T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Polipropilen Lif Takviyeli Betonarme Kirişlerin Deneysel ve Analitik Olarak Araştırılması

Abdulhamid ARYAN
YÜKSEK LİSANS
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalını
KONYA, 2014

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

ABDULHAMİD ARYAN

Tarih: 16. 05. 2014

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

Polipropilen Lif Takviyeli Betonarme Kirişlerin Deneysel ve Analitik Olarak Araştırılması

ABDULHAMİD ARYAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Rıfat Sezer

2014, 108 Sayfa

Juri

Doç. Dr, Rıfat Sezer

Yrd. Doç. Dr, Yunus Dere

Yrd. Doç. Dr, Arife Akın

Özet

Bu çalışmanın amacı, lif takviyesiz betonarme kirişler ile, polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin davranışlarının araştırılmasıdır. Bu amaçla, kirişlerin deneysel olarak yük – deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan yük – deplasman eğrileri kullanılarak enerji yutma kapasiteleri ve süneklik kat sayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma

sonucuna göre polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin daha sünek bir davranış gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu çalışmadaki deneylerde kullanılan kiriş numunelerin boyutları 20x30 cm, uzunlukları 200 cm ve ölçekleri ½ dir. Lif takviyesiz iki adet betonarme kiriş, o.6 kg/m^3 ve 0.84 kg/m^3 polipropilen lif takviyeli iki tip betonarme kirişten üçer adet imal edilmiştir. Sonra bu betonarme kirişlerin Abaqus programıyla analitik modellemesi yapılmıştır. Analitik çalışma kısmında toplam olarak üç tane kirişin Abaqus programıyla modellemesi yapılmıştır. Analitik modellemeden elde edilen sonuçlar, deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Buna göre analitik modelleme sonuçları ile deneysel çalışma sonuçlarının birbiriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Polipropilen, Lif takviyeli kirişler, Kirişlerin güçlendirilmesi, Abaqus programı, Analitik modelleme.

ABSTRACT

MS

Experimental and Analytical Study of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete Beams

ABDULHAMİD ARYAN

Graduate School of Natural and Applied Sciences Civil Engineering Department

SELÇUK UNIVERSITY

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE

Advisor: Assoc. Dr. Rıfat SEZER

2014, 95 Pages

Jury

Assoc. Dr. Rıfat SEZER

Yrd. Doç. Dr. Yunus Dere

Yrd. Doç. Dr. Arife Akın

Abstract

The purpose of this study is to investigate the behavior of the reinforced concrete beams without and with polypropylene fiber. For this purpose, the experimental load – displacement curves of the beams were formed. Their energy absorption capacity and ductility coefficient were calculated by using the formed load – displacement curves. The calculated results are compared with each other. According to the results of this comparison, it is concluded that the reinforced concrete beams with polypropylene fiber are more ductile. The dimension of the used beam-samples for test in this study is 20x30 cm, their length is

200 cm and their scale is ½. The reinforced concrete reference-beams with out fiber are produced as two items; the reinforced concrete beams with 0.6 kg/m^3 and 0.84 kg/m^3 polypropylene fiber are produced as three items. Then, the analytical modeling for these reinforced concrete beams were performed with Abaqus program. In the analytical studies, the modeling of totally three beams was performed with Abaqus program. The obtained results of analytical modeling must be compared with the obtained results of experimental study. According to this comparison, it was observed that the results of analytical modeling ar ecompatible with the results of experimental study.

.

Keywords: Polypropylene, Fiber-reinforced beams, Strengthening of beams, Program of Abaqus, analytical modeling.

ÖNSÖZ

Tez konumu seçmemde bana yardımcı olan ve bu konuda çalışma yaparken benden desteğini hiç esirgemeyen danışmanım Sayın Doç. Dr. Rıfat SEZER'e, tez çalışmam sırasında Abaqus programıyla ilgili olarak yaptığı yardımlardan dolayı Necmettin Erbakan Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Yunus Dere'ye, Deneysel çalışmalarım sırasında yaptığı destekten dolayı Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Deprem Araştırma Laboratuarı teknisyeni Yüksel Çiftçiye, bu çalışmada polipropilen liflerin temin edilmesinde desteği olan BEKSA Polyfibers A. Ş. Firmasına teşekkür ederim.

ABDULHAMİD ARYAN

KONYA-2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET **1**

ABSTRACT **3**

Abstract **3**

ÖNSÖZ **5**

İÇİNDEKİLER **6**

1. GİRİŞ **9**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **11**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **16**

3.1 Fiber katkılı betonlar 16
3.3.1. Polipropilen Lifler 16
3.3.1.1. Polipropilen Liflerin Özellikleri 17
3.3.1.2. Polipropilen Liflerin Kullanım Alanları 18
3.3.2. Agreganın özellikleri 19
3.3.3. Polipropilen Lifin Özellikleri 21
3.3.4. Donatı 23
3.4. Deney Numuneleri 24
3.5. Deney numunelerinin detayları 24
3.6 Beton 27
3.7. Deney düzeneği ve ölçüm tekniği 30
3.7.1. TDG-CODA PROGRAM kullanılışı 30
3.7.2. Deney düzeneği ve ölçüm tekniği 30
3.7.3. Yer değiştirmelerin ölçülmesi 31
3.7.4. LVTD lerin kalibrasyonu 32
3.7.5. Kalibrasyonun yapılış adımları 32
3.7.6. TDG CODA Deney Düzenleyici 34
3.7.7. Yük ve yer değiştirme ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılması 34
3.7.8. Yük hücresi (Loadcell) 35
3.7.9. Yük hücresi (Loadcell) kalibrasyonu 36
3.7.10. Coda Lokomotive (TDG CODA ana veri toplayıcı) 37

4. DENEY SONUÇLARI **38**

4.1. 1 Nolu Deney (RF-A) 38
4.2. 2 Nolu Deney (RF-B) 41
4.3. 3 Nolu Deney (P1-A) 44
4.4. 4 Nolu Deney (P1-B) 47
4.5. 5 Nolu Deney (P1-C) 50
4.6. 6 Nolu Deney (P2-A) 53
4.7. 7 Nolu Deney (P2-B) 56
4.8. 8 Nolu Deney (P2-C) 59

5. DENEY SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI 62

5.1. Lif takviyesiz numunelerin karşılaştırılması (1 ve 2 Nolu Deneyler) 62
5.2. Polipropilen lif takviyeli P1 tipi numunelerin karşılaştırılması (3, 4 ve 5 Nolu Deneyler) 63
5.3. Polipropilen lif takviyeli P2 tipi numunelerin karşılaştırılması (6, 7 ve 8 Nolu Deneyler) 64
5.4. Lif takviyesiz numunelerin ortalama değerlerinin gösterilmesi 65
(1 ve 2 Nolu deneyler) 65
5.5. Polipropilen lif takviyeli P1 tipi numunelerin ortalama değerlerinin gösterilmesi (3,4 ve 5 Nolu Deneyler) 65
5.6. Polipropilen lif takviyeli P2 tipi numunelerin ortalama değerlerinin gösterilmesi (6,7 ve 8 Nolu Deneyler) 66
5.7. Lif takviyesiz numunelerin polipropilen lif takviyeli P1, P2 tipi numuneleri ile grafiksel olarak karşılaştırılması (1 – 8 Nolu Deneyler) 66
5.8. Deney numunelerinin genel değerlendirilmesi 67

6. ANALİTİK ÇALIŞMA 69

6.1. Abaqus programı genel tanıtımı 69
6.2. Ana pencerenin bileşenleri 70
6.3. 3D Kiriş Analizi 71
6.3.1. Uygulamanın Adımları 71
6.3.2. Parçaya ait geometrinin oluşturulması 72
6.4. Malzeme özellikleri 76
6.5. Malzeme özelliklerinin girilmesi 77
6.6. Modelin bölgelerine ait bazı özelliklerin atanması 79
6.7. Parça örneği ve montaj 80
6.8. Yapılacak analiz tipi ve yüklemelerin tanımlanması 83
6.9. Donatıların gruplandırması 84
6.10. Yük ve sınır şartlarının uygulanması 85
6.11. Ağ oluşturma 88
6.12. Analiz tipinin belirlenmesi 90
6.13. Analitik Sonuçlar 92
6.13.1. 1 Nolu (RF) analitik 95
6.13.2. 3 Nolu (P1) analitik 96
6.13.3. 6 Nolu (P2) analitik 97
6.13.4. Lif takviyesiz numunelerin karşılaştırılması (1 ve 2 Nolu Deneysel ve Analitik) 98
6.13.5. Polipropilen lif takviyeli P1 tipi numunelerin karşılaştırılması (3, 4 ve 5 Nolu Deneysel ve Analitik) 98
6.13.6. Polipropilen lif takviyeli P2 tipi numunelerin karşılaştırılması (6, 7 ve 8 Nolu Deneysel ve Analitik) 99
6.13.7. Lif takviyesiz numunelerin polipropilen lif takviyeli P1, P2 tipi numuneleri ile grafiksel olarak karşılaştırılması (1 – 8 Nolu Analitik) 100

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME 102

7.1. Sonuçlar..... 102
7.2. Öneriler 103

8. KAYNAKLAR 105

SON 108

1. GİRİŞ

Bu çalışmada kullanılan polipropilen, malzeme olarak termo plastiklerin içinde yer alan ve oldukça hafif bir polimerdir. Günlük hayatta kullanılan plastiklerin hemen hemen yarısının hammaddesini oluşturur. Bu açıdan da bakılacak olursa üretimi ucuz olan bir plastik olduğunu da söylemek mümkündür. Beton veya sıvada kullanılan polipropilen lifin en önemli etkisi, beton dökümünden sonraki ilk birkaç saat içinde plastik büzülmelerden dolayı oluşacak çatlakları kontrol altına almasıdır. Prizin ilk safhasında betonun dayanım kazanma hızı, büzülmelerden dolayı meydana gelen iç çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu plastik büzülme esas itibariyle, su ve çimento arasında başlayan kimyasal reaksiyon ve buharlaşmanın tabii bir sonucudur.

Beton yüzyılı aşkın süredir tüm dünyada yapı malzemesi olarak kullanılmakta ve her geçen gün kullanım alanları artmakta ve yaygınlaşmaktadır. Portland çimentosunun imal edilmesiyle inşaat hayatına başlayan beton sektörü her gün gelişmektedir. Betonun en büyük dezavantajı çekme dayanımının ihmal edilebilecek kadar düşük olmasıdır. Bunun yanında kullanım alanı veya kullanılan yapıya göre betondan farklı performanslar beklenmektedir. Bu durum ancak özel betonlarla karşılanabilmektedir. Bu özel beton türlerinden biri olan lifli beton ise, beton ve çimentolu malzemelerde çeşitli özelliklerde liflerin kullanımı esasına dayanmaktadır (Arazsu, 2012).

Beton gibi çimento esaslı malzemeler çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesi çok düşük gevrek yapıdaki malzemelerdir. Geleneksel beton tipik olarak; yorulma dayanımı, kavitasyon ve aşınma dayanımı, çekme dayanımı, deformasyon kapasitesi, kayma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve tokluk açısından zayıf performans gösterir. Betonun bu zayıf özellikleri, gerektiği yerde beton içerisine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek lifler katılarak iyileştirilmiştir. Böylece beton karışımlarında polipropilen lif, karbon lif, plastik-cam bazlı lif ve çelik lifler kullanılmaya başlanmıştır. İnşaat Mühendisliği alanında, sağladığı avantajlar bakımından lifli betonların önemi hızla artmaktadır. Ayrıca kompozitlerin özeliklerini geliştirmek adına önemli adımlar atılmıştır (Yardımcı, 2007).

Betonun çekme dayanımı ve sünekliği düşüktür. Betonun bu zayıflığı, içerisine katılan çeşitli lifli malzemelerle güçlendirilmesi fikrini ortaya çıkarmıştır. Bu amaçla çeşitli lifli malzemeler geliştirilmiştir. Geliştirilen bu malzemelerden biri de polipropilen lifli malzemedir.

Bu çalışmanın amacı, lif takviyesiz betonarme kirişler ile, polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin deprem performans davranışlarının araştırılmasıdır. Bu amaçla, kirişlerin deneysel olarak yük – deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan yük – deplasman eğrileri kullanılarak enerji yutma kapasiteleri ve süneklik kat sayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda betonarme kirişler L/3 noktasından iki adet yük ile yüklenmiş ve deplasmanlar ise kiriş ortasından ölçülmüştür. Buna göre betonarme kirişlerin yük – deplasman eğrileri çizilmiştir. Sonra betonarme Kirişlerin, enerji yutma kapasiteleri ve süneklikleri bulunmuş ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Betonarme kirişin çekme, eğilme dayanımını arttırabilmek için değişik katkılar kullanılır. Bu deneysel çalışmada betonarme kirişin çekme, eğilme dayanımını artılabilmek, enerji yutma kapasitesi ve süneklik farklarını bulunabilmek için kullanılmış katkı, polipropilen lif olmaktadır. Betonarme kirişin lif katkısız çekme, eğilme dayanımı ile aralarındaki fark bulunmuştur. Daha sonra “Analitik Modelleme” Abaqus programı ile yapılmıştır. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için 2 m boyunda ve 0.20x 0.30 m^2 alana sahip ve ½ ölçekli olan kiriş dikkate alınmıştır. Aşağıdaki üç farklı şekilde deney numuneler hazırlanmış ve analitik modellemesi yapılmıştır.

1) Lif katkısız betonarme kirişten 2 adet numune imal edilmiştir.
2) İki farklı karışımlı polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerden üçer adet imal edilmiştir.
3) 3 Adet polipropilen lif takviyeli betonarme kirişin Abaqus programıyla analitik modellemesi yapılmıştır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Altun, F., (2006): Çelik lif uygulaması; karayollarında, tünel yüzeylerinde, beton buz borularda ve endüstriyel yapıların saha betonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Betonarme taşıyıcı elemanlarda kullanımı ise gerek enerji yutma kapasitesi açısından gerekse beton dayanımına sağlayacağı katkı bakımından önemli bulunmaktadır.

Karahan, O., (2006): Bu çalışmada Sugözü uçucu külü katkılı betonlar ile polipropilen lif ve çelik lif ile güçlendirilmiş normal ve uçucu kül katkılı betonların özellikleri araştırılmıştır. Su/bağlayıcı oranı 0.35, bağlayıcı dozajı 400 kg/m3 olarak belirlenmiştir. Uçucu kül çimento ile kütlece %10, %15, %20, %25, %30 ve %45 ikame oranlarında yer değiştirilmiştir. 19 mm uzunluğundaki polipropilen lif hacimce %0.05, %0.10 ve %0.20 oranlarında ve 35 mm uzunluğunda ve 0.55 mm çapındaki çelik lif ise hacimce %0.25, %0.50, %1.00 ve %1.50 oranlarında normal ve %15 ve %30 uçucu kül katkılı betonlara ilave edilmiştir. Betonlar üzerinde puzolanik aktiflik, birim ağırlık, işlenebilme, basınç dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı, tokluk, yarmada çekme dayanımı, aşınma, rötre, boşluk oranı, su emme, kapılar su emme, karbonatlaşma, ultrasonik hız ve donma çözülme deneyleri yürütülmüştür. Polipropilen lifin ve artan lif oranlarında özellikle %0.05 oranından sonra betonların dayanım ve dayanıklılık özelliklerine pek bir etkisi görülmemiştir.

Yıldırım, S., (2006): Bu çalışmada, polipropilen, cam ve çelik lifli betonların dona dayanıklılıkları araştırılmıştır. Deneyler için, lifsiz, polipropilen, cam, çelik ve karışık lifli 12 farklı beton üretilmiştir. Beton karışımında mikro yapılı çapı 50 μ, boyut oranı 400 polipropilen ve çapı 14 μ, boyut oranı 857 olan cam lifler ile makro yapılı çapı 0.75 mm, boyut oranı 80 olan çelik lifler kullanıldı. % 0.5, 0.75 ve % 1 hacimsel oranında çelik lifler, beton içinde % 0.1 hacimsel oranında polipropilen ve cam liflerle karışık ve ayrı ayrı kullanıldı. Deneyler ASTM C 666 standardından havada hızlı donma-çözülme koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. 30 donma-çözülme çevrimi sonucunda hazırlanan numuneler üzerinde ağırlık kaybı, ultrases geçiş hızı ve dayanıklılık faktörü değerleri belirlenmiştir. Deney sonuçları, betonda kullanılan lif tipine göre değerler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir.

Bu çalışmada polipropilen liflerin betonda en yüksek performansı gösterdiği anlaşılmaktadır. Bunu polipropilen liflerin çatlak önleyici etkisine ve donma-çözülmeden pek etkilenmemesine bağlamak mümkündür. Cam lifleri, polipropilen lifler gibi mikro yapıya sahip olmasına ve alkali ortama dayanıklı olarak üretilmiş olmasına rağmen, cam liflerinin genel zaaflarını göstermiş ve betondaki ortamdan olumsuz etkilenmiştir. Çelik lifli betonlarda ilk etaptaki azalmaya lif-matris ara yüzeyindeki boşlukların yol açtığı sanılmaktadır. Çünkü ultrasonik ses cihazı bu ara yüzeyleri boşluk gibi algılayabilmekte ve ses geçişi yavaş-layabilmektedir. Bunun yanında; liflerin uçlarının kıvrık oluşu, ayrıca genleşme ve daralmaları daha iyi karşılamaları ve çatlakları önlemeleri nedeniyle, lif miktarının artmasıyla ses hızındaki düşüş oldukça azalmış, ama yine de bu değer kontrol betonunun üstünde kalmıştır. Karışık lifli betonlarda da benzer etki görülmektedir. Lifler, bu betonları da kendi özellikleri doğrultusunda etkilemektedir. Karışık cam lifli betonda ses geçişini yavaşlamakta, polipropilen lifli betonda artmaktadır. Çelik liflerin artışı ses hızında artışı da beraberinde getirmekte ve ses hızındaki yavaşlama yüzdesi deney başlangıcındaki değerlere göre daha az olmaktadır.

Aktürk, M., (2007): Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB); kendi ağırlığı ile, döküldüğü kalıba yerleşen ve vibratör kullanılmasına gerek duyulmaksızın en sık donatılı bölgelerde ve en dar kesitlerde bile hava boşluğunu dışarı atarak ve sıkışarak seviyelenen, oldukça akıcı kıvamlı bir beton olarak tanımlanmaktadır. KYB içerisinde polipropilen liflerin kullanılması betondaki rötre ve büzülme çatlaklarını azaltması, segregasyonu azaltması, betonu darbelere karşı koruması, yüzey aşınmalarını engelleyerek betonun ufalanmasını engellemesi, Prefabrik ve geleneksel yapıların kolon ve kiriş gibi iskelet sistemlerinde etriye sistemi ile paralel çalışarak deprem gibi ani ve şiddetli darbe yüklerine karşı yapının enerji yutma kapasitesini artırması açılarından son derece önemlidir. Deprem gibi ani ve şiddetli darbe yüklerine karşı yapının enerji yutma kapasitesini artırması açılarından son derece önemlidir. Bu çalışmada dünyada ve ülkemizde kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan veüçlendirme projelerinin vazgeçilmez unsuru olacağı düşünülen Kendiliğinde Yerleşen beton hiper akışkanlaştırıcı katkı, uçucu kül ve polipropilen lif kullanarak üretilmiş ve bu maddelerin KYB'nin performansına etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Demirel, B., (2007): Bu çalışmada farklı fiber boyunun karbon fiber takviyeli betonun basınç dayanımı ve kapilaritesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla; iki farklı dozajda ve her bir dozaj için fibersiz, 4mm'lik ve 8mm'lik fiberli olmak üzere toplam 6 normal beton serisi hazırlanmıştır. Karbon fiber çimento ağırlığının %0,5 oranında ilave edilmiştir. Fiberleri matris içerisinde homojen olarak çökeltmek için çimento ağırlığının %10'u kadar silis dumanı ilave edilmiştir. Sadece fiber boyunun basınç dayanımı ve kapilariteye etkisini gözleyebilmek maksadıyla, fibersiz serilere de silis dumanı ilavesi yapılmıştır. Deneyler 28 günlük kürlerini tamamlayan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. İlk olarak serilerin kapilarite katsayısı belirlenmiş ve daha sonra basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Fiber boyunun artmasının betonun basınç dayanımını düşürdüğü, kapilaritesini arttırdığı deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Aynı zamanda dozajın arttırılması ile bu olumsuz etkilerin optimum seviyeye getirebileceği gözlenmiştir. Çelik lifin özellikle lif hacmi değişimine bağlı olarak betonun eğilme dayanımı, tokluk, yarmada çekme dayanımı, aşınma ve rötre gibi özelliklerini önemli ölçüde olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Enerji tasarrufundan kaynaklanan ekonomik kazanç ve gün geçtikçe hissedilen çevreyi koruma gereği, ayrıca uçucu külün taze ve sertleşmiş betonun birtakım özelliklerini iyi yönde etkilemesi, uçucu külün lifli betonlarda kullanılmasının başlıca nedenleridir.

AKKAŞ, A., (2010): Bu çalışmada polipropilen lifli yarı hafif betonların üretilmesi ve basınç dayanımı incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada normal dayanımlı beton ile aynı karışıma çimento ağırlığının % 6 oranında polimer ilave edilerek polipropilen lifli yarı hafif beton numuneler üretilmiştir. Numuneler basınç dayanımı deneyi yapılarak, numunelerin 7 ile 28 günlük dayanımları değerlendirilmiştir.

Açıkgen, M., (2012): Beton, çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesi çok düşük olan gevrek yapıdaki bir malzemedir. Betonun bu özelliklerinin belirgin olarak gerektiği yerlerde beton içerisine değişik malzemelerden üretilmiş ve teknik özellikleri yüksek liflerin katılması sonucu betonun zayıf özellikleri iyileştirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmada, polipropilen lifler beton içerisine hacimce %1 ve %2 oranlarında eklenerek, bunların betonun taze ve sertleşmiş özeliklerine yaptığı etkiler araştırılmıştır. Plastik ve akıcı kıvama sahip 300, 350 ve 400 dozlu polipropilen lifli beton karışımlar tasarlanmıştır.

Beton basınç dayanımları için 150x150x150 mm standart küp numuneler, eğilme-çekme dayanımları için 100x100x500 mm kiriş numuneler ve durabilite deneyleri için 100x100x100 mm küp numuneler üretilmiştir. Lif oranı arttıkça betonun dayanım özelliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, polipropilen lifin, betonun aşınma dayanımı ve kılcal su emme özelliklerini de olumlu etkilediği tespit edilmiştir. Sonuç olarak, taze beton özellikleri ve karışım oranları değiştikçe polipropilen lifin, betonun dayanım ve durabilite özellikleri üzerinde farklı etkisi olduğu ortaya çıkmaktadır.

Arazsu, U., (2012): Bu çalışmada kullanılan polipropilen, malzeme olarak termoplastiklerin içinde yer alan ve oldukça hafif bir polimerdir. Günlük hayatta kullanılan plastiklerin hemen hemen yarısının hammaddesini oluşturur. Bu açıdan da bakılacak olursa üretimi ucuz olan bir plastik olduğunu da söylemek mümkündür. Beton veya sıvada polipropilen lifli betonun en önemli etkisi, beton dökümünden sonraki ilk birkaç saat içinde plastik büzülmelerden dolayı oluşacak çatlakları kontrol altına almasıdır. Prizin ilk safhasında beton mukavemetinin oluşma hızı, büzülmelerden dolayı meydana gelen iç çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu plastik büzülme esas itibariyle su ve çimento arasında başlayan kimyasal reaksiyon ve buharlaşmanın tabii bir sonucudur. Polipropilen lifler çelik liflere nazaran betonun mekanik mukavemetlerini arttırmada çok etkili olmazlar. Yine azda olsa betona enerji yutma özelliği kazandırırlar ve özelliklede plastik rötrede çok etkili olurlar. Özellikle çok güçlü olmayan büzülmelere karşı polipropilen lifler tercih edilmektedirler. Polipropilen liflerin fonksiyonu betonun yumuşak, plastik safhasıyla sınırlı iken, çelik liflerin mukavemet arttırıcı etkisi beton prizini alıp sertleştikten sonra da belirgin şekilde devam eder. Betonun plastik safhasında çelik liflerin çatlak önleyici ve sınırlayıcı etkisi de mevcuttur. Ancak, betonda mükemmel şekilde dağılmış olan polipropilen liflerin etkisine göre zayıftır. Bununla birlikte sertleşmiş betonda uzun dönemde kuruma büzülmelerinden dolayı oluşacak çatlakların azaltılmasında polipropilen lifler malzemeye belirli bir dayanıklılık ve tokluk vererek betonun mukavemetini önemli ölçüde arttırırlar.

.

Sümer, B., (2012): Betonların bazı özeliklerini iyileştirmek için çeşitli mineral katkılar ve lifler katılmaktadır Bunlardan biride siliscdumanıdır Betona optimum miktarda silis dumanı eklenmesi hidratasyon ısısını düşürmesi, yüksek hedef dayanımı ve düşük permeabilite sağlaması, alkali silika reaksiyonunu ve sülfat etkisini kontrol altına alması gibi birçok yararlar sağlamaktadır. Silis dumanı katkısı agrega-hamur ara yüzey bölgesini sıkılaştırarak daha boşluksuz ve daha mukavemeti yüksek betonlar elde edilmesini sağlar. Buna karşın silis dumanının işlenebilirliği düşürmesi gibi olumsuz etkileri de vardır. Betondaki optimum silis dumanı miktarı bu etkilerin göreceli değerlerine bağlı olarak belirlenir ve çimento, agrega, akışkanlaştırıcı katkı tip ve miktarları ile bakım koşulları gibi faktörlerden de etkilenir. Polimer liflerden betona katılan ve en iyi sonucu veren ve en yaygın kullanılanı polipropilen liflerdir. Polipropilen lif betonun içinde üç boyutlu bir mikro donatı ağ oluşturarak, betonda doğal olarak varlığı kabullenilen eksiklik ve zaafları azaltıp betonun bazı özelliklerini iyileştirebilirler. Bu çalışmada endüstriyel bir atık malzeme olan silis dumanının saha betonunda kullanımının beton özellikleri üzerine etkileri incelenmiş ve silis dumanının beton üzerindeki olumsuz etkilerini iyileştirmek için polipropilen lif katılarak beton özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Polipropilen lifin betona katılmasıyla, basınç dayanımında meydana gelen değişiklikler izlenmiştir. % 0.1 % 0.5 ve % 1 Polipropilen lifle güçlendirilmiş % 10 silis dumanı içeren betonların basınç dayanımlarının tayini 28 günlük küp numuneler üzerinde yapılmıştır. Polipropilen lif ve silis dumanı miktarı arttıkça basınç dayanımlarının artmıştır. % 5 ve % 10 Silis dumanı katkılı betonların basınç dayanımları şahit betona kıyasla yaklaşık sırasıyla % 23 ve % 35 oranlarında artmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada betonarme kirişlerin deprem performansını artırmak amacıyla polipropilen lifler kullanılmıştır. Yapılan çalışmada lif katkısız betonarme kiriş ile iki farklı oranda polipropilen lif katkılı betonarme kirişler, deneysel olarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu deneysel çalışmada kullanılan iki farklı orandaki polipropilen liflerin miktarı ise, sırayla 600 gr / m^3 (P1) ve 840 gr / m^3 (P2) dir. Buna göre, üç adet 600 gr / m^3 (P1) betonarme kirişlerde, toplam 216 gr ve 840 gr / m^3 (P2) betonarme kirişlerde ise, toplam 303 gr polipropilen lif katkısı kullanılmıştır. Deneylerde betonarme kirişlerin yük – deplasman eğrileri elde edilmiştir.

3.1 Fiber katkılı betonlar

Beton yapı uygulamalarında çok geniş uygulama alanına sahip bir malzemedir. Ancak, betonun gevrek bir malzeme olmasından dolayı bazı uygulamalarda farklı malzemeler ile desteklenmesi gereği doğmaktadır. Daha sünek bir yapı kazandırabilmek amacıyla betona katılan malzemelerden biride polipropilendir. Beton içerisinde polipropilen liflerin kullanılması betondaki rötre ve büzülme çatlaklarını azaltması, segregasyonu azaltması, betonu darbelere karşı koruması, yüzey aşınmalarını engelleyerek betonun ufalanmasını engellemesi, Prefabrik ve geleneksel yapıların kolon ve kiriş gibi iskelet sistemlerinde etriye sistemi ile paralel çalışarak deprem gibi ani ve şiddetli darbe yüklerine karşı yapının enerji yutma kapasitesini artırması açılarından son derece önemlidir. Deprem gibi ani ve şiddetli darbe yüklerine karşı yapının enerji yutma kapasitesini artırması açılarından son derece önemlidir.

3.3.1. Polipropilen Lifler

Polipropilen lifler petrolün bir türevi olup, sahip olduğu fiziksel ve kimyasal özellikler nedeniyle, başta inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılan organik bir malzemedir. Tüm dünyada çimento ve alçı gibi inorganik kökenli inorganic bağlayıcılar ile bitüm gibi organik bağlayıcıları mikro donatılandırmak ve durabilite özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır.

Polipropilen liflerin beton içerisinde gösterdiği en önemli özellik, betonun dökülüşünün ilk birkaç saati içerisinde meydana gelen plastik büzülmeden (rötreden)

dolayı oluşan çatlamayı kontrol etmektir. Polipropilen lifler beton, sıva, şap, alçı, bitüm ve precast uygulamaları için kullanılan bir mikro donatı sistemidir. Polipropilen lifler çok çeşitli ebatlarda üretilirler.

Hammaddesi % 100 polipropilendir. 6 mm, 12 mm, 19 mm, 38 mm uzunluğunda üretilen çeşitleri daha az ipliksi yapıya sahiptir. Saha betonları, yürüyüş yolları, garaj, otopark ve şaplar için bir tali donatı sistemi olarak hasır donatının yerine kullanılabilir. Lif donatılı beton uygulamaları çok eski yıllara dayanmasına rağmen, 1960'lı yıllardan itibaren büyük bir ivme kazanmıştır. Özellikle Amerikan Ordu Mühendisleri Birliği (US Army Corp. Of Engineers) geleneksel silahlara karşı betonu güçlendirmek amacı ile yaptığı çalışmalar sonucunda betonda lif kullanımına yönelik deneysel ve teorik veriler elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ışığında ASTM, bir standard hazırlayarak 'Püskürtme Sıva ve Lif donatılı Beton uygulamaları' adında 1116-C kodu ile yayımlamıştır. ASTM 1116-C standardında bir betonun liflendirilmiş olması için %0,1 oranında hacimce lif içermelidir. Diğer bir değişle 1 m^3 için en az 1 kg lif kullanılmalıdır. Polipropilen malzemenin yoğunluğu en az 0,9 kg/m^3 olduğunda standarda uygunluk açısından en az 0,9 kg/m^3 dozaj kullanılmalıdır. Almanya'nın Frankfurt şehrinde yeni inşa edilen bir yapıda yangına karşı yüksek dayanım elde etmek için polipropilen lif donatılı bir beton kullanılmıştır. Bunun için 1 m^3 başına 2 kg polipropilen lif katılmıştır (Aktürk, 2007).

3.3.1.1. Polipropilen Liflerin Özellikleri

- Betondaki rötre ve büzülme çatlaklarını azaltır.
- Betonu üç boyutlu donatılandırır.
- Segregasyonu azaltır.
- Betonu sünek hale getirir ve geçirgenliğini azaltır.
- Betonun darbeye karşı dayanımını artırır.
- Betonun basınç ve eğilme dayanımını artırır.
- Asit ve bazlardan etkilenmez, donatının korozyonunu ve paslanmasını geciktirir.

- Betonun dağılmasını ve parçalanmasını önler. Yapılar depremde az hasar görür ve çökme riski azalır.

- Betonun dayanıklılığı artar, kayar kalıplarda betonun şişmesini önler.
- Yorulma dayanımını artırır ve betonun hizmet ömrünü artırır.
- Aşındırıcı kimyasallara karşı dayanımı artırır.
- Yüzey aşınmasını, ufalanmasını ve pullanmasını engeller.

3.3.1.2. Polipropilen Liflerin Kullanım Alanları

- Saha Betonları ve Şap Uygulamaları: Polipropilen liflerin en yaygın tercih edildiği uygulama alanıdır. Plastik büzülme, plastik çökme ve rötre çatlamalarını engellenmesi açısından en ekonomik ve pratik yöntemdir. Bunu yanı sıra yüzey aşınma direnci kazandırır. Pullanma, ufalanma ortadan kalkar. Minimum incelikte şap dökümüne izin verir. Ayrıca taşıyıcı olarak kullanılmayan hasır donatının yerine tali donatı sistemi olarak kullanılır.

- Yapısal Taşıyıcı Betonarme Sistemler: Prefabrik ve geleneksel yapıların kolon ve kiriş gibi iskelet sistemlerinde Polipropilen Lifler etriye sistemi ile paralel çalışarak deprem gibi ani ve şiddetli darbe yüklerine karşı yapının enerji yutma kapasitesini bir miktar artırır. Bu sayede dağılma, ufalanma gibi etkiler ortadan kalkar.

