

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sedat KARAAHMETLİ

**YAPILARIN DİNAMİK ANALİZİNDE KULLANILAN SÖNÜM
MODELLERİNİN TEORİK VE DENEYSEL OLARAK
İRDELENMESİ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2017

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YAPILARIN DİNAMİK ANALİZİNDE KULLANILAN SÖNÜM
MODELLERİNİN TEORİK VE DENEYSEL OLARAK İRDELENMESİ**

Sedat KARAAHMETLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 06/02/2017 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr.İsmail H. ÇAĞATAY
ÜYE

.....
Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Ç.Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: FYL20155328

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve
fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri
Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YAPILARIN DİNAMİK ANALİZİNDE KULLANILAN SÖNÜM MODELLERİNİN TEORİK VE DENEYSEL OLARAK İRDELENMESİ

Sedat KARAAHMETLİ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR

Yıl: 2017, Sayfa: 225

Juri : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR

: Prof. Dr. İsmail H. ÇAĞATAY

: Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ

Bu çalışmada, yapıların dinamik analizinde kullanılan sönüm modelleri teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla deneylerde, sarsma tablasına sabitlenmiş farklı rijitliklere sahip üç adet tek serbestlik dereceli yapı modeli ile farklı malzeme ve geometrik özelliklere sahip sekiz adet çok serbestlik dereceli yapı modeli kullanılmıştır. Deneylerde, yapılardaki sönüm oranlarının farklı kütle, rijitlik ve ivme değerleri etkisi altında değişimi araştırılmış ve her parametrenin yapı sönüm oranı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmanın teorik kısmında, sonlu elemanlar yöntemine dayanan SAP2000 bilgisayar yazılımı kullanılmıştır. Sayısal analizler, deneyler sonucunda elde edilen verilerden faydalanılarak, SAP2000 yazılımında oluşturulan modeller üzerinde farklı deprem verileriyle gerçekleştirilmiştir. Farklı sönüm modelleriyle gerçekleştirilen analizler ile deneyler sonucunda elde edilen verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma neticesinde elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüş ve sonuçlar detaylı olarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sönüm modeli, Sönüm oranı, Dinamik parametre, Deprem mühendisliği, Yapı dinamiği

ABSTRACT

MSc THESIS

THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DAMPING MODELS USED IN DYNAMIC ANALYSIS OF STRUCTURES
--

Sedat KARAAHMETLİ

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

Supervisor : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR

Year: 2017, Pages: 225

Jury : Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR

: Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY

: Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ

In this study, the damping models used the dynamic analysis of the structures have been investigated experimentally and theoretically. For this purpose, three structure models having a single degree of freedom (SDOF) with different stiffness and eight structure models having multi degree of freedom (MDOF) with different material and geometric features have been clamped to the shake table and experimentally tested. The variation of the damping ratios on the structures has been investigated under the effects of different mass, stiffness, and acceleration values in the tests. Then, by using SAP2000 computer software based on the finite element method, numerical models have been formed by taking advantage of the result obtained in the experimental study and numerical analyses which have been performed on different earthquake data. Besides, the analyses carried out different damping models have been compared with the experimental tests results. It has been observed that the results obtained from both theoretical and experimental studies are quite compatible and the results have been presented in the thesis.

Keywords: Damping models, Damping ratio, Dynamic parameter, Earthquake engineering, Structure dynamic

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bu çalışmada, yapıların dinamik karakteristiklerinden biri olan sönüm oranı ve yapıların sayısal analizlerinde kullanılan sönüm modelleri deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Çalışmanın deneysel kısmı Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Teorik incelemeler ise SAP2000 yazılımıyla gerçekleştirilmiştir.

Bu amaçla deneylerde, sarsma tablasına sabitlenmiş farklı rijitliklere sahip üç adet tek serbestlik dereceli yapı modeli ile farklı malzeme ve geometrik özelliklere sahip sekiz adet çok serbestlik dereceli yapı modeli kullanılmıştır.

Deneysel çalışmalarda ilk olarak, tek serbestlik dereceli yapılar (TSD) ele alınmıştır. TSD yapılar üzerinde gerçekleştirilen serbest titreşim deneyleriyle yapılardaki sönüm oranlarının farklı kütle, rijitlik ve ivme değerleri etkisi altında değişimi araştırılmıştır. Araştırmalar sonucunda her parametrenin yapı sönüm oranını büyük ölçüde etkilediği gözlemlenmiştir.

Deneysel çalışmalarda ikinci olarak, çok serbestlik dereceli yapılar (ÇSD) ele alınmıştır. TSD yapılarda olduğu gibi ÇSD yapılarda da sönüm oranının farklı kütle ve rijitlik değerleri etkisi altında değişimi araştırılmıştır. TSD yapılarda gerçekleştirilen maksimum ivme değerinin sönüm oranına etkisi yerine benzer olarak maksimum deplasman değerinin sönüm oranına etkisi incelenmiştir. Üretilen sekiz adet ÇSD yapının, dört tanesi çelik dört tanesi ise alüminyumdan imal edilmiştir. Böylece ÇSD yapılarda ilaveten yapılarda kullanılan malzemenin yapı sönüm oranı üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Araştırmalar sonucunda dört parametrenin de yapı sönüm üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Sayısal çalışma kapsamında çelik malzemeden oluşturulmuş ÇSD yapı ele alınmıştır. Deney numunesinin dinamik karakteristikleri deneysel sonuçlar kullanılarak belirlendikten sonra numunenin analitik modeli oluşturulmuştur. Analizlerde, tez çalışması kapsamında elde edilen bulguların tasarımcılar tarafından gerçek yapı sistemlerine de kolayca uygulanabilmesi için yaygın olarak

kullanılan SAP2000 programı tercih edilmiştir. Yapılan deneylerde ve sayısal çalışmalarda literatürde sık sık karşılaşılan El Centro, Friuli ve Hollister olmak üzere üç farklı deprem verisi kullanılmıştır. Farklı deprem verileri ve sönüm modelleriyle gerçekleştirilen analizler ile deneyler sonucunda elde edilen verilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma neticesinde elde edilen sonuçların uyumlu olduğu görülmüş ve sonuçlar detaylı olarak sunulmuştur.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince, bilgi, tecrübe ve yardımlarını benden esirgemeyen, tezimi hayata geçirebilmem konusunda en büyük paya sahip olan hocam sayın Prof. Dr. Ahmed Kamil TANRIKULU'na ve danışman hocam Sayın Prof. Dr. Cengiz DÜNDAR'a teşekkürlerimi sunarım.

Değerli katkılarından dolayı, Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY'a, Prof. Dr. Serkan TOKGÖZ'e ve bölüm hocalarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Mustafa TOLUN, Arş. Gör. Buse EMİRLER, Arş. Gör. Timuçin Alparslan ve değerli araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Katkılarından dolayı, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü personelleri Muzaffer KURT'a, ve Süleyman EVLEKSİZ'e teşekkür ederim.

Deney modellerinin oluşturulmasında ve deneyler esnasında karşılaştığım sorunların çözümünde bilgi ve tecrübesinden yararlandığım, Fetih YAMAN ve Ömer KÜTÜK'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca varlığından her zaman destek aldığım, sevgi, hoşgörü ve sonsuz desteğini benden esirgemeyen eşim İpek KARAAHMETLİ'ye teşekkür ederim.

Son olarak karşılıksız desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan babam Mustafa KARAAHMETLİ'ye, annem Leman KARAAHMETLİ'ye ve kardeşlerime tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT	III
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	IX
ÇİZELGELER DİZİNİ	XV
ŞEKİLLER DİZİNİ	XXI
SİMGELER	XXXIII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	5
3. MATERYAL VE METOT	13
3.1. Deney Düzenegi.	13
3.1.1. CUSHAKE Sarsma Tablası.....	13
3.1.2. Veri Ölçüm Sistemi	16
3.1.3. Ölçüm Sisteminin Kalibrasyon	18
3.1.3.1. LVDT'lerin Kalibrasyonu	18
3.1.3.2. İvmeölçerlerin Kalibrasyonu	20
3.2. Veri Filtreleme	21
3.3. Doğal Titreşim Frekansının Belirlenmesi	22
3.4. Sönüm Oranının Belirlenmesi	25
3.4.1. Logaritmik Dekreman ile Sönüm Oranının Belirlenmesi.....	25
3.4.2. Serbest Titreşim Denkleminin Çözümü ile Sönüm Oranının Belirlenmesi	27
3.5. Yapı Modelleri	30
3.5.1. Tek Serbestlik Dereceli Yapı Modelleri.....	30
3.5.2. Çok Serbestlik Dereceli Yapı Modelleri	32
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	41

4.1. Tek Serbestlik Dereceli Yapı Deneyleri.....	41
4.1.1. Maksimum İvmenin Sönüm Oranına Etkisi	42
4.1.1.1. Bir (1) Nolu Yapı Üzerinde Yapılan Deneyler.....	43
4.1.1.2. İki (2) Nolu Yapı Üzerinde Yapılan Deneyler	53
4.1.1.3. Üç (3) Nolu Yapı Üzerinde Yapılan Deneyler	57
4.1.2. Kütle Miktarının Sönüm Oranına Etkisi.....	60
4.1.2.1. Bir (1) Nolu Yapıda Kütle Miktarının Sönüm Oranına Etkisi	60
4.1.2.2. İki (2) Nolu Yapıda Kütle Miktarının Sönüm Oranına Etkisi	62
4.1.2.3. Üç (3) Nolu Yapıda Kütle Miktarının Sönüm Oranına Etkisi	63
4.1.3. Rijitlik Değişiminin Sönüm Oranına Etkisi	64
4.2. Çok Serbestlik Dereceli Yapı Deneyleri	66
4.2.1. Maksimum Deplasmanın Sönüm Oranına Etkisi	67
4.2.1.1. A1 Nolu Yapı Deneyleri.....	68
4.2.1.2. A2 Nolu Yapının Deneyleri	73
4.2.1.3. A3 Nolu Yapının Deneyleri	78
4.2.1.4. A4 Nolu Yapının Deneyleri.....	84
4.2.1.5. Ç1 Nolu Yapının Deneyleri.....	89
4.2.1.6. Ç2 Nolu Yapının Deneyleri.....	94
4.2.1.7. Ç3 Nolu Yapının Deneyleri.....	99
4.2.1.8. Ç4 Nolu Yapının Deneyleri.....	104
4.2.2. Kütle Miktarının Sönüm Oranına Etkisi.....	109
4.2.2.1 A1 Nolu Yapının Deneyleri.....	109
4.2.2.2. A2 Nolu Yapının Deneyleri.....	111
4.2.2.3. A3 Nolu Yapının Deneyleri.....	112
4.2.2.4. A4 Nolu Yapının Deneyleri.....	113
4.2.2.5. Ç1 Nolu Yapının Deneyleri.....	114
4.2.2.6. Ç2 Nolu Yapının Deneyleri.....	116
4.2.2.7. Ç3 Nolu Yapının Deneyleri.....	117
4.2.2.8. Ç4 Nolu Yapının Deneyleri.....	118

4.2.3. Malzeme Türünün Sönüm Oranına Etkisi	119
4.2.4. Rijitliğin Sönüm Oranına Etkisi	122
5. SAYISAL ÇALIŞMA	125
5.1. Deneylerde Kullanılan Deprem Verisi	126
5.2. Analizlerde Kullanılan Sönüm Modelleri	129
5.2.1. Kütle Orantılı Sönüm Modeli.....	129
5.2.2. Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli	130
5.2.3. Rayleigh Sönüm Modeli.....	130
5.3. Ç1 Nolu Yapı Modeli	131
5.4. Ç1 Nolu Yapı Modelinin Deprem Davranışının Belirlenmesi	132
5.4.1. Sabit Sönüm Oranı ile Analizler.....	133
5.4.1.1. Ç1-1 Nolu Model Yapı Analizi	133
5.4.1.2. Ç1-2 Nolu Model Yapı Analizi	143
5.4.1.3. Ç1-3 Nolu Model Yapı Analizi	151
5.4.1.4. Ç1-4 Nolu Model Yapı Analizi	161
5.4.2. Kütle Orantılı Sönüm Modeli ile Analizler	168
5.4.2.1. Ç1-1 Nolu Model Yapı Analizi	168
5.4.2.2. Ç1-2 Nolu Model Yapı Analizi	172
5.4.2.3. Ç1-3 Nolu Model Yapı Analizi	176
5.4.2.4. Ç1-4 Nolu Model Yapı Analizi	180
5.4.3. Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli ile Analizler.....	184
5.4.3.1. Ç1-1 Nolu Model Yapı Analizi	184
5.4.3.2. Ç1-2 Nolu Model Yapı Analizi	188
5.4.3.3. Ç1-3 Nolu Model Yapı Analizi	192
5.4.3.4. Ç1-4 Nolu Model Yapı Analizi	195
5.4.4. Rayleigh Sönüm Modeli ile Analizler.....	199
5.4.4.1. Ç1-1 Nolu Model Yapı Analizi	199
5.4.4.2. Ç1-2 Nolu Model Yapı Analizi	203
5.4.4.3. Ç1-3 Nolu Model Yapı Analizi	206

5.4.4.4. Ç1-4 Nolu Model Yapı Analizi	210
5.5. Sayısal Çalışma Sonuçları	214
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	217
KAYNAKLAR.....	221
ÖZGEÇMİŞ.....	225

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1. CUSHAKE sarsma tablası fiziksel özellikleri.....	15
Çizelge 3.2. İvme değerleri	26
Çizelge 3.3. Yapıştırıcının mukavemet özelliklerine ait bazı deney sonuçları.....	33
Çizelge 3.4. Alüminyum yapılara ait bilgiler	33
Çizelge 3.5. Çelik yapılara ait bilgiler	35
Çizelge 4.1. 2kg kütle etkisi altındaki yapının Deney1 ve Deney2 sonuçlarına göre doğal titreşim frekansları ve sönüm oranları	45
Çizelge 4.2. 2kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıya ait deney sonuçları	46
Çizelge 4.3. 4kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıya ait deney sonuçları	48
Çizelge 4.4. 6kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıya ait deney sonuçları	51
Çizelge 4.5. Bir (1) nolu yapıya ait deney sonuçları	61
Çizelge 4.6. İki (2) nolu yapıya ait deney sonuçları	62
Çizelge 4.7. Üç (3) nolu yapıya ait deney sonuçları	64
Çizelge 4.8. Alüminyum yapılara ait geometrik özellikler	67
Çizelge 4.9. Çelik yapılara ait geometrik özellikler	67
Çizelge 4.10 A1 yapısı model detayları.....	68
Çizelge 4.11. A1-1 nolu model yapı deney sonuçları	68
Çizelge 4.12. A1-2 nolu model yapı deney sonuçları	70
Çizelge 4.13. A1-3 nolu model yapı deney sonuçları	71
Çizelge 4.14. A1-4 nolu model yapı deney sonuçları	72
Çizelge 4.15. A2 yapısı model detayları	73
Çizelge 4.16. A2-1 nolu model yapı deney sonuçları	74
Çizelge 4.17. A2-2 nolu model yapı deney sonuçları	75
Çizelge 4.18. A2-3 nolu model yapı deney sonuçları	76
Çizelge 4.19. A2-4 nolu model yapı deney sonuçları	77
Çizelge 4.20. A3 yapısı model detayları.....	79
Çizelge 4.21. A3-1 nolu model yapı deney sonuçları.....	79

Çizelge 4.22. A3-2 nolu model yapı deney sonuçları.....	80
Çizelge 4.23. A3-3 nolu model yapı deney sonuçları.....	82
Çizelge 4.24. A3-4 nolu model yapı deney sonuçları.....	83
Çizelge 4.25. A4 yapısı model detayları	84
Çizelge 4.26. A4-1 nolu model yapı deney sonuçları	85
Çizelge 4.27. A4-2 nolu model yapı deney sonuçları	86
Çizelge 4.28. A4-3 nolu model yapı deney sonuçları	87
Çizelge 4.29. A4-4 nolu model yapı deney sonuçları	88
Çizelge 4.30. Ç1 yapısı model detayları	89
Çizelge 4.31. Ç1-1 nolu model yapı deney sonuçları	90
Çizelge 4.32. Ç1-2 nolu model yapı deney sonuçları	91
Çizelge 4.34. Ç1-4 nolu model yapı deney sonuçları	93
Çizelge 4.35. Ç2 yapısı model detayları	94
Çizelge 4.36. Ç2-1 nolu model yapı deney sonuçları	95
Çizelge 4.37. Ç2-2 nolu model yapı deney sonuçları	96
Çizelge 4.38. Ç2-3 nolu model yapı deney sonuçları	97
Çizelge 4.39. Ç2-4 nolu model yapı deney sonuçları	98
Çizelge 4.40. Ç3 yapısı model detayları	99
Çizelge 4.41. Ç3-1 nolu model yapı deney sonuçları.....	100
Çizelge 4.42. Ç3-2 nolu model yapı deney sonuçları.....	101
Çizelge 4.43. Ç3-3 nolu model yapı deney sonuçları.....	102
Çizelge 4.44. Ç3-4 nolu model yapı deney sonuçları.....	103
Çizelge 4.45. Ç4 yapısı model detayları.....	104
Çizelge 4.46. Ç4-1 nolu model yapı deney sonuçları.....	105
Çizelge 4.47. Ç4-2 nolu model yapı deney sonuçları.....	106
Çizelge 4.48. Ç4-3 nolu model yapı deney sonuçları.....	107
Çizelge 4.49. Ç4-4 nolu model yapı deney sonuçları	108
Çizelge 4.50. A1 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış.....	110

Çizelge 4.51. A2 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış.....	111
Çizelge 4.52. A3 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış.....	113
Çizelge 4.53. A4 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış.....	114
Çizelge 4.54. Ç1 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış	115
Çizelge 4.55. Ç2 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış.....	116
Çizelge 4.56. Ç3 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış.....	118
Çizelge 4.57. Ç4 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış	119
Çizelge 4.58. Alüminyum ve Çelik yapılara ait geometrik özellikler	120
Çizelge 4.59. Yapılara ait deney sonuçları.....	120
Çizelge 5.1. Ç1 nolu model yapıya ait hakim titreşim frekansları	126
Çizelge 5.2. Ç1 nolu yapıya ait geometrik özellikler	132
Çizelge 5.3. Ç1 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları.....	133
Çizelge 5.4. El Centro deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-1 nolu yapı analizi	137
Çizelge 5.5. Friuli deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-1 nolu yapı analizi.....	139
Çizelge 5.6. Hollister deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-1 nolu yapı analizi	142
Çizelge 5.7. El Centro deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-2 nolu yapı analizi	145
Çizelge 5.8. Friuli deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-2 nolu yapı analizi	148
Çizelge 5.9. Hollister deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-2 nolu yapı analizi	151

Çizelge 5.10. El Centro deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-3 nolu yapı analizi	154
Çizelge 5.11. Friuli deprem verisi ve sabit sönüm i ile Ç1-3 nolu yapı analizi	157
Çizelge 5.12. Hollister deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-3 nolu yapı analizi	160
Çizelge 5.13. El Centro deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-4 nolu yapı analizi	163
Çizelge 5.14. Friuli deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-4 nolu yapı analizi	165
Çizelge 5.15. Hollister deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-4 nolu yapı analizi	168
Çizelge 5.16. El Centro deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi	169
Çizelge 5.17. Friuli deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi	170
Çizelge 5.18. Hollister deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi	172
Çizelge 5.19. El Centro deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi	173
Çizelge 5.20. Friuli deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi	175
Çizelge 5.21. Hollister deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi	176
Çizelge 5.22. El Centro deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi	177
Çizelge 5.23. Friuli deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi	178
Çizelge 5.24. Hollister deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi	180

Çizelge 5.25. El Centro deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi	181
Çizelge 5.26. Friuli deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi	182
Çizelge 5.27. Hollister deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi	184
Çizelge 5.28. El Centro deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1- 1 nolu yapı analizi	185
Çizelge 5.29. Friuli deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi	186
Çizelge 5.30. Hollister deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi	188
Çizelge 5.31. El Centro deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1- 2 nolu yapı analizi	189
Çizelge 5.32. Friuli deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi	190
Çizelge 5.33. Hollister deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi	191
Çizelge 5.34. El Centro deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1- 3 nolu yapı analizi	193
Çizelge 5.35. Friuli deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi	194
Çizelge 5.36. Hollister deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi	195
Çizelge 5.37. El Centro deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1- 4 nolu yapı analizi	196
Çizelge 5.38. Friuli deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi	197

Çizelge 5.39. Hollister deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi	199
Çizelge 5.40. El Centro deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi	200
Çizelge 5.41. Friuli deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi	201
Çizelge 5.42. Hollister deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi	202
Çizelge 5.43. El Centro deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi	204
Çizelge 5.44. Friuli deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi	205
Çizelge 5.45. Hollister deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi	206
Çizelge 5.46. El Centro deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi	207
Çizelge 5.47. Friuli deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi	208
Çizelge 5.48. Hollister deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi	209
Çizelge 5.49. El Centro deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi	211
Çizelge 5.50. Friuli deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi	212
Çizelge 5.51. Hollister deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi	213
Çizelge 5.52. El Centro deprem verisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları	213
Çizelge 5.53. Friuli deprem verisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları	213
Çizelge 5.54. Hollister deprem verisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları	214

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 3.1.	Sarsma tablası sistemi	14
Şekil 3.2.	CUSHAKE Sarsma tablası	14
Şekil 3.3.	CUSHAKE Sarsma tablası sınırları	16
Şekil 3.4.	CUSHAKE sarsma tablası veri toplama sistemi 1.....	17
Şekil 3.5.	Deplasman Ölçer	17
Şekil 3.6.	İvme ölçerler (a) Üç eksenli (b) Tek eksenli	18
Şekil 3.7.	Schaevitz markalı bir LVDT'nin kesit fotoğrafı	18
Şekil 3.8.	LVDT şematik gösterimi	19
Şekil3.9.	LVDT'nin kalibrasyonu	20
Şekil 3.10.	İvmeölçerin kalibrasyonu	21
Şekil 3.11.	İvme-zaman grafiği (a) Filtrelenmemiş (b) Filtrelenmiş	22
Şekil 3.12.	Fourier dönüşümü kullanılarak yapının doğal titreşim frekansının belirlenmesi	25
Şekil 3.13.	Tek serbestlik dereceli bir sisteme ait ivme-zaman grafiği	26
Şekil 3.14.	2 katlı çelik yapıya ait serbest titreşim deneyi grafiği	28
Şekil 3.15.	Teorik olarak 0.1 sönüm oranına göre hesaplanmış deplasman grafiği	29
Şekil3.16.	Teorik olarak 0.05 sönüm oranına göre hesaplanmış deplasman grafiği	29
Şekil 3.17.	Teorik olarak 0.0595 sönüm oranına göre hesaplanmış deplasman grafiği.....	30
Şekil 3.18.	Deneylerde kullanılan yapılar (a) 1 nolu (b) 2 nolu (c) 3 nolu	31
Şekil 3.19.	Tek serbestlik dereceli yapıların laboratuvar ortamındaki görüntüsü	31
Şekil 3.20.	İki adet kütle yerleştirilmiş deney düzeneği	32
Şekil 3.21.	(A1) yapısı	33
Şekil 3.22.	(A2) yapısı	34

Şekil 3.23. (A3) yapısı	34
Şekil 3.24. (A4) yapısı	35
Şekil 3.25. (Ç1) yapısı	36
Şekil 3.26. (Ç2) yapısı	36
Şekil 3.27. (Ç3) yapısı	37
Şekil 3.28. (Ç4) yapısı	37
Şekil 3.29. Kolon mesnet noktası detayı ve model-tabla bağlantısı	38
Şekil 3.30. Çok serbestlik dereceli modellere yerleştirilen kütleler.....	38
Şekil 3.31. Bir adet kütle yerleştirilmiş yapı modeli.....	39
Şekil 4.1. Sistem bileşenleri ve deney düzeneğinde	42
Şekil 4.2. (a) 1 nolu yapı (b) 2 nolu yapı (c) 3 nolu yapı	43
Şekil 4.3. 2kg kütle etkisi altındaki bir (1) nolu yapıya ait ivme-grafiği örnekleri.....	44
Şekil 4.4. 2kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıya ait ivme-zaman grafiklerinden elde edilmiş fourier dönüşüm grafikleri ve 1. Doğal titreşim frekansının belirlenmesi	45
Şekil 4.5. 2kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıda sönüm oranının maksimum ivme ile değişimi	47
Şekil 4.6. 4kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıda sönüm oranının maksimum ivme ile değişimi	49
Şekil 4.7. 6kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıda sönüm oranının maksimum ivme ile değişimi	52
Şekil 4.8. 2kg kütle etkisi altındaki iki (2) nolu yapıya ait deney sonuçları	54
Şekil 4.9. 4kg kütle etkisi altındaki 2 nolu yapıya ait deney sonuçları	55
Şekil 4.10. 6kg kütle etkisi altındaki 2 nolu yapıya ait deney sonuçları	56
Şekil 4.11. 2kg kütle etkisi altındaki 3 nolu yapıya ait deney sonuçları	57
Şekil 4.12. 4kg kütle etkisi altındaki 3 nolu yapıya ait deney sonuçları	58
Şekil 4.13. 6kg kütle etkisi altındaki 3 nolu yapıya ait deney sonuçları	59
Şekil 4.14. Bir (1) nolu yapıda sönüm oranının yapı kütlesi ile değişimi	61

Şekil 4.15. İki (2) nolu yapıda sönüm oranının yapı kütlesi ile değişimi.....	62
Şekil 4.16. Üç (3) nolu yapıda sönüm oranının yapı kütlesi ile değişimi	63
Şekil 4.17. Rijitlik değişiminin sönüm oranına etkisi	65
Şekil 4.18. Yapı frekansının sönüm oranına etkisi	65
Şekil 4.19. Sistem bileşenleri ve deney düzeneği	66
Şekil 4.20. A1-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi	69
Şekil 4.21. A1-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	70
Şekil 4.22. A1-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	71
Şekil 4.23. A1-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	72
Şekil 4.24. A2-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	74
Şekil 4.25. A2-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	75
Şekil 4.26. A2-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	76
Şekil 4.27. A2-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	78
Şekil 4.28. A3-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi	80
Şekil 4.29. A3-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	81
Şekil 4.30. A3-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	82
Şekil 4.31. A3-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	83

Şekil 4.32. A4-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	85
Şekil 4.33. A4-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	86
Şekil 4.34. A4-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi	87
Şekil 4.35. A4-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	88
Şekil 4.36. Ç1-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	90
Şekil 4.37. Ç1-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	91
Şekil 4.38. Ç1-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi	92
Şekil 4.39. Ç1-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi	93
Şekil 4.40. Ç2-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi	95
Şekil 4.41. Ç2-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi	96
Şekil 4.42. Ç2-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi	97
Şekil 4.43. Ç2-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi	98
Şekil 4.44. Ç3-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	100
Şekil 4.45. Ç3-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	101

Şekil 4.46. Ç3-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	102
Şekil 4.47. Ç3-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	103
Şekil 4.48. Ç4-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	105
Şekil 4.49. Ç4-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	106
Şekil 4.50. Ç4-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi	107
Şekil 4.51. Ç4-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi.....	108
Şekil 4.52. A1 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi.....	110
Şekil 4.53. A2 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi.....	111
Şekil 4.54. A3 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi.....	112
Şekil 4.55. A4 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi	113
Şekil 4.56. Ç1 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi	115
Şekil 4.57. Ç2 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi.....	116
Şekil 4.58. Ç3 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi.....	117
Şekil 4.59. Ç4 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi.....	118
Şekil 4.60. A2 ve Ç2 nolu yapılara ait deney sonuçları	121
Şekil 4.61. A4 ve Ç4 nolu yapılara ait deney sonuçları	121
Şekil 4.62. Alüminyum yapılara ait deney sonuçları	122
Şekil 4.63 Çelik yapılara ait deney sonuçları.....	123
Şekil 5.1. El Centro deprem verisi	127
Şekil 5.2. Friuli deprem verisi.....	127
Şekil 5.3. Hollister deprem verisi.....	127
Şekil 5.4. El Centro depremi kayıtlarının uygulanması sonucu elde edilen ikinci kat ve tabla ivmeleri.....	128

Şekil 5.5.	Friuli depremi kayıtlarının uygulanması sonucu elde edilen ikinci kat ve tabla ivmeleri.....	128
Şekil 5.6.	Hollister depremi kayıtlarının uygulanması sonucu elde edilen ikinci kat ve tabla ivmeleri.....	129
Şekil 5.7.	Ç1 nolu yapıya ait analitik model	132
Şekil 5.8.	Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları.....	134
Şekil 5.9.	Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı	135
Şekil 5.10.	Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri.....	136
Şekil 5.11.	Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları	137
Şekil 5.12.	Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı	138
Şekil 5.13.	Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri.....	139
Şekil 5.14.	Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları.....	140
Şekil 5.15.	Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı	141
Şekil 5.16.	Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri.....	142

Şekil 5.17. Ç1-2 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları.....	143
Şekil 5.18. Ç1-2 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı	144
Şekil 5.19. Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri	145
Şekil 5.20. Ç1-2 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları	146
Şekil 5.21. Ç1-2 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı	147
Şekil 5.22. Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri	148
Şekil 5.23. Ç1-2 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları.....	149
Şekil 5.24. Ç1-2 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı	150
Şekil 5.25. Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri	150
Şekil 5.26. Ç1-3 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları.....	152
Şekil 5.27. Ç1-3 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı	153

Şekil 5.28. Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri	154
Şekil 5.29. Ç1-3 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları	155
Şekil 5.30. Ç1-3 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı	156
Şekil 5.31. Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri	156
Şekil 5.32. Ç1-3 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları	158
Şekil 5.33. Ç1-3 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı	159
Şekil 5.34. Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri	160
Şekil 5.35. Ç1-4 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları	161
Şekil 5.36. Ç1-4 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı	162
Şekil 5.37. Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri	162
Şekil 5.38. Ç1-4 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları	163

Şekil 5.39. Ç1-4 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı	164
Şekil 5.40. Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri	165
Şekil 5.41. Ç1-4 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları	166
Şekil 5.42. Ç1-4 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı	167
Şekil 5.43. Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri	167
Şekil 5.44. Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Kütle Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları	169
Şekil 5.45. Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Kütle Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları	170
Şekil 5.46. Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Kütle Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları	171
Şekil 5.47. Ç1-2 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Kütle Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları	173
Şekil 5.48. Ç1-2 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Kütle Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları	174
Şekil 5.49. Ç1-2 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Kütle Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları	175

Şekil 5.50. Ç1-3 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Kütle Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	177
Şekil 5.51. Ç1-3 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Kütle Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	178
Şekil 5.52. Ç1-3 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Kütle Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	179
Şekil 5.53. Ç1-4 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Kütle Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	181
Şekil 5.54. Ç1-4 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Kütle Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	182
Şekil 5.55. Ç1-4 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Kütle Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	183
Şekil 5.56. Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	185
Şekil 5.57. Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları	186
Şekil 5.58. Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	187
Şekil 5.59. Ç1-2 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	189
Şekil 5.60. Ç1-2 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları	190

Şekil 5.61. Ç1-2 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	191
Şekil 5.62. Ç1-3 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	192
Şekil 5.63. Ç1-3 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları	193
Şekil 5.64. Ç1-3 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	194
Şekil 5.65. Ç1-4 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	196
Şekil 5.66. Ç1-4 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları	197
Şekil 5.67. Ç1-4 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	198
Şekil 5.68. Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	200
Şekil 5.69. Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları	201
Şekil 5.70. Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	202

Şekil 5.71. Ç1-2 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	203
Şekil 5.72. Ç1-2 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları ...	204
Şekil 5.73. Ç1-2 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	205
Şekil 5.74. Ç1-3 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	207
Şekil 5.75. Ç1-3 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları ...	208
Şekil 5.76. Ç1-3 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	209
Şekil 5.77. Ç1-4 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	210
Şekil 5.78. Ç1-4 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları	211
Şekil 5.79. Ç1-4 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh Orantılı Sönüm Modeli) sonuçları.....	212
Şekil 5.80. El Centro deprem verisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları.....	214
Şekil 5.81. Friuli deprem verisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları	215
Şekil 5.82. Hollister deprem verisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları	215

SİMGELER

$F(w)$	: Fourier genliği
a_g	: Yer ivmesi
T_0	: Periyodik zorlanmanın periyodu
Z	: Sönüm oranı
$\ddot{u}_i$	: i. devir ivme değeri
$\ddot{u}_{i+j}$	: i+j. devir ivme değeri
j	: Devir sayısı
M_n	: Kütle matrisi
$\ddot{u}_n$	: İvme vektörü
C_n	: Sönüm matrisi
$\dot{u}_n$	: Hız vektörü
K_n	: Rijitlik matrisi
u_n	: Deplasman vektörü
f_n	: n. mod şekil vektörü
w	: Yük frekansı
w_n	: n. mod doğal frekans
$u_n(t)$	: Zamana bağlı yer değişimi
$u_n(0)$	: Başlangıçtaki yer değişimi
$\dot{u}_n(0)$	: Başlangıçtaki hız
w_D	: Sönümlü doğal frekans
Z_n	: n. mod sönüm oranı

f	: frekans
k	: rijitlik
m	: kütle
a_0	: Kütle orantılı sönüm katsayısı
a_1	: Rijitlik orantılı sönüm katsayısı
w_i	: i. mod doğal frekansı
w_j	: j. mod doğal frekansı

1.GİRİŞ

Türkiye, dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte birçok yıkıcı deprem ülkemizde çok sayıda can ve mal kaybına neden olduğu gibi, gelecekte meydana gelebilecek depremlerde de benzeri durumun yaşanması söz konusu olabilir. Bu nedenle can ve mal kayıplarını en aza indirmek için yapıların dinamik parametreleri dikkate alınarak depreme dayanıklı bir şekilde tasarlanması gerekmektedir.

Depreme dayanıklı yapı ilkeleri yönetmeliklerde belirtilmekte olup, teorik ve deneysel olarak yürütülen araştırmalarla bu yönetmelikler devamlı güncellenmektedir. Literatürde yapıların dinamik davranışlarını belirlemesi ve dinamik karakteristiklerinin elde edilmesine yönelik birçok yöntem bulunmaktadır. Ancak sınır şartlarının belirsizliği, malzeme davranışlarının tam olarak modellenememesi ve zamana bağlı hareketin karmaşıklığı gibi etkenler nedeniyle diğer birçok disiplinde olduğu gibi yapı dinamiğinde de deneysel çalışma bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır (Baran, 2008).

Yapıların dinamik karakteristiklerinin belirlenmesi, yapının deprem etkisindeki davranışını anlamak açısından oldukça önemlidir. Yapıların dinamik davranışına malzeme, kesit ve sistem özelliklerine bağlı olarak birçok parametre etki etmektedir. Dolayısıyla yapıların dinamik karakteristikleri bu parametreler ile doğrudan ilişkilidir. Yapılar üç farklı dinamik karakteristiğe sahiptir. Literatürde bu karakteristikler;

- ▼ Doğal titreşim frekansı,
- ▼ Mod şekli,
- ▼ Sönüm oranı,

şeklinde sıralanmaktadır.

Doğal titreşim frekansı ve buna bağlı doğal titreşim periyodu yapı sistemlerinin tasarımında kullanılan önemli bir parametredir. Günümüzde yapısal tasarımda kullanılan eş değer deprem yükü yönteminde, bu karakteristikler deprem etkisinde yapıda meydana gelen taban kesme kuvvetinin hesaplanması için gereklidir. Yapının mod şekilleri ise dinamik çözümlemelerdeki gereksiniminin yanında tasarımcıya yapının deprem etkisindeki davranışı hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Sönüm oranı ise yapılar için tanımlanması oldukça karmaşık olmasına rağmen, yapının doğrusal olmayan davranışının gerçekçi bir şekilde belirlenmesi açısından önemlidir. Ayrıca bu parametrelerin deprem esnasında yapı sisteminde meydana gelen hasara bağlı değişimi, yapının rijitlik ve dayanımı hakkında önemli bilgiler sunmaktadır (Birdal, 2015).

Sönümsüz modeller üzerinde yapılan hesaplar her ne kadar yapıların titreşimi hakkında önemli niteliksel bilgiler verse de bulunan sayısal büyüklüklerde genellikle önemli hatalar içerir. Bu nedenle sayısal sonuçları gerçeğe biraz daha yaklaştırmak için modele bir sönüm mekanizması eklemek gerekir. Gözlemler, serbestçe titreşen yapılardaki hareketlerin kısa süre içinde sönümlenerek durma noktasına geldiğini göstermektedir. Ancak sönüm mekanizmasını gerçekçi ve güvenilir bir biçimde modelleyebilmek oldukça zordur. Yapılarda sönümü oluşturan çatlama, kırılma, doğrusal olmayan malzeme davranışı ve sürtünme gibi enerji yutan mekanizmalar ve bunların titreşim moduna etkileri gibi olaylarda büyük belirsizlikler vardır (Celep, 2011).

Bu konuda başvurulması gereken birçok sönüm mekanizması bulunmaktadır. Literatürde yapısal olarak,

- Ø Viskoz Sönüm
- Ø Rijitlikle Orantılı Viskoz Sönüm
- Ø Kütleyle Orantılı Viskoz Sönüm
- Ø Kütle ve Rijitlikle Orantılı (Rayleigh) Viskoz Sönüm
- Ø Coulomb Sönümü

- Ø Çevrimsel Sönüm
- Ø Enerji Yayılma Sönümü

tanımlanmaktadır.

Bu sönüm türlerinden viskoz sönüm dış ve iç sönüm olarak ikiye ayrılmaktadır. Dış viskoz sönüm yapının içinde bulunduğu ortamdan dolayı oluşan ve ihmal edilebilen sönümdür. İç viskoz sönüm ise yapı malzemesinin sönümüdür. Bu sönüm doğrusal davranış sınırları içerisinde küçük kalırken, doğrusal olmayan sınırdaki büyüme trendi Coulomb sönümü taşıyıcı sistemin mesnet ve birleşim bölgelerinde meydana gelir. Deprem esnasında dolgu duvarlardan dolayı meydana gelen enerji kaybı bu sönüme örnek olarak verilmiştir. Çevrimsel sönüm ise yapı malzemesinin doğrusal ötesi davranışından ve etki eden yükün yönü değiştirmesinden dolayı oluşmaktadır. Enerji yayılma sönümünde ise zeminden gelen deprem etkisinden oluşan enerjinin yapı içerisinde yayılarak kaybolması ile oluşur (Celep, 2004).

Bu çalışmada yapıların sönüm oranlarını belirlemek için laboratuvar ortamında oluşturulan farklı malzeme ve geometrik özelliklere sahip modeller üzerinde dinamik deneyler yapılmıştır. Model deneyler, Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarı'nda mevcut olan tek eksenli sarsma tablası üzerinde gerçekleştirilmiş ve deneyler esnasında yapıdan ivme ve deplasman ölçümleri alınmıştır. Veriler Yapı Laboratuvarı'nda bulunan veri kayıt etme cihazı (data logger) yardımıyla toplanmıştır. Daha sonra yapı analizi programları yardımı ile deneylerde kullanılan yapı modellerin sayısal modelleri oluşturulmuş ve bu modellere deneylerde elde edilen sönüm oranları ilave edilerek farklı sönüm modelleri ile analizleri yapılmıştır. Yapıların deneysel sonuçları ile yapı analiz programları kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak sayısal modellerde kullanılması gereken sönüm oranı hakkında öneriler sunulmuştur. Çalışmanın sunuluş düzeni şu şekildedir.

Önceki Çalışmalar bölümünde, yapıların sismik davranışını etkileyen parametreler ve bu parametrelerin hesaplanması ile ilgili bilgiler sunulmuştur. Ayrıca konu ile ilgili literatür çalışması yapılarak, teorik ve deneysel çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Materyal ve Metot bölümünde, tez kapsamında kullanılan CUSHAKE sarsma tablası ve ölçüm sistemi tanıtılmıştır. Deney numunelerinin dinamik karakteristiklerinin nasıl belirleneceğine dair bilgiler verilmiştir. Deneylerde kullanılacak numunelerin yapısal özelliklerinden bahsedilmiştir.

Deneysel Çalışmalar bölümünde, ilk olarak tez kapsamında gerçekleştirilen tek serbestlik dereceli yapıların serbest titreşim deneyi detayları anlatılmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler incelenerek, deney numunelerinin dinamik karakteristikleri belirlenmiş ve deneysel sonuçların karşılaştırması yapılmıştır. İkinci olarak, çok serbestlik dereceli yapıların serbest titreşim deneyleri anlatılmıştır. Tek serbestlik dereceli yapılarda olduğu gibi deney sonucunda elde edilen veriler incelenerek, deney numunelerinin dinamik karakteristikleri belirlenmiş ve deneysel sonuçların karşılaştırması yapılmıştır.

Sayısal Çalışmalar bölümünde, sonlu elemanlar yöntemine değinilerek, zaman tanım alanında sayısal çözümleme ve modelleme detaylarına bağlı olarak modeller teorik olarak incelenmiştir. Teorik sonuçlar ile deneysel sonuçların karşılaştırması yapılmıştır.

Sonuç ve Öneriler bölümünde ise, tez kapsamında gerçekleştirilen analitik ve deneysel çalışmalara bağlı olarak tezin amacı doğrultusunda analitik ve deneysel bulguların değerlendirilmesi yapılmıştır.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Titreşim deneyleri ilk olarak 1967 yılında California'nın Santa Clara şehrindeki California Üniversitesi Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi (Earthquake Engineering Research Center) tarafından yapılmıştır. Araştırmacıların bu deneyde seçtikleri yapı, genelinde ahşaptan inşa edilse de birleşimlerinde çeliğin kullanılmış olduğu bir yapıdır. Yapının California'daki tipik tek katlı okul binalarına örnek olabilecek bir özelliği vardır. Titreşim üretici ile yapılan deneyden sonra yapının üç modu hesaplanmış, enine ve boyuna olmak üzere iki yönde yapılan deneylerde frekanslar sırasıyla 7Hz ve 10Hz, ortak sönüm oranı %3-%4 arasında hesaplanmıştır. Çatı diyaframının burulma frekansı sırasıyla enine doğrultuda 6Hz, boyuna doğrultuda 10Hz olarak hesaplanmış, ortak sönüm oranı %1-%3 arasında bulunmuştur. Daha sonra deney sonuçları ile teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda, deneysel ve teorik olarak elde edilen frekans ve mod şekillerinin oldukça uyumlu olduğu belirtilmiştir (Clough ve ark, 1968).

Titreşim üretici cihazlar kullanılarak yüksek binaların test edilmesiyle ilgili yapılan çalışmalara bir diğer örnek ise California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory and University of California at Los Angeles Earthquake Engineering and Structures Laboratory (EERL) tarafından yapılan 22 katlı San Diego Gas and Electric Company binasının test edilmesidir. Yapının ilk 18 mod için K-G ve D-B doğrultularında frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları bulunmuş ve ayrıca burulmalar da hesaplanmıştır (Jennings ve ark, 1971).

1972 yılında EERC bu titreşim testini Transameric binalar üzerinde denemiştir. Bu yapı San Francisco, California da inşa edilmiş 60 kattan oluşan, piramit şeklinde çelik bir yapıdır. Bu yapının toplam yüksekliği 260m ve kare şeklinde 53m-53m plan ölçülerine sahiptir. Yapının üçüncü mod hariç Kuzey-Güney ve Doğu-Batı olmak üzere iki doğrultuda da ilk altı mod ile birlikte iki

burulma modunda sallanmıştır. Yapının doğal titreşim periyodu 2.9sn olarak hesaplanmış ve ortak sönüm %1 olarak belirlenmiştir. Bu deneysel sonuçlar analitik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Analiz için yapının dörtte biri modellenmiş, ilk iki mod için elde edilen deneysel ve teorik sonuçlar ile mod şekillerinin oldukça yakın olduğu görülmüştür (Stephen ve ark, 1973).

EERC araştırmacıları 1977'nin Nisan ve Mayıs aylarında Seattle Washington'daki Rainer Tower binasında titreşim testi uygulanmıştır. Temel titreşim periyodu 4.44sn olarak belirlenmiş. K-G doğrultusunda birinci mod hariç sönüm kapasitesi %1-%3 arasında bulunmuştur. Analiz için, yapının dörtte biri modeli kullanılmış, analiz sonuçları ile deney sonuçlarının birebir uyumlu olduğu görülmüştür (Stephen ve ark, 1978).

Adhıkarı ve Woodhouse (2000), çalışmalarında titreşen bir yapıda oluşan ve farklı etmenlerden kaynaklanan gerçek sönüm modelini viskoz sönüm olarak tanımlamayı hedef almaktadır. Çalışmada sunulan bir metot sayesinde karmaşık modlar ve karmaşık doğal frekanslardan oluşturulan viskoz sönüm matrisi elde edilebilmektedir. Önerilen metot kabul görmüş yöntemlere dayanan sayısal örnekler kullanılarak incelenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, önerilen metodun son derece doğru bir sönüm mekanizması verdiği ifade edilmiştir.

Chang ve ark (2000), zamana bağlı sönüm modelinin gelişiminde kullanılan yöntemler hakkındaki bir çalışmada, zamana bağlı viskoz sönüm modelini oluşturmak için, ilk olarak belirli titreşim etkisindeki yapının frekansa bağlı sönüm oranları hesaplanmaktadır. Problemin doğası gereği bu oranlar teorik yöntemleri ve deneysel gözlemlerden faydalanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan sönüm spektrumu ile zamana bağlı sönüm katsayıları Fourier transform tekniği ile elde edilebilmektedir. Bu yöntemde ise sönüm, değişen yükler ile integrasyon yapılarak mantıklı bir şekilde modellenmektedir. Sonuç olarak, çalışmada sunulan örnekler yöntemin oldukça kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Filiatrault ve ark (2003), ahşap binalar için kullanılabilecek bir sönüm modeli geliştirdikleri çalışmada, sayısal sonuçları sarsma tablası testlerinin sonuçları ile doğrulamışlardır.

Denizlioğlu ve Bayülke (2004), yapıların dinamik özellikleri ve 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi artçı sarsıntılarının Bingöl Bayındırlık İl Müdürlüğü binasındaki etkileri adlı bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, 1 Mayıs 2003 Bingöl depreminden sonra Bingöl Bayındırlık İl Müdürlüğü binasında alınan artçı deprem ivme kayıtlarından hesaplanan yapı periyodu ve sönüm oranları, yapıların bu iki dinamik özelliğinin çok düşük deprem ivme düzeylerinde de ne kadar değişken olabileceğini göstermişlerdir. Sönüm ve periyodun deprem ivmesine bağlı değişkenliği yapılara etkileyen deprem yüklerinin de çok değişken olabileceğini gösterirken, yapının deprem davranışı üzerinde de etkili olacaktır. Periyot uzaması ve sönüm artışı, yapıların deprem yüklerini azaltmakta buna karşılık daha esnekleşen yapıların yatay ötelenmelerini artırmaktadır.

Carneiro ve ark (2005), mekanik titreşim etkisindeki güçlendirilmiş beton bir kirişin sönüm özelliklerinin deneysel olarak belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Deprem mühendisliğinde çok önemli bir konu olan sönüm, güçlü ve zayıf yer hareketi etkisindeki bir yapıda oluşan enerjinin azalmasını sağlamaktadır. Kiriş elemanın dinamik davranışını analiz etmek için (PsD) pseudo-dinamik yöntem deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Bu yöntemde dinamik problemi çözmek için sayısal algoritma ve deneysel bulgular bir arada kullanılmaktadır. Bu yöntemin avantajı pahalı olmaması ve deney boyunca gerçek dinamik davranış bulgularını korumasıdır.

Türker (2005), çelik çerçeve sistemlerinin dinamik karakteristiklerinin deneysel modal analiz (modal testing) yöntemiyle belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Deneysel modal analiz yönteminde yapıya uygulanan etki ve yapının bu etkiye göstermiş olduğu tepki ölçülerek, etki ve tepki fonksiyonları arasında frekans davranış fonksiyonu olarak adlandırılan bir transfer fonksiyonu tanımlanmış ve bu transfer fonksiyonu kullanılarak yapıya ait dinamik karakteristikler belirlenmiştir.

Sonuçta oluşturulan modeller üzerinde deneysel modal analiz yöntemiyle gerçekleştirilen ölçümlerden ve aynı modellerin teorik modal analizlerinden, yapılara ait dinamik karakteristiklerin birbirine oldukça yakın olarak elde edildiğini göstermiştir.

Huang ve ark (2006), çalışmalarında bir yapının serbest titreşim davranışından elde edilen modal sönüm oranlarının belirlenmesi için yeni bir yaklaşım sunmuştur. Önerilen yöntem geleneksel logaritmik azalım yöntemi ile karşılaştırıldığında, bu yöntem daha yüksek tahmin, daha iyi tutarlılık ve uygunluk gibi birçok avantaja sahiptir. Çok serbestlikli bir sistemde sönüm oranının belirlenmesi oldukça zahmetliken, bu çalışmada sunulan yöntemin daha etkili ve pratik olduğu saha deneylerinden elde edilen sonuçlar ile gösterilmiştir.

Rodriguez ve ark (2006), küçük bir yapı modeli oluşturarak, yapıların doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik davranışını belirlemek amacıyla bir analitik yöntem geliştirmişlerdir. Analitik yöntemi doğrulamak ve kalibre etmek amacıyla yapı modelinin sarsma tablası deney sonuçlarını kullanmışlardır. Çalışmada, kirişlerin sismik davranışı gibi konulara değinmişler ve sönümün dinamik hareket süresince sabit kalmayıp değiştiğini belirlemişlerdir. Analitik modelde, modlar için sarsma tablası deneylerinden elde ettikleri viskoz sönüm oranlarını kullanmışlardır.

Baran (2008), çalışmasında yapıların dinamik davranışlarının deneysel olarak incelemesi için bir sarsma tablası veri toplama sistemiyle birlikte kurulmuş ve kurulan tablanın performans testleri gerçekleştirmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, yapı analiz programları kullanılarak elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve tablanın istenen yer hareketlerini iyi bir hassasiyetle uyguladığı görülmüştür. Çalışma kapsamında model yapı üretim teknikleri incelenerek, bu tekniklere ve benzerlik/ölçekleme yasaları olarak bilinen yasalara uygun bir yapı modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yapı tabla üzerinde test edilmiş, elde edilen deneysel sonuçlarla, aynı yapının sayısal çözümleme sonuçları karşılaştırılarak dinamik davranışı etkileyen unsurlar araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre

yapısal analiz programlarında, sınır şartlarının doğru modellenmesinin ve sönüm modellerinin önem kazandığı gösterilmiştir.

Karakan (2008), modal analiz üzerine bir çalışma yapmıştır. Bir grup yapısal basit sistem kullanarak deneysel ve analitik parametrelerin Frekans Yanıt Fonksiyonu (FYF) üzerine etkisini incelemiştir. Çalışmasında basit kiriş, kare plaka, H-çerçeve ve 2 boyutlu çerçeve elemanları ile deneysel modal analiz testleri yapılmış ve her bir sistemin dinamik özellikleri olan frekanslar, sönüm oranları ve modal şekilleri bulunmuştur. Yapısal sistemlerin dinamik parametreleri sonlu elemanlar modelleri ile karşılaştırılmıştır ve oldukça uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Ataç (2009) çalışmasında, Antakya bölgesinde seçilen üç yapıda zorlanmış titreşim testi uygulamıştır. Binalar Antakya bölgesindeki genel betonarme yapı stokunu temsil edecek şekilde seçilmiştir. Deney sırasında titreşimler bir titreşim üretici cihaz ile sağlanmış ve bu titreşim üreticiler yapının planına göre ağırlık merkezine yakın bir yere yerleştirilmiştir. Bu titreşim testleri ile harmonik yük etkisi altında mevcut binaların dinamik karakteristik yapısı incelenmiştir. Titreşim üreticinin frekansı yapının doğal frekansını içeren bir aralıkta taranarak yapının kararlı durum tepkileri kaydedilmiştir. Alınan veriler paket programlar yardımıyla analiz edilmiş ve frekans-tepki eğrileri elde edilmiştir. Test edilen binaların birinci doğal frekansları ve mod şekilleri elde edilmiş, elde edilen bu deneysel değerler ETABS ve SAP2000 paket programları ile hazırlanan modellerin analizi sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca, analiz sonuçlarından elde edilemeyen sönüm oranları da bulunmuştur. Sonuçlarda, yapıların deneysel ve analitik sonuçlarından elde edilen periyodları arasında %25 ile %2 arasında farklılıklar elde edilmiştir. Bu farklılıkların kaynağı olarak, binaların yapım sürecinde meydana gelen işçilik ve malzeme hatalarından kaynaklanabileceği vurgulanmıştır.

Gülenç (2010), yapıların dinamik davranışını doğrudan etkileyen kütle, sönüm ve deprem yüklemesi parametrelerinin alternatif modellerini kapsayan bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma kapsamında, dinamik parametrelerin temsilleri için

farklı yaklaşımlar kullanılmış ve yapıların sismik tepkisine olan etkileri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Rayleigh sönüm modelinin, pratik kullanımda çok verimli bir yöntem olduğu ve ilişkili frekanslar doğru seçildiğinde güvenilir sonuçlar verdiğini vurgulamıştır.

Gözütok (2011) yaptığı çalışmada, betonarme çekirdek ve çerçeve taşıyıcı sisteme sahip 65 katlı yüksek bir yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümleme yöntemi kullanılarak deprem performansının belirlenmesi ve performans değerlendirmesi gerçekleştirmiştir. Gerçekleştirilen çalışmada yapısal taşıyıcı sistem PERFORM-3D ortamında malzeme ve geometri özellikleri bakımından doğrusal olmayan davranış göz önünde bulundurularak modellenmiş, sayısal çözümleme İYBDY–2008-D2 seviyesi senaryo deprem spektrumu temelinde ölçeklendirilen deprem kayıtları eşliğinde zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemi ve farklı sönüm modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda farklı sönüm aralıklarının,

- ▼ farklı taban kesme kuvvetlerine,
- ▼ farklı tepe noktası yer değiştirme miktarlarına,
- ▼ farklı kat ötelenmesi oranlarına,
- ▼ farklı plastik şekil değiştirme enerjisinin tüketilmesine,
- ▼ farklı viskoz sönüm enerjisinin tüketilmesine,
- ▼ farklı perde dönmesi etki/kapasite oranlarına
- ▼ farklı donatı şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarına
- ▼ farklı beton basınç şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarına
- ▼ farklı kayma şekil değiştirmesi etki/kapasite oranlarına

yol açtığı belirlenmiştir.

