

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

**FARKLI YÜKSEKLİKLERDEN UYGULANAN
DARBE KUVVETİNİN ÇELİK KİRİŞ ELEMAN
DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bekir Kaan GENÇ

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi ELİF AĞCAKOCA

Temmuz 2019

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI YÜKSEKLİKLERDEN UYGULANAN
DARBE KUVVETİNİN ÇELİK KİRİŞ ELEMAN
DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bekir Kaan GENÇ

Enstitü Anabilim Dalı

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 16.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Dr. Öğretim Üyesi
Zeynep YAMAN
Jüri Başkanı**

**Dr. Öğretim Üyesi
Elif BORU
Üye**

**Dr. Öğretim Üyesi
Elif AĞCAKOCA
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.

Bekir Kaan GENÇ

02.05.2019

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans eğitimim süresince değerli bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, tezimin her aşamasında yanımda bulunan ve tez çalışmamın planlanmasından yazılmasına kadar olan süreçte yardımlarını esirgemeyen; azim, kişilik ve çalışkanlığıyla bana örnek olan değerli, saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Elif AĞCAKOCA ‘ya teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatımın her safhasında olduğu gibi yüksek lisans eğitimim boyunca da yanımda olan, çalışmalarımı destekleyen, moral ve yardımlarını eksik etmeyen değerli aileme, her koşulda yanımda olan dostlarıma en içten dileklerle sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmam Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerini Destekleme Komisyonu tarafından desteklenmiş olup 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. Ayrıca laboratuvar ortamı ve deneysel çalışmalarımın yapılmasına olanak sağlayan Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne anlayışları ve yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunarım

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	iv
TABLolar LİSTESİ.....	vi
ÖZET.....	vii
SUMMARY	viii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	3
BÖLÜM 2.	
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
2.1. Kiriş Elemanları ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	4
2.2. Kolon Elemanları ile İlgili Yapılan Çalışmalar.....	8
2.3. Döşeme Elemanları İle İlgili Yapılan Çalışmalar	9
BÖLÜM 3.	
DENEYSEL ÇALIŞMA	13
3.1. Çeliğin Diğer Yapı Malzemelerine Göre Üstün Özellikleri.....	13
3.2. Çelik Kirişler	14
3.3. Çeliğin Mekanik Özellikleri.....	14
3.4. Tez Çalışmasında Kullanılan Çelik Kiriş ve Tasarımı	18
3.5. Tez Çalışmasında Kullanılan Çelik Kirişin SAP2000 Programında Modellenmesi	18
3.6. Deney Numunelerinin Malzeme ve Enkesit Özellikleri.....	23
3.7. Deney Düzeneğinin Hazırlanması.....	24

3.8. Deney Mesnetlerinin Hazırlanması	25
3.9. Deney Ekipmanları.....	28
3.9.1. İvmeölçerler	28
3.9.2. Data Logger.....	30
3.9.3. Veri kablosu	31
3.9.4. Verilerin bilgisayara aktarılması	32
3.9.5. Seismosignal.....	34
BÖLÜM 4.	
DARBE DENEYİ	35
4.1. 200 mm Yükseklikten Uygulanan Darbe Deneyi	35
BÖLÜM 5.	
SONUÇ VE ÖNERİLER	46
5.1. Sonuçlar.....	46
5.2. Öneriler.....	48
KAYNAKLAR	49
ÖZGEÇMİŞ	51

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Kupon Numune Boyutları.....	15
Şekil 3.2. Çekme deneyine ait görüntüler	15
Şekil 3.3. Kupon numunelerine ait gerilme–birim şekil değiştirme grafiği.....	16
Şekil 3.4. Kupon numunelerinin deney öncesi ve sonrası resimleri	16
Şekil 3.5. Deneysel çalışmada kullanılan kutu profil tasarımı.....	18
Şekil 3.6. SAP2000 de oluşturulacak modelin aks sistemi	19
Şekil 3.7. Çelik kirişin malzeme özelliklerinin tanıtılması	20
Şekil 3.8. Kesit ve mesnet tanımı.....	21
Şekil 3.9. Mass source kütle tanımı	22
Şekil 3.10. Modal analiz frekans değerleri.....	23
Şekil 3.11. Darbe deney düzeneği.....	25
Şekil 3.12. Darbe deneyi mesnet düzeneği	26
Şekil 3.13. Sabit ve hareketli mesnet	27
Şekil 3.14. İvmeölçer	29
Şekil 3.15. Deney düzeneğindeki çekişte bulunan ivmeölçer.....	29
Şekil 3.16. Deney düzeneğindeki numunede bulunan ivmeölçer	30
Şekil 3.17. Data logger.....	31
Şekil 3.18. Çekiç İvme Ölçerini Veri Alma Ünitesine Bağlayan Kablo.....	31
Şekil 3.19. Numune İvme Ölçerini Veri Alma Ünitesine Bağlayan Kablo	32
Şekil 3.20. LabVIEW Veri Alma Algoritması.....	32
Şekil 3.21. LabVIEW veri alma algoritmasına ait ara yüz	33
Şekil 3.22. LabVIEW Yazılımı Veri İşleme Algoritması	33
Şekil 4.1. 200 mm yüksekliğe ait darbe deneyi düzeneği.....	36
Şekil 4.2. 200 mm yükseklikteki darbe deneyi öncesi(a) ve deney sonrası(b)	37
Şekil 4.3. 200 mm yüksekliğinden çekicinin numunede oluşturduğu ait ivme-zaman grafiği.....	38

Şekil 4.4. 200 mm yüksekliğinden atılan çekicinin numunede oluşturduğu hız- zaman grafiği.....	39
Şekil 4.5. 200 mm yüksekliğinden atılan çekicinin numunede oluşturduğu ait deplasman-zaman grafiği	39
Şekil 4.6. 200 mm yüksekliğinden çekicinin Sabit mesnette oluşturduğu kuvvet- zaman grafiği.....	40
Şekil 4.7. 200 mm yüksekliğinden atılan çekicinin hareketli mesnette oluşturduğu kuvvet-zaman grafiği	40
Şekil 4.8. 2000 mm yükseklikten uygulanan darbe deneyi düzeneği	41
Şekil 4.9. 2000 mm yükseklikten uygulanan darbe deneyi öncesi(a) ve sonrası(b)	42
Şekil 4.10. 2000 mm yüksekliğinden uygulanan darbenin numunede oluşturduğu ivme-zaman grafiği	43
Şekil 4.11. 2000 mm yüksekliğinden uygulanan darbenin numunede oluşturduğu hız-zaman grafiği	43
Şekil 4.12. 2000 mm yüksekliğinden uygulanan darbenin numunede oluşturduğu deplasman-zaman grafiği	44
Şekil 4.13. 2000 mm yüksekliğinden atılan çekicinin sabit mesnette oluşturduğu kuvvet-zaman grafiği	44
Şekil 4.14. 2000 mm yüksekliğinden atılan çekicinin hareketli mesnette oluşturduğu kuvvet-zaman grafiği	45

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Deney Numune boyutları.....	24
--	----



ÖZET

Anahtar kelimeler: Çelik kiriş, darbe yükü, farklı yükseklik

Çelik ve betonarme yapılar, statik yüklerin etkisine maruz kalmalarının yanı sıra dinamik yüklere de maruz kalabilmektedir. Yapının taşıyıcı elemanları üzerindeki sabit ve durağan yükler statik yük; zamanla değişen ya da bir anda ortaya çıkan yükler ise dinamik yük olarak adlandırılmaktadır. Yapı taşıyıcı elemanları statik yük altında dengede iken, bir ivmeye sahip başka bir nesne tarafından dinamik yüklemeye maruz kaldığında aniden göçme durumuna oluşabilmektedir. Yapıyı göçme durumuna getiren bu yük dinamik bir yük olan darbe yüküdür. Nesneler darbe kuvvetinin etkisiyle temas kurdukları zaman, çarpışan elemanlar üzerinde gerilme değişimleri oluşmaktadır. Gerilme değişimleri sebebiyle elemanlar üzerinde deformasyonlar meydana gelebilmektedir ve bu deformasyonlar çok kısa bir sürede oluşmaktadır.

Yapı elemanları için şekil değiştirme yatkınlığı olarak ifade edilen süneklik, eleman davranışı için önemli bir özellik olmaktadır. Süneklik eğrisinin altında kalan alan ise elemanda meydana gelecek enerji sönmüleme kapasitesini yani diğer bir deyişle tokluğunu ifade etmektedir. Elemanlarda oluşan dinamik ve statik yükler birbirinden farklı olduğundan şekil değiştirme kapasiteleri, buna bağlı olarak toklukları birbirinden farklı olacaktır. Elemanlarda dinamik yüklerin sebep olduğu tokluğu ölçebilmek için birçok yöntem kullanılmaktadır ve bu yöntemlerden bir tanesi belirli bir yükseklikten ağırlık düşürme yöntemidir. Yapılan bu çalışmada yapı taşıyıcı elemanından biri olan kirişin darbe yükü etkisi altındaki davranışı ağırlık düşürme yöntemi ile deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada aynı kesitlere sahip çelik kutu profile farklı yüksekliklerden aynı ağırlıktaki çekiç ile darbe kuvveti uygulanmıştır.

THE EFFECT OF IMPACT FORCE OF DIFFERENT HEIGHTS ON STEEL BEAM ELEMENT BEHAVIOR

SUMMARY

Keywords: Steel beam, impact load, different height

Steel and reinforced concrete structures can be exposed to dynamic loads as well as being subject to the effects of static loads. Static loads; loads that change over time or occur suddenly are called dynamic loads. The structural carrier elements can break suddenly when subjected to dynamic loading by another object having an acceleration under static load. Stress changes occur on colliding elements when the objects come into contact with the impact force. Deformations can occur on the elements due to stress changes and these deformations occur in a very short time.

Ductility, expressed as the deformation tendency for structural elements, is an important feature for element behavior. The area under the ductility curve is the energy damping capacity that will occur in the element, in other words its toughness. As the dynamic and static loads formed in the elements are different from each other, their deformation capacities and their toughness will be different from each other. Many methods are used to measure the toughness caused by dynamic loads, one of which is a weight reduction method from a certain height. In this study, the behavior of the beam which is one of the structural carrier elements under the impact load is investigated experimentally by weight reduction method. In this study, impact force was applied with the same weight hammer at different heights from steel box profile having the same cross section.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Çelik malzemesi, günümüzde özellikle çok katlı yapılarda tercih edilen bir yapı malzemesidir. Çelik bir yapının avantajları arasında, yapının betonarme bir yapıya göre daha hafif olması, inşa safhasında çevre koşullarından etkilenmemesi, hızlı ve ekonomik olması sayılabilir. İnşa edilen yapı ayakta kaldığı süre boyunca statik ve dinamik etkilere maruz kalmaktadır. Statik etki olarak akla gelen ilk örnek yapının kendi ağırlığıyken, dinamik etki olarak akla gelen ilk örnek ise deprem yüküdür. İnsan, araç, kar ve yapı yükleri statik yük olarak tanımlanırken; deprem yada yapıya bir aracın çarpması ise zamanla değişen bir yük olduğu için dinamik yük olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca yapı kullanım amacına göre farklı dinamik etkilere maruz kalabilmektedir. Bu dinamik etkiler geminin iskeleye çarpması yada askeri bir yapıya terörist bir saldırının yapılması olarak karşımıza çıkmaktadır. Darbe kuvveti zamanın bir fonksiyonu olarak geliştiği için yapıya yada elemana dinamik bir kuvvet olarak uygulanmaktadır. Bu yüklemde altında bulunan yapının davranışında, statik hesaplamalar önemli olduğu gibi, malzemenin mekanik özellikleri de önemli olmaktadır.

Mühendislik alanlarındaki ilerlemeler, kullanılan malzemelerin özelliklerine göre gelişim göstermektedir. Bu sebeple bir yapı inşası sırasında kullanılan malzemelerin özelliklerinin iyi bilinmesi, oluşabilecek her türlü afetlerde can ve mal kaybını önlemek adına büyük bir önem arz etmektedir. Malzemelerin mekanik özellikleri doğru bir şekilde belirlendiğinde, yapının karşılaşılabileceği yükleme durumlarında, doğru yapısal davranışı gösterebilmektedir.

Yapısal çelik; demirin karbon, manganez, vanadyum, alüminyum, bor, krom, silisyum, nikel, molibden, bakır vb. gibi birçok element ile bir araya gelerek oluşturduğu bir alaşımdır [1]. Çelik malzemesinin sınıfı, bünyesinde bulunan katkı maddelerinin

çeşitleri ve oranlarına göre belirlenmektedir. Çok geniş kullanım alanına sahip bulunan çelik; sanayi tesisleri, fabrikalar, uçak hangarları gibi geniş alanlı yapılarda kullanılabildiği gibi boru hatları, gökdelenler gibi çok uzun yapılarda da uzun yıllardan beri, yaygın olarak kullanılabilmektedir. Aynı zamanda çelik, hava şartlarından etkilenmemesi, montajının hızlı ve ekonomik olması, geri dönüştürülebilir olması, daha estetik ve uzun ömürlü olması gibi sebeplerle de yapılarda yaygın olarak kullanılabilmektedir.

Bu tezin konusunu oluşturan darbe etkisi hareketli, bir cismin yapıya aniden çarpması sırasında, yapıda oluşturduğu anlık etki olarak açıklanabilir. Bu yük binaya statik olarak uygulandığında binanın taşıyabileceği büyüklükte bir yük olsa dahi yapıya belli bir hızda temas ettiği için yapıda bulunan elemanlarda lokal bozukluklara, göçmelere, aynı zamanda can ve mal kaybına da sebep olabilmektedir.

Günümüzde darbe etkisinin oluşturduğu hasarı, deprem ve heyelan gibi doğal afetler ve kazalar sonucunda görebilmekteyiz. Bu yüzden can ve mal kaybına engel olmak ya da bu kayıpları en aza indirmek için, yapı elemanlarının darbe etkisindeki davranışı büyük bir önem arz etmektedir.

Darbe kuvveti etkisine örnek olarak, dağların eteklerinde bulunan tünel, yol gibi yapılara dağların yamaçlarından düşen kayaların çarpması verilebilir. Ayrıca, darbe etkisi doğal afetler dışında insan kontrolündeki araçlarla da oluşabilmektedir. Buna çelik bir köprünün ayağına veya denizlerde bulunan petrol platformlarına geminin çarpması, gündelik hayatta kullandığımız trafik araçlarının yapılara ya da yol kenarında bulunan korkuluklara çarpması örnek verilebilir. Bunların dışında yapılarda bulunan kalorifer kazanları ya da üretim tesislerinde bulunan doğalgaz depoları ve askeri alanlarda oluşan patlamalar da darbe yükü olarak yapıya etkimektedir.

Bu olumsuzluklar göz önüne alındığında, herhangi bir yapı tasarlanıyorsa bu yapıya gelebilecek yüklerin meydana getirebileceği riskler dikkate alınmalı ve tasarımlar can kaybını önleyebilecek veya en aza indirecek şekilde yapılmalıdır.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Mühendislik uygulamalarında, dışarıdan gelecek herhangi bir darbeye karşı beklenmedik sonuçların ortaya çıkmaması için, yapının gerekli en uygun cevabı veya davranışı verebilmesi istenmektedir. Literatür çalışmalarında görüldüğü gibi çelik veya betonarme elemanların darbe etkisi altında nasıl bir davranış göstereceği araştırılmak istenmiştir.

Darbe etkisindeki yapı elemanlarının davranışını inceleyerek sonuçlarını tespit etmek ve tasarım aşamasında, elde edilen bilgiler ışığında modelleme yapmak can ve mal güvenliğinin korunmasında etkili olmaktadır. Ülkemizin büyük bir kısmının deprem bölgesinde yer alması, yapılarda meydana gelebilecek darbe etkisinin bilinmesinin ne kadar önemli olduğunu göstereceği gibi, son yıllarda yaşanan terör saldırıları, trafikte yer alan araçların yapılara çarpması sonucu oluşturduğu etkiler, maden patlamaları, deniz taşıtlarının köprü ayaklarına çarpmaları gibi günlük hayatta karşılaşılabilecek olaylar darbe etkisinin araştırılmasının önemini göstermektedir.

