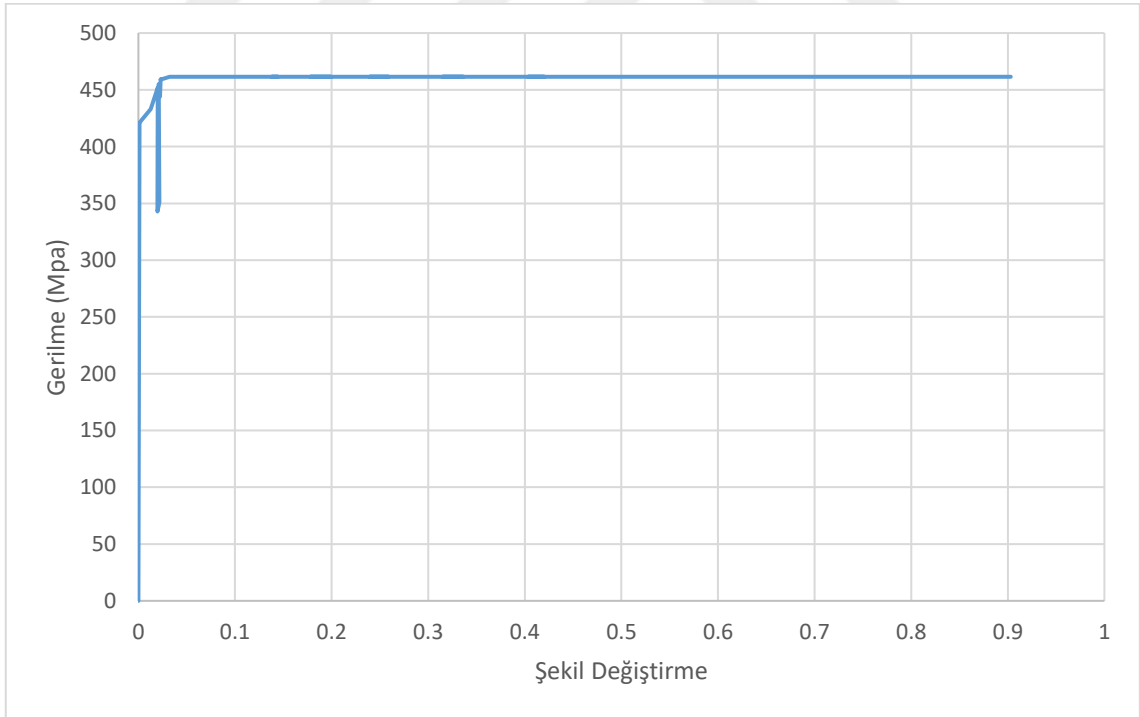


Şekil 5.91 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı

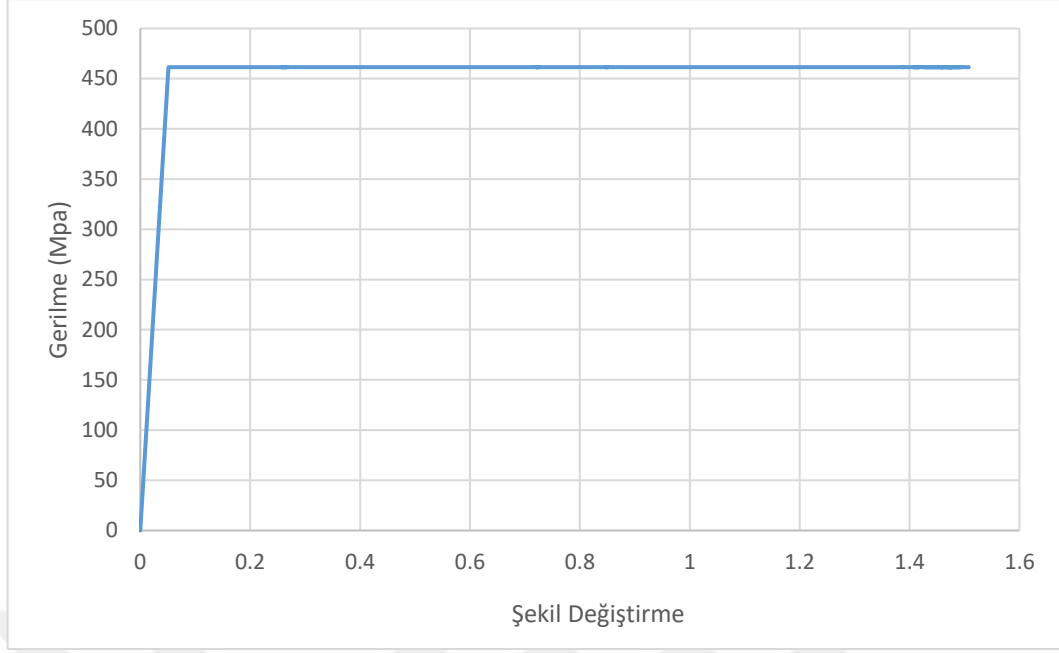
Kiriş kesitinde oluşan gerilmelerin yanısıra boyuna basınç, çekme donatılarında ve etriyelerde oluşan gerilmeler de incelenmiş ve Şekil 5.92-99'da gösterilmiştir. Şekil 5.92'de boyuna donatılarda, basınç bölgesinde ani bir gerilme artışı ile S420 çeliğinin 461 MPa'da akmaya uğradığı gözlemlenirken, Şekil 5.93'te çekme bölgesinde donatıların karakteristik bir davranışla 420 MPa'da akmaya uğradığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.92 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

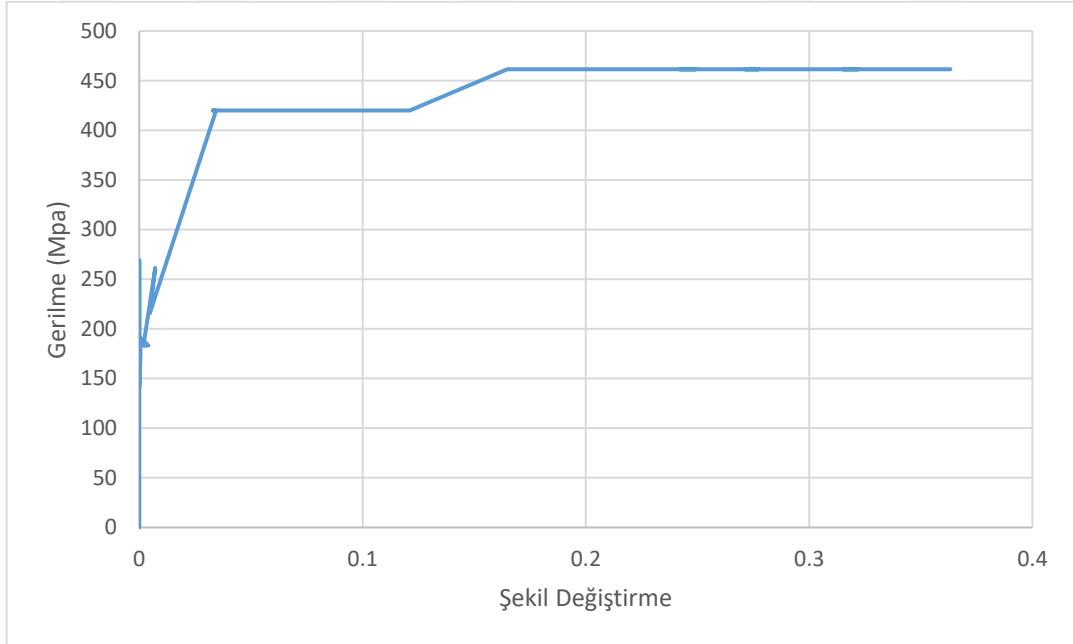


Şekil 5.93 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme



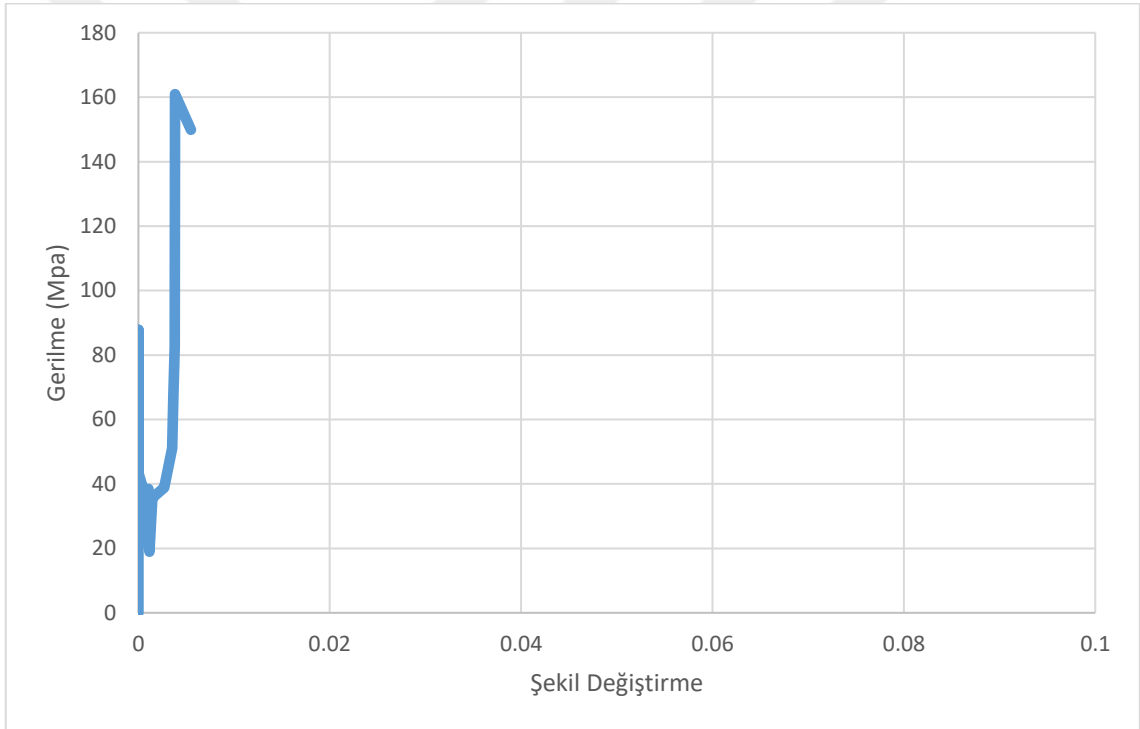
Şekil 5.94 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.94'ten de görüldüğü üzere basınç orta bölgesindeki etriyeler de boyuna basınç donatılarının gösterdiği davranışı sergilemiş ve ani bir gerilme artışı ile 461 MPa'da akmaya uğramıştır.



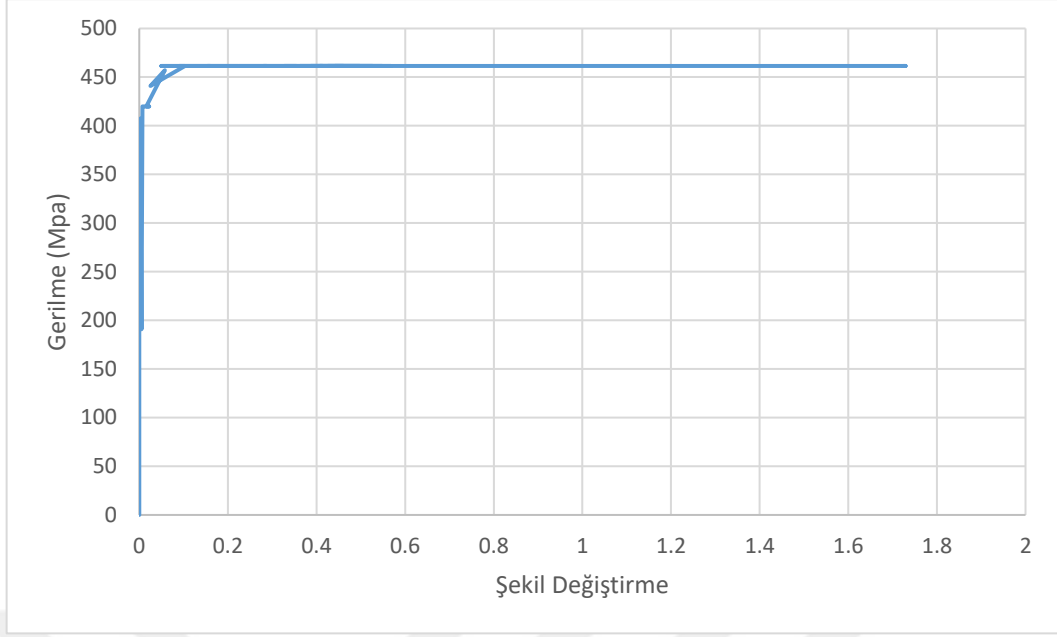
Şekil 5.95 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

C25 beton dayanımına ve orta bölgelerde 20 cm, sıklaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, Y doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.95'te görüldüğü gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 50 cm'lik mesafe boyunca etriyelerin basınç bölgesinde 420 MPa'da akma dayanımına ulaştıkları, 50 cm'lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 70 cm mesafedeki etriyenin basınç bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.96'da verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 70 cm mesafede etriyelerin basınç bölgesinde oluşan max. gerilme 160 MPa olarak not edilmiştir.



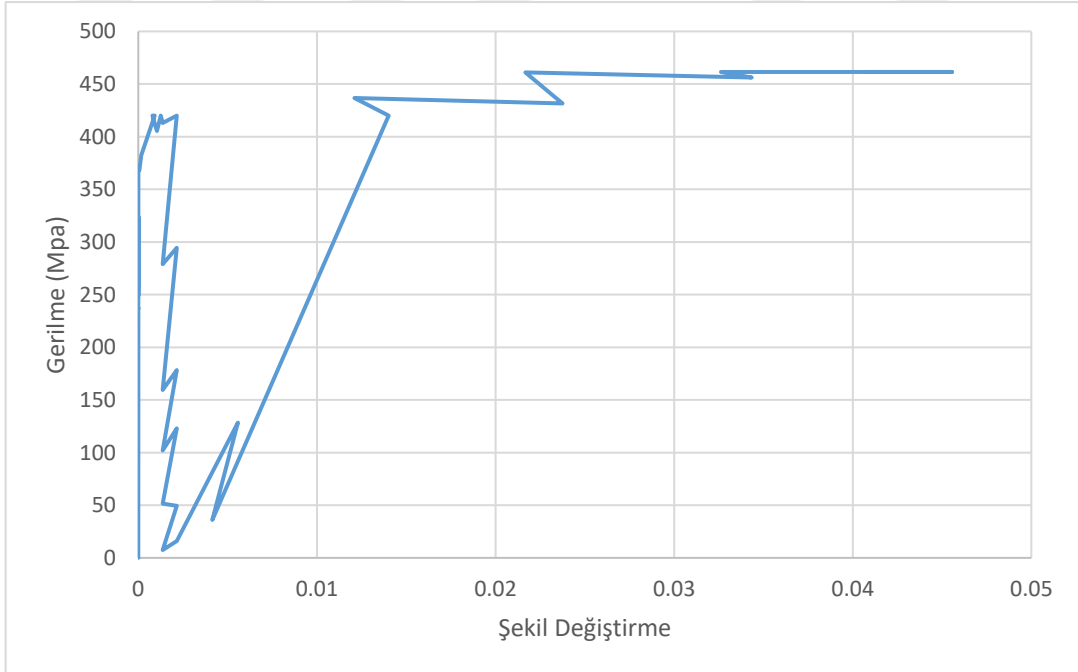
Şekil 5.96 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 70 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme

Etriyelerin basınç bölgesinde oluşan gerilmelerin yanısıra çekme bölgesinde oluşan gerilmeler de incelenerek not edilmiş ve Şekil 5.97'de gösterilmiştir.



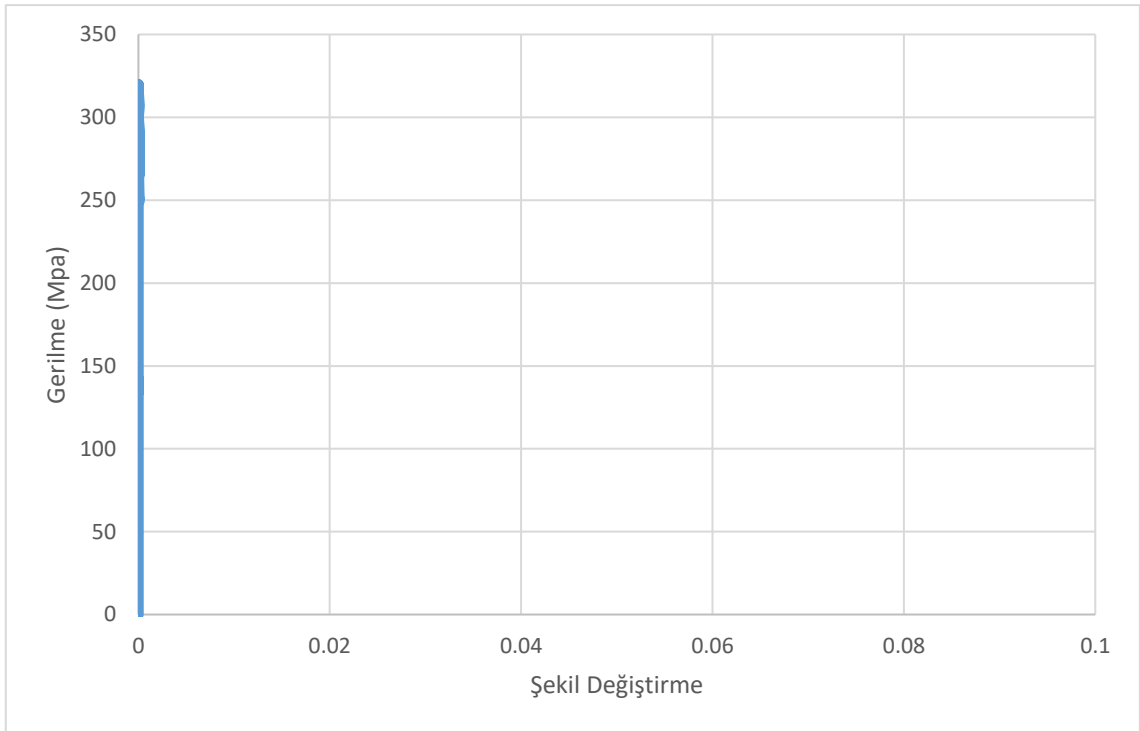
Şekil 5.97 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.97’den de görüldüğü üzere çekme orta bölgesindeki etriyeler 420 MPa’da akma davranışı sergilemiş ve ani bir gerilme artışı ile 461 MPa’da kopmaya uğramıştır.



Şekil 5.98 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm’lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

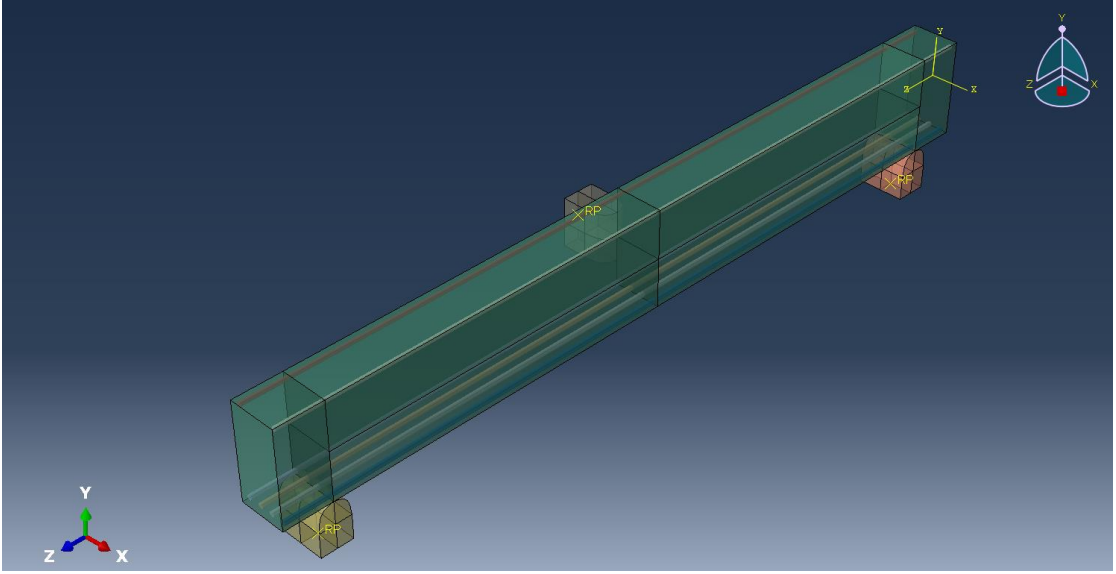
C60 beton dayanımına ve orta bölgelerde 20 cm, sıklaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, Y doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.98'den görüldüğü gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 50 cm'lik mesafe boyunca etriyelerin çekme bölgesinde 420 MPa'da akma dayanımına ulaştıkları, 50 cm'lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 70 cm mesafedeki etriyenin çekme bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.99'da verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 70 cm mesafedeki max. gerilme 319 MPa olarak not edilmiştir.



