

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**GERİ DÜZELTMESİZ SİSMİK YALITIMLI HAFİF YAPILARIN DEPREM
ETKİSİNDE PERFORMANSI**

GENCAY ATMACA

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SAMSUN
2019**

Her hakkı saklıdır.

TEZ ONAYI

Gencay ATMACA tarafından hazırlanan "Geri Düzeltmesiz Sismik Yalıtımlı Hafif Yapıların Deprem Etkisinde Performansı" adlı tez çalışması 09/12/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman Prof. Dr. Azer A. KASIMZADE
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

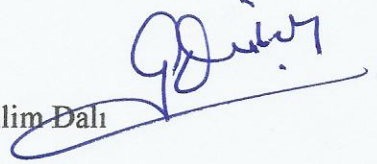


Jüri Üyeleri

Başkan Prof. Dr. Azer A. KASIMZADE
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye Prof. Dr. Güven ÖNBİLGİN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı



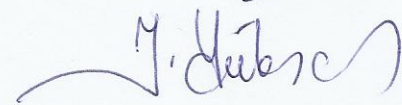
Üye Prof. Dr. Zeki KARACA
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye Prof. Dr. Erdal ŞAFAK
Boğaziçi Üniversitesi
Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı



Üye Prof. Dr. İsa YÜKSEL
Bursa Teknik Üniversitesi
Yapı Anabilim Dalı



Yukarıdaki sonucu onaylarım. .../.../2019

Prof. Dr. Bahtiyar ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.



.../.../20..

Gencay ATMACA

ÖZET

Doktora Tezi

GERİ DÜZELTMESİZ SİSMİK YALITIMLI HAFİF YAPILARIN DEPREM ETKİSİNDE PERFORMANSI

Gencay ATMACA

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Azer A. KASIMZADE

Devrilme momenti olmayan hafif yapıların ekonomik ve güvenli sismik yalıtım tasarımı amacı doğrultusunda sunulan çalışmada: 1) Kuvvetli deprem bölgelerindeki günümüze kadar ayakta durabilmiş tarihi yapılardan, gömülü Doğal Sismik Yalıtım Sistemi (DSYS) ortaya çıkarılarak matematik modeli oluşturulmuştur; 2) DSYS sisteminin sürtünme arayüzü için, depremlerin tekrarlanma periyodunda davranışı öğrenilmiş Horasan harcı kullanılmıştır; 3) DSYS sisteminin sürtünme arayüzü basamak alanı tasarımı için geliştirilmiş Coulomb sürtünme modeline alan etkisi eklenerek tasarım formülasyonları ve yöntemi sunulmuştur; 4) DSYS sistemine etkiyen deprem kuvvetinin, aynı zamanda geri düzeltme mekanizması da sağladığı ortaya konulmuştur; 5) DSYS sisteminde yukarıda bahsedilen geliştirilmiş Coulomb sürtünme modelinde kullanılan sürtünme arayüzünün (Horasan harcı) daha yüksek dereceden sürtünme etkileşimi davranışını yansıtabilmesi için ilgili parametrelerin deneylere dayalı bulunma yöntemi sunulmuştur; 6) Sunulan DSYS sistemi kullanılarak sismik yalıtımlı yapı tasarımı yöntemi verilmiş ve uygulama sınırları belirlenmiştir; 7) Büyüklüğü 6'dan büyük olan depremlerde devrilme momenti olmayan ankastre yapıların taban ivmesini ortalama %44 artırdığı, bu yapıların sadece sismik yalıtımlı olarak kullanılabilir olduğu gösterilmiş; somut sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlara dayanarak DSYS sistemi ile sismik yalıtılmış yapı örneklerinde 6 büyüklüğünden büyük kuvvetli deprem etkilerinden, yapının 0.0299 metre - 0.107 metre aralığında yerdeğiştirme alarak, yapı ivmesinin %54 - %71 aralığında azaldığı, hız ve gerilmelerin ilgili limit değerlerini aşmayarak DSYS sisteminin yüksek performans gösterdiği görülmüştür. DSYS sisteminin tasarım ve uygulamasının çok ekonomik olmasının yanısıra göstermiş olduğu performans, devrilme momenti olmayan hafif yapılarda (4 kata kadar hastane, okul, konut vb.) kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Ayrıca, DSYS sisteminde kullandığımız sürtünme arayüzünün (Horasan harcı) davranışının asırlar boyunca öğrenilmiş olması, sunulan DSYS sistemine önemli ayrıcalık tanımaktadır.

Aralık 2019, 145 sayfa

Anahtar Kelimeler: Doğal sismik yalıtım sistemi (DSYS), Deprem tepki kontrolü, Basit sürtünmeli sismik yalıtım, ANSYS ve LS-DYNA ortamında lineer ötesi sonlu elemanlarla modelleme

ABSTRACT

Doctoral Dissertation

SEISMIC PERFORMANCE OF THE LIGHTWEIGHT STRUCTURES WITH NO RESTORING MECHANISM SEISMIC ISOLATION SYSTEM UNDER EARTHQUAKE EXCITATION

Gencay ATMACA

Ondokuz Mayıs University
Graduate School of Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Azer A. KASIMZADE

In the study presented for the purpose of economic and safe seismic isolation design of lightweight structures without overturning moment: 1) An embedded Natural Seismic Isolation System (NSIS) has been extracted from historical structures in strong earthquake zones which have survived to the present day and a mathematical model has been created; 2) Horasan mortar, which had been tried in the past and whose behavior had been learnt within the repetition period of the earthquakes, was used for the friction interface of the NSIS system; 3) Design formulations and method were presented by adding area effect to the developed Coulomb friction model for NSIS system friction interface step area design; 4) It was also demonstrated that the earthquake force affecting the NSIS system provided a restoring mechanism; 5) So that the friction interface (Horasan mortar) used in the above-mentioned developed Coulomb friction model could reflect a higher degree friction interaction behavior in the NSIS system, the method of finding the relevant parameters based on experiments was presented; 6) The seismic isolated structure design method was provided by using the NSIS system and the limits of application were determined; 7) It was shown that fixed base structures without overturning moment increase the base acceleration by 44% on average during earthquakes with magnitudes greater than 6, and that those structures could only be used with seismic isolation; and concrete results were obtained. Based on these results, in structure samples seismically isolated with NSIS system, the displacement of the structure within the range of 0.0299 meters - 0.107 meters was reduced by 54% - 71% of the building acceleration due to the strong earthquake effects greater than the magnitude of 6, velocity and stresses did not exceed the relevant limit values and NSIS system was found to perform very well. In addition to its highly economic design and implementation, the performance of the NSIS system indicated its usability in lightweight structures (hospital, school, house etc. up to 4 floors) without overturning moment. Moreover, the fact that the behavior of the friction interface (Horasan mortar) we use in the NSIS system has been learnt for centuries gives an important privilege to the NSIS system presented.

December 2019, 145 pages

Key Words: Natural seismic isolation system (NSIS), Earthquake response control, Pure friction seismic isolation, Nonlinear ANSYS and LS-DYNA finite element modeling

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Lisans, Yüksek Lisans ve Doktora öğrenimim boyunca yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Azer A. KASIMZADE'ye,

Tez izleme süreci boyunca bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren ve tez sürecinin ilerlemesinde katkılarından dolayı Prof. Dr. Güven ÖNBİLGİN'e ve Prof. Dr. Zeki KARACA'ya,

Bilgisayar destekli analizleri gerçekleştirebilmem hususunda hızlı bilgisayar desteklerinden ötürü Doç. Dr. Sedat AKLEYLEK'e,

Doktora öğrenimim boyunca desteklerini esirgemeyen Samsun İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü İyileştirme Şube Müdür V. Fusun MERMİ'ye ve aileme, teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2019, Samsun

Gencay ATMACA

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	iv
SİMGELER VE KISALTMALAR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xvi
1. GİRİŞ.....	1
2. YAPILARIN GÜÇLÜ DEPREM ETKİLERİNE KARŞI SİSMİK ÖZELLİKLERİNİN YÜKSELTİLMESİ YÖNTEMLERİ.....	3
2.1. Aktif ve Pasif Kontrol Sistemleri	3
2.2. Sürtünme Arayüzlü Yalıtım Sistemleri ve Literatür Özeti	4
3. DOĞAL SİSMİK YALITIM SİSTEMİNİN TASARIMI.....	11
3.1. Tarihi Yapılarda Sismik Yalıtım	11
3.2. Depremın Geri Düzeltme Fenomeni ve Uygulamalardaki Yeri.....	17
3.3. Sürtünme Kuvveti Çalışmaları Geçmişi ve Klasik Coulomb Sürtünme Modeli.....	19
3.4. Geliştirilmiş Coulomb Sürtünme Modeli	26
3.5. Geliştirilmiş Coulomb Sürtünme Modeli Parametrelerinin Belirlenmesi (Newton Yavaşlama Yöntemi - Newton Slowdown Method).....	28
3.6. Ölçeklendirilmiş Model	29
3.7. Geliştirilmiş Coulomb Sürtünme Modeli Parametrelerinin Tam Ölçekli E- Defense Sarsma Masası Deneyinde Uygulamalı Karşılaştırılması	59
3.8. Coulomb Sürtünme Modelinde Sürtünme Arayüzü Alanı Etkisi.....	63
4. DOĞAL SİSMİK YALITIM SİSTEMİNİN DEVRİLME MOMENTİ OLMAYAN HAFİF YAPILARDA TASARIMI, UYGULAMASI VE PERFORMANSI.....	66
4.1. Doğal Sismik Yalıtım Sistemi ile Yalıtılmış Örnek Yapının Önboyutlandırılması ve Tasarımı.....	66
4.2. Doğal Sismik Yalıtım Sistemi ile Yalıtılmış Yapının Matematik Modeli.....	70
4.3. Örnek Yapının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi	73
4.4. Örnek Yapının Sonlu Elemanlar Modelinin Deprem Etkilerinde İncelenmesi ve Tepkilerinin Değerlendirilmesi.....	78
4.4.1. Örnek yapının sonlu elemanlar modelinin Düzce depremi etkisinde incelenmesi ve tepkilerinin değerlendirilmesi.....	79
4.4.2. Örnek yapının sonlu elemanlar modelinin Kobe depremi etkisinde incelenmesi ve tepkilerinin değerlendirilmesi.....	87
4.4.3. Örnek yapının sonlu elemanlar ankastre modelinin Düzce depremi etkisinde incelenmesi ve tepkilerinin değerlendirilmesi.....	96
4.4.4. Örnek yapının sonlu elemanlar ankastre modelinin Kobe depremi etkisinde incelenmesi ve tepkilerinin değerlendirilmesi.....	100
5. DOĞAL SİSMİK YALITIM SİSTEMİNİN BİNA TÜRLÜ YAPILARDA UYGULAMA SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI	104
5.1. Düzce Depremi Etkisindeki Doğal Sismik Yalıtım - Yapı Sistemi Modeli Analiz Sonuçlarının Ankastre Yapı Modeli Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması	104

5.2. Kobe Depremi Etkisindeki Doğal Sismik Yalıtım - Yapı Sistemi Modeli Analiz Sonuçlarının Ankastre Yapı Modeli Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması	107
5.3. Tartışma	110
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	112
KAYNAKLAR.....	114
ÖZGEÇMİŞ.....	123



SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

g	Yerçekimi ivmesi
%	Yüzde
μ	Sürtünme katsayısı
\leq	Küçük eşittir
m	Metre
\ddot{u}_{ext}	Ekstremum ivme
\geq	Büyük eşittir
d_c	Üstel sönüm katsayısı
μ_s, μ_{max}	Statik (maksimum) sürtünme katsayısı
μ_d, μ_{min}	Dinamik (minimum) sürtünme katsayısı
gr	Gram
kg	Kilogram
mm	Milimetre
Mpa	Megapascal
N	Newton
sn	Saniye
τ	Kayma gerilmesi
P	Temas basıncı
$C_{cohesion}$	Kohezyon kayma direnci
d	Hız bağımlılığı parametresi
v	Kayma hızı
v_{lim}	Limit hız
\ddot{u}_x	x doğrultusunda relatif tepki ivmesi
\ddot{u}_y	y doğrultusunda relatif tepki ivmesi
\ddot{u}_{gx}	x doğrultusunda başlangıç yer ivmesi
\ddot{u}_{gy}	y doğrultusunda başlangıç yer ivmesi
\ddot{u}_{gz}	z doğrultusunda başlangıç yer ivmesi
V_{rel}	Rölatif hız
u	Yerdeğiştirme
\dot{u}	Hız
u_0	Rölatif yerdeğiştirme
\dot{u}_0	Rölatif hız
\ddot{u}_0	Rölatif ivme
$[m]$	Kütle matrisi
$[c]$	Sönüm matrisi
$[k]$	Rijitlik matrisi

E_{stored}	Yapıya etki eden kuvvetten dolayı meydana gelen enerji
$E_{dissipated}$	Harcanan enerji
m_{total}	Yapının toplam kütlesi
$\ddot{u}_g(t)$	Deprem ivmesi
t_{i_g}	Depremi etkisi süresi
$u(t)$	Geri düzeltme sisteminin yerdeğiştirmesi
cm	Santimetre
t	Zaman
Hz	Hertz
W	Watt
A	Amper
kN	Kilonewton
$T_{r,ext x,y}$	Geçiricilik (transmissibility)

KISALTMALAR

DSYS	Doğal sismik yalıtım sistemi
HDPE	Yüksek yoğunluklu poli etilen
M. Ö.	Milattan önce
M. S.	Milattan sonra
NSI	Lineer olmayan sürtünmeye duyarlı doğal sismik yalıtıcı
PEER	Pasific Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Tomb of Cyrus (Büyük Kiros Türbesi, M. Ö. 550), Pasargadae, İran....	5
Şekil 3.1.	Walled Obelisk (Örme Dikilitaş, M. S. 10. yüzyıl) yapısı örneğinde gömülü doğal sismik yalıtım sistemi ile lamine kauçuk sistem yalıtım sisteminin karşılaştırmalı özellikleri (Kasımzade vd, 2011a).....	12
Şekil 3.2.	Walled Obelisk (Örme Dikilitaş, M. S. 10. yüzyıl) anıtının temelinde gömülü doğal sismik yalıtım sisteminin asırlar boyunca sismik yalıtımı sağlaması ve kalıcı yerdeğiştirme kanıtı (Kasımzade vd, 2011a; Kasımzade vd, 2011b; Kasımzade, 2012)	13
Şekil 3.3.	Üç betonarme basamak ve Horasan harcından oluşan üç sürtünme arayüzlü doğal sismik yalıtım sistemi örneği (Duruma göre basamak sayısı değişebilmektedir.).....	14
Şekil 3.4.	Kolonları destekleyen temel taşları (Itagaki, 1998; Ohmori, 1998; Masatsugu ve Zentaro; 2013; Locher vd, 2015).....	16
Şekil 3.5.	Japon geleneksel yapısı (Itagaki, 1998; Ohmori, 1998; Masatsugu ve Zentaro; 2013; Locher vd, 2015).....	16
Şekil 3.6.	Tek sürtünme arayüzünden oluşan ahşap - taş doğal sismik yalıtım sistemi (Kasımzade vd, baskıda-a)	17
Şekil 3.7.	Basınç ve kayma gerilmesi arasındaki ilişki	22
Şekil 3.8.	İki betonarme basamak ve Horasan harcından oluşan iki sürtünme arayüzlü doğal sismik yalıtım sistemi.....	23
Şekil 3.9.	Tek sürtünme arayüzlü DSYS modeli için ahşap kolona ait rölatif ivme - zaman grafiği	24
Şekil 3.10.	Tek sürtünme arayüzlü DSYS modeli için ahşap kolona ait hız - zaman grafiği	25
Şekil 3.11.	Tek sürtünme arayüzlü DSYS modeli için ahşap kolona ait yerdeğiştirme - zaman grafiği	25
Şekil 3.12.	Tek sürtünme arayüzlü DSYS modeli için ahşap kolona ait X doğrultusunda yerdeğiştirme	26
Şekil 3.13.	Sürtünme durumu	27
Şekil 3.14.	Sarsma masası üzerinde deneysel ekipmanlar	28
Şekil 3.15.	Sarsma masası ve bileşenleri	30

Şekil 3.16. Ölçeklendirilmiş Kobe depremi ivme - zaman grafiği.....	32
Şekil 3.17. Hazırlanan ölçeklendirilmiş üstyapı modeli	33
Şekil 3.18. Hazırlanan ölçeklendirilmiş üstyapı modeli.....	33
Şekil 3.19. Horasan harcı bileşenleri	34
Şekil 3.20. Horasan harcı numuneleri	35
Şekil 3.21. Sarsma masasına yapıştırılan Horasan harcı ve beton kütle	35
Şekil 3.22. Beton kütle üzerine yerleştirilmiş ivmeölçer	36
Şekil 3.23. Elde edilen anlık sinyaller.....	36
Şekil 3.24. Sarsma masası ve bileşenleri.....	37
Şekil 3.25. 1 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	37
Şekil 3.26. 2 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	38
Şekil 3.27. 3 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	38
Şekil 3.28. 4 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	39
Şekil 3.29. 5 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	39
Şekil 3.30. 6 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	40
Şekil 3.31. 7 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	40
Şekil 3.32. 8 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	41
Şekil 3.33. 9 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	41
Şekil 3.34. 10 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	42
Şekil 3.35. 11 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	42
Şekil 3.36. 12 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	43
Şekil 3.37. 13 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	43
Şekil 3.38. 14 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	44
Şekil 3.39. 15 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	44
Şekil 3.40. 16 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	45
Şekil 3.41. 17 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	45
Şekil 3.42. 18 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	46

Şekil 3.43. 19 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	46
Şekil 3.44. 20 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği.....	47
Şekil 3.45. 1 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	47
Şekil 3.46. 2 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	48
Şekil 3.47. 3 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	48
Şekil 3.48. 4 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	49
Şekil 3.49. 5 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	49
Şekil 3.50. 6 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	50
Şekil 3.51. 7 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	50
Şekil 3.52. 8 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	51
Şekil 3.53. 9 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	51
Şekil 3.54. 10 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	52
Şekil 3.55. 11 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	52
Şekil 3.56. 12 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	53
Şekil 3.57. 13 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	53
Şekil 3.58. 14 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	54
Şekil 3.59. 15 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	54
Şekil 3.60. 16 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	55
Şekil 3.61. 17 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	55
Şekil 3.62. 18 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	56
Şekil 3.63. 19 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	56
Şekil 3.64. 20 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği.....	57
Şekil 3.65. Deney sonrası gözlenen kalıcı yerdeğiştirme.....	57
Şekil 3.66. Deney sonrası gözlenen kalıcı yerdeğiştirme.....	58
Şekil 3.67. Deney sonrası gözlenen kalıcı yerdeğiştirme.....	58
Şekil 3.68. Deney modelinin ölçüleri.....	60
Şekil 3.69. Tam ölçekli E-Defense sarsma masası deneyi	60

Şekil 3.70. Taş - ahşap modeli.....	60
Şekil 3.71. E-Defense sarsma masasında uygulanan ivme - zaman grafiği (The Building Center of Japan, 2010).....	61
Şekil 3.72. Ahşap kolon ayaklarının ivme - zaman grafiği.....	61
Şekil 3.73. Ahşap kolon ayaklarının yerdeğiştirme - zaman grafiği.....	62
Şekil 3.74. Ortalama sürtünme katsayısının kayma arayüzü alanına bağıllığı.....	63
Şekil 3.75. Ortalama ivmenin kayma arayüzü alanına bağıllığı.....	64
Şekil 3.76. Ortalama yerdeğiştirmenin kayma arayüzü alanına bağıllığı.....	64
Şekil 3.77. Kalıcı yerdeğiştirmenin kayma arayüzü alanına bağıllığı.....	65
Şekil 3.78. Tek betonarme basamak ve Horasan harcından oluşan tek sürtünme arayüzlü sismik yalıtım sistemi.....	65
Şekil 4.1. Örnek 4 katlı yapı planı.....	67
Şekil 4.2. Örnek 4 katlı yapı.....	67
Şekil 4.3. Örnek 4 katlı yapıda akstan aksa mesafeler.....	68
Şekil 4.4. Örnek 4 katlı yapının kat yükseklikleri.....	69
Şekil 4.5. Örnek yapının sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş Horasan harcı (yeşil), betonarme basamaklar (mavi), kolonlar (sarı), kirişler ve bağ kirişleri (kırmızı) modeli.....	69
Şekil 4.6. n katlı yapının matematik modeli.....	71
Şekil 4.7. Örnek 4 katlı yapının sonlu elemanlar ağ modeli.....	74
Şekil 4.8. Solid sonlu eleman türü.....	74
Şekil 4.9. Radye temel, betonarme basamak, Horasan harcı, sürtünme arayüzü etkileşimi sonlu elemanlar modellemesi.....	75
Şekil 4.10. Radye temel - Horasan harcı arası kontak modelinde kullanılan parametreler.....	76
Şekil 4.11. Radye temel - Horasan harcı arası kontak modelinde kullanılan parametreler.....	76
Şekil 4.12. Horasan harcı - betonarme basamaklar arası kontak modelinde kullanılan parametreler.....	76
Şekil 4.13. Betonarme kolonlar ve kirişler için kullanılan malzeme parametreleri..	77

Şekil 4.14. Betonarme döşemeler (asmolen) için kullanılan malzeme parametreleri.....	77
Şekil 4.15. Horasan harcı için kullanılan malzeme parametreleri	78
Şekil 4.16. Radye temel ve betonarme basamaklar için kullanılan malzeme parametreleri.....	78
Şekil 4.17. Düzce depreminin X doğrultusundaki ivme - zaman grafiği (zaman sn , ivme m/sn^2 birimindedir.)	79
Şekil 4.18. Düzce depreminin Y doğrultusundaki ivme - zaman grafiği (zaman sn , ivme m/sn^2 birimindedir.)	79
Şekil 4.19. Düzce depreminin X doğrultusundaki hız - zaman grafiği (zaman sn , hız m/sn birimindedir.)	80
Şekil 4.20. Düzce depreminin Y doğrultusundaki hız - zaman grafiği (zaman sn , hız m/sn birimindedir.)	80
Şekil 4.21. Düzce depreminin X doğrultusundaki yerdeğiştirme - zaman grafiği (zaman sn , yerdeğiştirme m birimindedir.).....	80
Şekil 4.22. Düzce depreminin Y doğrultusundaki yerdeğiştirme - zaman grafiği (zaman sn , yerdeğiştirme m birimindedir.).....	81
Şekil 4.23. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen ivme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)	81
Şekil 4.24. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği.....	82
Şekil 4.25. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen ivme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)	82
Şekil 4.26. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği.....	82
Şekil 4.27. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen hız - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)	83
Şekil 4.28. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği.....	83

Şekil 4.29. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen hız - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)	83
Şekil 4.30. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği.....	84
Şekil 4.31. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, 4. kat, betonarme basamak ve Horasan harcı seviyelerinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini, pembe renk Horasan harcı seviyesini temsil etmektedir.)	84
Şekil 4.32. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, 4. kat, betonarme basamak ve Horasan harcı seviyelerinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini, pembe renk Horasan harcı seviyesini temsil etmektedir.)	84
Şekil 4.33. Von Mises maksimum gerilme durumu ($t = 11.2 sn$).....	86
Şekil 4.34. Z doğrultusundaki ekstremum gerilme durumu ($t = 11.2 sn$)	86
Şekil 4.35. XY kayma gerilmesi ekstremum gerilme durumu ($t = 55.83 sn$).....	87
Şekil 4.36. Kobe depreminin X doğrultusundaki ivme - zaman grafiği (zaman sn , ivme m/sn^2 birimindedir.).....	87
Şekil 4.37. Kobe depreminin Y doğrultusundaki ivme - zaman grafiği (zaman sn , ivme m/sn^2 birimindedir.).....	88
Şekil 4.38. Kobe depreminin X doğrultusundaki hız - zaman grafiği (zaman sn , hız m/sn birimindedir.)	88
Şekil 4.39. Kobe depreminin Y doğrultusundaki hız - zaman grafiği (zaman sn , hız m/sn birimindedir.).....	89
Şekil 4.40. Kobe depreminin X doğrultusundaki yerdeğiştirme - zaman grafiği (zaman sn , yerdeğiştirme m birimindedir.).....	89
Şekil 4.41. Kobe depreminin Y doğrultusundaki yerdeğiştirme - zaman grafiği (zaman sn , yerdeğiştirme m birimindedir.).....	89
Şekil 4.42. Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen ivme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)	90
Şekil 4.43. Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği.....	90