- Tamir ve Yapıştırma Harçları: İnşaat hatalarının ortadan kaldırılması için yaygın olarak kullanılan tamir harç ve dolgularında Polipropilen lif kullanıldığında elde edilecek kompozit malzemenin dayanıklılığı artacak ve büzülme problemleri ortadan kalkacaktır. Tarihi yapıların yenilenmesi için hazırlanan özel karışım harçlarda polipropilen lifler keten, saman, keçi kılı v.b. yerine kullanılabilir. Mantolama amaçlı polistren levha sistemlerinin yapıştırılmasında da polipropilen lifler aderansı artırırlar.

- Prefabrik Elemanlar: Betonarme boru, prekast cephe giydirme elemanları, harpuşta, denizlik ve söveler ile prefabrikasyon yapı elemanlarında ortaya çıkan kalıptan çıkarma sırasında oluşan kırılmaları, yüzey kalitesindeki bozulmaları,

çökme problemlerini ve kür nedeniyle oluşan termal çatlamaları polipropilen liflerin kullanımıyla önlemek mümkündür.

- Bitümlü Karışımlar: Polipropilen lifler bitümlü karışımlarda ve asphalt uygulamalarında modifikasyon amaçlı olarak karışımların düşük sıcaklıklarda kırılganlığını ortadan kaldırmak için kullanılırlar.

- Püskürtme Beton: Püskürtme beton uygulamalarında en büyük maliyet faktörü olan geri düşme, polipropilen liflerin kullanımı ile %5 düzeyine çekilebilmektedir Polipropilen lifler betonun yüzeye tutunma kabiliyetini arttırırken, yüzeyden geri sekme ve sıçrama kontrolü sağlar Homojen ve sürekli malzeme akımını temin ederek operatöre uygulama kolaylığı verir. Şev, düşey ve baş üstü uygulamalarında bel vermeyi ve saçılmayı azaltır.

3.3.2. Agreganın özellikleri

Bu çalışmada, Eğri bayat KOMMADEN KONYA MAD. İNŞ. SAN. VE TİC. A.Ş. tarafından üretilen ve Konya Çimento hazır beton tesislerinde kullanılan agrega kullanılmıştır

4 - 11,2 mm dane çaplı ince agreganın malzeme ağılığı 293 Kg, Karışım Oranları 15, görünen özgül ağırlığı 2,71 t/m3 ve su emme oranı % 0,29, su emme oranı 0,8 Kg,dur.

11,2 - 22,4 mm dane çaplı ince agreganın malzeme ağılığı 525 Kg, Karışım Oranları 27, görünen özgül ağırlığı 2,70 t/m3 ve su emme oranı % 0,22'Su emme oranı 1,2 Kg,dur.

KONYA ÇİMENTO SAN. AŞ. Tarafından C20 / 25 beton sınıfı için kullanılan genel bilgiler aşağıda tablo şeklinde verilmiştir.

Çizelge 3.1. Beton karışım oranları

FİRMANIN ADI	: *KONYA ÇİMENTO SAN. AŞ.*
TESİSİN ADI	: *KONYA(MERKEZ) HAZIR BETON TESİSİ*
REÇETE NO	: *K-Mer-11*
DÜZENLENME TARİHİ	: *26.02.2014*

G

BETON SINIFI	: C20/25
DMAX	: 23mm
KIVAM sınıfı	: S4
W/C	: 0,64

ÇİMENTO	
TEDARİKÇİ ADI	: KONYA CEMENT ÇİMENTO
SINIFI	: CEMII M[P-L] A42,5R
ÇİMENTO (kg/m3)	: 265 kg/m3

KATKI 1 (ANA KATKI)	KATKI 2 (İLAVE KATKI)
CHRYSO Optima 281	

TEORİK BİRİM AĞIRLIKLAR						DÜZELTMELER				GERÇEK
	KAYNAK		KARIŞIM ORANLARI	ÖZGÜL AĞIRLIK	MALZEME AĞIRLIĞI	RUTUBET (%)		SU EMME (%)		1000 dm³ (1 M³)
						RUTUBET ORANI (%)	RUTUBET FARKI (kg)	SU EMME ORANI (%)	SU EMME FARKI (kg)	
ÇİMENTO	KONYA CEMENT			3,04	265					265 kg
SU	ŞANTİYE			1,00	170					188 kg
HAVA			16,0							
UÇUCU KÜL										
FİLLER	0/2mm K.Kum	Tamtaş		2,67						
KUM-1	0/4mm K.Kum	Tamtaş	58	2,67	1115			0,59	6,6	1115
KUM-2	0/7mm Kum	Merdivenli		2,60						
AGREGA-1	4/11,2mm I No	Tamtaş	15	2,71	293			0,29	0,8	293
AGREGA-2	11,2/22,4mm II N	Tamtaş	27	2,70	525			0,22	1,2	525
KATKI-1	KATKI 1	Optima 281	1,0	1,18	2,65					2,65
KATKI-2	KATKI 2			0,91						
TOPLAMLAR			% 100		2370 kg			% 1,10	8,58	2388 kg

Çizelge 3.2. Betonun elek analizi

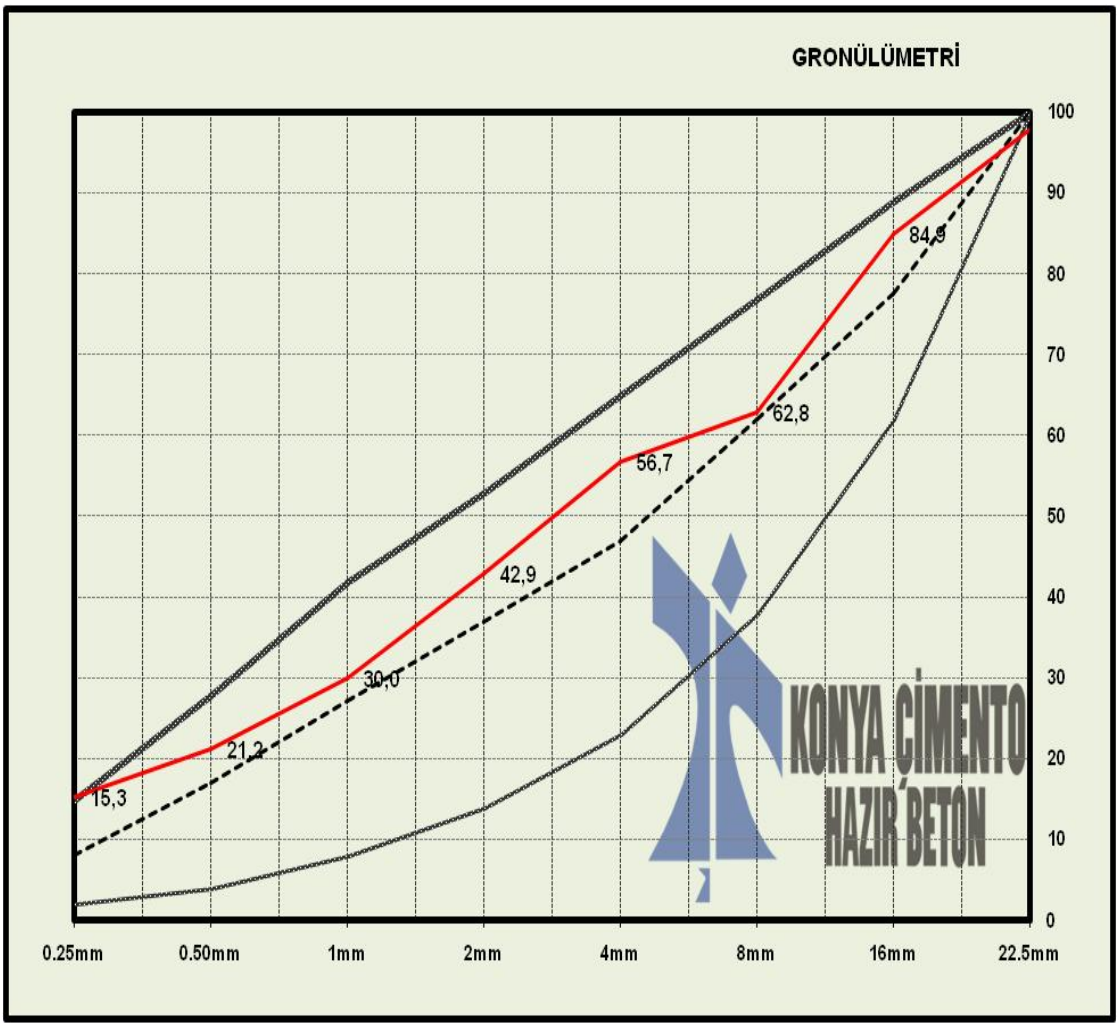
ELEK ANALİZİ (mm) (% Geçen)										TS 1226 ISO 3310
MALZEMELER		0,25	0,50	1	2	4	8	16	25,4	32
FİLLER	0/2mm K.Kum							100	100	100
KUM-1	0/4mm K.Kum	26,3	36,5	51,7	74	97,7	100	100	100	100
KUM-2	0/7mm Kum							100	100	100
AGREGA-1	4/11,2mm I No						31	100	100	100
AGREGA-2	11,2/22,4mm II No						0,6	44,2	92,0	100

ELEK	0,25	0,50	1	2	4	8	16	25,4	31,5
1									
2	15,3	21,2	30,0	42,9	56,7	58,0	58,0	58,0	58,0
3									
4						4,7	15,0	15,0	15,0
5						0,2	11,9	24,8	27,0
TOPLAM	15,3	21,2	30,0	42,9	56,7	62,8	84,9	97,8	100,0

ELEK NO	ÜstLimit	OPTİM	AltLimit	GRADASYON
22.5mm	100,0	100,0	100,0	97,8
16mm	89,0	77,6	62,0	84,9
8mm	77,0	62,0	38,0	62,8
4mm	65,0	47,0	23,0	56,7
2mm	53,0	37,0	14,0	42,9
1mm	42,0	27,2	8,0	30,0
0.50mm	28,0	17,0	4,0	21,2
0.25mm	15,0	8,0	2,0	15,3

Dmax
22,5
11,2

Gronülümetri eğrisi ise aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.1. Betonun gronülümetri eğrisi

3.3.3. Polipropilen Lifin Özellikleri

Polipropilen lifler çok çeşitli ebatlarda üretilirler. Hammaddesi % 100 polipropilendir. Polipropilen liflerin 6mm, 12 mm, 19 mm, 38 mm uzunluğunda üretilen çeşitleri vardır. Bu deneysel çalışmada 12 mm uzunluğunda polipropilen lifler kullanılmıştır. Araştırmada kullanılan lifler İzmit Beksa Fabrikasından temin edilmiştir. Halen Türkiye'de imalatı yapılmayan bu lifler Belçika '' Dramix'' firması tarafından üretilmekte ve Türkiye temsilciliğini ise Beksa Fabrikası yapmaktadır. Deneyde kullanılan polipropilen lif Şekil 3.2'de, teknik özellikleri ise, Çizelge 3.3' de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Polipropilen liflerin teknik özellikleri

Özellikler	A tipi lif
Şekil	Stable fiber
Boyut (mm)	15
Özgül ağırlık (g/cm^3)	0.92
Elastisite modülü (GPa)	3.15
Çekme dayanımı (MPa)	620
En büyük uzama (%)	22
Elektrik geçirgenliği	Düşük
Erime noktası (°C)	160
Yanma noktası (°C)	590
Isıl iletkenlik	Düşük
Alkalilere direnci	Yüksek
Asitlere direnci	Yüksek
Tuzlara direnci	Yüksek



Şekil 3.2. Deneyde Kullanılan Polipropilen Lif

3.3.4. Donatı

Deprem davranışı zayıf, sünek olmayan betonarme kirişlerdeki donatılar, Türkiye'deki mevcut yapılarda genellikle kullanıldığı düşünülen S420 kalitesinde nervürlü donatı olarak seçilmiştir. Kullanılan donatı çeliğinin gerilme-şekil değiştirme grafikleri ile karakteristik değerlerini belirlemek için donatılardan alınan 3'er adet 400 mm uzunluğundaki numuneler TS-708'e uygun olarak çekme deneyine tabi tutulmuştur. Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuarında 800 KN kapasiteli otomatik çelik çekme cihazında test edilen donatı çubuklarına ait çekme deneyi sonuçları Çizelge 3.4'de, test sırasında numunenin görüntüsü ise Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Donatı çeliği çekme deneyi (Genel görünüş)

Çizelge 3.4. Deney numunelerinde kullanılan donatı çubuklarının özellikleri

DONATI ÇAPI (MM)	**AKMA DAYANIMI F_{YK}(MPA)**		**MAKSİMUM ÇEKME DAYANIMI F_{SU}(MPA)**		**SINIFI, TÜRÜ**
	Ölçülen	**Ortalama**	**Ölçülen**	**Ortalama**	
ϕ8	425	413	537	522	S420, Düz
	399		534		
	416		495		
ϕ12	412	394	533	518	S420, Düz
	392		543		
	378		477		

3.4. Deney Numuneleri

Deneysel çalışmalarda 1/1 oranlı numuneler üzerinde deney yapmak, maliyet ve deney sisteminin yük kapasitesi yönünden oldukça zordur. Bu nedenle belirli bir oranda küçültülmüş modeller üzerinde deneyler gerçekleştirilir. Model oranı küçüldükçe gerçek davranıştan uzaklaşılarak, boyut etkisi belirli bir oranda hatayı da beraberinde getirecektir. Dolayısıyla model oranının olabilecek en büyük oranda olması tercih edilmektedir. Mevcut laboratuar ortamında deney numunesi oranı ½ ölçekli olarak tasarlanmıştır.

Bu çalışmanın amacı, lif takviyesiz betonarme kirişler ile, polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin deprem performans davranışlarının araştırılmasıdır. Bu amaçla, kirişlerin deneysel olarak yük – deplasman eğrileri oluşturulmuştur. Oluşturulan yük – deplasman eğrileri kullanılarak enerji yutma kapasiteleri ve süneklik kat sayıları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Daha sonra "Analitik Modelleme" Abaqus programı ile yapılmıştır. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için 2 m boyunda ve 0.20x 0.30 m^2 alana sahip ½ ölçekli olan kiriş dikkate alınarak aşağıdaki üç farklı şekilde deney numuneler hazırlanmıştır ve analitik modellemesi yapılmıştır.

1) Lif katkısız betonarme kirişden 2 adet numune imal edilmiştir.
2) İki farklı karışımlı polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerden üçer adet imal edilmiştir.
3) 3 Adet polipropilen lif takviyeli betonarme kirişin Abaqus programıyla analitik modellemesi yapılmıştır.

3.5. Deney numunelerinin detayları

Bu çalışmada, Türkiye'deki mevcut deprem davranışı zayıf betonarme binaların güçlendirilmesi amaçlandığından, yapıların önceki betonarme standartları (TS 500-1984 ve daha eski) dikkate alınarak yapıldığı ve çoğunlukla düz yüzeyli donatının (S420) kullanıldığı varsayılmıştır.

Kirişler de açıklıkta altta 3ϕ12 eğilme donatısı ve üstte 2ϕ12 montaj donatısı kullanılmıştır. Kirişlerde pilye düzenlenmemiş, dolayısıyla mesnet ve açıklık kesitlerinde donatı oranı sabit tutulmuştur. Kirişlerde kullanılan eğilme donatısı oranı; ρ=0.0064 dür. Bu donatı oranı, TS500'de belirtilen minimum sınırlar dahilindedir.

$$0.02 > \rho = \frac{A_{st}}{b_w \times d} = \frac{3\times 113}{150\times 250} = 0.00904 \geq \rho_{\min} = 0.8\times \frac{f_{ctd}}{f_{yd}} = 0.8\times \frac{0.85}{365} = 0.00186$$

Kirişlerde ϕ8 / 150 mm aralıkla enine donatı (etriye) kullanılmıştır. TS-500-1984'de minimum etriye çapı 8 mm olarak verilmiştir. TS-500-2000 ve TDY-07'de ise etriye çapı için minimum değer 8 mm, etriye aralığı için ise en fazla $12\phi_l$ ya da 200 mm'dir. Etriye aralıkları,

$$s \leq \begin{matrix} 12\phi_\ell = 12\times 12 = 144\,mm \\ 200/2 = \quad 100\,mm \end{matrix}$$

Olmalıdır. Bu nedenlerle, 1/2 ölçekli deney elemanlarında ϕ6/100 mm enine donatı (etriye) kullanılması uygundur. Ancak ϕ6 donatı temin edilemediği için, enine donatı oranı yaklaşık aynı kalacak şekilde ϕ8/150 etriye kullanılmıştır.

$$\rho_w = \frac{A_w}{b\times s} = \frac{2\times 28}{150\times 100} = 0.00373 \Rightarrow 0.00373 = \frac{2\times 50}{150\times s} \Rightarrow s = 178\ mm$$

Seçilen $\phi 8/150\,mm$, donatı aralığı ile kalıbın yapılış adımları aşağıdaki şekillerde verilmiştir (Şekil 3.4 – 3.7).



Şekil 3.4. Etriye aralığı detayı



Şekil 3.5. Kiriş kalıplarını Çakılırken



Şekil 3.6. Kiriş donatılarını bağlanırken



Şekil 3.7. Kiriş donatılarını kalıp içinde yerleştirildikten sonra

3.6 Beton

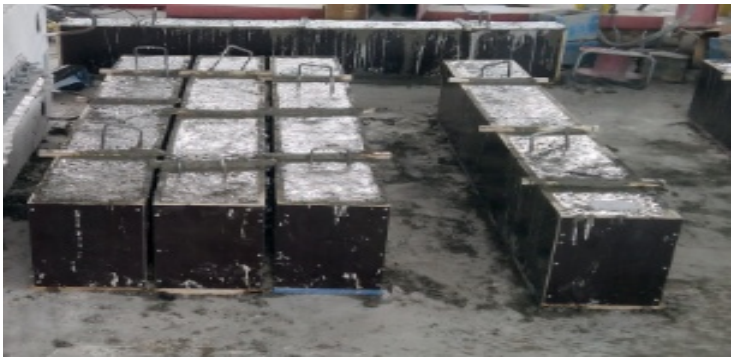
Bu çalışmada C20 beton sınıfından kullanılmış ve kullanılan beton Konya çimento A.Ş, den alınmıştır. Polipropilen katkısı ise Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendislik Bölümü Deprem Araştırma Laboratuarında karıştırılmıştır. Betonun karıştırılma ve yerleştirilme adımları aşağıdaki şekillerde verilmiştir (Şekil 3.8 – 3.10).



Şekil 3.8. Mikserden betonu alırken



Şekil 3.9. Polipropilen katkısını beton içine karıştırılırken



Şekil 3.10. Betonarme kirişler

Betonun ortalama basınç dayanımını belirlemek amacıyla her katkıdan 3'er adet olmak üzere toplam 15 adet standart küp numunesi alınmıştır (Şekil 4.8). Küp numunelerin alanı (150x150) mm, yüksekliği 150 mm'dir. küp numuneler kirişlerle aynı şartlarda kür edilmiştir. Küp numunelerin kür edilmesi ve kırılması aşağıdaki şekillerde verilmiştir (Şekil 4.8 – 4.9).



Şekil 3.11. Küp numuneleri

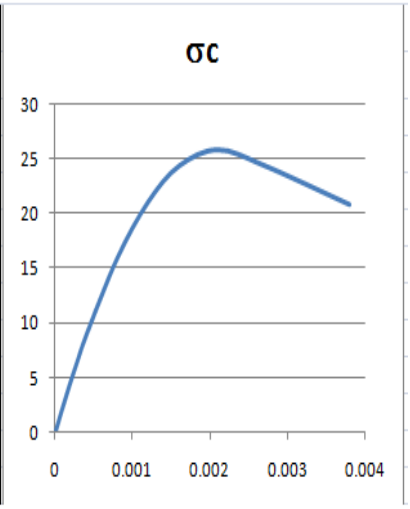
3 deney elemanından alınan üçer adet küp numunesi 28 günlük beton basınç dayanım değerleri, Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Deprem Araştırma Laboratuarında 600 KN kapasiteli dijital press makinesi ile kırılarak elde edilmiştir.



Şekil 3.12. Küp numunesini kırarken

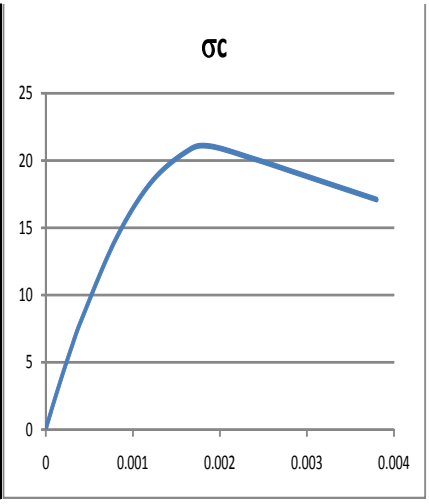
Aşağıda ki grafiklerle ortalama olarak küp numunelerin beton basınç dayanım değerleri verilmiştir. Deneyden ölçülen en yüksek basınç değerler ise, Referans küp numuneler için 26 kN/mm^2 çıkmışken, P1 ve P2 küp numuneler için 21 kN/mm^2 ve 23 kN/mm^2 çıkmıştır. Her üç farklı numuneden ortalamalarını alınarak grafikleri çizilmiştir ve aşağıdaki şekillerde görülmektedir (Şekil 3.13 – 3.15).

ε_c	σ_c
0.00001	0.245
0.00005	1.21
0.0001	2.395
0.0002	4.675
0.0003	6.835
0.0004	8.885
0.0008	15.89
0.0012	21.035
0.0016	24.31
0.002101	25.78
0.002702	24.345
0.0038	20.8



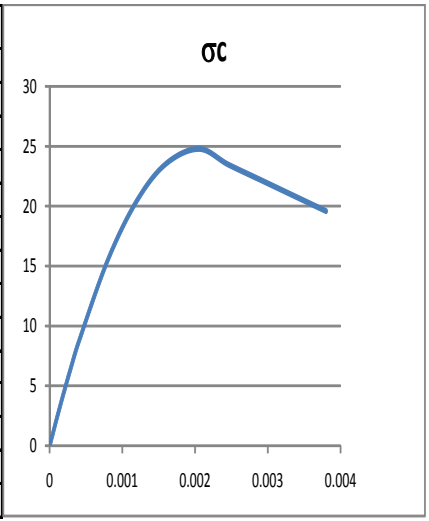
Şekil 3.13. RF - (A,B,C) Küp numunelerin Yük – Deplasman eğrisi

ε_c	σ_c
0.00001	0.223333
0.00005	1.103333
0.0001	2.18
0.0002	4.24
0.0003	6.18
0.0004	8
0.0008	14.10333
0.0012	18.30667
0.0016	20.60667
0.001867	21.09667
0.002409	20.1
0.002872	19.10667
0.003336	18.10667
0.0038	17.11



Şekil 3.14. P1- (A,B,C) Plipropilen lifli küp numunelerin Yük – Deplasman eğrisi

ε_c	σ_c
0.00001	0.24
0.00005	1.186667
0.0001	2.35
0.0002	4.58
0.0003	6.696667
0.0004	8.693333
0.0008	15.51667
0.0012	20.46333
0.0016	23.53667
0.002054	24.77
0.002451	23.47667
0.002901	22.18
0.00335	20.88
0.0038	19.58333



Şekil 3.15. P2- (A,B,C) Plipropilen lifli küp numunelerin Yük – Deplasman eğrisi

3.7. Deney düzeneği ve ölçüm tekniği

Bu çalışmanın genel amacı kirişin deprem dayanımını artırarak, kirişe yük yükleyip lif katkısız dayanımıyla, içine katkı kattıktan sonraki dayanım farkını bulmuştur. Kirişin dayanımını arttırabilmek için değişik katkılar kullanılır. Bu deneysel çalışmada betonun çekme, eğilme dayanımını artılabilmek için kullanılmış katkı, polipropilen lif olmuştur. Polipropilen lif katkısını betonarme kiriş içine katarak betonun çekme, eğilme dayanımı ölçülüp; betonarme kirişin lif katkısız çekme, eğilme dayanımı ile aralarındaki fark bulunmuştur. Bu deneysel çalışmalar, S. Ü. Mühendislik Fakültesi, Deprem Araştırma Laboratuarı' nda gerçekleştirilmiştir. Daha sonra "Analitik Modelleme" Abaqus programı ile yapılmıştır. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için 2 m boyunda ve 0.20x 0.30 m^2 alana sahip ve ½ ölçekli olan kiriş dikkate alınarak aşağıdaki üç farklı şekilde deney numuneler hazırlanmıştır ve analitik modellemesi yapılmıştır.

1) Lif katkısız betonarme kirişden 2 adet numune imal edilmiştir.
2) İki farklı karışımlı polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerden üçer adet imal edilmiştir.
3) 3 Adet polipropilen lif takviyeli betonarme kirişin Abaqus programıyla analitik modellemesi yapılmıştır.
4) Bu deneysel çalışmayı başlamadan önce bu deney de kullanılan TDG - CODA programı hakkında bilgi verilip, bu programın nasıl çalışacağını kısa bir şekilde anlatılmıştır.

3.7.1. TDG-CODA PROGRAM kullanılışı

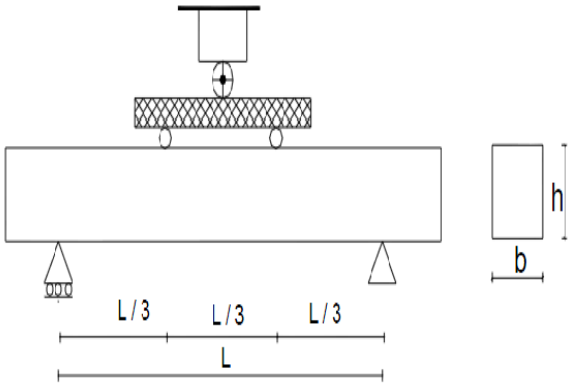
Bu programı çalıştırabilmek için ilk önce yapılacak deney hazırlanır. Deney hazırlandıktan sonra üzerinde deney yapılacak kiriş veya çerçeveyi kablolarla bilgisayara bağlanılır. Kiriş ile bilgisayar arasındaki bağ kurulduktan sonra LVDT'lerin ölçme ayarları yapılır. Bunun için önce LVDT ölçme ayarları kalibrasyonu yapılmıştır.

3.7.2. Deney düzeneği ve ölçüm tekniği

Bu çalışmada kullanılan deney düzeneği eğilme deney aletidir. Bu düzenekte 500 kN kapasiteli loadcell kullanılmış ve yer değiştirmeler ise 15-20 cm'lik LVDT'ler

ile ölçülmüştür. İmal edilen betonarme basit kirişler iki ucundan mesnetlenmiş ve yükler L/3 mesafesinden iki adet olarak yüklenmiştir.

Deneyde kullanılan LVDT'ler ise, kiriş mesnetlerinin üstüne ve kiriş orta kısmının altında ikişerli olarak yerleştirilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Deney düzeneği

3.7.3. Yer değiştirmelerin ölçülmesi

Deney numunelerindeki ötelenmeler, LVDT olarak adlandırılan ve ötelenme miktarını ölçen elektronik cetveller yardımıyla ölçülmüştür. LVDT'ler, merkez milinin ileri geri hareketi sonucu belirli bir gerilim üretmektedir. LVDT'lerin çıkış uçları veri aktarım sistemine bağlanmaktadır. Kullanılan bu LVDT'ler sayesinde 0.01 mm hassasiyetinde okuma yapmak mümkün olabilmektedir. Deneylerde 150, 300 mm'lik LVDT'ler kullanılmıştır. LVDT'ler aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. LVTD nın kirişlere bağlanması

3.7.4. LVTD lerin kalibrasyonu

Kalibrasyon yapmanın genel amacı ise bir LVDT de ölçme olarak ne kadar hata olduğunu belirtmektir. Bu işlemi yapabilmek için LVDT ye yatay olarak 4kg gibi sabit bir yük yüklenilir. Daha sonra doğru olup olmadığı kalibrasyon testi ile kontrol edilir. Aşağıdaki şekilde LVDT' nin kalibrasyonu gösterilmektedir (Şekil 3.18).

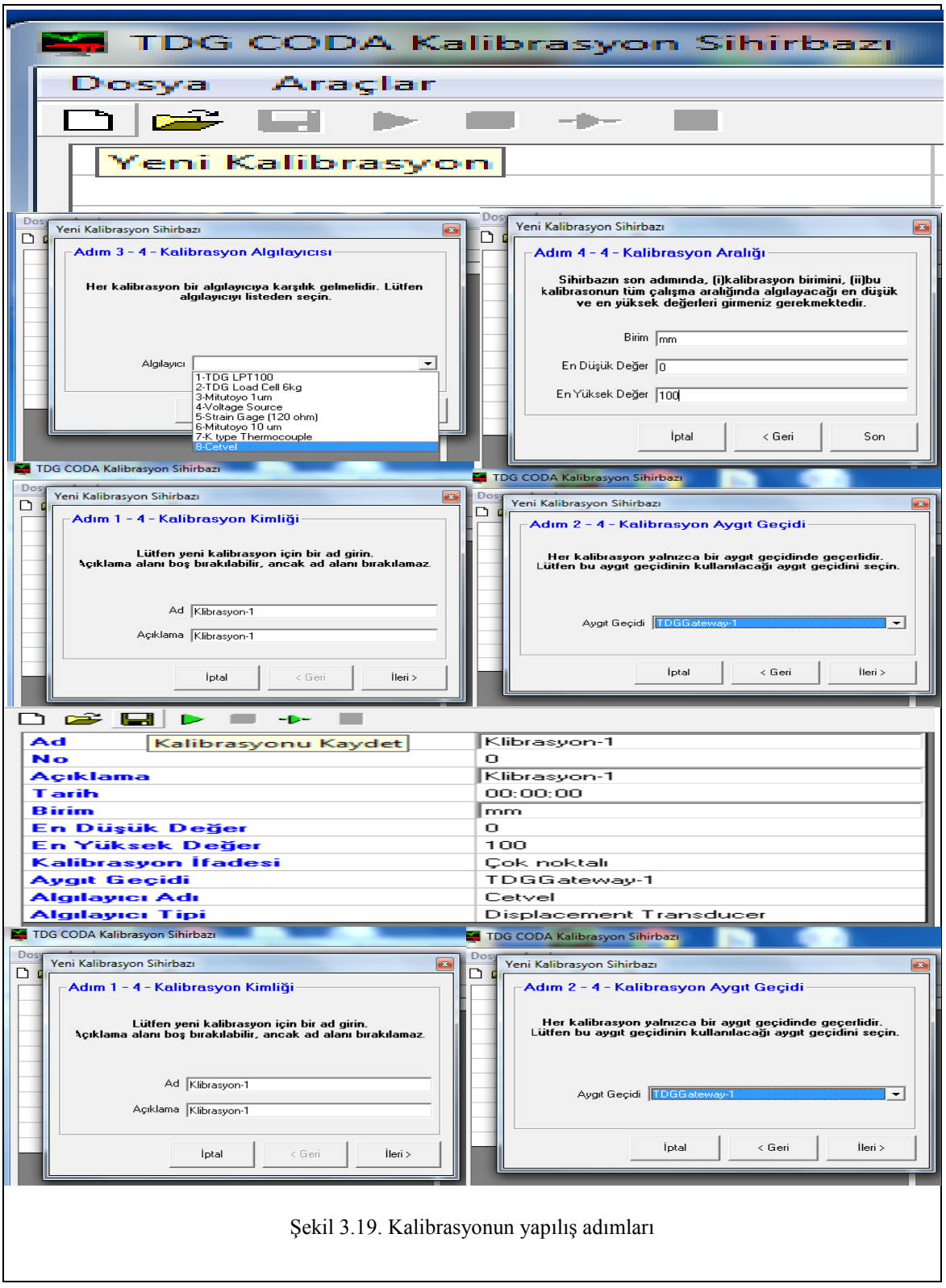


Şekil 3.18. LVTD' nin kalibrasyonu

3.7.5. Kalibrasyonun yapılış adımları

1) Yeni kalibrasyon düğmesine basılır.
2) Kalibrasyon kimliği kısmında yeni kalibrasyon adı yazılır ve açıklama kısmı boş bırakılabilir.
3) Kalibrasyon aygıt geçidi kısmında TDG Gateway-1 seçilir.
4) Kalibrasyon algılayıcısı kısmında Cetvel seçilir.
5) Kalibrasyon aralığı kısmında Birim olarak (mm), En düşük değer kısmında (0) ve en yüksek değer kısmında (100)yazılır ve son düğmesi basıldıktan sonra işlem bitmiş olur.

