



**BETONARME KOLONLARA YATAY OLARAK UYGULANAN
ÇARPIŞMA YÜKLEMESİNİN LİNEER OLMAYAN SONLU ELEMANLAR
YÖNTEMİ İLE ANALİZİ**

Waheedullah BARMAKI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2018

Waheedullah BARMAKI tarafından hazırlanan “BETONARME KOLONLARA YATAY OLARAK UYGULANAN ÇARPIŞMA YÜKLEMESİNİN LİNEER OLMAYAN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. M. Cem YILMAZ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 08/02/2018

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Waheedullah BARMAKI

08/02/2018

BETONARME KOLONLARA YATAY OLARAK UYGULANAN ÇARPIŞMA YÜKLEMESİNİN LİNEER OLMAYAN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE

ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Waheedullah BARMAKI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Şubat 2018

ÖZET

Betonarme kolonlar karayolu ya da denizyolu köprü ayaklarına araçların çarpması veya patlama etkisiyle kolonlara etki eden hava şoku profili gibi çeşitli nedenlerden dolayı ani dinamik çarpışma yüklemesi etkisinde kalabilmektedir. Bu tür etkiler betonarme kolonlara etkiyebilecek ani dinamik çarpma yüklemelerine birer örnektir. Kolonlara etkiyen ani dinamik çarpışma yüklemesinin laboratuvar ortamında modellenmesinde literatürde de yaygın olarak yer alan ve tercih edilen serbest ağırlık düşürme test düzeneği kullanılmıştır. Tez çalışması kapsamında çarpışma yüklemesinin uygulanabilmesi için özel olarak tasarlanmış bir test düzeneği ile kolon deney elemanlarının incelendiği deneysel bir çalışmanın sonuçları kullanılarak doğrulanmış bir sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Deneysel çalışmada test edilen betonarme kolonlar 1/3 geometrik ölçekli ve kare kesitli olarak üretilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında üretilmiş ve test edilmiş toplam sekiz deney elemanının beşi ANSYS Autodyn Explicit STR yazılımı kullanılarak lineer olmayan artımsal dinamik analizi yapılarak, deneysel sonuçlar ile uyumlu bir sonlu elemanlar modeli oluşturulması hedeflenmiştir. Deneysel çalışmada incelenen değişkenler betonarme kolona uygulanan çarpışma yüklemesinin etki noktası, kolondaki kesme donatısı aralığı ve beton basınç dayanımıdır. Kolonlara çarpışma yüklemesi 9 kg ağırlığındaki çekicinin 1000 mm yükseklikten düşürülmesi ile etkitilmiştir. Kolonlara uygulanan çarpışma yüklemesi kolonların orta noktasına ve yüksekliğinin üçte birine gelecek şekilde iki farklı noktada etkitilmiştir. Çarpışma testleri sırasında kolonlardan ivme ve kolon orta noktasından deplasman ile yükleme için kullanılan çekiç üzerinden uygulanan çarpışma yüklemesi değerleri zamana bağlı olarak ölçülmüştür. Yapılan lineer olmayan artımsal dinamik analizle deneysel sonuçlar ile uyumlu sonuç verebilecek bir sonlu eleman modelinin oluşturulması araştırılmış ve analiz sonuçlarının deneysel sonuçlara ne ölçüde yakınsadığı ile ilgili yorumlar yapılmıştır.

Bilim Kodu : 91130

Anahtar Kelimeler : Betonarme Kolon, Çarpışma, Araç çarpması, Patlatma, Sonlu Elemanlar Yöntemi, ANSYS

Sayfa Adedi : 81

Danışman : Prof. Dr. Özgür ANIL

INVESTIGATION OF IMPACT BEHAVIOR OF REINFORCED CONCRETE COLUMN USING WITH NON-LINEAR FINITE ELEMENT METHOD

(M.Sc. Thesis)

Waheedullah BARMAKI

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

February 2018

ABSTRACT

Reinforced concrete columns can be subject to sudden dynamic collision loading due to various reasons. A few examples of these effects include the crashing of vehicles into the highway or seaway bridgepiers or explosion shockwave profile effect on the columns. All of these effects are examples of sudden dynamic impulsive collision loads that can affect reinforced concrete columns. In order to model the columns under the influence of sudden collision load in the laboratory environment, the free weight drop test setup is used. This test is commonly used in the literature as well. In this study, a specifically designed experimental setup tested collision load applied to column test specimens. The results of this experimental setup were used to create a verified finite element model. The reinforced concrete columns tested in the experimental work have 1/3 geometric scale and are produced with square cross section. Using ANSYS Autodyn Explicit STR software performing nonlinear incremental dynamic analysis, this study aimed to create a finite element model that is compatible with the experimental results of a total of eight test specimens produced and tested under experimental study. The variables studied in the experimental study are the impact point of the collision load applied to the reinforced concrete column, the shear reinforcement range, and concrete pressure resistance. For the application of the collision load to the columns, a hammer weighing 9 kg was dropped from a height of 1000 mm. The collision load applied to the columns was applied at the midpoint and one third of the height of the columns. During the crash tests, time dependent acceleration, displacement and collision load values were measured consecutively from the surface of the column, midpoint of the column and from the hammer used for loading. With the nonlinear incremental dynamic analysis, the finite element model was formulated that can give results in accordance with the experimental results, and comments were made about how close the analysis results are to the experimental results .

Science Code : 91130

Key Words : Reinforced concrete column, impact behavior, vehicle impact, explosion, ANSYS

Page Number : 81

Supervisor : Prof. Dr. Özgür ANIL

TEŞEKKÜR

Teşekkürlerime öncelikle mesleğe ve hayata yaklaşımıyla herkese örnek olan, bilgisini ve deneyimlerini her zaman cömertçe paylaşan ve her zaman öğrencilerinin yanında olan değerli hocam Prof. Dr. Özgür ANIL ile başlamak istiyorum. Kendisine bana her zaman gösterdiği anlayış ve tez boyunca yaptığı katkılarından dolayı teşekkür ederim. Başta annem, babam ve kardeşlerim olmak üzere tüm aileme desteklerinden dolayı müteşekkirim. Ayrıca çalışma boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren, ANSYS yazılımını öğrenmem konusunda bana yardımca olan Mehmet Cem Yılmaz hocama teşekkür ederim. Bu iki değerli hocamın dışında kalan burada ismini sayamadığım ve bu zamana kadar yanımda olan Gazi üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümü değerli hocalarına ve arkadaşlarıma da ayrı ayrı teşekkür ederim. Son olarak burada ismi geçmeyen ama hayatımda önemli yeri bulunan, bana destek olan herkese çok TEŞEKKÜR EDERİM.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. DENEY DÜZENEGİ VE ÖLÇÜM ARAÇLARI.....	13
2.1. Deney Düzenegi	13
2.2. İvmeölçerler	14
2.3. Genel Bilgi	15
2.3.1. İvmeölçerin yapısı.....	16
2.3.2. Deneyde kullanılan ivmeölçer	17
2.4. Veri Toplayıcısı.....	21
2.4.1. Genel bilgi.....	21
2.4.2. Deneyde kullanılan veri toplayıcısı.....	21
2.5. Fotoseller.....	22
2.5.1. Genel bilgi.....	22
2.5.2. Deneyde kullanılan fotosel.....	22
2.6. Düşük Gürültülü Koaksiyal Kablo	23
2.6.1. Genel bilgi.....	23
2.6.2. Deneyde kullanılan düşük gürültülü koaksiyal kablo	23

	Sayfa
2.7. Doğrusal Değişkenli Fark Transformatörler (LVDT).....	24
2.7.1. Genel bilgi.....	24
2.7.2. Doğrusal değişkenli fark transformatörler (LVDT) ‘in yapısı.....	24
2.7.3. Deneyde kullanılan doğrusal değişkenli fark transformatör (LVDT).....	25
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	27
3.1. Genel Bilgi	27
3.1.1. Deney elemanı hazırlanırken kullanılan malzemelerin özellikleri	27
3.1.2. Deney elemanları	27
3.2. Deney Elemanlarının Deneye Hazır Hale Getirilmesi	29
3.3. Genel Bilgi	30
3.4. K1 Numaralı Deney Elemanı	31
3.5. K2 Numaralı Deney Elemanı	32
3.6. K3 Numaralı Deney Elemanı	32
3.7. K4 Numaralı Deney Elemanı	33
3.8. K5 Numaralı Deney Elemanı	34
3.9. K6 Numaralı Deney Elemanı	35
3.10. K7 Numaralı Deney Elemanı	35
3.11. K8 Numaralı Deney Elemanı	36
4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ	39
5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ	51
5.1. Genel Bilgi	51
5.2. Modelin Oluşturulması.....	54
5.3. Malzeme Özellikleri ve Analiz Çalışması.....	60
5.4. Analiz Sonuçlarının Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması.....	69
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	77

Sayfa

KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	81



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Deney elemanlarının özellikleri.....	6
Çizelge 2.1. Model 353B02 İvmeölçerin teknik özellikleri.....	20
Çizelge 3.1. Deney elemanları, etriye aralıkları, beton basınç dayanımları, ağırlığın yükleme noktaları, düşü sayıları, düşü yükseklikleri ve çekiç ağırlıkları ...	30
Çizelge 3.2. K1 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar	31
Çizelge 3.3. K2 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar	32
Çizelge 3.4. K3 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar	33
Çizelge 3.5. K4 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar	33
Çizelge 3.6. K5 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar	34
Çizelge 3.7. K6 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar	35
Çizelge 3.8. K7 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar	36
Çizelge 3.9. K8 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar	36
Çizelge 4.1. Deney sonuçları	40
Çizelge 4.2. Kolon Deplasmanları	41
Çizelge 5.1. 3 nolu model sonlu eleman sayıları	58
Çizelge 5.2. 4 nolu model sonlu eleman sayıları	58
Çizelge 5.3. Çekiç, çelik plaka ve kauçuğa ait malzeme modelleri özellikleri	60
Çizelge 5.4. Çelik donatı malzeme modeli özellikleri	60
Çizelge 5.5. Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (3 nolu deneye ait) ...	61
Çizelge 5.6. Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (4 nolu deneye ait) ...	63
Çizelge 5.7. Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (5 nolu deneye ait) ...	64
Çizelge 5.8. Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (6 nolu deneye ait) ...	66
Çizelge 5.9. Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (8 nolu deneye ait) ...	67
Çizelge 5.10. Analiz sonuçlarının deney sonuçlarıyla karşılaştırılması	69

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Patlayıcıların yapı üzerinde oluşturduğu etkiler	4
Şekil 1.2. Kullanılan deney elemanı	7
Şekil 1.3. Donatı çeşidine göre yük-deformasyon grafiği	8
Şekil 1.4. Düşüm yüksekliği değiştirildiğinde çarpma kuvveti-zaman grafiği	9
Şekil 1.5. Çeşitli donatı oranlarında yük kapasitesi-deformasyon grafiği	10
Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan deney düzeneği	13
Şekil 2.2. İvmeölçerin yapısı	16
Şekil 2.3. Üç eksenli ivmeölçer	17
Şekil 2.4. İvmeölçerlerin montaj şekilleri ve yüksek frekansa etkileri.....	19
Şekil 2.5. 003A20 Model düşük gürültülü koaksiyal kablo ve içyapısı	23
Şekil 2.6. Doğrusal değişkenli fark transformatörün yapısı	24
Şekil 3.1. Deney elemanının boyutları.....	28
Şekil 3.2. Deney elemanının donatı detaylandırması.....	28
Şekil 3.3. Deney elemanının donatı metrajı.....	29
Şekil 3.4. Deney numunesinin yandan görünüşü.....	29
Şekil 3.5. Deney numunesinin üstten görünüşü.....	30
Şekil 4.1. 150 mm etriye aralıklı deney elemanları için maksimum ivme değerlerinin beton basınç dayanımı ile değişimi	42
Şekil 4.2. 300 mm etriye aralıklı deney elemanları için maksimum ivme değerlerinin beton basınç dayanımı ile değişimi	42
Şekil 4.3. Beton basınç dayanımı 10 MPa deney elemanlarının maksimum ivmenin etriye aralığı ile değişimi	43
Şekil 4.4. Beton basınç dayanımı 20 MPa deney elemanlarının maksimum ivmenin etriye aralığı ile değişimi	43
Şekil 4.5. Beton basınç dayanımı 20 MPa ve etriye aralığı 150 mm deney elemanlarının maksimum ivme değerlerinin yükleme noktasına göre değişimi	44

Şekil	Sayfa
Şekil 4.6. Beton basınç dayanımı 20 MPa ve etriye aralığı 300 mm deney elemanlarının maksimum ivme değerlerinin yükleme noktasına göre değişimi	45
Şekil 4.7. Beton basınç dayanımı 10 MPa ve etriye aralığı 300 mm deney elemanlarının maksimum ivme değerlerinin yükleme noktasına göre değişimi	45
Şekil 4.8. 150 mm etriye aralıklı deney elemanları için deplasman değerlerinin beton basınç dayanımı ile değişimi	46
Şekil 4.9. 300 mm etriye aralıklı deney elemanları için deplasman değerlerinin beton basınç dayanımı ile değişimi	47
Şekil 4.10. Beton basınç dayanımı 10 MPa deney elemanlarının deplasman değerlerinin etriye aralığı ile değişimi.....	47
Şekil 4.11. Beton basınç dayanımı 20 MPa deney elemanlarının deplasman değerlerinin etriye aralığı ile değişimi.....	48
Şekil 4.12. Beton basınç dayanımı 20 MPa ve etriye aralığı 150 mm deney elemanlarının deplasman değerlerinin yükleme noktasına göre değişimi....	49
Şekil 4.13. Beton basınç dayanımı 20 MPa ve etriye aralığı 300 mm deney elemanlarının deplasman değerlerinin yükleme noktasına göre değişimi....	49
Şekil 4.14. Beton basınç dayanımı 10 MPa ve etriye aralığı 300 mm deney elemanlarının deplasman değerlerinin yükleme noktasına göre değişimi....	50
Şekil 5.1. Nümerik sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilen Von-misses gerilme dağılımları ve deneysel çatlak yerlerinin karşılaştırılması	52
Şekil 5.2. ANSYS EXPLICIT STR Programında kullanılabilen sonlu eleman tipleri.....	55
Şekil 5.3. 3 nolu deney elemanı sonlu eleman modeli	56
Şekil 5.4. 4 nolu deney elemanı sonlu eleman modeli	57
Şekil 5.5. Sonlu eleman modellerinde ankraste mesnet yerleri	59
Şekil 5.6. 3 nolu deney elemanı sonlu eleman analizi sonuçları	70
Şekil 5.7. 4 nolu deney elemanı sonlu eleman analizi sonuçları	71
Şekil 5.8. 5 nolu deney elemanı sonlu eleman analizi sonuçları	72
Şekil 5.9. 6 nolu deney elemanı sonlu eleman analizi sonuçları	73
Şekil 5.10. 8 nolu deney elemanı sonlu eleman analizi sonuçları	74

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Yük etkidikten sonra kolonda oluşan deformasyon.....	9
Resim 2.1. Deney düzeneğinde bulunan çekiç ve düzeneği	14
Resim 2.2. Deney düzeneğinin son hali	15
Resim 2.3. ICP Model 353B02 Piezoelektrik ivmeölçer	18
Resim 2.4. Montaj yeri ve aparatı.....	20
Resim 2.5. NI 9233-USB-9162 veri toplayıcı	21
Resim 2.6. Deneyde kullanılan fotoseller	22
Resim 2.7. 003A20 Model numaralı kablo	23
Resim 2.8. Deneyde kullanılan LVDT	26
Resim 2.9. LVDT'lerin dübelle kolona monte edilmesi.....	26

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

ϕ

kg

kN

m

m²

mm

MPa

s

Açıklamalar

Fi

Kilogram

Kilonewton

Metre

Metrekare

Milimetre

Megapaskal

Saniye

Kısaltmalar

L

LVDT

PÇ

Açıklamalar

Boy

Doğrusal değişkenli fark transformatör

Portlant çimentosu

1. GİRİŞ

Mühendislik, dünya nüfusunun artışı ve teknolojik gelişmeler beraberinde büyük ilerlemeler yapmıştır. Bu gelişmelerin yanısıra hayatımızı kolaylaştıran yöntemler ve bilgilerin önemi gün geçtikçe daha da artmaktadır. İnşaat mühendisliği de diğer mühendislik dalları gibi sürekli değişen ve gelişen bir mühendislik dalıdır. Bu değişme ve gelişme; yaşam standartlarının değişmesi, hayat standartlarının yükselmesi, teknolojik gelişmeler, nüfus artışı, gelişmişlik düzeyi, insan hayatına verilen önemin artması ve bunun gibi nedenlerle olmaktadır.

Madencilik, taş ocağı işletmeciliği, baraj ve tünel inşaatı gibi birçok mühendislik çalışmasında vazgeçilmez bir gereklilik olan, aynı zamanda terörist faaliyetler sonucu da etkileri ile karşılaşılabilen patlatma işlemleri, oluşturdukları yer sarsıntısı, hava şoku ve doğal malzeme fırlaması gibi etkiler ile, mevcut alt ve üst yapı stoku için tehdit oluşturabilmektedir. Yeraltı ve yer yüzeyinde gerçekleştirilen patlatma faaliyetlerinin mevcut yapılara etkisinin tespiti ve bu etkilerin emniyetle karşılanabilmesi için yapısal elemanların patlama kaynaklı dinamik yüklere uygun tasarlanması ile yeni yapılaşma alanlarının patlatma bölgelerine uygun konumlandırılması, inşaat mühendisleri için çözülmesi gereken önemli problemler oluşturmaktadır. Son zamanlarda, terörizm saldırılarının özellikle yoğun yerleşime sahip şehir merkezlerini ve stratejik öneme sahip yapıları hedef aldığı da göz önüne alındığında, patlayıcıların yapılar üzerinde yarattığı etkilerin daha detaylı araştırılması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu problemin çözümü için gerekli olan temel veriler, yapılar için, patlayıcı miktarı, patlama noktasına olan mesafe, topografya ve zemin ya da kaya formundaki doğal malzemenin fiziksel özellikleri gibi arazi faktörlerine bağlı olarak, yapının çeşitli hasar seviyelerine ulaşma olasılığı, bir diğer deyişle hasar görülebilirlik derecesidir.

Ani darbe yüklerine karşı dirençli binaların tasarımı, araç, buz, gemi çarpışmaları, patlama vs. risklerden dolayı popüler bir konudur. Öte yandan, darbeli yüklere maruz betonarme yapıların davranışı tamamen açıklanmış bir konu değildir (Othman ve Marzouk, 2016). Buna göre, pek çok çalışma, betonarme elemanların ani darbe yüklerine tepkisini belirlemek için çarpma testlerine odaklanmıştır. Remennikov ve Kaewunruen'in 2006 yılındaki çalışmasında, geleneksel betonarme kolonlar üzerine serbest ağırlık düşme etkisi testi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, statik ve çarpma yükleri altında 1/4 ölçekli takviyeli

kolonların davranışı, deney numunelerine 160 kg serbest ağırlık düşürülerek araştırılmıştır. Bu çalışmada, geleneksel takviyeli kolonların, çapraz darbe yükleri altında kesme kritik modunda başarısız olma eğilimi olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışmada, kesme kapasitesi eğilme kapasitesinden daha küçük olan kolonlarda darbe noktasından başlayan geniş eğik kesme çatlaklarına rastlanmıştır. Bao ve Li tarafından yürütülen çalışma, 2010 patlama koşullarına maruz kalan beton kolonları artık eksenel dayanımına odaklanmıştır. Çalışmada kolonların dinamik tepkisi ve artık eksenel mukavemetini hesaplamak için sayısal bir yaklaşım kullanılmıştır.

Thilakarathna, Thambiratnam, Dhanasekar ve Perera (2010), çapraz darbe yüklemesine tabi tutulan eksenel yüklü beton kolonların davranışını tahmin etmek için doğrusal olmayan açık sayısal bir model geliştirmiş ve mevcut deney sonuçları ile modeli doğrulamıştır. Wu, Li ve Tsai (2011) çalışmasında, patlama yüklerine tabi tutulan kompozit kolonların dinamik cevabının 2011 sayısal simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Çalışmada sonlu elemanlar modelini doğrulamak için test sonuçları analitik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Ardından, artık kapasite endeksini tahmin etmek için çeşitli parametreler açısından çok değişkenli regresyon analizi kullanılarak iki denklem geliştirilmiştir [2].

Hao ve Wu (2005) simüle edilmiş yeraltı patlamasına bağlı yer hareketlerine tabi tutulan betonarme çerçeve yapılarının tepkisine odaklanılmıştır. Çalışmanın sayısal sonuçları, zemin hareket frekansı ve yapısal tepki parametrelerine bağlı olarak, düşük yapısal titreşim modlarının ve temel titreşim modunun dinamik yapısal tepkileri yönetebileceğini göstermiştir. Li, Rong ve Pan (2007), betonarme bir betonarme çerçeve yapısı için tasarım olarak, çalışmalarının ilk kısmının bir uygulamasını (tek serbestlik dereceli sistemler için eşdeğer bir statik kuvveti hesaplama modeli ve tasarım prosedürü) zıkk patlama koşullarında incelemiştir. Önerilen yöntemin kullanımı iki altı katlı betonarme çerçeve yapısı ile gösterilmiştir [5, 6].

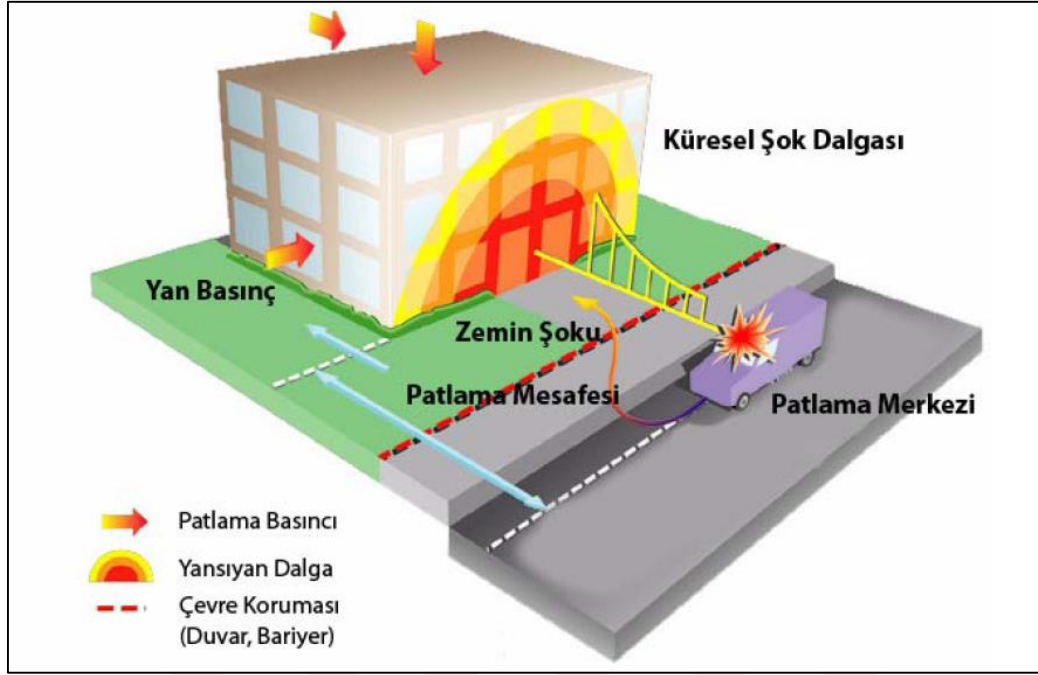
Lu ve Chong (2005) çalışmalarında yüzey altı patlaması altında gömülü olan beton yapıların tepkisini canlandırmak için tamamen birleştirilmiş sayısal bir model sunmuştur. Patlayıcı yük, toprak ortamı ve betonaeme yapı tek bir model sisteme dahil edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, modelin krater boyutu, yapıdaki patlama yükü ve ön duvardaki kritik yanıt açısından makul sonuçlar sağlayabileceğini göstermiştir. Yang ve Lok (2007) hava-patlama yüklemesine tabi betonarme yapıların dinamik mukavemetlerini hesaplamak için bir yöntem

önermişlerdir. Önerilen yöntem, gerinim oranı etkisi için uygun modifikasyona sahip tek serbestlik dereceli (SDOF) bir sistemi temel almaktadır [8].

Wu ve diğerleri (2005) patlamayla tahrik edilen yer uyarımlarına maruz kalan duvar ve betonarme çerçeve yapılarının üç boyutlu dinamik yanıtı ve hasar analizlerini gerçekleştirmiştir. Yüksek frekanslı zemin hareketleri altındaki bir yapının, kırılma bir başarısızlığa uğradığı ve hasarın, katlar arası yer değiştirmeden veya süneklikten ziyade kuvvet veya gerilme tarafından yönetildiği sonucuna varılmıştır. Bayraktar ve diğerleri (2010) deneysel olarak belirlenmiş dinamik özellikleri göz önüne alarak betonarme bir binanın patlama etkilerini değerlendirmiştir. Operasyonel Modal Analiz yöntemi binanın dinamik özelliklerinin çıkarılması için kullanılır ve patlama titreşimleri çevresel titreşimler olarak dikkate alınır. Patlatmanın betonarme bina üzerindeki etkileri, patlatmanın titreşimi binanın dinamik özellikleri ile değerlendirilerek ortaya atılmıştır [5].

Bu tez çalışmasının amacı; insan kaynaklı ani çarpışma etkisi (patlama, araba çarpması, gemi çarpması... vb.) altında kalan kolonların davranışlarının incelenmesi ve bu yapı elemanlarının tasarımının bu etkiler düşünülerek yapılması için literatüre bir katkı sağlanmasıdır.

Betonarme yapı elemanları projelendirme evrelerinde tasarım aşamasında yükleme türleri olarak genelde statik ölü yükler, hareketli ve dinamik olarak deprem veya rüzgar gibi dinamik etkiler dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Betonarme yapı eleman ve sistemleri tasarım aşamalarında ani dinamik çarpma yüklemelerinin oluşturabileceği etkiler düşünülerek projelendirilmemektedir [4]. Ancak çeşitli betonarme yapı elemanları veya yapılar bu tür ani dinamik çarpma etkilerine maruz kalabilmektedir. Örnek olarak betonarme kara yolu köprü ayaklarına araçların çarpması veya deniz yolu köprülerine deniz araçlarının çarpması bu tür ani dinamik çarpma yüklemelerine birer örnek olabilir. Bu durumlara ek olarak patlama etkisiyle oluşan hava şoku dalgalarının yapılar üzerinde oluşturduğu etki de çok kısa süreli ani bir dinamik etkidir. Şekil 1.1’de herhangi bir patlama kaynağından yapıya iletilecek etkiler gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Patlayıcıların yapı üzerinde oluşturduğu etkiler

Patlama etkisiyle oluşabilecek yüklemeyi iki bileşene ayırmak mümkündür. Birinci bileşen zeminde meydana gelen titreşim, ikinci etki ise patlama etkisi ile havada meydana gelen ani basınç değişimi ile oluşan küresel şok dalgası olarak tanımlanabilir[3]. Bu etkilerden zemin titreşimi olarak tanımlanan bileşen, patlamanın zemin ortamında oluşturduğu dalga ve ortaya çıkan ivmedir. Küresel hava şok dalgası olarak ifade edilen diğer bileşen ise patlama etkisiyle havada meydana gelen basınç dalgası olarak ifade edilir ve bu dalgaya hava şoku profili adı verilir.

Küresel hava basınç dalgası profili yapı elemanlarına etki edebilecek ani bir dinamik kuvvettir. Askeri yapılar, stratejik önemi olan yapıların yakınlarında meydana gelebilecek bu tür patlamaların etkisiyle hasar düzeyleri sınırlı kalacak şekilde projelendirilmesi giderek önem kazanan bir konu haline gelmektedir. Stratejik yapıların terörist saldırılardan korunabilmesi ve hasar düzeylerinin sınırlı kalarak içerisinde çalışan kişiler ya da ekipmanları koruması bir gerekliliktir. Betonarme yapıların patlama gibi ani dinamik etkiler altında tasarımlarının gerçekçi olarak yapılması için ilk olarak bu tür yüklemeler etkisinde nasıl davranış gösterdiklerinin deneysel olarak araştırılması gereklidir. Ayrıca genel davranışlarının, performanslarının, dayanımlarının, rijitliklerinin, enerji tüketim kapasiteleri gibi önemli parametrelerinin nasıl değişim gösterdiğinin araştırılması son derece önemli bir konudur.

Patlatmanın yapılar üzerinde yarattığı etkilerin incelenmesi ve bu konudaki bilgi birikiminin artırılması giderek artan bir önem kazanmaktadır. Yapıların tasarımında patlatmanın yaratacağı etkilerin azaltılmasına yönelik tasarımların yapılabilmesi için, öncelikle yapıların patlama etkisiyle oluşacak dinamik etkiler karşısında gösterdiği davranışın yeterli kesinlikte bilinmesi gerekmektedir. Patlayıcıların kötü amaçlar ile kullanımı, bu riski ve konudaki bilgi birikiminin artırılması gerekliliğini ortaya koymuştur. Günümüzde patlayıcıların kötü amaçlar ile kullanılması sonucunda yapıların üzerinde meydana gelen etkilerin gözlemlendiği örnekler de ne yazık ki son yıllarda önemli oranda artış göstermiştir.