Şekil 4.44. Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen ivme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)	91
Şekil 4.45. Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği.....	91
Şekil 4.46. Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen hız - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)	91
Şekil 4.47. Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği.....	92
Şekil 4.48. Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen hız - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)	92
Şekil 4.49. Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği.....	92
Şekil 4.50. Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, 4. kat, betonarme basamak ve Horasan harcı seviyelerinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini, pembe renk Horasan harcı seviyesini temsil etmektedir.)	93
Şekil 4.51. Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, 4. kat, betonarme basamak ve Horasan harcı seviyelerinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini, pembe renk Horasan harcı seviyesini temsil etmektedir.)	93
Şekil 4.52. Von Mises maksimum gerilme durumu ($t = 18.2 sn$).....	95
Şekil 4.53. Z doğrultusundaki ekstremum gerilme durumu ($t = 36.4 sn$)	95
Şekil 4.54. XY kayma gerilmesi ekstremum gerilme durumu ($t = 45.9 sn$)	96
Şekil 4.55. Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği	97
Şekil 4.56. Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği	97
Şekil 4.57. Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği	97

- Şekil 4.58. Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği 98
- Şekil 4.59. Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda, 4. kat, seviyesinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği..... 98
- Şekil 4.60. Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda, 4. kat, seviyesinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği..... 98
- Şekil 4.61. Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği 100
- Şekil 4.62. Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği 100
- Şekil 4.63. Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği 101
- Şekil 4.64. Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği 101
- Şekil 4.65. Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda, 4. kat, seviyesinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği..... 101
- Şekil 4.66. Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda, 4. kat, seviyesinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği..... 102

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Basit sürtünme yalıtım çalışmalarının ve sürtünme arayüzü malzemelerinin durumu	8
Çizelge 3.1. Farklı deprem ivmesi kayıtlarının karakteristikleri ve sayısal integralleme ile elde edilmiş yer ivmesi alanları ve hedeften hata oranı.....	18
Çizelge 3.2. Ahşap - taş doğal sismik yalıtım sistemi sayısal modeli analiz sonuçları.....	24
Çizelge 3.3. Sarsma masasının özellikleri.....	30
Çizelge 3.4. Ölçeklendirilmiş yapı bilgileri	31
Çizelge 3.5. Ölçek faktörünün bulunması.....	31
Çizelge 3.6. Horasan harcının bileşenleri (Kasımzade vd, 2019c).....	34
Çizelge 3.7. Sarsma masası deneyleri sonuçlarından elde edilen ortalama ivme değeri.....	59
Çizelge 3.8. Tam ölçekli E-Defense sarsma masası deneyi ile sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması	62
Çizelge 4.1. Kat yükseklikleri	68
Çizelge 4.2. Betonarme ve asmolon döşeme malzeme parametreleri.....	70
Çizelge 4.3. Horasan harcının fiziksel ve mekanik özellikleri (Kasımzade vd, 2019b).....	70
Çizelge 4.4. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları.....	85
Çizelge 4.5. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları.....	85
Çizelge 4.6. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda elde edilen hız sonuçları.....	85
Çizelge 4.7. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda elde edilen hız sonuçları.....	85
Çizelge 4.8. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları.....	85
Çizelge 4.9. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları.....	85

Çizelge 4.10.Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları.....	93
Çizelge 4.11.Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları.....	93
Çizelge 4.12.Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda elde edilen hız sonuçları.....	94
Çizelge 4.13.Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda elde edilen hız sonuçları.....	94
Çizelge 4.14.Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları.....	94
Çizelge 4.15.Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları.....	94
Çizelge 4.16.Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları.....	99
Çizelge 4.17.Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları.....	99
Çizelge 4.18.Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda elde edilen hız sonuçları.....	99
Çizelge 4.19.Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda elde edilen hız sonuçları.....	99
Çizelge 4.20.Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları	99
Çizelge 4.21.Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları	99
Çizelge 4.22.Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları.....	102
Çizelge 4.23.Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları.....	102
Çizelge 4.24.Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda elde edilen hız sonuçları.....	102
Çizelge 4.25.Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda elde edilen hız sonuçları.....	102
Çizelge 4.26.Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları	103

Çizelge 4.27.Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları	103
Çizelge 5.1. Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile X doğrultusunda elde edilen ekstremum ivme sonuçlarının karşılaştırılması	104
Çizelge 5.2. Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile Y doğrultusunda elde edilen ekstremum ivme sonuçlarının karşılaştırılması	104
Çizelge 5.3. Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile X doğrultusunda elde edilen ekstremum hız sonuçlarının karşılaştırılması	105
Çizelge 5.4. Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile Y doğrultusunda elde edilen ekstremum hız sonuçlarının karşılaştırılması	105
Çizelge 5.5. Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile X doğrultusunda elde edilen ekstremum yerdeğiştirme sonuçlarının karşılaştırılması	105
Çizelge 5.6. Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile Y doğrultusunda elde edilen ekstremum yerdeğiştirme sonuçlarının karşılaştırılması	105
Çizelge 5.7. Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile X doğrultusunda elde edilen ekstremum ivme sonuçlarının karşılaştırılması	107
Çizelge 5.8. Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile Y doğrultusunda elde edilen ekstremum ivme sonuçlarının karşılaştırılması	107
Çizelge 5.9. Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile X doğrultusunda elde edilen ekstremum hız sonuçlarının karşılaştırılması	107
Çizelge 5.10.Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile Y doğrultusunda elde edilen ekstremum hız sonuçlarının karşılaştırılması	108
Çizelge 5.11.Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile X doğrultusunda elde edilen ekstremum yerdeğiştirme sonuçlarının karşılaştırılması	108
Çizelge 5.12.Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile Y doğrultusunda elde edilen ekstremum yerdeğiştirme sonuçlarının karşılaştırılması	108

1. GİRİŞ

Sismik yalıtım, temel ve üstyapı arasından yapıya esneklik ve sönümlenme sağlayarak yapıyı depremin zararlı etkilerinden ayırır. Üstyapıya ve kat kütlelerine bağlı olarak yalıtım sistemi taban yalıtımı (yüksek kütleli standart yapılar) veya temel yalıtımı (düşük kütleli tek katlı yapılar) olarak sınıflandırılabilir. En basit sürtünme arayüzlü sismik yalıtım sistemleri geri düzeltme kuvveti ve periyoda sahip olmadığından geniş aralıktaki frekans değerlerinde oldukça etkilidir (Mostaghel vd, 1983; Mostaghel ve Tanbakuchi, 1983; KasıMZade, 2009, KasıMZade vd, 2009; KasıMZade vd, 2011a, KasıMZade vd, 2011b; KasıMZade, 2012; Atmaca, 2012; KasıMZade vd, 2013; KasıMZade vd, 2014; KasıMZade vd, 2015a; KasıMZade vd, 2015b; KasıMZade vd, 2017; KasıMZade vd, 2018; KasıMZade vd, 2019b; KasıMZade vd, 2019c; KasıMZade vd, baskıda-a; KasıMZade vd, baskıda-b).

Basit sürtünmeli yalıtım sisteminde büyük derecede kayma ve kalıcı yerdeğıştirmeleri engellemek için geri düzeltme kuvveti olan taban yalıtım sistemleri geliştirilmiş ve incelenmiştir. Bunlar, geri şekillenen sürtünmeli yalıtım sistemi (Mostaghel ve Khodaverdian, 1987), Electricite de Fran sistemi (Guéraud vd, 1985), sürtünmeli sarkaç sistemi (Zayas vd, 1990) ve diğeri periyoda bağılı taban yalıtım sistemleridir.

Ancak, sismologlar periyoda bağılı yalıtım sistemi kullanılmış yapıların yakın faylarda meydana gelen yer hareketinde veya uzun periyotlu yer hareketlerinde yapının savunmasız kalacağını rapor etmişlerdir (Heaton vd, 1995; Hall vd, 1995; KasıMZade, 2009, KasıMZade vd, 2009; KasıMZade vd, 2011a, KasıMZade vd, 2011b; KasıMZade, 2012; KasıMZade vd, 2013; KasıMZade vd, 2014; KasıMZade vd, 2015a; KasıMZade vd, 2015b; Kawabe, 2015; Saito, 2016, KasıMZade vd, 2017; KasıMZade vd; 2018; KasıMZade vd, 2019a; KasıMZade vd, 2019c; KasıMZade vd, baskıda-a; KasıMZade vd, baskıda-c). Yakın zamanlarda yapılan çalışmalar sonucunda, bu yapıların yalıtım katmanlarının aşırı derecede yüksek yer değıştirme aldığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu tepkiyi azaltmak için kontrol sistemleri önerilmiş olsa da, bunların kullanımı karmaşıktır (Jangid, 2005; Fujitani vd, 2012).

Bu çalışmanın amacı, en azından bu eksikliklerden yoksun, deprem etkisi altındaki hafif yapıların geri düzeltmesiz, periyotsuz yalıtım sistemi ile deprem etkisindeki performansının değerlendirilmesidir. Bu çalışma ile KasıMZade vd (2019b) ve KasıMZade vd (baskıda-b) çalışmalarında sunulmuş Doğal Sismik Yalıtım Sisteminin (DSYS) hafif binalardaki performansı incelenecektir.



2. YAPILARIN GÜÇLÜ DEPREM ETKİLERİNE KARŞI SİSMİK ÖZELLİKLERİNİN YÜKSELTİLMESİ YÖNTEMLERİ

Bu bölümde, yapıların güçlü deprem etkilerine karşı sismik özelliklerinin yükseltilmesi yöntemlerinden bahsedilmiş ve ilgili kaynaklar sunulmuştur.

2.1. Aktif ve Pasif Kontrol Sistemleri

Günümüzde rüzgâr ve deprem gibi sürekli değişen dinamik yüklere maruz yapıların titreşim kontrolü aktif ve pasif kontrol yöntemleriyle gerçekleştirilebilmektedir.

Aktif kontrol sistemleri yüksek ve esnek yapılarda kullanılmakta olup, aktif kütle söndürücüleri ve aktif destek elemanları vasıtasıyla sağlanmaktadır. Aktif kütle söndürücüleri binanın üst katına yerleştirilir ve hidrolik sistem tarafından kütle harekete geçirilerek gerekli kontrol kuvveti meydana getirilir. Aktif destek sistemlerinde kontrol kuvveti tabana yerleştirilen elektro-hidrolik tahrik makinesine bağlı destekler vasıtasıyla yapıya uygulanmaktadır. Yüksek binaların titreşimlerini kontrol etmek amacıyla kayan modlu kontrol algoritması geliştirilmiştir. Aktif kontrol sistemleri değişen dış etkilere karşı kendini adapte edebilme yeteneğine sahiptir. Bu üstünlüklerin yanı sıra elektro-hidrolik makine sisteminden oluşturulmuş aktif kontrol sistemi sürekli bakım gerektirmektedir.

Pasif kontrol yöntemleri genelde alçak ve rijit yapılarda kullanılmakta olup, herhangi bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duyulmadan temel sismik yalıtım sistemleri ve pasif enerji sönmüleyicileri gibi enerji yutan sistemler içermektedir.

Enerji sönmüleyicilerinin viskoz kuvvet söndürücüleri, histererik, sürtümlü kuvvet söndürücüleri vb. gibi türleri yapı taşıyıcı sistemlerinde kullanılmaktadır.

Temel sismik yalıtım sistemleri düşük yatay rijitliğe ve büyük sönmüye sahip olup, temel ile yapı arasına yerleştirilir. Bunun sayesinde yapı periyodu ve yerdeğiştirmesi büyük ölçüde artarak, buna karşılık yapı ivmesi ve yapıya etkiyen sismik kuvvet azalmaktadır. Dikkat etmek gerekir ki, zeminlerin doğal hakim periyodu 0.1 sn ile 1.5 sn aralığındadır. Yapıya temel sismik yalıtım sisteminin eklenmesi ile zemin ve yapının doğal hakim periyotlarının çakışma aralığı (rezonans

durumu) kısmen kaldırılmış olur. Kısa süreli (yaklaşık ≤ 20 sn) yüksek frekanslı (yaklaşık $\ddot{u}_{eks} = 3.5 m/sn^2$) deprem etkilerine temel sismik yalıtımının her zaman verimli olduğu, uzun süreli (yaklaşık ≥ 45 sn) düşük frekanslı ($\ddot{u}_{eks} = 1.5 m/sn^2$) deprem etkilerine temel yalıtım rijitliğinin çok küçük bir aralığında belki verimli olabileceği uygun çalışmalarda (Kasımzade vd, 2018; Kasımzade vd, 2019a) gösterilmiştir. Görüldüğü gibi deprem etkisindeki temel yalıtımlı yapı sisteminin verimli tepkisini büyük olasılıkla tasarlamak için bu tepkinin yapı ve temel izolatörünün parametrelerine hassaslığının değerlendirilmesi ve uygun kriterinin formüle edilmesi gerekmektedir.

Temel sismik yalıtımları farklı türlerde üretilmektedir. Yaygın olarak kullanılanı kurşun çekirdekli elastomerik sismik yalıtımlardır (Kasımzade, 2018a).

2.2. Sürtünme Arayüzlü Yalıtım Sistemleri ve Literatür Özeti

Sismik temel yalıtımı ve sismik temel kontrol cihazlarının, binaların yer değiştirme ve ivme tepkilerini kontrol etmek için milattan önce kullanıldığı belirtilmiştir (Botiş ve Harbic, 2012; Higashino ve Okamoto, 2015).

Tomb of Cyrus (Büyük Kiros Türbesi, Milattan önce (M. Ö.) 550) dünyanın ilk temel yalıtımlı yapısı olarak kabul edilir. İran'ın Pasargadae şehrinde M. Ö. 550 yılları civarında inşa edilmiştir (Şekil 2.1) ve bugüne kadar ayakta kalmıştır. Yapı kireçtaşından yapılmıştır ve yapının iki temeli olduğu belirtilmektedir. Alt temel yapımında taş kullanılarak Sâroj harcı (alçı, kireç ve kül/kum içermektedir) ile birleştirilmiş ve daha sonra düz yüzey haline getirilmiştir. Üst temel ise geniş cilalı taşlardan oluşup, alt taban ile bağlantısı yoktur ve büyük bir levha oluşturmak için metal çubuklar ve klipslerle birlikte sabitlenmiştir. Böylece, deprem durumunda zemin hareket ettiğinde, alt taban hareket eder ve üst kısım serbestçe tabanına kayar. Anıtın bugünkü varlığı ve bütünlüğü, mühendislerin anıtı ciddi bir depreme dayanacak şekilde inşa ettiklerini doğrulamaktadır (Botiş ve Harbic, 2012).



Şekil 2.1. Tomb of Cyrus (Büyük Kiros Türbesi, M. Ö. 550), Pasargadae, İran

Sürtünmeli sistemlerin gelişimi farklı kayıcı arayüz malzemelerinin araştırılması ile geliştirilmeye çalışılmıştır. Aynı zamanda, geri düzeltme kuvvetine sahip periyoda bağlı kayıcı sistemler sürtünme ile geliştirilebilir ve yakın faylarda meydana gelen yer hareketlerinde taban yalıtımlı sistemlerin savunmasız kalma ihtimalini önlemek için sönümleyici cihazlar kullanılabilir. Sürtünmeli taban yalıtımının ve ilgili sürtünme arayüzü malzemelerinin geliştirilme süreci aşağıda anlatılmıştır.

Sinüzoidal sarsma masası testinde, aşağıdaki malzemelerin sürtünme katsayıları şöyle rapor edilmiştir: Grafit tozu: 0.25, kuru kum: 0.34 ve ıslak kum: 0.41 (Arya, 1984; Qamaruddin vd, 1986). Yığma yapılar için önerilen diğer kayma arayüzü malzemelerinin sürtünme katsayıları: Asfalt: 0.6, vinil döşeme: 0.7 (Zongjin vd, 1989).

Asfalt ve grafit taşıdan kompozit sürtünme arayüzü iki adet altı katlı yığma yapı sarsma masasında test edilmiştir (Song vd, 1990). Bu modellere 0.1 g -0.5 g aralığında ivme uygulanmış ve kayma 0.25 g 'de başlamıştır. İki modelde de taban ivmesi 0.5 g olduğunda bile çatlak oluşmamıştır.

Kayma sistemli ve kayma systemsiz tuğladan yapılmış birkaç yapı ölü yük ve yatay yük altında test edilmiştir (Lou vd, 1992). Kayma düğümlü duvarlarda yapılan çalışmada kaymanın yatay kuvvetin % 50'sinde gözlemlendiği ve duvardaki çatlamanın kayma düğümü dışında başladığı gözlemlenmiştir. Önerilen arayüz malzemeleri için sarsma masası testinden elde edilen sürtünme katsayıları pik ivme değeri 0.3 g - 0.6 g üzeri değerler için grafit/beton 0.23 ve aynı arayüz için 0.3 g - 0.6 g üzeri değerler için 0.4 olarak elde edilmiştir.

Nikolic-Brzev ve Arya (1996) çalışmasında gres - beton için sürtünme katsayısını 0.4 olarak belirtmiştir.

Tehrani ve Hasani (1996) İranda bulunan bir kerpiç yapıda sürtünme arayüzü olarak kumul kumu (0.25), kil (0.16) ve hafif genleştirilmiş kil (0.2-0.3) kullanmış ve kumul kumu ve hafif genleştirilmiş kil malzemelerinin kerpiç yapılarda iyi bir kayma katmanı olabileceği kararına varmıştır.

Nikolic-Brzev ve Arya (1996) çalışmasında, 3 katlı yapıda gres - beton için sürtünme katsayısını 0.4 olarak belirtmiştir.

Constantinou vd (1999) çalışmasında, teflon - teflon temelli malzemeler için sürtünme katsayısını 0.15 olarak belirtmiştir.

Deb ve Paul (2000) çalışmasında, 3 katlı yapıda, kayıcı elastomerler için sürtünme katsayısını 0.2 olarak belirtmiştir.

Fujita vd (2004) çalışmasında, teflon - çelik için sürtünme katsayısını 0.13 olarak belirtmiştir.

Nishimura vd (2004) ve Nishimura vd (2007) çalışmalarında, sırasıyla deneysel sönüm katsayısı, statik sürtünme katsayısı, dinamik sürtünme katsayısı ve sürtünme katsayısı $d_c = 0.03 - 0.352$, $\mu_{max} = 0.17 - 0.22$, $\mu_{min} = 0.07 - 0.09$ ve $\mu = 0.05 - 0.1$ olarak belirlenmiştir. Ayrıca $\mu = 0.1 - 0.2$ olsa bile kuvvetli deprem durumunda etkili olabileceği gösterilmiştir. Aynı çalışmada, kaymalı yataklar olarak iki farklı tipte paslanmaz çelik önerilmiş ve hem ivme hem de katlar arası kaymaların % 20 - % 40 oranında azaldığı bildirilmiştir. Statik ve dinamik sürtünme katsayısı 0.2'ye atanıp 4 veya 11 serbestlik dereceli yapılarda hem ivmeler, hem de katlar arası kaymalar % 40 - % 80 oranında azaltılmıştır. Bu, tepki azaltma etkisinin, sürtünme katsayısı $\mu = 0.2$ olduğu zaman bile, önemli ölçüde daha büyük bir depremde beklenenden daha fazla etkili olduğunu da göstermiştir. Aynı malzemeler üzerinde sarsma masası testleri yapılmış, optimum sürtünme katsayısı sırasıyla 0.1 ve 0.2 olarak bulunmuştur. Ayrıca, Nishimura vd (2007) çalışmasında önceki iki çalışmanın sonuçları üzerine bir metal dokunuşlu tip taban yalıtımını araştırdıkları bir başka araştırma yürütmüşlerdir. Çalışmalarında deneysel sönüm katsayısı, statik sürtünme katsayısı ve dinamik sürtünme katsayısı sırasıyla $d_c = 0.096 - 0.153$, $\mu_{max} = 0.17 - 0.21$ ve $\mu_{min} = 0.11 - 0.16$ olarak belirlenmiş; çok serbestlik dereceli bir sistem

modelinin tepkisini azaltma etkisini değerlendirmek için bir simülasyon kullanılmış, tepkiler % 50 - % 80 arasında değişmiştir.

Nanda (2008) çalışmasında, 1 katlı yapıda, yeşil mermer - yeşil mermer için sürtünme katsayısını 0.05 - 0.15 aralığı olarak belirtmiştir.

Zhang vd (2008) çalışmasında, 1 katlı yapıda, çelik - harç için sürtünme katsayısını 0.5 - 0.8 aralığı olarak, ahşap - taş için 0.5, çelik - çelik için 0.15 - 0.6 aralığı olarak belirtmiştir.

Diğer bir çalışma olarak McCormick vd (2009) çalışmasında, çelik taban düzlemi ve harç düzlemi arasında geliştirilen sürtünmenin sismik olay esnasında yapının kesme dayanımını artırdığını raporlamıştır. Yazarlar çelik taban düzlemi ve harç düzleminin davranışının mümkünlüğünü sarsma masasında değerlendirmiştir (farklı yatay ivmeler ve farklı büyüklük ve frekanslarda). Sonuçlar kayma anında sürtünme katsayısının yaklaşık olarak $\mu=0.78$ olduğunu göstermiştir. Sürtünmeli yalıtım sisteminde kaba kuru kumun sürtünme malzemesi olarak kullanılması ($\mu=0.36$) ekonomik olarak gelişmekte olan ülkeler için önerilmiştir (Ahmad vd, 2009). Bu çalışma ile sürtünmeli yalıtım tekniği ile % 70'den daha fazla enerjinin harcandığı gözlenmiştir.

Diğer bir çalışma olarak Nanda vd (2010) çalışmasında, çok katlı yığma yapıda teflon ve paslanmaz çelik taban seviyesi ve üst katlardaki kayma düğümlerinde kullanılmıştır. Ankastre yapıyla karşılaştırıldığında yalıtımlı yapıda maksimum tepki ivmelerinin ve maksimum taban kesme kuvvetinin % 30 ve % 40 oranında azaldığı gözlenmiştir. Sarsma masası ile deneysel çalışmalar geotekstil ve mermer malzemeler ile sürtünmeli taban yalıtım sistemini araştırmak için tuğladan oluşan yığma yapıda kullanılmıştır. Ankastre yapı ile karşılaştırıldığında çatı katında tepki ivmelerinin % 65 oranında azaldığı gözlenmiştir.

Mukaibo vd (2011) geleneksel bir Japon ahşap yapısını güçlü bir deprem etkisi altında incelemiş ve taban ile temel zemini arasındaki sürtünme katsayısının kayma yönüne bağlı olabileceğini ve sürtünme katsayısının kayma meydana geldiğinde değişebileceğini tespit etmiştir. İncelenen materyallerin ortalama değeri $\mu= 0.38$ olarak bulunmuştur. Nanda vd (2012) çalışması ile yeşil mermer - yüksek yoğunluklu poli etilen (HDPE) için basit sürtünmeli yalıtım sistemi olarak, yeşil mermer - yüksek yoğunluklu polietilen, yeşil mermer - yeşil mermer, yeşil mermer -

geosentetik ve yeşil mermer - kauçuk katmanları kullanılmış olup, ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla $\mu = 0.075, 0.085, 0.105$ ve 0.17 olarak bulunmuştur. Kayan arayüzlerin çoğunun, spektral ivmeleri % 50'ye kadar azaltmada etkili olduğu kanıtlanmıştır ve kayma yerdeğiştirmesi $0.075 m$ içinde sınırlandırılmıştır.

Gu vd (2015) çalışmasında, 6 katlı yapıda, grafit - harç için sürtünme katsayısını 0.23 , teflon için 0.1 olarak belirtmiştir.

Nanda (2015) çalışmasında, 1 katlı yapıda, mermer - mermer için sürtünme katsayısını $0.05 - 0.15$ aralığı olarak belirtmiştir.

Enokida ve Nagae (2018) çalışmasında, 3 katlı yapıda, gri demir - harç için sürtünme katsayısını $0.214 - 0.28$ aralığı olarak, grafit - harç için $0.149 - 0.22$ aralığı olarak, çelik - harç için 0.78 olarak belirtmiştir.