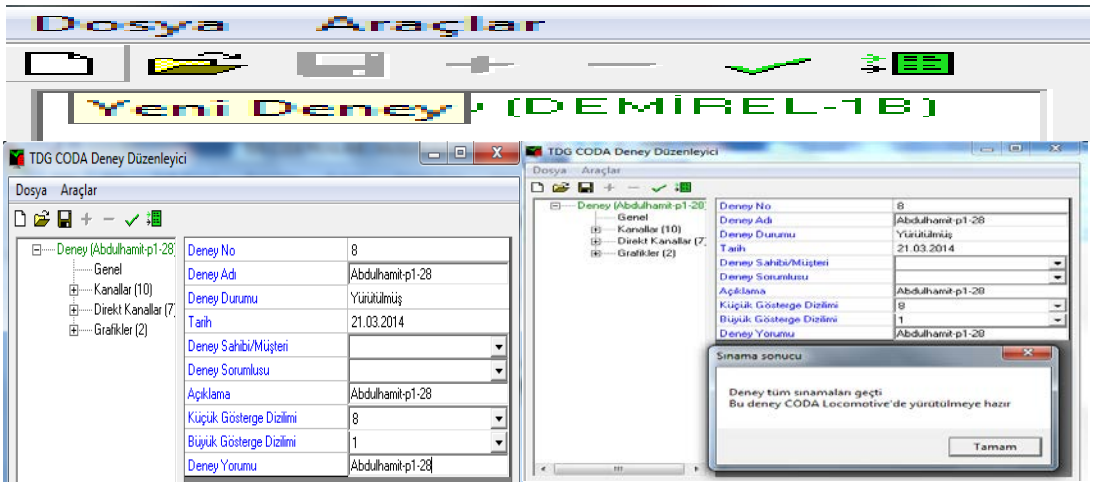
Aşağıdaki şekillerde LVDT'lerin kalibrasyon adımları gösterilmektedir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Kalibrasyonun yapılış adımları

3.7.6. TDG CODA Deney Düzenleyici

Programın bu kısmında Deneyin adı, durumu, tarihi ve açıklaması yazılır. Daha sonra deney kurgusunu sına düğmesine basıldıktan sonra deney tüm sınamaları geçti diye bir uyarı karşımıza çıkar, bu uyarıyı tamam denildikten sonra sayfa kapatılır. Sonra locomotive modülüne geçilir. TDG CODA Deney düzenleyici aşağıdaki şekilde verilmiştir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. TDG CODA Deney Düzenleyici

3.7.7. Yük ve yer değiştirme ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılması

Yük hücreleri ve LVDT'lerden alınan gerilimler, ara bağlantı kutuları yardımıyla veri toplama sistemine iletilmektedir. Veri toplama sistemi, üzerinde yük hücreleri ve LVDT'lerin çıkış uçlarının bağlandığı 16 kanaldan ve 4 adet dijital komparametre yerleştirilebilen kanaldan oluşan 3 adet veri toplama kutusu ile bu sistemle bilgisayar arasında veri iletimini sağlayan bir aygıt geçidinden oluşmakta ve veriler bu geçitten bilgisayara aktarılmaktadır. CODA deney düzenleyici programı ile bir deney süresince 125 milisaniye aralıklarla kayıt alınabilmektedir. Bu kanallar vasıtasıyla alınan gerilimler, bilgisayar üzerine bağlanmış olan doğru akım kartına aktarılmaktadır. Bilgisayara yüklenmiş olan özel yazılım CODA programı, doğru akım kartından alınan değerleri LVDT'ler için 0.01 mm, komparametreler için 0.001 mm hassasiyetle ve yük hücreleri için de 0.2 KN hassasiyetle değerlendirmekte ve bu değerler ekrandan da takip edilebilmektedir.

Kullanılan kanallardan okunan bütün değerler, anında bilgisayarda kayıt altına alınmakta ve deney esnasında istenen kanallardan alınan okumalar grafik olarak da izlenebilmektedir. Alınan okuma değerlerinin çıktısı "EXCEL" programında okunabilecek şekildedir (RRF-A.xlsx).



Şekil 3.21. Yük ve yer değiştirme ölçümlerinin bilgisayar ortamına aktarılması

3.7.8. Yük hücresi (Loadcell)

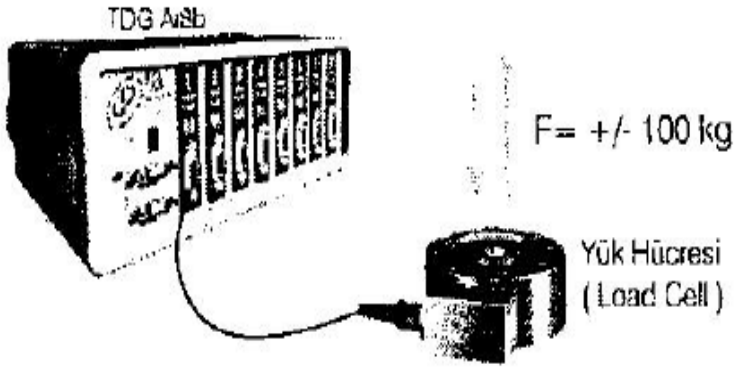
Deney numunelerine hidrolik kriko yardımıyla basınç olarak düşey yük yüklenir. Bir deney de yükün miktarını ölçebilmek veya yükün grafiğini çizilebilmek için kullanılan alettir. Genel olarak yük açısından değişik Loadcell'ler vardır. Bu deney de ise yük 20 Ton altında kaldığı için kullanılan Loadcell 20 Tonluk bir loadcell' dır. Her deneye başlamadan önce loadcellin çalışıp çalışmadığı kontrol edilmelidir. Loadcell'in yüklenmesi aşağıdaki şekilde verilmektedir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Loadcell'e yük yüklenirken

3.7.9. Yük hücresi (Loadcell) kalibrasyonu

Üzerine uygulanan kuvvetle orantılı olarak (mV) cinsinden voltaj çıkış veren doğrusal (lineer) sensörlerdir (AI8b kullanma kılavuzu, 2007).



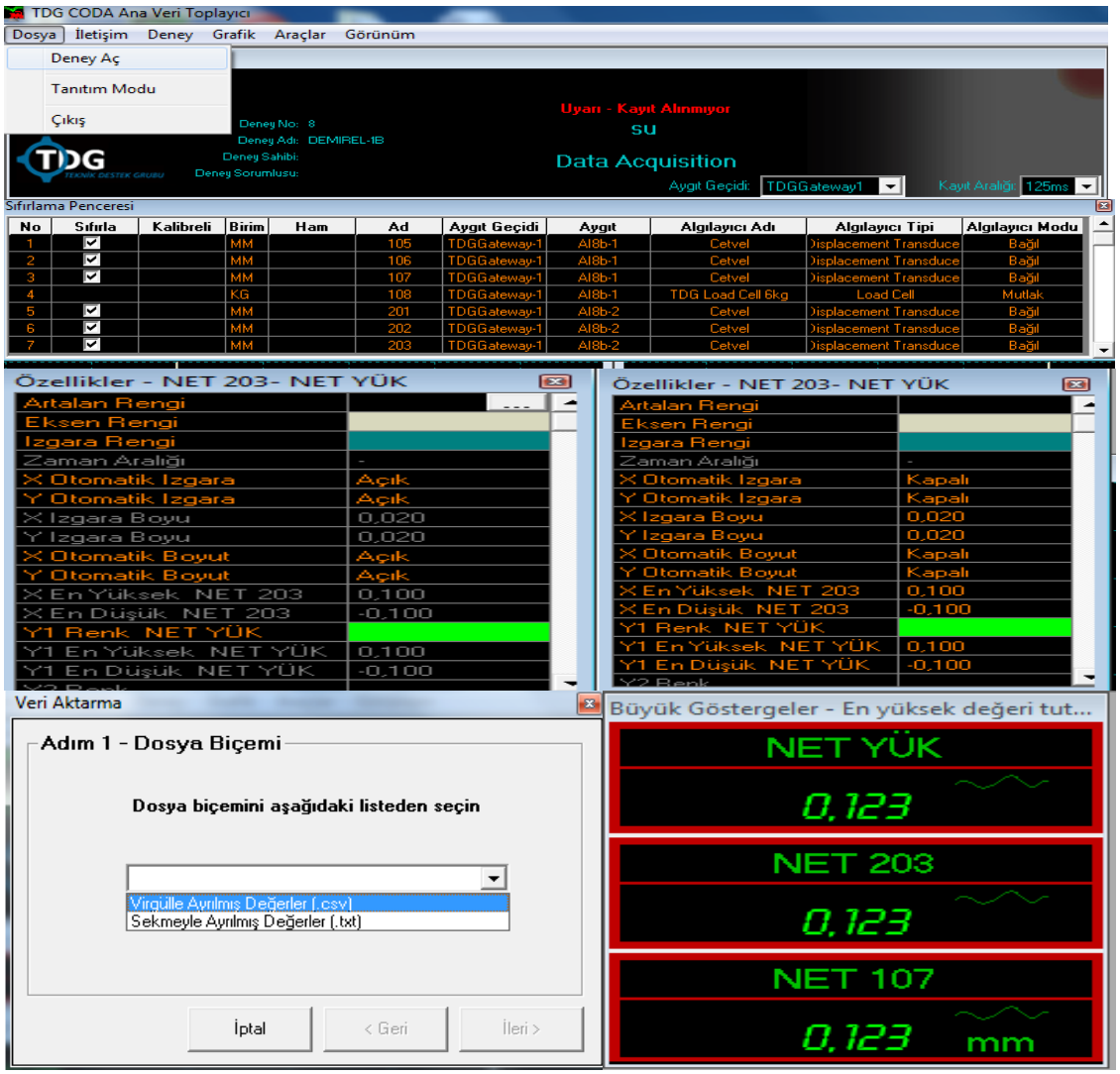
Şekil 3.23. Kanal ile Loadcell

Yük hücrelerinin kalibralı olarak okuma alınabilmesi için bağlandığı kanalda bir takım ayarlar ve hesaplamalar yapmak gerekir. Loadcell kalibrasyon için çokça kullanılan ve kabul görmüş iki adet yöntem vardır. Birinci yük hücresinin fabrikadan gelen kalibrasyon sertifikasından ve TDG AI8b nın kalibrasyon sertifikasından yararlanarak yapılan hesaplamalar sonucu yapılan kalibrasyon. İkincisi ise yük hücresine bilinen yükler uygulanarak yapılan kalibrasyondur. Yine alınmış Yük hücreleri için birinci yöntem, uzun zamandır kullanılan ve kalibrasyon sertifikası kaybolmuş bir yük hücresi için de ikinci yöntem önerilir.

Bir yük hücresinin kalibrasyon sertifikasında çıkış oranının bulunması gerekir. Örnek olarak, Toplam kapasite: 100 Kg, Kazanç ayarı: Yük hücresinin bağlandığı kanalın üzerindeki seçme anahtarları yardımıyla ayarlanabilmektedir. Yük hücresini bağlandığınız AI8b ye ait TDG tarafından sağlanan kalibrasyon sertifikasından o kanala ait kazanç değerine bakabilirsiniz.

3.7.10. Coda Lokomotive (TDG CODA ana veri toplayıcı)

Programın bu kısmında dosyadan deney aç düğmesini basılarak daha önce hazırlanılan deney açılır. Otomatik kısmında açık olan yerleri kapalıya değiştirilir. Araçlar kısmından sıfırla penceresinden tüm eski LVDT ve Loadcell sıfırlanır ve deney menüsünden deney başlaya tıklanarak deney sonuçlarını alabilmek için, deney durdurulup araçlar menüsünden veriyi aktar'dan deney sonuçlarına ulaşılır. Deneyi başlamak için aşağıdaki adımlar dikkate alınır (Şekil 3.24).



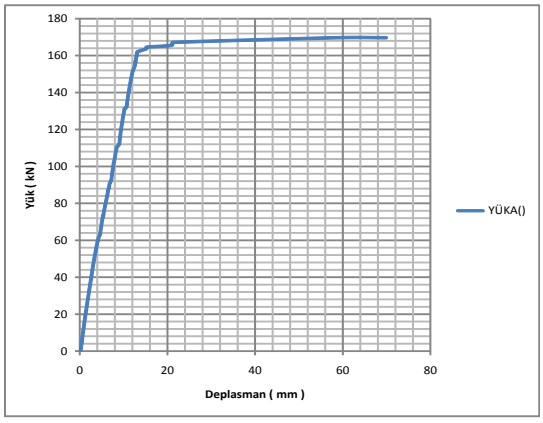
Şekil 3.24. Coda Lokomotive

4. DENEY SONUÇLARI

Bu deneysel çalışmada lif katkısız betonarme kiriş (RF) numunelerden iki tane, polipropilen lif katkılı betonarme kirişlerden (P1, P2) ise üçer tane üretilmiştir. Üretilen bu kirişler L/3 noktalarından iki adet P yükü ile yüklenmiş ve yüklemeye sıfırdan akma yüküne kadar 10 kN artırarak devam edilmiştir. Akma yükünden sonra ise, 1cm ilave sehim oluşturacak şekilde yük yüklenerek göçme yüküne kadar gidilmiştir. Sonra TDG CODA programıyla yük - deplasman eğrileri çizilmiştir. Elde edilen sonuçların grafikleri Excel programıyla çizilmiştir.

4.1. 1 Nolu Deney (RF-A)

Betonarme Referans (RF-A) kirişine sıfırdan başlayıp 10'ar kiloNewton artırılarak yük yüklenmiş ve 40.20 kN da çatlamaya başlamıştır. Yükleme devam edilmiş ve akma yüküne 162.10 kN da ulaşılmıştır. Maksimum yük ve deplasman ise 170.70 kN ve 69.68 mm değerindeyken enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı ise, 10058 kNmm ve 4.92 değerindedir (Şekil 4.1, Çizelge 4.1)



Şekil 4.1. Betonarme RF-A Kirişin Yük – Deplasman eğrisi

Çizelge 4.1 Betonarme RF-A Kirişin deney sonuçları

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Maksimum deplasman (mm)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Süneklik katsayısı
Betonarme RF Kirişi (A)	162.10	69.68	10058	4.92

Çizelge 4.2. Betonarme RF-A Kirişinde her çevrimde gözlenen davranış

Adım	Yük KN	Deplasman mm	Gözlenen davranış
1.1	13.9	1.41	-
1.2	20.20	2.06	-
1.3	30.40	3.26	-
1.4	40.20	4.52	1,2,3, Nolu **ilk çatlaklar oluştu**,
1.5	50.50	6.27	4,5, 6,7, Nolu çatlak oluştu, - 1,2,3,4,5 uzadı
1.6	60,20	7.72	8,9,10 Nolu çatlak oluştu - 1,2,3,6,7, çatlaklar uzadı
1,7	71.72	7.824	11,12, Nolu çatlak oluştu – 1,6,7,8,9, uzadı – 2,dallandı
1,8	80.13	9.24	1,3,6,8,10,12, Uzadı – 3, sağ aşağıya dallandı – 4 dallandı
1,9	91.00	10.252	1,8,5,12, uzadı – 1,2,3,6,7,5,9, genişledi
1,10	100.30	11.428	8, sol aşağıya dallandı, 1,2,11,10, uzadı – 12, dallandı
1,11	110.80	12.644	5,8,12, uzadı – 8, sol aşağıya dallandı – 12 sağ aşağıya dallandı – 1,2,3,5,6,9, genişledi
1,12	162.10	13.891	13,14, Nolu çatlak oluştu – 6,7,12, uzadı,- 12, dallandı– **Akma yüküne ulaştı**
1,13	162.88	15.083	6,13,14, uzadı
1,14	163.10	16.264	12,13,14, uzadı – 13 sağ üste dallandı – 14 sağ aşağıya dallandı – 1,2,3,5,8,9,12,13, genişledi
1,15	165.10	17.403	8,12,13,14, uzadı– 14 dallandı.
1,16	166.40	18.719	15, Nolu çatlak oluştu, 14, sol altta dallandı
1,17	167.70	20.818	Solda ezile arttı, - 3,9,12, uzadı,3 sol aşağıya dallandı –
1,18	167.40	29.97	7,911,12, uzadı – 9,sağ aşağıya dallandı – 3, sol üste dallandı – 3,5,7,9,8, genişledi-2. sol üste dallandı
1,19	168.90	39.45	16,17,18, Nolu çatlak oluştu –2,3,4,5,7,9 genişledi
1,20	168.99	50.94	2,3,5 dallandı – 2,3,4,5,7,9 genişlikleri artı
1.21	170.00	59.85	2,3,4,5,7,9 genişlikleri artı.
1.22	170.70	69.68	1,5,6,10,dallandı – 1,2,3,4,6,8,9, çatlakları genişledi. **Kopma yüküne ulaştı, Maksimum yüküne ulaştı**

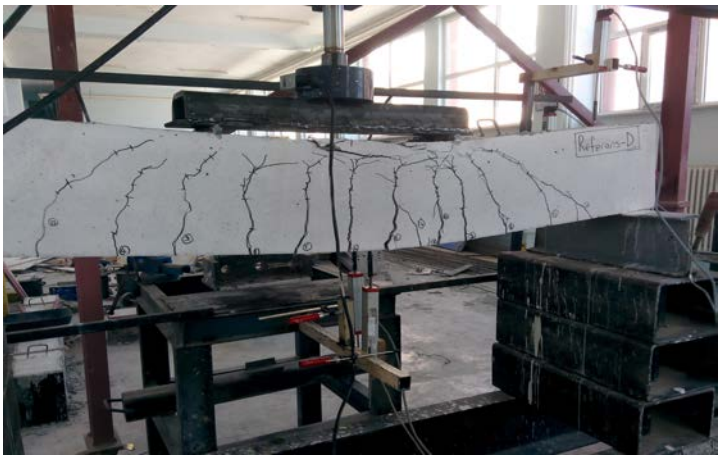
Aşağıdaki şekillerde, Betonarme RF -A kirişin kırılmadan önce ve kırıldıktan sonraki durumlarını göstermektedir (Şekil 4.2 – 4.4).



Şekil 4.2. Betonarme RF- A Kirişini yerleştirdikten sonraki durum



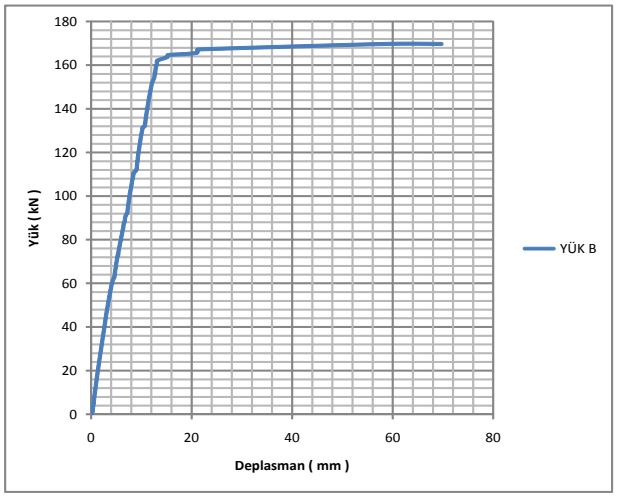
Şekil 4.3. Betonarme RF - A Kirişinde çatlak başladıktan sonraki durum



Şekil 4.4. Betonarme RF - A Kirişinin göçme durumu

4.2. 2 Nolu Deney (RF-B)

Betonarme Referans (RF–B) kirişine sıfırdan başlayıp 10’ar kiloNewton artırılarak yük yüklenmiş ve 40.70 kN da çatlamaya başlamıştır. Yüklemeye devam edilmiş ve akma yüküne 163.00 kN da ulaşılmıştır. Maksimum yük ve deplasman ise 170.00 kN ve 70.00 mm değerindeyken enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı ise, 10465 kNmm ve 5.03 değerindedir (Şekil 4.5, Çizelge 4.3).



Şekil 4.5. Betonarme RF - B Kirişin Yük – Deplasman eğrisi

Çizelge 4.3. Betonarme RF-B Kirişin deney sonuçları

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Maksimum deplasman (mm)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Süneklik katsayısı
Betonarme RF Kirişi (B)	163.00	70.00	10465	5.03

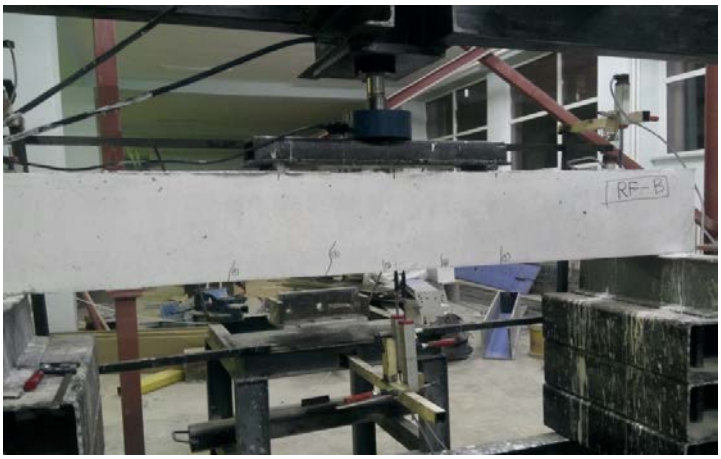
Çizelge 4.4. Betonarme RF – B Kirişinde her çevrimde gözlenen davranış

Adım	Yük kN	Deplasman mm	Gözlenen davranış
1.1	10.9	0.652	-
1.2	20.60	1.671	-
1.3	30.90	2.755	-
1.4	40.70	3.92	1,2,3,4,5, Nolu **ilk çatlaklar oluştu,**
1.5	50.70	5.147	6,7, Nolu çatlak oluştu, - 1,2,3,4,5 uzadı
1.6	60,20	6.499	8,9,10 Nolu çatlak oluştu - 1,2,3,6,7, çatlaklar uzadı
1,7	70.10	7.824	11,12, Nolu çatlak oluştu – 1,6,7,8,9, uzadı – 2,dallandı
1,8	80.13	8.963	1,3,6,8,10,12, Uzadı – 3, sağ aşağıya dallandı – 4 dallandı
1,9	91.00	10.252	1,8,5,12, uzadı – 1,2,3,6,7,5,9, genişledi
1,10	100.30	11.428	8, sol aşağıya dallandı, 1,2,11,10, uzadı – 12, dallandı
1,11	110.80	12.644	5,8,12, uzadı – 8, sol aşağıya dallandı – 12 sağ aşağıya dallandı – 1,2,3,5,6,9, genişledi
1,12	162.10	13.891	13,14, Nolu çatlak oluştu – 6,7,12, uzadı,- 12, dallandı – **Akma yüküne ulaştı**
1,13	162.10	15.083	6,13,14, uzadı
1,14	162.10	16.264	12,13,14, uzadı – 13 sağ üste dallandı – 14 sağ aşağıya dallandı – 1,2,3,5,8,9,12,13, genişledi
1,15	162.10	17.403	8,12,13,14, uzadı– 14 dallandı.
1,16	163.40	18.719	15, Nolu çatlak oluştu, 14, sol altta dallandı
1,17	164.20	20.818	Solda ezile arttı, - 3,9,12, uzadı,3 sol aşağıya dallandı – **Maksimum yüküne ulaştı**
1,18	165.40	29.97	7,911,12, uzadı – 9,sağ aşağıya dallandı – 3, sol üste dallandı – 3,5,7,9,8, genişledi-2. sol üste dallandı
1,19	167.50	39.45	16,17,18, Nolu çatlak oluştu –2,3,4,5,7,9 genişledi
1,20	168.30	49.94	2,3,5 dallandı – 2,3,4,5,7,9 genişlikleri artı
1.21	169.10	58.85	2,3,4,5,7,9 genişlikleri artı.
1.22	170.00	69.68	2, Nolu çatlak maksimum 8mm genişledi- **kopma yüküne ulaştı.**

Aşağıdaki şekillerde, Betonarme RF - B kirişin kırılmadan önce ve kırıldıktan sonraki durumlarını göstermektedir (Şekil 4.6 – 4.8).



Şekil 4.6. Betonarme RF - B Kirişini yerleştirdikten sonraki durum



Şekil 4.7. Betonarme RF- B Kirişinde çatlak başladıktan sonraki durum

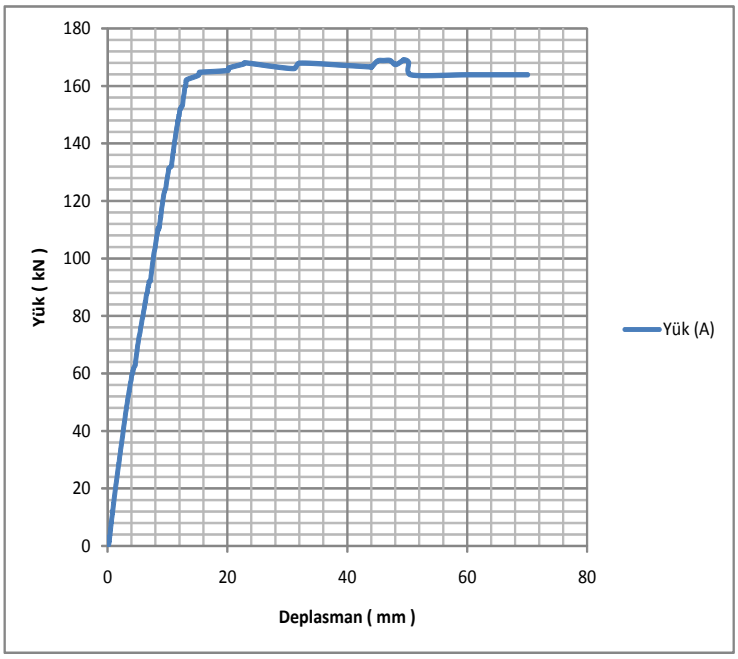


Şekil 4.8. Betonarme RF - B Kirişinin göçme durumu

4.3. 3 Nolu Deney (P1-A)

Bu deneysel çalışmada (P1-A) polipropilen lif katkısının miktarı ise, $1m^3$ betonarme kirişinde en az 600 gr polipropilen lif katkısı kullanılması gerektiğinden, bir adet toplam 0.12 m^3 betonarme kirişlerde, toplam 72 gr polipropilen lif katkısı kullanılmıştır. Betonarme P1- A kirişine sıfırdan başlayıp 10' ar kiloNewton artırarak yük yüklenmiş ve 40.24 kN da çatlamaya başlamıştır. Yüklemeye devam edilmiş ve akma yüküne 162.70 kN da ulaşılmıştır. Maksimum yük ve deplasman ise 166.70 kN ve 70.08 mm değerindeyken enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı ise, 10548 kNmm ve 5.46 değerindedir (Şekil 4.9, Çizelge 4.5).

.



Şekil 4.9. Betonarme P1–A Kirişin Yük – Deplasman eğrisi

Çizelge 4.5. Betonarme P1-A Kirişin deney sonuçları

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Maksimum deplasman (mm)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Süneklik katsayısı
Betonarme RF Kirişi (P1-A)	162.70	70.08	10548	5.46

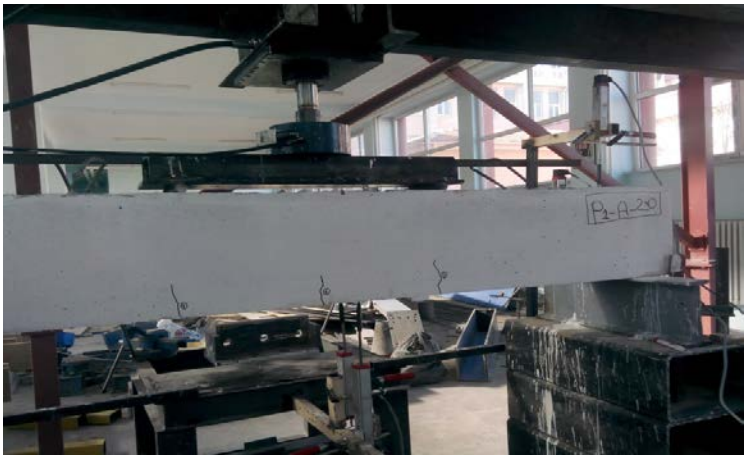
Çizelge 4.6. Betonarme P1 – A Kirişinde her çevrimde gözlenen davranış

Adım	Yük kN	Deplasman mm	Gözlenen davranış
1.1	10.24	0.942	-
1.2	20.24	1.99	-
1.3	30.38	3.057	-
1.4	40.24	4.217	1,2,3, Nolu **ilk çatlaklar oluştu,**
1.5	50.52	5.876	4,5, Nolu çatlak oluştu, - 1,2,3, uzadı.
1.6	60.01	7.231	6,7, Nolu çatlak oluştu - 4,5,6, çatlaklar uzadı.
1,7	70.10	8.701	9, Nolu çatlak oluştu – 1,6,7,8, uzadı .
1,8	80.03	9.907	7,9, Uzadı –3, sağ aşağıya dallandı – 1, sağ üstte dallandı.
1,9	90.00	10.988	10,11, Nolu çatlaklar oluştu - 2,4,7, uzadı .
1,10	100.30	12.314	12, 13, Nolu çatlak oluştu – 6,1 dallandı,- 10,11, uzadı .
1,11	162.70	13.429	14,15, Nolu çatlak oluştu – 1,5,7,13,uzadı – 8,11, sağ aşağıya dallandı –**Akma yüküne ulaştı**.
1,12	162.70	14.538	11,12,9,14,15, uzadı,- 11, aşağıya dallandı – 1,2,3,4,6,8,9, genişledi
1,13	162.70	15.678	16, Nolu çatlak oluştu – 10,14, uzadı – 1,5, dallandı
1,14	162.70	16.828	1,2,3,5,7,8,9,11, genişledi.
1,15	162.70	17.943	11,16, uzadı – 7, dallandı – 3,6,9, çatlaklar genişledi .
1,16	162.70	18.719	17, Nolu çatlak oluştu, - 3,15,13, genişledi – 1 dallandı .
1,17	166.70	22.301	18, Nolu çatlak oluştu - 11,12, uzadı, 6, sağ üste dallandı - **Maksimum yüküne ulaştı.**
1,18	166.00	30.00	3,5,7,14, uzadı–2,sağ ve sol dallandı – 3,5,2,7,6, genişledi.
1,19	166.00	40.15	1,2,3,4,7, genişlikleri arttı,
1,20	163.00	59.47	19,20, Nolu çatlak oluştu-4,dallandı – 2,3,4,5,7,9 genişledi
1.21	163.00	60.65	21,22, Nolu çatlaklar oluştu – 22, dallandı.
1.22	163.00	70.08	2,22, dallandı – 1,2,3,4,5,7,13 çatlaklar arttı. – **Kopma yüküne ulaştı.**

Aşağıdaki şekillerde, Betonarme P –A Kirişin kırılmadan önce ve kırıldıktan sonraki durumlarını göstermektedir (Şekil 4.10–4.12).



Şekil 4.10. Betonarme P1 – A Kirişini yerleştirdikten sonraki durum



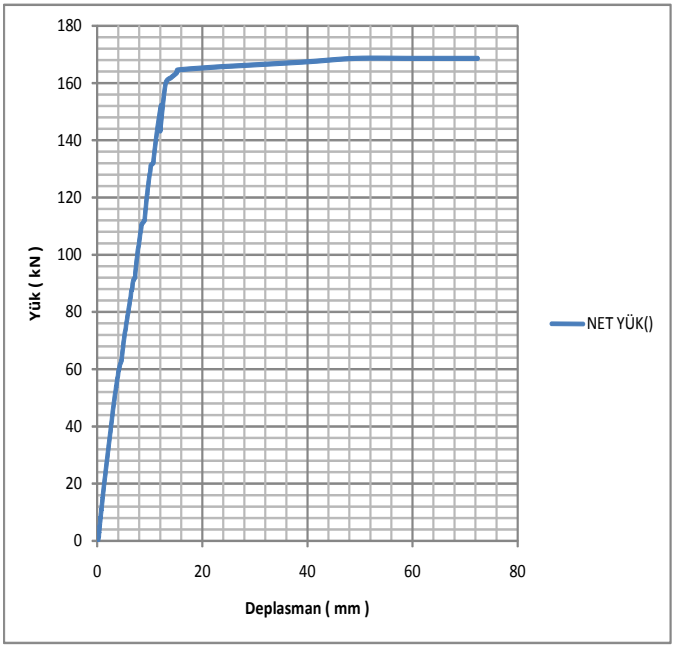
Şekil 4.11. Betonarme P1 – A Kirişinde çatlak başladıktan sonraki durum



Şekil 4.12. Betonarme P1 – A Kirişinin göçme durumu

4.4. 4 Nolu Deney (P1-B)

Bu deneysel çalışmada P1 - B polipropilen lif katkısının miktarı ise, $1m^3$ betonarme kirişinde en az 600 gr polipropilen lif katkısı kullanılması gerektiğinden, bir adet toplam 0.12 m^3 betonarme kirişlerde, toplam 72 gr polipropilen lif katkısı kullanılmıştır. Betonarme P1 - B kirişine sıfırdan başlayıp 10' ar kiloNewton artırarak yük yüklenmiş ve 40.34 kN da çatlamaya başlamıştır. Yüklemeye devam edilmiş akma yüküne 161.50 kN da ulaşılmıştır. Maksimum yük ve deplasman ise 168.0 kN ve 72.00 mm değerindeyken enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı ise, 10678 kNmm ve 5.95 değerindedir (Şekil 4.13, Çizelge 4.7).