Günümüzde patlayıcıların yapılar üzerindeki muhtemel etkilerinin öngörülmesi çok daha önemli hale gelmiştir. Patlayıcılar çeşitli inşaat imalatlarında ve madencilik gibi sektörlerde uzun zamandır kullanılmasına rağmen, yapıların patlayıcıların yarattığı dinamik etkilerden nasıl etkilendikleri konusunda, daha önce de açıklandığı üzere, bilinmeyen birçok nokta bulunmaktadır. Yapılan literatür taraması da bu görüşü desteklemiştir. Özellikle günümüzde patlayıcıların kötü amaçlar ile kullanımının artması da, stratejik öneme sahip yapıların bu riske karşı tasarlanması zorunluluğunu ortaya çıkartmıştır. Bu nedenle, bu konuda gerçekleştirilecek, özellikle de saha çalışması türünde deneysel araştırmalardan elde edilecek verilere büyük ihtiyaç duyulduğu açıktır. Konunun kendine has özelliği nedeni ile, deneysel sonuçlara ulaşabilmek için, bu konuda çalışma yapabilecek son derece sınırlı sayıdaki uzman kurumdaki destek alınması gerekliliği bulunmaktadır. Bu husus da, bu konudaki çalışmaların son derece sınırlı sayıda kalmasının bir başka nedenidir.

Bu amaçla deneysel bir çalışma düzenlenmiş ve patlayıcıların yapı elemanları üzerinde oluşturdukları etkiler laboratuvar ortamında benzeştirilerek simülasyonu yapılmıştır. Çalışma kapsamında test edilen deney elemanlarının bazı önemli özellikleri Tablo 1.1’de verilmiştir. Ancak bu türlü deneylerin laboratuvar ortamında gerçekleştirilmesi için serbest ağırlık deney düzeneği ve bu tür testlerde kullanılan özellikle sensör ve veri toplama sistemleri gibi bir alt yapının oluşturulması gerekmektedir. Bu gibi bir alt yapının oluşturulması zaman alıcı, maliyetli ve zor olabileceği düşünülerek bu çalışmada daha önceden gerçekleştirilmiş deneysel bir çalışmanın sonuçları kullanılarak, deneysel sonuçlar ile uyumlu sonuçlar verebilecek, gerçekçi bir lineer olmayan sonlu elemanlar modelinin oluşturulması amaçlanmıştır.

Çizelge 1.1. Deney elemanlarının özellikleri

Deney No	Kolon Etriye Aralığı (mm)	Beton Basınç Dayanımı (MPa)	Yükleme Noktasının Yeri	Düşü Sayısı	Düşü Yüksekliği (mm)	Çekiç Ağırlığı (kg)
1	150	10	Kolon Ortası	1	500	5,2
				2	750	
				3	1000	
2	150	10	Kolon Ortası	1	1000	5,2
				2		9,0
				3		9,0
3	150	20	Kolon Ortası	1	1000	9,0
				2		
				3		
4	300	10	Kolon Alt Ucundan 500 mm yukarıda	1	1000	9,0
				2		
				3		
5	300	10	Kolon Ortası	1	1000	9,0
				2		
				3		
6	300	20	Kolon Ortası	1	1000	9,0
				2		
				3		
7	300	20	Kolon Alt Ucundan 500 mm yukarıda	1	1000	9,0
				2		
				3		
8	150	20	Kolon Alt Ucundan 500 mm yukarıda	1	1000	9,0
				2		
				3		

Çalışma kapsamında incelenecek olan yapı elemanı olarak yapının stabilitesi için önemli olan düşey taşıyıcı elemanlar olan kolonlar seçilmiştir. Yapıların stabilite ve göçmeden ayakta kalması için önemli elemanlar olan kolonların ani dinamik çarpma yüklemeleri etkisinde nasıl bir davranış gösterdiğinin araştırılması için düzenlenen deneysel çalışmada araştırılan temel değişkenler, kolonların betonu basınç dayanımı, kesme donatısı aralığı ve kolona etkitilen çarpma yüklemesi uygulama noktasıdır. Bu değişkenlerin kolonların çarpma davranışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. İlk olarak düşü yüksekliğinin ve düşü ağırlığının tespit edilmesi için öncelikle düşü yüksekliği olarak 500 mm 750 mm denenmiş ve daha sonra 1000 mm düşü yüksekliği belirlenerek daha sonraki deneylerde sabit tutulmuştur. Aynı şekilde düşü ağırlığı olarak öncelikle 5,2 kg kullanılmış daha sonra ağırlık 9,0 kg değerine çıkarılarak sonraki deneyler de aynı şekilde kullanılmıştır (Tablo 1.1). Yürütülen tez

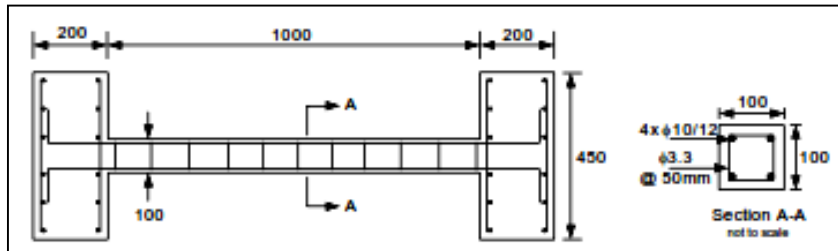
çalışmasında yukarıda özellikleri sunulan deneysel çalışmanın sonuçları kullanılarak ANSYS Autodyna Explicit STR yazılımı ile lineer olmayan sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. Sonlu eleman simülasyonundan elde edilen sonuçlar deneysel çalışmadan elde edilmiş sonuçlar ile karşılaştırılarak, çalışma kapsamında geliştirilen modelin ne kadar doğru ve gerçekçi sonuçlar verebildiği ile ilgili yorumlar yapılmıştır.

Tez çalışmasına başlanırken bu konuda daha önce yapılmış çalışmalar kapsamlı olarak incelenmiştir. Aşağıda bu çalışmaların yürütülen tez çalışmasına en fazla benzeyen iki adedinin özetleri bulunmaktadır.

Bu çalışma endüstriyel veya ulaşım kazaları ya da askeri veya terörist aktiviteleri nedeni ile kazara veya kasti olarak darbe veya patlatma yüklerine maruz kalan betonarme yapılar ile alakalıdır. Bu tarz yüklere maruz kalan yapıların analizi ve dizaynı için gerçekçi değerlendirmeler gerekmektedir. Bu çalışmada, dizaynın normal bir betonarme dizaynı olarak yapılması sonucu darbe dayanımının nasıl olacağı tarif edilmiştir. Çeyrek ölçekli betonarme kolonların statik ve darbe yükleri altında davranışı sunulmaktadır. Darbe yükü, kolonların orta noktasına 160 kg.lık serbest düşen çekiç ile uygulanmıştır. Darbe kuvveti, maksimum açıklık ortası deformasyonu ve reaksiyon kuvvetleri yüksek hızlı dijital depolayıcı salınımlar kullanılarak kayıt edilmiştir.

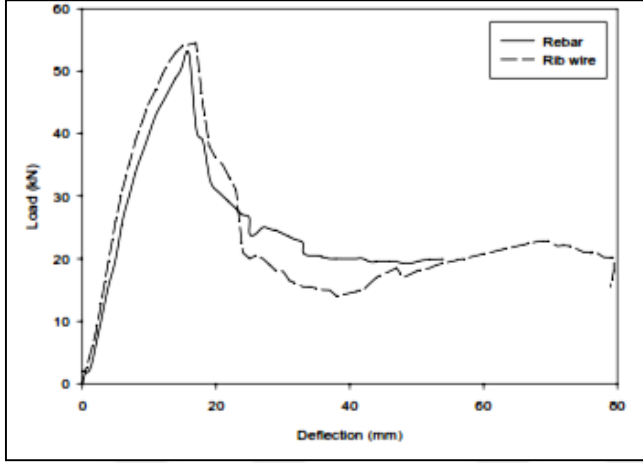
Statik testlerin amacı, statik ve darbe yüklerinin altında kolonların yük sapmalarını ve kırılma tepkilerini karşılaştırmak, ayrıca tek serbestlik dereceli sistem (SDOF) kullanılarak kesme kuvveti yetersiz kolonlar için direnç fonksiyonu belirlemektir.

Bu çalışmada kullanılan deney elemanı bizim deneyimizdeki deney elemanı ile benzerlik göstermektedir. Bu durum Şekil 1.2’de görülmektedir.

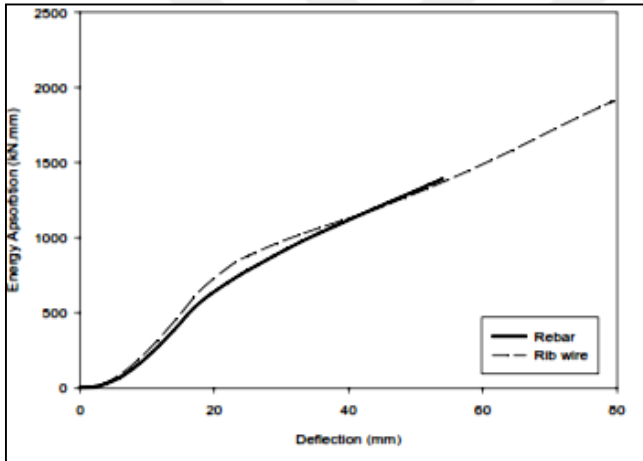


Şekil 1.2. Kullanılan deney elemanı

Yapılan çalışmada, donatı öncelikli olarak donatı çeşidinin değiştirilmesi incelenmiş ve Şekil 1.3’de görüldüğü gibi bu durumun herhangi bir değişiklik yaratmadığı görülmüştür.



(a)

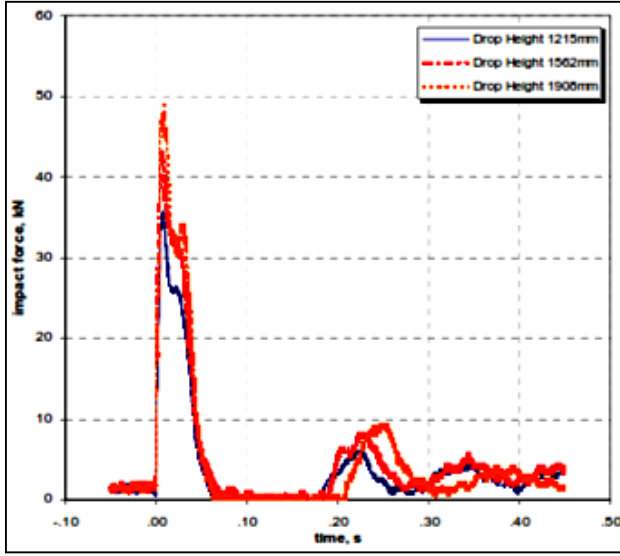


(b)

Şekil 1.3. Donatı çeşidine göre yük-deformasyon grafiği

Bunun üzerine değişken olarak düşüm yüksekliği ele alınmıştır. Düşüm yüksekliği değiştikçe çarpma kuvvetinin değişimi Şekil 1.4’de görüldüğü gibidir.

Sonuç olarak, bu deney çarpışma veya patlamadan kaynaklanan kazara yüklere karşı direnmek için bir dizayn yaklaşımı geliştirebilmek adına katkı sağlamıştır. Rasyonel analiz ve dizayn prosedürü saptamak amacıyla ağırlık düşümü ile gerçekleştirilen darbe deneyi birçok test numunesine uygulanmıştır. Beton kolonlar Avustralya Standartlarına (AS3600) uygun olarak dizayn edilmiştir. Yapılan kolon dizaynı çeyrek ölçek tasarlanmıştır. Yapılan deneyin sonucunda Resim 1.1’de de görüldüğü gibi kolonların yükün uygulandığı yerden düğüm noktasına kadar ciddi çapraz çatlaklar ile göçtüğü belirlendi.

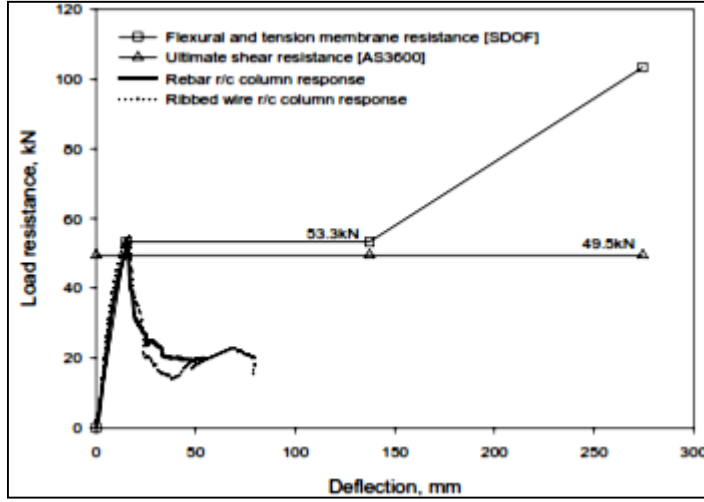


Şekil 1.4. Düşüm yüksekliği değiştirildiğinde çarpma kuvveti-zaman grafiği [1]



Resim 1.1. Yük etkidikten sonra kolonda oluşan deformasyon

Şekil 1.5’de görüldüğü üzere uygulanan yüke dayanımı donatı çeşidinin değil, etriye olup olmamasının veya eğilme ve çekmeye karşı dayanıklı zarın olup olmamasının belirlediği görüldü.



Şekil 1.5. Çeşitli donatı oranlarında yük kapasitesi-deformasyon grafiği [1]

Bu çalışma herhangi bir patlama durumunda kolonların davranışları ile alakalıdır. Kolonlar çerçeve yapılarda yüke dayanımda anahtar elemanlardır ve yapının dış kısmında bulunan kolonlar terörist saldırılarında muhtemelen daha fazla zedelenebilir yapı elemanlarıdır. Kolon göçmesi çerçeve yapılarda göçmenin ana nedenidir. Bu çalışmada yüksek duyarlılıklı fizik tabanlı bilgisayar programı LS-DYNA, dinamik tepkinin nümerik benzetimlerini ve kısa mesafede patlatma durumlarına konu olan betonarme kolonların artan eksenel gücünü temin etmekte kullanıldı. Sonlu elemanlar modeli detaylıca tartışıldı ve deneysel çalışmalarla ilişkilendirme yolu ile doğrulandı. Çalışmada enine donatı oranı, eksenel yük oranı, boyuna donatı oranı ve kolon en-boy oranının incelenmesi için 12 kolonluk seriye deney uygulandı.

Parametrik çalışma sonuçları baz alınarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Sismik detaylandırma teknikleri kullanılması, patlamaların oluşturduğu hasarı ve daha sonraki betonarme kolon çökmelerini önemli ölçüde azalttığı nümerik sonuçlarla görülmüştür.
- Farklı eksenel yük oranları altında eksenel kuvvetin bozulma kıyasları, kalıcı eksenel kuvvet oranının büyük eksenel yük altında daha küçük olduğunu gösterdi. Eksenel yük oranının etkisinin enine donatı oranının daha düşük olduğu kolonlarda daha kritik olduğu gözlemlendi.
- Sonuçlar boyuna donatı oranının artması ile kalıcı eksenel kapasite oranının genellikle arttığını göstermiştir.

- Nümerik sonuçlar kalıcı eksenel kapasite oranının, yüksek enine donatı oranı kullanılarak en-boy oranının azaltılması ile arttığını göstermiştir.
- Yapılan çalışmanın sonucunda bir formül geliştirildi. Önerilen denklemin sonuçları ile deney sonuçlarının kıyası neticesinin birbirini yansıttığı görüldü.
- Thilakarathna ve diğerlerinin çalışması: Çarpma etkisi altında eksenel yüklenen kolonların nümerik benzetimi ve hasar görebilirlik değerlendirmesi. (Numerical simulation of axially loaded concrete columns under transverse impact and vulnerability assessment)
- Bu çalışmada alçak yüksekliklere araç çarpması durumunda kolonların hasar görebilirliğini değerlendirmek amacıyla, lineer olmayan nümerik model geliştirilmiştir ve mevcut deneysel sonuçlar kullanılarak yapılan çalışma doğrulanmıştır. Çarpışma etkisinin başarılı bir şekilde tahmin edilmesinde önemli olan gerime oranının etkileri ve betonarmenin sargılanması nümerik model ile açıklanmıştır. Onaylama için kullanılan modellerin duyarlılığı irdelenmiş ve kesmeye karşı uygunluğunu incelemek için sayısal testler yapılmıştır. Gerilme etkileri üstündeki tutarsız görüşler tartışılmıştır.
- Deneysel sonuçlar nümerik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Çarpma etkisi altındaki kolonların kırılma karakteristikleri büyütülmüş sonuçlarla açıklanmıştır. Tüm sonuçlar temel alınarak, analitik metot kolonların hasar görebilirliğini ölçmek için önerilmiştir.
- Çalışmada enine darbe yüklerine maruz kalan eksenel yüklü kolonun sayısal modeli doğrulanmış ve araç etkisi altındaki kolonların davranışının benzetimini yapmak için genişletilmiştir.

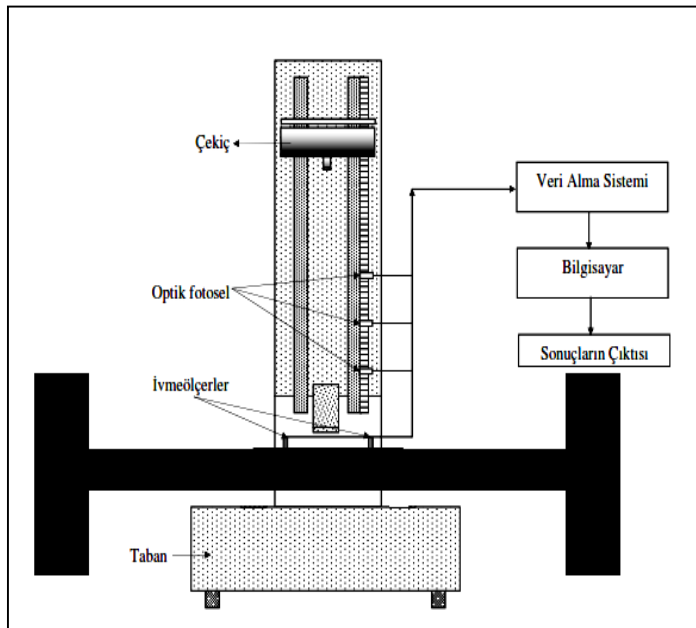


2. DENEY DÜZENEGİ VE ÖLÇÜM ARAÇLARI

Bu bölümde tez kapsamında yapılan sonlu eleman modelinin doğrulanmasında kullanılan deneysel çalışmanın deney ve ölçüm düzeneği ile ilgili temel bazı bilgiler anan hatları ile verilmiştir. Deney düzeneğine ve ölçüm araçlarına karar verilirken öncelikli olarak yapılmış çalışmalar dikkate alınmıştır. Yapılmış çalışmalar ve gerçek sonuçların birbiri ile uyumuna bakılmıştır. Sonuçların gerçeğe uygun olması için en uygun deney düzeneğinin ağırlık düşürücü deney düzeneği olduğuna karar verilmiştir. Literatürde benzer çalışmalarda da aynı test düzeneğinin kullanıldığı görülmektedir. Ölçüm araçları ise deney düzeneğine karar verildikten sonra seçilmiştir. Ölçüm araçlarının seçilen deney düzeneğine uygun olmasına dikkat edilmiştir.

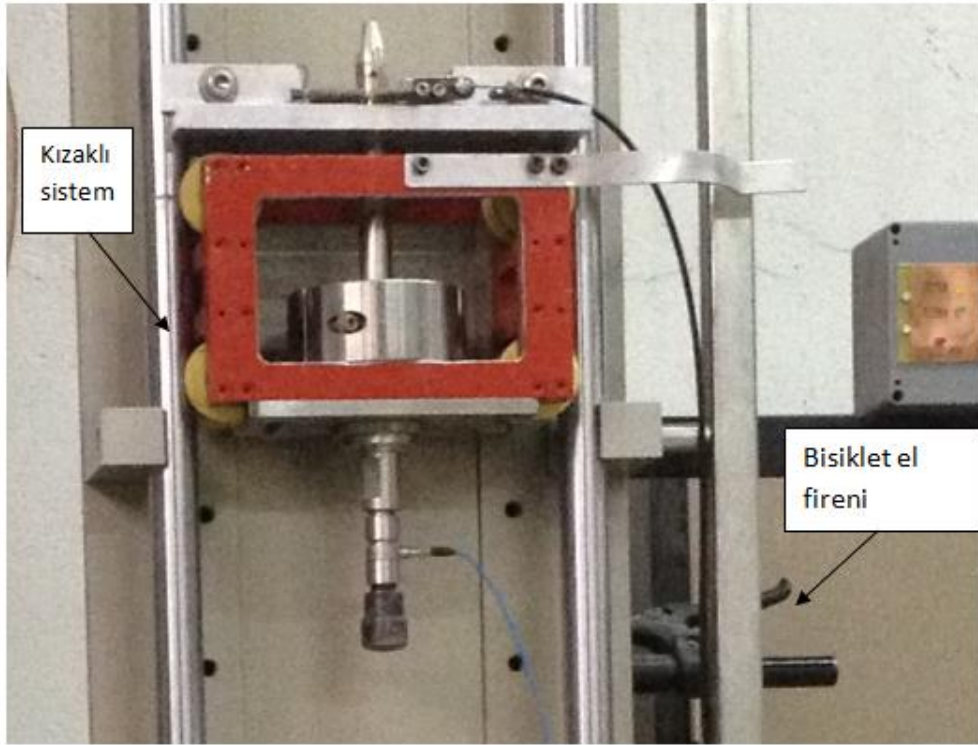
2.1. Deney Düzeneği

Çalışmada kullanılan deney düzeneği ağırlık düşürücü deney düzeneği olarak seçilmiştir. Kullanılan deney düzeneği farklı yüksekliklerden farklı ağırlıklar ile deney yapılmasına imkân sağlamaktadır. Ayrıca kolonun istediğimiz bölgesine ağırlık düşürülmesi bu deney düzeneği ile mümkündür. Deney düzeneğinin şematik görünüşü Şekil 2.1’de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.1. Çalışmada kullanılan deney düzeneği

Resim 2.1’de görülen deney düzeneğinin en önemli parçalarından olan çekiç ağırlığının etki ettiği kısımdır. Ağırlık artırılabilir şekilde bir mekanizmaya sahiptir. Çelik malzemeden yapılmıştır. Kendi ağırlığı 5,25 kg’dır. Çekicinin kütlesi iç kısmına kütle eklenerek artırılmaktadır. Çekiç aynı ekseninde kızaklarla numuneye kadar serbest düşme hareketi yapmaktadır. Çekicinin yüksekliği isteğe göre ayarlanmaktadır ve bir bisiklet el fireni yardımı ile serbest bırakılmaktadır.



Resim 2.1. Deney düzeneğinde bulunan çekiç ve düzeneği

Deney düzeneğinin genel görünüşü Resim 2.2’de görüldüğü gibidir.

2.2. İvmeölçerler

İvme, fizikte hızın zamana göre değişme miktarı veya hızın zamana göre türevine eşit olan niceliklerdir. Vektörel bir nicelik olup, cismin hem yönünün hem de hızının zamana göre değişimini verir. İvmeölçer vasıtası ile ölçüldüğünde, m/s^2 olarak SI cinsinden birimlendirilir.

İvmeölçer veya akselerometre, bir kütleye uygulanan ivmeyi ölçen cihazlardır. Uygulanan ivmenin ölçümünde, koordinat ivmesi (referans ivme) bilinmesine gerek yoktur. Bunun

yerine ivmeölçer, içindeki test kütlesine referans eksenindeki, kütleden kaynaklı olan uygulanan kuvvetlere bakar.



Resim 2.2. Deney düzeneğinin son hali

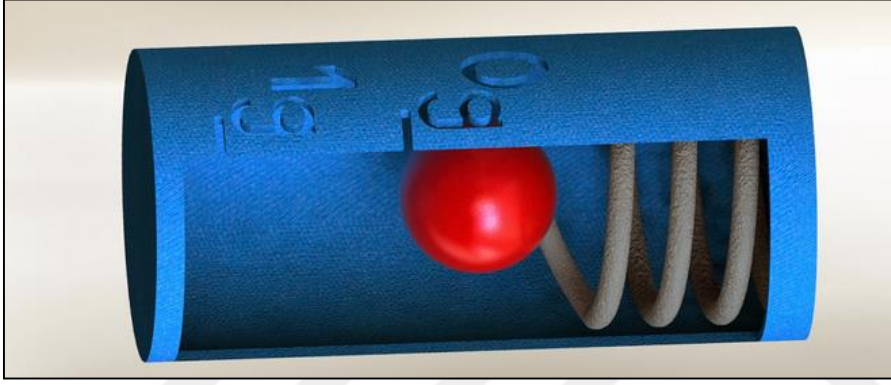
2.3. Genel Bilgi

İvmeölçer birçok alanda kullanılabilir. Yüksek hassasiyete sahip ivmeölçerler füze, uçak, gemi ve denizaltılarının navigasyon sistemlerinde kullanılan en önemli parçalardan birini oluşturmaktadır. Ayrıca cihazın içerisindeki titreşimi kontrol edip, bu titreşimin istenilen aralıkta olup olmadığını kontrol eder. Tablet bilgisayar ve dijital kameralarda titreşimi engelleyici sistemlerde aktif olarak kullanılmaktadır.

Birçok cihazda etkin olarak kullanılan ivmeölçerin birçok uygulama alanı bulunmaktadır. Bu sensör silah sanayi ve endüstride yaygın olarak kullanılmaktadır. Deneyde uygulanacak sistem için uygun bir ivmeölçer seçilmesi önemlidir.

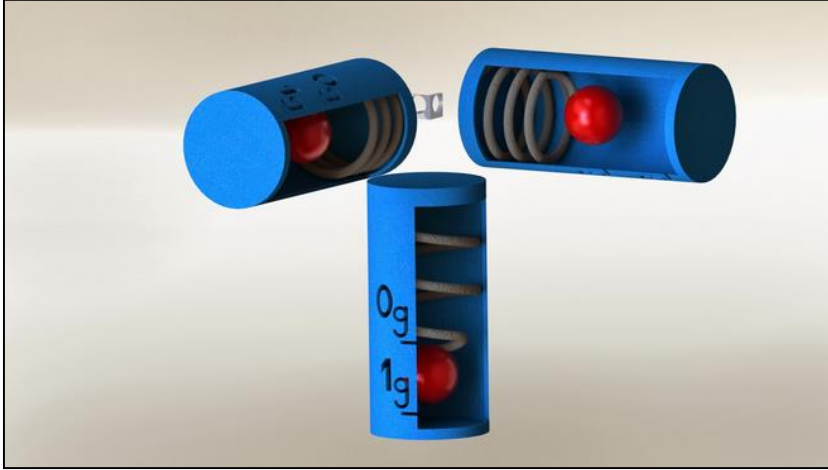
2.3.1. İvmeölçerin yapısı

Şekil 2.2’de görüldüğü gibi, kütle ivme kılavuzunun içerisinde yatay olarak konumlandırılmıştır. Başlangıç noktası 0 gram olarak belirlenmiş olup, kıyaslamaları 0 grama göre yapmaktadır. Bu kılavuz dikey olarak konumlandırıldığında ise, kütlenin konumu 1 grama gelmektedir; çünkü içerisindeki kütle yatay olarak 9.86 m/s^2 ’ye eşit bir ivmeyle hareket ettirilseydi, 1 gram noktasına denk gelecek şekilde kütle konumlanacaktır. Burada dikey olarak kütleye etki eden yerçekimi etkisiyle, yatayda görülen etki dikeyde de geçerli olacaktır.



Şekil 2.2. İvmeölçerin yapısı

Burada ele alınan ivmeölçer bu eksenlerin birleşmesiyle hareketi kontrol etmektedir. Bilindiği gibi, bu sensörler tek yönlü ölçüm yapmaktadır. Bu nedenle, Şekil 2.3’deki gibi 3 adet sensör birleşerek 3 boyutta hareketi kontrol edebilir. Bu 3 eksen ise; x, y, z olarak isimlendirilirse, bu şekilde gösterimle koordinat sistemi oluşmuş olur. Böylece, sistem oluşacak ivme değişikliklerini her yönde kontrol edebilecektir.



Şekil 2.3. Üç eksenli ivmeölçer

İvmeölçerler farklı yöntemlerle çalışmaktadır. Bunların en yaygın olarak kullanılanları piezoelektrik ve kapasitif ivmeölçerlerdir.