Basit sürtünme yalıtım çalışmalarının ve sürtünme arayüzü malzemelerinin durumu Çizelge 2.1'de kaynaklarla birlikte özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Basit sürtünme yalıtım çalışmalarının ve sürtünme arayüzü malzemelerinin durumu

Sürtünme arayüzü tipi	Sürtünme katsayısı	Yapı kat sayısı	Kaynak
Grafit tozu	0.25	-	Arya, 1984; Qamaruddin vd, 1986
Kuru kum	0.34	-	Arya, 1984; Qamaruddin vd, 1986
Islak kum	0.41	-	Arya, 1984; Qamaruddin vd, 1986
Asfalt	0.6	-	Zongjin vd, 1989
Vinil döşeme	0.7	-	Zongjin vd, 1989
Grafit - Beton	0.23 - 0.4	-	Lou vd, 1992
Gres - Beton	0.4	3	Nikolic-Brzev ve Arya, 1996
Kumul kumu	0.25	-	Tehrani ve Hasani, 1996
Kil	0.16	-	Tehrani ve Hasani, 1996
Hafif genişletilmiş kil	0.2 - 0.3	-	Tehrani ve Hasani, 1996
Teflon - Teflon temelli malzemeler	0.15	-	Constantinou vd, 1999
Kayıcı elastomerler	0.2	3	Deb ve Paul, 2000
Teflon - Çelik	0.13	-	Fujita vd, 2004

Çizelge 2.1. (devam)

	$\mu = 0.05- 0.1$		
Paslanmaz çelik	$\mu_{\max} = 0.17,0.22$ $\mu_{\min} = 0.07-0.09$ $d_c = 0.03- 0.352$	-	Nishimura vd, 2004
Ahşap bloklar	0.68	1	Konstantinidis ve Makris, 2005
Taban düzlemi - Taban harcı	0.52	-	Nagae vd, 2006
Çelik - Teflon	0.12 - 0.15	5	Roussis ve Constantinou, 2006
	$\mu_{\max} = 0.17,0.21$ $\mu_{\min} = 0.11-0.16$		
Paslanmaz çelik	$d_c = 3$ ve 10 0.0096,0.153		Nishimura vd, 2007
Yeşil mermer - Yeşil mermer	0.05 - 0.15	1	Nanda vd, 2008
Çelik - Harç	0.5 - 0.8	1	Zhang vd, 2008
Ahşap - Taş	0.5	1	Zhang vd, 2008
Çelik - Çelik	0.15 - 0.6	1	Zhang vd, 2008
İri taneli kuru kum	0.36	1	Ahmad vd, 2009
Çelik - Harç	0.78	1	McCormick vd, 2009
Yüzey işlemleri çelik plakalar	0.01-0.2	2	Ikawa vd, 2011
Ahşap - Taş	0.38	-	Mukaibo vd, 2011
Çelik- Harç- Grafit	0.2	2	Enokida vd, 2012
Yeşil mermer - Yüksek yoğunluklu polietilen	0.075	1	Nanda vd, 2012
Yeşil mermer - Yeşil mermer	0.085	1	Nanda vd, 2012
Yeşil mermer - Geosentetik	0.105	1	Nanda vd, 2012
Yeşil mermer - Kauçuk katmanlar	0.17	1	Nanda vd, 2012
Grafit - Harç	0.23	6	Gu vd, 2015
Teflon	0.1	6	Gu vd, 2015
Mermer - Mermer	0.05 - 0.15	1	Nanda, 2015
Gri demir - Harç	0.214 - 0.28	3	Enokida ve Nagae, 2018
Grafit - Harç	0.149 - 0.22	3	Enokida ve Nagae, 2018
Çelik - Harç	0.78	3	Enokida ve Nagae, 2018

Çizelge 2.1'den görüldüğü üzere, Horasan harcı arayüzü yalıtımı kullanılarak deprem etkisinde incelemeler yapılmamış durumdadır. Horasan harcının sürtünme katsayısı ile ilgili olarak da kaynak bulunmamaktadır.

Kasımszade (2009); Kasımszade vd (2009); Kasımszade vd (2011a); Kasımszade vd (2011b) alışmalarında, İstanbul Sultanahmet meydanında yer alan “Walled Obelisk (Örme Dikilitaş, Milattan sonra (M. S.) 10. yüzyıl) yapısı incelenmiştir. Yapılan incelemede yapının mesnet kısmının Horasan harcı kullanılarak dört kayma yüzeyi oluşturan üç mermer taş ve bir kaideden oluştuğu ve yapının mesnet kısmının “lineer olmayan sürtünmeye duyarlı doğal sismik yalıtıcı (NSI)” işlevini yaptığı belirtilerek Horasan harcı ile oluşturulan kayma arayüzüne dikkat çekilmiştir. Ayrıca, yaklaşık 1000 senelik anıtın kayma arayüzünü oluşturan Horasan harcının günümüzdeki sismik yalıtıcılar ile mukayese edilemeyecek düzeyde özel bakım gerektirmemesi ve uzun ömürlülüğünün perde arkası gösterilmiştir.

Literatürün gösterdiği üzere, basit sürtünmeli yalıtım sistemleri çalışmalar ile geliştirilmeye ve farklı sürtünme arayüzü malzemelerinin keşfedilerek geri düzeltilmesiz sistemlerin ilerletilmesine ihtiyaç duymaktadır.

Geleneksel yöntemlerde, yapıların güçlü deprem etkilerine karşı dayanımını sağlamak kesit boyutlarının artırılması ve daha yüksek mukavemetli malzemelerin seçilmesi ile mümkün olmuştur. Son gelişmeler ile temel-yapı kısımları birbirinden ayrıştırılarak ilgili kısımların temasları yalıtım sistemleri ile sağlanmıştır. Bu taban yalıtımı düşüncesi üstyapı kesitlerini büyütmeden büyük oranda depreme karşı yapı performansını artırmaya fırsat vermiştir. Mevcut yalıtım sistemlerinin belli bir performans sağlamasının yanı sıra, bir sıra eksiklikleri de mevcuttur. Örneğin katmanlı kauçuk temel sismik yalıtım sisteminde bu yalıtım sistemlerinin periyot aralığı ile zemin hakim periyot aralığı kısmen çakışmaktadır. Dolayısıyla rezonans sebebiyle yapı tamamen hasardan korunmuş durumda bulunmamaktadır. Diğer bir eksiklik ise bu yalıtım sistemlerinde temas basıncının 10 *Mpa* üzerinde tutulması istenilmektedir. Hafif yapılar için bu koşulu sağlamak zordur. Daha önemli bir eksiklik ise mevcut sismik yalıtım sistemlerinin davranışlarının zaman içinde yeterli derecede incelenememiş olmasıdır. Sarkaç tipli sismik yalıtım sistemleri de periyoda sahip olduğundan aynı problemler bu sistemde de görülmektedir.

3. DOĞAL SİSMİK YALITIM SİSTEMİNİN TASARIMI

Doğal sismik yalıtım sisteminin tasarımına ait bilgiler 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 ve 3.8 no'lu bölüm başlıklarında açıklanmıştır.

3.1. Tarihi Yapılarda Sismik Yalıtım

Literatürün gösterdiği üzere, basit sürtünmeli yalıtım sistemlerinin yapılacak çalışmalar ile geliştirilmeye ve farklı sürtünme arayüzü malzemelerinin keşfedilerek geri düzeltmesiz sistemlerin ilerletilmesine ihtiyaç duymaktadır. Diğer bir önemli nokta ise sürtünme arayüzü malzemelerinin büyük depremlerin tekrarlanma sürecinde incelenmiş olması gerektiği durumudur. Literatür özetinden de görüldüğü üzere bu konuda yapılan az sayıda çalışma mevcuttur ve araştırma için gereken zaman uygulamalar için yeterli olmamıştır.

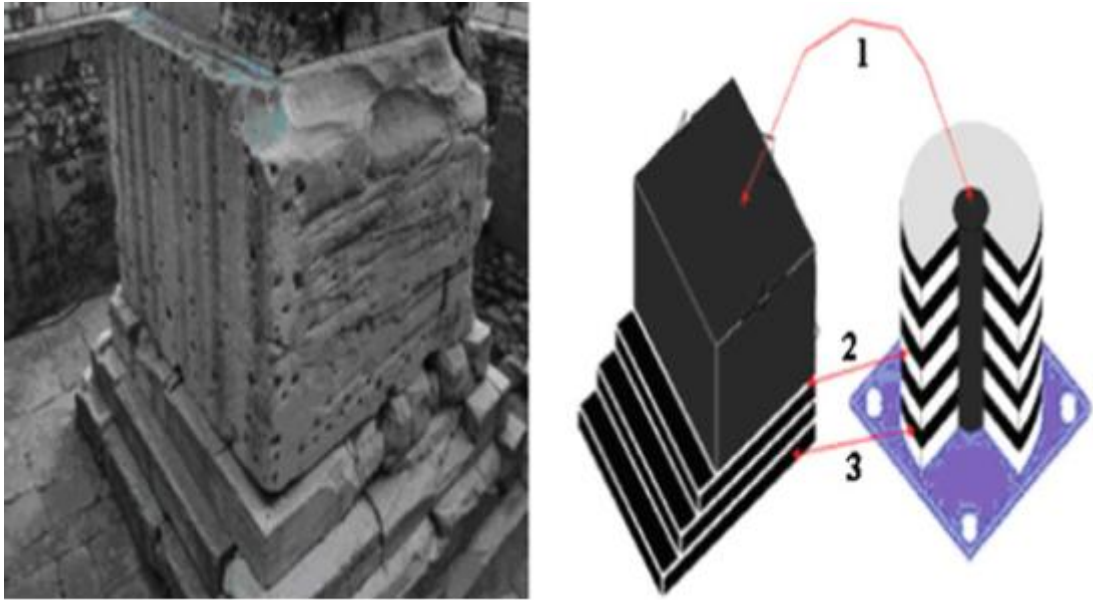
Büyük depremlerin tekrarlanma zamanlarını karşılaştıran çalışmaların sonuçlarında, araştırmalarda kullanılan malzemelerin büyük kısmının, özellikle uzun süre boyunca davranışlarının yeteri kadar araştırılmadığını ortaya çıkmaktadır. Diğer bir deyişle, literatür özetinden de görüldüğü üzere, sürtünme arayüzü malzemeleri büyük depremlerin tekrarlanma sürecinde araştırılmamıştır. Örneğin, Nagashima (1998) çalışmasında teflon malzemesini sadece on yıl süre ile incelemiş ve sürtünme katsayısının on yıl sonrasında % 20 oranında arttığını belirtmiştir. Diğer araştırma çalışmalarında, basit sürtünme sistemini içeren geri düzeltme mekanizmalı sistemlerin karşılaştırmalı sonuçlarında, birleştirilmiş yalıtım sistemlerinin periyoda bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, davranışı araştırılmış, zamanla deneyim edilmiş, sürtünme arayüzü olarak kullanılabilme potansiyeline sahip alternatif arayüz malzemelerine ve deprem etkisi sonrasında basit sürtünmeli yalıtım sistemlerinde kullanılabilen geri kazanılabilir özellikte arayüz malzemelerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Horasan Harcı, Dünya genelinde tarihi binalarda yaygın olarak kullanılmış olup, Roma İmparatorluğu döneminde "Cocciopesto", Hindistan bölgesinde "Surkhi", Yunanistan'da "Korassa" ve Arap ülkelerinde "Homra" olarak bilinmektedir. Horasan harcının tarihsel kullanımı birçok çalışmada araştırılmış ve

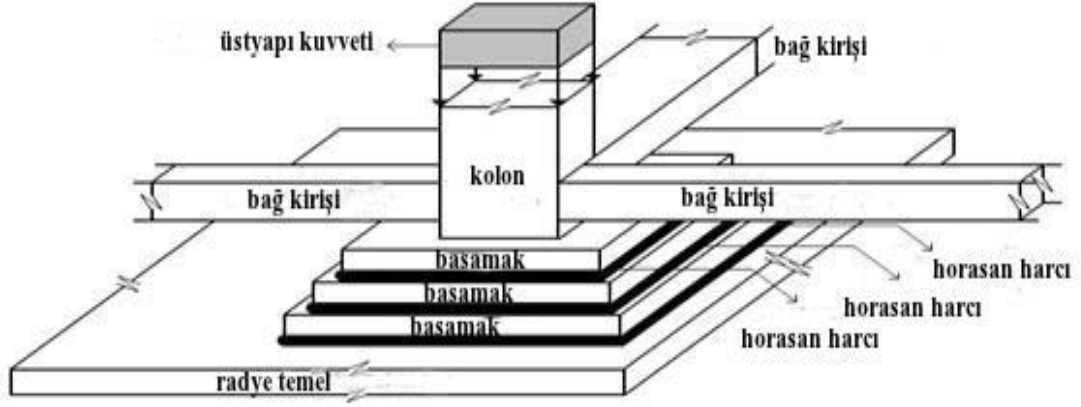
özellikleri laboratuvar koşullarında üretilen malzemelerle karşılaştırılmıştır (Çakmak vd, 1995; Valluzzi vd, 2005; Binal, 2008).

Bir diğer önemli husus, yalıtım sisteminde sürtünme alanı etkisidir ki, klasik Coulomb sürtünme modelinde bu önemli etken yer almamaktadır. Tarihi yapılarda sürtünme arayüzü ve sürtünme alanı etkileşimini gömülü Doğal Sismik Yalıtım Sistemi (DSYS) olarak kendinde bulunduran tarihi yapılardan bu yalıtım sistemi modelinin ortaya çıkarılması KasıMZade (2009); KasıMZade vd (2009); KasıMZade vd (2011a); KasıMZade vd (2011b); KasıMZade ve Tuhta (2012); KasıMZade vd (2014); KasıMZade vd (2019b) çalışmalarında Tomb of Cyrus (Büyük Kiros Türbesi, M. Ö. 550) ve Walled Obelisk (Örme Dikilitaş, M. S. 10. yüzyıl) örneklerinde ilk kez gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmalar sonucunda, anıtın alt kısmının gömülü olarak sismik yalıtım elemanı içerdiği ortaya çıkarılmıştır (Şekil 3.1, Şekil 3.2). Anıtın alt kısmının, üç basamaklı mermerden ve bir adet mermer kaideden oluştuğu, basamaklar ve kaide arasında dört sürtünme/kayma arayüzü ile doğal sismik yalıtım elemanı oluşturduğu belirtilmiştir. Benzer biçimde, Tomb of Cyrus (Büyük Kiros Türbesi, M. Ö. 550) da 5 basamaktan oluşan doğal sismik yalıtım elemanı içermektedir.



Şekil 3.1. Walled Obelisk (Örme Dikilitaş, M. S. 10. yüzyıl) yapısı örneğinde gömülü doğal sismik yalıtım sistemi ile lamine kauçuk sismik yalıtım sisteminin karşılaştırmalı özellikleri (KasıMZade vd, 2011a)



Şekil 3.3. Üç betonarme basamak ve Horasan harcından oluşan üç sürtünme arayüzlü doğal sismik yalıtım sistemi örneği (Duruma göre basamak sayısı değişebilmektedir.)

Araştırmalarımızda (Kasımzade vd, baskıda-a), zemin kat altında doğal havalandırmaya fırsat verilmesi, ahşap yapının nemden korunması, kemirgenlerin ve böceklerin yaşam alanından uzak tutulması amaçlarıyla tasarlanmış tarihi Japon yapılarında da benzer biçimde doğal sismik yalıtım sisteminin gömülü olarak bulunduğu gösterilmiştir. Aşağıda bu araştırmalarımızın tarihi temellerine değinilmiştir.

Sürekli taban şeklinde temel, çok sayıda orta büyüklükte taş veya işlenmiş (kesilmiş) birkaç parça taşın, duvarların temelini oluşturmak için bir sıra halinde yerleştirilmesi ve toprağa hafifçe gömülmesiyle yapılmıştır. Japon geleneksel yapıları incelendiğinde, tarihsel olarak, temellerin oluşumu ve gelişimi, binaların yapısındaki değişimlere paralel olmuştur. Yayoi döneminde, ahşap zeminler yerden yükseğe kaldırılmış ve toprağın içine çakılan kolonlarla desteklenmiştir. Bir çukur kazdıktan ve taşlardan bir temel hazırladıktan sonra, ilkel bir kazık çakıcı yardımıyla kolonlar toprağa yerleştirilmiştir. Milattan sonra altıncı yüzyılda, yeni bir mimari tarzın ortaya çıkmasına, ahşap yapıyı yerden yükseltmek için bir dayanak olarak taştan yapılmış temelden oluşan yeni bir temel türü eşlik etmiştir. Bu döneme ait konut yapılarının çoğunda, ayrı taş temeller üzerine yerleştirilmiş ahşap kolonlar ve sürekli taş temeller üzerine yerleştirilmiş ahşap bloklardan oluşan duvarlar bulunmaktadır. Bu dönem Japon mimarisinde, bu üç taş temel türü hemen hemen her tür binanın yapımında ayrı olarak veya kombinasyon halinde kullanılmaya başlanmıştır. Nemli Japon ikliminde, ahşap yapıların nemli toprakla doğrudan temas etmesini önlemek için binaları zeminden yükseltmek gerektiğinden, ilk olarak

milattan sonra yedinci yüzyılda geliştirilen, geleneksel Japon konutlarında kullanılan en yaygın temel türü, kolonları doğrudan destekleyen temel taşları döşemek olmuştur (Şekil 3.4). Bu basit sistemde, her bir kolon ayrı bir taşa oturmaktadır. Taş temel genellikle zemin yüzeyinin üzerine veya içine yerleştirilmiş tek bir taş gibi görünmekte ve tipik olarak zemindeki derin bir delik içindeki küçük taşlardan oluşan bir yatağa yerleştirilmiştir. Sekizinci yüzyılda, temel taşlarının şekilleri sade biçimde olmuştur; ancak, on altıncı yüzyıla gelindiğinde, süslemeli oyulmuş geometrik şekiller ve doğaya uygun biçimler yaygınlanmıştır. Heino, 1985; Reischauer, 1989; Itagaki, 1998; Ohmori, 1998; Masatsugu ve Zentaro, 2013; Locher vd, 2015 kaynaklarında, zeminin yerden yükseltilmesinin (yaklaşık 0.75 m) zemin katının altında doğal havalandırmaya izin verdiği ve ahşap yapıyı nemden, kemirgenleri ve böcekleri yaşam alanından uzak tuttuğu belirtilmiştir. Sürekli taban şeklinde temel, çok sayıda orta büyüklükte taş veya işlenmiş (kesilmiş) birkaç parça taşın, duvarların temelini oluşturmak için bir sıra halinde yerleştirilmesi ve toprağa hafifçe gömülmesiyle yapılmıştır.

Asuka döneminde, en önemli mimari değişimler görülmüştür. Bir taban taşından oluşan temel kullanılarak binalar zeminden ayaklar üzerinde yükseltilmiştir. Sonraki dönemlerde yapılara bu yapım tarzı uygulanmıştır.

Özetlemek gerekirse, geleneksel Japon yapılarında yapı-temel teması tarzı Asuka döneminde şekillendirilmiş ve Şekil 3.4’de gösterildiği gibi günümüze kadar ulaşmıştır. Bu yapılarda, yapı-temel teması tasarımı sadece zemin altında doğal havalandırmaya izin vermek, ahşap parçaları genellikle nemli olan zeminden yüksek tutmak ve kemirgenlerin ve böceklerin yaşam alanına girmelerini önlemek amacıyla benimsenmiştir.

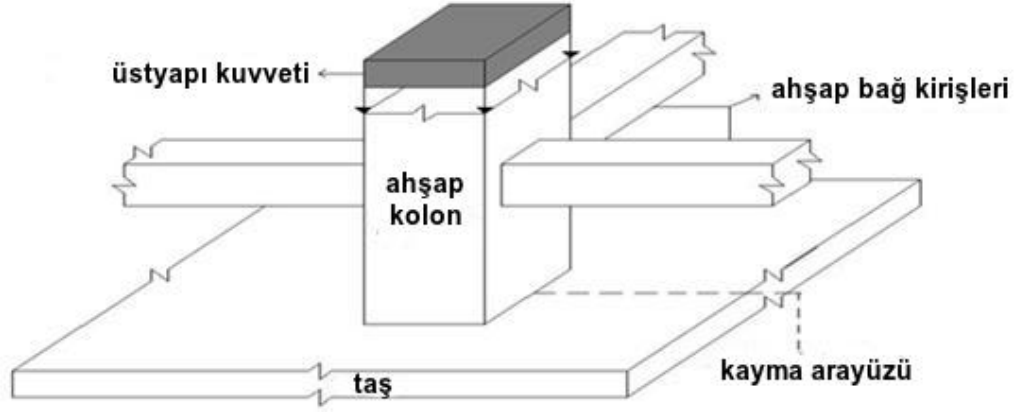
Geleneksel Japon binalarının (Şekil 3.5) yapı-temel teması tasarımının, aynı zamanda birçok depreme direnebilmelerine izin veren sismik yalıtım özelliği aşağıda gösterilmiştir (Şekil 3.6) (Kasımzade vd, baskıda-a).



Şekil 3.4. Kolonları destekleyen temel taşları (Itagaki, 1998; Ohmori, 1998; Masatsugu ve Zentaro, 2013; Locher vd, 2015)



Şekil 3.5. Japon geleneksel yapısı (Itagaki, 1998; Ohmori, 1998; Masatsugu ve Zentaro, 2013; Locher vd, 2015)



Şekil 3.6. Tek sürtünme arayüzünden oluşan ahşap - taş doğal sismik yalıtım sistemi (Kasımzade vd, baskıda-a)

3.2. Depremi Geri Düzeltme Fenomeni ve Uygulamalardaki Yeri

Sismik yalıtım elemanlarının geri düzeltme mekanizması sistemin ayrılmaz önemli bir etkeni - parçasıdır. Örneğin, günümüzde lamine kauçuk yalıtım elemanlarında rijitlik ve sönüm kuvvetleri vb. Doğal sismik yalıtım sisteminde de geri düzeltme mekanizması dolaylı olarak mevcut olup, aşağıdaki çalışmalarımızda (Kasımzade (2009); Kasımzade vd (2009); Kasımzade vd (2011a); Kasımzade vd (2013); Kasımzade vd (2014); Kasımzade vd (2019b)) bu kuvvetin etkileşim biçimi - matematik modeli ortaya çıkarılmıştır.

Bu çalışmalarımızda, deprem etki kuvvetinin aynı zamanda geri düzeltme mekanizması rolünü üstlendiğinin ispatı aşağıda sunulmuştur.

Depremi doğası öyle ki, yapıyı denge etrafında tutmaya çalışmakta ve deprem etki kuvveti aynı zamanda geri düzeltme mekanizması rolünü üstlenmektedir.

Diğer bir deyişle, yapıyı dengede tutabilmesi, sadece yapıya etki eden kuvvetlerden meydana gelen potansiyel enerji (E_{stored}) ile yapı hareketiyle bağlı kinetik enerjinin ($E_{dissipated}$) toplamının sıfır olması durumunda mümkündür. Başka bir deyişle, (3.1) no'lu denklem sağlanmalıdır.

$$E_{stored} + E_{dissipated} = \int_0^{t_{ig}} m_{total} \ddot{u}_g(t) u(t) dt = 0 \quad (3.1)$$

$$m_{total} = \text{sabit and } m_{total} \neq 0 \quad (3.2)$$

(3.2) denklemi dikkate alındığında, (3.3) no'lu denklem oluşturulur.

$$E_{stored} + E_{dissipated} = m_{total} \int_0^{t_{\ddot{u}_g}} \ddot{u}_g(t)u(t)dt = 0 \quad (3.3)$$

Kısmen integralleme işlemi ile (3.4) ve (3.5) denklemi elde edilir.

$$u = u(t), \ddot{u}_g(t)dt = dv \quad (3.4)$$

$$v = \int_0^{t_{\ddot{u}_g}} \ddot{u}_g(t)dt \quad (3.5)$$

(3.5) denklemden (3.6) denklemi elde edilir.

$$\int_0^{t_{\ddot{u}_g}} \ddot{u}_g(t)u(t)dt = uv - \int_0^{t_{\ddot{u}_g}} vdu \quad (3.6)$$

Burada, m_{total} yapının toplam kütlesi, $\ddot{u}_g(t)$ deprem ivmesi, $t_{\ddot{u}_g}$ deprem etki süresi, $u(t)$ geri düzeltme sisteminin yerdeğiştirmesidir.

(3.1) ve (3.3) no'lu denklemlerden görüldüğü üzere, 3.1 no'lu denklemin ispatı için, toplam deprem ivme alanı, deprem etkisi boyunca sifıra eşit olmalıdır (3.5 no'lu denklem). Gerçek depremlerin ivme-zaman ilişkisi pek çok süreksizlik noktasına sahiptir, bu nedenle (3.6) no'lu denklem Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinden (2011) alınan farklı deprem ivmesi kayıtlarının farklı karakteristikleriyle sayısal integralleme ile incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Farklı deprem ivmesi kayıtlarının karakteristikleri ve sayısal integralleme ile elde edilmiş yer ivmesi alanları ve hedeften hata oranı

Depremin Adı	Düzce, Türkiye	Erzincan, Türkiye	Kocaeli, Türkiye	Cape Mendocino, California, Amerika	Chichi, Tayvan	Tabas, İran
Depremin Tarihi	12.11.1999	27.12.1939	19.07.1999	25.04.1992	21.09.1999	16.09.1978
Depremin Saati	18:57:00	01:57:00	03:02:00	11:06:00	01:47:12	19:18:00
İvme alanı	-0.0035	0.00083	-0.00074	-0.00095	-0.000045	0.00034
Hata oranı (%)	0.35	0.083	0.074	0.095	0.0045	0.034

Çizelge 3.1'den görüldüğü üzere, (3.5) no'lu denkleminin sifıra eşit olma iddiasına, kabul edilebilir hata aralıkları (çok küçük) ile ulaşılmıştır. Hedef iddiasından küçük miktardaki sapmalar sayısal integralleme yöntemi hatası ile açıklanabilir.