Yapılan çalışmanın temel amacı, darbe etkisi altındaki çelik kiriş elemanın nasıl bir reaksiyon göstereceğini incelemek ve darbe etkisinin çelik kirişte oluşturduğu deformasyonları araştırmaktır. Yapının kullanım ömrü boyunca maruz kalabileceği yüklerden olan darbe etkisi, yapı güvenliği için dikkate alınması gerekmektedir. Bu yüzden yapı elemanlarının darbe yükü etkisi altında nasıl davranış gösterdiği statik açıdan dolayısı ile can güvenliği açısından önemli olmaktadır. Yapılan çalışmadan elde edilecek sonuçların, ülkemizdeki darbe etkisine maruz kalacak yapılar hakkındaki yönetmeliğe ışık tutması, ayrıca bu konuda yapılacak çalışmalara yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

BÖLÜM 2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Bu bölümde yapının taşıyıcı elamanları ve bu taşıyıcı elemanlara uygulanan darbe yükünün kolon, kiriş ve döşemeler üzerine etkisi ile ilgili literatür çalışmaları incelenmiştir.

2.1. Kiriş Elemanları ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Erkan Kantar; CFRP şeritlerle aynı şekilde güçlendirdiği, 5 tanesi normal 5 tanesi yüksek dayanımlı betondan üretilmiş, dikdörtgen en kesitli 10 tane kiriş numune kullanmıştır. 550mm'den 750mm'ye kadar her 50mm'de bir sabit ağırlıktaki çekici normal ve yüksek dayanımlı beton kiriş serilerine ayrı ayrı beşer kere düşürerek deneyler yapmıştır. Darbe deneylerini yaparken; betonun basınç mukavemeti ile çekiç düşme yüksekliği arasındaki ilişkiyi incelemek için CFRP şerit genişliği ve uzunluğunu sabit tutarak deney elemanlarından, aldığı ivme değerleri sayesinde bu elemanların hız, deplasman, enerji kapasitelerini bulmuştur. Daha sonra yapılan darbe deneyleri Abaqus programı vasıtasıyla incelenmiş ve deneylerin simülasyonu oluşturulmuştur [2].

Khaled Marar, Özgür Eren ve Tahir Çelik; ağırlık düşürücü deney düzeneğini kullanarak yüksek mukavemetli çelik elyaf takviyeli betonun, basınç etkisi altında kırılana kadar absorbe ettiği enerji ile darbe mukavemeti arasındaki bağlantıyı araştırmak için basınç ve darbe testleri yapmışlardır. Basınç deneyleri uzunluk/çap oranları 60, 75 ve 83 olan, beton hacminin 0,5%, 1,0%, 1,5% ve 2,0% oranında hacme sahip kanca uçlu, silindir numunelere yapılmış ve gerilme-birim deformasyon grafiği elde edilmiştir. Grafiğin yorumlanmasıyla betona çelik elyaf eklenmesinin darbe mukavemeti ile kırılana kadar absorbe ettiği enerjiyi artırdığı görülmüştür. Daha sonra 28 gün bekletilmiş, su/çimento oranı %31 olan 60mm uzunluğunda ve 150mm

apındaki silindir numunelere 13,5 kg'lık çekicinin 300mm yükseklikten düşürülmesiyle darbe deneyleri gerçekleştirilmiştir. Darbe deneyleri sonucunda ise uzunluk/çap oranı arttıkça basınç tokluğu ve darbe mukavemetinin arttığı grlmştir [3].

Barr B. ve Baghli A. alışmalarında kullanmak üzere 500x100x100 mm ebatlarındaki numunelerden 27 adet, 250x100x100 mm ebatlarındaki numunelerden 18 adet olacak şekilde iki adet deney serisi hazırlamışlardır. İlk serideki numunelerde mesnet açıklığı 400 mm tutulurken ikinci serideki numunelerde bu açıklık 200 mm tutulmuş ve numuneler üzerine derinlikleri 20,40 ve 60 mm olan çentikler açmışlardır. Hazırlanan tüm numunelerin kırılmadan dayanabileceği maksimum darbe sayısını bulabilmek için ağırlık düşürücü deney düzeneği tasarlamışlardır. Deneyde; numune geometrisi, çentik derinliği, elik lif içeriği, düşürülen çekicinin kütlesi ve çekicinin düşürüldüğü yükseklik parametrelerini araştırmak üzere kütleleri 1, 2 ve 4 kg olan üç farklı çekici, 0,5-1 ve 2 m yükseklikten numunelerin üzerine düşürmüşlerdir. Deneyler sonucunda düşürülen eki ağırlığı arttıkça hata oranının azaldığı gözlemlenmiştir [4].

Barr ve Bouamrata; lifle güçlendirilmiş beton numunelerin darbeye karşı dirençlerini bulabilmek için çalışmalarında, farklı yükseklikler etkisi ile farklı enerjiler oluşturarak deney elamanının göçmesine sebep olacak düşüş sayısına odaklanmışlardır. alışmalar, ACI 544 (American Concrete Institute)'te belirtilen özelliklere göre seçilmiş; 4,5 kg kütleli elik top ve eni 63,4 mm, çapı 152 mm olan elemanlar kullanılarak, 457 mm düşme yüksekliğinde yapılmıştır. Deneylerde kullanılan elemanların su/imento oranı 0,5 iken imento(Portland imentosu):kum: agrega oranları sırasıyla 1: 1,8: 2,8'dir. Ayrıca numuneler hacimlerinin yüzde 0,25, 0,5, 0,75 ve 1 oranlarında güçlendirici lif içermektedir. Hazırlanan her karışımdan 500x100x100 mm boyutlarında standart kirişler ve 100 mm boyutlu kontrol küpleri hazırlanıp kr tanklarında bekletilmiş; 21. gün boyutları 10,20 ve 30 mm olan çentikler atılmış, toplamda 28 gün bekletilmişlerdir. Son olarak 1 ile 4 kg arasında değişen kütleler, 0,5 ve 1 m yükseklikten çentikli elemanlar üzerine düşürülerek deney tamamlanmıştır [5].

Erki M.A. ve Meier U. çalışmalarda kullanılmak üzere ikisi CFRP katmanıyla, diğer ikisi de çelik levhalarla dıştan güçlendirilmiş 4 adet 8m'lik kiriş hazırlamış ve kirişlerin bir ucundan kaldırıp belli bir yükseklikten serbest düşmeye bırakarak, çarpma kuvveti oluşturmuşlardır. CFRP ile güçlendirilmiş kirişlerden ilki 0,5m, 1 m ve 1,5 m yükseklikten; ikincisi ise yalnızca 2 m yükseklikten, çelikle güçlendirilmiş kirişlerin ilki 1,7m ve 2 m'den; ikincisi ise 2,2 m yükseklikten bırakılmıştır. Deneyler sonucunda çelik levhalarla güçlendirilmiş kirişlerin absorbe edebildiği enerji kapasitesine ulaşmasa da CFRP ile güçlendirilen kirişler de çarpma kuvveti altında iyi bir direnç göstermiştir [6].

Bülent Fırat çalışmasında yirmi adedi oluşturulurken sadece takviyeler arasındaki uzaklık değiştirilen, bir adedi ise başka bir malzeme kullanıldığından sadece deney sonuçları açıklanırken sonuçları sunulan toplamda yirmi bir adet boyutları değişken takviyeli silindirik kabuğun sayısal ve analitik çözümlemelerini yapmış ve sonuçları grafiklerle açıklamıştır. Sayısal hesaplamalar için seçilen sonlu elemanlar metodu, ABAQUS paket programı kullanılarak uygulanmış ve bu program sayesinde numunelerin lineer ve nonlinear burkulma analizleri yapılmıştır [7].

Mustafa Selvi çalışmasında 5 tanesi normal, 5 tanesi yüksek dayanımlı betondan üretilmiş 10 adet dikdörtgen kesitli beton kirişi; normal ve yüksek dayanımlı beton kirişlerin çarpma etkisi altında gösterdikleri davranış farklarını araştırmak üzere, değişik yüksekliklerden düşürülen bir çekicinin meydana getirdiği çarpma etkisi altında test etmiştir. Numuneler üzerindeki değişimler iki ivmeölçer ve bir kuvvetölçer aracılığıyla ölçülmüş, deneyler neticesinde ulaşılan çatlak ilerlemesi ve göçme biçiminin ABAQUS yazılımı kullanılarak modellenmesi amaçlanmıştır [8].

Wenjie Wang ve Nevevî Chouw bir damla ağırlık cihazı kullanarak, her iki saf beton (PC) ve 200 mm x 100 mm ebatlarında olan CFRC silindirlerin tek ve tekrarlanan darbe testlerini, damla yüksekliğini değiştirip örneklere çeşitli darbe enerjileri uygulayarak gerçekleştirmişlerdir. Bir darbe testinde; darbe kuvvetinin tarihi, Young modüllerinin varyasyonu ve CFRC'nin dinamik artış faktörü (DIF) incelenip PC ve CFRC'nin hasar paterni kıyaslamışlardır. Tekrarlanan testlerde, darbe yüksekliğinin

en yüksek basınç gerilmesi ve hasar paterni üzerindeki tesiri yorumlanmış, darbe yüksekliği ve maksimum tesir stresi arasındaki bağlantı incelenip deneysel olarak ortaya çıkartılmış bir denklem önerilmiştir [9].

M.Nili, A.H.Ghorbankhani, A.AlaviNia ve M.Zolfaghari 0.45 ve 0.3'lük iki farklı su çimento oranıyla önceden belirlenmiş hacimce %1 oranında çelik elyaf kullanılarak fiber takviyeli betonun yüksek hız tesiri altındaki tutumu değerlendirilmiş ve yarı statik olana göre karşılaştırılmıştır. Mermi metodu 600-1130 m/s hız aralığında uygulanmış ve 3 m/s ile yarı statik etki yapılması sonucunda her iki hız pozisyonunda; liflerin dâhil edilmesinin, örneklerin bütünlüğü açısından önemli bir etken olduğunu göstermiştir. Yüksek hız etkisi, lifli olmayan numunelerde kesme başarısızlığına yol açarken; mermi, kırılma olmadan lifli numunelere nüfuz etmiştir [10].

Mahmoud Nili ve V. Afroughsabet çalışmalarında 0.3 ve 0.46 su-çimento oranlarına sahip beton, polipropilen ve silis dumanıyla oluşturulan alaşımların darbe dayanımı ve mukavemet performansını incelenmiştir. Bu kapsamda 12 mm uzunluğunda polipropilen lif ve %0, %0.2, %0.3 ve %0.5'lik dört hacim oranını kullanarak, önceden tayin edilen alaşımlarda, çimento ağırlığının %8'inde çimento yerine silika dumanı kullanmışlardır. Sonuç olarak %0.5 oranında polipropilen fiber kullanılan silika dumanı alaşımının, sıkıştırmalı kopma ve eğilme mukavemetini ve özellikle darbe yüklemesi altında betonun performansını arttırdığı gözlemlenmiştir [11].

Bilge Küden çalışmasında dane çapı 16 mm olan agreganın üç farklı granülometresi (A16, B16, C16) ile 300 ve 400 doz olmak üzere iki farklı çimento dozajında toplam 6 seriden, agrega granülometrisi ve çimento dozajının betonun çarpma direnci üzerindeki etkisini araştırmak için numune hazırlamıştır. Deneyler; tüm numunelerin basınç, eğilmede çekme ve çarpma dirençlerinin belirlenmesi için yapılmış ve bu parametrelerin numunelerdeki maksimum-minimum değerlerinin tek bir seride oluşmadığı, bu değerlerin farklı serilerde bulunduğu görülmüştür [12].

Yaşar Erbaş çalışmasında, tek açıklıklı çelik malzemesinden oluşturulmuş kirişe, sıfırdan farklı bir ilk hızla temas eden çelik kürenin kirişte oluşturduğu darbe etkisini incelemiştir. Farklı sınır şartlarına sahip, enine doğrultuda darbe etkisi oluşturulan kirişlerin etki noktalarındaki yer değiştirmeleri zaman tanım alanında elde edilmiş, daha sonra kirişler ABAQUS programında modellenerek hesaplamalı çözümleri yapılmıştır. Her iki yöntemden elde edilen deplasman-zaman grafiklerinin karşılaştırılması ile benzer sonuçlar elde edilmiştir [13].

Taiping Tang ve Hamid Saadatmanesh çalışmalarında bir tane referans, iki tane kevlar malzemesi ile güçlendirilmiş, iki adet karbon laminantlarla güçlendirilmiş toplamda beş adet kirişe darbe testi yapmışlardır. Deneyler sonucunda çatlak genişliğini küçülten fiber malzemelerinin, kirişlerin darbe mukavemetini büyük oranda arttırdığı görülmüştür [14].

2.2. Kolon Elemanları ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Merve Nilay Tokgöz çalışmasında; 1/3 geometrik ölçekli, kare kesitli toplam 8 adet betonarme kolonun çarpışma yüklemesi altındaki davranışını incelemiştir. Deney düzeneğine ait 9 kg kütleli çekici 1000 mm yükseklikten serbest düşmeye bırakarak kolonların tam orta noktasına ve uzunluğunun üçte birine gelecek şekilde tesir ettirerek deneysel çalışmayı gerçekleştirmiştir. Böylece numunelere düşürülen çekicinin tesir noktası, numunelerdeki kesme donatısı mesafesi ve beton basınç dayanımı parametrelerini inceleyerek elde ettiği verileri bilgisayara aktarıp yorumlamıştır. Deney elemanlarının çarpmaya karşı gösterdikleri genel davranışları ve deneyler sonucunda elde edilen ivme-zaman, deplasman-zaman grafikleri okunup açıklanarak yük-deplasman grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen bütün veriler değerlendirilerek numuneler tarafından absorbe edilen çarpışma enerji değerleri hesaplanmıştır [15].

Ömer Mercimek çalışmasında; ürettirdiği 10 MPa'lık düşük bir mukavemete sahip, 1/3 ölçekli ve kare en kesitli 6 tane betonarme kolondan 2 tanesini 150 mm aralıklarla, 2 tanesini ise 200 mm aralıklarla CFRP şeritlerle güçlendirmiştir. Diğer 2 numuneyi ise referans eleman olarak belirlemiş, güçlendirme için kullandığı CFRP'nin etkisini

belirleyebilmek adına bu 2 kolona güçlendirme yapmamıştır. Betonarme kolonların orta noktasına ve kolonun alt ucundan kolon uzunluğunun üçte birlik mesafesine, yeni bir parametre elde etmek için düşük hızda yatay darbe kuvveti uygulamış ve bu noktalar ile CFRP şerit aralığını ana parametreler olarak belirlemiştir. Daha sonra serbest ağırlık düşürme deney düzeneğinde 9 kg'lık çekici 1 m yükseklikten ve her bir deney elemanı için peş peşe 5 kez düşürerek darbe deneylerini gerçekleştirmiştir. Yapılan deneyler süresince ivme, darbe kuvveti, kolon orta nokta deplasmanı ve CFRP şeritlerdeki birim uzama değerleri alınmış, alınan veriler ile kolonların darbe yüklerine karşı gösterdiği tutum ve değişkenlerin deneylerdeki etkisi kıyaslama yapılarak incelenmiştir [16].

Md Iftekharul Alam , Sabrina Fawzia ve Chamila Rajeev Jayanath Batuwitage çalışmalarında; kullanımı giderek artan kompozit elemanlar üzerine araştırma yapmışlardır. Özellikle araç çarpmalarının etkisiyle büyük hasarlar alan CFST kolonları, karbon fiber takviyeli polimer ile güçlendirerek çarpma anında karbon fiber takviyeli polimerin etkisini araştırmışlardır. Deney bilgisayar ortamında simüle edilmiş, araç hareketini gerçekleştiren bir araç modeli oluşturulmuştur. Sonuçta dıştan güçlendirilmiş CFST kolonların sade CFST kolonlara oranla darbe dayanımının arttığı görülmüştür [17].