Gündoğan (2012) yüksek lisans tez çalışmasında, çelik model bir köprünün yapı sağlığının gözlenmesi süreci içerisinde yer alan sistem tanımlama ve köprünün şu anki davranışını tespit etme işlemi yapmıştır. Bu çalışma sonucunda, modal

parametreler (doğal frekanslar, mod şekilleri, sönüm oranı) elde edilmiş ve SAP2000 programı kullanılarak köprünün sayısal bir modeli oluşturulmuştur. Daha sonra modal analizi yapılan çelik köprünün, modal parametreleri bulunmuştur. NExT-ERA ve ERA analizinden elde edilen deney sonuçlarından çıkan mod şekilleri ve SAP2000 programından elde edilen mod şekilleri arasındaki karşılaştırma, modal güvenlik kriteri (MAC) kullanılarak hesaplanmış ve sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu gösterilmiştir. Bir diğer modal parametre olan sönüm oranı ise, NExT-ERA, ERA, yarım güç bant kalınlığı yöntemi ve logaritmik azalma yöntemi ile hesaplanmış fakat sönüm oranı sonuçlarının çeşitli etkenler sebebiyle birbirinden farklılık gösterdiği görülmüştür.

Ortiz ve ark (2013) çalışmalarında, düşük titreşim ve farklı tip sarsma etkisindeki köprülerin sönümünün belirlenmesi için hassas bir analiz sunmuştur. Farklı kaynaklardan toplanan veriler kullanılarak incelemeler gerçekleştirmişlerdir. Farklı frekans ve zaman-tanım metodu kullanarak sönüm tahmini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda sarsma şiddeti arttıkça sönüm oranının arttığını gözlemlemişlerdir.

Aktaş ve ark (2014), çelik köprülerin sönüm oranının belirlenmesi üzerine yaptıkları deneysel bir çalışmada, çelikten bir yaya köprüsünün sönüm oranını yapıya farklı ön deplasmanlar vererek gerçekleştirdikleri serbest titreşim deneyleri ile belirlemişlerdir. Sönüm oranının belirlenmesinde yapıdan alınan deplasman ve ivme kayıtlarından faydalanarak, Logaritmik Dekreman yöntemiyle hesaplamışlardır. Çalışmada 2mm ile 12mm ön deplasman koşulları altında gerçekleştirilen serbest titreşim deneylerinde, sönüm oranının %1 ile %7 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Li ve ark (2016) yaptıkları çalışmada, farklı özelliklere sahip 3 adet köprünün sönüm oranlarını araştırmıştır. Köprülerin sönüm oranlarını, köprü tipi, hesaplama yöntemi ve sarsma şiddeti gibi parametreler etkisinde incelemişlerdir. Araştırmaları sonucunda sarsma şiddeti arttıkça köprülerin sönüm oranının ciddi şekilde arttığını gözlemlemişlerdir.

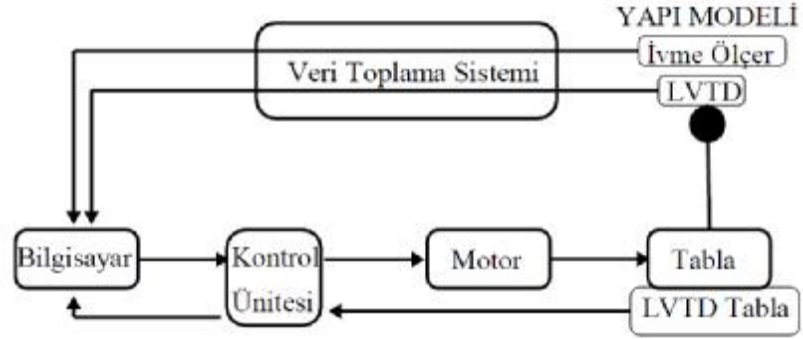
3.MATERYAL VE METOT**3.1. Deney Düzeneği****3.1.1. CUSHAKE Sarsma Tablası**

Sarsma tablası deneyleri deprem hareketinin gerçekçi bir şekilde benzeştirildiği ve depremin yapıda oluşturduğu etkinin araştırılabildiği sismik bir deney yöntemidir. Sarsma tablası, elektrik veya hidrolik bir motora bağlı rijit bir plaka ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Genel olarak bir sarsma tablasını oluşturan bölümler;

- ▼ Rijit tabla,
- ▼ Pistonlu hidrolik silindir,
- ▼ Reaksiyon kütlesi (mesnet),
- ▼ Kontrol ünitesi

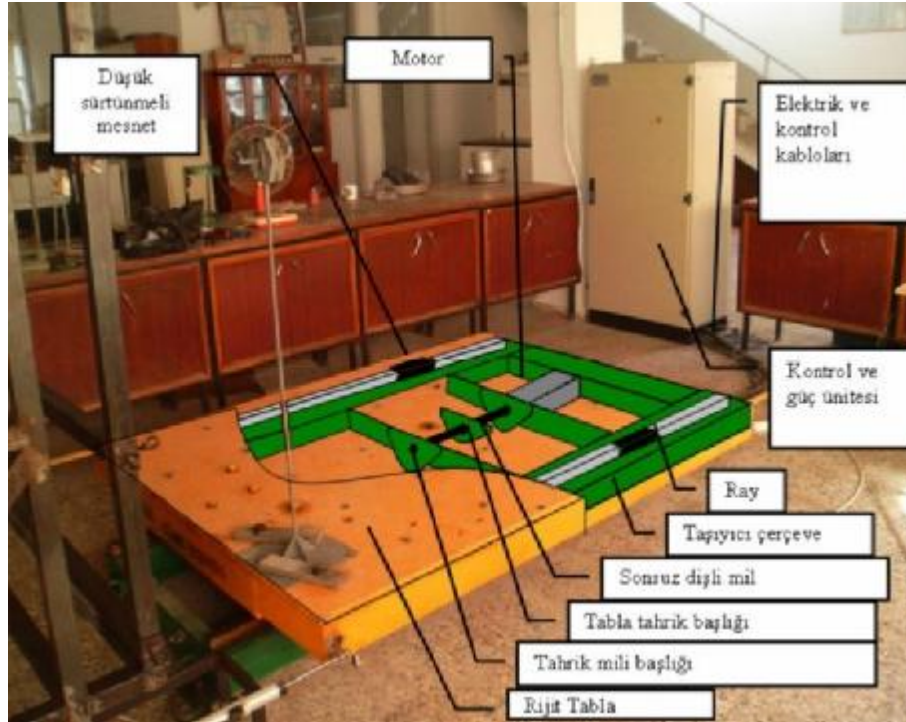
olarak sıralanabilmektedir (Sollogoub, 2006).

Sarsma tablaları genellikle reaksiyon kütlesi olarak adlandırılan sağlam bir kütleye sabitlenmektedir. Bu kütle genellikle beton malzemesinden oluşmaktadır. Bununla birlikte sistemdeki hareketi kontrol edebilmek için kontrol ünitesi kullanılmaktadır. Kontrol üniteleri genel olarak sistem hareketini kontrol eden servo sürücü, bilgisayar ile sistem arasında veri akışını sağlayan özel kartlar ve bilgisayar yazılımından oluşmaktadır. Sarsma tablasının bu bileşenlerinin yanında model yapıdan ölçülen verilerin anlamlı değerlere dönüştürüldüğü veri toplama sistemleri ve bu sistemlere bağlı deplasman ölçerler (LVDT) ve ivmeölçerler (Accelerometer) de genel sistemin bir bileşeni olarak değerlendirilebilmektedir. Şekil 3.1’de genel olarak sarsma tablası deney sistemini oluşturan bileşenler görülmektedir (Walter,2006).



Şekil 3.1. Sarsma tablası sistemi (Sollogoub,2006)

Deneyisel çalışmalar; Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Laboratuvarı'nda, Şekil 3.2'de gösterilen CUSHAKE isimli sarsma tablasında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. CUSHAKE Sarsma tablası (Baran, 2008)

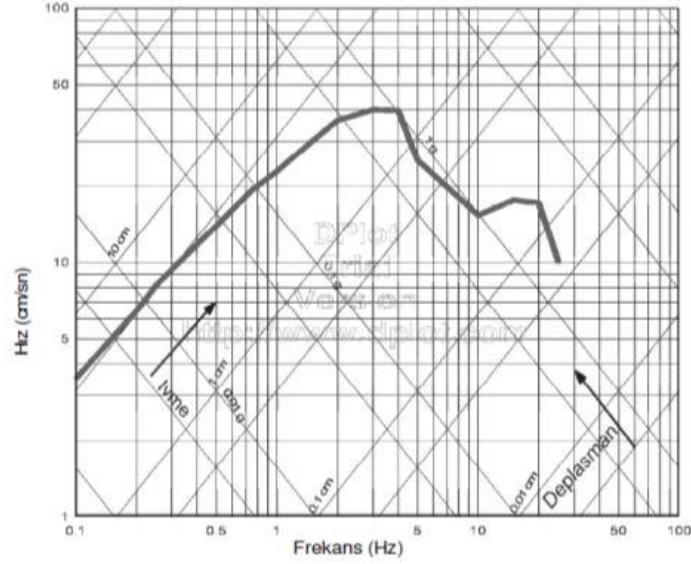
CUSHAKE sarsma tablası tek eksenle istenilen ivme kaydını uygulayabilmektedir. Tabla taşıyıcı bir sistem üzerinde, çelik malzemesinden rijit bir plakadan ve bu plakaya tek eksenli hareket veren bir elektrik motorundan oluşmaktadır. Tablanın taşıyıcı sistemi laboratuvar zeminine ankre edilmiştir. Elektrik motoruna hareket bir servo sürücü ile verilmektedir. Bilgisayara bağlı kontrol ünitesinden 5 veya 10milisaniye aralıklı kayıtlar sisteme girilebilmektedir (Baran, 2008).

Sarsma tablası DEPSİM adı verilen bir yazılım ile kontrol edilmektedir. Bu program ile ivme verisi öncelikle nümerik integrasyon ile hız verisine dönüştürülerek kontrol kartına aktarılmaktadır. Kartta depolanan veri açısal hız şeklinde servo sürücüye yüklenerek motora hareket verilmektedir. CUSHAKE sarsma tablası Çizelge 3.1’de verilen fiziksel özelliklere sahiptir.

Çizelge 3.1. CUSHAKE sarsma tablası fiziksel özellikleri (Baran, 2008)

Fiziksel Özellik	Değer
Tabla Boyutu	150x200 cm
Deplasman Sınırları	± 5 cm
Hız Sınırları	± 40 cm/sn
Maksimum İvme	1 g (9.81 m/sn ²)
Çalışma Frekans Aralığı	0-25 Hz
Maksimum Motor Kuvveti	50 kN
Motor Gücü	45 kW
Tabla Kütlesi	15000 N
Faydalı Sarsma Kapasitesi	35000 N

Çizelge 3.1’de verilen özelliklerinin yanında CUSHAKE sarsma tablası sisteme uygulanan deprem verisi içerisindeki hız, deplasman ve frekans parametrelerine bağlı olarak da Şekil 3.3’de gösterildiği üzere sınırlandırılmaktadır.



Şekil 3.3. CUSHAKE Sarsma tablası sınırları (Baran, 2008)

3.1.2. Veri Ölçüm Sistemi

Sarsma tablası deneylerinde tablanın özellikleri kadar kullanılan ölçüm sistemi de önemli bir etkindir. Böylece kullanılacak ölçüm sistemi yeterli hassasiyet ve kapasiteye sahip olmalıdır. Çünkü dinamik deneylerde çok kısa zaman aralığında ve yüksek kalitede veri elde edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda sarsma tablası deneylerinde dinamik deneylere uygun olarak tasarlanmış ve çok küçük zaman adımlarında verileri kaydedebilen veri toplama (data logger) sistemleri ve sensörler (transducer) bulunmaktadır. Veri toplama sistemleri içerisinde deplasman, ivme ve gerilme ölçümleri için tasarlanmış çok kanallı elektronik kartlar mevcuttur. Dolayısıyla bu kartlar ile istenilen zaman adımında sensörlerin uçlarında oluşan elektriksel büyüklükler kaydedilerek fiziksel büyüklüğe çevrilmektedir. Bu anlamda CUSHAKE sarsma tablasında veri toplama sistemi Şekil 3.4'te gösterilen bir kutu içerisinde bulunan 4 kanallı ve kanal başına saniyede 100000 veri alabilen National Instrument 9215A ve 32 kanallı 250000

veri alabilen National Instrument 9205, 8 kanallı NI 9235 strain gauge modülünden oluşmaktadır (Birdal, 2015).



Şekil 3.4. CUSHAKE sarsma tablası veri toplama sistemi

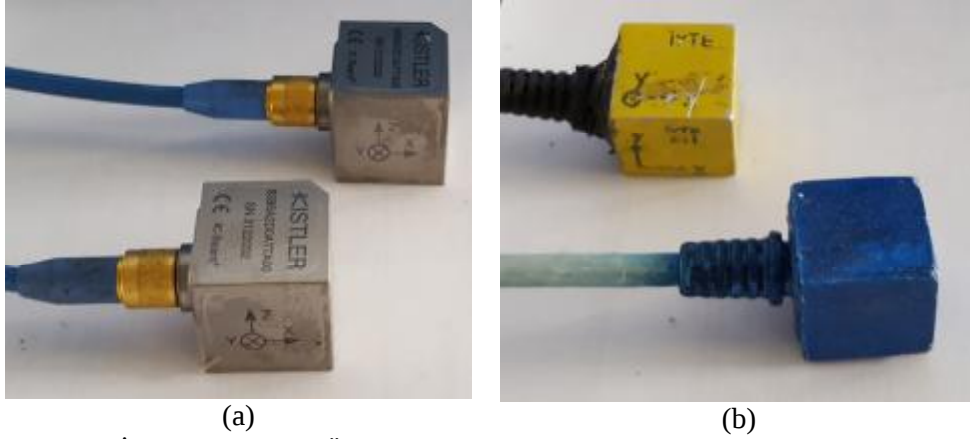
Laboratuvarda sarsma tablası deneylerinde kullanılmak üzere 3 adet deplasman ölçer (LVDT), 2 adet üç eksenli ivmeölçer, 2 adet tek eksenli ivmeölçer bulunmaktadır. Deney düzeneğinde kullanılan deplasman ölçerler Şekil 3.5'te gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Deplasman Ölçer

Deney sistemi içerisinde kullanılan ivmeölçerler Şekil 3.6'da gösterilmektedir. Şekil 3.6(a)'da gösterilen ivmeölçer $\pm 2g$ kapasitesinde üç

eksende, Şekil 3.6(b)'de gösterilen ivmeölçer ise $\pm 5g$ kapasitesinde tek eksenli ölçüm yapabilme özelliğine sahiptir.

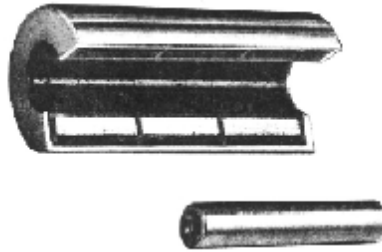


Şekil 3.6. İvme ölçerler (a) Üç eksenli (b) Tek eksenli

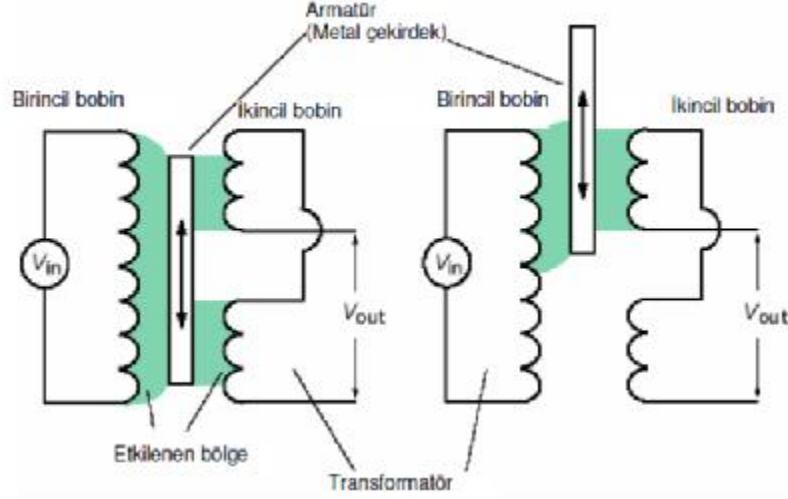
3.1.3. Ölçüm Sisteminin Kalibrasyonu

3.1.3.1. LVDT'lerin Kalibrasyonu

Oldukça hassas olan bu cihazlar Şekil 3.7'de gösterildiği üzere iki ana bölümden oluşmaktadır. Dış bölümü olan transformatör içinde bobinler mevcut olup hareket etmemektedir, içerde ise hareket edebilen bir çekirdek bulunmaktadır. Şekil 3.8'de gösterilen ve yapının deplasmanı ile hareket eden çekirdek, bobinin uçları arasında elektriksel bir potansiyel farkı oluşturmaktadır. Böylelikle deplasman değişimi modelden okunmakta ve kayıt yapılmaktadır (Baran, 2008).



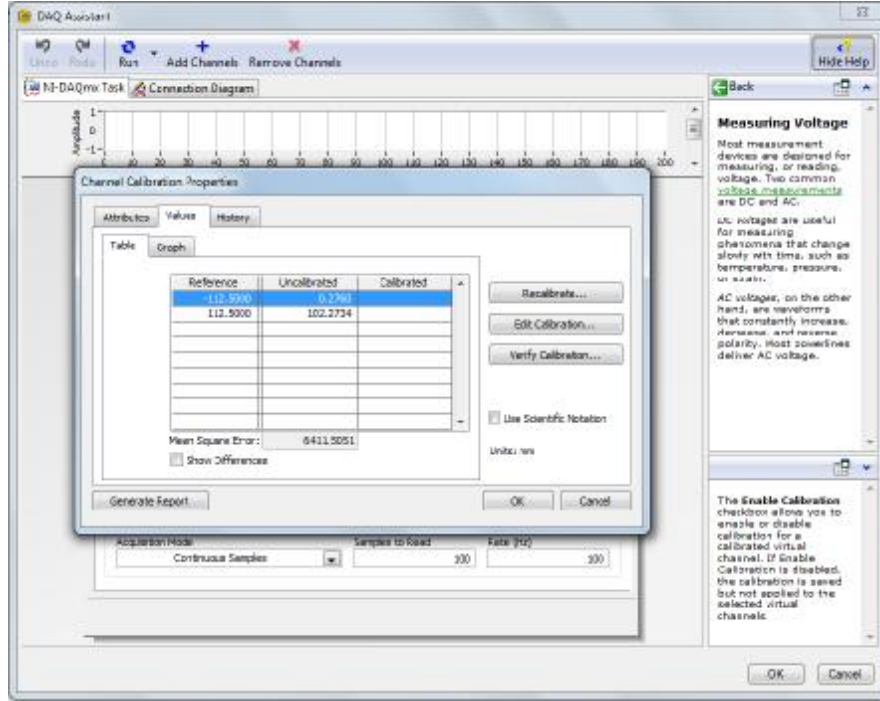
Şekil 3.7. Schaevitz markalı bir LVDT'nin kesit fotoğrafı (Harris ve Sabnis, 1999)



Şekil 3.8. LVDT şematik gösterimi (www.efunda.com)

Deneyisel çalışmada kullanılan LVDT'ler 22.5 cm strokludur. Elektriksel olarak topladığı verileri bilgisayara aktarma işlemini National Instruments 9215 A tipi bir veri kaydedici yapmaktadır. LVDT'nin çalışma voltaj aralığı 0~6 Volt'tur. Veri kayıt cihazına ait yazılım kendi içinde kalibrasyon verilerini işleyerek, kullanıcıya direkt olarak deplasman verilerini tablo veya grafik olarak vermektedir (Baran, 2008).

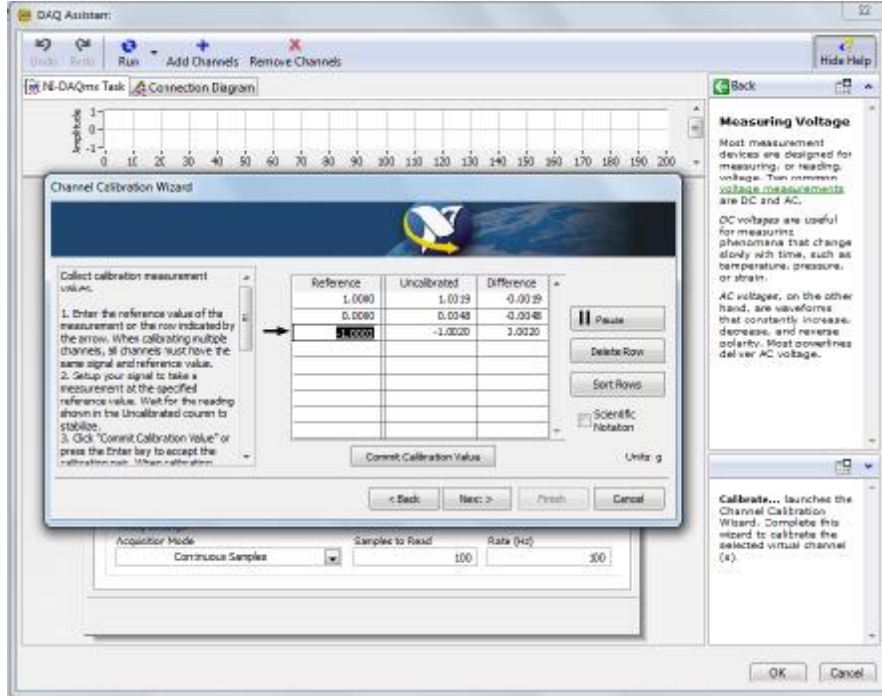
Cihazın kalibrasyonu için bobin ucuna yerleştirilen metal çubuğun üzerine bobinin çalışma uzunluğu olan 22.5 cm'lik aralık işaretlenmiştir. Bu işaretler arasından metal çubuk hareket ettirilerek bobin uçları arasında potansiyel fark oluşması sağlanmış, meydana gelen potansiyel fark veri kayıt cihazına ait yazılıma 22.5 cm olarak işlenerek LVDT'nin kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil3.9. LVDT'nin kalibrasyonu

3.1.3.2. İvmeölçerlerin Kalibrasyonu

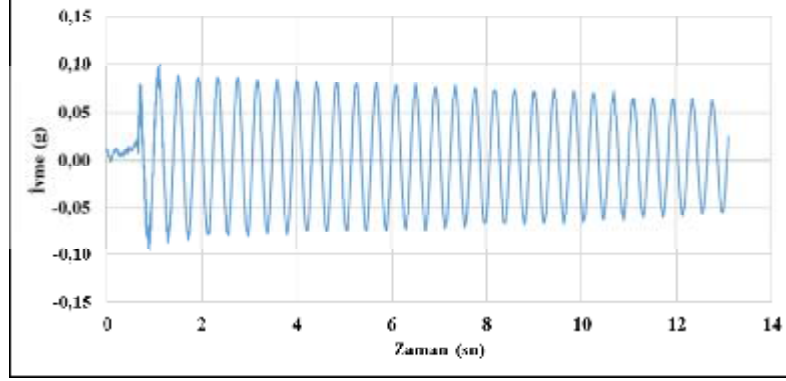
İvmeölçerlerin kalibrasyonu için yer çekimi ivmesinden faydalanılmıştır. Düz olduğundan emin olunan bir yüzeye ivmeölçer yerleştirilmiş ve veri kayıt cihazına ait yazılıma ivmeölçerlerin gönderdiği voltaj değerinin 1g yer çekimine eş değer olduğu tanımlanmıştır. Daha sonra aynı yüzeye ivmeölçer ters olarak yerleştirilmiş ve bu esnada ivmeölçerlerin yolladığı voltaj yazılıma -1g olarak tanımlanıp kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. (Şekil 3.10).



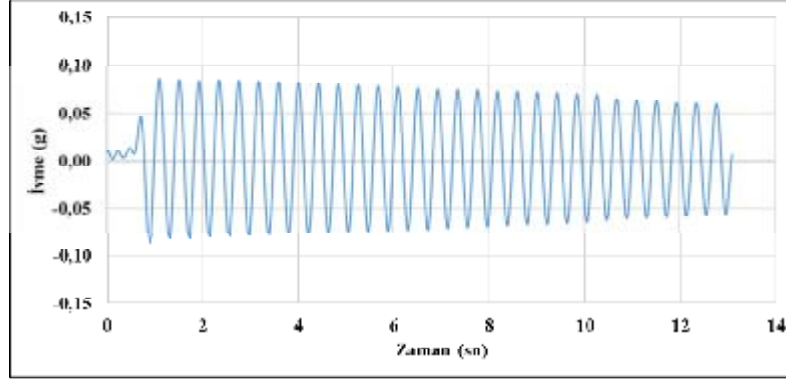
Şekil 3.10. İvmeölçerin kalibrasyonu

3.2. Veri Filtreleme

Sarsma tablası ölçüm sistemi içerisinde bulunan veri toplama kartları, içerisinde mevcut bir veri filtreleme prosedürünü bulundurmaktadır. Bu yüzden deneysel veriler değerlendirmeye tabi tutulmadan önce gürültü adı verilen bu sinyal bozukluklarının filtrelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda “*SeismoSignal Version 2016*” veri filtrelemeye olanak sağlayan bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Örnek olarak Şekil 3.11’de, tek serbestlik dereceli bir yapının deney sonucunda elde edilen ivme-zaman grafiği ham (filtrelenmemiş) ve gürültüden temizlenmiş (filtrelenmiş) olarak sunulmaktadır.



(a)



(b)

Şekil 3.11. İvme-zaman grafiği (a) Filtrelenmemiş (b) Filtrelenmiş

3.3. Doğal Titreşim Frekansının Belirlenmesi

Deneylerden elde edilen ivme-zaman grafikleri kullanılarak her bir yapıya ait doğal titreşim frekansı elde edilebilmektedir. Doğal titreşim frekansının elde edilmesinde, ivme-zaman grafiğinin Fourier dönüşümlerinden yararlanılmaktadır. Fourier dönüşümü yöntemi deprem mühendisliği alanında veri filtreleme, transfer fonksiyonunun elde edilmesi gibi işlemlerde de kullanılmaktadır. Periyodik bir fonksiyon, farklı periyodik fonksiyonların artan frekans değerine bağlı elde edilen değerlerinin alt alta toplamı şeklinde ifade edilebilmektedir. Fourier analizinde dönüşümü yapılmak istenen fonksiyon sinüs ve kosinüs fonksiyonlarına bağlı olarak ifade edilmektedir. Bu dönüşümde girdi verisi olarak zamana bağlı değişen

bir fonksiyon kullanılmaktadır. Çıktı verisi olarak ise frekansa bağlı değişen bir fonksiyon elde edilmektedir (Birdal, 2015).

Bu analiz metodunda zamana bağlı değişen bir fonksiyonun Fourier dönüşümü Euler bağıntısı ile Denklem (3.1.)’deki gibi ifade edilmektedir.

$$F(w) = \int_0^{T_0} a_g(t) e^{-iwt} dt \quad (3.1.)$$

Eğer Denklem (3.1.)’den zaman fonksiyonu çekilecek olursa Denklem (3.2.)’deki eşitlik elde edilmektedir.

$$a_g(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(w) e^{iwt} dw \quad (3.2.)$$

Denklem (3.1.), sinüs ve kosinüs fonksiyonlarına bağlı olarak Denklem (3.3.)’deki formda ifade edilebilmektedir.

$$F(w) = \int_0^{T_0} a_g(t) \cos wtdt - i \int_0^{T_0} a_g(t) \sin wtdt \quad (3.3.)$$

Denklem (3.3.)’deki birinci ifade $C(w)$, ikinci ifade $S(w)$ olarak gösterilirse, Denklem (3.3.), Denklem (3.4.)’deki şekilde gösterilebilmektedir.

$$F(w) = C(w) - iS(w) \quad (3.4.)$$

Dolayısıyla fourier genliği (*fourier amplitude*), Denklem (3.5.)’e bağlı olarak hesaplanmaktadır.

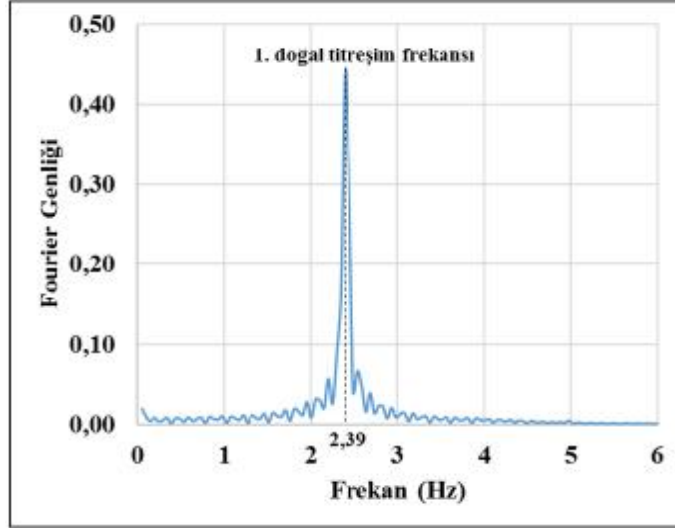
$$\text{Fourier Amplitude } (w) = \sqrt{C(w)^2 + S(w)^2} \quad (3.5.)$$

Fourier fazı (*fourier phase*) ise Denklem (3.6.)’deki ifadeye bağlı olarak belirlenmektedir (Bozorgnia ve Campbell, 2004).

$$\text{Fourier Phase } (F(w)) = - \tan^{-1} \frac{\frac{dS(w)}{dw}}{\frac{dC(w)}{dw}} \quad (3.6.)$$

Bu yöntem ile doğal titreşim frekansının belirlenmesi için ilk olarak yapı sistemine bir deplasman verilmiştir ve sistemin serbest titreşim yapması sağlanmıştır. Bu serbest titreşim deneyinden elde edilen zamana bağlı ivme değişimi Fourier dönüşümü ile frekansa bağlı fonksiyona dönüştürülerek, elde edilen grafikteki maksimum değerden sistemin doğal titreşim frekansı belirlenebilmektedir. Fourier dönüşümü için literatürde çok farklı paket programlar bulunmaktadır. Ayrıca bazı programlarda algoritma yazarak bu analiz gerçekleştirilebilmektedir. Tez kapsamında “*SeismoSignal Version 2016*” programı kullanılmıştır

Örnek olarak, Şekil 3.11b’deki ivme-zaman grafiğinin fourier dönüşüm grafiği elde edilmiştir (Şekil 3.12). Fourier genliğinin maksimum olduğu frekans değeri, yapının doğal titreşim frekansını ifade etmektedir.



Şekil 3.12. Fourier dönüşümü kullanılarak yapının doğal titreşim frekansının belirlenmesi

3.4. Sönüm Oranının Belirlenmesi

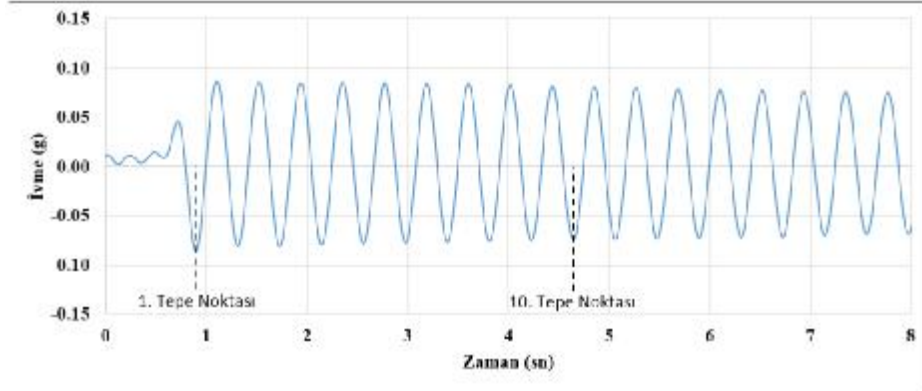
3.4.1. Logaritmik Azalım ile Sönüm Oranının Belirlenmesi

Yapı dinamiği prensiplerine bağlı olarak kritik sönüm altı harekette tek serbestlik dereceli sistemler için sönüm oranının analitik olarak belirlenmesi mümkün değildir. Bu sebeple literatürde “serbest titreşim deneyleri” kullanılmaktadır. Bu deneylerde sönüm oranı birbirini izleyen zaman adımlarına bağlı olarak, Denklem (3.7.) ile hesaplanabilmektedir.

$$z = \frac{1}{2p j} \ln \frac{A_i}{A_{i+j}} \quad (3.7.)$$

Denklem (3.7.)’de, A_i ve A_{i+j} sırasıyla i. ve i+j. genlik değerlerini, j, dikkate alınan devir sayısını, ξ ise sönüm oranını ifade etmektedir.

Örneğin, serbest titreşim deneyi yapılmış tek serbestlik dereceli bir sisteme ait ivme-zaman grafiği Şekil 3.13'te verilmiştir. Çizelge 3.2'de 1. ve 10. salınım için ivme değerleri ve zamanları verilmiştir.



Şekil 3.13. Tek serbestlik dereceli bir sisteme ait ivme-zaman grafiği

Çizelge 3.2. İvme değerleri

Salınım	Zaman (sn)	İvme Değeri (g)
1	0,89	-0.08611
10	4.64	-0.07464

Bu sistemin doğal titreşim periyodu ve sönüm oranı aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir:

$$T_D = \frac{4.64 - 0.89}{10 - 1} = 0.417 \text{ sn}$$

$$z = \frac{1}{2p j} \ln \frac{a_i}{a_{i+j}} = \frac{1}{2 \times p \times (10 - 1)} \ln \frac{0.08611}{0.07464} = 0.00253 = \%0.253$$

Dolayısıyla herhangi bir tek serbestlik dereceli sistemin doğal titreşim periyodu ve sönüm oranı, sistem üzerinden serbest titreşim durumunda ölçülen ivme değerleri ile tespit edilebilmektedir (Chopra, 2013).

3.4.2. Serbest Titreşim Denkleminin Çözümü ile Sönüm Oranının Belirlenmesi

Çok serbestlik dereceli sistemlerde sönümlü sistemin serbest titreşim etkisinde hareket denklemi Denklem (3.8.)’deki gibi ifade edilmektedir.

$$M_n \ddot{u}_n + C_n \dot{u}_n + K_n u_n = 0 \quad (3.8.)$$

Bu eşitlikteki C_n sistemin sönüm matrisi olarak ifade edilmektedir ve Denklem (3.9.) ile tanımlanmaktadır.

$$C_n = f_n^T c f_n \quad (3.9.)$$

Sönüm oranı ise tek serbestlik dereceli sistemlerdekine benzer olarak Denklem (3.10.)’daki eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$z = \frac{C_n}{2M_n \omega_n} \quad (3.10.)$$

Dolayısıyla bu tanımlamalara bağlı olarak hareket denklemi, Denklem (3.11.)’deki forma dönüştürülebilmektedir.

$$\ddot{u}_n + 2z_n \omega_n \dot{u}_n + \omega_n^2 u_n = 0 \quad (3.11.)$$

Sönümlü sistemin doğal frekansına bağlı olarak Denklem (3.11.)’in çözümü sonucunda Denklem (3.12.) elde edilmektedir.

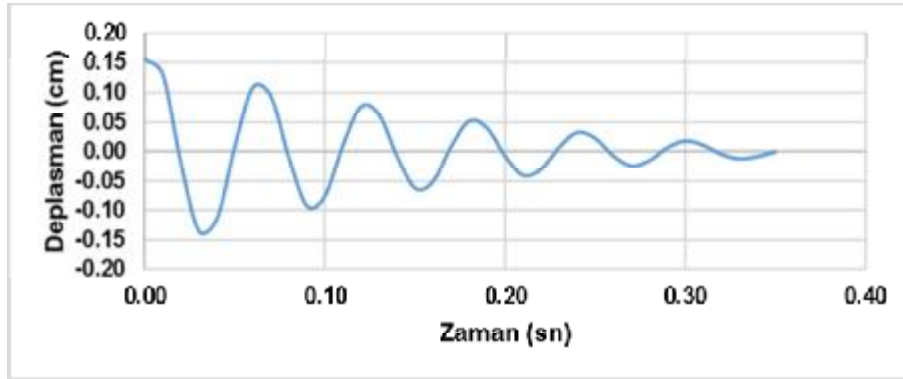
$$u_n(t) = e^{-z_n w_n t} \left[\dot{u}_n(0) \cos w_D t + \frac{u_n(0) + z_n w_n u_n(0)}{w_D} \sin w_D t \right] \quad (3.12.)$$

Sistemin şekil değiştirme fonksiyonuna bağlı olarak istenilen noktanın deplasman değeri ise Denklem (3.13.) ile hesaplanmaktadır.

$$u(t) = \sum_n \left[e^{-z_n w_n t} \left(\dot{u}_n(0) \cos w_D t + \frac{u_n(0) + z_n w_n u_n(0)}{w_D} \sin w_D t \right) \right] \quad (3.13.)$$

Dolayısıyla bu çözüme ulaşabilmek için sistemin doğal titreşim frekansları ve mod vektörlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Buradan yola çıkarak, TSD ve ÇSD sistemlerin sönüm oranları serbest titreşim deneyleri ile belirlenebilir (Chopra, 2013).

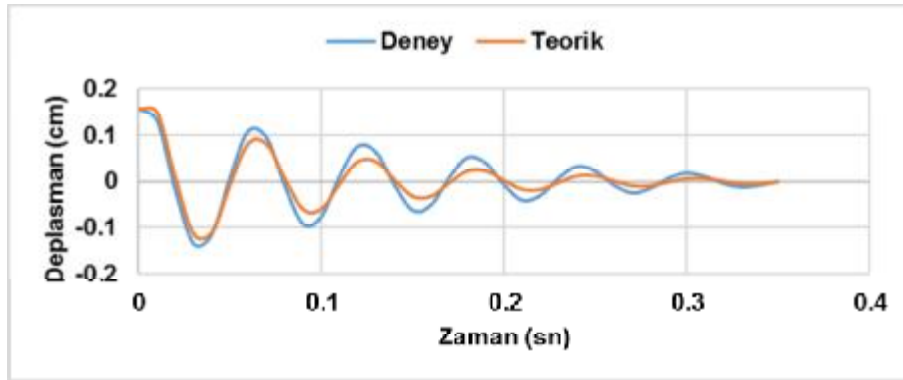
Örneğin deneylerde kullanılan 2 katlı çelik modellerden birinin serbest titreşim deneyi sonucu Şekil 3.14'te görülmektedir.



Şekil 3.14. 2 katlı çelik yapıya ait serbest titreşim deneyi grafiği

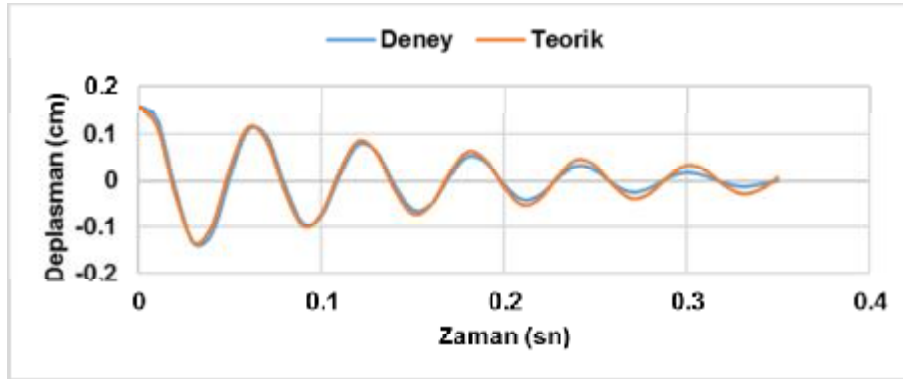
Deney sonuçlarına göre, yapının 1. doğal titreşim frekansı, daha önce Bölüm 3.3.'te detaylı olarak bahsedilen yöntem kullanılarak, 16.71Hz olarak

hesaplanmıştır. Başlangıç deplasman koşulu $u_1(0) = 0,157\text{ cm}$, hız koşulu $\dot{u}_1(0) = 0$ olarak ölçülmüştür. w_{nD} ise $w_{nD} = w_n \sqrt{1 - \zeta_n^2}$ denklemi yardımıyla hesaplanmıştır. Deneysel olarak elde edilen veriler Denklem (3.13.)’te yerine yazılarak 0.1 sönüm oranı için 0.01sn artımlarla deplasman değerleri Excel programında hesaplanmıştır (Şekil 3.15).



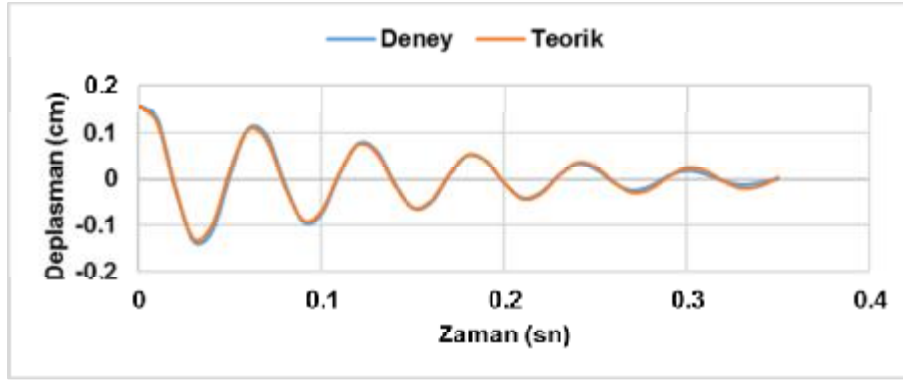
Şekil 3.15. Teorik olarak 0.1 sönüm oranına göre hesaplanmış deplasman grafiği

0.05 sönüm oranı için 0.01sn artımlarla deplasman değerleri hesaplandığında elde edilen değerler Şekil 3.16’da verilmiştir.



Şekil 3.16. Teorik olarak 0.05 sönüm oranına göre hesaplanmış deplasman grafiği

Bu şekilde farklı sönüm oranları için yapılan hesaplamalar neticesinde bu model için en uygun sönüm oranı, 0.0595 olarak belirlenmiştir. Deneysel ve belirlenen sönüm oranına göre teorik olarak elde edilen sonuçlar Şekil 3.17’de verilmiştir.



Şekil 3.17. Teorik olarak 0.0595 sönüm oranına göre hesaplanmış deplasman grafiği

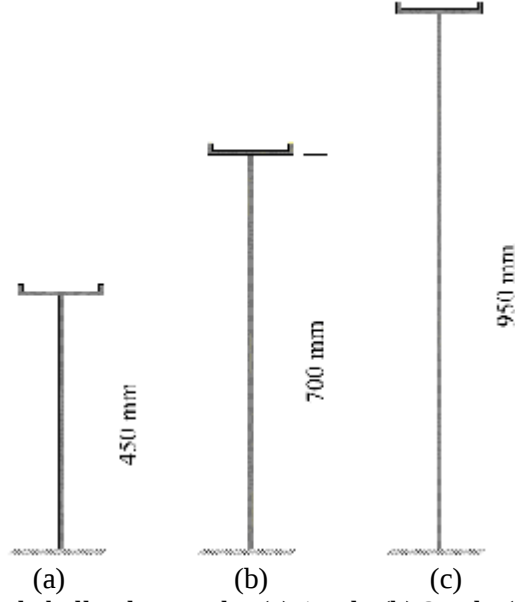
Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli husus yapıyı yalnızca tek bir mod da titreşecek biçimde çekip bırakmayı ayarlayabilmektir (Chopra, 2013).

Bu tez kapsamında TSD sistemlerin sönüm oranını belirlemede “Logaritmik Dekreman ile Sönüm Oranının Belirlenmesi”, ÇSD sistemlerin sönüm oranını belirlemede ise “Serbest Titreşim Denkleminin Çözümü ile Sönüm Oranının Belirlenmesi” yöntemleri kullanılmıştır.

3.5. Yapı Modelleri

3.5.1. Tek Serbestlik Dereceli Yapı Modelleri

Deneylerde, 8x8mm boyutlarında kare kesitli çelik malzemeden imal edilmiş, farklı yükseklikte, tek serbestlik dereceli üç farklı yapı kullanılmıştır (Şekil 3.18).



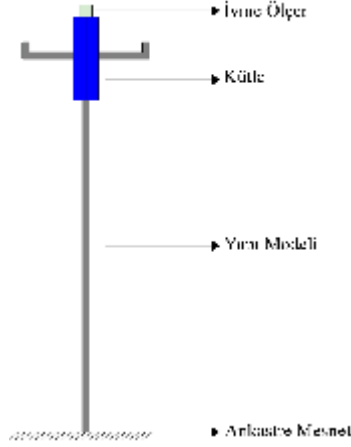
Şekil 3.18. Deneylerde kullanılan yapılar (a) 1 nolu (b) 2 nolu (c) 3 nolu

Çelik çubuğun tepe noktasına yerleştirilen kütle çubuk kütlesine göre çok büyük seçilerek, çubuk kütlesinin önemsiz hale gelmesi ve sistem davranışının tek serbestlik dereceli sisteme yaklaşması sağlanmıştır. Yapıların laboratuvar ortamındaki görünüşü Şekil 3.19’da yer almaktadır.



Şekil 3.19. Tek serbestlik dereceli yapıların laboratuvar ortamındaki görüntüsü

Bu yapıların üzerine her biri 1kg olan kütlelerden sırasıyla 2’şer, 4’er ve 6’şar adet yüklemeler yapılmıştır. Örnek olarak, iki adet kütle yerleştirilmiş yapıya ait deney düzeneği Şekil 3.20’de şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.20. İki adet kütle yerleştirilmiş deney düzeneği

3.5.2. Çok Serbestlik Dereceli Yapı Modelleri

Deneylerde 8 farklı ÇSD yapı kullanılmıştır. Modellerin 4 adedi çelik 4 adedi ise alüminyum malzemeden imal edilmiştir. Yapı modelleri, her yönde tek açıklığa sahip, iki ve dört katlı yapılardır. Kat döşemelerinde 1cm kalınlığında ahşap plakalar kullanılmıştır. Kolon ve kirişler 1mm et kalınlığına sahip kutu kesitli elemanlar olarak tasarlanmıştır.

Alüminyum malzemeden imal edilen modellerin oluşturulmasında birleşim yerleri için çift bileşenli, yüksek performanslı, “*methyl methacrylate*” bazlı bir yapıştırıcı kullanılmıştır. Yapıştırıcı birleştirilecek olan metal yüzeylerine uygulandıktan 5 dakika sonra ilk mukavemetini, 45. dakikaya gelindiğinde mukavemetinin büyük bir kısmını ve 24 saatte ise maksimum dayanımını kazanmaktadır. Yapıştırıcının çeşitli metallerle gerçekleştirilen dayanım deneylerine ait bazı sonuçlar Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Yapıştırıcının mukavemet özelliklerine ait bazı deney sonuçları
(www.erdcsi.com)

Malzeme	Kg/cm ²
Çelik/Çelik	280
Alüminyum/Alüminyum	224
Nikel/Nikel	195

Yapıştırıcı kullanılarak üretilen alüminyum yapıların laboratuvar ortamındaki görünüşleri Şekil 3.21, Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24'te görülmektedir. Ayrıca yapılara ait bilgiler Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Alüminyum yapılara ait bilgiler

Yapı	Kolon-Kiriş Kesit boyutları (mm)	Açıklıklar (cm)		Kat sayısı	Kat Yükseklikleri (cm)	
		X yönünde	Y yönünde		Zemin	Diğer
A1	17x25	35	35	2	31	35
A2	20x40	35	35	2	31	35
A3	17x25	35	35	4	31	35
A4	20x40	35	35	4	31	35



Şekil 3.21. (A1) yapısı



Şekil 3.22. (A2) yapısı



Şekil 3.23. (A3) yapısı

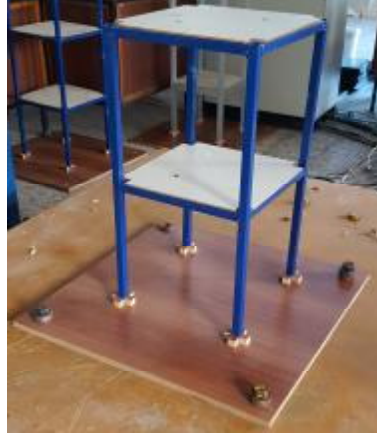


Şekil 3.24. (A4) yapısı

Çelikten imal edilen modellerin oluşturulmasında ise kolon ve kiriş birleşim bölgelerinde kaynak kullanılmıştır. Bu yöntem ile üretilen çelik yapılara ait laboratuvar ortamındaki görünüşleri Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27 ve Şekil 3.28’de verilmiştir. Ayrıcı yapılara ait bilgiler Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Çelik yapılara ait bilgiler

Yapı	Kolon-Kiriş Kesit boyutları (mm)	Açıklıklar (cm)		Kat sayısı	Kat Yükseklikleri (cm)	
		X yönünde	Y yönünde		Zemin	Diğer
Ç1	20x20	35	35	2	31	35
Ç2	20x40	35	35	2	31	35
Ç3	20x20	35	35	4	31	35
Ç4	20x40	35	35	4	31	35



Şekil 3.25. (Ç1) yapısı



Şekil 3.26. (Ç2) yapısı



Şekil 3.27. (Ç3) yapısı



Şekil 3.28. (Ç4) yapısı

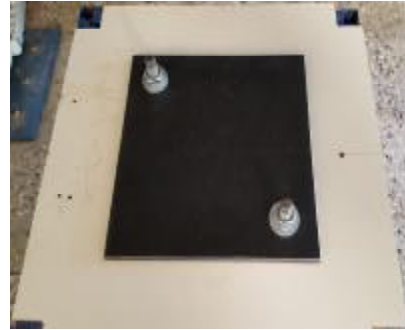
Çelik ve alüminyum modeller, 2.5cm kalınlıktaki ahşap plakalara yerleştirilmiş ve yapı kolonlarının ankastre çalışmasını sağlayabilmek için yardımcı bağlantılar kullanılarak kolonların altlarında rijit bölgeler oluşturulmuştur.

Şekil 3.29’da kolon mesnet noktalarına ait detay ve model-tabla bağlantısı görülmektedir.

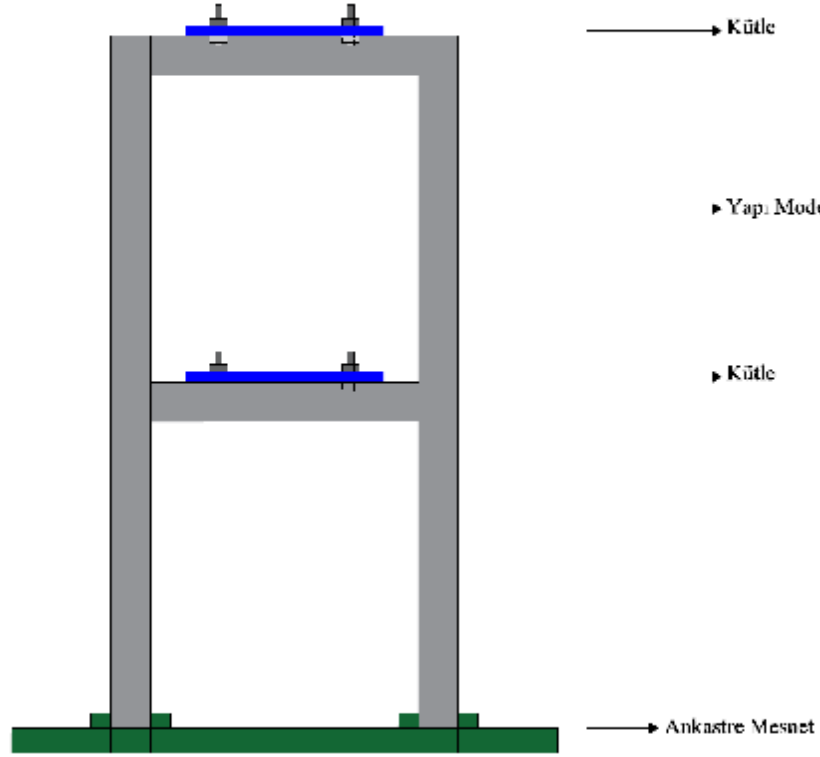


Şekil 3.29. Kolon mesnet noktası detayı ve model-tabla bağlantısı

Bu yapıların üzerine her biri 2469gr olan kütlelerden (Şekil 3.30) sırasıyla 1, 2 ve 3’er adet yerleştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Örnek olarak, bir adet kütle yerleştirilmiş yapıya ait deney düzeneği Şekil 3.31’de görülmektedir.



Şekil 3.30. Çok serbestlik dereceli modellere yerleştirilen kütleler



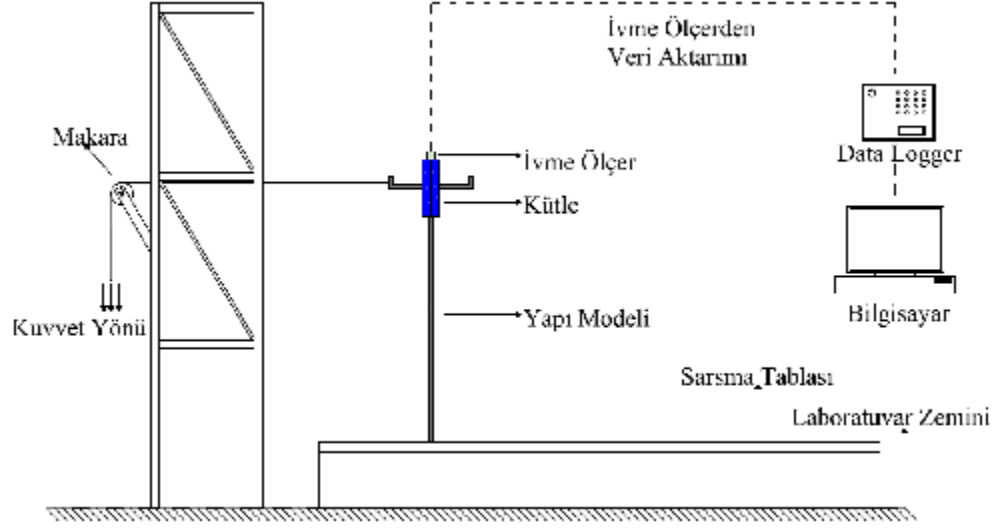
Şekil 3.31. Bir adet kütle yerleştirilmiş yapı modeli

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneylerde sarsma tablasına sabitlenmiş, farklı rijitliklere sahip tek serbestlik dereceli yapı modelleri ile farklı malzeme ve geometrik özelliklere sahip çok serbestlik dereceli yapı modelleri kullanılmıştır. Bu deneyler çerçevesinde yapılardaki sönüm oranlarının farklı kütle, rijitlik ve ivme değerleri etkisi altında değişimi araştırılmıştır.