Buradan, depremin önemli bir geri getirme özelliği ortaya çıkarılmış olup, bu özellik şöyle ifade edilebilir:

Deprem, ideal sürtünme koşulları altında ($\mu = 0$), harekete geçirdiği kütleyi başlangıç konumuna geri getirmektedir. Sürtünme katsayısının sıfırdan farklı olması, doğal sismik yalıtım sisteminde kalıcı yerdeğiştirmeye neden olacaktır (Şekil 3.2). Bu çalışmada, sürtünme esaslı sismik yalıtım elemanlarında geri düzeltme kuvveti olarak ortaya çıkardığımız depremin bu özelliği kullanılacaktır.

(3.1), (3.3) ve (3.5) no'lu denklemlerde sunulmuş deprem hareketi fenomeni, KasıMZade (2009); KasıMZade vd (2009); KasıMZade vd (2011a); KasıMZade (2012); KasıMZade vd (2014); KasıMZade vd (2019b) çalışmalarında ilk kez bulunmuş, ispatlanmış ve Walled Obelisk (Örme Dikilitaş, M. S. 10. yüzyıl) anıtından yola çıkılarak günümüzdeki yapılarda doğal sismik yalıtım sistemi olarak kullanılması için sunulmuştur. Böylece, sismik yalıtım sisteminin tasarımı mümkün olduğunca daha basit ve maliyeti daha ucuz olabilir (KasıMZade vd, 2013).

3.3. Sürtünme Kuvveti Çalışmaları Geçmişi ve Klasik Coulomb Sürtünme Modeli

Vairis ve Christakis (2005) çalışmasına göre bir nesnenin makro veya nano ölçekteki bir yüzey boyunca hareketi, genel olarak sürtünme olarak adlandırılan kuvvetlerle direnç gösterir. Bu kuvvetler korunumlu değildir ve sürtünme arayüzündeki sıcaklık artışı veya gıcırıtı seslerinden anlaşılacağı üzere, hareketli nesnelerin kinetik enerjisini termal veya mekanik enerjiye dönüştürür. Bir malzemeyi kaydırmaya başlamak için gereken kuvvetin hareketi sürdürmek için gerekenden daha büyük olması ve bu nedenle statik sürtünme katsayısının dinamik sürtünme katsayısından büyük olması yaygın bir deneyimdir. Ayrıca, sürtünme kuvvetlerinin değer aralığının, makroskopik veya nanoskopik uygulamaların uzunluk ölçeklerine bağlı olarak büyüklük derecelerine göre değiştiği gözlenmiştir.

Amontons'un (1699) ampirik sürgülü sürtünme yasasında belirttiği gibi, sürtünme kuvveti normal yük ile orantılıdır veya matematiksel olarak ifade edilirse

$$\text{Sürtünme kuvveti} = \text{Sürtünme katsayısı} \times \text{Normal yük} \quad (3.7)$$

Çoğu durumda, sürtünme katsayısının kesin değeri, büyük ölçüde ölçüldüğü deneysel koşullara bağlıdır. Ek olarak, ikinci bir sürtünme yasası sürtünme kuvvetinin iki yüzey arasındaki görünür temas alanından bağımsız olduğunu belirtir. Charles Augustin de Coulomb da, üçüncü makroskopik sürtünme yasasında, sürtünme kuvvetinin kayma hızından bağımsız olduğunu belirtmiştir. Dinamik sürtünme katsayısının, normal kayma hızlarından neredeyse bağımsız olması beklenir ve arayüzde faz dönüşümleri görünmediği sürece sıcaklık değişimleri için benzer davranışlar sergilenir.

Her gerilme, sıcaklık, hız ve uzunluk ölçeği koşulunda tutmamasına rağmen, üç sürtünme kanununun hepsi de, hem makroskopik hem de mikroskopik seviyede fenomenin birleşik bir teorisinin yanı sıra fenomenin açık bir açıklamasını sağlamak için bir dizi teorik girişimi de geride bırakmıştır. Sürtünme gelişiminin kaynağını ve yöntemini mikroskopik seviyede belirleme zorluğu, zaman içinde gelişen ve karakterize edilmesi zor olan çok sayıda temasta yatmaktadır.

Amontons, Coulomb ve diğerleri tarafından yapılan ilk girişimler, sert veya elastik olarak deforme olan pürüzler arasındaki mekanik kilitlenmenin sürtünme kuvvetinden ve bunun sonucunda meydana gelen mekanik aşınma ve ısı oluşumundan sorumlu olduğunu varsaymaktadır. Bu model, aynı anda hem uzunlamasına hem de enine hareket eden iki gövde varsaymaktadır; iş, üst gövde en düşük pozisyonuna döndükten sonra normal yük ile gerçekleştirilir ve tüm potansiyel enerji geri kazanılır. Ne yazık ki, makroskopik gözlemler, soğuk kaynak için oldukça cilalı ve pürüzsüz yüzeyler gerektiğinden bu teoriye uygun olmayabilir ve mutlaka düşük sürtünme göstermez. Bu teori için ek bir problem, adsorbe edilmiş filmlerin, yüzeyin aynı pürüzlülüğünü korurken, büyüklük derecelerine göre sürtünmeyi değiştirmesidir.

1950'lerde Bowden ve Tabor (2001) tarafından pütürler ile moleküler yapışmayı bağlayan daha başarılı bir model önerilmiştir. Gerçek temas alanı, görünür temas alanından 10^4 kat daha küçüktür. Arayüzdeki normal basıncın normal yükten bağımsız olduğu varsayılarak, sürtünme katsayısı şu şekilde tahmin edilebilir:

$$\text{Sürtünme katsayısı} = \text{Kayma dayanımı} / \text{Basınç} \quad (3.8)$$

Doğru temas alanı için kesin ve doğrudan ölçüm yöntemlerinin bulunmaması nedeniyle, temas mekaniği modelleri kullanılmıştır. En bilinen model, iki yüzey arasındaki temasın iki küre ile temsil edildiği modeldir (Haile, 1997). Gerçek temas alanı n 'nin gücüyle normal yük orantılıdır; burada n , tam elastik deformasyon için (kauçuk, ahşap ve dokumada olduğu gibi) $2/3$, plastik deformasyon (cam gibi kırılğan malzemelerde olduğu gibi) için ise 1 'dir.

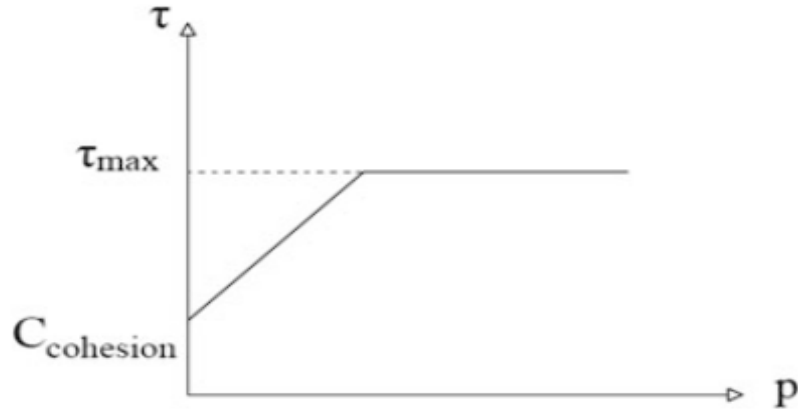
Greenwood ve Williams (1996) çalışmasında, fiziksel duruma yakın olan birden fazla pürüzlü temas için, Gaussian dağılımı ve fraktal yüzey geometrileri için de geçerli olan pürüzlü yüksekliklerin üstel yükseklik dağılımı için gerçek temas alanı ile normal yük arasında doğrusal bir ilişki olduğu saptanmıştır. Bu doğrusal ilişkinin önemi, yük arttıkça, bireysel temasların boyutunun yanı sıra temasların sayısının da artmasıdır. Bowden'in modeline uygun olan bu kavram, bir dizi malzemeye uygulanır, ancak deneysel değerlerle çelişen 0.17 ile 0.2 arasında bir sürtünme katsayısı tahmin eder. Aşınma oranları ve sürtme etkileri bu eşitsizliği açıklamak için yeterli değildir.

Tomlinson (1929) fononik veya kafes titreşim mekanizmalarının sürtünmeye katkıda bulunabileceğini ileri sürmüştür. Arayüzün yakınındaki atomlar, karşı sürtünme arayüzünün atomları tarafından harekete geçirildiğinde, fononlar sürtünme meydana getirir. Kayma için gerekli mekanik enerji, ses enerjisine ve dolayısıyla da ısıya dönüştürüldüğünde titreşimler üretilir. Fononik yaklaşım, mikro ve nano ölçekte sürtünmeyi araştırmak için yeni deneysel ve teorik teknikler mevcut olduğu için doğrulanmıştır (Singer ve Pollock, 1992). Sıklıkla statik sürtünme olmadığı ve katı-sıvı ve katı-katı arayüzlerin viskoz bir sürtünme yasası uyguladığı görülmüştür.

Coulomb sürtünme modeli, yüzeyde kaymanın temas basıncı sürtünmesi olarak başladığı andaki kayma gerilmesini (τ) tanımlar (Kaldal vd, 2013). Coulomb sürtünme modelinde iki kayma yüzeyi, kayma gerilmesinin durumuna göre yapışmış veya kaymış durumda olabilir.

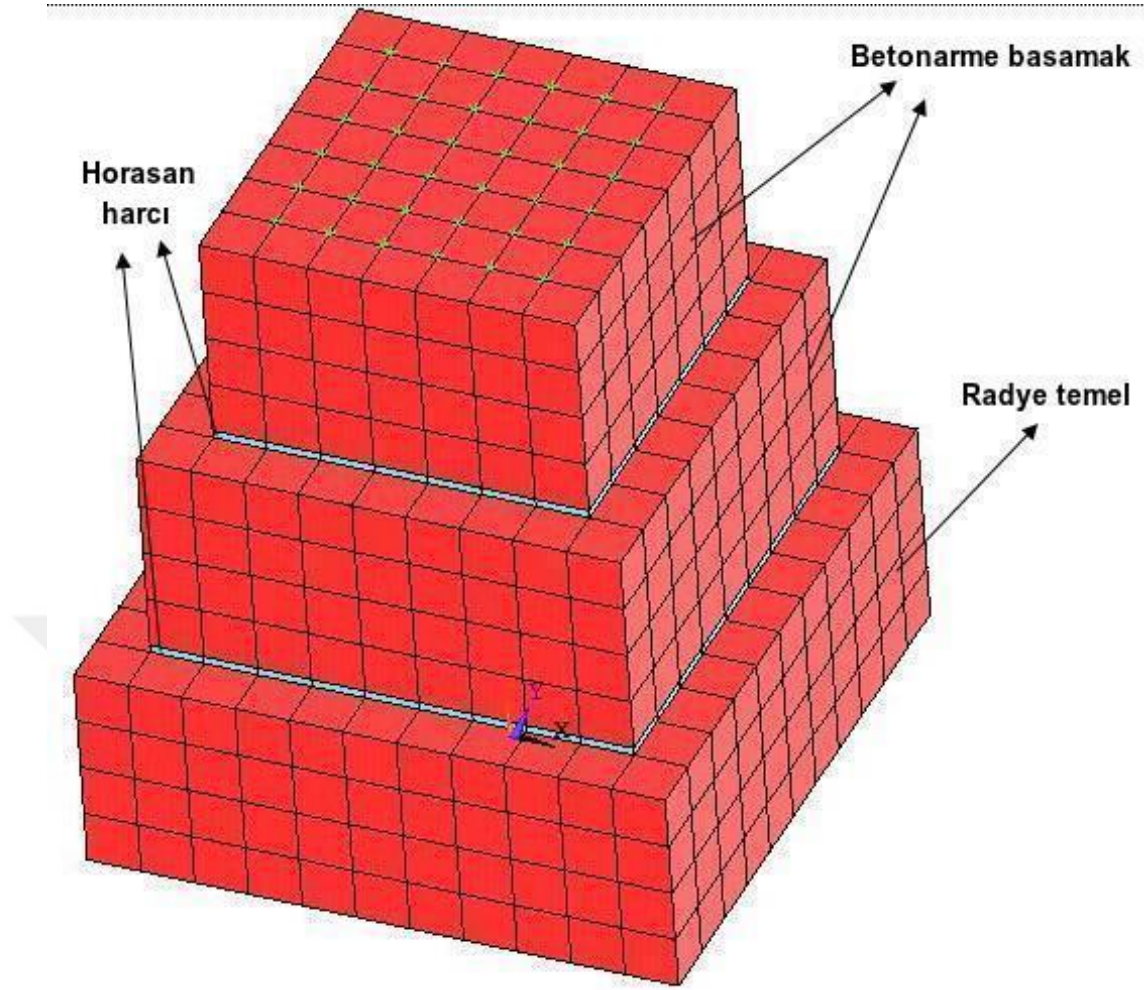
$$\tau = \mu P + C_{cohesion} \quad (3.9)$$

Burada, μ sürtünme katsayısı, $C_{cohesion}$ kohezyon kayma direnci, P temas basıncı, τ kayma gerilmesidir.



Şekil 3.7. Basınç ve kayma gerilmesi arasındaki ilişki

Klasik Coulomb sürtünme modeli kullanılarak; Kasımcı vd (2014) çalışmasında, iki betonarme basamak ve Horasan harcından ($\mu_s = 0.37$) oluşan iki sürtünme arayüzlü sismik yalıtım sistemi çalışması yapılmıştır (Şekil 3.8). Bu çalışmada, sonlu elemanlar metodu ile ANSYS ortamında, birinci betonarme basamak $0.9\text{ m} \times 0.9\text{ m} \times 0.4\text{ m}$ boyutlarında, ikinci betonarme basamak $0.7\text{ m} \times 0.7\text{ m} \times 0.4\text{ m}$ boyutlarında modellenmiştir. Her iki betonarme basamak altında 0.015 m kalınlığında Horasan harcı modellenmiştir. İkinci (üst) betonarme basamak üzerine, 5 katlı bir yapının bir kolonuna yaklaşık olarak etki eden kuvvet olan $1.65 \times 10^6\text{ N}$ etki ettirilmiştir. Hazırlanan modelde, betonarme basamakları modellemek için solid sonlu elemanlar (SOLID65), Horasan harcını modellemek için solid sonlu elemanlar (SOLID45), betonarme basamak ile Horasan harcı arasındaki kayma arayüzünü modellemek için ise kontak sonlu elemanlar (CONTACT174 ve TARGE170) kullanılmıştır. Hazırlanan modelin Düzce depremi (Pasific Earthquake Engineering Research Center, 2011) etkisinde analizi yapılmıştır. Analiz sonuçlarında, üst (ikinci) betonarme basamakta meydana gelen ortalama $0.05\text{ m} - 0.07\text{ m}$ yerdeğiştirme ile birlikte ivmelerde ortalama % 61 - % 79 aralığında azalma meydana geldiği görülmüştür.



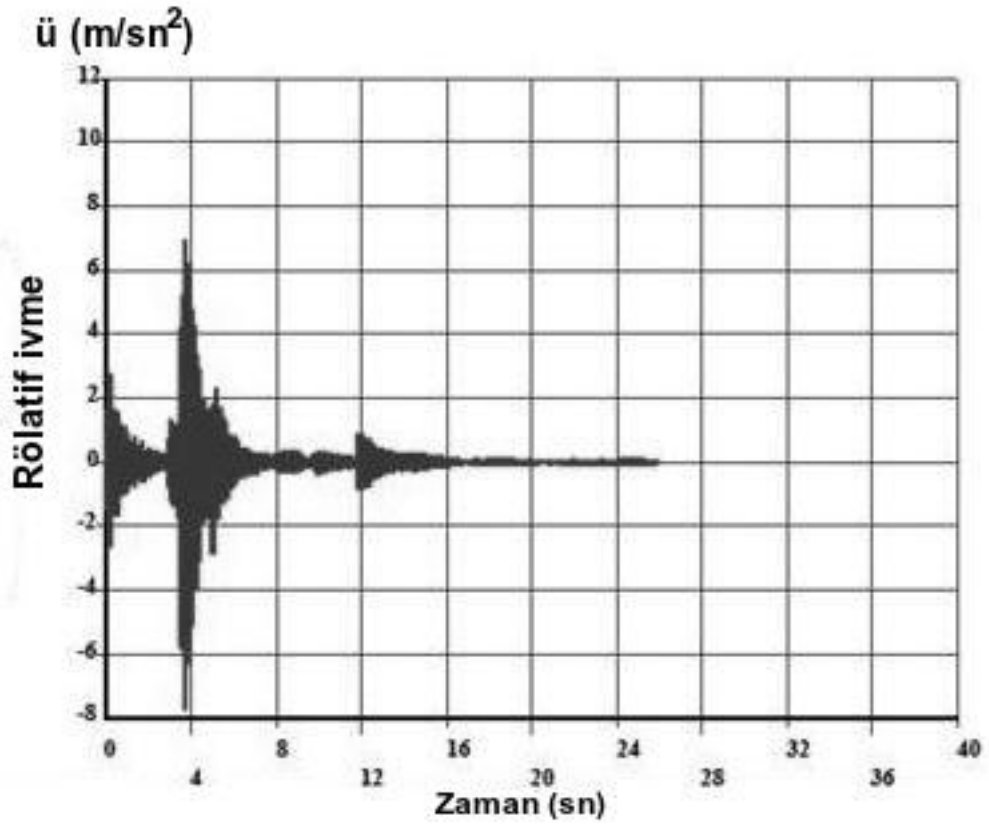
Şekil 3.8. İki betonarme basamak ve Horasan harcından oluşan iki sürtünme arayüzlü doğal sismik yalıtım sistemi

Klasik Coulomb sürtünme modeli kullanılarak yapılan diğer bir çalışma ise Şekil 3.6'da gösterilen tek sürtünme arayüzünden oluşan ahşap-taş ($\mu_s = 0.38$) sismik yalıtım sistemi çalışmasıdır. Bu çalışmada, taş üzerinde $0.4 \text{ m} \times 0.4 \text{ m}$ kesitlerinde ahşap kayma arayüzlü ahşap kolon sonlu elemanlar metodu ile ANSYS ortamında modellenmiştir. Ahşap kolon üzerine, Japon geleneksel yapıları için rapor edilen (Itagaki, 1998; Ohmori, 1998; Mukai ve Tanaka, 2012; Mukai vd, 2012; Masatsugu vd, 2013) ve bir kolon üzerine gelen yaklaşık kuvvet olan 71 kN uygulanmıştır. Hazırlanan modelde, ahşap kolon ve taş temeli modellemek için solid sonlu elemanlar (SOLID92), ahşap kolon ile taş temel arasındaki ahşap kayma arayüzünü modellemek için ise kontak sonlu elemanlar (CONTACT174 ve TARGE170) kullanılmıştır. Modelde, 4305 düğüm ve 4662 sonlu eleman bulunmaktadır (Kasımzade vd, baskıda-a). Hazırlanan modele, Düzce depremi (Pasific Earthquake Engineering Research Center, 2011) etki ettirilmiş olup, analiz

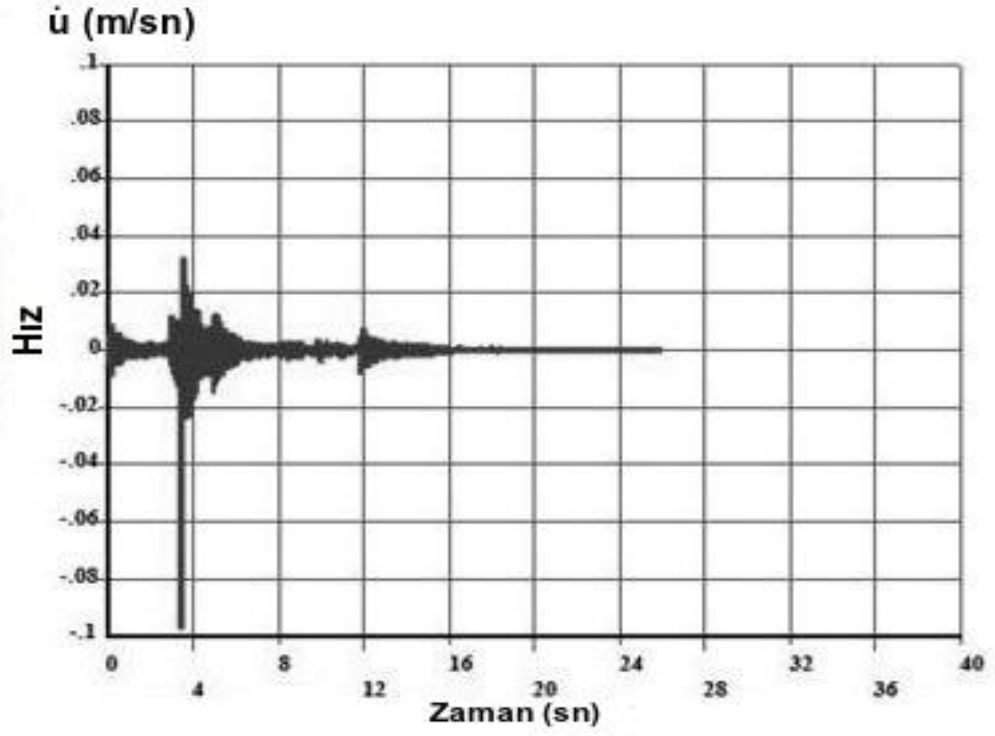
sonuçları aşağıda sunulmuştur (Çizelge 3.2, Şekil 3.9, Şekil 3.10, Şekil 3.11, Şekil 3.12)

Çizelge 3.2. Ahşap - taş doğal sismik yalıtım sistemi sayısal modeli analiz sonuçları

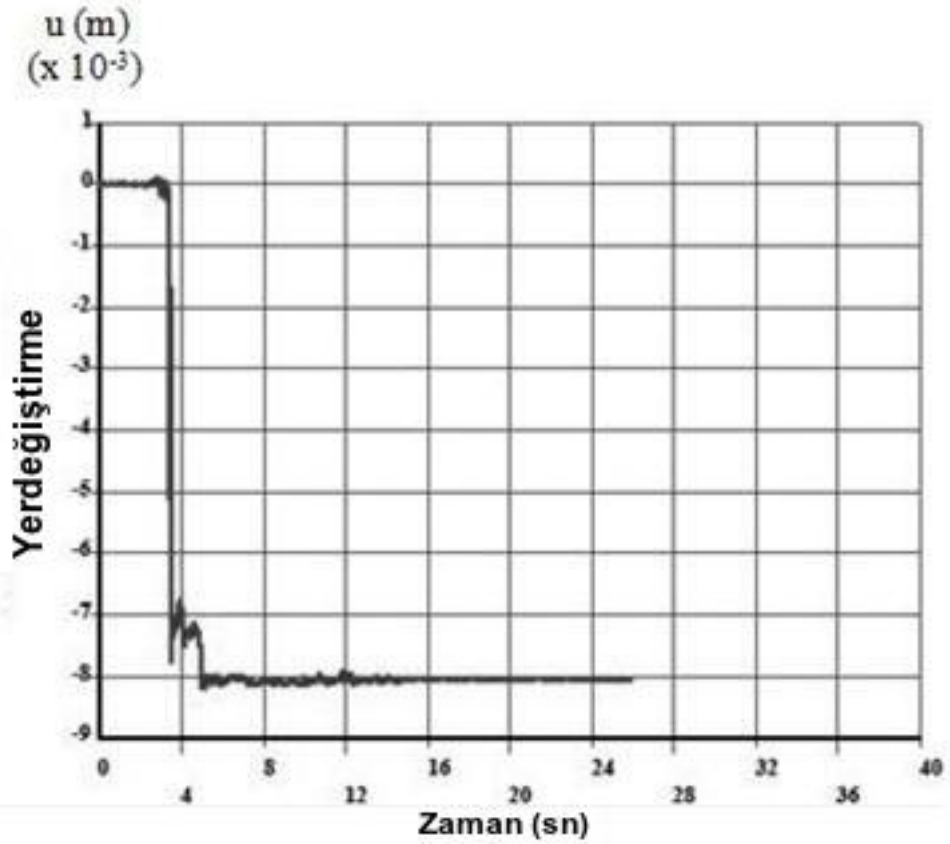
Analiz Tipi	Etki ettirilen en büyük ivme değeri (m/sn^2)	Deprem etki süresi (sn)	Ahşap kolon ayağında en büyük ivme değeri (m/sn^2)	Ahşap kolon ayağında ortalama yerdeğiştirme (mm)	İvme azalması (%)
Sayısal analiz	5.2315	25.88	2.1	4.2	60



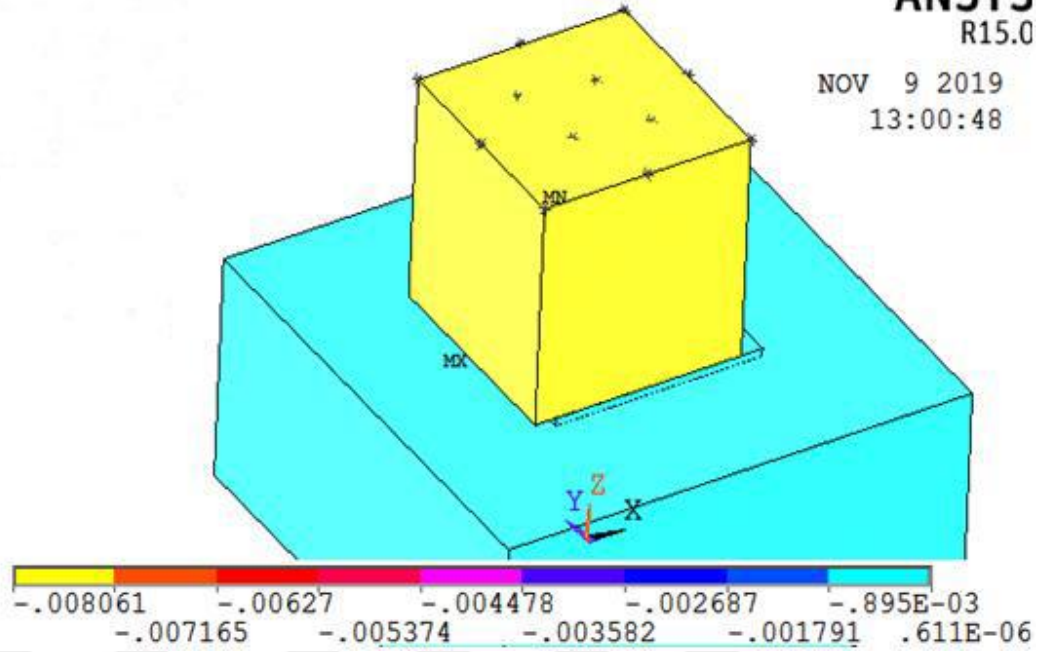
Şekil 3.9. Tek sürtünme arayüzlü DSYS modeli için ahşap kolona ait rölatif ivme - zaman grafiği



Şekil 3.10. Tek sürtünme arayüzlü DSYS modeli için ahşap kolona ait hız - zaman grafiği



Şekil 3.11. Tek sürtünme arayüzlü DSYS modeli için ahşap kolona ait yerdeğiştirme - zaman grafiği



Şekil 3.12. Tek sürtünme arayüzlü DSYS modeli için ahşap kolona ait X doğrultusunda yerdeğiştirme

3.4. Geliştirilmiş Coulomb Sürtünme Modeli

Kayma gerilmesinin ortaya çıkmasıyla iki arayüz birbirine oranla kayar. Bu durum kayma olarak bilinir. Günümüzdeki sonlu elemanlar metodu modellerinde, klasik Coulomb sürtünme modelinin hıza veya ivmeye bağlı olarak geliştirilmiş şekilleri kullanılmaktadır.

$$\mu = \begin{cases} \mu^* & \text{ise } v \leq -v_{\text{lim}}, v > v_{\text{lim}} \\ \frac{|v|}{v_{\text{lim}}} \mu^* & \text{ise } -v_{\text{lim}} < v \leq v_{\text{lim}} \end{cases} \quad (3.10)$$

Burada v_{lim} limit hız, v kayma hızıdır.