Tolga Yılmaz çalışmasında, betonarme kolonların darbe yükleri altındaki davranışını incelemek amacıyla farklı türlerdeki(kolon, kiriş, perde) yapı elemanlarına ağırlık düşürücü deney düzeneğiyle darbe yükü uygulamıştır. Bu yükler etkisinde kolonlarda oluşan ivme ve yer değiştirme değerlerinin zamanla değişimleri ölçülmüş betonarme kolonların darbe etkisine karşı gösterdiği davranış belirlenmiştir [18].

2.3. Döşeme Elemanları İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Baturay Batarlar çalışmasında 2015x2015x150 mm boyutlarında altı adet betonarme döşemeyi statik ve darbe davranışlarının kıyaslanabilmesi için üç tip şekilde ürettirip, her tip döşemeden birini statik diğerini darbe yükü altında incelemiştir. Döşemelerin etrafında ideal basit mesnet koşullarını uygulayacak, darbe anında sıçramasını

önleyecek deney düzeneği imal ettirmiş ve bu düzenek sayesinde belirli kütleleri darbe etkisi oluşturmaları için numunelerin orta noktalarına düşürerek deneylerini gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucunda döşemelerin darbe davranışının statik davranışa göre önemli değişiklikler gösterdiği görülmüştür [19].

Süleyman Yaşayanlar çalışmasında; %0.5, %1.0 ve %1.5 oranlarında çelik lif içeren, 2150x2150x150 mm ebatlarında, çift olarak üretilmiş 10 tane betonarme döşemeyi statik ve darbe yükleri altında test etmiştir. Bu numune çiftlerinden biri orta noktasına hidrolik kriko ile statik yüke; diğeri serbest ağırlık düşürme düzeneği ile darbe yüküne tabi tutulmuş ve bu yükler altında numunelerin davranışları incelenmiştir. Her iki deneyden elde edilen sonuçlar daha önce aynı düzeneklerle farklı numuneler kullanılarak yapılan çalışmalarla karşılaştırılmış ve %0.5 oranında çelik lif içeren betonarme döşemenin her iki yük etkisinde de sünek bir malzeme olarak davrandığı görülmüştür [20].

Zineddin ve arkadaşları yaptıkları çalışmada farklı şekillerde güçlendirilmiş betonarme döşemelerin darbe yükü etkisi altındaki dinamik davranışını incelemişlerdir. Çalışmaları doğrultusunda 1524x3353x90 mm ebatlarında ve farklı şekillerde güçlendirilmiş 3 tip döşeme elemanı üretmişlerdir. 1. tip döşeme betonun her iki yüzeyinin 25mm altına 152x152 mm boyutlarında çelik hasır yerleştirilerek, 2. tip döşeme 152x152 mm ebatlarında No:3 çelik bardan yapılmış hasırla döşemenin orta kısmına yerleştirilerek ve 3. tip döşeme numunesi ise No:3 çelik bardan yapılan hasırla betonun her iki yüzeyinin 25 mm altına yerleştirilerek güçlendirilen deney elemanları üretilmiştir. Hazırlanan deney numunelerine 2608 kg ağırlığındaki kütle sırasıyla 152 mm, 305 mm ve 610 mm yüksekliğinden düşürülmüştür. Çalışmada deney elemanlarına ivmeölçerler yerleştirilmiştir. Yapılan çalışmaların sonucunda çarpma yüksekliğinin artmasıyla, zımbalamanın ve kesme tehlikesinin arttığı görüldükçe, elemanlarda sünek kırılmadan gevrek kırılmaya doğru mod değişikliğinin olduğu görülmüştür. Ayrıca darbe etkisi altında olan numunelerde donatı deformasyonu ile göçme olduğu ve donatı yerleşiminin göçme moduna etkisi olduğu sonucuna varılmıştır [21].

Triverdi ve arkadaşları, darbe yükü etkisine maruz kalmış betonarme döşemelerde meydana gelebilecek kırılma, delinme, parçalanma gibi yerel deformasyonlar ve yapısal davranışını tahmin edebilmek için analitik çalışma yapmışlardır. Betonarme döşeme Abaqus sonlu elamanlar yöntemi kullanılarak bilgisayar modeli oluşturulmuştur. Çalışma kapsamında oluşturulan sayısal modeller yardımıyla çözüm betonarme çeliğinin davranışı, ağ boyutu ve şekil değiştirme hızı gibi parametrelerin çalışmaya etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda deneysel çalışmadan elde edilen kırılma enerji değeri ile sayısal modelden elde edilen kırılma enerji değeri birbiriyle uyum içinde olduğu görülmüştür. Ayrıca Zineddin ve Krauthammer(2007) deney sonuçları ile sayısal modeller yardımıyla elde edilen kırılma enerjisi ve göçme tipi sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmanın bir uyum içinde olduğu görülmüştür [22].

Yılmaz ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada CFRP şeritler ile güçlendirilmiş betonarme plakların çarpma davranışı deneysel olarak incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında güçlendirme için kullanılan CFRP şeritlerin birim deformasyon miktarının zaman tanım alanında değişimi, çatlak dağılımları ve betonarme döşeme numunelerine etkiyen darbe yüklerinin, numunelerin ivme, deplasman değerlerinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Çalışma doğrultusunda CFRP şeritlerin genişliği ve yerleşim tipi değişken olarak seçilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında 1000x1000x80 mm ebatlarına sahip 9 adet betonarme döşeme numunesi üretilmiştir. Üretilen numunelerden biri güçlendirilmemiş olup referans numunesi olarak oluşturulmuştur. Betonarme döşeme numuneleri 50 mm ve 100 mm genişliğine sahip CFRP şeritlerle hem bir hem de iki yönde diyagonal ve ortogonal olacak şekilde epoksi yardımıyla yapıştırılarak güçlendirilmiştir. Deneysel elemanlara 1500 mm yükseklikten 84 kg'lık ağırlık düşürülmüştür. Ağırlık düşürücü deney düzeneği kullanılarak döşeme numunelerine darbe yükü uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, betonarme döşemelere uygulanan güçlendirme şeklinin çarpma etkisi altındaki davranışını son derece başarılı bir şekilde artırmıştır ve en başarılı sonuçların diyagonal olarak çift doğrultuda yerleştirilen CFRP şeritler ile oluşturulan numunelerde meydana geldiği görülmüştür. Ayrıca yüzeyden soyulan CFRP şeritlerin birim deformasyon miktarı ani

dinamik yükler altında 0.010 mm/mm iken, statik yüklemeler altında 0.004 mm/mm sınır değerlerinden daha yüksek değerlerde meydana gelmiştir [23].



BÖLÜM 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma bölümünde, çelik malzemesinin üstün özellikleri, deneysel çalışmada kullanılacak çelik kirişlerin malzeme özellikleri, çeliğin mekanik özellikleri, kutu profil numunelerin darbe yükü etkisindeki gerçek davranışını incelemek için hazırlanan deney düzeneği ve deneysel çalışmada kullanılan cihazlarla ilgili detaylı olarak bilgi verilmiştir.

3.1. Çeliğin Diğer Yapı Malzemelerine Göre Üstün Özellikleri

1. Homojen ve izotrop bir malzeme olması sebebiyle mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan testlerde elde edilen davranışları çok düşük hata paylarıyla göstermektedir.
2. Çelik malzemesi, betonarmeye göre oldukça hafif olduğu için zeminin kötü olduğu yerlerde tercih sebebi olmaktadır.
3. Atölyelerde işlenebildiği için iş süresi oldukça kısalabilmektedir.
4. Elastisite modülü farklı yapı malzemelerine göre oldukça yüksek, bu sebeple mukavemeti de daha fazladır.
5. Betonarmeye göre takviye edilmesi, düzeltme veya değişimlerin yapılması çok daha kolaydır.
6. Bir yapı inşa edilirken kullanılan çelik elemanlar kısmen veya tamamen o yapıdan çıkarıldıklarında tekrar başka bir iş için kullanılabilirler.
7. Yeniden kullanılabilmesi, takviye ve düzeltme imkânının olması sebepleriyle malzeme kaybı çok daha azdır.
8. Basınç ve çekme dayanımlarının birbirine eşit olması ayrıca çok farklı şekillerde üretilme imkânı olduğu için mimari açıdan çok daha değişik tasarımlar yapılmasına olanak sağlar.

Tüm bu üstün özelliklere rağmen betonarme, ülkemizde çeliğe göre daha yaygın kullanılmaktadır. Bunun en önemli sebepleri çeliğin tasarım ve montajı aşamasında deneyimli elemanların olmaması ve mevzuatlardaki sınırlamalardır.

3.2. Çelik Kirişler

Çeliğin ham maddesi olan demir, doğada saf halde değil oksit, hidroksit gibi bazı maddelerle karışmış halde bulunur. Bu halde alınan demir önce kok kömürü kullanılarak yakılan yüksek fırınlardan geçirilir ve ham demir elde edilir. Fakat ham demir madeninde karbon, silisyum ve fosfor gibi maddelerin oranları çok yüksek olduğu için mukavemeti çok düşüktür bu yüzden şekil verilememekte ve yapılarda kullanılamamaktadır. Ham demiri şekil verilebilir hale getirebilmek için içerdiği bu elementlerin oranının azaltılması ise ısıtma işlemi ile sağlanmaktadır. Isıtma işleminin gerçekleştiği esnada oluşan kimyasal tepkimeler sonucunda karbon, karbon monoksit gazı halinde uzaklaşmakta böylece oranı azalmaktadır. Daha sonra oksijen üfleme veya hurda haline gelmiş demirin tekrar eritilmesi yönteminin ardından son şeklini almasıyla çelik elde edilmektedir.

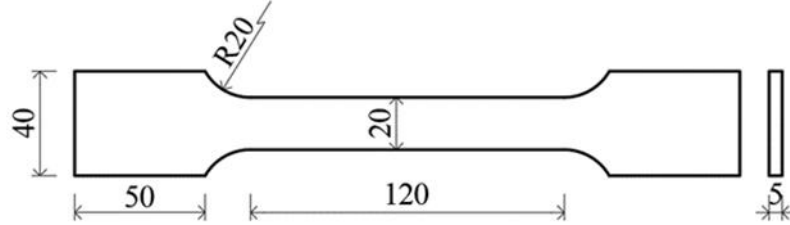
Çelik kutu profil deneyinde kullanılan çeliğin sınıfının S235 olması amaçlanmıştır. Fakat çelik malzemesi üretilirken yapısında meydana gelen bazı kusurlar sebebiyle çelik, teorik hesaplarda öngörülen davranışı gösterememektedir. Bu sebeple çalışmalarda kullanılacak çeliğin gerçek davranışının ve mukavemeti adına önemli olan bazı mekanik özelliklerinin tayini için çekme deneyi yapılmıştır.

3.3. Çeliğin Mekanik Özellikleri

Deneyisel çalışmada kullanılacak çelik kutu profillerin üretimi İskenderun Demir Çelik Fabrikası'nda gerçekleştirilmiştir.

Çelik kutu profillerden alınan, kupon isimli 3 adet numuneye çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme deneyi uygulanacak kupon numuneleri ASTM A370

standardında belirtilen boyutlara göre kestirilmiştir. Kupon numunelerinin boyutları Şekil 3.1.'de verilmiştir.



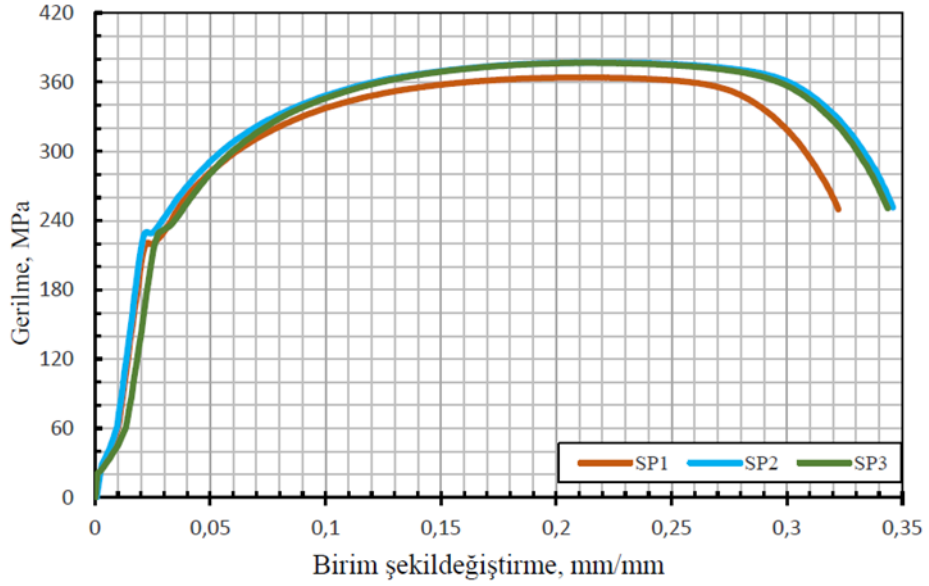
Şekil 3.1. Kupon Numune Boyutları

Çekme deneyinde; Sakarya Üniversitesi Yapı Laboratuvarı'nda bulunan, 400kN'a kadar yük uygulayabilen deney düzeneğinde, kupon numunelerine eksenleri doğrultusunda sürekli artan çekme kuvveti uygulanmıştır. Çekme deneyleri yapılırken deney düzeneği, deney düzeneğine yerleştirilmiş numune ve deney düzeneğindeki numunelerin deney öncesi ve deney sonrası görüntüleri Şekil 3.2.'de verilmiştir.

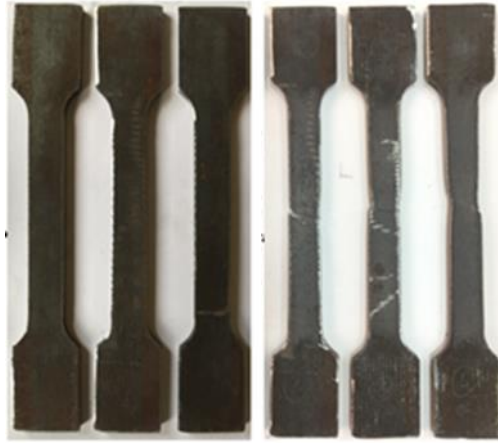


Şekil 3.2. Çekme deneyine ait görüntüler

Deney boyunca uygulanan yük ve numunede meydana gelen şekil değiştirmeler deney düzeneğine bağlı bir kablo vasıtasıyla bilgisayara aktarılmıştır. Bu veriler kullanılarak numuneye ait gerilme-birim deformasyon grafiği Şekil 3.3.'teki gibi elde edilmiştir. Numunelerin deney öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 3.4.'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Kupon numunelerine ait gerilme–birim şekil değiştirme grafiği



Şekil 3.4. Kupon numunelerinin deney öncesi ve sonrası resimleri

SP1 numunesine ait Gerilme-Birim Şekil Değiştirme grafiği incelenirse; Gerilmenin 200MPa değerini aldığı elastiklik sınır adı verilen noktaya kadar numunede Hooke Kanun'u geçerli olmaktadır. Aynı zamanda numune elastiklik

sınırına kadar, elastik şekil değişimi göstermekte yani numuneye uygulanan kuvvet ortadan kaldırılsa numune eski haline dönebilmektedir. Fakat gerilmenin 200 MPa'ı aşması durumunda numunede oluşan şekil değişimleri kalıcı olmakta yani numuneye uygulanan kuvvet ortadan kaldırılsa dahi numune eski haline dönememektedir. Gerilmenin 200MPa'ı aşıp numunenin kopmasına kadar gerçekleşen bu şekil değişimleri ise plastik şekil değişimi olarak adlandırılmaktadır.