4.1. Tek Serbestlik Dereceli Yapı Deneyleri

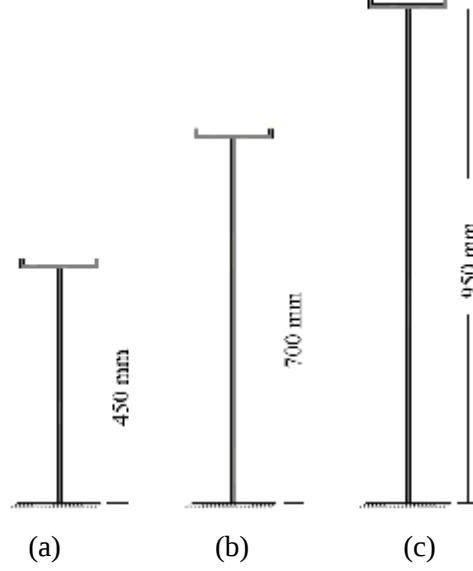
Şekil 4.1’de gösterilen sistem bileşenleri ve deney düzeneğinde, yapılara sırasıyla 2, 4 ve 6’şar adet kütle yerleştirilmiş ve her aşamada yapılara Şekil 4.1’de gösterilen kuvvet yönünde farklı değerlerde kuvvetler uygulanarak yapıya farklı ön deplasmanlar verilmesi sağlanmıştır. Bu farklı ön deplasman ve kütle etkisi altında yapıların serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiş ve deney sonucunda yapıların ivme-zaman grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen ivme-zaman grafikleri üzerinde yapılan analizler sonucunda, yapıların sönüm oranının, maksimum tepe ivmesi, kütle ve rijitlik değişiminden nasıl etkilendiği incelenmiştir. Deneylerin doğruluğunu ve deney sonrasında yapıda herhangi bir değişikliğin meydana gelip gelmediğini kontrol etmek amacıyla her deneyden sonra elde edilen ivme-zaman grafiklerinin fourier dönüşümleri kullanılarak yapıya ait doğal frekans değerleri belirlenmiştir.



Şekil 4.1. Sistem bileşenleri ve deney düzeni

4.1.1. Maksimum İvmenin Sönüm Oranına Etkisi

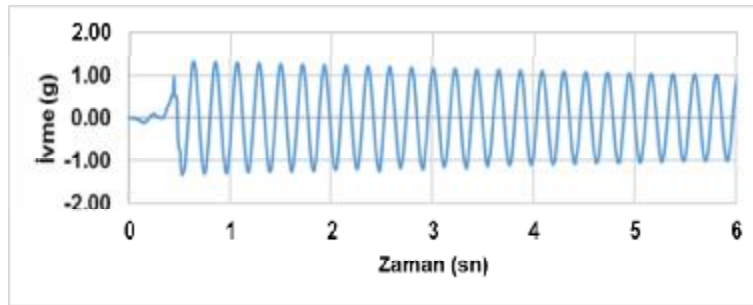
Bu bölümde serbest titreşim deneyinde tek serbestlik dereceli yapılarda meydana gelen maksimum ivmenin yapı sönüm oranı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneyler Şekil 4.2’de gösterilen 1, 2 ve 3 nolu yapılar için farklı kütle etkileri altında tekrarlanmıştır.



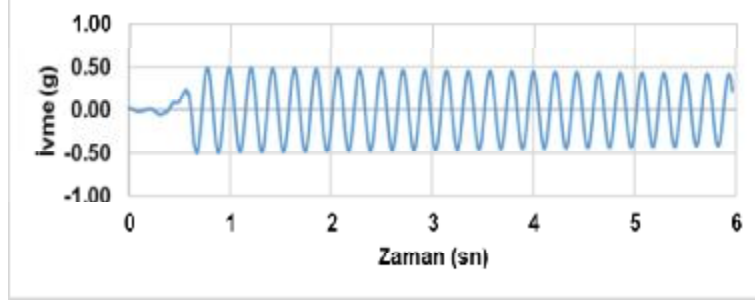
Şekil 4.2. (a) 1 nolu yapı (b) 2 nolu yapı (c) 3 nolu yapı

4.1.1.1. Bir (1) Nolu Yapı Üzerinde Yapılan Deneyler

Deneylerde, yapılarda kalıcı herhangi bir hasar meydana gelmemesini temin amacıyla küçük ön deplasmanlar verilerek serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlardaki sinyal bozuklukları (gürültü) “*SeismoSignal Version 2016*” programı yardımı ile filtrelenmiştir. 2 kg kütle etkisi altında bir (1) nolu yapıya ait filtrelenmiş deney sonuçlarından ikisi Şekil 4.3(a) ve (b)’de verilmiştir.



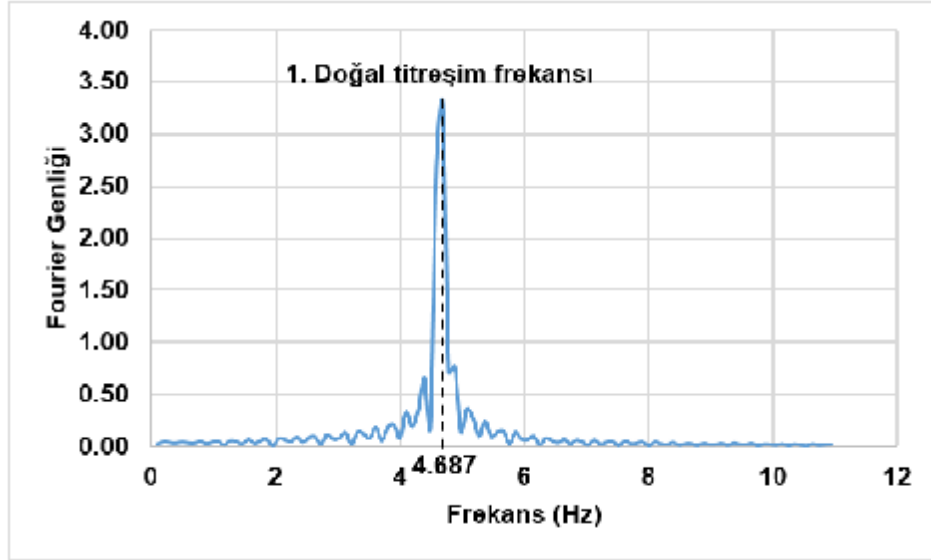
(a) Deney1



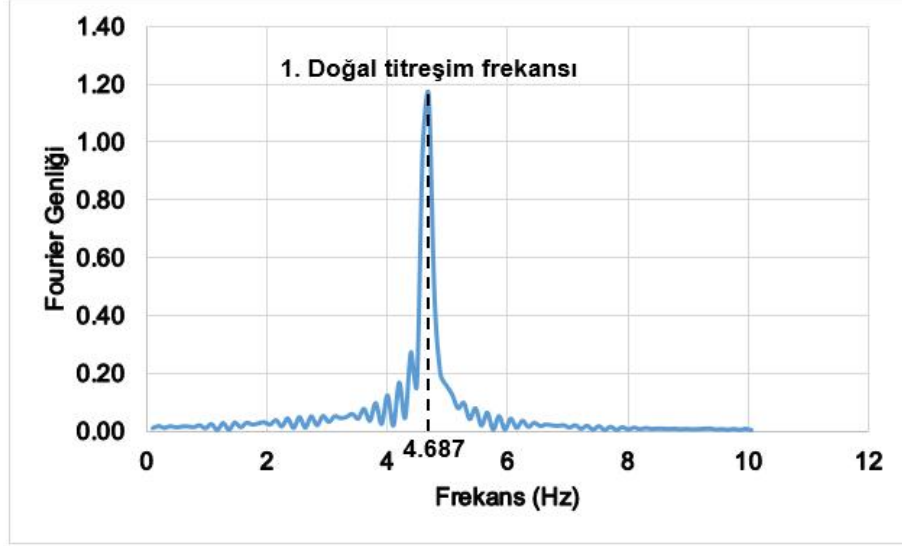
(a) Deney2

Şekil 4.3. 2 kg kütle etkisi altındaki bir (1) nolu yapıya ait ivme-grafiği örnekleri

Daha önce, Bölüm 3.3'te ve Bölüm 3.4.1'de detaylı olarak bahsedilen yöntemler kullanılarak, Şekil 4.3'de 2 kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapının Deney1 ve Deney2 sonuçlarına göre doğal titreşim frekansı ve sönüm oranları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Yapının doğal titreşim frekansı için ivme-zaman grafiklerinden elde edilen fourier dönüşüm grafikleri, doğal titreşim frekans değerleri ile birlikte Şekil 4.4'te verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.4. 2 kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıya ait ivme-zaman grafiklerinden elde edilmiş fourier dönüşüm grafikleri ve 1. Doğal titreşim frekansının belirlenmesi

Çizelge 4.1. 2 kg kütle etkisi altındaki yapının Deney1 ve Deney2 sonuçlarına göre doğal titreşim frekansları ve sönüm oranları

Deney	1. Tepe İvmesi	9. Tepe İvmesi	Sönüm Oranı (%)	Frekans
Deney1	1.297	1.174	0.199	4.687
Deney2	0.492	0.463	0.141	4.687

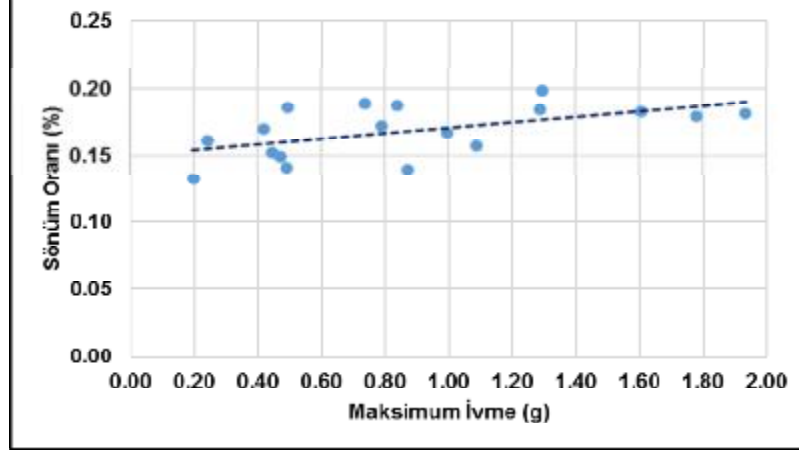
Çizelge 4.1'in incelenmesinden, Deney1 ve Deney2 sonuçları için yapıya ait doğal titreşim frekansının aynı olmasına rağmen sönüm oranının farklı olduğu ve serbest titreşim deneyi esnasında meydana gelen ivme genliğine bağlı olarak değiştiği anlaşılmaktadır.

1 nolu yapı için söz konusu serbest titreşim deneyleri yapıya sırasıyla 2, 4 ve 6 kg kütle yerleştirilerek farklı başlangıç ivme değerleri altında tekrarlanmıştır. Elde edilen deney sonuçları Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.2. 2 kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıya ait deney sonuçları

Deney No	Maksimum İvme Genliği (g)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	0.4463	0.1520	4.687
2	0.9968	0.1672	4.687
3	0.1961	0.1322	4.687
4	0.8736	0.1401	4.687
5	1.0900	0.1574	4.687
6	1.2967	0.1986	4.687
7	1.6084	0.1835	4.687
8	0.4917	0.1412	4.687
9	0.4741	0.1495	4.687
10	0.2452	0.1609	4.687
11	0.4192	0.1701	4.687
12	0.4961	0.1859	4.687
13	0.8402	0.1873	4.687
14	0.7382	0.1891	4.687
15	0.7919	0.1719	4.687
16	1.2889	0.1849	4.687
17	1.7828	0.1797	4.687
18	1.9361	0.1817	4.687

Çizelge 4.2'nin incelenmesinden, yapılan 18 deneyin tamamında yapıya ait doğal titreşim frekansı 4.687 Hz olarak elde edilirken her deney için sönüm oranının farklı olduğu görülmektedir. Bundan dolayı yapının doğal titreşim frekansından bağımsız olarak, yapıya etkiyen maksimum ivme değeri ile sönüm oranı arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için Çizelge 4.2'de belirtilen değerlerin dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.5). Çizilen dağılım grafiğine doğrusal eğilim çizgisi eklenerek davranışın daha belirgin hale gelmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.5. 2 kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıda sönüm oranının maksimum ivme ile değişimi

Eklenen doğrusal eğilim çizgisi ile ilgili eşitlik Denklem 4.1’de verilmiştir.

$$z = 0.0207g + 0.1501 \quad (4.1.)$$

Yapılan deneylerden en düşük ve en yüksek maksimum ivme değerine sahip iki deney için sönüm oranları Denklem 4.1’e göre tekrar hesaplanmıştır.

En düşük maksimum ivme değeri 0.1961g;

$$z = 0.0207g + 0.1501$$

$$z = 0.0207 \times (0.1961) + 0.1501 = 0.154 \text{ (\%)}$$

En yüksek maksimum ivme değeri 1.9361g;

$$z = 0.0207g + 0.1501$$

$$z = 0.0207 \times (1.9361) + 0.1501 = 0.190 \text{ (\%)}$$

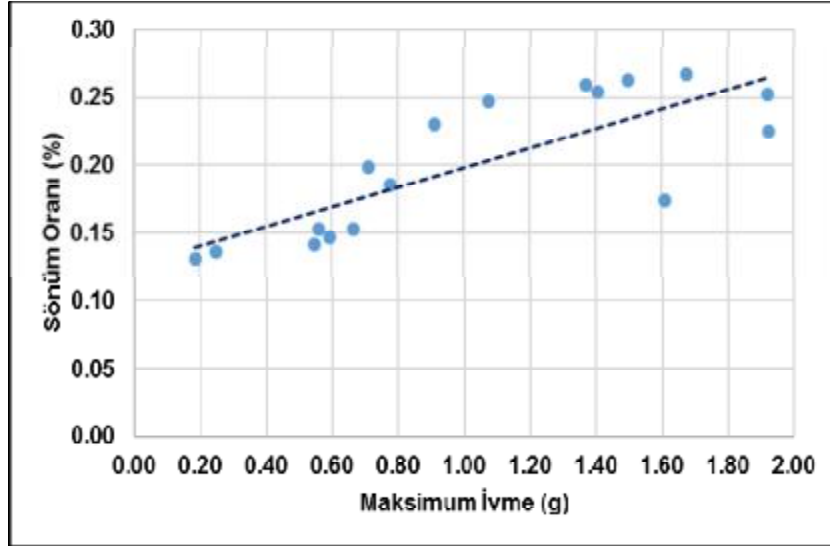
$$\text{Deneyler arasındaki sönüm oranı değişimi} = \frac{0.190}{0.154} - 1 \cdot 100 = \%23.38;$$

Özetle, 2 kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapı üzerinde maksimum ivme değeri 0.1961g ile 1.9361g arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğine bağlı olarak yaklaşık %23 civarında değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. 4 kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıya ait deney sonuçları

Deney No	Maksimum İvme Genliği (g)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	0.1870	0.1312	3.3203
2	0.5619	0.1525	3.3203
3	0.6676	0.1524	3.3203
4	0.7795	0.1852	3.3203
5	0.7140	0.1988	3.3203
6	1.3721	0.2593	3.3203
7	1.6097	0.1740	3.3203
8	1.9239	0.2522	3.3203
9	0.2491	0.1365	3.3203
10	0.5480	0.1412	3.3203
11	0.5947	0.1470	3.3203
12	0.9118	0.2307	3.3203
13	1.0778	0.2472	3.3203
14	1.4072	0.2543	3.3203
15	1.5001	0.2630	3.3203
16	1.6760	0.2676	3.3203
17	1.9266	0.2250	3.3203

Çizelge 4.3'ün incelenmesinden, yapılan 17 deneyin tamamında yapıya ait doğal titreşim frekansı 3.3203 Hz olarak elde edilirken sönüm oranının daha önceki deney grubundaki gibi her deney için farklı olduğu anlaşılmaktadır. Bundan dolayı yapının doğal titreşim frekansından bağımsız olarak, yapıya etkiyen maksimum ivme değeri ile sönüm oranı arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için Çizelge 4.3'te belirtilen değerlerin dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.6). Çizilen dağılım grafiğine doğrusal eğilim çizgisi eklenerek davranışın daha belirgin hale gelmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.6 4 kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıda sönüm oranının maksimum ivme ile değişimi

Eklenen doğrusal eğilim çizgisi ile ilgili eşitlik Denklem 4.2'de verilmiştir.

$$z = 0.0723g + 0.1258 \quad (4.2.)$$

Yapılan deneylerden en düşük ve en yüksek maksimum ivme genliğine sahip iki deney için sönüm oranları Denklem 4.2'ye göre tekrar hesaplanmıştır.

En düşük maksimum ivme değeri 0.187g;

$$z = 0.0723g + 0.1258$$

$$z = 0.0723 \times (0.187) + 0.1258 = 0.139$$

En yüksek maksimum ivme değeri 1.9266g;

$$z = 0.0723g + 0.1258$$

$$z = 0.0723 \times (1.9266) + 0.1258 = 0.265$$

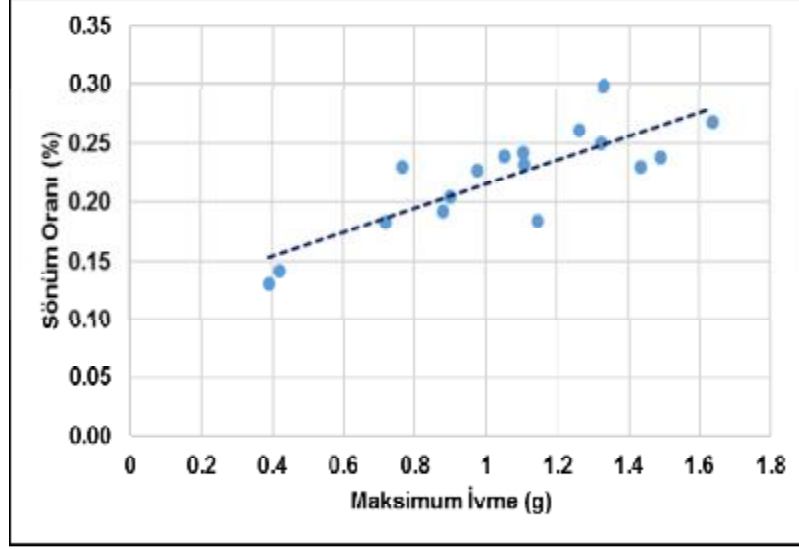
$$\text{Deneyler arasındaki sönüm oranı değişimi} = \frac{0.265}{0.139} - 1 \div 0 * 100 = \%91;$$

Özetle, 4 kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapı üzerinde maksimum ivme değeri 0.187g ile 1.9266g arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğine bağlı olarak yaklaşık %91 civarında değiştiği belirlenmiştir.

Çizelge 4.4. 6 kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıya ait deney sonuçları

Deney No	Maksimum İvme Genliği (g)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	0.3924	0.1308	2.7344
2	0.4211	0.1415	2.7344
3	0.7199	0.1827	2.7344
4	0.8814	0.1926	2.7344
5	0.7655	0.2293	2.7344
6	0.9761	0.2269	2.7344
7	1.1477	0.1842	2.7344
8	1.2633	0.2609	2.7344
9	1.3318	0.2986	2.7344
10	1.1076	0.2419	2.7344
11	1.4356	0.2299	2.7344
12	1.0544	0.2388	2.7344
13	1.4918	0.2372	2.7344
14	1.1097	0.2319	2.7344
15	0.9018	0.2042	2.7344
16	1.3247	0.2500	2.7344
17	1.6375	0.2681	2.7344

Çizelge 4.4'ün incelenmesinden, yapılan 17 deneyin tamamında yapıya ait doğal titreşim frekansı 2.7344 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı daha önceki deney grubunda olduğu gibi her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Bundan dolayı yapının doğal titreşim frekansından bağımsız olarak, yapıya etkiyen maksimum ivme değeri ile sönüm oranı arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için Çizelge 4.4'te belirtilen değerlerin dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.7). Çizilen dağılım grafiğine doğrusal eğilim çizgisi eklenerek davranışın daha belirgin hale gelmesi sağlanmıştır.



Şekil 4.7. 6 kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapıda sönüm oranının maksimum ivme ile değişimi

Eklenen doğrusal eğilim çizgisi ile ilgili eşitlik Denklem 4.3'te verilmiştir.

$$z = 0.1018g + 0.113 \quad (4.3.)$$

Yapılan deneyler içerisinde en düşük ve en yüksek maksimum ivme genliğine sahip iki deney için sönüm oranları Denklem 4.3'e göre tekrar hesaplanmıştır.

En düşük maksimum ivme değeri 0.3924g;

$$z = 0.1018g + 0.113$$

$$z = 0.1018 \times (0.3924) + 0.113 = 0.153$$

En yüksek maksimum ivme değeri 1.6375g;

$$z = 0.1018g + 0.113$$

$$z = 0.1018 \times (1.6375) + 0.113 = 0.280$$

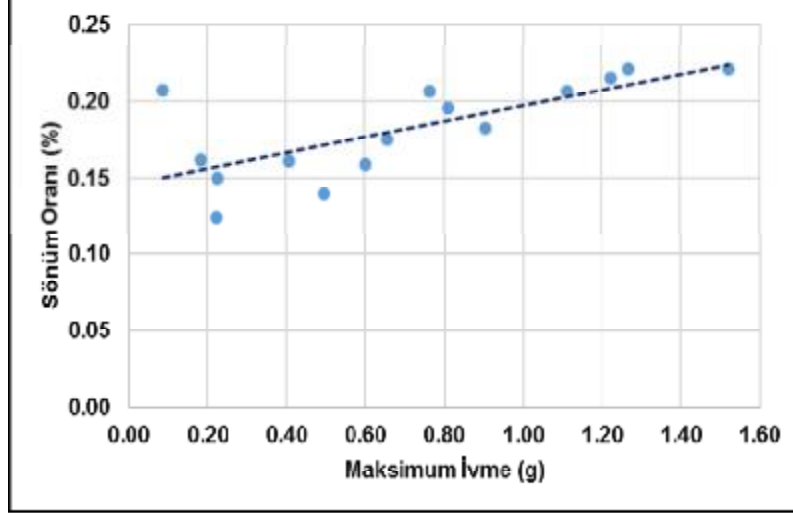
$$\text{Deneyler arasındaki sönüm oranı değişimi} = \frac{0.280}{0.153} - 1 \div 0 * 100 = \%83;$$

Özetle, 6 kg kütle etkisi altındaki 1 nolu yapı üzerinde maksimum ivme değeri 0.3924g ile 1.6375g arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğine bağlı olarak yaklaşık %83 civarında değiştiği belirlenmiştir.

4.1.1.2. İki (2) Nolu Yapı Üzerinde Yapılan Deneyler

Deneylerde 1 nolu yapıda olduğu gibi yapı sisteminde hasar meydana gelmeyecek şekilde küçük ön deplasmanlar verilerek, yapının serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapıya sırasıyla 2, 4 ve 6 kg kütle yerleştirilerek farklı ivme genlikleri oluşturulacak şekilde deneyler tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen verilerle yapıya ait sönüm oranı-maksimum ivme dağılım grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10). Bu grafiklere eklenen doğrusal eğilim çizgisinin denklemi, yapılan deneyler içerisindeki en düşük ve en yüksek maksimum ivme değerlerine karşılık gelen sönüm oranları ve sönüm oranları arasında meydana gelen değişim miktarları hesaplanmıştır.

a) 2 kg kütle etkisi altındaki iki (2) nolu yapı üzerinde yapılan hesaplamalar



Şekil 4.8. 2 kg kütle etkisi altındaki iki (2) nolu yapıya ait deney sonuçları

Eklenen doğrusal eğilim çizgisi ile ilgili eşitlik Denklem 4.4'te verilmiştir.

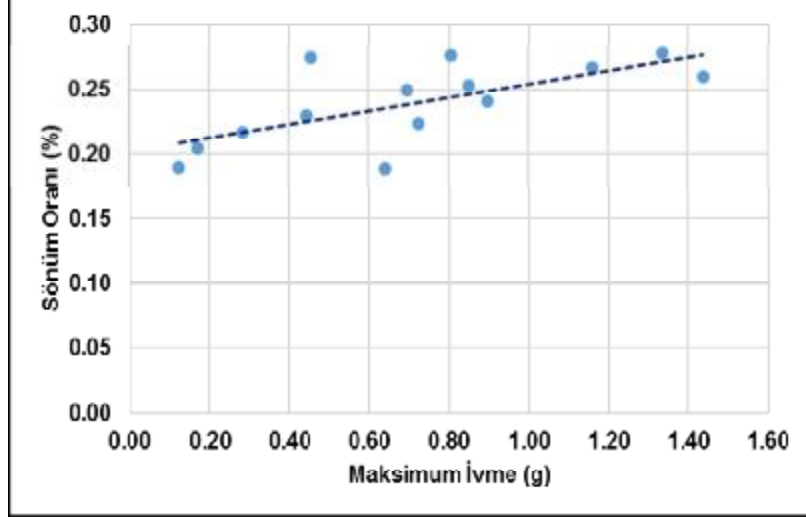
$$z = 0.0513g + 0.146 \quad (4.4.)$$

En düşük maksimum ivme değeri 0.0886g ve buna karşılık gelen sönüm oranı %0.151; en yüksek maksimum ivme değeri 1.5222g ve buna karşılık gelen sönüm oranı %0.224;

$$\text{Deneyler arasındaki sönüm oranı değişimi} = \frac{0.224}{0.151} - 1 \cdot 100 = \%48;$$

Özetle, 2 kg kütle etkisi altındaki 2 nolu yapı üzerinde maksimum ivme değeri 0.0886g ile 1.5222g arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğine bağlı olarak yaklaşık %48 civarında değiştiği belirlenmiştir.

b) 4 kg kütle etkisi altındaki iki (2) nolu yapı üzerinde yapılan hesaplamalar



Şekil 4.9. 4 kg kütle etkisi altındaki 2 nolu yapıya ait deney sonuçları

Eklenen doğrusal eğilim çizgisi ile ilgili eşitlik Denklem 4.5'te verilmiştir.

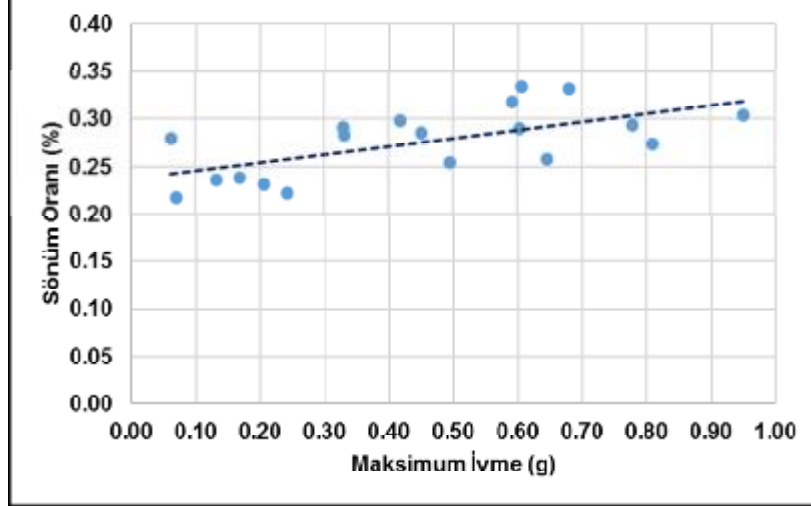
$$z = 0.0518g + 0.2024 \quad (4.5.)$$

En düşük maksimum ivme değeri 0.1246g ve buna karşılık gelen sönüm oranı %0.209; en yüksek maksimum ivme değeri 1.4380g ve buna karşılık gelen sönüm oranı %0.277;

$$\text{Deneyler arasındaki sönüm oranı değişimi} = \frac{0.277 - 0.209}{0.209} \cdot 100 = \%33$$

Özetle, 4 kg kütle etkisi altındaki 2 nolu yapı üzerinde maksimum ivme değeri 0.1246g ile 1.4380g arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğine bağlı olarak yaklaşık %33 civarında değiştiği belirlenmiştir.

c) 6 kg kütle etkisi altındaki iki (2) nolu yapı üzerinde yapılan hesaplamalar



Şekil 4.10. 6 kg kütle etkisi altındaki 2 nolu yapıya ait deney sonuçları

Eklenen doğrusal eğilim çizgisi ile ilgili eşitlik Denklem 4.6'da verilmiştir.

$$z = 0.0853g + 0.2371 \quad (4.6.)$$

En düşük maksimum ivme değeri 0.0626g ve buna karşılık gelen sönüm oranı %0.242; en yüksek maksimum ivme değeri 0.9519g ve buna karşılık gelen sönüm oranı %0.318;

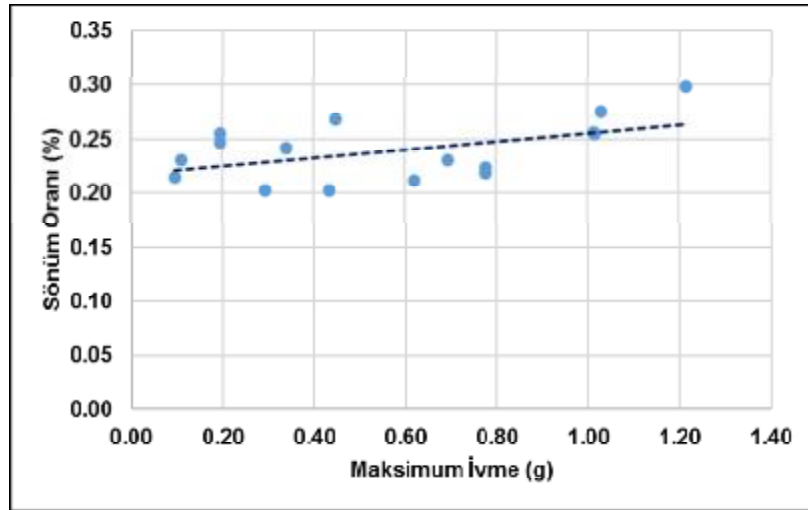
$$\text{Deneyler arasındaki sönüm oranı değişimi} = \frac{0.318}{0.242} - 1 \div \frac{\ddot{O}}{\ddot{O}} * 100 = \%31$$

Özetle, 6 kg kütle etkisi altındaki 2 nolu yapı üzerinde maksimum ivme değeri 0.0626g ile 0.9519g arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğine bağlı olarak yaklaşık %31 civarında değiştiği belirlenmiştir.

4.1.1.3. Üç (3) Nolu Yapı Üzerinde Yapılan Deneyler

Deneylerde diğer tek serbestlik dereceli yapılarda olduğu gibi yapı sisteminde hasar meydana gelmeyecek şekilde küçük ön deplasmanlar verilerek yapının serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapıya sırasıyla 2, 4 ve 6 kg kütle yerleştirilerek farklı ivme genlikleri oluşturulacak şekilde deneyler tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen verilerle yapıya ait sönüm oranı-maksimum ivme dağılım grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.11., Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.). Bu grafiklere eklenen doğrusal eğilim çizgisinin denklemi, yapılan deneyler içerisindeki en düşük ve en yüksek maksimum ivme değerlerine karşılık gelen sönüm oranları ve sönüm oranları arasında meydana gelen değişim miktarları hesaplanmıştır.

a) 2 kg kütle etkisi altındaki üç (3) nolu yapı üzerinde yapılan hesaplamalar



Şekil 4.11. 2 kg kütle etkisi altındaki 3 nolu yapıya ait deney sonuçları

Eklenen doğrusal eğilim çizgisi ile ilgili eşitlik Denklem 4.7'de verilmiştir.

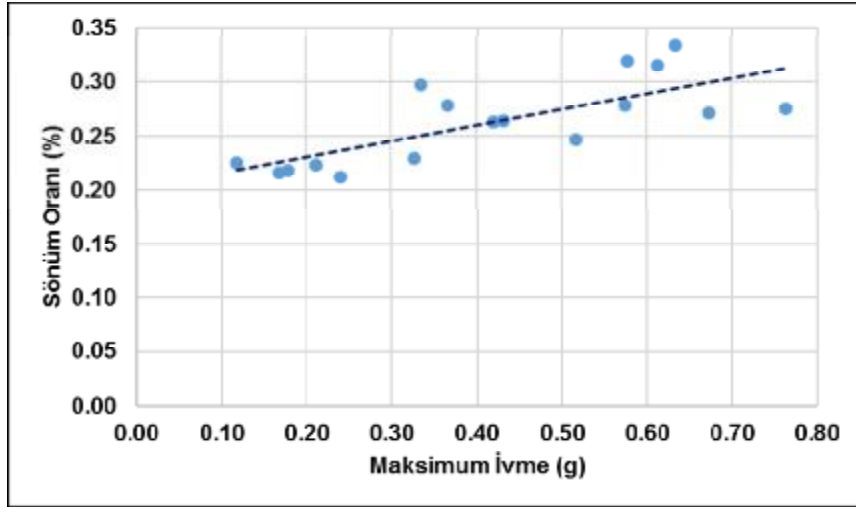
$$z = 0.0382g + 0.2171 \quad (4.7.)$$

En düşük maksimum ivme değeri 0.0970g ve buna karşılık gelen sönüm oranı %0.221; en yüksek maksimum ivme değeri 1.2162g ve buna karşılık gelen sönüm oranı %0.264;

$$\text{Deneyler arasındaki sönüm oranı değişimi} = \frac{0.264}{0.221} - 1 \cdot 100 = \%19;$$

Özetle, 2 kg kütle etkisi altındaki 3 nolu yapı üzerinde maksimum ivme değeri 0.0970g ile 1.2162g arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğine bağlı olarak yaklaşık %19 civarında değiştiği belirlenmiştir.

b) 4 kg kütle etkisi altındaki üç (3) nolu yapı üzerinde yapılan hesaplamalar



Şekil 4.12. 4 kg kütle etkisi altındaki 3 nolu yapıya ait deney sonuçları

Eklenen doğrusal eğilim çizgisi ile ilgili eşitlik Denklem 4.8'de verilmiştir.

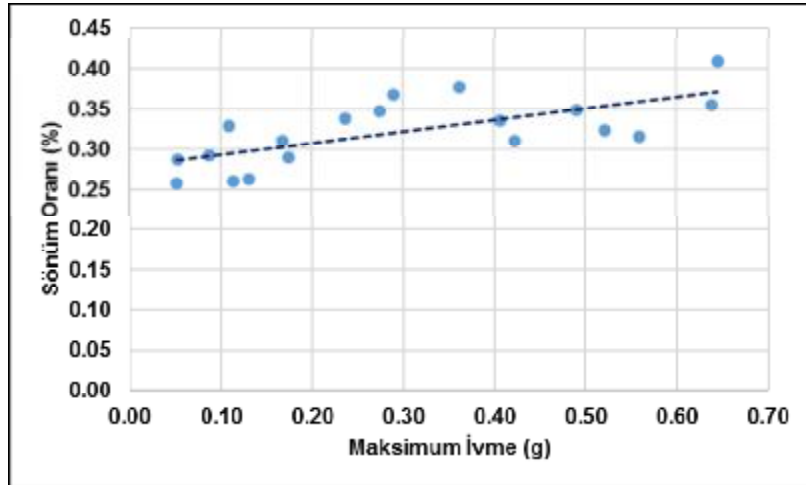
$$z = 0.1448g + 0.2019 \quad (4.8.)$$

En düşük maksimum ivme değeri 0.1189g ve buna karşılık gelen sönüm oranı %0.219; en yüksek maksimum ivme değeri 0.7640g ve buna karşılık gelen sönüm oranı %0.313;

$$\text{Deneyler arasındaki sönüm oranı değişimi} = \frac{0.313}{0.219} - 1 \cdot 100 = \%43;$$

Özetle, 4 kg kütle etkisi altındaki 3 nolu yapı üzerinde maksimum ivme genliği 0.1189g ile 0.7640g arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğine bağlı olarak yaklaşık %43 civarında değiştiği belirlenmiştir.

c) 6 kg kütle etkisi altındaki üç (3) nolu yapı üzerinde yapılan hesaplamalar



Şekil 4.13 6 kg kütle etkisi altındaki 3 nolu yapıya ait deney sonuçları

Eklenen doğrusal eğilim çizgisi ile ilgili eşitlik Denklem 4.9'da verilmiştir.

$$z = 0.1427g + 0.2790 \quad (4.9.)$$

En düşük maksimum ivme değeri 0.0525g ve buna karşılık gelen sönüm oranı %0.286; en yüksek maksimum ivme değeri 0.6452g ve buna karşılık gelen sönüm oranı %0.371;

$$\text{Deneyler arasındaki sönüm oranı değişimi} = \frac{0.371}{0.286} - 1 \div 1 * 100 = \%30 ;$$

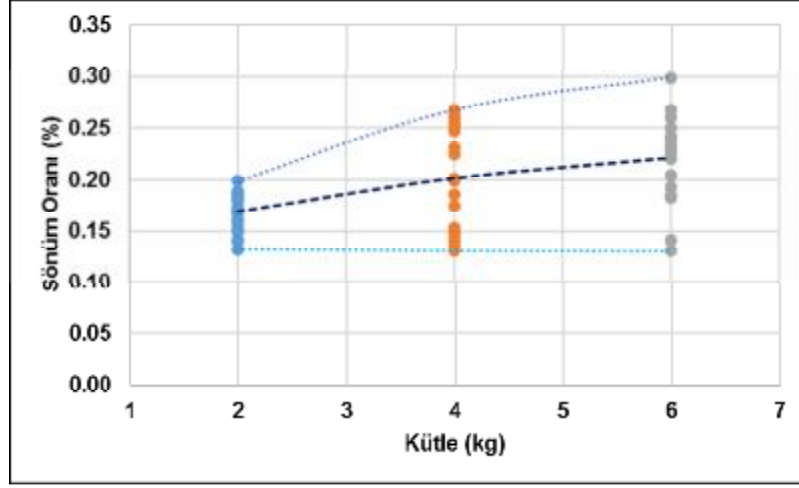
6 kg kütle etkisi altındaki 3 nolu yapı üzerinde 0.0525g ile 0.6452g arasında serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğine bağlı olarak yaklaşık %30 civarında değiştiği belirlenmiştir.

4.1.2. Kütle Miktarının Sönüm Oranına Etkisi

Yapılan serbest titreşim deneyleri sonucunda ikinci olarak, yapıya eklenen kütle miktarının yapı sönüm oranını nasıl etkilediği incelenmiştir. Yapılara sırasıyla 2, 4 ve 6 kg kütle yerleştirilmiş olup her aşamada yaklaşık 15 ile 20 arasında deney yapılmıştır. Deney sonuçlarının ortalaması alınarak her yapı için kütle-sönüm oranı grafikleri elde edilmiştir. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre yapılara eklenen kütle miktarındaki artışın yapı sönüm oranını nasıl etkilediği araştırılmıştır.

4.1.2.1. Bir (1) Nolu Yapıda Kütle Miktarının Sönüm Oranına Etkisi

Yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğinden bağımsız olarak, kütle-sönüm oranı grafiği Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Bir (1) nolu yapıda sönüm oranının yapı kütlesi ile değişimi

Şekil 4.14'te görüldüğü üzere her yükleme aşamasında yaklaşık 15 ile 20 arasında deney yapılmış ve bu deneylerden elde edilen sönüm oranları ile sönüm oranı-kütle grafiği elde edilmiştir. Daha sonra her aşama için elde edilen sönüm oranlarının ortalaması alınarak bu noktalar birleştirilmiş ve böylece kütle miktarındaki artışın yapı sönüm oranını nasıl etkilediği daha belirgin hale getirilmiştir.

Bu sonuçlara göre, farklı kütle değerleri için ortalama sönüm oranları ile bu sönüm oranlarının 2 kg kütleli durumdaki ortalama sönüm oranına göre yüzde artış miktarları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

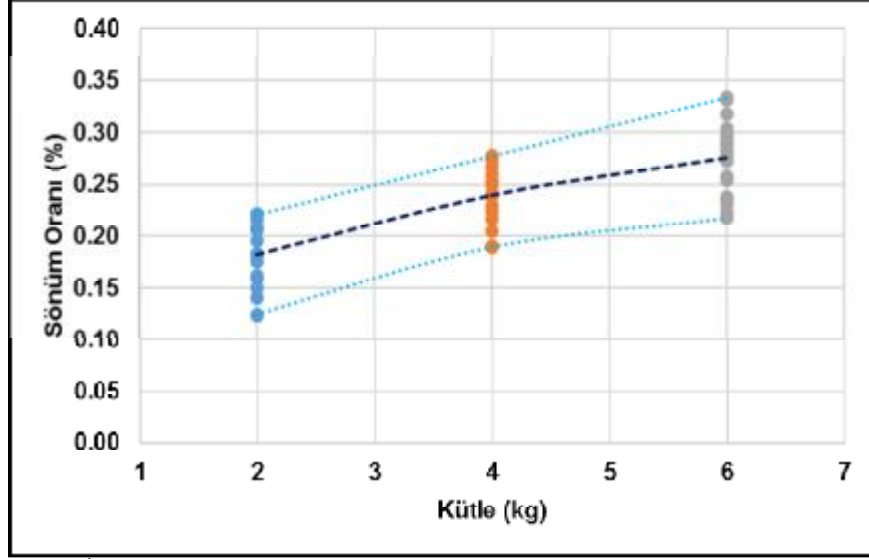
Çizelge 4.5. Bir (1) nolu yapıya ait deney sonuçları

Kütle Miktarı (kg)	Ortalama Sönüm Oranı (%)	Sönüm Oranındaki Artış (%)
2	0.169	0
4	0.201	19
6	0.221	31

Şekil 4.14 ve Çizelge 4.5'ten de anlaşılacağı gibi, kütle miktarındaki artış yapının sönüm oranında da artışa sebep olmaktadır.

4.1.2.2. İki (2) Nolu Yapıda Kütle Miktarının Sönüm Oranına Etkisi

1 nolu yapıda olduğu gibi 2 nolu yapı için de yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğinden bağımsız olarak, kütle-sönüm oranı grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.15. İki (2) nolu yapıda sönüm oranının yapı kütlesi ile değişimi

Şekil 4.15'te görüldüğü üzere her yükleme aşamasında yaklaşık 15 ile 20 arasında deney yapılmış ve bu deneylerden elde edilen sönüm oranları ile sönüm oranı-kütle grafiği elde edilmiştir. Daha sonra her aşama için elde edilen sönüm oranlarının ortalaması alınarak bu noktalar birleştirilmiş ve böylece kütle miktarındaki artışın yapı sönüm oranını nasıl etkilediği daha belirgin hale getirilmiştir.

2 nolu yapının 2, 4 ve 6 kg kütle etkileri altında gerçekleştirilen deneylerinin sonuçlarına sonuçlara göre, farklı kütle değerleri için ortalama sönüm oranları ile bu sönüm oranlarının 2 kg kütleli durumdaki ortalama sönüm oranına göre yüzde artış miktarları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

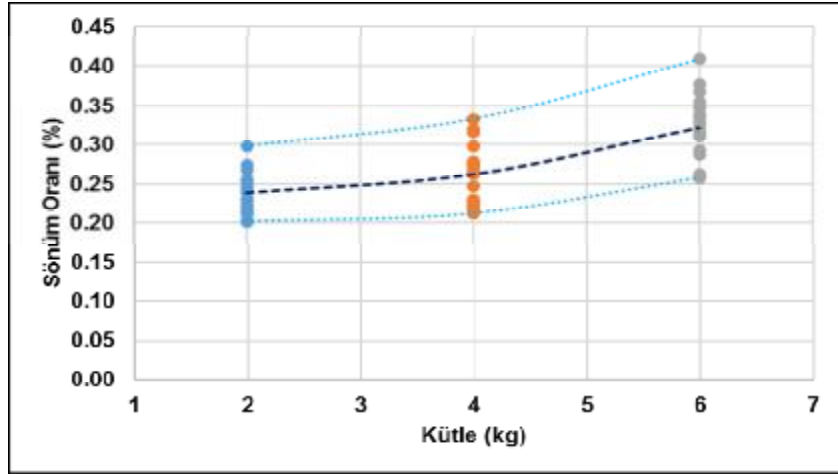
Çizelge 4.6. İki (2) nolu yapıya ait deney sonuçları

Kütle Miktarı (kg)	Ortalama Sönüm Oranı (%)	Sönüm Oranındaki Artış (%)
2	0.182	0
4	0.240	32
6	0.276	52

1 nolu yapıdan elde edilen sonuçlarla uyumlu olarak 2 nolu yapıda da kütle-sönüm oranı arasında benzer ilişki elde edilmiştir. Şekil 4.15 ve Çizelge 4.6'dan da anlaşılacağı gibi, kütle miktarındaki artış yapının sönüm oranında da artışa sebep olmaktadır.

4.1.2.3. Üç (3) Nolu Yapıda Kütle Miktarının Sönüm Oranına Etkisi

Diğer iki yapıda olduğu gibi 3 nolu yapı için de yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğinden bağımsız olarak, kütle-sönüm oranı grafiği Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Üç (3) nolu yapıda sönüm oranının yapı kütlesi ile değişimi

Şekil 4.16'da görüldüğü üzere her yükleme aşamasında yaklaşık 15 ile 20 arasında deney yapılmış ve bu deneylerden elde edilen sönüm oranları ile sönüm

oranı-kütle grafiği elde edilmiştir. Daha sonra her aşama için elde edilen sönüm oranlarının ortalaması alınarak bu noktalar birleştirilmiş ve böylece kütle miktarındaki artışın yapı sönüm oranını nasıl etkilediği daha belirgin hale getirilmiştir.

3 nolu yapının 2, 4 ve 6 kg kütle etkileri altında gerçekleştirilen deneylerinin sonuçlarına sonuçlara göre, farklı kütle değerleri için ortalama sönüm oranları ile bu sönüm oranlarının 2 kg kütle etkisindeki ortalama sönüm oranına göre yüzde artış miktarları Çizelge 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Üç (3) nolu yapıya ait deney sonuçları

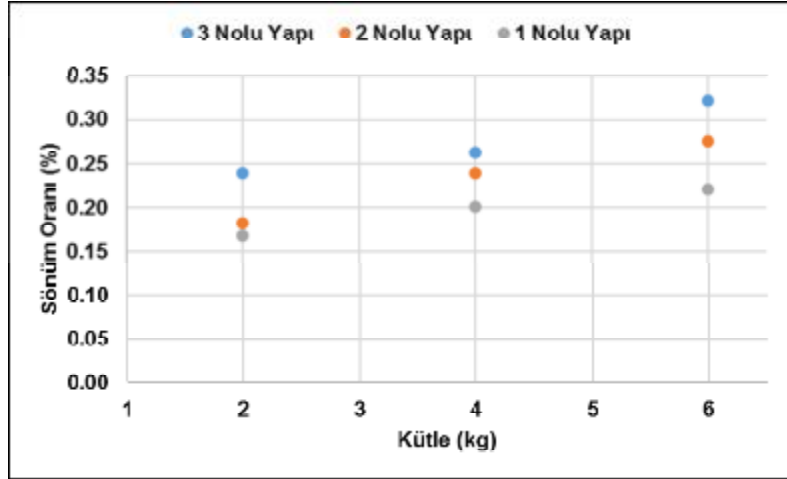
Kütle Miktarı (kg)	Ortalama Sönüm Oranı (%)	Sönüm Oranındaki Artış (%)
2	0.239	0
4	0.263	10
6	0.322	35

Diğer iki yapıdan elde edilen sonuçlarla uyumlu olarak 3 nolu yapıda da kütle-sönüm oranı arasında benzer ilişki elde edilmiştir. Şekil 4.16 ve Çizelge 4.7’den de anlaşılacağı gibi yapıda meydana gelen kütle miktarındaki artış yapının sönüm oranında da artışa sebep olmaktadır.

4.1.3. Rijitlik Değişiminin Sönüm Oranına Etkisi

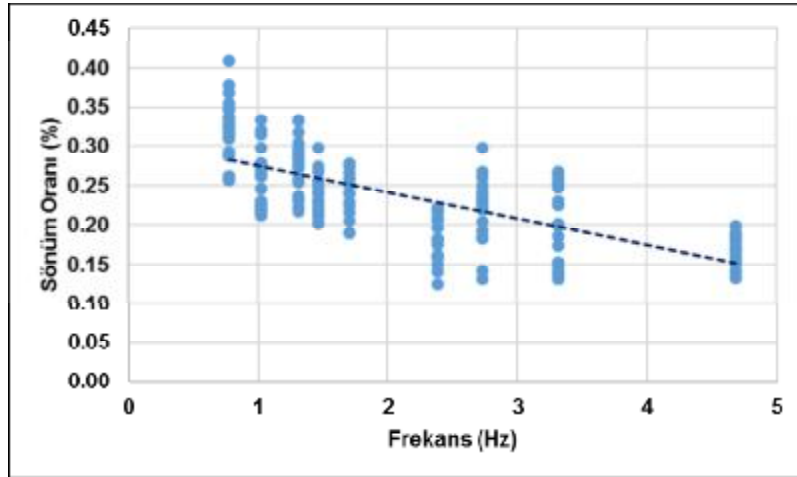
Yapılan serbest titreşim deneyleri sonucunda üçüncü olarak, yapı rijitliğinin sönüm oranını nasıl etkilediği de incelenmiştir. Şekil 4.17’de değişik kütle miktarları altında her üç yapı için elde edilen ortalama sönüm oranları topluca görülmektedir. Şeklin incelenmesinden, yanal rijitliği en düşük olan 3 nolu yapının, üzerindeki kütle miktarından bağımsız olarak, tüm koşullarda daha fazla sönüm oranına sahip olduğu gözlemlenmektedir. En yüksek yanal rijitliğe sahip olan 1 nolu yapının ise daima en az sönüm oranına sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu

sonuç, yapıdaki sönüm oranının rijitlikle ters orantılı olarak değiştiğini göstermektedir.



Şekil 4.17. Rijitlik değişiminin sönüm oranına etkisi

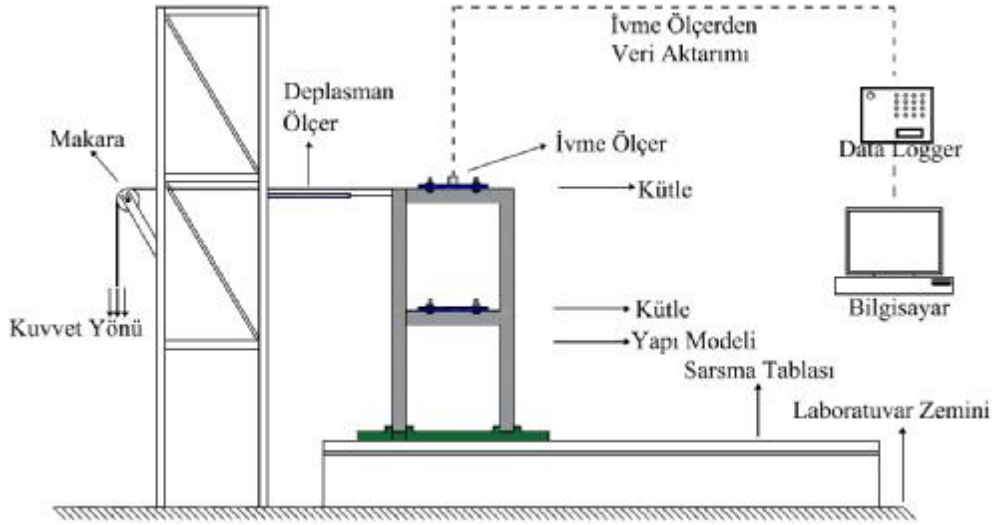
Şekil 4.18’de, sönüm oranının, yapı frekansı ile değişimi görülmektedir. Grafiğin incelenmesinden görüleceği gibi, yapının doğal titreşim frekansı arttıkça, sönüm oranı azalma eğilimi göstermektedir.



Şekil 4.18. Yapı frekansının sönüm oranına etkisi

4.2. Çok Serbestlik Dereceli Yapı Deneyleri

Şekil 4.19’da gösterilen sistem bileşenleri ve deney düzeneğinde, yapılarda her kata sırasıyla 1, 2 ve 3’er adet kütle yerleştirilmiş ve her aşamada yapılara Şekil 4.19’da gösterilen yönde farklı değerlerde kuvvetler uygulanarak, yapıya farklı ön deplasmanlar verilmesi sağlanmıştır. Bu farklı ön deplasman ve kütle etkisi altında yapıların serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilerek, deneyler sonucunda yapıların ivme-zaman ve deplasman-zaman grafikleri elde edilmiştir. Elde edilen grafikler üzerinde yapılan analizler sonucunda yapıların sönüm oranının, maksimum tepe deplasmanı, kütle, malzeme ve rijitlik değişiminden nasıl etkilendiği incelenmiştir. Deneylerin doğruluğunu ve deney sonrasında yapıda herhangi bir değişikliği meydana gelmediğini kontrol etmek amacıyla her deneyden sonra elde edilen ivme-zaman grafiklerinin fourier dönüşümleri kullanılarak yapıya ait doğal frekans değerleri belirlenmiştir.