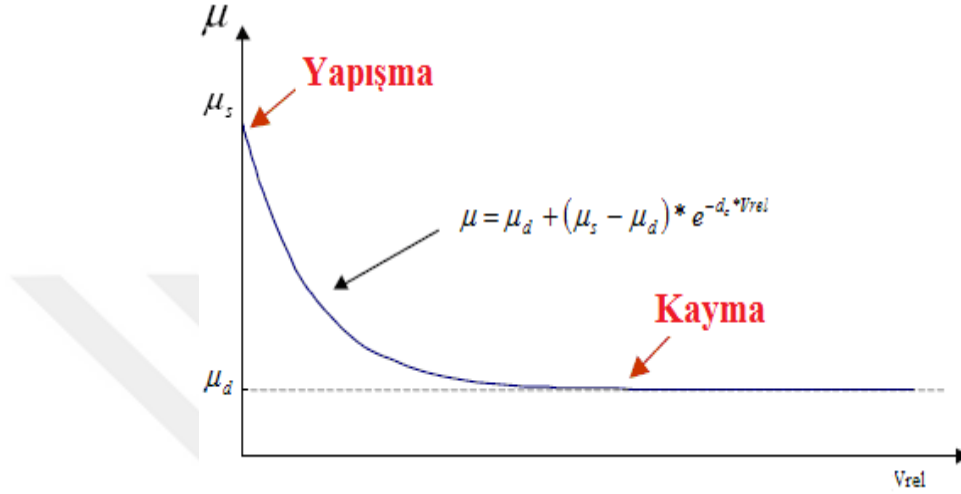
Hıza bağlı olarak sürtünme katsayısı aşağıdaki şekilde ifade edilir (Kato vd, 1974; Constantinou vd, 1990) (Şekil 3.13):

$$\mu^* = \mu_d + (\mu_s - \mu_d) e^{-d|v|} \quad (3.11)$$

veya

$$\mu^* = \mu_d + (\mu_s - \mu_d)e^{-d_c V_{rel}} \quad (3.12)$$

Burada, d hız bağımlılığı parametresi, d_c üstel sönüm katsayısı, v kayma hızı, V_{rel} rölatif hız, μ_d , μ_s sırasıyla dinamik (minimum) ve statik (maksimum) sürtünme katsayılarıdır (Symans vd, 2000; Enokida ve Nagae, 2018).



Şekil 3.13. Sürtünme durumu

İvmeye bağlı olarak μ^* sürtünme katsayısı aşağıdaki gibi bulunur.

$$\mu^* = [\sqrt{(\ddot{u}_x + \ddot{u}_{gx})^2 + (\ddot{u}_y + \ddot{u}_{gy})^2}] / (g + \ddot{u}_{gz}) \quad (3.13)$$

Burada, g yerçekimi ivmesi, \ddot{u}_x , \ddot{u}_y sistemin x ve y doğrultusundaki rölatif tepki ivmeleridir. \ddot{u}_{gx} , \ddot{u}_{gy} , \ddot{u}_{gz} x, y ve z doğrultularında başlangıç yer ivmeleridir.

Eğer elimizde bir nokta için (μ_1, V_{rel1}) belli ise üstel sönüm katsayısı aşağıdaki gibi belirlenebilir.

$$d_c = -\frac{1}{V_{rel1}} \ln \left(\frac{\mu_1 - \mu_d}{\mu_s - \mu_d} \right) \quad (3.14)$$

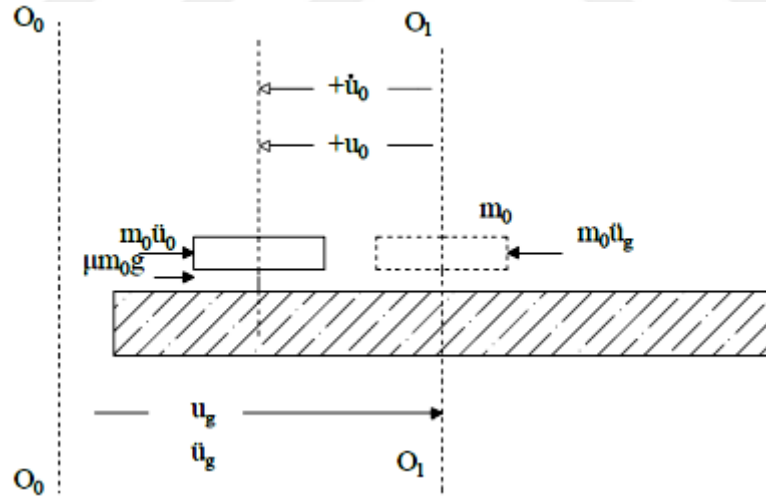
d_c üstel sönüm katsayısının sıfır olduğu durumda $\mu = \mu_s$ olur. Sürtünme katsayısı yüzeylerin rölatif hızına bağlıdır.

3.5. Geliştirilmiş Coulomb Sürtünme Modeli Parametrelerinin Belirlenmesi (Newton Yavaşlama Yöntemi - Newton Slowdown Method)

3.4 bölümünde sunulduğu gibi, geliştirilmiş Coulomb sürtünme modelindeki statik sürtünme katsayısı, dinamik sürtünme katsayısı ve üstel sönüm katsayısı parametrelerinin, bu modelin uygulanabilir olması için önceden ilgili deneylerden belirlenmesi gerekmektedir.

Bu bölümde, adı geçen parametrelerin Newton yavaşlama yöntemi (Newton Slowdown Method) ile elde edilmesi düzeni sunulmuştur.

Yapının alt kısmının (veya sarsma masasının) (Şekil 3.14) ilk konumundan $(O_0 - O_0)O_1 - O_1$ konumuna u_g metre kadar hareket etmesi ve aynı doğrultuda \ddot{u}_g ivmesi ve m_0 üstyapı kütlesi ile $m\ddot{u}_g$ kuvveti altında kalması varsayımıyla, u metre kayma rölatif yerdeğiştirmesi meydana gelmesi ile $O_1 - O_1$ konumuna gelir ve üstyapı \ddot{u} ivmesini, \dot{u} hızını alır. Kuvvetlerin yapının pozitif yöndeki hareketi doğrultusunda gösterilmesiyle hareket denklemi (3.15) ve (3.16) no'lu denklemler ile ifade edilir.



Şekil 3.14. Sarsma masası üzerindeki deneysel ekipmanlar

$$\sum F_{+u} = 0; m_0\ddot{u}_g - m_0\ddot{u}_0 - \mu g m_0 = 0 \quad (3.15)$$

$$\ddot{u}_0 + g\mu(+\dot{u}_0) = \ddot{u}_g \quad (3.16)$$

Üstyapının hareket denklemi üstyapının pozitif hızı için geçerlidir. Her iki yönde genelleştirildiğinde (3.17) no'lu hareket denklemi elde edilir.

$$\ddot{u}_0 + g\mu \operatorname{sgn}(\dot{u}_0) = \ddot{u}_g \quad (3.17)$$

Burada, u_0 , \dot{u}_0 , \ddot{u}_0 yapının alt kısmına göre üstyapının rölatif yerdeğiştirmesi, rölatif hızı ve rölatif ivmesidir. ($\ddot{u}_0 - \ddot{u}_g$) üstyapının mutlak ivmesidir.

Sarsma masası uygulama sürecindeki herhangi bir t_i anında gözlenen $u_{,0}(t_i) = u_{,0i}$ tepkisi deneysel olarak ifade edilecektir.

Kabul edilen hedef fonksiyonu (3.18) no'lu denklemde gösterilmiştir.

$$F_t = \sum (u_{,0i} - u_{,0i})^2 \quad (3.18)$$

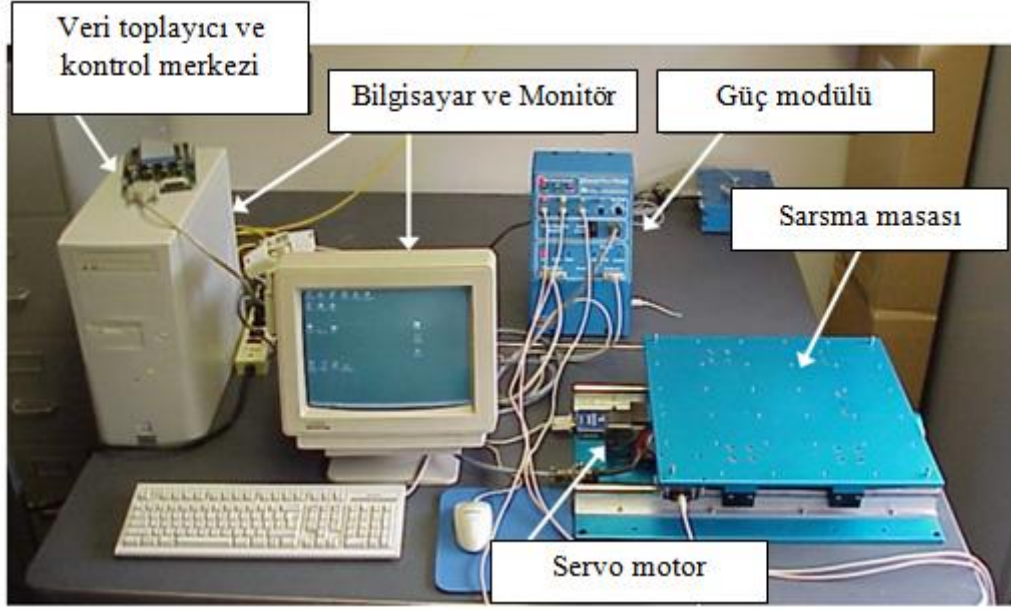
Burada, $u_{,0i}$ her bir t_i zamanı için deneyden belirlenmektedir. Hedef fonksiyonunun 0'a eşit olması şartından μ_s , μ_d ve d_c katsayıları elde edilir.

Horasan harcı için hedef fonksiyonunun minimize edilmesiyle (Newton yavaşlama yöntemi - Newton Slowdown Method) $\mu_s = 0.37$, $\mu_d = 0.26$, $d_c = 11$ elde edilir (Kasımzade vd, 2019b). Deney bilgileri Ölçeklendirilmiş Model başlığında sunulmuştur.

3.6. Ölçeklendirilmiş Model

Deprem simülatör masaları veya sarsma masaları, deprem mühendisliğinde deneysel araştırmalarda geleneksel olarak kullanılmaktadır. Bu araçlar deprem sırasında zeminin hareketini yeniden oluşturabilir ve depremlere maruz kalan yapıların kontrollü test edilmesini sağlar.

Yapının sarsma masası platformuna (temel) sıkı bir şekilde tutturulduğu geleneksel bir konfigürasyonda ve yapının üzerinde desteklendiği alternatif bir konfigürasyonda test edilir. Bu sarsma masasında iki farklı yalıtım sistemi test edilebilmekte olup, bunlar kayan yalıtımlar ve elastomerik yalıtımlardır. Tezgâh üstü sarsma masası, bir elektrikli servo motor tarafından tahrik edilen bir 46 cm x 46 cm kayar platformdan oluşur (Şekil 3.15). Servo motor, güç modülüne (güç kaynağı) yerleştirilmiş bir amplifikatör tarafından tahrik edilir (Purdue University, 2019).



Şekil 3.15. Sarsma masası ve bileşenleri

Sarsma masasının çalışması, WinCon, Visual C ++, MATLAB, SIMULINK ve Real-Time Workshop yazılımlarının kullanımı içermektedir. WinCon, Quanser (Quanser, 2019) tarafından, Visual C ++, Microsoft (Microsoft, 2019) tarafından ve MATLAB, SIMULINK ve Real-Time Workshop yazılımları ise MathWorks (MathWorks, 2019) tarafından üretilmiştir. WinCon, gerçek zamanlı geri bildirim kontrolü ve dijital sinyal işleme için kullanılmakta olup, SIMULINK blok şemasını gerçek zamanlı workshop kullanarak denetleyici koduna dönüştürür, Visual C++ kullanarak denetleyici kodunu derler ve denetleyici kodunu gerçek zamanlı olarak çalıştırır. Denetleyici kodu, aynı anda çeşitli tepkileri kaydederken ve dijital sinyal işlemeyi gerçekleştirirken sarsma masasının hareketini kontrol etmek için kullanılır.

Sarsma masasının özellikleri Çizelge 3.3'de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. Sarsma masasının özellikleri

Özellik	Açıklama
Boyutlar	61 cm x 46 cm x 13 cm
Kütle	26.5 kg
Taşıma kapasite alanı	46 cm x 46 cm
2.5 g için maksimum taşıma kapasitesi	7.5 kg
Maksimum yerdeğiştirme	± 7.5 cm
Operasyonel bant genişliği	10 Hz
Maksimum hız	66.5 cm/sn
Maksimum ivme	2.5 g

Çizelge 3.3. (devam)

Servo motor gücü	400 W
Amplifikatör maksimum sürekli akım	12.5 A
Motor maksimum tork	7.82 Nm
İvmeölçer aralığı	$\pm 49 m/sn^2$

Araştırmacılara göre prototip ve modelin tepkilerini hesaplamak için kullanılan deprem büyüklüğü, model ve prototip ivmelerini eşit olacak şekilde tanımlayan dinamik benzerlik yasası tarafından önerildiği gibi benzer olmalıdır (Wolowicz vd, 1979; Shonkwiler ve Miller, 2008a; Shonkwiler ve Miller, 2008b; Stavridis vd, 2010; Ziemian vd, 2010; Mota, 2011; Das vd, 2012; Moss ve Noche, 2012; Tabatabaieifar vd, 2014). Yani, ivme ölçeklendirme oranı 1 olmalıdır. Bununla birlikte, deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi için, orijinal kayıtların zaman adımlarının seçilen ölçek faktörü ile azaltılması gerekmektedir.

Ölçeklendirilmiş 4 katlı ve hastane tipli yapı bilgileri Çizelge 3.4'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.4. Ölçeklendirilmiş yapı bilgileri

Özellik	Açıklama
Boyutlar	38.525 m x 38.525 m x 16.84 m
Hacim	24993.518 m ³
Kütle	5.3474e6 kg

Dinamik benzerlik yasalarının geometrik ölçeklendirilmesine ve Çizelge 3.4'de gösterilen ölçeklendirilmiş yapı bilgilerine dayanarak ölçek faktörünün bulunması Çizelge 3.5'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Ölçek faktörünün bulunması

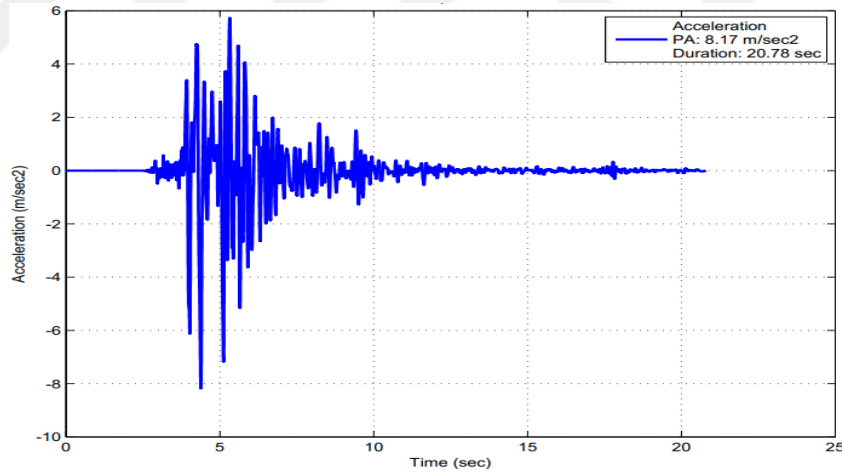
Ölçek	X (m)	Y (m)	Z (m)	Hacim (m ³)
1:1	38.525	38.525	16.84	24993.518
1:10	3.8525	3.8525	1.684	24.994
1:20	1.926	1.926	0.842	3.123
1:30	1.284	1.284	0.561	0.925
1:40	0.963	0.963	0.421	0.390
1:50	0.771	0.771	0.337	0.200
1:60	0.642	0.642	0.281	0.116
1:70	0.550	0.550	0.241	0.073

Çizelge 3.5 (devam)

1:80	0.482	0.482	0.211	0.049
1:90	0.428	0.428	0.187	0.034
1:100	0.385	0.385	0.168	0.025
1:150	0.257	0.257	0.112	0.007
1:213	0.181	0.181	0.079	0.002

1:213 ölçekli durumda ölçeklenmiş üstyapı modelinin ağırlığı, $0.181m \times 0.181m \times 0.079m \times 2400kg/m^3 = 6.21kg$ olarak tahminen hesaplanır. Sarsma masasının maksimum taşıma kapasitesinin $7.5 kg$ olması nedeniyle, 1:213 ölçekli modelin seçilmesi sarsma masasının taşıma kapasitesi açısından uygun olmaktadır.

Düzce ve Kobe depremlerinin sarsma masası ile uyum sağlaması için ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Düzce ve Kobe depremlerinin benzer özellikte olması nedeniyle, Kobe depreminin (Pasific Earthquake Engineering Research Center, 2018) ölçeklenerek büyük bileşen olan x doğrultusundaki bileşeninin kullanılması tercih edilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Ölçeklendirilmiş Kobe depremi ivme - zaman grafiği

Ölçeklendirilmiş model hazırlanırken, Çizelge 3.5'de belirtilen boyutların imalatının daha rahat olarak gerçekleştirilebilmesi amacıyla üstyapı ölçekli modelinin boyutları $X = 0.18 m$, $Y = 0.18 m$ ve $Z = 0.08 m$ olarak düzenlenmiştir. Bu durumda üstyapı ölçekli modelinin tahmini ağırlığı $0.18m \times 0.18m \times 0.08m \times 2400kg/m^3 = 6.221kg$ olarak tahmin edilmiş ve imalat aşamasına geçilmiştir (Şekil 3.17, Şekil 3.18).



Şekil 3.17. Hazırlanan ölçeklendirilmiş üstyapı modeli



Şekil 3.18. Hazırlanan ölçeklendirilmiş üstyapı modeli

Hazırlanan örnek bir ölçeklenmiş üstyapı modelinin ağırlığı 6.2816 kg olarak ölçülmüş olup, tahmin edilen ağırlığa yakın ağırlıklarda imalatlar yapılmıştır.

Üstyapı modelinin hazırlanmasından sonra, Şekil 3.19'da belirtilen Horasan harcı bileşenlerinden $X = 0.01\text{ m}$, $Y = 0.01\text{ m}$ ve $Z = 0.01\text{ m}$ boyutlarında Horasan harcı imalatı yapılmış ve modele yerleştirilmiştir (Şekil 3.19, Şekil 3.20).

Horasan harcının elde edilmesi için KasıMZade vd (2019c) çalışmasında Horasan harcı bileşenleri (bir kg için) Çizelge 3.6'da ifade edilmiştir:

Çizelge 3.6. Horasan harcının bileşenleri (Kasımzade vd, 2019c)

Bileşen Adı	Numune başına ağırlık (gr)
Tuğla Kırığı	426.5
Tras	111.1
Dere Kumu	258.2
Hidrolik Kireç	56.1
Su	140
Toplam	991.9



Şekil 3.19. Horasan harcı bileşenleri

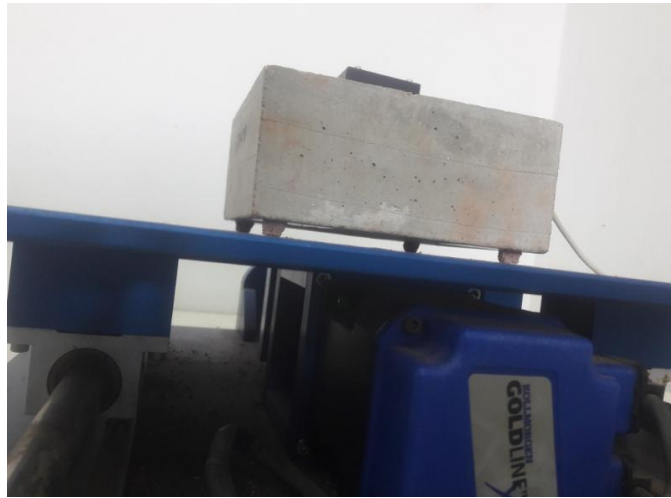


Şekil 3.20. Horasan harcı numuneleri

Horasan harcı numuneleri ve üstyapı modeli hazırlandıktan sonra, Horasan harcı, beton kütle üzerine yapıştırılıp 24 saat boyunca bekletilmiştir.

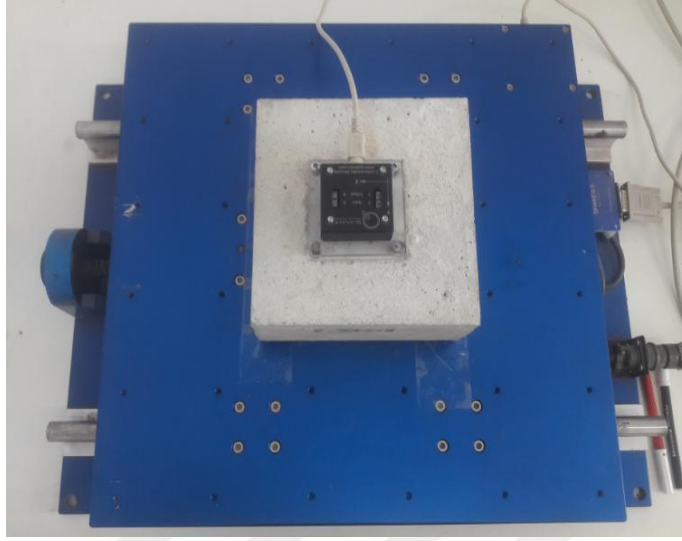
24 saatlik bekleme sürecinde, Purdue University (2019) çalışmasında bahsedilen sarsma masası parçalarına dair kontroller ve gerekli kalibrasyonlar yapılmıştır.

24 saat bekleme süresi sonunda Horasan harcı ve beton kütle çift taraflı bant yardımıyla sarsma masasına yapıştırılmıştır (Şekil 3.21).