- Piezoelektrik ivmeölçerler içerisindeki mikroskobik kristaller maruz kaldıkları stres sonucunda orantılı olarak gerilim üretir. Üretilen bu gerilim değeri, önceden tanımlanmış olangerilim değeri ile kıyaslanır ve ivmenin etkisi bulunmuş olur.
- Diğer bir tip ise kapasitif ivmeölçerlerdir. Birbirine yakın iki paralel levha arasında kapasitif etki oluşur ve kapasitans değeri ortaya çıkar. Bu tip ivmeölçerlerde kapasitif iletim prensibi kullanılmıştır. Bir ivme uygulandığı takdirde sabit elektrot ve hareketli elektrot arasındaki mesafe değişecek, bu sayede kapasite değerinin de değişmesi sağlanacaktır. Sonuç olarak ivme ile ilintili bir çıkış değeri elde edilecektir.

2.3.2. Deneyde kullanılan ivmeölçer

Deneyisel çalışmada piezoelektrik ivmeölçerlerden yararlanılmıştır. Kullanılan donanım oldukça kompakt olup sahada ölçüm almaya uygundur. İvmeölçerler PCB Grup firmasına ait piezoelektrik ICP tipi ivmeölçerlerden olup, model numarası 353B02'dir. Kullanılacak ivmeölçerler Resim 2.3'de görülmektedir.

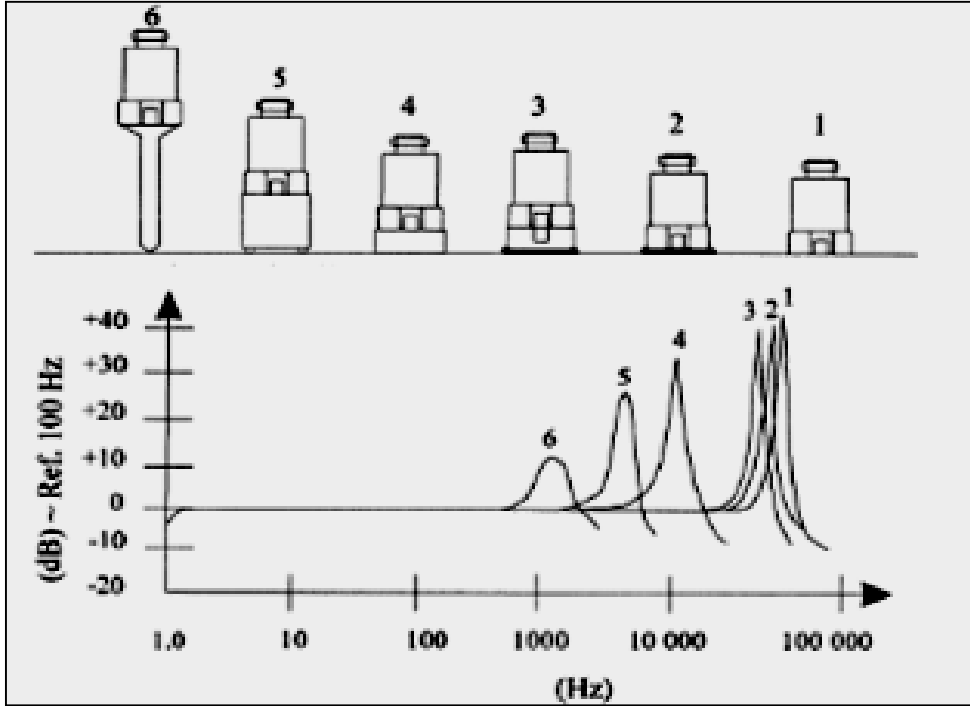


Resim 2.3. ICP Model 353B02 Piezoelektrik ivmeölçer

ICP tipi ivmeölçerlerin üstünlükleri;

- Uygun tip ve uzunlukta kabloya bakmaksızın sabit voltaj hassasiyeti
- Düşük empedanslı çıkış sinyali, oldukça uzun kablolarda bile çevre etkilerine rağmen sinyal kalitesini kaybetmeme
- Düşük gürültü aralığı, veri toplama donanımları, kaydedici, sinyal çözümleme, standart okuyucu ile voltaj-çıkış sinyali uyumu olarak sayılabilir.

Bu tip ivmeölçerlerle ölçümleri almak için montaj şekilleri vardır. Bu montaj şekillerine göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Montaj yapılan yerin karakteristik özellikleri, pürüzsüzlük, sıcaklık değişim büyüklüğü, erişilebilirlik ve taşınabilirlik son derece önem teşkil etmektedir. Firmanın kendi laboratuvarlarında yaptığı testlerle montaj şeklinin hassasiyetleri yüksek frekans altında test edilip grafik halinde Şekil 2.4’de gösterilmiştir.

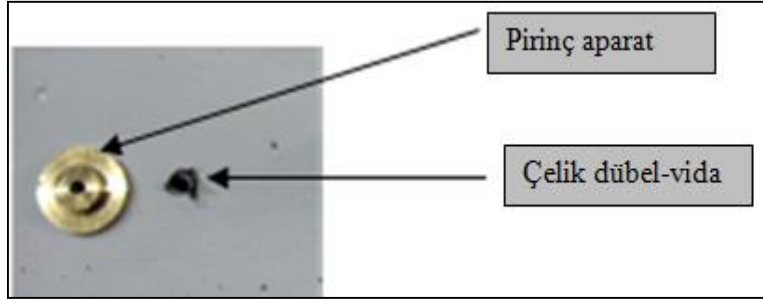


1. Vida ile 2. Yapıştırıcı ile 3. Montaj pedi ile 4. Düz mıknatıs ile 5. Çift taraflı mıknatıs ile 6. El çubuğu ile (Manual)

Şekil 2.4. İvmeölçerlerin montaj şekilleri ve yüksek frekansa etkileri

Çarpma anında yüksek frekanslar oluştuğu için ayrıca beton üzerine tutturabilmek için vida ile montaj şekli tercih edilmiştir. Optimum bağlama düzenlemeleri önemli ölçüde ölçümün doğruluk payını arttırmaktadır. En iyi performans için, özellikle yüksek frekanslarda, ivmeölçerin tabanı ve test edilecek nesnenin yüzeylerinin temiz, düz, pürüzsüz, çiziksiz olmasına dikkat edilmelidir. Vidalı montaj için beton üzerine delik açılmış ve bu deliklere çelik dübel yardımı ile vidalar yerleştirilmiştir.

İvmeölçerlerin ölçüm değerlerini hassas bir şekilde okuyabilmesi için iletkenliği iyi olan pirinç malzemeden montaj aparatı yapılmış ve bu aparat ile ivmeölçerler beton numune üzerine monte edilmiştir (Resim 2.4).



Resim 2.4. Montaj yeri ve aparatı

Kullandığımız ivmeölçerlerin teknik özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Model 353B02 İvmeölçerin teknik özellikleri

Özellik	Değer
Hassasiyet(± 5 %)	2,04 mV/(m/sn ²)
Ölçüm Aralığı	± 2453 m/sn ²
Frekans Aralığı (± 5 %)	1-7000 Hz
Frekans Aralığı (± 10 %)	0,7-10 000 Hz
Frekans Aralığı (± 3 dB)	0,35-18 000 Hz
Rezonans Frekansı	≥ 38 kHz
Geniş bant Hassasiyeti(1-10 000 Hz)	0,05 m/sn ²
Düzensizlik	≤ 1 %
Çaprazlama Hassasiyeti	≤ 5 %
Aşırı Yük Sınırı	98 100 m/sn ²
Çalışma Sıcaklığı	-54 ile +121 °C
Uyarma Voltajı	18-30 VDC
Sabit Akım Uyarma	2-20 mA
Çıkış Empedansı	≤ 100 ohms
Çıkış Öngerilim Voltajı	8-12 VDC
Boşaltım Zamanı	0,5-2,0 s
Hazır Hale Gelme Zamanı	< 5 s
Algılama Elemanı	Quartz
Elektrik Bağlantısı	10-32 Koaksiyal Jak
Elektrik Bağlantı Yeri	Üst
Ağırlık	10 gr

2.4. Veri Toplayıcısı

2.4.1. Genel bilgi

Veri toplayıcıları, genel olarak dataları bilgisayar ortamına aktaran aygıtlardır. Yapılan deney çeşidine göre farklı türleri mevcuttur.

2.4.2. Deneyde kullanılan veri toplayıcısı

Sahada ölçümlerin toplanması ve bilgisayara aktarılması için National Instruments firmasının ürettiği NI 9233-USB-9162 modeli veri toplayıcı kullanılmıştır (Resim 2.5). Bu veri toplayıcı, dört kanallı dinamik sinyal yakalayıcısı olup, yüksek doğrulukta ölçüm alabilen IEPE algılayıcılarından yapılmıştır.



Resim 2.5. NI 9233-USB-9162 veri toplayıcı [4]

Kullanılacak veri toplayıcı aygıt iki modülden oluşmaktadır. Birinci modül veri toplayıcısıdır. Bu modüle ölçüm aygıtları bağlanmaktadır. İkincisi sinyal taşıyıcı modülüdür. Bu modül de birinci modülden gelen sinyalleri bilgisayara aktarmaktadır. Her iki modül birbirinden bağımsızdır. Veri toplayıcıdan bilgisayara aktarılan veriler özel olarak yazılmış bilgisayar programı yardımıyla almak istediğimiz veri türüne çevrilerek kaydedilecektir. Ayrıca bu program yardımıyla bağladığımız ölçüm aygıtlarının kalibrasyon ayarları yapılmaktadır.

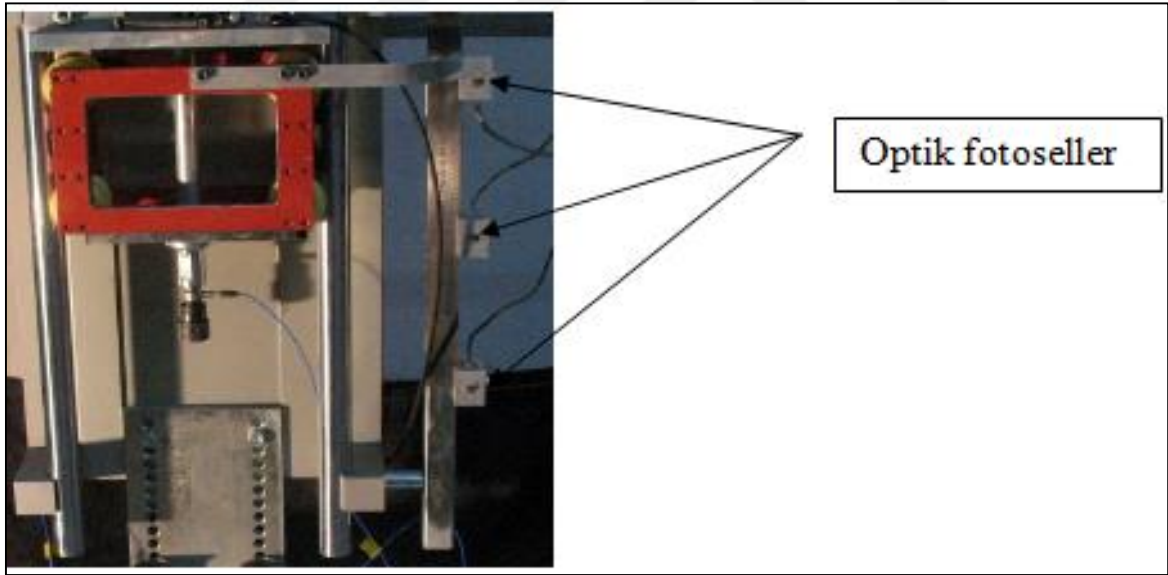
2.5. Fotoseller

2.5.1. Genel bilgi

Fotoseller, optik prensiplere göre çalışan bir sensör veya optoelektronik sensör olarak da bilinir. Fotosel yani optikelektronik, dokunmaksızın bir cismi, ışık (optik) yardımıyla algılama, sonra elektronik olarak değerlendirme ve sinyale dönüştürme demektir.

2.5.2. Deneyde kullanılan fotosel

Deney düzeneğinde kullandığımız fotoseller cisimden yansımali fotosellerdir. Bu fotoseller, ağırlığın düşmeye başladığı andan deney elemanına çarptığı ana kadar geçen süreyi ölçebilmek için kullanılmaktadır. Çekiç üzerine monte edilen bir parça yardımıyla çekiç fotoselin önünden geçtiği anda fotoseli harekete geçirir. Bu durum fotoselin ölçüm almasını sağlar. Deney düzeneğinde üç adet fotosel bulunmaktadır (Resim 2.6).



Resim 2.6. Deneyde kullanılan fotoseller

En üstte bulunan fotosel çekicinin harekete geçtiği anda zaman ölçüm devresini açar, ortada bulunan fotosel önünden çekiç geçtiği anda ilk zaman ölçümünü alır ve en altta bulunan fotosel ise çekicinin harekete başladığı andan deney elemanına çarptığı ana kadar geçen toplam zamanı ölçer. Böylelikle çekicinin zamana bağlı hız değişimi belirlenmiş olmaktadır.

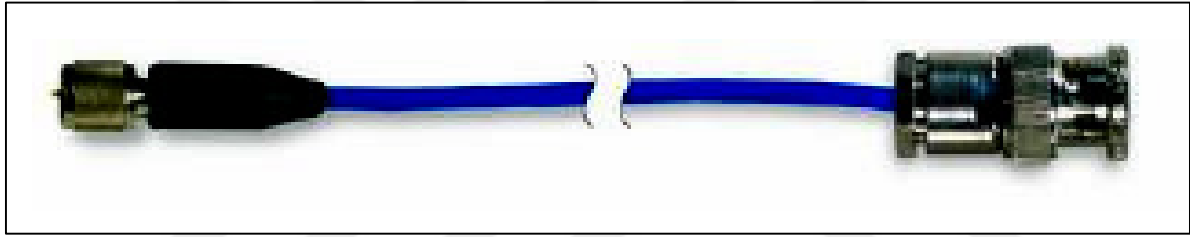
2.6. Düşük Gürültülü Koaksiyal Kablo

2.6.1. Genel bilgi

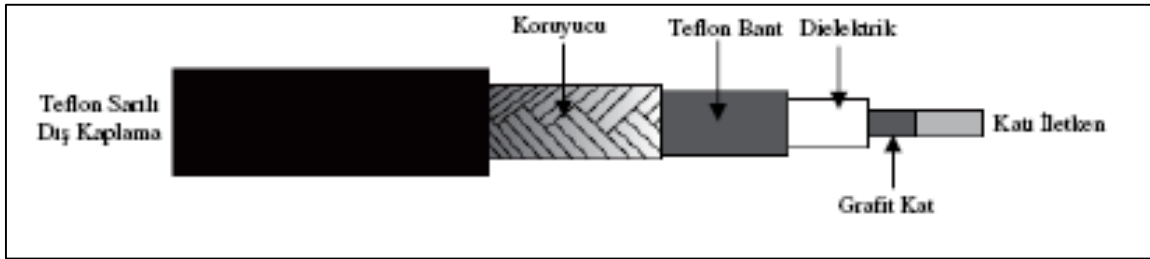
Bu kablo ölçüm aygıtlarından alınan ölçüm değerlerinin değer kaybına uğramadan deney alanından veri toplayıcısına iletilmesi için kullanılan özel kablolardır.

2.6.2. Deneyde kullanılan düşük gürültülü koaksiyal kablo

Deneylerimizde PCB Group firmasının imal ettiği 003A20 Model numaralı kablo kullanılacaktır (Resim 2.7). Bu kablo düşük gürültülü koaksiyal bir kablodur. İç yapısı Şekil 2.8'deki gibidir.



Resim 2.7. 003A20 Model numaralı kablo



Şekil 2.5. 003A20 Model düşük gürültülü koaksiyal kablo ve iç yapısı

Bu tip kablolar yüksek sıcaklıklarda kullanılan algılayıcılarda, yüksek empedanslı sinyallerde, ICP algılayıcılarda ve düşük empedanslı voltaj sinyallerinin iletilmesinde kullanılmaktadır. Kablo çapı 2 mm olup çalışma sıcaklık aralığı -90 ile 260 °C'dir. Kablo empedansı 50 ohm'dur.

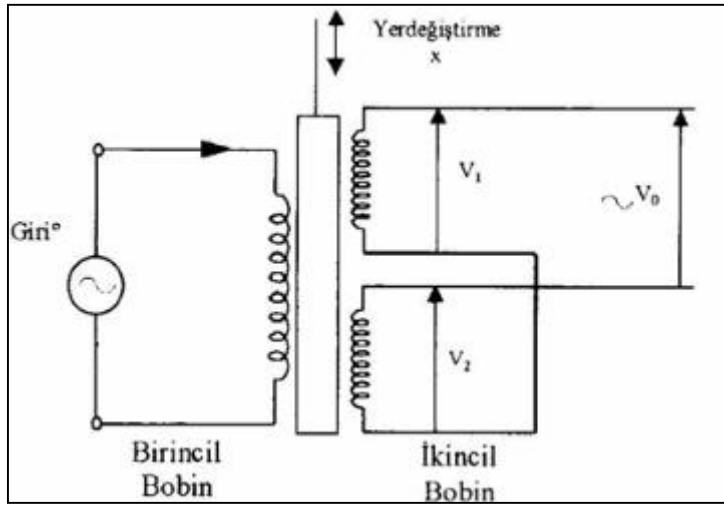
2.7. Doğrusal Değişkenli Fark Transformatörler (LVDT)

2.7.1. Genel bilgi

LVDT bir objenin doğrusal olan mekanik hareketini, elektrik sinyallerine dönüştüren elektromekanik bir dönüştürücüdür. Bu yer değişimi algılayıcıları, 0.01μ seviyelerindeki yer değişimlerini belirleyebilecek kapasitededir.

2.7.2. Doğrusal değişkenli fark transformatörler (LVDT) 'in yapısı

En basit haliyle bir LVDT primer, sekonder sargılar ve bunların merkezinde temas etmeden hareket eden bir çekirdekten meydana gelir. (Şekil 2.9) Primer sargılar sabit genlikli bir Alternatif Akım ile beslendiğinde bu LVDT'nin merkezinde bir manyetik alan yaratır ve sekonder sargılarda indüklenen akım ile çekirdeğin o anki konumu tespit edilir. Primer sargılar sabit genlikli bir Alternatif Akım ile beslendiğinde bu LVDT'nin merkezinde bir manyetik alan yaratır ve sekonder sargılarda indüklenen akım ile çekirdeğin o anki konumu tespit edilir.



Şekil 2.6. Doğrusal değişkenli fark transformatörün yapısı

Sekonder bobin sinyali önce faz hassasiyetine sahip bir demodülatör (primer bobin beslemesi ile aynı frekansa sahip) tarafından işlenir ve filtreleme, düzeltme ardından çekirdeğin sıfır noktasına göre doğrultusu, uzaklığı ile orantılı bir doğru akım elde edilir.

LVDT'nin konum belirlemek için kullanılan diğer sensörlere göre avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır.

Avantajları:

- Çok kullanıldığı ve üretildiği için diğer çözümlere göre daha ucuzdur.
- Dayanıklı bir yapısı olduğundan çeşitli çevre koşullarında kullanılabilir.
- Teorik olarak sonsuz hassasiyete sahiptir. Pratikte ise ölçüm esnasında kullanılan kuvvetlendirici ve voltaj ölçüm cihazlarına bağlıdır.
- Bu transformatörler elektriksel olarak tam yalıtıma sahip olup, temassız trafolardır. Bu sebeple sürtünme etkisi ve aşınma en asgari düzeyde kalır. Sürtünmeye dair kayıplar olmadığından herhangi bir bakım yapılmadan çalışma süresi de daha uzundur.

Dezavantajları:

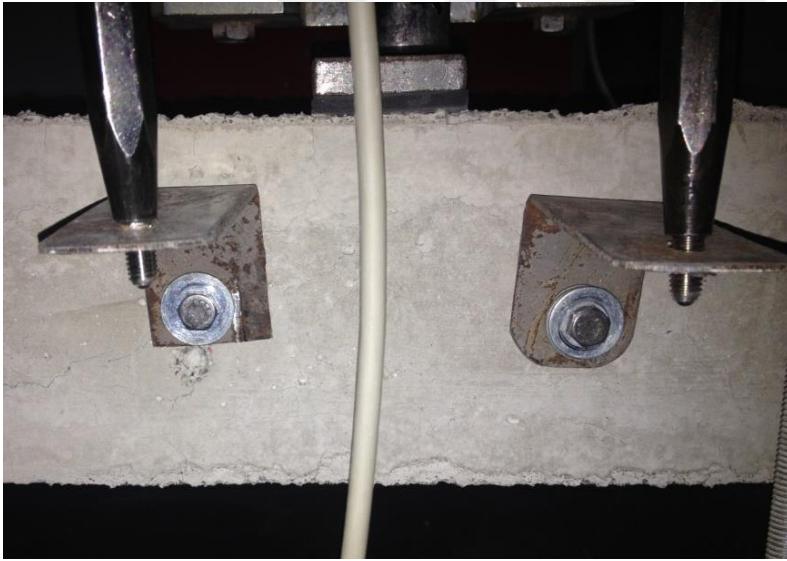
- Çekirdeğin doğrudan veya dolaylı olarak ölçülecek yüzeye temas etmesi gerekir ki bazı durumlarda bu mümkün olmayabilir.
- Dinamik ölçümler yapılırken LVDT'nin rezonans frekansının 1/10'una kadar doğru ölçüm yapılır ki bu da çoğu zaman 2kHz'e kadar geçerli bir aralıktır.

2.7.3. Deneyde kullanılan doğrusal değişkenli fark transformatör (LVDT)

Deneyde kullanılan Doğrusal değişkenli fark transformatörleri Resim 2.8'de görüldüğü gibidir. Transformatörler dübeller yardımı ile kaymayacak şekilde, Resim 2.9'da görüldüğü gibi kolona monte edilmiştir.



Resim 2.8. Deneyde kullanılan LVDT



Resim 2.9. LVDT'lerin dübelle kolona monte edilmesi

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde sonlu eleman modelinin doğrulanmasında kullanılan deneysel çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar kısaca özetlenecek ve deneyler hakkında özet bilgiler sunulacaktır.

3.1. Genel Bilgi

Betonarme yapılar ve yapı elemanları ile ilgili yapılan literatür çalışması sonucu, deprem ve rüzgâr yüklerinin betonarme yapılar üzerine etkilerinin akademik çalışma ve projelerde yaygın olarak incelendiği görülmüştür. Ancak, patlayıcı ve çarpma yüklerinin etkilerinin çalışmalarda nadir olarak incelendiği fark edilmiştir. Bunun nedeni, deneyin yapılmasının zahmetli ve maliyetli olmasıdır. Yürütülen deneysel çalışmada, betonarme kolon elemanların çarpma yükleri etkisi altında davranışları incelenmiştir. Değişken olarak; beton basınç dayanımı, etriye aralığı ve çekicin kolon üzerine etkidiği yer kullanılmıştır.

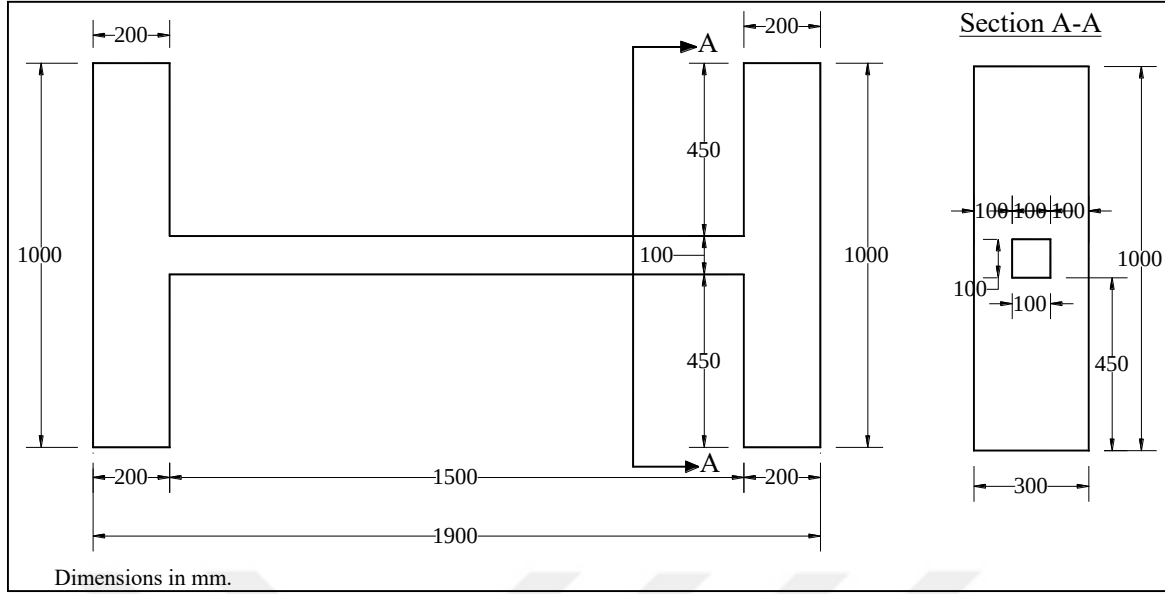
3.1.1. Deney elemanı hazırlanırken kullanılan malzemelerin özellikleri

- Çimento: Çalışmada PÇ32,5 çimento kullanılmıştır.
- Agregat: Çalışmada bazalt agregat kullanılmıştır.
- Kalıp: Çalışmada ahşap kalıp kullanılmıştır.

3.1.2. Deney elemanları

Deney elemanlarının boyutları

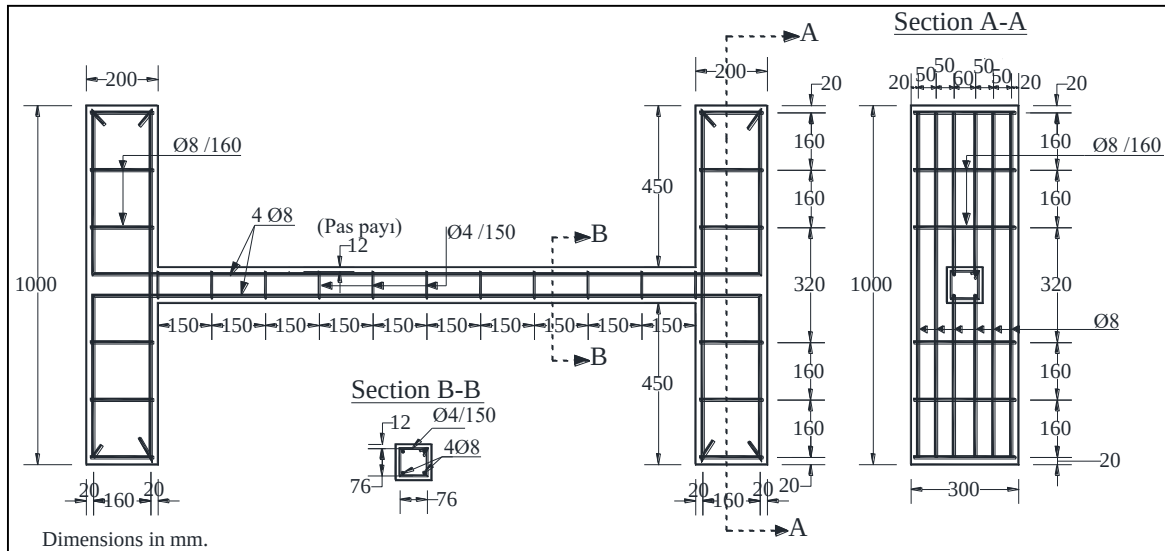
Deney elemanlarının boyutlarına karar vermeden önce benzer çalışmalar incelenmiş ve sonuç olarak Şekil 3.1'deki boyutlara karar verilmiştir. Buradaki boyutlandırma gerçek hayattaki boyutlara göre küçültülerek 1/3 ölçekte tasarlanmıştır.