Şekil 5.99 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 70 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değiştirme

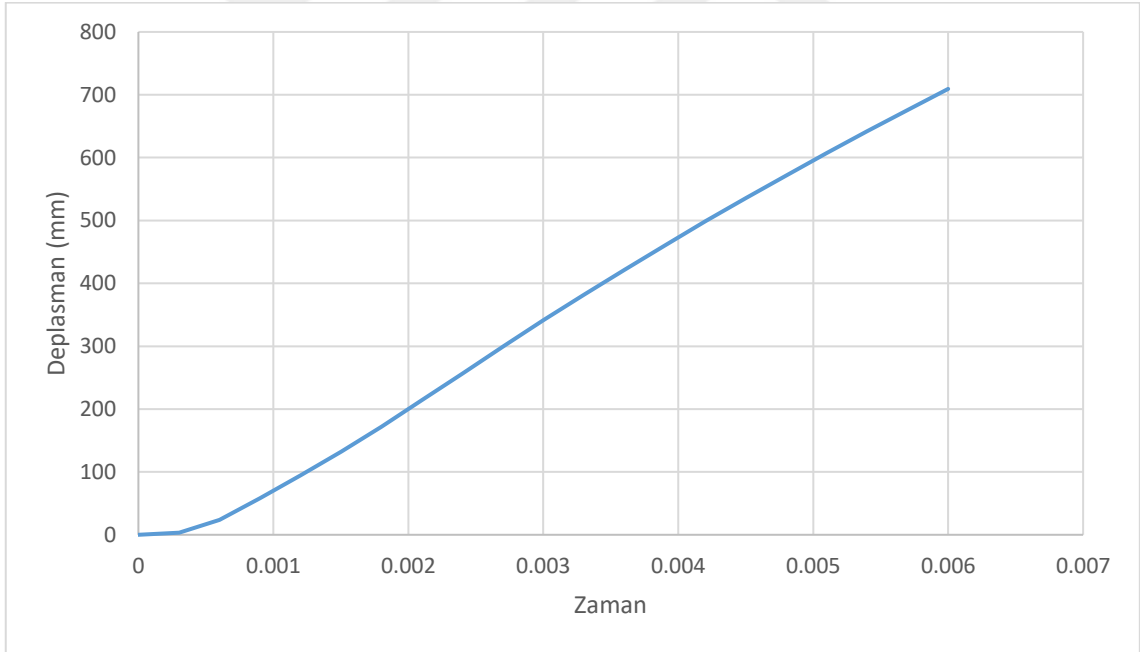
5.3.4 Etriyesiz Kiriş Numunesinin X Doğrultusundaki Analizi

Autocad ile tasarlanan Şekil 3.3'teki kiriş numunesi Abaqus programında modellenmiş ve kiriş yüksekliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Numunenin modellenmiş hali Şekil 5.100'de gösterilmiştir.



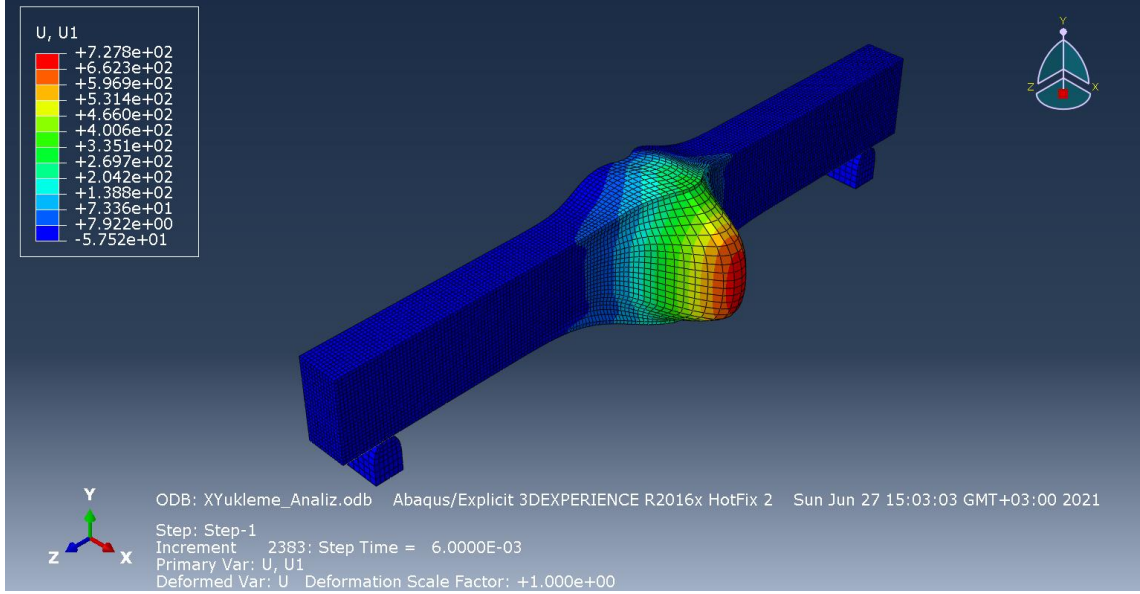
Şekil 5.100 C60 Etriyesiz Kiriş Modeli

Kirişin analizinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.101-106'da verilmiştir.

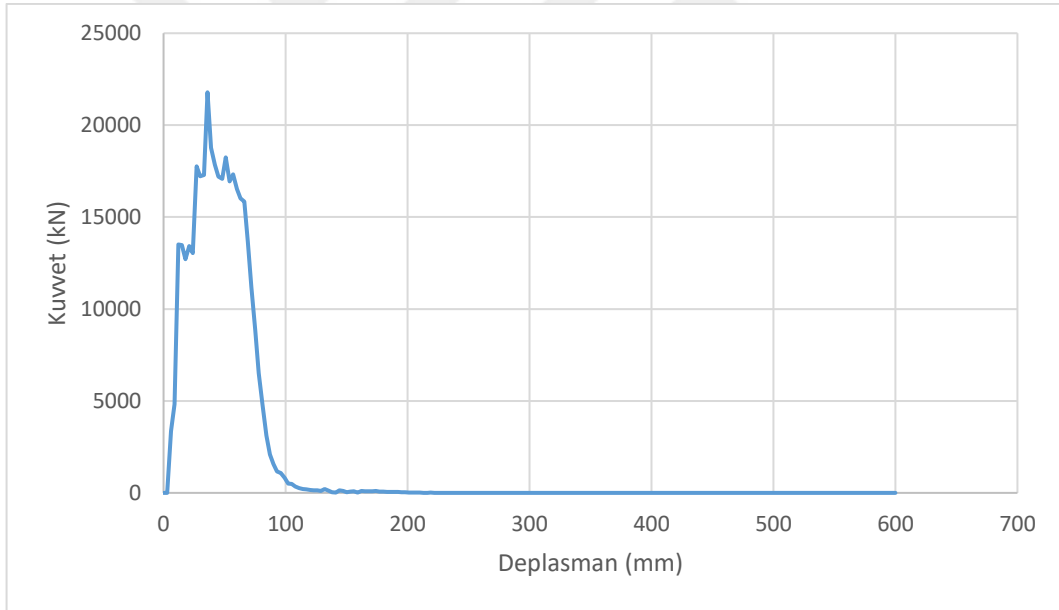


Şekil 5.101 C60 Etriyesiz Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği

C60 etriyesiz kiriş numunesinin yüksekliğinin orta noktasının U1 doğrultusunda yaptığı max. deplasman 709 mm olarak belirlenmiş ve Şekil101'de gösterilmiştir. Şekil 5.102'da ise C25 etriyesiz kirişin darbe yükü altında U1 doğrultusundaki deforme olmuş haline yer verilmiştir.

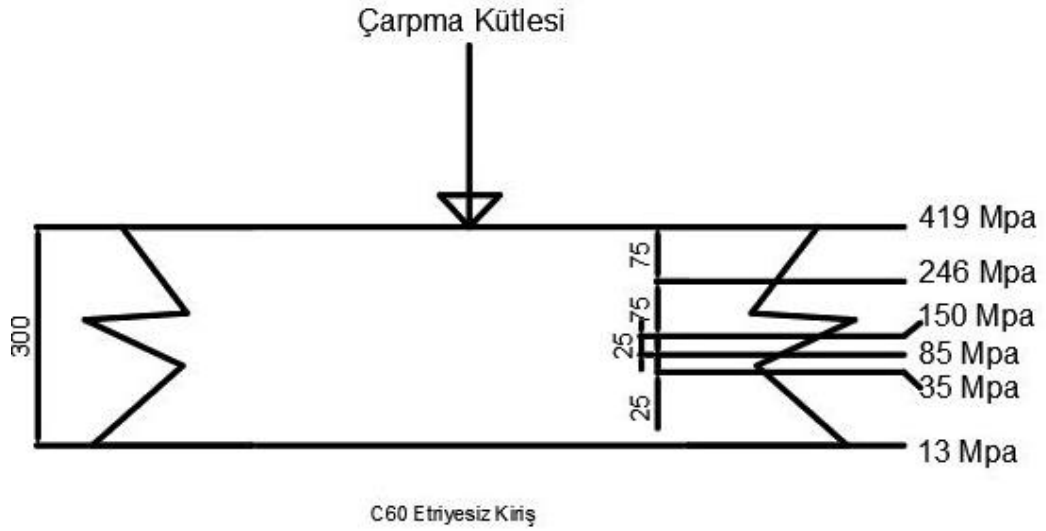


Şekil 5.102 C60 Etriyesiz Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman



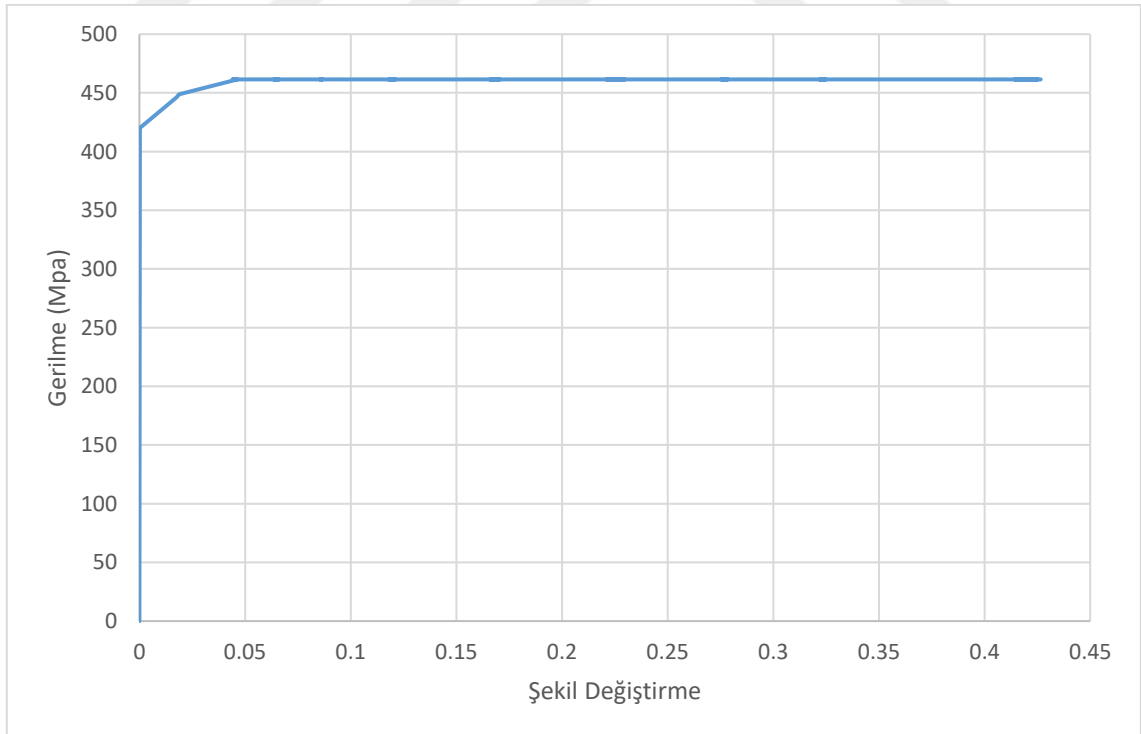
Şekil 5.103 C60 Etriyesiz Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği

Şekil 5.104'te kirişin darbe yüküne maruz kalmasıyla çarpma kütesinin farklı derinliklerde kiriş kesitinde oluşturduğu gerilmeler gözükmemektedir. Kirişte yükün etkilediği yüzeyden itibaren belirli derinliklerde oluşan gerilmeler not edilmiş ve 175 mm derinliğe kadar C60 beton dayanımını geçtiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak betonda 175 mm derinliğe kadar hasarların oluşarak dökülmelerin ve kırılmaların meydana geldiği çıkarımında bulunulmuştur.

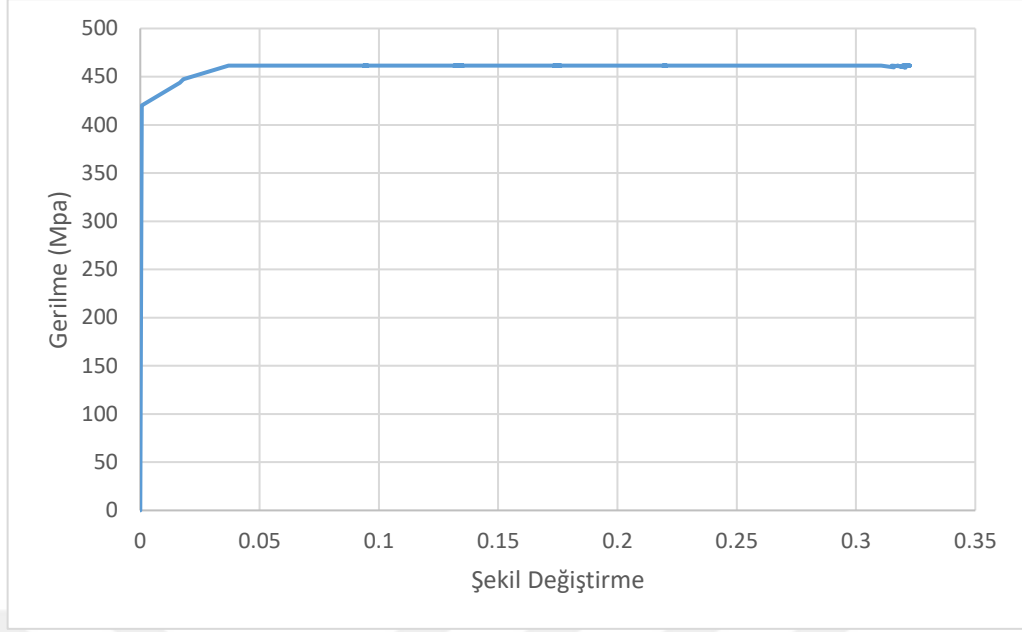


Şekil 5.104 C60 Etriyersiz Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı

Kiriş kesitinde oluşan gerilmelerin yanısıra boyuna basınç ve çekme donatılarında oluşan gerilmeler de incelenmiş ve Şekil 5.105, Şekil 5.106'da gösterilmiştir. Donatılarda, basınç ve çekme bölgesinde donatıların benzer davranış sergileyip ani gerilme artışlarına maruz kaldıkları görülmüştür. Bunun yanında hem basınç hem de çekme bölgesinde donatıların 461 MPa'da kopmaya uğradığı gözlemlenmiştir.



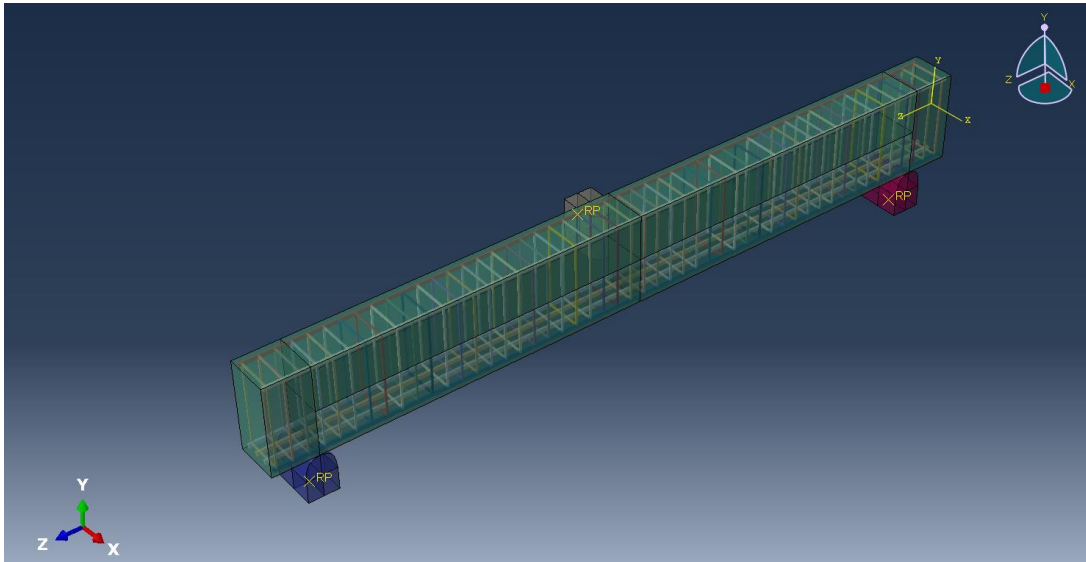
Şekil 5.105 C60 Etriyersiz Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme



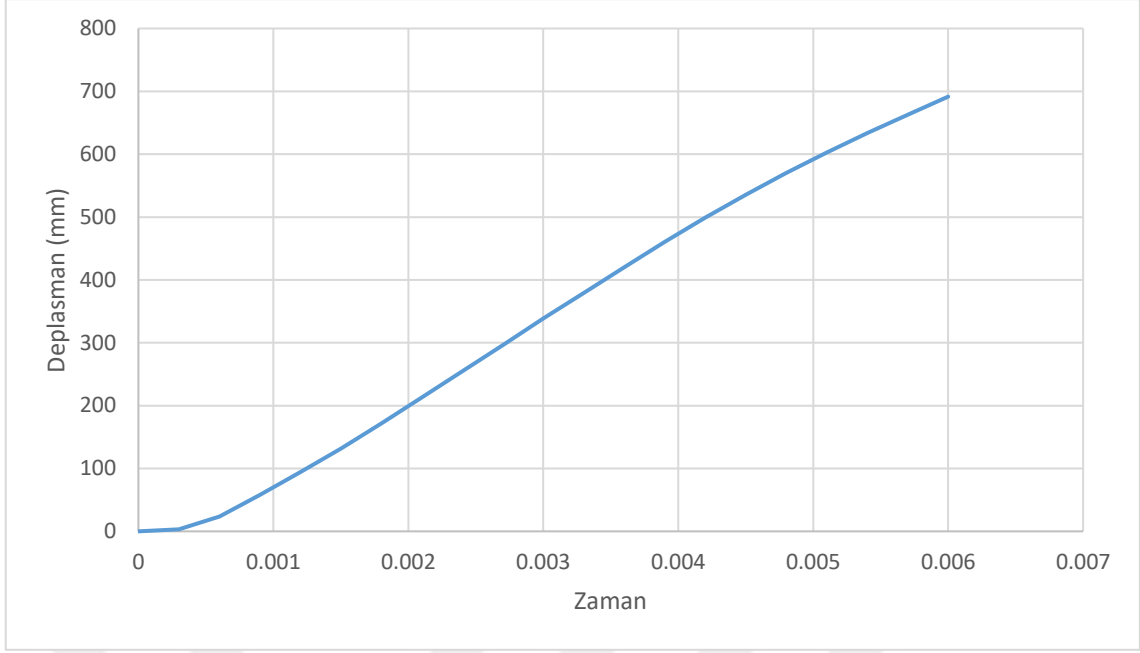
Şekil 5.106 C60 Etriyesiz Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

5.3.5 Kiriş Boyunca 10 cm Etriye Aralığına Sahip Olan Kiriş Numunesinin X Doğrultusundaki Analizi

Autocad ile tasarlanan Şekil 3.4'teki kiriş numunesi Abaqus programında modellenmiş ve kiriş yüksekliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Numunenin modellenmiş hali Şekil 5.107'de gösterilmiştir.

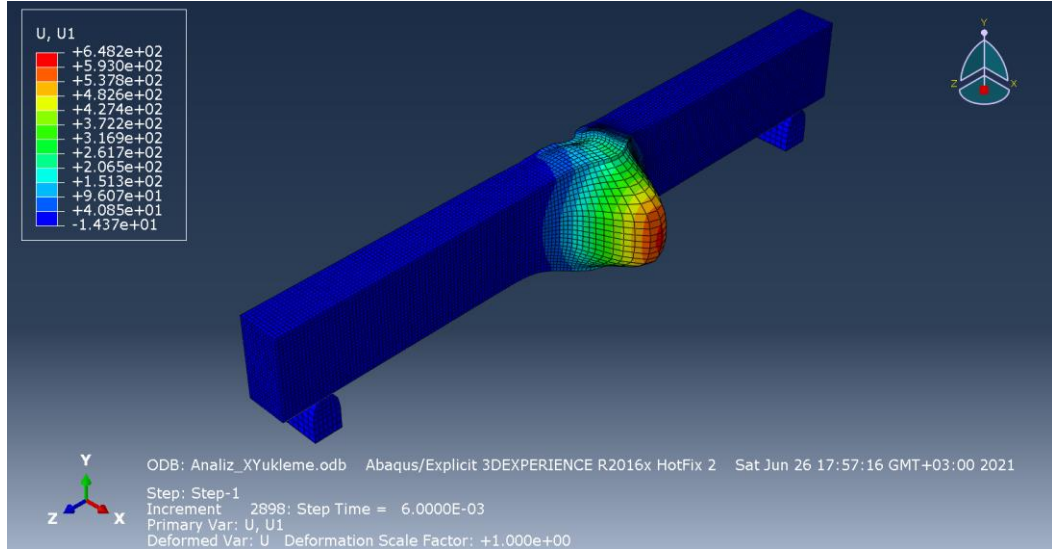


Şekil 5.107 C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli

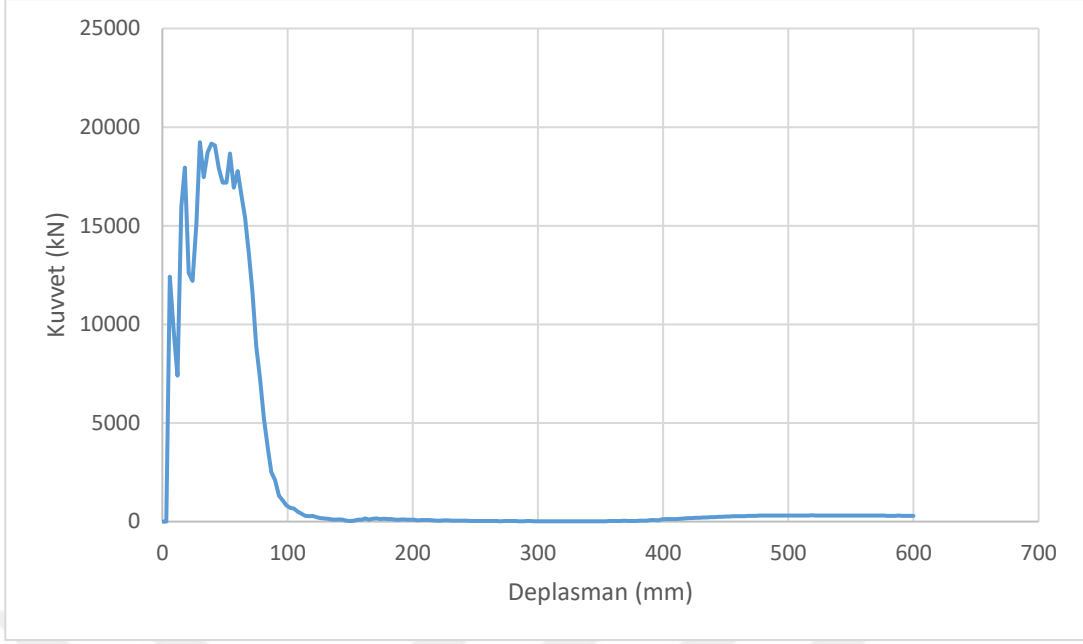


Şekil 5.108 C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği

C60 10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesinin yüksekliğinin orta noktasının U1 doğrultusunda yaptığı max. deplasman 691 mm olarak belirlenmiş ve Şekil 5.108’de gösterilmiştir. Şekil 5.109’da ise C60 10 cm etriye aralığına sahip olan kirişin darbe yükü altında U1 doğrultusunda deforme olmuş haline yer verilmiştir.

