

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DARBE YÜKÜ ETKİSİ ALTINDA
ÇELİK KİRİŞ ELEMANLARIN DENEYSEL
VE SONLU ELEMAN METODU İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mohammad Jamil MASHAL

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi ZEYNEP YAMAN

Mart 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DARBE YÜKÜ ETKİSİ ALTINDA
ÇELİK KİRİŞ ELEMANLARIN DENEYSEL
VE SONLU ELEMAN METODU İLE İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mohammad Jamil MASHAL

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 12/03/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

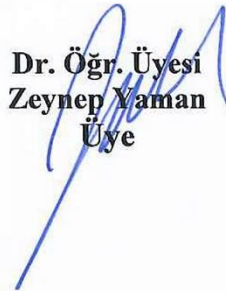
**Dr. Öğr. Üyesi
Emine Aydın
Jüri Başkanı**



**Dr. Öğr. Üyesi
Necati Mert
Üye**



**Dr. Öğr. Üyesi
Zeynep Yaman
Üye**



BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Mohammad Jamil MASHAL

12.03.2019

TEŞEKKÜR

Öncelikle tezimin her aşamasında bana bilgi ve tecrübesiyle desteğini esirgemeyen, çalışmalarımın her aşamasında yanımda bulunan, kişilik, azim ve çalışkanlığı ile kendime örnek aldığım çok değerli tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Zeynep YAMAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarımda bana bilgi ve tecrübesiyle desteğini esirgemeyen, kendisinden çok şey öğrendiğim ve aynı ortamda çalışma fırsatı yakalayabildiğim Dr.Öğr. Üyesi Elif AĞCAKOCA' ya teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarımda bana bilgi ve tecrübesiyle desteğini esirgemeyen, kendisinden çok şey öğrendiğim çok değerli dostum Dr. Mohammad Manzoor NASERY'ya teşekkürlerimi sunarım. Hayatımın her aşamasında olduğu gibi yüksek lisans eğitim sürecinde de yanımda olan ve maddi, manevi desteğini göstermiş değerli aileme sevgilerimi sunarım.

Bu çalışma Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerini Destekleme Komisyonu tarafından desteklenmiştir Bu çalışmanın desteklenmesine olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerini Destekleme Komisyonu Kurucu ve Komisyon üyelerine, Sakarya Üniversitesi ve Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Akademisyenleri ve idari personeline teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLOLAR LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
2.1. Çelik Yapı Elemanlarının Derbi Yükleme Altında İncelenmesi	
Hakkında Yapılmış Çalışmalar.....	4
BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMA	10
3.1. Deney Numunesinin Malzeme Özelliği.....	10
3.2. Deney Düzeneği ve Deney Numunesi	12
3.3. Deneyde Kullanılan Veri Alma Cihazları.....	15
3.3.1. İvme ölçer ve veri alma kablosu.....	15
3.3.2. Yük hücresi (Load Cell)	18
3.3.3. Ölçüm ve kontrol sistemi.....	18
3.4. Darbe Deneyi	20

3.5. Veri Alma ve Verilerin İşlenmesi.....	23
BÖLÜM 4.	
SONLU ELEMEN MODELLEMESİ	27
4.1. Sonlu Eleman Modellemesi (Abaqus)	28
4.2. Malzeme Modelleri Hakkında Genel Bilgiler	28
4.3. Lineer ve Lineer Olmayan Elastik Malzeme Modeli	29
4.4. Çelik Malzeme Modeli	30
4.5. Sonlu Elamanlar Modeli Eleman Tipleri	31
4.6. Geometrik Modelleme ve Sınır Şartları.....	32
4.7. Abaqus Birim kabulü	33
4.8. Çelik Malzeme Modeli(Profil)	34
4.9. Çelik Malzeme Modeli (Çekiç)	35
4.10. Darbe Etkisinin Modellenmesi	35
4.11. Çelik Kutu Kirişin Modellenmesi.....	37
4.12. Sonlu Eleman Sıklığı	41
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	47
5.1. Sonuçlar	47
5.1.1. Deney ve sonlu eleman modelindeki ivme değerinin karşılaştırılması.....	47
5.1.2. Deney ve sonlu eleman modelindeki hız değerinin karşılaştırılması.....	48
5.1.3. Deney ve sonlu eleman modelindeki yer değiştirmenin karşılaştırılması.....	49
KAYNAKLAR	51
ÖZGEÇMİŞ	54

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

PE	:	Potansiyel enerji
KE	:	Kinetik enerji
M	:	Kütle
g	:	Yerçekimi ivmesi
h	:	Çekiç düşme yüksekliği
v	:	Hız

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Kupon numunesi boyutları-deney öncesi ve deney sonrası numune görüntüleri	11
Şekil 3.2. Eksenel çekme deney cihazı	11
Şekil 3.3. Eksenel Çekme deney görüntüleri ve Gerilme-Birim Şekil Değiştirme Grafiği.....	12
Şekil 3.4. Deney numunesi	12
Şekil 3.5. Deney Düzeneği.....	13
Şekil 3.6. Basit Kiriş Mesnet Modelleri.....	14
Şekil 3.7. Kullanılan ivme ölçer ve kablolar[24]	16
Şekil 3.8. Kablo Uçlarındaki Bağlayıcı Fişler ve Ürün Özellikleri [24].....	16
Şekil 3.9. Veri Alma Kabloları Ürün Özellikleri [24]	17
Şekil 3.10. Yassı Tip Yük Hücresi.....	18
Şekil 3.11. CompactDAQ Kasa [25].....	19
Şekil 3.12. Veri ve Sayısallaştırma Modülleri [25].....	19
Şekil 3.13. Çekiç Yüğü ve Çekiç Sistemi	21
Şekil 3.14. İvme Ölçer Numune Bağlantısı	22
Şekil 3.15. Deney Düzeneği.....	22
Şekil 3.16. Numune Deney Öncesi ve Sonrası Görüntüler.....	23
Şekil 3.17. LabVIEW- Veri Alma Algoritması	24
Şekil 3.18. LabVIEW- Veri Alma Algoritması Arayüzü.....	24
Şekil 3.19. LabVIEW- Veri İşleme Algoritması.....	25
Şekil 3.20. LabVIEW- Veri İşleme programı ara yüz	25
Şekil 3.21. Deney numunesinin ivme-zaman grafiği	26
Şekil 3.22. Deney numunesinin hız-zaman grafiği	26
Şekil 3.23. Deney numunesinin yer değiştirme-zaman grafiği	26
Şekil 4.1. Literatürde Abaqus programı ile modellenmiş eleman görselleri.....	27

Şekil 4.2. Lineer ve lineer olmayan malzeme davranışı	29
Şekil 4.3. Çeliğin gerilme-şekil değiştirme eğrisi	30
Şekil 4.4. İdeal elasto-plastik malzeme diyagramı.....	31
Şekil 4.5. Lineer ve kuadratik eleman integrasyon eleman tipleri	31
Şekil 4.6. Azaltılmış integrasyonlu lineer ve kuadratik eleman tipleri	32
Şekil 4.7. C3D8R eleman tipi	32
Şekil 4.8. Sabit mesnet gösterimi	33
Şekil 4.9. Deney düzeneğinin şeması.....	33
Şekil 4.10. Deney numunesi ve çekiç yükü sonlu eleman modeli	34
Şekil 4.11. Assembly Module’de Profil İle Çekicinin Başlangıç Konumları	36
Şekil 4.12. Profil cismi (Steel Profile)	38
Şekil 4.13. Çarpıcı cismi (impactor)	39
Şekil 4.14. Profil ve çekicinin ilk konumu.....	39
Şekil 4.15. Numunenin Meshlere Ayrılması.....	40
Şekil 4.16. Çelik kiriş yük üzerinde değeri	40
Şekil 4.17. Çelik kiriş mesnet bölgelerinde sınır değerleri	41
Şekil 4.18. Sonlu Eleman Ağ Sıklığı	42
Şekil 4.19. Farklı boyutlardaki sonlu eleman ağ sıklığının ve deney ivme-zaman grafığı	43
Şekil 4.20. Mesh aralığı 10 sonlu eleman ağ sıklığının ve deney ivme-zaman grafığı	43
Şekil 4.21. Farklı boyutlardaki sonlu eleman ağ sıklığının ve deney hız-zaman grafığı	44
Şekil 4.22. Mesh aralığı 10 sonlu eleman ağ sıklığının ve deney hız-zaman grafığı	44
Şekil 4.23. Farklı boyutlardaki sonlu eleman ağ sıklığının ve deney deplasman- zaman grafığı.....	44
Şekil 4.24. Mesh aralığı 10 sonlu eleman ağ sıklığının ve deney deplasman-zaman grafığı	45
Şekil 4.25. Çelik profilinin maksimum yer değiştirme hali	45
Şekil 5.1. Çelik profil ve sonlu eleman modelinin ivme-zaman grafığı.	48
Şekil 5.2. Çelik profil ve sonlu eleman modelinin hız-zaman grafığı	48

Şekil 5.3. Çelik profil ve sonlu eleman modelinin deplasman-zaman grafiği	49
Şekil 5.4. Çelik profilinin maksimum yer değıştirme hali	50



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Çelik çekme deney sonuçları	11
Tablo 3.2. Yük Hücresi Teknik Bilgileri	18
Tablo 4.1. Malzemenin elastik özelliğinin tanımlanması	38



ÖZET

Anahtar kelimeler: Çelik kiriş, darbe yükü, sonlu eleman yöntemi

Çelik yapı elemanları taşıdıkları yükler incelendiğinde, statik karakterli ve dinamik karakterli yüklerin etkisine maruz kalabildikleri görülmektedir. Statik karakterli yükler zaman sürecine yayılı yükler olarak tanımlanmaktadır. Dinamik karakterli yükleri ise anlık bir zamana toparlanmış yükler olarak tanımlamak mümkündür. Statik yükler altında yüksek mukavemet gösteren malzemeler, bir hıza(veya ivmeye) sahip dinamik yüklemeye maruz bırakıldığında aniden kırılabilmektedir. Bu noktadan hareketle, bir yapı elemanının hem statik hem de dinamik karakterli yükler altında analiz edilmesi gerektiği ifade edilebilir.

Her yapı elemanı için, şekil değiştirmeye yatkınlık olarak ifade edilebilecek süneklik önemli bir özelliktir. Yapı elemanının yük etkisi altındaki süneklik eğrisinin altında kalan alan, elemanın enerji sönümleme kapasitesini yani tokluğunu verilmektedir. Dinamik ve statik yükler farklı karakterde yükler olduğundan bu yükler etkisi altındaki şekil değiştirme kapasiteleri ve buna bağlı olarak enerji sönümleme düzeyleri, diğer bir tanımla, toklukları farklı olacaktır.

Dinamik tokluğu ölçmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden biri ağırlık düşürme yöntemidir. Bu çalışmada bir yapı elemanı olarak çelik bir kirişin dinamik karakterli darbe yükü etkisi altındaki davranışı ağırlık düşürme yöntemi ile deneysel olarak incelenmiş ve yapı elemanın sonlu eleman modeli oluşturularak deney sonuçları sonlu eleman model analizi ile gerçellenmiştir.

ANALYSIS OF STEEL BEAM WITH EXPERIMENTAL AND FINITE ELEMENTS METHOD UNDER THE EFFECT OF IMPACT LOAD

SUMMARY

Keywords: Steel beam, impact load, finite element method

When the loads of steel structural elements are examined, it is seen that they can be subjected to the effects of static character and dynamic character loads. Static loads can be defined as loads spread over time. It is possible to define dynamic loads as instantaneous loads. Materials that exhibit high strength under static loads can suddenly break when subjected to dynamic loading with a speed (or acceleration). From this point of view, it can be stated that a structural element should be analyzed under both static and dynamic character loads.

For every structural element, ductility, which can be expressed as a tendency to change shape, is an important feature. The area under the ductility curve for building elements gives energy damping capacity under load effects. For example toughness. Since dynamic and static loads have different character loads, their deformation capacities under the influence of these loads, and therefore the energy damping levels, will be different.

There are different methods for measuring dynamic toughness. One of these methods is the weight reduction method. In this study, as a structural element, the behavior of a steel beam under the effect of the dynamic impact load was examined experimentally, and the finite element model of the structural element was formed and the experimental results were implemented by the finite element analysis.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yapı malzemesi olarak çelik ve beton birbirine göre avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Çelik malzemesi çekme dayanımının büyük olmasından dolayı, geniş açıklıklara sahip köprü ya da stadyum çatısı gibi yapılarda tercih edilmektedir. Ayrıca çelik malzemesinin elastisite modülünün yüksek olmasından dolayı çelik yapı elemanları, beton ya da betonarme yapı enkesitlerine göre daha küçük boyutlarda kullanılabilir. Beton ve betonarme yapılar ise kolay inşa edilebilmesi, işçilik ve malzeme açısından ucuz olması gibi sebeplerden dolayı tercih sebebi olmaktadır.

Günümüzde insan nüfusundaki artış ve buna bağlı olarak insan ihtiyaçlarının artması gibi sebeplerden dolayı, yapılaşmadaki ilgi, hızlı yapılaşma ve de-montajı mümkün olan yapılaşma türlerine doğru kaymakta ve çelik malzemesi yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu durum çelik yapıların inşaat sektöründe tercih sebebi olmasını sağlamaktadır. Özellikle ana yapı malzemesi olarak çelik, köprüler, yüksek katlı binalar, geniş açıklıklı yapılar ve alt yapı elemanlarında yaygın şekilde kullanılmaktadır.

Çelik yapı elemanları taşıdıkları yükler incelendiğinde, statik karakterli ve dinamik karakterli yüklerin etkisine maruz kalabildikleri görülmektedir. Çelik yapı elemanları dinamik karakterli ani yükleme etkilerinin olabileceği yapı türlerinde özellikle kullanılmaktadır. Köprü kolonlarında, metro istasyonlarında, nükleer santrallerde, otopark ya da liman yapıları gibi araç ya da gemi çarpmasına maruz kalabilecek yapı elemanlarında tercih edilmektedir.

Gerçekleşme ihtimali açısından periyodu büyük ancak can güvenliği açısından periyodu küçük olan ani darbe yükü etkisi ile, gerek yapı gerekse yapı kullanıcıları

için oldukça önemli sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Bu yüzden yapı tasarımında tüm yükleme etkileri dikkate alınarak uygun tedbirler sağlanması gerekmektedir.

Türk Yapısal Çelik Derneğinin 2013 yılında yapmış olduğu bir araştırmaya göre dünyadaki ülkeler bazında yıllık demir-çelik üretimi sıralamasında Türkiye ilk 10'da yer almaktadır. Bu durum son zamanlarda Türkiye'de çelik yapılara verilen önemi göstermektedir. Ancak çeliğin en büyük dezavantajı olan korozyon yada montaj hataları, yapıya ilave yüklemeler olması durumunda, çeliğin sorunlu malzeme olmasına sebep olmaktadır. Özellikle bu yüklemeler ani yükleme olarak ifade ettiğimiz deprem ve darbe gibi dinamik etkiler olduğunda sorun daha çok büyümektedir. Bu yüzden özellikle çelik yapılarda darbe etkisi dikkate alınarak dizayn yapılması önem arz etmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı, bir yapı elemanı olarak çelik bir kirişin dinamik karakterli darbe yükü etkisine maruz kalması durumundaki gerçek davranışını deneysel olarak analiz etmek, deneysel çalışmadan elde edilecek sonuçlarla deney elemanının ve deney sınır şart ve koşullarının sonlu eleman model ortamında simülasyonunu oluşturmak ve literatüre kazandırılacak bu sonlu eleman modeli ile laboratuvar koşul ve şartlarındaki risklere maruz kalmadan parametre değiştirerek oluşturulacak yeni modellerin bilgisayar ortamında gerçellenmiş deney sonuçlarına ulaşılmasını sağlamaktır.

Bu çalışmada sonlu eleman programı olarak, yük etkisi altındaki bir eleman davranışını en iyi yansıttığı düşünülen ABAQUS sonlu eleman programı kullanılmıştır. Çalışmada çelik kutu profil en kesitli bir kirişin darbe yükü etkisi altındaki davranışı hem deneysel hem de sonlu eleman modellemesi ile incelenmiştir. Sonlu eleman programına deney düzeneği tam ve uygun bir şekilde yansıtılmış, uygun malzeme ve eleman tipleri seçilmiş, numuneye ani yükleme yapılmış, ivme değerleri elde edilmiştir. Deneysel yaptığımız çalışmadan elde edilen ivme değerleri bu değerler ile karşılaştırılmış, sonlu eleman çözümü, deney ile doğrulanmıştır.

Yapılan çalışma beş bölümde sunulmuştur. Birinci bölümde çalışmamızın genel amacı hakkında bilgi verilmiş, çalışmanın kapsamı anlatılmaya çalışılmıştır. İkinci bölümde daha önce bu alanda yapılmış çalışmalara değinilmiştir. Üçüncü bölümde, yapılan deneysel çalışma ve kullanılan alet ve makinelerin özellikleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde, sonlu eleman çalışması hakkında bilgi verilmektedir. Sonlu eleman yönteminde seçilen eleman tipi, mekanik özellikleri, yükleme durumu anlatılmaktadır.

Beşinci bölümünde deneysel ve sonlu eleman çözümleri karşılaştırılmış, sonuçlar grafik halinde gösterilerek, sonuçlar ve tartışmalar başlığı altında daha sonraki çalışmalara yön gösterilmiştir



BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu bölümde darbe yükü etkisi altında yapı elemanlarının davranışı ve bu davranışın modellenmesine yönelik olarak yapılmış literatür çalışmaları incelenmiştir.

2.1. Çelik Yapı Elemanlarının Derbi Yükleme Altında İncelenmesi Hakkında Yapılmış Çalışmalar

Barmaki; kendi çalışması için özel olarak tasarlanmış olduğu test düzeneğinde, 1/3 geometrik ölçekli ve kare kesitli olarak üretilmiş betonarme kolon numunelerine, darbe yükleme uygulamış ve darbe deneyi sırasında elde ettiği verileri zamana bağlı olarak ölçmüştür. Elde ettiği deney sonuçlarını kullanarak ANSYS sonlu eleman programı ile darbe deneyini modellemeye çalışmıştır [1].

Gültop ve arkadaşları; rijit plastik malzeme davranışından hareketle, darbe yükü etkisi altında bulunan elemanda oluşacak göçme mekanizmasının, ani plastik mafsallı oluşumuyla gerçekleştiğini kabul etmiştir. Çalışmasında basit ve ankastre mesnetli kirişlerin düşük hızlı çarpma yükü etkisi altındaki davranışlarını analitik olarak incelemiştir. Ayrıca çalışmada enerjinin korunumu ilkesine dayanarak, dinamik karakterli çarpma yükü altında kirişlerin, limit analizi yapılmıştır. Çalışma sonunda, darbe yükü altında bulunan elemanların rijit plastik kiriş davranışı ile elastik kiriş davranışını karşılaştırılmıştır [2].

Wang ve arkadaşları, beton dolgulu dairesel enkesite sahip çelik boru (CFST) kompozit elemanların, yanıl darbe yükü etkisi altındaki performansı incelemiştir. Yanıl darbe etkisi altında bulunan kompozit elemanların, darbe modlarını ve darbe kuvvetlerinin zamanla değişimini incelemek için, bir dizi deney gerçekleştirmiştir. Çalışmada, CFST elemanların eksenel yük seviyesi, sınır şartları ve darbe enerjisini değişken deney parametreleri olarak seçmiştir. Daha sonra ABAQUS programı

kullanılarak gerçekleştirilen deneyin sonlu elemanlar modeli (FEM) geliştirilmiş ve sonlu eleman modeli, deney verileri ile doğrulanmıştır [3].