Şekil 4.13. Betonarme P1 – B Kirişin Yük – Deplasman eğrisi

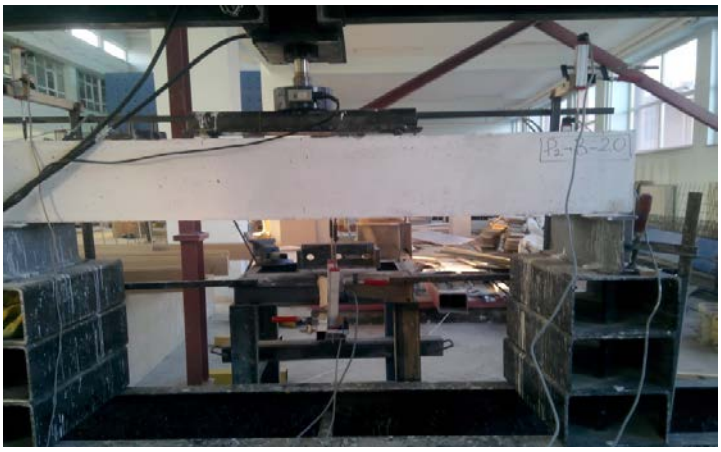
Çizelge 4.7. Betonarme P1-B Kirişin deney sonuçları

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Maksimum deplasman (mm)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Süneklik katsayısı
Betonarme RF Kirişi (P1-B)	161.50	72.00	10678	5.95

Çizelge 4.8. Betonarme P1 – B Kirişinde her çevrimde gözlenen davranış

Adım	Yük kN	Deplasman mm	Gözlenen davranış
1.1	10.82	1.054	-
1.2	20.51	2.348	-
1.3	30.15	3.450	-
1.4	40.34	4.731	1,2, Nolu **ilk çatlaklar oluştu,**
1.5	50.00	6.128	3,4,5, Nolu çatlak oluştu, - 2, uzadı
1.6	60.34	7.779	6,7, Nolu çatlak oluştu - 1,2,3,4,6, çatlaklar uzadı
1,7	70.69	9.279	8,9,10, Nolu çatlak oluştu – 1,6,7,8, uzadı
1,8	80.29	10.625	7,9, Uzadı –3, sağ aşağıya dallandı – 1, sağ üstte dallandı
1,9	90.16	11.625	11, Nolu çatlaklar oluştu - 3,8,10, uzadı
1,10	161.50	13.288	3,11,9, uzadı **– Akma yüküne ulaştı.**
1,11	161.50	14.567	2,6,8,11, uzadı – 9, sol aşağıya dallandı
1,12	161.50	15.538	11,9, uzadı,- 8, sağ yukarıya dallandı 7, sol üste dallandı
1,13	162.20	15.818	10,13,4,3,8, genişlikleri arttı, uzadı – 1,4, uzadı
1,14	162.20	17.012	12,13, Nolu çatlaklar oluştu 1,2,3,5,7,8,9,11, genişledi
1,15	162.20	17.899	1,4 uzadı
1,16	162.20	19.820	3,6,14,16, uzadı, 3,10,13, genişledi – 1 dallandı .
1,17	162.20	21.486	15, Nolu çatlaklar oluştu – 2, uzadı ve genişledi, 13, dallandı -
1,18	162.20	30.35	1,4, uzadı – 4,sola dallandı-2,3,4,5,8,9,11,10, genişledi
1,19	162.20	40.55	16,1718,19, Nolu çatlaklar oluştu -2,6,8,9, genişledi
1,20	168.00	50.52	20,21, Nolu çatlak oluştu– 3,13, dallandı – 2,3,4,5,7,9 genişlikleri artı - **Maksimum yüküne ulaştı.**
1.21	168.00	60.88	2,3,8, uzadı – 4, dallandı 1,3,11,12,6,9, genişledi
1.22	168.00	70.86	4,21, dallandı –3,1,11,9,42,6, genişlikleri arttı. **Kopma yüküne ulaştı.**

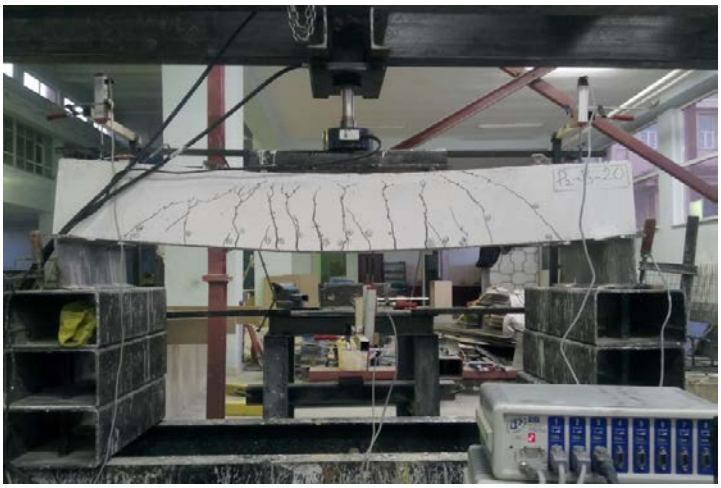
Aşağıdaki şekillerde, Betonarme P1 – B Kirişin kırılmadan önce ve kırıldıktan sonraki durumlarını göstermektedir (Şekil 4.14 – 4.16).



Şekil 4.14. Betonarme P1 – B Kirişini yerleştirdikten sonraki durum



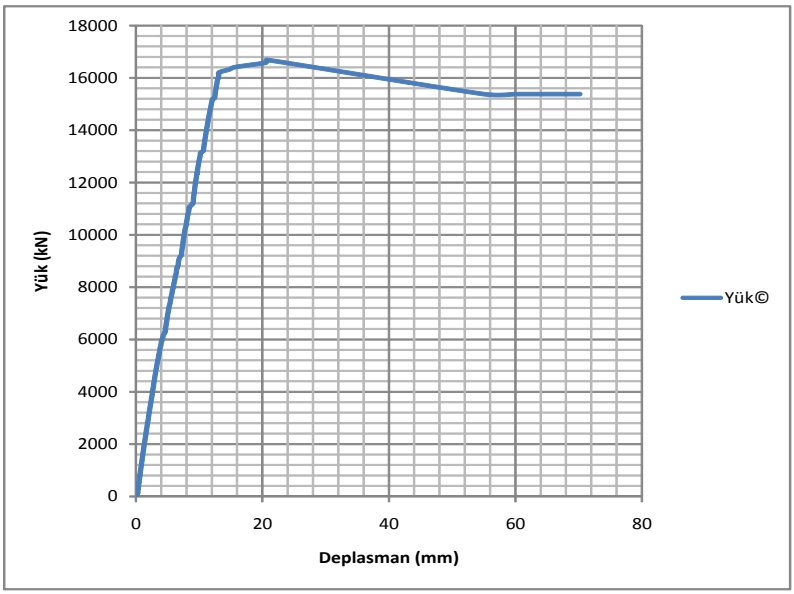
Şekil 4.15. Betonarme P1 – B Kirişinde çatlak başladıktan sonraki durum



Şekil 4.16. Betonarme P1 – B Kirişinin göçme durumu

4.5. 5 Nolu Deney (P1-C)

Bu deneysel çalışmada P1 - C polipropilen lif katkısının miktarı ise, $1m^3$ betonarme kirişinde en az 600 gr polipropilen lif katkısı kullanılması gerektiğinden, bir adet toplam 0.12 m^3 betonarme kirişlerde, toplam 72 gr polipropilen lif katkısı kullanılmıştır. Betonarme P1 - C kirişine sıfırdan başlayıp 10' ar kiloNewton artırarak yük yüklenmiş ve 40.50 kN da çatlamaya başlamıştır. Yüklemeye devam edilmiş akma yüküne 163.00 kN da ulaşılmıştır. Maksimum yük ve deplasman ise 168.60 kN ve 71.00 mm değerindeyken enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı ise, 10195 kNmm ve 5.86 değerindedir (Şekil 4.17, Çizelge 4.9).



Şekil 4.17. Betonarme P1– C Kirişin Yük – Deplasman eğrisi

Çizelge 4.9. Betonarme P1-C Kirişin deney sonuçları

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Maksimum deplasman (mm)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Süneklik katsayısı
Betonarme RF Kirişi (P1-C)	163.00	71.00	10195	5.86

Çizelge 4.10. Betonarme P1 – C Kirişinde her çevrimde gözlenen davranış

Adım	Yük kN	Deplasman mm	Gözlenen davranış
1.1	10.40	0.48	-
1.2	21.01	1.097	-
1.3	31.10	2.542	-
1.4	40.50	3.853	1,2,3, Nolu **ilk çatlaklar oluştu,**
1.5	50.32	6.949	4,5,6, Nolu çatlak oluştu, - 1,3, uzadı
1.6	60.99	8.630	2,4,5, çatlaklar uzadı
1,7	70.00	9.911	7,8, Nolu çatlak oluştu – 2,4,5, uzadı
1,8	80.98	11.561	9,10, Nolu çatlak oluştu, 3, Uzadı –2, sağ üste dallandı
1,9	90.99	12.774	11,12, Nolu çatlaklar oluştu - 5,9, uzadı
1,10	163.00	14.040	13, Nolu çatlak oluştu - 11, uzadı- 1,2,4,5 genişledi - **Akmaya yüküne ulaştı**
1,11	163.00	15.266	13, Nolu çatlak oluştu -11, uzadı – 9, sol aşağıya dallandı
1,12	163.00	16.522	11,9, uzadı,- 8, sağ yukarıya dallandı 7, sol üste dallandı
1,13	163.00	17.760	14,15,16, Nolu çatlak oluştu 2,3,47,8,11, genişlikleri arttı,
1,14	163.28	18.901	11,2,16, uzadı - 1,2,3,4,5,7,8,9,11, genişledi
1,15	168.60	20.130	10,16, uzadı – 6, sağ üste dallandı. - **Maksimum yüküne ulaştı.**
1,16	164.50	21.600	4, uzadı, 4, sol üste dallandı- 5, sol alta dallandı - Maksimum yüküne ulaştı.
1,17	163.60	22.486	2,11, uzadı - 2,3,4,511,12,7,8 genişledi.
1,18	162.00	30.35	11, uzadı – 3,sağa dallandı-2,3,4,5,8,9,11,10, genişledi
1,19	160.70	40.00	9,12, uzadı - 2,6,8,9,genişlikleri arttı,
1,20	156.00	50.00	17, Nolu çatlak oluştu 9,12, uzadı – 2,3,4,5,8,9,11,12 genişlikleri arttı
1.21	152.00	60.50	2,3,8, uzadı
1.22	152.00	70.18	5 sağ aşağıya dallandı, 11, sol aşağıya dallandı, genişlikler arttı. **Kopma yüküne ulaştı**.

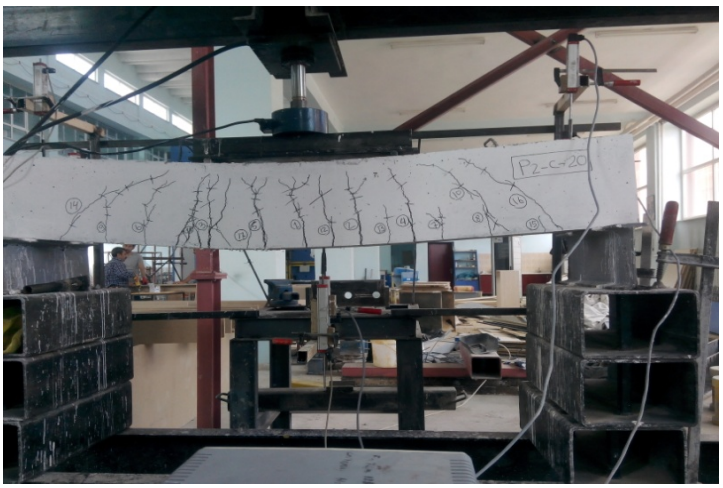
Aşağıdaki şekillerde, Betonarme P1 – C Kirişin kırılmadan önce ve kırıldıktan sonraki durumlarını göstermektedir (Şekil 4.18 – 4.20).



Şekil 4.18. Betonarme P1– C Kirişini yerleştirdikten sonraki durum



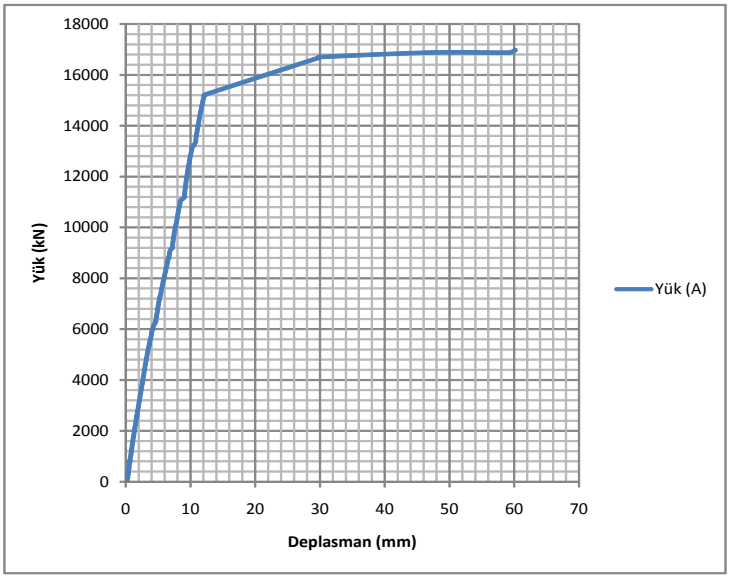
Şekil 4.19. Betonarme P1– C Kirişinde çatlak başladıktan sonraki durum



Şekil 4.20. Betonarme P1– C Kirişinin göçme durumu

4.6. 6 Nolu Deney (P2-A)

Bu deneysel çalışmada P2 - A polipropilen lif katkısının miktarı ise, $1m^3$ betonarme kirişinde en az 840 gr polipropilen lif katkısı kullanılması gerektiğinden, bir adet toplam 0.12 m^3 betonarme kirişlerde, toplam 101 gr polipropilen lif katkısı kullanılmıştır. Betonarme P2 -A kirişine sıfırdan başlayıp 10' ar kiloNewton artırarak yük yüklenmiş ve 50.99 kN da çatlamaya başlamıştır. Yüklemeye devam edilmiş akma yüküne 152.30 kN da ulaşılmıştır. Maksimum yük ve deplasman ise 168.00 kN ve 60.00 mm değerindeyken enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı ise, 10316 kNmm ve 5.45 değerindedir (Şekil 4.21, Çizelge 4.11).



Şekil 4.21. Betonarme P2 – A Kirişin Yük – Deplasman eğrisi

Çizelge 4.11. Betonarme P2-A Kirişin deney sonuçları

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Maksimum deplasman (mm)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Süneklik katsayısı
Betonarme RF Kirişi (P2-A)	152.30	60.00	10316	5.45

Çizelge 4.12. Betonarme P2–A Kirişinde her çevrimde gözlenen davranış

Adım	Yük kN	Deplasman mm	Gözlenen davranış
1.1	10.00	1.23	-
1.2	20.24	2.22	-
1.3	30.40	3.74	-
1.4	40.34	4.99	-
1.5	51.00	7.2	1,2,3,4,5,6,7,, Nolu **ilk çatlaklar oluştu**
1.6	60,70	8.15	8,9, Nolu çatlak oluştu - 1,2,3,4,5,6,7,9 Nolu çatlaklar uzadı
1,7	70.63	9.26	10,11,12, Nolu çatlak oluştu – 3, uzadı – 2,dallandı
1,8	80.45	10.52	13,14,15,16,17, Nolu çatlak oluştu 9,8,7, Uzadı
1,9	90.00	11.14	Sağ üstte ezilme başladı
1,10	152.30	12.54	18.19, Nolu çatlak oluştu,10,17, uzadı – **Akma yüküne ulaştı.**
1,11	152.30	13.08	20, Nolu çatlak oluştu – 3,4,5,6,10,uzadı – 9,10, dallandı
1,12	152.30	13.92	21, Nolu çatlak oluştu – 20, uzadı ve dallandı
1,13	152.30	14.69	22,23,24, Nolu çatlak oluştu – 17,18, uzadı
1,14	152.30	15.77	12,21,22uzadı – 1,21, dallandı
1,15	152.30	16.75	25, Nolu çatlak oluştu 8,12,14, uzadı – Sol üstte ezilme başladı .
1,16	152.30	17.74	14, sol altta dallandı – 12,21, uzadı
1,17	152.30	22.90	Solda ezilme arttı, - 20,22,1, uzadı,11 sol aşağıya dallandı
1,18	168.00	28.00	22,3,7, uzadı – 3,4,7,5, çatlakları genişledi- **Maksimum yüküne ulaştı.**
1,19	168.00	40.00	3,9, dallandı ve genişledi, 17, uzadı
1,20	168.00	50.00	16, dallandı ve uzadı, 4,10, dallandı 2,3, genişledi
1.21	1668.00	60.00	9,dallandı – 3,4,5,12,8, genişledi. **Kopma yüküne ulaştı.**

Aşağıdaki şekillerde, Betonarme P2 – A Kirişin kırılmadan önce ve kırıldıktan sonraki durumlarını göstermektedir (Şekil 4.22 – 4.24).



Şekil 4.22. Betonarme P2 – A Kirişini yerleştirdikten sonraki durum



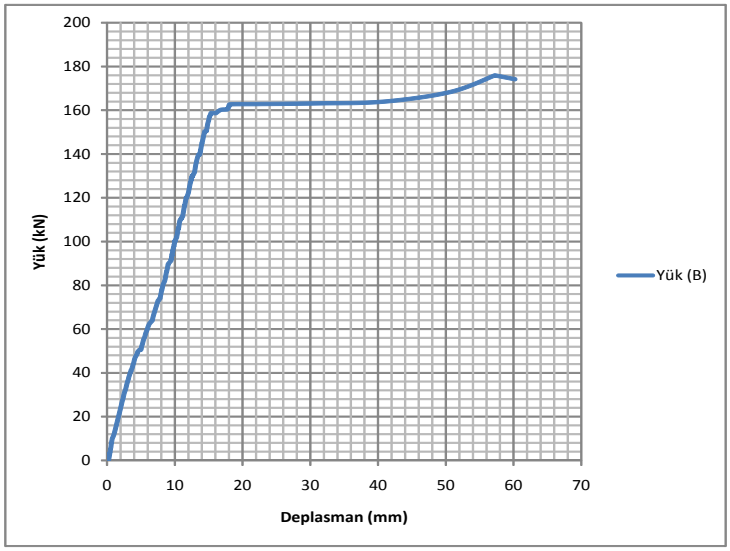
Şekil 4.23. Betonarme P2 – A Kirişinde çatlak başladıktan sonraki durum



Şekil .4.24. Betonarme P2 – A Kirişinin göçme durumu

4.7. 7 Nolu Deney (P2-B)

Bu deneysel çalışmada P2 - A polipropilen lif katkısının miktarı ise, $1m^3$ betonarme kirişinde en az 840 gr polipropilen lif katkısı kullanılması gerektiğinden, bir adet toplam 0.12 m^3 betonarme kirişlerde, toplam 101 gr polipropilen lif katkısı kullanılmıştır. Betonarme P2 - (A) kirişine sıfırdan başlayıp 10' ar kiloNewton artırarak yük yüklenmiş ve 50.2 kN da çatlamaya başlamıştır. Yüklemeye devam edilmiş akma yüküne 159.00 kN da ulaşılmıştır. Maksimum yük ve deplasman ise 176.00 kN ve 61.00 mm değerindeyken enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı ise, 10170 kNmm ve 4.35 değerindedir (Şekil 4.25, Çizelge 4.13).



Şekil 4.25. Betonarme P2 – B Kirişin Yük – Deplasman eğrisi

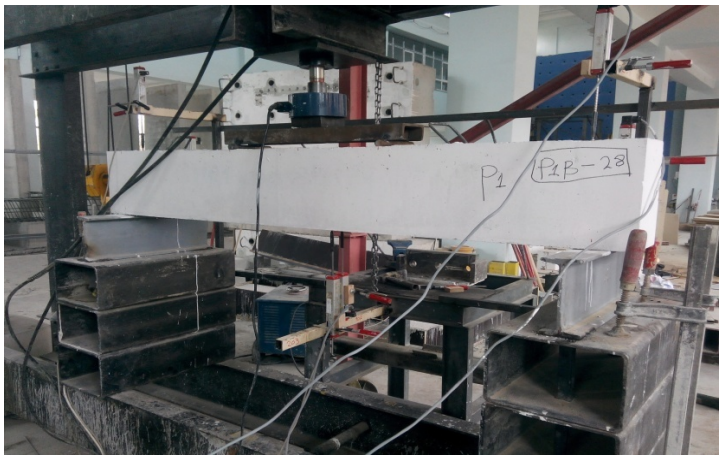
Çizelge 4.13. Betonarme P2-B Kirişin deney sonuçları

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Maksimum deplasman (mm)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Süneklik katsayısı
Betonarme RF Kirişi (P2-B)	61.00	60.00	10170	4.35

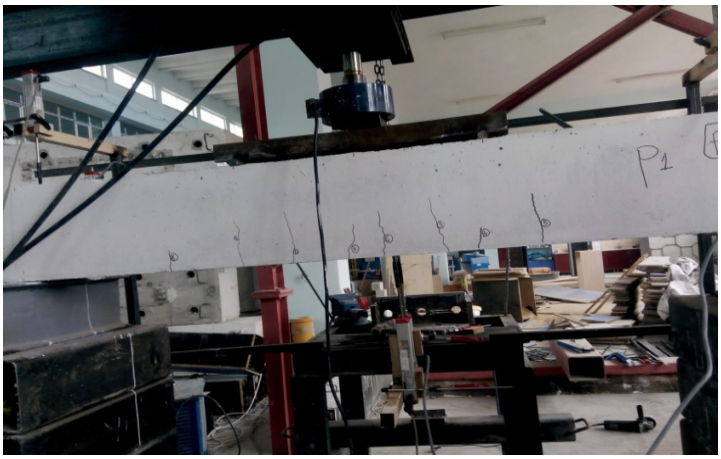
Çizelge 4.14. Betonarme P2 –B Kirişinde her çevrimde gözlenen davranış

Adım	Yük kN	Deplasman mm	Gözlenen davranış
1.1	11.85	1.02	-
1.2	22.00	1.90	-
1.3	30.60	2.57	-
1.4	40.27	3.54	-
1.5	50.20	4.8	1,2,3,4,5,6,7, Nolu **ilk çatlaklar oluştu**
1.6	62,00	6.33	8, Nolu çatlak oluştu - 1,2,3,4,5,6,7,Nolu çatlaklar uzadı
1,7	72.00	7.56	9, Nolu çatlak oluştu – 3, uzadı – 2,dallandı
1,8	80.45	8.30	10, Nolu çatlak oluştu 9,8,7, Uzadı
1,9	90.00	9.18	Sağ üstte ezilme başladı
1,10	100.00	10.00	11,12,13, Nolu çatlak oluştu,10, uzadı – 8, genişledi
1,11	110.00	10.94	14,15,16,17, Nolu çatlak oluştu – 1,3,512, uzadı – 9,10, dallandı
1,12	120.00	11.76	12,16, uzadı – 2, Nolu genişledi
1,13	130.30	12.64	18.19, Nolu çatlak oluştu – 16,18, uzadı
1,14	140.00	13.56	12,2,510, uzadı – 12,19, sol aşağıya dallandı
1,15	150.00	14.50	20, Nolu çatlak oluştu 11,19, uzadı – Sol üstte ezilme başladı – 8, dallandı.
1,16	159.00	17.33	6,14,16, Nolu çatlaklar uzadı – **Akma yüküne ulaştı**
1,17	159.00	18.00	Sağ üstte ezile arttı, - 20,1, uzadı,11 sol aşağıya dallandı
1,18	160.00	22.00	2,3,7, uzadı – 3,4,7,5, çatlakları genişledi.
1,19	163.00	30.00	3,9, dallandı ve genişledi, 2,3,14,9, genişledi
1,20	168.00	40.00	14, uzadı, 4, dallandı 2,3, genişledi
1.21	171.00	50.00	9,dallandı – 3,4,5,14,8, genişledi
1.22	176.00	60.00	8, uzadı – 2, sağa dallandı – 2,7,6, genişledi **– Kopma yüküne ulaştı.** – **Maksimum yüküne ulaştı**

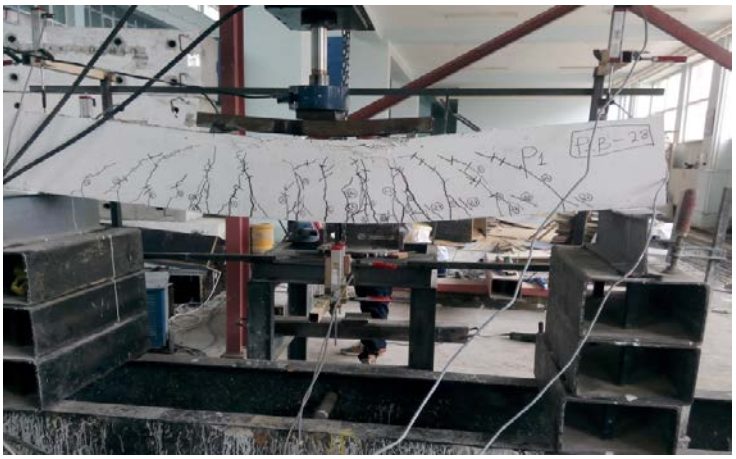
Aşağıdaki şekillerde, Betonarme P2 – B Kirişin kırılmadan önce ve kırıldıktan sonraki durumlarını göstermektedir (Şekil 4.26 – 4.28).



Şekil 4.26. Betonarme P2 – B Kirişini yerleştirdikten sonraki durum



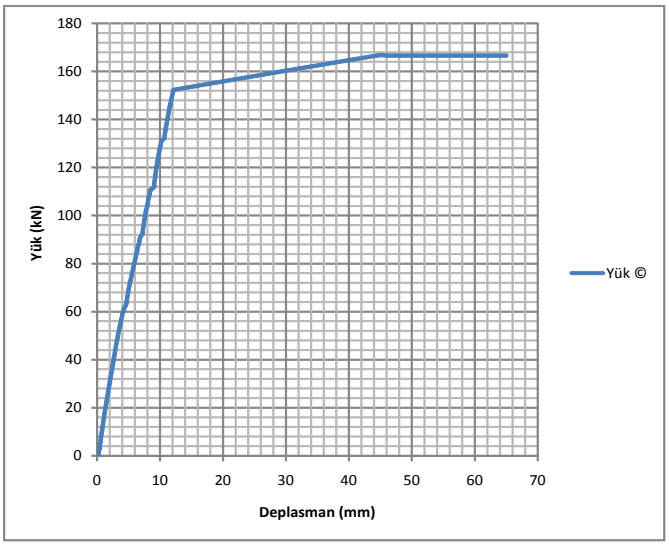
Şekil 4.27. Betonarme P2 – B Kirişinde çatlak başladıktan sonraki durum



Şekil 4.28. Betonarme P2 – B Kirişinin göçme durumu

4.8. 8 Nolu Deney (P2-C)

Bu deneysel çalışmada P2-A polipropilen lif katkısının miktarı ise, $1m^3$ betonarme kirişinde en az 840 gr polipropilen lif katkısı kullanılması gerektiğinden, bir adet toplam 0.12 m^3 betonarme kirişlerde, toplam 101 gr polipropilen lif katkısı kullanılmıştır. Betonarme P2 - A kirişine sıfırdan başlayıp 10' ar kiloNewton artırarak yük yüklenmiş ve 51.00 kN da çatlamaya başlamıştır. Yüklemeye devam edilmiş akma yüküne 152.00 kN da ulaşılmıştır. Maksimum yük ve deplasman ise 168.00 kN ve 65.00 mm değerindeyken enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı ise, 10496 kNmm ve 5.48 değerindedir (Şekil 4.29, Çizelge 4.15).



Şekil 4.29. Betonarme P2 – C Kirişin Yük – Deplasman eğrisi

Çizelge 4.15. Betonarme P2-C Kirişin deney sonuçları

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Maksimum deplasman (mm)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Süneklik katsayısı
Betonarme RF Kirişi (P2-C)	152.	65.00	10496	5.48

Çizelge 4.16. Betonarme P2 – C Kirişinde her çevrimde gözlenen davranış

Adım	Yük KN	Deplasman mm	Gözlenen davranış
1.1	12.00	1.3	-
1.2	20.60	2.3	-
1.3	30.80	3.8	-
1.4	40.00	5.1	-
1.5	51.00	7.1	1,2,3,4,5,6,7,8, Nolu **ilk çatlaklar oluştu**
1.6	60,80	8.2	9, Nolu çatlak oluştu - 1,2,3,4,5,6,7,9 Nolu çatlaklar uzadı
1,7	70.23	9.23	10,11,12,13,14, Nolu çatlak oluştu – 3, uzadı – 2,dallandı
1,8	80.45	10.46	15,16,17, Nolu çatlak oluştu 9,8,7, Uzadı
1,9	90.00	11.14	Sağ üstte ezilme başladı
1,10	152.00	12.18	18.19, Nolu çatlak oluştu,10,11,17, uzadı – **Akma yüküne ulaştı.**
1,11	154.00	13	20, Nolu çatlak oluştu – 3,4,5,6,10,uzadı – 9,10, dallandı
1,12	156.00	14.02	21, Nolu çatlak oluştu – 20, uzadı ve dallandı – 19, aşağıya dallandı
1,13	158.00	14.7	22,23,24, Nolu çatlak oluştu – 17,18, uzadı
1,14	159.00	15.78	12,21,22uzadı – 1,21, dallandı
1,15	163.00	16.55	25, Nolu çatlak oluştu 8,12,13,14, uzadı – Sol üstte ezilme başladı – 14 dallandı.
1,16	163.00	17.44	19,26, uzadı - 14, sol altta dallandı – 8,14,19, genişledi
1,17	165.00	24.00	Solda ezile arttı, - 20,22,1, uzadı,11 sol aşağıya dallandı .
1,18	167.00	27.00	22,3,7, uzadı – 3,4,7,5, çatlakları genişledi
1,19	168.00	40.00	3,9, dallandı ve genişledi, 17, uzadı**– Maksimum yüküne ulaştı.**
1,20	168.00	50.00	16, dallandı ve uzadı, 4,10, dallandı 2,3, genişledi
1.21	168.00	60.00	9,dallandı – 3,4,5,12,8,16, genişledi
1.22	168.00	70.00	2,22, uzadı – 5,18, dallandı – 7,9,8, genişledi **– Kopma yüküne ulaştı.**

Aşağıdaki şekillerde, Betonarme P2 – C)Kirişin kırılmadan önce ve kırıldıktan sonraki durumlarını göstermektedir (Şekil 4.30 – 4.32).



Şekil 4.30. Betonarme P2 – C Kirişini yerleştirdikten sonraki durum



Şekil 4.31. Betonarme P2 – C Kirişinde çatlak başladıktan sonraki durum



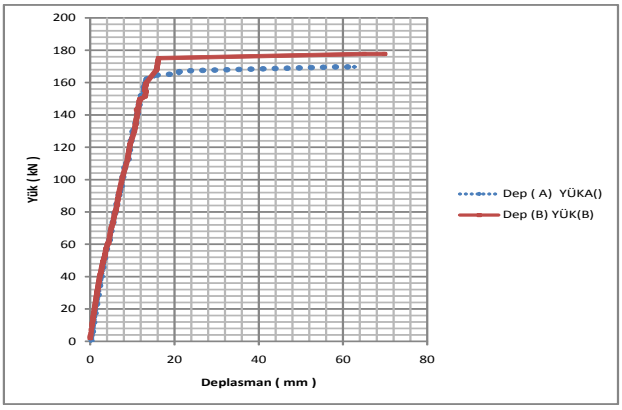
Şekil 4.32. Betonarme P2 – C Kirişinin göçme durumu

5. DENEY SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Deneysel çalışmalarda kullanılan betonarme kirişlerinin grafiklerini birbirleriyle karşılaştırılmaktadır.

5.1. Lif takviyesiz numunelerin karşılaştırılması (1 ve 2 Nolu Deneyler)

Bu deneysel çalışmada iki tane betonarme referans(RF) kiriş yapılmıştır. Aşağıdaki grafikler de görüldüğü gibi betonarme RF-B kirişi, betonarme RF-A kirişine göre akma dayanımı daha yüksek olduğu görülmektedir. Betonarme RF-A kirişlerin, betonarme RF-B kirişlere göre, enerji yutma kapasitesi % 4 düşük çıkmışken, süneklik katsayısı % 13 daha yüksek olduğu görülmüştür. Aşağıda Çizelge 5.1' de akma yükü, maksimum deplasman, enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısının değerleri verilmektedir.