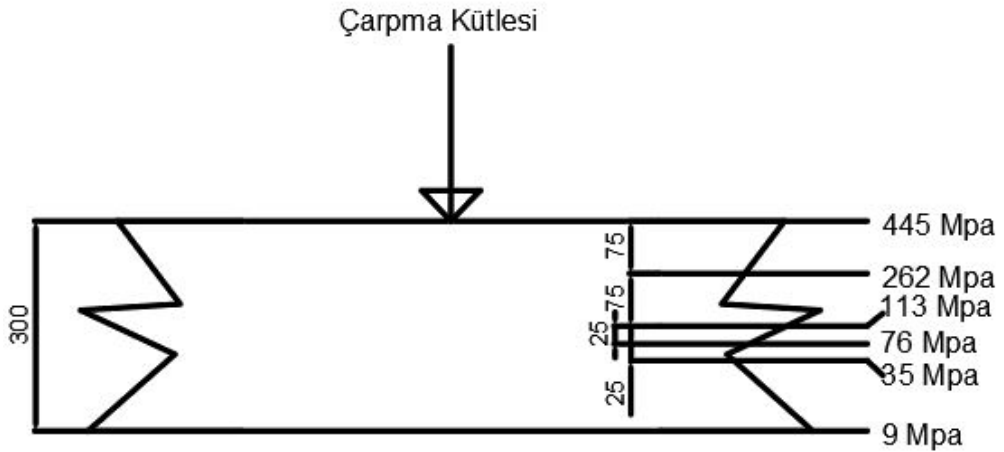


Şekil 5.109 C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman



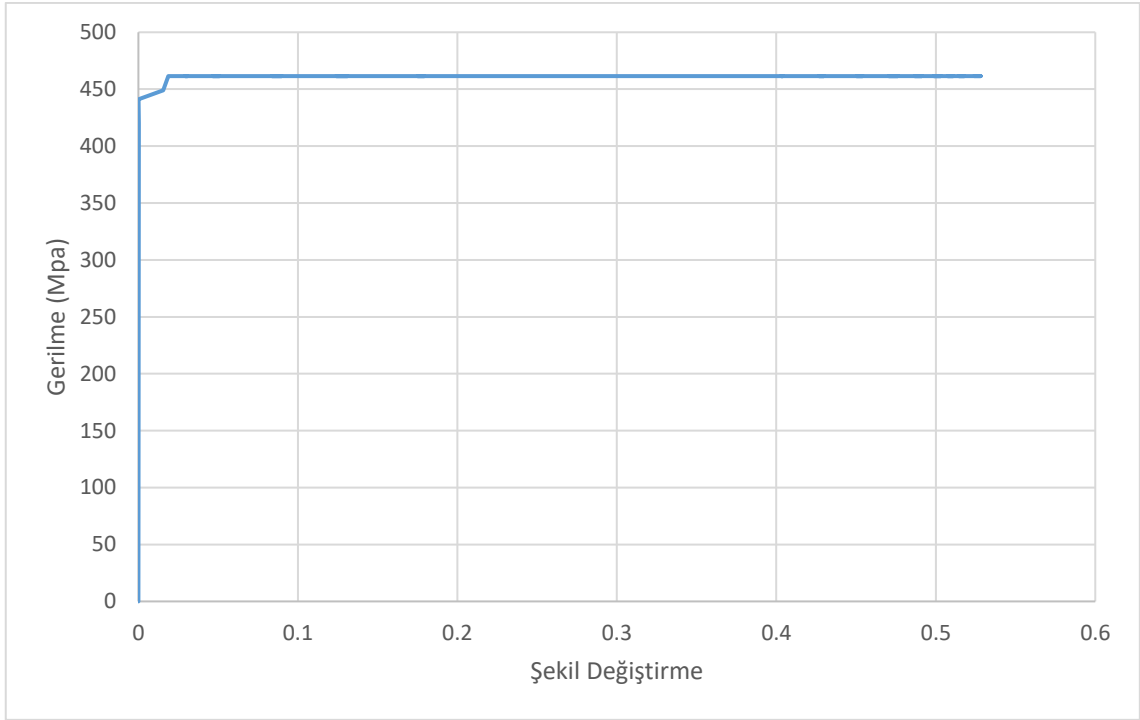
Şekil 5.110 C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği

Şekil 5.111’de kirişin darbe yüküne maruz kalmasıyla çarpma kütesinin farklı derinliklerde kiriş kesitinde oluşturduğu gerilmeler gözükmemektedir. Kirişte yükün etkidiği yüzeyden itibaren belirli derinliklerde oluşan gerilmeler not edilmiş ve yaklaşık 175 mm derinliğe kadar C60 beton dayanımını geçtiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak betonda 175 mm derinliğe kadar hasarların oluşarak dökülmelerin ve kırılmaların meydana geldiği çıkarımında bulunulmuştur.

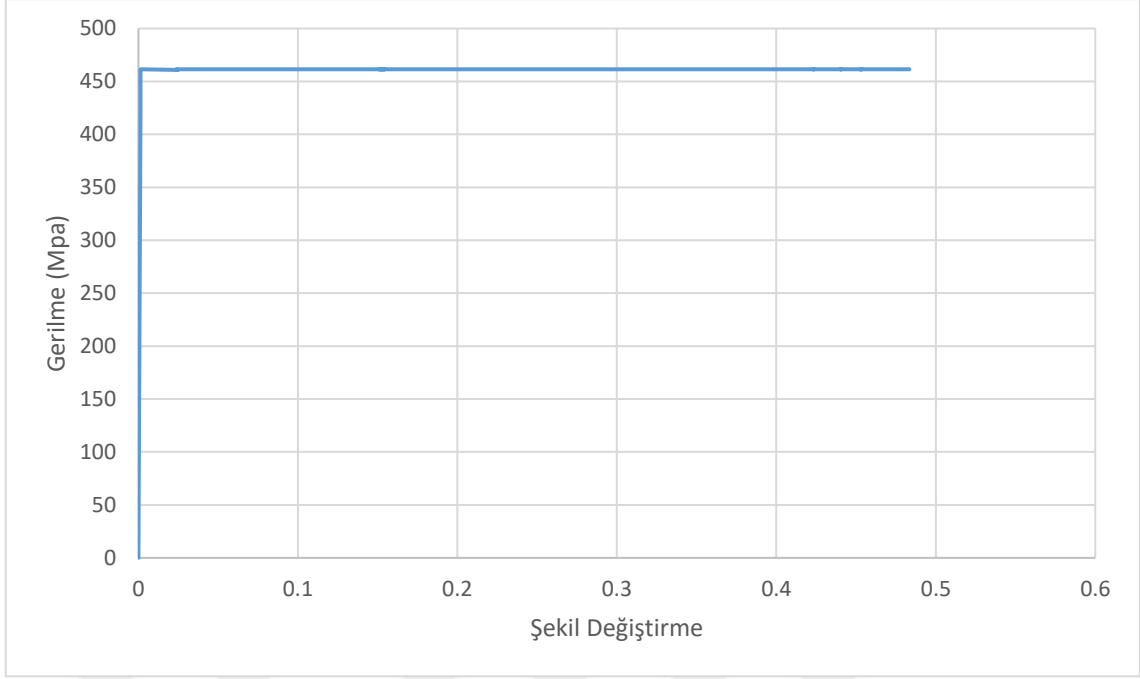


Şekil 5.111 C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı

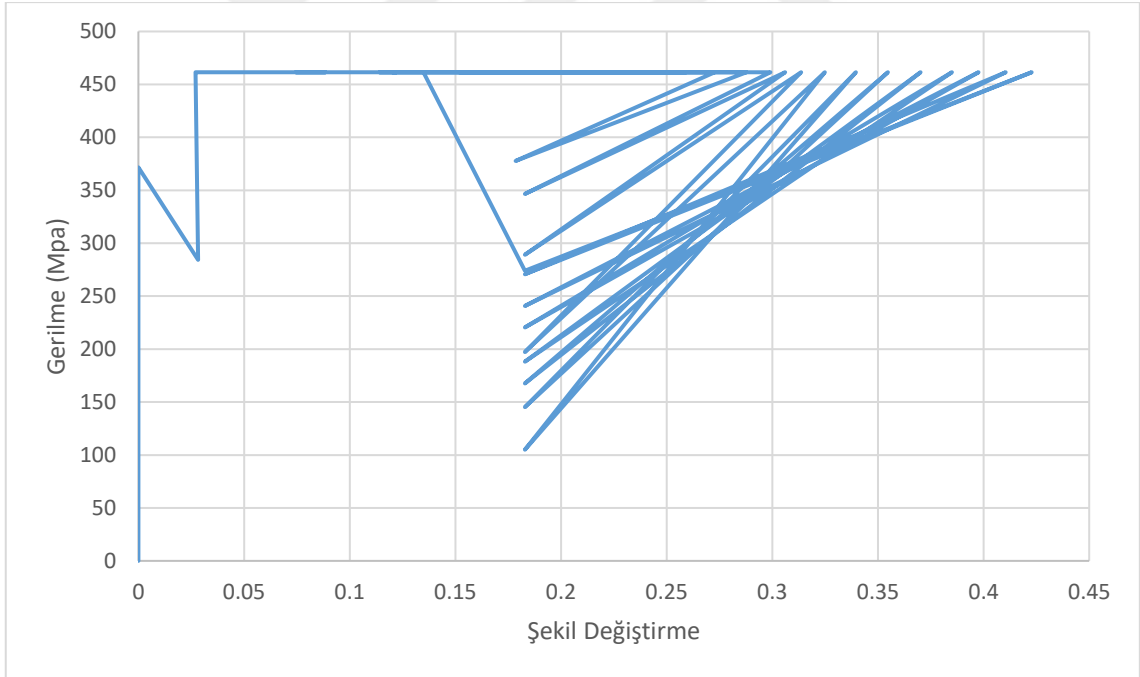
Kiriş kesitinde oluşan gerilmelerin yanısıra boyuna basınç, çekme donatılarında ve etriyelerde oluşan gerilmeler de incelenmiş ve Şekil 5.112-119'da gösterilmiştir. Şekil 5.112'de boyuna donatılarda, basınç bölgesinde S420 çeliğinin ani gerilme artışı ile 422 MPa'da akmaya uğradığı gözlemlenirken, Şekil 5.113'te çekme bölgesinde 460 MPa'da kopmaya uğradığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.112 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

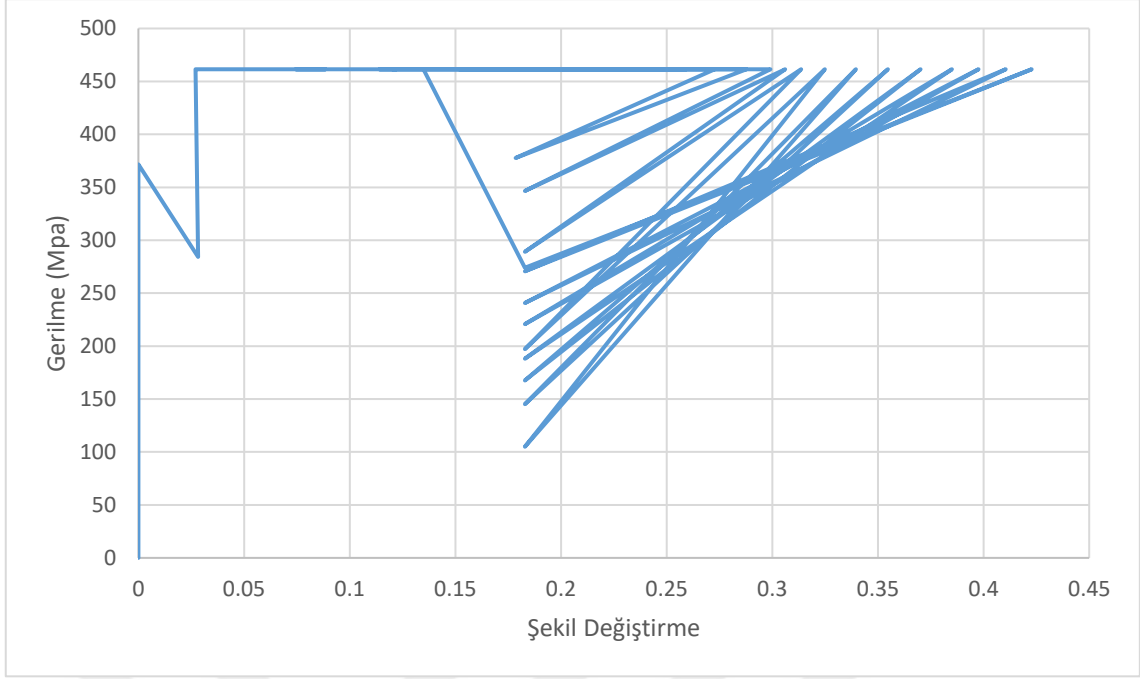


Şekil 5.113 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme



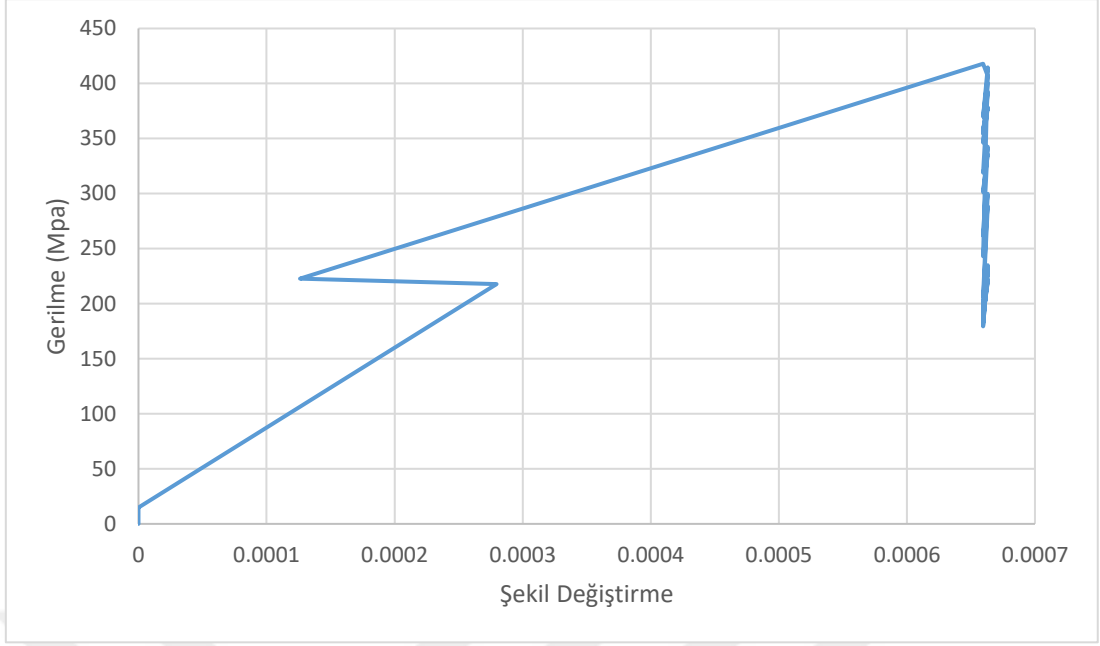
Şekil 5.114 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.114'ten de görüldüğü üzere basınç orta bölgesindeki etriyeler çok hızlı bir gerilme artışına maruz kalarak çok kısa bir sürede akma dayanımına ulaşmışlardır. Sonrasında etriyelerde max. gerilme meydana gelerek 461 MPa'da kopma oluşmuştur.



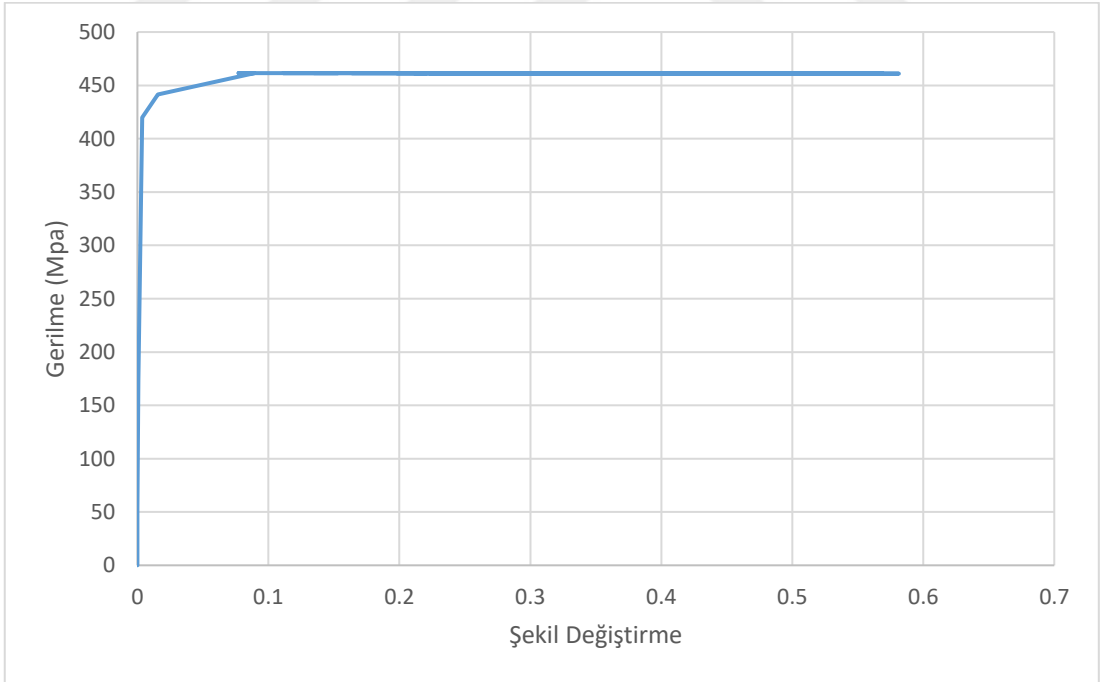
Şekil 5.115 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 45 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

C25 beton dayanımına ve 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, X doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.115'te gösterildiği gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 45 cm'lik mesafe boyunca etriyelerin basınç bölgesinde 420 MPa'da akma dayanımına ulaştıkları, 45 cm'lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 55 cm mesafedeki etriyenin basınç bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.116'da verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 55 cm mesafede etriyelerin basınç bölgesinde oluşan max. gerilme 417 MPa olarak not edilmiştir.



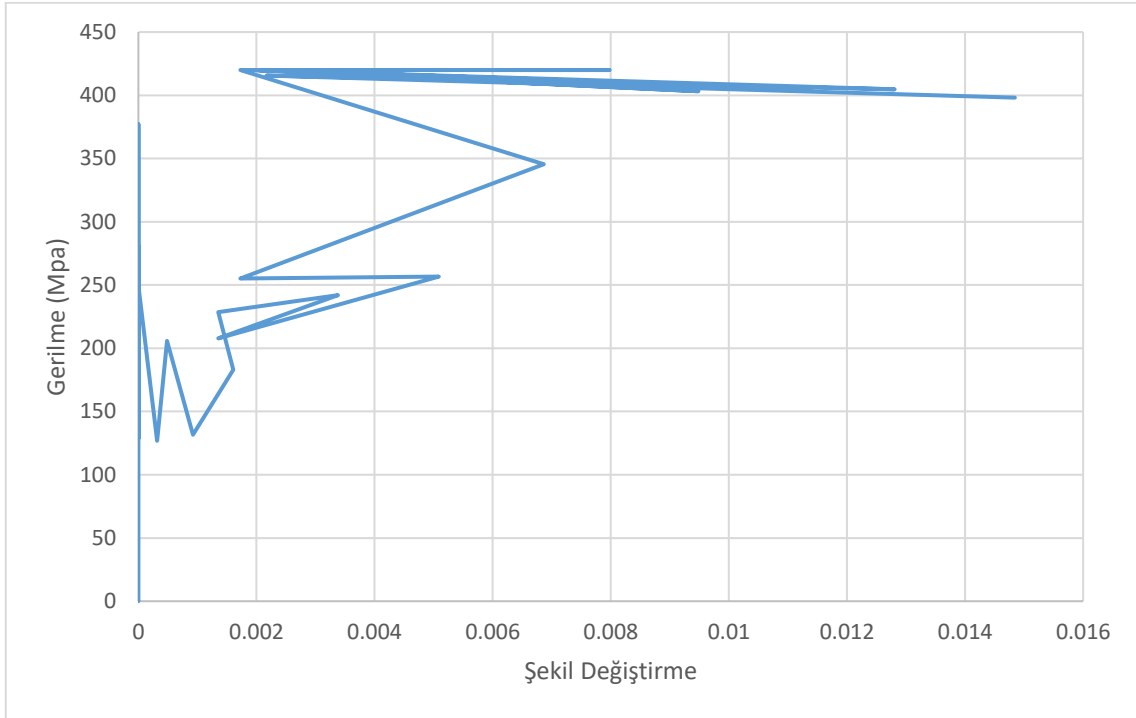
Şekil 5.116 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Etriyelerin basınç bölgesinde oluşan gerilmelerin yanısıra çekme bölgesinde oluşan gerilmeler de incelenerek not edilmiş ve Şekil 5.117’de gösterilmiştir.