Zeinoddinia ve arkadaşları; eksenel yük uygulanmış dairesel enkesitli çelik borulara ilave olarak yüklenen yanıl darbe etkisini, deneysel olarak incelenmiş ve zaman tanım aralığında nonlinear sonlu eleman modelini oluşturmuştur. Darbe öncesi ve sonrası çelik daire enkesitli boruların doğal titreşim frekansını, darbe yükünü ve yük-zaman ilişkisini, eksenel yük ve boru deformasyonlarının farklı sayısal çıktıları deneysel ve sonlu eleman modeliyle karşılaştırılmıştır [4].

Deniz çalışmalarında; korozyon etkisi yüksek olan deniz suyunun, dairesel enkesite sahip çelik borularda, ani darbe kuvvetinin eleman davranışına olan etkisini incelemiştir. Deneyde kullandığı borular farklı zaman dilimlerinde deniz suyunda bekletilmiş daha sonra ani darbe kuvvetinin elemanlar üzerindeki etkisini incelemiştir [5].

Gücüyen ve arkadaşları; yer üstü boru hatlarında kullanılan dairesel enkesitine sahip çelik numunelerinin, laboratuvar ortamında serbest düşen çekiç yardımıyla darbe kuvveti uygulanmıştır. Yapılan deneylerde darbe kuvveti altında bulunan elemanlarının davranışları incelemiştir. Deney elemanlarında oluşan ivme, deplasman, çarpma kuvveti değerleri belirlenmiş ve hasar gelişimleri izlenmiştir. Çalışmanın nümerik analiz kısmında ise, deney elemanları ve deney düzeneği ABAQUS sonlu elemanlar analiz programında modellenmiştir [6].

Alam ve arkadaşları; CFST kolon olarak adlandırılan beton dolgulu çelik boru kolonları incelemiş, karbon fiber takviyeli polimer ile (CFRP) güçlendirilmiş CFST kolonlarının sonlu elemanlar modelini geliştirmiş ve darbe yükü altında çelik kompozit elemanın CFRP bağ uzunluğunun eleman davranışına olan etkisini incelemişlerdir. Darbe yükleri altındaki CFST kolonlar üzerinde yapılan parametrik çalışma ile CFRP sargısının optimum etkili bağ uzunluğunu araştırmışlardır [7].

Makarem ve arkadaşları; darbe altındaki çelik kolonların doğrusal olmayan davranışını değerlendirmek için bir metodoloji sunmuş ve çeliğin doğrusal olmayan davranışını tahmin etmek için fiziksel bir model geliştirilmiştir. Darbe hızının, çarpma kütesinin, çarpma yerinin ve ön yükleme koşulunun çelik kolonların lokal davranışı üzerindeki etkisini araştırmıştır [8].

Liew yaptığı çalışmada, kesme kamalı çelik elemanların, darbe yükü etkisi altındaki eleman davranışını incelenmiştir. Kesme kama bağlantılı elemanları ile oluşturulmuş çelik elemanlar, farklı hız ve kütleyle sahip çekiç'in, deney numunesinde meydana getirdiği değişiklikler incelenmiştir [9].

Wang çalışmasında; çelik kolon-kiriş bağlantı bölgesinin darbe kuvveti etkisi altındaki davranışını incelemiştir. Bağlantı bölgesinde bulunan bulon ve bağlantı plakasının darbe etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Çalışma sonunda, bağlantı plaka kalınlığının, daha ince olması birleşim bölgesinin daha büyük deformasyon yapmasını sağlamaktadır. Darbe yükü etkisi altında bulunan birleşim bölgelerinde bağlantı plaka kalınlığının ince olması, birleşim dayanımını artırmaktadır. Ayrıca çalışmada sonlu eleman modeli oluşturulmuş, sonlu eleman programı deney ile doğrulanmıştır [10].

Sabuwala çalışmasında; farklı modellerde oluşturduğu çelik kolon-kiriş birleşim bölgesinin darbe kuvveti etkisi altındaki davranışını sonlu eleman yöntemi ABAQUS kullanarak modelleme yapılmıştır. Bolunlu ve kaynaklı olarak oluşturulan bağlantı bölgesinde sonradan yapılan değişikliklerin darbe yükü etkisi altında iyi performans göstermediğini vurgulanmıştır [11].

Abbas ve arkadaşları; darbe yükü altındaki betonarme elemanların doğrusal olmayan analizi incelenmiştir. Kiriş orta noktasına uygulanan darbe yükünün deney sonuçlarını literatürden alarak, kendisi sonlu eleman çalışmasını doğrulamıştır. Betonarmeyi, gerilme oranına duyarlı elasto visko-plastik iki yüzey modeliyle modellenmişlerdir. Takviyeli beton, donatı yönünde tek eksenli özelliklere sahip, sürülmüş bir tabaka olarak kabul edilen tek bir eleman ile modellenmiştir [12].

Selvi yüksek lisans çalışmasında; 5 adet normal dayanımlı betondan ve 5 adet yüksek dayanımlı betondan üretilen dikdörtgen kesitli kiriş numunelerin üzerine farklı yüksekliklerden düşürülen sabit ağırlıklı bir çekicin yaratmış olduğu çarpma etkisi altında göstermiş oldukları davranış farklarını araştıran deneysel bir çalışma yapmıştır. Numunelerin beton dayanımındaki değişim ile çekiç düşme sayısı, deplasman değerleri, ivme değerleri ve göçme mekanizması arasındaki ilişkilerini araştırmış ve çalışmalar sonunda elde edilen çatlak ilerlemesini ve göçme şeklini ABAQUS sonlu eleman yazılımı kullanılarak modellenmesini yapmıştır [13].

Al-Thairy çalışmasında, eksenel yük etkisi altında bulunan çelik elemanların farklı darbe hızları altındaki eleman davranışı incelenmiştir. Çelik kolonlara enine darbe uygulanmış çelik kolonun burkulma modları incelenmiştir. Sonlu eleman analizi yapılarak parametrik çalışma ile zenginleştirilmiştir [14].

Yousuf ve arkadaşları; Statik ve dinamik yükler altında paslanmaz çelik içi boş ve beton dolgulu çelik boru (CFST) kolonlarının performansını araştırmak için deneysel test serisi oluşturmuştur. Statik ve dinamik deneylerini simüle etmek için ABAQUS sonlu eleman programını kullanarak, bir yanal darbe yükü altında bulunan çelik ve kompozit kolonların davranışını tahmin etmek için model gerçekleştirmiştir. Ayrıca, içi boş tüplerin darbe yükleme altındaki davranışı, kompozit bölümler ile karşılaştırmışlardır. Genel olarak, kompozit olarak oluşturulan numunelerin, çelik numuneler ile karşılaştırıldığında, kompozit elemanların daha iyi enerji yayma, emme özelliğine sahip olduğunu tespit etmişlerdir [15].

Kantar ve arkadaşları; normal ve yüksek dayanımlı betonlardan ürettikleri 10 adet donatısız beton kiriş elemanı beş farklı yükseklikten düşürülen sabit ağırlıklı çekiçle, çarpma yükleme altında test ederek, çarpma etkisiyle oluşan ivme, hız, deplasman değişimlerinden hareketle beton dayanımındaki değişim ile darbe yükü düşme mesafesi arasındaki enerji sönümlene ilişkisini incelemişlerdir [16].

Firouzsaları çalışmasında, çelik boru profillerin darbe yükü etkisi altındaki davranışını düşük hızlı darbe deneyi altında incelemiştir. Deney numunelerinde oluşan lokal

deformasyonunda en önemli kriterin eksenel yük seviyesine bağlı olduğunu deneysel olarak göstermiştir [17].

Zhang ve arkadaşları; yanal darbe yükü etkisi altındaki kare en kesitli CFST kolonların darbe yükü etki noktasına bağlı olarak değişen sünek davranışlarını ve taşıma gücü kapasitelerini deneysel olarak inceleyerek, kare kesitli CFST kolonların tahmini yük taşıma kapasitelerini hesaplayacak bir fomülasyon önermiştir [18].

Rezaei çalışmasında; literatürdeki yapılan çalışmalarda, statik yükleme altında oluşan deplasmanı ve dinamik yükler altında kaymaları önlemek için, küçük ölçekli betonarme kirişlerin yüksek hızlı çarpma yüklerine maruz kalması durumunda oluşacak kesme kuvvetlerine karşı koyulan enine donatının etkisini araştırmıştır. % 0,41,% 0,54 ve% 0,8' lik enine donatı oranlarına sahi toplamda 26 adet betonarme kirişi, 63 m/s ile 104 m/s arasında değişen hızlarda hareket eden su dolu konteynırları kirişlere çarptırarak oluşturduğu dinamik darbe yükleri altında test edilmiştir. Testlerin sonucunda kirişlerin eğilmeden kaynaklı göçme mekanizmalarına ulaştığını, makaslamaya karşı başarısız olan benzer örneklerin, statik kesme kapasitesinin en az 1.5 katı kadar başlangıçtaki kesme gerilmelerine direnebildiklerini göstermişlerdir. Ayrıca aynı boyutta ve benzer darbe yüklerine maruz kalan kirişlerin darbe testlerinde, statik kesme kuvvetlerine karşı nominal kapasitede% 30'luk bir artışın, darbe altındaki kesme başarısızlığını önlemek için yeterli olduğunu gözlemlemiştir [19].

Zhi çalışmasında, çelik dairesel enkesitli boru profillerin düşük hızlı darbe etkisi altındaki davranışı incelenmiştir. Ön yükleme ve sınır şartlarının darbe etkisi altında bulunan çelik eleman davranışına olan etkilerini araştırmak için toplam 32 adet darbe testi yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına dayanarak, eksenel kuvvetin darbe yükünün oluşturduğu deformasyonda etkili olduğunu görmüştür. Ayrıca elemana uygulanan eksenel kuvvetin dairesel enkesite sahip çelik elemanların direncini ve yanal çökme kapasitesini artırabildiğini gösterirken, eksenel sıkıştırma çökme kapasitesini önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir [20].

Zhang çalışmasında, çelik dairesel enkesitine sahip boru profillerin düşük hızlı darbe kuvveti ile yarı statik yük etkisi altındaki davranışlarını incelemiştir. Farklı geometriye sahip çekiç başlıkları, deney numunelerinin darbe kuvveti etkisi altındaki davranışlarına olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada 72 adet deney numunesinde değişik geometrideki başlıkları farklı sınır durumlarında, elemanda oluşturduğu değişik etkiler incelenmiştir [21].

Han ve arkadaşları; son yıllarda inşaat mühendisliği yapılarında yaygın olarak kullanılan beton dolgulu çelik boru (CFST) yapıların gelişimini gözden geçirmiş, Çin başta olmak üzere, son yıllarda CFST yapısal elemanları üzerine yapılan araştırma ve geliştirmeleri özetleyerek çalışmasında incelemiştir. Ayrıca çeşitli ülkelerdeki, CFST yapısal elemanları üzerine güncel tasarım yaklaşımlarını kısaca incelenmiş ve Çin'de CFST yapısal elemanlarının kullanıldığı bazı projeleri irdelemiştir [22].

Bambach ve arkadaşları; içi boş ve beton dolgulu çelik kare boşluklu (SHS) profil kirişlerin, orta açıklıkta düşük hızlı çarpma etkilerine maruz kalan elemanların deneysel ve analitik bir araştırmasını yapmıştır. Üç farklı kesitten imal edilen deney elemanlarını uçlarından tam olarak sıkıştırarak deneyi gerçekleştirmişlerdir. Darbe yüklemesi kirişlerin orta noktasına yapılmış ve üç farklı noktadan Strain-Gage ölçümleri alınmıştır. Enine darbe yükleri için içi boş ve beton dolgulu SHS elemanlarını tasarlamak için sapma, kuvvet veya enerji sınırlarının kullanabileceği bir tasarım prosedürü geliştirmişlerdir [23].

BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, deney numunesi olarak tasarlanan kutu profil enkesitli çelik kirişin malzeme özellikleri, kutu profil enkesitli çelik kirişin ani darbe yükü etkisi altındaki gerçek davranışının inceleneceği deney düzeneği ve deney esnasında kullanılan ekipman ve cihazlar hakkında detaylı bilgi sunulmaktadır.

3.1. Deney Numunesinin Malzeme Özelliği

Deney numunesinin imalatında S235 çelik malzeme kullanılmıştır. Deney numunesinin oluşturulduğu malzemenin mekanik özelliklerini deneysel olarak kontrol etmek için, deney numunesinden alınan üç adet kupon numune ile eksenel çekme dayanımı testi yapılmıştır. Kupon numuneler TS EN 6892 Standardına göre hazırlanmıştır. Numunelerin deney öncesi ve sonrası fotoğrafları Şekil 3.1. de gösterilmiştir.

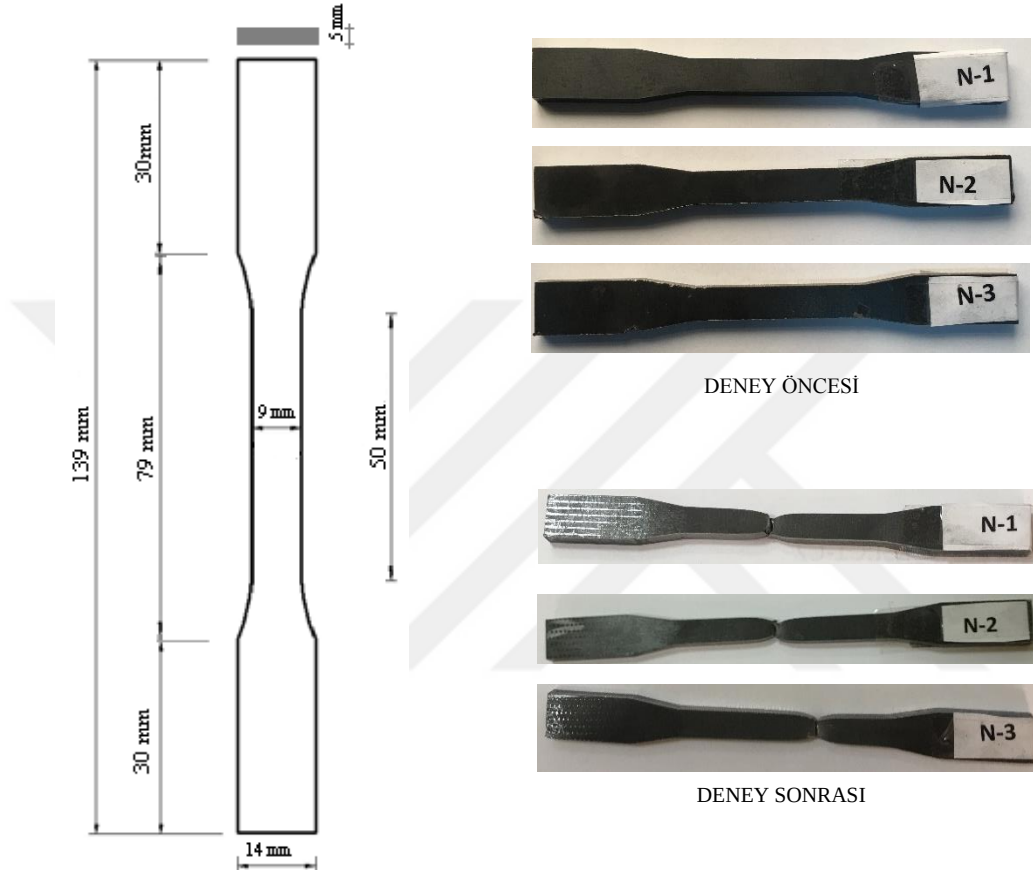
Hazırlanan bu numunelerin deneyleri Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında, SHIMADZU firmasına ait AG-IC serisi eksenel çekme deney cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2.).

50 kN yük ve 1300 mm uzunluk kapasitesine sahip cihaz test sırasında ölçülen gerilme ve uzama verilerine dayanarak kontrol parametrelerinin gerçek zamanlı olarak otomatik ayarlanmasına olanak vermektedir.

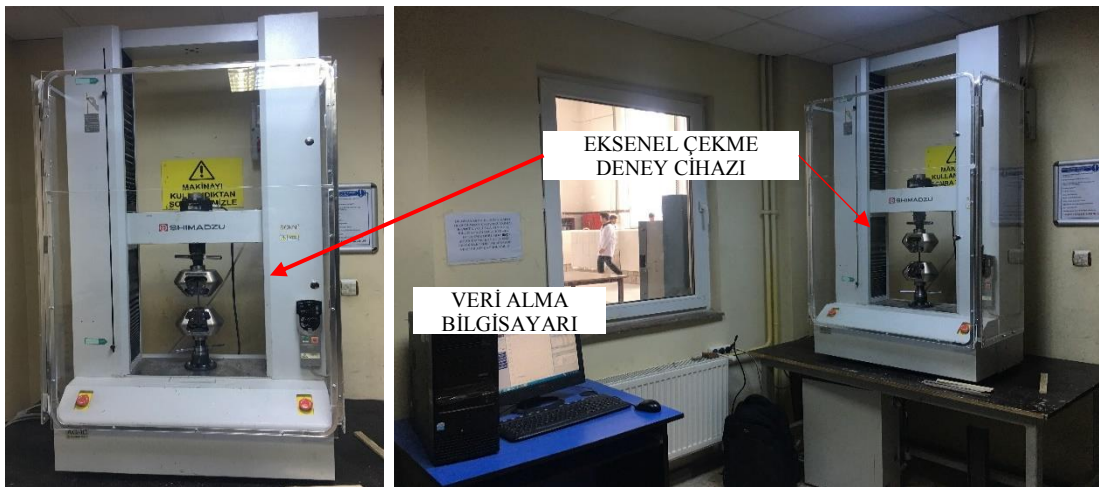
Çelik kupon numunelerin eksenel çekme deney sonuçlarına göre mekanik özellikleri Tablo 3.1. de verilmiştir.