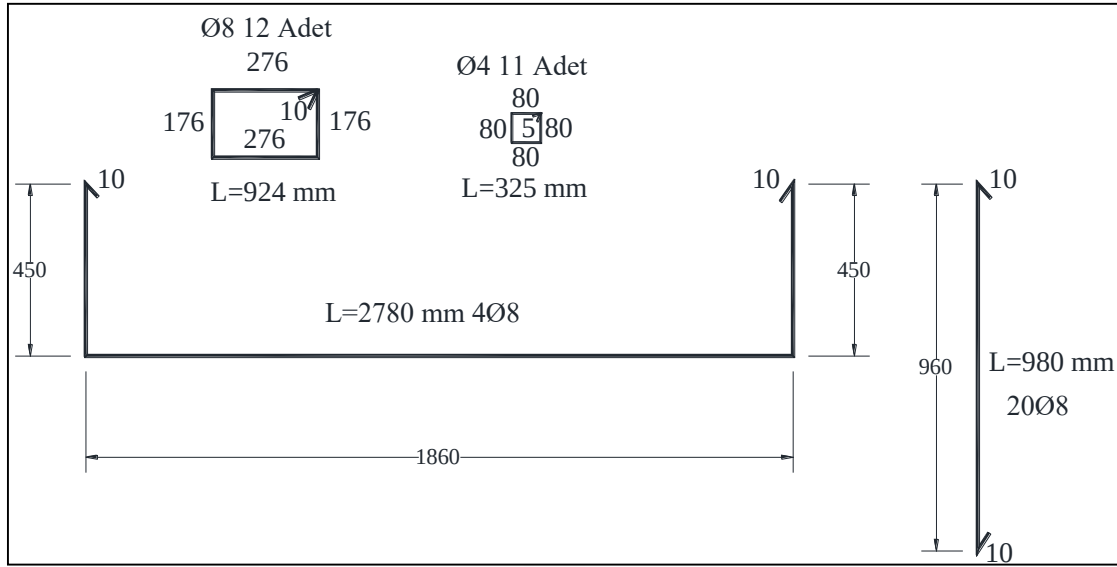
Şekil 3.1. Deney elemanının boyutları

Deney elemanlarının donatı detayları ve metrajı

Araştırmalar sonucu boyutlandırılan deney elemanının donatı detaylandırması da yapılan araştırmalar ışığında ve gerçeğe en uygun yaklaşım ile yapılmıştır. Deney elemanının donatı detaylandırması Şekil 3.2’de, metrajı ise Şekil 3.3’de görülmektedir.



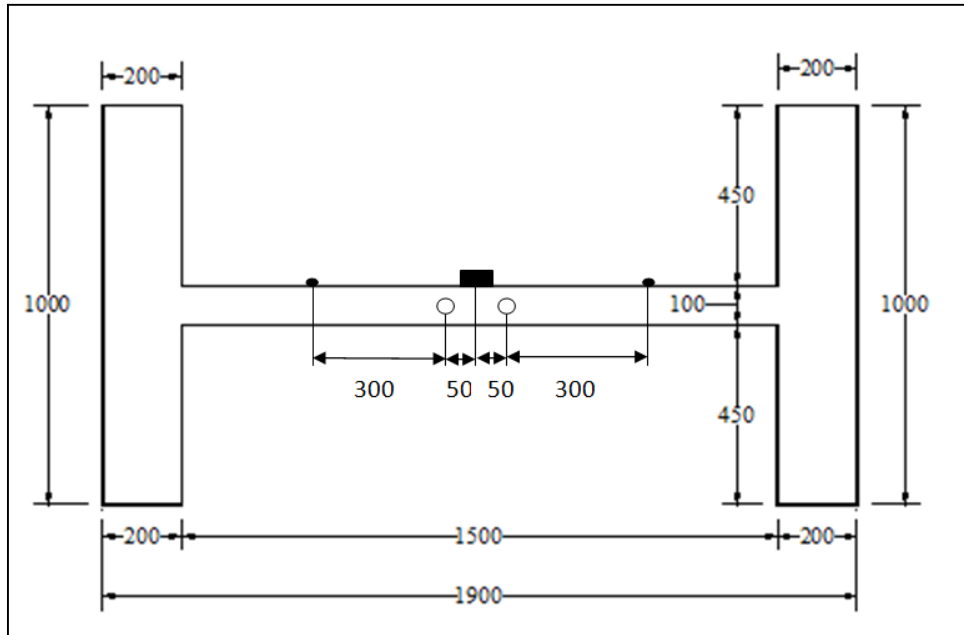
Şekil 3.2. Deney elemanının donatı detaylandırması



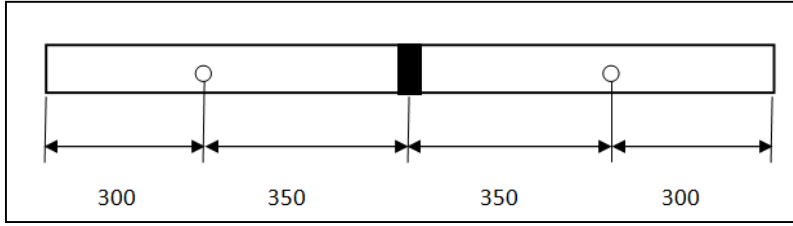
Şekil 3.3. Deney elemanının donatı metrajı

3.2. Deney Elemanlarının Deneye Hazır Hale Getirilmesi

Deney yapılmadan önce hazırlanan deney elemanı yeterli dayanıma ulaştıktan sonra deneye hazır hale getirilmiştir. Öncelikli olarak deney elemanının üzerine ölçüm aletlerinin yerleştirilmesi için delikler açılmıştır (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).



Şekil 3.4. Deney numunesinin yandan görünüşü



Şekil 3.5. Deney numunesinin üstten görünüşü

Kolon üzerinde delinmesi kararlaştırılan yerler delinmeden önce işaretlenmiş, ardından işaretlenen yerlerden deney elemanı matkap yardımı ile delinmiştir. Açılan deliklerin içi temizlenmiş ve bu deliklere $\Phi 6$ 'lık çelik dübeller yerleştirilmiştir.

3.3. Genel Bilgi

Betonarme kolonlar hazırlanıp priz süreleri beklendikten sonra elemanlar deney için hazır hale getirilmiş ve deneyler yapılmıştır.

Öncelikli olarak küp numuneler kırılarak deney elemanlarının beton basınç dayanımları belirlenmiştir. Deneysel programda yer alan deney elemanlarının özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deney elemanları, etriye aralıkları, beton basınç dayanımları, ağırlığın yükleme noktaları, düşü sayıları, düşü yükseklikleri ve çekiç ağırlıkları

Deney No	Kolon Etriye Aralığı (mm)	Beton Basınç Dayanımı (MPa)	Yükleme Noktasının Yeri	Düşü Sayısı	Düşü Yüksekliği (mm)	Çekiç Ağırlığı (kg)
1	150	10	Kolon Ortası	1	500	5,2
				2	750	
				3	1000	
2	150	10	Kolon Ortası	1	1000	5,2
				2		9,0
				3		9,0
3	150	20	Kolon Ortası	1	1000	9,0
				2		
				3		
4	300	10	Kolon Alt Ucundan 500 mm yukarıda	1	1000	9,0
				2		
				3		
5	300	10	Kolon Ortası	1	1000	9,0
				2		
				3		

Çizelge 3.1. (devam) Deney elemanları, etriye aralıkları, beton basınç dayanımları, ağırlığın yükleme noktaları, düşü sayıları, düşü yükseklikleri ve çekiç ağırlıkları

6	300	20	Kolon Ortası	1	1000	9,0
				2		
				3		
7	300	20	Kolon Alt Ucundan 500 mm yukarıda	1	1000	9,0
				2		
				3		
8	150	20	Kolon Alt Ucundan 500 mm yukarıda	1	1000	9,0
				2		
				3		

Deneysel çalışma kapsamında test edilen deney elemanlarından elde edilen sonuçlar bu bölümde kısaca özetlenmiştir. Her eleman tek tek incelenmiş, her elemanın çatlakları kontrol edilmiş, ivme ve deplasmanları ölçülmüştür.

3.4. K1 Numaralı Deney Elemanı

K1 numaralı deney elemanına çekiç her düşümde farklı bir yükseklikten kolonun orta noktasına etki etmiştir. Toplamda üç adet düşü gerçekleştirilen ilk deneyde sırası ile 500 mm, 750 mm ve 1000 mm yüksekliklerinden ağırlık düşürülmüştür. Bu deneyde düşen ağırlık 5,2 kg'dır. Deney elemanının beton dayanımı 10 MPa, etriye aralığı 150 mm'dir.

Yapılan deneyde elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2'deki gibidir.

Çizelge 3.2. K1 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar

Deney Numarası		1		
Düşü Sayısı		1	2	3
Sol İvme (g)	Maksimum	101,16	172,01	207,18
	Minimum	-121,41	-126,39	-166,73
Sağ İvme (g)	Maksimum	123,73	159,84	215,3
	Minimum	-113,88	-137,46	-181,83
Sol Deplasman (mm)	Maksimum	2,35	2,69	3,21
	Minimum	-1,37	-1,61	-1,73
Maksimum Sol Deplasman (mm)		3,72	4,30	4,94
Sağ Deplasman (mm)	Maksimum	1,34	2,05	2,35
	Minimum	-0,94	-1,09	-1,17
Maksimum Sağ Deplasman (mm)		2,28	3,14	3,52
Çarpma Yüğü (kN)		9,22	10,2	12,33

3.5. K2 Numaralı Deney Elemanı

K2 numaralı deney elemanına çekiç ilk iki düşümde farklı bir ağırlık ile kolonun orta noktasına etki etmiştir. Toplamda üç adet düşü gerçekleştirilen deneyde sırası ile önce 5,2 kg ardından 9,0 kg'lık yükler 1000 mm yükseklikten etki etmiştir. Deney elemanının beton dayanımı 10 MPa, etriye aralığı 150 mm'dir.

Yapılan deneyde elde edilen sonuçlar Çizelge 3.3'deki gibidir.

Çizelge 3.3. K2 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar

Deney Numarası		2		
Düşü Sayısı		1	2	3
Sol İvme (g)	Maksimum	198,27	285,74	295,17
	Minimum	-153,81	-424,75	-316,36
Sağ İvme (g)	Maksimum	210,32	326,13	338,56
	Minimum	-213,94	-469,84	-448,33
Sol Deplasman (mm)	Maksimum	2,51	1,26	1,40
	Minimum	-2,44	-3,93	-3,99
Sol Deplasman (mm)		4,95	5,19	5,39
Sağ Deplasman (mm)	Maksimum	1,94	3,01	3,97
	Minimum	-1,82	-3,07	-3,13
Sağ Deplasman (mm)		3,76	6,08	7,10
Maksimum Deplasman (mm)		5,81	11,51	12,45
Maksimum Hız (m/s)		0,964	1,64	1,55
Çarpma Yüğü (kN)		10,34	16,47	21,29

3.6. K3 Numaralı Deney Elemanı

K3 numaralı deney elemanına çekiç her düşümde 1000 mm yükseklikten kolonun orta noktasına etki etmiştir. Toplamda üç adet düşü gerçekleştirilen deneyde düşen ağırlık 9,0 kg'dır. Deney elemanının beton dayanımı 20 MPa, etriye aralığı 150 mm'dir.

Yapılan deneyde elde edilen sonuçlar Çizelge 3.4'deki gibidir.

Çizelge 3.4. K3 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar

Deney Numarası		3		
Düşü Sayısı		1	2	3
Sol İvme (g)	Maksimum	339,31	367,26	373,49
	Minimum	-319,86	-527,11	-241,58
Sağ İvme (g)	Maksimum	362,18	367,08	370,58
	Minimum	-362,06	-695,01	-455,25
Sol Deplasman (mm)	Maksimum	0,10	0,23	0,47
	Minimum	-6,58	-9,55	-9,74
Sol Deplasman (mm)		6,68	9,78	10,21
Sağ Deplasman (mm)	Maksimum	0,50	0,67	0,89
	Minimum	-7,18	-9,77	-11,03
Sağ Deplasman (mm)		7,68	10,44	11,92
Maksimum Deplasman (mm)		12,92	27,62	6,431
Maksimum Hız (m/s)		1,474	2,885	0,84
Çarpma Yüğü (kN)		22,79	14,3	16,57

3.7. K4 Numaralı Deney Elemanı

K4 numaralı deney elemanına çekiç her düşümde 1000 mm yükseklikten kolonun alt ucundan 500 mm yukarıya etki etmiştir. Toplamda üç adet düşü gerçekleştirilen deneyde düşen ağırlık 9,0 kg'dır. Deney elemanının beton dayanımı 10 MPa, etriye aralığı 300 mm'dir.

Yapılan deneyde elde edilen sonuçlar Çizelge 3.5'deki gibidir.

Çizelge 3.5. K4 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar

Deney Numarası		4		
Düşü Sayısı		1	2	3
Sol İvme (g)	Maksimum	427,45	449,37	466,8
	Minimum	-904,03	-212,44	-217,89
Sağ İvme (g)	Maksimum	429,66	441,7	466,24
	Minimum	-456,59	-622,01	-568,68
Sol Deplasman (mm)	Maksimum	1,60	1,79	1,54
	Minimum	-7,30	-9,46	-10,66

Çizelge 3.5. (devam) K4 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar

Sol Deplasman (mm)		8,90	11,25	12,20
Sağ Deplasman (mm)	Maksimum	2,71	3,80	4,24
	Minimum	-7,03	-9,44	-10,88
Sağ Deplasman (mm)		9,74	13,24	15,12
Maksimum Deplasman (mm)		9,16	2,215	35,12
Maksimum Hız (m/s)		1,233	0,947	4,361
Çarpma Yüğü (kN)		23,89	27,36	26,44

3.8. K5 Numaralı Deney Elemanı

K5 numaralı deney elemanına çekiç her düşümde 1000 mm yükseklikten kolonun orta noktasına etki etmiştir. Toplamda üç adet düşü gerçekleştirilen deneyde düşen ağırlık 9,0 kg'dır. Deney elemanının beton dayanımı 10 MPa, etriye aralığı 300 mm'dir.

Yapılan deneyde elde edilen sonuçlar Çizelge 3.6'daki gibidir.

Çizelge 3.6. K5 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar

Deney Numarası		5		
Düşü Sayısı		1	2	3
Sol İvme (g)	Maksimum	398,14	425,69	451,82
	Minimum	-593,52	-423,16	-584,86
Sağ İvme (g)	Maksimum	409,19	422,81	444,89
	Minimum	-703,75	-519,7	-1058,4
Sol Deplasman (mm)	Maksimum	0,84	0,31	1,98
	Minimum	-7,07	-9,73	-9,52
Sol Deplasman (mm)		7,91	10,04	11,50
Sağ Deplasman (mm)	Maksimum	2,75	3,72	4,09
	Minimum	-6,51	-8,96	-9,11
Sağ Deplasman (mm)		9,26	12,68	13,20
Maksimum Deplasman (mm)		6,043	3,475	6,439
Maksimum Hız (m/s)		0,815	0,572	0,97
Çarpma Yüğü (kN)		22,02	23,34	22,54

3.9. K6 Numaralı Deney Elemanı

K6 numaralı deney elemanına çekiç her düşümde 1000 mm yükseklikten kolonun orta noktasına etki etmiştir. Toplamda üç adet düşü gerçekleştirilen deneyde düşen ağırlık 9,0 kg'dır. Deney elemanının beton dayanımı 20 MPa, etriye aralığı 300 mm'dir.

Yapılan deneyde elde edilen sonuçlar Çizelge 3.7'deki gibidir.

Çizelge 3.7. K6 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar

Deney Numarası		6		
Düşü Sayısı		1	2	3
Sol İvme (g)	Maksimum	404,9	445,63	454,82
	Minimum	-855,72	-537,44	-418,68
Sağ İvme (g)	Maksimum	461,99	455,79	451,59
	Minimum	-750,42	-431,85	-477,7
Sol Deplasman (mm)	Maksimum	0,84	0,01	1,77
	Minimum	-7,14	-9,84	-8,72
Sol Deplasman (mm)		7,98	9,85	10,49
Sağ Deplasman (mm)	Maksimum	1,78	3,53	4,77
	Minimum	-6,52	-7,58	-7,43
Sağ Deplasman (mm)		8,30	11,11	12,20
Maksimum Deplasman (mm)		20,67	9,031	3,291
Maksimum Hız (m/s)		2,631	1,282	0,492
Çarpma Yüğü (kN)		20,95	22,11	20,57

3.10. K7 Numaralı Deney Elemanı

K7 numaralı deney elemanına çekiç her düşümde 1000 mm yükseklikten kolonun alt ucundan 500 mm yukarıya etki etmiştir. Toplamda üç adet düşü gerçekleştirilen deneyde düşen ağırlık 9,0 kg'dır. Deney elemanının beton dayanımı 20 MPa, etriye aralığı 300 mm'dir.

Yapılan deneyde elde edilen sonuçlar Çizelge 3.8'deki gibidir.

Çizelge 3.8. K7 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar

Deney Numarası		7		
Düşü Sayısı		1	2	3
Sol İvme (g)	Maksimum	467,41	502,78	553,87
	Minimum	-499,37	-321,32	-433,11
Sağ İvme (g)	Maksimum	451,55	498,88	546,51
	Minimum	-937,23	-798,77	-976,15
Sol Deplasman (mm)	Maksimum	1,39	3,08	4,14
	Minimum	-11,71	-11,05	-11,33
Sol Deplasman (mm)		13,10	14,13	15,47
Sağ Deplasman (mm)	Maksimum	2,23	3,63	3,91
	Minimum	-13,76	-13,29	-13,79
Sağ Deplasman (mm)		15,99	16,92	17,70
Maksimum Deplasman (mm)		4,757	17,389	12,441
Maksimum Hız (m/s)		1,471	1,515	1,251
Çarpma Yüğü (kN)		17,64	18,9	16,29

3.11. K8 Numaralı Deney Elemanı

K8 numaralı deney elemanına çekiç her düşümde 1000 mm yükseklikten kolonun alt ucundan 500 mm yukarıya etki etmiştir. Toplamda üç adet düşü gerçekleştirilen deneyde düşen ağırlık 9,0 kg'dır. Deney elemanının beton dayanımı 20 MPa, etriye aralığı 150 mm'dir.

Yapılan deneyde elde edilen sonuçlar çizelge 3.9'daki gibidir.

Çizelge 3.9. K8 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar

Deney Numarası		8		
Düşü Sayısı		1	2	3
Sol İvme (g)	Maksimum	373,95	403,24	491,1
	Minimum	-830,42	-402,79	-392,6
Sağ İvme (g)	Maksimum	397,1	411,78	488,55
	Minimum	-578,68	-593,03	-620,08
Sol Deplasman (mm)	Maksimum	1,55	3,40	4,55
	Minimum	-5,44	-6,44	-6,46

Çizelge 3.9. (devam) K8 numaralı deneyde elde edilen sonuçlar

Sol Deplasman (mm)		6,99	9,84	11,01
Sağ Deplasman (mm)	Maksimum	2,47	3,87	4,30
	Minimum	-5,73	-7,24	-8,09
Sağ Deplasman (mm)		8,20	11,11	12,39
Maksimum Deplasman (mm)		8,695	10,895	2,317
Maksimum Hız (m/s)		1,252	1,352	0,31
Çarpma Yüğü (kN)		22,34	24,68	22,93



4. DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde sonlu elemanlar modelinin doğrulanmasında kullanılan deneysel çalışmadan elde edilen deneysel sonuçlar ile ilgili olarak yorumlar ve karşılaştırmalar yapıp özet olarak sunulmuştur. Yürütülen deneysel çalışma sonucunda çarpışma yüklemesi etkisi altındaki kolonların ivme-zaman, yük-zaman, deplasman-zaman davranışları ölçülmüştür. Bu değerlerin çalışma kapsamında incelenen değişkenlerden nasıl etkilendiği yorumlanmıştır. Çizelge 4.1’de deneysel çalışma sonrasında elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Deney elemanlarına önden bakıldığı zaman sol ve sağ tarafta kalan ivme ve deplasman ölçerlerden elde edilen ölçümler Çizelge 4.1’de görülmektedir. Maksimum deplasman ve maksimum hız sütunlarında verilen değerler ise sağ ve sol ivme ölçerler içerisinde maksimum değere sahip olan kullanılarak integral alınarak hesaplanan değerlerdir. Sağ ve sol ivme-zaman ölçümlerinden büyük olanı kullanılarak bir kere integrali alındığında hız, hız-zaman dağılımının da bir kere daha integrali alındığında ise deplasman değeri hesaplanmıştır. Bu deplasman ve hız değerlerinin ivmenin ölçüldüğü noktaya ait oldukları unutulmamalıdır. Kolon üzerinde ivmenin ölçüldüğü noktaya ait olan bu değerler National Instrument firmasının Diadem 10.0 yazılımı içerisinde yer alan hesaplama modülü kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.1’de en son sütunda ise çekiç üzerine bağlanan dinamik yük hücresi kullanılarak ölçülen çarpışma yüklemesinin maksimum değeri verilmiştir.

Çizelge 4.1’de verilen ivme değerleri incelendiğinde her deney için artan düşü sayısı ile ivme değerlerinin de artış gösterdiği görülmüştür. Deney elemanlarında meydana gelen hasar ve deformasyonlar artan düşü sayısı ile ivmelerin de artmasına neden olmuştur. Deney elemanlarına uygulanan birinci düşüde ölçülen ivme ve deplasman değerleri birbirine daha yakın iken, artan düşü sayısı ile sol ve sağ taraftan ölçülen ivme ve deplasman değerleri birbirinden farklılaşım göstermeye başlamış ve meydana gelen hasarın dağılımına bağlı olarak değişim meydana gelmiş ve değerler birbirinden farklılaşmıştır.

Çizelge 4.2’de deney elemanlarının orta noktasından çarpışma yüklemesinin uygulandığı noktanın hemen sağından ve solundan alınan deplasman ölçümleri kullanılarak hesaplanan deplasman değerleri ve bu değerlerden maksimum olanı verilmiştir.

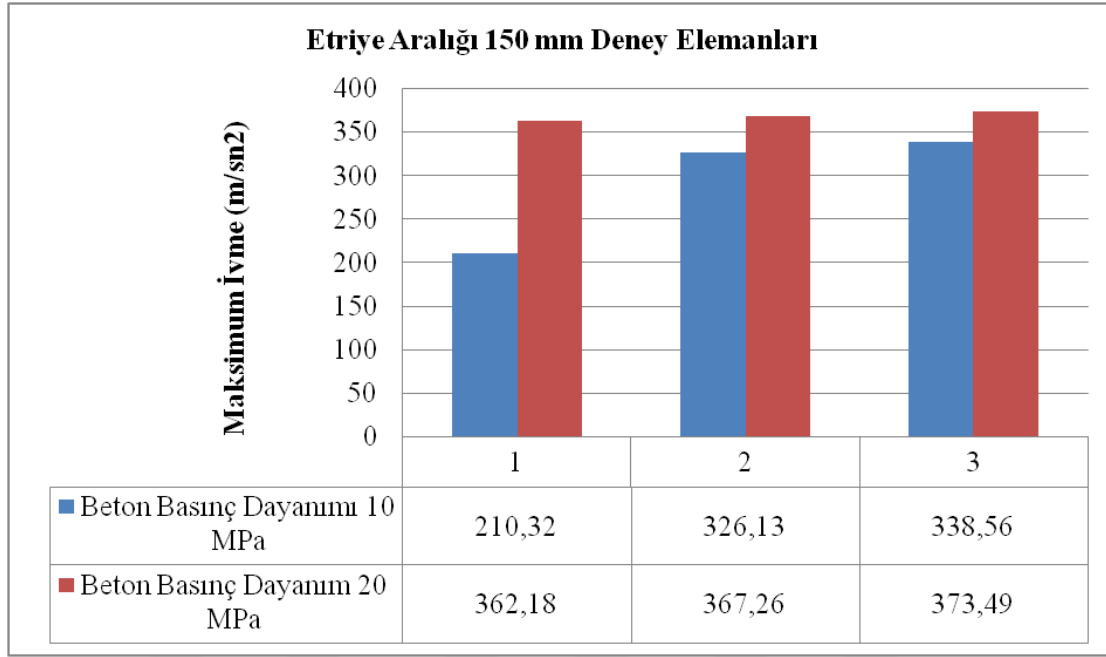
Çizelge 4.1. Deney sonuçları

Deney No	Düşü Sayısı	Sol İvme (g)		Sağ İvme (g)		Sol Deplasman (mm)		Sağ Deplasman (mm)		Maksimum Dep. (mm)	Maksimum Hız (m/s)	Çarpma Yüğü (kN)
		Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum	Maksimum	Minimum			
1	1	101,16	-121,41	123,73	-113,88	2,35	-1,37	1,34	-0,94	9,79	1,086	9,22
	2	172,01	-126,39	159,84	-137,46	2,69	-1,61	2,05	-1,09	15,84	1,082	10,2
	3	207,18	-166,73	215,3	-181,83	3,21	-1,73	2,35	-1,17	8,32	1,037	12,33
2	1	198,27	-153,81	210,32	-213,94	2,51	-2,44	1,94	-1,82	5,81	0,964	10,34
	2	285,74	-424,75	326,13	-469,84	1,26	-3,93	3,01	-3,07	11,51	1,64	16,47
	3	295,17	-316,36	338,56	-448,33	1,40	-3,99	3,97	-3,13	12,45	1,55	21,29
3	1	339,31	-319,86	362,18	-362,06	0,10	-6,58	0,50	-7,18	12,92	1,474	22,79
	2	367,26	-527,11	367,08	-695,01	0,23	-9,55	0,67	-9,77	27,62	2,885	14,3
	3	373,49	-241,58	370,58	-455,25	0,47	-9,74	0,89	-11,03	6,43	0,84	16,57
4	1	427,45	-904,03	429,66	-456,59	1,60	-7,30	2,71	-7,03	9,16	1,233	23,89
	2	449,37	-212,44	441,7	-622,01	1,79	-9,46	3,80	-9,44	2,22	0,947	27,36
	3	466,8	-217,89	466,24	-568,68	1,54	-10,66	4,24	-10,88	35,12	4,361	26,44
5	1	398,14	-593,52	409,19	-703,75	0,84	-7,07	2,75	-6,51	6,04	0,815	22,02
	2	425,69	-423,16	422,81	-519,7	0,31	-9,73	3,72	-8,96	3,48	0,572	23,34
	3	451,82	-584,86	444,89	1058,43	1,98	-9,52	4,09	-9,11	6,44	0,97	22,54
6	1	404,9	-855,72	461,99	-750,42	0,84	-7,14	1,78	-6,52	20,67	2,631	20,95
	2	445,63	-537,44	455,79	-431,85	0,01	-9,84	3,53	-7,58	9,03	1,282	22,11
	3	454,82	-418,68	451,59	-477,7	1,77	-8,72	4,77	-7,43	3,29	0,492	20,57
7	1	467,41	-499,37	451,55	-937,23	1,39	-11,71	2,23	-13,76	4,76	1,471	17,64
	2	502,78	-321,32	498,88	-798,77	3,08	-11,05	3,63	-13,29	17,39	1,515	18,9
	3	553,87	-433,11	546,51	-976,15	4,14	-11,33	3,91	-13,79	12,44	1,251	16,29
8	1	373,95	-830,42	397,1	-578,68	1,55	-5,44	2,47	-5,73	8,7	1,252	22,34
	2	403,24	-402,79	411,78	-593,03	3,40	-6,44	3,87	-7,24	10,9	1,352	24,68
	3	491,1	-392,6	488,55	-620,08	4,55	-6,46	4,30	-8,09	2,32	0,31	22,93

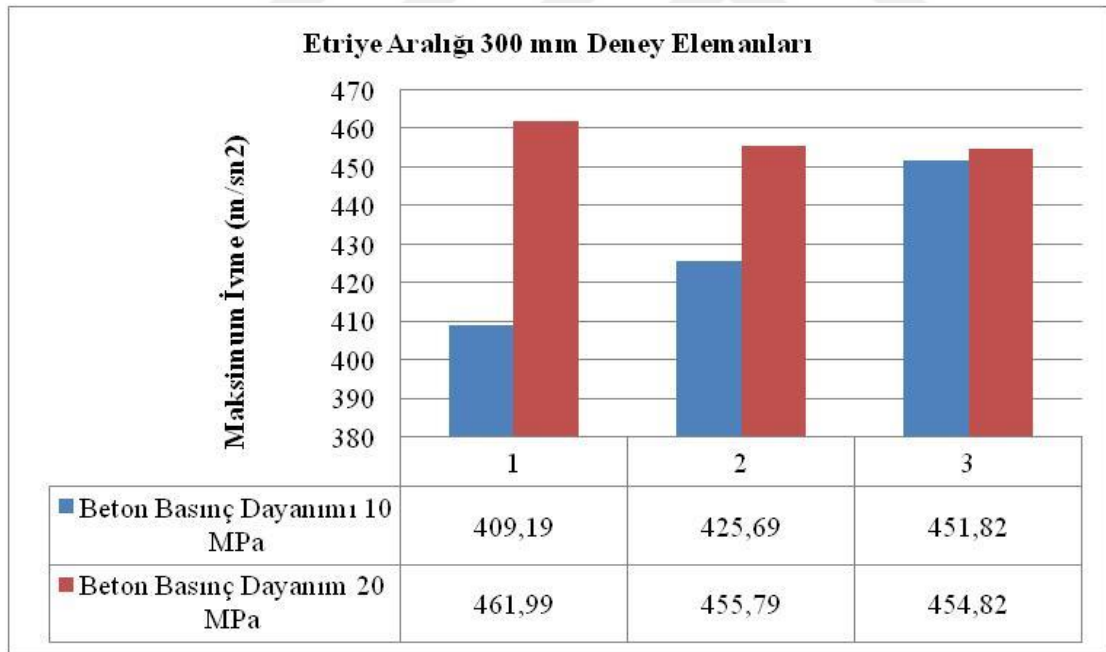
Çizelge 4.2. Kolon Deplasmanları

Deney No	Düşü Sayısı	Sol Deplasman	Sağ Deplasman	Maksimum Deplasman
1	1	3,72	2,28	3,72
	2	4,30	3,14	4,30
	3	4,94	3,52	4,94
2	1	4,95	3,76	4,95
	2	5,19	6,08	6,08
	3	5,39	7,10	7,10
3	1	6,68	7,68	7,68
	2	9,78	10,44	10,44
	3	10,21	11,92	11,92
4	1	8,90	9,74	9,74
	2	11,25	13,24	13,24
	3	12,20	15,12	15,12
5	1	7,91	9,26	9,26
	2	10,04	12,68	12,68
	3	11,50	13,20	13,20
6	1	7,98	8,30	8,30
	2	9,85	11,11	11,11
	3	10,49	12,20	12,20
7	1	13,10	15,99	15,99
	2	14,13	16,92	16,92
	3	15,47	17,70	17,70
8	1	6,99	8,20	8,20
	2	9,84	11,11	11,11
	3	11,01	12,39	12,39

Deney elemanlarından ölçülen ivme değerleri incelendiğinde beton basınç dayanım değeri arttıkça deney elemanlarından ölçülen ivme değerlerinin de artış gösterdiği görülmüştür. Hem 150 mm etriye hem de 300 mm etriye aralığına sahip deney elemanlarında beton basınç dayanım arttıkça ivme değerleri sırasıyla ortalama %32 ve %7 oranlarında artmıştır. Deney elemanlarında düşü sayısına göre artan beton basınç dayanımı ile değişimi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Artan düşü sayısı ile ivme değerindeki artış oranında azalma meydana gelmiş ve 300 mm etriye aralıklı deney elemanlarında ivme artış oranı 150 mm aralıklı deney elemanlarına göre çok daha düşük olmuştur.