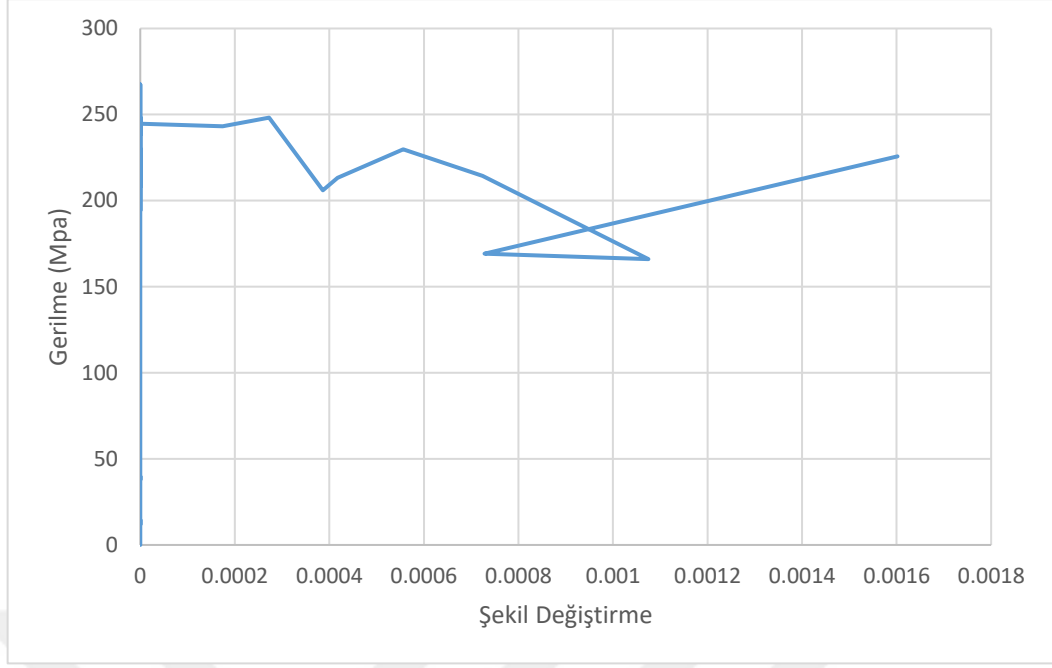
Şekil 5.117 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.117'den de görüldüğü üzere çekme orta bölgesindeki etriyelerin gerilmesi ani bir gerilme artışı ile 461 MPa'a ulaşmış ve kopmaya uğramıştır.



Şekil 5.118 C60 10 cm Etriye Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 55 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

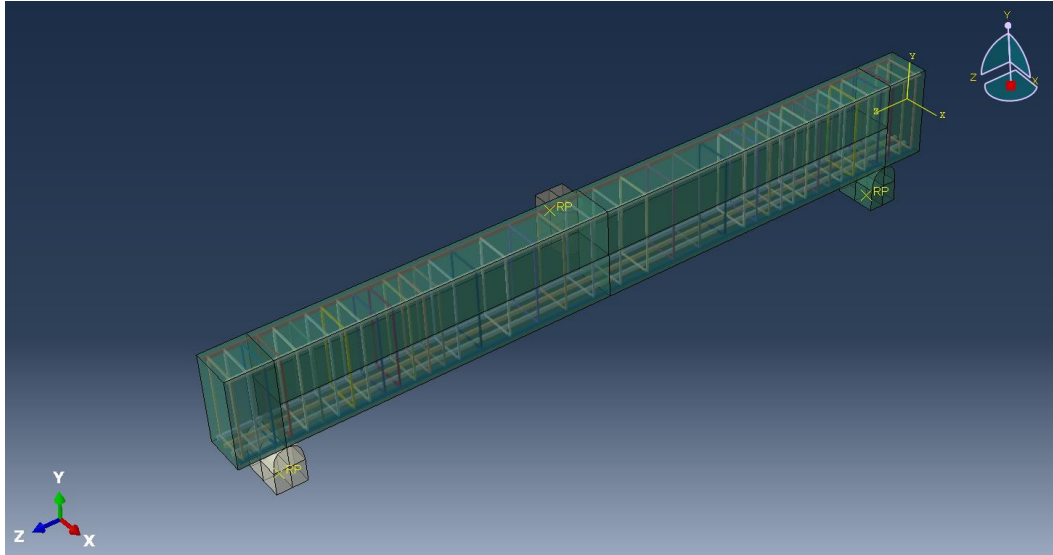
C60 beton dayanımına ve 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, X doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.118'de gösterildiği gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 55 cm'lik mesafe boyunca etriyelerin çekme bölgesinde 420 MPa'da akma dayanımına ulaştıkları, 55 cm'lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 65 cm mesafedeki etriyenin çekme bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.119'da verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 55 cm mesafede etriyelerin çekme bölgesinde etriyeler, 247 MPa'da akmaya uğramış ve gerilmeleri 267 MPa'a kadar çıkmıştır.



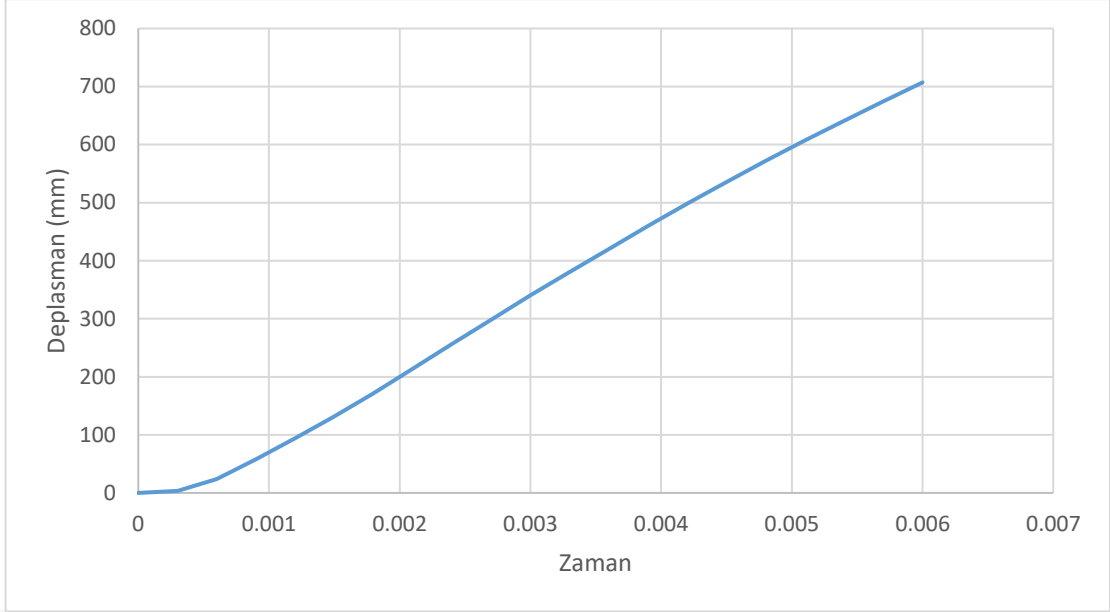
Şekil 5.119 C60 10 cm Etriyeli Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 65 cm Mesafede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

5.3.6 Sıklaştırma Bölgesi 10 cm, Orta Bölgesi 20 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Numunesinin X Doğrultusundaki Analiz

Autocad ile tasarlanan Şekil 3.5'teki kiriş numunesi Abaqus programında modellenmiş ve kiriş yüksekliğine dik olacak şekilde darbe yüküne maruz bırakılmıştır. Numunenin modellenmiş hali Şekil 5.120'de gösterilmiştir.

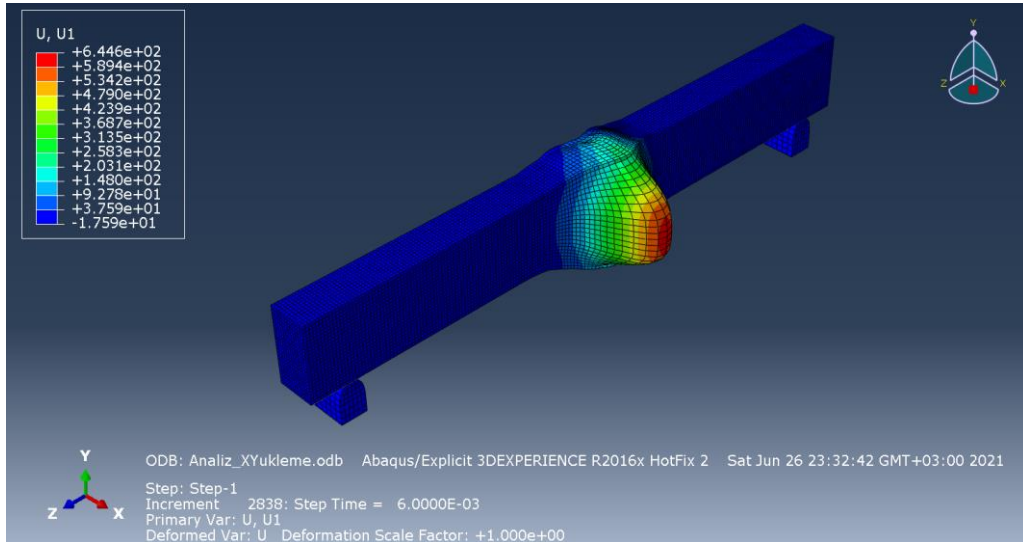


Şekil 5.120 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Modeli

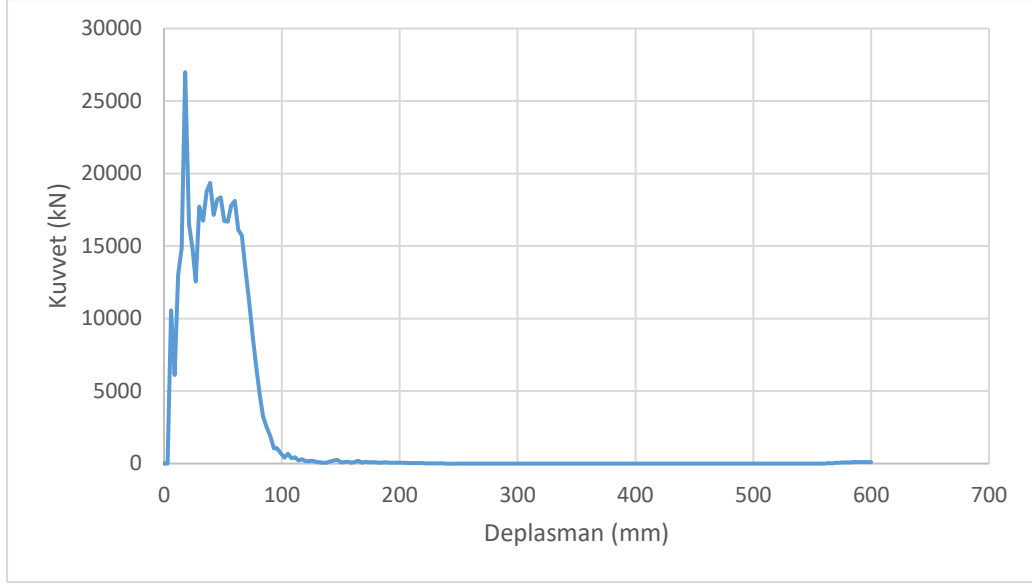


Şekil 5.121 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman Grafiği

C60 orta bölgede 20 cm, sıkılaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesinin yüksekliğinin orta noktasının U1 doğrultusunda yaptığı max. deplasman 707 mm olarak belirlenmiş ve Şekil 5.121’de gösterilmiştir. Şekil 5.122’de ise C60 orta bölgede 20 cm, sıkılaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip olan kirişin darbe yükü altında U1 doğrultusunda deforme olmuş haline yer verilmiştir.

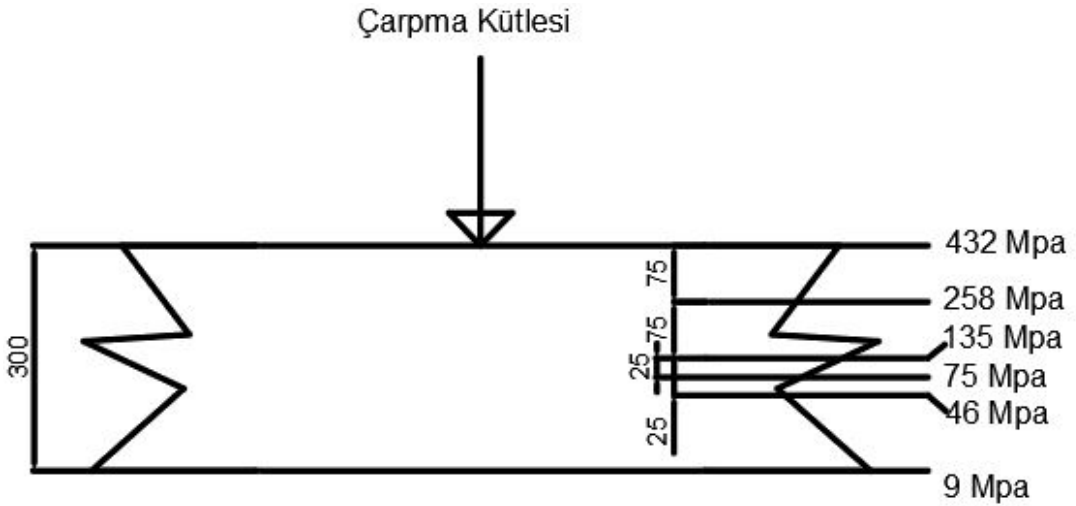


Şekil 5.122 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişte U1 Doğrultusunda Oluşan Max. Deplasman



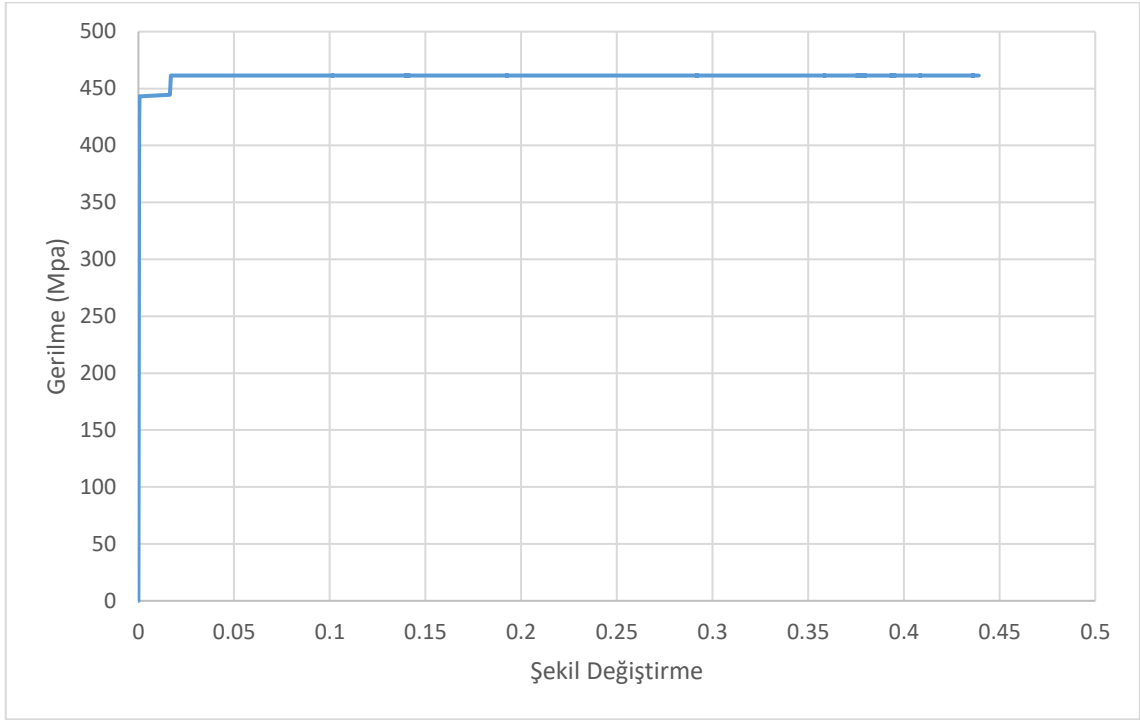
Şekil 5.123 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Orta Noktasında Oluşan Kuvvet-Deplasman Grafiği

Şekil 5.124'te kirişin darbe yüküne maruz kalmasıyla çarpma kütesinin farklı derinliklerde kiriş kesitinde oluşturduğu gerilmeler gözükmemektedir. Kirişte yükün etkidiği yüzeyden itibaren belirli derinliklerde oluşan gerilmeler not edilmiş ve yaklaşık 175 mm derinliğe kadar C60 beton dayanımını geçtiği gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak betonda 175 mm derinliğe kadar hasarların oluşarak dökülmelerin ve kırılmaların meydana geldiği çıkarımında bulunulmuştur.

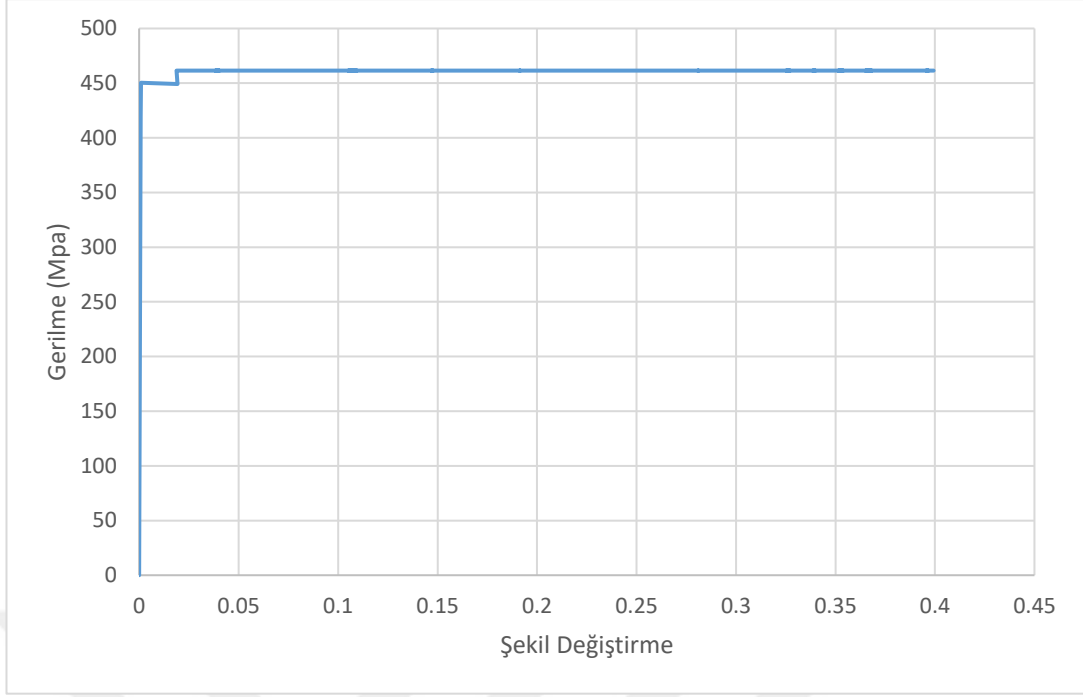


Şekil 5.124 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kiriş Kesitinde Oluşan Gerilme Dağılımı

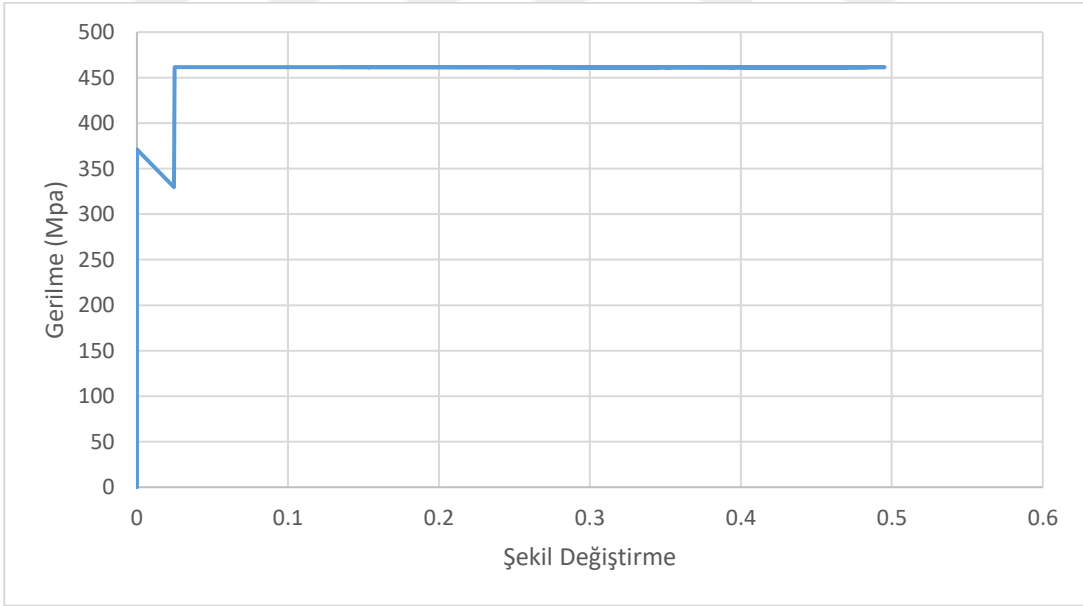
Kiriş kesitinde oluşan gerilmelerin yanısıra boyuna basınç, çekme donatılarında ve etriyelerde oluşan gerilmeler de incelenmiş ve Şekil 5.125-132'de gösterilmiştir. Şekil 5.125 ve Şekil 5.126'da oyuna donatılarda, basınç ve çekme bölgesinde ani bir gerilme artışı ile S420 çeliğinin 461 MPa'da kopmaya uğradığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.125 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Basınç Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