Grafikteki birim şekil değiştirmenin 0,02 değerini aldığı notadan, gerilmenin 60-120MPa değerleri arasında görülen lineer bölgeye paralel şekilde çizilen teğetin eğimi bulunarak çeliğin elastisite modülü hesaplanmıştır.

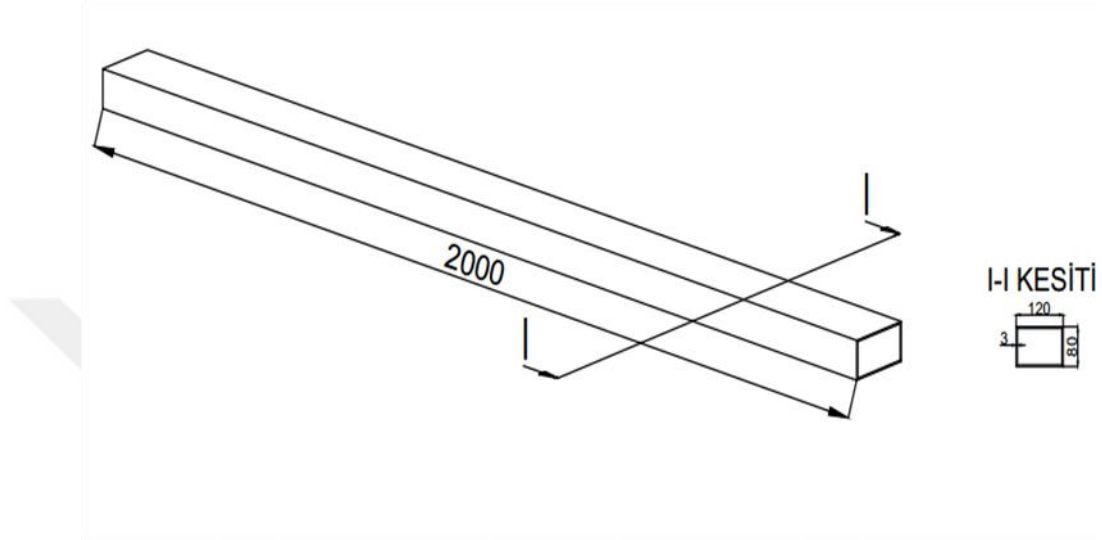
Lineer bölgenin bitip plastik şekil değişiminin görülmeye başlandığı 220MPa gerilme değeri, çeliğin akma dayanımını ifade etmektedir. Akma dayanımına ulaşan çelikte birim deformasyonlar artmaya devam ederken gerilme değerleri artmak yerine belli bir aralıkta artıp azalmakta ve grafikte birim şekil değiştirmenin 0,02-0,03 değerleri arasında dalgalı bir görüntü oluşturmaktadır. Gerilme değerlerinin tekrar artmaya başladığı 0,03 birim şekil değiştirme değerine kadar olan bu bölge pekleşme olarak adlandırılmaktadır.

SP1 numunesi yaklaşık 250MPa olan maksimum gerilme değerine ulaştıktan sonra numunenin eninde boyun verme denilen gözle görülür bir daralma görülmeye başlanmıştır. Bu sebeple birim deformasyon devam ederken gerilme değerleri tekrar azalmaya başlamış ve en son, kopma dayanımına ulaşıldığında numune boyun vermenin görüldüğü yerden kopmuştur.

Çekme deneyinden elde edilen bu özelliklerin yanı sıra, çeliğin; Poisson oranı $\nu_{\text{çelik}}=0,3$; kayma gerilmesi değeri $G_{\text{çelik}}=7,95 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$ 'dir.

3.4. Tez Çalışmasında Kullanılan Çelik Kiriş ve Tasarımı

Deneysel çalışmada 120mm x 80mm x 3mm boyutlarında ve 2000mm uzunluğunda 2 adet S235 kutu profil kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışma kapsamında kullanılan çelik kutu profilin autocad programındaki tasarımı Şekil 3.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. Deneysel çalışmada kullanılan kutu profil tasarımı

Hazırlanan bu çelik kirşlere, serbest düşürme deney düzeneğine ait 75 kg kütleli çekicin sırasıyla 200 mm ve 2000 mm yüksekliklerinden numunelerin üzerine serbest düşmeye bırakılarak darbe etkisi yapması amaçlanmıştır.

3.5. Tez Çalışmasında Kullanılan Çelik Kirişin SAP2000 Programında Modellenmesi

Sap 2000 inşaat mühendisliği alanında tasarlanacak her türlü yapı sistemlerinin tasarım ve analizleri için kullanılan bir inşaat mühendisliği programıdır. SAP2000 programı, her çeşit yapının modellenmesine ve yapının kullanım sırasında karşılaşılabileceği deprem kuvveti, rüzgâr kuvveti gibi olumsuz etkilere karşı çözümlemelerinin yapılmasına olanak sağlayan bir bilgisayar programıdır. Modal analiz, yapılar üzerinde sadece titreşim ölçümü yaparak yapıların modal özelliklerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Bu yöntem öncelikle inşaat mühendisliği yapılarında (binalar, köprüler, deniz üstündeki yapılar v.b) modal parametreleri (doğal frekans,

sönüm, mod şekilleri) bulmak için kullanılmaya başlanmıştır. Bu metodun en önemli avantajı yapıya herhangi bir kuvvet uygulanmasına gerek duyulmamasıdır.

Deneylerde kullanılacak çelik kiriş elemanlarına göre model oluşturulup çözümler bu model üzerinden yapılmıştır.

SAP2000 programında modelin oluşumu için Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi ilk önce akslar belirlenip isimlendirilmiştir.

Define Grid System Data

Edit Format

System Name: GLOBAL Units: N, mm, C

X Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	A	0	Primary	Show	Start	
2	B	2000	Primary	Show	Start	
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Y Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	5	-40	Primary	Show	Start	
2	4	-37	Primary	Show	Start	
3	1	0	Primary	Show	Start	
4	2	37	Primary	Show	Start	
5	3	40	Primary	Show	Start	
6						
7						
8						

Z Grid Data

	Grid ID	Ordinate	Line Type	Visibility	Bubble Loc.	Grid Color
1	Z1	0	Primary	Show	Start	
2	Z2	3	Primary	Show	Start	
3	Z3	117	Primary	Show	Start	
4	Z4	120	Primary	Show	End	
5						
6						
7						
8						

Grid Lines: Quick Start...

Display Grids as: ☒ Ordinates ☐ Spacing

☐ Hide All Grid Lines

☐ Glue to Grid Lines

Bubble Size: 2438.4

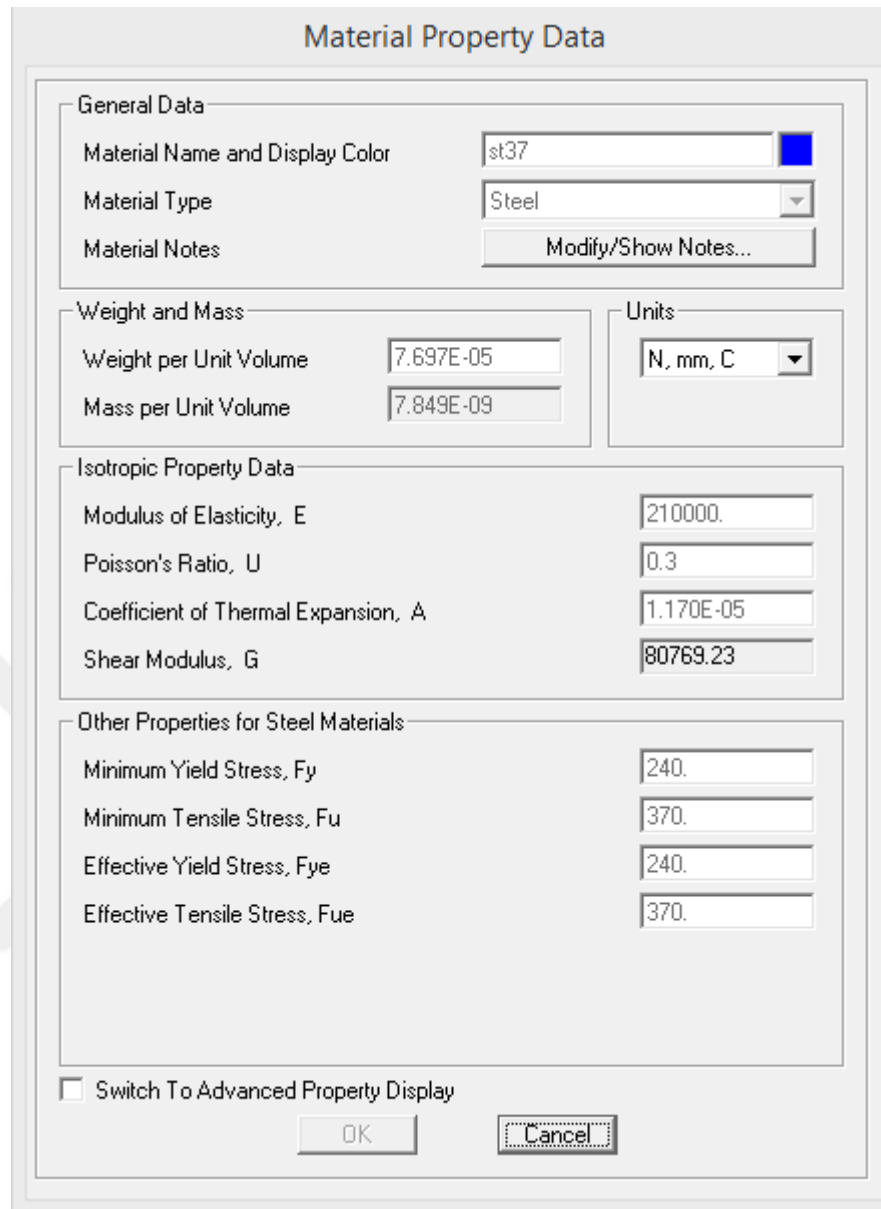
Reset to Default Color

Reorder Ordinates

OK Cancel

Şekil 3.6. SAP2000 de oluşturulacak modelin aks sistemi

Sap2000 programından alınan ekran görüntüsünde olduğu gibi nokta ve eksen, program aks düzenleme ara yüzüne tanıtılmıştır. Daha sonraki süreçte malzeme tanımları yaparak, kullanılacak malzemeler Şekil 3.7.'deki gibi belirlenmiştir.



Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: st37 [Blue Color Box]

Material Type: Steel [Dropdown]

Material Notes: [Modify/Show Notes...]

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7.697E-05

Mass per Unit Volume: 7.849E-09

Units

N, mm, C [Dropdown]

Isotropic Property Data

Modulus of Elasticity, E: 210000.

Poisson's Ratio, U: 0.3

Coefficient of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 80769.23

Other Properties for Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 240.

Minimum Tensile Stress, Fu: 370.

Effective Yield Stress, Fye: 240.

Effective Tensile Stress, Fue: 370.

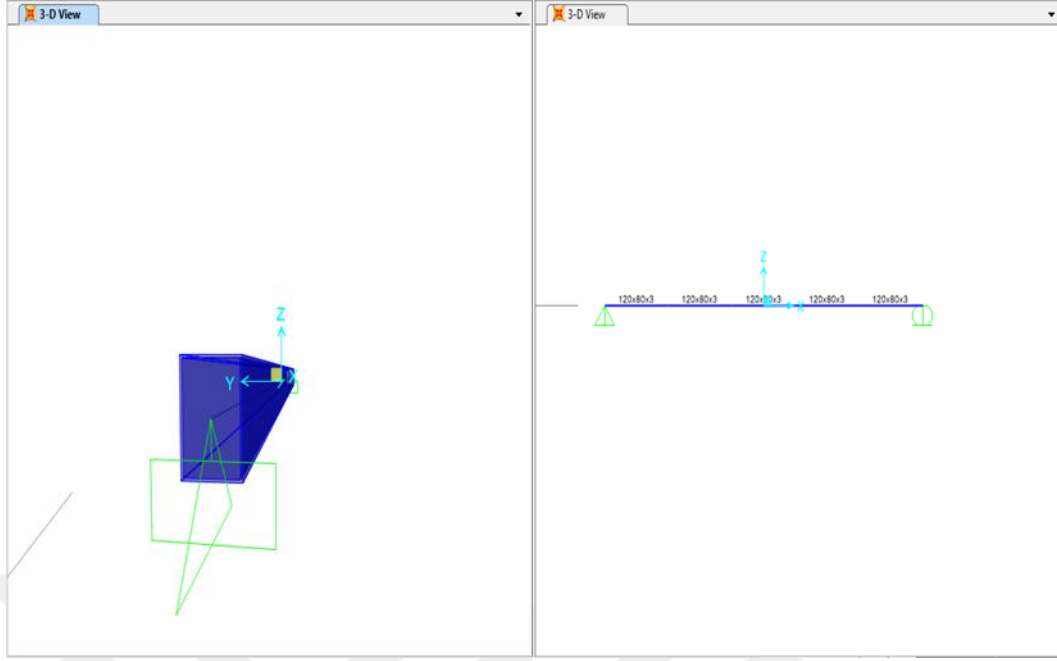
☐ Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

Şekil 3.7. Çelik kirişin malzeme özelliklerinin tanıtılması

Deneysel çalışmada kullanılacak beton sınıfı ve çelik malzemesine göre gerekli tanımlamalar yapılmıştır. Malzeme özellikleri yapılan deney sonuçları ve standartlar baz alınarak programa girilmiştir.

Deneysel çalışmada uygulanacak çalışma doğrultusunda çelik kirişler kutu profil olarak belirtilen ebatlarda istenilen malzeme özelliklerinde çalışmaya girilmiş olup Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi çelik kirişin bir ucu sabit diğer ucu ise hareketli mesnet olarak tanımlanmıştır.



Şekil 3.8. Kesit ve mesnet tanımı

Çalışma sonucunda bulunması hedeflenen frekans değerleri için modal analiz yöntemi uygulanması gerekmektedir. Modal analiz yöntemi için de öncelikle mass source tanımlamamız gerekmektedir. Program opsiyonları kullanılarak mass source Şekil 3.9.'daki gibi ölü yüke göre tanımlanmıştır.

Mass Source Data

Mass Source Name: kütle tanımy

Mass Source

☒ Element Self Mass and Additional Mass

☐ Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1
DEAD	1

Add

Modify

Delete

OK Cancel

Şekil 3.9. Mass source kütle tanımı

Sistem kiriş 40 cm de bir bölünerek oluşturulmuştur. Modal analiz opsiyonuna gelerek son olarak gerekli kontroller yapıldıktan sonra sistemi analiz ederek gerekli verilen elde edilmesi işlemine geçilmiştir.

Sistem analiz edilerek Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi program üzerinden istenilen frekans değerlerine ulaşılmış tablo üzerinden 12 farklı mod olarak incelenmiştir.

Modal Periods And Frequencies

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

	OutputCase Text	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	Frequency Cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad2/sec2
►	MODAL	Mode	1	0.010999	90.919	571.26	326340
	MODAL	Mode	2	0.006865	145.66	915.22	837620
	MODAL	Mode	3	0.002855	350.25	2200.7	4843100
	MODAL	Mode	4	0.002655	376.72	2367	5602600
	MODAL	Mode	5	0.001553	643.91	4045.8	16368000
	MODAL	Mode	6	0.001526	655.26	4117.1	16951000
	MODAL	Mode	7	0.001377	726.26	4563.2	20823000
	MODAL	Mode	8	0.001141	876.49	5507.1	30328000
	MODAL	Mode	9	0.000913	1095.2	6881.5	47355000
	MODAL	Mode	10	0.000535	1868.7	11741	137960000
	MODAL	Mode	11	0.000344	2910.6	18288	334440000
	MODAL	Mode	12	0.000273	3667.5	23044	531010000

Record: 1 of 12

Add Tables... Done

Şekil 3.10. Modal analiz frekans değerleri

3.6. Deney Numunelerinin Malzeme ve Enkesit Özellikleri

Yürütülen deneysel çalışmada 120mmx80mmx3mm boyutlarında 2000mm uzunluğunda S235 sınıfı çelik kutu profillerin darbe yükü altında gösterdiği davranışlar ve numunelerde oluşan değişimler incelenmiştir. Kutu profillere uygulanan darbe yükü sırasıyla 200 ve 2000 mm yüksekliklerinden deney düzeneğine bağlı çekicin düşürülmesiyle uygulanmıştır. Bu şekilde düşü yüksekliğinin değiştirilmesiyle değişken sayısı artırılmıştır. Deney numunelerinin boyutları, çekicin yüksekliği ve ağırlığı Tablo 3.1.'de gösterilmiştir.