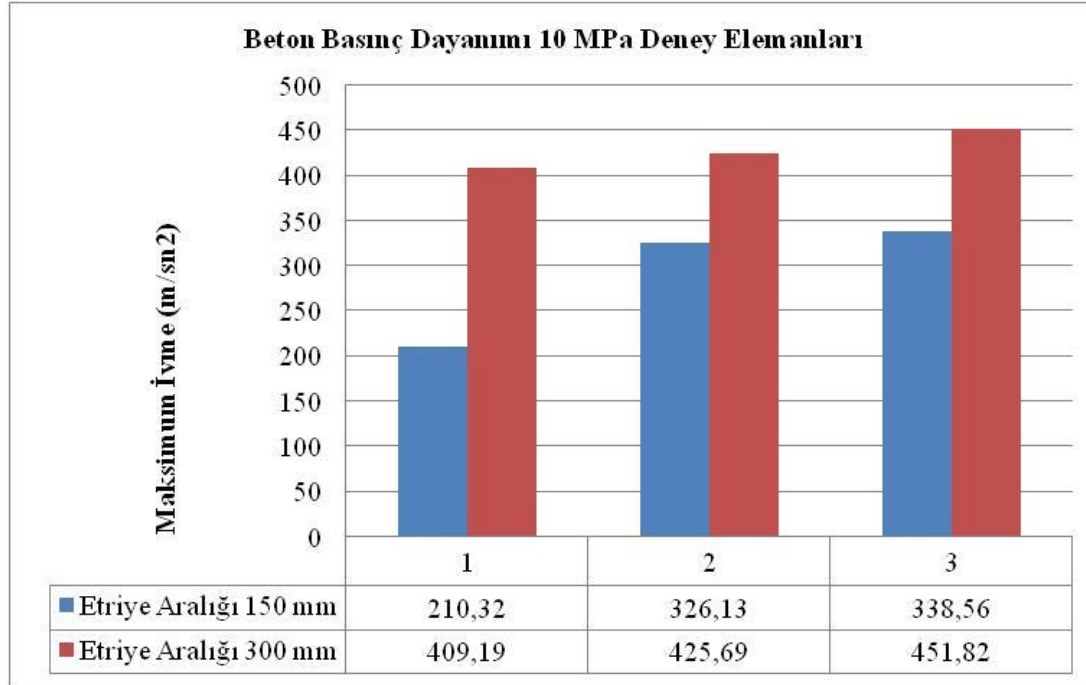
Şekil 4.1. 150 mm etriye aralıklı deney elemanları için maksimum ivme değerlerinin beton basınç dayanımı ile değişimi



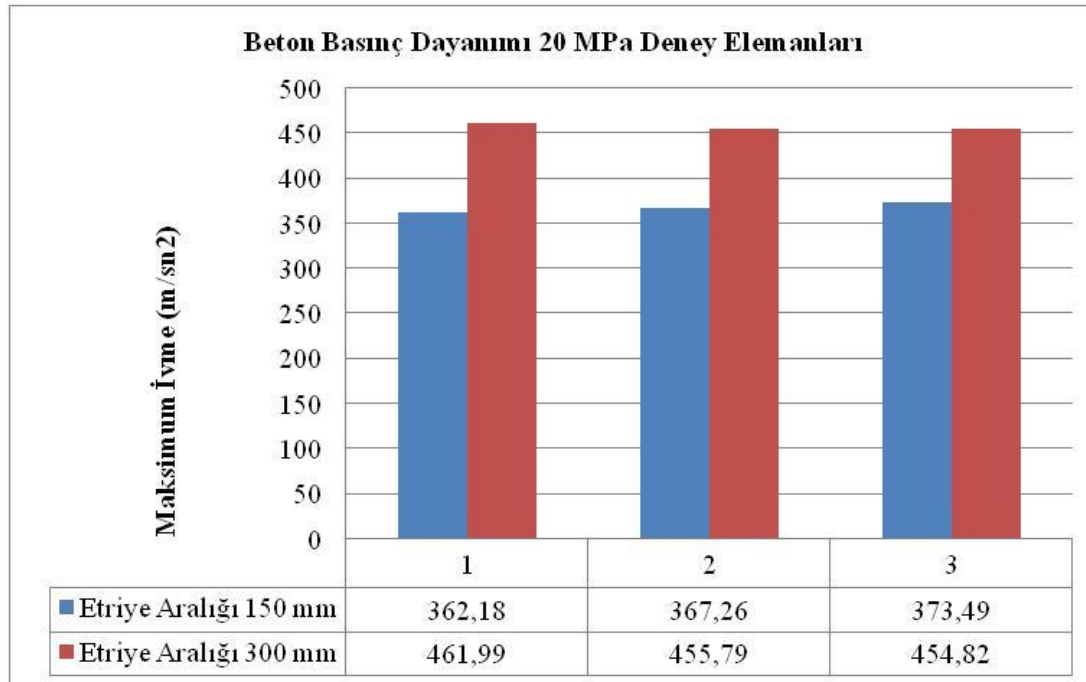
Şekil 4.2. 300 mm etriye aralıklı deney elemanları için maksimum ivme değerlerinin beton basınç dayanımı ile değişimi

Deney elemanlarında etriye aralığının artması ölçülen ivmenin önemli oranda artmasına neden olmuştur. Beton basınç dayanımı 10 MPa olan deney elemanlarında etriye aralığının 150 mm'den 300 mm'ye çıkması ölçülen ivme değerlerini ortalama %53 arttırmıştır. 20 MPa

beton basınç dayanımına sahip deney elemanlarında ise etriye aralığındaki artış ivme değerlerini ortalama %24 artırmıştır (Şekil 4.3 ve Şekil 4.4).

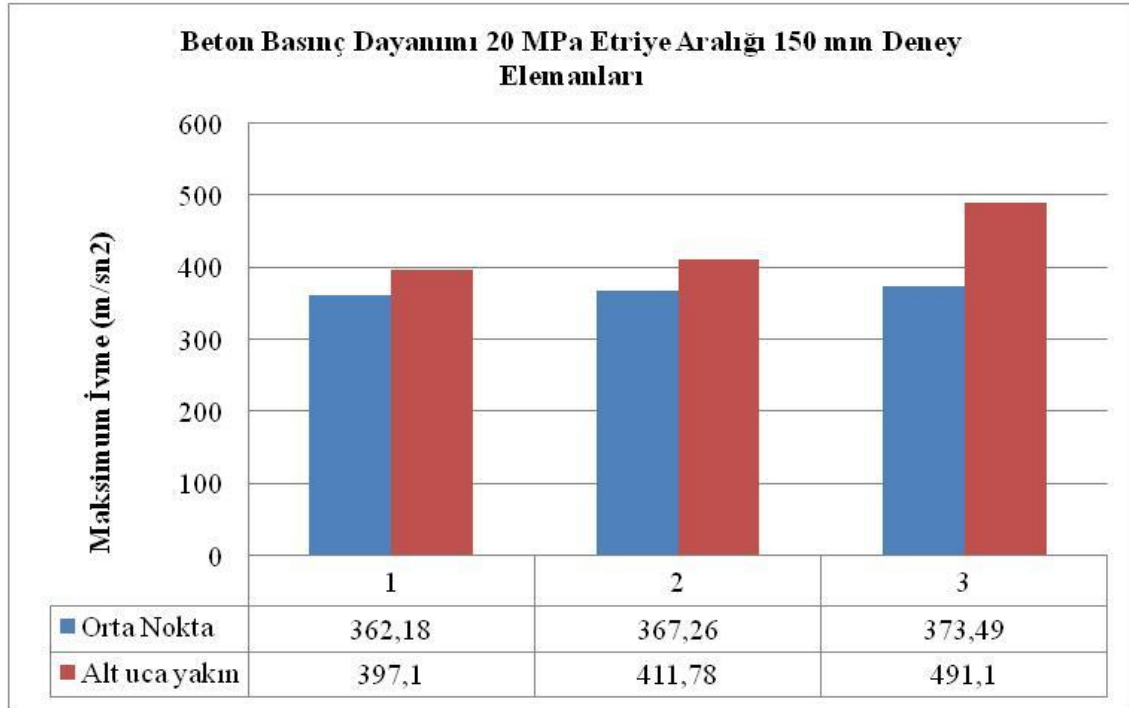


Şekil 4.3. Beton basınç dayanımı 10 MPa deney elemanlarının maksimum ivmenin etriye aralığı ile değişimi

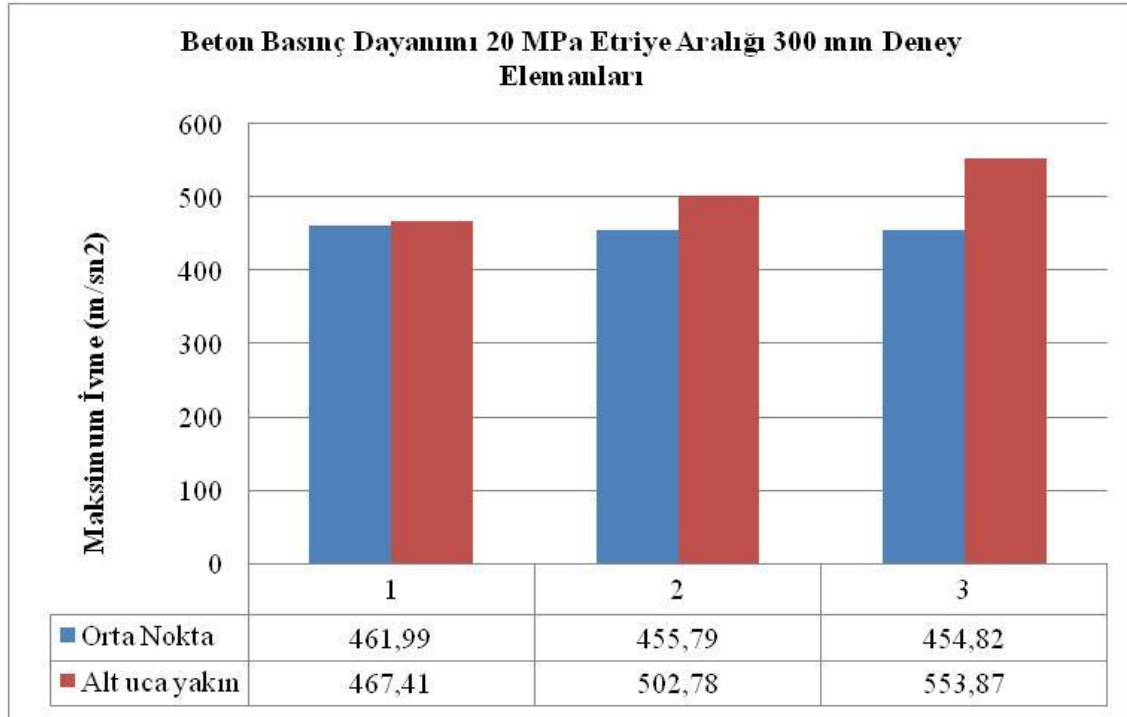


Şekil 4.4. Beton basınç dayanımı 20 MPa deney elemanlarının maksimum ivmenin etriye aralığı ile değişimi

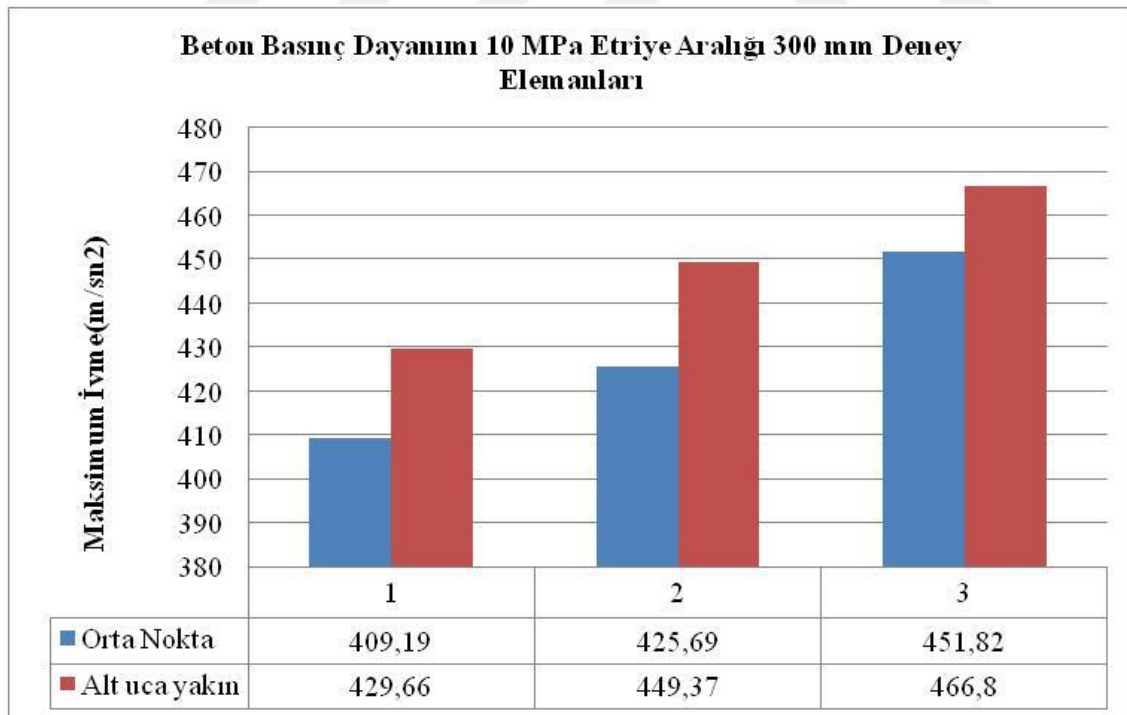
Deneyisel çalışma kapsamında incelenen diğer bir değişken olan yükleme noktasının değişmesi de ölçülen ivme değerleri üzerinde etkili olmuştur. 20 MPa beton basınç dayanımına sahip 150 mm etriye aralıklı deney elemanlarında yükü kolon ortasına değil de kolon alt ucuna yakın uygulanması ölçülen ivme değerlerini ortalama %18 artmasına neden olmuştur. 20 MPa dayanım ve 300 mm etriye aralıklı deney elemanlarında ise yükün orta nokta yerine kolon alt ucuna uygulanması sonucunda ölçülen maksimum ivme değerleri ortalama %11 daha büyük elde edilmiştir. Beton basınç dayanımı 10 MPa olan ve etriye aralığı 300 mm olan seride ise yüklemenin kolon ortasına uygulanması yerine kolon alt ucuna uygulanması sonucunda ölçülen maksimum ivme değerleri ortalama %5 daha büyük hesaplanmıştır. Düşü sayısına göre ivme değerlerinin değişimleri her üç seri deney elemanı için sırasıyla Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de sunulmuştur.



Şekil 4.5. Beton basınç dayanımı 20 MPa ve etriye aralığı 150 mm deney elemanlarının maksimum ivme değerlerinin yükleme noktasına göre değişimi

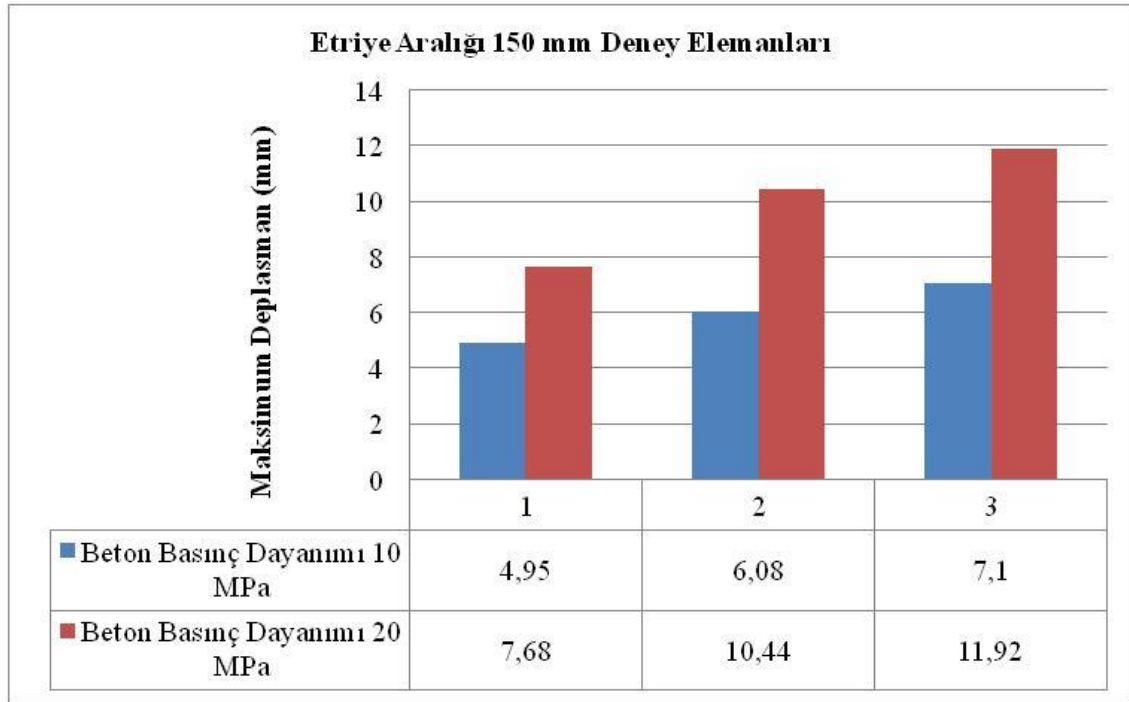


Şekil 4.6. Beton basınç dayanımı 20 MPa ve etriye aralığı 300 mm deney elemanlarının maksimum ivme değerlerinin yükleme noktasına göre değişimi



Şekil 4.7. Beton basınç dayanımı 10 MPa ve etriye aralığı 300 mm deney elemanlarının maksimum ivme değerlerinin yükleme noktasına göre değişimi

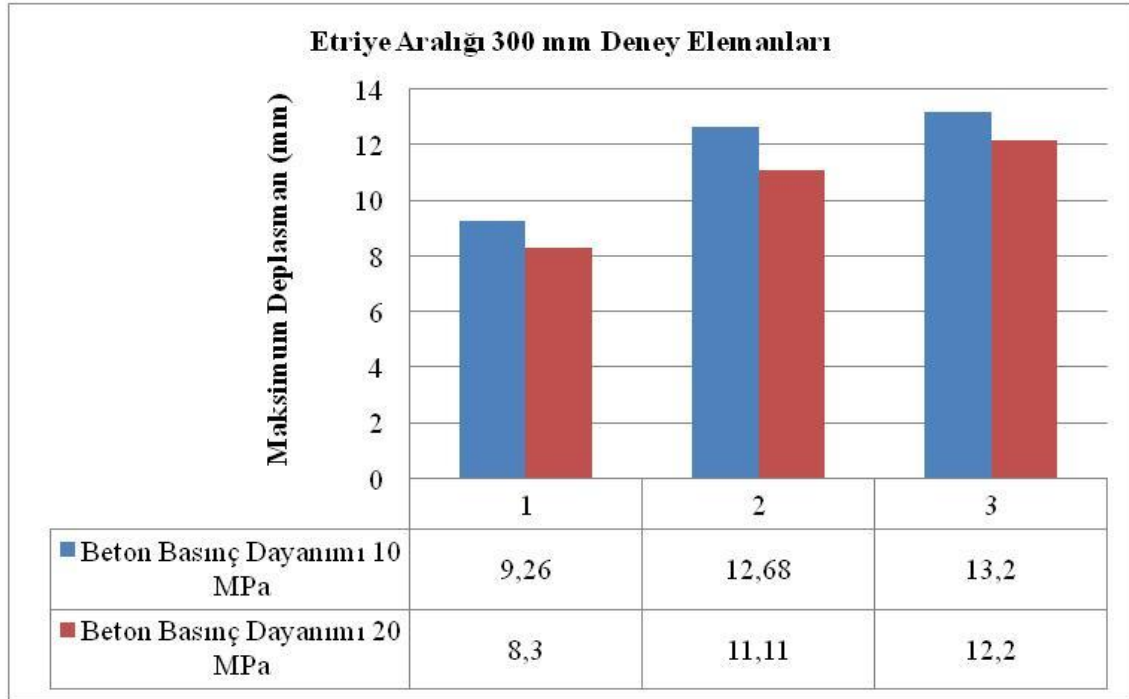
Deney elemanlarından ölçülen deplasman değerleri incelendiğinde artan beton dayanım değeri ile genel olarak ölçülen maksimum deplasman değerlerinde artış gösterdiği görülmüştür. Özellikle 150 mm etriye aralığına sahip deney elemanlarında beton basınç dayanımının 10 MPa'dan 20 MPa'a çıkması deplasman değerlerini ortalama %65 artmasına neden olmuştur (Şekil 4.8).



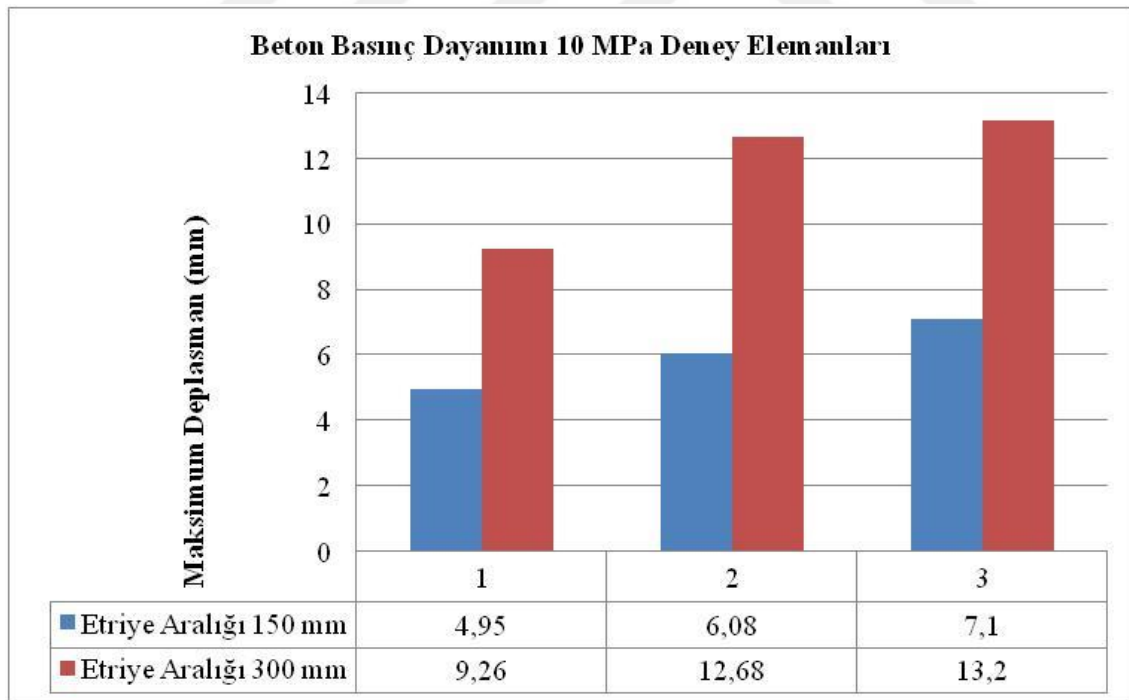
Şekil 4.8. 150 mm etriye aralıklı deney elemanları için deplasman değerlerinin beton basınç dayanımı ile değişimi

300 mm etriye aralığına sahip deney elemanlarında ise beton basınç dayanımının artması ölçülen maksimum deplasman değerlerini artmasına neden olmamış, 20 ve 10 MPa beton basınç dayanımına sahip deney elemanlarından ölçülen maksimum deplasman değerleri birbirine yakın değerlerde ölçülmüştür (Şekil 4.9).

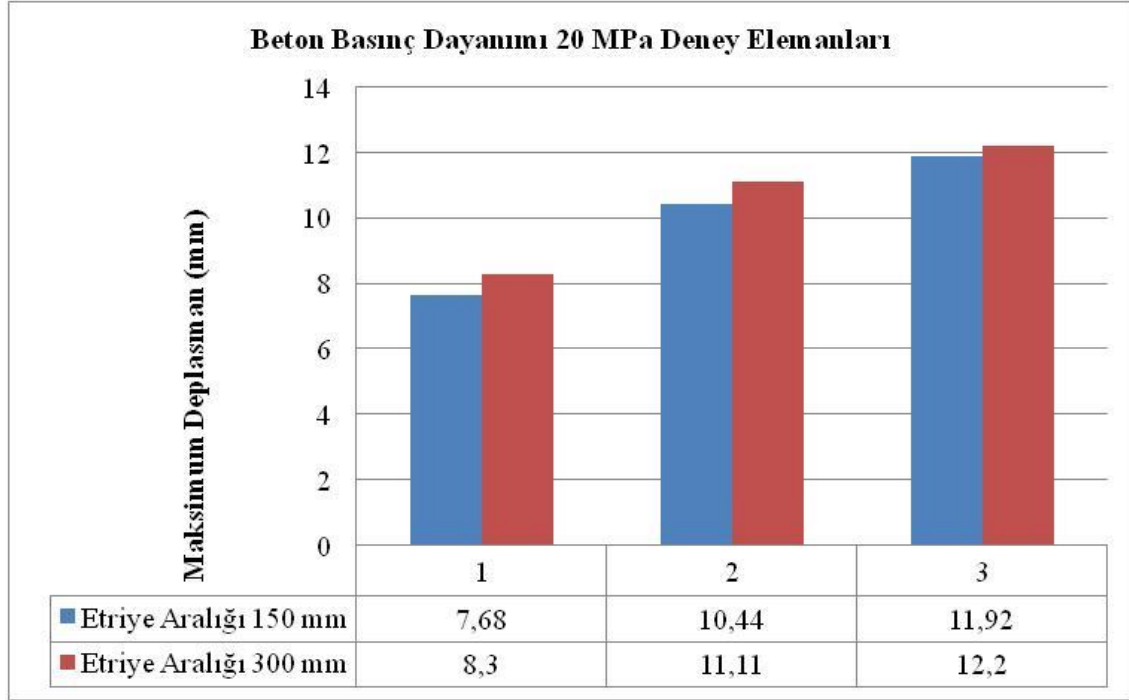
Deney elemanlarının etriye aralıkları da deplasman değerleri üzerinde etkil olan bir diğer önemli parametredir. 10 MPa beton basınç dayanımına sahip deney elemanlarında etriye aralığının 150 mm'den 300 mm'ye değerine çıkması ölçülen maksimum deplasman değerlerinin ortalama %94 artmasına neden olmuştur. 20 MPa beton basınç dayanımına sahip deney elemanların da ise etriye aralığının 150'den 300 mm'ye artış göstermesi maksimum deplasman değerlerinin ortalama %6 oranında artmasına neden olmuştur (Şekil 4.10 ve Şekil 4.11).