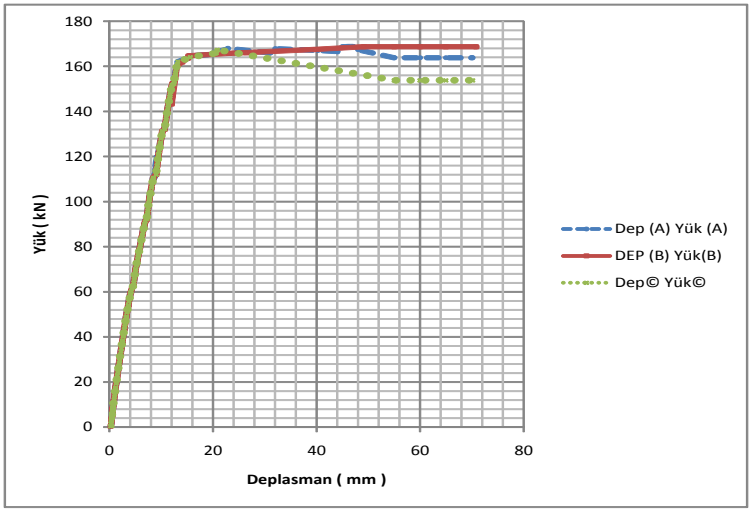
Şekil 5.1. Betonarme (RF – A,B) Kirişin Yük - Deplasman eğrisi

Çizelge 5.1. Betonarme lif katkısız numunelerin enerji yutma kapasiteleri ile süneklik katsayılarının karşılaştırılması

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Akma Yükü farkı (%)	Maksimum deplasman (mm)	Maksimum deplasman farkı (%)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Enerji yutma kapasitesi farkı (%)	Süneklik katsayısı	Süneklik katsayısı farkı (%)
Betonarme RF Kirişi (A)	164.00	1	69.70	1	10058	1	4.92	1
Betonarme RF Kirişi (B)	170.00	+3.65	70.00	+0.50	10465	+4.00	4.37	-12.58

5.2. Polipropilen lif takviyeli P1 tipi numunelerin karşılaştırılması (3, 4 ve 5 Nolu Deneyler)

Bu deneysel çalışmada üç tane polipropilen katkılı betonarme P_1 kirişi yapılmıştır. Aşağıdaki grafikler de görüldüğü gibi, betonarme (P1 – A,B,C) kirişleri birbirlerine çok yakın sonuçlar vermektedir. Betonarme P1-A kirişler, betonarme P2-B kirişlere göre, enerji yutma kapasitesi % 1.2 düşük çıkmış ve süneklik katsayısı % 9 daha yüksek olduğu görülmüşken, P1-C polipropilen lif katkılı betonarme kirişlere göre, enerji yutma kapasitesi % 4 düşük çıkmış ve süneklik katsayısı ise, % 8 daha yüksek olduğu görülmüştür. Aşağıda Çizelge 5.2' de akma yükü, maksimum deplasman, enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısının değerleri verilmektedir.



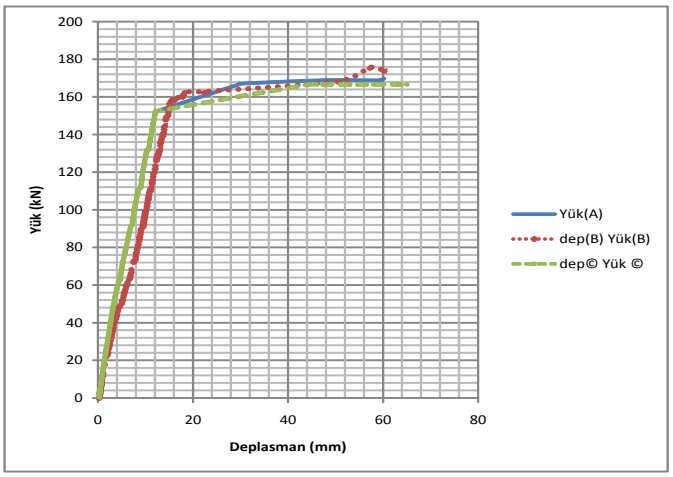
Şekil 5.2. Betonarme (P1 – A.B.C) Kirişin Yük - Deplasman eğrisi

Çizelge 5.2. Betonarme polipropilen lif katkılı numunelerin enerji yutma kapasiteleri ile süneklik katsayılarının karşılaştırılması

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Akma Yükü farkı (%)	Maksimum deplasman (mm)	Maksimum deplasman farkı (%)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Enerji yutma kapasitesi farkı (%)	Süneklik katsayısı	Süneklik katsayısı farkı (%)
Betonarme P1-A Kirişi	162.00	1	70.08	1	10548	1	5.46	1
Betonarme P1-B Kirişi	162.50	+0.12	72.00	+2.85	10678	+1.23	5.95	+8.97
Betonarme P1-C Kirişi	163.00	+0.62	71.00	+1.42	10195	-3.46	5.91	+8.24

5.3. Polipropilen lif takviyeli P2 tipi numunelerin karşılaştırılması (6, 7 ve 8 Nolu Deneyler)

Bu deneysel çalışmada üç tane polipropilen katkılı betonarme P_2 kirişi yapılmıştır. Aşağıdaki grafikler de görüldüğü gibi betonarme (P2 – A,C) kirişleri birbirlerine çok yakın sonuçlar vermektedir. Ancak betonarme P2–B kirişi diğerlerinden akma dayanımı daha yüksek olduğu görülmektedir. Betonarme P2-A kirişler, betonarme P2-B kirişlere göre, enerji yutma kapasitesi % 1.5 ve süneklik katsayısı % 25 daha yüksek olduğu görülmüşken, P2-C polipropilen lif katkılı betonarme kirişlere göre, enerji yutma kapasitesi % 1.74 ve süneklik katsayısı ise, % 0.55 daha düşük olduğu görülmüştür. Aşağıda Çizelge 5.3' de akma yükü, maksimum deplasman, enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısının değerleri verilmektedir.



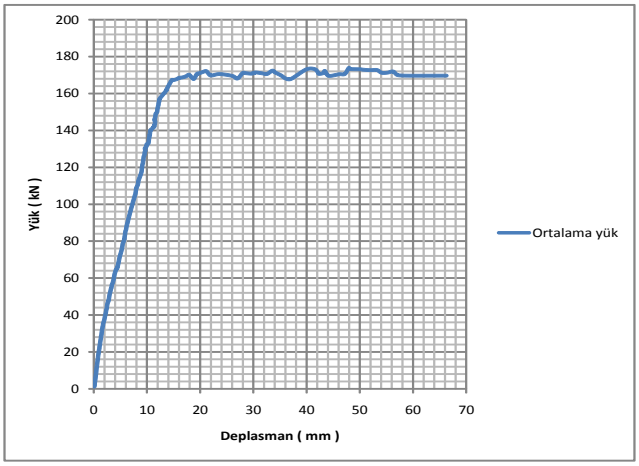
Şekil 5.3. Betonarme (P2 – A.B.C) Kirişin Yük - Deplasman eğrisi

Çizelge 5.3. Betonarme polipropilen lif katkılı numunelerin enerji yutma kapasiteleri ile süneklik katsayılarının karşılaştırılması

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Akma Yükü farkı (%)	Maksimum deplasman (mm)	Maksimum deplasman farkı (%)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Enerji yutma kapasitesi farkı (%)	Süneklik katsayısı	Süneklik katsayısı farkı (%)
Betonarme P2-A Kirişi	152.30	1	60.00	1	10316	1	5.45	1
Betonarme P2-B Kirişi	159.00	+4.60	61.00	+1.67	10170	-1.43	4.35	-25
Betonarme P2-C Kirişi	152.00	-0.19	65.00	+8.33	10496	+1.75	5.48	+0.55

5.4. Lif takviyesiz numunelerin ortalama değerlerinin gösterilmesi (1 ve 2 Nolu deneyler)

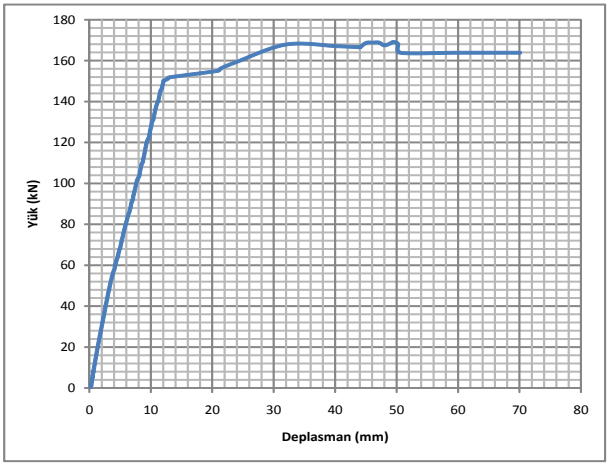
Deneysel çalışmadaki iki betonarme referans (RF) kirişinin ortalamalarını alarak aşağıdaki grafik çizilmiştir.



Şekil 5.4. Betonarme (RF – A,B) Kirişin ortalama olarak Yük - Deplasman eğrisi

5.5. Polipropilen lif takviyeli P1 tipi numunelerin ortalama değerlerinin gösterilmesi (3,4 ve 5 Nolu Deneyler)

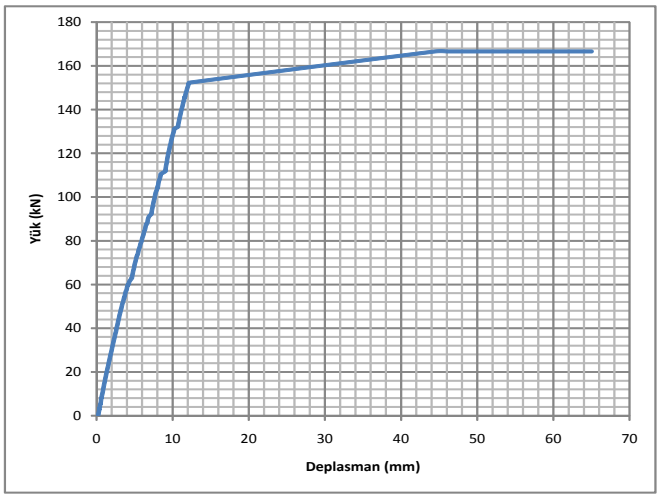
Deneysel çalışmadaki üç betonarme P1 kirişinin ortalamalarını alarak aşağıdaki grafik çizilmiştir.



Şekil 5.5. Betonarme (P1 – A,B,C) Kirişin ortalama olarak Yük - Deplasman eğrisi

5.6. Polipropilen lif takviyeli P2 tipi numunelerin ortalama değerlerinin gösterilmesi (6,7 ve 8 Nolu Deneyler)

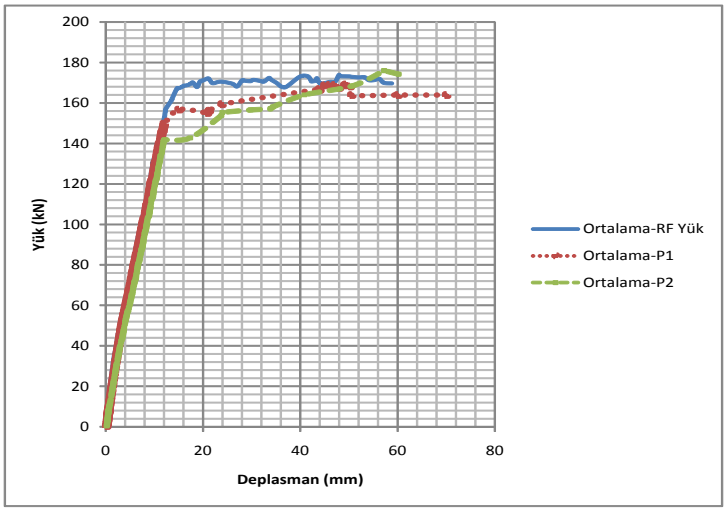
Deneysel çalışmadaki üç betonarme P2 kirişinin ortalamalarını alarak aşağıdaki grafik çizilmiştir.



Şekil 5.6. Betonarme (P2 – A,B,C) Kirişin ortalama olarak Yük – Deplasman eğrisi

5.7. Lif takviyesiz numunelerin polipropilen lif takviyeli P1, P2 tipi numuneleri ile grafiksel olarak karşılaştırılması (1 – 8 Nolu Deneyler)

Aşağıdaki grafiklerde görüldüğü gibi betonarme RF kirişi, betonarme P1 kirişine göre ve P1 kirişi ise, P2 kirişine göre akma dayanımı daha yüksek olduğu görülmektedir. Betonarme referans kirişlerin, P1 polipropilen lif katkılı betonarme kirişlere göre, enerji yutma kapasitesi % 2 ve süneklik katsayısı % 23 daha düşük olduğu görülmüşken, P2 polipropilen lif katkılı betonarme kirişlere göre, enerji yutma kapasitesi % 4 ve süneklik katsayısı ise, % 25 daha düşük olduğu görülmüştür. Aşağıda Çizelge 5.4' de akma yükü, maksimum deplasman, enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısının değerleri verilmektedir.



Şekil 5.7. Betonarme (RF, P1, P2) Kirişin Yük - Deplasman eğrisi

Çizelge 5.4. Betonarme polipropilen lif katkılı numunelerin enerji yutma kapasiteleri ile süneklik katsayılarının referans numunelerle karşılaştırılması

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Akma Yükü farkı (%)	Maksimum deplasman (mm)	Maksimum deplasman farkı (%)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Enerji yutma kapasitesi farkı (%)	Süneklik katsayısı	Süneklik katsayısı farkı (%)
Betonarme RF- Kirişi	168.00	1	66.00	1	9912	1	4.71	1
Betonarme P1- Kirişi	154.00	-9.09	70.00	+6.06	10076	+1.65	5.83	+23.77
Betonarme P2-Kirişi	152.00	-10.52	65.00	-1.52	10329	+4.20	5.91	+25.48

5.8. Deney numunelerinin genel değerlendirilmesi

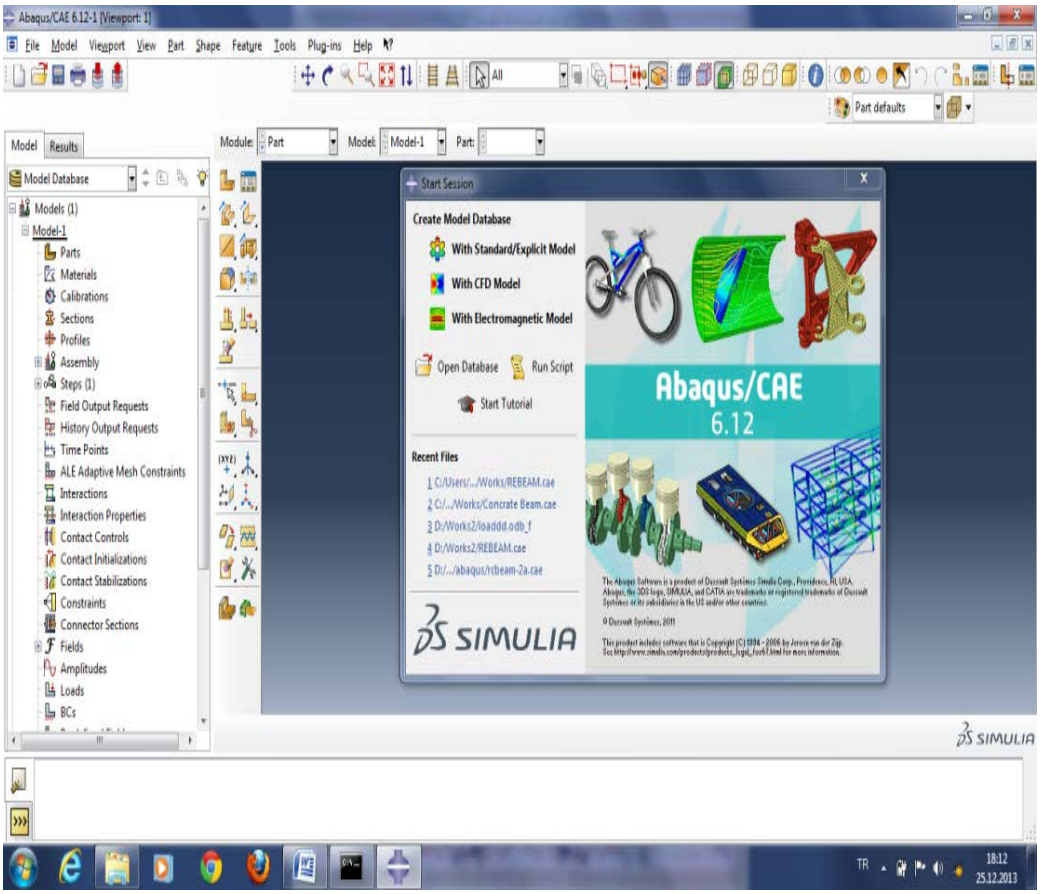
Bu çalışmada, yapılan deneysel çalışmalarda lif katkısız iki adet betonarme referans kirişi ve (P1, P2) polipropilen lif katkılı üçer adet betonarme kiriş imal edilmiştir. İmal edilen betonarme kirişlerin boyutları 0.20x0.30 m2, uzunluğu 2 m ve ölçeği ise ½ dır. Deneysel çalışmalarda betonarme kirişler L/3 noktasından iki adet yük ile yüklenmiş ve deplasmanlar ise kiriş ortasından ölçülmüştür. Buna göre betonarme kirişlerin yük – deplasman eğrileri çizilmiştir. Sonra betonarme Kirişlerin, enerji yutma kapasiteleri ve süneklikleri bulunmuş ve sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmada, betonarme referans kirişlerin enerji yutma kapasitesi ve süneklik

katsayısı, (P1, P2) polipropilen lif katkılı betonarme kirişlerin enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısına göre, daha düşük çıkmıştır. Betonarme referans kirişlerin enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı sırasıyla 9912 kNmm ve 4.71 değerindeyken, (P1, P2) polipropilen lif katkılı betonarme kirişlerin enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı, 10076 kNmm ve 5.83, 10329 kNmm ve 5.90 değerindedir. Betonarme referans kirişlerin, P1 polipropilen lif katkılı betonarme kirişlere göre, enerji yutma kapasitesi % 2 ve süneklik katsayısı % 23 daha düşük olduğu görülmüşken, P2 polipropilen lif katkılı betonarme kirişlere göre, enerji yutma kapasitesi % 4 ve süneklik katsayısı ise, % 25 daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre (P1, P2) polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin daha sünek olduğu ve deprem performanslarının ise daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

6. ANALİTİK ÇALIŞMA

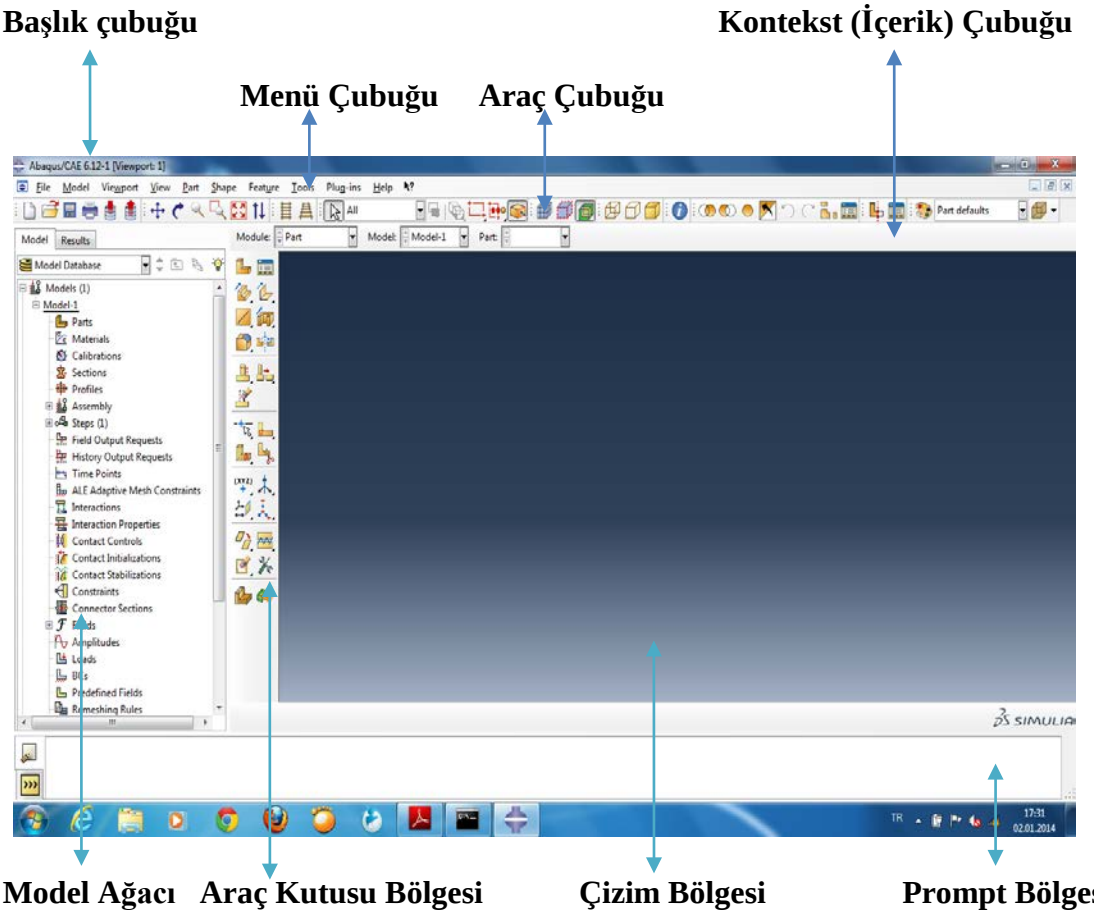
6.1. Abaqus programı genel tanıtımı

Abaqus programın sonlu elemanlar yöntemini kullanan genel olarak mühendisliğin değişik alanında kullanabilen genel amaçlı bir programdır. Mühendislik problemlerinin üç boyutlu ve katı modelleme teknikleri ile gerçeğe uygun olarak modellenebildiği etkili bir programdır. İnşaat mühendislik alanında yapı taşıyıcı sistemlerine gelen değişik statik ve dinamik yüklerin tanımlanmasında kullanabilen bir özelliği sahiptir. Ayrıca deney numunelerinin gerçeğe uygun olarak modellenebilmesinde kullanılan faydalı bir programdır.



6.2. Ana pencerenin bileşenleri

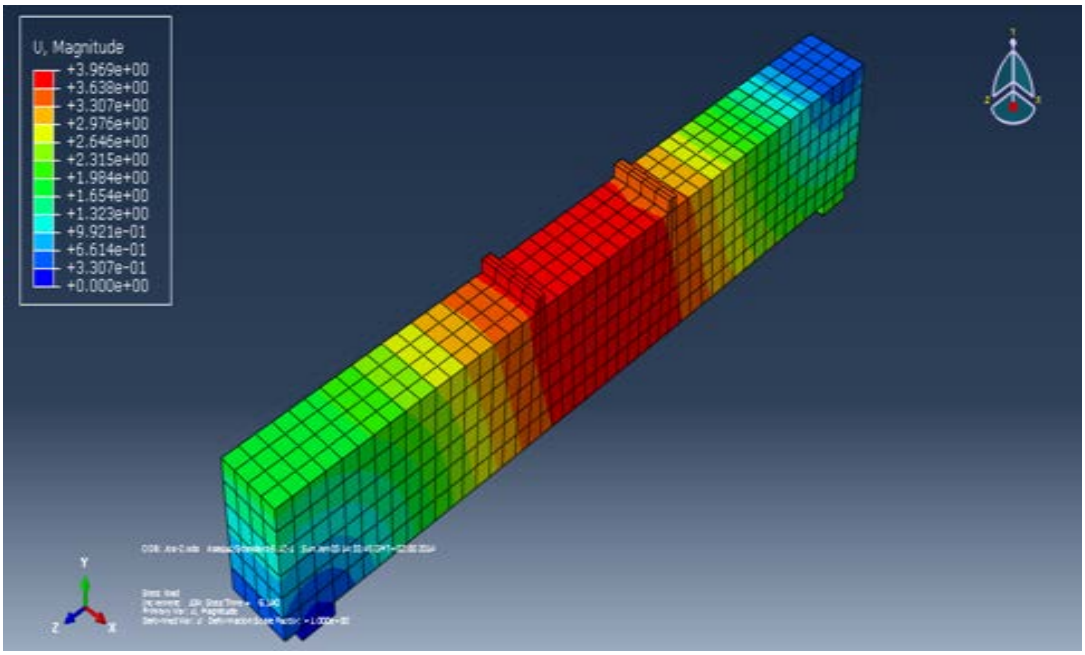
Başlık Çubuğu, çalışılan ABAQUS CAE'nin versiyonunu ve model veri tabanının ismini belirtir. **Menü Çubuğu,** mevcut bütün menüleri içerir. Kontekst çubuğunda modül değiştirilse menü çubuğunun da içeriği değişir. Hangi modülü seçilirse o modül ile ilgili menüler gelir. **Araç Çubuğu,** çok kullanılan bazı menülere hızlı erişimi sağlar**. Kontekst (içerik) Çubuğu,** yapılan çalışmayı belirli bir düzende yapabilmek için modüller sunar. Örneğin, ilk olarak part modülünde parçalar modellenir. Sonra property modülüne geçilerek parçaların malzeme özellikleri belirlenir. Daha sonra assembly (montaj) modülüne geçilerek modellenen parçaların montajı yapılır. **Model Aracı,** yapılan olduğun çalışmanın adımları model aracında görülebilir. Model aracı, yapılmış olan çalışma üzerinde değişiklik yapabilme ve modüller arasında geçiş yapabilme imkanı sağlar**. Araç Kutusu Bölgesi,** bir modüle girildiği zaman o modülle ilgili komutlar araç kutusu bölgesinde bulunur. Aynı komutlar, menü çubuğunda da yer alır. Fakat araç kutusu sayesinde bu komutlara çok hızlı şekilde ulaşılabilir. **Çizim Bölgesi,** çizimin oluşturulduğu ekrandır. **Prompt Bölgesi.** bir komut seçildiği zaman o komutun kullanımı ile ilgili bilgi sahibi olunmadığında mesaj bölgesindeki uyarıları takip ederek hangi adımların yapılması gerektiği görülebilir.



6.3. 3D Kiriş Analizi

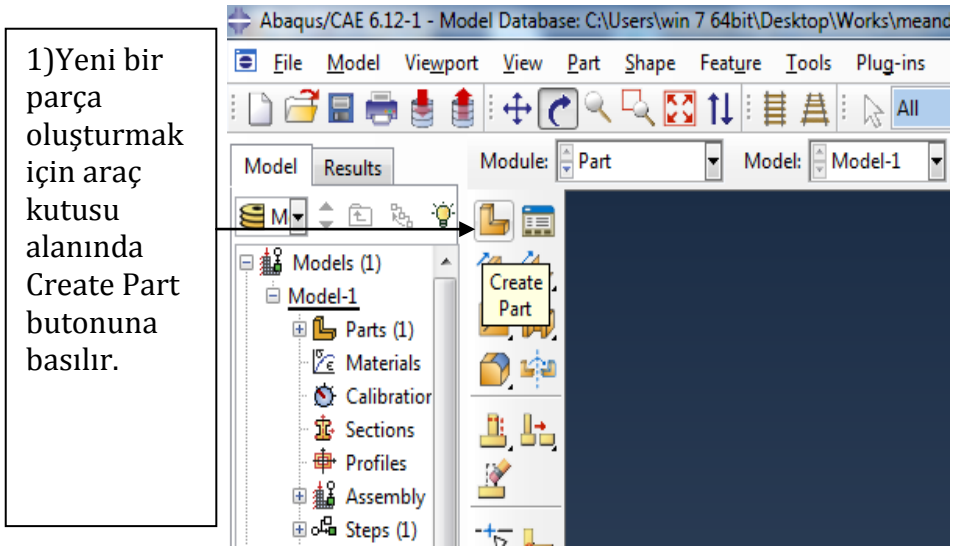
6.3.1. Uygulamanın Adımları

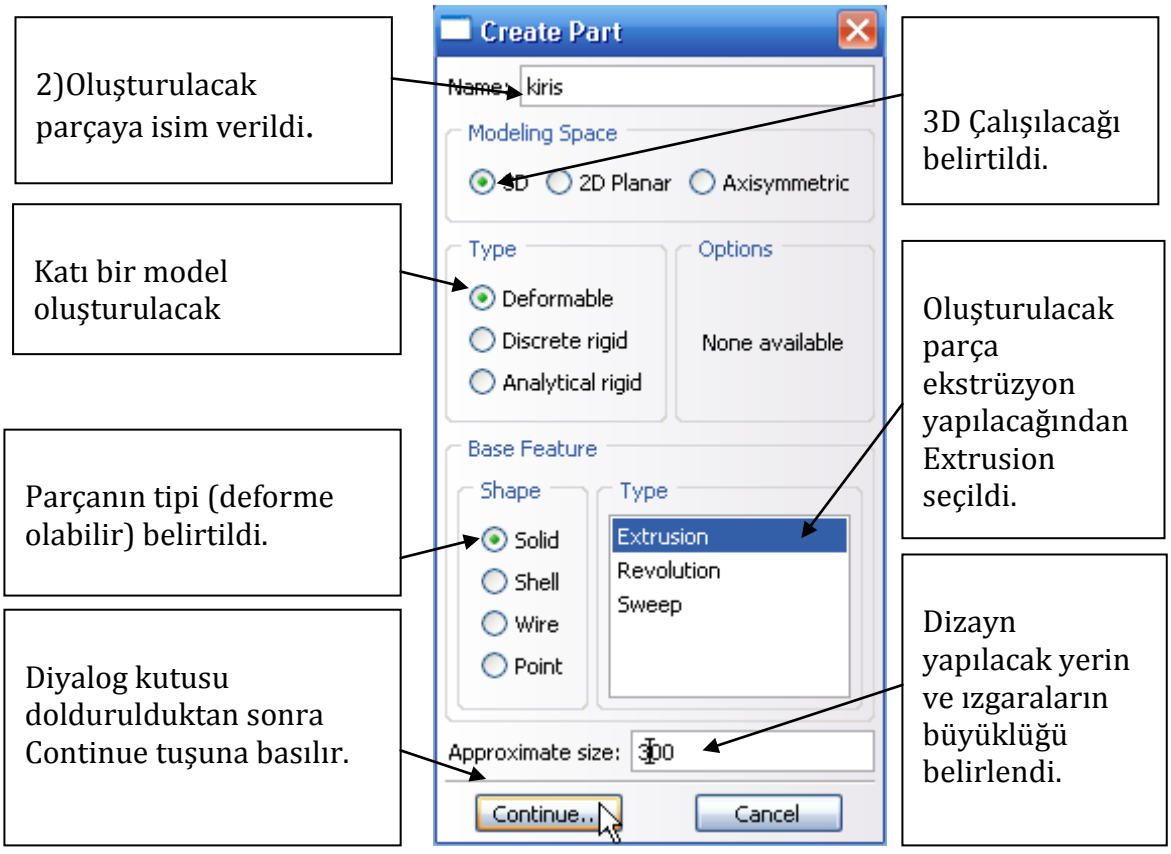
1. Parçaya ait geometrinin oluşturulması
2. Malzeme özelliklerinin tanıtılması
3. Modelin bölgelerine ait özelliklerin atanması
4. Parça örneği ve montaj
5. Yapılacak analiz tipi ve yüklerin tanımlanması
6. Yük ve sınır şartlarının uygulanması
7. Ağ oluşturma
8. Analiz tipinin belirlenmesi
9. Sonuçların görüntülenmesi



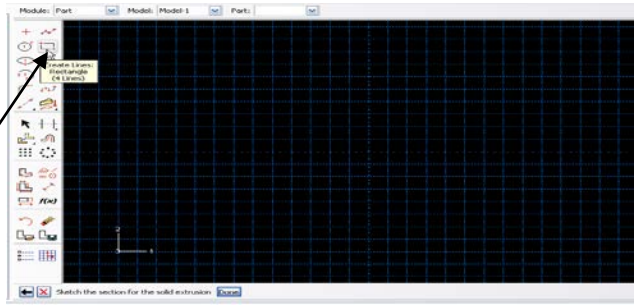
6.3.2. Parçaya ait geometrinin oluşturulması

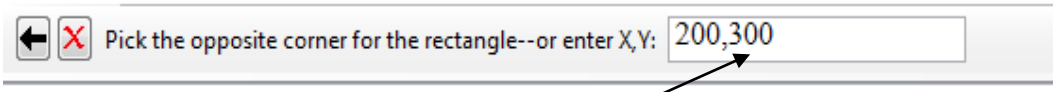
Start Session daiyalog kutusundan “Create Modal Data base” seçilerek modellemeye başlanır. İçerik çubuğunun Module kısmında Partın seçili olduğuna dikkat ediniz.





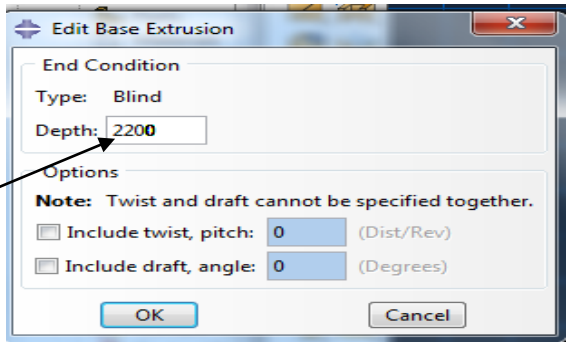
3) Parçadaki dikdörtgeni oluşturmak için Create Lines: Rectangle (4 lines) butonuna basılır.