Şekil 4.19. Sistem bileşenleri ve deney düzeneği

Alüminyum ve çelikten imal edilen modellere ait bilgiler Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Alüminyum yapılara ait geometrik özellikler

Yapı	Kolon-Kiriş Kesit boyutları (mm)	Açıklıklar (cm)		Kat sayısı	Kat Yükseklikleri (cm)	
		X yönünde	Y yönünde		Zemin	Diğer
A1	17x25	35	35	2	31	35
A2	20x40	35	35	2	31	35
A3	17x25	35	35	4	31	35
A4	20x40	35	35	4	31	35

Çizelge 4.9. Çelik yapılara ait geometrik özellikler

Yapı	Kolon-Kiriş Kesit boyutları (mm)	Açıklıklar (cm)		Kat sayısı	Kat Yükseklikleri (cm)	
		X yönünde	Y yönünde		Zemin	Diğer
Ç1	20x20	35	35	2	31	35
Ç2	20x40	35	35	2	31	35
Ç3	20x20	35	35	4	31	35
Ç4	20x40	35	35	4	31	35

4.2.1 Maksimum Deplasmanın Sönüm Oranına Etkisi

Bu bölümde serbest titreşim deneyi yapılan çok serbestlik dereceli yapılarda, deney esnasında meydana gelen maksimum deplasmanın yapı sönüm oranı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneyler çok serbestlik dereceli yapı modellerinde tanıtılan yapılar için farklı kütle etkileri altında tekrarlanmıştır.

4.2.1.1. A1 Nolu Yapı Deneyleri

Alüminyum 2 katlı, kolon-kiriş kesit boyutları 17 mm x25 mm olan yapının deneylerinde sistemde hasar meydana gelmeyecek şekilde yapıya farklı ön deplasmanlar verilerek, yapının serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her biri 2469 gr olan kütlelerden yapının her katına sırasıyla 1, 2 ve 3'er adet kütle yerleştirilerek, farklı deplasman genlikleri oluşturulacak şekilde deneyler tekrarlanmıştır. Model detayları Çizelge 4.10'da görülmektedir.

Çizelge 4.10 A1 yapısı model detayları

Model No	Kat Kütle Sayısı (adet)	Kat kütle miktarı (kg)
A1-1	0	0
A1-2	1	2.4
A1-3	2	4.8
A1-4	3	7.2

Deney sonuçlarından elde edilen verilerle yapıya ait sönüm oranları ve doğal titreşim frekansları hesaplanmıştır. Doğal titreşim frekansı, Bölüm 3.3'te sönüm oranı ise Bölüm 3.4.2'de belirtilen yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır.

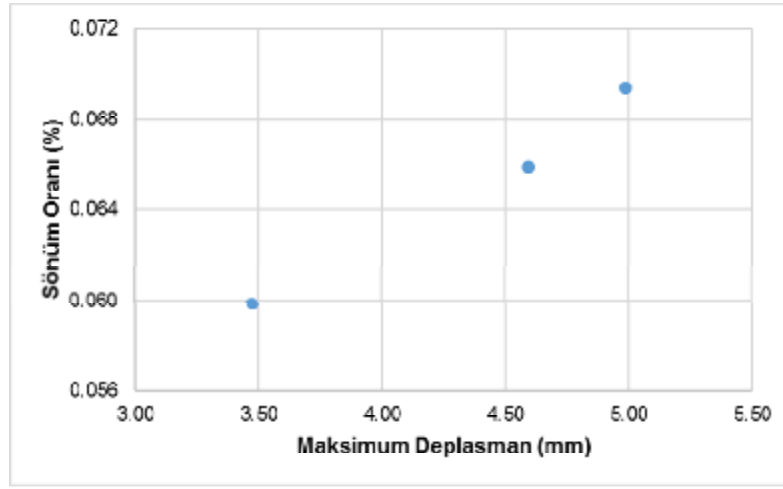
a) A1-1 nolu model yapı deneyleri

A1-1 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.11'de özetlenmektedir.

Çizelge 4.11. A1-1 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	3.472	0.0600	19.682
2	4.593	0.0658	19.682
3	4.987	0.0690	19.682

Çizelge 4.11 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 19.682 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Yapının doğal titreşim frekansından bağımsız olarak, yapıya uygulanan maksimum deplasman değeri ile sönüm oranı arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için Çizelge 4.11’de belirtilen değerlerin dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.20. A1-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A1-1 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 3.472 mm ile 4.987 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %15 civarında değiştiği belirlenmiştir.

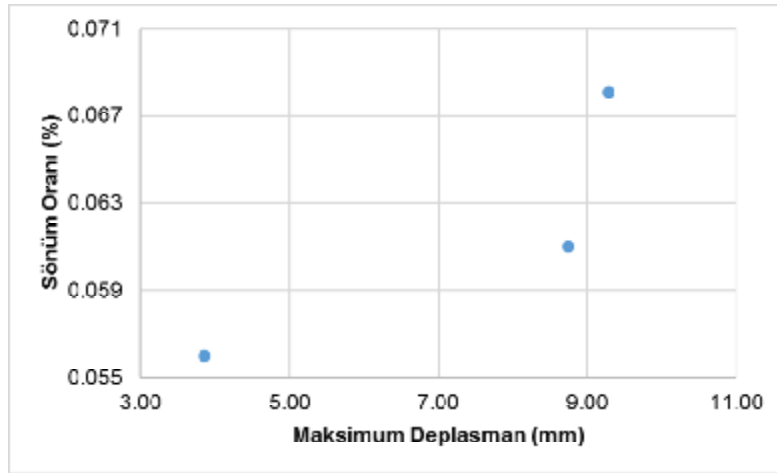
b) A1-2 nolu model yapı deneyleri

A1-2 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.12’de özetlenmektedir.

Çizelge 4.12. A1-2 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	3.856	0.056	9.375
2	8.742	0.061	9.375
3	9.284	0.068	9.375

Çizelge 4.12 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 9.375 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. A1-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.21’de görülmektedir.



Şekil 4.21. A1-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A1-2 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 3.856 mm ile 9.284 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %21 civarında değiştiği belirlenmiştir.

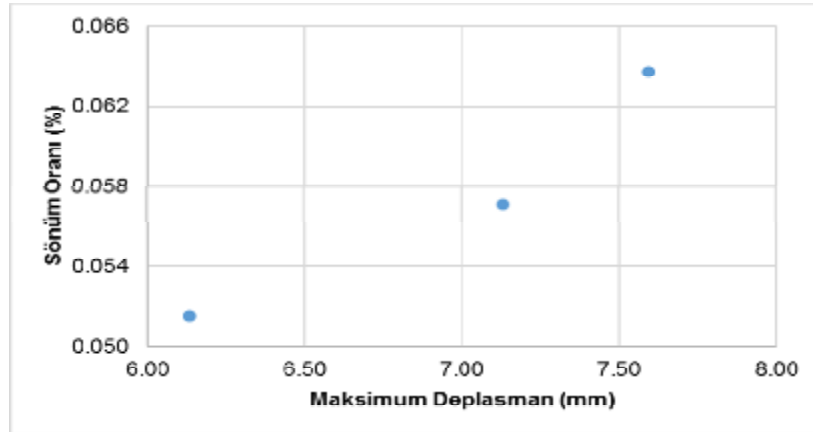
c) A1-3 nolu model yapı deneyleri

A1-3 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.13'te özetlenmektedir.

Çizelge 4.13. A1-3 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	6.133	0.052	7.581
2	7.134	0.057	7.581
3	7.594	0.064	7.581

Çizelge 4.13 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 7.581 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. A1-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.22'de görülmektedir.



Şekil 4.22. A1-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A1-3 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 6.133 mm ile 7.594 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında

yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %23 civarında değiştiği belirlenmiştir.

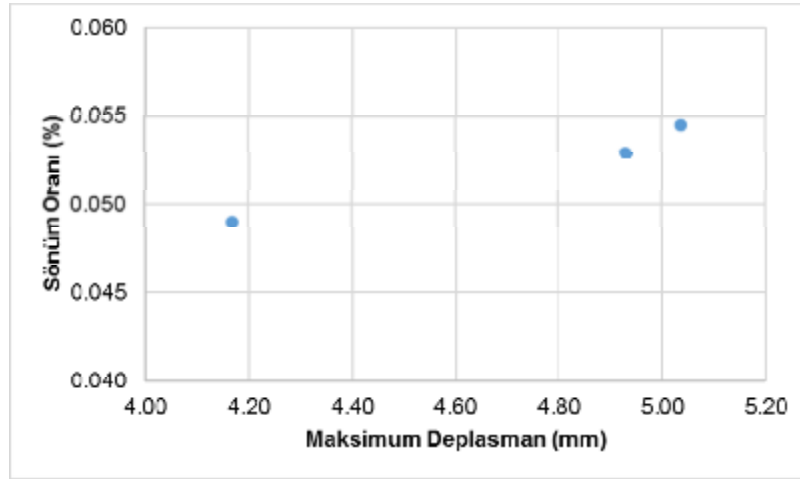
d) A1-4 nolu model yapı deneyleri

A1-4 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.13'te özetlenmektedir.

Çizelge 4.14. A1-4 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	4.170	0.049	6.764
2	4.929	0.053	6.764
3	5.037	0.055	6.764

Çizelge 4.14 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 6.764 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. A1-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.23'te görülmektedir.



Şekil 4.23. A1-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A1-4 nolu model yapı üzerinde yapılan deneylerde, maksimum deplasman değeri 4.170 mm ile 5.037 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %11 civarında değiştiği belirlenmiştir.

4.2.1.2. A2 Nolu Yapının Deneyleri

Alüminyum 2 katlı, kolon-kiriş kesit boyutları 20 mm x40 mm olan yapının deneylerinde sistemde hasar meydana gelmeyecek şekilde yapıya farklı ön deplasmanlar verilerek, yapının serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her biri 2469 gr olan kütlelerden yapının her katına sırasıyla 1, 2 ve 3'er adet kütle yerleştirilerek, farklı deplasman genlikleri oluşturulacak şekilde deneyler tekrarlanmıştır. Model detayları Çizelge 4.15'te görülmektedir.

Çizelge 4.15. A2 yapısı model detayları

Model No	Kat Kütle Sayısı (adet)	Kat kütle miktarı (kg)
A2-1	0	0
A2-2	1	2.4
A2-3	2	4.8
A2-4	3	7.2

Deney sonuçlarından elde edilen verilerle yapıya ait sönüm oranları ve doğal titreşim frekansları hesaplanmıştır. Doğal titreşim frekansı Bölüm 3.3'te sönüm oranı ise Bölüm 3.4.2'de belirtilen yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır.

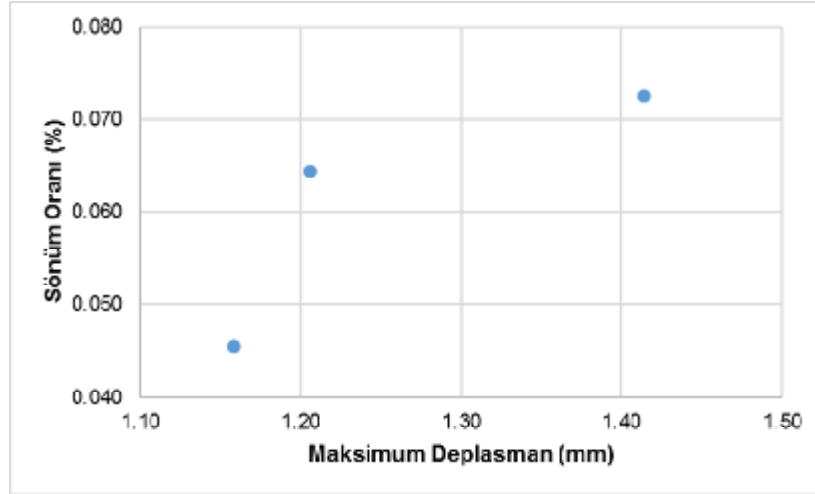
a) A2-1 nolu model yapı deneyleri

A2-1 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.16'de özetlenmektedir.

Çizelge 4.16. A2-1 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	1.158	0.046	27.269
2	1.206	0.064	27.269
3	1.414	0.073	27.269

Çizelge 4.16 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 27.269 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Yapının doğal titreşim frekansından bağımsız olarak, yapıya uygulanan maksimum deplasman değeri ile sönüm oranı arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için Çizelge 4.16’da belirtilen değerlerin dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.24).



Şekil 4.24. A2-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A2-1 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 1.158 mm ile 1.414 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında

yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %58 civarında değiştiği belirlenmiştir.

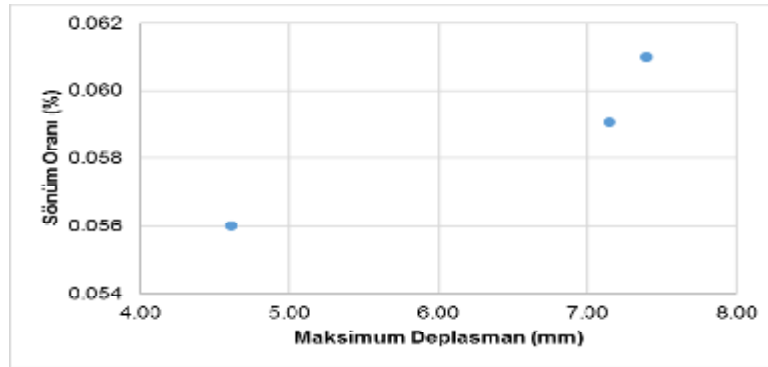
b) A2-2 nolu model yapı deneyleri

A2-2 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.17’de özetlenmektedir.

Çizelge 4.17. A2-2 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	4.610	0.056	13.719
2	7.146	0.059	13.719
3	7.392	0.061	13.719

Çizelge 4.17 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 13.719 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. A2-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.25’de görülmektedir.



Şekil 4.25. A2-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A2-2 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 4.610 mm ile 7.392 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri

gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %9 civarında değiştiği belirlenmiştir.

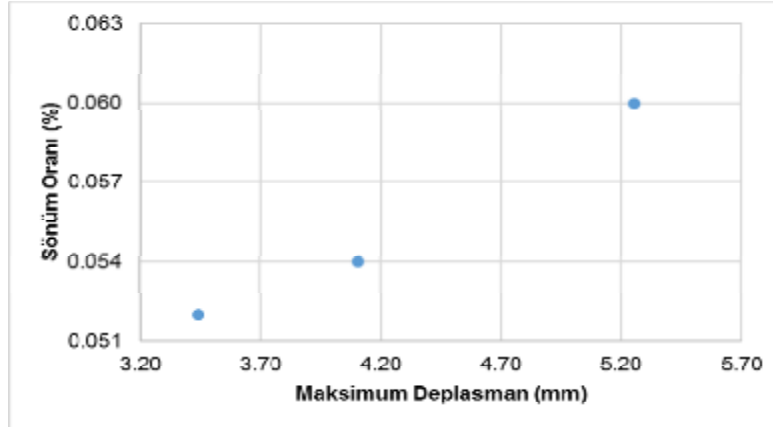
c) A2-3 nolu model yapı deneyleri

A2-3 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.18’de özetlenmektedir.

Çizelge 4.18. A2-3 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	3.440	0.052	12.048
2	4.108	0.054	12.048
3	5.256	0.060	12.048

Çizelge 4.18 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 12.048 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. A2-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.26’da görülmektedir.



Şekil 4.26. A2-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A2-3 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 3.440 mm ile 5.256 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %15 civarında değiştiği belirlenmiştir.

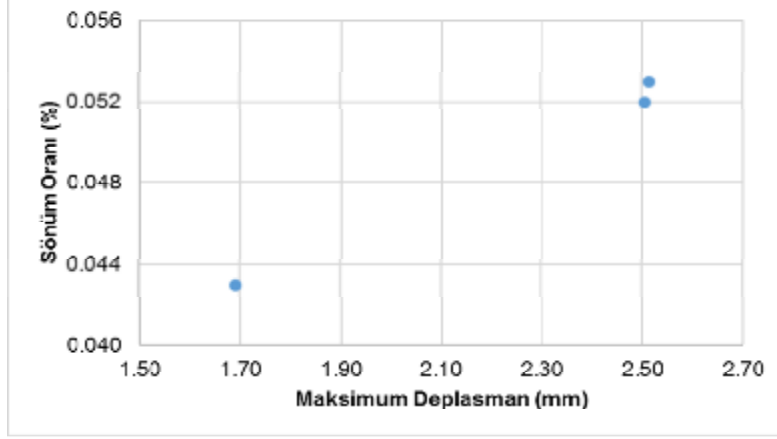
d) A2-4 nolu model yapı deneyleri

A2-4 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.19’da özetlenmektedir.

Çizelge 4.19. A2-4 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	1.692	0.043	10.265
2	2.507	0.052	10.265
3	2.515	0.053	10.265

Çizelge 4.19 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 10.265 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. A2-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.27’de görülmektedir.



Şekil 4.27. A2-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A2-4 nolu model yapı üzerinde yapılan deneylerde, maksimum deplasman değeri 1.692 mm ile 2.515 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %23 civarında değiştiği belirlenmiştir.

4.2.1.3. A3 Nolu Yapının Deneyleri

Alüminyum 4 katlı, kolon-kiriş kesit boyutları 17 mm x25 mm olan yapının deneylerinde sistemde hasar meydana gelmeyecek şekilde yapıya farklı ön deplasmanlar verilerek, yapının serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her biri 2469 gr olan kütlelerden yapının her katına sırasıyla 1, 2 ve 3er adet kütle yerleştirilerek, farklı deplasman genlikleri oluşturulacak şekilde deneyler tekrarlanmıştır. Model detayları Çizelge 4.20’de görülmektedir.

Çizelge 4.20. A3 yapısı model detayları

Model No	Kat Kütle Sayısı (adet)	Kat kütle miktarı (kg)
A3-1	0	0
A3-2	1	2.4
A3-3	2	4.8
A3-4	3	7.2

Deney sonuçlarından elde edilen verilerle yapıya ait sönüm oranları ve doğal titreşim frekansları hesaplanmıştır. Doğal titreşim frekansı Bölüm 3.3'te sönüm oranı ise Bölüm 3.4.2'de belirtilen yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır.

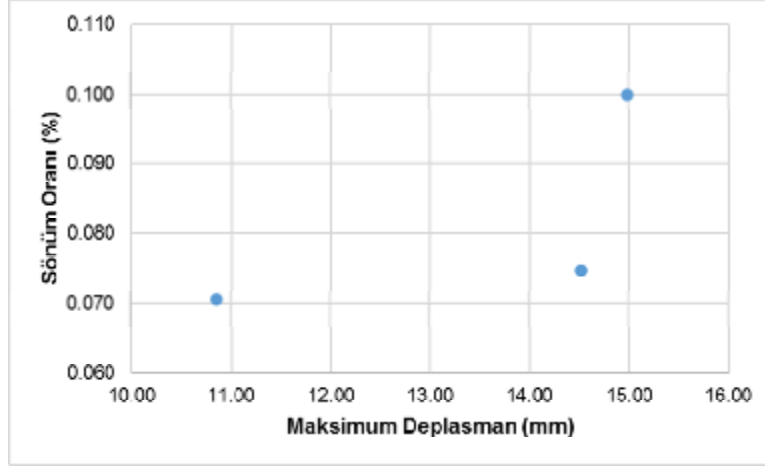
a) A3-1 nolu model yapı deneyleri

A3-1 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.21'de özetlenmektedir.

Çizelge 4.21. A3-1 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	10.864	0.071	6.525
2	14.515	0.075	6.525
3	14.984	0.100	6.525

Çizelge 4.21 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 6.525 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Yapının doğal titreşim frekansından bağımsız olarak, yapıya uygulanan maksimum deplasman değeri ile sönüm oranı arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için Çizelge 4.21'de belirtilen değerlerin dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.28).



Şekil 4.28. A3-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A3-1 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 10.864 mm ile 11.984 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %40 civarında değiştiği belirlenmiştir.

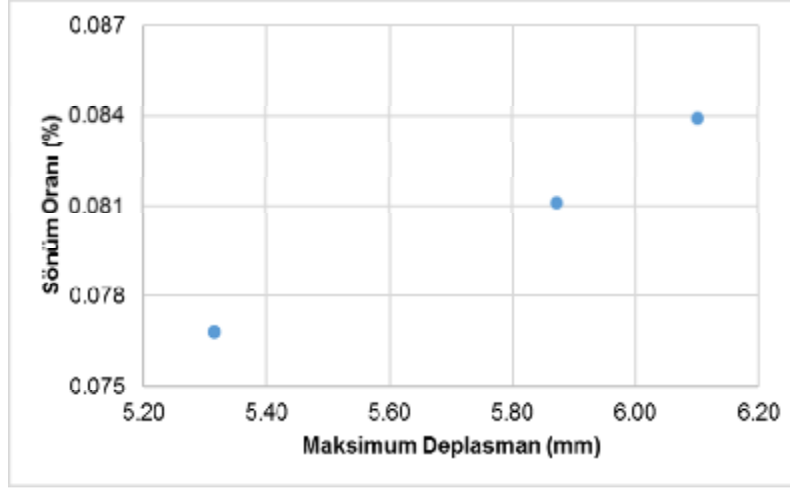
b) A3-2 nolu model yapı deneyleri

A3-2 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.22’de özetlenmektedir.

Çizelge 4.22. A3-2 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	5.316	0.077	3.422
2	5.874	0.081	3.422
3	6.102	0.084	3.422

Çizelge 4.22 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 3.422 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. A3-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.29’da görülmektedir.



Şekil 4.29. A3-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A3-2 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 5.316 mm ile 6.102 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %9 civarında değiştiği belirlenmiştir.

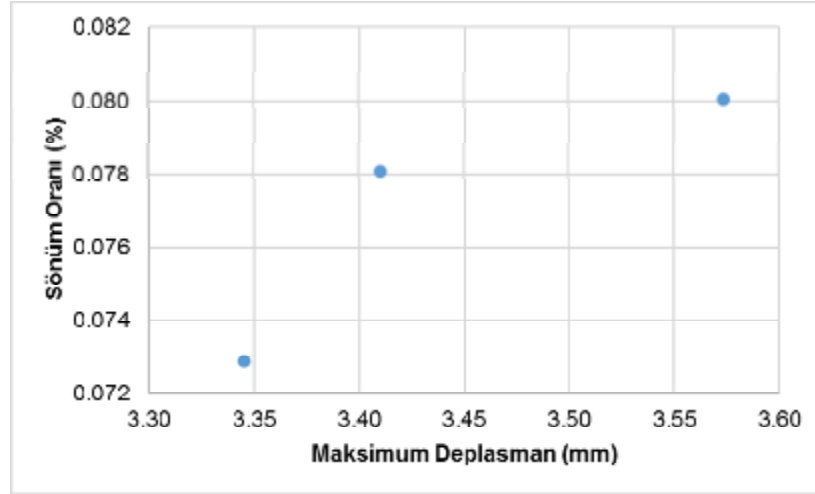
c) A3-3 nolu model yapı deneyleri

A3-3 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.23’te özetlenmektedir.

Çizelge 4.23. A3-3 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	3.345	0.073	2.644
2	3.410	0.078	2.644
3	3.574	0.080	2.644

Çizelge 4.23 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 2.644 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. A3-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.30'da görülmektedir.



Şekil 4.30. A3-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A3-3 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 3.345 mm ile 3.574 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %9 civarında değiştiği belirlenmiştir.

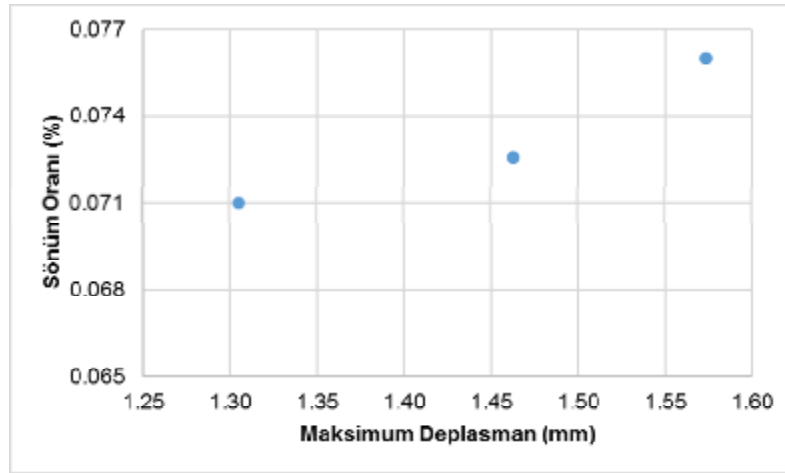
d) A3-4 nolu model yapı deneyleri

A3-4 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.24'te özetlenmektedir.

Çizelge 4.24. A3-4 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	1.305	0.071	2.438
2	1.462	0.073	2.438
3	1.573	0.076	2.438

Çizelge 4.24 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 2.438 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. A3-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.31'de görülmektedir.



Şekil 4.31. A3-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A3-4 nolu model yapı üzerinde yapılan deneylerde, maksimum deplasman değeri 1.305 mm ile 1.573 mm arasında değişen serbest titreşim

deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %7 civarında değiştiği belirlenmiştir.

4.2.1.4. A4 Nolu Yapının Deneyleri

Alüminyum 4 katlı, kolon-kiriş kesit boyutları 20 mm x40 mm olan yapının deneylerinde sistemde hasar meydana gelmeyecek şekilde yapıya farklı ön deplasmanlar verilerek, yapının serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her biri 2469 gr olan kütlelerden yapının her katına sırasıyla 1, 2 ve 3'er adet kütle yerleştirilerek, farklı deplasman genlikleri oluşturulacak şekilde deneyler tekrarlanmıştır. Model detayları Çizelge 4.25'te görülmektedir.

Çizelge 4.25. A4 yapısı model detayları

Model No	Kat Kütle Sayısı (adet)	Kat kütle miktarı (kg)
A4-1	0	0
A4-2	1	2.4
A4-3	2	4.8
A4-4	3	7.2

Deney sonuçlarından elde edilen verilerle yapıya ait sönüm oranları ve doğal titreşim frekansları hesaplanmıştır. Doğal titreşim frekansı Bölüm 3.3'te sönüm oranı ise Bölüm 3.4.2'de belirtilen yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır.

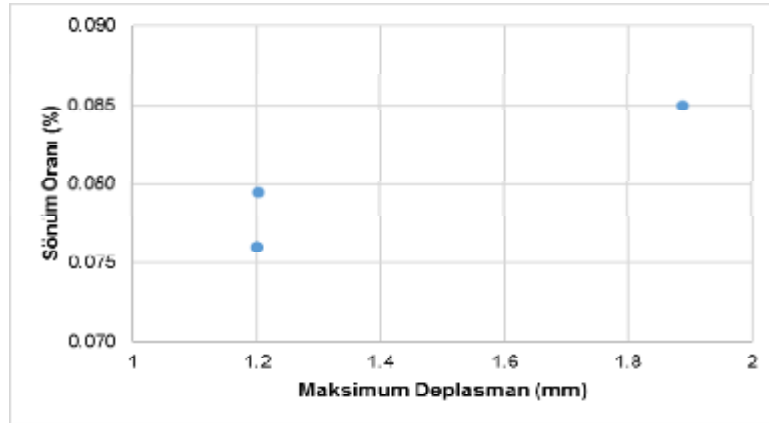
a) A4-1 nolu model yapı deneyleri

A4-1 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.26'da özetlenmektedir.

Çizelge 4.26. A4-1 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	1.201	0.076	9.295
2	1.204	0.080	9.295
3	1.889	0.085	9.295

Çizelge 4.26 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 9.295 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Yapının doğal titreşim frekansından bağımsız olarak, yapıya uygulanan maksimum deplasman değeri ile sönüm oranı arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için Çizelge 4.26’da belirtilen değerlerin dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.32).



Şekil 4.32. A4-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A4-1 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 1.201 mm ile 1.899 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %12 civarında değiştiği belirlenmiştir.

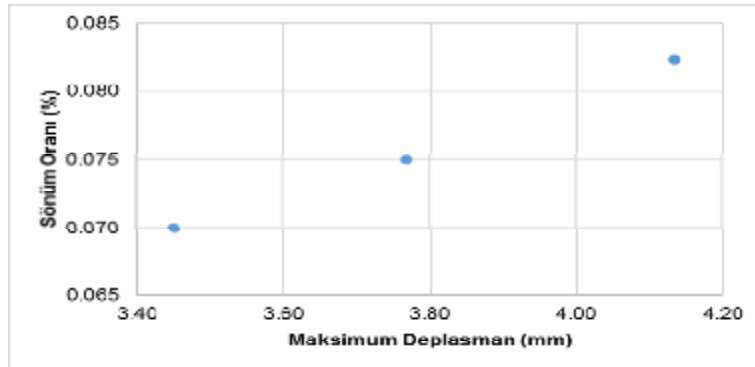
b) A4-2 nolu model yapı deneyleri

A4-2 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.27’de özetlenmektedir.

Çizelge 4.27. A4-2 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	3.450	0.070	7.194
2	3.769	0.075	7.194
3	4.134	0.082	7.194

Çizelge 4.27 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 7.194 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. A4-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.33’te görülmektedir.



Şekil 4.33. A4-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A4-2 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 3.450 mm ile 4.134 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %17 civarında değiştiği belirlenmiştir.

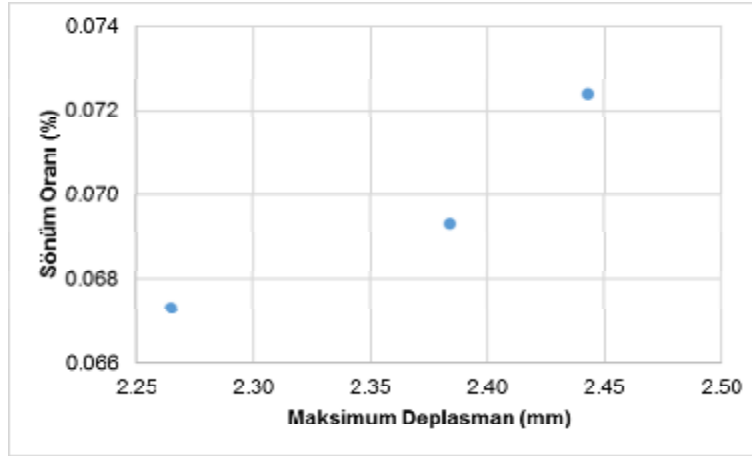
c) A4-3 nolu model yapı deneyleri

A4-3 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.28’de özetlenmektedir.

Çizelge 4.28. A4-3 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	2.265	0.067	5.761
2	2.384	0.070	5.761
3	2.443	0.072	5.761

Çizelge 4.28 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 5.761 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. A4-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.34’te de görülmektedir.



Şekil 4.34. A4-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A4-3 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 2.265 mm ile 2.443 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri

gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %7 civarında değiştiği belirlenmiştir.

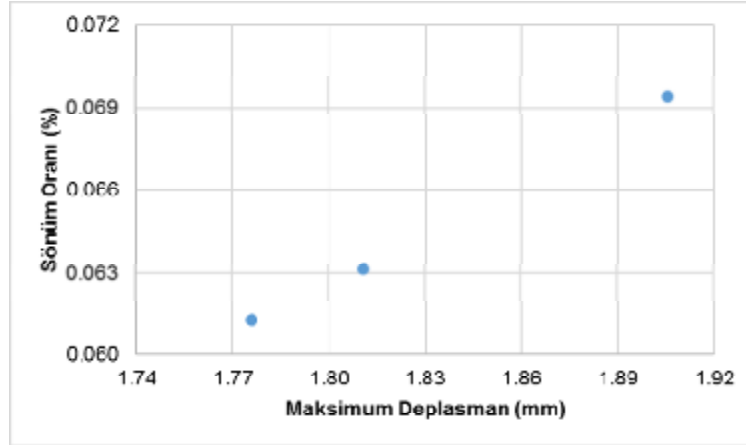
d) A4-4 nolu model yapı deneyleri

A4-4 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.29’da özetlenmektedir.

Çizelge 4.29. A4-4 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	1.776	0.061	4.915
2	1.811	0.063	4.915
3	1.906	0.069	4.915

Çizelge 4.29 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 4.915 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. A4-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.35’te görülmektedir.



Şekil 4.35. A4-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, A4-4 nolu model yapı üzerinde yapılan deneylerde, maksimum deplasman değeri 1.776 mm ile 1.906 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %13 civarında değiştiği belirlenmiştir.

4.2.1.5. Ç1 Nolu Yapının Deneyleri

Çelik 2 katlı, kolon-kiriş kesit boyutları 20 mmx20 mm olan yapının deneylerinde sistemde hasar meydana gelmeyecek şekilde yapıya farklı ön deplasmanlar verilerek, yapının serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her biri 2469 gr olan kütlelerden yapının her katına sırasıyla 1, 2 ve 3'er adet kütle yerleştirilerek, farklı deplasman genlikleri oluşturulacak şekilde deneyler tekrarlanmıştır. Model detayları Çizelge 4.30'da görülmektedir.

Çizelge 4.30. Ç1 yapısı model detayları

Model No	Kat Kütle Sayısı (adet)	Kat kütle miktarı (kg)
Ç1-1	0	0
Ç1-2	1	2.4
Ç1-3	2	4.8
Ç1-4	3	7.2

Deney sonuçlarından elde edilen verilerle yapıya ait sönüm oranları ve doğal titreşim frekansları hesaplanmıştır. Doğal titreşim frekansı Bölüm 3.3'te sönüm oranı ise Bölüm 3.4.2'de belirtilen yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır.

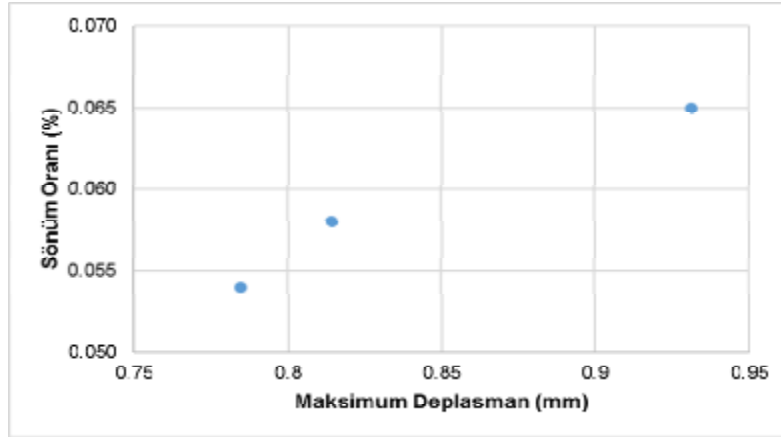
a) Ç1-1 nolu model yapı deneyleri

Ç1-1 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.31'de özetlenmektedir.

Çizelge 4.31. Ç1-1 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	0.785	0.054	35.332
2	0.815	0.058	35.332
3	0.931	0.065	35.332

Çizelge 4.31 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 35.332 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Yapının doğal titreşim frekansından bağımsız olarak, yapıya uygulanan maksimum deplasman değeri ile sönüm oranı arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için Çizelge 4.31’de belirtilen değerlerin dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.36).



Şekil 4.36. Ç1-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç1-1 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 0.785 mm ile 0.931 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %20 civarında değiştiği belirlenmiştir.

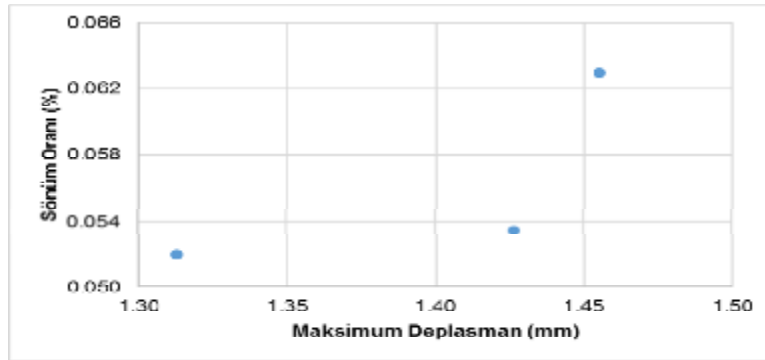
b) Ç1-2 nolu model yapı deneyleri

Ç1-2 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.32’de özetlenmektedir.

Çizelge 4.32. Ç1-2 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	1.313	0.052	20.929
2	1.427	0.054	20.929
3	1.455	0.063	20.929

Çizelge 4.32 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 20.929 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Ç1-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.37’de görülmektedir.



Şekil 4.37. Ç1-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç1-2 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 1.313 mm ile 1.455 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %21 civarında değiştiği belirlenmiştir.

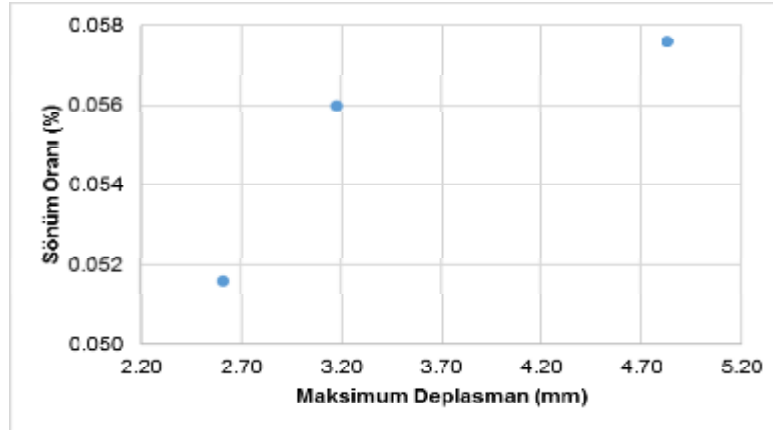
c) Ç1-3 nolu model yapı deneyleri

Ç1-3 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.33'te özetlenmektedir.

Çizelge 4.33. Ç1-3 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	2.612	0.052	16.791
2	3.180	0.056	16.791
3	4.828	0.058	16.791

Çizelge 4.33 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 16.791 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Ç1-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.38'de görülmektedir.



Şekil 4.38. Ç1-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç1-3 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 2.612 mm ile 4.828 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen

maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %12 civarında değiştiği belirlenmiştir.

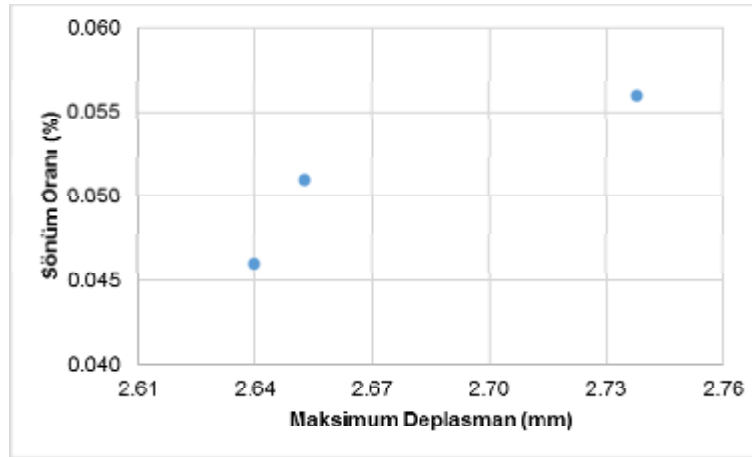
d) Ç1-4 nolu model yapı deneyleri

Ç1-4 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.34'te özetlenmektedir.

Çizelge 4.34. Ç1-4 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	2.640	0.046	14.085
2	2.653	0.051	14.085
3	2.738	0.056	14.085

Çizelge 4.34 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 14.085 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Ç1-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.39'da görülmektedir.



Şekil 4.39. Ç1-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç1-4 nolu model yapı üzerinde yapılan deneylerde, maksimum deplasman değeri 2.640 mm ile 2.738 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %22 civarında değiştiği belirlenmiştir.

4.2.1.6. Ç2 Nolu Yapının Deneyleri

Çelik 2 katlı, kolon-kiriş kesit boyutları 20 mmx40 mm olan yapının deneylerinde sistemde hasar meydana gelmeyecek şekilde yapıya farklı ön deplasmanlar verilerek, yapının serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her biri 2469 gr olan kütlelerden yapının her katına sırasıyla 1, 2 ve 3'er adet kütle yerleştirilerek, farklı deplasman genlikleri oluşturulacak şekilde deneyler tekrarlanmıştır. Model detayları Çizelge 4.35'te görülmektedir.

Çizelge 4.35. Ç2 yapısı model detayları

Model No	Kat Kütle Sayısı (adet)	Kat kütle miktarı (kg)
Ç2-1	0	0
Ç2-2	1	2.4
Ç2-3	2	4.8
Ç2-4	3	7.2

Deney sonuçlarından elde edilen verilerle yapıya ait sönüm oranları ve doğal titreşim frekansları hesaplanmıştır. Doğal titreşim frekansı bölüm 3.3'de sönüm oranı ise bölüm 3.4.2'de belirtilen yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır.

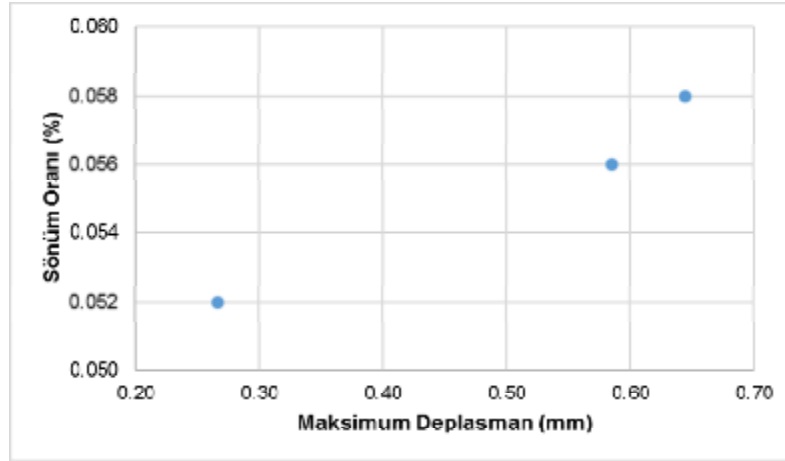
a) Ç2-1 nolu model yapı deneyleri

Ç2-1 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.36'da özetlenmektedir.

Çizelge 4.36. Ç2-1 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	0.267	0.052	37.083
2	0.586	0.056	37.083
3	0.645	0.058	37.083

Çizelge 4.36 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 37.083 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Yapının doğal titreşim frekansından bağımsız olarak, yapıya uygulanan maksimum deplasman değeri ile sönüm oranı arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için Çizelge 4.36’da belirtilen değerlerin dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.40).



Şekil 4.40. Ç2-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç2-1 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 0.267 mm ile 0.645 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %12 civarında değiştiği belirlenmiştir.

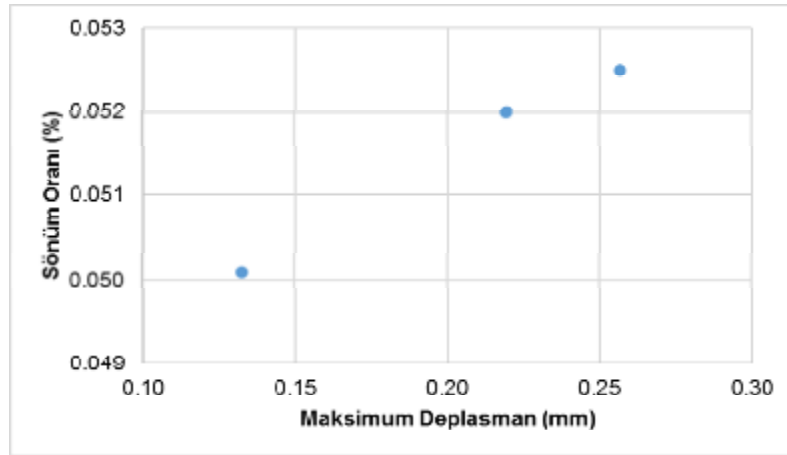
b) Ç2-2 nolu model yapı deneyleri

Ç2-2 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.37’de özetlenmektedir.

Çizelge 4.37. Ç2-2 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	0.132	0.050	24.860
2	0.219	0.052	24.860
3	0.257	0.053	24.860

Çizelge 4.37 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 24.860 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Ç2-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.41’de görülmektedir.



Şekil 4.41. Ç2-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç2-2 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 0.132 mm ile 0.257 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen

maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %6 civarında değiştiği belirlenmiştir.

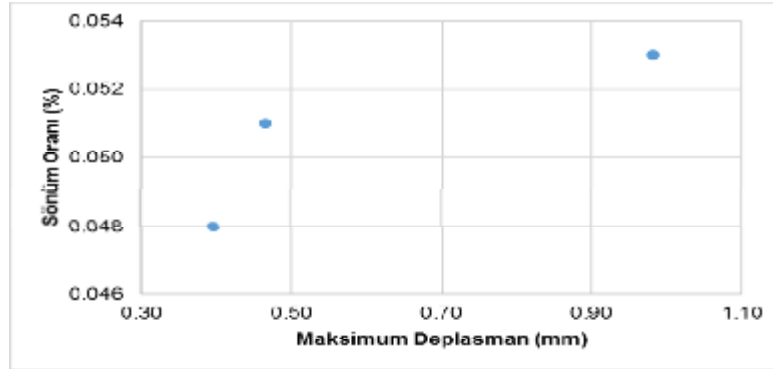
c) Ç2-3 nolu model yapı deneyleri

Ç2-3 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.38’de özetlenmektedir.

Çizelge 4.38. Ç2-3 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	0.397	0.048	19.608
2	0.464	0.051	19.608
3	0.982	0.053	19.608

Çizelge 4.38 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 19.608 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Ç2-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.42’de görülmektedir.



Şekil 4.42. Ç2-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç2-3 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 0.397 mm ile 0.982 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %10 civarında değiştiği belirlenmiştir.

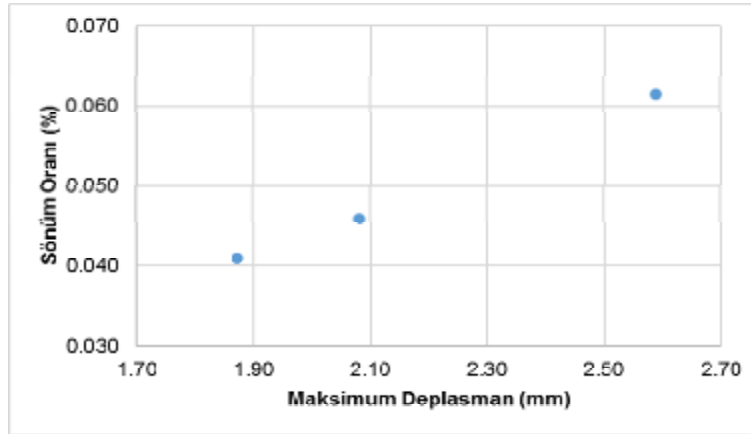
d) Ç2-4 nolu model yapı deneyleri

Ç2-4 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.39’da özetlenmektedir.

Çizelge 4.39. Ç2-4 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	1.873	0.041	16.473
2	2.082	0.046	16.473
3	2.591	0.062	16.473

Çizelge 4.39 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 16.473 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Ç2-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.43’de görülmektedir.



Şekil 4.43. Ç2-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç2-4 nolu model yapı üzerinde yapılan deneylerde, maksimum deplasman değeri 1.873 mm ile 2.591 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %51 civarında değiştiği belirlenmiştir.

4.2.1.7. Ç3 Nolu Yapının Deneyleri

Çelik 4 katlı, kolon-kiriş kesit boyutları 20 mmx20 mm olan yapının deneylerinde sistemde hasar meydana gelmeyecek şekilde yapıya farklı ön deplasmanlar verilerek, yapının serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her biri 2469 gr olan kütlelerden yapının her katına sırasıyla 1, 2 ve 3'er adet kütle yerleştirilerek, farklı deplasman genlikleri oluşturulacak şekilde deneyler tekrarlanmıştır. Model detayları Çizelge 4.40'da görülmektedir.

Çizelge 4.40. Ç3 yapısı model detayları

Model No	Kat Kütle Sayısı (adet)	Kat kütle miktarı (kg)
Ç3-1	0	0
Ç3-2	1	2.4
Ç3-3	2	4.8
Ç3-4	3	7.2

Deney sonuçlarından elde edilen verilerle yapıya ait sönüm oranları ve doğal titreşim frekansları hesaplanmıştır. Doğal titreşim frekansı bölüm 3.3'de sönüm oranı ise bölüm 3.4.2'de belirtilen yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır.

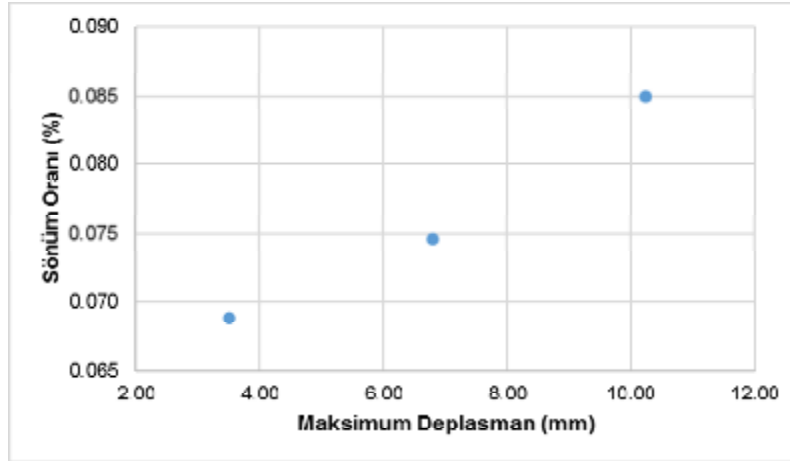
a) Ç3-1 nolu model yapı deneyleri

Ç3-1 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.41'de özetlenmektedir.

Çizelge 4.41. Ç3-1 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	3.499	0.069	13.793
2	6.800	0.075	13.793
3	10.241	0.085	13.793

Çizelge 4.41 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 13.793 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Yapının doğal titreşim frekansından bağımsız olarak, yapıya uygulanan maksimum deplasman değeri ile sönüm oranı arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için Çizelge 4.41’de belirtilen değerlerin dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.44).



Şekil 4.44. Ç3-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç3-1 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 3.499 mm ile 10.241 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %23 civarında değiştiği belirlenmiştir.

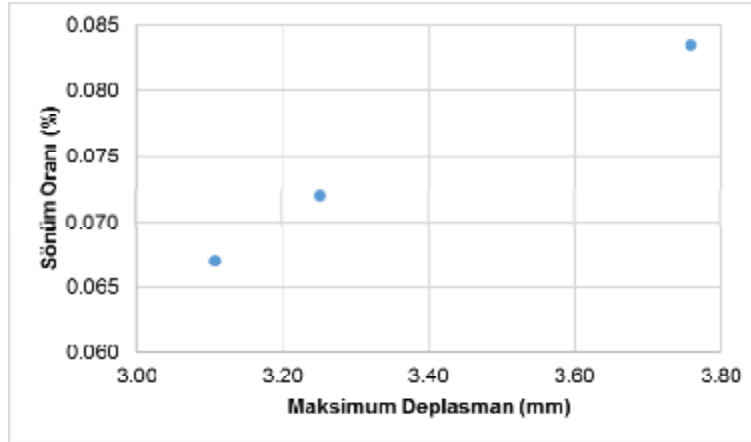
b) Ç3-2 nolu model yapı deneyleri

Ç3-2 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.42’de özetlenmektedir.

Çizelge 4.42. Ç3-2 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	3.107	0.067	8.913
2	3.251	0.072	8.913
3	3.759	0.083	8.913

Çizelge 4.42 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 8.913 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Ç3-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.45’te görülmektedir.



Şekil 4.45. Ç3-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç3-2 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 3.107 mm ile 3.759 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen

maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %24 civarında değiştiği belirlenmiştir.

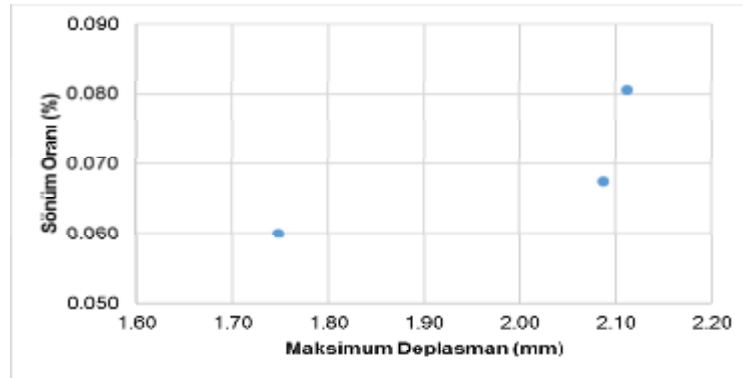
c) Ç3-3 nolu model yapı deneyleri

Ç3-3 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.43'te özetlenmektedir.

Çizelge 4.43. Ç3-3 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	1.748	0.060	7.162
2	2.088	0.068	7.162
3	2.112	0.081	7.162

Çizelge 4.43 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 7.162 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Ç3-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.46'da görülmektedir.



Şekil 4.46. Ç3-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç3-3 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 1.748 mm ile 2.112 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %35 civarında değiştiği belirlenmiştir.

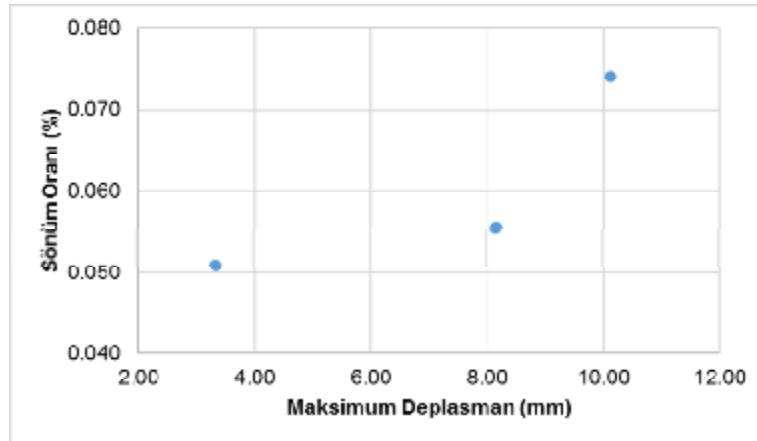
d) Ç3-4 nolu model yapı deneyleri

Ç3-4 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.44'te özetlenmektedir.

Çizelge 4.44. Ç3-4 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	3.338	0.051	6.064
2	8.157	0.056	6.064
3	10.121	0.074	6.064

Çizelge 4.44 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 6.064 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Ç3-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.47'de görülmektedir.



Şekil 4.47. Ç3-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç3-4 nolu model yapı üzerinde yapılan deneylerde, maksimum deplasman değeri 3.338 mm ile 10.121 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %45 civarında değiştiği belirlenmiştir.