Şekil 4.9. 300 mm etriye aralıklı deney elemanları için deplasman değerlerinin beton basınç dayanımı ile değişimi

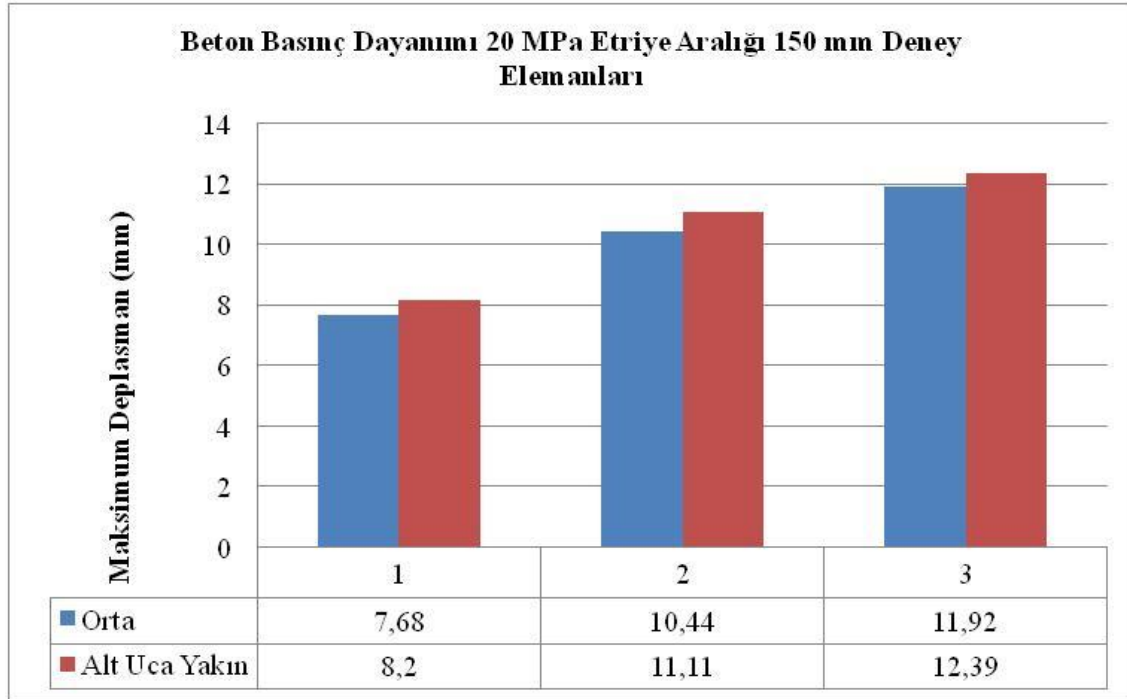


Şekil 4.10. Beton basınç dayanımı 10 MPa deney elemanlarının deplasman değerlerinin etriye aralığı ile değişimi

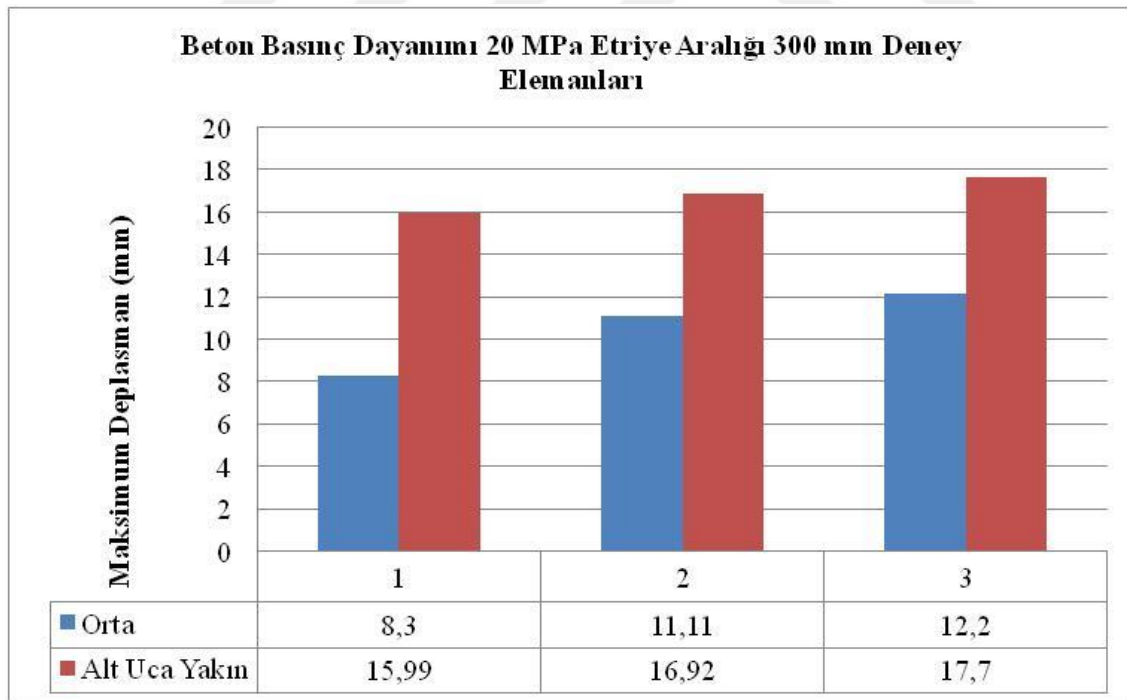


Şekil 4.11. Beton basınç dayanımı 20 MPa deney elemanlarının deplasman değerlerinin etriye aralığı ile değişimi

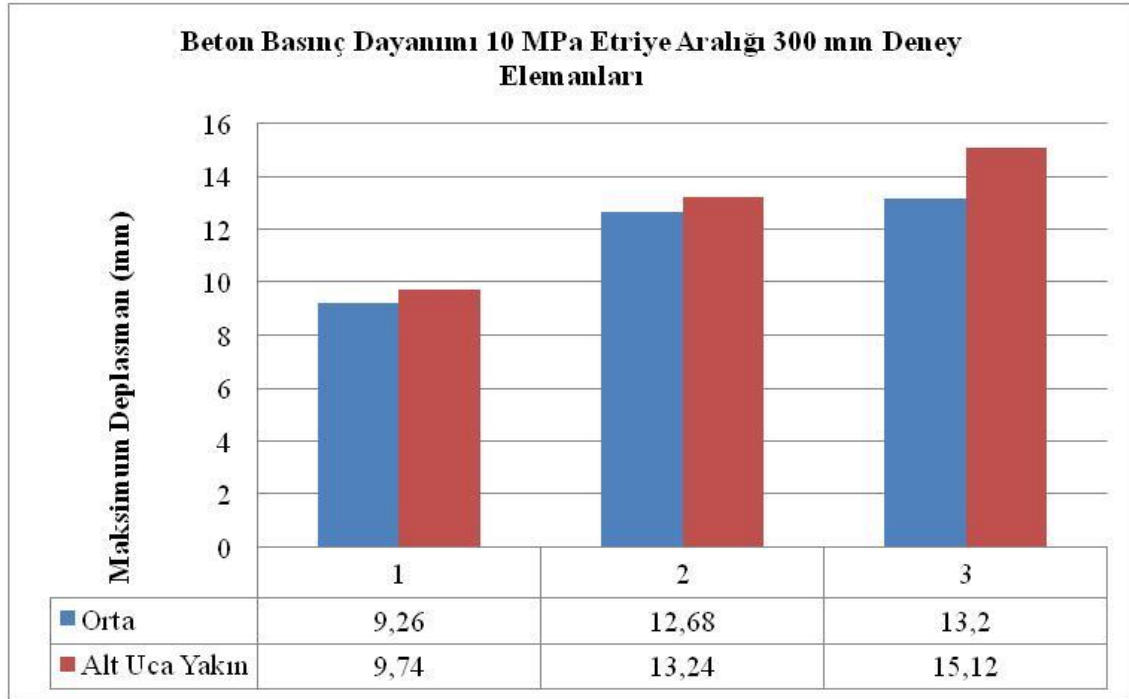
Deney elemanlarından ölçülen maksimum deplasman değerleri üzerinde etkili olan ve deneysel çalışma kapsamında incelenen üçüncü değişken ise yüklemenin uygulama noktasıdır. Beton basınç dayanımı 20 MPa ve etriye aralığı 150 mm olan deney elemanlarında yüklemenin kolon ortasına yerine kolon alt ucuna uygulanması deney elemanlarından ölçülen maksimum deplasman değerinin ortalama olarak %6 oranında artmasına neden olmuştur. Beton basınç dayanımı 20 MPa ve etriye aralığı 300 mm olan seride ise yüklemenin kolon ortasına yerine alt ucuna uygulanması ölçülen maksimum deplasman değerlerini ortalama %63 oranında artırmıştır. 10 MPa beton basınç dayanımına ve 300 mm etriye aralığına sahip seride ise yükleme noktasının kolon ortası yerine kolon alt ucunda olması ölçülen maksimum deplasman değerlerinin ortalama %8 oranında artmasına neden olmuştur. Düşü sayısının değişimine göre deplasman değerlerinin yükleme noktasının farklılaşmasına göre nasıl değişim gösterdiği Şekil 4.12, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14’de sunulmuştur.



Şekil 4.12. Beton basınç dayanımı 20 MPa ve etriye aralığı 150 mm deney elemanlarının deplasman değerlerinin yükleme noktasına göre değişimi



Şekil 4.13. Beton basınç dayanımı 20 MPa ve etriye aralığı 300 mm deney elemanlarının deplasman değerlerinin yükleme noktasına göre değişimi



Şekil 4.14. Beton basınç dayanımı 10 MPa ve etriye aralığı 300 mm deney elemanlarının deplasman değerlerinin yükleme noktasına göre değişimi

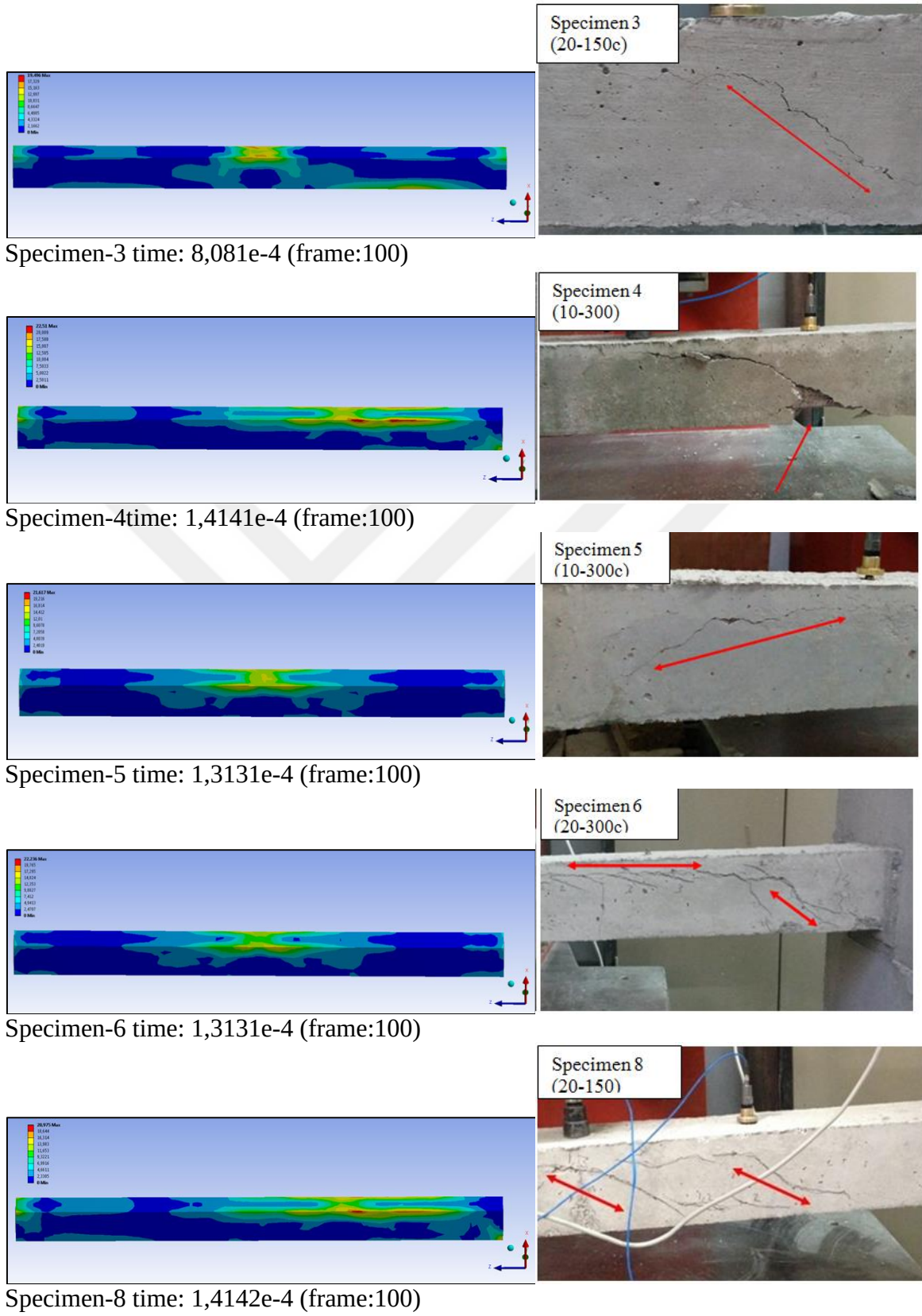
5. SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

5.1. Genel Bilgi

Bu bölümde, betonarme kolonların deneysel darbe davranışlarının bilgisayar ortamında simülasyonu amacıyla sonlu elemanlar modeli geliştirmek için yapılan nümerik çalışma ile ilgili bilgiler sunulacaktır. Oluşturulan modeller ayrıca, farklı geometrik özellikler ve malzemeler içeren birkaç yapısal eleman için doğru nümerik sonuçlar elde etmek için kullanılarak elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, bu tür modellerin deneysel bir çalışma gerçekleştirilmeden tasarım aşamasında kullanılması amaçlanmaktadır. Bu amaçla, birçok mühendislik uygulamasında yaygın olarak kullanılan ANSYS-Explicit STR sonlu elemanlar yazılımı, çok sayıda malzeme modelini içeren doğrusal olmayan artımsal dinamik analiz yapma kabiliyeti nedeniyle seçilmiştir (ANSYS, 2014).

ANSYS Explicit STR yazılımı tarafından kullanılan çözüm yöntemi, ANSYS Autodyn analiz programının sağlam ve test edilmiş Lagrange çözücüsünü temel almaktadır. Açık Dinamik analizle çözülen temel denklemler, Lagrange koordinatlarındaki kütle, momentum ve enerjinin korunmasını ifade etmektedir. Bunlar, bir malzeme modeli ve bir dizi başlangıç ve sınır koşullarıyla birlikte sorunun tam çözümünü tanımlar. Her zaman adımında, bu denklemler, önceki zaman adımının sonundaki girdi değerlerine dayanarak, modelin her bir elemanı için açık şekilde çözülür. Explicit Dynamics çözücüsü, merkezi fark zaman entegrasyon şemasını kullanır (Leapfrog yöntemi). Yöntemde önce kuvvetler (iç gerilme, temas veya sınır koşullarından kaynaklanan) düğüm noktalarından hesaplanır; düğüm ivmeleri, kütleler tarafından bölünen kuvvetler elde edilir (ANSYS, 2014).

Deneysel çalışmadan elde edilen çatlak dağılımlarının ve nümerik analiz sonucunda hesaplanan gerilme dağılımlarının karşılaştırılmasından, çatlakların yerlerinin sonlu elemanlar analizlerinde gösterilen gerilme konsantrasyon zonlarıyla uyumlu olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 5.1). Bu uyum ile, yürütülen dinamik doğrusal olmayan üç boyutlu sonlu elemanlar analizlerinin yapısal sistemlerin tasarım prosedürlerinde tasarımcılara yardımcı olabilecek faydalı bir araç olduğu gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Nümerik sonlu elemanlar analizi sonucunda elde edilen Von-misses gerilme dağılımları ve deneysel çatlak yerlerinin karşılaştırılması

Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, yaygın olarak kullanılan ticari bir sonlu elemanlar programı ile oluşturulan bilgisayar modelinden elde edilen ivme, hız ve deplasman değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu nedenle kapasitesi ve yetenekleri çalışmamıza uygun olan, mühendislik uygulamalarında ve akademik çalışmalarda yaygın olarak tercih edilen ANSYS Autodyna Explicit STR sonlu elemanlar programı kullanılmıştır. ANSYS Autodyna Explicit STR sonlu eleman yazılımı kullanılarak bu çalışmada incelenen deneysel çalışmanın bir modeli oluşturulmuştur.

ANSYS Autodyna Explicit STR kalbi çözücü modülleridir. Ansys/Standard ve Ansys/Explicit Ansys'in komple ve birbirine entegre çözücüleridir. Ansys/Standard genel amaçlı sonlu elemanlar modülüdür. Kullanıcıya çok değişik uygulamalarda çözüm olanakları sağlar. Bunun yanında birçok yapısal olmayan uygulamalarda da kullanılabilir. Ansys/Explicit açık (explicit) dinamik sonlu elemanlar çözücüsüdür.

Teknolojik gelişmeler ile birlikte, çarpma olaylarında kontak etkileşimleri farklı bilimsel çalışmalarda çözülmesi gereken önemli detaylar haline gelmiştir [12]. Dinamik özellikte olan deneysel çalışmanın analizi için, ANSYS Autodyna Explicit STR yazılımının bir parçası olan Explicit STR kullanılmıştır. Bu ürün dinamik olaylar ile patlama ve benzeri tarzındaki olayların analizine olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla, bu özelliği ile çarpma tarzındaki ani değişiklikler içeren karmaşık olayların modellenmesinde çok fazla kullanılmaktadır [12, 15].

ANSYS Autodyna Explicit STR programı, birçok mühendislik uygulamasında tercih edilen, gelişmiş bir sonlu elemanlar programıdır. Bu program öncelikli olarak dıştan etki eden yükler altındaki yapıların ve katıların davranışlarının modellenmesinde kullanılmaktadır. ANSYS Autodyna Explicit STR statik ve dinamik problemlerin çözümünde oldukça yetenekli bir programdır. Programla 2 boyutlu ve 3 boyutlu tasarım yapmak mümkün olup, sürekli ortamların şekillendirilmesinde çok geniş imkânlar sunmaktadır. Programın çok geniş bir eleman kütüphanesi vardır. Bu da bize tasarladığımız her şeyi modellememize imkân sağlamaktadır. Parçaların arasında oluşan temas durumlarının modellenmesinde oldukça yeteneklidir.

Ayrıca programın malzeme kütüphanesi de oldukça geniş olup malzeme özelliklerini girerek elastik, elastik plastik tanımlama yapmaya imkân vermektedir. Böylelikle beton, köpük,

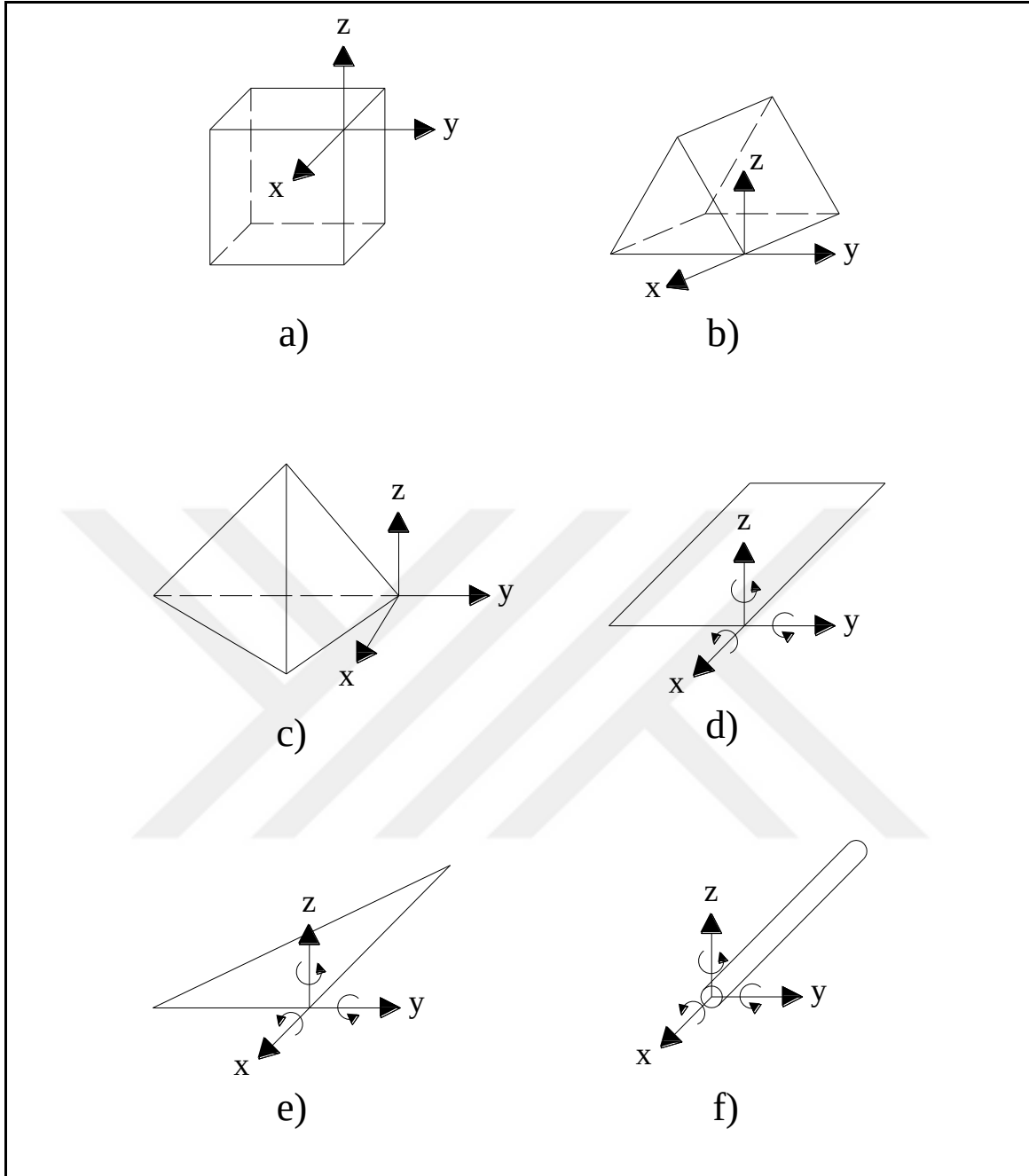
piezoelektrik malzemeler ve daha birçok malzeme model oluşturulurken tanımlanır ve kullanılır.

ANSYS Autodyna Explicit STR programı, modelleme, analiz, çözüm yönetimi ve sonuç değerlendirmesi işlemlerini bir arada tek bir kullanıcı ara yüzünde sunar. ANSYS Autodyna Explicit STR analiz modülleri için de tek bir ara yüz sunar. Model dosyaları bilgisayar tipinden bağımsızdır. Aynı dosya, Windows, Linux ve Unix tarafından kullanılabilir. Uygulamaya yönelik özelleştirilebilir. Programda tanımlanan değerlerin birimleri, uzunluk-metre, kütle-kilogram, zaman saniye, kuvvet-Newton, enerji joule olarak girilmektedir.

5.2. Modelin Oluşturulması

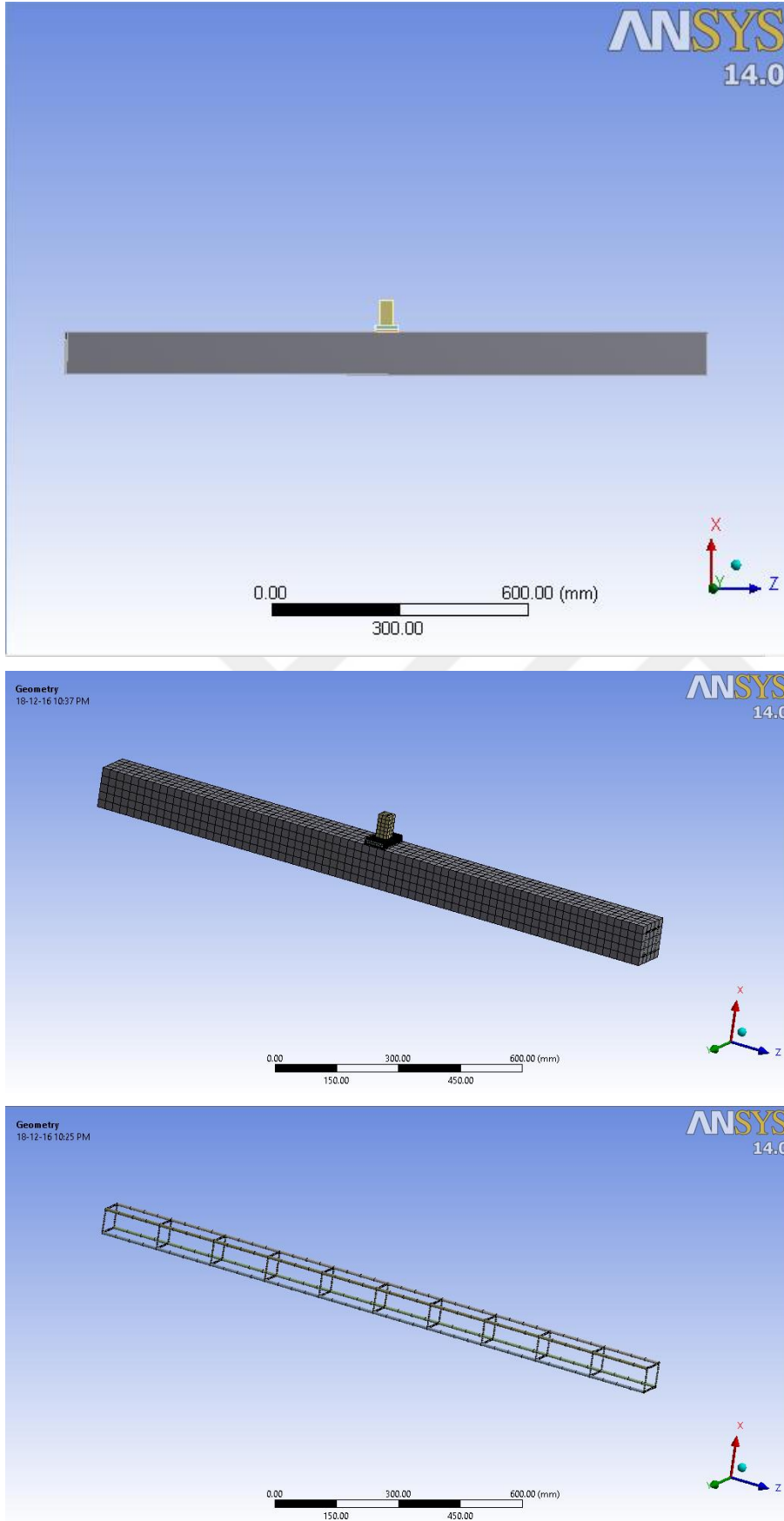
Üç boyutlu sürekli parçaları modellemesi için altı yüzlü, beş yüzlü, dört yüzlü, üçgen ve kiriş tipi sonlu elemanlar kullanılabilir. Sonlu elemanlar ve modelleme safhasında kullanılan serbestlik dereceleri Şekil 5.2'te verilmiştir. Prosedürde, hassasiyet ve yakınsama konuları arasında bir denge sağlayan optimum ağ boyutlarını belirlemek için ön hassasiyet analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışma sonrasında sonlu eleman modelinde kullanılabilecek sonlu elemanların maksimum boyutları 20 mm olarak belirlenmiştir. Gerilme yoğunlaşmalarına maruz kalan özellikle çekicinin temas noktası ve mesnet bölgeleri gibi bazı kritik bölgelerde sonlu elemanların ağ boyutu 2.5 mm'ye düşürülmüştür. Test edilen numunelerin simülasyon prosedüründe ortalama 4890 sonlu eleman kullanılmıştır.

Deneyel çalışmada yer alan 3 ve 4 nolu deney elemanları için oluşturulan sonlu eleman modelleri sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de verilmiştir. Oluşturulan sonlu eleman modelleri incelendiğinde deney elemanlarında rijit başlık bölümlerinin modellemediği ve bu bölümlerde betonarme kolonların ankastre meentli olacak şekilde modellendiği görülmektedir. Bu rijit betonarme başlık bölümlerinin donatıları ile birlikte modellenmemesi sonlu elemanlar modelinde yer alan sonlu eleman sayısı önemli miktarda azaltmış ve bilgisayar zamanından kazanç sağlamıştır.