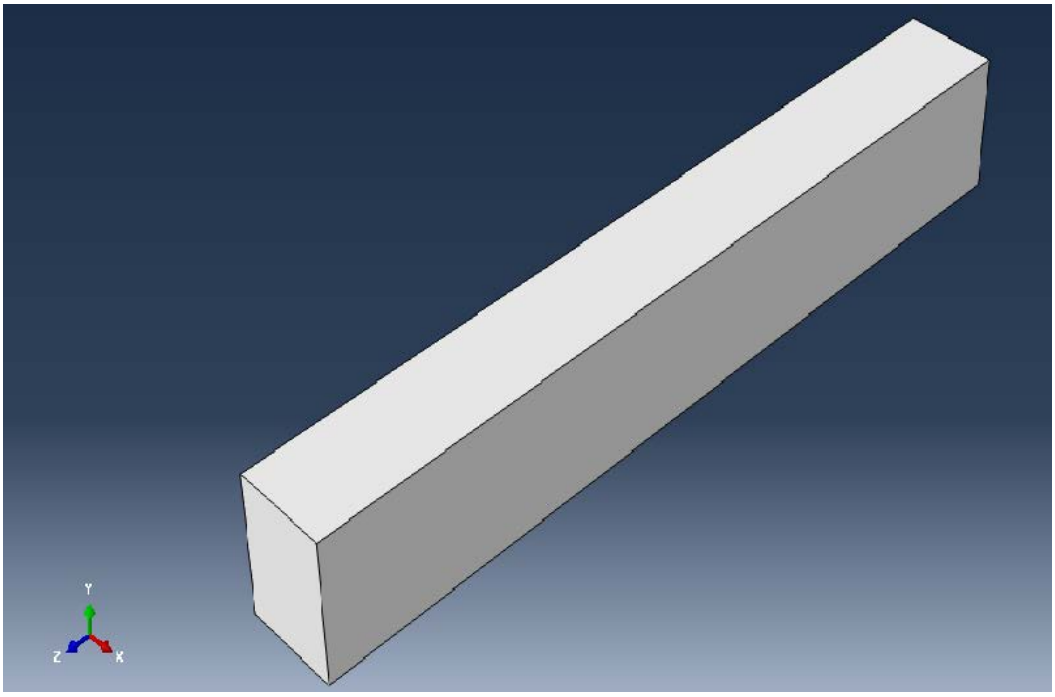




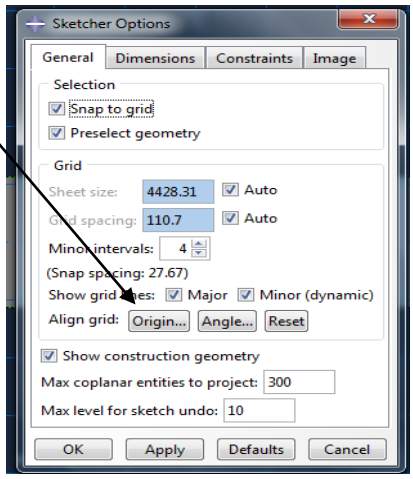
4) Prompt alanı kısmına dikdörtgene ait koordinat değerlerini girilir Çizim işlemi bittikten sonra Prompt alanında Done butonuna basılır.

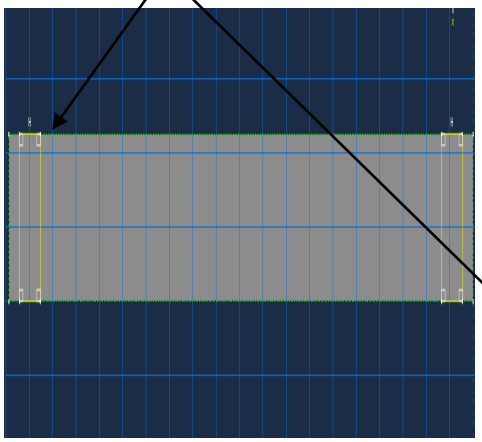
5) Auto-fit View diyalog kutusundan Depth kısmına (2200 mm)değeri yazılır. Ok.

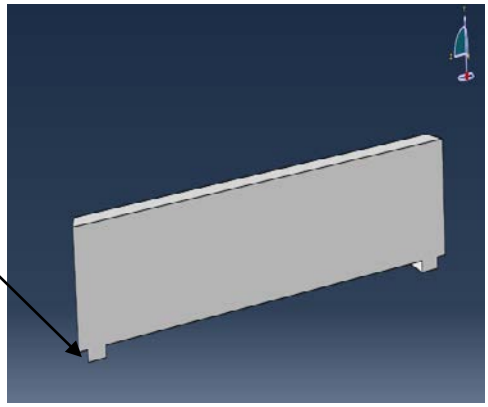




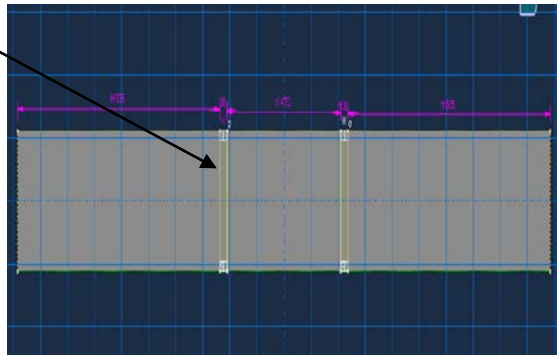
6) Kirişin mesnetlerini belirlemek için, Shape > Solid > Extrude > Rotate view, e girilir. Sonra mesneti çizmek için, Origin > Edit Extrusion>Ok tuşuna basılır.

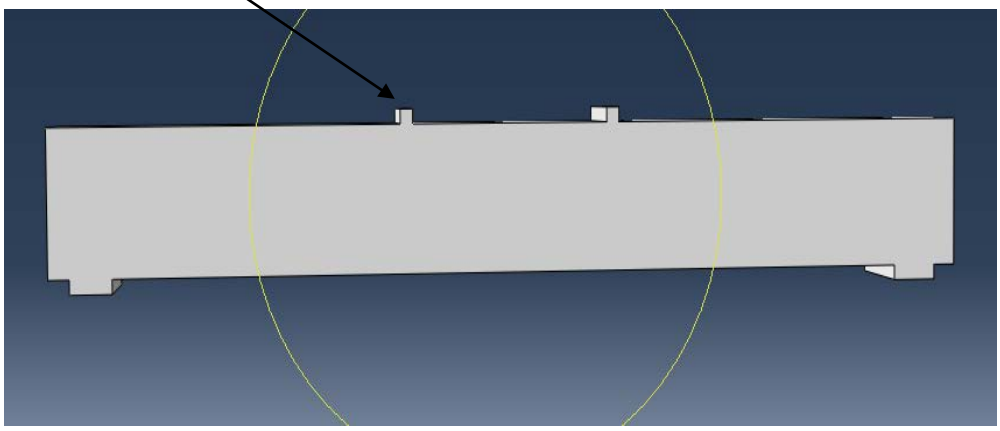






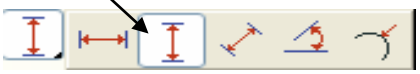
7) Uygulama noktasının oluşturulması ise mesnet kısmında yapılan işlemler tekrar dan yapılır.

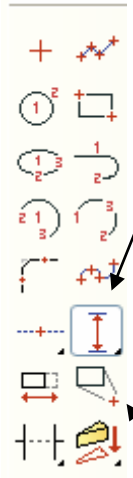




Ölçülendirme yapılırken dikkat edilmesi gereken hususlar:

Ölçülendirme komutunun üzerine basılı tutulursa diğer ölçülendirme komutları görülebilir.

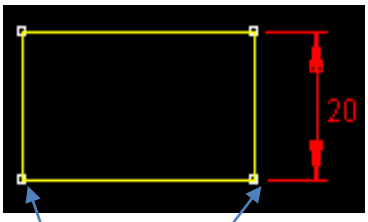




Ölçülendirme bu komutla yapılır

Verilmiş bir ölçünün değerini değiştirmek için kullanılan komut

Önemli :
Verilmiş bir ölçünün değerini değiştirmek için şekilde gösterilen komuta basıldıktan sonra, ölçü seçilir. Sonra shift tuşuna basılı tutarak hangi noktaların değişeceği işaretlenir. Daha sonra enter tuşuna basılır ve istenen değer girilir.



Yandaki ölçü 10 yapılmak isteniyorsa

ilk olarak  tuşuna basıldıktan sonra 20 değerinde olan ölçü seçilir.

Sonra Shift tuşuna basılı tutularak mavi okla gösterilen 2 köşe seçilir. Sonra enter'a basılır değer girilir.

6.4. Malzeme özellikleri

Beton Malzemeleri

1) Malzeme adı: Concrete (Beton, N/mm^2)

Elastik

3200, 0.2

Concrete Smeared Cracking

σ_c	ε_c
0.22	0.00001
1.1	0.00005
2.17	0.0001
4.23	0.0002
6.16	0.0003
7.98	0.0004
14.06	0.0008
18.24	0.0012
20.52	0.0016
20.98	0.002063
19.79	0.00235925
18.6	0.0028395
17.41	0.00331975
16.22	0.0038

Failure ratio

1.16	0.09	1.28	0.3333

Shear retention

1	0.05

Tension stifness

1	0
0.4	0.08
0	0.8

2) Malzeme adı: Steel (Çelik, N/mm^2)

Elastik

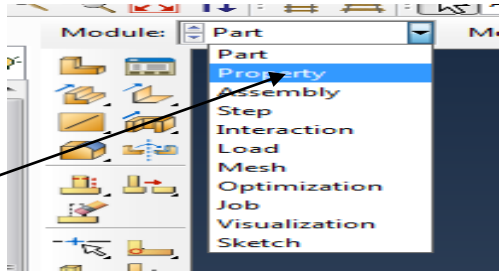
200000, 0.3

Plastik

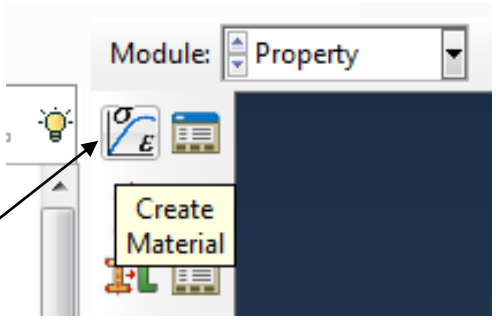
fy	Plastic Strain
220	0
320	0.2

6.5. Malzeme özelliklerinin girilmesi

1) İçerik Çubuğu kısmında Module alanından çalışma modülü Property olarak seçilir.

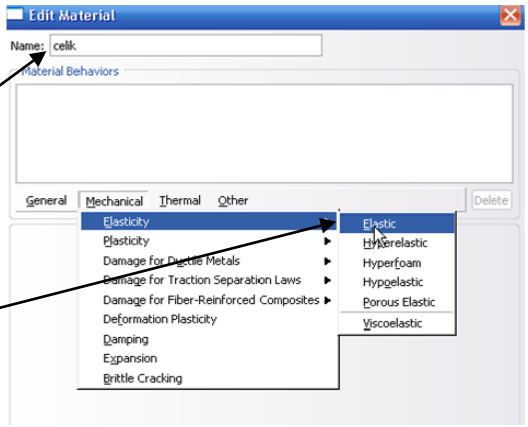


2) Malzeme özelliklerinin girilmesi için araç kutusu alanında Create Material butonuna basılır.



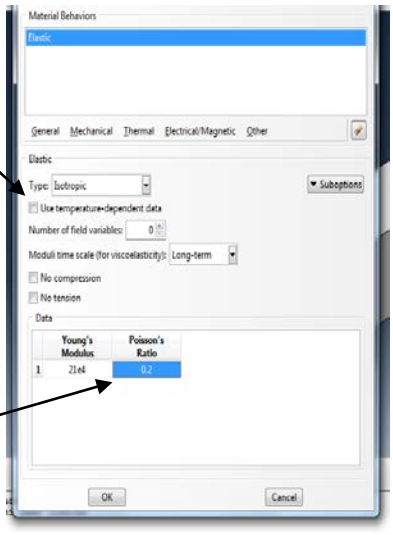
3) Malzemeye bir isim verilir.

4) Diyalog kutusundan Mechanical>Elasticity> Elastic seçilir.



5) Bir malzemenin Elastisite modülü ve Poisson oranı yani elastik özellikleri sıcaklığa bağlı olarak değişir. Fakat malzemede meydana gelebilecek olan sıcaklık değişimleri çok düşük olacağından bu seçenek aktif olmamalıdır.

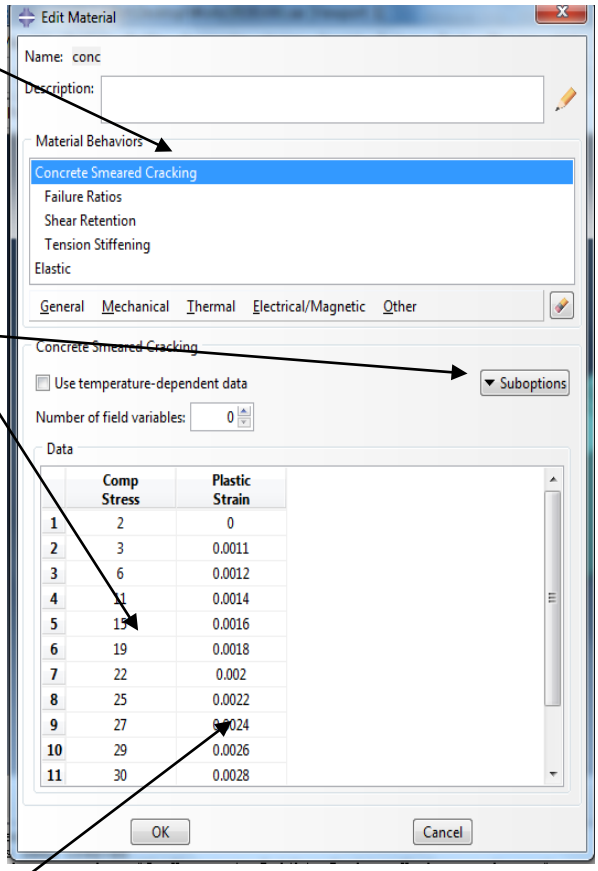
6) Diyalog kutusundan Young's Modulus kısmına 21e4,Poisson's Ratio kısmına 0.2 girilir. Ok butonuna



7) Diyalog kutusundan Mechanical>Plasticity> Concrete Smeared Cracking seçilir.

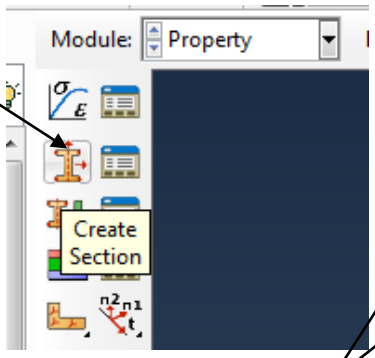
8) Diyalog kutusundan Young's Modulus kısmına ve Poisson's Ratio kısmına değişik değerler girilir. Sonra Subotions kısmına, Failure Ratios, Shear Retetion, Tension stiffening değerleri girilir. Ok butonuna basılarak çıkılır.

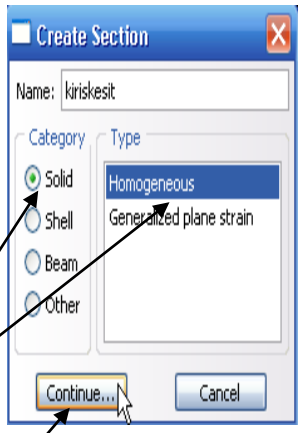
9) Malzemenin plastik özellikleri olan Akma gerilmesi ve Plastik şekil değiştirme oranı.



6.6. Modelin bölgelerine ait bazı özelliklerin atanması

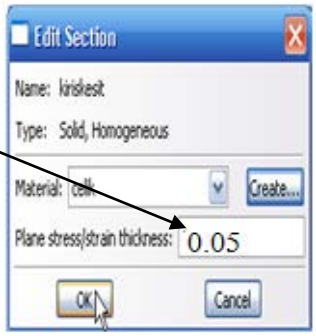
1) Create Section butonuna basılır.

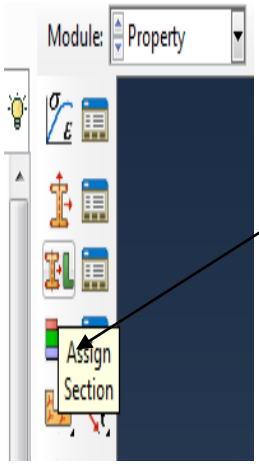




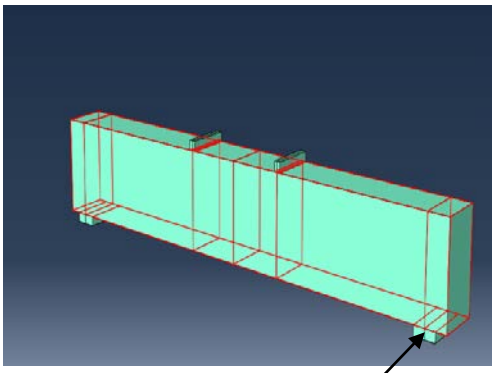
2) Açılan diyalog kutusundan kesite bir isim verilir, Category kısmından Solid, Type kısmından Homogeneous seçilir. Continue…

3)Plane stress/strain thickness kısmına parçanın kalınlığı olan 0.05 girilir.

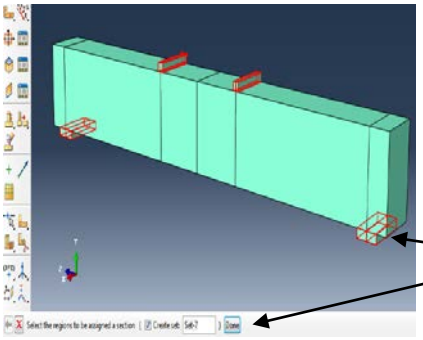




4)Kesiti atamak için AssignSection butonuna basılır

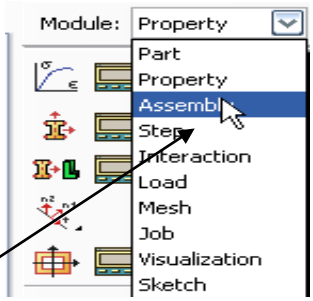


5) Kesitin atanacağı bölgenin seçilmesi gerekir, tüm model iki kesite sahip olduğundan önce model seçilip sonra ikinci kısım seçilir **Prompt** alanından **Done** butonuna basılır.

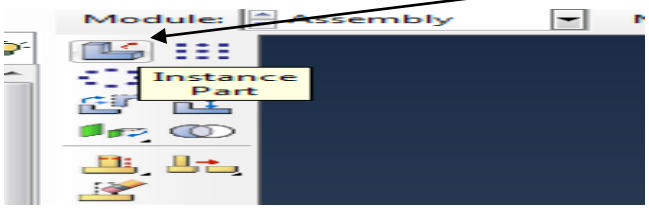


6.7. Parça örneği ve montaj

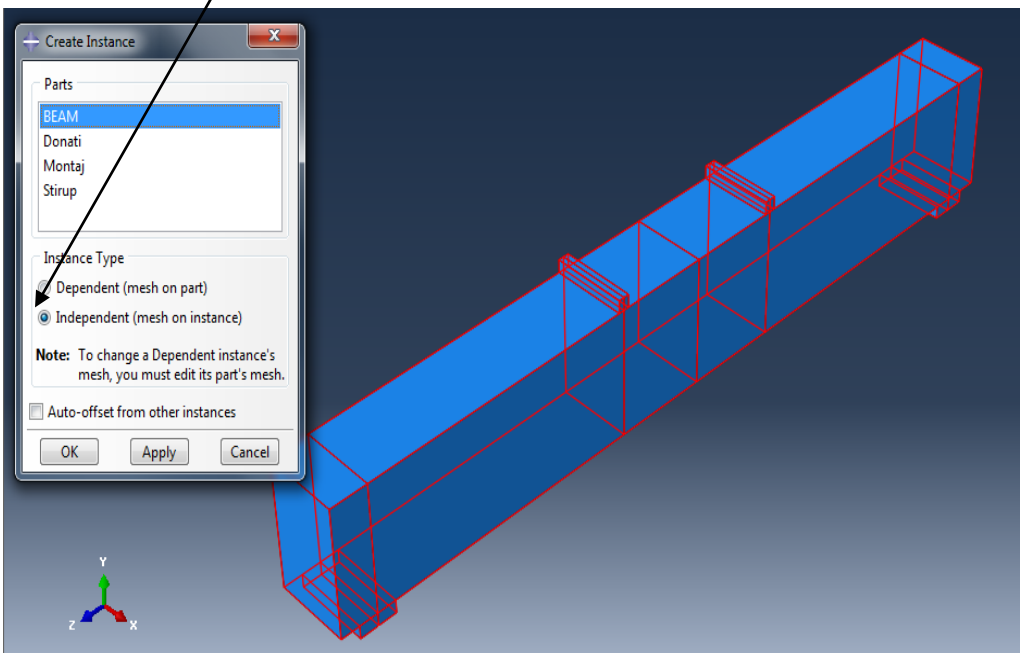
1)İçerik Çubuğundaki Module alanından çalışma modülü Assembly olarak seçilir. Bu modüle geçilince ekranda model kaybolur.



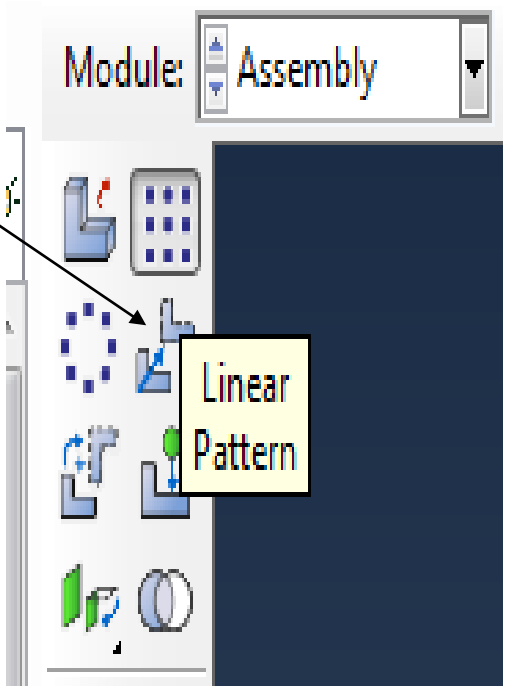
2)Araç kutusu alanından Instance Part butonuna basılır. Ekrana model ve Create Instance diyalog kutusu gelir.

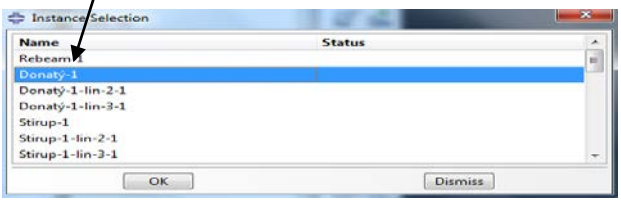


3) Create Instance diyalog kutusunda modele ne tip ağ oluşturulacağı belirtilir. Independent(mesh on instance)seçilir. Ok.

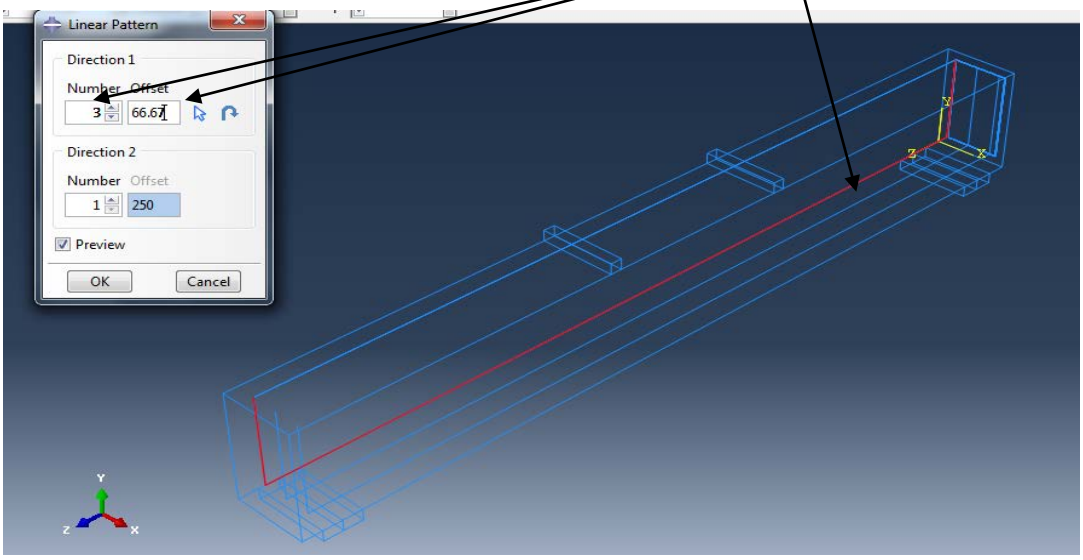


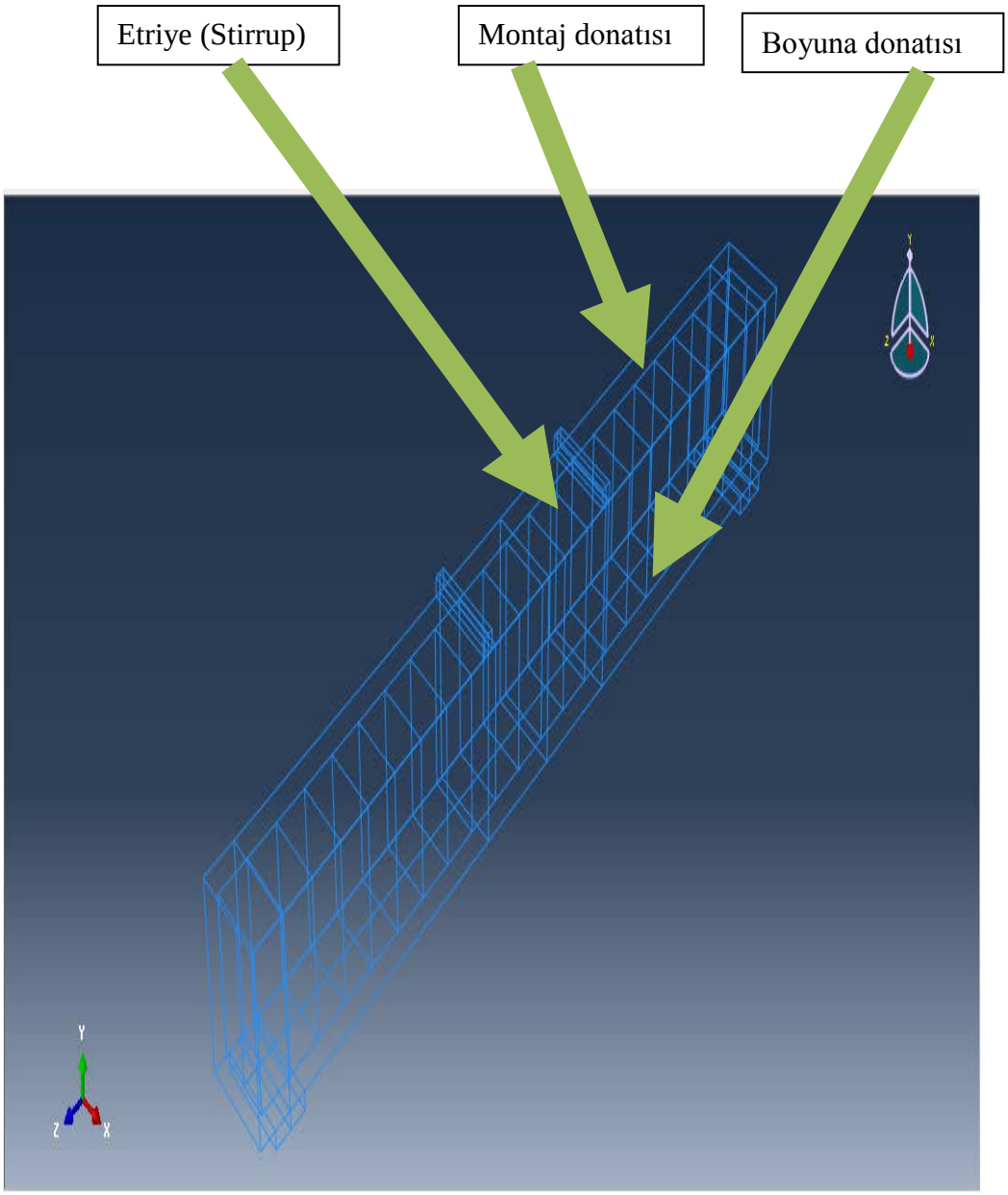
4) Enine donatı, Boyuna donatı ve montaj donatılarını kirişe yerleştirmek için Linear Pattern kullanılır. Instance butonuna basıldıktan sonra instance selection kutusu karşımıza çıkar, bu kutudan kiriş (Beam-1) seçildikten sonra ok deyip ‘ Direction 1> kısmındaki > Number da kirişte konulacak donatı sayısını ve Offset kısmında donatı aralığı yazılır.’ Direction 2 kısmındaki Number kutusunda 1 yazılır 1’ butonuna basılır.





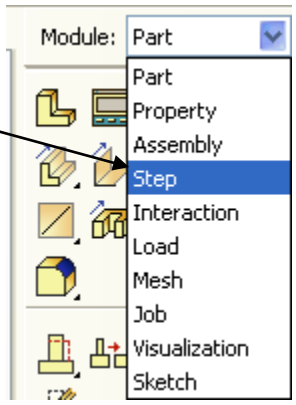
5)Kirişteki boyuna donatıyı yerleştirirken Örnek olarak gösterilmesi. Diğer donatılar ise aynı yöntem ile yerleştirilir.



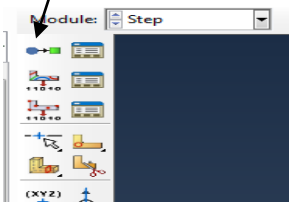

Etriye (Stirrup)
Montaj donatısı
Boyuna donatısı
Y
Z
X

6.8. Yapılacak analiz tipi ve yüklemelerin tanımlanması

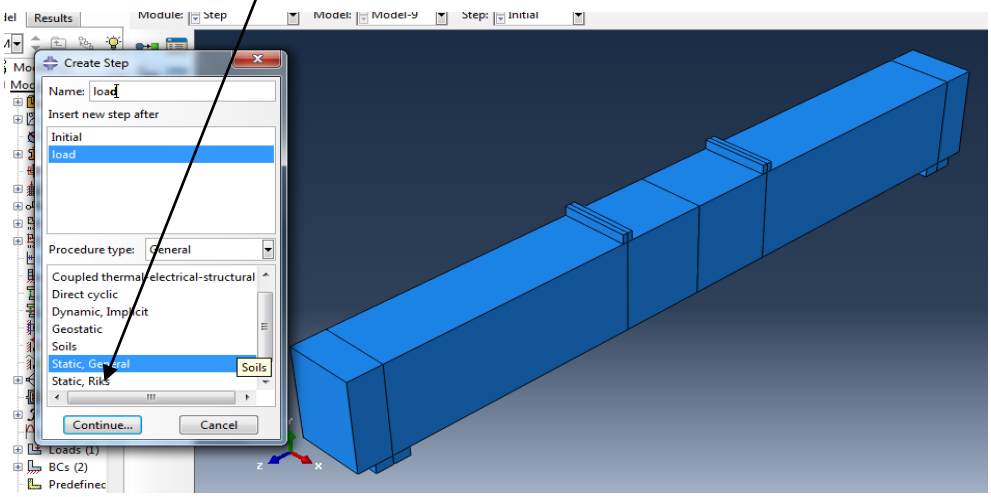
1) İçerik Çubuğundaki Module alanından çalışma modülü Step olarak seçilir.



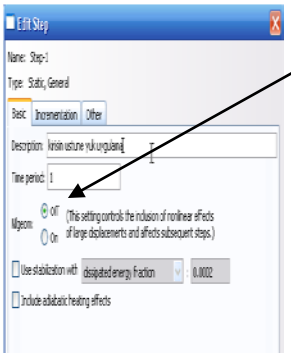
2) Araç kutusu alanından Create Step butonu basılır. Ekrana Create Step diyalog kutusu gelir.



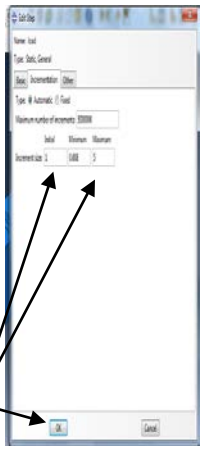
3) Create Step diyalog kutusunda analiz tipi belirtilir. İsim verilir Load, ProcudereType kısmından General ve Static, General seçilir, Continue.



5) Bu bölümde uygulanacak yükün artış miktarı belirtilmektedir. Program en idealini otomatik olarak seçer. Ok..

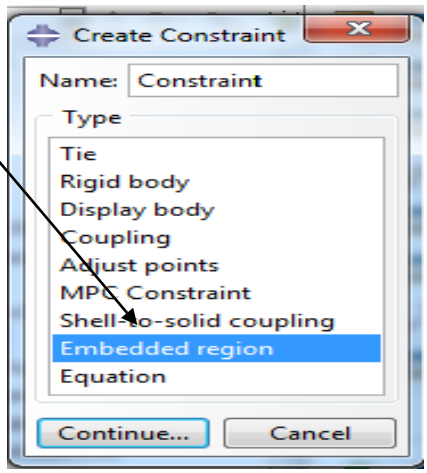


4) Diyalog kutusundan Description: Kirisin üstüne Yük uygulama şeklinde adlandırılır ve Increnmentation kısmına geçilir.