Deneylerde kullanılan numuneler;

1. 200mm yüksekten darbe yükü uygulanmış 120mmx80mmx3mm kutu profil
2. 2000mm yüksekten darbe yükü uygulanmış 120mmx80mmx3mm kutu profil

Tablo 3.1. Deney Numune boyutları

Eleman no	Elaman boyutu (mm)	Düşürülen yükseklik (mm)	Düşürülen ağırlık (kg)
1	120x80x3	200	75
2	120x80x3	2000	75

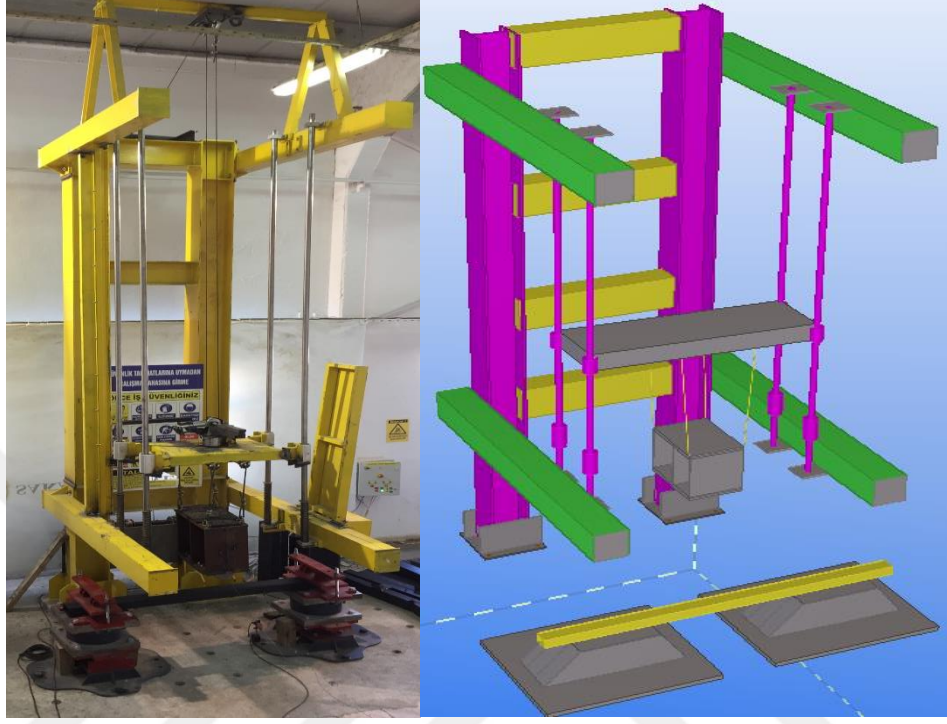
3.7. Deney Düzenekinin Hazırlanması

Kullanılan ağırlık düşürücü deney düzenekinin XSteel programı sayesinde tasarımı yapılmıştır. Deney düzenekinin tasarımı Şekil 3.11.'deki gibidir.

Düzenekte, darbe deneylerinde darbe etkisini oluşturmayı sağlayan 75 kg kütleli bir çekiç bulunmaktadır. Çekiç, mekanik olarak yapılmış serbest düşme mekanizmasına bağlanmaktadır. Mekanizmaya yerleştirilip anahtar yardımıyla kilitlenen çekiç, bu mekanizmanın kumandası sayesinde istenilen yüksekliğe çıkarılmaktadır. Çekicinin istenilen yüksekliğe çıkarılmasının ardından, çekici mekanizmaya bağlayan anahtarın açılmasıyla, düşme komutu verilmekte ve birkaç saniye sonra serbest düşme gerçekleşmektedir. Numune üzerine düşüp darbe etkisi oluşturan çekicinin eski konumuna getirilmesi yine kumanda ile sağlanmaktadır.

Deney düzenekine ait mesnetlerin konumları numunelerin ebatlarına göre ayarlanmaktadır. Deneyi yapılacak numune deney düzenekine yerleştirildikten sonra sabit ve kayıcı mesnetler bulonlar aracılığıyla düzenekteki mesnetlere monte edilmektedir. Gerekli kontroller yapıldıktan sonra düzenek deneylere hazır olmaktadır. Deney düzenekinde, kiriş elemanlarının basit kiriş olarak tanımlanabilmesi için, sınır şartları oluşturulmuştur. Mesnetlerin birisi sabit diğeri kayıcı olarak tasarlanmıştır. Mevcut mesnetler deney düzenekine bulonlar yardımıyla monte edilmiştir. Deney numunesi ise deney düzenekği üzerinde bulunan mesnetlere sabitlenmiştir. Deney düzenekinde bulunan 75 kg kütleli çekiç ilk olarak 200 mm yüksekliğe çıkartılmış ve bu yükseklikten numuneye darbe etkisi yapması için serbest düşmeye bırakılmıştır. Aynı işlemler daha sonra çekicinin aynı özelliklere sahip çelik kutu profil numunesine 2000 mm yükseklikten düşürülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda

numuneler üzerinde oluşan değişiklikler ve deney anında ölçölüp sisteme aktarılan veriler incelenip üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

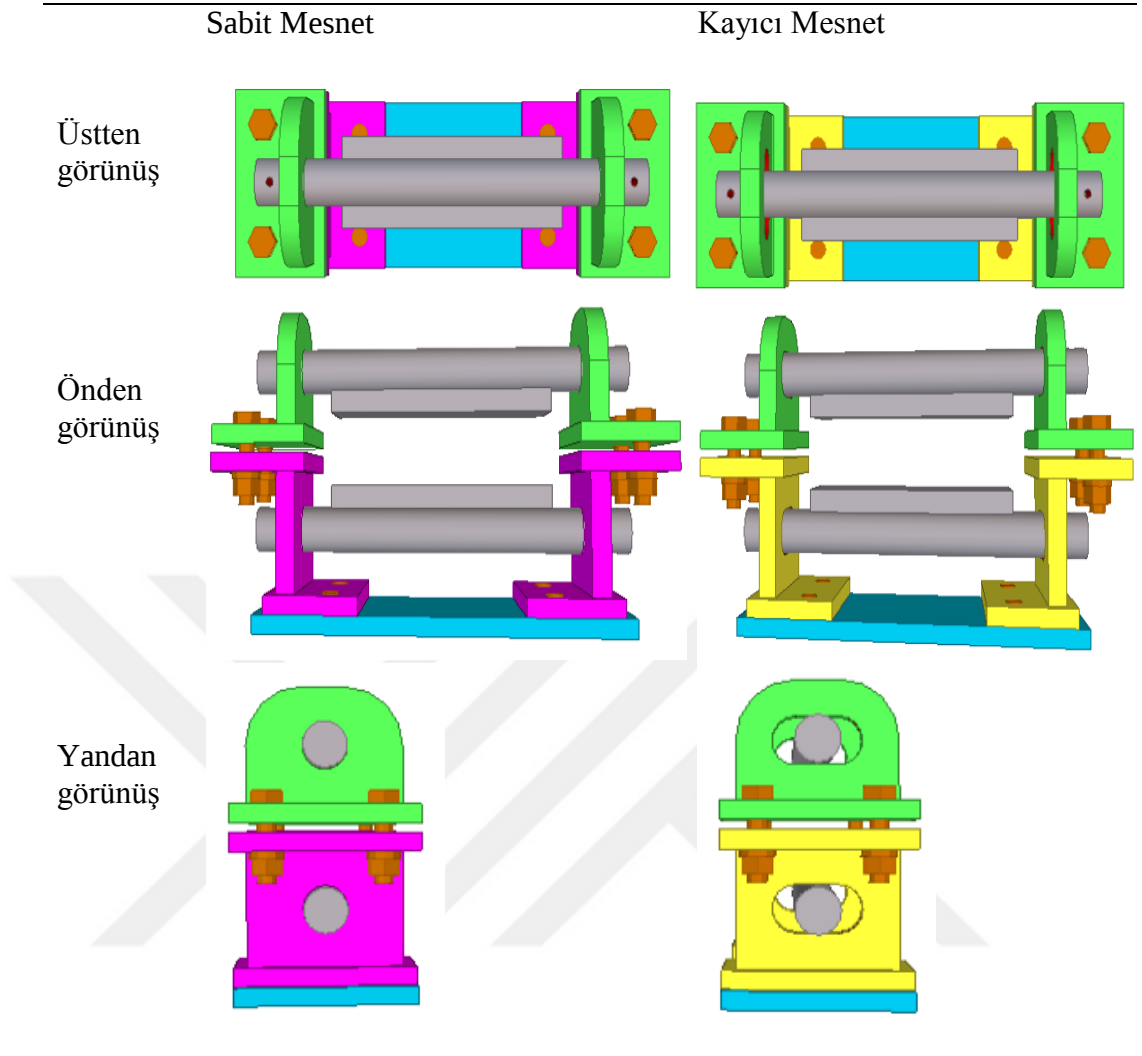


Şekil 3.11. Darbe deney düzeneği

3.8. Deney Mesnetlerinin Hazırlanması

Deneyleerin geręekleştireileceęi serbest ağırlık düşürme düzeneğinde kullanılacak mesnetlerin tasarımı ve Autocad programı yardımıyla istenilen boyutlarda çizimi yapılmıştır. Tasarımları tamamlanan mesnetlerin imalatının yapılması için Autocad çizimleri yetkili fabrikaya verilmiş ve imalatı geręekleştirilmiştir.

Biri sabit biri kayıcı olmak üzere toplamda iki adet mesnet tasarlanmıştır. Bu tasarımlar yapılırken deneyde kullanılacak kirişlerin boyutları dikkate alınmıştır. Autocad’de modellenmiş mesnetler Şekil 3.12.’deki gibidir.



Şekil 3.12. Darbe deneyi mesnet düzeneği

İmalatı tamamlanan mesnetler, kontrolleri yapıldıktan sonra fabrikadan alınarak laboratuvara getirilmiştir. Ardından mesnetlerin plakaları temizlenmiş ve deneysel çalışmada anlatıldığı gibi montajı gerçekleştirilerek düzeneğe yerleştirilmiştir.

Bu işlemler sonucunda sabit ve kayıcı mesnet şeklinde tasarlanmış sınır şartlarına sahip deney düzeneği oluşturulmuştur.

Laboratuvarda bulunan mesnetler Şekil 3.13.'teki gibidir.



Şekil 3.13. Sabit ve hareketli mesnet

Mesnetler konumlarının belirlenmesinin ardından dört tarafından, cıvatalar sayesinde yere monte edilmiştir. Deneyler süresince sistemin durabilitesini arttırmak ve oluşabilecek sarsıntıları önlemek amacıyla cıvatalar tekrar kontrol edilip iyice sıkılmıştır.

İlk çelik kiriş numunesinin deney düzeneğine yerleştirilmesinin ardından imal ettirilen mesnetler, tecrübeli kişiler aracılığıyla laboratuvarında bulunan mesnetler üzerine oturtulmuş ve deneye hazır hale gelinmiştir.

Deneylerin tam anlamıyla gerçekleştirilebilmesi için bazı yazılım ve aletlere gerek duyulmuştur. Bu alet ve yazılımlar; numunelerin ve çekicinin ivme değerlerini ölçmemizi sağlayan ivmeölçerler, ivme değerlerini bilgisayara aktarmamızı sağlayan data logger ile veri kablosu ve bu değerleri toplamıştır. Daha sonra bu veriler Sap 2000 programında elde edilen eleman frekans değerleri dikkate alınarak sismo signal

programında filitrelenmiştir. Filtirelenen değerler Lab-view programı sayesinde ivme-zaman, hız-zaman ve konum-zaman grsifiklerine dönüştürülmüştür.

3.9. Deney Ekipmanları

Yapı elemanları gerçek hayatta karşılaşılabileceği yüklerin eleman üzerinde oluşturabileceği hareketi simüle etmek için mekanik uyarma sağlayacak cihazlar bulunmaktadır. Bunun yanı sıra deneysel olarak incelenmek istenen elemanların maruz kaldığı etkiler karşısında nasıl bir performans göstereceğini ölçmek için de cihazlar üretilmiştir. Yapılan bu deneysel çalışmada darbe yükünü simüle etmemize yarayan deney kurulumu ile birlikte, darbe yükü etkisindeki eleman davranışını analiz edebilmek için ölçüm cihazları ve deney ekipmanları kullanılmıştır. Deneylerde 120mmx80mmx3mm boyutlarında, 2 adet, S235(St37) sınıfı ve akma dayanımı 235 MPa olan çelik kutu profiller kullanılmıştır.

Deneyler sırasında kullanılan yazılım ve aletler hakkında aşağıda bilgi verilmiştir.

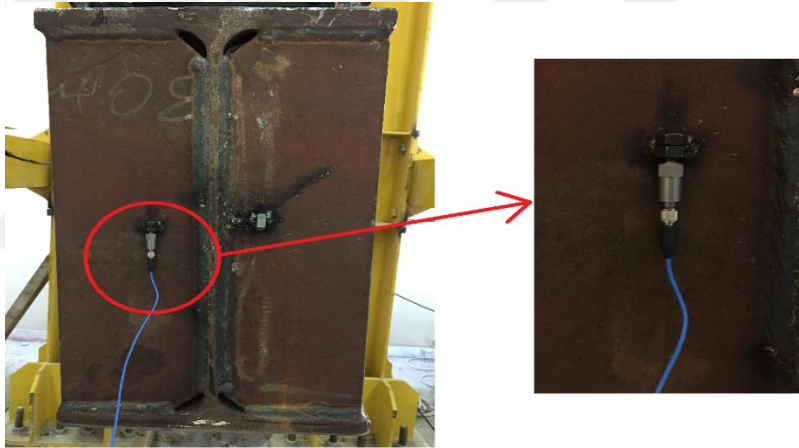
3.9.1. İvmeölçerler

Piezoelektrik ivmeölçerlerin ana malzemesi olan piezoelektrik algılayıcılar yalnızca dinamik yani zamanla değişim gösteren büyüklükleri ölçebilen malzemelerdir. Bu sebeple yapılan ağırlık düşürme deneyinde kullanılan ivmeölçerler (Şekil 3.14.), çekicinin belirlenen yükseklikten düşüp numuneye etkimesi anında numune ve çekiç üzerindeki anlık ivme değerlerinin ölçülmesinde kullanılmıştır. İvmeölçerlerin ucunda seramik algılama elemanı bulunmakta ve ortalama ($\pm\% 10$) 10 mV/g hassasiyete sahip titreşim ölçüm yapmaktadır. 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. Anlık ivme değerlerinin okunabilmesi ve daha sonra kullanılabilmesi için ivmeölçerler bir kablo aracılığıyla bilgisayara bağlanmaktadır. Bu kablo sayesinde veriler bilgisayara iletilmektedir.



Şekil 3.14. İvmeölçer

Deneyde kullanılan ivmeölçerler cıvata dişli başlığa sahiptir. Bu özelliği sebebiyle ivmeölçer, numune ve çekice punta yardımıyla sabitlenmiş somunlar vasıtasıyla monte edilmiştir. Deneyde kullanılan ivmeölçerlerin numunelere yerleştirilmesi Şekil 3.15. ve Şekil 3.16.'da bulunmaktadır.



Şekil 3.15. Deney düzeneğindeki çekicte bulunan ivmeölçer



Şekil 3.16. Deney düzeneğindeki numunede bulunan ivmeölçer

3.9.2. Data Logger

Üzerinde çeşitli kanallar bulunan, farklı birden fazla fiziksel veriyi toplamaya, depolamaya ve bu verileri bir yazılım sayesinde analiz etmeye yarayan cihazlardır. Üretici tarafından düzenli olarak kontrollerinin yapılması gerekmektedir.