Tablo 3.1. Çelik çekme deney sonuçları

Numune Adı	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Kopma Uzaması %
N1	240	300	39
N2	245	285	38
N3	210	275	36

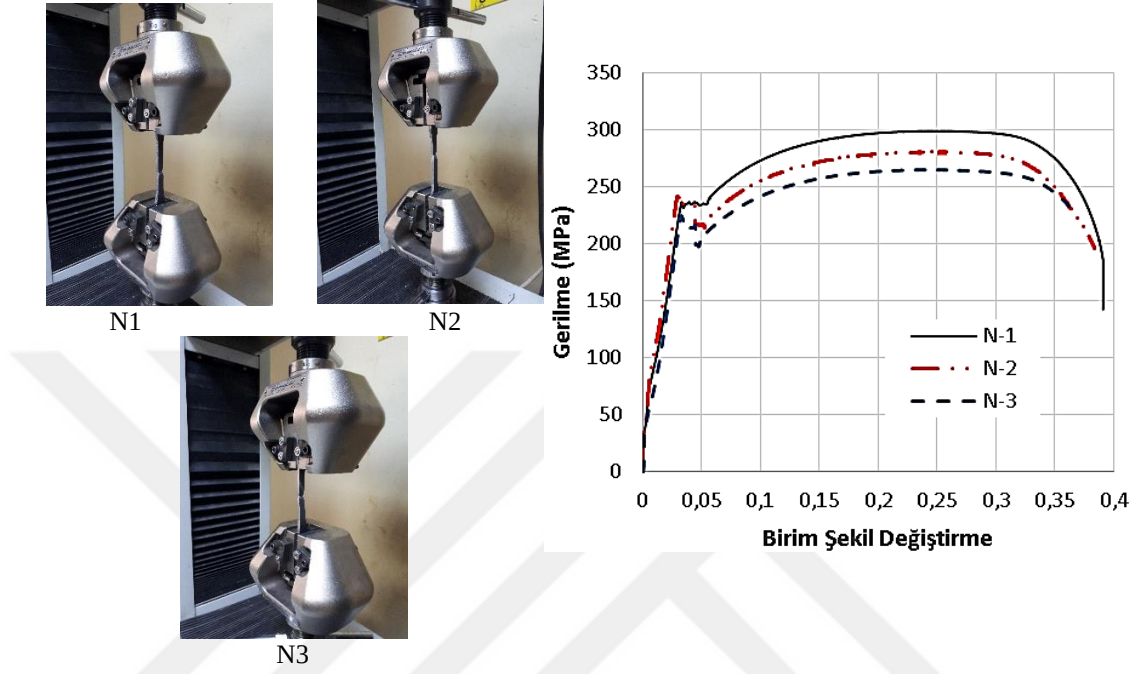


Şekil 3.1. Kupon numunesi boyutları-deney öncesi ve deney sonrası numune görüntüleri



Şekil 3.2. Eksenel çekme deney cihazı

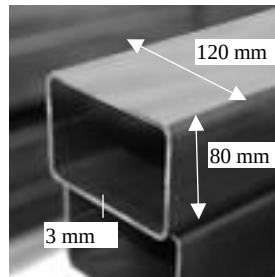
Kupon numunelerinin eksenel çekme deney görüntüleri Şekil 3.3.'de sunulmuştur. Eksenel çekme deney sonucunda elde edilen veriler yardımı ile her numuneye ait gerilme- birim şekil değiştirme değerleri hesaplanarak grafikleri çizilmiştir (Şeki 3.3.).



Şekil 3.3. Eksenel Çekme deney görüntüleri ve Gerilme-Birim Şekil Değiştirme Grafiği

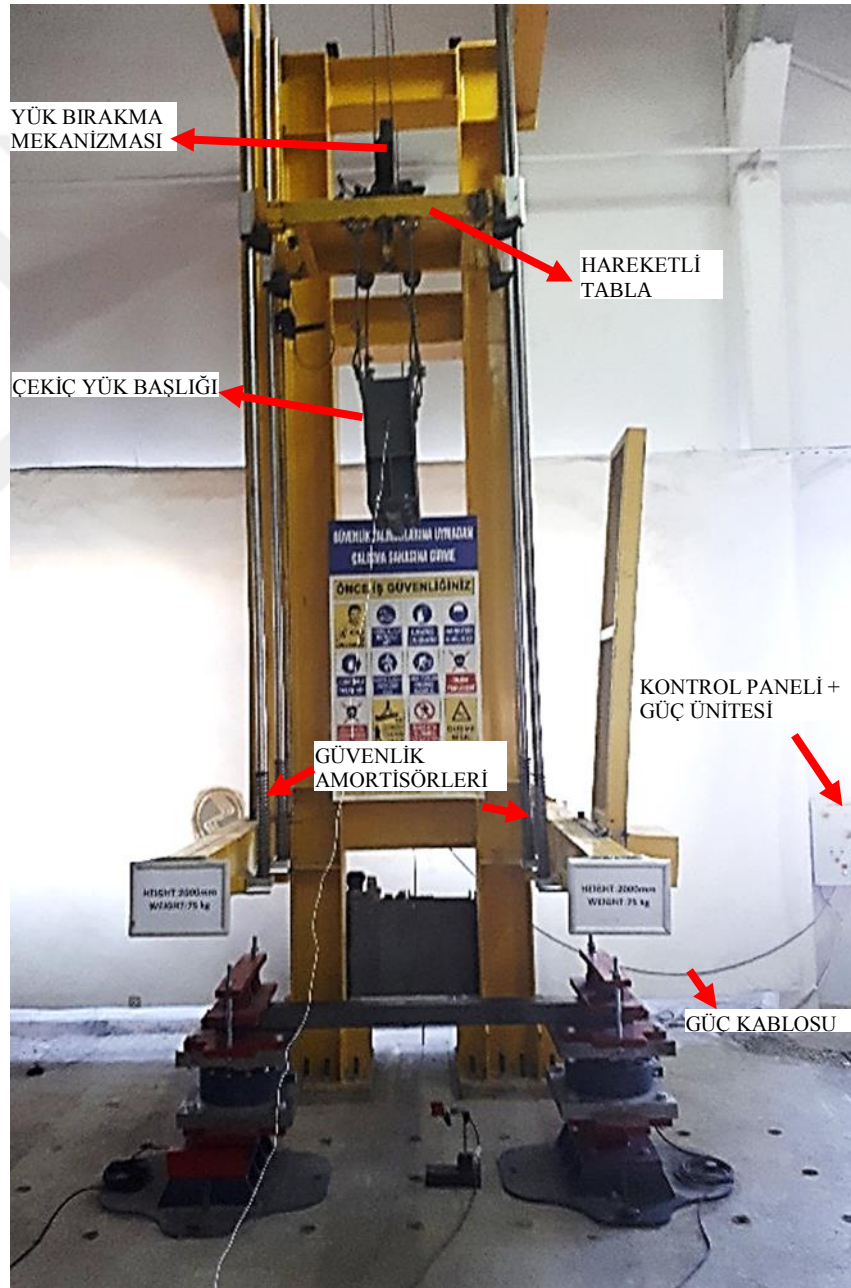
3.2. Deney Düzenegi ve Deney Numunesi

Deney numunesi 2000 mm boyunda çelik kutu profil olarak Doğan ay Ltd.Şti firmasından tedarik edilmiştir. Kutu profil 3 mm et kalınlığına sahip 120x80 mm enkesit boyutlarına sahiptir. (Şekil 3.4). Profil S235 çelik sınıfından imal edilmiştir. Profil toplam ağırlığı ortalama 12,5 kg olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.4. Deney numunesi

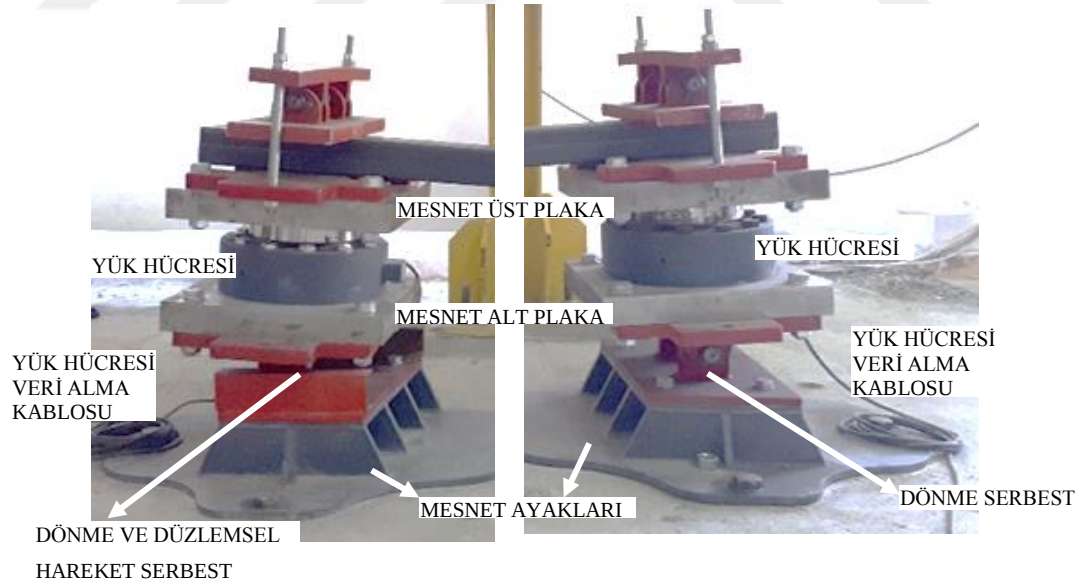
Darbe deney düzeneği olarak, Sakarya Üniversitesi Yapı-Mekanik Laboratuvarında bulunan ve ağırlık düşürme yöntemi ile darbe yükünün simüle edildiği yükün serbest düşme ile bırakılması ile çalışan ağırlık düşürme olarak tasarlanmış bir darbe deney düzeneğidir (Şekil 3.5.). Düzenek ana taşıyıcı sistemi, tüm sistemin, çekiç yükünün ve deney esnasında oluşacak dinamik darbe yükünün tüm yükleme etkilerini taşıyan iki adet IPE300 kolonunun M36 bulonları ile yere ankastre olarak bağlanması ile teşkil edilmiştir.



Şekil 3.5. Deney Düzeneği

Düzenegin, bilgisayar ortamında dinamik ve statik analizi yapılarak tasarımı yapılmıştır. Düzenekte oluşabilecek olası sistem tepkime yüklemeleri de dikkate alınarak imalatı yapılmıştır. Düzenek elemanları gereksinime göre cıvata ve kaynak birleşim araçları kullanılarak modellenmiş ve imal edilmiştir.

Çelik yapılarda uygulamada yaygın olarak kullanılan kiriş modeli basit kirişlerdir. Bu nedenle deneysel çalışmada kullanılan kiriş basit kiriş olarak tasarlanmıştır. Basit kirişler her iki ucundan, birleşim araçları ile moment aktarmayacak şekilde, bağlanmış kirişlerdir. Ancak her iki ucuna moment aktarmayacak şekilde tasarlanmasına karşın eğilme düzlemindeki bu hareket farklı olarak tanımlanmaktadır. Kiriş uçlarının hareket düzlemindeki bu hareket farklılığı nedeni ile kirişin bir ucu sabit ve bir ucu kayıcı mesnet olarak adlandırılır. Deney düzeneğinde Sakarya Üniversitesi Yapı ve Mekanik Laboratuvarında daha önceden tasarlanmış olan sabit ve kayıcı mesnet koşullarını simüle edebilecek mesnet düzenekleri kullanılmıştır. Mesnet düzeneklerinde mesnet tepkilerini ölçmek amacı ile her bir mesnete yük hücresi (load cell) yerleştirilmiştir (Şekil 3.6.).



(a) Hareketli Mesnet

(b) Sabit Mesnet

Şekil 3.6. Basit Kiriş Mesnet Modelleri

Basit kiriş sınır şartları sabit ve kayıcı mesnet olarak deney düzeneğinde oluşturulduktan sonra deneysel çalışmada kullanılan çelik kiriş eleman deney

düzenine yerleştirilmeden önce, deney esnasında kiriş elemandan ivme kayıtlarını almayı sağlayacak ve numune üzerine yerleştirilecek ivme ölçer için, bir cıvata yataak kiriş alt orta noktasına, çekiç yükün vuracağı nokta hizasına kaynaklanmıştır. Daha sonra kiriş eleman deney düzenine yerleştirilerek deneye hazır hale getirilmiştir.

3.3. Deneyde Kullanılan Veri Alma Cihazları

Gerçek hayatta karşılaşılabilecek yük etkilerinin yapı elemanı üzerinde oluşturabileceği hareketi simüle etmek için mekanik uyarma sağlayacak cihazlar olduğu gibi, deneysel olarak incelenen elemanların maruz kaldığı etkiler karşısında gösterdiği performansı ölçmek için de cihazlar üretilmiştir. Bu çalışmada da darbe yükünü simüle etmemizi sağlayan deney düzeni ile birlikte, yük etkisi altında eleman davranışını analiz edebilmek için ölçüm cihazları kullanılmıştır.

3.3.1. İvme ölçer ve veri alma kablosu

Gerçekleştirilen deneyde, darbe yükü zaman ve konuma bağlı olarak değişkenlik arz eden dinamik karakterli yük etkisi incelendiğinden, literatürden hareketle gerek çekiç yükünden gerekse deney numunesinden anlık ivme kaydı alınmasının uygun olduğu düşünülmüştür. Bunu için iki adet PCB-PIEZOTRONICS marka iki adet genel amaçlı tek eksenli ivmeölçer kullanılmıştır. Bu ivme ölçerler, titreşim kontrollü olup deney numunesinin bu testlere verdiği tepkiyi analiz etmek için gereken ölçüm sinyallerini sağlamak için kullanılmıştır.

İvme ölçerler, ucunda seramik algılama elemanı bulunan, ortalama ($\pm\% 10$) 10 mV/g hassasiyete sahip titreşim ölçüm cihazlarıdır. 1 ila 10000 Hz aralığında 0.0005 g rms geniş bant çözünürlüğüne ve $\pm 5g$ ivme ölçüm aralığına sahiptir. $\pm\% 5$ hata payı ile 0.5 ila 10000 Hz aralığında frekans ölçümü yapabilecek kapasitededir (Şekil. 3.7.).

İvme ölçerleri veri toplama ünitesine bağlayan aynı firmadan tedarik edilmiş iki adet kablo kullanılmıştır. Deney numunesinde düşük gürültü kapasiteli mavi TFE ceketli ($\pm\% 2$) 15 m uzunluğunda ve bir ucunda BNC fiş diğer ucunda 10-32 koaksiyonel fiş

bulunan kablo kullanılmıştır. Çekiç üzerine tutturulan ivme ölçer ise genel amaçlı beyaz TFE ceketli koaksiyonel kablo ile veri alma ünitesine bağlanmış olup, kablonun uzunluğu ($\pm\% 2$) 15 m civarında ve numunedeki kabloya benzer olarak kablonun bir ucunda BNC fiş diğer ucunda 10-32 koaksiyonel fiş bulunmaktadır (Şekil 3.7., Şekil 3.8., Şekil 3.9.).



Şekil 3.7. Kullanılan ivme ölçer ve kablolar[24]

PERFORMANS		
Bağlayıcı Stili	BNC	BNC
Bağlayıcı Stili	ortak eksenli	ortak eksenli
Bağlantı türü	Fiş (erkek pin)	Fiş (erkek pin)
Birleştirme Yöntemi (Kilitleme)	süngü	süngü
Gerilim Giderici	Kalıplı Önyükleme	Kalıplı Önyükleme
ÇEVRE		
Sıcaklık aralığı	-85 ila 329 ° F	-65 ila +165 ° C
ELEKTRİK		
Empedans	50 Ohm	50 Ohm
Yalıtım direnci	5000 MOhm	5000 MOhm
FİZİKSEL		
ROHS Uyumluluğu	Evet	Evet
Ev materyalleri	Pirinç	Pirinç
Bitiş	Nikel kaplı	Nikel kaplı
Boyut - OD	.57 inç	14 mm
Boyut - Uzunluk	1.1 inç	28 mm
Ağırlık	0.51 oz	14 gm



BNC Tipi Bağlayıcı Fiş

PERFORMANS		
Bağlayıcı Stili	ortak eksenli	ortak eksenli
Bağlantı türü	Fiş (erkek pin)	Fiş (erkek pin)
Birleştirme Yöntemi	dişli	dişli
Bağlantı İpliği	10-32 kadın	10-32 kadın
Gerilim Giderici	Kalıplı Önyükleme	Kalıplı Önyükleme
ÇEVRE		
Sıcaklık aralığı	-320 -500 ° F	-196 ila 260 ° C
FİZİKSEL		
ROHS Uyumluluğu	Evet	Evet
Boyut - OD	0.25 inç	6,4 mm
Boyut - Uzunluk	0,94 inç	24 mm
Ağırlık	0,1 oz	2 gm



Ortak Eksenli 10-32 Koaksiyonel Bağlantı Fişi

Şekil 3.8. Kablo Uçlarındaki Bağlayıcı Fişler ve Ürün Özellikleri [24]

PERFORMANS		
İletken Sayısı	1	1
Kablo tarzı	Kaaksiyel - Düşük Gürültü	Kaaksiyel - Düşük Gürültü
ÇEVRE		
Sıcaklık aralığı	-320 - +500 ° F	-196 ila +280 ° C
Çekme Dayanımı	75 lb	330 N
ELEKTRİK		
Empedans (± 2 Ohm)	50 Ohm	50 Ohm
Kapasite (± 2 pF / ft)	30 pF / ft	99 pF / m
İzaleasyon Direnci (@ 50 V @ 68 F)	> 1 Tahm	> 1 Tahm
Gürültü Seviyesi (pk - pk)	≤ 3 mV	≤ 3 mV
FİZİKSEL		
Kablo Ceket Çapı	0,079 inç	2,01 mm
Kablo Ceket Malzemesi	TFE	TFE
Kablo Ceket Rengi	Mavi	Mavi
İletken tarzı	Katı	Katı
İletken Malzeme	Nikel kaplı bakır kaplı çelik	Nikel kaplı bakır kaplı çelik
İletken Çapı (29 AWG)	.011 inç	0,279 mm
İletken Aşırı İletken Malzeme	Ekstrüde TFE	Ekstrüde TFE
Blendaj Tipi Aşırı İletken (ler)	Örgü: %90 Minimum Kapsama	Örgü: %90 Minimum Kapsama
İletken (ler) Üzerine Ekran Kalkanı	Nikel Kaplama Tel	Nikel Kaplama Tel
Düşük Gürültü Bariyeri Malzemesi (Aşırı İletken)	Sıvı Grafit	Sıvı Grafit
Düşük Gürültü Bariyeri Malzemesi (İzolatör Üzeri)	Grafit Emprenyeli PTFE Bent	Grafit Emprenyeli PTFE Bent
Bükülme Yarıçapı (minimum)	1 inç	25,4 mm
Ağırlık	.1 oz / ft	9,5 gm / m



PERFORMANS		
İletken Sayısı	1	1
Kablo tarzı	ortak eksenli	ortak eksenli
ÇEVRE		
Sıcaklık aralığı	-130 ila +400 ° F	-90 ila +204 ° C
Çekme Dayanımı	50 lb	220 N
ELEKTRİK		
Empedans (± 2 Ohm)	50 Ohm	50 Ohm
kapasitans	29 pF / ft	95 pF / m
FİZİKSEL		
Kablo Ceket Çapı	0,075 inç	1,9 mm
Kablo Ceket Malzemesi	FEP	FEP
Kablo Ceket Rengi	Beyaz	Beyaz
İletken tarzı	Telli - 7 Telli 38 AWG	Telli - 7 Telli 38 AWG
İletken Malzeme	Gümüş Kaplama Bakır Kaplı Çelik	Gümüş Kaplama Bakır Kaplı Çelik
İletken Çapı (30 AWG)	.012 inç	.305 mm
İletken Aşırı İletken Malzeme	Ekstrüde PTFE	Ekstrüde PTFE
Blendaj Tipi Aşırı İletken (ler)	Örgü: 95% Minimum Kapsama	Örgü: 95% Minimum Kapsama
İletken (ler) Üzerine Ekran Kalkanı	Gümüş Kaplama Tel	Gümüş Kaplama Tel
Bükülme Yarıçapı (minimum)	0,8 inç	20 mm
Ağırlık	.1 oz / ft	9.23 gm / m



Şekil 3.9. Veri Alma Kabloları Ürün Özellikleri [24]

3.3.2. Yük hücresi (Load Cell)

Deney düzeneğinde, basit kiriş olarak tasarlanan deney numunesinin, mesnet platformlarının üzerine, mesnet tepkilerini ölçmek amacıyla 200 ton kapasiteli yassı tip yk hücresi yerleştirilmiştir (şekil 3.10.).