4.2.1.8. Ç4 Nolu Yapının Deneyleri

Çelik 4 katlı, kolon-kiriş kesit boyutları 20 mmx40 mm olan yapının deneylerinde sistemde hasar meydana gelmeyecek şekilde yapıya farklı ön deplasmanlar verilerek, yapının serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her biri 2469 gr olan kütlelerden yapının her katına sırasıyla 1, 2 ve 3'er adet kütle yerleştirilerek, farklı deplasman genlikleri oluşturulacak şekilde deneyler tekrarlanmıştır. Model detayları Çizelge 4.45'te görülmektedir.

Çizelge 4.45. Ç4 yapısı model detayları

Model No	Kat Kütle Sayısı (adet)	Kat kütle miktarı (kg)
Ç4-1	0	0
Ç4-2	1	2.4
Ç4-3	2	4.8
Ç4-4	3	7.2

Deney sonuçlarından elde edilen verilerle yapıya ait sönüm oranları ve doğal titreşim frekansları hesaplanmıştır. Doğal titreşim frekansı Bölüm 3.3'te sönüm oranı ise Bölüm 3.4.2'de belirtilen yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır.

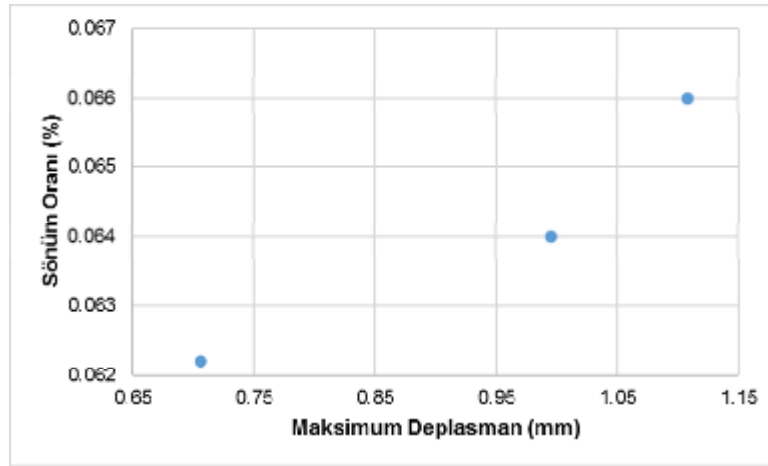
a) Ç4-1 nolu model yapı deneyleri

Ç4-1 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.46'da özetlenmektedir.

Çizelge 4.46. Ç4-1 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	0.706	0.062	16.764
2	0.996	0.064	16.764
3	1.109	0.066	16.764

Çizelge 4.46 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 16.764 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Yapının doğal titreşim frekansından bağımsız olarak, yapıya uygulanan maksimum deplasman değeri ile sönüm oranı arasındaki ilişkiyi açıklayabilmek için Çizelge 4.46’da belirtilen değerlerin dağılım grafiği çizilmiştir (Şekil 4.48).



Şekil 4.48. Ç4-1 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç4-1 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 0.706 mm ile 1.109 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %6 civarında değiştiği belirlenmiştir.

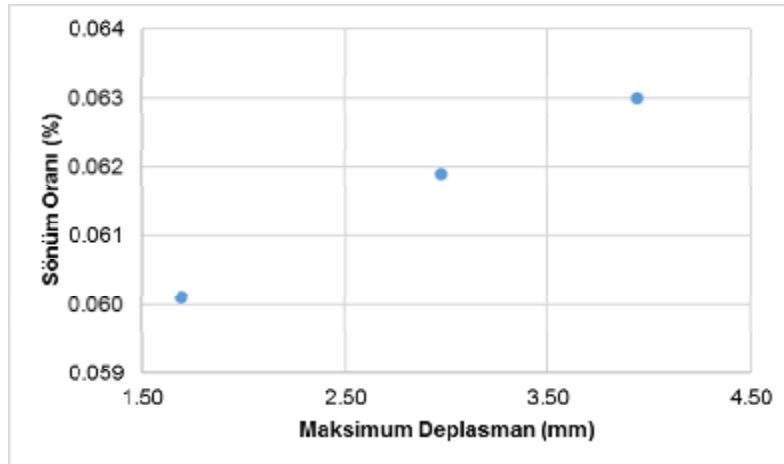
b) Ç4-2 nolu model yapı deneyleri

Ç4-2 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.47’de özetlenmektedir.

Çizelge 4.47. Ç4-2 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	1.694	0.060	11.173
2	2.976	0.062	11.173
3	3.944	0.063	11.173

Çizelge 4.47 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 11.173 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Ç4-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.49’da görülmektedir.



Şekil 4.49. Ç4-2 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç4-2 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 1.694 mm ile 3.944 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen

maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %5 civarında değiştiği belirlenmiştir.

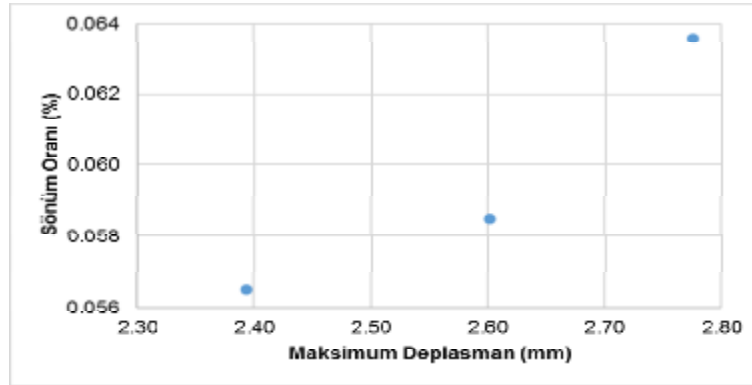
c) Ç4-3 nolu model yapı deneyleri

Ç4-3 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.48’de özetlenmektedir.

Çizelge 4.48. Ç4-3 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	2.394	0.057	9.374
2	2.602	0.059	9.374
3	2.776	0.064	9.374

Çizelge 4.48 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 9.374 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Ç4-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.50’de görülmektedir.



Şekil 4.50. Ç4-3 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

Özetle, Ç4-3 nolu model yapı üzerinde, maksimum deplasman değeri 2.394 mm ile 2.776 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %12 civarında değiştiği belirlenmiştir.

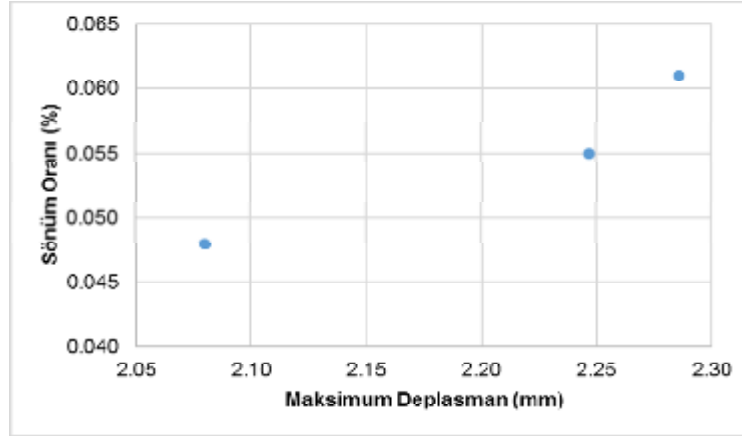
d) Ç4-4 nolu model yapı deneyleri

Ç4-4 nolu model üzerinde yapılan serbest titreşim deneyleri sonucu elde edilen veriler Çizelge 4.49’da özetlenmektedir.

Çizelge 4.49. Ç4-4 nolu model yapı deney sonuçları

Deney No	Mak. Deplasman (mm)	Sönüm Oranı (%)	Frekans (Hz)
1	2.080	0.048	8.133
2	2.247	0.055	8.133
3	2.286	0.061	8.133

Çizelge 4.49 incelendiğinde görüleceği gibi, yapılan deneylerde yapıya ait doğal titreşim frekansı 8.133 Hz olarak elde edilirken sönüm oranı her deney için farklı bir değer olarak hesaplanmıştır. Ç4-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi Şekil 4.51’de görülmektedir.



Şekil 4.51. Ç4-4 nolu model yapıda sönüm oranının maksimum deplasman ile değişimi

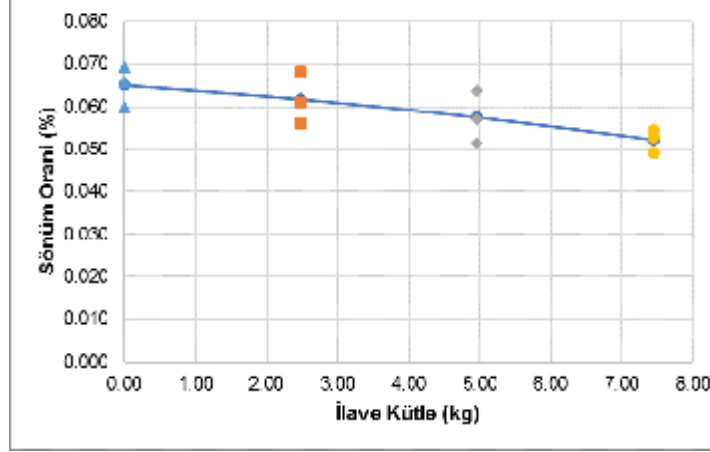
Özetle, Ç4-4 nolu model yapı üzerinde yapılan deneylerde, maksimum deplasman değeri 2.080 mm ile 2.286 mm arasında değişen serbest titreşim deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle yapıya ait sönüm oranının deney esnasında yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak yaklaşık %27 civarında değiştiği belirlenmiştir.

4.2.2. Kütle Miktarının Sönüm Oranına Etkisi

Bu bölümde serbest titreşim deneyi yapılan çok serbestlik dereceli yapılarda, yapıya eklenen kütle miktarının yapı sönüm oranı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneyler çok serbestlik dereceli yapı modellerinde tanıtılan yapılar üzerinde, her biri 2469 gr olan kütlelerden her kata sırasıyla 1, 2 ve 3er adet yerleştirilerek gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen verilerle yapılara ait ortalama sönüm oranları hesaplanmıştır. Yapıların doğal titreşim frekansından ve deney esnasında meydana gelen maksimum deplasman genliğinden bağımsız olarak, yapıya ait kütle-sönüm oranı grafikleri elde edilmiştir.

4.2.2.1 A1 Nolu Yapının Deneyleri

A1 nolu yapıya ait deney sonuçları Bölüm 4.2.1.1.'de verilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğinden bağımsız olarak, yapıya ait kütle-sönüm oranı grafiği Şekil 4.52'de verilmiştir.



Şekil 4.52. A1 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi

Bu sonuçlara göre, her aşamadaki ortalama sönüm oranları ile bu sönüm oranlarının 0 kg kütle etkisindeki ortalama sönüm oranına göre yüzde azalış miktarları Çizelge 4.50’de verilmiştir.

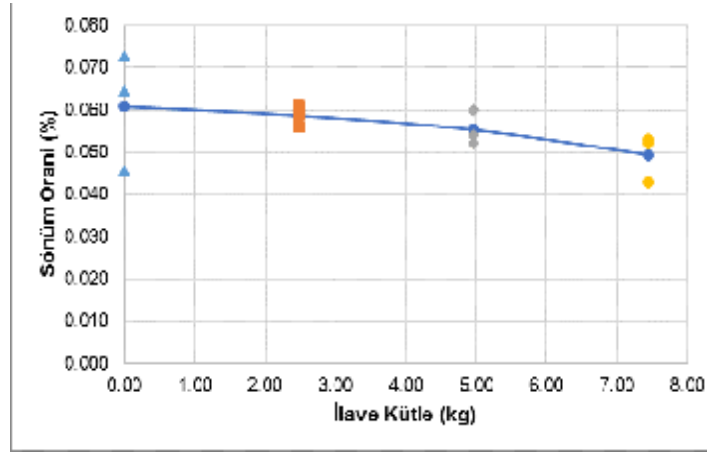
Çizelge 4.50. A1 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış

Kütle Miktarı (kg)	Ortalama Sönüm Oranı (%)	Sönüm Oranındaki Azalma (%)
0	0.0650	0
2.4	0.0617	5
4.8	0.0574	12
7.2	0.0521	20

Şekil 4.52 ve Çizelge 4.50’den de anlaşılacağı gibi yapıda meydana gelen kütle miktarındaki artışın yapının sönüm oranında azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir.

4.2.2.2. A2 Nolu Yapının Deneyleri

A2 nolu yapıya ait deney sonuçları Bölüm 4.2.1.2.'de verilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğinden bağımsız olarak, yapıya ait kütle-sönüm oranı grafiği Şekil 4.53'de verilmiştir.



Şekil 4.53. A2 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi

Bu sonuçlara göre, her aşamadaki ortalama sönüm oranları ile bu sönüm oranlarının 0 kg kütle etkisindeki ortalama sönüm oranına göre yüzde azalış miktarları Çizelge 4.51'de verilmiştir.

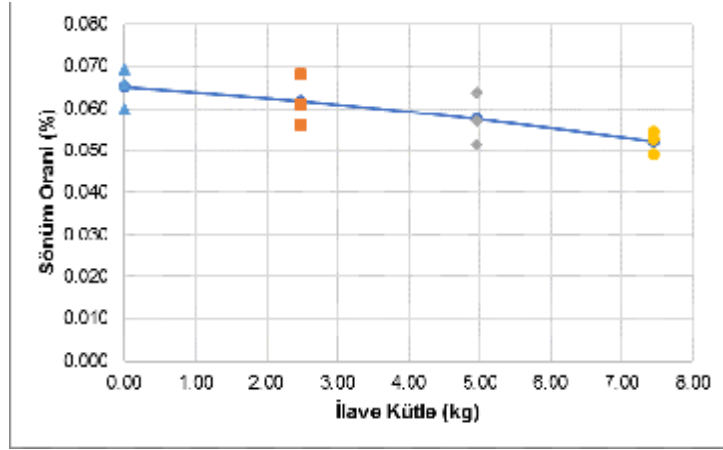
Çizelge 4.51. A2 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış

Kütle Miktarı (kg)	Ortalama Sönüm Oranı (%)	Sönüm Oranındaki Azalma (%)
0	0.0608	0
2.4	0.0587	4
4.8	0.0553	9
7.2	0.0493	19

Şekil 4.53 ve Çizelge 4.51’den de anlaşılacağı gibi yapıda meydana gelen kütle miktarındaki artışın yapının sönüm oranında azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir.

4.2.2.3. A3 Nolu Yapının Deneyleri

A3 nolu yapıya ait deney sonuçları Bölüm 4.2.1.3.’de verilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğinden bağımsız olarak, yapıya ait kütle-sönüm oranı grafiği Şekil 4.54’de verilmiştir.



Şekil 4.54. A3 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi

Bu sonuçlara göre, her aşamadaki ortalama sönüm oranları ile bu sönüm oranlarının 0 kg kütle etkisindeki ortalama sönüm oranına göre yüzde azalış miktarları Çizelge 4.52’de verilmiştir.

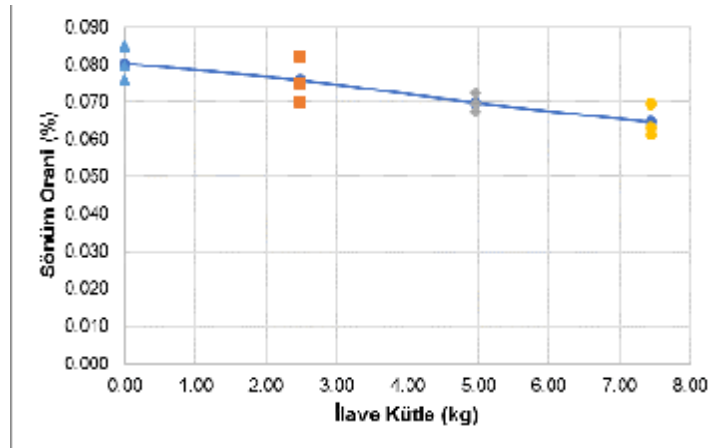
Çizelge 4.52. A3 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış

Kütle Miktarı (kg)	Ortalama Sönüm Oranı (%)	Sönüm Oranındaki Azalma (%)
0	0.0817	0
2.4	0.0807	1
4.8	0.0770	6
7.2	0.0732	10

Şekil 4.54 ve Çizelge 4.52’den de anlaşılabacağı gibi yapıda meydana gelen kütle miktarındaki artışın yapının sönüm oranında azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir.

4.2.2.4. A4 Nolu Yapının Deneyleri

A4 nolu yapıya ait deney sonuçları Bölüm 4.2.1.4.’de verilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğinden bağımsız olarak, yapıya ait kütle-sönüm oranı grafiği Şekil 4.55’te verilmiştir.



Şekil 4.55. A4 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi

Bu sonuçlara göre, her aşamadaki ortalama sönüm oranları ile bu sönüm oranlarının 0 kg kütle etkisindeki ortalama sönüm oranına göre yüzde azalış miktarları Çizelge 4.53'te verilmiştir.

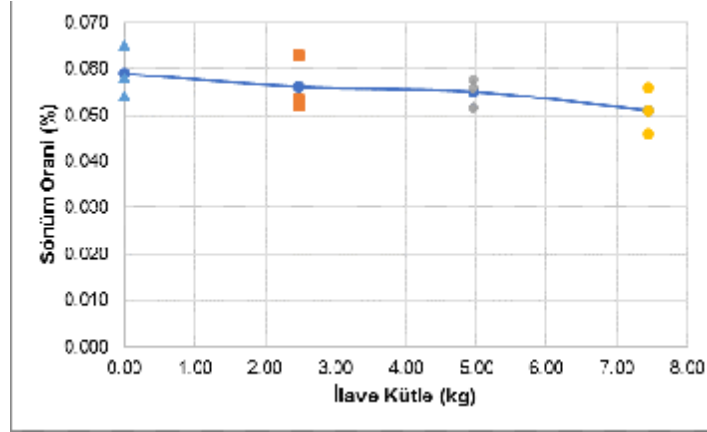
Çizelge 4.53. A4 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış

Kütle Miktarı (kg)	Ortalama Sönüm Oranı (%)	Sönüm Oranındaki Azalma (%)
0	0.0817	0
2.4	0.0807	1
4.8	0.0770	6
7.2	0.0732	10

Şekil 4.55 ve Çizelge 4.53'ten de anlaşılabacağı gibi yapıda meydana gelen kütle miktarındaki artışın yapının sönüm oranında azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir.

4.2.2.5. Ç1 Nolu Yapının Deneyleri

Ç1 nolu yapıya ait deney sonuçları Bölüm 4.2.1.5.'te verilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğinden bağımsız olarak, yapıya ait kütle-sönüm oranı grafiği Şekil 4.56'da verilmiştir.



Şekil 4.56. Ç1 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi

Bu sonuçlara göre, her aşamadaki ortalama sönüm oranları ile bu sönüm oranlarının 0 kg kütle etkisindeki ortalama sönüm oranına göre yüzde azalış miktarları Çizelge 4.54'te verilmiştir.

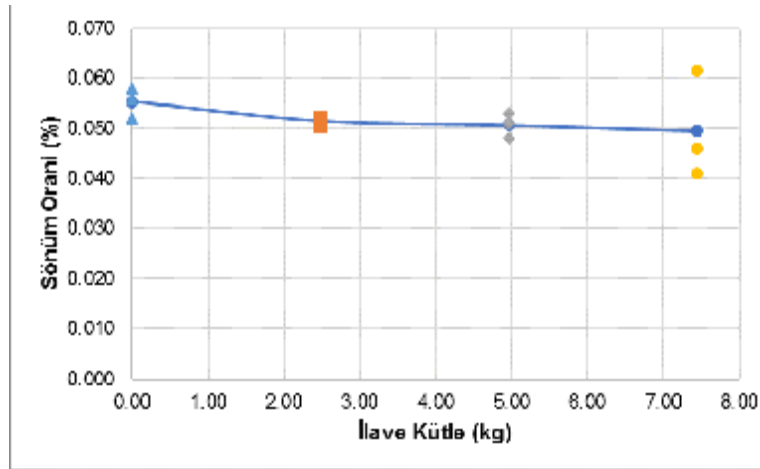
Çizelge 4.54. Ç1 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış

Kütle Miktarı (kg)	Ortalama Sönüm Oranı (%)	Sönüm Oranındaki Azalma (%)
0	0.0590	0
2.4	0.0562	5
4.8	0.0551	7
7.2	0.0510	14

Şekil 4.56 ve Çizelge 4.54'ten de anlaşılacağı gibi yapıda meydana gelen kütle miktarındaki artışın yapının sönüm oranında azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir.

4.2.2.6. Ç2 Nolu Yapının Deneyleri

Ç2 nolu yapıya ait deney sonuçları Bölüm 4.2.1.6.'da verilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğinden bağımsız olarak, yapıya ait kütle-sönüm oranı grafiği Şekil 4.57'de verilmiştir.



Şekil 4.57. Ç2 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi

Bu sonuçlara göre, her aşamadaki ortalama sönüm oranları ile bu sönüm oranlarının 0 kg kütle etkisindeki ortalama sönüm oranına göre yüzde azalış miktarları Çizelge 4.55'te verilmiştir.

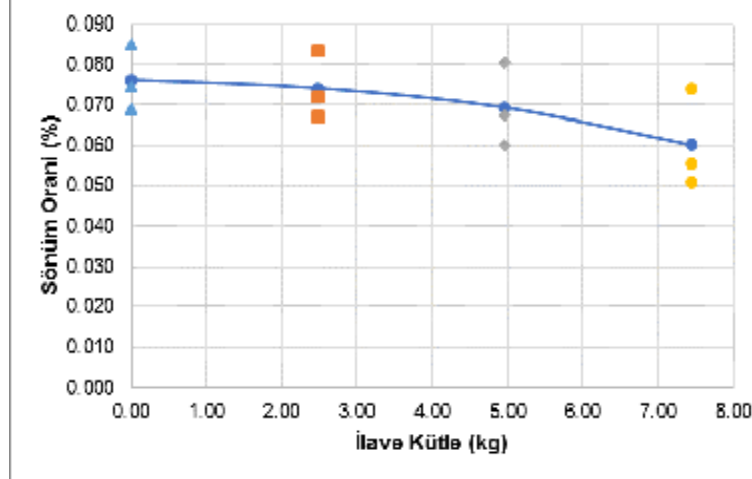
Çizelge 4.55. Ç2 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış

Kütle Miktarı (kg)	Ortalama Sönüm Oranı (%)	Sönüm Oranındaki Azalma (%)
0	0.0553	0
2.4	0.0515	7
4.8	0.0507	8
7.2	0.0495	11

Şekil 4.57 ve Çizelge 4.55'ten de anlaşılabacağı gibi yapıda meydana gelen kütle miktarındaki artışın yapının sönüm oranında azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir.

4.2.2.7. Ç3 Nolu Yapının Deneyleri

Ç3 nolu yapıya ait deney sonuçları Bölüm 4.2.1.7.'de verilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğinden bağımsız olarak, yapıya ait kütle-sönüm oranı grafiği Şekil 4.58'de verilmiştir.



Şekil 4.58. Ç3 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi

Bu sonuçlara göre, her aşamadaki ortalama sönüm oranları ile bu sönüm oranlarının 0 kg kütle etkisindeki ortalama sönüm oranına göre yüzde azalış miktarları Çizelge 4.56'da verilmiştir.

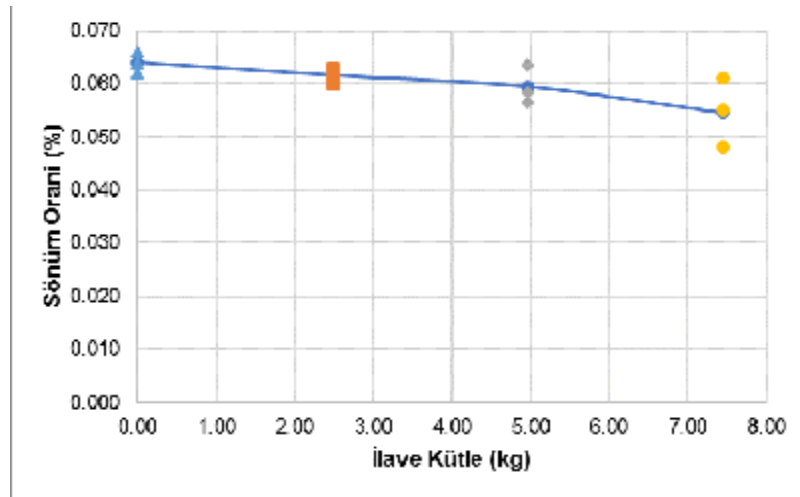
Çizelge 4.56. Ç3 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış

Kütle Miktarı (kg)	Ortalama Sönüm Oranı (%)	Sönüm Oranındaki Azalma (%)
0	0.0762	0
2.4	0.0741	3
4.8	0.0693	9
7.2	0.0602	21

Şekil 4.58 ve Çizelge 4.56'dan da anlaşılacağı gibi yapıda meydana gelen kütle miktarındaki artışın yapının sönüm oranında azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir.

4.2.2.8. Ç4 Nolu Yapının Deneyleri

Ç4 nolu yapıya ait deney sonuçları bölüm 4.2.1.8.'de verilmiştir. Bu deney sonuçlarına göre yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum deplasman genliğinden bağımsız olarak, yapıya ait kütle-sönüm oranı grafiği Şekil 4.59'da verilmiştir.



Şekil 4.59. Ç4 nolu model yapıda sönüm oranının ilave kütle ile değişimi

Bu sonuçlara göre, her aşamadaki ortalama sönüm oranları ile bu sönüm oranlarının 0 kg kütle etkisindeki ortalama sönüm oranına göre yüzde azalış miktarları Çizelge 4.57’de verilmiştir.

Çizelge 4.57. Ç4 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları ve sönüm oranındaki azalış

Kütle Miktarı (kg)	Ortalama Sönüm Oranı (%)	Sönüm Oranındaki Azalma (%)
0	0.0641	0
2.4	0.0617	4
4.8	0.0595	7
7.2	0.0547	15

Şekil 4.59 ve Çizelge 4.57’den de anlaşılabacağı gibi yapıda meydana gelen kütle miktarındaki artışın yapının sönüm oranında azalmaya sebep olduğu belirlenmiştir.

4.2.3. Malzeme Türünün Sönüm Oranına Etkisi

Bu bölümde serbest titreşim deneylerinde kullanılan çok serbestlik dereceli yapıların oluşturulmasında kullanılan malzemelerin, yapı sönüm oranı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

Deneylerde kullanılan yapı modellerinden A2, A4, Ç2 ve Ç4 aynı kesit özelliklerine sahiplerdirler fakat A2 ve A4 yapı modellerinin oluşturulmasında alüminyum, Ç2 ve Ç4 yapı modellerinin oluşturulmasında ise çelik malzeme kullanılmıştır. Çizelge 4.58’de gösterildiği üzere yapılardan A2 ve Ç2 yapıları iki katlı, A4 ve Ç4 yapıları ise dört katlıdır. Bu bilgilerden yola çıkarak, aynı kat adetine ve kesit özelliklerine sahip fakat farklı malzemedan üretilmiş yapıların sönüm oranları karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmada bir üst başlıkta kullanılan

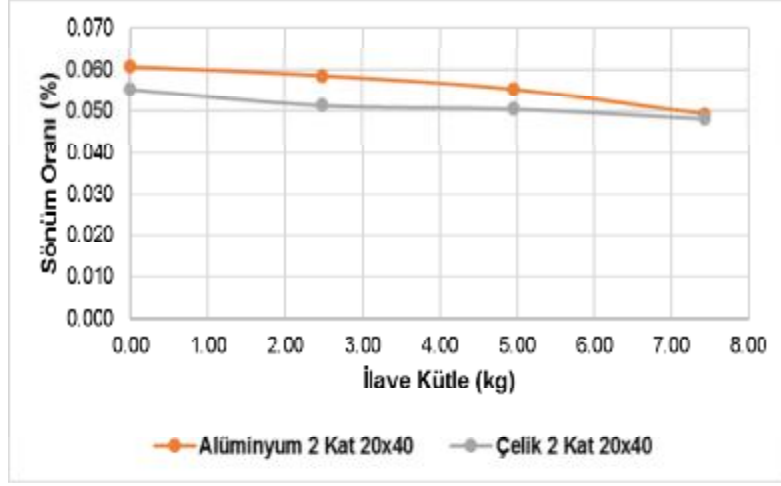
ortalama sönüm oranlarından faydalanılmıştır. Yapılara ait deney sonuçları ve grafikleri Çizelge 4.59, Şekil 4.60 ve Şekil 4.61’de verilmiştir.

Çizelge 4.58. Alüminyum ve Çelik yapılara ait geometrik özellikler

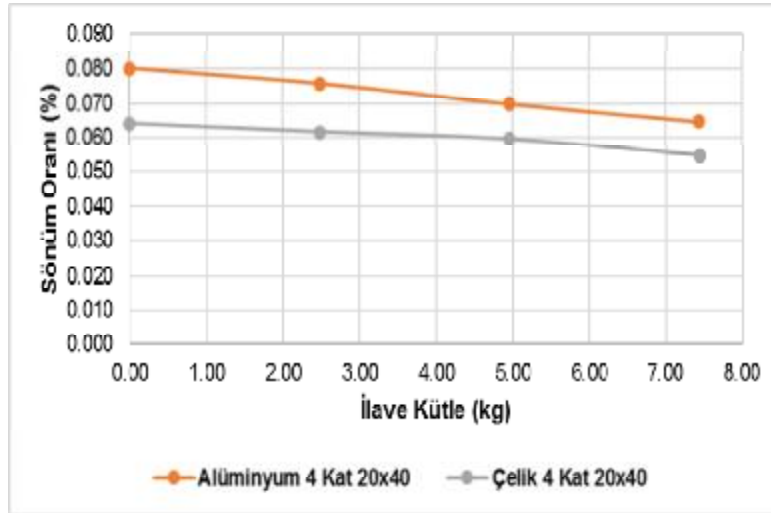
Yapı	Kolon-Kiriş Kesit boyutları (mm)	Açıklıklar (cm)		Kat sayısı	Kat Yükseklikleri (cm)		Malzeme
		X yönünde	Y yönünde		Zemin	Diğer	
A2	20x40	35	35	2	31	35	Alüminyum
Ç2	20x40	35	35	2	31	35	Çelik
A4	20x40	35	35	4	31	35	Alüminyum
Ç4	20x40	35	35	4	31	35	Çelik

Çizelge 4.59 Yapılara ait deney sonuçları

İlave Kütle (kg)	Sönüm Oranı (%)	Yapı			
		A2	Ç2	A4	Ç4
0	ξ_0	6.08	5.53	8.02	6.41
2.48	$\xi_{2.48}$	5.87	5.15	7.58	6.17
4.96	$\xi_{4.96}$	5.53	5.07	6.98	5.95
7.44	$\xi_{7.44}$	4.93	4.83	6.46	5.47



Şekil 4.60. A2 ve Ç2 nolu yapılara ait deney sonuçları



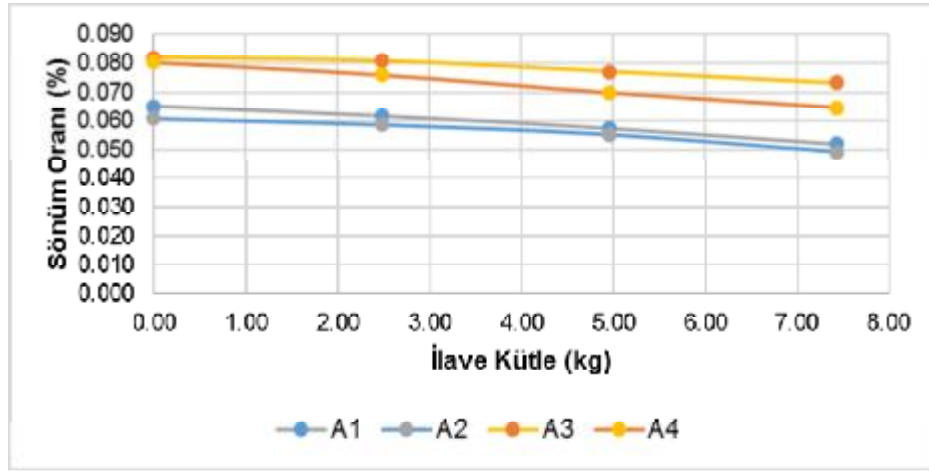
Şekil 4.61. A4 ve Ç4 nolu yapılara ait deney sonuçları

Şekil 4.60 ve 4.61'in incelenmesinden, alüminyum malzemeden imal edilen yapıların aynı özelliğe sahip çelikten imal edilmiş yapılara göre üzerindeki kütle miktarından bağımsız olarak, tüm koşullarda daha fazla sönüm oranına sahip olduğu gözlemlenmektedir. Bu sonuç, yapıdaki sönüm oranının malzemenin elastisite modülü değeriyle ters orantılı olarak değiştiğini göstermektedir.

4.2.4 Rijitliğin Sönüm Oranına Etkisi

Elde edilen serbest titreşim sonuçları kullanılarak, yapı rijitliğinin yapı sönüm oranını nasıl etkilediği de incelenmiştir.

Şekil 4.62 ve Şekil 4.63'te, değişik kütle miktarları altında alüminyum ve çelik yapılar için elde edilen ortalama sönüm oranları topluca görülmektedir.

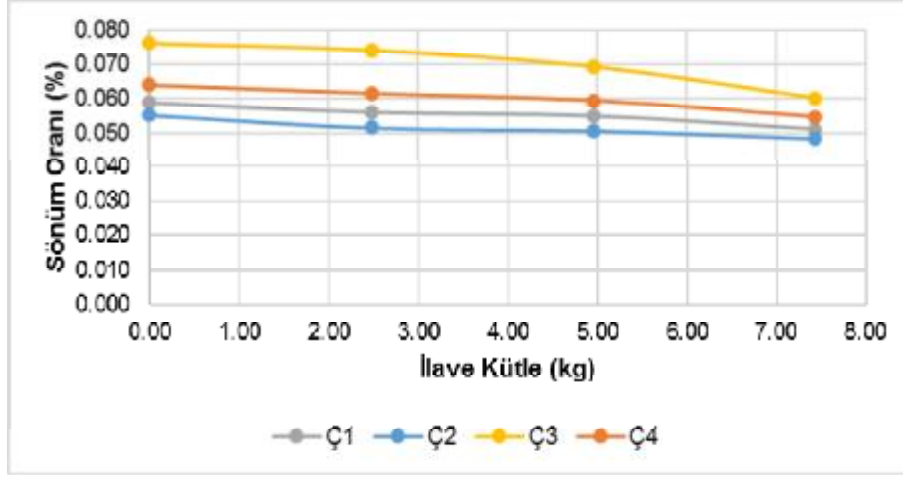


Şekil 4.62. Alüminyum yapılara ait deney sonuçları

Şekil 4.62'nin incelenmesinden, 2 katlı A1 ve A2 yapılarına göre yanal rijitliği daha düşük olan 4 katlı A3 ve A4 nolu yapıların, üzerindeki kütle miktarından bağımsız olarak, tüm koşullarda daha fazla sönüm oranına sahip olduğu gözlemlenmektedir.

1 mm et kalınlığına ve 17 mmx25 mm kesit boyutlarına sahip olan 2 katlı A1 yapısının 1 mm et kalınlığına ve 20 mmx40 mm kesit boyutlarına sahip 2 katlı A2 yapısına göre üzerindeki kütle miktarından bağımsız olarak, tüm koşullarda daha fazla sönüm oranına sahip olduğu gözlemlenmektedir.

1 mm et kalınlığına ve 17 mmx25 mm kesit boyutlarına sahip olan 4 katlı A3 yapısının 1 mm et kalınlığına ve 20 mmx40 mm kesit boyutlarına sahip 4 katlı A4 yapısına göre üzerindeki kütle miktarından bağımsız olarak, tüm koşullarda daha fazla sönüm oranına sahip olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 4.63 Çelik yapılara ait deney sonuçları

Alüminyum yapılarda olduğu gibi çelik yapılarda da Şekil 4.58'in incelenmesinden, 2 katlı Ç1 ve Ç2 yapılarına göre yanal rijitliği daha düşük olan 4 katlı Ç3 ve Ç4 nolu yapıların, üzerindeki kütle miktarından bağımsız olarak, tüm koşullarda daha fazla sönüm oranına sahip olduğu gözlemlenmektedir.

1 mm et kalınlığına ve 20 mmx20 mm kesit boyutlarına sahip olan 2 katlı Ç1 yapısının 1 mm et kalınlığına ve 20 mmx40 mm kesit boyutlarına sahip 2 katlı Ç2 yapısına göre üzerindeki kütle miktarından bağımsız olarak, tüm koşullarda daha fazla sönüm oranına sahip olduğu gözlemlenmektedir.

1 mm et kalınlığına ve 20 mmx20 mm kesit boyutlarına sahip olan 4 katlı Ç3 yapısının 1 mm et kalınlığına ve 20 mmx40 mm kesit boyutlarına sahip 4 katlı Ç4 yapısına göre üzerindeki kütle miktarından bağımsız olarak, tüm koşullarda daha fazla sönüm oranına sahip olduğu gözlemlenmektedir.

Alüminyum ve çelik yapılardan elde edilen sonuçlar, yapıdaki sönüm oranının rijitlikle ters orantılı olarak değiştiğini göstermektedir.

5. SAYISAL ÇALIŞMA

Sayısal çalışma kapsamında çelik malzemeden oluşturulmuş 2 katlı, kolon-kiriş kesit boyutları 20mmx20mm olan Ç1 nolu yapı ele alınmıştır.

Deney numunesinin dinamik karakteristikleri deneysel sonuçlar kullanılarak belirlendikten sonra numunenin analitik modeli oluşturulmuştur. Analizlerde, tez çalışması kapsamında elde edilen bulguların tasarımcılar tarafından gerçek yapı sistemlerine de kolayca uygulanabilmesi için yaygın olarak kullanılan SAP2000 programı tercih edilmiştir (Birdal, 2015). Analitik modelin doğruluğunu tespit etmek için,

- ▼ Sistemin hakim titreşim frekansı
- ▼ Yapı üst ivme ölçümü

parametreleri değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bu parametrelerden sistemin hakim titreşim frekansı, modelin doğruluğu açısından kontrol edilen ilk değerdir. Yapı üst ivme ölçümleri ise analiz sonucunda modelden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırma amaçlı kullanılmıştır.

Yapılarda doğal titreşim frekansı rijitlik ile doğru orantılıdır. Çünkü doğal titreşim frekansı Denklem 5.1 ile ifade edilmektedir.

$$f = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5.1.)$$

Rijitlik ifadesi ise elastisite modülü, atalet momenti ve boyut etkili parametrelerden meydana gelmektedir. Sistemin atalet momenti, boyut ve kütlesi değişmediği için doğal titreşim frekansına etki eden parametre elastisite modülü olmaktadır. Çalışmada deney numunesinin deneysel olarak belirlenen hakim

titreşim frekansı değerini analitik olarak elde edebilmek için çelik malzemenin elastisite modülü 100-120 GPa arasında değiştirilerek modal analiz sonucunda belirlenmiştir. Bu şekilde deneysel ve sayısal yöntemle ile elde edilen ivme kayıtları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.1’de deney numunesine ait deneysel ve analitik hakim titreşim frekansları verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere analitik doğal titreşim frekans değerleri deneysel doğal titreşim frekans değerlerine çok yakın elde edilmiştir.

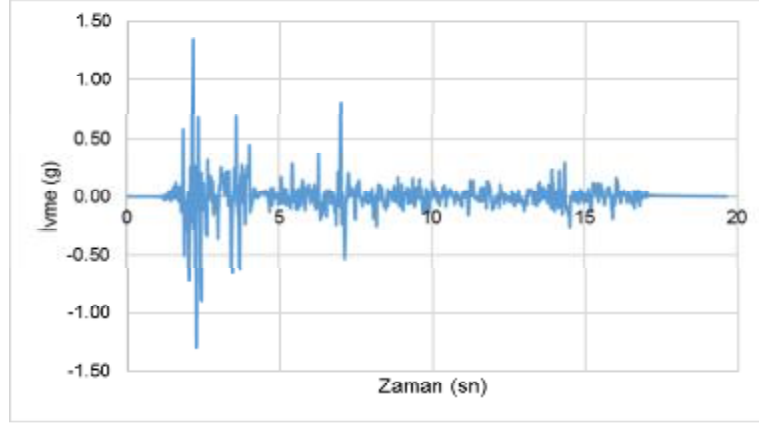
Çizelge 5.1. Ç1 nolu model yapıya ait hakim titreşim frekansları

Model No	Kat kütle miktarı (kg)	Deneysel Hakim Titreşim Frekansı (Hz)	Analitik Hakim Titreşim Frekansı (Hz)	Model için Kullanılan Efektif Elastisite Modülü (GPa)
Ç1-1	0	37.083	36.935	121
Ç1-2	2.4	24.860	24.548	111
Ç1-3	4.8	19.608	19.492	107
Ç1-4	7.2	16.473	16.284	105

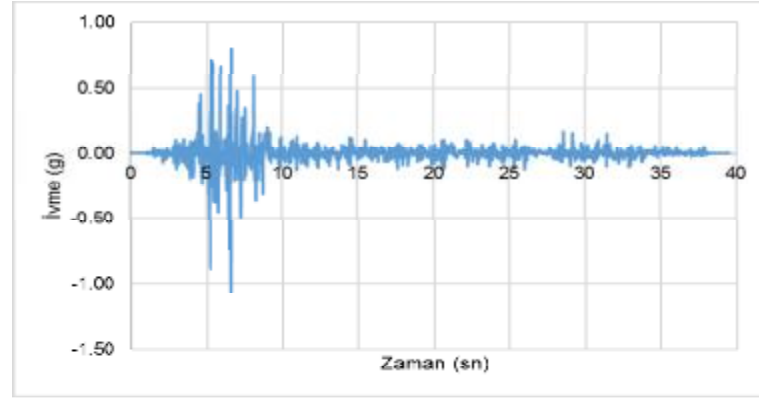
Bu sonuçlar sonrasında modal analiz ile hakim titreşim frekansı deneysel verilere uygun olarak belirlenmiş ve modele zaman tanım alanında veriler uygulanmıştır.

5.1. Deneylerde Kullanılan Deprem Verisi

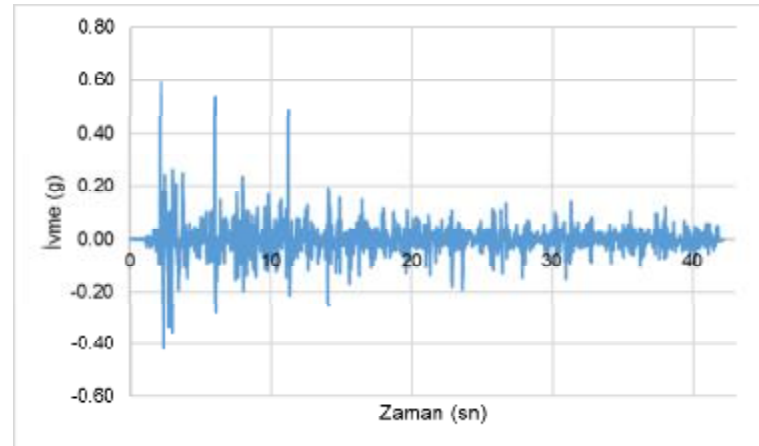
Yapılan deneylerde El Centro, Friuli ve Hollister olmak üzere üç farklı deprem verisi kullanılmıştır. Kullanılan deprem verilerinin ivme-zaman grafikleri Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve 5.3’te verilmiştir.



Şekil 5.1. El Centro deprem verisi

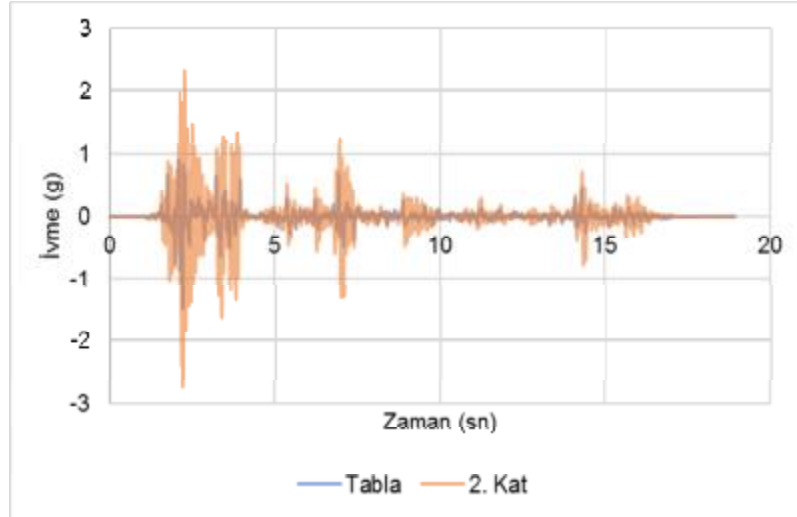


Şekil 5.2. Friuli deprem verisi

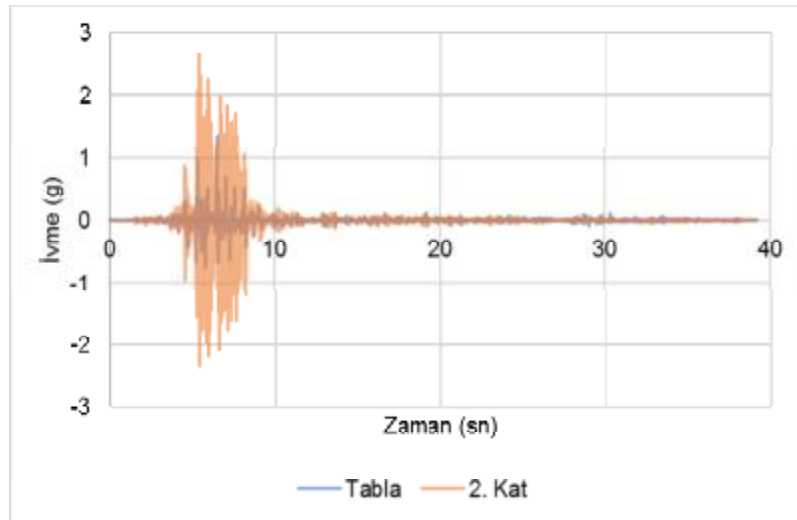


Şekil 5.3. Hollister deprem verisi

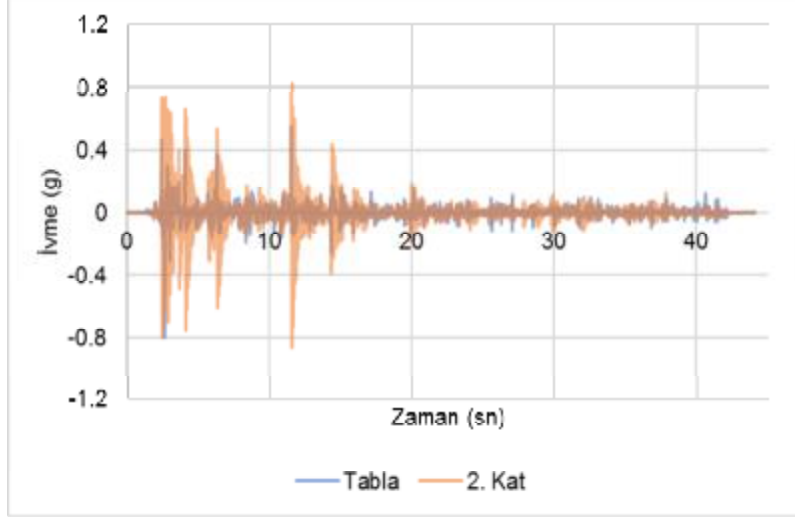
Şekil 5.4, 5.5 ve 5.6’da sarsma tablasına uygulanan deprem verileri ile bu uygulama neticesinde Ç1-4 yapısının ikinci katında meydana gelen ivme kayıtları sunulmuştur.



Şekil 5.4. El Centro depremi kayıtlarının uygulanması sonucu elde edilen ikinci kat ve tabla ivmeleri



Şekil 5.5. Friuli depremi kayıtlarının uygulanması sonucu elde edilen ikinci kat ve tabla ivmeleri



Şekil 5.6. Hollister depremi kayıtlarının uygulanması sonucu elde edilen ikinci kat ve tabla ivmeleri

SAP2000 yazılımı kullanılarak tabladan alınan deprem kayıtları altında model yapının analizleri gerçekleştirilmiştir.

5.2. Analizlerde Kullanılan Sönüm Modelleri

5.2.1. Kütle Orantılı Sönüm Modeli

Kütleyle orantılı sönüm modeli, deneysel olarak elde edilen yapıya ait sönüm oranı ve hakim titreşim frekansı ile bağlantılıdır. n 'inci mod için genelleştirilmiş sönümü matrisini veren denklem 5.2'de verilmiştir.

$$C = a_0 M \quad (5.2.)$$

Denklemdaki C_n sönüm matrisini, a_0 kütle orantılı sönüm katsayısını ve M_n ise kütle matrisini temsil etmektedir. a_0 katsayısı, herhangi bir moddaki sönüm oranı ile o modun doğal titreşim frekansı ile belirlenir (Denklemler 5.3.)

$$a_0 = 2Z_i W_i \quad (5.3.)$$

a_0 katsayısı belirlendikten sonra Denklem 5.2'den sönüm matrisi C bulunur.

5.2.2. Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli

Rijitlik orantılı sönüm modeli, kütle orantılı sönüm modelinde olduğu gibi deneysel olarak elde edilen yapıya ait sönüm oranı ve hakim titreşim frekansı ile bağlantılıdır. Bu durumda rijitlik orantılı sönüm matrisi Denklem 5.4 yardımıyla hesaplanır.

$$C = a_1 W_n^2 M \quad (5.4.)$$

Denklemdaki C_n sönüm matrisini, a_1 rijitlik orantılı sönüm katsayısını, ω_n yapının hakim titreşim frekansını ve M_n ise kütle matrisini temsil etmektedir. a_1 katsayısı, her hangi bir moddaki sönüm oranı ile o modun doğal titreşim frekansı ile belirlenir (Denklem 5.5.).

$$a_1 = \frac{2Z_j}{W_j} \quad (5.5.)$$

a_1 katsayısı belirlendikten sonra Denklem 5.2'den sönüm matrisi C bulunur.

5.2.2. Rayleigh Sönüm Modeli

Kütle ve Rijitlik Orantılı Sönüm Modellerine bağlı olarak birçok deneysel verinin sonucuna göre Rayleigh sönüm oranı aşağıdaki ifadelerle belirlenmektedir.

$$C = a_0 M + a_1 K$$

$$z_n = \frac{a_0}{2} \frac{1}{w_n} + \frac{a_1}{2} w_2$$

Eğer bu ifade matris biçiminde sistemin farklı iki mod durumu için yazılacak olursa Denklem 5.6'daki matris elde edilecektir.

$$\begin{bmatrix} \frac{1}{2} \frac{e_1}{w_i} & w_i \frac{a_0}{w_j} \\ \frac{1}{2} \frac{e_1}{w_j} & w_j \frac{a_1}{w_i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z_i \\ z_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} z_i \\ \frac{1}{2} z_j \end{bmatrix} \quad (5.6.)$$

Bu matris tanımından kütle ve rijitlik oranı katsayıları aşağıdaki ifadelerle hesaplanmaktadır.

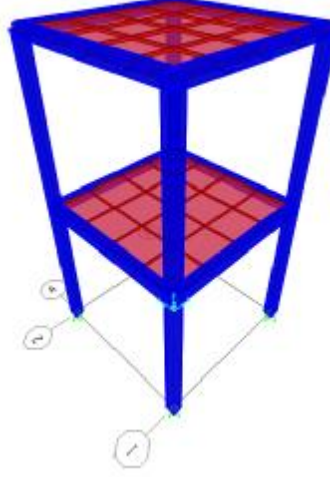
$$a_0 = z \frac{2w_i w_j}{w_i + w_j} \quad a_1 = z \frac{2}{w_i + w_j}$$

Denklem 5.6' daki ω_i, ω_j ifadeleri sistemin farklı modlardaki titreşim frekansları olarak tanımlanmaktadır. Literatürde 5 moda sahip bir sistem için ω_i, ω_j katsayılarının sırayla 1. ve 4. doğal titreşim frekansı olabileceği belirtilmiştir. Bu tanımlama sönüm oranı-doğal titreşim frekansı ilişkisini tanımlayan Rayleigh Sönüm değişiminden elde edilmektedir.

5.3. Ç1 Nolu Yapı Modeli

Model yapının dinamik karakteristikleri deneysel sonuçlar kullanılarak belirlendikten sonra numunenin analitik modeli oluşturulmuştur (Şekil 5.7). Yapı modeli, gerçek boyutlarda bilgisayarda tasarlanmış her iki yönde bir açıklığa sahip,

iki katlı bir yapıdır. Çizelge 5.2’de tasarlanan Ç1 yapısının boyutları görülmektedir.



Şekil 5.7. Ç1 nolu yapıya ait analitik model

Çizelge 5.2. Ç1 nolu yapıya ait geometrik özellikler

Yapı	Kolon-Kiriş Kesit boyutları (mm)	Açıklıklar (cm)		Kat sayısı	Kat Yükseklikleri (cm)	
		X yönünde	Y yönünde		Zemin	Diğer
Ç1	20x20	35	35	2	31	35

5.4. Ç1 Nolu Yapı Modelinin Deprem Davranışının Belirlenmesi

SAP2000 yazılımı kullanılarak farklı deprem kaydı altında model yapının analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sabit sönüm oranı, kütle orantılı sönüm modeli, rijitlik orantılı sönüm modeli ve Rayleigh sönüm modeli ile gerçekleştirilmiştir. Farklı sönüm modelleri ile gerçekleştirilen analizler sonucunda

elde edilen veriler deney sonuçları ile kıyaslanarak en uygun sönüm modeli araştırılmıştır.

Analizlerde Çizelge 5.3'te verilen Ç1 yapısına ait ortalama sönüm oranları kullanılmıştır.