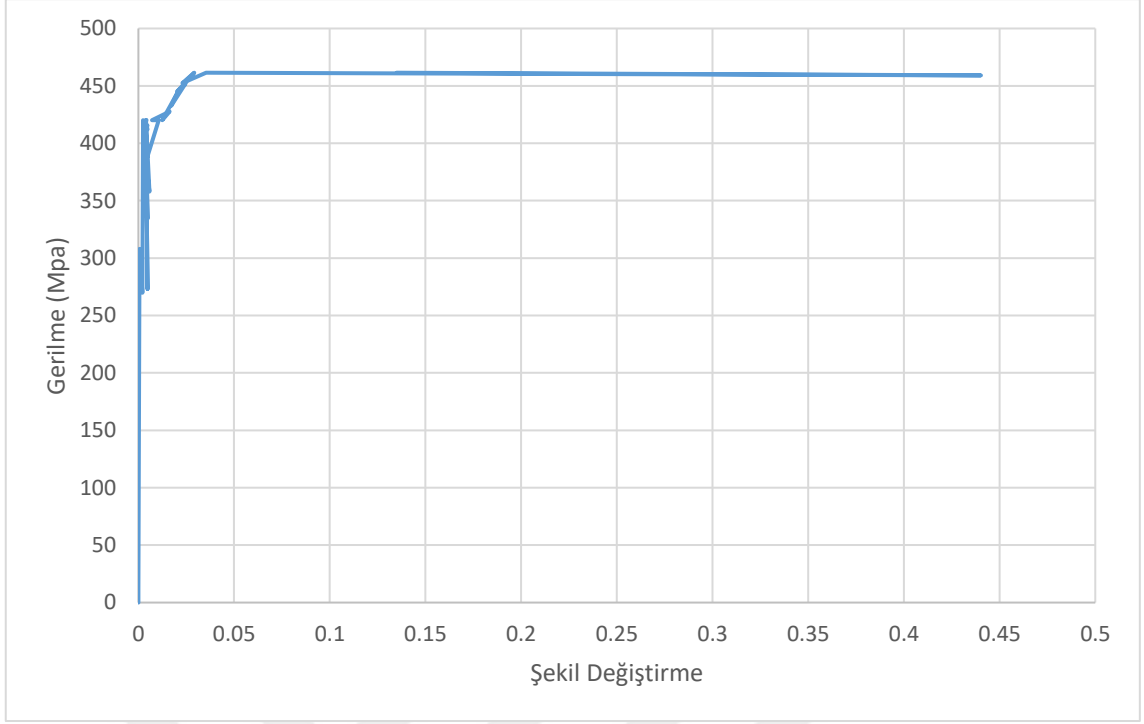


Şekil 5.126 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Çekme Donatısında Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme



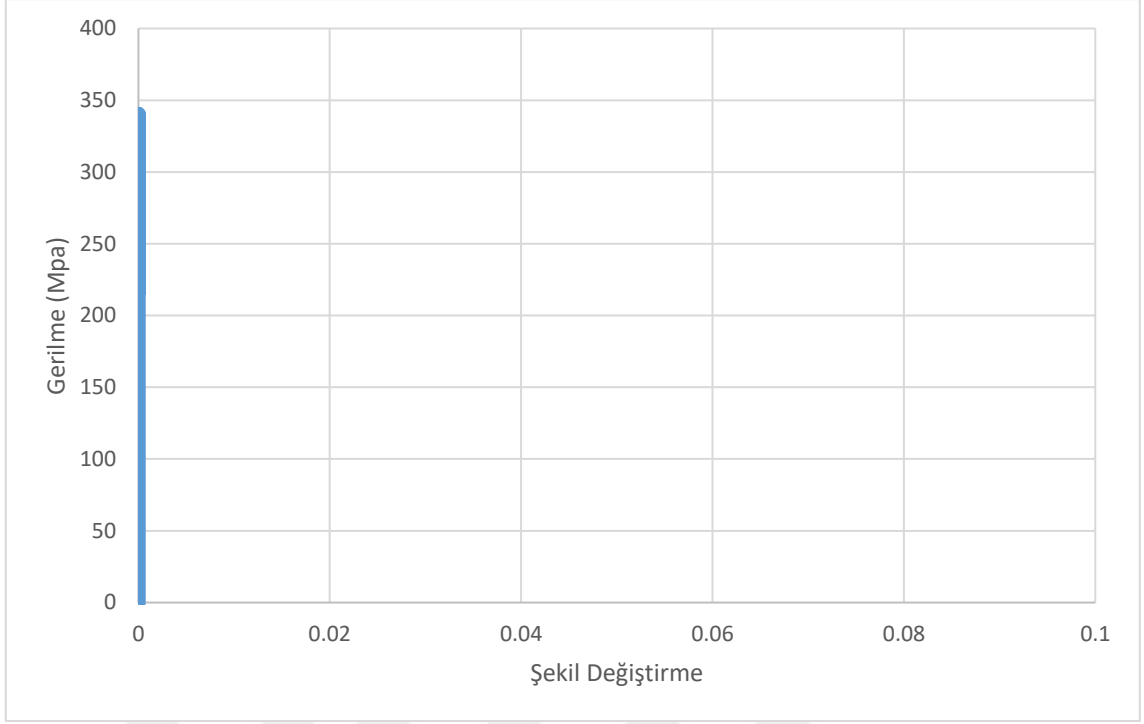
Şekil 5.127 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.127'den de görüldüğü üzere basınç orta bölgesindeki etriyeler 371 MPa'da akmaya uğramış, sonrasında 461 Mpa dayanıma kadar çıkararak kopmuştur.



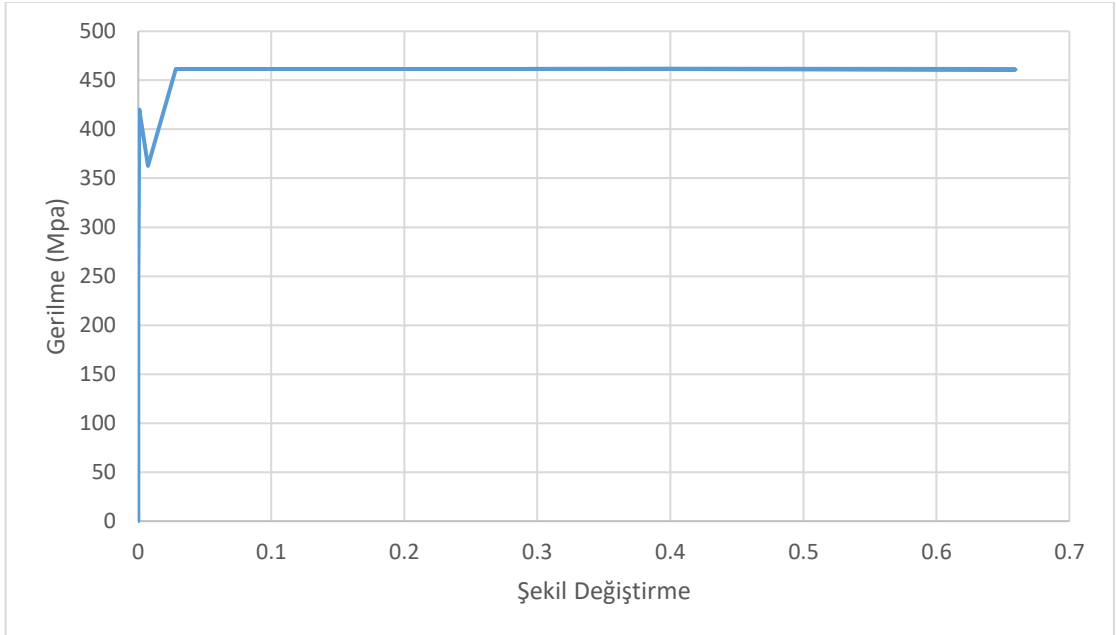
Şekil 5.128 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

C60 beton dayanımına ve orta bölgelerde 20 cm, sıkılaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, X doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.128'de görüldüğü gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 50 cm'lik mesafe boyunca etriyelerin basınç bölgesinde 420 MPa'da akma dayanımına ulaştıkları, 50 cm'lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 70 cm mesafedeki etriyenin basınç bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.129'da verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 70 cm mesafede etriyelerin basınç bölgesinde oluşan max. gerilme 340 MPa olarak not edilmiştir.



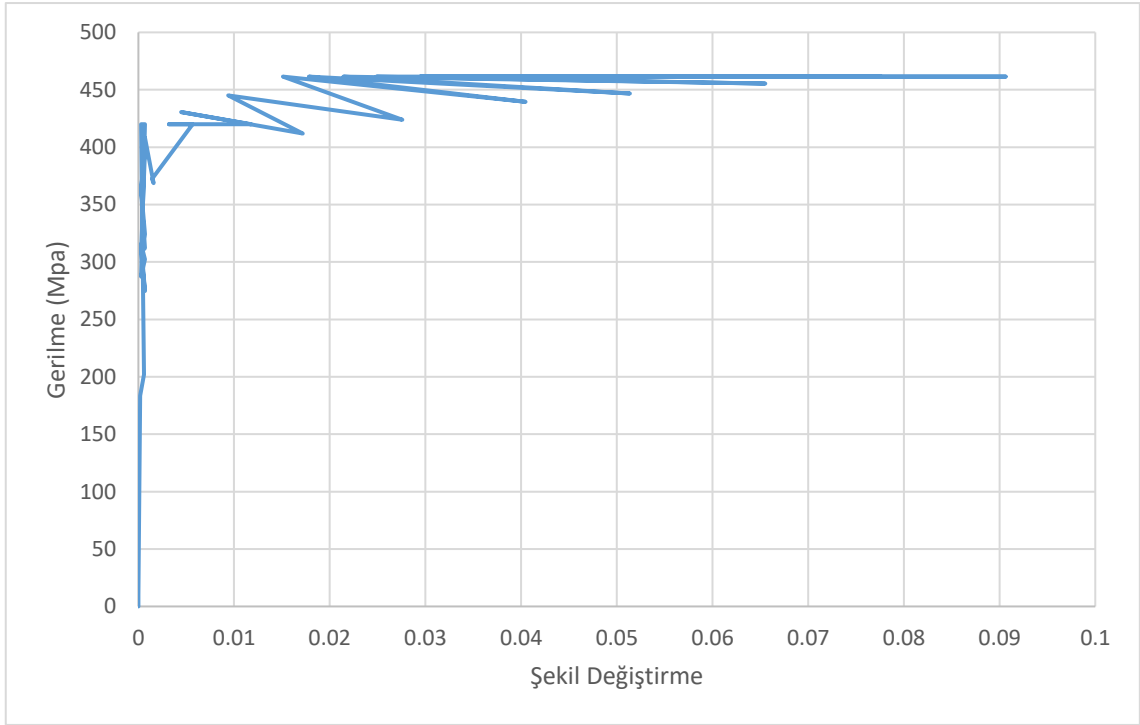
Şekil 5.129 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Basınç Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 70 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Etriyelerin basınç bölgesinde oluşan gerilmelerin yanısıra çekme bölgesinde oluşan gerilmeler de incelenerek not edilmiş ve Şekil 5.130'da gösterilmiştir.



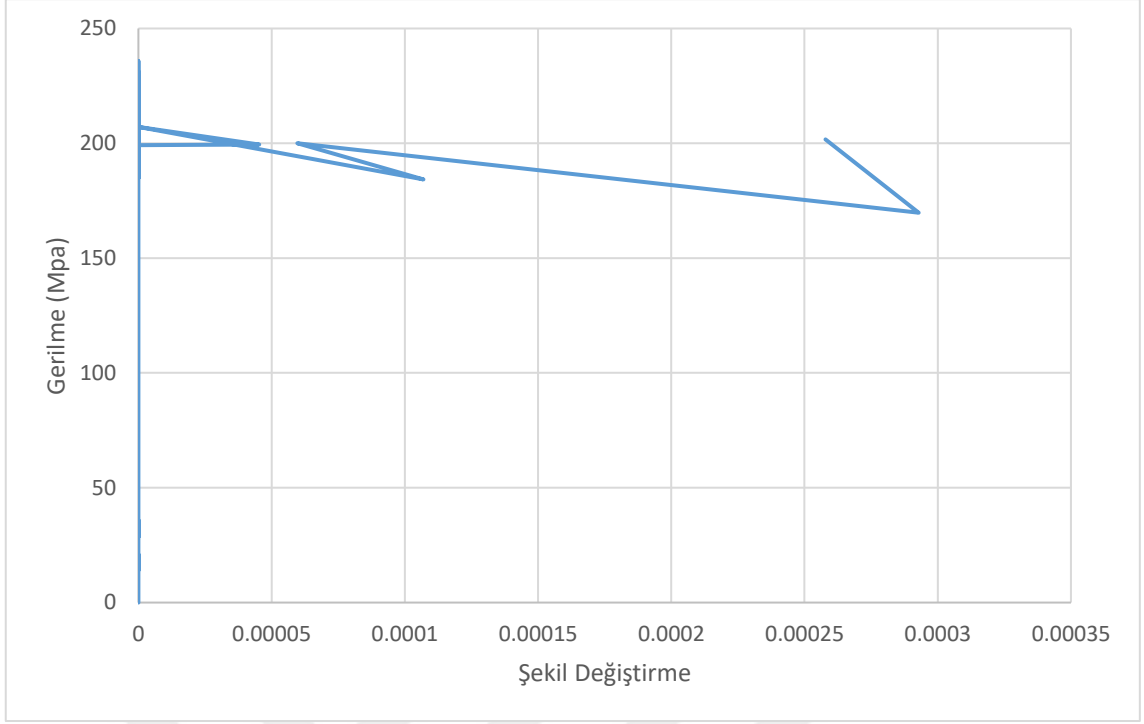
Şekil 5.130 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

Şekil 5.130'da da görüldüğü üzere çekme orta bölgesindeki etriyeler karakteristik bir davranış ile 420 MPa'da akmaya uğramış ve ani bir gerilme artışı ile 461 MPa'da kopmuştur.



Şekil 5.131 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 50 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

C60 beton dayanımına ve orta bölgelerde 20 cm, sıklaştırma bölgelerinde 10 cm etriye aralığına sahip betonarme bir kiriş, X doğrultusunda darbe yüküne maruz bırakılmış ve elde edilen sonuçlar paylaşılmıştır. Şekil 5.131'den görüldüğü gibi, çarpma kütesinin kirişe etki ettikten sonra kirişin orta noktasının sağından ve solundan 50 cm'lik mesafe boyunca etriyelerin çekme bölgesinde 420 MPa'da akma dayanımına ulaştıkları, 50 cm'lik mesafeden sonra ise akma ve şekil değiştirmenin olmadığı gözlemlenmiş ve 70 cm mesafedeki etriyenin çekme bölgesindeki gerilme-şekil değiştirme grafiği Şekil 5.132'de verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere 70 cm mesafedeki max. gerilme 231 MPa olarak not edilmiştir.



Şekil 5.132 C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişin Etriyelerinin Çekme Orta Bölgesinin Sağından ve Solundan 70 cm'lik Bölgede Oluşan Gerilme-Şekil Değişirme

ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Sonlu elemanlar analizleri kapsamında; tamamı etriyesiz; tamamı 10 cm aralıklı etriyeli; orta bölgesi 20 cm, sıklaştırma bölgeleri 10 cm aralıklı etriyeli olmak üzere 3 farklı etriye aralığına sahip ve C25, C60 olmak üzere iki farklı basınç dayanımına sahip iki ucu basit mesnetli toplam 6 adet betonarme kiriş, X, Y doğrultusu olmak üzere iki farklı doğrultuda darbe yüküne maruz bırakılmış ve dynamic/explicit analize tabi tutularak 12 farklı analiz yapılmıştır.

Analiz sonuçları kapsamında;

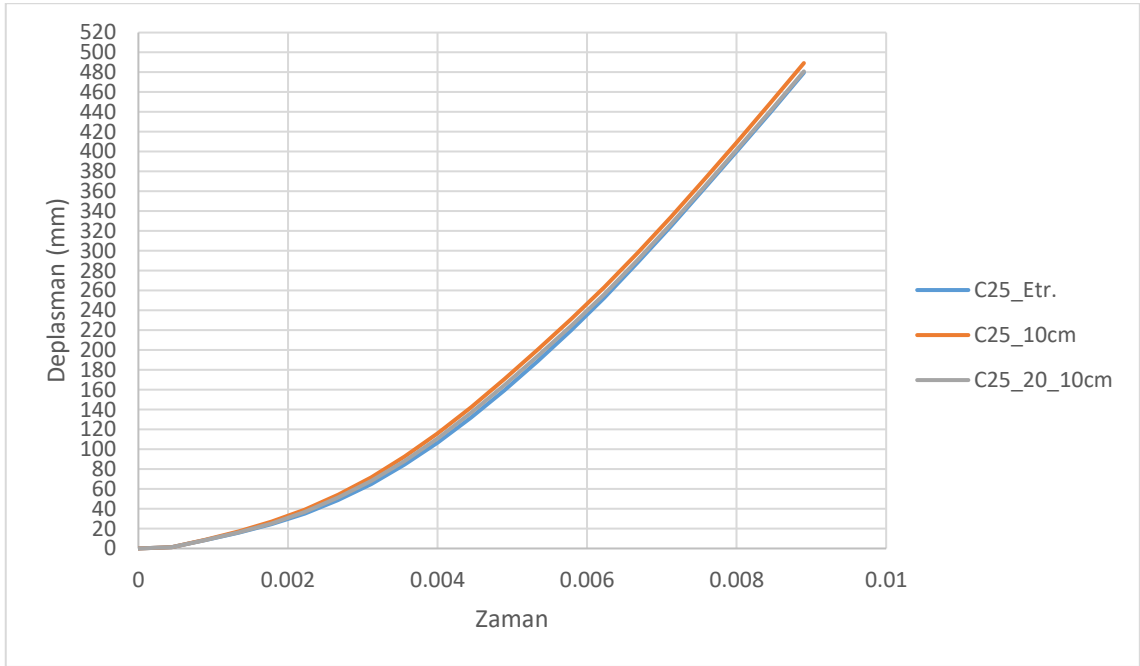
- Deplasman – Zaman
- Kuvvet – Deplasman
- Betonda Oluşan Gerilme – Şekil Değiştirme
- Basınç Donatısında Oluşan Gerilme – Şekil Değiştirme
- Çekme Donatısında Oluşan Gerilme – Şekil Değiştirme
- Etriyelerin Basınç Bölgesinde Oluşan Gerilme – Şekil Değiştirme
- Etriyelerin Çekme Bölgesinde Oluşan Gerilme – Şekil Değiştirme

grafikleri elde edilmiş ve ayrıntılı olarak Bölüm 5'te paylaşılmıştır. Bu bölüm kapsamında ise bu grafikler üzerinden çıkarımlar ve yorumlamalar yapılarak literatüre katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki kısımda karşılaştırılarak irdelenmiştir;

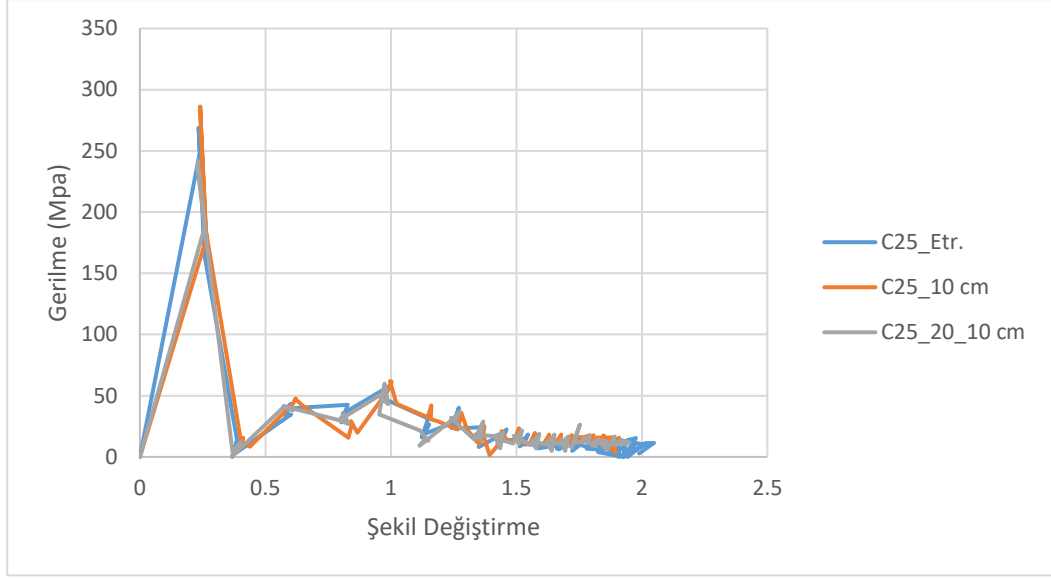
- 1) C25 beton sınıfına sahip kirişlerde X doğrultusundaki yüklemeler sonucunda oluşan max. deplasmanlar Y doğrultusundaki yüklemeler sonucunda oluşan max. deplasmanlara nazaran %19-%21 daha fazladır. Buradan hareketle; darbe yükü altında çalışan bir kiriş tasarımı yapılırken kirişe gelen yükün sadece kirişin genişliğine dik değil, yüksekliğine de dik gelebileceği düşünülerek tasarımı yapılmalıdır.

- 2) C25 beton dayanımına ve 3 farklı etriye aralığına sahip betonarme kirişlerin darbe yükleri altında göstermiş oldukları kiriş alt noktasındaki max. deplasmanlar incelenmiş ve etriye aralığının max. deplasmanı azaltmaya karşı kayda değer bir katkısının olmadığı gözlemlenmiştir. (Şekil 6.1) Bunun yanında Y doğrultusunda oluşan max. deplasmanın, tamamı 10 cm etriye aralığına sahip kirişte oluştuğu görülmüştür.