şekil 3.10. Yassı Tip Yük Hücresi

Yük Hücresi elektronik terazi tedarikçisi ve reticisi CAS řirketler topluluğunun ürünü olup, yk hücresinin teknik bilgileri Tablo 3.2.'da verilmiştir.

Tablo 3.2. Yük Hücresi Teknik Bilgileri

MODEL	LS
KAPASİTE	200 TON
MALZEME	BOYALI ÇELİK
TAM YÜKLEME IKİř VOLTAJI	2.0 ± 0.005 mV/V
YÜKSÜZ IKİř VOLTAJI	0 ± 0.02 mV/V
GİRİş DİRENCİ	350 ± 3.5 Ω
IKİş DİRENCİ	350 ± 3.5 Ω

3.3.3. Ölüm ve kontrol sistemi

Ölüm ve Kontrol Sistemleri, deney verilerini ölçmeye, toplamaya ve analiz etmeye yardımcı olan sistemlerdir. Bu alışmada NATIONAL INSTRUMENTS firmasına ait CompactDAQ lm ve kontrol sistemleri kullanılmıştır. CompactDAQ sistemleri mühendislik çalışmalarında, her alan için, ihtiyaa göre özelleştirilebilir çözümler sunmaktadır. Yani yapılan çalışmanın içeriğine, ortam ve koşullarına ve çalışmadan beklentilere göre, her çalışmaya zel CompactDAQ kasa içinde veya ayrı modüller şeklinde tasarlanabilir.

3.3.3.1. CompactDAQ kasa

CompactDAQ Kasa, USB bağlantısı özelliğine sahiptir ve çeşitli deneylerde kullanmak için ve kullanılacak deneylerde doğru sayıda Giriş(G)/Çıkış(Ç) sağlamak için birden fazla slot girişine sahiptir. Kullanılacak deneylerde analog G /Ç, dijital G/Ç ve sayaç/zamanlayıcı ölçümlerinin hepsini bir arada almayı sağlayabilmek için kasa, firmanın üretmiş olduğu C Serisi G / Ç modüllerinin bir kombinasyonu şeklinde tasarlanmıştır. Tüm modüller, kasanın arka panelindeki donanım saati tarafından otomatik olarak algılanır ve senkronize edilir. Böylece birbirinden bağımsız oranlarla aynı anda birden fazla modülün, zamana bağlı işlem kaydı yürütebilmesine izin verir [25] (Şekil 3.11.).



Şekil 3.11. CompactDAQ Kasa [25].

3.3.3.2. Veri Alma ve sayısallaştırma modülleri

Veri Alma Giriş-Çıkış Modülleri, üretici firma tarafından her tür voltaj ölçümü yapabilmek için yeterli kanal sayısı, çözünürlük ve sinyal akımı alma hızına sahip bir şekilde tasarlanmıştır. Giriş Modülleri; güvenlik, gürültü ayrıştırma ve yüksek voltaj aralığı için birbirinden ve kasadan ayrı olarak izole edilmişlerdir. Çıkış Modülleri, aşırı voltaj koruması, kısa devre koruması, hızlı veri kaydı dönüş hızı, yüksek bağıl hassasiyet, kendi kendini kalibre etmek gibi özelliklere sahiptir [25]. (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Veri ve Sayısallaştırma Modülleri [25].

3.4. Darbe Deneyi

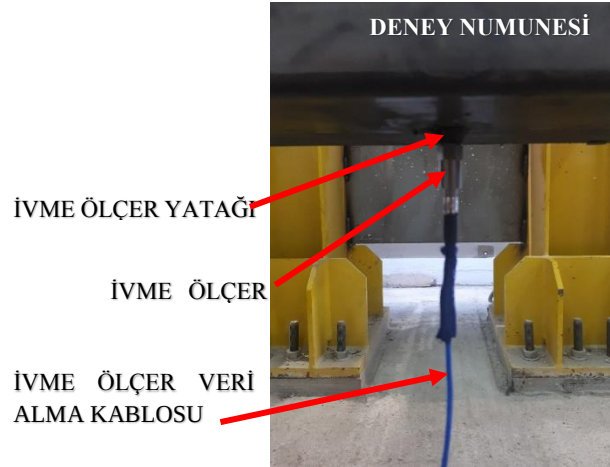
Deney düzeneği Şekil 3.13.'de görüldüğü gibi hazırlanmış, deney numunesi ve deney verileri ölçüm cihazları sisteme uygun bir şekilde yerleştirilmişlerdir. Deney düzeneğinde numuneye darbe kuvveti etkisini vermek için 75 kg ağırlığında sıcakta haddelenmiş çelik profillerden yapılmış bir çekiç yük kullanılmıştır. Çekiç yükünün kiriş yüzeyine çarpma yüzeyi 100mm çapında dolu enkesitli yarım daire olarak tasarlanmıştır (Şekil3.13.).

Deney numunesi çekiç yükü tam açıklık ortasından vuracak şekilde iki mesnet arasına yerleştirilmiştir. Mesnetler, deney düzeneğinin temel ayağına bulon ile tutturulmuştur. Deney numunesinin açıklık ortası alt yüzüne, yani çekiç yükünün vurduğu yüzeyin paralelindeki diğer yüzeye, ivme ölçerlerin tutturulması için, ivme ölçer başlık çapında somun kaynaklanarak, ivme ölçer yatağı oluşturulmuştur (Şekil 3.14.).

75 kg lık çekiç yükü 12mm çapında 4 adet çelik halatla hareketli yük paneline bağlanmış ve deney düzeneğinin elektrikli kontrol paneli vasıtasıyla çekiç yükü alt ucu ile kiriş üst yüzeyi arasındaki mesafe 90 cm olacak yüksekliğe çıkarılmıştır (Şekil 3.15.).



Şekil 3.13. Çekiç Yüğü ve Çekiç Sistemi



Şekil 3.14. İvme Ölçer Numune Bağlantısı



Şekil 3.15. Deney Düzeneği

Deney Düzeneği elektrikli kontrol paneli aracılığıyla çekiç yükü emniyet kilidinin açılması ile çekicinin serbest düşme hareketi yaparak numuneye çarpması sağlanmıştır.

Numunenin çekiç yükü düşürülmeden önceki ve düşürüldükten sonraki görüntüleri Şekil 3.16. da gösterilmiştir.

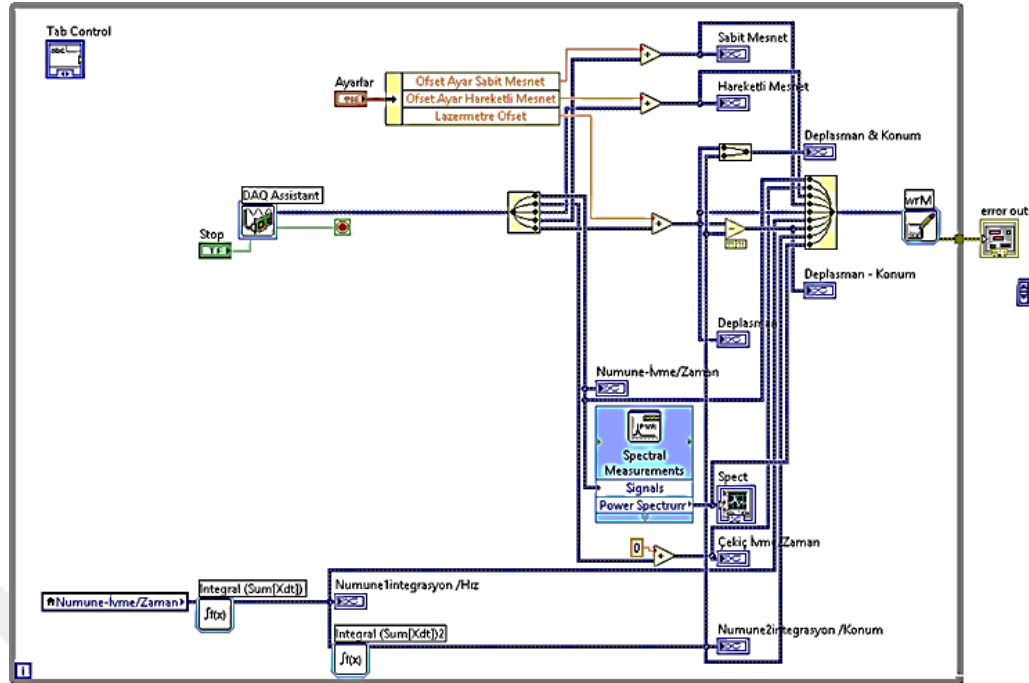


Şekil 3.16. Numune Deney Öncesi ve Sonrası Görüntüler

Veri alma kabloları vasıtasıyla veri alma cihazına bağlı olan, çekiç ve numune üzerine yerleştirilmiş olan ivme ölçerlerden eş zamanlı olarak ivme kayıtları ile beraber, mesnetlerdeki yük hücreleri vasıtası ile mesnet tepki kuvvet ölçümleri alınmıştır.

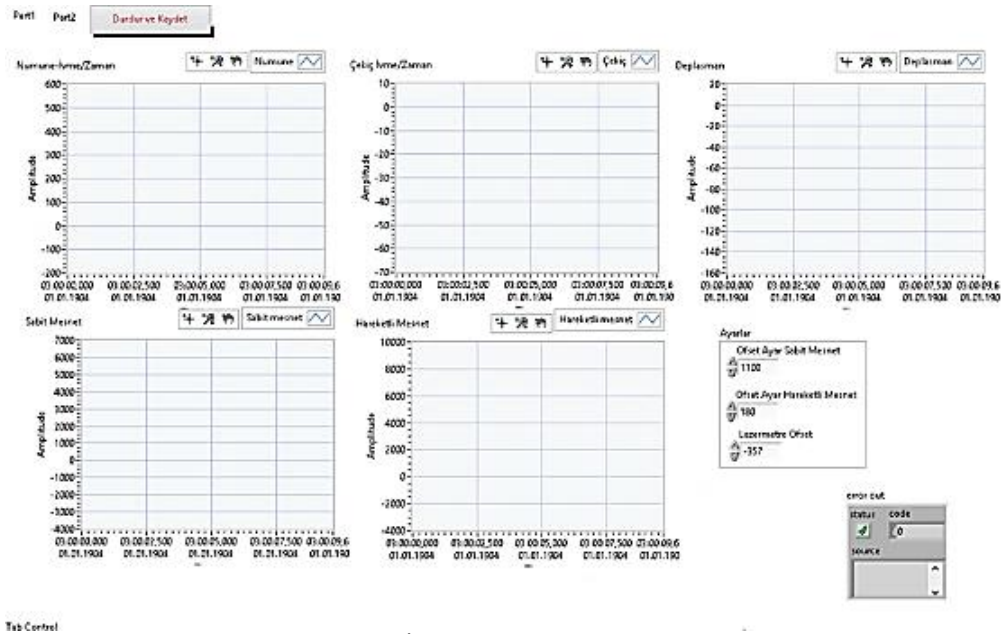
3.5. Veri Alma ve Verilerin İşlenmesi

Verilerin alınması ve işlenmesinde, National Instruments firmasının geliştirmiş olduğu LabVIEW yazılım platformu kullanılmıştır. Sinyal işlemede yaygın olarak kullanılan LabVIEW yazılım platformu, diğer programlama dillerinden farklı olarak görsel arayüze sahip bir programlama dilidir. İçinde pek çok sayısal analiz ve grafiksel analiz bulunan görsel arayüz kullanılarak deney esnasında veri alma ünitesine gelen sinyallerin bilgisayar ortamına sayısallaştırılarak doğrudan aktarılması için bir algoritma oluşturulmuştur (Şekil 3.17.)



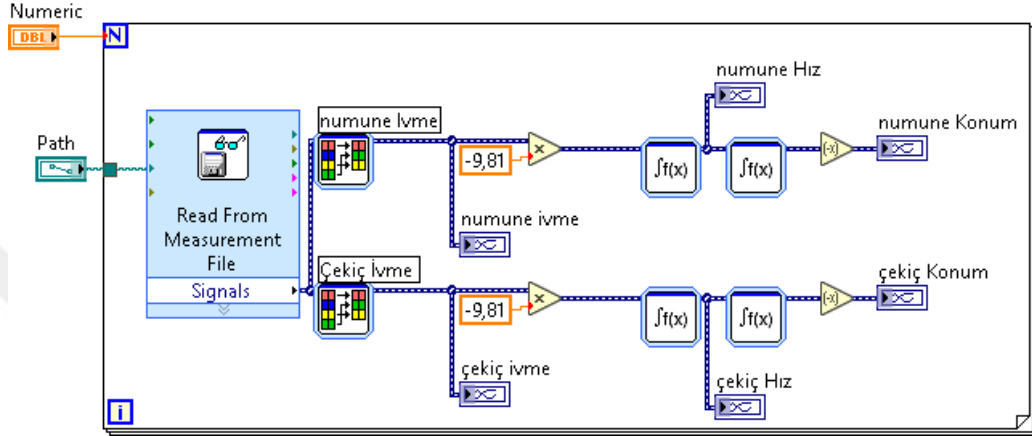
Şekil 3.17. LabVIEW- Veri Alma Algoritması

Bu yazılım, deney düzeneğindeki ivmeölçer, loadcell ve deplasman ölçerler den, deneyin gerçekleştirilmesi esnasında alınan verilerin, anlık olarak işlenmesi sağlayarak, veri alma sisteminde meydana gelebilecek aksamaların ve alınan verilerin gerçekçi ve sağlıklı olup olmadığının hemen tespitini sağlayacak şekilde oluşturulmuştur (Şekil 3.18.).



Şekil 3.18. LabVIEW- Veri Alma Algoritması Arayüzü

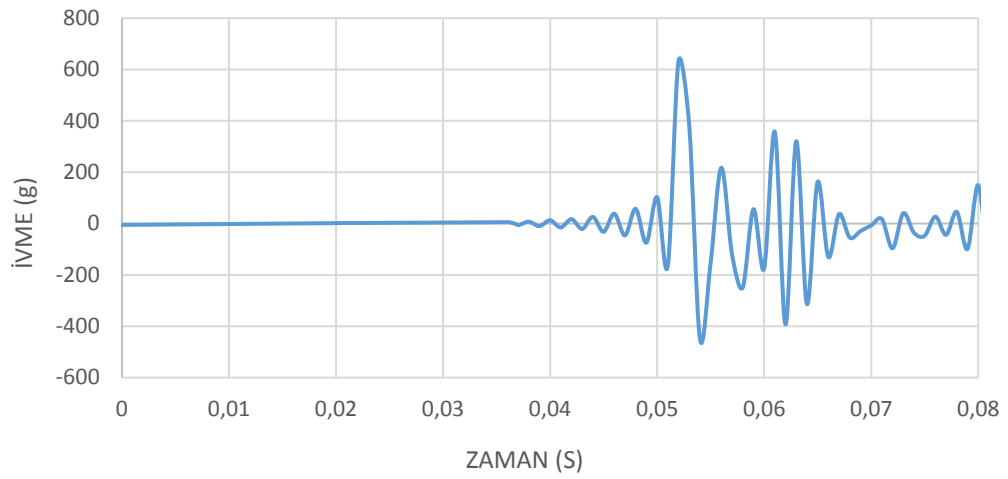
$6,05 \times 10^{-4}$ sn aralıklarla 1 sn de 25000 data alacak şekilde gerçekleştirilen yazılım ile elde edilen ve deney sonrasında kaydedilmiş olan data dosyaları LabVIEW tabanlı ikinci yazılım vasıtasıyla yeniden analiz edilmiştir (Şekil 3.19., Şekil 3.20.). Analiz sonucu deney numunesine ait ivme-zaman, hız-zaman, yerdeğiştirme-zaman grafikleri elde edilmiştir (Şekil 3.21., Şekil 3.22., Şekil 3.23.).



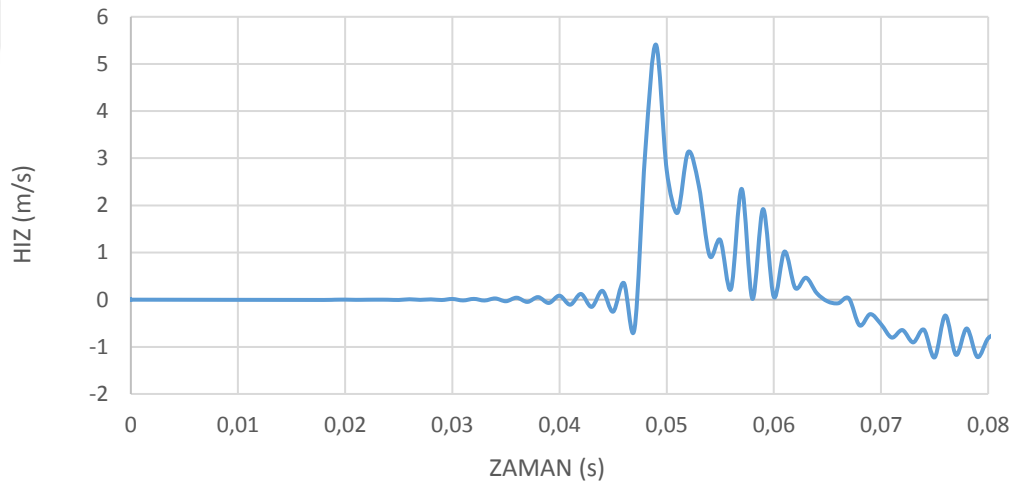
Şekil 3.19. LabVIEW- Veri İşleme Algoritması



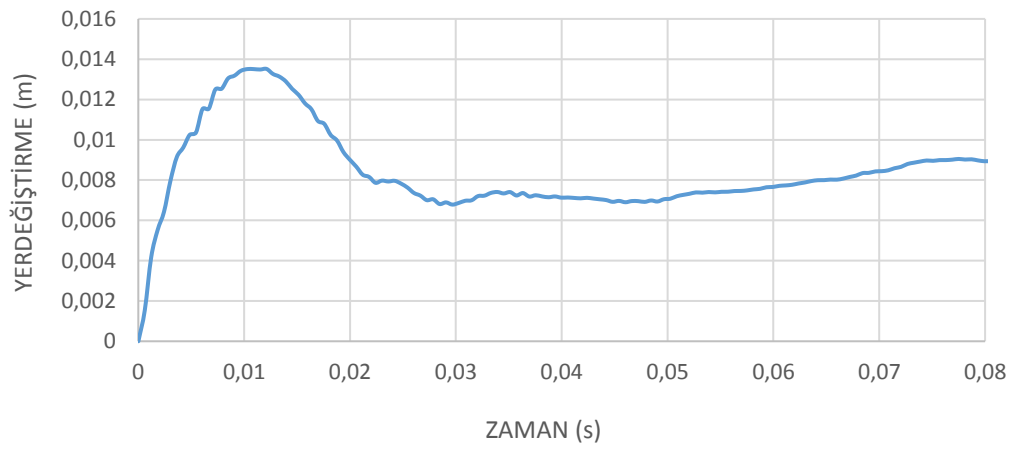
Şekil 3.20. LabVIEW- Veri İşleme programı ara yüz



Şekil 3.21. Deney numunesinin ivme-zaman grafiği



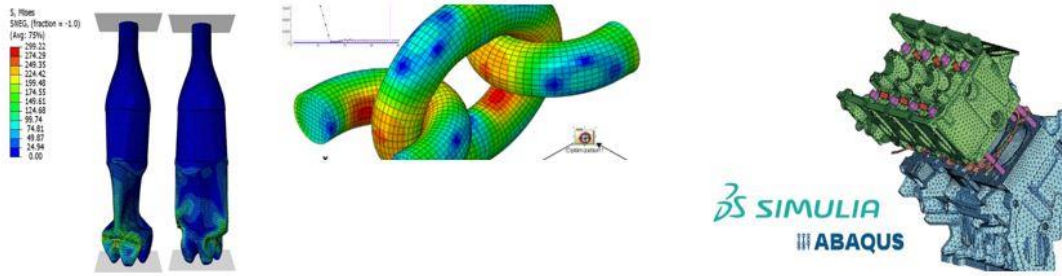
Şekil 3.22. Deney numunesinin hız-zaman grafiği



Şekil 3.23. Deney numunesinin yer değiştirme-zaman grafiği

BÖLÜM 4. SONLU ELEMEN MODELLEMESİ

Sonlu eleman modellemesinde Abaqus sonlu eleman programı kullanılmıştır. Abaqus sonlu eleman programı, birçok mühendislik alanında modelleme yapmak için kullanılan bir bilgisayar programıdır. Malzemenin mekanik ve dinamik özelliklerini kullanarak, cisimlerin çarpışmalarını, farklı kuvvetler altında hareketlerini ve her türlü fiziki olayları gerçekçi bir şekilde simüle edebilmektedir. Ayrıca, akışkanlar mekaniği alanında, akışkan maddeler ve davranışları, sıcaklık aktarımı Abaqus programı ile simüle edilebilmektedir (Şekil 4.1.).