Bu deneysel çalışmada bir tanesi çekicin ivme değerlerini diğeri numunenin ivme değerlerini kaydetmesi için datalogger (Şekil 3.17.) üzerindeki kanallardan toplamda 2 tanesi kullanılmıştır.



Şekil 3.17. Data logger

3.9.3. Veri kablosu

Verileri aktarmaya yardımcı veri kabloları bir diğer adıyla koaksiyel kablolar yapısal olarak en iç kısmında iletken bir tel ile bu telin etrafını saran sırasıyla tel zırh ve koruyucu katmandan oluşmaktadır. Bu kablolar çok zayıf sinyalleri dahi algılayıp iletebilecek ve bu sinyalleri karşılaşılabileceği negatif etkilerden koruyabilecek şekilde tasarlanmıştır. İvmeölçerleri 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 ivmeölçer 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. Deneysel çalışmada kullanılan veri alma kabloları Şekil 3.18. ve Şekil 3.19.'da gösterilmiştir.



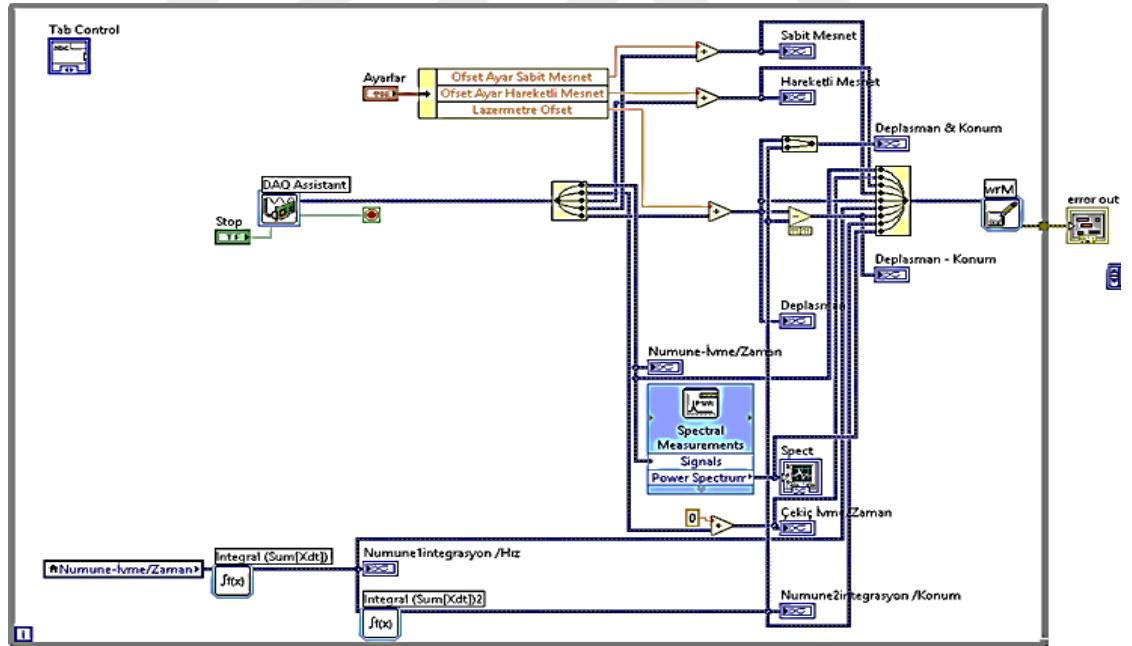
Şekil 3.18. Çekiç İvme Ölçerini Veri Alma Ünitesine Bağlayan Kablo



Şekil 3.19. Numune İvme Ölçerini Veri Alma Ünitesine Bağlayan Kablo

3.9.4. Verilerin bilgisayara aktarılması

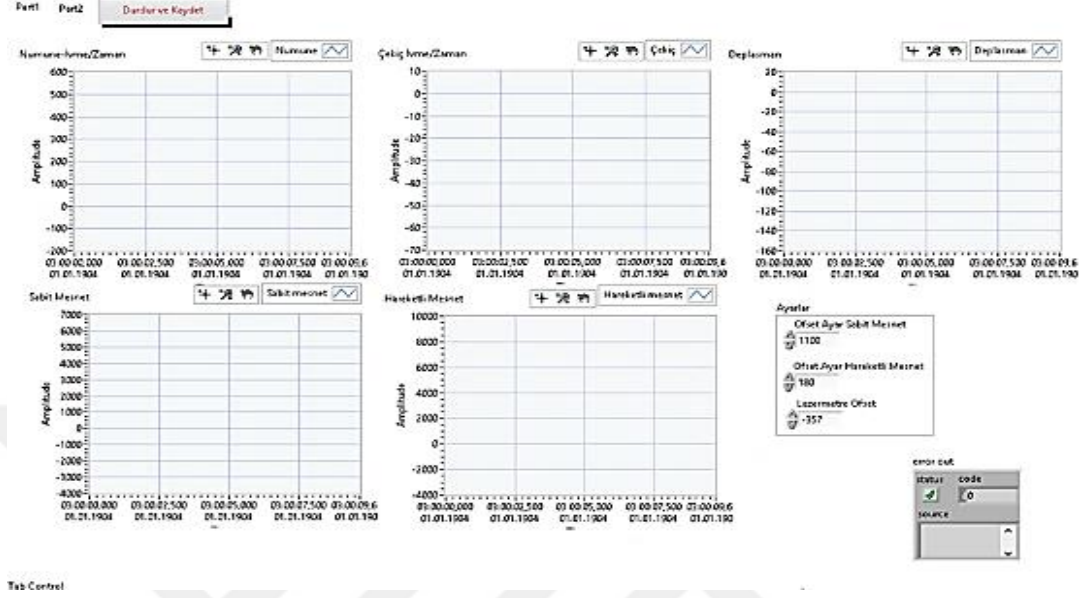
Datalogger ile birlikte gelen NI Labview Signal Expres yazılımı sayesinde deneyden alınan veriler bilgisayar ortamına aktarılabilmekte ve değişimleri anlık olarak incelenebilmektedir. LabVIEW yazılım platformu sinyal işlemede yaygın olarak kullanılmakta olup farklı bir ara yüze sahip programlama yapısı vardır. İçerisinde birçok grafiksel ve sayısal analiz bulunan görsel bir ara yüze sahiptir. Ayrıca içerisinde deney esnasında veri alma ünitesine gelen sinyaller bilgisayar ortamında sayısallaştırılarak doğrudan aktarılmasını sağlayan algoritmalar oluşturulmuştur (Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. LabVIEW Veri Alma Algoritması

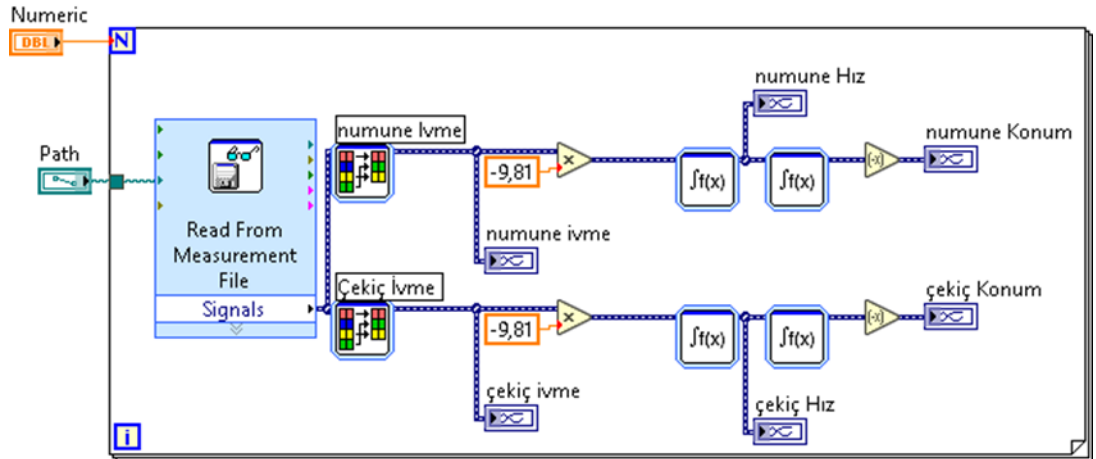
LabVIEW yazılımı, deney düzeneğinde bulunan yük hücresi, ivmeölçer ve deplasman ölçerlerden elde edilen verilerin anlık olarak işlenmesini sağlayarak, alınan verilerin

gerçekçi olup olmadığını ve veri alma sisteminde sorun olup olmadığını anında tespit edecek şekilde oluşturulmuştur (Şekil 3.21.).



Şekil 3.21. LabVIEW veri alma algoritmasına ait ara yüz

LabVIEW yazılımı, $6,05 \times 10^{-4}$ sn. aralıklarla 1 sn'de 25000 data alacak şekilde veri işleme algoritması oluşturulmuştur (Şekil 3.22.).



Şekil 3.22. LabVIEW Yazılımı Veri İşleme Algoritması

Deneyde ivmeölçerin bir ucu düzeneğin çekicine diğer ucu numuneye bağlanıp programın kayıt etmeye başlaması sağlandıktan sonra düzeneğin çekici, önceden belirlenmiş olan yükseklikten serbest düşmeye bırakılıp çekiç numuneye etki ettikten

birkaç saniye sonra kayıt tamamlanır. Program, elde edilen verileri daha sonra tekrar değerlendirebilmek adına kayıt etmemize olanak sağlamaktadır.

3.9.5. Seismosignal

Seismosignal güçlü yer hareketi verilerini işlenmesinde kullanılan etkili bir bilgisayar programıdır. Deneyde değerlendirilecek verilerin sayısal ve grafiksel sonuçlarını göstermektedir. Programda bulunan farklı filtreleme metodlarıyla istenilen aralıkta sonuçlar alınabilmektedir.

Çekicin farklı yüksekliklerden düşürülmesiyle SAP2000 programında modellenen kirişlerden farklı frekans değerleri bulunmuştur. Programın filtreleme özelliği sayesinde bulunan frekans değerleri, elde edilen ivme-zaman değer ve grafikleri ayrıca hesaba katılmayan gürültü titreşimleri de filtrelenmiştir. Filtrelenmiş değerler Lab-view programı kullanılarak ivme-zaman hız-zaman ve deplasman-zaman grafiklerinin çizilmesinde kullanılmıştır.

BÖLÜM 4. DARBE DENEYİ

Darbe deneyi bölümünde, deneysel çalışmanın nasıl yapıldığı ve deneysel çalışma sonucunda elde edilen grafiklere yer verilmiştir. Deneyde kullanılacak numuneler Sakarya Üniversitesi'nde bulunan Mustafa KAZAK laboratuvarlarında tecrübeli kişiler yardımıyla hazırlanmıştır.

İmalatı tamamlanmış kutu profil numuneleri Sakarya Üniversitesi Mustafa KAZAK laboratuvarına getirilmiş ve deney düzeneğine yerleştirilmiştir.

Deneyler süresince 120mmx80mm boyutlarında, 2000mm uzunluğunda 2 adet çelik kutu profil numunesi kullanılmıştır. Bu numuneler, sınır şartlarından biri sabit diğeri kayıcı mesnet olacak şekilde deney düzeneğine sabitlenmiştir.

Düzenekteki çekicin üretim sırasında hazırlanan ivmeölçer yuvasına ve düzeneğe yerleştirilen numunelerin önceden belirlenmiş olan noktalarına ivmeölçerler yerleştirilmiştir. Daha sonra deney yapılacak numuneye ve çekice yerleştirilen ivmeölçerlerin bilgisayar ortamında kontrolleri yapılarak çalıştıklarından emin olunup deneye hazır olunmuştur.

4.1. 200 mm Yükseklikten Uygulanan Darbe Deneyi

Deney düzeneği Şekil 4.1.'de deki gibi hazırlanmıştır. Mesnetler temel ayağına bulonlar ile tutturulmuş ayrıca deney numunesinin tam orta kısmının alt yüzüne gelecek şekilde ivmeölçer yerleştirilmiştir. Serbest ağırlık düşürme deney düzeneğinde bulunan 75 kg ağırlığındaki çekiç, düzeneğe yerleştirilen numuneden 200 mm yüksekliğe çıkartılmıştır. Sisteme kayıt komutu verildikten sonra düzeneğin çekici 200 mm'den numunenin tam açıklık ortasına gelecek şekilde serbest düşmeye

bırakılmıştır. Çekiç numuneye etki ettikten kısa bir süre sonra kayıt durdurularak elde edilen veriler daha sonra değerlendirilmek üzere kaydedilmiştir.



Şekil 4.1. 200 mm yüksekliğe ait darbe deneyi düzeneği

Kiriş numunelerinin deney öncesi ve sonrası görüntüleri Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



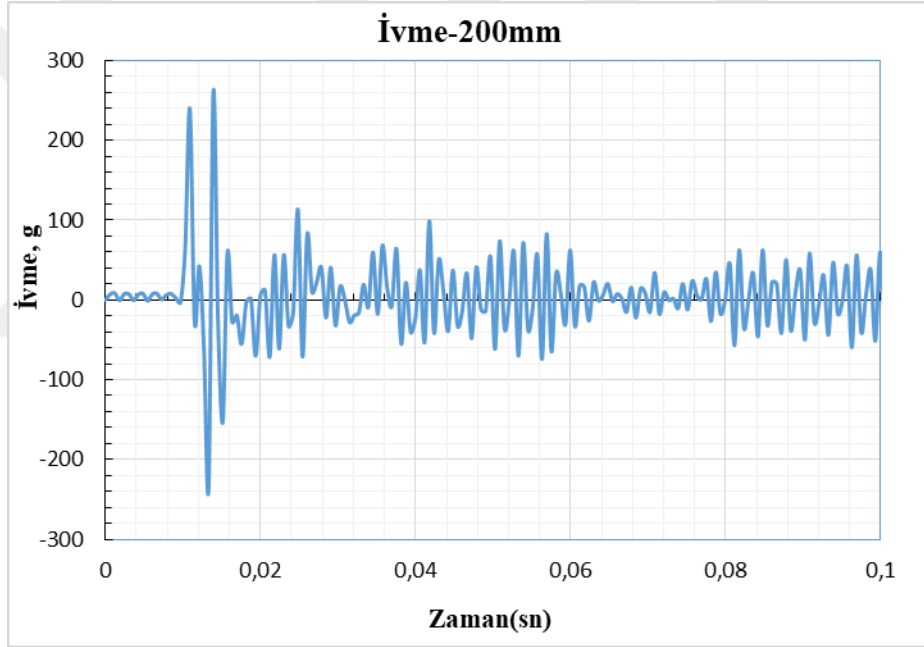
(a)



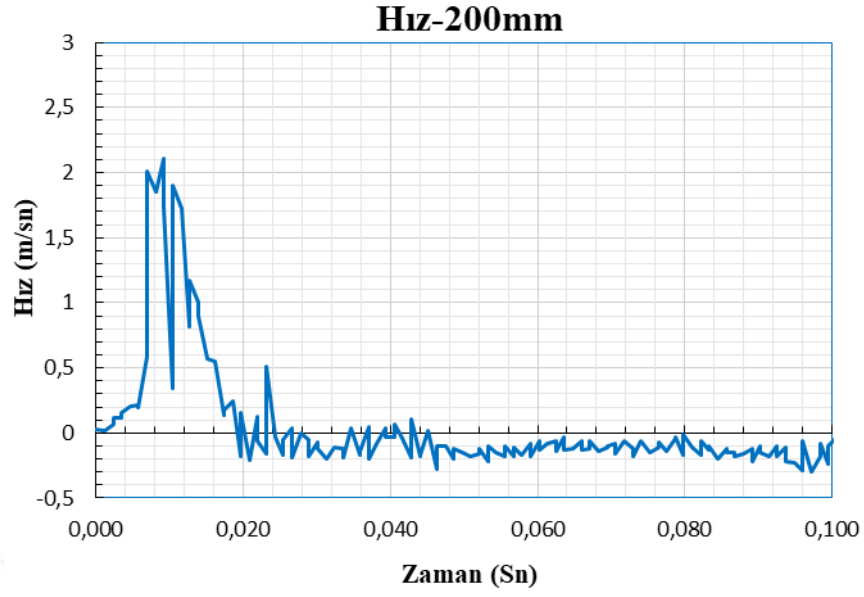
(b)