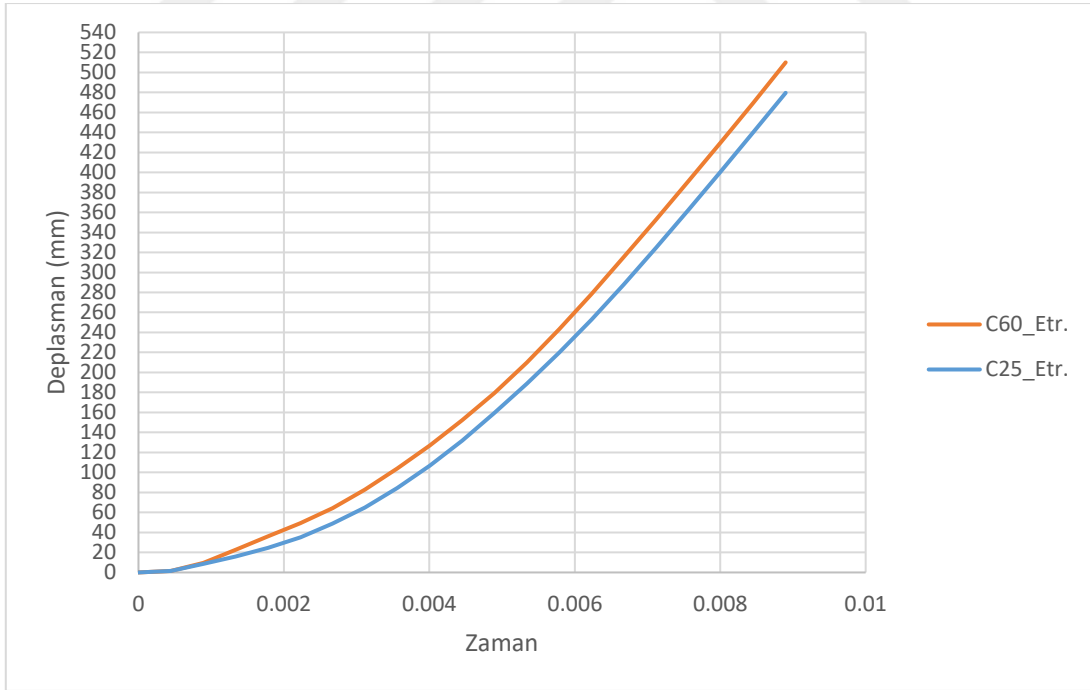
Şekil 6.1 C25 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Max. Deplasmanlar

Bunun sebebinin ise Şekil 6.2'den de anlaşılacağı üzere etriye aralığı 10 cm olan kirişin enerji yutma kapasitesi en yüksek olan kiriş numunesi olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

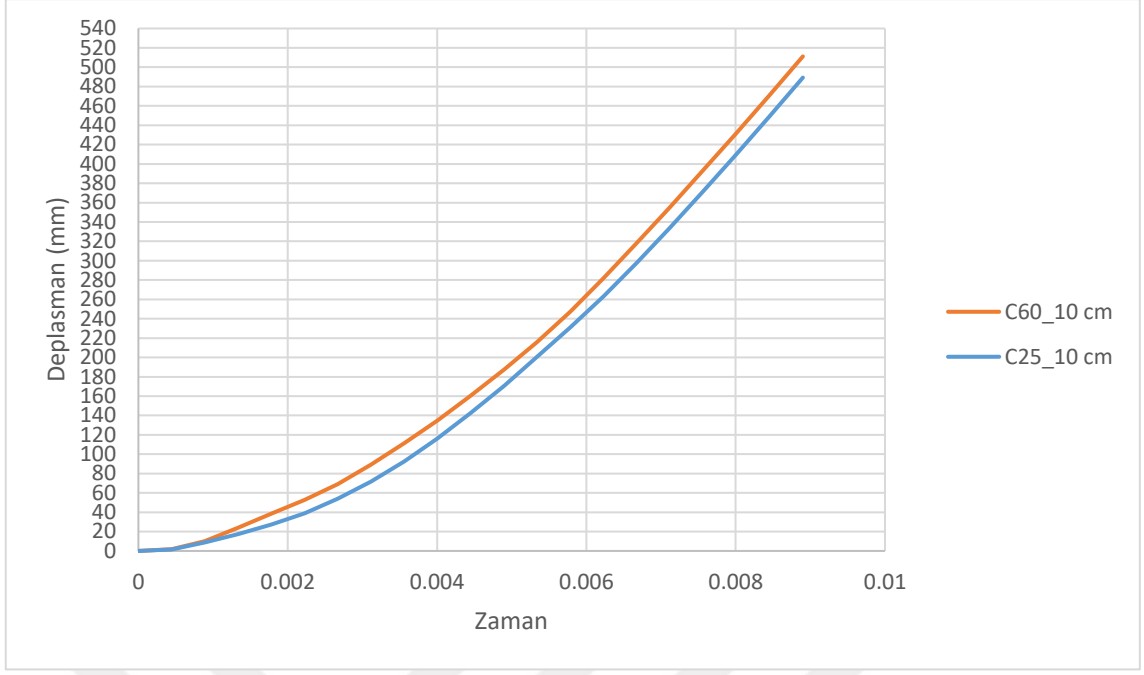


Şekil 6.2 C25 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilme – Şekil Değişirme Grafiği

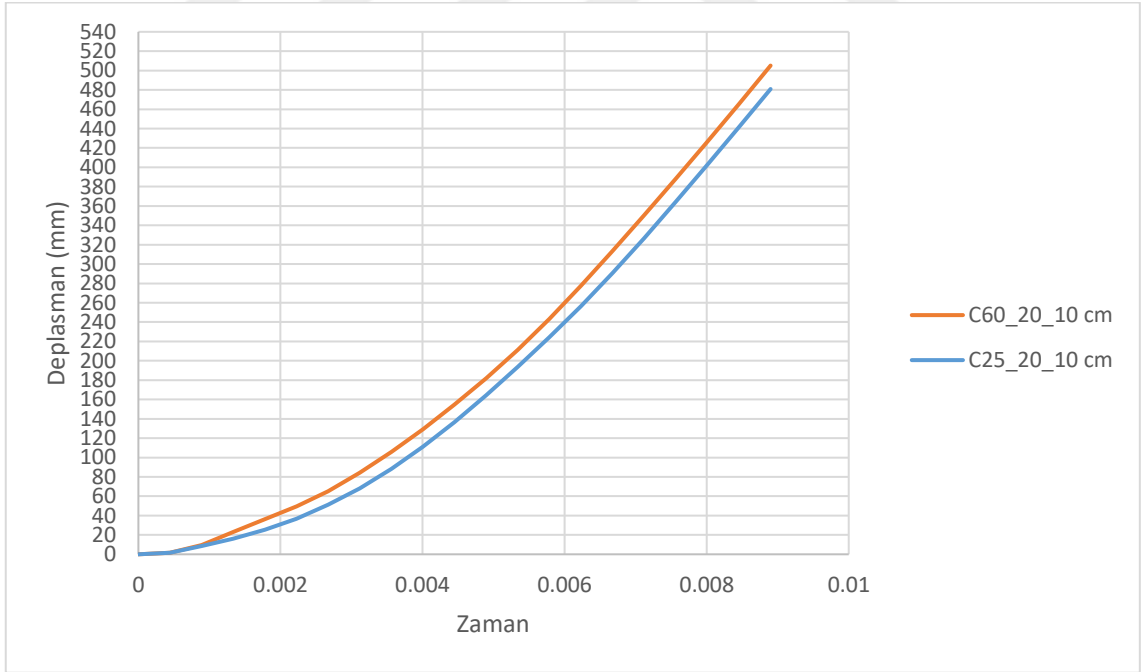
- 3) C60 beton dayanımına sahip kirişlerde oluşan max. deplasmanların C25 beton dayanımına sahip kirişlerde oluşan max. deplasmanlara nazaran %4–5 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. (Şekil 6.3 – 5)



Şekil 6.3 C25 ve C60 Etriyesiz Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Max. Deplasman

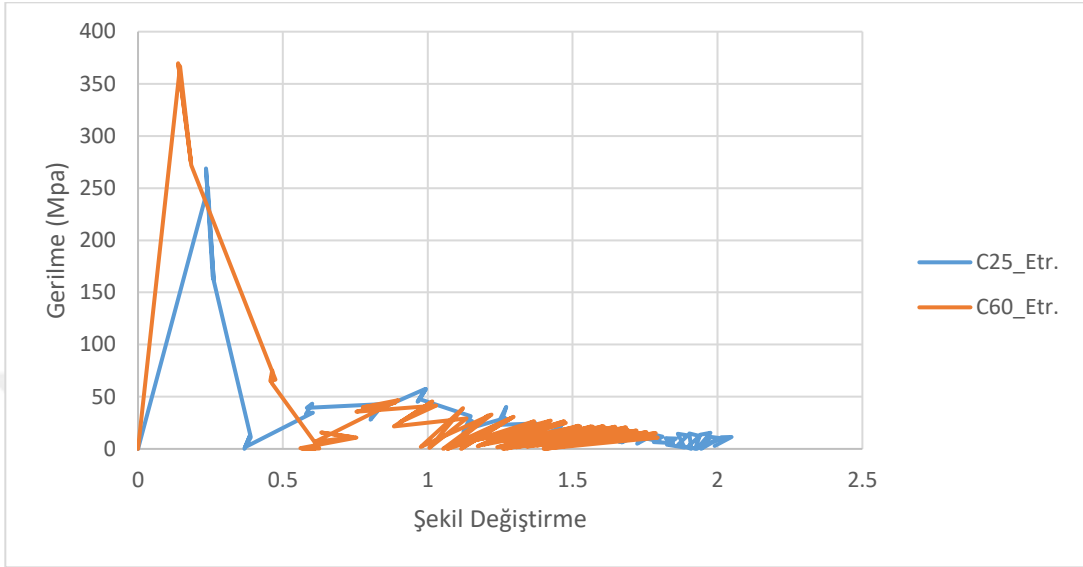


Şekil 6.4 C25 ve C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Max. Deplasman

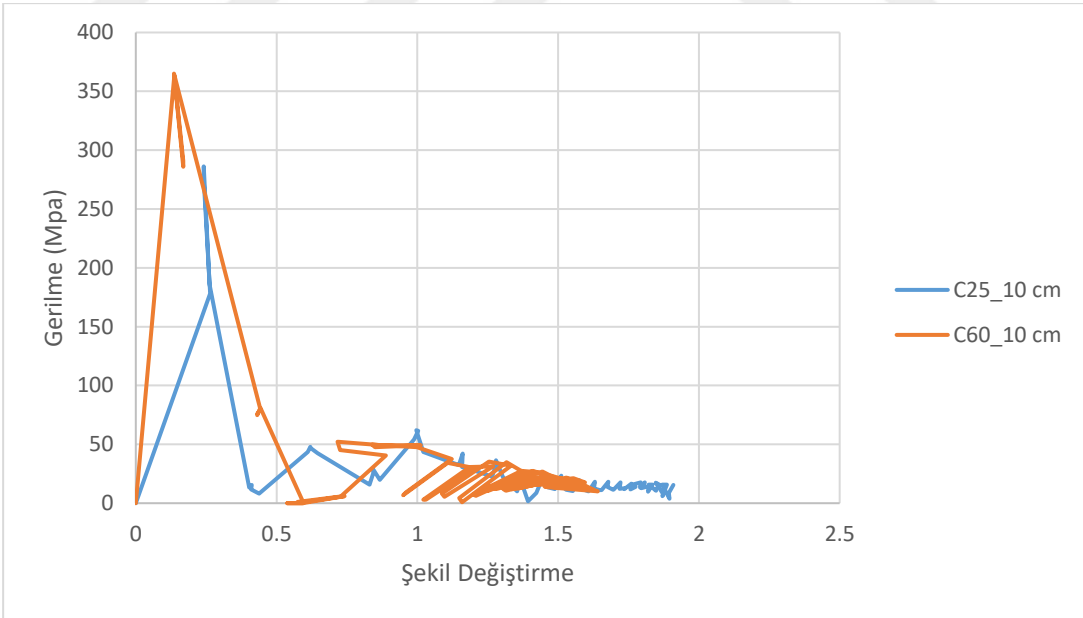


Şekil 6.5 C25 ve C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Max. Deplasman

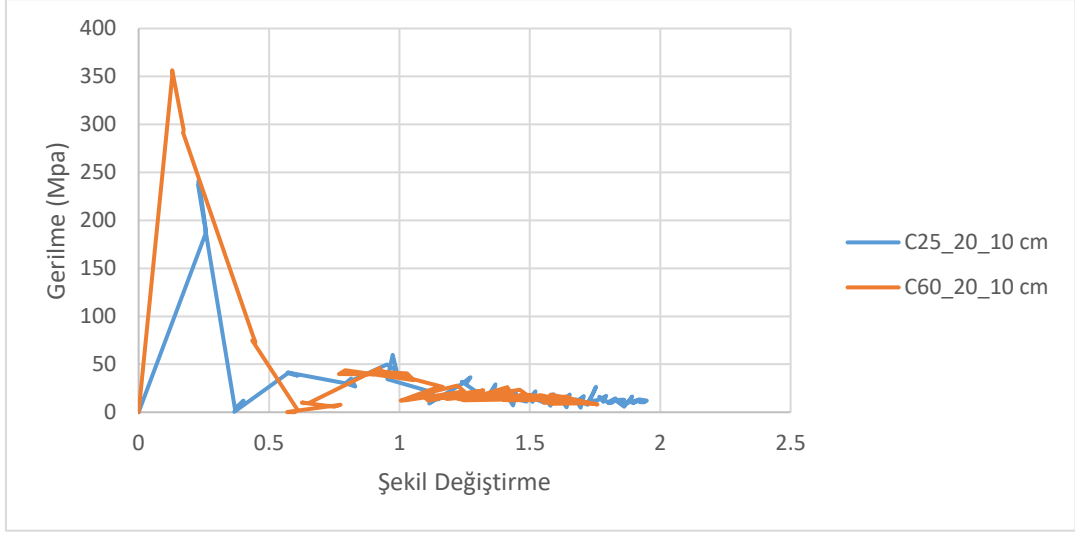
Bunun da sebebinin gerilme-şekil değiştirme grafiği altında kalan alanın büyüklüğünden kaynaklandığı düşünülerek C60 dayanıma sahip betonların enerji yutma kapasitelerinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. (Şekil 6.6 - 8)



Şekil 6.6 C25 ve C60 Etriyersiz Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilme - Şekil Değiştirme Grafiği

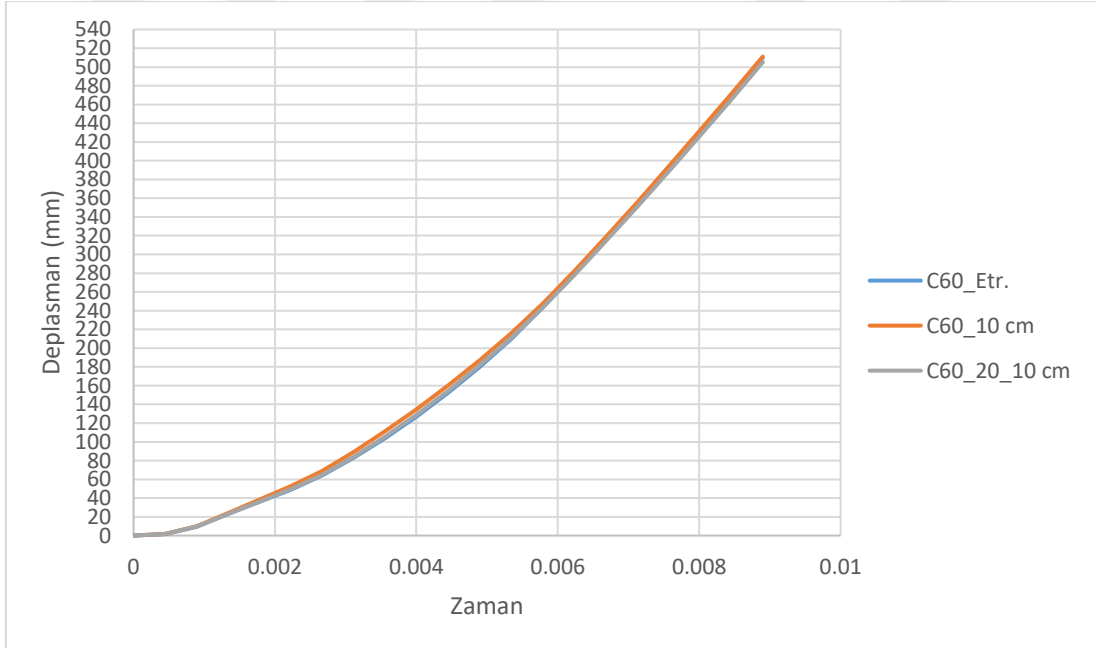


Şekil 6.7 C25 ve C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilme - Şekil Değiştirme Grafiği



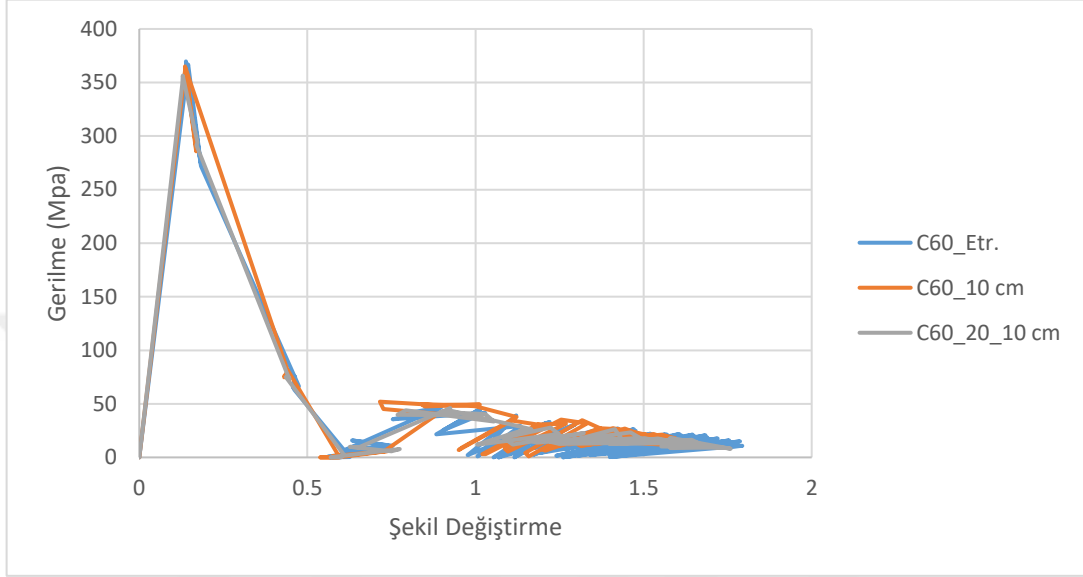
Şekil 6.8 C25 ve C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilme – Şekil Değişirme Grafiği

- 4) C60 beton dayanımına sahip kirişlerin orta noktasında oluşan max. deplasmanların da birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiş olup etriye aralığının veya varlığının deplasmana bir katkısının olmadığı bir kez daha doğrulanmıştır. (Şekil 6.9)



Şekil 6.9 C60 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Max. Deplasmanlar

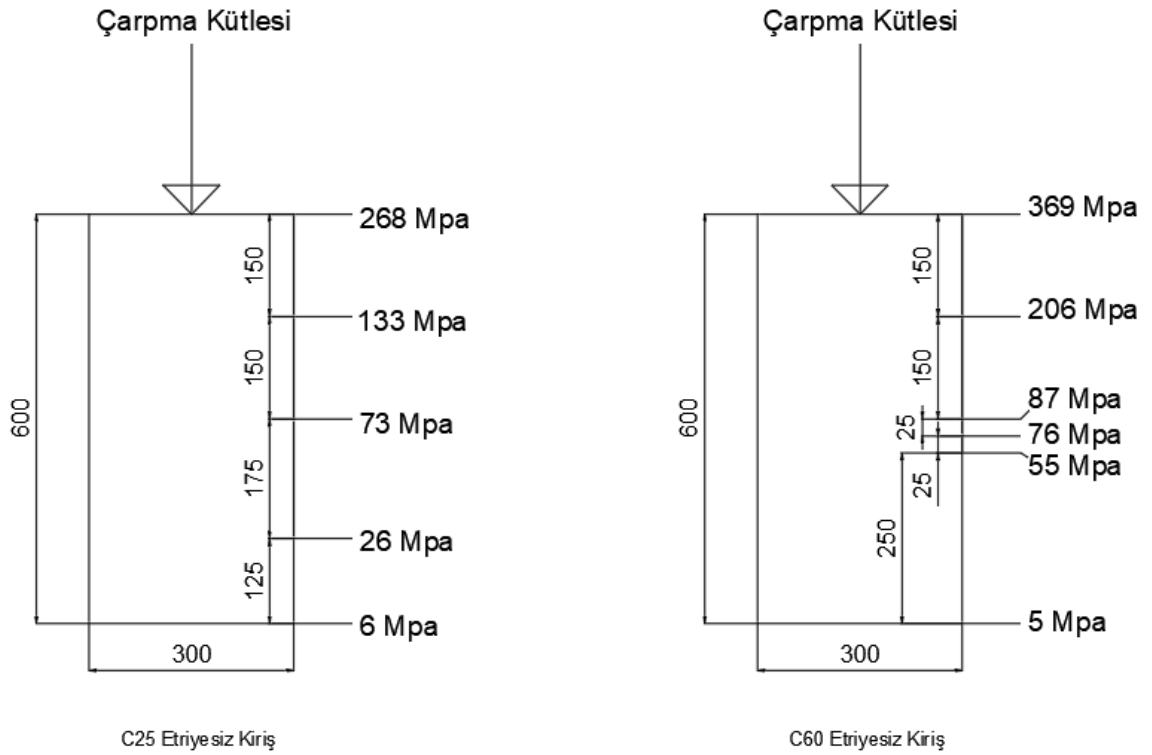
- 5) Darbe yükü altındaki bir kirişte oluşacak max. deplasmanın o kirişin basınç bölgesindeki gerilme - şekil değiştirme ile orantılı olduğu, bir kirişin enerji yutma kapasitesinin ne kadar yüksek ise o kadar fazla deplasman yapabileceği sonucuna varılmıştır. Şekil 6.10'daki grafik ise C60 beton dayanımına sahip kirişlerden elde edilmiş olup bu durumu destekleyici niteliktedir.