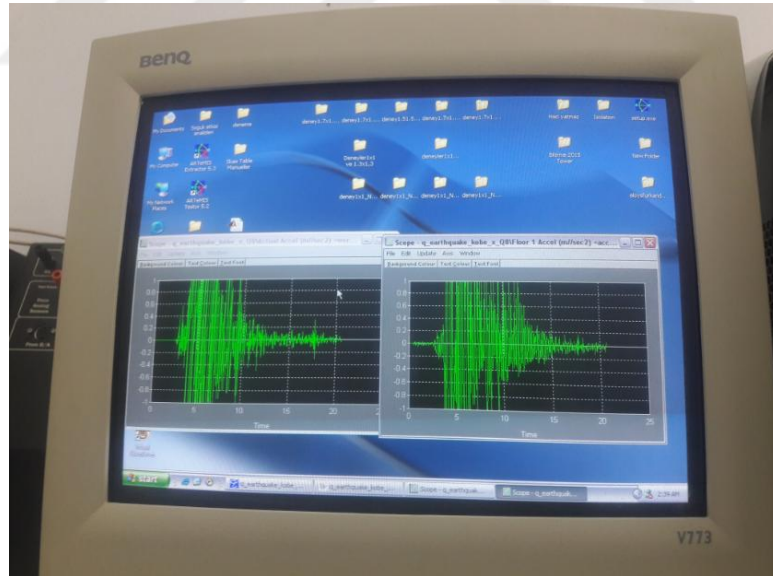
Şekil 3.21. Sarsma masasına yapıştırılan Horasan harcı ve beton kütle

Devamında ivmeölçerin beton kütle üzerine vidalar yardımı ile yerleştirilmesi işlemi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Beton kütle üzerine yerleştirilmiş ivmeölçer

Bu aşamadan sonra, Kobe depremi hazırlanan modele etki ettirilmiş olup, WinCon yazılımı ile elde edilen anlık sinyaller gözlenmeye başlanmıştır (Şekil 3.23).



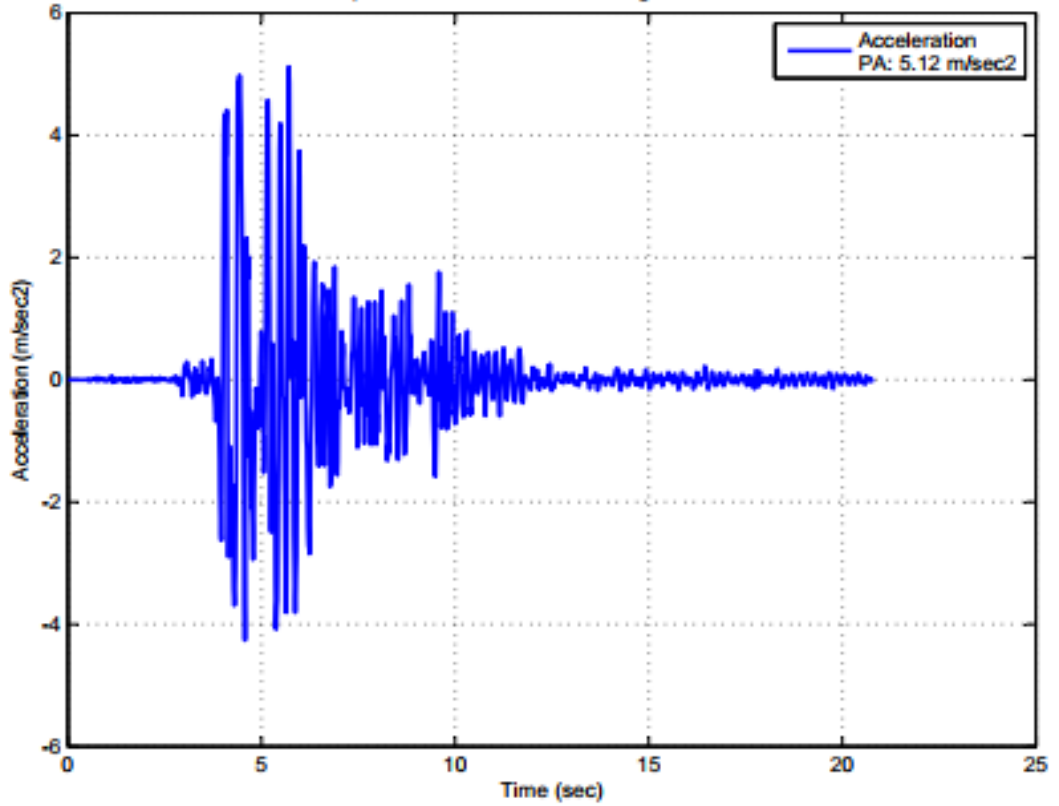
Şekil 3.23. Elde edilen anlık sinyaller

Hazırlanmış olan akış şemasına uygun olarak sarsma masasında (Şekil 3.24) toplam 20 adet numune için 20 adet sarsma masası deneyi gerçekleştirilmiştir. Her bir deney için deney sonuçları ayrı ayrı kaydedilmiş olup, deney sonuçları aşağıda sunulmuştur (Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29, Şekil 3.30, Şekil 3.31, Şekil 3.32, Şekil 3.33, Şekil 3.34, Şekil 3.35, Şekil 3.36, Şekil 3.37, Şekil

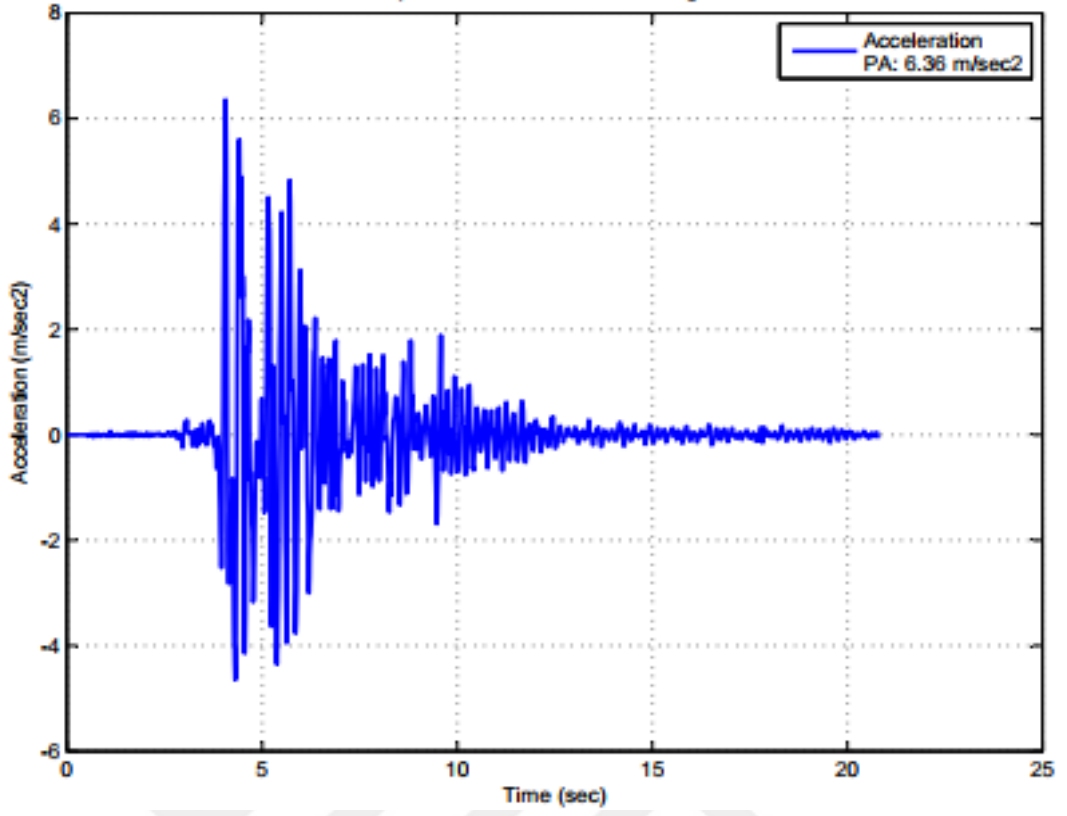
3.38, Şekil 3.39, Şekil 3.40, Şekil 3.41, Şekil 3.42, Şekil 3.43, Şekil 3.44, Şekil 3.45, Şekil 3.46, Şekil 3.47, Şekil 3.48, Şekil 3.49, Şekil 3.50, Şekil 3.51, Şekil 3.52, Şekil 3.53, Şekil 3.54, Şekil 3.55, Şekil 3.56, Şekil 3.57, Şekil 3.58, Şekil 3.59, Şekil 3.60, Şekil 3.61, Şekil 3.62, Şekil 3.63, Şekil 3.64, Şekil 3.65, Şekil 3.66, Şekil 3.67, Çizelge 3.7).



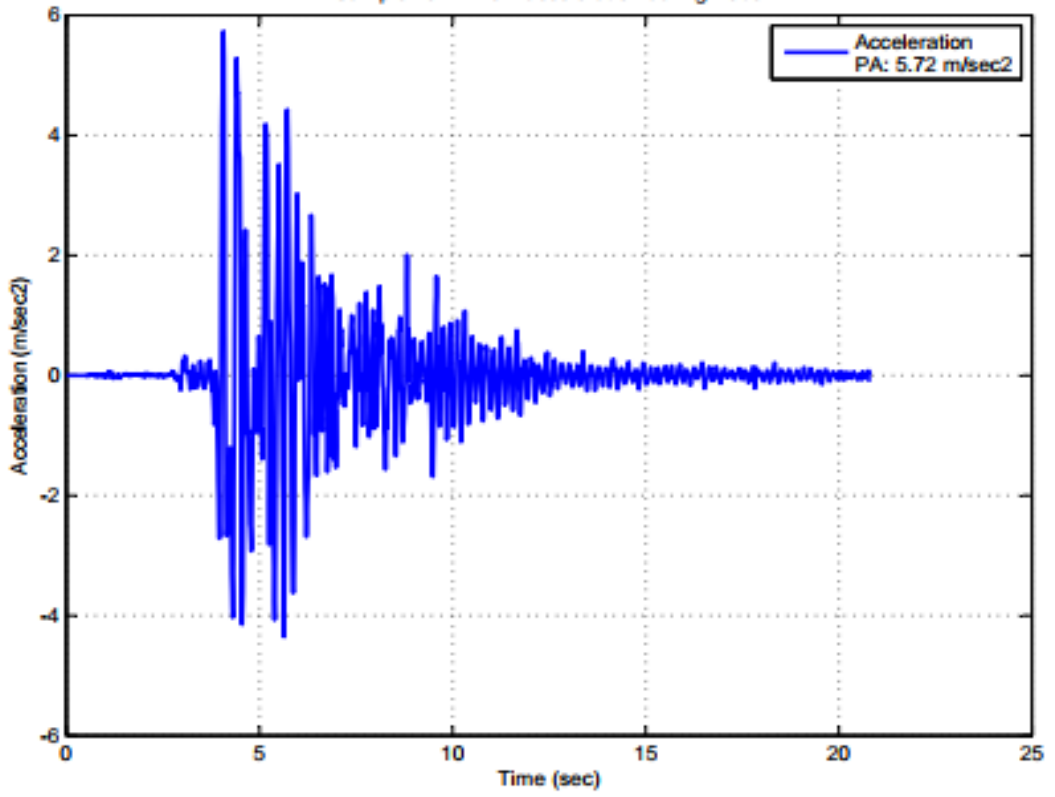
Şekil 3.24. Sarsma masası ve bileşenleri



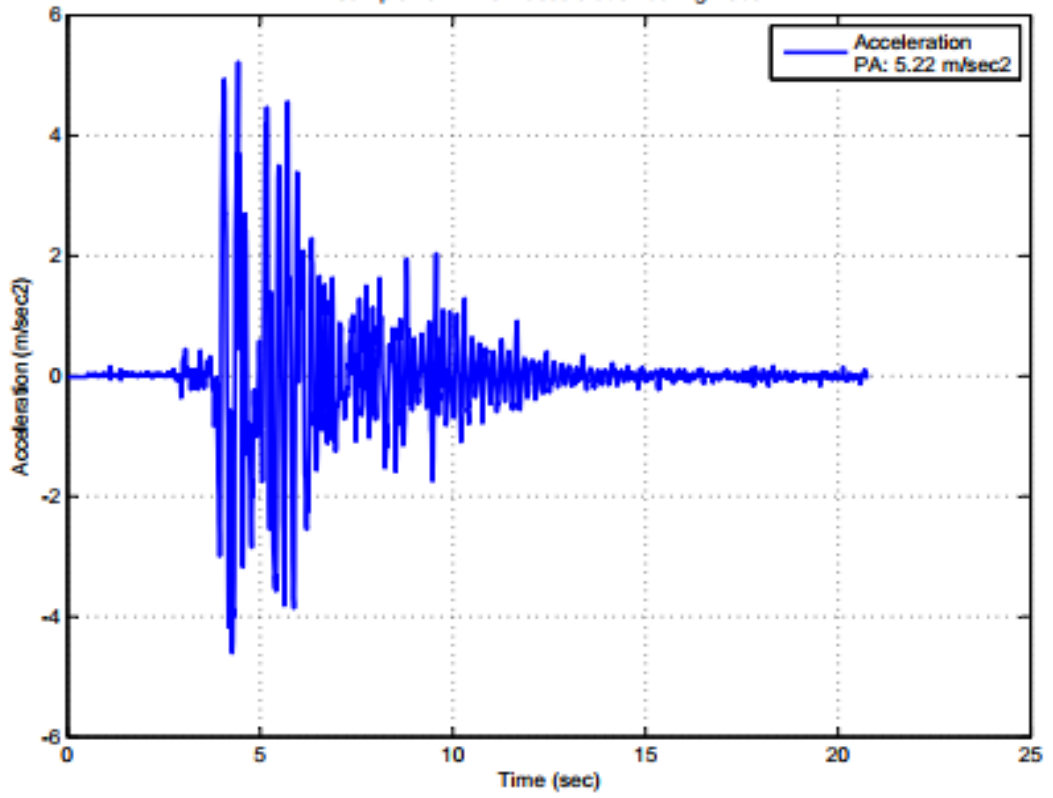
Şekil 3.25. 1 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



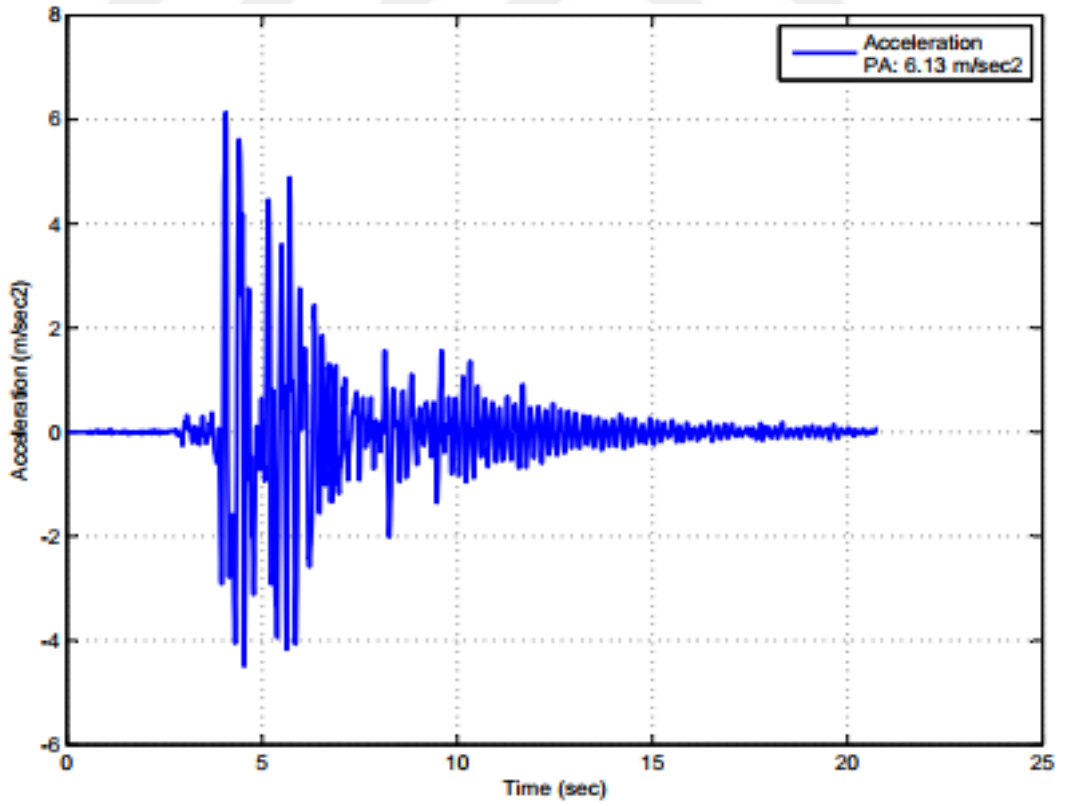
Şekil 3.26. 2 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



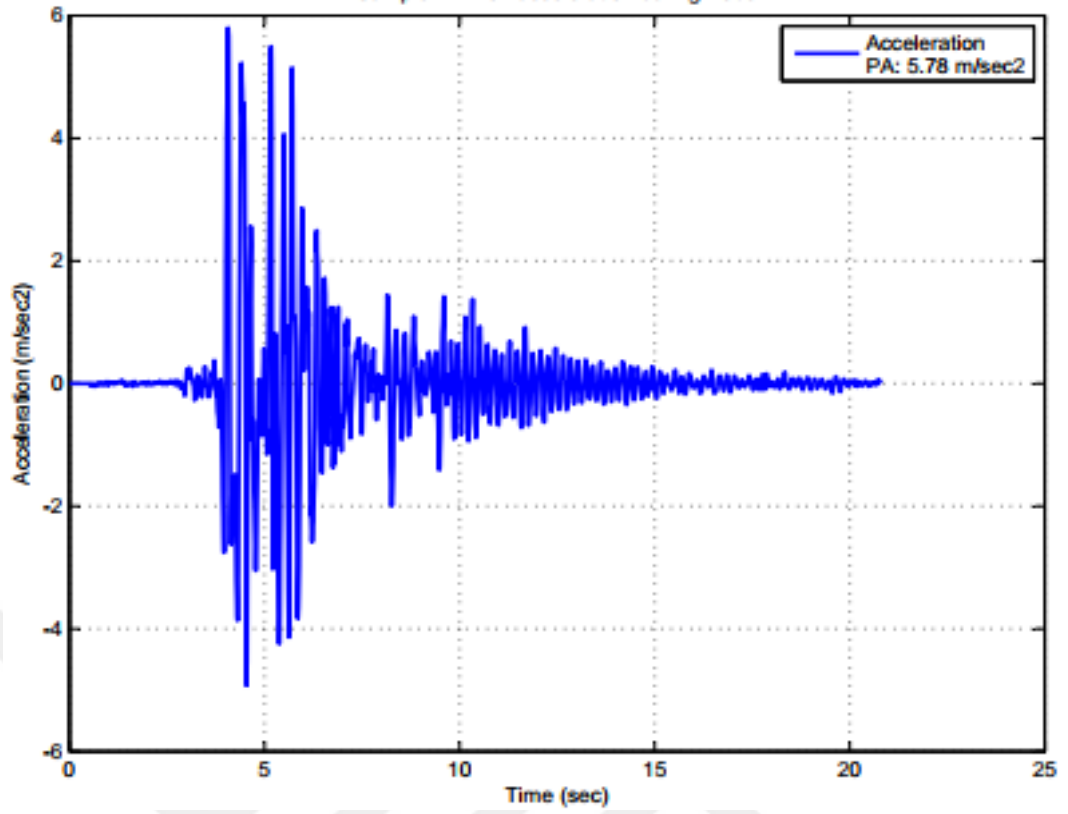
Şekil 3.27. 3 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



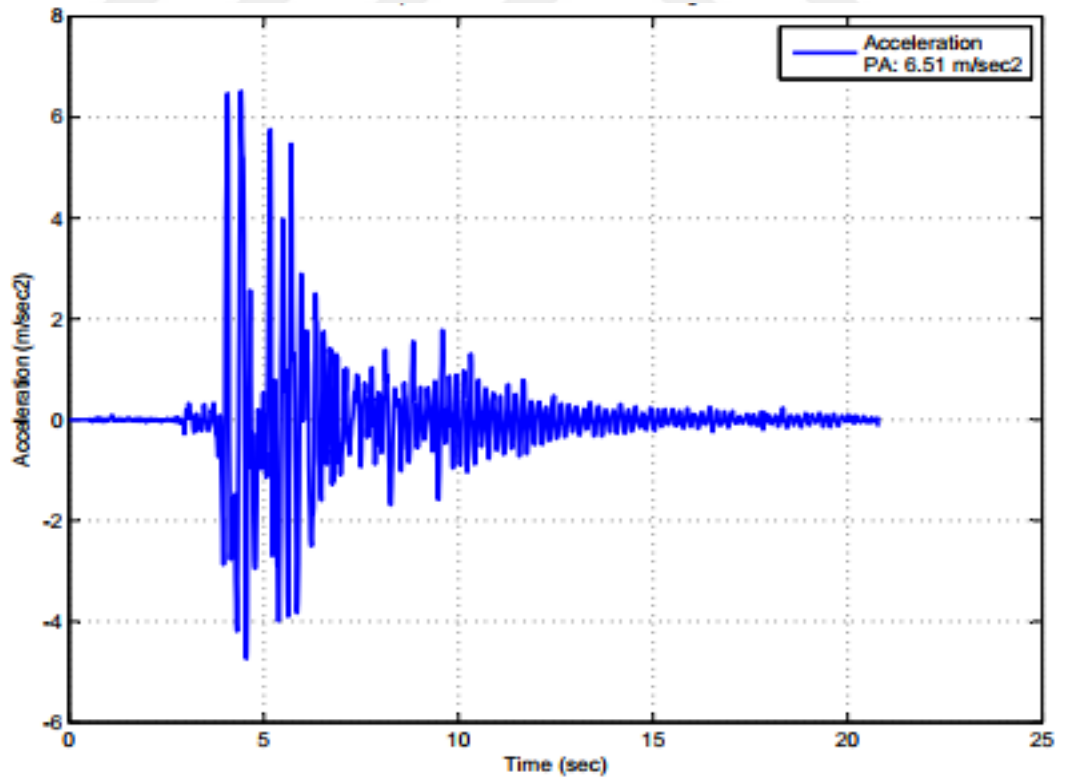
Şekil 3.28. 4 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



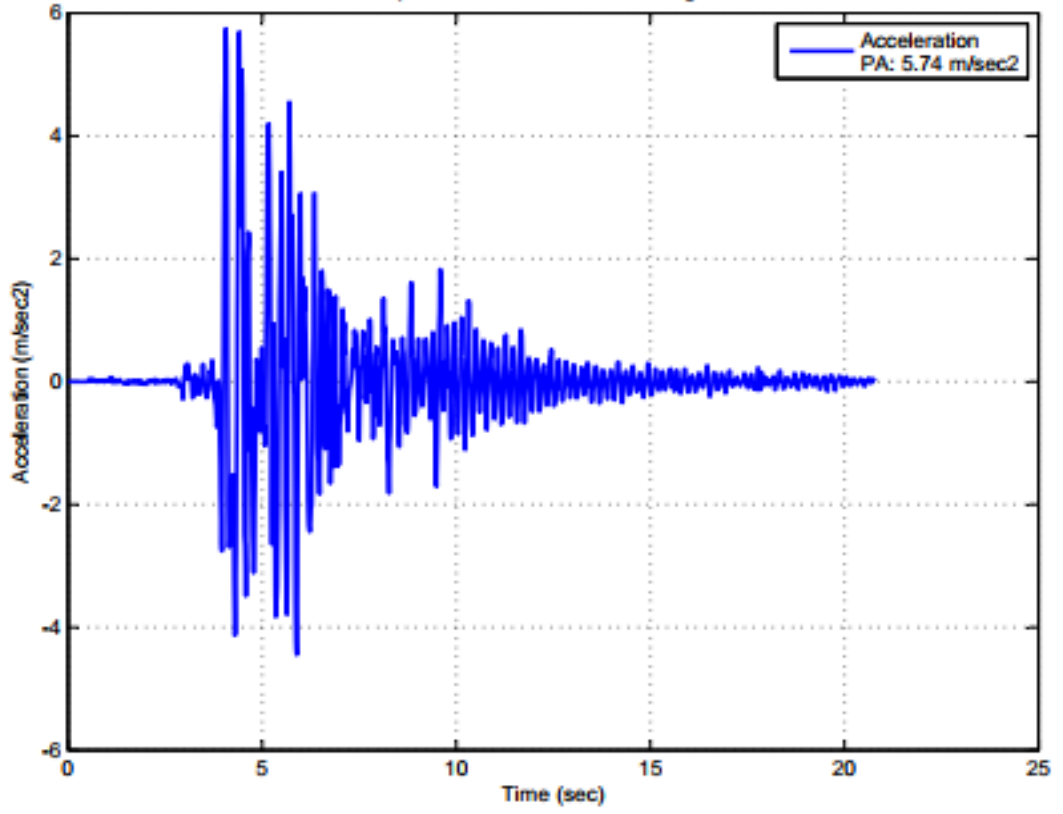
Şekil 3.29. 5 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