Çizelge 5.3. Ç1 nolu model yapıda ortalama sönüm oranları

Model No	Katlardaki Kütle Miktarı (kg)	Ortalama Sönüm Oranı (%)
Ç1-1	0	0.0590
Ç1-2	2.4	0.0562
Ç1-3	4.8	0.0551
Ç1-4	7.2	0.0510

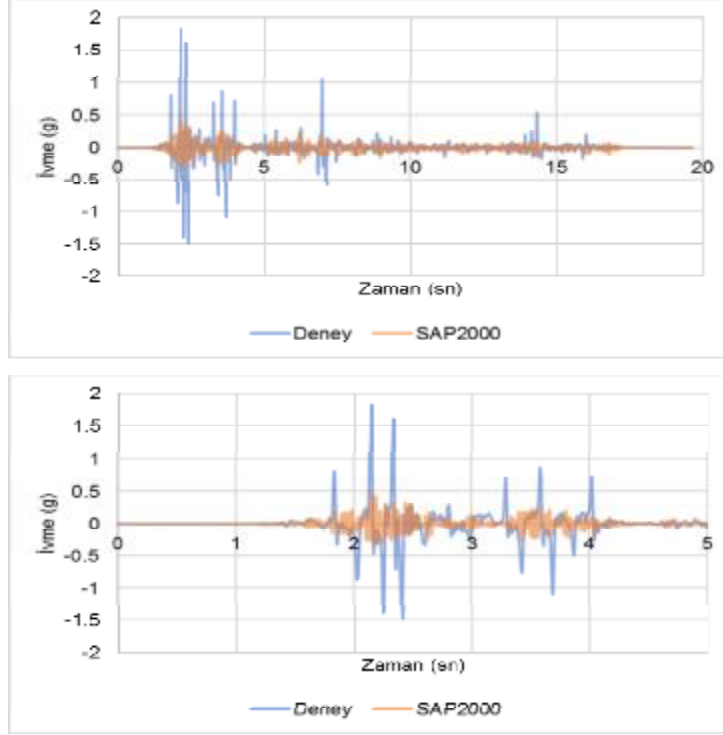
5.4.1. Sabit Sönüm Oranı ile Analizler

Bu bölümde Ç1-1, Ç1-2, Ç1-3 ve Ç1-4 yapı modelleri için sabit viskoz sönüm oranı ile gerçekleştirilen analizler ele alınacaktır. Analizlerde El Centro, Friuli ve Hollister deprem verileri kullanılmıştır ve yapının ikinci katından elde edilen deney ve sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

5.4.1.1. Ç1-1 Nolu Model Yapı Analizi

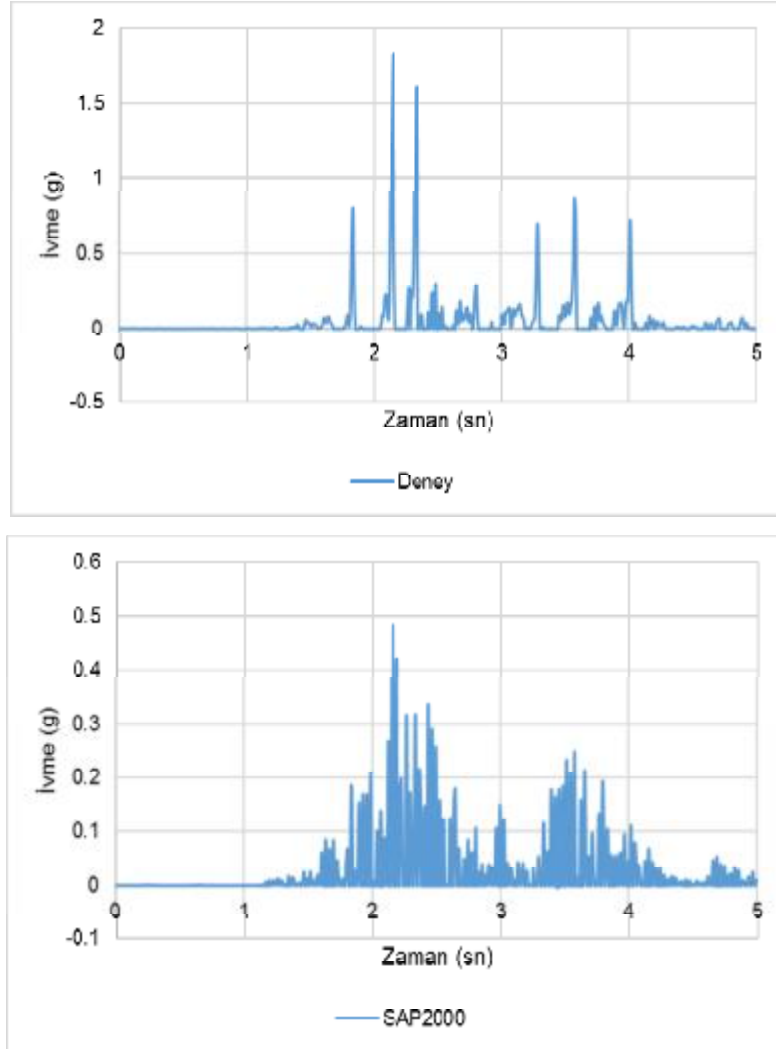
a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm oranı olarak 0.0590 kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.8'da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır.

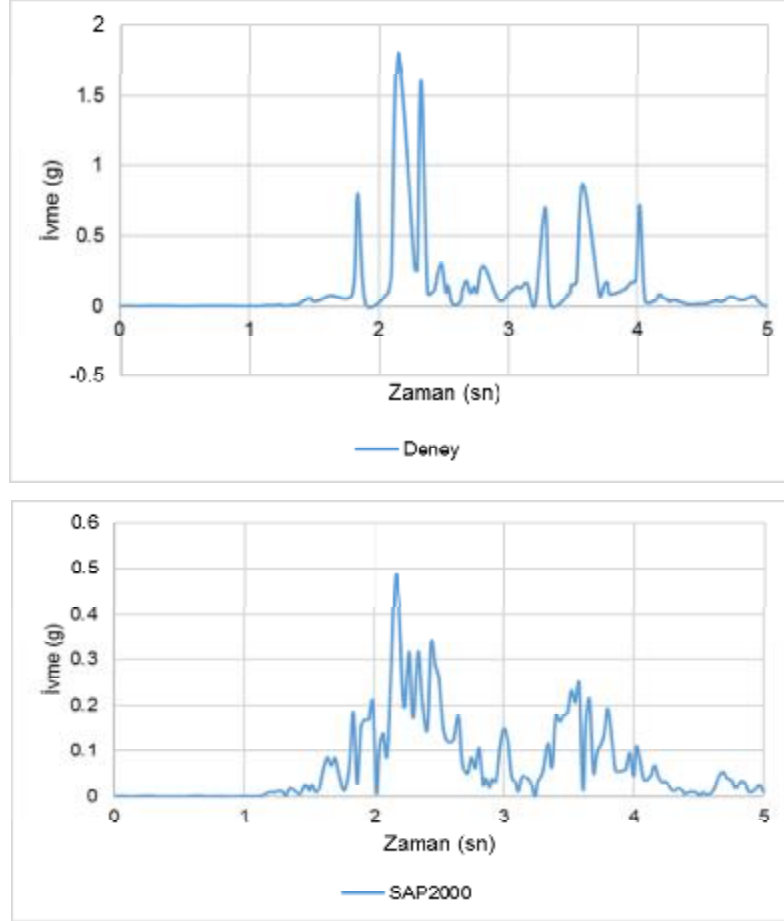


Şekil 5.8. Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları

Deney ve SAP2000 analizi sonuçlarının ilk 5 saniyesinin sadece pozitif kısımları alınarak Şekil 5.9'daki grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin maksimum ivme değerleri birleştirilerek Şekil 5.10'deki zarf eğrileri oluşturulmuş.



Şekil 5.9. Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı



Şekil 5.10. Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri

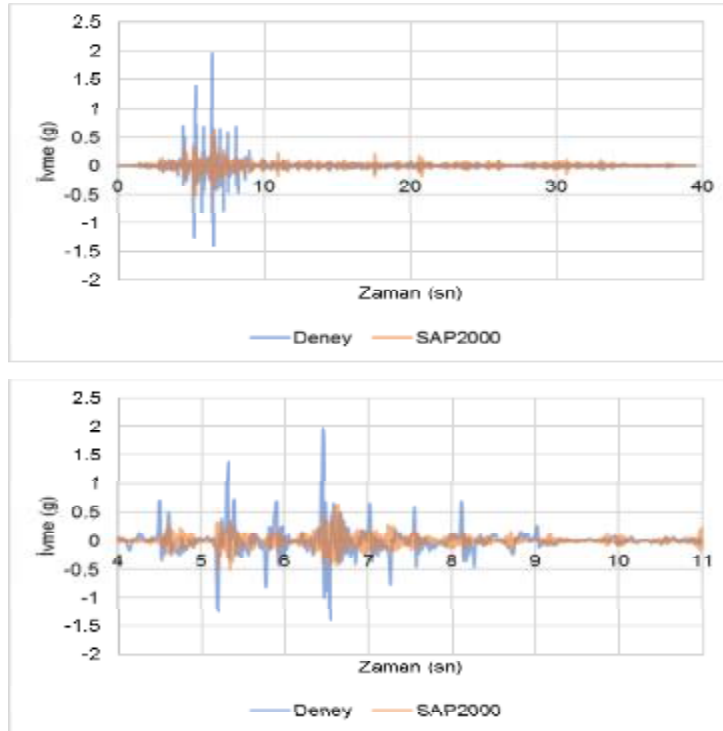
Şekil 5.10'daki zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.4'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonucuna göre oranlanmıştır.

Çizelge 5.4. El Centro deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-1 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.695	1
Sabit Sönüm SAP2000	0.346	0.50

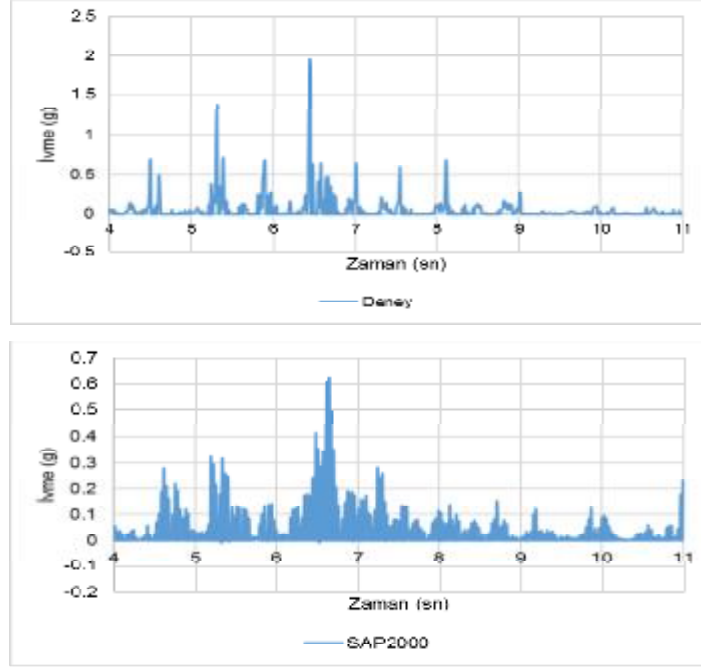
b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm oranı olarak 0.0590 kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.11’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniyeler arasındaki veriler ele alınmıştır.

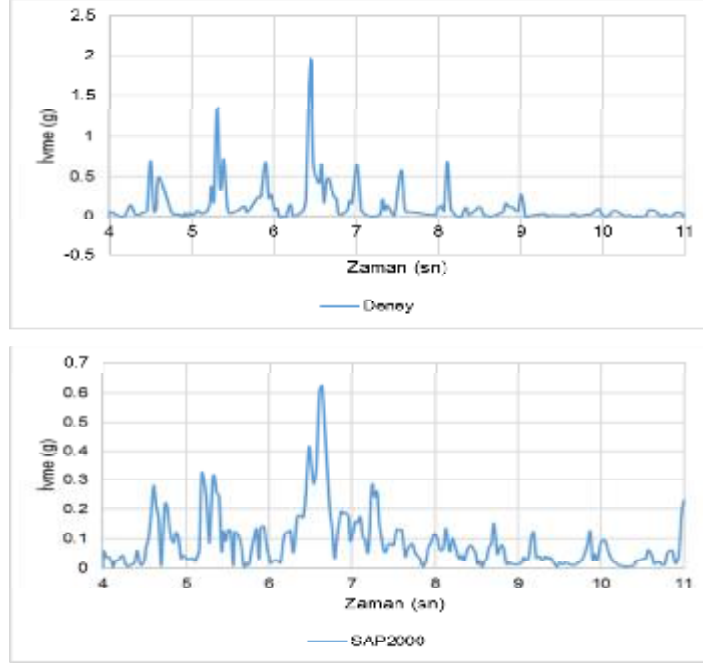


Şekil 5.11. Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları

Deney ve SAP2000 analizi sonuçlarının 4. ile 11. saniye arasındaki verilerin sadece pozitif kısımları alınarak Şekil 5.12’deki grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin maksimum ivme değerleri birleştirilerek Şekil 5.13’teki zarf eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 5.12. Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı



Şekil 5.13. Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri

Şekil 5.13'teki zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.5'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonucuna göre oranlanmıştır.

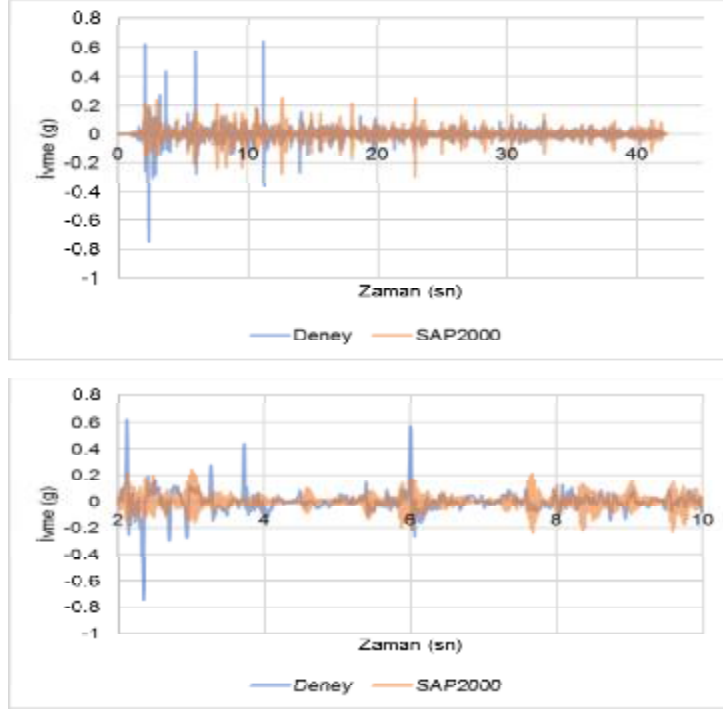
Çizelge 5.5. Friuli deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-1 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.91	1.00
Sabit Sönüm SAP2000	0.63	0.69

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

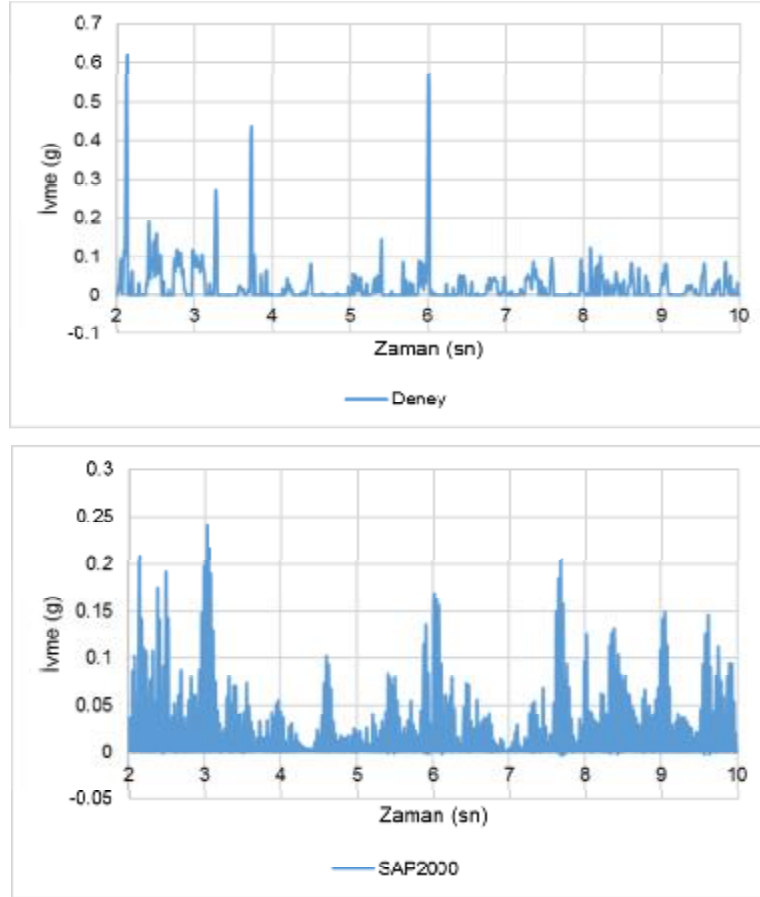
Analizde sönüm oranı olarak 0.0590 kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme

verileriyle Şekil 5.14'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmıştır.

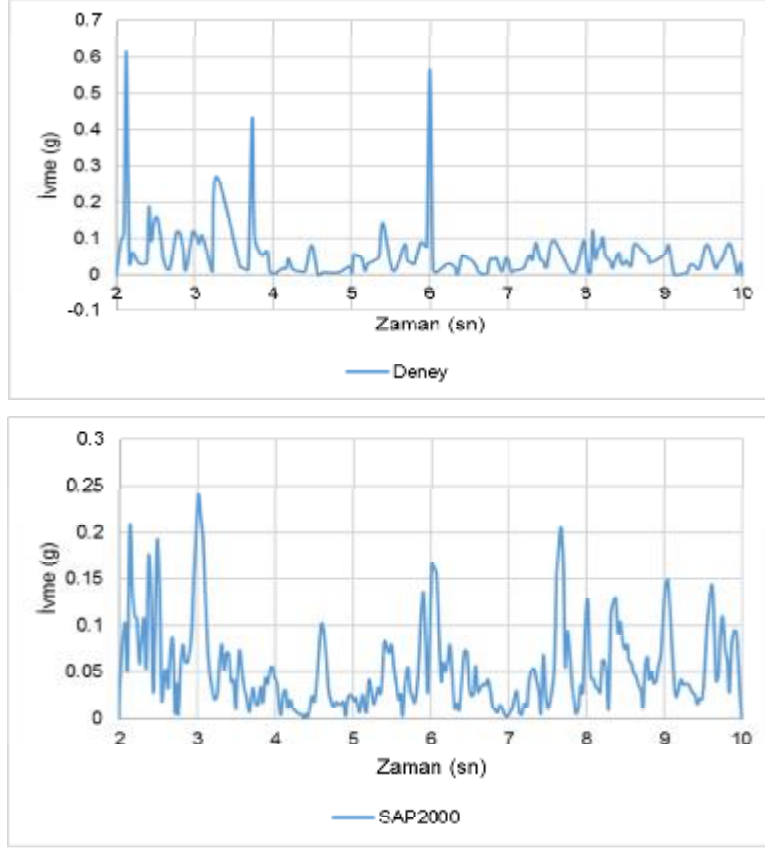


Şekil 5.14. Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları

Deney ve SAP2000 analizi sonuçlarının 2. ile 10. saniye arasındaki verilerin sadece pozitif kısımları alınarak Şekil 5.15'teki grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin maksimum ivme değerleri birleştirilerek Şekil 5.16'daki zarf eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 5.15. Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı



Şekil 5.16. Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri

Şekil 5.16'daki zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan "Yamuk Kuralı" ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonucuna göre oranlanmıştır.

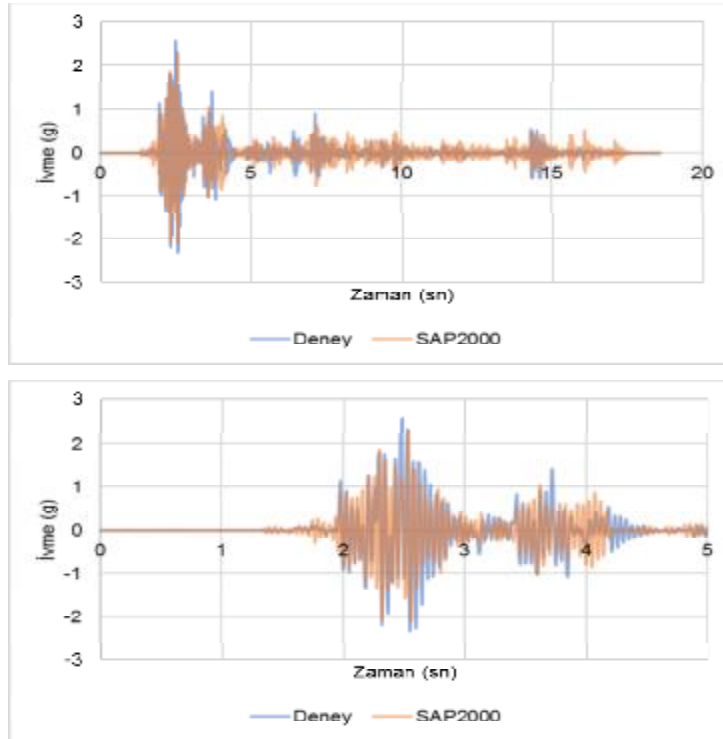
Çizelge 5.6. Hollister deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-1 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.450	1
Sabit Sönüm SAP2000	0.437	0.97

5.4.1.2. Ç1-2 Nolu Model Yapı Analizi

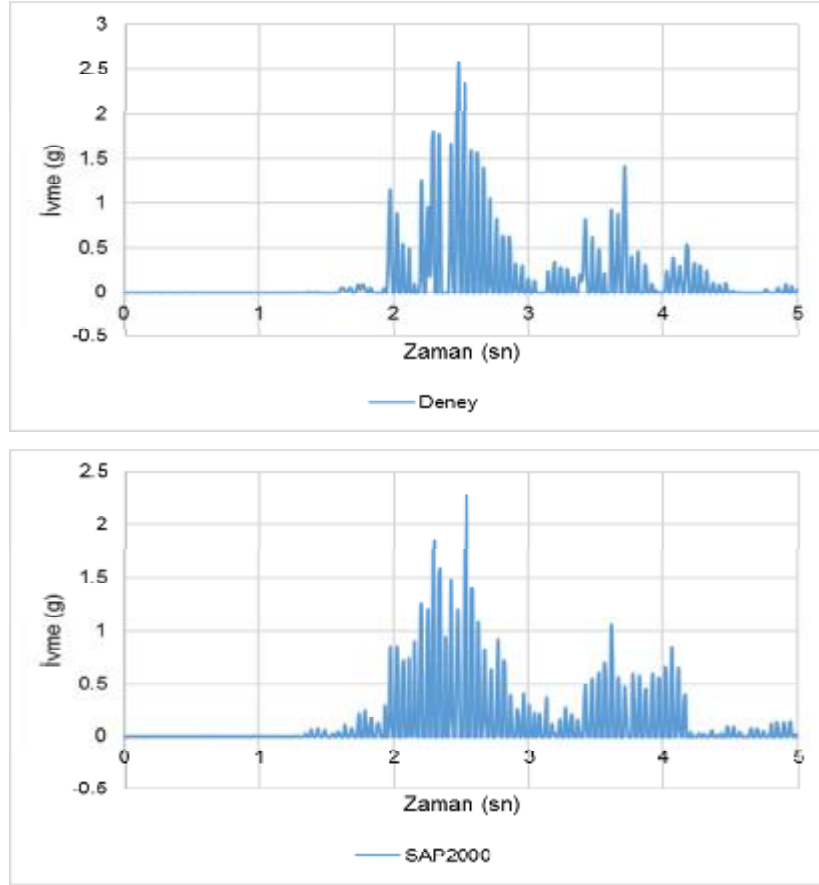
a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm oranı olarak 0.0562 kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.17’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır.

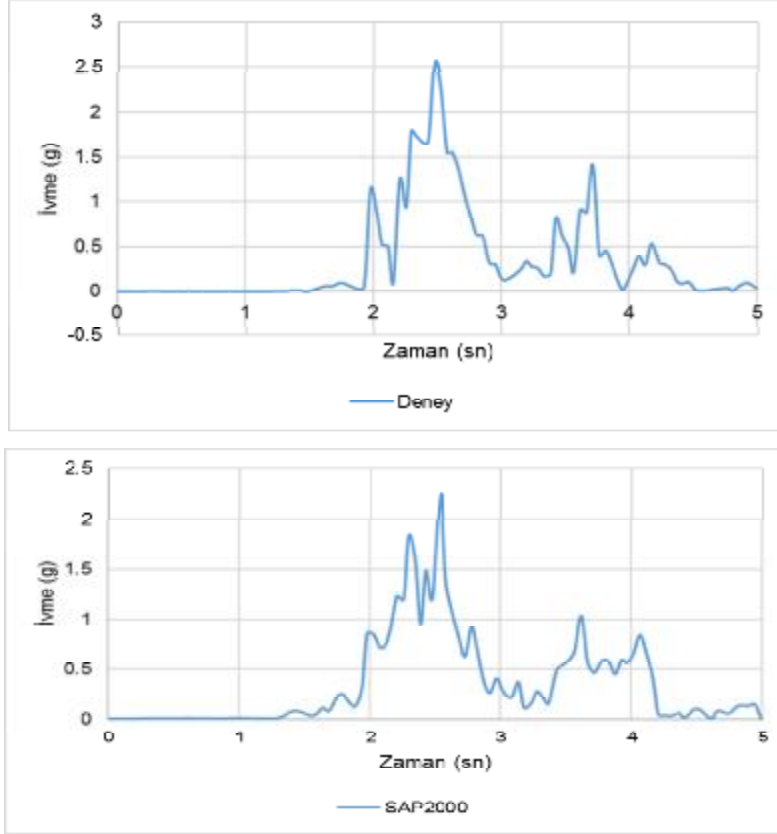


Şekil 5.17. Ç1-2 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları

Deney ve SAP2000 analizi sonuçlarının ilk 5 saniyesinin sadece pozitif kısımları alınarak Şekil 5.18’deki grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin maksimum ivme değerleri birleştirilerek Şekil 5.19’daki zarf eğrisi oluşturulmuş.



Şekil 5.18. Ç1-2 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı



Şekil 5.19. Ç1-2 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri

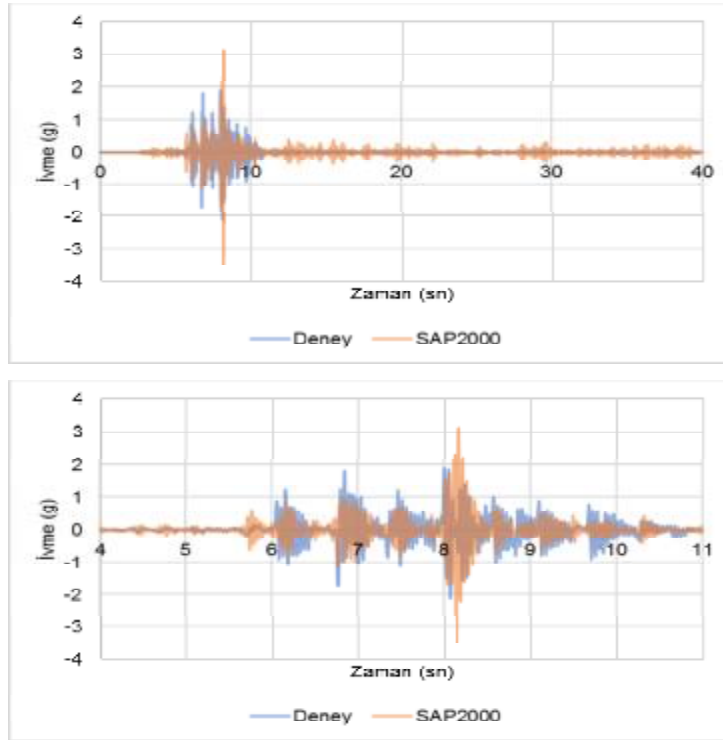
Şekil 5.19'daki zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.7’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonucuna göre oranlanmıştır.

Çizelge 5.7. El Centro deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-2 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	1.789	1
Sabit Sönüm SAP2000	1.757	0.98

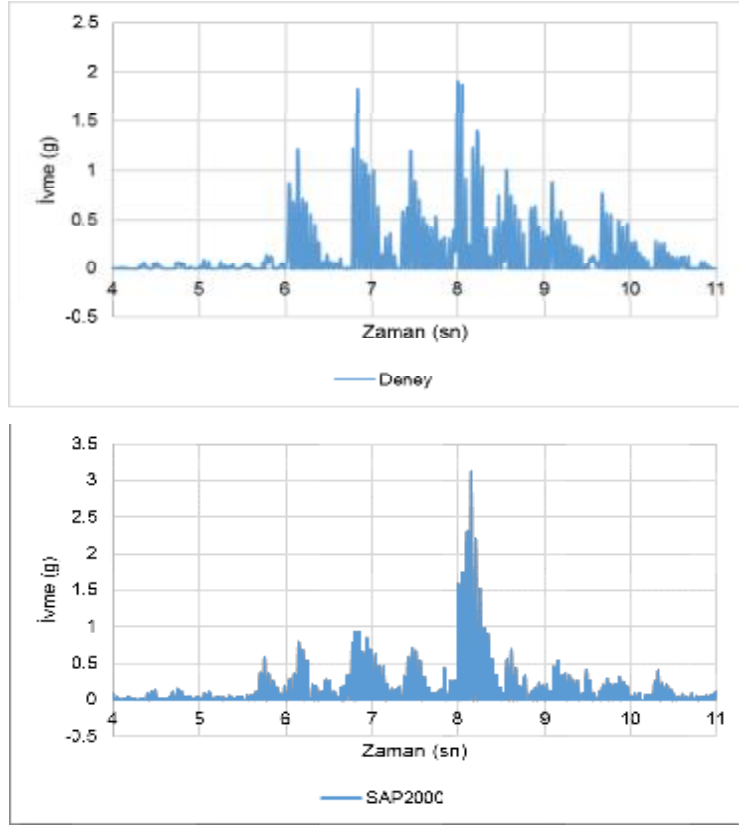
b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm oranı olarak 0.0562 kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.20’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. İle 11. saniye arasındaki veriler ele alınmıştır.

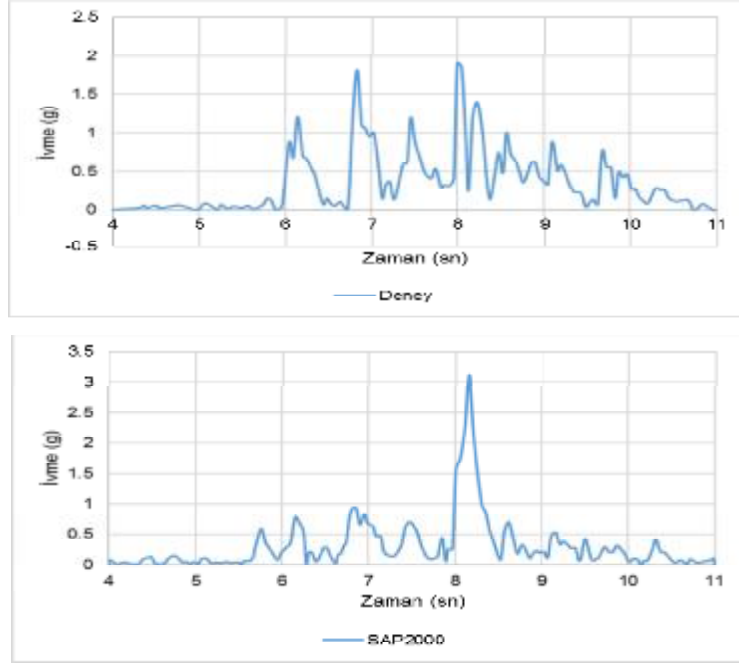


Şekil 5.20. Ç1-2 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları

Deney ve SAP2000 analizi sonuçlarının 4. ile 11. saniye arasındaki verilerin sadece pozitif kısımları alınarak Şekil 5.21’deki grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin maksimum ivme değerleri birleştirilerek Şekil 5.22’deki zarf eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 5.21. Ç1-2 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı



Şekil 5.22. Ç1-2 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri

Şekil 5.22'deki zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.8’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonucuna göre oranlanmıştır.

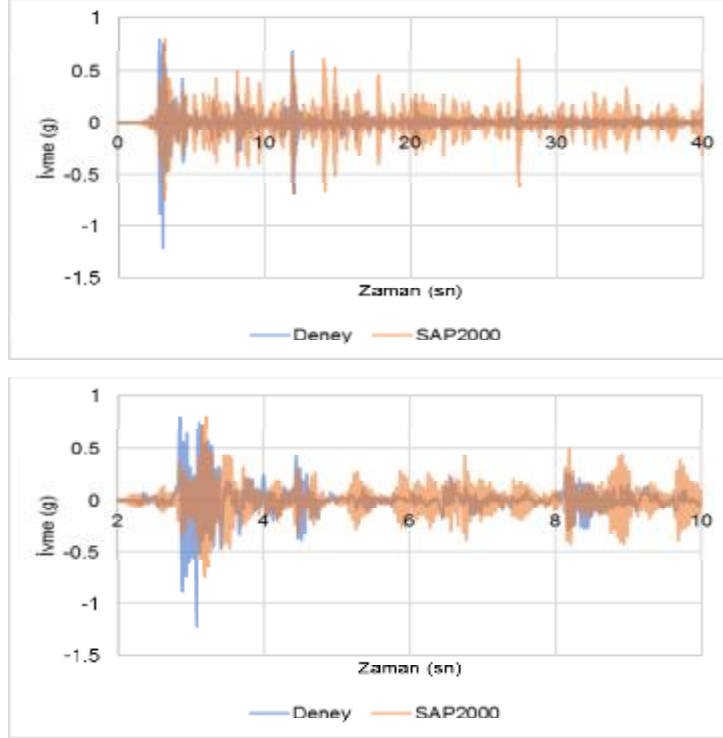
Çizelge 5.8. Friuli deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-2 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	2.492	1
Sabit Sönüm SAP2000	2.188	0.88

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

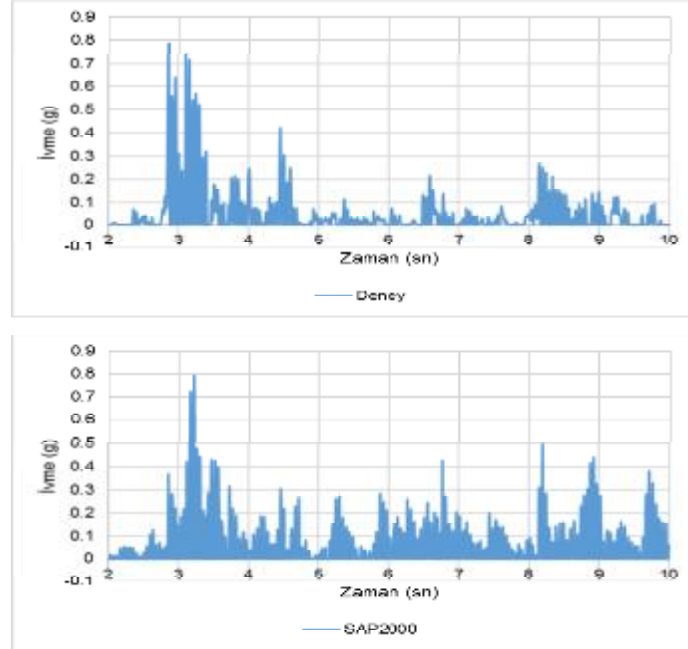
Analizde sönüm oranı olarak 0.0562 kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme

verileriyle Şekil 5.23'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmıştır.

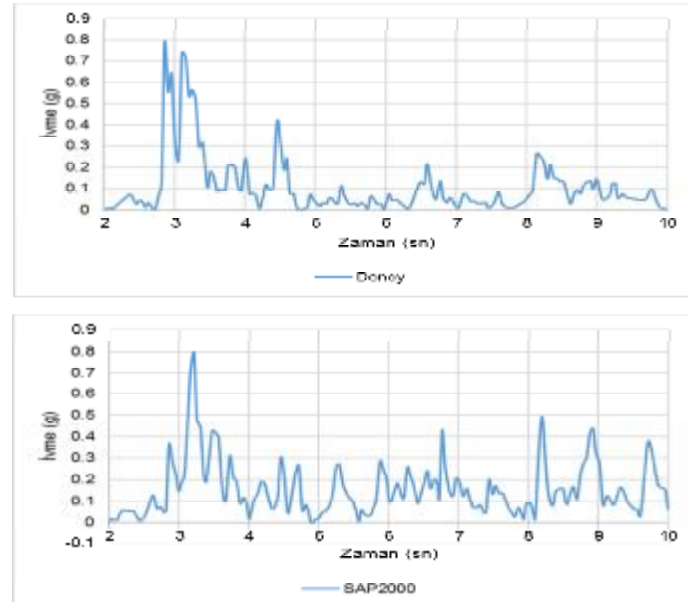


Şekil 5.23. Ç1-2 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları

Deney ve SAP2000 analizi sonuçlarının 2. ile 10. saniye arasındaki verilerin sadece pozitif kısımları alınarak Şekil 5.24'teki grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin maksimum ivme değerleri birleştirilerek Şekil 5.25'teki zarf eğrisi oluşturulmuş.



Şekil 5.24. Ç1-2 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı



Şekil 5.25. Ç1-2 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri

Şekil 5.25'teki zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.9'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonucuna göre oranlanmıştır.

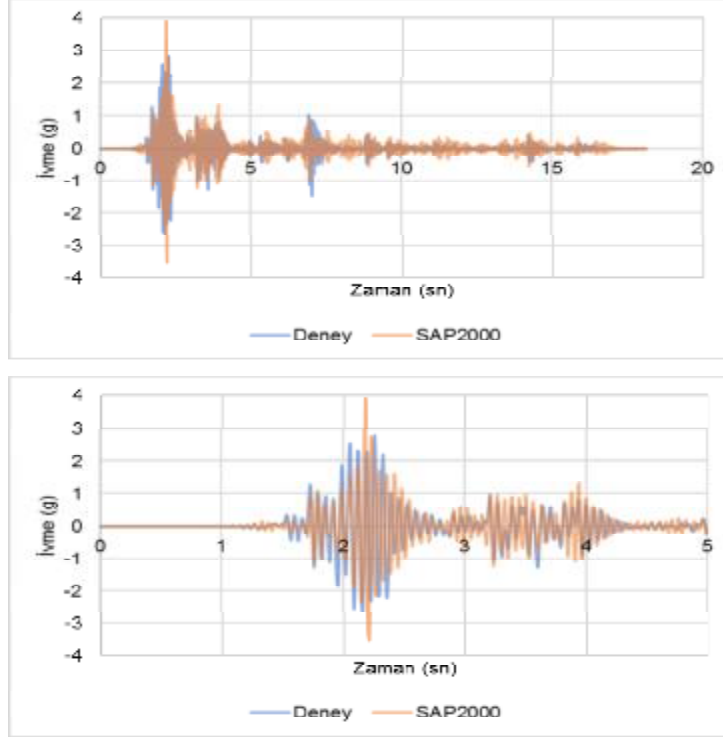
Çizelge 5.9. Hollister deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-2 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.848	1
Sabit Sönüm SAP2000	1.259	1.48

5.4.1.3. Ç1-3 Nolu Model Yapı Analizi

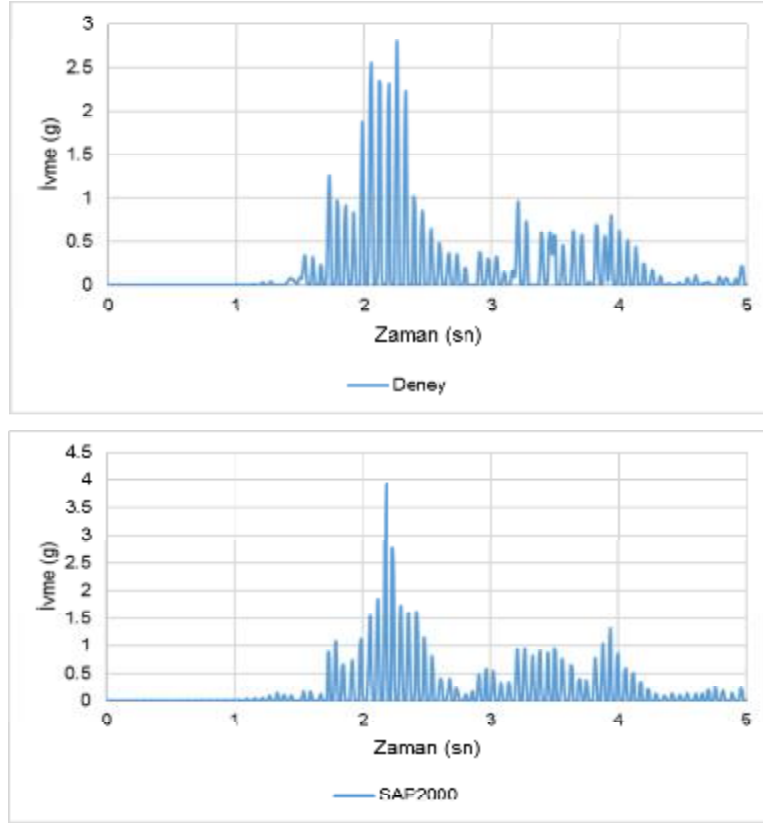
a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm oranı olarak 0.0551 kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.26'da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır.

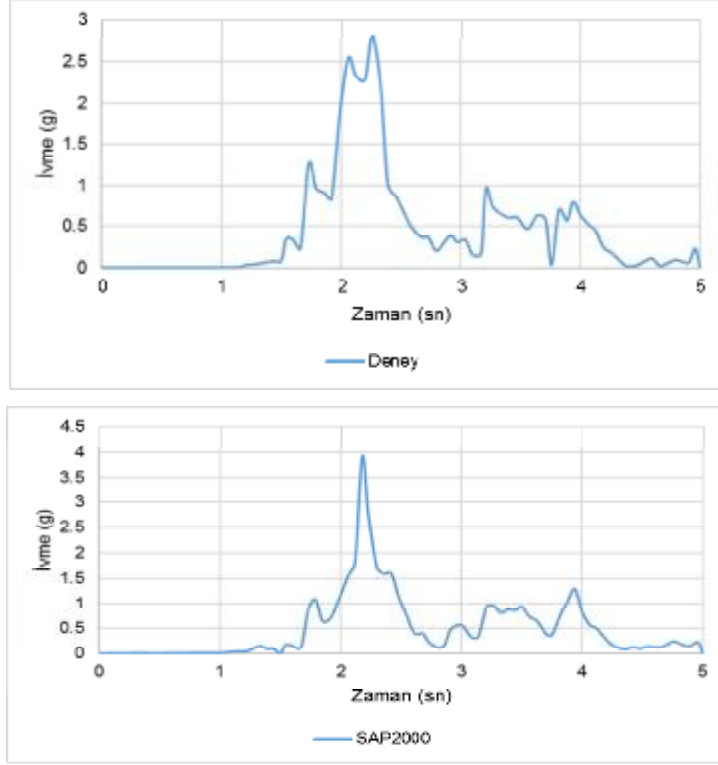


Şekil 5.26. Ç1-3 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları

Deney ve SAP2000 analizi sonuçlarının ilk 5 saniyesinin sadece pozitif kısımları alınarak Şekil 5.27'deki grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin maksimum ivme değerleri birleştirilerek Şekil 5.28'deki zarf eğrisi oluşturulmuş.



Şekil 5.27. Ç1-3 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı



Şekil 5.28. Ç1-3 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri

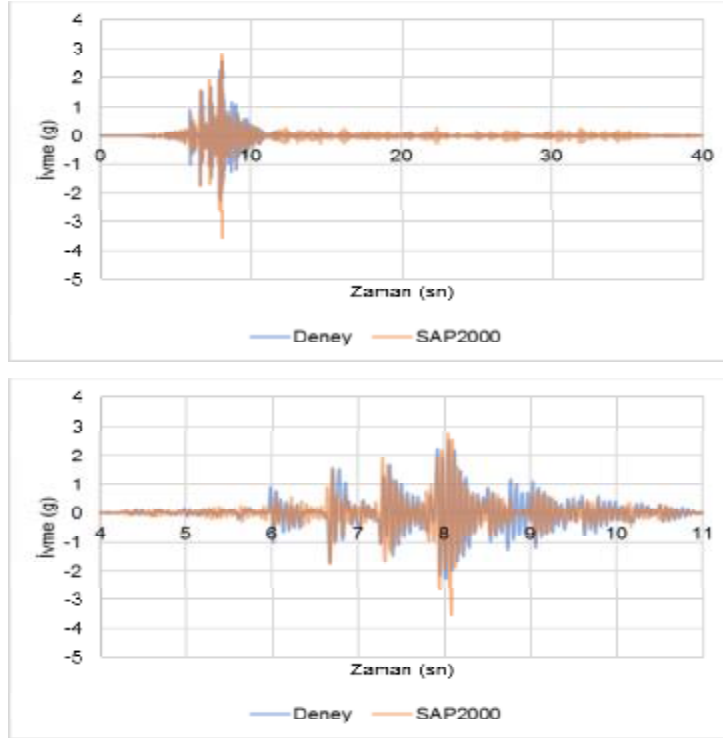
Şekil 5.28'deki zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.10'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonucuna göre oranlanmıştır.

Çizelge 5.10. El Centro deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-3 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	2.292	1
Sabit Sönüm SAP2000	2.479	1.08

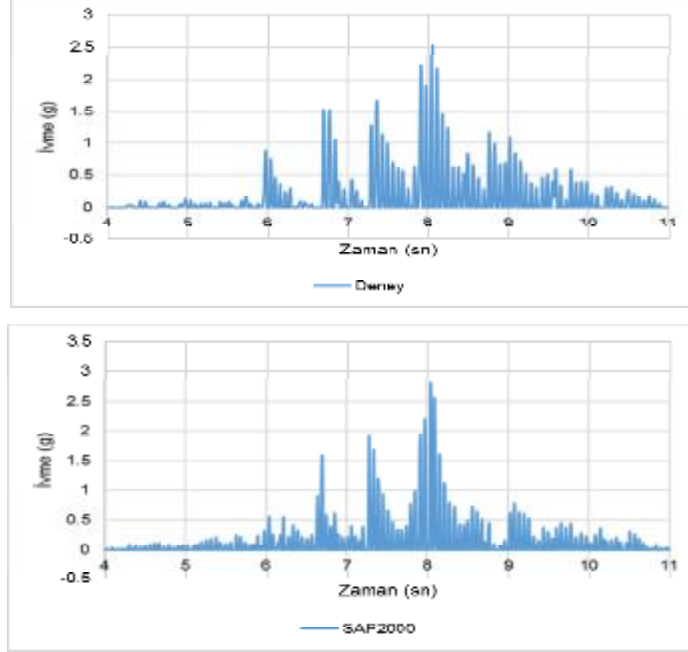
b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm oranı olarak 0.0551 kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.29'da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmıştır.

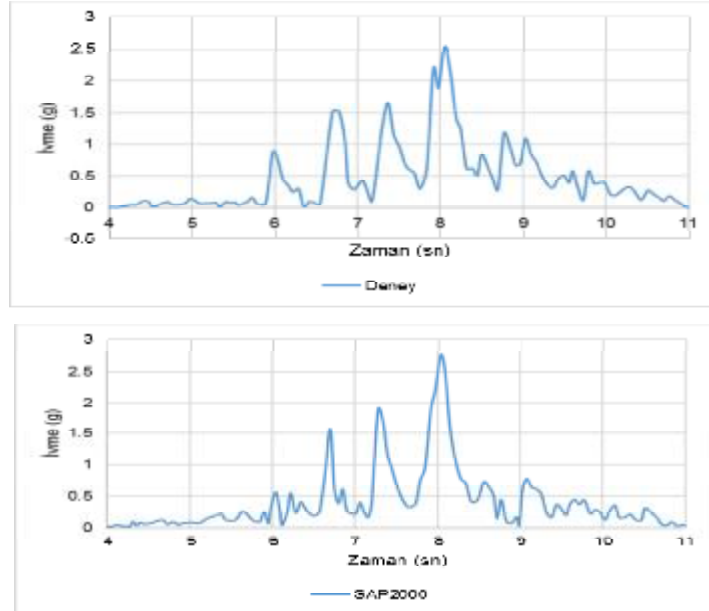


Şekil 5.29. Ç1-3 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları

Deney ve SAP2000 analizi sonuçlarının 4. ile 11. saniye arasındaki verilerin sadece pozitif kısımları alınarak Şekil 5.30'daki grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin maksimum ivme değerleri birleştirilerek Şekil 5.31'deki zarf eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 5.30. Ç1-3 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı



Şekil 5.31. Ç1-3 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri

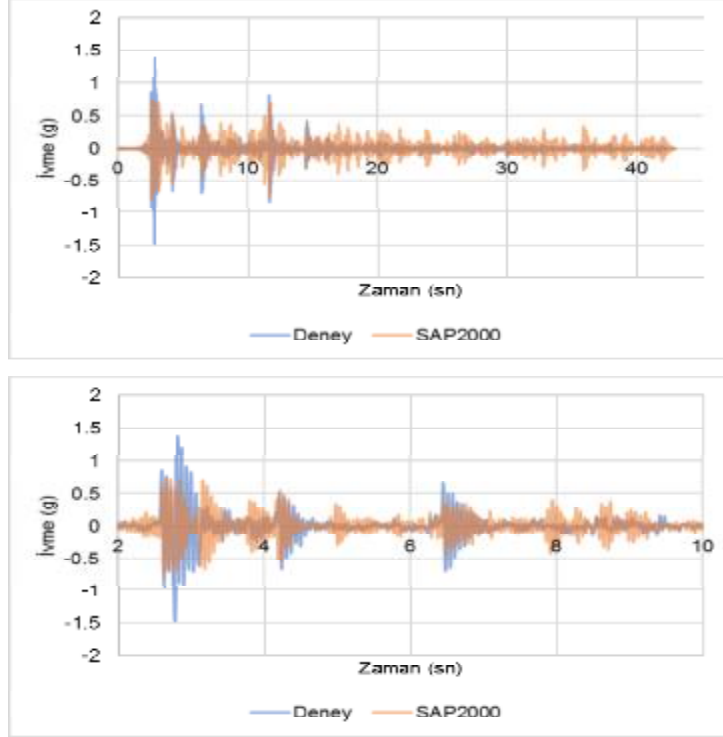
Şekil 5.31’deki zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.11’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonucuna göre oranlanmıştır.

Çizelge 5.11. Friuli deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-3 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	3.315	1
Sabit Sönüm SAP2000	2.883	0.87

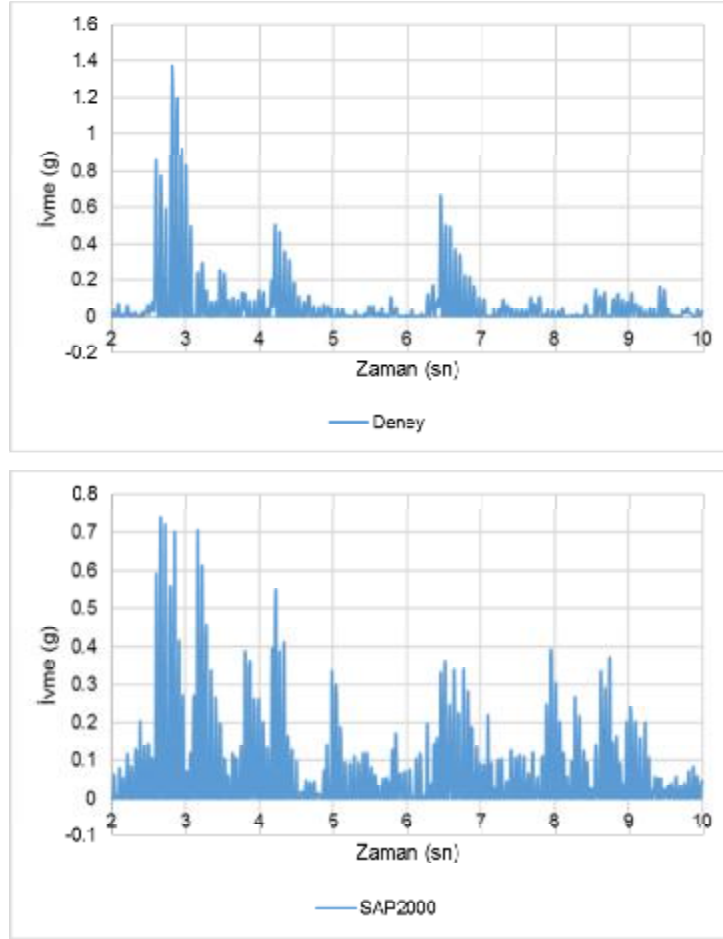
c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm oranı olarak 0.0551 kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.32’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmıştır.

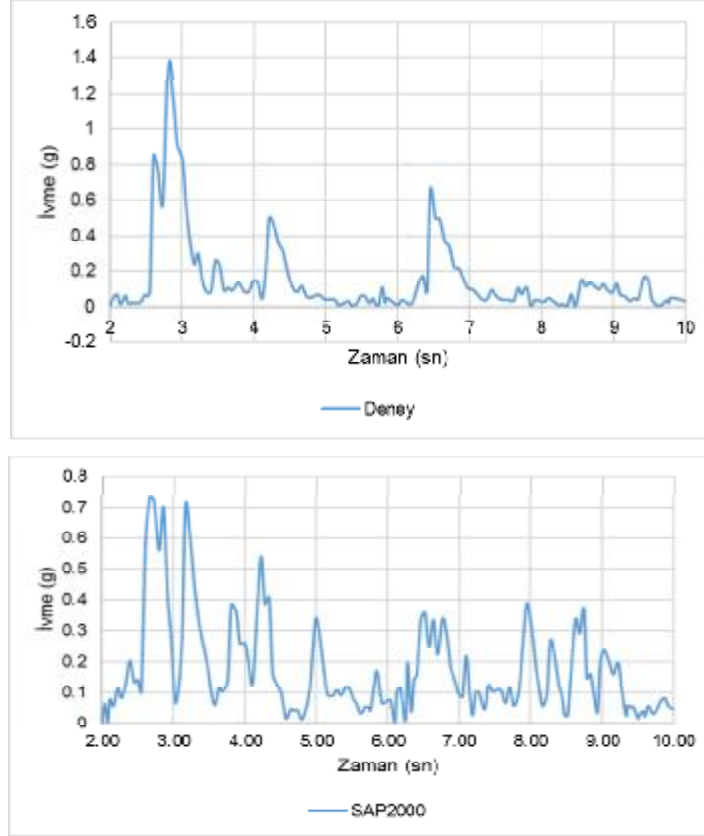


Şekil 5.32. Ç1-3 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları

Deney ve SAP2000 analizi sonuçlarının 2. ile 10. saniye arasındaki verilerin sadece pozitif kısımları alınarak Şekil 5.33'teki grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin maksimum ivme değerleri birleştirilerek Şekil 5.34'teki zarf eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 5.33. Ç1-3 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı



Şekil 5.34. Ç1-3 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri

Şekil 5.34'teki zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.12’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonucuna göre oranlanmıştır.