Şekil 6.10 C60 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilme - Şekil Değişirme Grafiği

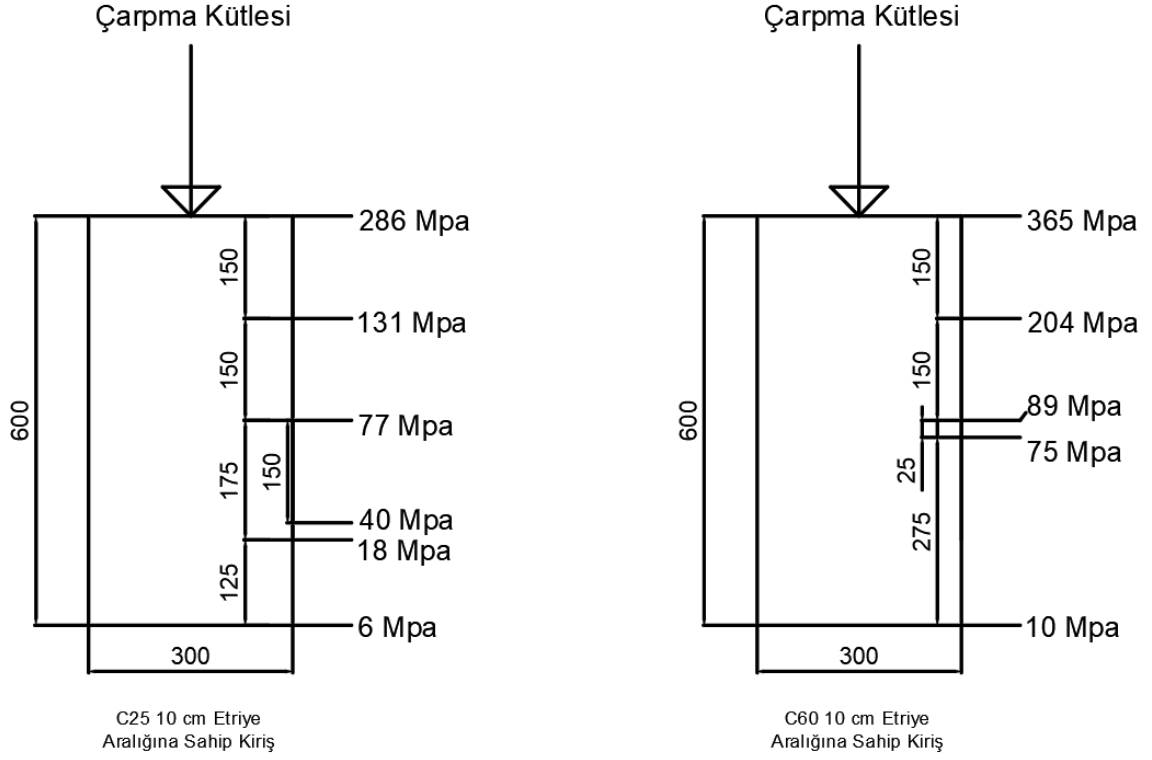
- 6) Bölüm 5'teki analiz sonuçlarından anlaşılacağı üzere darbe yükü altındaki betonarme bir kirişte beton dayanımının yüksek olması darbe yükünün oluşturacağı basınç kırılmalarını ve basınç hasarının olduğu yüksekliği azaltmaktadır. Şekil 6.11 - 19 arasında C25 ve C60 beton dayanımına sahip kirişlerin kesitleri verilmiş olup kesit boyunca farklı derinliklerde oluşan gerilmeler verilmektedir.

- 7) Şekil 6.11'de C60 beton dayanımına sahip etriyesiz kiriş numunesi, C25 beton dayanımına sahip etriyesiz kiriş numunesi ile karşılaştırıldığında Y doğrultusundaki darbe yüklemesi altında daha mukavemetli bir davranış sergilemiştir. C25 beton dayanımına sahip betonarme kiriş darbe yükü altında 475 mm boyunca basınç kırılmasına maruz kalırken C60 beton dayanımına sahip betonarme kiriş 325 mm boyunca basınç kırılmasına maruz kaldığı gözlemlenmiştir.



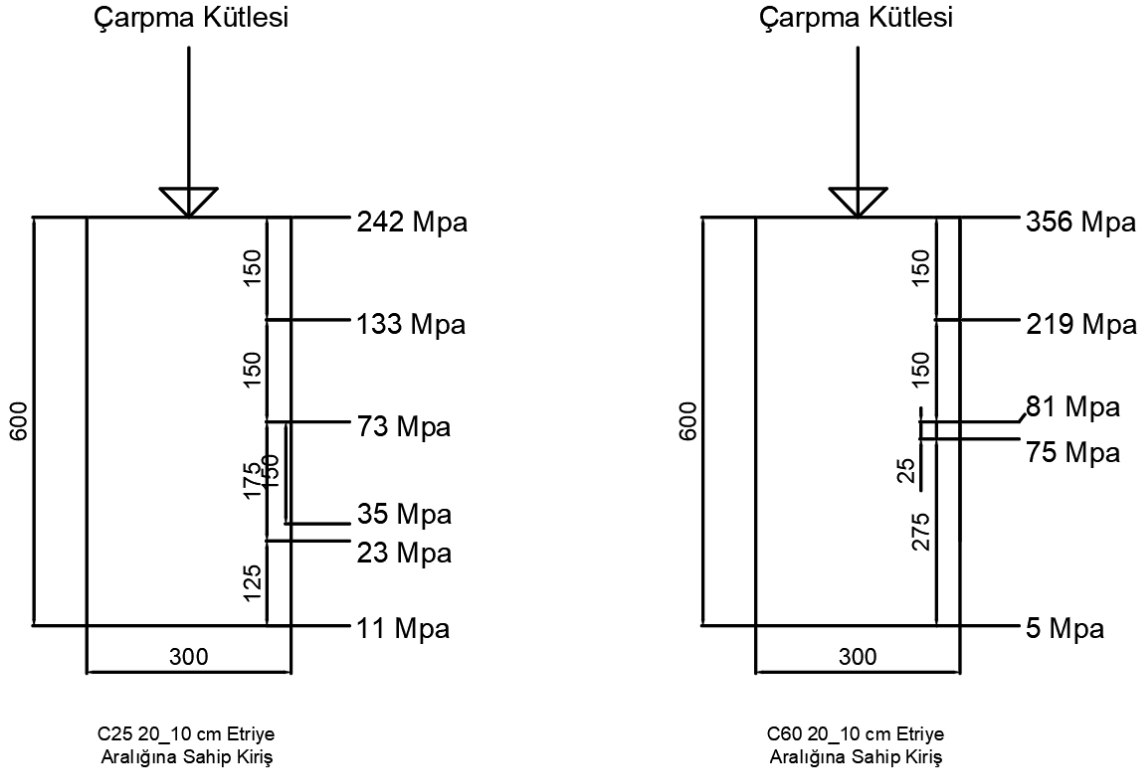
Şekil 6.11 C25 ve C60 Etriyesiz Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı

- 8) Şekil 6.12'de C60 beton dayanımına ve 10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesi, C25 beton dayanımına ve 10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesi ile karşılaştırıldığında Y doğrultusundaki darbe yüklemesi altında daha mukavemetli bir davranış sergilemiştir. C25 beton dayanımına sahip betonarme kiriş darbe yükü altında 470 mm boyunca basınç kırılmasına maruz kalırken C60 beton dayanımına sahip betonarme kiriş 325 mm boyunca basınç kırılmasına maruz kaldığı gözlemlenmiştir.



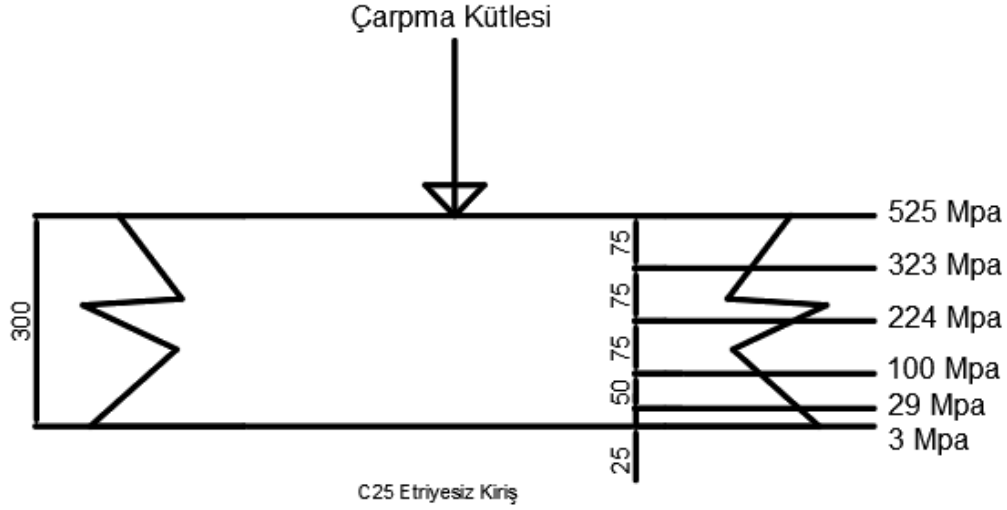
Şekil 6.12 C25 ve C60 10 cm Etriyeli Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı

- 9) Şekil 6.13'te C60 beton dayanımına ve 20_10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesi, C25 beton dayanımına ve 20_10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesi ile karşılaştırıldığında Y doğrultusundaki darbe yüklemesi altında daha mukavemetli bir davranış sergilemiştir. C25 beton dayanımına sahip betonarme kiriş darbe yükü altında 475 mm boyunca basınç kırılmasına maruz kalırken C60 beton dayanımına sahip betonarme kiriş 325 mm boyunca basınç kırılmasına maruz kaldığı gözlemlenmiştir.

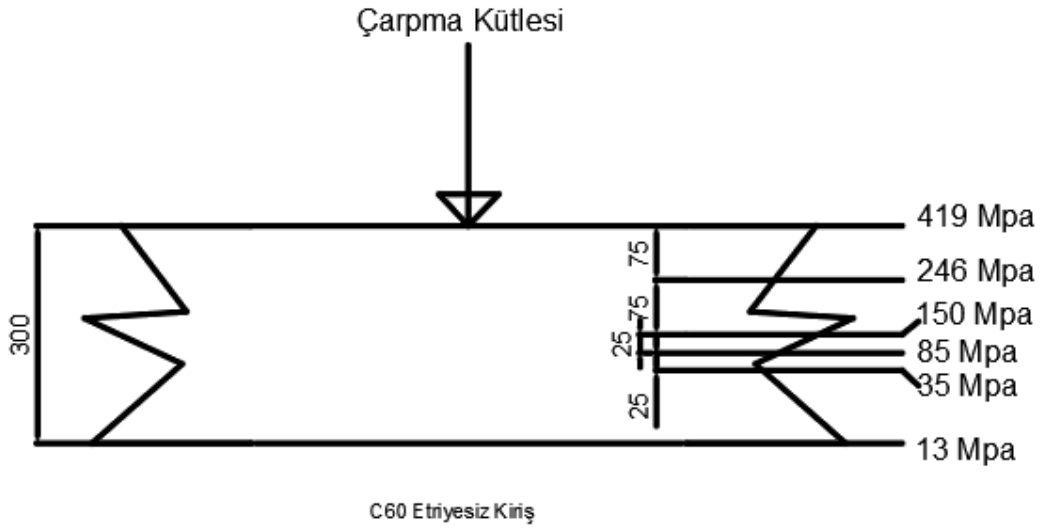


Şekil 6.13 C25 ve C60 20_10 cm Etriye Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı

10) Şekil 6.14 ve 6.15'te görüldüğü üzere C60 beton dayanımına sahip etriyesiz kiriş numunesi, C25 beton dayanımına sahip etriyesiz kiriş numunesi ile karşılaştırıldığında X doğrultusundaki darbe yüklemesi altında daha mukavemetli bir davranış sergilemiştir. C25 beton dayanımına sahip betonarme kiriş darbe yükü altında 275 mm boyunca basınç kırılmasına maruz kalırken C60 beton dayanımına sahip betonarme kiriş yaklaşık 180 mm boyunca basınç kırılmasına maruz kaldığı gözlemlenmiştir.

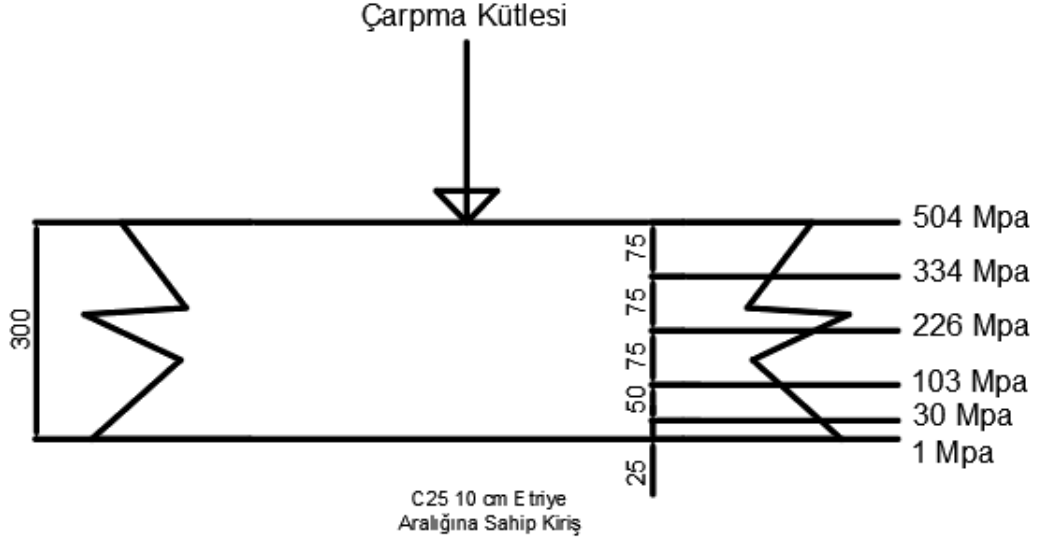


Şekil 6.14 C25 Etriyersiz Kirişin X Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı

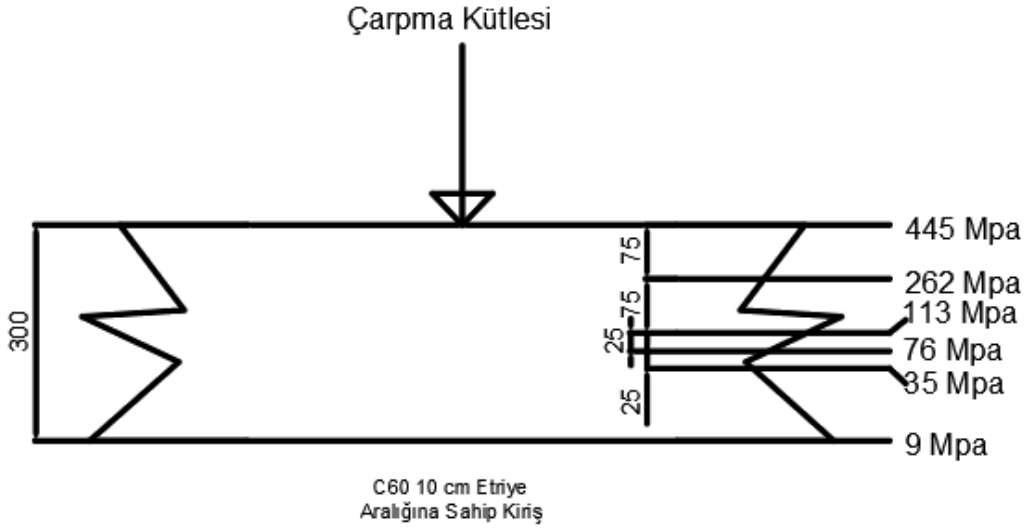


Şekil 6.15 C60 Etriyersiz Kirişin X Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı

11) Şekil 6.16 ve 6.17'de görüldüğü üzere C60 beton dayanımına ve 10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesi, C25 beton dayanımına ve 10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesi ile karşılaştırıldığında X doğrultusundaki darbe yüklemesi altında daha mukavemetli bir davranış sergilemiştir. C25 beton dayanımına sahip betonarme kiriş darbe yükü altında 275 mm boyunca basınç kırılmasına maruz kalırken C60 beton dayanımına sahip betonarme kiriş 175 mm boyunca basınç kırılmasına maruz kaldığı gözlemlenmiştir.

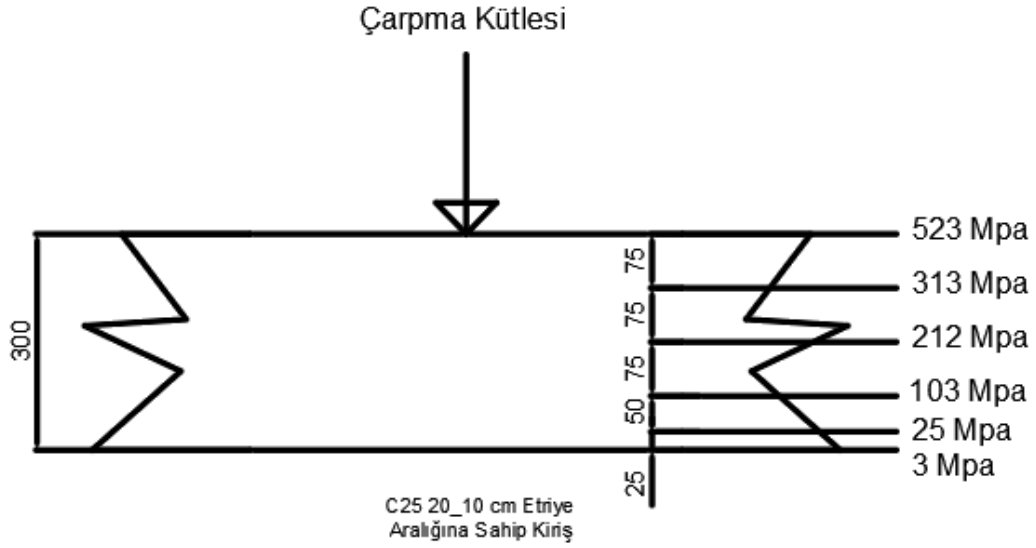


Şekil 6.16 C25 10 cm Etriye Kirişin X Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı

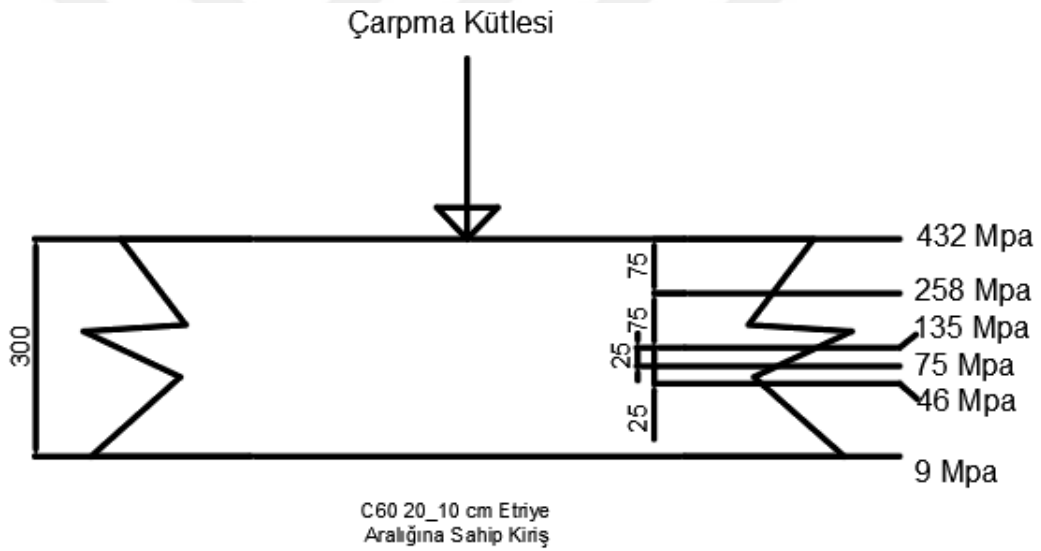


Şekil 6.17 C60 10 cm Etriye Kirişin X Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı

12) Şekil 6.18 ve 6.19’da C60 beton dayanımına ve 20_10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesi, C25 beton dayanımına ve 20_10 cm etriye aralığına sahip kiriş numunesi ile karşılaştırıldığında X doğrultusundaki darbe yüklemesi altında daha mukavemetli bir davranış sergilemiştir. C25 beton dayanımına sahip betonarme kiriş darbe yükü altında 275 mm boyunca basınç kırılmasına maruz kalırken C60 beton dayanımına sahip betonarme kiriş 175 mm boyunca basınç kırılmasına maruz kaldığı gözlemlenmiştir.