Şekil 4.1. Literatürde Abaqus programı ile modellenmiş eleman görselleri

Abaqus sonlu eleman programı inşaat mühendisliği alanında çok yaygın kullanılmamaktadır. Bunun en önemli sebebi yapının bir bütün olarak analizlerinin çok büyük boyuta sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yüzden sadece özel yapılarının çok özel kısımlarının tasarımlarında veya yapı elemanlarının tek olarak analizlerinde ve akademik çalışmalarda kullanılmaktadır. Ancak Abaqus diğer sonlu eleman modelleme programları ile karşılaştırıldığında, çok daha gerçekçi ve çok daha doğru yanıtlar vermektedir.

4.1. Sonlu Eleman Modellemesi (Abaqus)

Abaqus sonlu eleman programında model oluştururken, Implicit, Explicit, CFD modeller kullanılabilmektedir.

Explicit Model her türlü katı cisimlerin simülasyonlarında kullanılabilmektedir. Bu yönteminde çözüm yaparken düğüm noktalarında rijitlik matrisi kurulmadan çözüm doğrudan yapılmaktadır. Explicit dinamik analiz çözümlerinde, işlem adımları başlangıçta bilinen değerlere bağlı olarak deplasman ve hız değerleri hesaplanmaktadır. Ayrıca Explicit analiz, eylemsizlik kuvveti yüksek olan modellemelerde tercih edilmektedir.

Implicit hesap yönteminde, düğüm noktalarında her zaman aralığı için rijitlik matrisi kurulup, sisteme göre çözüm yapılmaktadır. Yani çözüm adımı, analizin yakınsama derecesine göre belirlenmekte ve çözüm için bir sınır bulunmamaktadır. Bu yüzden doğrusal olmayan denge denklemleri her çözüm adımında tekrar oluşturulmakta ve çözülmektedir. Dolayısı ile katı modellerde hem Implicit hem de Explicit türü hesap yöntemleriyle çözüm yapılabilir.

CFD Model tipi ise daha çok akışkan maddelerin modellenmesi için kullanılmaktadır. Bu çalışmada darbe deney düzeneğini modellenirken Abaqus Standard/Explicit Model tipi kullanılmıştır.

4.2. Malzeme Modelleri Hakkında Genel Bilgiler

Malzeme modeli oluşturulurken malzemenin mekanik özelliklerine ve özellikle gerilme-şekil değiştirme ilişkisine dikkat edilmektedir. Akma dayanımı, yükleme hızı, numune ebatları, kullanılan deney cihazının özellikleri, gibi birçok değişken malzeme davranışına etki ettiği bilinmektedir.

Bu sebeple çelik malzemeyi programa tanımlarken kesin olarak kabul edilebilecek gerilme-şekil değiştirme eğrisi bilinmemektedir. Böyle belirsiz durumu ortadan

kaldırabilmek ve malzeme davranışını temsil edebilmek amacı ile deneylerden faydalanarak, gerilme-şekil değiştirme eğrileri kullanarak ve bazı kabuller yapılarak sonuca ulaşılmaktadır.

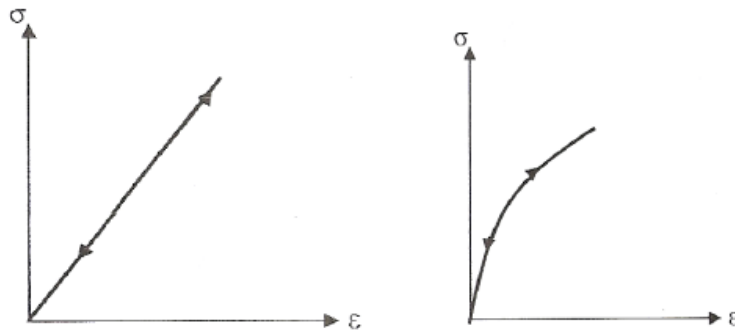
Bu malzeme modelleri aşağıda özetlenmiştir.

4.3. Lineer ve Lineer Olmayan Elastik Malzeme Modeli

Lineer malzeme tanımı, yükleme etkisi altında malzemenin gerilme –şekil değiştirme değerlerinin doğru orantılı bir şekilde değiştiği durumları tanımlamak için kullanılmaktadır. Özellikle şekil değiştirme hızının yüksek olduğu, darbe yüklemeleri, patlamalar, deprem gibi ani yükleme durumlar için kullanılmaktadır.

Lineer olmayan malzemelerde, malzeme elastik özellik göstermektedir. Hooke cismi” gibi gerilme-şekil değiştirme ilişkisi tam anlamıyla doğru orantılı olmamaktadır. Lineer elastik malzeme davranışına benzer olarak bu malzeme modeli de yüksek gerilme- şekil değiştirme hızın olduğu yüklemelerde malzeme davranışını göstermektedir.

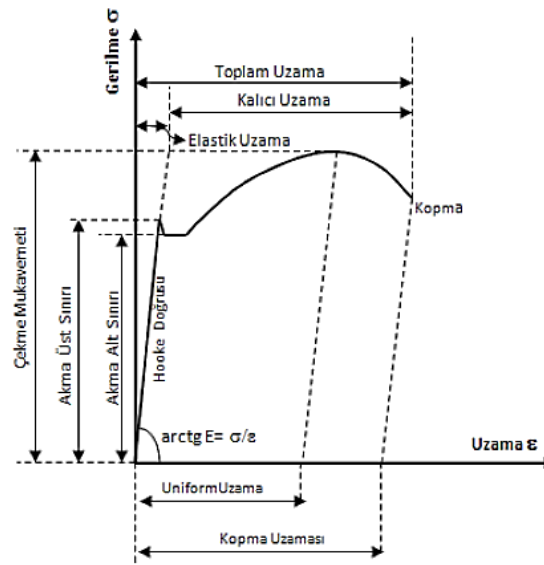
Lineer ve lineer olmayan malzeme modelleri her ikisi de elastik malzeme modeli olduğu için, sırasıyla, Birinci Mertebe Lineer Elastik ve İkinci Mertebe Lineer Elastik model olarak ta tanımlanabilirler (Şekil 4.2.).



Şekil 4.2. Lineer ve lineer olmayan malzeme davranışı

4.4. Çelik Malzeme Modeli

Çelik malzemenin mekanik özellikleri belirlenmesi için bu malzemenin statik eksenel çekme yükü etkisi altındaki davranışını incelenmektedir. Mekanik özellikleri ise elastisite modülü, poisson oranı, akma dayanımı gibi değerlerdir. Yapısal çelik bir malzemenin gerilme-şekil değiştirme eğrisi (Şekil 4.3.) gösterilmiştir.



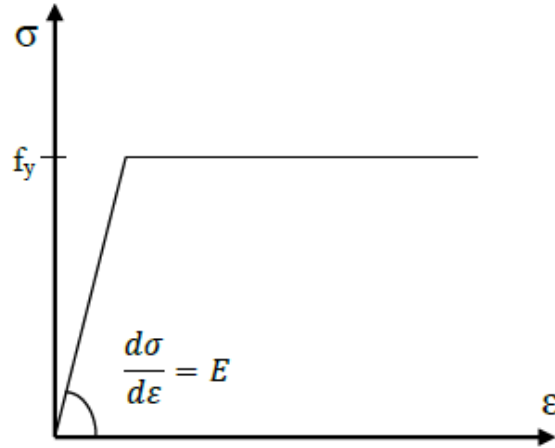
Şekil 4.3. Çeliğin gerilme-şekil değiştirme eğrisi

Modellenmiş olan çelik kiriş malzemesi, ideal elasto-plastik malzeme davranışına göre tanımlanmıştır. İdeal elasto-plastik malzeme gerilme-şekil değiştirme diyagramı:

$$0 < \varepsilon < \varepsilon_e \quad \text{için} \quad \sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$\varepsilon_e < \varepsilon < \infty \quad \text{için} \quad \sigma = f_y$$

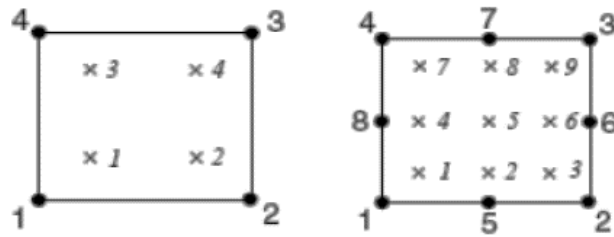
Olacak şekilde iki doğru parçasından oluşmaktadır (Şekil 4.4.). Basınç ve çekme yüklemeleri altında malzemenin aynı davranışı gösterdiği kabul edilmiştir. Burada ε_e elastik birim şekil değiştirmeyi, E elastisite modülünü, f_y ise akma gerilmesi değerini göstermektedir.



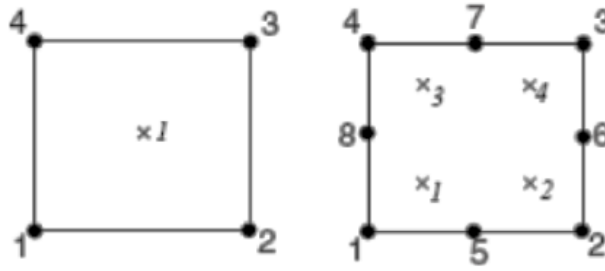
Şekil 4.4. İdeal elasto-plastik malzeme diyagramı

4.5. Sonlu Elamanlar Modeli Eleman Tipleri

Sonlu elemanlar yönteminde kullanılan eleman tipleri düğüm nokta deplasmanını hesaplamak için oldukça önem arz etmektedir. Bu eleman tipleri lineer ya da kuadratik özellikli olarak ABAQUS eleman tipi kütüphanesinden seçilebilir. ABAQUS eleman tiplerinde oluşturulurken rijitlik matrislerinin oluşturulmasında tam ve azaltılmış integrasyon özelliği olan elemanlardan uygun olan seçilebilir (Şekil 4.5.) ve (Şekil 4.6.) Böylece azaltılmış integrasyon elemanları tam integrasyonlu elemanlara göre daha az nokta kullanarak çözüm yapma olanağı sunacaktır.

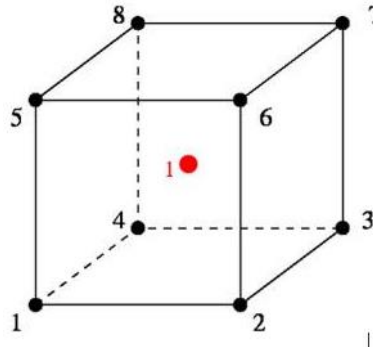


Şekil 4.5. Lineer ve kuadratik eleman integrasyon eleman tipleri



Şekil 4.6. Azaltılmış integrasyonlu lineer ve kuadratik eleman tipleri

ABAQUS'te söz konusu deney sonuçlarını verebilecek en uygun eleman tipi olarak, üç boyutlu sürekli katı (C3D8R) eleman tipi seçilmiştir. C3D8R eleman tipinin köşelerinde 8 düğüm noktası bulunmaktadır. Sonlu eleman modellemesinde her düğüm noktası için rijitlik matrisi yazılmakta ve çözüm sağlanmaktadır. Ancak her düğüm noktası için yazılan rijitlik matrisi çözüm sırasında zaman kaybına sebep olabilmektedir. Bu yüzden elemanı oluşturan sekiz adet düğüm noktası, düğüm noktaları azaltılmış integrasyon yönetimiyle, elemanın orta noktasında bulunan bir adet integrasyon noktasına indirgenmiştir. Çelik kiriş modellemesinde (Şekil 4.7.), C3D8R eleman tipi kullanılmıştır.

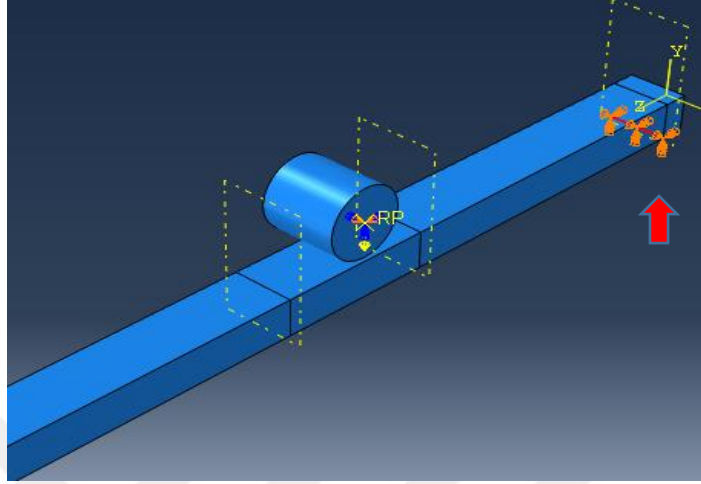


Şekil 4.7. C3D8R eleman tipi

4.6. Geometrik Modelleme ve Sınır Şartları

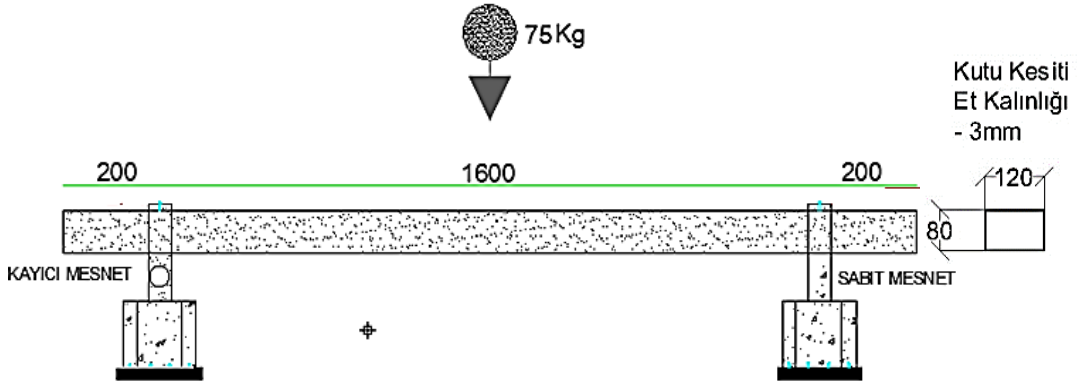
Bilgisayar modeli oluşturulurken yükleme ve sınır şartları deneye uygun olarak model oluşturulmuştur. Kutu profilin sağ mesneti sabit yani 3 öteleme 2 dönme serbestliği tutulmaktadır. Kayıcı mesnet ise kutu profilin sol tarafına yerleştirilmiştir. Kayıcı mesnette 2 öteleme ve 2 dönme serbestliği tutuludur. Düşen yük hücresinin sınır

şartları için bütün dönmeleri ve x, z yönündeki yer değiştirmeleri tutulmuş, y yönündeki hareketi serbest bırakılmıştır (Şekil 4.8., Şekil 4.9.).



Şekil 4.8. Sabit mesnet gösterimi

Çalışma kapsamında, darbe deney düzeneğindeki numune modellenirken, Çelik kutu profil modellenmiş ABAQUS sonlu eleman analiz sonuçları ile deney sonucu karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.9. Deney düzeneğinin şeması

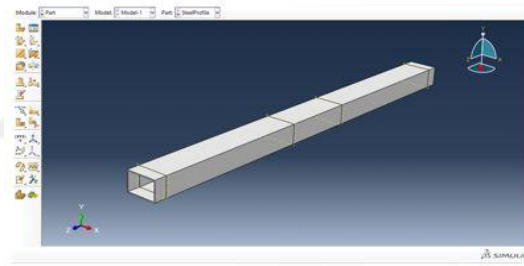
4.7. Abaqus Birim kabulü

Abaqus programında veri girişinde sabit birim olmadığından analiz sonuçları veri girişleri ile aynı birimde olmaktadır. Bu yüzden model oluşturulurken ilk olarak birim

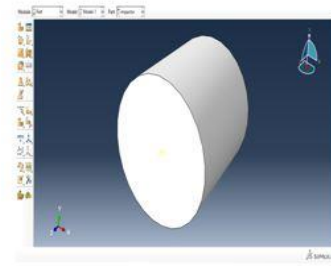
sistemini seçip bütün büyüklüklerini ona göre tanımlamak gerekmektedir. Bu çalışmada seçilen birimler sistemi newton-metre-saniye olarak belirlenmiştir. Bu sisteme göre, kuvvet birimi (newton) olacak. Hızın birimi (m/s) olacak. Gerilmenin birimi da (N/m^2) olacak. Yoğunluğun birimi ise (N/m^3) olarak sisteme girilmiştir.

Abaqus programında model oluşturulurken, öncelikle deneyde bulunan cisimler oluşturulmaktadır. Çalışmamızda bulunan deney numunesi profil, düşen yük hücresi ise çekiç olarak isimlendirilmiştir. Profil büyük şekil-değiştirmelere maruz kalacağı için 3D şekil-değiştirebilen cisim olarak modellenmiştir. Çekiç ise çapı 150mm ve yüksekliği 150mm boyutunda silindir geometriye sahip, katı bir cisim olduğunu varsayarak şekil değiştirmeyen rijit bir cisim kabulüne göre modellenmiştir. Kütle birimi ton olarak girildiğinden 0,22 ton isotropic olarak tanımlanmıştır (Şekil 4.10.).

Deney numunesi (profil)



Düşen yük hücresi (Çekiç)



Şekil 4.10. Deney numunesi ve çekiç yükü sonlu eleman modeli

Profil numunesi modellenirken 4 ayrı bölgeye ayrılmıştır. Bunun amacı, yükün uygulandığı bölgede mesh aralığını sıklaştırarak daha gerçekçi sonuçlar bulurken, mesnet dışındaki bölgeleri mesh aralığına bölmeyerek zamandan tasarruf etmektedir. Ayrıca model oluşturulurken yapılacak olan değişikliklerde kolaylık sağlamaktadır. Bu gibi nedenlerden dolayı profil numunesinin 4 bölgeye ayrılması uygun görülmüştür.