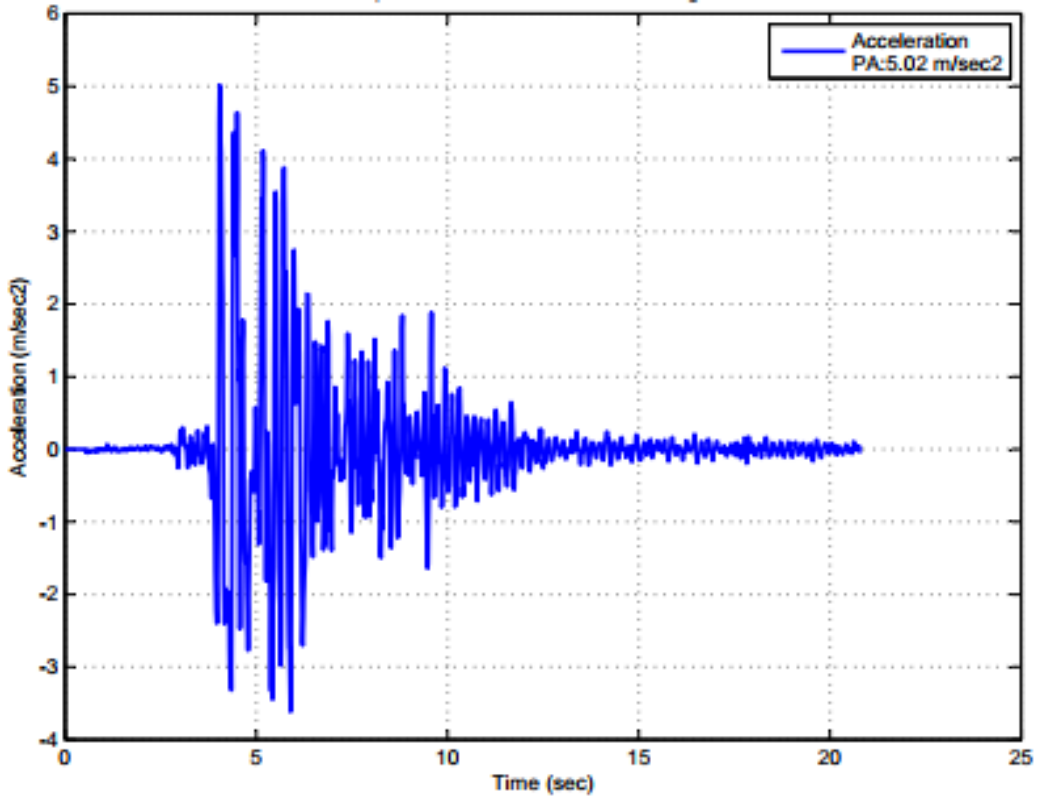
Şekil 3.30. 6 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



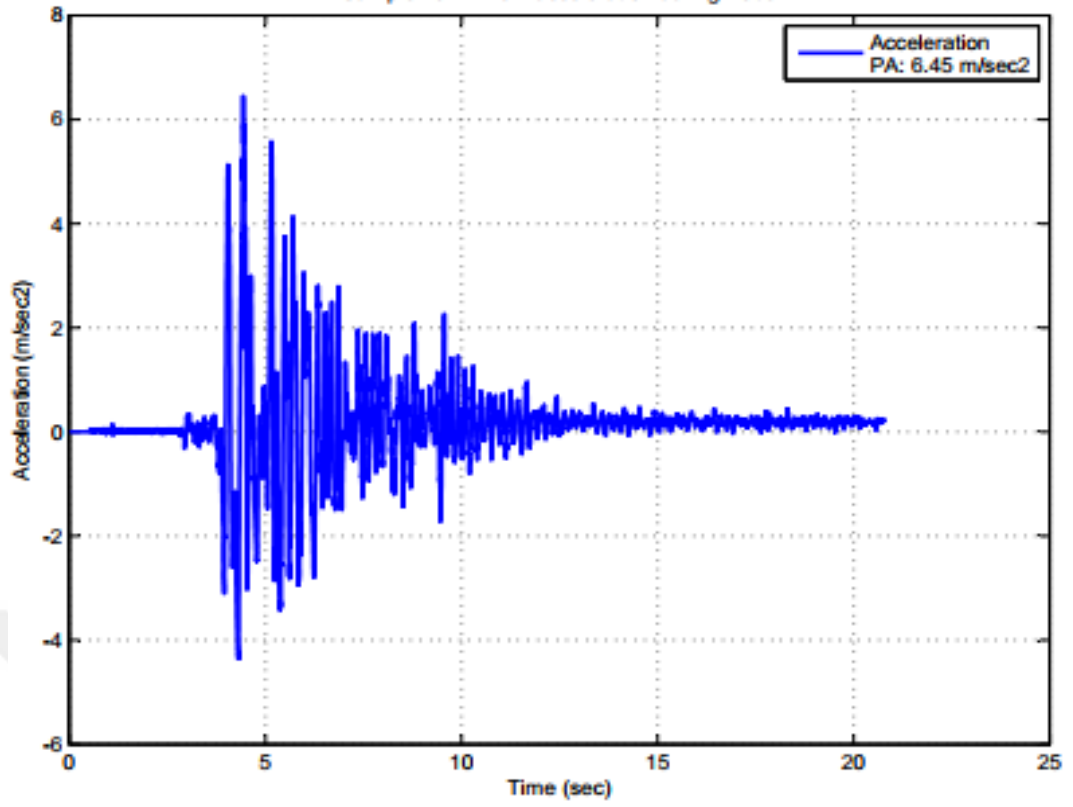
Şekil 3.31. 7 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



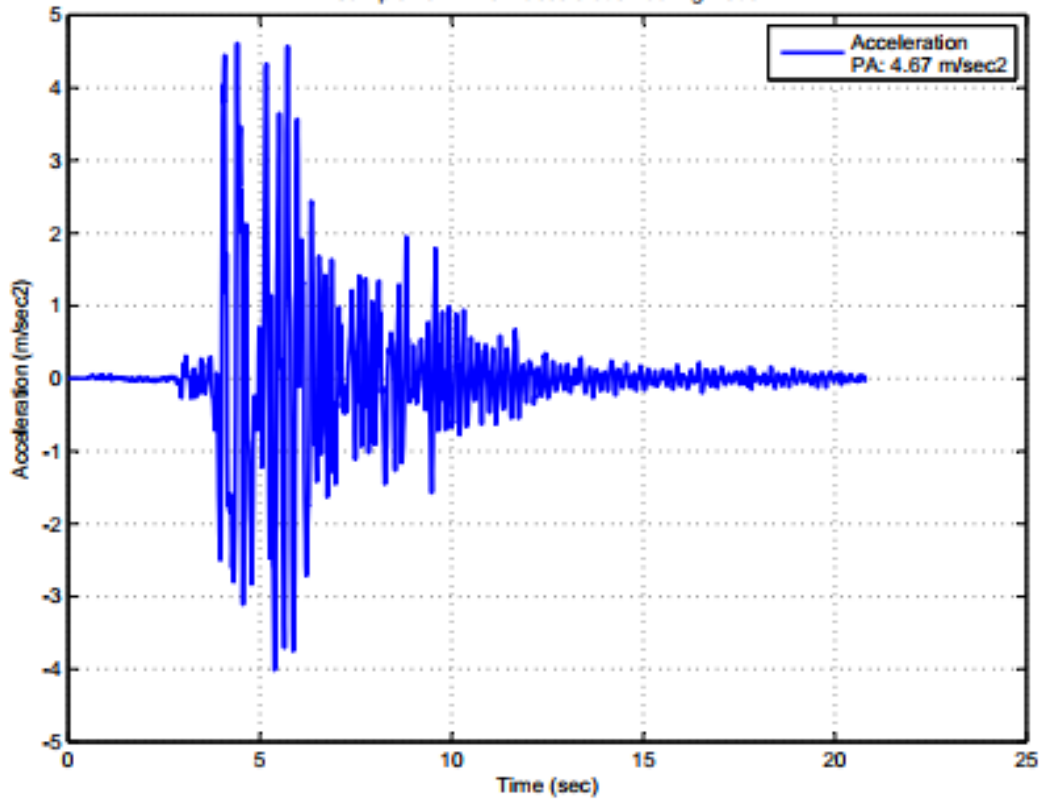
Şekil 3.32. 8 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



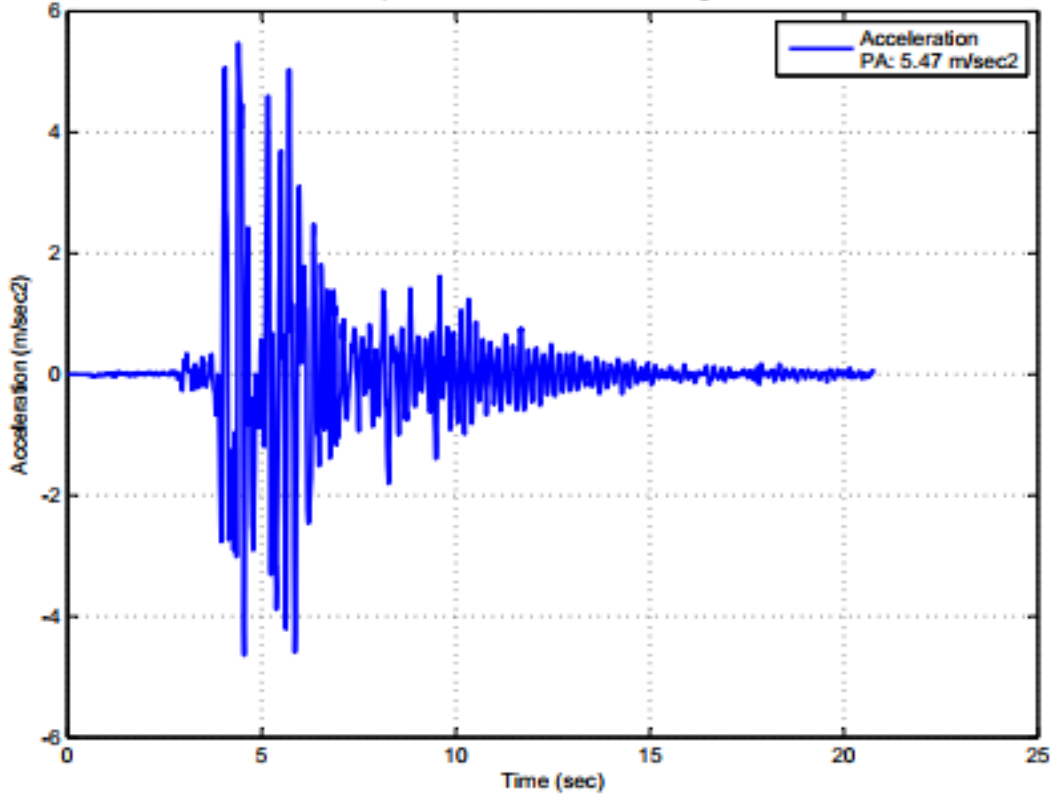
Şekil 3.33. 9 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



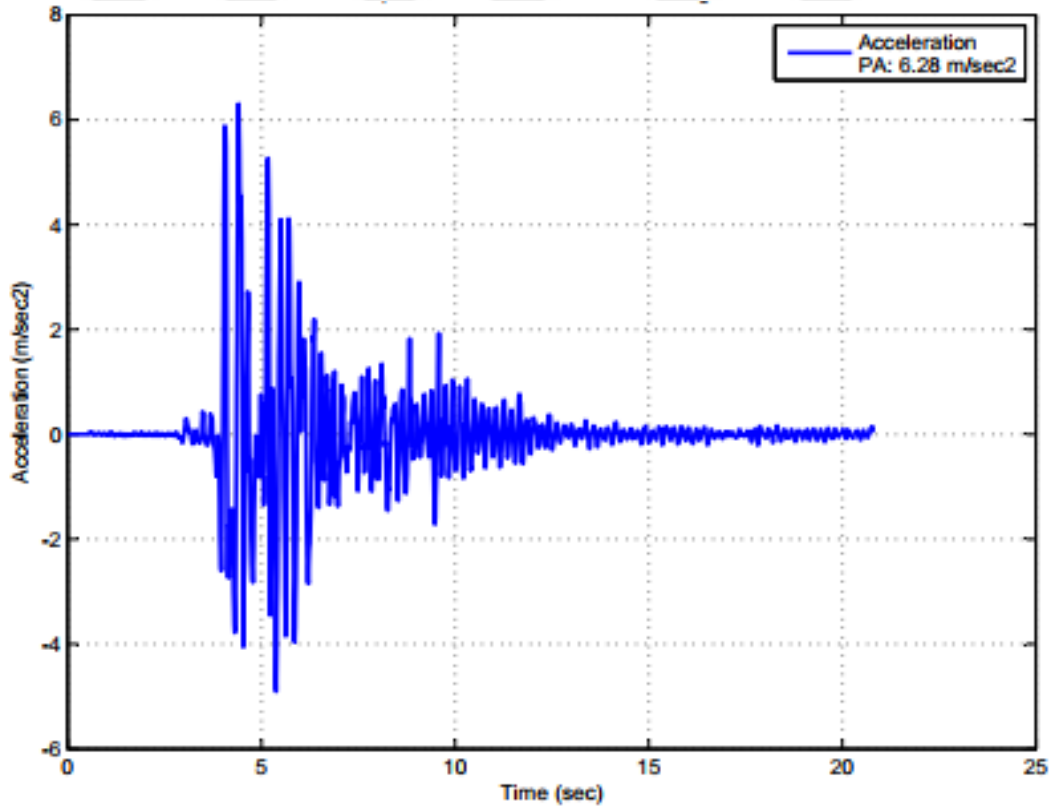
Şekil 3.34. 10 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



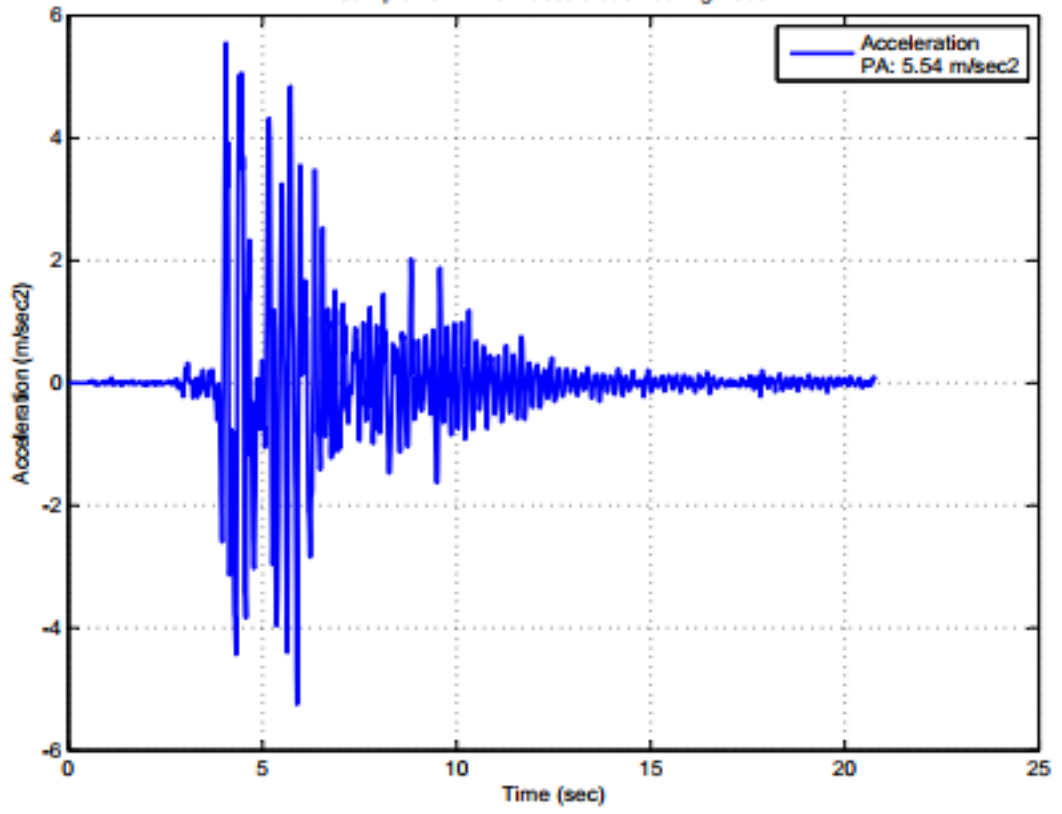
Şekil 3.35. 11 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



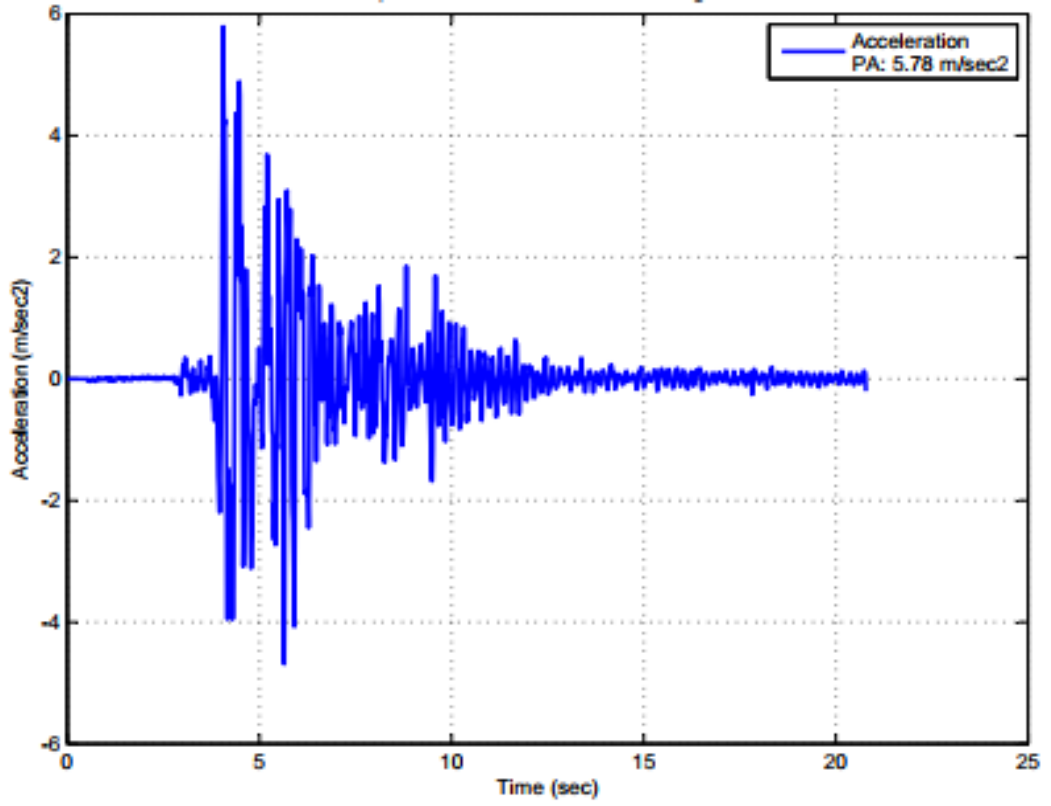
Şekil 3.36. 12 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



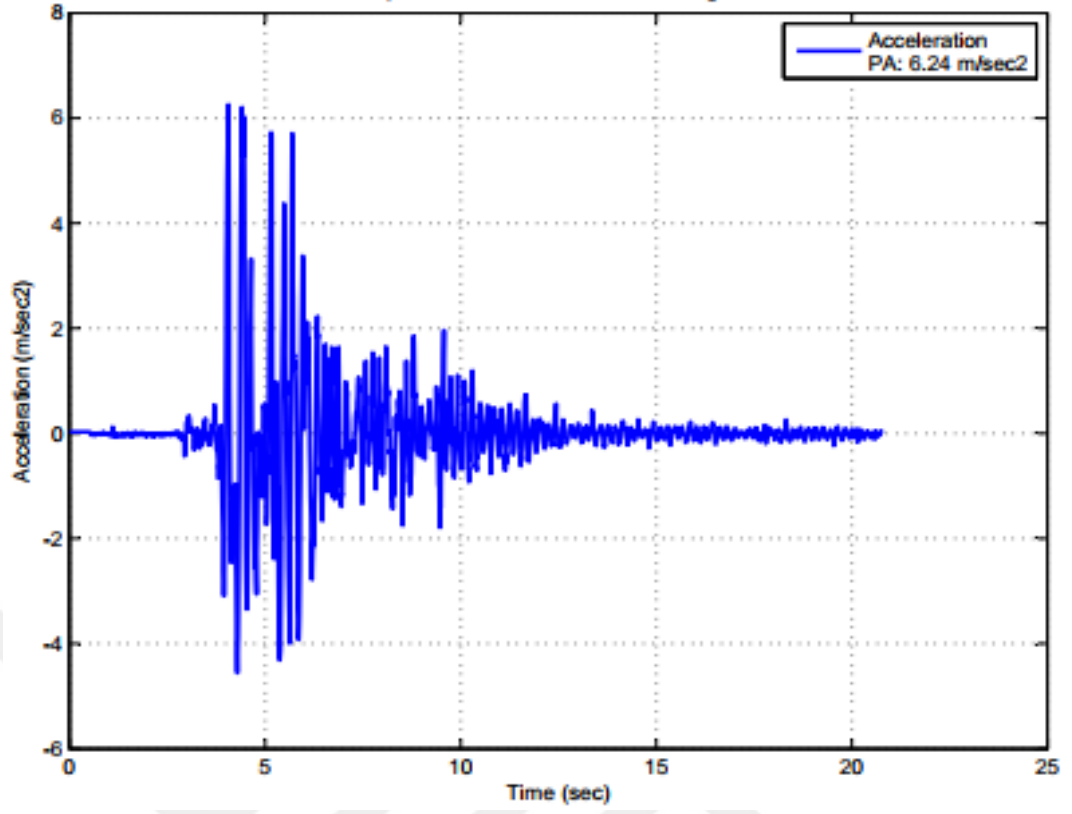
Şekil 3.37. 13 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



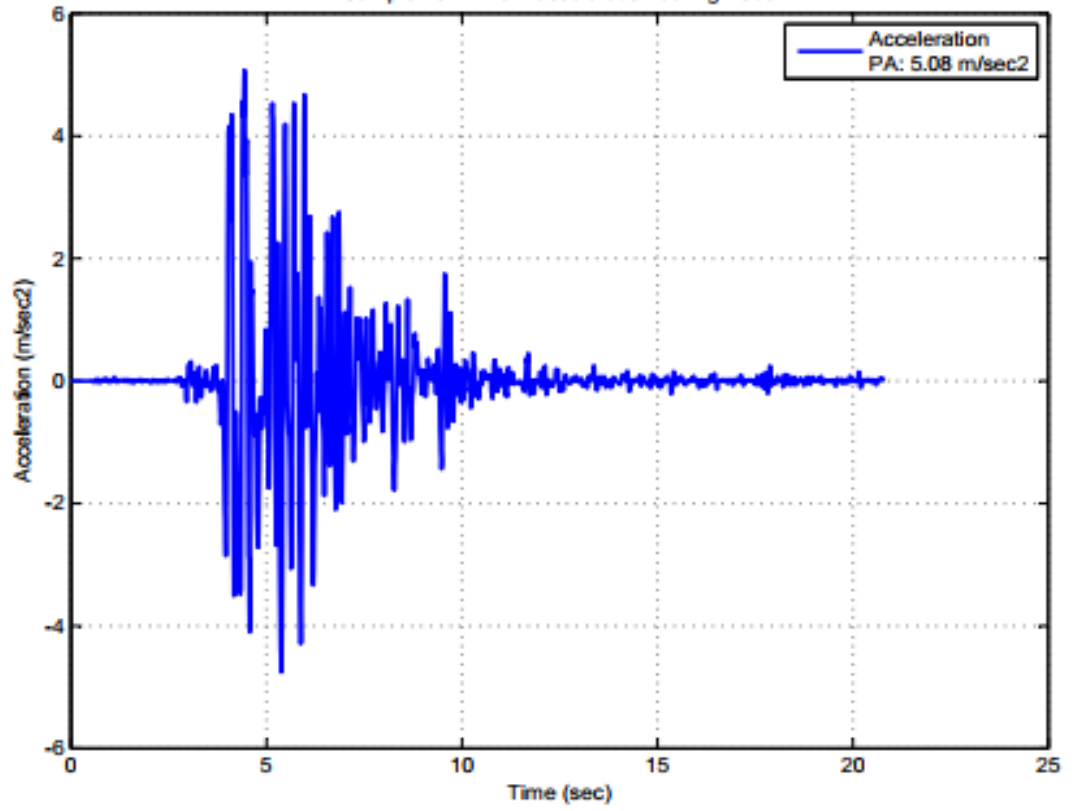
Şekil 3.38. 14 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