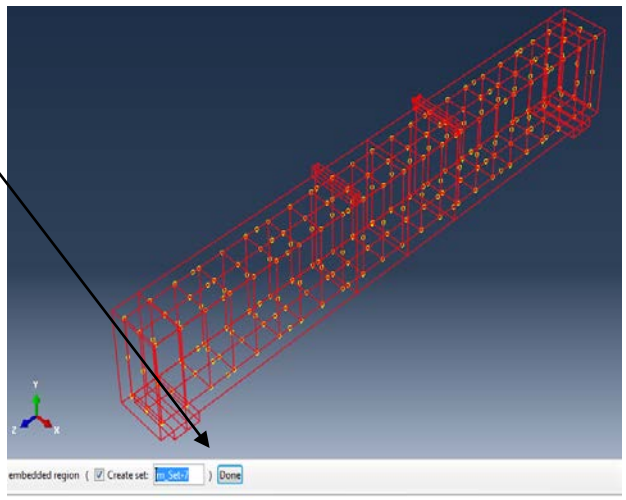


6.9. Donatıların gruplandırması

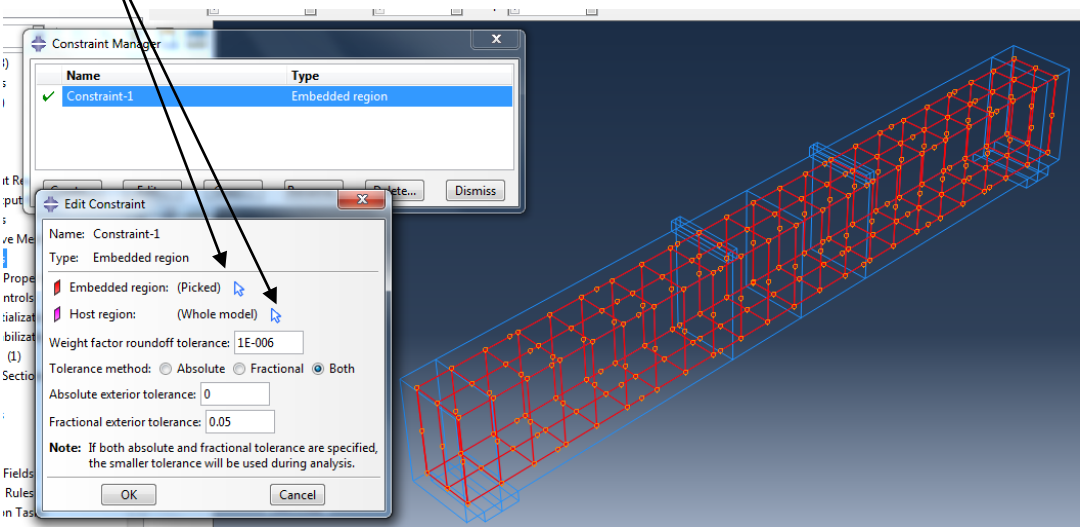
1)Donatıları birbirlerine birleştirmek için İnteraction diyalog kutusunu kullanılır. Create Constriant > Type kısmında Embedded region yazılır sonra continue tuşuna basılır.



2) Continue den sonra tüm kiriş seçilip Done tuşuna basılır.

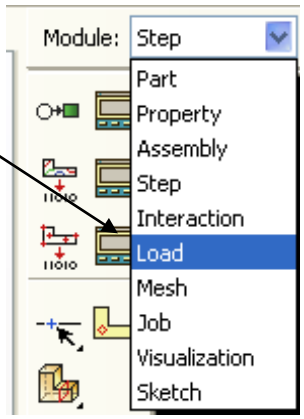


3) Edit Constrian kısmında ise Embedded region kısmında sadece donatılar seçilir, Host region kısmında ise tüm modül seçilir. Ok tuşuna basılır.

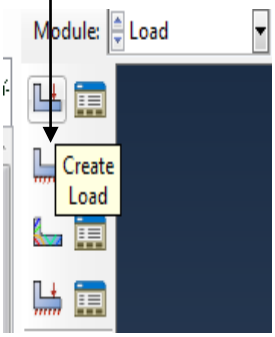


6.10. Yük ve sınır şartlarının uygulanması

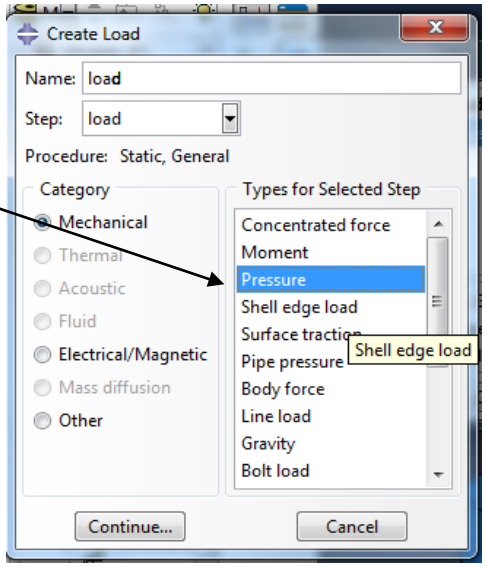
1) İçerik Çubuğundaki Module alanından çalışma modülü Load olarak seçilir.



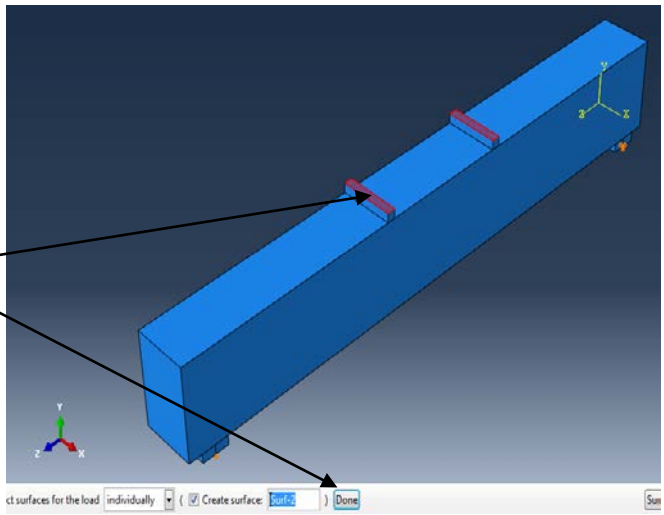
2) Araç kutusu alanından Create Load butonu basılır. Ekrana Create Load diyalog kutusu gelir.



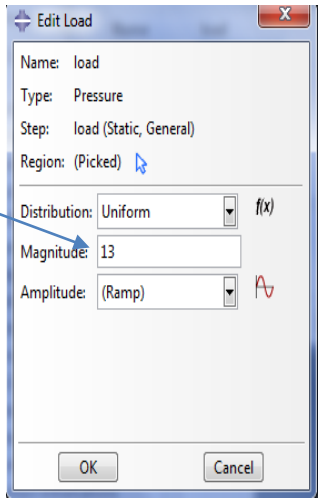
3) Create Load diyalog kutusunda yük tipi belirtilir. İsim verilir Load, Step Kısmında bir önceki bölümde seçilen Load olmalı. Category kısmında Mechanical Seçilir ve Types for selected step kısmından Pressure seçilir, *Continue*..

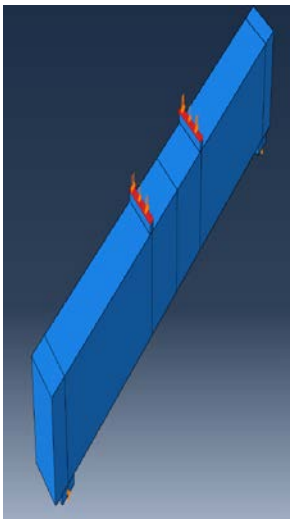


4) Bu kısımda yükün uygulanacağı yüzeyin seçilmesi gerekir. Kirişin üst yüzeyi Mouse ile seçilir ve Prompt alanında Done tuşuna basılır.

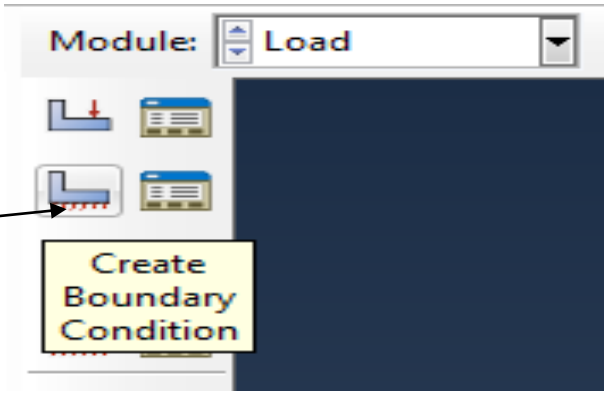


5) Edit Load diyalog kutusunda Distribution kısmı Uniform olarak ayarlanır. Magnitude kısmına basıncın değeri olan 13 girilir. Amplitude kısmında Ramp olması gerekir. Ok..

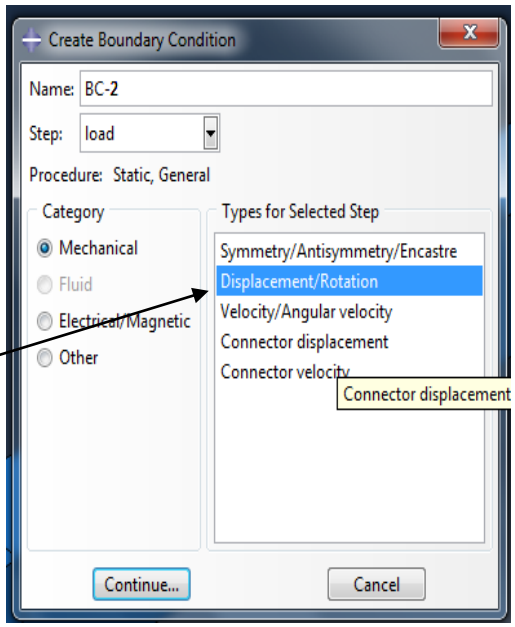




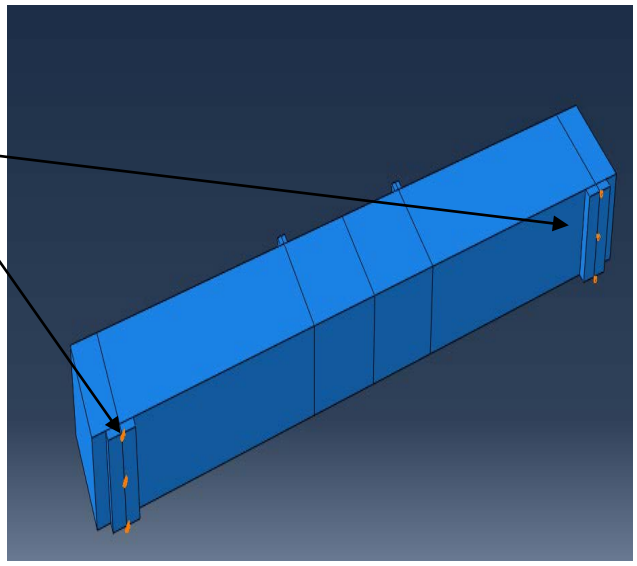
6) Araç kutusu alanından Create Boundary Condition butonu basılır. Ekrana Create Boundary diyalog kutusu gelir.

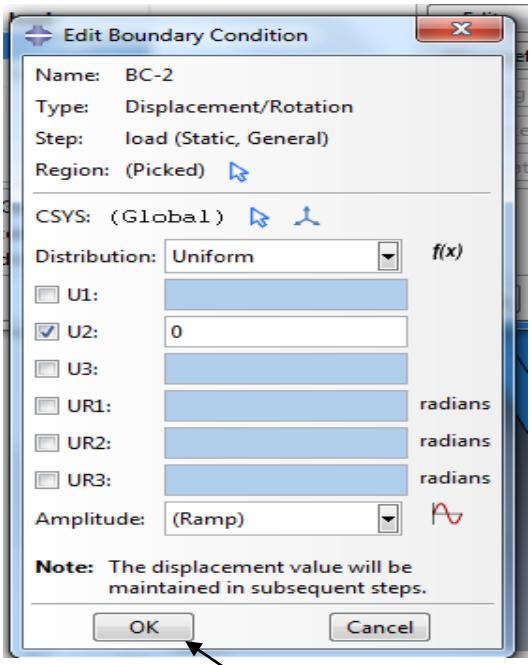


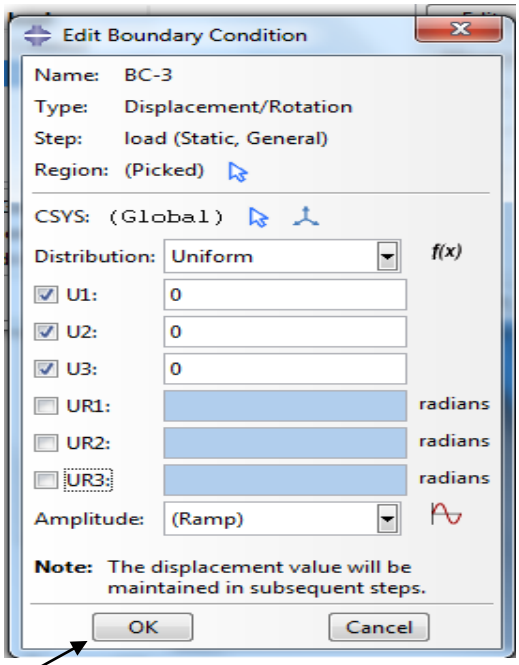
7) Create Boundary Condition diyalog kutusunda sınır şartları belirtilir. İsim verilir BC-2, BC-3 , Step Kısmında bir önceki bölümde seçilen Load olmalı. Category kısmında Mechanical Seçilir ve Types for selected step kısmından Displacement/ Rotation, Continue.



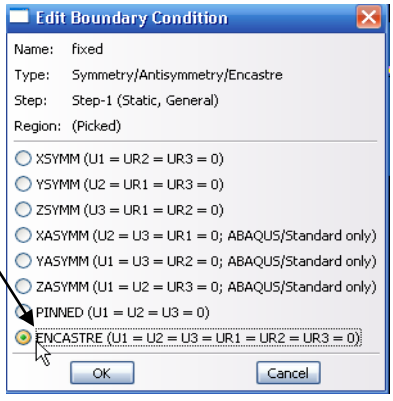
8) Create Boundary Condition kısmında Kirişin sol taraftaki mesnet sabit sağ taraftaki mesnet ise hareketli kabul edilir.





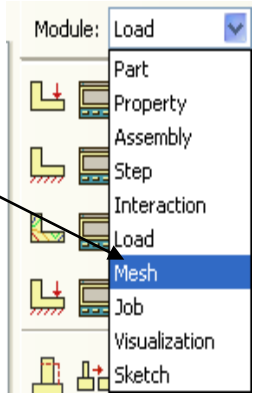


9) Edit Boundary Condition diyalog kutusunda **Encastre** seçilir. Ok.Üsttekilerden sol taraftaki hareketli, sağ taraftaki sabit mesnetlerdirler.

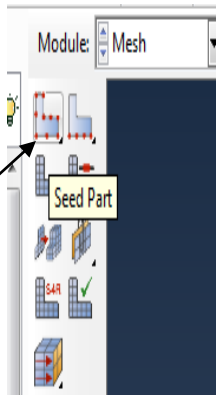


6.11. Ağ oluşturma

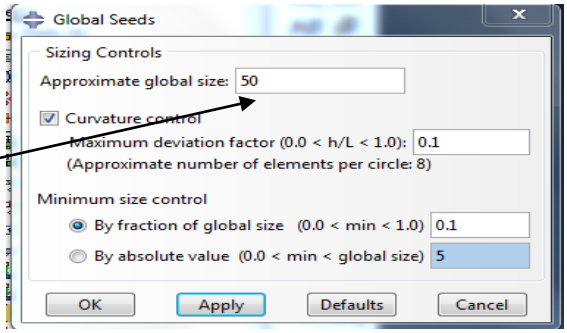
1) İçerik Çubuğundaki Module alanından çalışma modülü Mesh olarak seçilir.

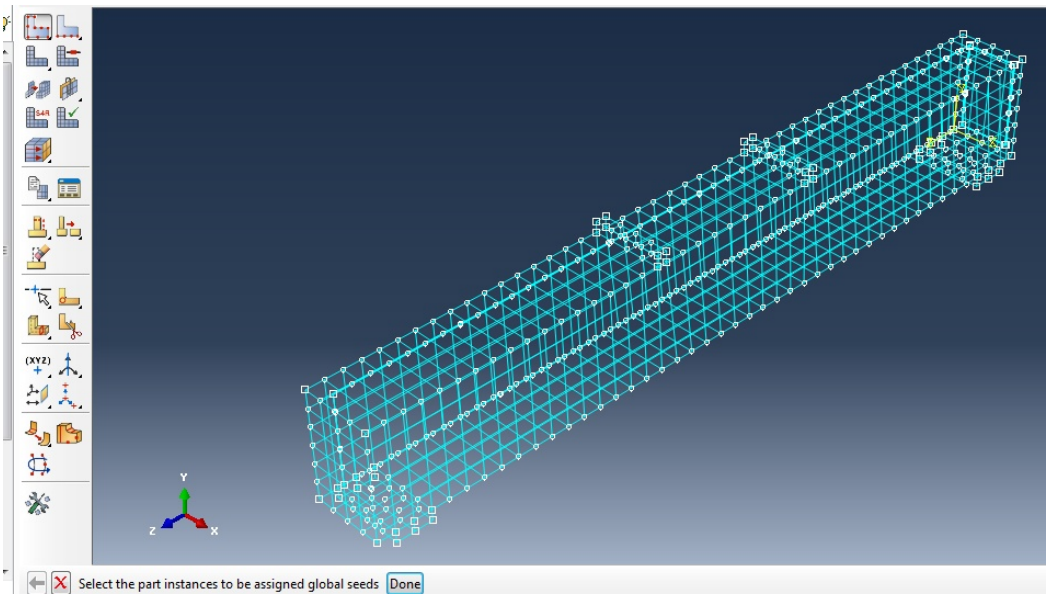


2) Araç kutusu alanından Seed Part Instance butonu basılır. Ekrana Global Seeds diyalog kutusu gelir.

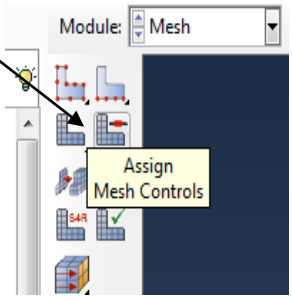


3) Global Seeds diyalog kutusunda, Approximate global size kısmına 50 değeri girilir, diğer kısımlar değiştirilmez. Ok.

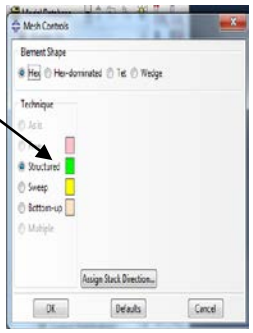




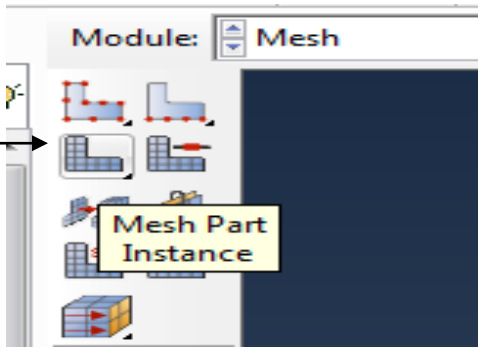
4) Araç kutusu alanından Assign Mesh Controls butonu basılır. Ekrana Mesh Controls diyalog kutusu gelir.

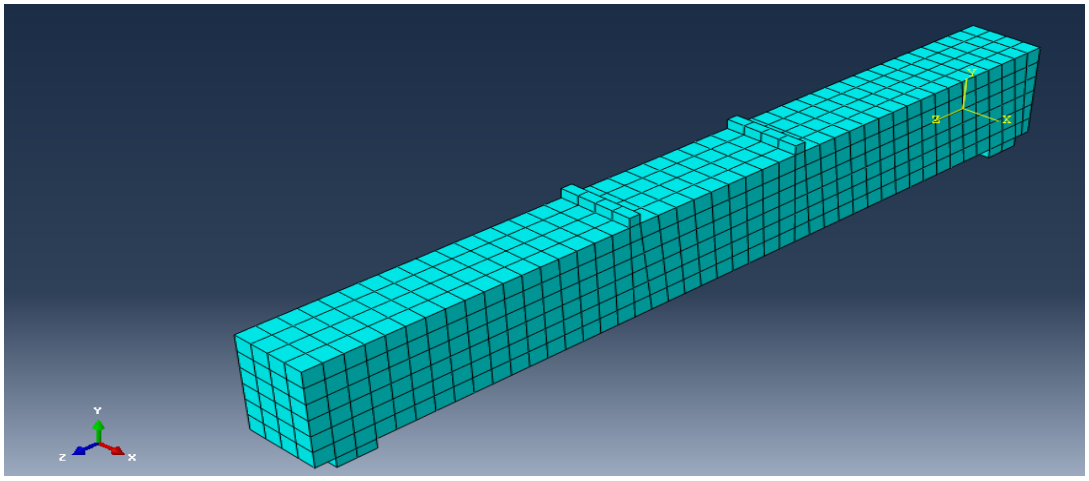


5) Mesh Controls diyalog kutusunda Program en uygun mesh tiplerini otomatik seçmektedir. Ok.



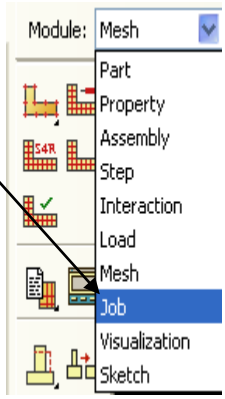
6) Araç kutusu alanından Mesh Part Instance butonu basılır. Prompt Alanında Yes tuşuna basılır.



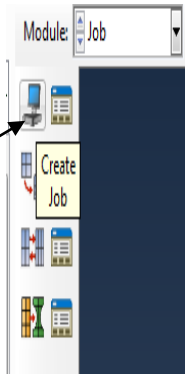


6.12. Analiz tipinin belirlenmesi

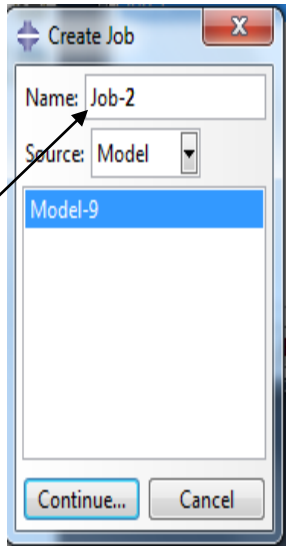
1) İçerik Çubuğundaki Module alanından çalışma modülü Job olarak seçilir.



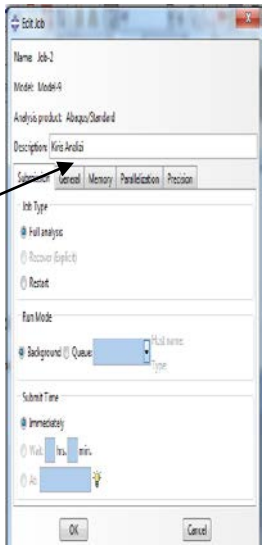
2) Araç kutusu alanından Create Job butonu basılır. Ekrana Create Job diyalog kutusu gelir.



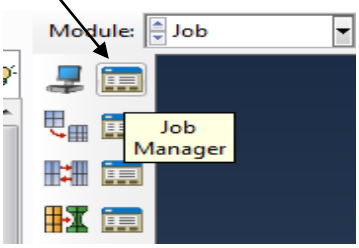
3) Create Job diyalog kutusunda Name kısmına job-2 diye yazılır. Continue.

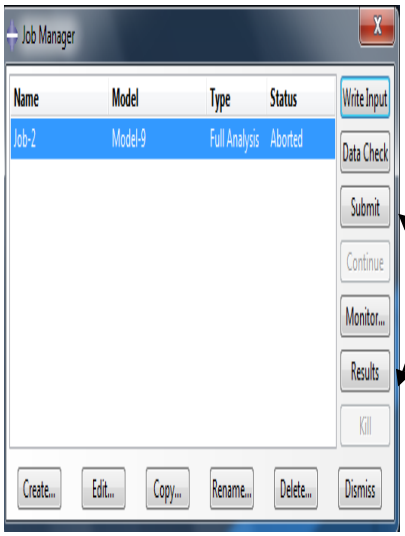


4) Açılan Edit Job diyalog kutusunda Description kısmına Kiriş Analizi yazılır. Diğer kısımlar değiştirilmez. Ok.



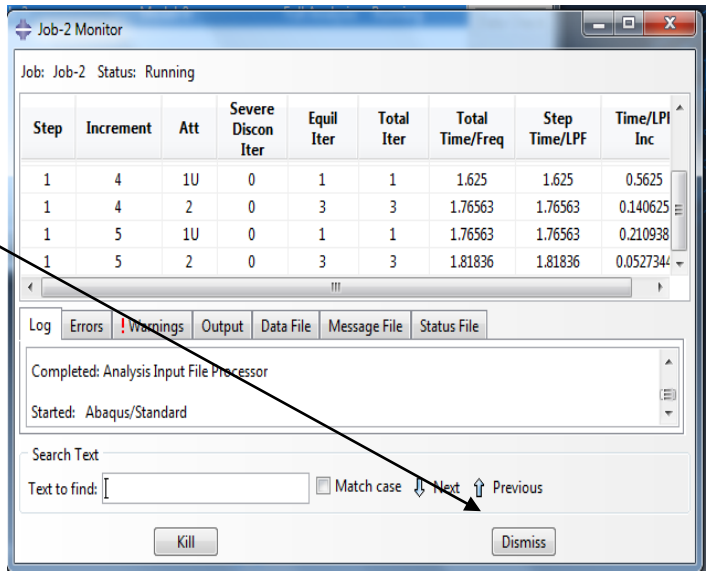
5) Araç kutusu alanından Job Manager butonu basılır. Ekrana Job Manager diyalog kutusu gelir.

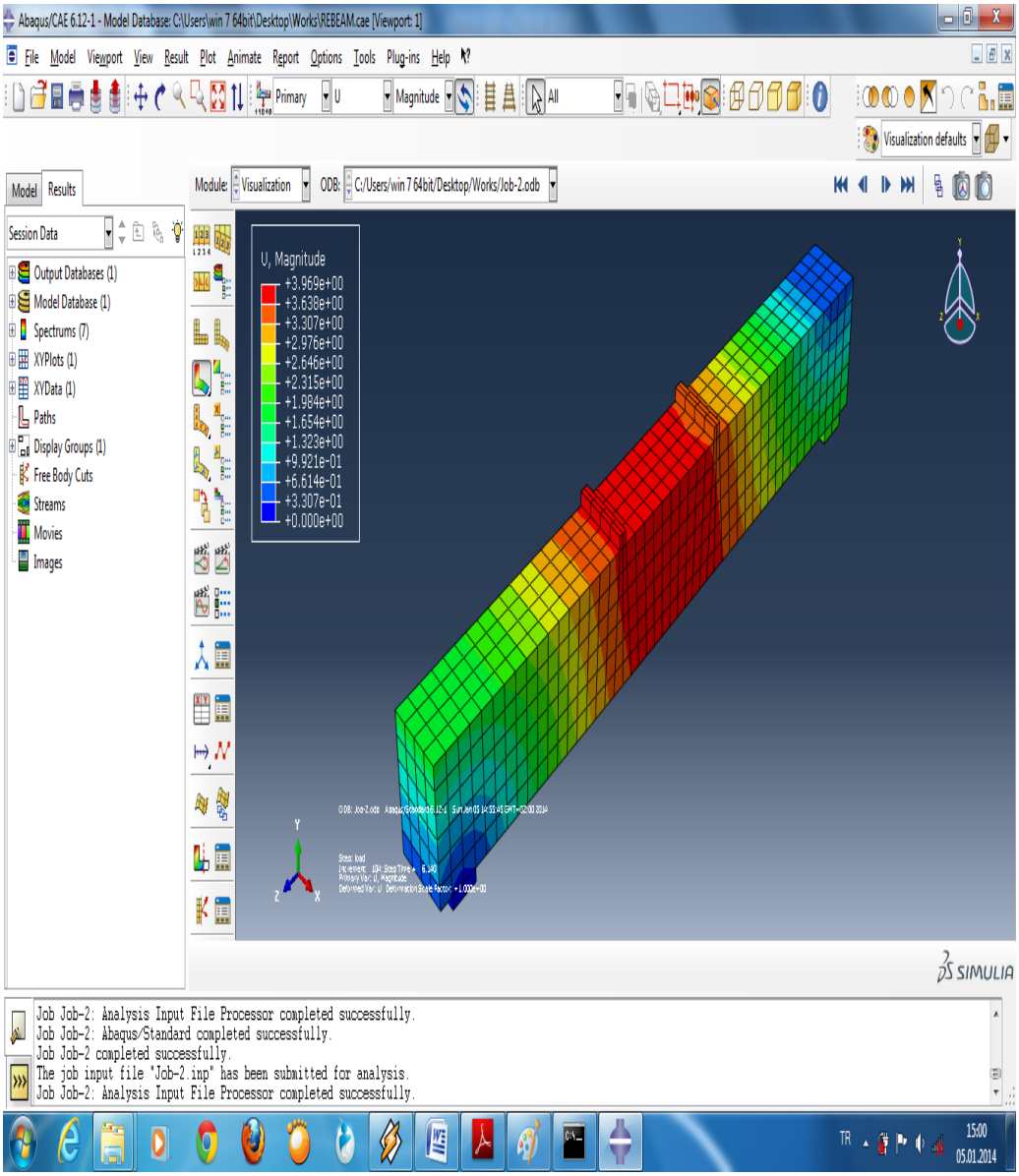




6) Job Manager diyalog kutusunda yapılacak analizin seçili olduğu kontrol edilip Submit butonuna sonrada Results butonuna basılır.

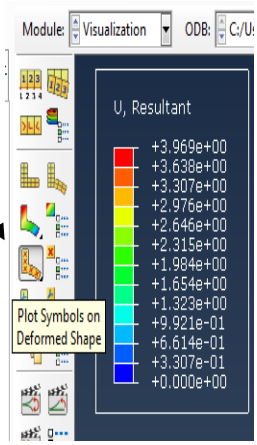
7) Submit ten sonra Monitor bütününü basılıp genel yük değerleri kontrol edilir. Dismiss tuşuna basarak çıkılır.



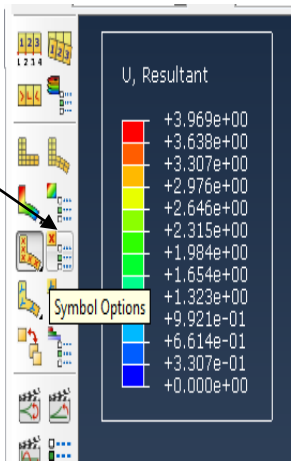


6.13. Analitik Sonuçlar

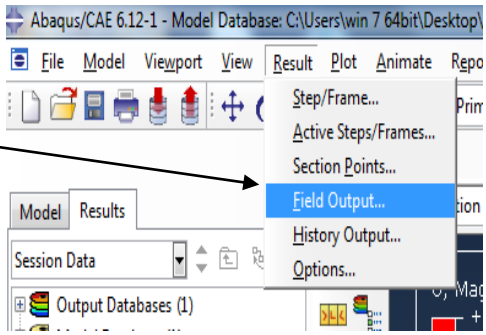
1)Araç kutusu alanından Plot Contourson Deformed Shape butonu basılır. Ekrana Von Misses gerilmeleri gelir.



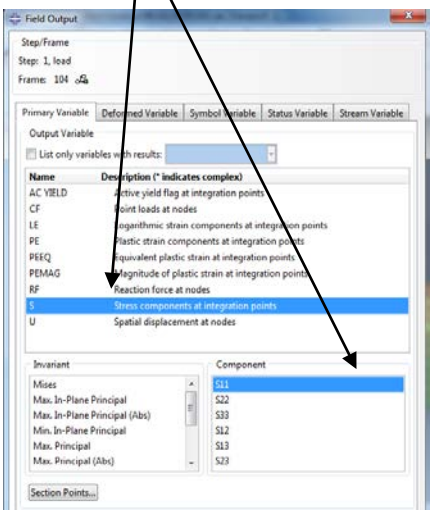
2) Araç kutusu alanından Contours Options butonuna basılarak renkler ve limitler değiştirilebilir.