4.8. Çelik Malzeme Modeli (Profil)

Malzeme modellemesi Abaqus/Explicit’de yapılmıştır. Deney numunesinin bir parçası olan çelik profil yer değiştirebilen bir cisim olduğu için, bu cismin özelliklerini

tanımlayan bir malzeme atanması ve tanımlanması gerekmektedir. Bu modelde çeliğin elasto plastik olarak davrandığı kabulü ile malzeme tanımlanmıştır. Çelik malzemesi için önce elastik bölgede bulunan elastik modül, poisson oranı ve yoğunluk tanımlanmaktadır.

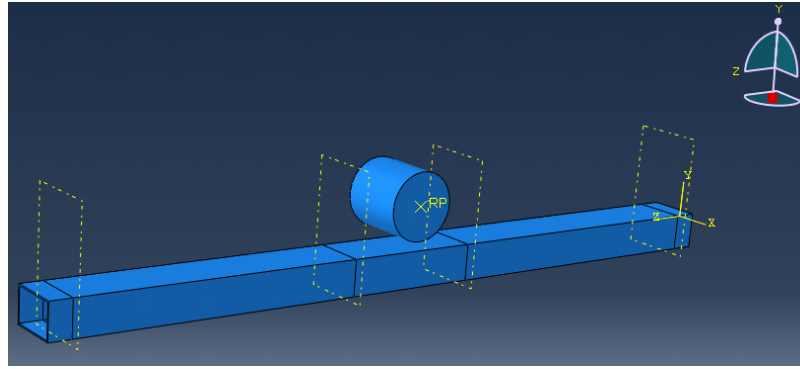
Daha sonra çelik malzemesi için yer değiştiren malzeme özelliği olan plastik davranışı tanımlanmıştır. Bu davranışta izotropik malzeme olan çelik malzemesinin için plastik yer değiştirme ile akma gerilmesi fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Elemanın pekleşme davranışı ihmal edilip plastik davranışı sabit bir doğru olarak davrandığı kabul edilmiştir. Başka bir deyişle, plastik yer değiştirmeler 0'dan daha yüksek olduğunda Abaqus programı gerilmeyi sabit tutacaktır.

4.9. Çelik Malzeme Modeli (Çekiç)

Deney numunelerinden biri olan çekiç modellenirken rijit bir cisim olarak modellenmiştir. Çekiç elemanı tanımlanırken mekanik özellikleri belirli, şekil-değiştirmeyen eleman olarak tanımlanmıştır. Çekicinin deney numunesine belli bir hızla vurmaktadır, bu hızı çekicinin kütlesi ve düşme yüksekliği belirlemektedir. Bu yüzden çekicinin kütlesi, deney numunelerinin diğer parça birimleri ile uyumlu birimde olacak şekilde tanımlanmalıdır.

4.10. Darbe Etkisinin Modellenmesi

Deney malzemesinin mekanik özellikleri tanımlandıktan sonra cisimlerin deney başlangıcındaki konumlarına getirilmesi gerekmektedir. Modelde darbe yükü inceleneceği için, çekicinin başlangıç konumu profilin sadece bir kaç milimetre üstünde olduğu düşünülmektedir (Şekil 4.11.).



Şekil 4.11. Assembly Module’de Profil İle Çekicin Başlangıç Konumları

Model oluşturulurken deney numunesindeki simülasyonun süresi, yani simülasyonun ne kadar süreceği belirlenmelidir. Deney süresi boyunca kuvvetlerin ya da sınır koşullarının ne kadar zaman ve kaç saniye etkili olacakları belirlenmelidir. Darbe kuvveti numune üzerinde kısa sürede darbe kuvveti olarak etkimektedir. Çekicin numuneye vurması yaklaşık 1sn’den az bir sürede gerçekleşmektedir.

Contact; temas türü, modellemede bütün cisimlerin düzlemlerin aynı tip bir temas ile tanımlanmaktadır. Farklı düzlemler arasında farklı sürtünme katsayıları olduğu durumlarda her düzlem çifti için ayrı ayrı temas tanımlanabilir. Ancak darbe kuvveti etkisi altındaki sistemlerde ayrı temas yüzeyleri tanımlanmasına gerek bulunmamaktadır. Ayrıca çekicin numuneye çarpma açısı 90 derece olduğundan, numune üzerinde kayma kuvveti oluşması beklenmemektedir.

Boundary (sınır koşulları) model kurulurken sistemde bulunan kuvvetler ve sınır koşulları tanımlanmalıdır. Düşen yük hücresi yani çekiç yerçekimi kuvveti ile belirli bir hızda kuvvet oluşturmaktadır. Düşen yük, çekicin ağırlık merkezinde ve yerçekimi doğrultusunda, yayılı yük olarak etkidiği kabul edilmiştir. Ancak çekiç numuneye çarparsa bile deforme olmadığı yani rijit cisim kabulü yapıldığından, kuvvet tekil yük olarak da tanımlanabilmektedir. Çekiç yer çekimi doğrultusunda bir kuvvet oluşturacaktır.

Profilin yerleştiği mesnetlerin biri sabit diğeri kayıcı olarak tanımlanmıştır. Sınır şartları belirlenirken U1, U2, UR2 ve UR3 serbestlik dereceleri tutulurken, sadece z doğrultusunda hareket edebilecek ve X doğrultusu etrafına dönebilecek şekilde sınır

durumu oluşturulmuştur. Aynı zamanda düşen yük hücresi içinde sınır değerlerinin belirlenmesi gerekir. Çarpıcı cismin sınır şartları için bütün dönmeleri ve x, z yönündeki yer değiştirmeleri tutulmuş, y yönündeki hareketi ise serbest bırakılmıştır.

Hız: Model çözüm adımları belirlenir iken sonlu eleman programının Step bölümünde başlangıç değerinin girilmesi gerekmektedir. Başlangıç hızı değeri diğer sınır koşullardan farklı olarak tanımlanmaktadır. Darbe etkisinde bulunan çekiç, kuvvetin uygulandığı sürece hızı sabit kalmamaktadır. Hız, yerçekimi doğrultusunda yani y yönünde olacağı için hız V olarak tanımlanmaktadır.

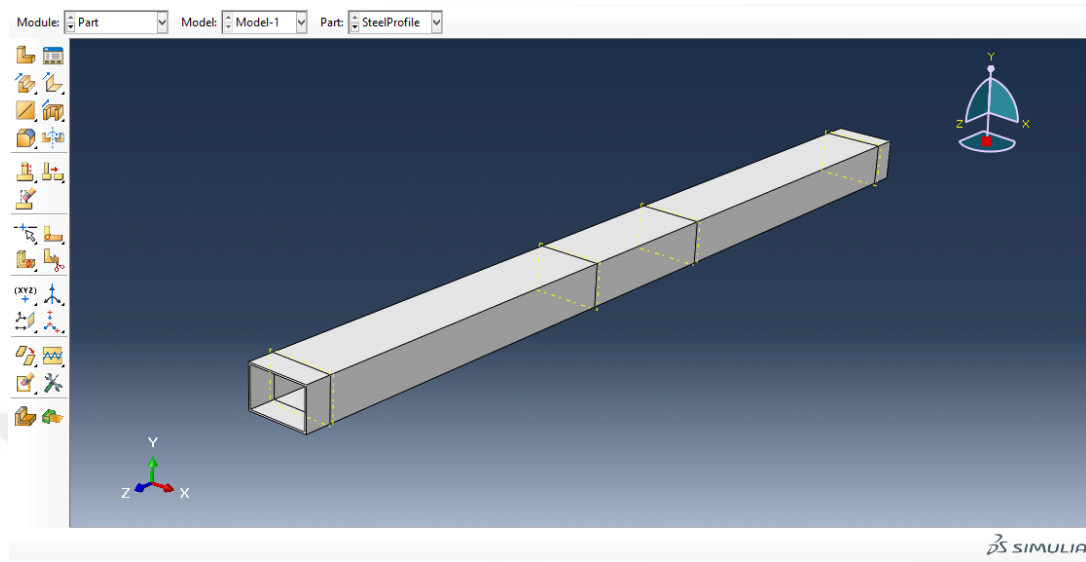
Mesh: *Mesh* aşamasında cisimler, analiz için gerekli sonlu eleman ağına bölünmesi olarak tanımlanmaktadır. Cisimler ne kadar küçük elemanlara bölünürse eleman sayısı o kadar fazla olur aynı zamanda analiz sonuçları da daha gerçekçi olmaktadır. Ancak işlem süresi daha uzun sürmektedir. Bu yüzden sonlu eleman programındaki mesh aralığının doğru olarak seçilmesi gerekmektedir.

Job: Modellemede profilin her noktası için analiz değerleri elde etmek gereksizdir. Modellemede önemli olan noktalarda mesnet aralığının tam ortası ya da mesnet noktası gibi yerlerde yer değiştirme, hız ve ivme grafikleri oluşturulmak istenmektedir. Talep edilen noktalarda gerekli grafikler için 'job' oluşturulmuştur.

4.11. Çelik Kutu Kirişin Modellenmesi

Abaqus programında modelleme yaparken ilk olarak cisimler oluşturulmaktadır. Yapılacak olan darbe deneyi simulasyonu iki cisimden oluşacaktır. Bunlardan biri numune olan (profilden), diğeri yük hücresinden (çekiç) oluşmaktadır. Profil cisminin ve çekicinin boyutları deney kısmında verilmiştir. Model oluşturulurken bu değerler dikkate alınmıştır. Profil cismi büyük şekil-değiştirmelere maruz kalacağı için 3D şekil-değiştirebilen cisim olarak modellenmiştir. Çekiç ise çapı 150mm ve yüksekliği 150mm olan bir silindir şekline sahip, şekil değiştirmeyen rijit cisim olarak modellenmiştir. Profil elemanının malzeme tanımlamasında elastik ve plastik davranışı ayrı ayrı tanımlanmıştır. Elastik malzeme tanımlama kısmında Elastisite

modülü, poisson oranı ve yoğunluğu tanımlanmıştır. Çelik kiriş Şekil 4.12.'de görüldüğü gibi, Tablo 4.1. değerleri kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 4.12. Profil cismi (Steel Profile)

Tablo 4.1. Malzemenin elastik özelliğinin tanımlanması

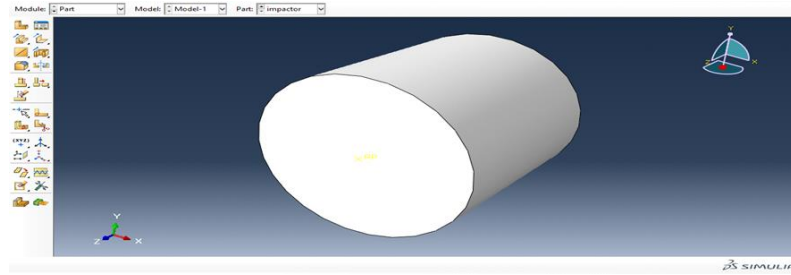
Elastik modül(GPa)	Poisson oranı	Yoğunluk)
210	0.3	7.849E-9

Plastik davranış kısmında ise plastik yer değiştirme ile akma gerilmesi fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Bu modelde çeliğin akma kısmından sonra pekleşme davranışı ihmal edilip plastik fonksiyonu sabit bir doğru olarak tanımlanmıştır.

Numunelerin çelik sınıfı S235 çeliği olduğundan, akma gerilmesi 235 MPa olarak tanımlanmıştır. Malzeme modelimiz ideal elasto-plastik malzeme olarak kabul edilmiştir. Malzemenin kopma gerilmesi değeri girilmiş olsaydı pekleşme bölgesindeki davranışı da tanımlanmış olurdu., Ancak bu modelde plastik davranış basitleştirildiği için sadece akma gerilmesi değeri girilmiştir. 0'dan daha yüksek plastik yer değiştirmeler için Abaqus programı gerilmeyi sabit tutacak şekilde modellenmiştir.

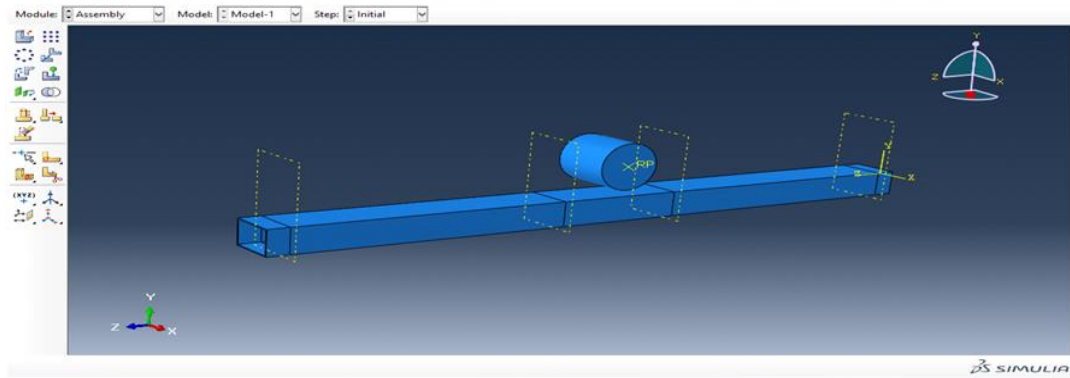
Abaqus programında bir olay simülasyon modeli oluşturulurken ilk başında cisimler oluşturulmaktadır (*Part*). Yapılacak olan darbe deneyi simülasyonu iki cisimden

oluşacak, çarpılacak olan profilden (*SteelProfile*) ve çarpacak olan çarpıcıdan (*impactor*). Profil cisminin şekli ve boyutları giriş kısmında verilmiştir. Çarpıcı cismi çapı 150mm ve yüksekliği 150mm olan bir silindir olarak modellenmiştir (Şekil 4.13.).



Şekil 4.13. Çarpıcı cismi (impactor)

Numunenin üzerine düşen çekiğin numuneye vurduğu andaki hızı profil davranışı üzerinde etkili olmaktadır. Bu yüzden darbe kuvvetinde profilin ve çekiğin konumları önemlidir. Çalışmada kullanılan sonlu eleman modellemesinde çekiç numuneye, numunenin birkaç mm üstünde 0,6 sn etki süresi olacak şekilde Şekil 4.14.'da olduğu gibi tanımlanmıştır.

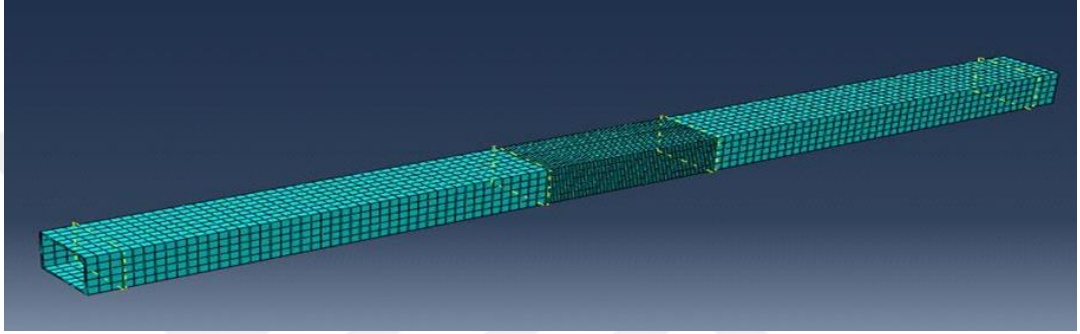


Şekil 4.14. Profil ve çekiğin ilk konumu

Abaqus programı numerik bir analiz yürüttüğü için simülasyon süresini küçük zaman aralıklarına bölüştürmüştür ve bu aralıklarda kuvvetlerin (eylemsizlik, sünme, rijitlik kuvvetleri) lineer bir şekilde değiştiğini varsaymaktadır. Simulasyon ne kadar fazla aralığa bölünürse analiz daha uzun sürer ama sonuçlar gerçeğe daha yakın olmaktadır. Abaqus programı simülasyon süresini belirlenirken deney sonuçları ile yakınsamasına göre belirlenmeye çalışılmıştır. Modellemede yaklaşık 1,500,000 zaman aralığına

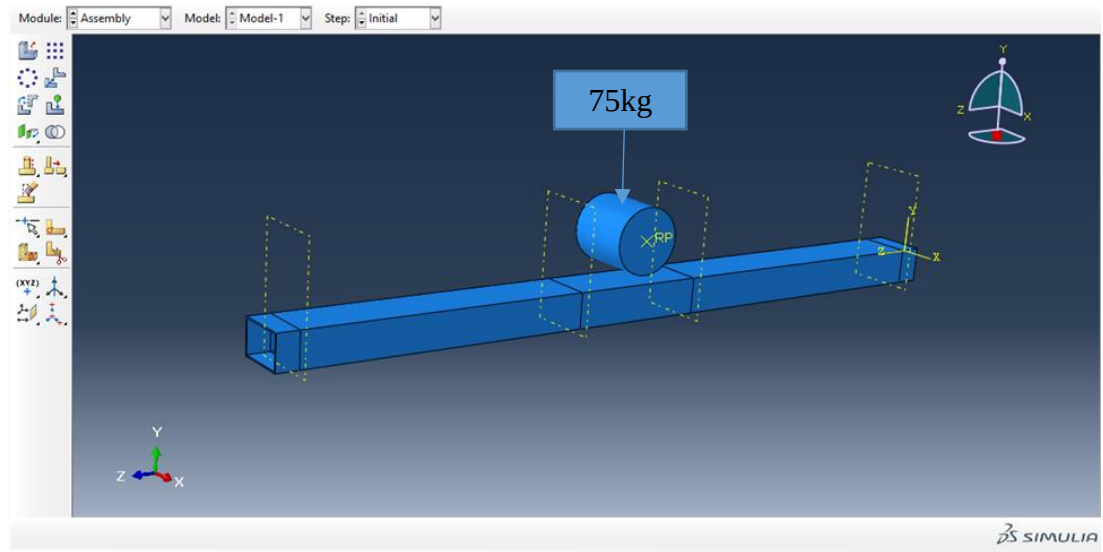
bölünmüştür. Profil ile çekiç arasında sürtünmenin ve sürtünme yüzeyleri arasındaki sınır koşullarının tanımlanması gerekmektedir. Profil ile çekiç aynı malzemeden yapıldığı için aynı sürtünme katsayısı kullanılmıştır.

Çelik malzemesinin deney sonuçları ile daha yakın değerler elde etmek için yükün uygulandığı bölgede sonlu eleman sıklık ağı 10 birim, çekiğin sağ ve sol kısmı 15 birim olacak şekilde sonlu elemanlara bölünmüştür (Şekil 4.15.).



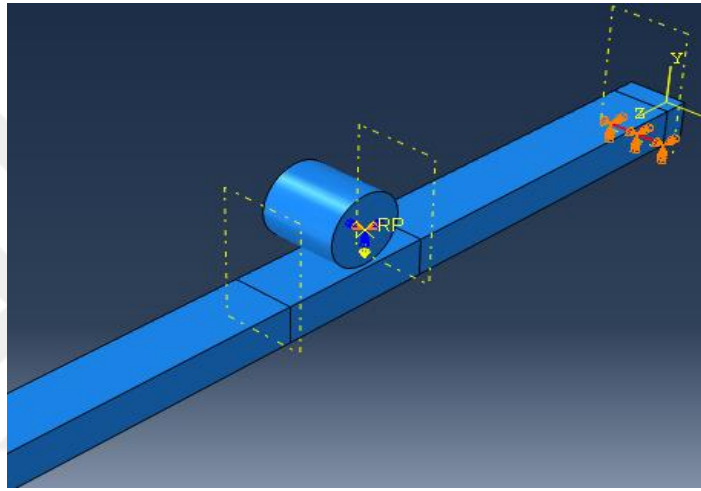
Şekil 4.15. Numunenin Meshlere Ayrılması

Deney numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri tanımlandıktan sonra dinamik özellik olan yük tanımlanmaktadır. Darbe kuvveti yerçekimi doğrultusunda tekil yük olarak tanımlanmaktadır. Yerçekimi etkisi altında olan kuvvetinin büyüklüğü de $75kg * 9.81 \frac{m}{s^2} = 735.75N$ olarak hesap edilmiştir (Şekil 4.16.).