Şekil 4.2. 200 mm yükseklikteki darbe deneyi öncesi(a) ve deney sonrası(b)

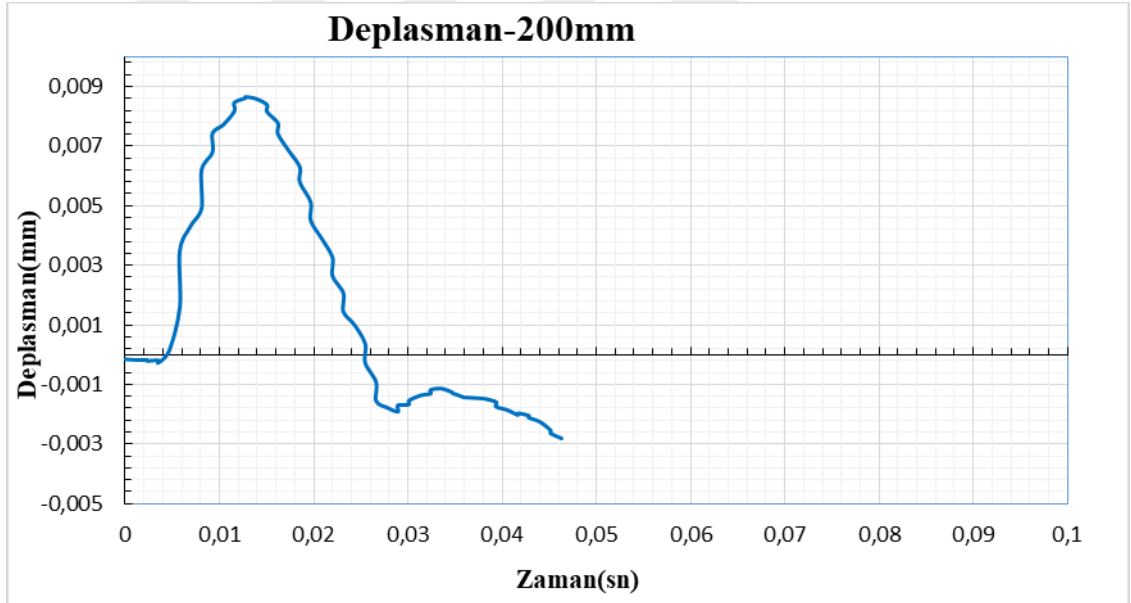
Yapılan deneylerde çekicin profilden teması kesilmeden hemen önce çelik profil numunesinin tam orta kısmında deplasman oluşmadığı tespit edilmiştir. Deplasman değerleri mm boyutunda incelendiğinde tam darbe esnasında 0,5 mm şekil değiştirdiği ancak çelik elastik bölgede olduğundan çeliğin ilk değerine geri döndüğü görülmüştür. Çelik kutu profil numuneden elde edilen ivme değerleri incelendiğinde bu deplasman değerlerinin maksimum ve minimum olarak sırasıyla 239g ve -233g olduğu görülmüştür. Deney düzeneğine yerleştirilmiş olan deplasman ölçer, loadcell ve ivme ölçerden elde edilen veriler yardımıyla Şekil 4.3. Şekil 4.4. ve Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi ivme-zaman, hız-zaman ve deplasman-zaman grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 4.3. 200 mm yüksekliğinden çekicin numunede oluşturduğu ait ivme-zaman grafiği

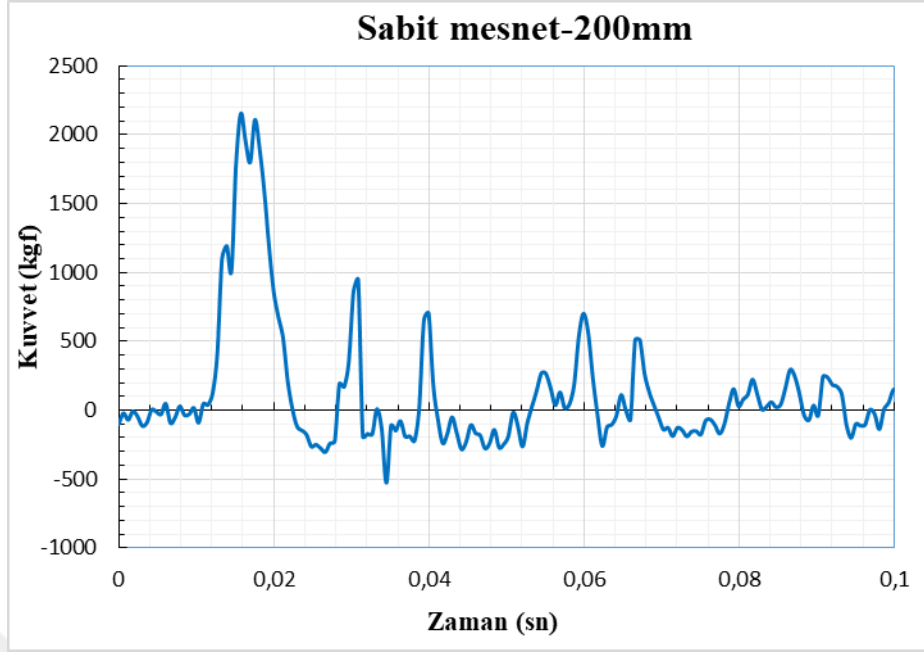


Şekil 4.4. 200 mm yüksekliğinden atılan çekicin numunede oluşturduğu hız-zaman grafiği

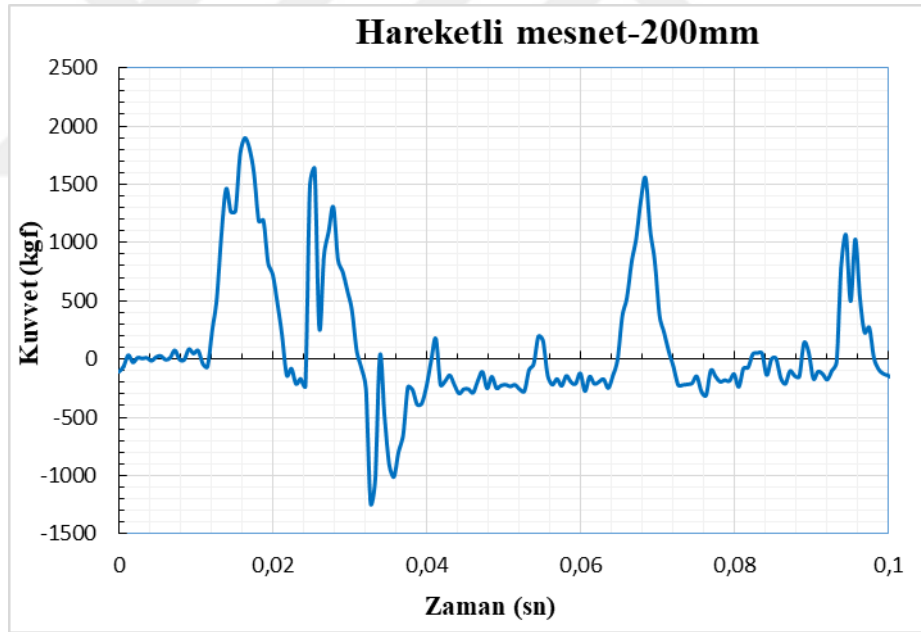


Şekil 4.5. 200 mm yüksekliğinden atılan çekicin numunede oluşturduğu deplasman-zaman grafiği

Yapılan deneysel çalışmada 200 mm'den numune üzerine serbest bırakılan çekicin darbe etkisiyle mesnetlerde tepki kuvvetleri meydana gelmiştir. Mesnetlerde oluşan tepki kuvvetlerinin değişim grafiği sırasıyla Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.6. 200 mm yüksekliğinden çekicinin Sabit mesnette oluşturduğu kuvvet-zaman grafiği



Şekil 4.7. 200 mm yüksekliğinden atılan çekicinin hareketli mesnette oluşturduğu kuvvet-zaman grafiği

4.2. 2000 mm Yükseklikten Uygulanan Darbe Deneyi

Deney düzeneği Şekil 4.8’de deki gibi hazırlanmıştır. Darbe etkisini sağlayacak 75 kg ağırlığındaki çekiç, 12 mm çapında 4 adet çelik halat yardımıyla yük paneline

bağlanmıştır. Deney düzeneğinde bulunan elektrikli kontrol paneli yardımıyla çekiç, deney numunesinden 2000 mm yüksekliğe çıkarılmıştır.



Şekil 4.8. 2000 mm yükseklikten uygulanan darbe deneyi düzeneği

Çekiç yükü, elektrikli kontrol paneli yardımıyla emniyet kilidinin açılmasıyla çekicin kiriş numunesinin tam orta kısmına gelecek şekilde serbest düşme sağlanmıştır. Deney numunesi ve çekiç üzerine yerleştirilen ivmeölçerlerden aynı zamanda ivme kayıtları alınmıştır. Ayrıca mesnetlerde bulunan yük hücreleri sayesinde mesnet tepki kuvvetleri ölçümleri de elde edilmiştir.

Çelik kiriş numunesine ağırlık düşürülmeden önce ve ağırlık düşürüldükten sonra elde edilen görüntüler Şekil 4.10.'da gösterilmiştir.



(a)

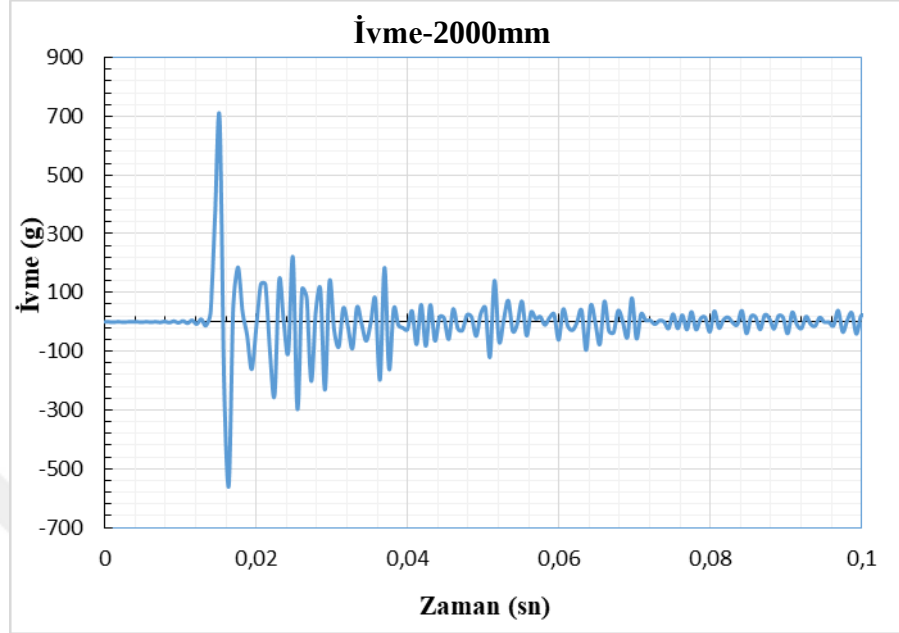


(b)

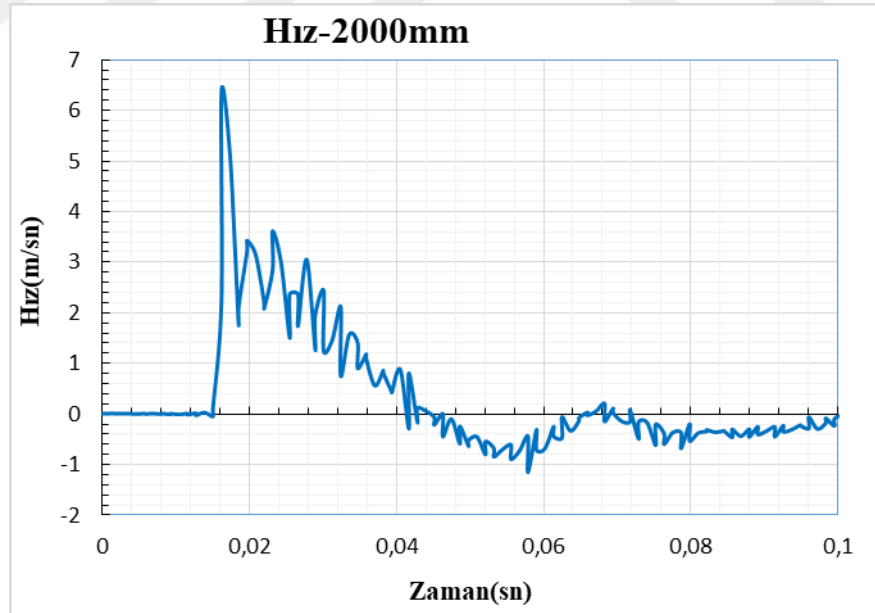
Şekil 4.9. 2000 mm yükseklikten uygulanan darbe deneyi öncesi(a) ve sonrası(b)

Hazırlanmış olan deney düzeneğiyle yapılan deneylerde çelik kutu profil numunenin çekiç ile temas ettiği orta kısmında 44 mm deplasman meydana gelmiştir. Deney numunesinden elde edilen ivme değerleri incelendiğinde meydana gelen maksimum deplasman değerinin 693g, minimum deplasman değerinin ise -557g olduğu görülmüştür. Deney elemanlarına yerleştirilmiş loadcell, ivme ölçer ve deplasman ölçerlerden elde edilen veriler yardımıyla ivme-zaman, hız-zaman ve deplasman-

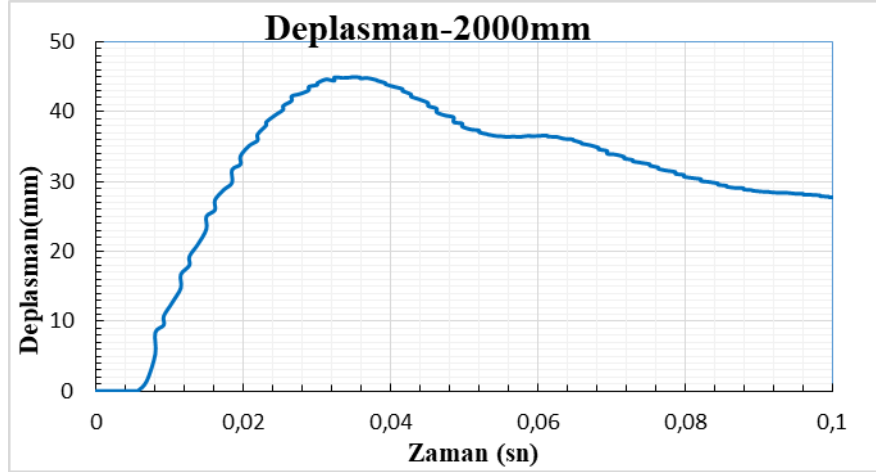
zaman grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen grafikler Şekil 4.10., Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10. 2000 mm yüksekliğinden uygulanan darbenin numunede oluşturduğu ivme-zaman grafiği