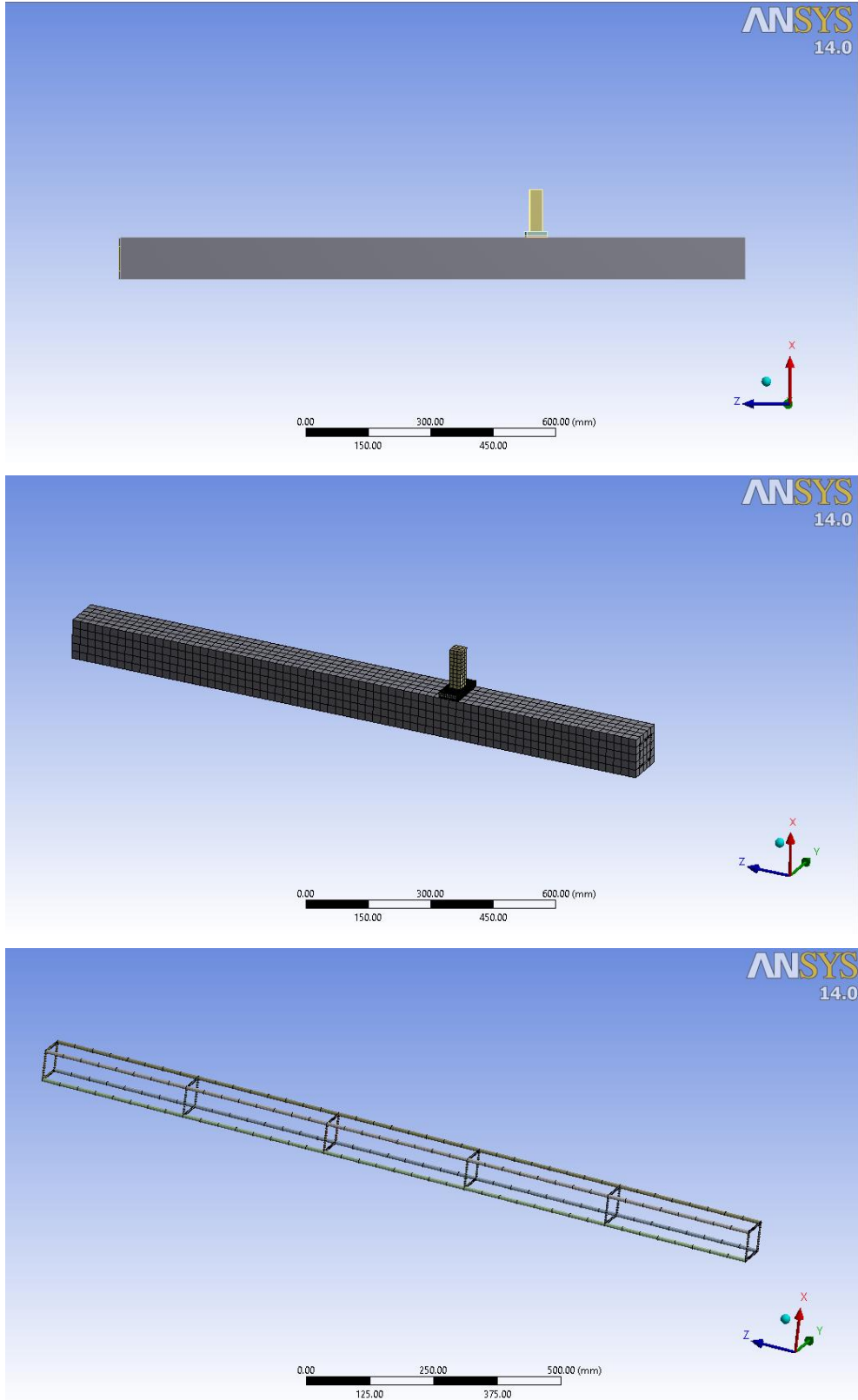


a) Hexahedral b) Pentahedral c) Tetrahedral d) Quadrilateral e) Triangular f) Beam (line) eleman

Şekil 5.2. ANSYS EXPLICIT STR Programında kullanılabilen sonlu eleman tipleri



Şekil 5.3. 3 nolu deney elemanı sonlu eleman modeli



Şekil 5.4. 4 nolu deney elemanı sonlu eleman modeli

Deneysel sonuçlar ile uyumlu ve daha gerçekçi bir çözüm elde edebilmek için bütün modellerde 12 mm’lik sonlu eleman ağı kullanılmış bu değerin 20 mm’yi geçmemesine özen gösterilmiştir. Bu çalışmada sonlu elemanlar modeli oluşturulurken katı cisimler (kolon, çekiç vb.) için “hexahedral”, bir boyutlu cisimler (çelik donatı) için ise “beam (line)” elemanlar kullanılmıştır. Şekil 2’de sonlu elemanlara bölünmüş olan deney modeli görülmektedir. Deney elemanlarını oluşturan bölümleride kullanılan sonlu eleman sayıları Deney elemanı 3 ve 4’ün modelleri için sırasıyla Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2 ‘de verilmiştir.

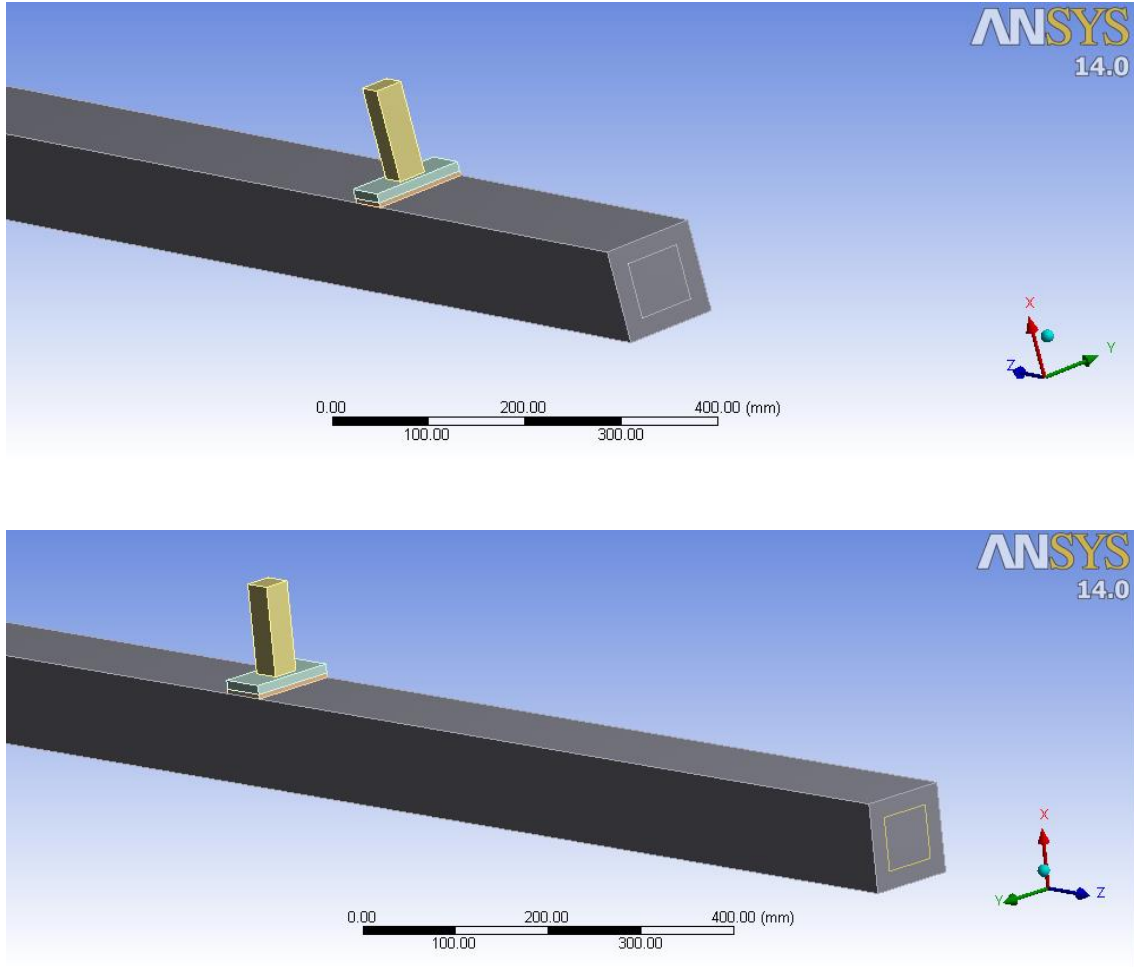
Çizelge 5.1. 3 nolu model sonlu eleman sayıları

Cisim	Ağ (Mesh) Elemanı Tipi	Ağ (Mesh) Elemanı Sayısı
Çekiç	Hexahedron	90
Çelik Plaka	Hexahedron	836
Kauçuk	Hexahedron	1520
Kiriş	Hexahedron	1875
Çelik Donatı	Beam (line)	688
	TOPLAM	5009

Çizelge 5.2. 4 nolu model sonlu eleman sayıları

Cisim	Ağ (Mesh) Elemanı Tipi	Ağ (Mesh) Elemanı Sayısı
Çekiç	Hexahedron	90
Çelik Plaka	Hexahedron	836
Kauçuk	Hexahedron	1520
Kiriş	Hexahedron	1875
Çelik Donatı	Beam (line)	448
	TOPLAM	4769

Deney elemanlarının sonlu eleman modellerinde eleman sayısını azaltmak için betonarme kolon bölümleri rijit betonarme kütleler modellenmeyip iki ucundan ankastre mesnetli olarak kabul edilmiştir. Ankastre mesnetlerin yerleri Şekil 5.4’de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Sonlu eleman modellerinde ankraste mesnet yerleri

Modellemede uzun süren çözüm süresini kısaltmak amacıyla gerçekte belirli bir yükseklikten düşürülen çekiç, kiriş üst yüzeyine temas halinde modellenmiş ve t=0 anında bir ilk hız değeri verilerek analizler yapılmıştır.

Çekice verilen ilk hız değeri, çekicinin h yüksekliğinden düşürülmesi halinde Eş. 5.1 kullanılarak hesaplanmıştır. Gerçek deneyde çekiç düşerken oluşan sürtünme kayıpları ihmal edilmiştir.

$$mgh = (1/2)mv^2 \quad (5.1)$$

m: kütle,

g: yerçekimi ivmesi,

h: düşme yüksekliği,

v:hız

1000 mm yükseklikten düşürülen 9 kg kütledeki çekicinin kirişe çarpma hızı Eş. 5.1'e göre 4.429 m/sn olarak hesaplanmış ve hesaplanan bu değer sonlu elemanlar modelinde çekice çarpma hızı olarak girilmiştir.

5.3. Malzeme Özellikleri ve Analiz Çalışması

Sonlu eleman analizinde çekiç, çelik plaka, kauçuk ve çelik donatı doğrusal-elastik malzemeler olarak modellenmişlerdir. Yapılan çalışmada düşük hızlı çarpma gerçekleştiği için çarpan cisim olan çekişte önemli sayılabilecek bir deformasyon oluşmamaktadır. Bu yüzden modellemede analiz süresini kısaltabilmek için çekicinin aynı ağırlıkta olacak şekilde hacmi azaltılmış ve yoğunluğu artırılmıştır. Çekicinin malzeme modeli de bu şekilde oluşturulmuştur. Çekiç, çelik plaka ve kauçuğa ait malzeme modeli özellikleri Çizelge 5.3'de, çelik donatıya ait malzeme modeli özellikleri ise boyuna donatı ve etriye donatısı olarak Çizelge 5.4'de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Çekiç, çelik plaka ve kauçuğa ait malzeme modelleri özellikleri

	Çekiç	Çelik Plaka	Kauçuk
Yoğunluk	100000 kg/m ³	7850 kg/m ³	1230 kg/m ³
Young Modülü	200000 MPa	200000 MPa	22 MPa
Poisson Oranı	0,3	0,3	0,45
Hacimsel Modül	166667 MPa	166667 MPa	73,3 MPa
Kayma Modülü	76923 MPa	76923 MPa	7,6 MPa

Çizelge 5.4. Çelik donatı malzeme modeli özellikleri

	Boyuna Donatı	Etriye
Yoğunluk	7850 kg/m ³	7850 kg/m ³
Young Modülü	200000 MPa	200000 MPa
Poisson Oranı	0,3	0,3
Hacimsel Modül	166667 MPa	166667 MPa
Kayma Modülü	76923 MPa	76923 MPa
Akma Dayanımı	470 MPa	470 MPa
Tanjant Modülü	1450 MPa	1450 MPa

Sonlu eleman analizinde betona ait malzeme modeli oluşturulurken Ansys Autodyna Explicit STR programının malzeme kütüphanesinde hazır bulunan RHT beton malzeme modelinden faydalanılmıştır [10, 11, 12]. Modelleme yapılırken kullanılan beton malzeme modelleri sonlu eleman modeli oluşturulan tüm deney elemanları için ayrı ayrı Çizelge 5.5-Çizelge 5.9’da verilmiştir. Betonun modellenmesinde ANSYS Explicit STR kütüphanesinde bulunan RHT beton materyal modeli kullanılmıştır (ANSYS, 2014, Riedel ve diğerleri 1990, Riedel ve diğerleri, 2009). Çizelgelerde sunulan özelliklerin çoğunun tüm numuneler için özdeş olduğu unutulmamalıdır. Bununla birlikte, bazıları test numunelerinin basınç dayanımına bağlı olarak değişebilmektedir.

Çizelge 5.5. Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (3 nolu deneye ait)

	Beton (RHT)
Density	2314 kg/m ³
Compressive Strength f_c	14,1 MPa
Tensile Strength f_t/f_c	0,1
Shear Strength f_s/f_c	0,18
Intact failure surface constant A	1,6
Intact failure surface exponent n	0,61
Tension/Compression Meridian ratio Q2.0	0,6805
Brittle to ductile transition BQ	0,0105
Hardening slope	2
Elastic strength/ f_t	0,7
Elastic Strength/ f_c	0,53
Fracture Strength Constant B	1,6
Fracture Strength Exponent m	0,61
Compressive Strain Rate Exponent α	0,0642
Tensile Strain Rate Exponent δ	0,0587

Çizelge 5.5. (devam) Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (3 nolu deneye ait)

Maximum Fracture Strength Ratio SFMAX	1E+20
Damage Constant D1	0,04
Damage Constant D2	1
Minimum Strain to Failure	0,01
Residual Shear Modulus Fraction	0,13
Shear Modulus	11200 MPa
Polynomial EOS	
Parameter A1	35270 MPa
Parameter A2	39580 MPa
Parameter A3	9040 MPa
Parameter B0	1,22
Parameter B1	1,22
Parameter T1	35270 MPa
Parameter T2	0 MPa
P-alpha EOS	
Solid Density	2750 kg/m ³
Porous Soundspeed	2856 m/s
Initial Compaction Pressure Pe	9,37 MPa
Solid Compaction Pressure Ps	6000 MPa
Compaction Exponent n	3

Çizelge 5.6. Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (4 nolu deneye ait)

	Beton (RHT)
Density	2314 kg/m ³
Compressive Strength f_c	19,2 MPa
Tensile Strength f_t/f_c	0,1
Shear Strength f_s/f_c	0,18
Intact failure surface constant A	1,6
Intact failure surface exponent n	0,61
Tension/Compression Meridian ratio Q2.0	0,6805
Brittle to ductile transition BQ	0,0105
Hardening slope	2
Elastic strength/ f_t	0,7
Elastic Strength/ f_c	0,53
Fracture Strength Constant B	1,6
Fracture Strength Exponent m	0,61
Compressive Strain Rate Exponent α	0,0515
Tensile Strain Rate Exponent δ	0,051
Maximum Fracture Strength Ratio SFMAX	1E+20
Damage Constant D1	0,04
Damage Constant D2	1
Minimum Strain to Failure	0,01
Residual Shear Modulus Fraction	0,13
Shear Modulus	11200 MPa
Polynomial EOS	
Parameter A1	35270 MPa
Parameter A2	39580 MPa

Çizelge 5.6. (devam) Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (4 nolu deneye ait)

Parameter A3	9040 MPa
Parameter B0	1,22
Parameter B1	1,22
Parameter T1	35270 MPa
Parameter T2	0 MPa
P-alpha EOS	
Solid Density	2750 kg/m ³
Porous Soundspeed	2872 m/s
Initial Compaction Pressure Pe	12,77 MPa
Solid Compaction Pressure Ps	6000 MPa
Compaction Exponent n	3

Çizelge 5.7. Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (5 nolu deneye ait)

	Beton (RHT)
Density	2314 kg/m ³
Compressive Strength f_c	17,8 MPa
Tensile Strength f_t/f_c	0,1
Shear Strength f_s/f_c	0,18
Intact failure surface constant A	1,6
Intact failure surface exponent n	0,61
Tension/Compression Meridian ratio Q2.0	0,6805
Brittle to ductile transition BQ	0,0105
Hardening slope	2
Elastic strength/ f_t	0,7
Elastic Strength/ f_c	0,53

Çizelge 5.7. (devam) Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (5 nolu deneye ait)

Fracture Strength Constant B	1,6
Fracture Strength Exponent m	0,61
Compressive Strain Rate Exponent α	0,0545
Tensile Strain Rate Exponent δ	0,0529
Maximum Fracture Strength Ratio SFMAX	1E+20
Damage Constant D1	0,04
Damage Constant D2	1
Minimum Strain to Failure	0,01
Residual Shear Modulus Fraction	0,13
Shear Modulus	11200 MPa
Polynomial EOS	
Parameter A1	35270 MPa
Parameter A2	39580 MPa
Parameter A3	9040 MPa
Parameter B0	1,22
Parameter B1	1,22
Parameter T1	35270 MPa
Parameter T2	0 MPa
P-alpha EOS	
Solid Density	2750 kg/m ³
Porous Soundspeed	2867 m/s
Initial Compaction Pressure Pe	11,83 MPa
Solid Compaction Pressure Ps	6000 MPa
Compaction Exponent n	3

Çizelge 5.8. Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (6 nolu deneye ait)

	Beton (RHT)
Density	2314 kg/m ³
Compressive Strength f_c	17,6 MPa
Tensile Strength f_t/f_c	0,1
Shear Strength f_s/f_c	0,18
Intact failure surface constant A	1,6
Intact failure surface exponent n	0,61
Tension/Compression Meridian ratio Q2.0	0,6805
Brittle to ductile transition BQ	0,0105
Hardening slope	2
Elastic strength/ f_t	0,7
Elastic Strength/ f_c	0,53
Fracture Strength Constant B	1,6
Fracture Strength Exponent m	0,61
Compressive Strain Rate Exponent α	0,0549
Tensile Strain Rate Exponent δ	0,0532
Maximum Fracture Strength Ratio SFMAX	1E+20
Damage Constant D1	0,04
Damage Constant D2	1
Minimum Strain to Failure	0,01
Residual Shear Modulus Fraction	0,13
Shear Modulus	11200 MPa
Polynomial EOS	
Parameter A1	35270 MPa
Parameter A2	39580 MPa

Çizelge 5.8. (devam) Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (6 nolu deneye ait)

Parameter A3	9040 MPa
Parameter B0	1,22
Parameter B1	1,22
Parameter T1	35270 MPa
Parameter T2	0 MPa
P-alpha EOS	
Solid Density	2750 kg/m ³
Porous Soundspeed	2867 m/s
Initial Compaction Pressure Pe	11,7 MPa
Solid Compaction Pressure Ps	6000 MPa
Compaction Exponent n	3

Çizelge 5.9. Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (8 nolu deneye ait)

	Beton (RHT)
Density	2314 kg/m ³
Compressive Strength f_c	17,2 MPa
Tensile Strength f_t/f_c	0,1
Shear Strength f_s/f_c	0,18
Intact failure surface constant A	1,6
Intact failure surface exponent n	0,61
Tension/Compression Meridian ratio Q2.0	0,6805
Brittle to ductile transition BQ	0,0105
Hardening slope	2
Elastic strength/ f_t	0,7
Elastic Strength/ f_c	0,53

Çizelge 5.9. (devam) Beton için kullanılan RHT beton modeli özellikleri (8 nolu deneye ait)

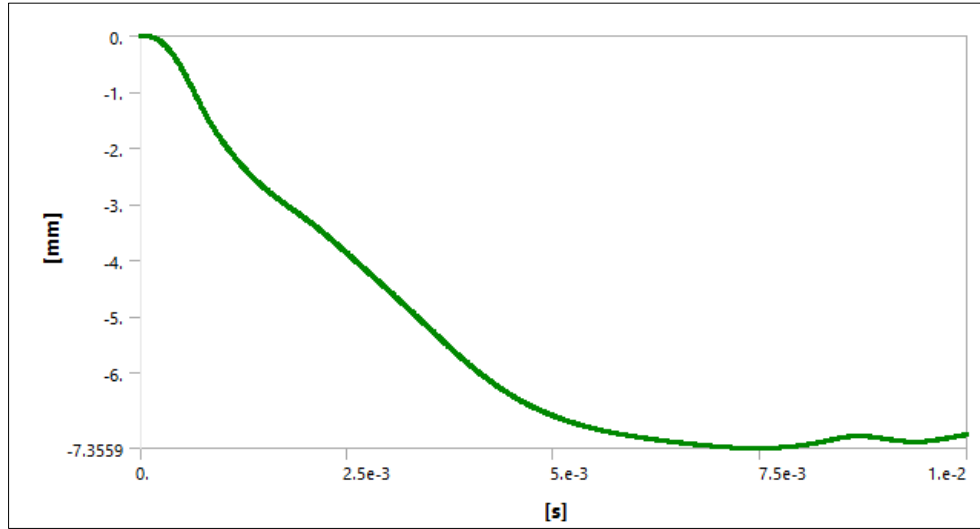
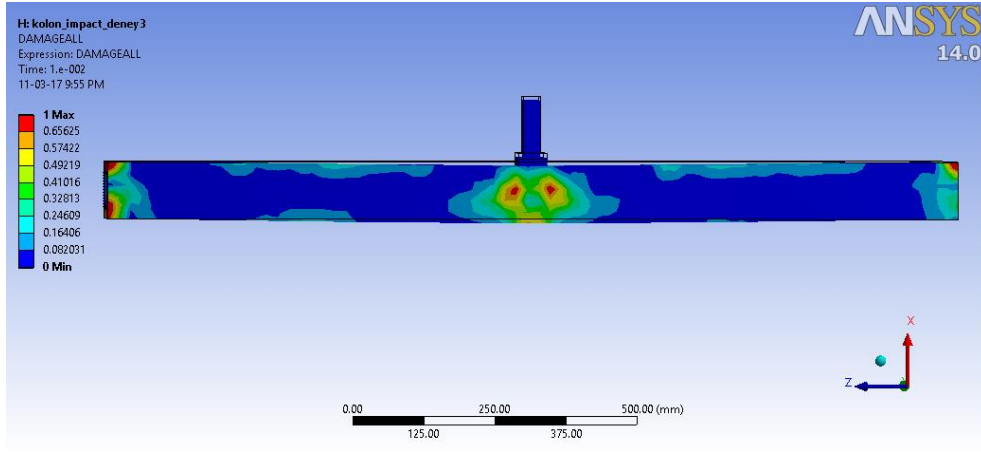
Fracture Strength Constant B	1,6
Fracture Strength Exponent m	0,61
Compressive Strain Rate Exponent α	0,0559
Tensile Strain Rate Exponent δ	0,0538
Maximum Fracture Strength Ratio SFMAX	1E+20
Damage Constant D1	0,04
Damage Constant D2	1
Minimum Strain to Failure	0,01
Residual Shear Modulus Fraction	0,13
Shear Modulus	11200 MPa
Polynomial EOS	
Parameter A1	35270 MPa
Parameter A2	39580 MPa
Parameter A3	9040 MPa
Parameter B0	1,22
Parameter B1	1,22
Parameter T1	35270 MPa
Parameter T2	0 MPA
P-alpha EOS	
Solid Density	2750 kg/m ³
Porous Soundspeed	2865 m/s
Initial Compaction Pressure Pe	11,4 MPa
Solid Compaction Pressure Ps	6000 MPa
Compaction Exponent n	3

5.4. Analiz Sonuçlarının Deney Sonuçlarıyla Karşılaştırılması

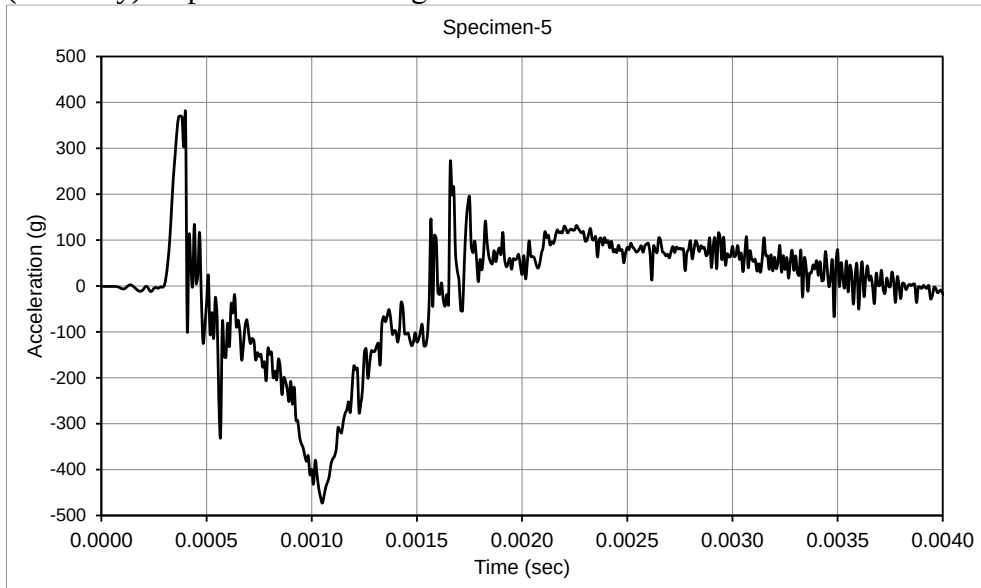
Nümerik çalışma kapsamında, test edilen deney elemanı 3, 4, 5, 6 ve 8'in sonlu elemanlar simülasyonları artımlı dinamik analiz tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman analizlerden, deney elmanlarının nümerik olarak yer değiştirme-zaman ve ivme-zaman tepkileri elde edilmiştir. Deney elemanı 3, 4, 5, 6 ve 8'in nümerik analizleri sonucunda elde edilen gerilem dağılımları deplasman ve ivme zaman grafikleri sırasıyla Şekil 5.6- 5.10'da verilmiştir. Ayrıca nümerik analiz sonucunda elde edilen maksimum ivme ve deplasman değerleri de deneysel çalışma ile karşılaştırılarak aralarındaki farklar ile birlikte Çizelge 5.10'da sunulmuştur.