Şekil 4.16. Çelik kiriş yük üzerinde değeri

Profilin mesnetleri tanımlamak için bir mesnet sabit bir mesnet kayıcı olacak şekilde tanımlanmıştır. Sabit mesnet profilin alt başlık düğüm noktalarında 3 öteleme 2 dönme serbestliği tutuludur. Kayıcı olan mesnet 2 öteleme 2 öteleme serbestliği tutulmaktadır. Seçilen noktalardaki kayıcı mesnet Z doğrultusunda hareket edebilecek ve X doğrultusu etrafına dönebilecek şekilde tanımlanmıştır. Seçilen noktalardaki sabit mesnet ise sadece X doğrultusu etrafına dönebilecektir. Ayrıca çarpıcı cisminin sınır koşulları tanımlanması gerekmektedir. Çarpıcı cisminin bütün dönmeleri ve X ve Z yöndeki hareketleri tutuludur, sadece Y yöndeki hareketi serbest bırakılmaktadır.



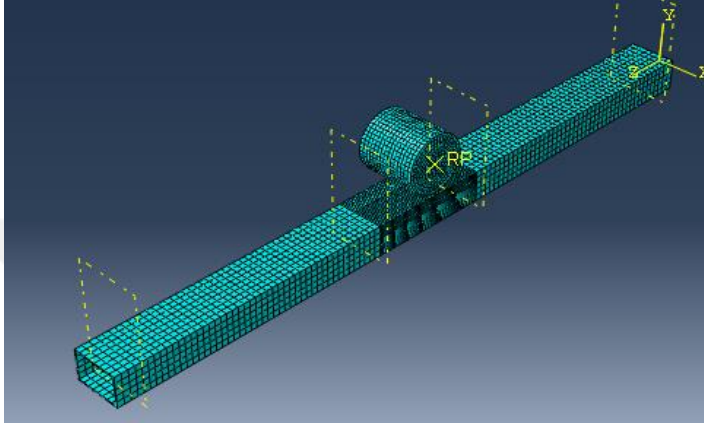
Şekil 4.17. Çelik kiriş mesnet bölgelerinde sınır değerleri

Numunenin üzerinde bulunan çekic cisminin başlangıç hızı tanımlanmıştır. Hız -Y yönünde 90 cm yüksekliğinden V2 yönünde düşen $4.20 \frac{m}{s}$ hızına eşit olacak şekilde belirlenmiştir (Şekil 4.17.).

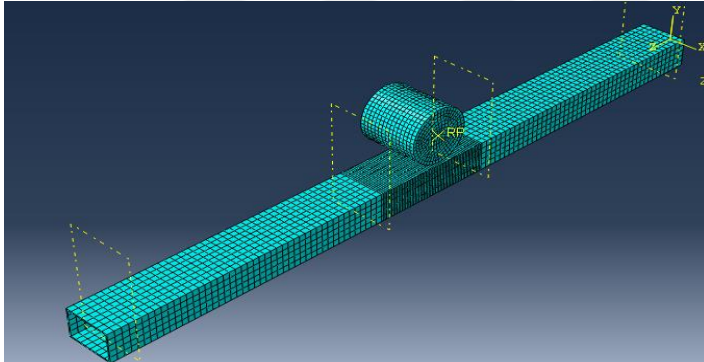
4.12. Sonlu Eleman Sıklığı

Çelik kirişin darbe kuvveti altındaki davranışı incelenirken sonlu eleman sıklığının davranışa etkisini görmek için farklı mesh aralıkları kullanılmıştır. Mesh aralıkları belirlenirken darbe kuvvetinin geldiği kısım daha sık mesh aralığına bölünmüştür. Model oluşturulurken profil cismi üç bölgeye ayrılmıştır. Çekiğin sol ve sağ bölgelerinde sonlu elemanların boyutu 15 birim olacak şekilde bölünmüştür. Çarpışma yüzünden plastik zararı görecektir orta bölgesi ise, 10 birimlik sonlu eleman boyutu ile

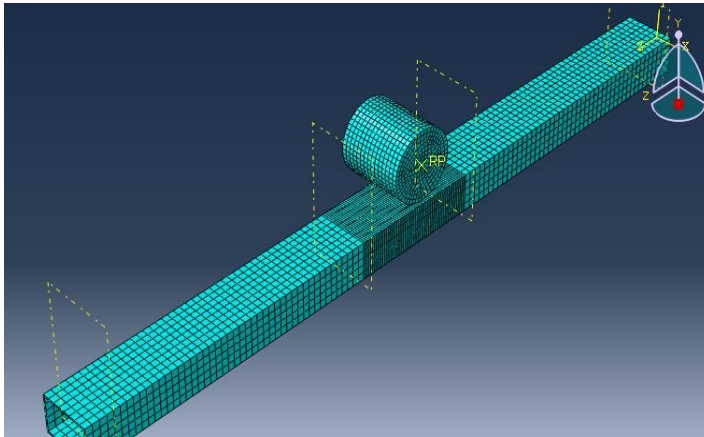
modellenip daha küçük parçalara bölünmüştür. Mesh aralıkları darbe kuvvetinin daha fazla etkili olduğu kısımda 5x5,10x10,15x15 olarak farklı ağ sıklığında yapılmıştır. Deneylere en yakın sonucu veren orta bölge ise 10x10 birimlik, kenar bölgelerde 15x15 birimlik sonlu eleman sıklığı ile sağlanmıştır. Mesh aralıkları bilgisayar kapasitesi ve modelleme hassasiyeti dikkate alınarak belirlenmiştir (Şekil 4.18.).



Mesh aralığı 5*5mm (M5)



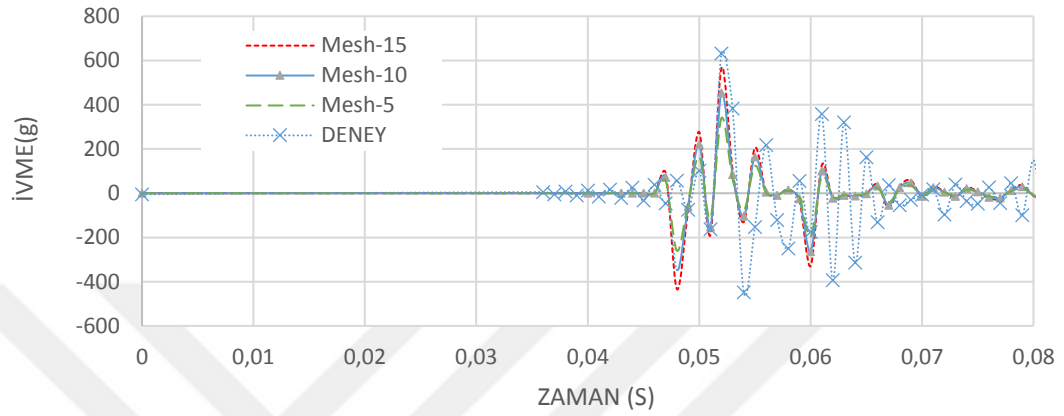
Mesh aralığı 10*10mm (M10)



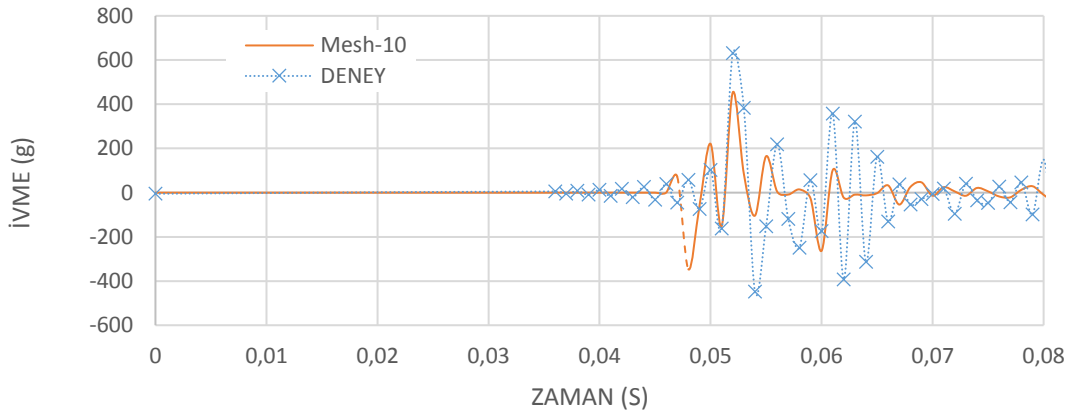
Mesh aralığı 15*15mm (M15)

Şekil 4.18. Sonlu Eleman Ağ Sıklığı

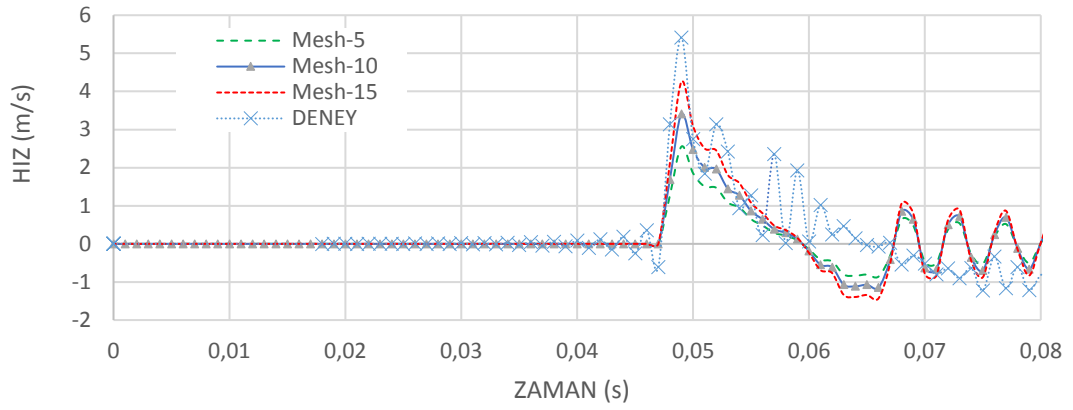
Farklı mesh aralıkları yapılan darbe kuvveti modellemesi ile elde edilen ivme-zaman hız-zaman ve yer değiştirme-zaman grafikleri deney sonucu elde edilen ivme-zaman hız-zaman ve yer değiştirme-zaman grafikleri ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.19., Şekil 4.20., Şekil 4.21., Şekil 4.22., Şekil 4.23., Şekil 4.24.)



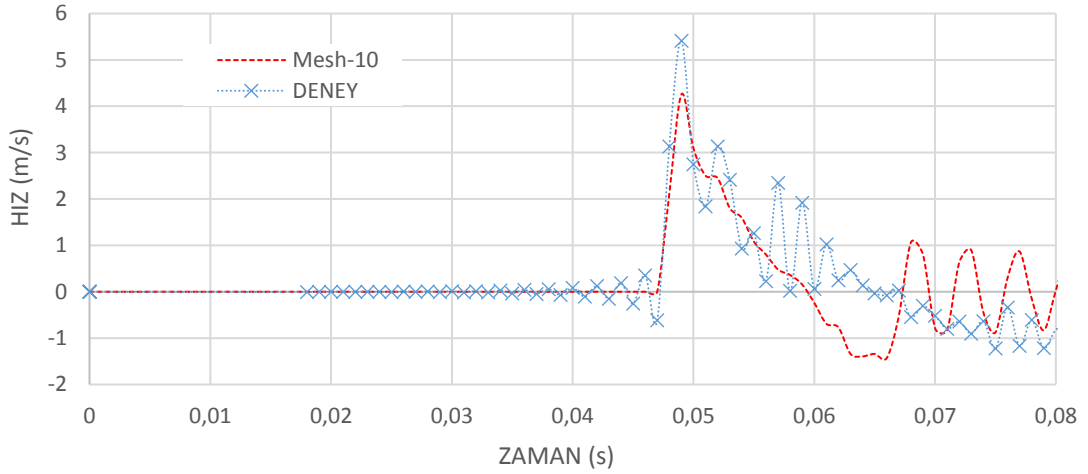
Şekil 4.19. Farklı boyutlardaki sonlu eleman ağ sıklığının ve deney ivme-zaman grafiği



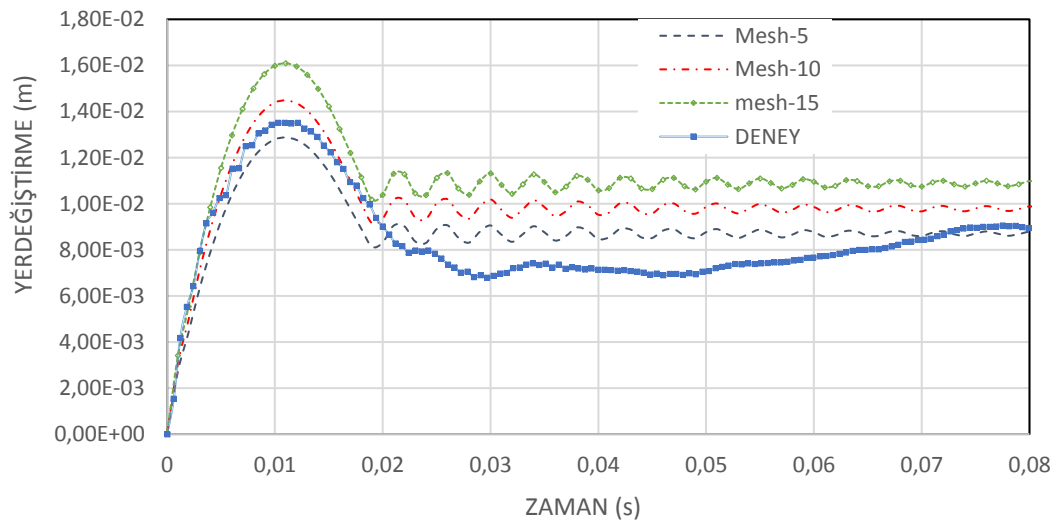
Şekil 4.20. Mesh aralığı 10 sonlu eleman ağ sıklığının ve deney ivme-zaman grafiği



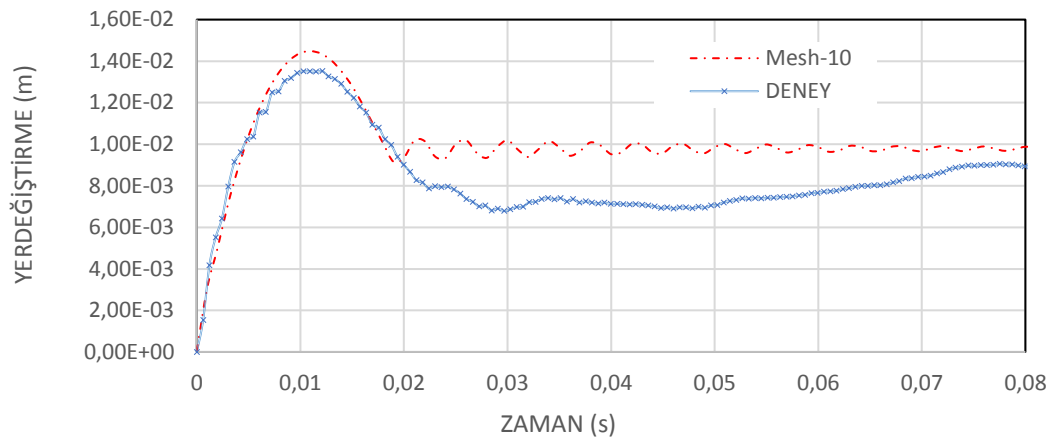
Şekil 4.21. Farklı boyutlardaki sonlu eleman ağ sıklığının ve deney hız-zaman grafiği



Şekil 4.22. Mesh aralığı 10 sonlu eleman ağ sıklığının ve deney hız-zaman grafiği



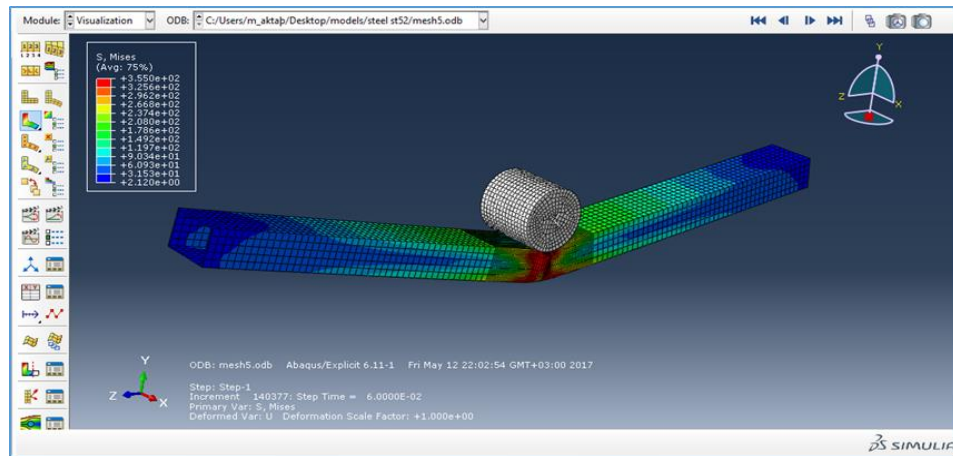
Şekil 4.23. Farklı boyutlardaki sonlu eleman ağ sıklığının ve deney deplasman-zaman grafiği



Şekil 4.24. Mesh aralığı 10 sonlu eleman ağ sıklığının ve deney deplasman-zaman grafiği

Mesh ağ sıklığı en çok deplasman değerlerini etkilenmektedir. Şekil 4.23., Şekil 4.24. da orta bölgesinde *Mesh*'i farklı olan üç tane çelik profilin orta noktalarının yer değiştirme sonuçları gösterilmiştir. Eğrilerin *Mesh* boyutu 5 birim, 10 birim ve 15 birim olan profilin orta noktasının yer değiştirmesini temsil etmektedir.

Üç farklı *Mesh* durumu kıyaslanırsa, sonlu eleman sayısı arttıkça yer değiştirmenin ve plastik hasarının büyüklüğü arttığı fark edilmektedir. Şekil 4.23.'da görülebildiği gibi *Mesh* eleman boyutu 5 birim olan profilinin maksimum yer değiştirmesi 12 mm civarındayken, *Mesh* eleman boyutu 10 birim olan profilin 14mm civarındadır. *Mesh* eleman boyutu 15 birim olan profilin 16mm civarındadır. *Mesh* eleman boyutu profilinin rijitliğini üzerinde etkisi olduğu görülmektedir. *Mesh* eleman boyutu azaltılması ile cisminin rijitliği de azaldığından deplasman artmaktadır (Şekil 4.25.).