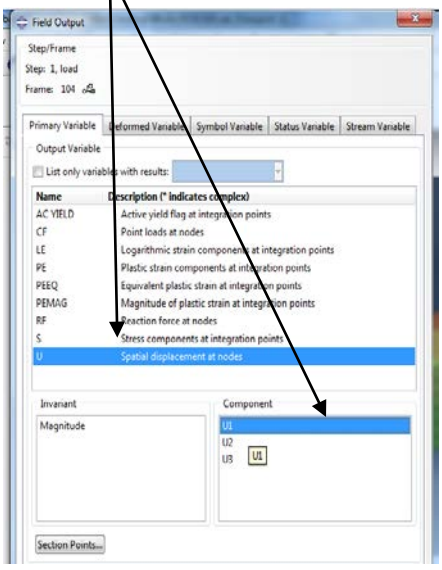
3) Menü çubuğundan Results bölümüne girilip Field Ouput seçilerek istenen değerlere ait (aşağıdakiler gibi) grafikler çizdirilebilir.



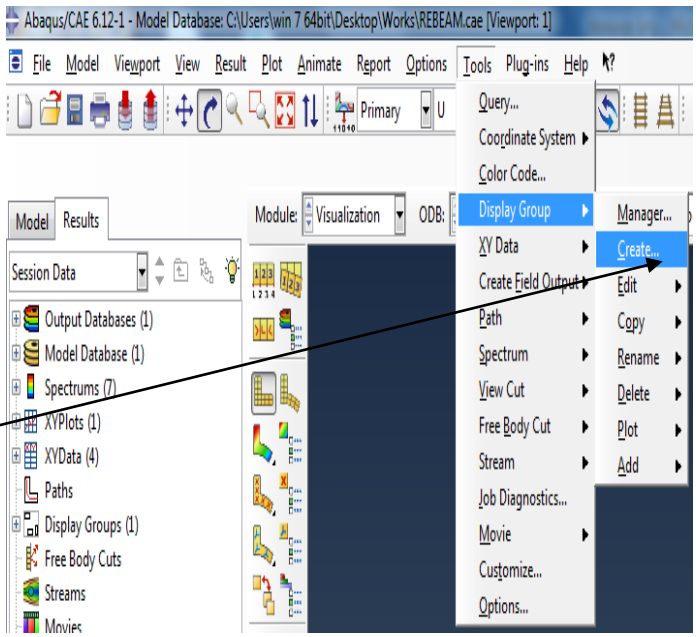
3) a: doğrultusundaki normal gerilmeler

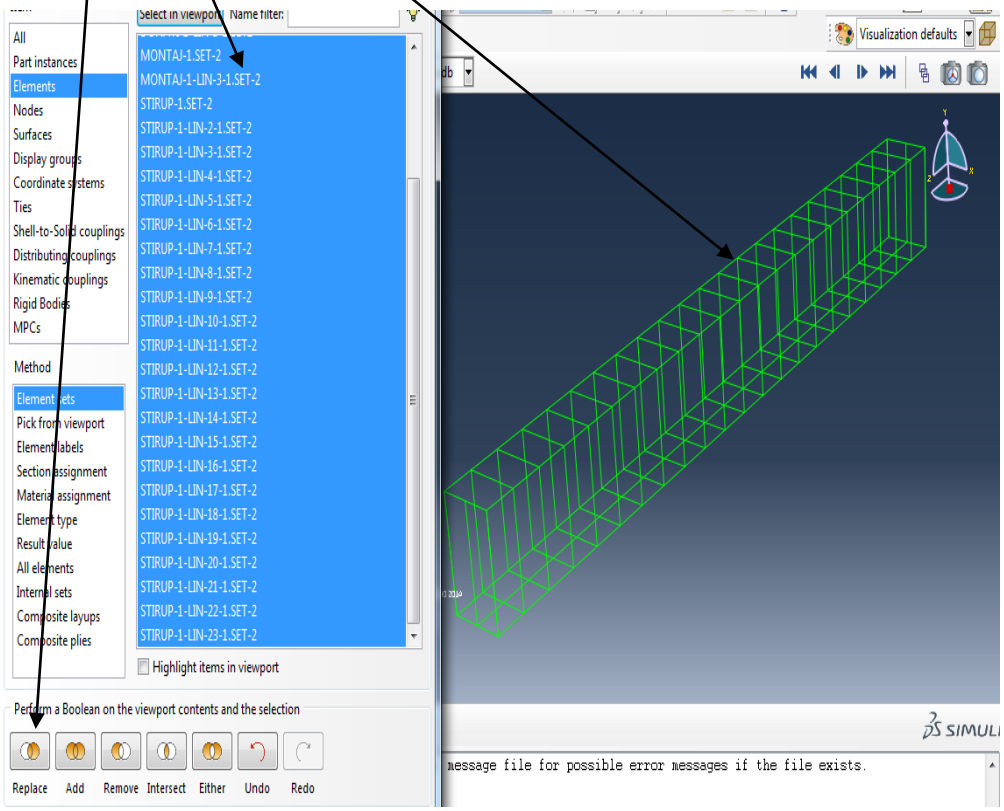


3) b: doğrultusundaki yer değiştirmeler

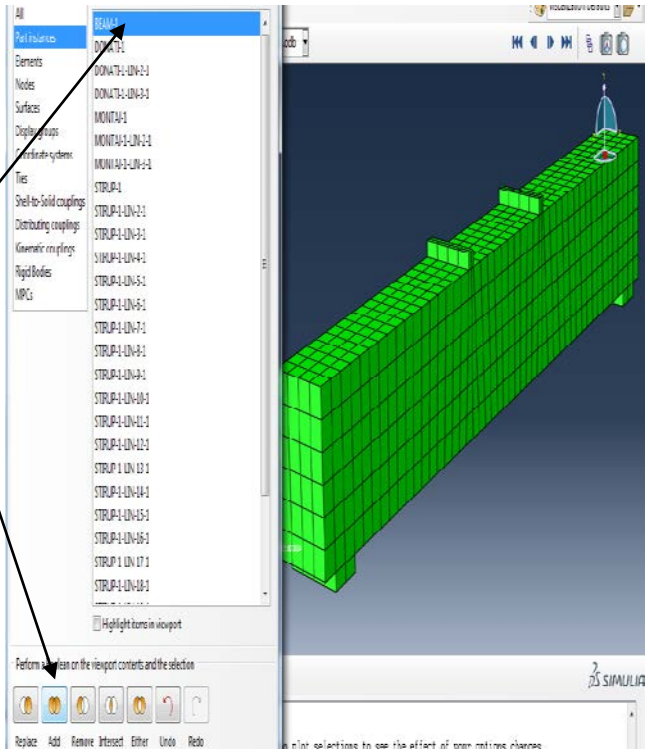


4) Sonuç kısmında eğer kiriş içindeki donatılar kontrol edilmek isteniyorsa o zaman Tools > Display Group > Create > Part instances diyerek tüm donatıları (Etriye, Boyuna donatı ve Montaj donatı) seçip Replace tuşuna basılır.

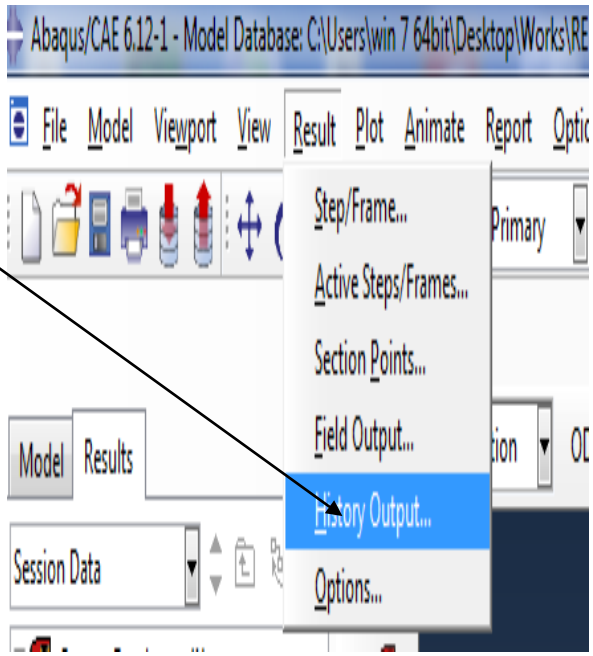




5) Tekrar eski haline getirilmek isteniyorsa liste içindekilerden sadece, BEAM-1 seçili tutularak Add tuşuna basılır.

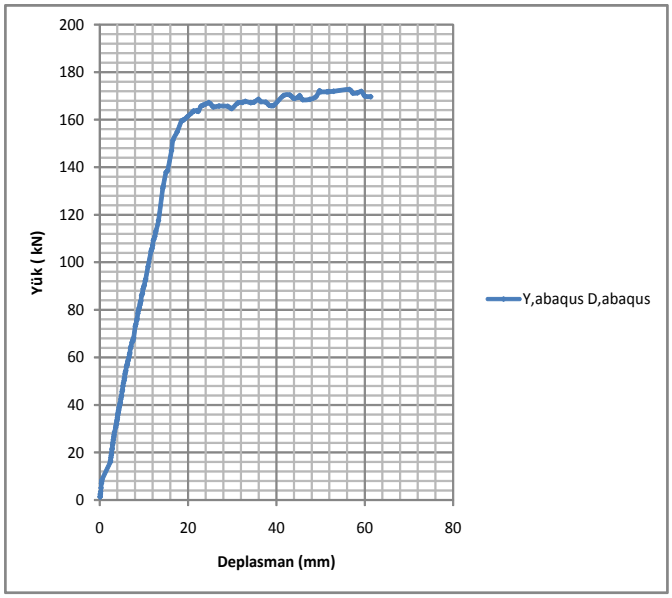


6) Menü çubuğundan Results bölümüne girilip History Output tan, Yük – deplasman değerlerine ulaşılır.



6.13.1. 1 Nolu (RF) analitik

1) Yük - Deplasman grafiğini bulabilmek için Creat XY Data kısmından Operate on XY data kısmını basılı tutarak Continue > Combine XY > Plot expression tuşuna basılır.



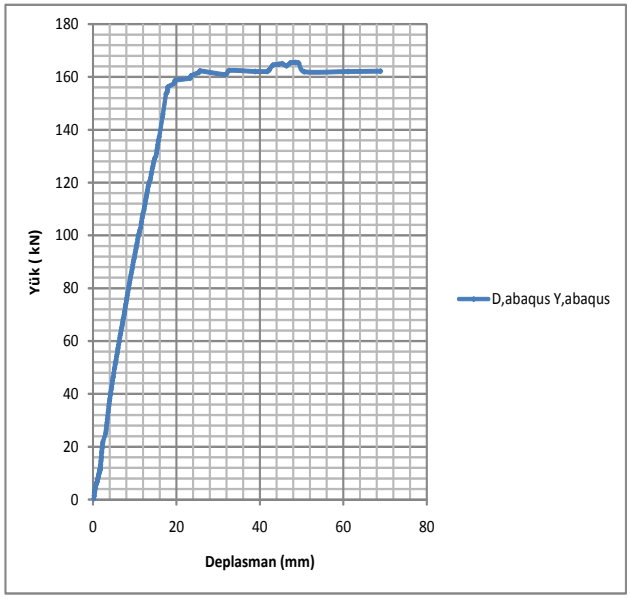
Şekil 6.1. Excel ile çizilen Yük – Deplasman eğrisi

Çizelge 6.1. Betonarme RF Kirişin analitik sonuçları

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Maksimum deplasman (mm)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Süneklik katsayısı
Betonarme RF Kirişi (RF)	164.00	62.00	8364	3.27

6.13.2. 3 Nolu (P1) analitik

1) Yük - Deplasman grafiğini bulabilmek için Creat XY Data kısmından Operate on XY data kısmını basılı tutarak Continue > Combine XY > Plot expression tuşuna basılır.



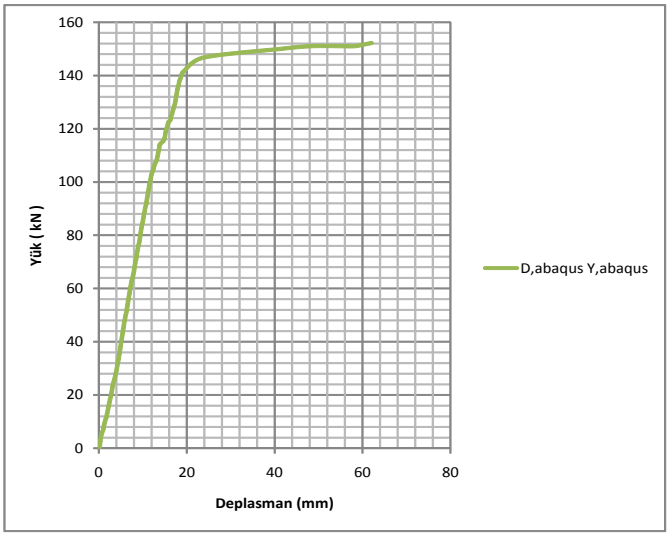
Şekil 6.2. Excel ile çizilen Yük – Deplasman eğrisi

Çizelge 6.2. Betonarme P1 Kirişin analitik sonuçları

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Maksimum deplasman (mm)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Süneklik katsayısı
Betonarme RF Kirişi (P1)	159.00	69	9540	4.32

6.13.3. 6 Nolu (P2) analitik

1) Yük - Deplasman grafiğini bulabilmek için Creat XY Data kısmından Operate on XY data kısmını basılı tutarak Continue > Combine XY > Plot expression tuşuna basılır.



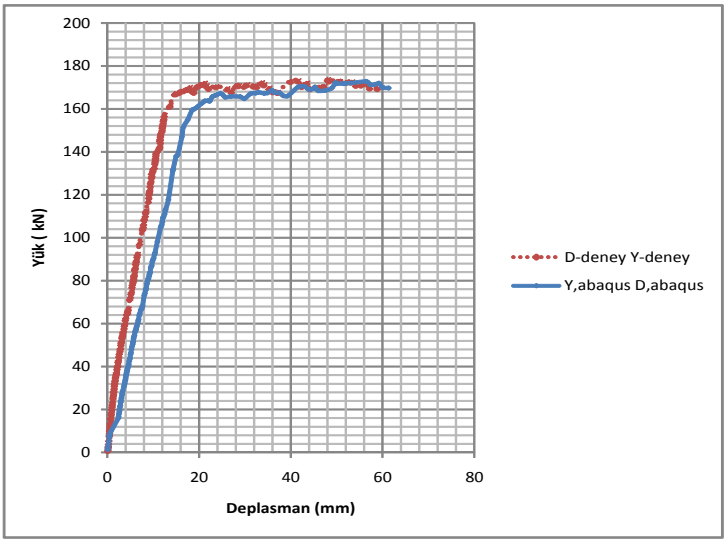
Şekil 6.3. Excel ile çizilen Yük – Deplasman eğrisi

Çizelge 6.3. Betonarme P2 Kirişin analitik sonuçları

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Maksimum deplasman (mm)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Süneklik katsayısı
Betonarme RF Kirişi (P2)	146.00	62.00	7738	3.64

6.13.4. Lif takviyesiz numunelerin karşılaştırılması (1 ve 2 Nolu Deneysel ve Analitik)

Deneysel çalışmalardaki iki referans betonarme kirşlerinin ortalama akma yükü, aynı özellikteki analitik kirişin akma yüküne göre yüksek olduğu görülmektedir.



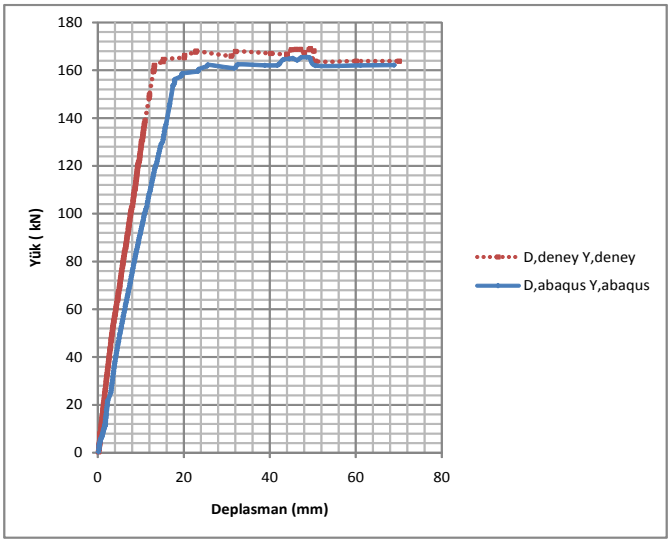
Şekil 6.4. Betonarme-RF kirişlerin ortalama olarak deneysel ve analitik Yük – Deplasman eğrisi

Çizelge 6.4. Lif katkısız analitik ve deneysel numunelerin enerji yutma kapasiteleri ile süneklik katsayılarının deneysel numunelerle karşılaştırılması

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Akma Yükü farkı (%)	Maksimum deplasman (mm)	Maksimum deplasman farkı (%)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Enerji yutma kapasitesi farkı (%)	Süneklik katsayısı	Süneklik katsayısı farkı (%)
Betonarme RF Kirişi (Deney)	168.00	1	60.00	1	8988	1	4.62	1
Betonarme RF Kirişi (Analitik)	164.00	-2.43	62.00	+3.33	8364	-7.50	3.27	-41

6.13.5. Polipropilen lif takviyeli P1 tipi numunelerin karşılaştırılması (3, 4 ve 5 Nolu Deneysel ve Analitik)

Deneysel çalışmalardaki üç Betonarme P1 kirşlerinin ortalama akma yükü, aynı özellikteki analitik kirişin akma yüküne göre yüksek olduğu görülmektedir.



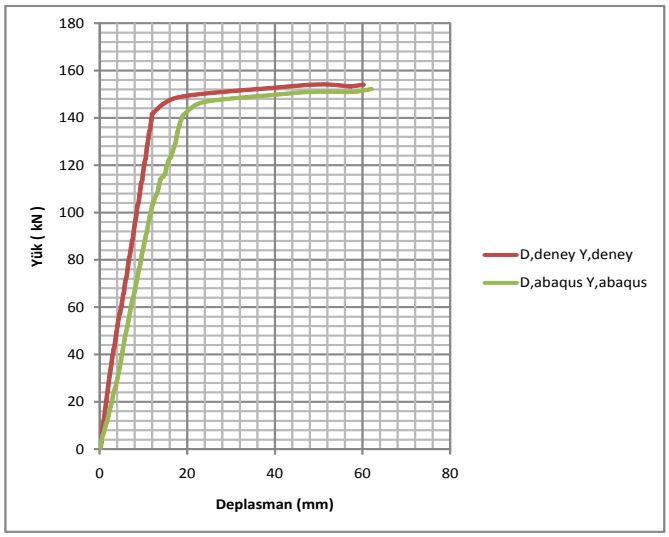
Şekil 6.5. Betonarme P1 kirişlerin ortalama olarak deneysel ve analitik Yük – Deplasman eğrisi

Çizelge 6.5. Polipropilen lif takviyeli (P1) analitik ve deneysel numunelerin enerji yutma kapasiteleri ile süneklik katsayılarının deneysel numunelerle karşılaştırılması

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Akma Yükü farkı (%)	Maksimum deplasman (mm)	Maksimum deplasman farkı (%)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Enerji yutma kapasitesi farkı (%)	Süneklik katsayısı	Süneklik katsayısı farkı (%)
Betonarme P1-Kirişi (Deney)	164.00	1	70.00	1	10414	1	5.38	1
Betonarme P1-Kirişi (Analitik)	159.00	-3.15	69.00	-1.50	9540	-9.20	4.32	-24.5

6.13.6. Polipropilen lif takviyeli P2 tipi numunelerin karşılaştırılması (6, 7 ve 8 Nolu Deneysel ve Analitik)

Deneysel çalışmalardaki üç Betonarme P2 kirşlerinin ortalama akma yükü, aynı özellikteki analitik kirişin akma yüküne göre yüksek olduğu görülmektedir.



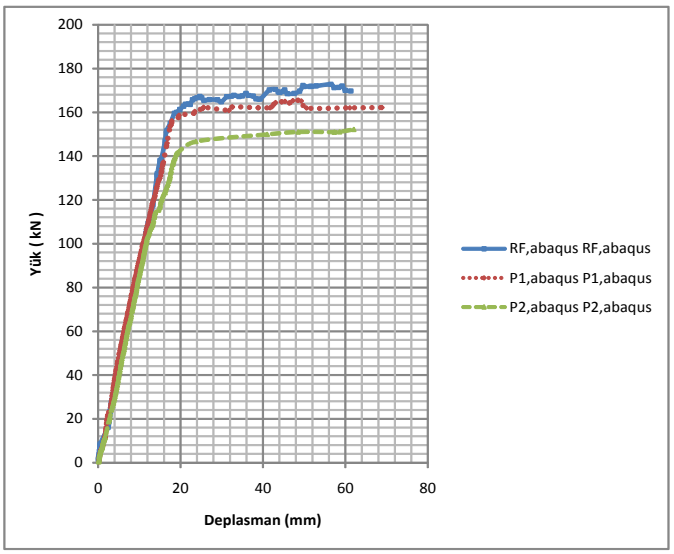
Şekil 6.6. Betonarme P2 kirişlerin ortalama olarak deneysel ve analitik Yük – Deplasman eğrisi

Çizelge 6.6. Polipropilen lif takviyeli (P2) analitik ve deneysel numunelerin enerji yutma kapasiteleri ile süneklik katsayılarının deneysel numunelerle karşılaştırılması

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Akma Yükü farkı (%)	Maksimum deplasman (mm)	Maksimum deplasman farkı (%)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Enerji yutma kapasitesi farkı (%)	Süneklik katsayısı	Süneklik katsayısı farkı (%)
Betonarme P2-Kirişi (Deney)	148.00	1	60.00	1	7992	1	5.01	1
Betonarme P2-Kirişi (Analitik)	146.00	-1.36	62.00	+3.33	7738	-3.28	3.64	-35.00

6.13.7. Lif takviyesiz numunelerin polipropilen lif takviyeli P1, P2 tipi numuneleri ile grafiksel olarak karşılaştırılması (1 – 8 Nolu Analitik)

Aşağıdaki grafiklerde görüldüğü gibi betonarme RF kirişi, betonarme P1 kirişine göre ve P1 kirişi ise, P2 kirişine göre akma dayanımı daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil.7. Betonarme (RF, P1, P2) Kirişin Yük - Deplasman eğrisi

Çizelge 6.7. Polipropilen lif takviyeli analitik numunelerin enerji yutma kapasiteleri ile süneklik katsayılarının lif takviyesiz numunelerle karşılaştırılması

Numune isimleri	Akma Yükü(kN)	Akma Yükü farkı (%)	Maksimum deplasman (mm)	Maksimum deplasman farkı (%)	Enerji yutma kapasitesi (kNmm)	Enerji yutma kapasitesi farkı (%)	Süneklik katsayısı	Süneklik katsayısı farkı (%)
Betonarme RF Kirişi	162.00	1	62.00	1	8100	1	2.58	1
Betonarme P1 Kirişi	158	-2.53	70	+12.90	9580	+18	3.50	+35
Betonarme P2 Kirişi	148	-9.45	63	+1.62	8082	-0.22	3.55	+38

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

7.1. Sonuçlar

Beton, yapı uygulamalarında çok geniş uygulama alanına sahip bir malzemedir. Ancak, betonun gevrek bir malzeme olmasından dolayı bazı uygulamalarda farklı malzemeler ile desteklenmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Daha sünek bir yapı oluşturabilmek için amacıyla, betona katılan malzemelerden biride polipropilendir. Beton içerisinde polipropilen liflerin kullanılması, betondaki rötre ve büzülme çatlaklarını azaltması, segregasyonu azaltması, betonu darbelere karşı koruması, deprem gibi ani ve şiddetli darbe yüklerine karşı yapının enerji yutma kapasitesini artırması yönünden son derece önemlidir. Bu çalışmada, yapılan deneysel çalışmalarda lif katkısız iki adet betonarme referans kirişi ve polipropilen lif katkılı (P1, P2) üçer adet betonarme kiriş imal edilmiştir. İmal edilen betonarme kirişlerin boyutları 0.20x0.30 m^2, uzunluğu 2 m ve ölçeği ise ½ dir. Deneysel çalışmalarda betonarme kirişler L/3 noktasından iki adet yük ile yüklenmiş ve deplasmanlar ise, kiriş ortasından ölçülmüştür. Buna göre betonarme kirişlerin yük – deplasman eğrileri çizilmiştir. Sonra betonarme kirişlerin, enerji yutma kapasiteleri ve süneklikleri bulunmuş ve bulunan sonuçlar birbiriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmada, lif katkısız betonarme referans kirişlerinin enerji yutma kapasitesi, polipropilen lif katkılı P1 betonarme kirişlerin enerji yutma kapasitesine göre, daha yüksek ve sünekliği ise daha düşük çıkmışken, polipropilen lif katkılı P2 betonarme kirişlerin enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısına göre, daha düşük çıkmıştır. Betonarme referans kirişlerin enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı sırasıyla 9912 kNmm ve 4.71 değerindeyken, polipropilen lif katkılı (P1, P2) betonarme kirişlerin enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı, 10076 kNmm ve 5.83, 10329 kNmm ve 5.90 değerindedir. Betonarme referans kirişlerin, P1 polipropilen lif katkılı betonarme kirişlere göre, enerji yutma kapasitesi % 2 ve süneklik katsayısı ise, % 23 daha düşük olduğu görülmüşken, P2 polipropilen lif katkılı betonarme kirişlere göre, enerji yutma kapasitesi % 4 ve süneklik katsayısı ise, % 25 daha düşük olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre (P1, P2) polipropilen lif takviyeli betonarme kirişlerin daha sünek olduğu ve deprem performanslarının ise daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmanın analitik modellemesi ise üç şekilde yapılmıştır. Birinci olarak iki betonarme referans kiriş deneysel çalışmadaki küp numunelerden elde edilen Gerilme – Deformasyon sonuçları dikkate alınarak, bu iki numunenin ortalaması alındıktan sonra Abaqus programıyla aynı ölçekteki betonarme analitik kirişin modellemesi yapılmıştır. Daha sonra P1 polipropilen lif katkılı üç kirişin deneysel çalışmalardaki küp numunelerden elde edilen Gerilme – Deformasyon sonuçları dikkate alınmıştır. Bu üç numunenin ortalaması alındıktan sonra Abaqus programıyla aynı özellikteki betonarme kirişin analitik modellemesi yapılmıştır. Son olarak P2 polipropilen lif katkılı betonarme kiriş analitik modellemesi yapılmıştır. Daha sonra deneysel çalışmadaki sonuçlar ile analitik modellemedeki sonuçlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışmayla analitik modellemeden bulunan akma yükü, maksimum deplasman, enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayı farklarının yüzde olarak deneysel sonuçlarla karşılaştırılmasına göre, lif takviyesiz numunelerin değerleri sırayla -2.43, +3.33, -7.50, -41 iken, polipropilen lif takviyeli P1 numunelerin değerleri sırayla -3.15, -1.50, -9.20, -24.50 olup, polipropilen lif takviyeli P2 numunelerin değerleri ise sırayla -1.36, +3.33, -3.28, -35 olarak bulunmuştur. Bu karşılaştırmada süneklik katsayısı sonuçları esas alındığında, deneysel çalışma sonucuna en yakın olduğu için, en uygun analitik modellemenin P1 modellemesi olduğu görülmüştür. Ancak, genel olarak analitik modelleme ve deneysel çalışmadan bulunan sonuçların birbirleriyle uyumlu oldukları görülmüştür.

7.2. Öneriler

Ülkemiz, dünyanın önemli deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunması dolayısıyla, yıkıcı depremlere sık sık maruz kalınmaktadır. Son yıllarda yaşanan depremlerden sonra yapılan incelemeler, yapıların büyük kısmının inşa edildikleri dönemin mevcut yönetmeliklerine uygun olarak yapılmaması, malzeme yetersizlikleri, ve projeye uyulmaması gibi nedenlerle yıkılmış ya da hasar görmüş olduklarını göstermiştir. Hasar görmemiş olup halen kullanılmakta olan binaların büyük çoğunluğunun ise, günümüz şartnamelerini sağlamadığı ve şiddetli depremlerde göçme tehlikelerinin olduğu görülmektedir. Bu nedenle, deprem etkilerine karşı daha sünek olmayan mevcut çerçeve sistemlerin uygun şekillerde güçlendirilerek depreme karşı

güvenilir duruma getirilmeleri gerekmektedir. Polipropilen lif katkısı ise betonun basınç dayanımını azaltırken betonu sünek hale getiren bir malzeme olduğu için genel olarak betonarme sistemlerde kullanılması uygun olmaktadır. Polipropilen lif katkısı betonun dağılmasını ve parçalanmasını önler. Yapılar depremde az hasar görür ve çökme riski azalır. Yukarıda anlatılan deneysel çalışmada polipropilen lif katkısı betonarme kirişlerde kullanılmaktadır. Yeni çalışmalarda çerçeve sistemlerinde polipropilen lif oranları sayısı artırılarak daha uygun sonuçlar bulunabilir. Yeni yapılan yapılarda polipropilen lif katkısı betona katılarak süneklik artırılabilir. Binaya yeni perde eklendiği zaman polipropilen lif katılabilir. Mevcut sünekliği zayıf yapılarda betonarme elemanların güçlendirilmesinde mantolama kısımlarına veya yeni eklenecek parçalara polipropilen lif katılabilir. Yukarıda anlatılan deneysel çalışmanın sonuçlarına göre, betonarme P2 kirişlerin enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısı, referans betonarme kirişlerin enerji yutma kapasitesi ve süneklik katsayısından daha yüksek olduğu görülmüş ve daha sonraki yeni çalışmalarda çerçeve sistemlerinde kullanılan polipropilen lif oranları 0.84 kg/m^3 ve yukarısı olacağında, daha uygun karışımlar olacağı görülmüştür.

8. KAYNAKLAR

Açıkgenç, M., 2012, Farklı karışım oranlarına sahip polipropilen lifli betonların dayanım ve durabilite özellikleri . . Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aktürk, M., 2006, Polipropilen lif takviyeli kendiliğinden yerleşen betonların performans özelliklerinin araştırılması. Yüksek lisans Tezi, S.Ü,

Akkaş, A., 2010, Polipropilen lif katkılı yarı hafif betonların basınç Dayanımı özellikleri. Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü,

Altun, F., 2006, Betonarme Kiriş Elemanlarda Çelik Lif Katkısının Taşıma Gücüne Etkisinin Deneysel incelenmesi. Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendislik Bölümü, Kayseri

ASTM C 59., 2003, *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete*, Annual Book of ASTM Standards,.

ASTM A1035., 2011, by Aruna Munikrishna, Amr Hosny, Sami Rizkalla, and Paul Zia, Behavior of Concrete Beams Reinforced.

ASTM C 231., 2003, *Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method,* Annual Book of ASTM Standards.

Arazsu, U., 2012, Polipropilen Lifli Betonların Taze ve Sertleşmiş Beton Özellikleri. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi.

Berkeley., 2011, Book Using Abaqus to Model Delamination in Fiber-beams and 2-D, pdf. BY - Berkeley. reinforced concrete beams, slabs and beam-column joint . reinforced concrete beam tutorial for abaqus.

Brisbane, Australi., 2011, Faculty of Built Environment and Engineering, Queensland University of Technology, , app. 260-264. BOOK, a materıal model for flexural crack sımulatıon ın reınforced concrete elements usıng Abaqus. We use this book for designing of concrete beams and columns and give us information about usace of Abaqus program.

Demirel, B., 2007, Karbon Fiber Takviyeli Betonda Farklı Fiber Boyunun Kapilariteye Etkisi, F.Ü. DAUM Dergisi.

Hwang, S., 2004, Strength properties of nylon- and polypropylene-fiber-reinforced concretes, Cement and Concrete Research 35 (2005) 1546–1550, Department of System Engineering, Chung Cheng Institute of Technology, National Defense University, Taiwan.

Kaya, A., 2007, Dokuz eylül üniversitesi makine mühendislik bölümü, örneklerle abaqus'a giriş

Çetinkaya, N., 2003, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Betonarme Kirişlerin Lifli Polimer (Frp) Malzemeler Kullanılarak Onarım Ve Güçlendirilmesi .

Koçak, A., 2005, Betonarme Yapı Elemanlarında Kullanılan Onarım ve Güçlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması.

Özel, C., 2011, Betonda Fiber Katkı Olarak Polietilen Tereftalatin Kullanılabilirliğinin Araştırılması . Vol. 3, No 2, .

Swamy, R., 1974, A Theory for the Flexural Strength of Fiber Reinforced Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 4, No.2, pp. 313-325.

Suasis, W., 1983, Properties of Concrete Subjected to Impact, Journal of Structural Engineering, Vol. 109, No. 7, pp. 1727-1741.

TDG AI8b kullanma kılavuzu., 2007, Teknik destek grubu.

TS EN 12350-2., 2002, Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 12390-3., 2003, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 12390-5., 2002, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 5: Deney Numunelerinde Eğilme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS 4045 ., 1984, Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TS EN 14157., 2005, Doğal Taş – Aşınma Direncinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

Taner, S., 2006, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü , Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Elazığ, Çelik, Cam ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma-Çözülme Etkilerinin Araştırılması.

ÖZGEÇMİŞ

Abdulhamid Aryan 10/11/1988 tarihinde Afganistan'ın başkenti Kabil'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kabil'deki Allaaddin orta okulunda tamamladı. Lise öğrenimini Afganistan'ın başka bir şehri olan Herat' şehrindeki Sultan Lisesinde tamamladıktan sonra 2008 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girdi. Buradan 2012 yılında mezun oldu.

SON