Çizelge 5.10. Analiz sonuçlarının deney sonuçlarıyla karşılaştırılması

Numune. No	İvme (g)			Yerdeğiştirme (mm)		
	SEA	Deneysel	Farkı (%)	SEA	Deneysel	Farkı (%)
3	387.25	362.18	6	7.36	7.18	2
4	383.97	427.45	11	5.84	7.03	20
5	473.33	409.19	14	7.38	7.07	4
6	503.62	461.99	8	7.25	7.14	2
8	399.66	373.95	6	6.15	5.73	7

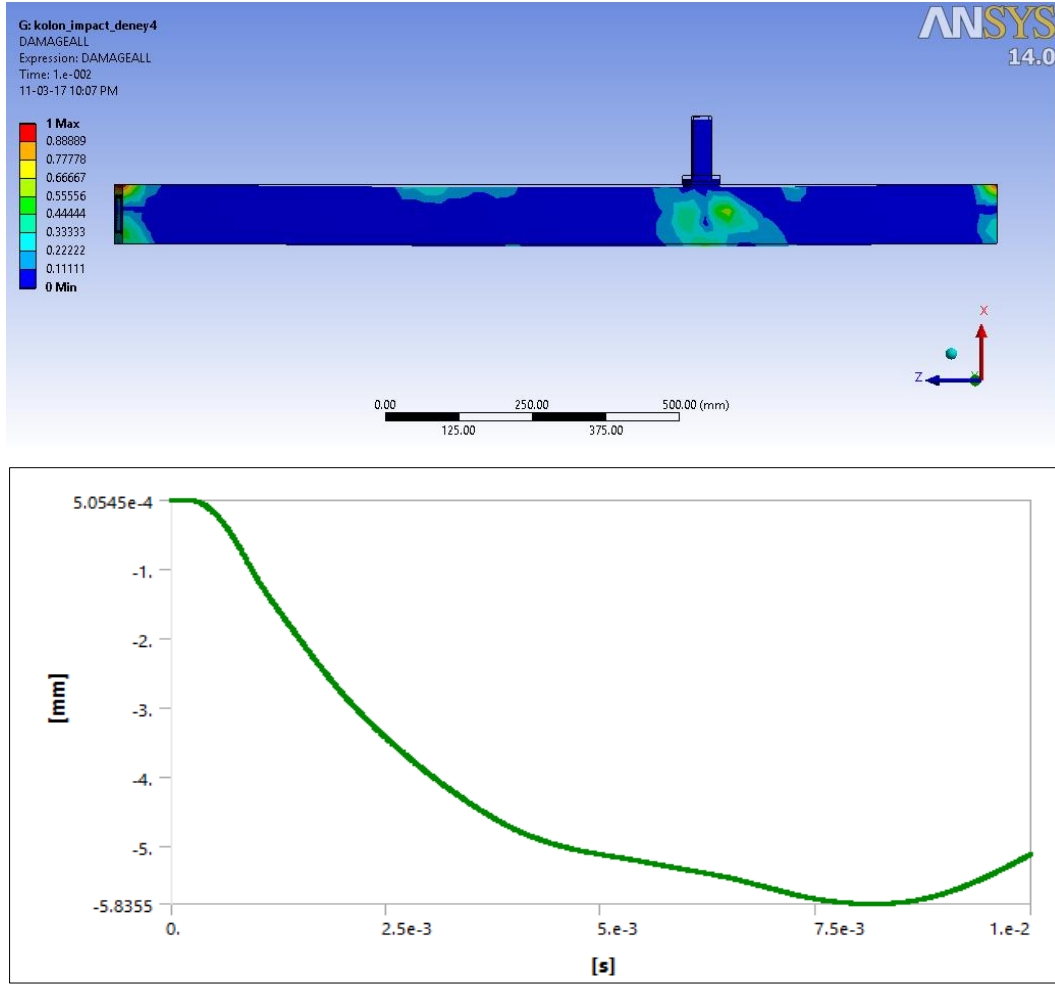


(3. Deney) Deplasman-zaman eğrisi

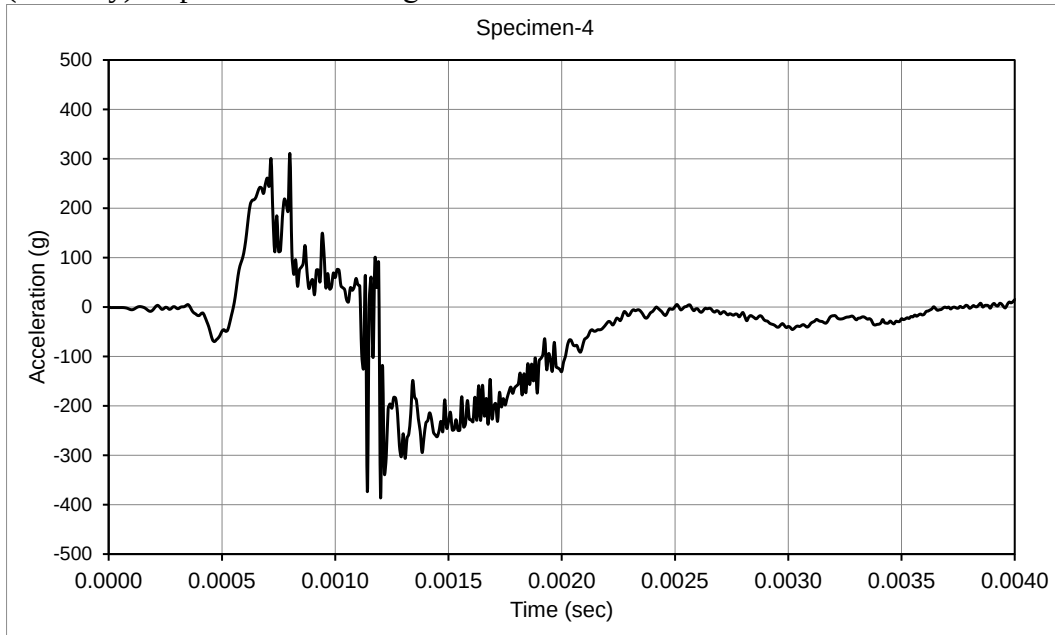


(3.Deney) İvme-zaman eğrisi

Şekil 5.6. 3 nolu deney elemanı sonlu eleman analizi sonuçları

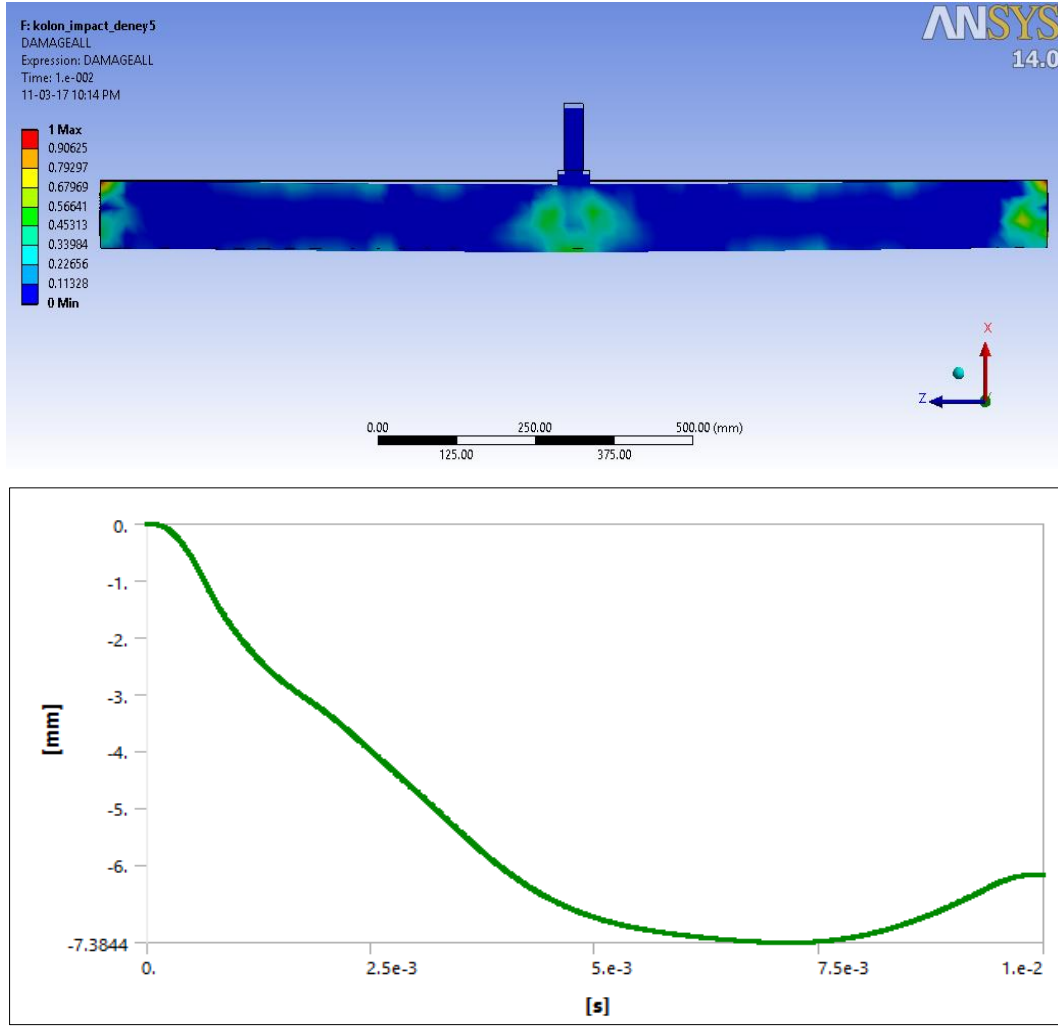


(3.Deney) Deplasman-zaman eğrisi

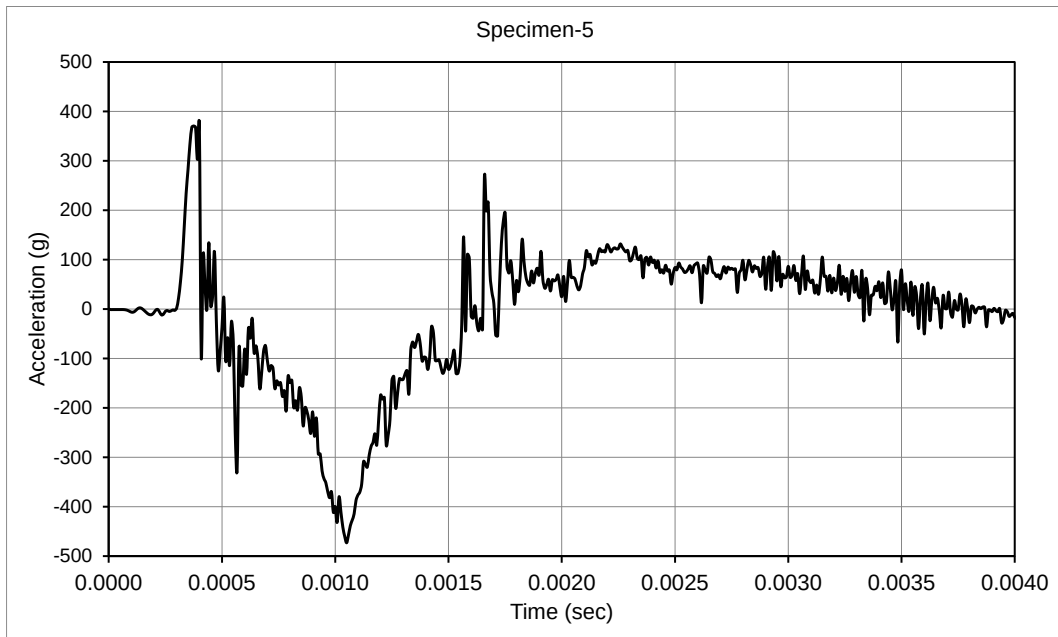


(4.Deney) İvme-zaman eğrisi

Şekil 5.7. 4 nolu deney elemanı sonlu eleman analizi sonuçları

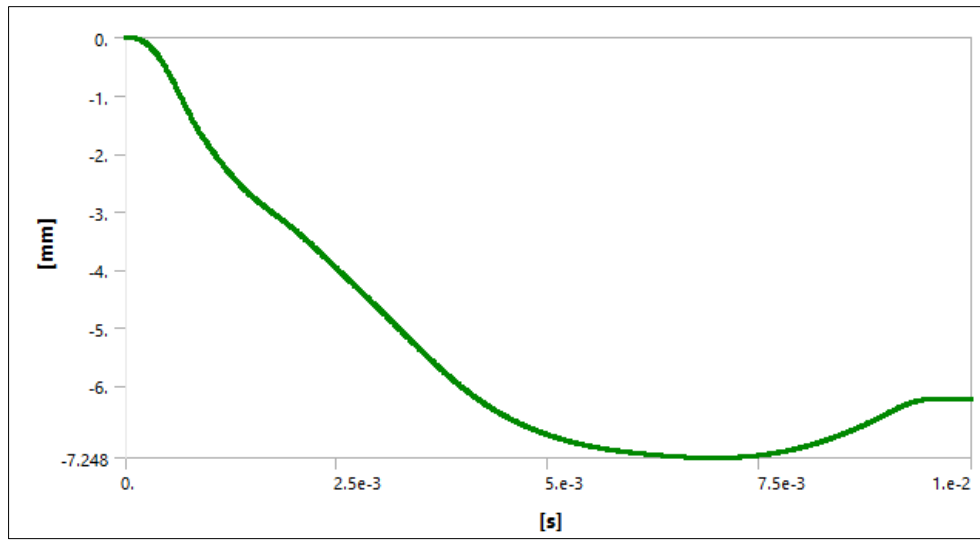
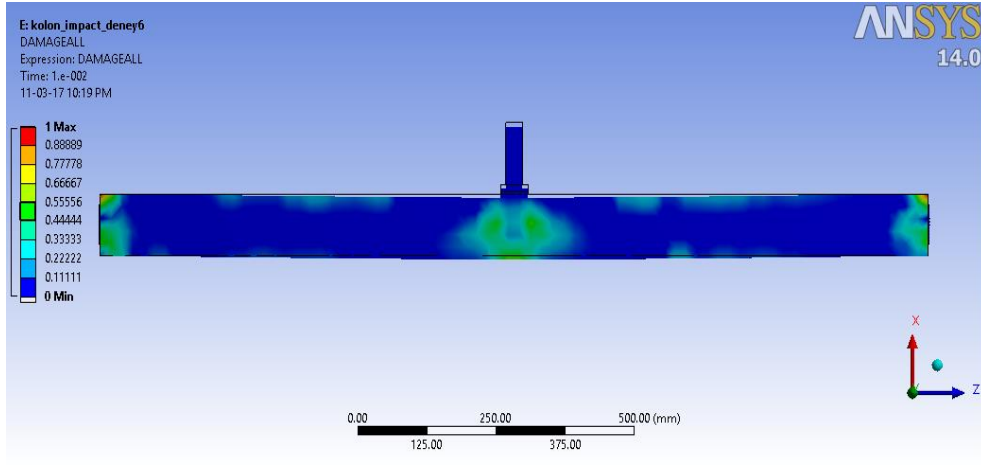


(5.Deney) Deplasman-zaman eğrisi

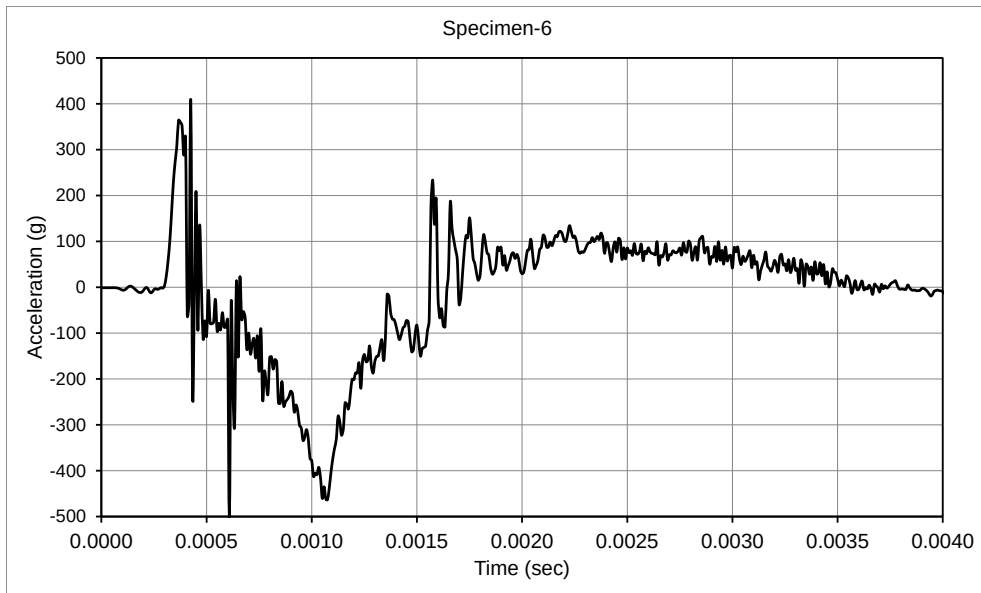


(5.Deney) İvme-zaman eğrisi

Şekil 5.8. 5 nolu deney elemanı sonlu eleman analizi sonuçları

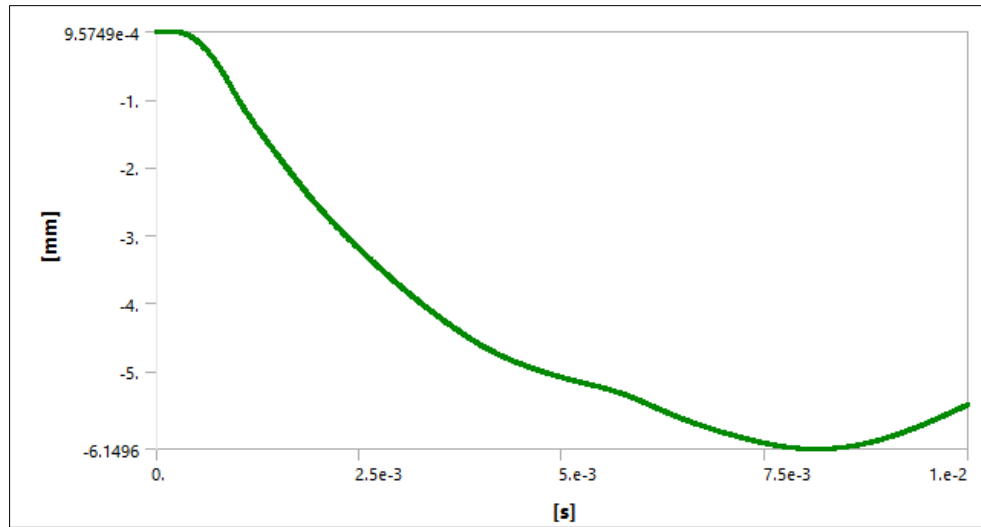
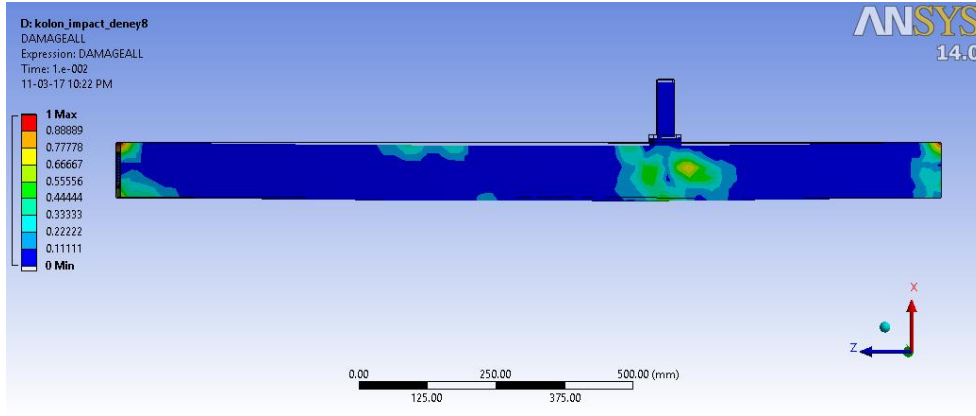


(6.Deney) Deplasman-zaman eğrisi

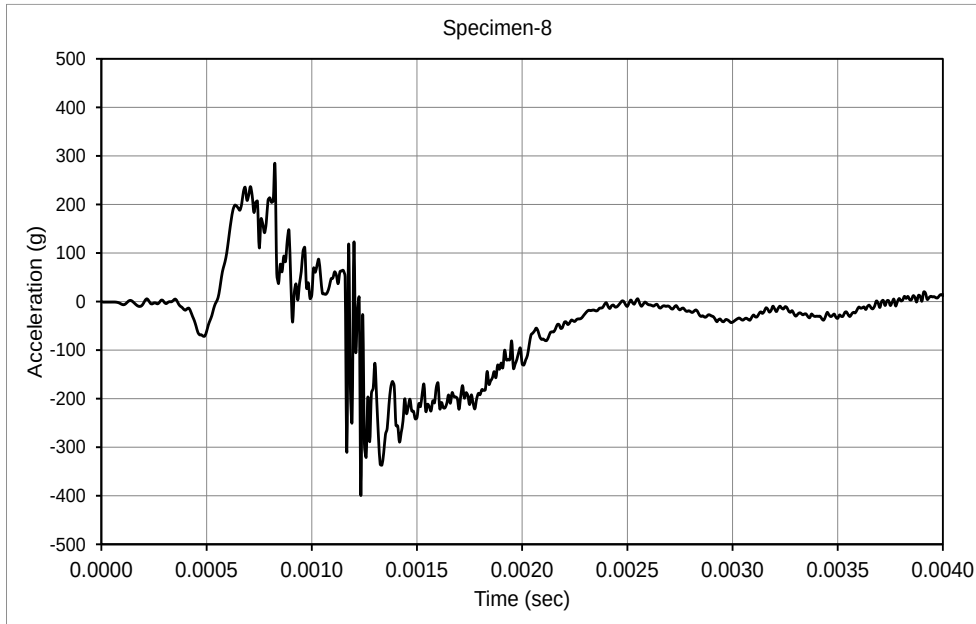


(6.Deney) İvme-zaman eğrisi

Şekil 5.9. 6 nolu deney elemanı sonlu eleman analizi sonuçları



(8.Deney) Deplasman-zaman eğrisi



(8.Deney) İvme-zaman eğrisi

Şekil 5.10. 8 nolu deney elemanı sonlu eleman analizi sonuçları

Deneysel programda yer alan 3, 4, 5, 6 ve 8 numaralı deney elemanlarına lineer olmayan artımsal dinamik analiz yapılmıştır. Deney elemanlarına uygulanan ani dinamik çarpma yüklemesi etkisi ile meydana gelen titreşim sonucunda oluşan ivmenin zaman göre değişimi ve çarpışma noktasında meydana gelen düşey deplasmanın zaman göre değişimi ivme-zaman ve deplasman zaman grafiklerinden sunulmuştur. Elde edilen nümerik sonuçlar ve deneysel sonuçlar arasındaki farklar incelendiğinde en fazla uyumsuzluğun 4 nolu deney elemanında olduğu görülmektedir. Deney elemanı 4 deneysel programda yer alan en zayıf, kesme donatısı aralığı en fazla ve beton basınç dayanımı en düşük olan deney elemanıdır. Specimen-4 deney elemanında beton basınç dayanımının düşüklüğü ve kesme donatısı yetersizliği nedeniyle daha yüksek oranda kesme çatlağı ve hasarı oluşması deneysel ve nümerik sonuçlar arasındaki farklılıkta önemli rol oynamıştır. ANSYS Autodyna Explicit STR yazılımındaki çatlak modelinin kesme çatlağını modellemek için başarısının biraz daha düşük olması ve beton basınç dayanımının çok düşük olmasının analiz sonuçlarını deneysel sonuçlardan uzaklaştırdığı düşünülmektedir.

Deneysel ve nümerik analiz sonucunda elde edilen maksimum ivme değerleri incelendiğinde deneysel ve nümerik analizden elde edilen maksimum ivme değerleri arasındaki farkın ortalama %9, en düşük %6 ve en yüksek ise %14 olarak hesaplandığı görülmüştür. Aynı şekilde nümerik analiz ve deneysel maksimum deplasman değerleri arasındaki fark ortalama %7, en düşük %2 ve en yüksek ise %20 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar ANSYS Autodyna explicit STR yazılımı ile betonarme kolonların çarpışma davranışının deneysel sonuçlar ile uyumlu, oldukça başarılı ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalabilecek hata oranları ile hesaplanabildiğini göstermiştir. Sonuçlar arasındaki bu farkın ise kolonun mesnetlenme şartı ve malzeme modelinden kaynaklandığı düşünülmektedir. ANSYS Autodyna explicit STR kütüphanesinde yer alan beton modeli ve çatlak modelinin basınç ve kesme dayanımı çok düşük olan betonarme elemanlar için geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Nümerik analiz sonucunda elde edilen gerilme dağılımları ve deneysel çatlak yerlerinin birbirleri ile genel olarak uyumlu oldukları ve çatlakların gerilmelerin yoğunlaştığı bölgelerde oluştuğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar ANSYS Autodyna explicit STR yazılımı ve içerisinde yer alan Autodyna çözücüsünün betonarme kolonların lineer olmayan artımsal dinamik çarpışma analizinin gerçekleştirilmesinde tasarım aşamasında mühendislere fikir verebilecek düzeyde, deneysel sonuçlar ile uyumlu ve gerçekçi çözümlere ulaşılmasını sağladığı görülmüştür.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında betonarme kolonların çarpışma davranışının lineer olmayan artımsal dinamik analizinin sonlu elemanlar modeli ile elde edilmesi için bir modelleme çalışması yapılmıştır. Deneysel çalışmanın modellenmesinde ANSYS explicit STR yazılımı ve bünyesinde yer alan Autodyna çözücüsü kullanılarak deneysel sonuçlar ile uyumlu ve gerçekçi sonuçlar verebilen, doğrulanmış bir sonlu elemanlar modelinin oluşturulması amaçlanmıştır. Deneysel çalışma kapsamında test edilen 8 betonarme kolon deney elemanının beşinin sonlu elemanlar modeli oluşturularak analiz sonuçları ve deneysel sonuçlar karşılaştırılmış ve sonlu eleman modelinin ne ölçüde gerçekçi sonuçlar verdiği yorumlanmıştır. Çalışma kapsamında incelenen değişkenler beton basınç dayanımı, betonarme kolonda yer alan kesme donatısı oranı ve kolona uygulanan çarpışma yüklemesinin konumudur. Bu değişkenlerin sonlu eleman modelinin sonuçları üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

- Çarpışma yüklemesi etkisindeki betonarme kolonlarda deplasman değerleri kesme donatısı oranının azalması ve aralıklarının artması ile önemli oranda artış göstermiştir. Bu artış miktarı çarpışma yüklemesinin kolon ucuna yaklaştığı durumda daha da artmış ve en büyük deplasman değerleri kolon ucuna yakın yüklenen ve kesme donatısı aralığı büyük olan deney elemanlarında görülmüştür.
- Betonarme kolonlarda çarpışma yüklemesi etkisiyle oluşan çatlaklar eğik kesme çatlağı şeklinde meydana gelmiş ve göçmenin kesme kırılması şeklinde meydana geleceği görülmüştür.
- Kesme donatısı oranı düşük olan ve aralığı büyük olan deney elemanlarında meydana gelen kesme çatlağı sayısı çok daha fazla ve genişlikleri çok daha büyük olmuştur.
- Beton basınç dayanımı daha yüksek ve kesme donatısı aralığı daha sık olan betonarme kolonlarda meydana gelen kesme çatlağı genişlikleri daha düşük olmuş, kılcal çatlaklarla sınırlı kalmıştır.
- Kesme donatısı oranı düşük olan, aralığı yüksek olan kolonlarda sargılama etkisinin azalması nedeniyle kolon boyuna demirlerinin serbest boyunun uzaması sonucunda kolonlarda kabuk betonunda dökülmeler meydana gelmiş ve donatılar görülebilir hale gelmiştir.
- Deneysel ve nümerik analizden elde edilen maksimum ivme değerleri arasındaki fark ortalama %9, maksimum deplasman değerleri arasındaki fark ise ortalama %7 olarak

hesaplanmıştır. Elde edilen bu sonuçlar ANSYS explicit STR yazılımı ile betonarme kolonların çarpışma davranışının deneysel sonuçlar ile uyumlu, oldukça başarılı ve kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalabilecek hata oranları ile hesaplanabildiğini göstermiştir.

- Nümerik ve deneysel sonuçlar arasındaki bu farkın kolonun mesnetlenme şartı ve malzeme modelinden kaynaklandığı düşünülmektedir. ANSYS kütüphanesinde yer alan beton modeli ve çatlak modelinin basınç ve kesme dayanımı çok düşük olan betonarme elemanlar için geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.
- Elde edilen sonuçlar ANSYS explicit STR yazılımı ve içerisinde yer alan Autodyna çözücüsünün betonarme kolonların lineer olmayan artımsal dinamik çarpışma analizinin gerçekleştirilmesinde tasarım aşamasında mühendisler için fikir verebilecek düzeyde, deneysel sonuçlar ile uyumlu ve gerçekçi çözümler verdiğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

1. Remennikov, A. M. and Kaewunruen, S. (2006). *Impact resistance of reinforced concrete columns: experimental studies and design considerations*. New South Wales: University of Wollongong.
2. Thilakarathna, H. M. I., Thambiratnam, D. P., Dhanasekar, M. and Perera, N. (2010). Numerical simulation of axially loaded concrete columns under transverse impact and vulnerability assessment. *International Journal of Impact Engineering*, 37(11), 1100-1112.
3. Bao, X., Li, B. (2010). Residual strength of blast damaged reinforced concrete columns. *International Journal of Impact Engineering*, 37(3), 295-308.
4. Kantar, E. (2009). *CFRP ile güçlendirilmiş beton kirişlerin çarpma davranışının deneysel olarak incelenmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
5. Wu, K.C., Li, B. and Tsai, K.C. (2011). The effects of explosive mass ratio on residual compressive capacity of contact blast damaged composite columns. *Journal of Constructional Steel Research*, 67(4), 602-612.
6. Hao, H., Wu, C. (2005). Numerical study of characteristics of underground blast induced surface ground motion and their effect on above-ground structures. Part II. Effects on structural responses. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25(1), 39-53.
7. Li, B., Rong, H.C. and Pan, T.C. (2007). Drift-controlled design of reinforced concrete frame structures under distant blast conditions—Part II: Implementation and evaluation. *International Journal of Impact Engineering*, 34(4), 755-770.
8. Lu, Y., Wang, Z. and Chong, K. (2005). A comparative study of buried structure in soil subjected to blast load using 2D and 3D numerical simulations. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 25(4), 275-288.
9. Yang, G., Lok, T.S. (2007). Analysis of RC structures subjected to air-blast loading accounting for strain rate effect of steel reinforcement. *International Journal of Impact Engineering*, 34(12), 1924-1935.
10. ANSYS User Manual. Version R14. Ansys Inc.
11. Riedel, W., Thoma, K., Hiermaier, S. and Schmolinske, E. (1999, May). *Penetration of reinforced concrete by BETA-B-500 numerical analysis using a new macroscopic concrete model for hydrocodes*. Paper presented at the Proceedings of the 9th International Symposium on the Effects of Munitions with Structures, Berlin-Strausberg, Germany.
12. Riedel, W., Kawai, N. and Kondo, K. I. (2009). Numerical assessment for impact strength measurements in concrete materials. *International Journal of Impact Engineering*, 36(2), 283-293.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Barmakı, Waheedullah
Uyruğu : AFGHAN
Doğum tarihi ve yeri : 09.06.1989, Kabil
Medenihali : Bekâr
Telefon : 0539 462 12 07
e-mail : waheedbarmaki@hotmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi/İnşaat Müh. A.B.D.	Devam ediyor
Lisans	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/ İnşaat Müh. A.B.D.	2014
Lise	Naderia Lisesi	2005

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
-	-	-

Yabancı Dil

Farsça
İngilizce
Pashto

Yayınlar

-

Hobiler

Müzik, Haber, Araştırma



GAZİ GELECEKTİR..