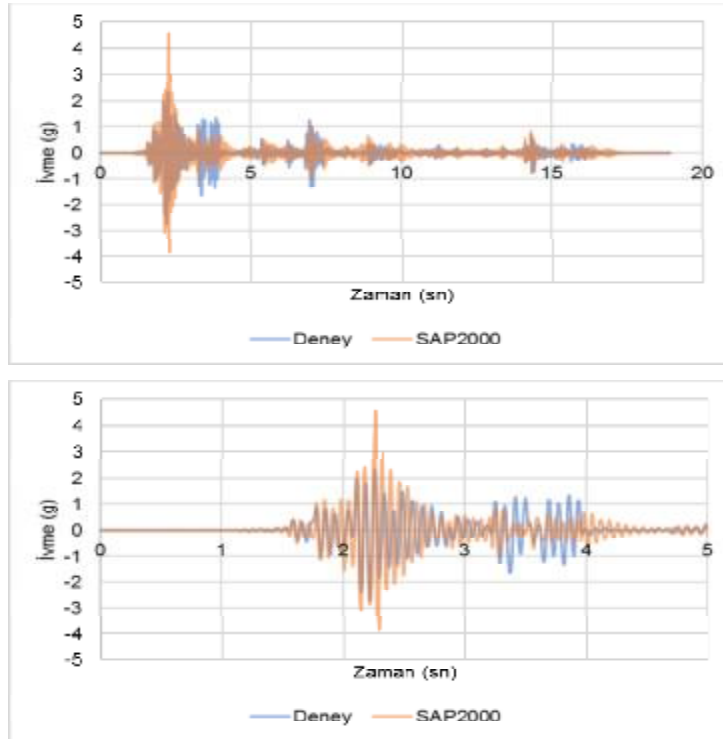
Çizelge 5.12. Hollister deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-3 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	1.220	1
Sabit Sönüm SAP2000	1.435	1.18

5.4.1.4. Ç1-4 Nolu Model Yapı Analizi

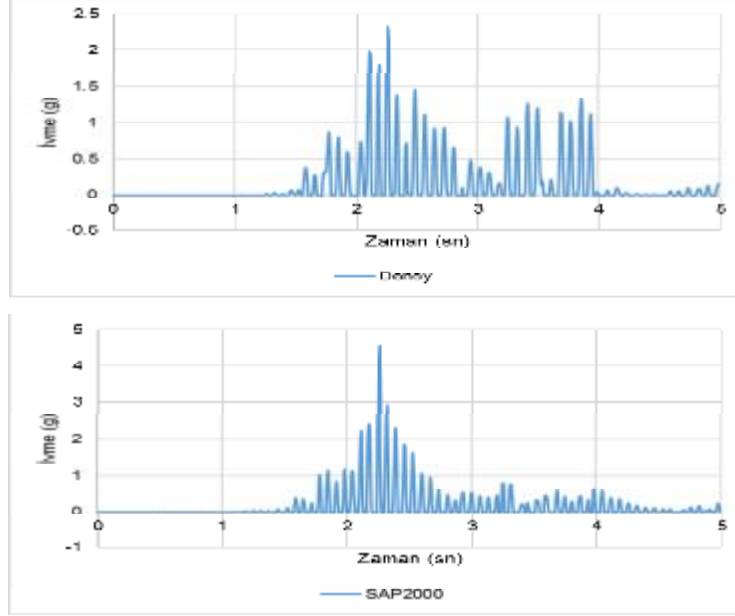
a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm oranı olarak 0.0510 kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.35'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır.

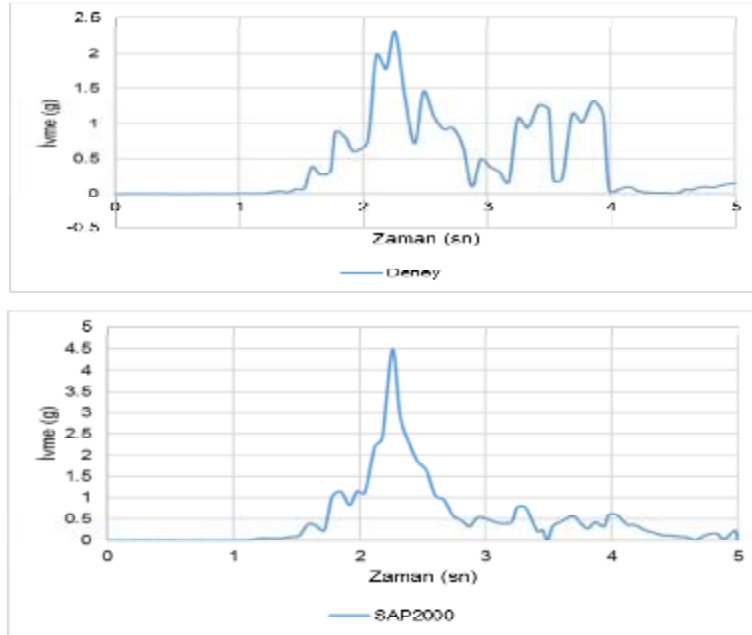


Şekil 5.35. Ç1-4 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları

Deney ve SAP2000 analizi sonuçlarının ilk 5 saniyesinin sadece pozitif kısımları alınarak Şekil 5.36'daki grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin maksimum ivme değerleri birleştirilerek Şekil 5.37'deki zarf eğrisi oluşturulmuş.



Şekil 5.36. Ç1-4 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı



Şekil 5.37. Ç1-4 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri

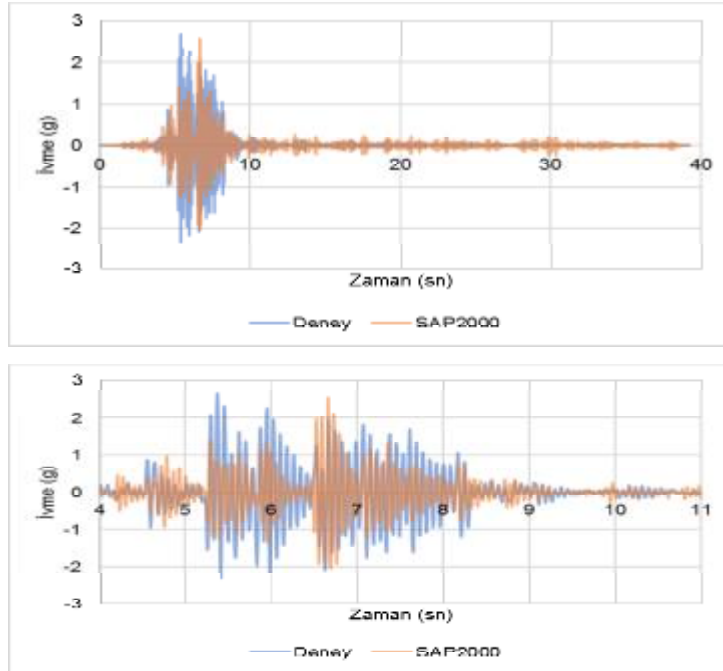
Şekil 5.37’deki zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.13’te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonucuna göre oranlanmıştır.

Çizelge 5.13. El Centro deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-4 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	2.240	1
Sabit Sönüm SAP2000	2.626	1.17

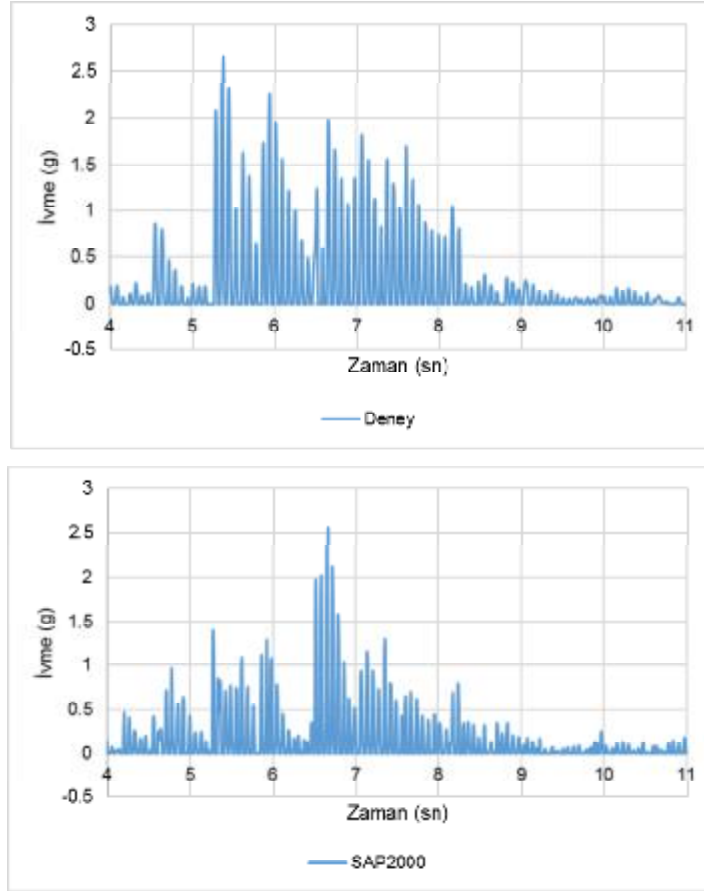
b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm oranı olarak 0.0510 kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.38’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmıştır.

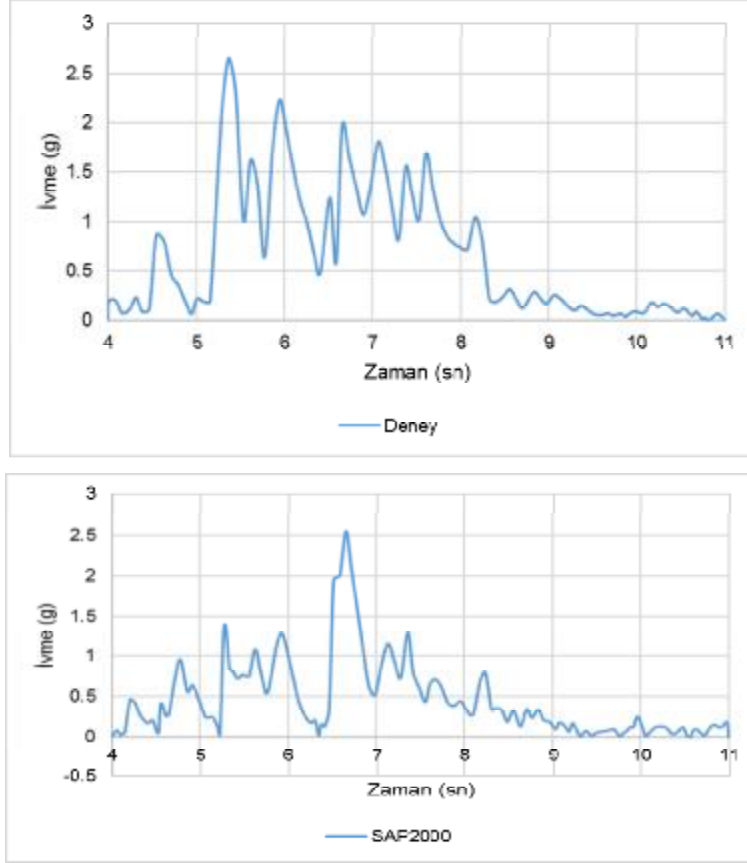


Şekil 5.38. Ç1-4 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları

Deney ve SAP2000 analizi sonuçlarının 4. ile 11. saniye arasındaki verilerin sadece pozitif kısımları alınarak Şekil 5.39'daki grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin maksimum ivme değerleri birleştirilerek Şekil 5.40'daki zarf eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 5.39. Ç1-4 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı



Şekil 5.40. Ç1-4 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri

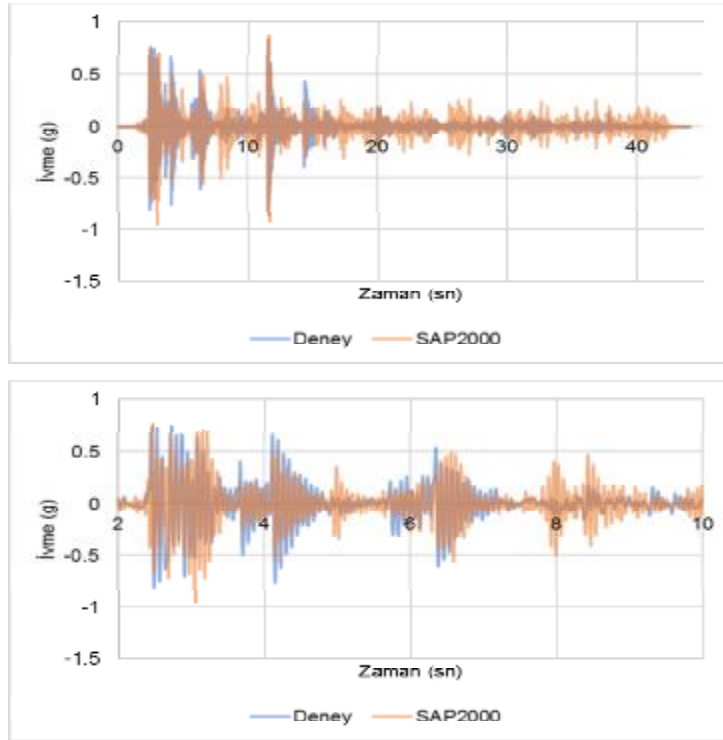
Şekil 5.40'daki zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.14'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonucuna göre oranlanmıştır.

Çizelge 5.14. Friuli deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-4 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	4.747	1
Sabit Sönüm SAP2000	3.294	0.69

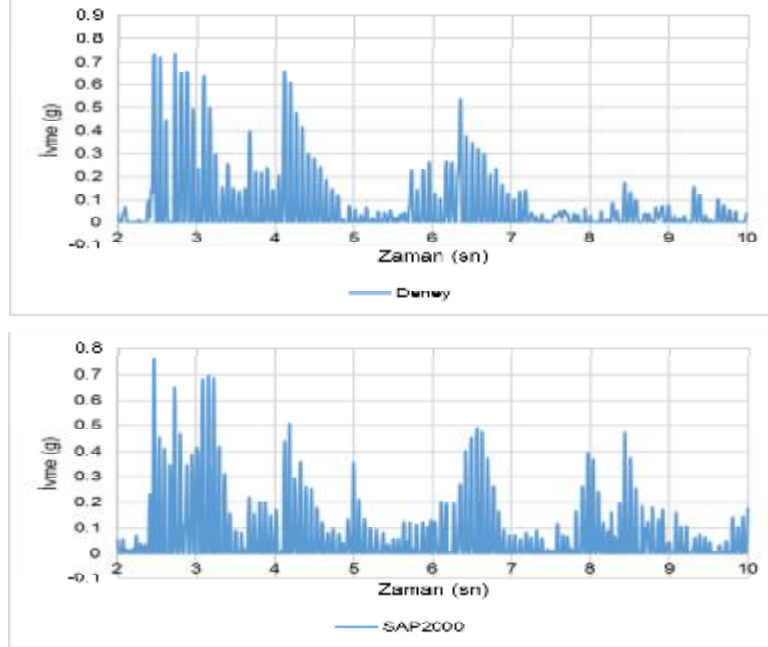
c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm oranı olarak 0.0510 kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.41’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmıştır.

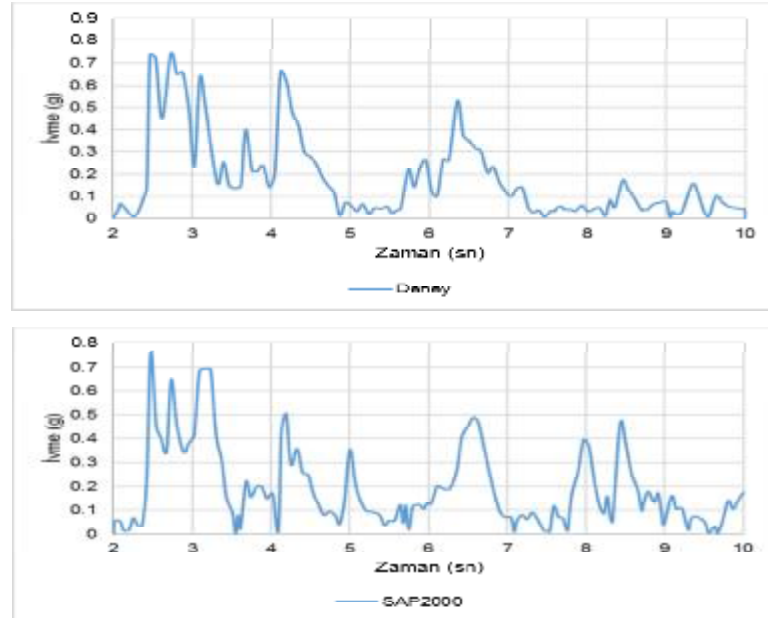


Şekil 5.41. Ç1-4 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçları

Deney ve SAP2000 analizi sonuçlarının 2. ile 10. saniye arasındaki verilerin sadece pozitif kısımları alınarak Şekil 5.42’deki grafik elde edilmiştir. Elde edilen grafiklerin maksimum ivme değerleri birleştirilerek Şekil 5.43’deki zarf eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 5.42. Ç1-4 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarının pozitif bölgede kalan kısmı



Şekil 5.43. Ç1-4 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (sabit sönüm) sonuçlarına ait zarf eğrileri

Şekil 5.43'teki zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.15'te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar deney sonucuna göre oranlanmıştır.

Çizelge 5.15. Hollister deprem verisi ve sabit sönüm ile Ç1-4 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	1.467	1
Sabit Sönüm SAP2000	1.559	1.06

5.4.2. Kütle Orantılı Sönüm Modeli ile Analizler

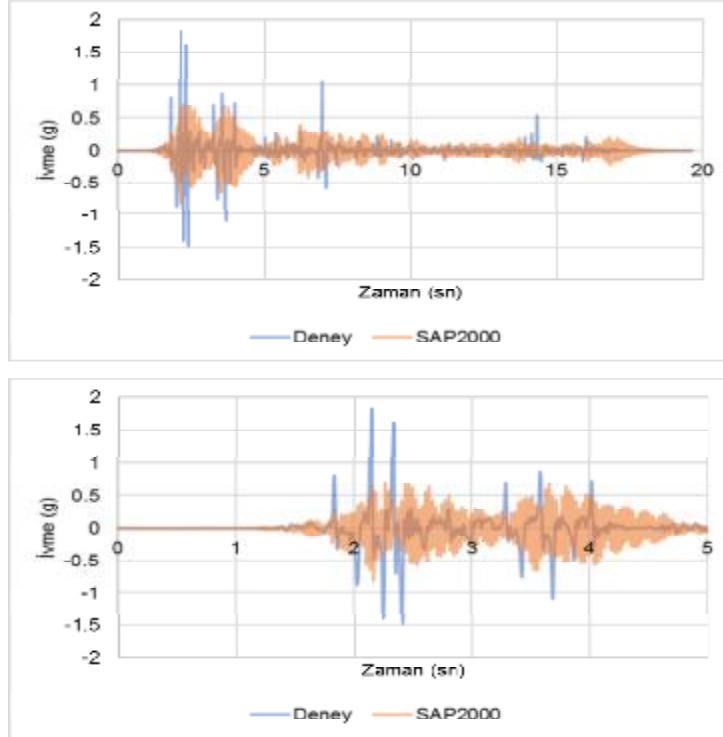
Bu başlıkta Ç1-1, Ç1-2, Ç1-3 ve Ç1-4 yapı modelleri için kütle orantılı sönüm modeli ile gerçekleştirilen analizler ele alınacaktır. Analizlerde El Centro, Friuli ve Hollister deprem verileri kullanılmıştır ve yapının ikinci katından elde edilen deney ve sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Deneylerden ve SAP2000 analizlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında bölüm 5.4.1'de uygulanan işlem adımları uygulanmıştır.

5.4.2.1. Ç1-1 Nolu Model Yapı Analizi

a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0590 hakim titreşim frekansı ise 36.935Hz kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.44'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 5.16'da verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.44. Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (kütle orantılı sönüm modeli) sonuçları

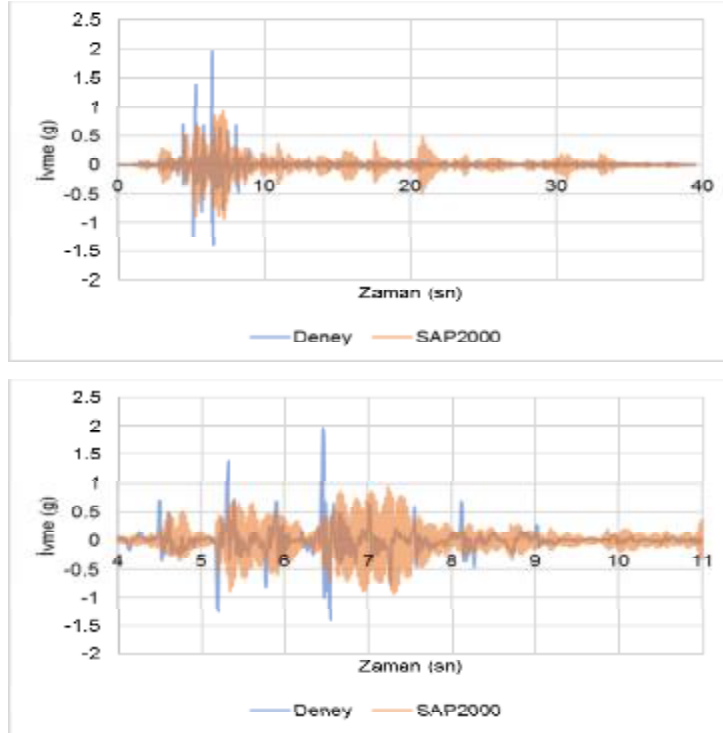
Çizelge 5.16. El Centro deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.70	1.00
Kütle Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	1.03	1.49

b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0562 hakim titreşim frekansı ise 36.935 Hz kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.45’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve

zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.17’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



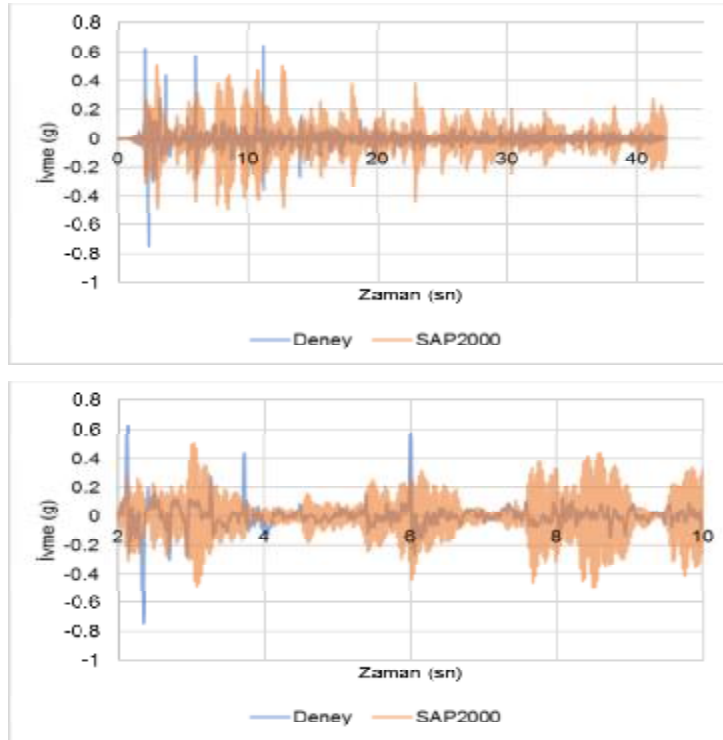
Şekil 5.45. Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (kütle orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.17. Friuli deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.91	1.00
Kütle Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	1.84	2.03

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0590 hakim titreşim frekansı ise 36.935Hz kullanılmıştır Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.46’da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.18’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



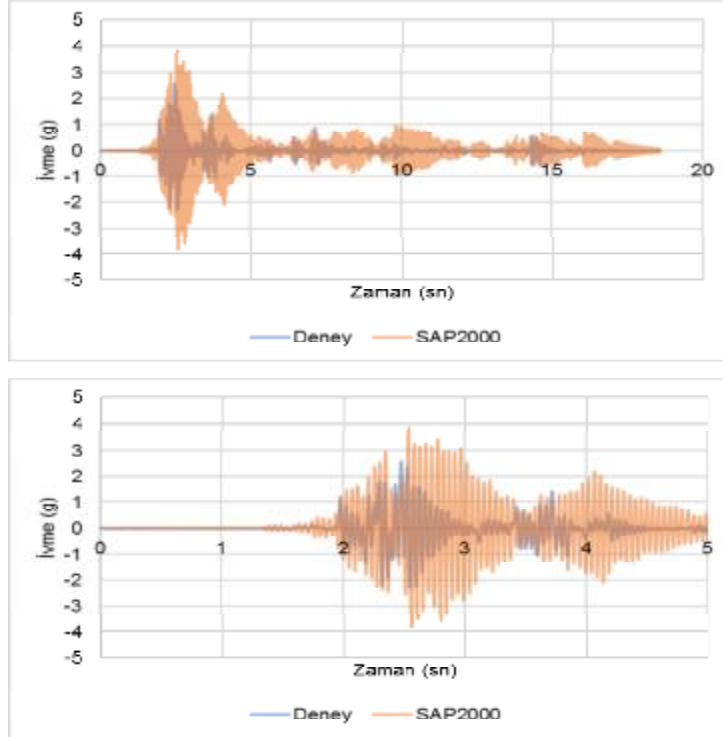
Şekil 5.46. Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (kütle orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.18. Hollister deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.45	1.00
Kütle Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	1.22	2.70

5.4.2.2. Ç1-2 Nolu Model Yapı Analizi*a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler*

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0562 hakim titreşim frekansı ise 24.548Hz kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.47’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.19’da verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.47. Ç1-2 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (kütle orantılı sönüm modeli) sonuçları

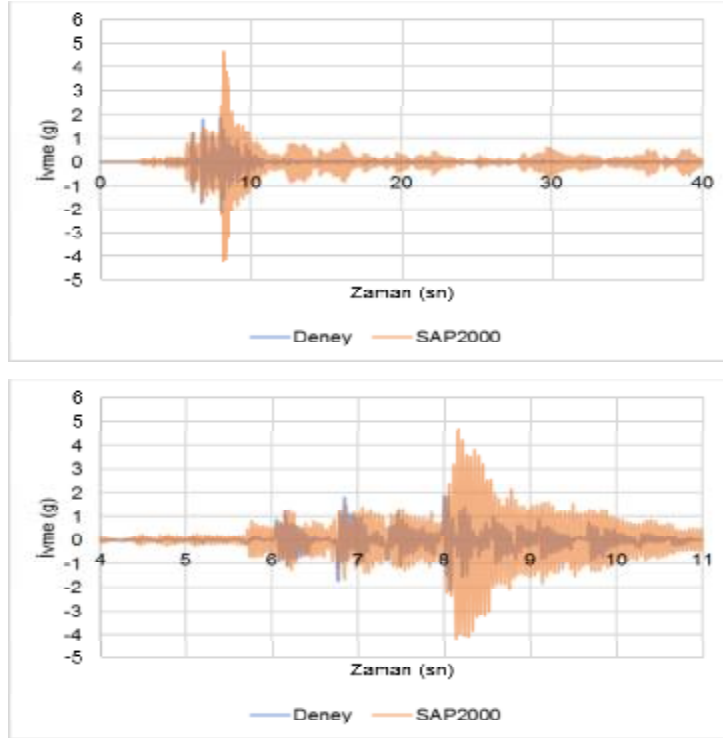
Çizelge 5.19. El Centro deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	1.79	1.00
Kütle Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	5.07	2.83

b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0562 hakim titreşim frekansı ise 24.548Hz kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.48’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve

zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.20’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



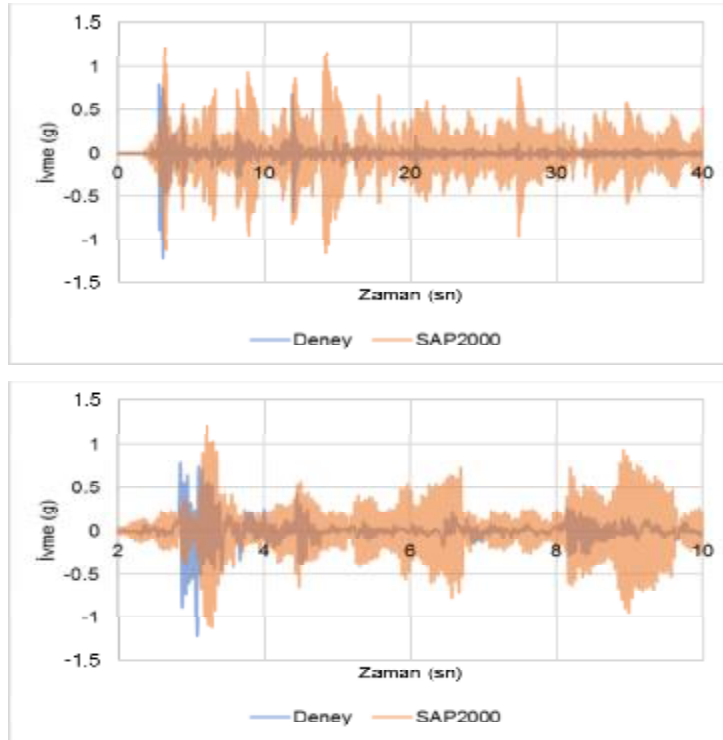
Şekil 5.48. Ç1-2 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (kütle orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.20. Friuli deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	2.49	1.00
Kütle Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	6.82	2.74

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0562 hakim titreşim frekansı ise 24.548Hz kullanılmıştır Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.49’da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.21’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



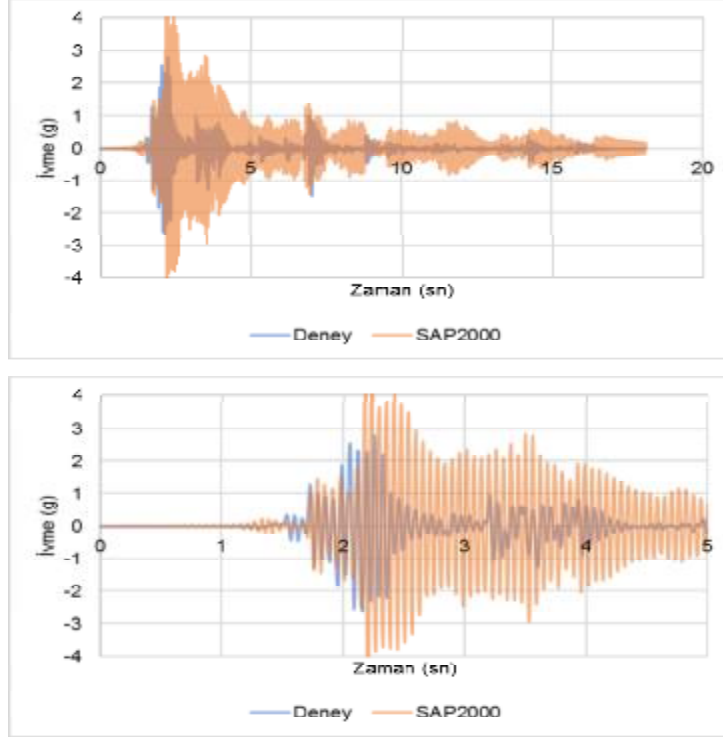
Şekil 5.49. Ç1-2 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (kütle orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.21. Hollister deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.85	1.00
Kütle Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	2.69	3.17

5.4.2.3. Ç1-3 Nolu Model Yapı Analizi*a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler*

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0551 hakim titreşim frekansı ise 19.462 Hz kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.50’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.22’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.50. Ç1-3 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (kütle orantılı sönüm modeli) sonuçları

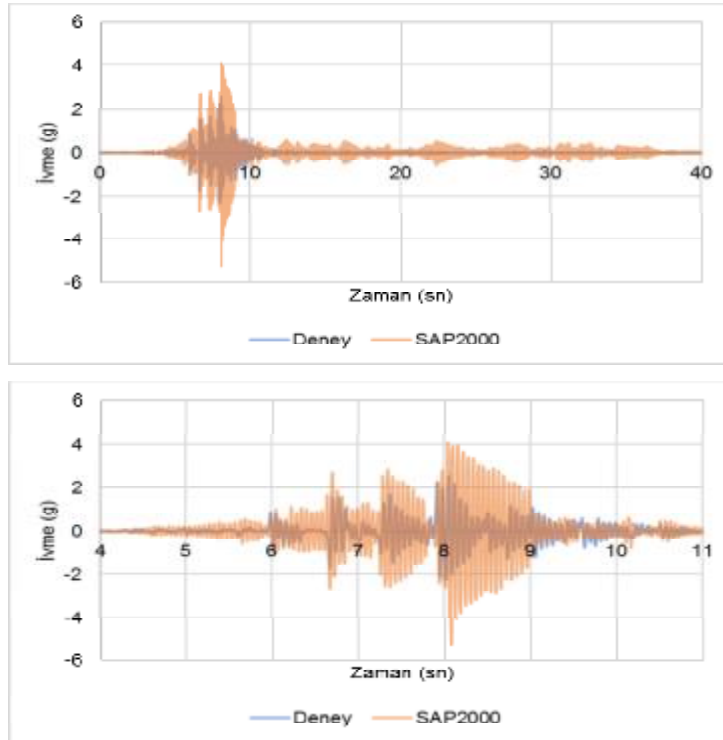
Çizelge 5.22. El Centro deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	2.29	1.00
Kütle Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	6.57	2.87

b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0551 hakim titreşim frekansı ise 19.492Hz kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.51’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve

zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.23’te verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



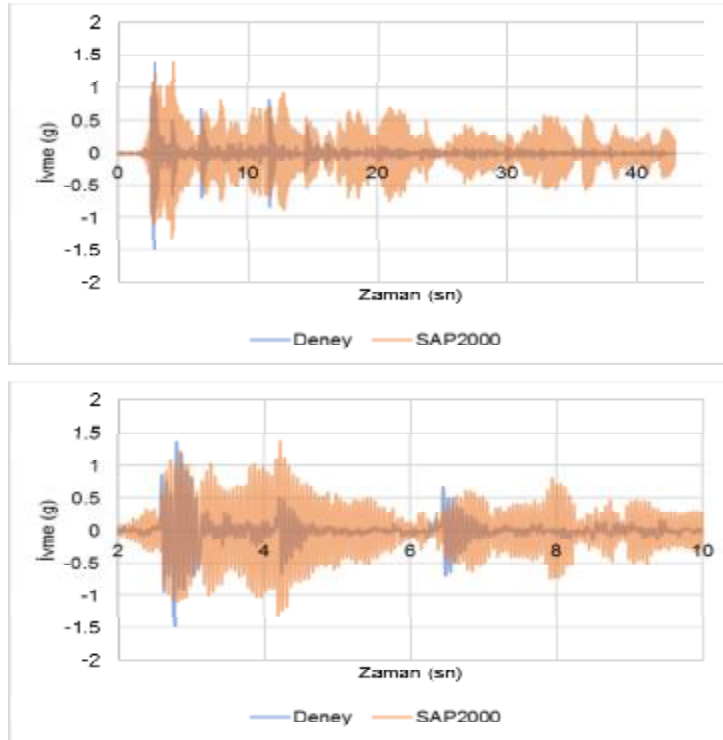
Şekil 5.51. Ç1-3 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (kütle orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.23. Friuli deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	3.32	1.00
Kütle Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	7.03	2.12

a) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0551 hakim titreşim frekansı ise 19.492Hz kullanılmıştır Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.52’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.24’te verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.52. Ç1-3 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (kütle orantılı sönüm modeli) sonuçları

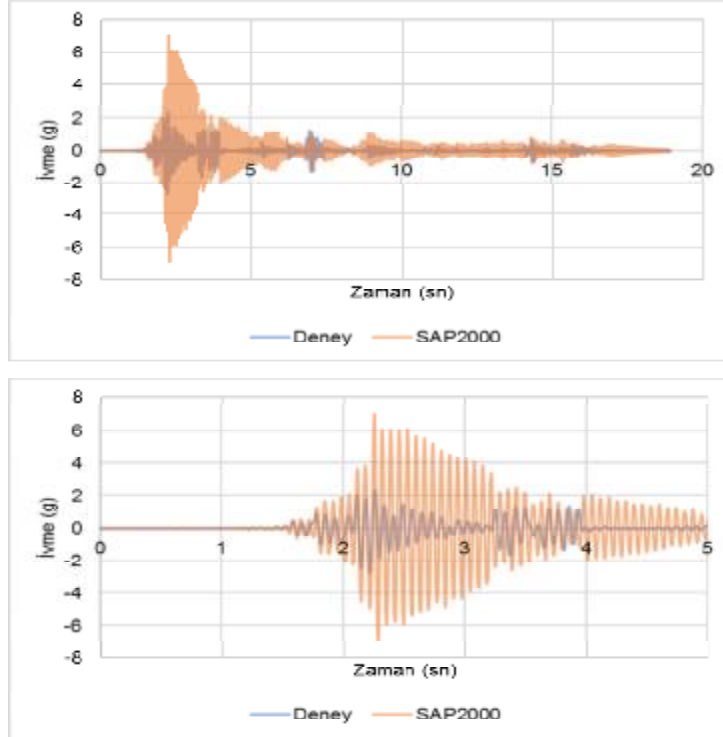
Çizelge 5.24. Hollister deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	1.22	1.00
Kütle Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	3.93	3.22

5.4.2.4. Ç1-4 Nolu Model Yapı Analizi

a) *El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler*

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0510 hakim titreşim frekansı ise 16.284Hz kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.53'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.25'te verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.53. Ç1-4 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (kütle orantılı sönüm modeli) sonuçları

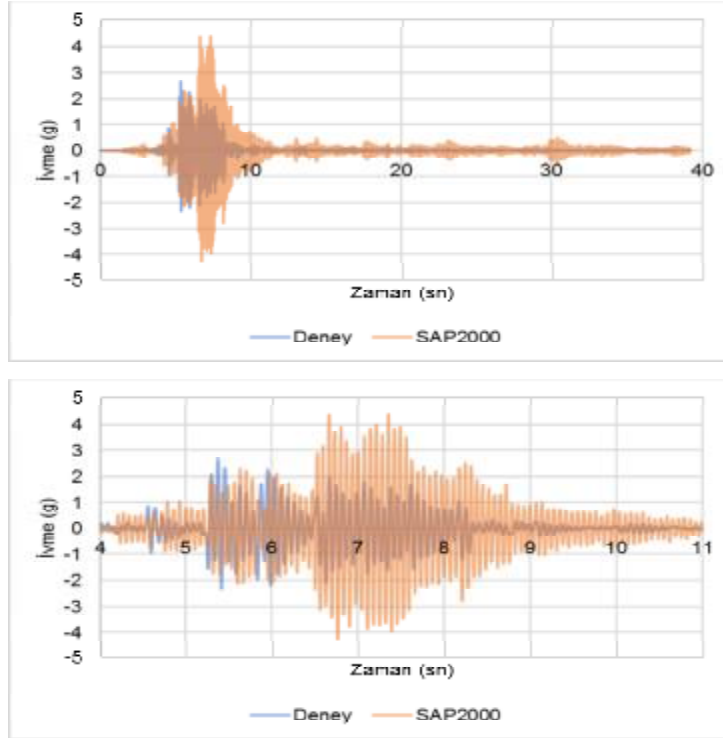
Çizelge 5.25. El Centro deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	2.24	1.00
Kütle Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	9.21	4.11

b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0510 hakim titreşim frekansı ise 16.284Hz kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.54'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve

zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.26’da verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



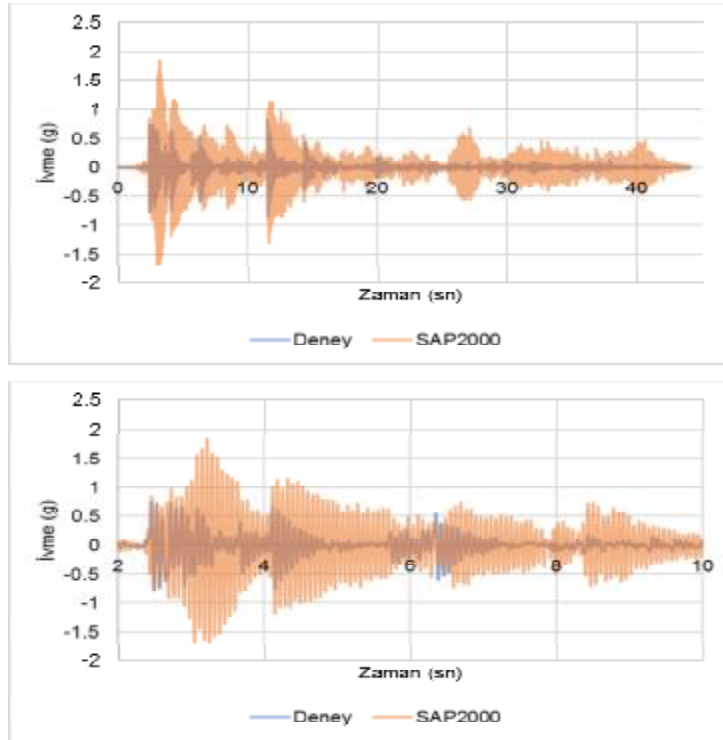
Şekil 5.54. Ç1-4 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (kütle orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.26. Friuli deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	4.75	1.00
Kütle Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	10.43	2.20

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0510 hakim titreşim frekansı ise 16.284Hz kullanılmıştır Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.55'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.27’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.55. Ç1-4 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (kütle orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.27. Hollister deprem verisi ve kütle orantılı sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	1.47	1.00
Kütle Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	4.79	3.27

5.4.3. Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli ile Analizler

Bu bölümde Ç1-1, Ç1-2, Ç1-3 ve Ç1-4 yapı modelleri için kütle orantılı sönüm modeli ile gerçekleştirilen analizler ele alınacaktır. Analizlerde El Centro, Friuli ve Hollister deprem verileri kullanılmıştır ve yapının ikinci katından elde edilen deney ve sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

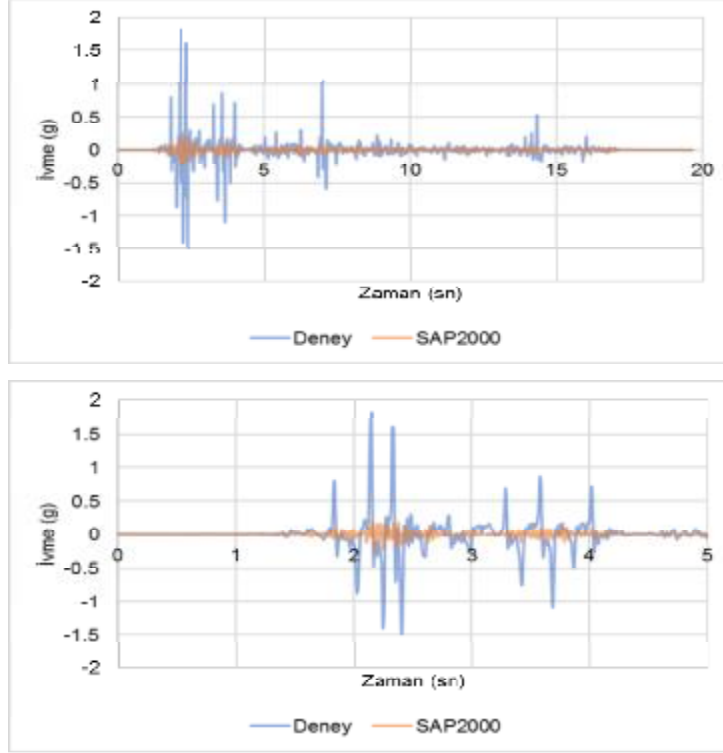
Deneylerden ve SAP2000 analizlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında bölüm 5.4.1’de uygulanan işlem adımları uygulanmıştır.

5.4.3.1. Ç1-1 Nolu Model Yapı Analizi

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0590 hakim titreşim frekansı ise 36.935Hz kullanılmıştır.

a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.56’da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.28’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.56. Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rijitlik orantılı sönüm modeli) sonuçları

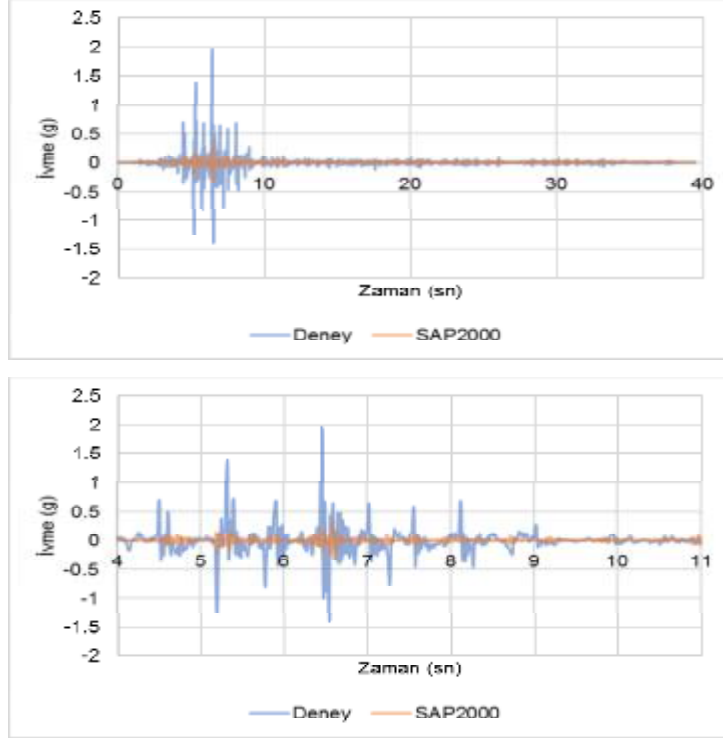
Çizelge 5.28. El Centro deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.70	1.00
Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	0.15	0.21

b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.57’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı”

ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.29’da verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



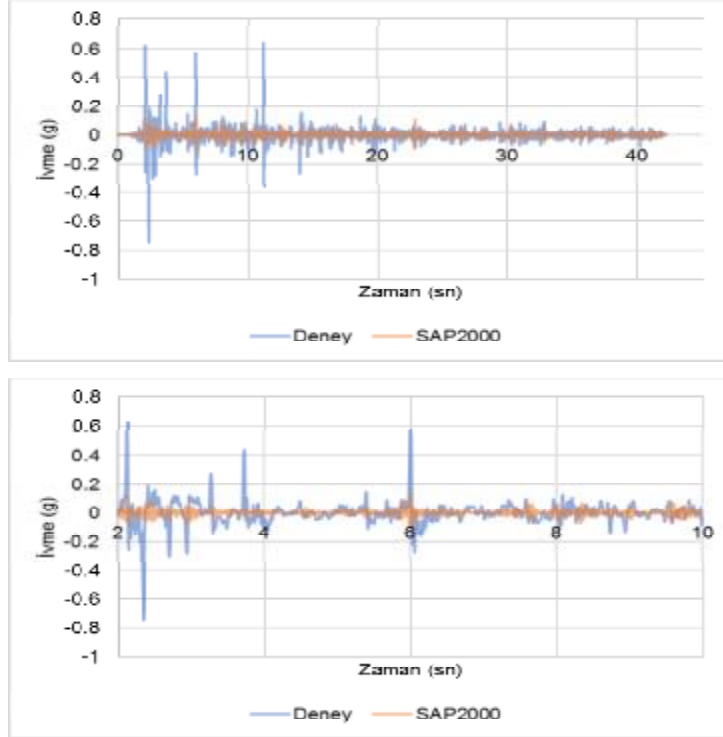
Şekil 5.57. Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rijitlik orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.29. Friuli deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.91	1.00
Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	0.22	0.24

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.58’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.30’da verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.58. Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rijitlik orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.30. Hollister deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi

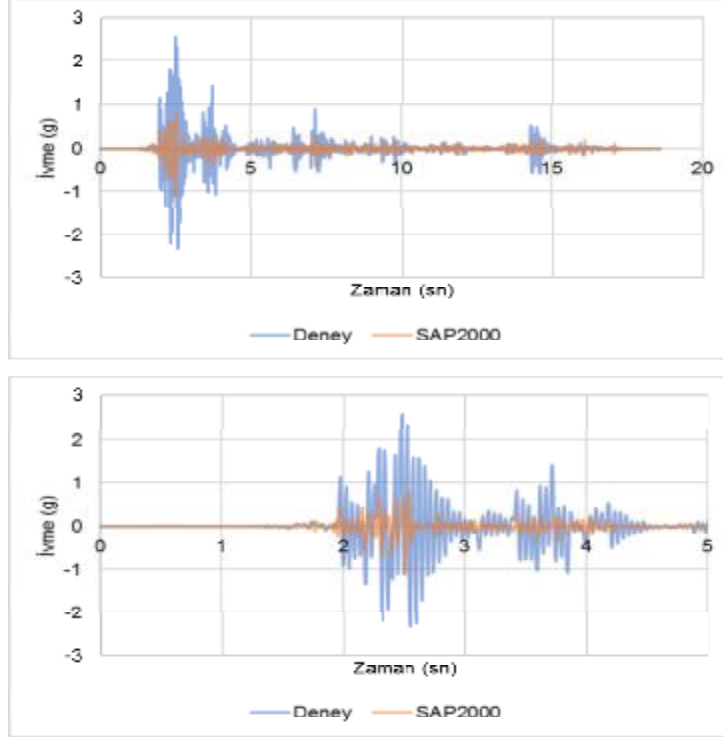
	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.45	1.00
Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	0.16	0.35

5.4.3.2. Ç1-2 Nolu Model Yapı Analizi

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0562 hakim titreşim frekansı ise 24.548Hz kullanılmıştır.

a) *El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler*

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.59’da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.31’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.59. Ç1-2 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rijitlik orantılı sönüm modeli) sonuçları

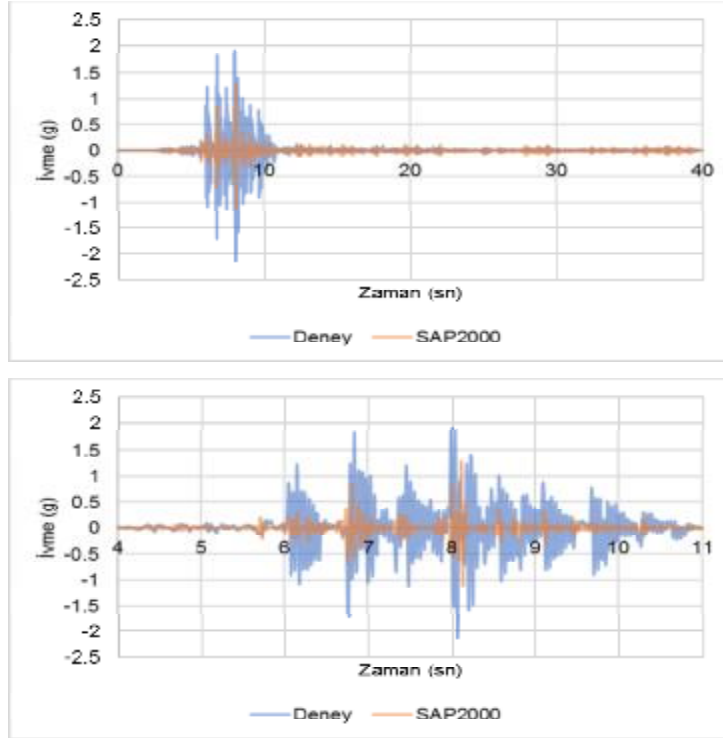
Çizelge 5.31. El Centro deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	1.79	1.00
Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	0.47	0.26

b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.60’da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı”

ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.32’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.60. Ç1-2 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rijitlik orantılı sönüm modeli) sonuçları

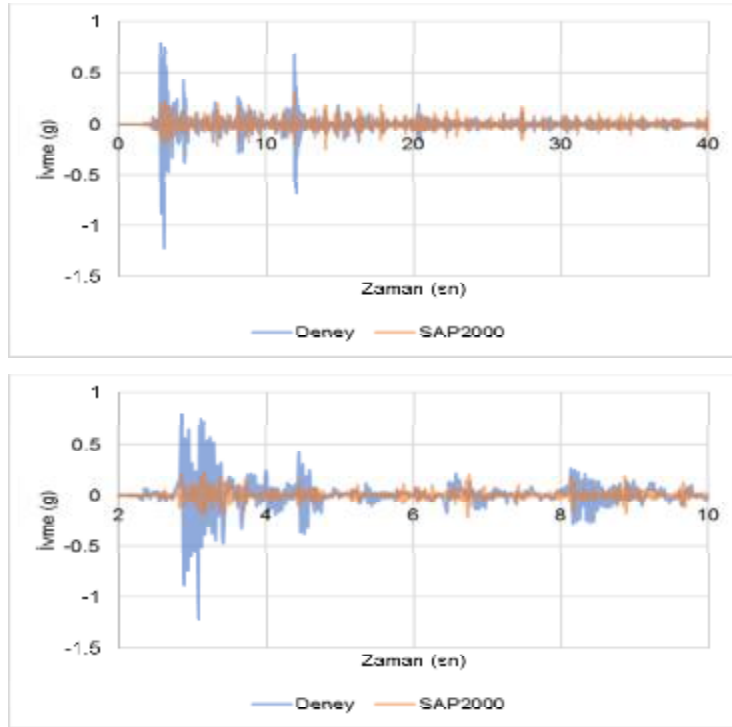
Çizelge 5.32. Friuli deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	2.49	1.00
Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	0.65	0.26

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.61’de karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.33’te verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.61. Ç1-2 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rijitlik orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.33. Hollister deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi