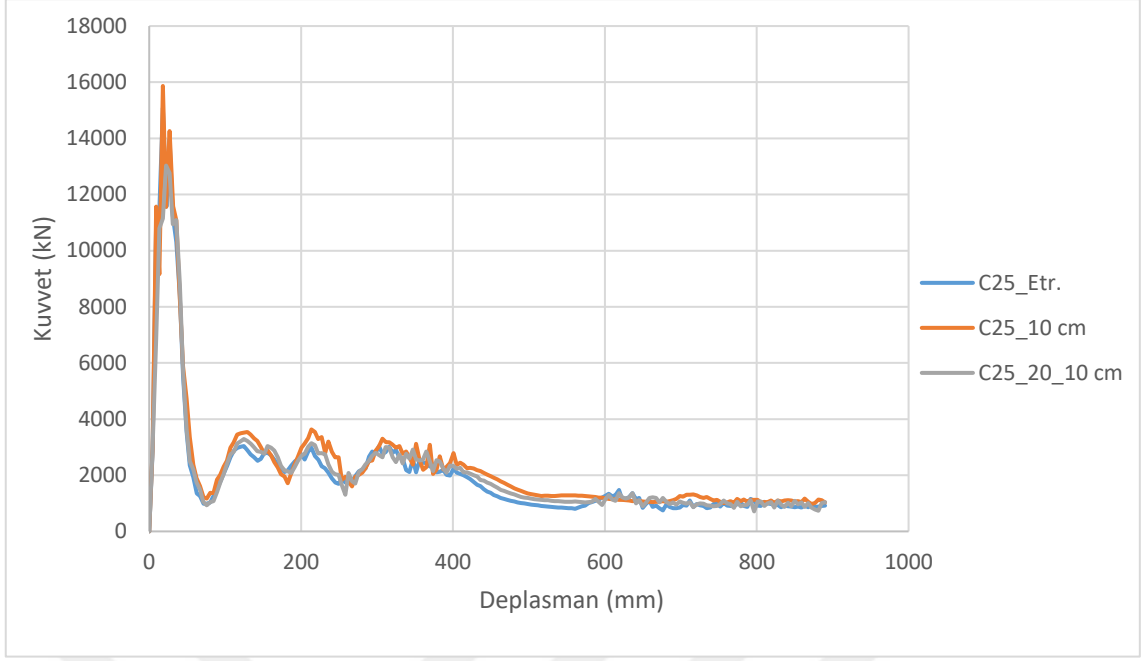


Şekil 6.18 C25 20_10 cm Etriyeli Kirişlerin X Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı

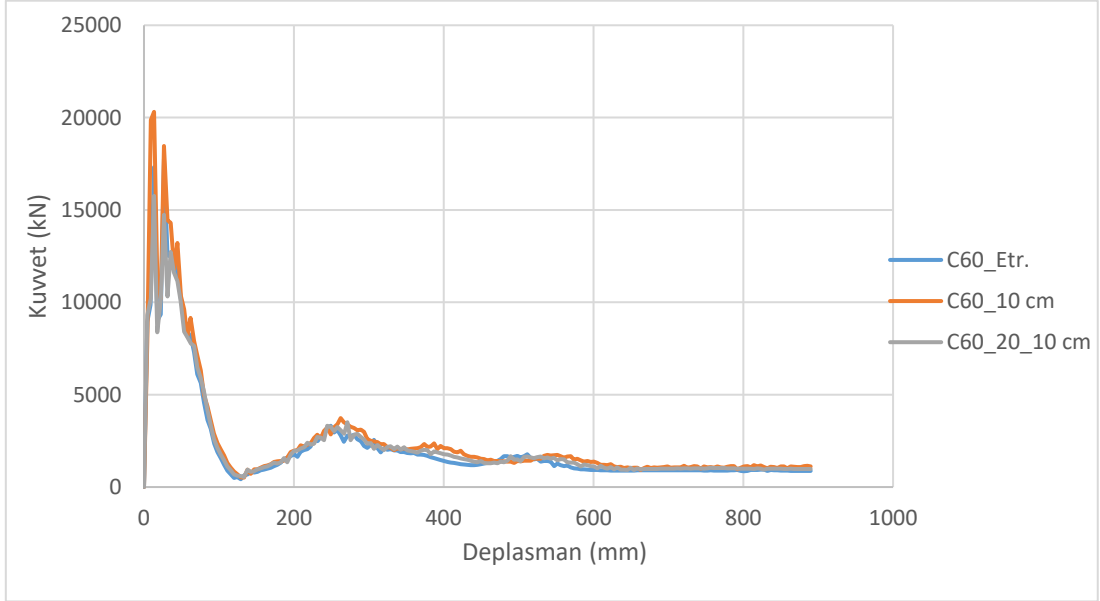


Şekil 6.19 C60 20_10 cm Etriyeli Kirişlerin X Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Basınç Gerilmesi Dağılımı

- 13) Darbe yükü altında kirişte oluşan Şekil 6.20 ve 21'deki kuvvet deplasman grafikleri incelendiğinde C25 ve C60 beton dayanımına sahip betonarme kirişlerde etriye aralıklarının kirişe etkiyen darbe kuvvetini kaydadeğer bir şekilde etkilemediği gözlemlenmiştir.



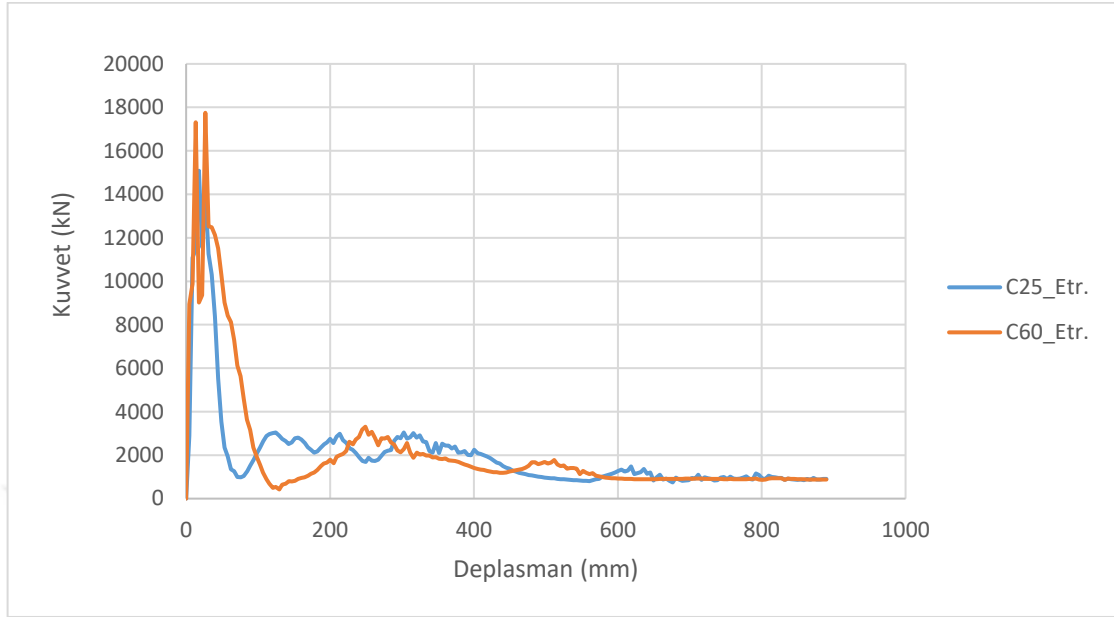
Şekil 6.20 C25 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerde Oluşan Kuvvet - Deplasman Grafiği



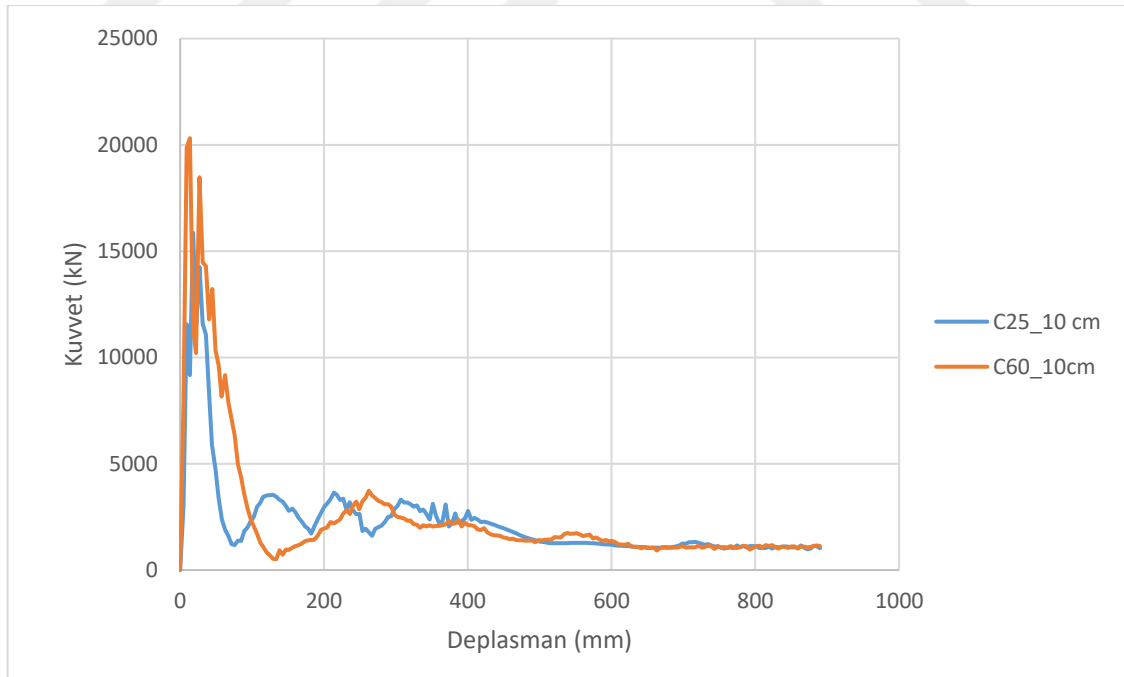
Şekil 6.21 C60 Beton Dayanımına Sahip Kirişlerde Oluşan Kuvvet - Deplasman Grafiği

Şekil 6.20 ve 21'den de görüldüğü üzere her ne kadar etriye aralıkları kirişte oluşan darbe yükünü kaydadeğer bir şekilde etkilemese de hem C25 hem de C60 beton dayanımında en yüksek darbe yükü 10 cm etriye aralığına sahip kirişlerde meydana gelmiştir.

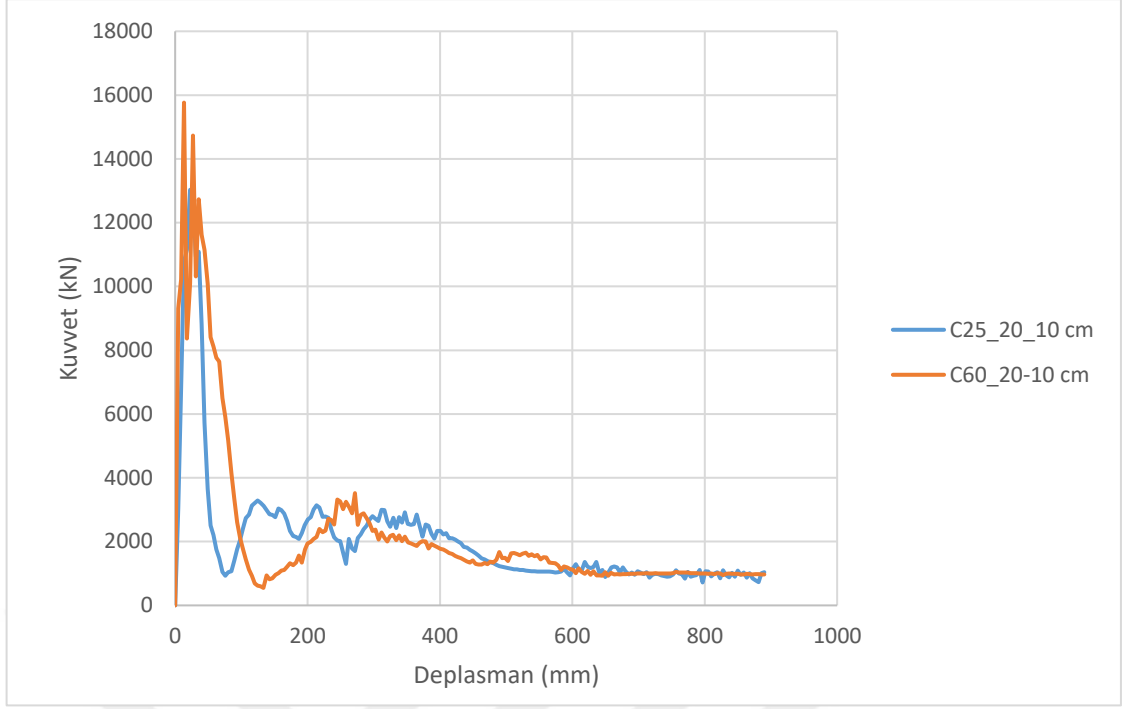
Bunun yanında Şekil 6.22-23 ve 24, beton dayanımının yüksek olmasının kirişte meydana gelecek darbe yükünü bir hayli artıracığını göstermektedir.



Şekil 6.22 C25 ve C60 Etriyesiz Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Kuvvet - Deplasman Grafiği



Şekil 6.23 C25 ve C60 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Kuvvet - Deplasman Grafiği



Şekil 6.24 C25 ve C60 Orta Bölgede 20 cm, Uç Bölgelerde 10 cm Etriye Aralığına Sahip Kirişlerin Y Doğrultusundaki Analizleri Sonucu Orta Noktalarında Oluşan Kuvvet - Deplasman Grafiği

Analizden elde edilen sonuçlar beton dayanımı etkisi açısından şu şekilde özetlenebilir;

1) C60 beton dayanımına sahip kirişlerde oluşan max. deplasmanların C25 beton dayanımına sahip kirişlerde oluşan max. deplasmanlara nazaran; Y doğrultusu için %4 - 5, X doğrultusu için ise %12-13 daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Bunun sebebinin gerilme-şekil değiştirme grafiği altında kalan alanın büyüklüğünden kaynaklandığı düşünülerek C60 beton dayanımına sahip kirişlerin darbe yükleri altında enerji yutma kapasitelerinin daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

2) Darbe yükü altındaki betonarme bir kirişte beton dayanımının yüksek olması darbe yükünün oluşturacağı basınç kırılmalarını ve basınç hasarının oluştuğu yüksekliğini azalttığı gözlemlenmiştir.

3) Darbe yükünün, C25 beton dayanımına sahip kirişe nazaran C60 beton dayanımına sahip kirişte daha fazla reaksiyon kuvvet etkisi oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Bunun da sebebinin C60 beton dayanımına sahip kirişin daha mukavemetli olmasından dolayı etki-tepki prensibinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Enine donatı etkisi açısından elde edilen sonuçlar ise şu şekilde özetlenebilir;

4) Darbe yükü etkisi altında hem beton dayanımı farkı hem de yükleme doğrultusu farkı olmaksızın betonarme kirişlerin farklı etriye aralıklarında hemen hemen aynı deplasmanı yaptıkları gözlemlenmiştir. Etriye aralığının, literatürdeki çalışmalara paralel olarak, darbe yükü etkisi altında kiriş dayanımına kayda değer bir katkısı olmadığı sonucuna varılmıştır.

Yükleme doğrultusu etkisi açısından elde edilen sonuçlar ise şu şekilde özetlenebilir;

5) Betonarme bir kirişe darbe yükünün kirişin enine (Y) dik gelebileceği gibi yüksekliğine (X) de dik gelebileceği düşünülmüştür. Yapılan analizler sonucunda kirişin yüksekliğine (X) dik gelen darbe yükünün, enine (Y) dik gelen darbe yükünden daha kısa sürede, 4/5 katı kadar daha fazla deplasmana yol açtığı gözlemlenmiştir.

Bu tez kapsamında elde edilen sonuçlar ışığındaki öneriler ise şu şekilde özetlenebilir;

1) Betonarme projelerde yapı elemanlarının tasarımında darbe yükü etkisi göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir. Buna binaen stratejik öneme sahip devlet binaları, askeri yapılar, okul hastane gibi topluma mâl olmuş önemli projelerde darbe yükü etkisi de göz önünde bulundurularak yapıların hizmet ömrünü artırabileceği düşüncesiyle dayanımı yüksek betonlar kullanılabilir.

2) Yapı elemanlarında enine donatıların tasarımı yapılırken dinamik yük altında katkısının olmadığı gözlemlendiği için statik yüklemeye göre tasarımı yapılabilir.

3) Yüksek beton dayanımına sahip betonarme kirişe gelen darbe yükü etkisi daha yüksek olacağı için boyuna donatı tasarımları bu yükler göz önüne alınarak yapılmalıdır.

4) Betonarme bir yapı elemanına gelen darbe yükünün farklı doğrultulardan da gelebileceği düşünülüp yapı elemanı tasarımında göz ardı edilmemelidir. Tavsiye olarak darbe yüküne maruz kalabilecek betonarme kirişlerin tasarımında gövde donatısı kullanılabilir. Buradan hareketle bu tez çalışmasının gövde donatısının darbe yüküne karşı katkısının incelenmesinde ışık tutabileceği düşünülmektedir.

- [1] S. R. Bodner and P. S. Symonds, "Plastic Deformations in Impact and Impulsive Loading of Beams," *Plasticity*, vol. 562, no. 10, pp. 488–500, 1960, doi: 10.1016/b978-0-08-009459-5.50029-6.
- [2] S. Mindess and A. Bentur, "A Preliminary Study of the Fracture of Concrete Beams Under Impact Loading, Using High Speed Photography," *Cem. Concr. Res.*, vol. 15, no. 3, pp. 474–484, 1985.
- [3] T. U. Ahmed, L. S. Ramachandra, and S. K. Bhattacharyya, "Elasto-plastic Response of Free-Free Beams Subjected to Impact Loads," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 25, no. 7, pp. 661–681, 2001, doi: 10.1016/S0734-743X(01)00002-1.
- [4] J. Ozbolt and A. Sharma, "Numerical Simulation of Reinforced Concrete Beams with Different Shear Reinforcements Under Dynamic Impact Loads," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 38, no. 12, pp. 940–950, 2011, doi: 10.1016/j.ijimpeng.2011.08.003.
- [5] R. T. Erdem, "Farklı Kesit Boyutlarına Sahip Beton ve Betonarme Elemanların Çarpma Etkisi Altında İncelenmesi," Celal Bayar University, 2013.
- [6] M. C. Yılmaz, "Betonarme Kirişlerin Darbe Yüğü Etkisinde Davranışlarının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi," Gazi University, 2014.
- [7] T. Zhan, Z. Wang, and J. Ning, "Failure Behaviors of Reinforced Concrete Beams Subjected to High Impact Loading," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 56, pp. 233–243, 2015, doi: 10.1016/j.engfailanal.2015.02.006.
- [8] Ö. Anil, C. Durucan, R. T. Erdem, and M. A. Yorgancılar, "Experimental and Numerical Investigation of Reinforced Concrete Beams with Variable Material Properties Under Impact Loading," *Constr. Build. Mater.*, vol. 125, pp. 94–104, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.08.028.
- [9] Y. J. Yu, C. H. Kim, and J. Y. Cho, "Investigation of Behavior of RC Beams Subjected to Impact Loading Considering Combination of Mass and Impact Velocity," *Procedia Eng.*, vol. 210, pp. 353–359, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.11.088.
- [10] K. Fujikake, S. Soeum, and T. Matsui, "CFRP Strengthened RC Beams Subjected to Impact Loading," *Procedia Eng.*, vol. 210, pp. 173–181, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.11.063.
- [11] A. S. Najah, "Experimental and Analytical Investigation on Impact Behavior of Conventional and Steel Fiber Reinforced Concrete Beams," Atılım University, 2018.
- [12] M. J. Mashal, "Darbe Yüğü Etkisi Altında Çelik Kiriş Elemanların Deneysel ve Sonlu Eleman Metodu ile İncelenmesi," Sakarya University, 2019.
- [13] G. Demirtaş, "Çarpma Etkisindeki Ultra Yüksek Performanslı Lifli Betonarme Kirişlerin Sonlu Elemanlar Analizi," Sakarya University, 2019.

- [14] E. Bıyıklıoğlu, "Aramid Fiber Malzemesi Kullanılarak Güçlendirilen Çelik Kirişlerin Darbe Yüğü Etkisi Altındaki Davranışının İncelenmesi," Sakarya University, 2019.
- [15] Y. Fu *et al.*, "Investigating the Failure Behaviors of RC Beams without Stirrups Under Impact Loading," *Int. J. Impact Eng.*, vol. 137, no. November 2019, p. 103432, 2020, doi: 10.1016/j.ijimpeng.2019.103432.
- [16] D. V. C. Teles, M. C. Oliveira, and D. L. N. F. Amorim, "A Simplified Lumped Damage Model for Reinforced Concrete Beams Under Impact Loads," *Eng. Struct.*, vol. 205, no. December 2019, p. 110070, 2020, doi: 10.1016/j.engstruct.2019.110070.
- [17] Türk Standardlari Enstitüsü, *Türk Standardi 500*. 2000, pp. 1–75.
- [18] TBDY-2018, *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*. 2018, p. 416.
- [19] M. Hafezolghorani, F. Hejazi, R. Vaghei, M. S. Bin Jaafar, and K. Karimzade, "Simplified damage plasticity model for concrete," *Struct. Eng. Int.*, vol. 27, no. 1, pp. 68–78, 2017, doi: 10.2749/101686616X1081.
- [20] Z. T. Chang, M. A. Bradford, and R. I. Gilbert, "Short-term behaviour of shallow thin-walled concrete dome under uniform external pressure," *Thin-Walled Struct.*, vol. 49, no. 1, pp. 112–120, 2011, doi: 10.1016/j.tws.2010.08.012.
- [21] S. Hentz, F. V. Donzé, and L. Daudeville, "Discrete element modelling of concrete submitted to dynamic loading at high strain rates," *Comput. Struct.*, vol. 82, no. 29–30, pp. 2509–2524, Nov. 2004, doi: 10.1016/j.compstruc.2004.05.016.
- [22] O. C. Zienkiewicz, *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. 1967.
- [23] Abaqus, "<https://www.3ds.com/products-services/simulia/products/abaqus/>," *Simulia - Abaqus*. .

Konferans Bildirileri

1. Z. F. Alemdar, Y. Bahçacı, "Investigation of Reinforced Concrete Beams with Different Transverse Reinforcement Intervals under Impact Load Using the Finite Element Method" *International Congress on Science and Engineering for Sustainability 2021*, April 2021.