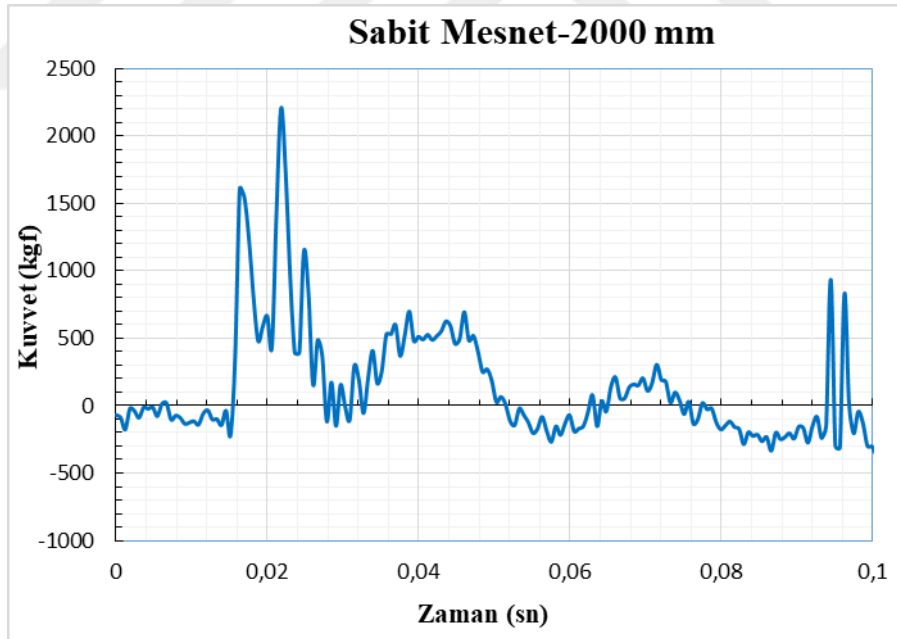


Şekil 4.11. 2000 mm yüksekliğinden uygulanan darbenin numunede oluşturduğu hız-zaman grafiği

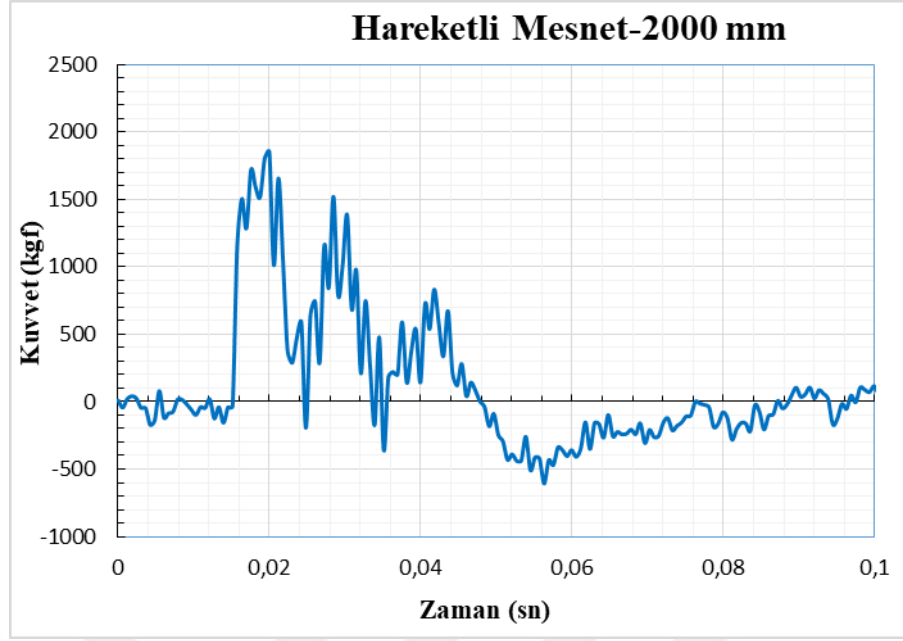


Şekil 4.12. 2000 mm yüksekliğinden uygulanan darbenin numunede oluşturduğu deplasman-zaman grafiği

Yapılan deneysel çalışmada 2000 mm'den numune üzerine serbest bırakılan çekicin darbe etkisiyle mesnetlerde tepki kuvvetleri meydana gelmiştir. Mesnetlerde oluşan tepki kuvvetlerinin değişim grafiği sırasıyla Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 2000 mm yüksekliğinden atılan çekicin sabit mesnette oluşturduğu kuvvet-zaman grafiği



Şekil 4.14. 2000 mm yüksekliğinden atılan çekicinin hareketli mesnette oluşturduğu kuvvet-zaman grafiği

Farklı yüksekliklerden uygulanan darbe kuvvetleri sonucunda çelik kutu profillerde deplasman meydana gelmiştir. 200 mm yükseklikten uygulanan darbe deneyi sonucunda deney numunesinde deplasman oluşmaz iken, 2000 mm yükseklikten uygulanan darbe deneyi sonucunda 44,9 mm deplasman meydana gelmiştir. Elde edilen bu verilerden yola çıkarak darbenin meydana geleceği yükseklik arttıkça elemanda oluşacak deplasman miktarının artacağı sonucuna varılmıştır.

BÖLÜM 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu bölümde, sonuçlar kısmında, darbe deneyi sonucunda, çekiç ve numunelerdeki ivmeölçerlerden alınan kayıtlar kullanılarak araştırma yapılmıştır. Numuneden alınan ivme kaydının sayısal analizi ile hız-zaman ve konum zaman eğrileri elde edilmiştir.

5.1. Sonuçlar

Günümüzde yaygın olarak kullanılmakta olan çelik yapıların çarpma etkisi altındaki davranışı ile ilgili standart ya da yönetmelik bulunmamaktadır. Bu yüzden bu tür deneysel çalışmaların gelecekte yapılacak standart ve yönetmeliklere ışık tutacağı düşünülmektedir.

Çelik kutu profillere uygulanan darbe yükü deneyleri sonucunda çekiç ve deney numunelerine yerleştirilmiş ivme ölçerlerden alınan kayıtlar kullanılarak eleman davranışı incelenmiştir.

Aynı enkesit alanına sahip dikdörtgen çelik profillerin 200mm ve 2000mm yüksekliğinden 75 kg ağırlığındaki çekiç serbest düşmeye bırakıldığında, eleman davranışında önemli farkların ortaya çıktığı görülmüştür.

200mm ile 2000mm yüksekliğinden 75 kg ağırlığına sahip çekiç serbest düşme hareketine bırakılmıştır. Deney numunesinin altına somun kaynaklanmış ve ivme ölçer kaynaklanan somun yardımı ile deney numunesine yerleştirilmiştir. İvme ölçer sadece kendi eksenini doğrultusunda veri okumaktadır. Çekiç numuneye vurduğu anda yerçekimi etkisi ile çekiç ve numune beraber hareket etmekte, ivme ölçerin numuneye bağlandığı doğrultu yani +z yönü, ivme ölçer verileri için eksi değer olmaktadır. Deney numunesine yerleştirilen ivme ölçer çekicinin vurması ile beraber ilk olarak yerçekimi

doğrultusunda $-z$ yönünde ancak kendi ivme ölçer eksenine göre, ilk olarak artı değer okumaktadır. Yerleştirilme durumuna göre her iki numunede aynı olduğundan, ivme ölçer ilk olarak kendi yerleştirilme eksenine göre artı, daha sonra eksi değer okumuştur. 2000mm yükseklikten düşen çekicinin numune üzerinde oluşturduğu artı ivme değeri 200mm yüksekliğinden düşen çekicinin yarattığı ivme değeri arasında %190 oranında artış olmuş, eksi ivme değeri %140 oranında artmıştır. Yükseklik artırıldığında numunenin artı ve eksi ivmesinde görülen artış, bilinen eleman davranışı olarak beklenen bir durumdur. Ayrıca her iki deney numunesinden alınan ivme değerleri zamanla azalarak sıfır çizgisine yaklaşmıştır, ancak ivme ölçer çok hassas olduğu için ortan titreşimi dediğimiz yani gürültü olarak isimlendirilen frekansları aldığından hiçbir zaman tamamen sıfır olmamaktadır.

2000mm yükseklikten düşen çekicinin numune üzerinde oluşturduğu hız değeri 6,3 m/sn, 200mm yüksekliğinden düşen çekicinin yarattığı hız değeri arasında %200 oranında artış olmuştur. Hız grafikleri Labview yardımıyla ivme değerlerinin integrasyonu ile elde edilmiştir. Dolayısı ile yükseklik artırıldığında numunenin ivmesinde görülen artış, numunenin hız-zaman grafiğinde de görülmektedir. Hız-zaman grafiği ivmenin zamana bağlı integrasyonu olduğu için, hız-zaman grafiği zamanın ilerlemesi ile sıfır çizgisine daha yaklaşmıştır. Gürültü değerlerinin integrasyonu alındığı için daha düşük seviyede ama yine de görülmektedir.

2000mm yükseklikten düşen çekicinin numune üzerinde oluşturduğu deplasman değeri 44,9 mm, 200mm yüksekliğinden düşen çekicinin deplasman değeri 0,008mm dir. Çekicinin ağırlığı sabit tutularak düştüğü yükseklik 10 kat artırılırsa deplasman değerinde %500 oranında artış olmaktadır. Deplasman-zaman grafikleri, Labview yardımıyla hız-zaman değerlerinin zamana bağlı integrasyonu ile elde edilmiştir. Dolayısı ile yükseklik artırıldığında numunenin deplasmanında görülen artış oranı, numunenin hız-zaman grafiğinde de görülmektedir. Deplasman-zaman grafiği 200 mm için elastik kısımda kalmış deformasyon yok denecek kadar az olmuştur. 2000mm yüksekliğinden düşen çekiç ise numunenin 44,9 mm deplasman yapmasına neden olmuştur. 2000 ivmenin zamana bağlı integrasyonu olduğu için, hız-zaman grafiği

zamanın ilerlemesi ile sıfır çizgisine daha yaklaşmıştır. Gürültü değerlerinin integrasyon alındığı için daha düşük seviyede görülmektedir.

2000mm yükseklikten düşen çekicin sabit mesnette oluşturduğu değer 2200kgf 200mm yüksekliğinden düşen çekicin sabit mesnette oluşturduğu değer 2000kgf'dir. Farklı yükseklikten düştüğü için mesnet değerleri arasındaki fark %10 civarındadır. 2000mm yükseklikten düşen çekicin hareketli mesnette oluşturduğu değer 1900kgf 200mm yüksekliğinden düşen çekicin sabit mesnette oluşturduğu değer 1900kgf'dir. Farklı yükseklikten düşmüş olmasına rağmen mesnet değerleri arasındaki fark oluşmamıştır. Ayrıca deney düzeneği basit giriş olarak oluşturulmuştur. 2000mm yükseklikten düşen çekicin sabit mesnette oluşturduğu değer 2200kgf hareketli mesnette oluşturduğu mesnet tepkisi 1900kgf'dir. 2000mm yüksekliğinden 75 kg ağırlığında düşen çekicin sabit ve hareketli mesnetler arasında % 13 fark oluşturmuştur. 200mm yükseklikten düşen çekicin sabit mesnette oluşturduğu değer 200kgf hareketli mesnette oluşturduğu mesnet tepkisi 1900kgf'dir. 200mm yüksekliğinden 75 kg ağırlığında düşen çekicin sabit ve hareketli mesnetler arasında % 5 fark oluşturmuştur.

5.2. Öneriler

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, eleman davranışının matematiksel modelinin oluşturulması için daha fazla deney numunesi üzerinde deney yapılmalıdır. Deney sırasında deney numunelerinin daha fazla noktasından veri alınabilir. Özellikle deplasman ölçerin numunenin uzunluğu doğrultusunda 10 cm aralıkla yerleştirilmesi eleman davranışının belirlenmesinde önemli olunacağı düşünülmektedir. Yapılan bu önerilerin bundan sonraki çalışmalarda, araştırmacılara yön gösterici düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F., & Çağlayan, Ö. (2012). Çelik yapılar: 2007 Deprem Yönetmeliğine uyarlanmış emniyet gerilmesi esasına göre hesap. Çağlayan Kitabevi.
- [2] Kantar, E., CFRP ile güçlendirilmiş beton kirişlerin çarpma davranışının deneysel olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Doktora Tezi, 2009.
- [3] Marar, K., Eren, Ö., & Celik, T. (2001). Relationship between impact energy and compression toughness energy of high-strength fiber-reinforced concrete. *Materials letters*, 47(4-5), 297-304.
- [4] Marar, K., Eren, Ö., & Celik, T. (2001). Relationship between impact energy and compression toughness energy of high-strength fiber-reinforced concrete. *Materials letters*, 47(4-5), 297-304.
- [5] Barr, B., Bouamrata, A., & Baghli, A. (1990). Impact strength of FRC materials. *Engineering Fracture Mechanics*, 35(1-3), 333-342.
- [6] Erki, MA, ve Meier, U. (1999). CFRP laminatlarla dıştan güçlendirilmiş beton kirişlerin darbe yükü. *İnşaat Kompozitleri Dergisi* , 3 (3), 117-124.
- [7] Fırat, B., Dış basınca maruz takviyeli silindirik kabukların yapısal stabilitesinin incelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [8] Selvi, M., Beton dayanımındaki değişimin çarpma davranışına olan etkisinin deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.
- [9] Wenjie W., Nawawi C., The behaviour of coconut fibre reinforced concrete (CFRC) under impact loading. *Construction and Building Materials*, Volume 134, , 452-461, 1 March 2017.
- [10] M. Nili, A.H.Ghorbankhani, A.AlaviNia, M.Zolfaghari, Assessing the impact strength of steel fibre-reinforced concrete under quasi-static and high velocity dynamic impacts. *Construction and Building Materials*, Volume 107, 264-271, 15 March 2016.

- [11] Mahmoud Nili, V.Afroughsabet, The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, Volume 24, Issue 6, 927-933, June 2010.
- [12] Küden, B., Çimento dozajı ve agrega granülometrisinin betonun çarpma dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2011.
- [13] Erbaş, Y., Prizmatik çubukların çarpma yüklemesi altında analizi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [14] Tang, T. ve Saadatmanesh, H. (2003). Darbe yüklemesi altında fiber takviyeli polimer laminatlarla güçlendirilmiş beton kirişlerin davranışı. *İnşaat kompozitleri dergisi* , 7 (3), 209-218.
- [15] Tokgöz, M.N., Betonarme kolonların çarpışma yüklemesi etkisi altındaki davranışlarının deneysel olarak incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [16] Mercimek, Ö.,CFRP şeritlerle güçlendirilmiş betonarme kolonların çarpışma yüklemesi etkisindeki davranışının incelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- [17] Alam, M. I., & Fawzia, S. (2015). Numerical studies on CFRP strengthened steel columns under transverse impact. *Composite Structures*, 120, 428-441.
- [18] Yılmaz, T., Betonarme kolonların çarpma davranışının deneysel olarak incelenmesi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2018.
- [19] Batarlar, B. (2013). Behavior of reinforced concrete slabs subjected to impact loads (Master's thesis, Izmir Institute of Technology).
- [20] Yaşayanlar, S., Çelik fiber katkılı betonarme döşemelerin darbe dayanımı. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [21] Zineddin, M.; Krauthammer, T. Dynamic response and behavior of reinforced concrete slabs under impact loading. *International Journal of Impact Engineering*, 2007, 34.9: 1517-1534.
- [22] Trivedi, N., & Singh, R. K. (2013). Prediction of impact induced failure modes in reinforced concrete slabs through nonlinear transient dynamic finite element simulation. *Annals of Nuclear Energy*, 56, 109-121.
- [23] Yılmaz, T., Kırac, N., Anil, Ö., Erdem, R. T., & Sezer, C. (2018). Low-velocity impact behaviour of two way RC slab strengthening with CFRP strips. *Construction and Building Materials*, 186, 1046-1063.

ÖZGEÇMİŞ

Bekir Kaan GENÇ, 03.07.1991 de Sakarya’ da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Erenler İlkokulunda tamamladı. 2009 yılında Şehit Üsteğmen Selçuk Esedoğlu Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2009 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2010/2011 Öğrenim yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yaparak 2013 yılında lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2013-2016 yılları arasında Sakarya'da, sonrasında Bursa'da çelik yapıların projelendirilmesi konusunda proje tasarım mühendisi olarak çalışmaya ve mühendislik hizmeti vermeye devam etmektedir.