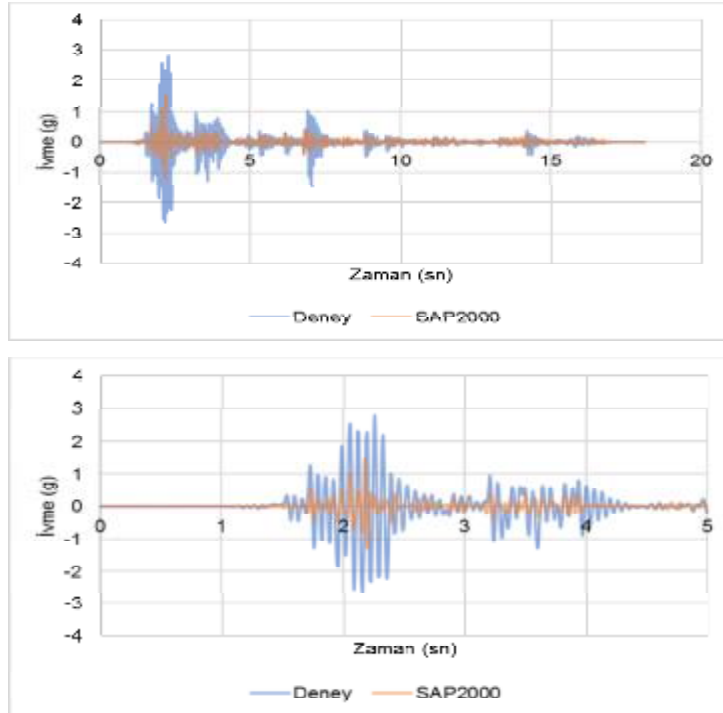
	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.85	1.00
Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	0.37	0.43

5.4.3.3. Ç1-3 Nolu Model Yapı Analizi

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0551 hakim titreşim frekansı ise 19.492Hz kullanılmıştır.

a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.62’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.34’te verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



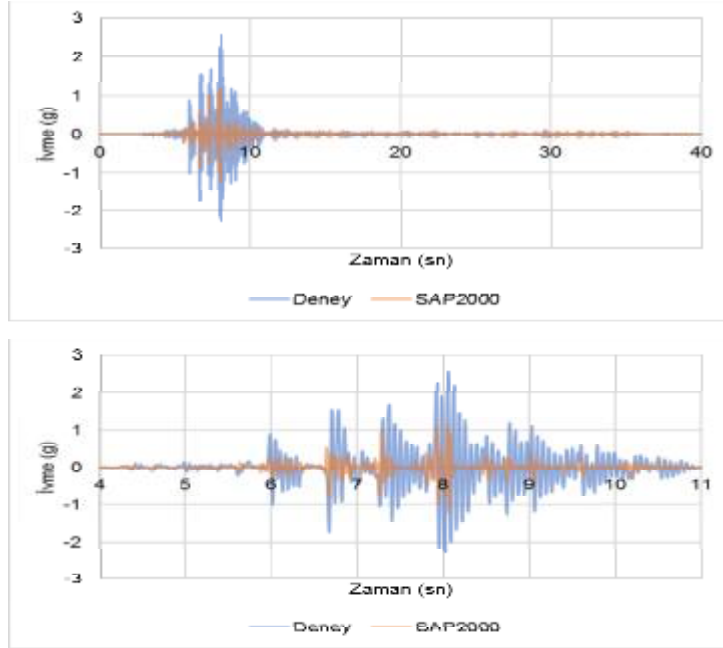
Şekil 5.62. Ç1-3 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rijitlik orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.34. El Centro deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	2.29	1.00
Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	0.64	0.28

b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.63'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenleri arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.35'te verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



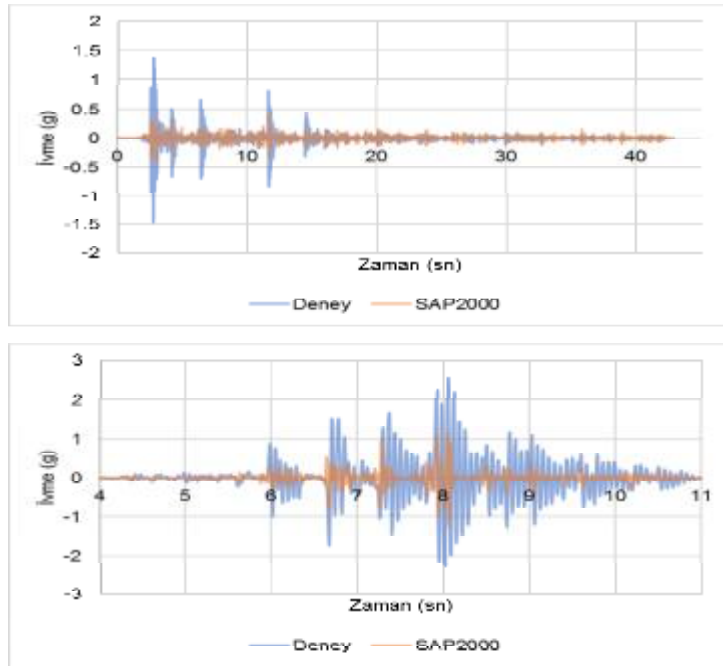
Şekil 5.63. Ç1-3 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rijitlik orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.35. Friuli deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	3.32	1.00
Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	0.86	0.26

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.64'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenleri arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.36'da verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.64. Ç1-3 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rijitlik orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.36. Hollister deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi

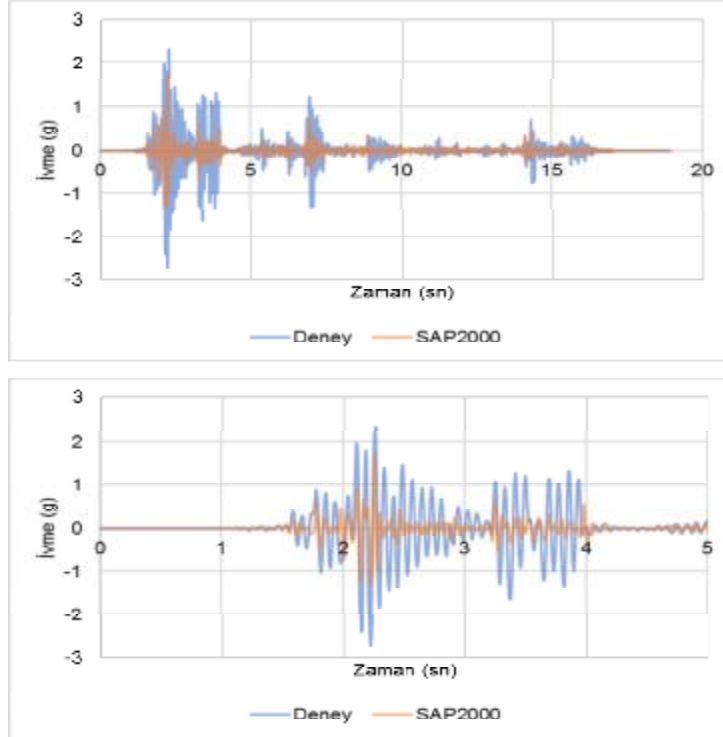
	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	1.22	1.00
Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	0.49	0.40

5.4.3.4. Ç1-4 Nolu Model Yapı Analizi

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0510 hakim titreşim frekansı ise 16.284Hz kullanılmıştır.

a) *El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler*

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.65'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.37’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.65. Ç1-4 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rijitlik orantılı sönüm modeli) sonuçları

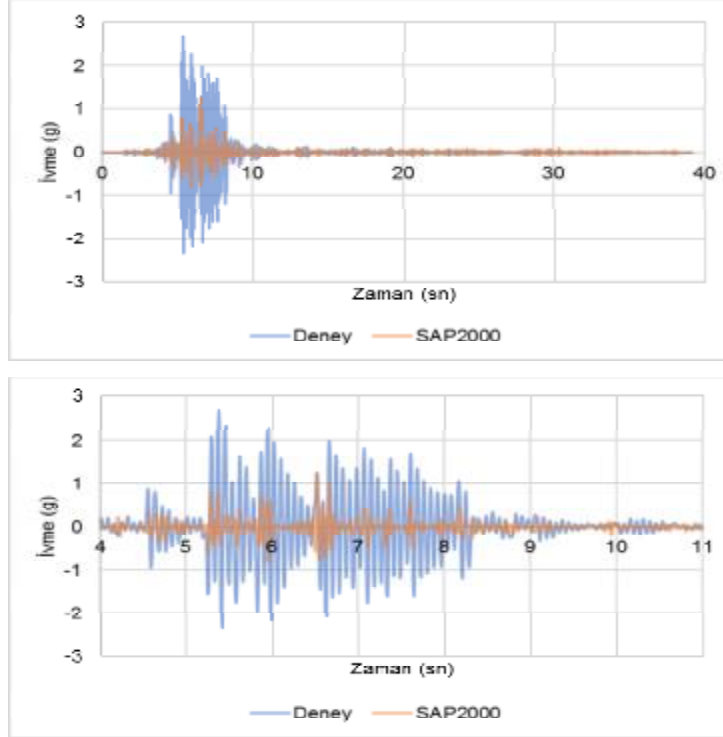
Çizelge 5.37. El Centro deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	2.24	1.00
Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	0.68	0.30

b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.66'da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman

ekseni arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.38’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



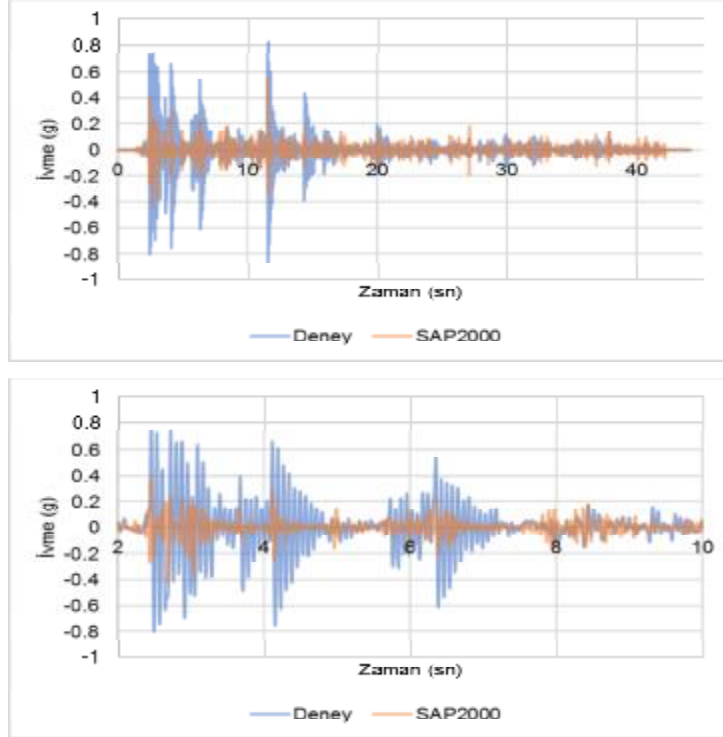
Şekil 5.66. Ç1-4 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rijitlik orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.38. Friuli deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	4.75	1.00
Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	1.02	0.21

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.67’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.39’da verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.67. Ç1-4 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rijitlik orantılı sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.39. Hollister deprem verisi ve rijitlik orantılı sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	1.47	1.00
Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli SAP2000	0.47	0.32

5.4.4. Rayleigh Sönüm Modeli ile Analizler

Bu başlıkta Ç1-1, Ç1-2, Ç1-3 ve Ç1-4 yapı modelleri için kütle orantılı sönüm modeli ile gerçekleştirilen analizler ele alınacaktır. Analizlerde El Centro, Friuli ve Hollister deprem verileri kullanılmıştır ve yapının ikinci katından elde edilen deney ve sayısal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

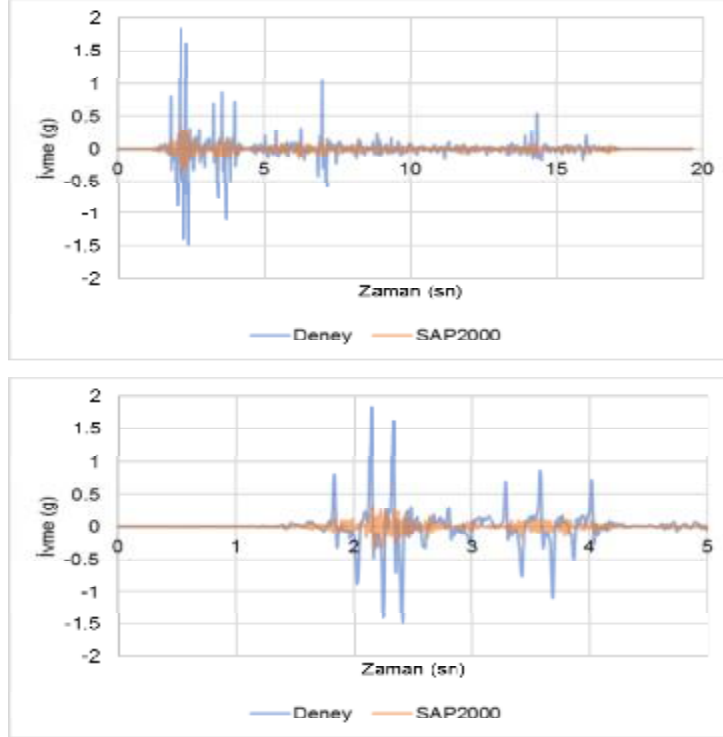
Deneylerden ve SAP2000 analizlerinden elde edilen sonuçların karşılaştırılmasında bölüm 5.4.1’de uygulanan işlem adımları uygulanmıştır.

5.4.4.1. Ç1-1 Nolu Model Yapı Analizi

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0590 hakim titreşim frekansı ise 36.935Hz kullanılmıştır.

a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.68’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.40’da verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.68. Ç1-1 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rayleigh sönüm modeli) sonuçları

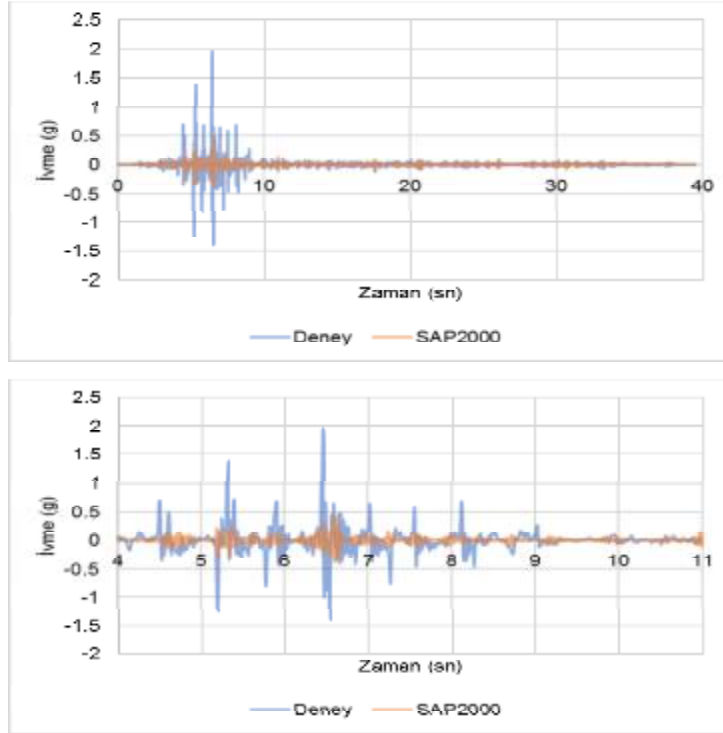
Çizelge 5.40. El Centro deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.70	1.00
Rayleigh Sönüm Modeli SAP2000	0.22	0.32

b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.69’da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı”

ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.41’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.69. Ç1-1 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rayleigh sönüm modeli) sonuçları

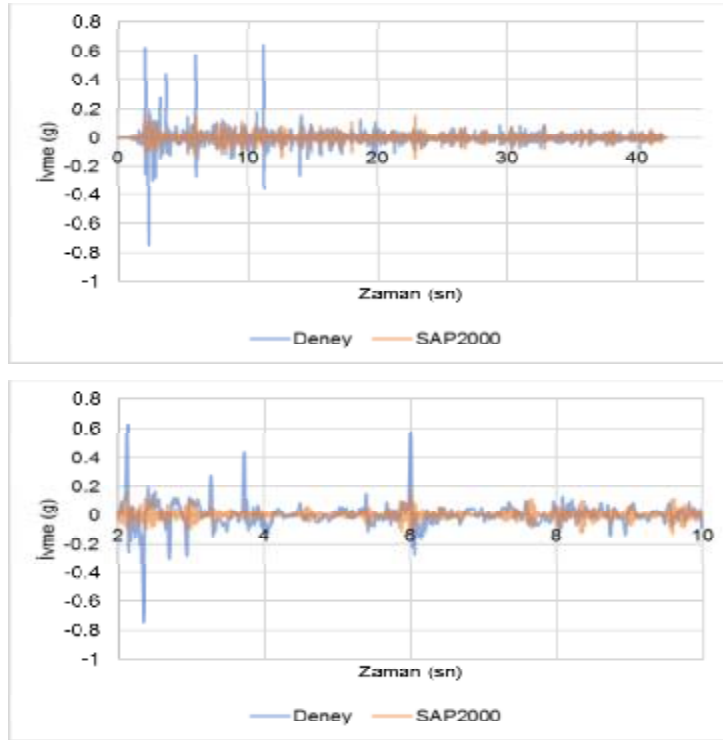
Çizelge 5.41. Friuli deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.91	1.00
Rayleigh Sönüm Modeli SAP2000	0.34	0.38

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.70’de karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.42’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.70. Ç1-1 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.42. Hollister deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-1 nolu yapı analizi

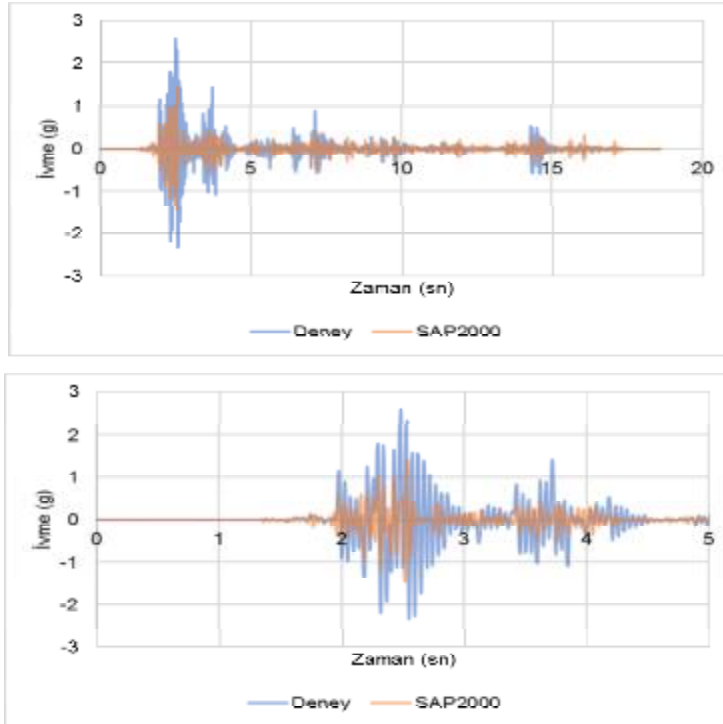
	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.45	1.00
Rayleigh Sönüm Modeli SAP2000	0.23	0.52

5.4.4.2. Ç1-2 Nolu Model Yapı Analizi

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0562 hakim titreşim frekansı ise 24.548Hz kullanılmıştır.

a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.71’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.43’te verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



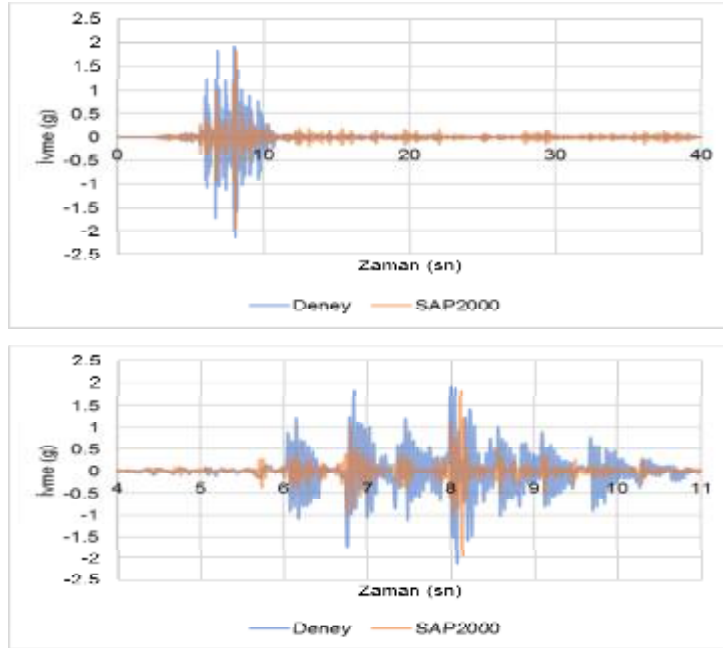
Şekil 5.71. Ç1-2 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rayleigh sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.43. El Centro deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	1.79	1.00
Rayleigh Sönüm Modeli SAP2000	0.77	0.43

b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.72’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.44’te verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



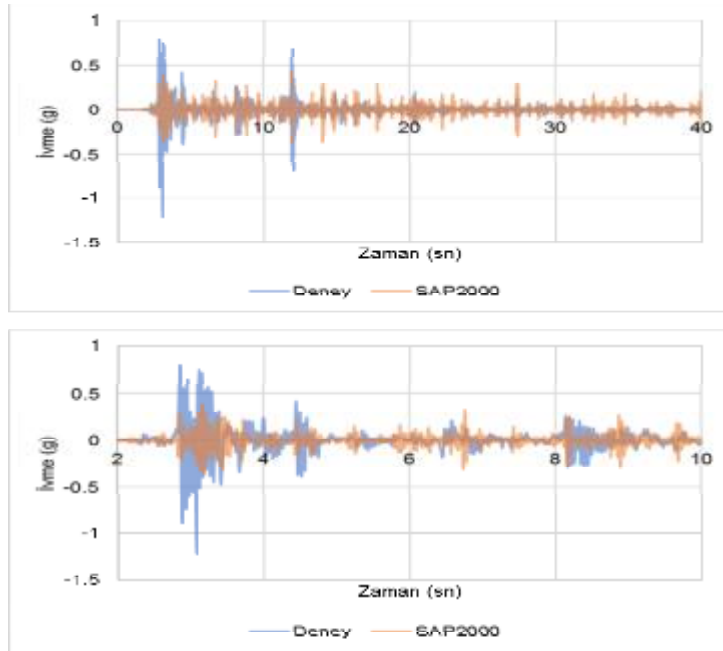
Şekil 5.72. Ç1-2 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rayleigh sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.44. Friuli deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	2.49	1.00
Rayleigh Sönüm Modeli SAP2000	1.04	0.42

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.73'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenleri arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.45'te verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.73. Ç1-2 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.45. Hollister deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-2 nolu yapı analizi

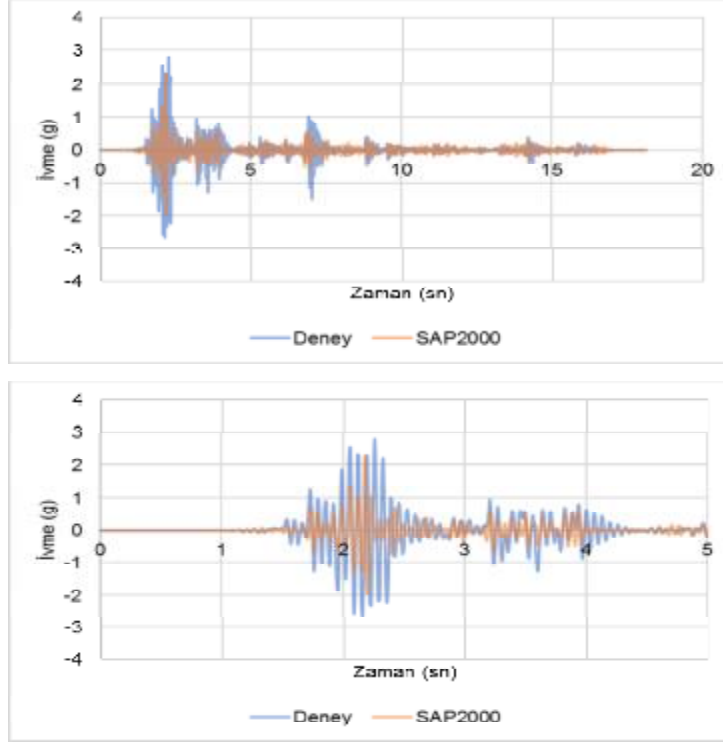
	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	0.85	1.00
Rayleigh Sönüm Modeli SAP2000	0.62	0.73

5.4.4.3. Ç1-3 Nolu Model Yapı Analizi

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0551 hakim titreşim frekansı ise 19.492Hz kullanılmıştır.

a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.74'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.46'da verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.74. Ç1-3 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rayleigh sönüm modeli) sonuçları

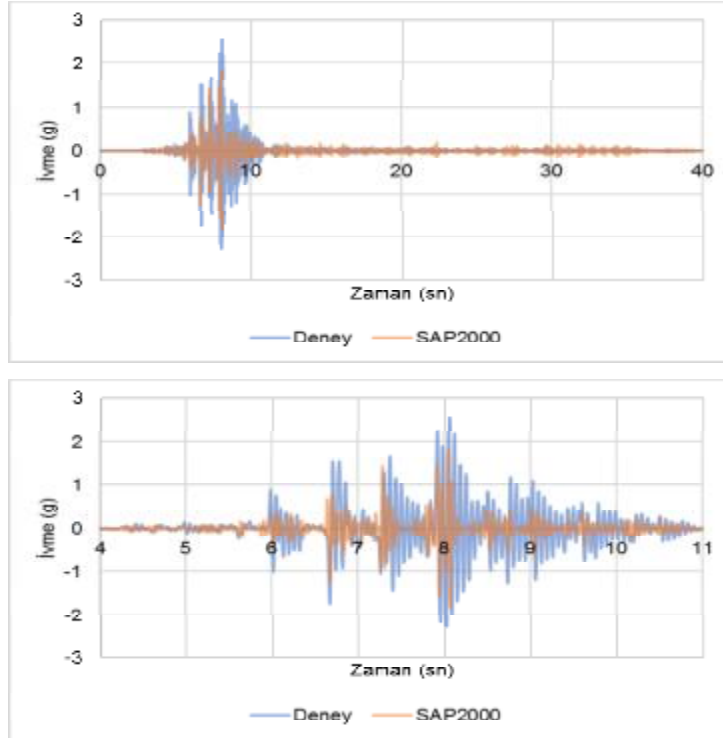
Çizelge 5.46. El Centro deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	2.29	1.00
Rayleigh Sönüm Modeli SAP2000	1.13	0.49

b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.75'te karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı”

ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.47’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.75. Ç1-3 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rayleigh sönüm modeli) sonuçları

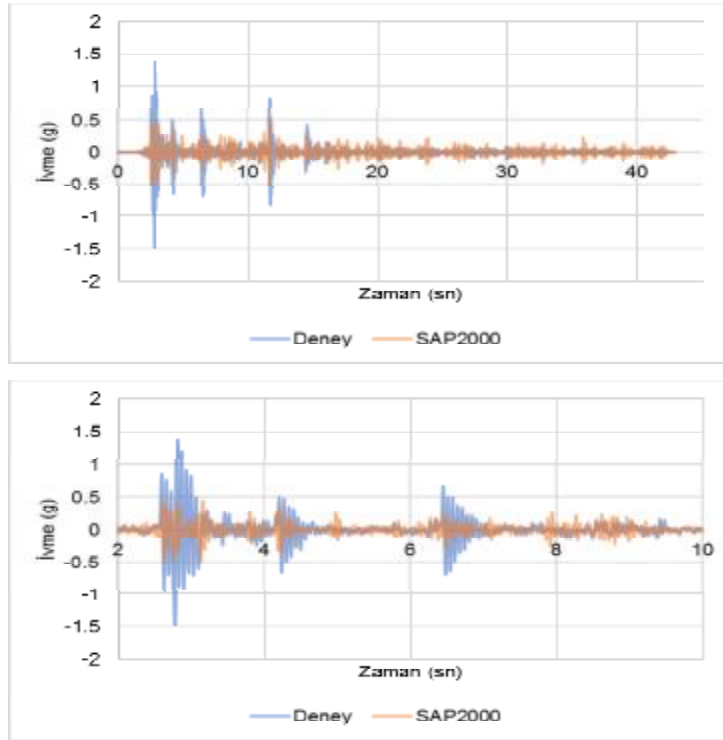
Çizelge 5.47. Friuli deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	3.32	1.00
Rayleigh Sönüm Modeli SAP2000	1.39	0.42

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.76’da karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.48’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.76. Ç1-3 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.48. Hollister deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-3 nolu yapı analizi

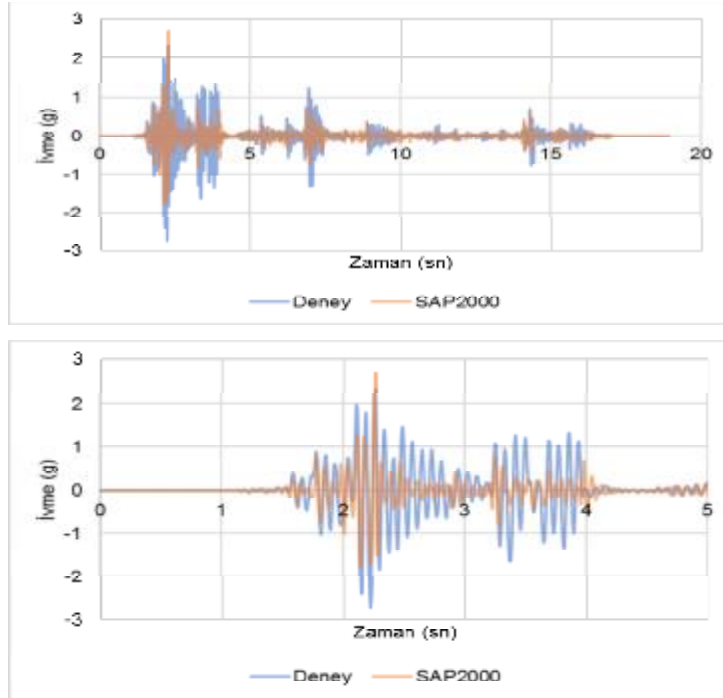
	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	1.22	1.00
Rayleigh Sönüm Modeli SAP2000	0.76	0.62

5.4.4.4. Ç1-4 Nolu Model Yapı Analizi

Analizde sönüm matrisinin oluşturulması için gerekli olan sönüm oranı 0.0510 hakim titreşim frekansı ise 16.284Hz kullanılmıştır.

a) El Centro Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.77’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların ilk 5 saniyesi ele alınmıştır ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman ekseninde kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.49’da verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



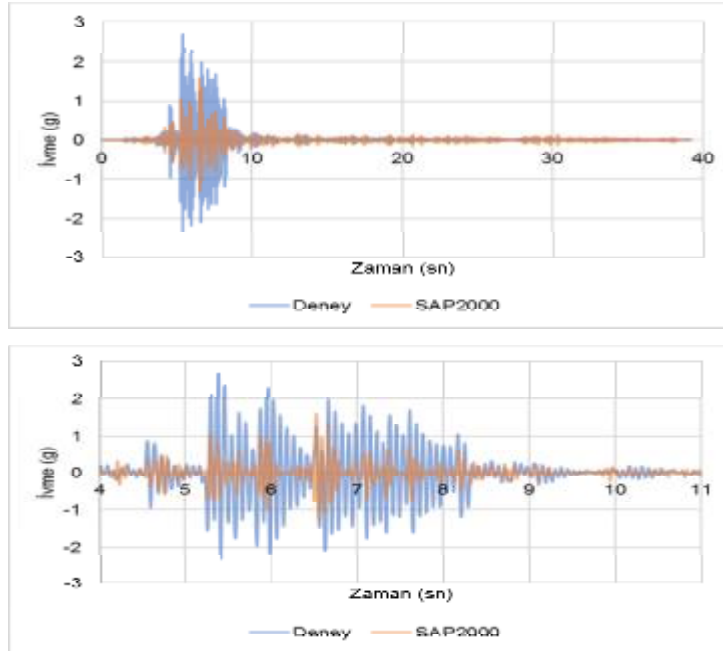
Şekil 5.77. Ç1-4 nolu modelin El Centro deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rayleigh sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.49. El Centro deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	2.24	1.00
Rayleigh Sönüm Modeli SAP2000	1.17	0.52

b) Friuli Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.78’de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 4. ile 11. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.50’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



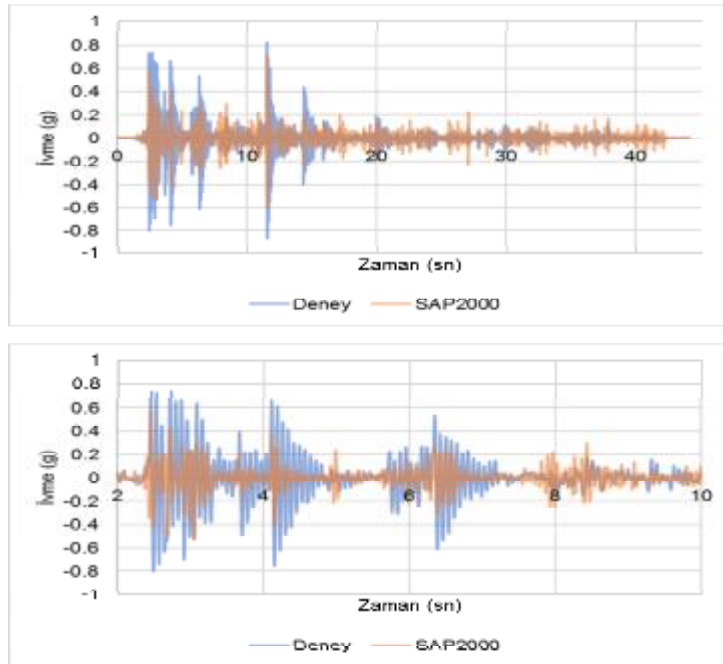
Şekil 5.78. Ç1-4 nolu modelin Friuli deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (rayleigh sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.50. Friuli deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	4.75	1.00
Rayleigh Sönüm Modeli SAP2000	1.53	0.32

c) Hollister Deprem Verisiyle Gerçekleştirilen Analizler

Gerçekleştirilen analiz sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileri deney sonucu elde edilen ikinci kat ivme verileriyle Şekil 5.79’da karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmanın daha detaylı incelenebilmesi için ise sonuçların 2. ile 10. saniye arasındaki veriler ele alınmış ve zarf eğrileri oluşturulmuştur. Zarf eğrisi ile zaman eksenini arasında kalan alan integrasyon yöntemlerinden biri olan “Yamuk Kuralı” ile hesaplanmıştır ve sonuçlar Çizelge 5.51’de verilmiştir. Çizelgede gösterilen oranlar, sonuçların deney sonucuna göre oranlanmasıyla elde edilmiştir.



Şekil 5.79. Ç1-4 nolu modelin Hollister deprem verisiyle gerçekleştirilen deney ve SAP2000 analiz (Rayleigh sönüm modeli) sonuçları

Çizelge 5.51. Hollister deprem verisi ve Rayleigh sönüm modeli ile Ç1-4 nolu yapı analizi

	Zarf Eğrisi Altında Kalan Alan (g.sn)	Oran
Deney Sonucu	1.47	1.00
Rayleigh Sönüm Modeli SAP2000	0.74	0.51

5.5. Sayısal Çalışma Sonuçları

Bu bölümde Ç1 yapısının El Centro, Friuli ve Hollister deprem verileri altında, sabit sönüm oranı, kütle orantılı sönüm modeli, rijitlik orantılı sönüm modeli ve rayleigh sönüm modelleriyle gerçekleştirilen sayısal analizlerin sonuçları araştırılmıştır.

Bölüm 5.4'te deneysel ve analitik çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar El Centro deprem verisi için Çizelge 5.52, Friuli deprem verisi için Çizelge 5.53 ve Hollister deprem verisi için Çizelge 5.54'de verilmiştir.

Çizelge 5.52. El Centro deprem verisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları

Model No	Deney Sonucu	Sabit Sönüm Oranı	Kütle Orantılı Sönüm Modeli	Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli	Rayleigh Sönüm Modeli
Ç1-1	1.00	0.50	1.49	0.21	0.32
Ç1-2	1.00	0.98	2.83	0.26	0.43
Ç1-3	1.00	1.08	2.87	0.28	0.49
Ç1-4	1.00	1.17	4.11	0.30	0.52

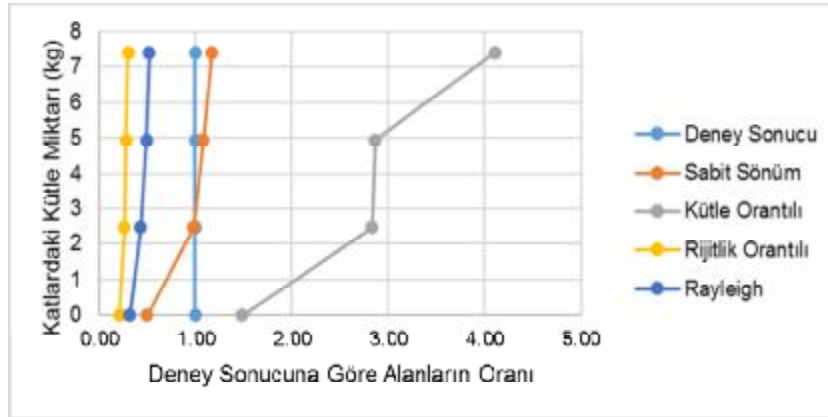
Çizelge 5.53. Friuli deprem verisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları

Model No	Deney Sonucu	Sabit Sönüm Oranı	Kütle Orantılı Sönüm Modeli	Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli	Rayleigh Sönüm Modeli
Ç1-1	1.00	0.69	2.03	0.24	0.38
Ç1-2	1.00	0.88	2.74	0.26	0.42
Ç1-3	1.00	0.87	2.12	0.26	0.42
Ç1-4	1.00	0.69	2.20	0.21	0.32

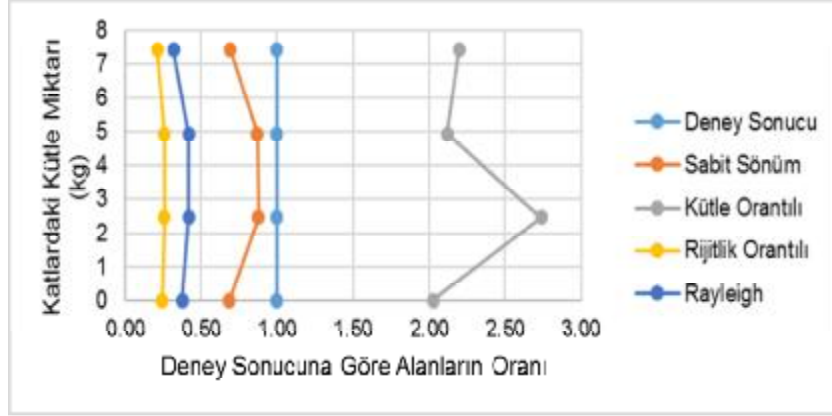
Çizelge 5.54. Hollister deprem verisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları

Model No	Deney Sonucu	Sabit Sönüm Oranı	Kütle Orantılı Sönüm Modeli	Rijitlik Orantılı Sönüm Modeli	Rayleigh Sönüm Modeli
Ç1-1	1.00	0.97	2.70	0.35	0.52
Ç1-2	1.00	1.48	3.17	0.43	0.73
Ç1-3	1.00	1.18	3.22	0.40	0.62
Ç1-4	1.00	1.06	3.27	0.32	0.51

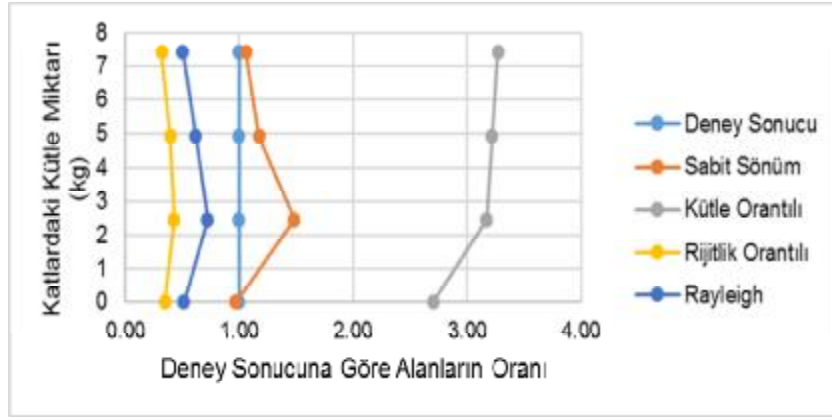
El Centro, Friuli ve Hollister deprem verileri ile elde edilen sonuçlar bir grafik üzerinde incelemek olursa sonuçlar sırasıyla Şekil 5.80, Şekil 5.81 ve Şekil 5.82’de sunulmuştur.



Şekil 5.80. El Centro deprem verisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları



Şekil 5.81. Friuli deprem verisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları



Şekil 5.82. Hollister deprem verisi ile gerçekleştirilen analiz sonuçları

Şekil 5.80, 5.81 ve 5.82'nin incelenmesinden, üç farklı deprem verisiyle gerçekleştirilen analizler sonucunda sabit sönüm oranının diğer sönüm modellerine göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Sabit sönüm oranı ile gerçekleştirilen analizleri sırasıyla Rayleigh, Rijitlik Orantılı ve Kütle Orantılı sönüm modelleri izlemektedir.

Sabit sönüm oranı, Rayleigh ve Rijitlik Orantılı sönüm modelleriyle gerçekleştirilen analizler sonucunda birbirlerine benzer davranışlar gözlemlenirken Kütle Orantılı sönüm modelinde düzenli bir davranış gözlemlenememiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yapıların dinamik karakteristiklerinden biri olan sönüm oranı ve yapıların sayısal analizlerinde kullanılan sönüm modelleri deneysel ve teorik olarak incelemiştir. Çalışmanın deneysel kısmı Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Teorik incelemeler ise SAP2000 yazılımıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışmalar sonucunda ilk olarak, yapılardaki sönüm oranlarının farklı kütle, rijitlik ve ivme değerleri etkisi altında değişimi araştırılmıştır. Serbest titreşim deneylerinde sarsma tablasına sabitlenmiş, farklı rijitliklere sahip üç adet tek serbestlik dereceli (TSD) yapı modeli ile farklı malzeme ve geometrik özelliklere sahip sekiz adet çok serbestlik dereceli (ÇSD) yapı modeli kullanılmıştır.

TSD yapılarda ilk olarak, farklı kütle etkileri altında gerçekleştirilen deneyler, yapılardaki sönüm oranının deneylerde meydana gelen maksimum ivme genliğine bağlı olarak değiştiğini ve ivme değerinin arttıkça sönüm oranının arttığı gözlemlenmiştir.

TSD yapılarda ikinci olarak, yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğinden bağımsız olarak, yapıdaki kütle miktarındaki artışın yapı sönüm oranını nasıl etkilediği incelenmiştir. Sonuç olarak yapıdaki kütle miktarındaki artışın sönüm oranını arttırdığı belirlenmiştir.

TSD yapılarda son olarak, yapı rijitliğinin sönüm oranını nasıl etkilediği de incelenmiştir. Yanal rijitliği düşük olan yapıda, üzerindeki kütle miktarından bağımsız olarak, gerçekleştirilen tüm deneylerde daha fazla sönüm oranına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

TSD yapılarda olduğu gibi ÇSD yapılarda da sönüm oranının farklı kütle ve rijitlik değerleri etkisi altında değişimi araştırılmıştır. TSD yapılarda gerçekleştirilen maksimum ivme değerinin sönüm oranına etkisi yerine benzer olarak maksimum deplasman değerinin sönüm oranına etkisi incelenmiştir.

ÇSD yapılarda farklı kütle etkileri altında gerçekleştirilen deneyler, yapılardaki sönüm oranının deneylerde meydana gelen maksimum deplasman genliğine bağlı olarak değiştiğini ve deplasman değerinin arttıkça sönüm oranının arttığı gözlemlenmiştir.

ÇSD yapılarda ikinci olarak, yapının doğal titreşim frekansından ve yapıda meydana gelen maksimum ivme genliğinden bağımsız olarak, yapıdaki kütle miktarındaki artışın yapı sönüm oranını nasıl etkilediği incelenmiştir. TSD yapılarda meydana gelen sonucun tersine yapıdaki kütle miktarındaki artışın sönüm oranında azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir.

ÇSD yapılarda son olarak, TSD yapılarda olduğu gibi yapı rijitliğinin sönüm oranını nasıl etkilediği de incelenmiştir. Alüminyum ve çelik yapılardan elde edilen sonuçlar, yapıdaki sönüm oranının rijitlikle ters orantılı olarak değiştiğini göstermiştir.

Literatürde genel olarak yapılar %5 sönüm oranı ile analiz edilmektedir. Fakat yapılan deneysel çalışmanın her yapı için sönüm oranının farklı olduğunu hatta aynı yapıların farklı kütle ve dinamik etki altında sönüm oranlarının değiştiğini göstermektedir. Yapı analizlerinde kullanılacak sönüm oranlarını belirlerken bu etkilerin göz önünde bulundurulması teorik olarak elde edilecek sonuçların doğruluğunu arttıracaktır.

Çalışmalar sonucunda ikinci olarak, SAP2000 yazılımında kullanılan değişik sönüm modelleri incelenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen sönüm oranları ve frekans değerlerinden faydalanılarak SAP2000 yazılımında oluşturulan modeller üzerinde analizler gerçekleştirilmiştir. Üç farklı deprem verisiyle gerçekleştirilen analizler sonucunda, sabit sönüm oranı ile gerçekleştirilen analizler diğer sönüm modellerine göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmiştir. Sabit sönüm oranı ile gerçekleştirilen analizleri sırasıyla Rayleigh, Rijitlik Orantılı ve Kütle Orantılı sönüm modelleri izlemektedir. Sabit sönüm oranı, Rayleigh ve Rijitlik Orantılı sönüm modelleriyle gerçekleştirilen analizler sonucunda, birbirlerine

benzer davranışlar gözlemlenirken Kütle Orantılı sönüm modeliyle gerçekleştirilen analizler sonucunda düzenli bir davranış gözlemlenememiştir.

Elde edilen sonuçlara göre mühendisler için büyük önem arz eden yapı analiz ve tasarım yazılımları büyük ölçüde gerçeğe yakın sonuçlar verdiği ancak model kurulması sırasında seçilen ve yapının karakteristik özelliklerini belirleyen unsurların dikkatle değerlendirilmesi gerektiği görülmüştür.

Yapılardaki sönüm oranının belirlenmesinde kullanılan farklı yöntemler araştırılmalı ve hangi koşullar altında hangi yöntem yada yöntemlerin daha iyi sonuç verdiği belirlenmelidir.

Daha doğru sonuçlara ulaşmak için yapı sönüm modelleri üzerinde araştırmalar yapılmalı ve modellere, farklı parametrelerin etkisi göz önünde bulundurularak, kat sayılar ilave edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Abacioglu, M. A., 2006. Bitişik Nizamda Yapılmış Binaların Depremde Etkileşimi. Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, 81s.
- Adhikari, S. ve Woodhouse J., 2000. Identification of Damping: Part 1. Viscous Damping, Journal of Sound and Vibration (2001) 243(1), 43-61p.
- Adhikari, S., 2000. Damping Models for Structural Vibration. Doktora Tezi, Trinity College, Cambridge, 228p.
- Aktaş, M., Kuyuk. S., Yılmaz. C., Ağcakoça. E., Çelebi. E., 2014. Experimental Study On Determining Damping Ratio Of Steel Bridges. Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, İstanbul 1-9p.
- Baran, T., 2008. Yapıların dinamik davranışının deneysel ve teorik olarak incelenmesi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 181s.
- Bayraktar, A., Türker, T., 2005. Deneysel Modal Analiz Yöntemi ile Düzlem Çerçevelerin Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 1-7s.
- Birdal, F., 2015. Betonarme Yapıların Sismik Davranışlarının Sarsma Tablasında Deneysel Olarak İncelenmesi ve Analitik Olarak Modellenmesi. Doktora Tezi Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 362s.
- Butterworth, J., Lee, J.H., Davidson, B., 2004. Experimental Determination of Modal Damping From Full Scale Testing. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 310.
- Carneiro, J.O., deMelo, F.J.Q., Jalali, S., Teixeira, V., Tomas, V., 2005. The use of pseudo-dynamic method in the evaluation of damping characteristics in reinforced concrete beams having variable bending stiffness. Mechanics Research Communications 33 (2006) 601–613p.
- Celep, Z., 2011. Yapı Dinamiği, Beta Basım Yayım Dördüncü Baskı, İstanbul, 477s.

- Chang, D., Roesset, J.M., Wen, C., 2000. A time-domain viscous damping model based on frequency-dependent damping ratios. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 19 (2000) 551-558p.
- Chopra, A. K., *Yapı Dinamiği Teorileri ve Deprem Mühendisliği Uygulamaları Dördüncü Baskıdan Çeviri*, Palme Yayıncılık, Ankara, 944s.
- Denizoğlu, A.Z. ve Bayülke N., 2004. Yapıların Dinamik Özellikleri ve 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Artçı Sarsıntılarının Bingöl Bayındırlık İl Müdürlüğü Binasındaki Etkileri, *Türkiye Mühendislik Haberleri* Sayı 434 - 2004/6
- Durgun, Y.G., Aktaş, M., Kutanis, M., 2013. Sarsma Tablasına Yerleştirilmiş 3 Katlı Hasarlı ve Hasarsız Çelik Yapı Modelinin Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay, 1-9s.
- Filiatrault, A., Isoda, H. and Folz, B., 2003. Hysteretic Damping of Wood Framed Buildings. *Engineering Structures*, (25):461–471p.
- Gündoğan, M., 2012. Çelik Model Köprünün Yapı Sağlığının Gözlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 107s.
- Huang, F., Wang, X., Chen, Z., He, X., Ni, Y., 2006. A new approach to identification of structural damping ratios. *Journal of Sound and Vibration* 303 (2007) 144–153p.
- Jennings, P. C., Matthiesen, R. B., and Hoerner, J. B., 1971. “Force Vibration of a 22-Story Steel Frame Building,” Report No. EERL 71-01, California Institute of Technology Earthquake Engineering Research Laboratory and University of California at Los Angeles Earthquake Engineering and Structures Laboratory, Pasadena, California.
- Li, Z., Li, P.F., Jiang, Z.Y. and Wei, H., 2016. Difference of bridge damping ratio under different excitations. *Zhendong yu Chongji/Journal of Vibration and Shock*, Volume 35, Issue 3, 15 February 2016 62-67p.

- Muravskii, G., 2004. On description of hysteretic behaviour of materials. International Journal of Solids and Structures 42 (2005) 2625–2644p.
- Ortiz, A.R., Ventura, C.E., and Catacoli, S.S., 2013. Sensitivity Analysis of the Lateral Damping of Bridges for Low Levels of Vibration. Topics in Dynamics of Bridges, Volume 3, Chapter 11, Proceedings of the 31st IMAC, A Conference on Structural Dynamics.
- Panet, M., Jezequel. L., 2000. Dissipative unimodal structural damping identification. International Journal of Non-Linear Mechanics 35 (2000) 795-815p.
- Rea, D., Bouwkamp, J. G., and Clough, R. W., 1968. “Dynamic Properties of KinleySchool Buildings,” Report No. EERC 68-4, University of California, Berkeley, California.
- Rodríguez, M. E., Restrepo, J. I. ve Blandón, J. J., 2006. Shaking Table Tests of a Four-Story Miniature Steel Building—Model Validation. Earthquake Spectra, 22, (3):755–780p.
- Ryan, K.L., ASCE M., Polanco, J., 2008. Problems with Rayleigh Damping in Base-Isolated Buildings. J. Struct. Eng., 2008, 134(11): 1780-1784p.
- Shaban, N.,Caner, A., 2015. Sönüm Modelleri Ve Yapısal Dinamik Analizlerin Güvenirliliği. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir, 1-9s.
- Stephen, R. M., Hollings, J. P., and Bouwkamp, J. G., 1973. “Dynamic Behavior of a Multistory Pyramid Shaped Building,” Report No. EERC 73-17, University of California, Berkeley, California.
- Stephen, R. M., Wilson, E. L., Bouwkamp, J. G., and Button, M., 1978. “Dynamic Behavior of a Pedestal Base Multistory Building,” Report No. EERC 78-13, University of California, Berkeley, California.
- Türker, T., 2005. Çelik çerçeve sistemlerin dinamik karakteristiklerinin deneysel modal analiz yöntemiyle belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 115s.

- Varum, H., Coelho, E., Carvalho, E.C., Pinto, A.V., 1999. Dynamic Nonlinear Analyses for the 4-Storey Infilled RC Frame: Study of a 122 Retrofitting Solution4º Encontro Nacional sobre Sismologia e Engenharia Sísmica and 2.ème Rencontre en Génie Parasismique des Pays Méditerranéens, SISMICA 99, University of Algarve ,Faro.
- Yerlici, V. ve Luş, H., 2007. Yapı Dinamiğine Giriş, Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi, İstanbul, 493s.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Sedat KARAAHMETLİ

Doğum Tarihi ve Yeri: 26.09.1988, Hatay, Reyhanlı

Medeni Durumu: Evli

Email: skaraahmetli@cu.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Kurum	Tarihi
Ön Lisans	ÇÜ Bilsayar Tek. ve Prog.	2015-
Yüksek Lisans	ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü	2014-
Lisans	MKÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü	2007-2011
Lise	İsmet Ayşe Behzatoğlu Anadolu Lisesi	2002-2006

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2014-	Çukurova Üniversitesi	Arş. Gör.
2013-2014	Adana BTÜ	Arş. Gör.
2012-2013	Temat A.Ş. Gözlem A.Ş. İş Ortaklığı	Kontrol Mühendisi

YABANCI DİL

İngilizce