Şekil 4.25. Çelik profilinin maksimum yer değiştirme hali

Analizi olduktan sonra çekiç, profili çarptığında profilin akma gerilmesi aşılar ve profil, çekicinin kinetik enerjisi tamamen emilene kadar akmaya devam eder. Çekicinin kinetik enerjisi tamamen emildiğinde profil, elastik olan yer değiştirmesini sıfıra geri getirmeye çalışır ve profil çarpıcısını yukarıya doğru hızlandırmaya başlar. Çekiç geri seker. Bu aşamaya kadar profilin, maksimum yaptığı yer değiştirmesinin bir kısmı elastik olarak düzeltilmektedir. Bir kısmını da plastik olduğu için kalıcı olur. Çekiç sektikten sonra profil sönümlü bir şekilde titremeye devam eder. Bir süre sonra çarpıcı, yerçekim etkisinden dolayı yön değiştirir ve yeniden profile çarpar. Ama bu sefer profil çeliğinin akma gerilmesini aşacak kadar yüksek hızı olmadığı için bu tamamen elastik bir çarpışma olur. Çarpıcı yine seker ve bu hareket, enerjinin visköz sönümü ile tamamen tükenene kadar devam eder.

Bu etken çarpıcının geri sekmelerinde de fark edilebilir. *Mesh* eleman boyutu 15 birim olan modelinin iki sekme arasında geçen süre *Mesh* eleman boyutu 5 birim olan modelindekinden daha uzundur. İki sekme arasında geçen süre çarpıcının geri sekme hızıyla bağlıdır. Sekme hızı daha fazla olursa çarpıcının yerçekim kuvveti etkisinde yön değiştirip profili yeniden çarpması için gereken süre de fazla olur. Daha rijit olarak davranan *Mesh* eleman boyutu 15 olan profil çarpıldığında sekme hızı daha yüksek olduğu için iki sekme arasında geçen süre de daha yüksek olur.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

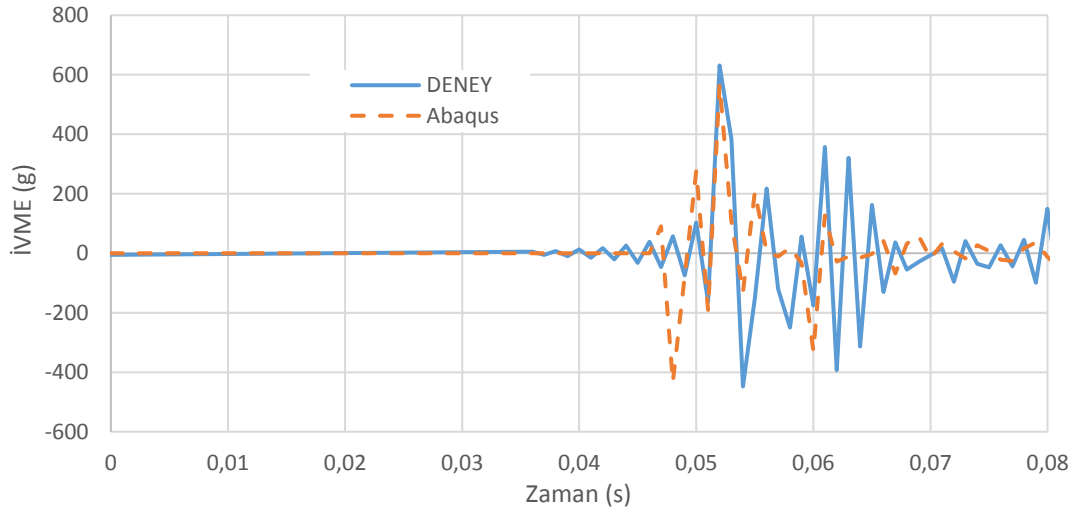
Bu bölümde, sonuçlar kısmında, darbe deneyi sonucunda, çekiç ve numunedeki ivme ölçerlerden alınan ivme kayıtları ve Abaqus sonlu eleman modeli ile analiz sonucu elde edilen ivme kayıtları karşılaştırılmıştır. Her iki ivme kaydının sayısal analizi ile hız-zaman ve konum zaman eğrileri elde edilmiştir. Öneriler kısmında ise bundan sonra bu ve benzeri konularda çalışma yapmayı düşünen mühendisler çalışmalarında yön gösterici konulara değinilmiştir.

5.1. Sonuçlar

Çelik kutu profil darbe deney sonuçları ile sonlu eleman analiz sonuçları grafiksel olarak karşılaştırılıp yorumlanmıştır.

5.1.1. Deney ve sonlu eleman modelindeki ivme değerinin karşılaştırılması

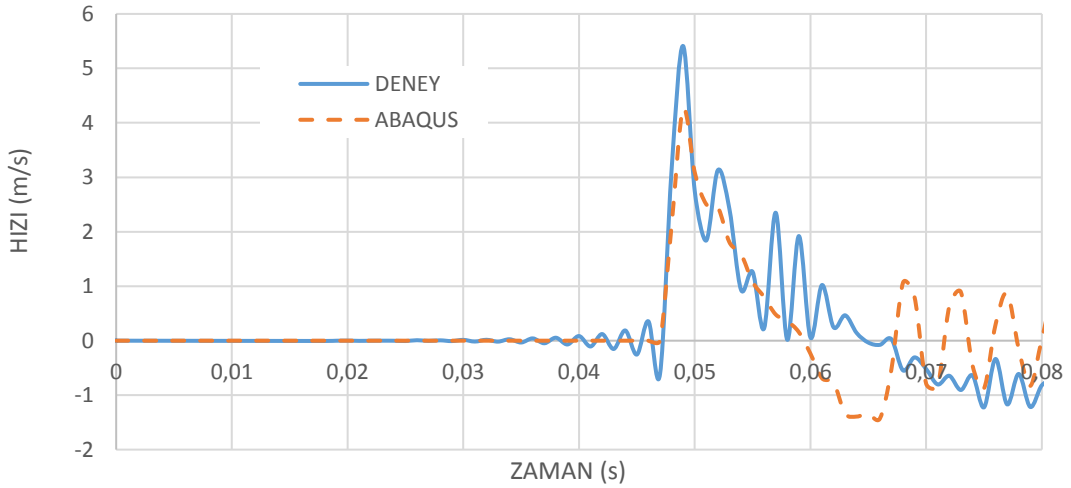
Şekil 5.1.'de çelik kutu profil numunesinin çekiç yükünün vurduğu orta noktasındaki ivme diyagramı görülebilir. Diyagramda görüldüğü gibi en yüksek ivmeler ilk çarpışma sırasında oluşmakta ve çelik profilinin hareketi belli bir zamandan sonra sönümlenmektedir. Bu durum ivme-zaman grafiğine yansıdığı görülmektedir. Deney ve sonlu eleman değerleri arasındaki fark %6,5 oranında olmaktadır, literatür incelendiğinde bu değer oldukça doğru bir yakınsama yaptığı görülmüştür. En yüksek ivme değeri 5950 m/s^2 civarındadır. Bu da çok kısa zaman aralığında yaklaşık olarak 595 g 'lik eylemsizlik kuvvetini oluşturmaktadır.



Şekil 5.1. Çelik profil ve sonlu eleman modelinin ivme-zaman grafiği.

5.1.2. Deney ve sonlu eleman modelindeki hız değerinin karşılaştırılması

Çelik kutu enkesitli profilden gerçek zamanlı olarak alınan ivme kayıtlarını zamana bağlı integrasyonu ile numuneye ait hız zaman grafiği elde edilmiştir (Şekil 5.2.).



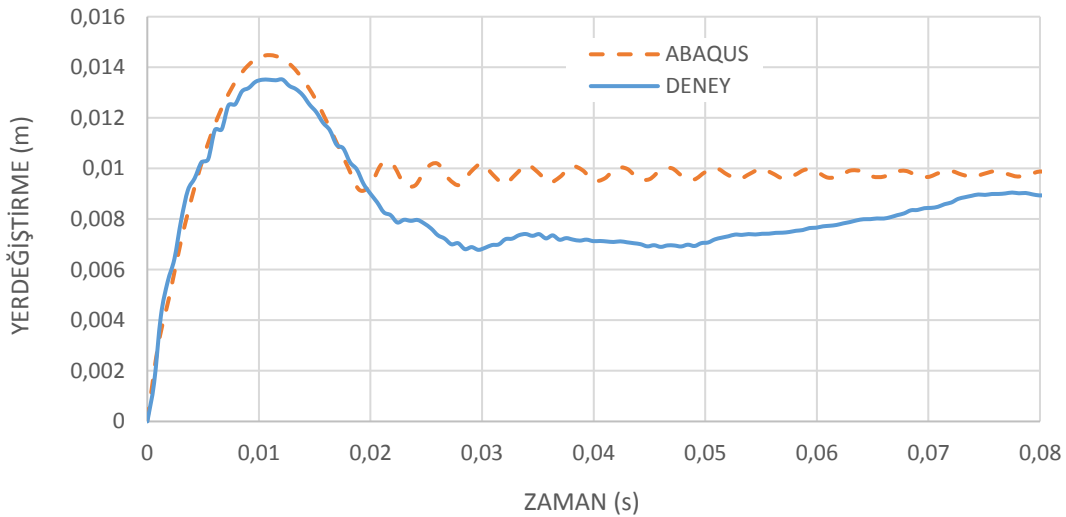
Şekil 5.2. Çelik profil ve sonlu eleman modelinin hız-zaman grafiği

Şekil 5.2.'deki hız-zaman grafiği incelendiğinde, deney ivme verilerinin zamana bağlı integrasyonu ile elde edilen zamana bağlı hız verilerinin, sonlu eleman modelinin analizi ile elde edilen hız verilerinden yaklaşık %12,5 daha yüksek değerler olduğu

görülmüştür. Bu farkın sonlu eleman yöntemindeki kabullerden dolayı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca sonlu eleman yönteminde çekiç yükü, numuneye belli bir yükseklikten çekiç düşürülen bir cisim olarak değil, çarpışma anındaki kinetik ve potansiyel enerjinin eşitliğinde hareketle, numuneye sonsuz yakın noktasından etki eden çekiç hızı olarak düşünülüp tasarlanmıştır. Aradaki farkın bu benzeri sınır kabul şartlarından kaynaklı olacağı aşikar olmakla beraber, literatürden hareketle aradaki bu fark çok büyük bir oran olarak düşünülmemelidir.

5.1.3. Deney ve sonlu eleman modelindeki yer değiştirmenin karşılaştırılması

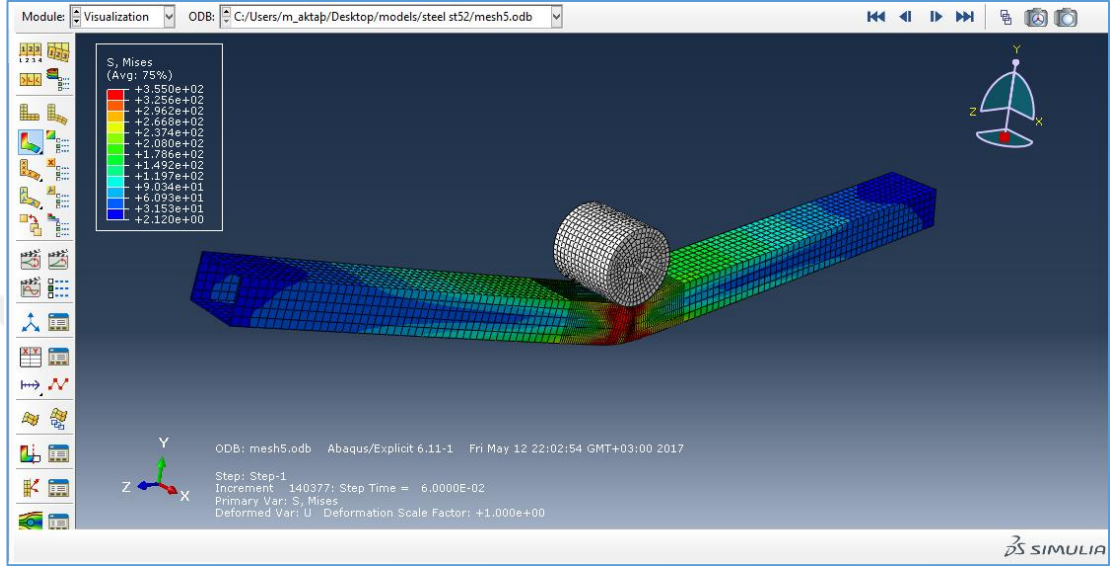
Sayısal analiz yöntemleri ve dinamik kurallardan hareketle İvme-Hız-Konum arasındaki integrasyon ilişkisinden yola çıkarak ivmenin birinci derece integrasyonu ile elde edilen hız verilerinin zamana bağlı birinci derece integrasyonu ile yer değiştirme verileri elde edilmiştir. Çelik profilinin yer değiştirmesi ve elemanda oluşan hasar incelenmiştir (Şekil 5.3.).



Şekil 5.3. Çelik profil ve sonlu eleman modelinin deplasman-zaman grafiği

Şekil 5.3.'de görülebildiği gibi darbe esnasında çelik profilinin basınç bölgesinde plastik şekil değiştirme oluşmaktadır. Basınç bölgesinde deformasyon kalıcı olurken çekme bölgesinde akma oluşmaktadır. Ayrıca yükün uygulandığı bölgede daha fazla gerilmeler oluşmakta mesnet bölgelerine doğru azalmaktadır. Deplasman-zaman

grafiği incelendiğinde, sonlu eleman yönteminin %12 daha büyük olduğu görülmektedir. Bu farkın literatür incelendiğinde çok daha fazla olmadığı görülmüştür. Analizler bitirildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edildi. Şekil 5.4. çelik profilin maksimum yer değiştirme halindeki şekli ve oluşan gerilmeler görülmektedir.



Şekil 5.4. Çelik profilinin maksimum yer değiştirme hali

Bu çalışmada bir yapı elemanı olarak çelik bir kirişin dinamik karakterli darbe yükü etkisi altındaki davranışı ağırlık düşürme yöntemi ile deneysel olarak incelenmiş ve yapı elemanın sonlu eleman modeli oluşturularak deney sonuçları sonlu eleman model analizi ile gerçekleştirilmiştir.

Çalışma numune sayısı arttırılarak aynı deneyin tekrarlanması ile sonlu eleman modeli deney sonuçlarına daha yakınsaklaştırılma çalışmaları ile tekrarlanabilir. Ayrıca numune enkesiti, malzeme türü ve dayanımı ve farklı darbe yükleri ile çalışmanın geliştirilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Barmaki, W., & Anıl, Ö. Çarpışma Yükleme Etkisindeki Betonarme Kolonların Lineer Olmayan Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Analizi. 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-13 Ekim 2017 – Anadolu Üniversitesi – Eskişehir.
- [2] Gültop, T., Yılmaz, M., & Alyavuz, B. (2015). Çarpma Yüğü Altındaki Rijit Plastik Kirişlerin Analitik Olarak İncelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(1).
- [3] Wang, R., Han, L., H., Hou, C., C. (2012)., Behavior of concrete filled steel tubular (CFST) members under lateral impact: Experiment and FEA model. Journal of construction steel research, 80 (01), pp. 188-201.
- [4] Zeinoddinia, M., Parkeb, G., A., R., Hardingb, J., E. (2011), Axially pre-loaded steel tubes subjected to lateral impacts (a numerical simulation). International Journal of Impact Engineering 35 (2008) 1267–1279.
- [5] Deniz, M., E.(2011), Kompozit boruların darbe ve darbe sonrası eksenel bası davranışına deniz suyu etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik ve Mukavemet Bilim Dalı. Doktora Tezi.
- [6] Gücüyen, E., Erdem, R. T., & Kantar, E. Kompozit Boru Kesitlerinin Çarpma Etkisi Altında Deneysel Ve Nümerik Olarak İncelenmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 30(1), 139-149.
- [7] Alam, Md., I., Fawzia, S., Liu, X.(2015), Effect of bond length on the behaviour of CFRP strengthened concrete-filled steel tubes under transverse impact. Composite Structures 132, 898-914.
- [8] Makarem, F. S., & Abed, F. (2013). Nonlinear finite element modeling of dynamic localizations in high strength steel columns under impact. *International Journal of Impact Engineering*, 52, 47-61.
- [9] Liew, J. R., Sohel, K. M. A., & Koh, C. G. (2009). Impact tests on steel–concrete–steel sandwich beams with lightweight concrete core. *Engineering Structures*, 31(9), 2045-2059.
- [10] Wang, H., Yang, B., Zhou, X. H., & Kang, S. B. (2016). Numerical analyses on steel beams with fin-plate connections subjected to impact loads. *Journal of Constructional Steel Research*, 124, 101-112.

- [11] Sabuwala, T., Linzell, D., & Krauthammer, T. (2005). Finite element analysis of steel beam to column connections subjected to blast loads. *International Journal of Impact Engineering*, 31(7), 861-876.
- [12] Abbas, H., Gupta, N. K., & Alam, M. (2004). Nonlinear Response of Concrete Beams and Plates under Impact Loading. *International Journal of Impact Engineering*, 30(8-9), 1039-1053.
- [13] Selvi, M.(2008). Beton Dayanımındaki değişimin çarpma davranışına olan etkisinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [14] Al-Thairy, H., & Wang, Y. C. (2011). A numerical study of the behaviour and failure modes of axially compressed steel columns subjected to transverse impact. *International Journal of Impact Engineering*, 38(8-9), 732-744.
- [15] Yousuf, M., Uy, B., Tao, Z., Remennikov, A., & Liew, J. R. (2013). Transverse impact resistance of hollow and concrete filled stainless steel columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 82, 177-189.
- [16] Kantar, E., Arslan, A., & Anıl, Ö. (2011). Beton Dayanımındaki Değişimin Çarpma Davranışına Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26(1).
- [17] Firouzsalar, S. E., & Showkati, H. (2013). Behavior of pre-compressed tubes subjected to local loads. *Ocean Engineering*, 65, 19-31.
- [18] Zhang, X., Chen, Y., Wan, J., Wang, K., He, K., Chen, X., ... & Jiang, G. (2018). Tests on residual ultimate bearing capacity of square CFST columns after impact. *Journal of Constructional Steel Research*, 147, 27-42.
- [19] Rezaei, S., H., C., Response of Reinforced Concrete Elements to High-Velocity Impact Load, A Dissertation Submitted to the Faculty of Purdue University, 2011.
- [20] Zhi, X. D., Zhang, R., Fan, F., & Huang, C. (2018). Experimental study on axially preloaded circular steel tubes subjected to low-velocity transverse impact. *Thin-Walled Structures*, 130, 161-175.
- [21] Zhang, R., Zhi, X. D., & Fan, F. (2018). Plastic behavior of circular steel tubes subjected to low-velocity transverse impact. *International Journal of Impact Engineering*, 114, 1-19.
- [22] Han, L. H., Li, W., & Bjorhovde, R. (2014). Developments and advanced applications of concrete-filled steel tubular (CFST) structures: Members. *Journal of Constructional Steel Research*, 100, 211-228.
- [23] Bambach, M. R., Jama, H., Zhao, X. L., & Grzebieta, R. H. (2008). Hollow and concrete filled steel hollow sections under transverse impact loads. *Engineering structures*, 30(10), 2859-2870.

- [24] <https://www.pcb.com/products/productfinder.aspx?tx=21>, 10/12/2018.
- [25] <http://www.ni.com/en-tr/shop/select/compactdaq-chassis>, 15/12/2018.
- [26] ABAQUS/Standard User's Manual, Version V6. Hibbitt, Karlson&Sorensen, Inc, Pawtucket, RI, 2018.



ÖZGEÇMİŞ

Mohammad Jamil MASHAL, 01.01.1993'de Afganistan'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Afganistan'da tamamladı. 2012 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde lisans eğitimine başladı. 2016 yılında lisans eğitimini tamamlayarak aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2018 yılından beri Afganistan'da uluslararası bir şirkette proje müdürü olarak mühendislik hizmeti vermeye devam etmektedir.