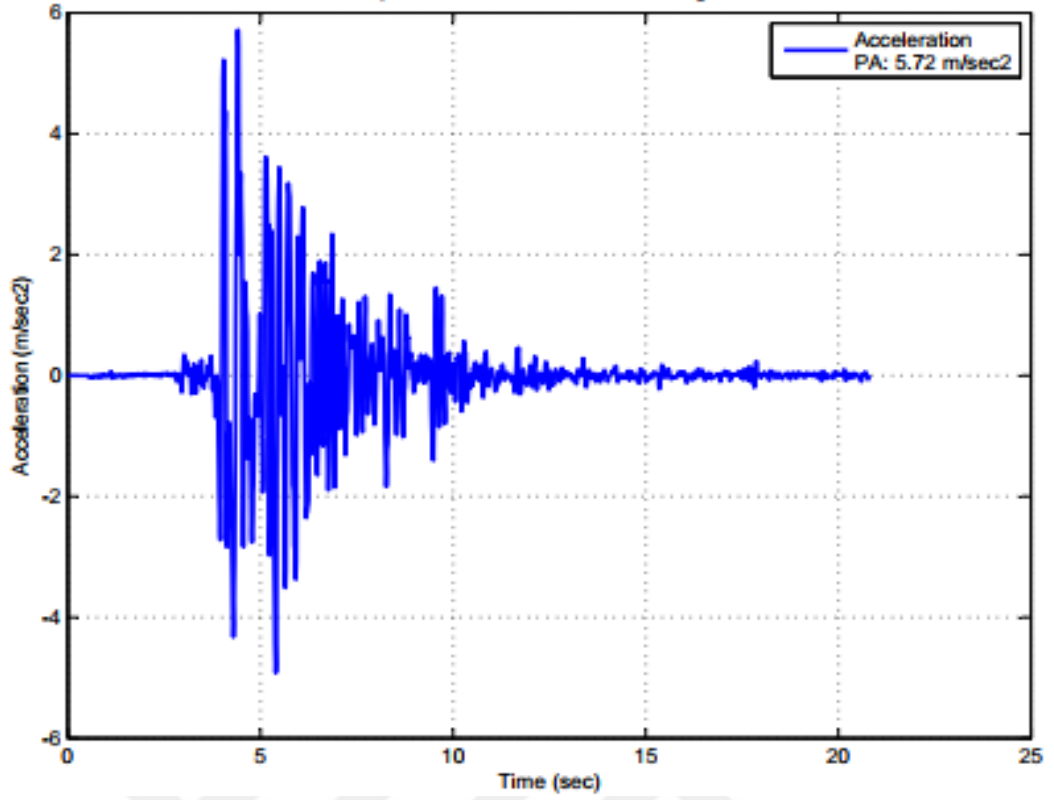
Şekil 3.39. 15 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



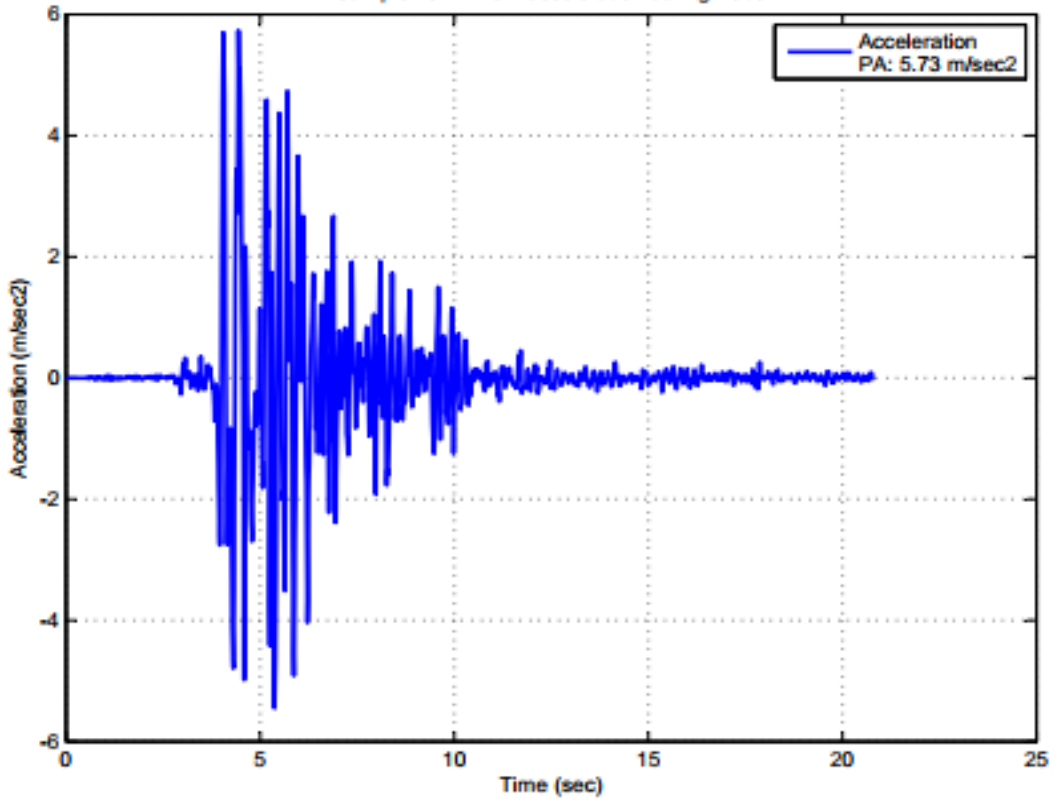
Şekil 3.40. 16 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



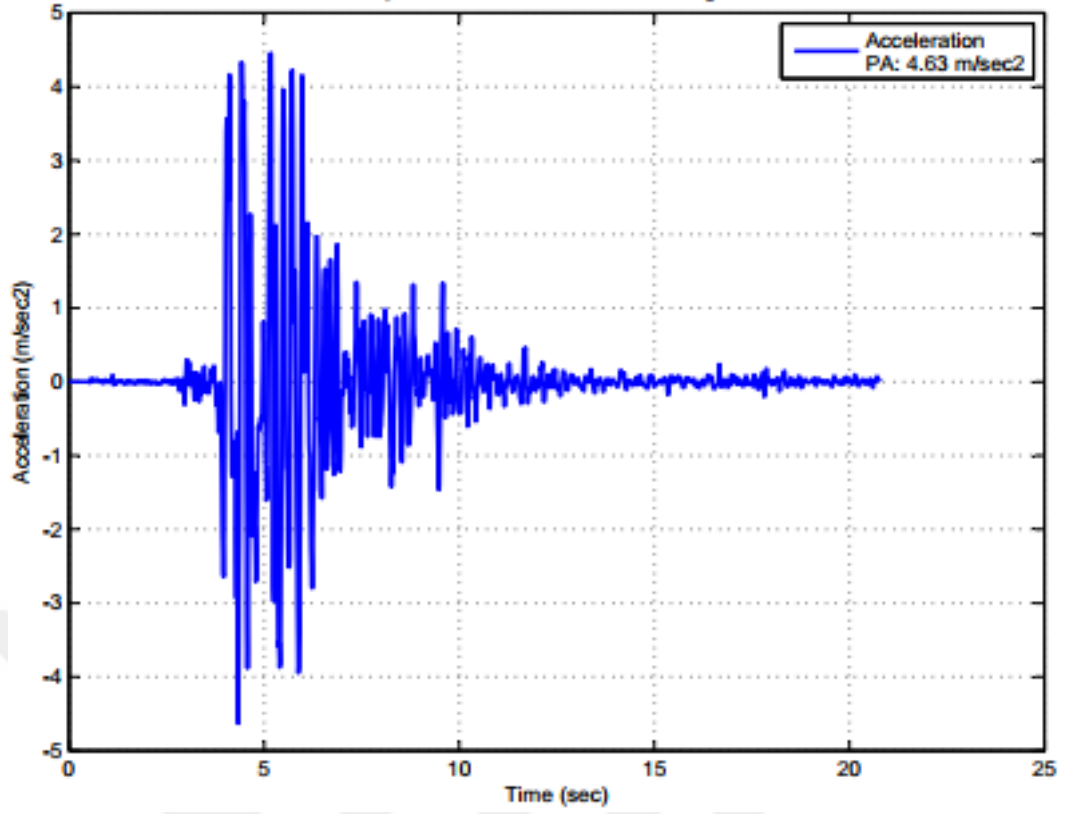
Şekil 3.41. 17 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



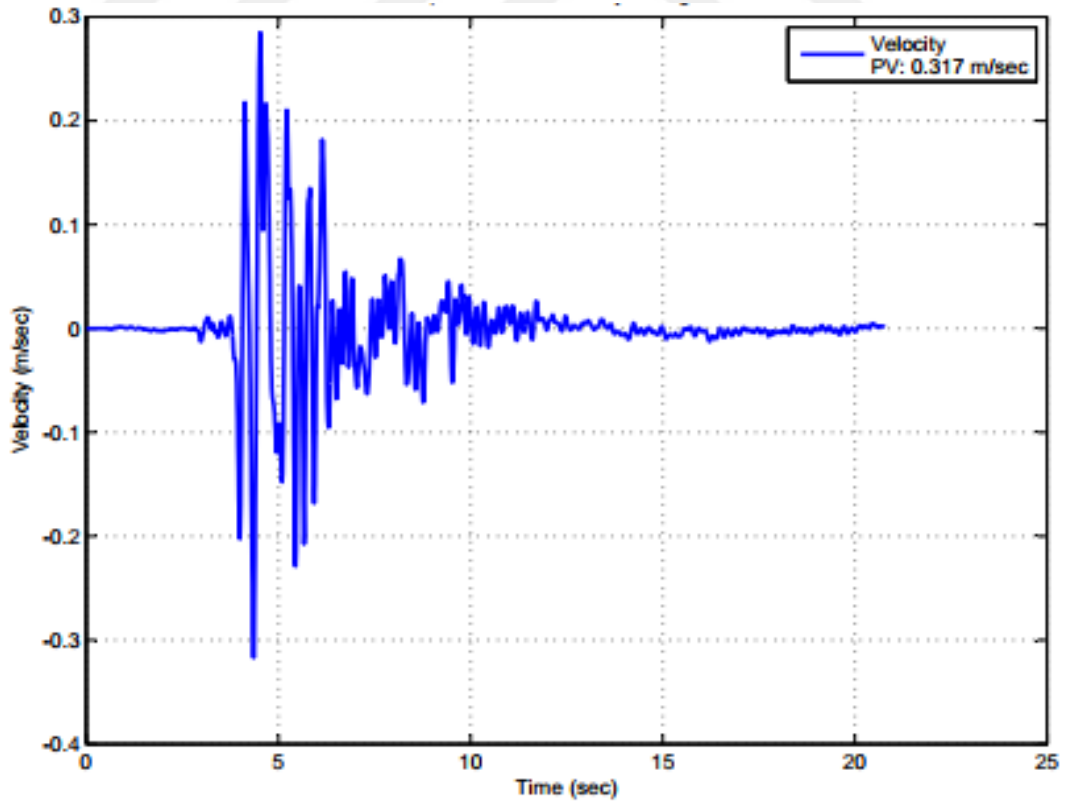
Şekil 3.42. 18 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



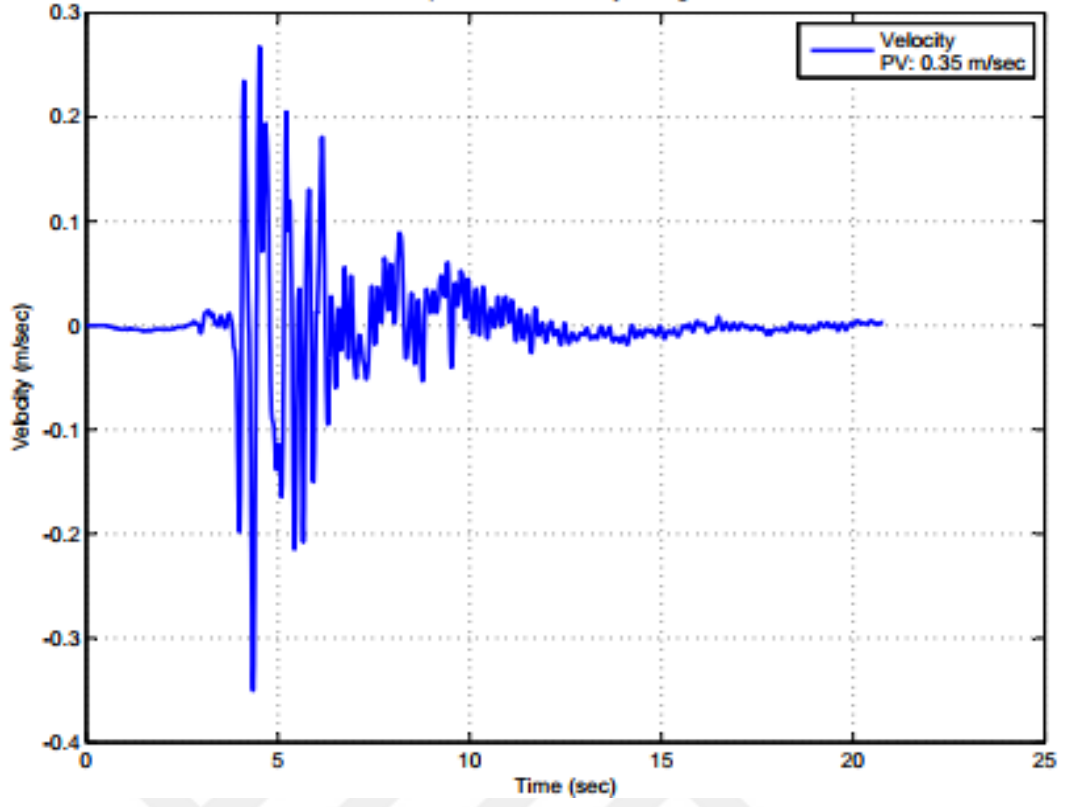
Şekil 3.43. 19 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



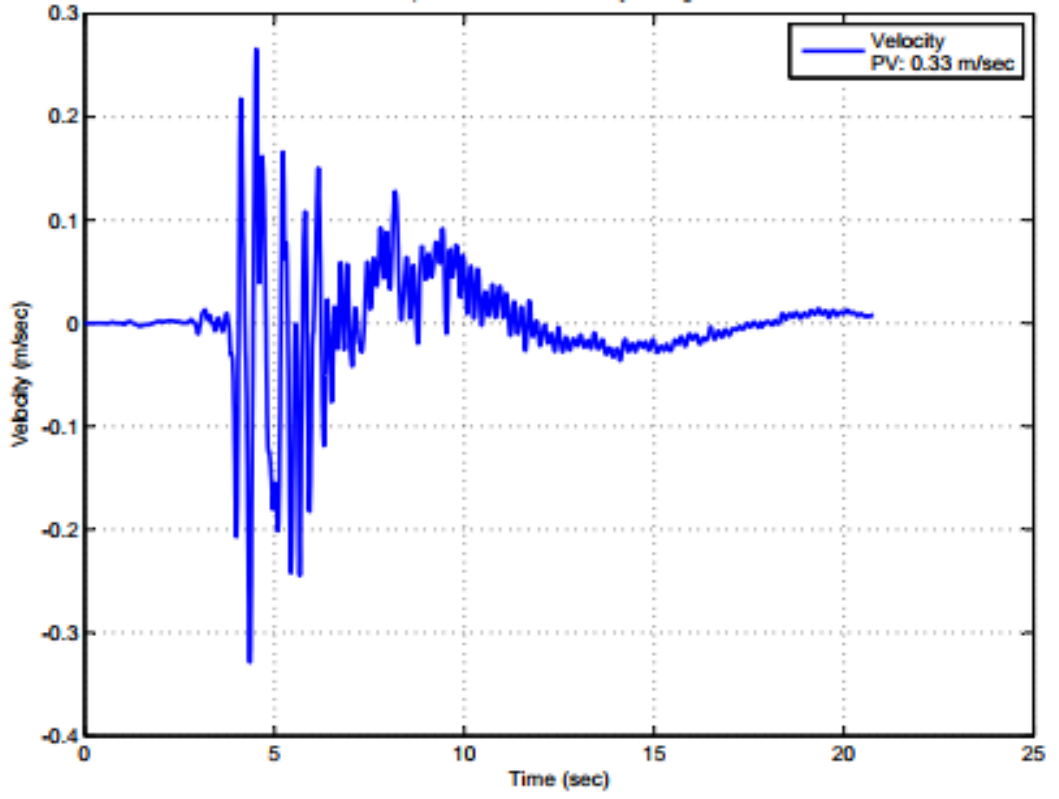
Şekil 3.44. 20 no.lu deneyden elde edilen beton kütle ivme - zaman grafiği



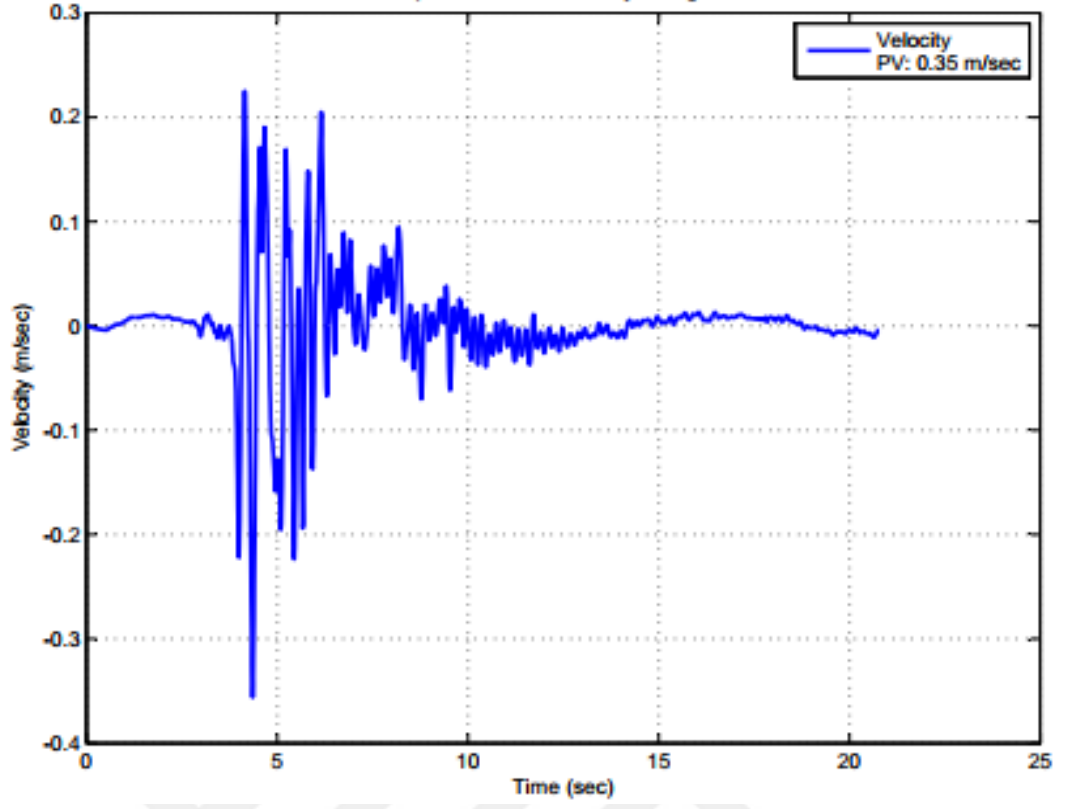
Şekil 3.45. 1 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



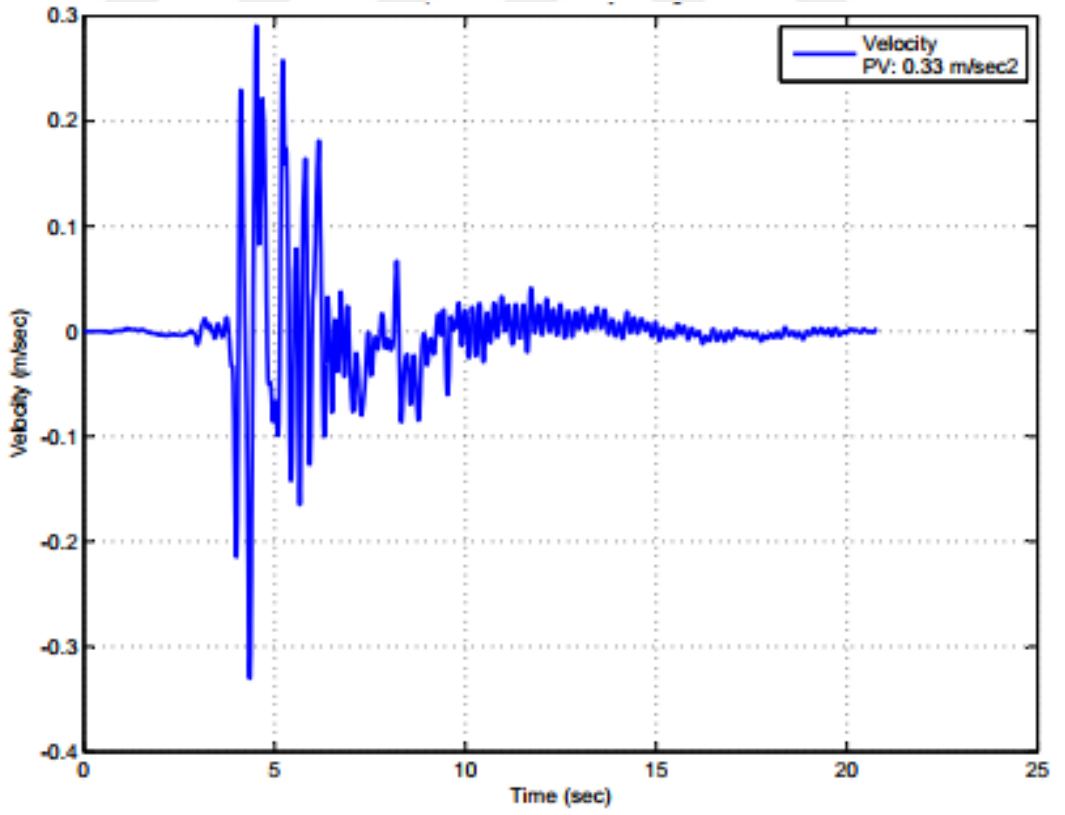
Şekil 3.46. 2 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



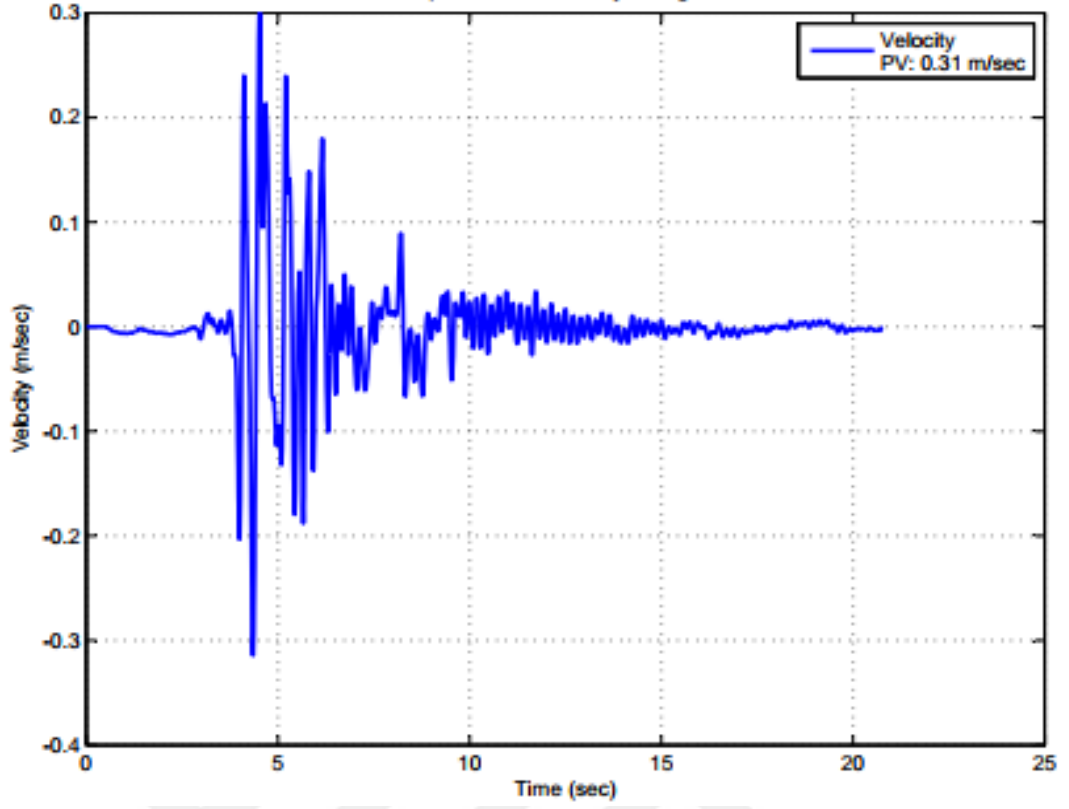
Şekil 3.47. 3 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



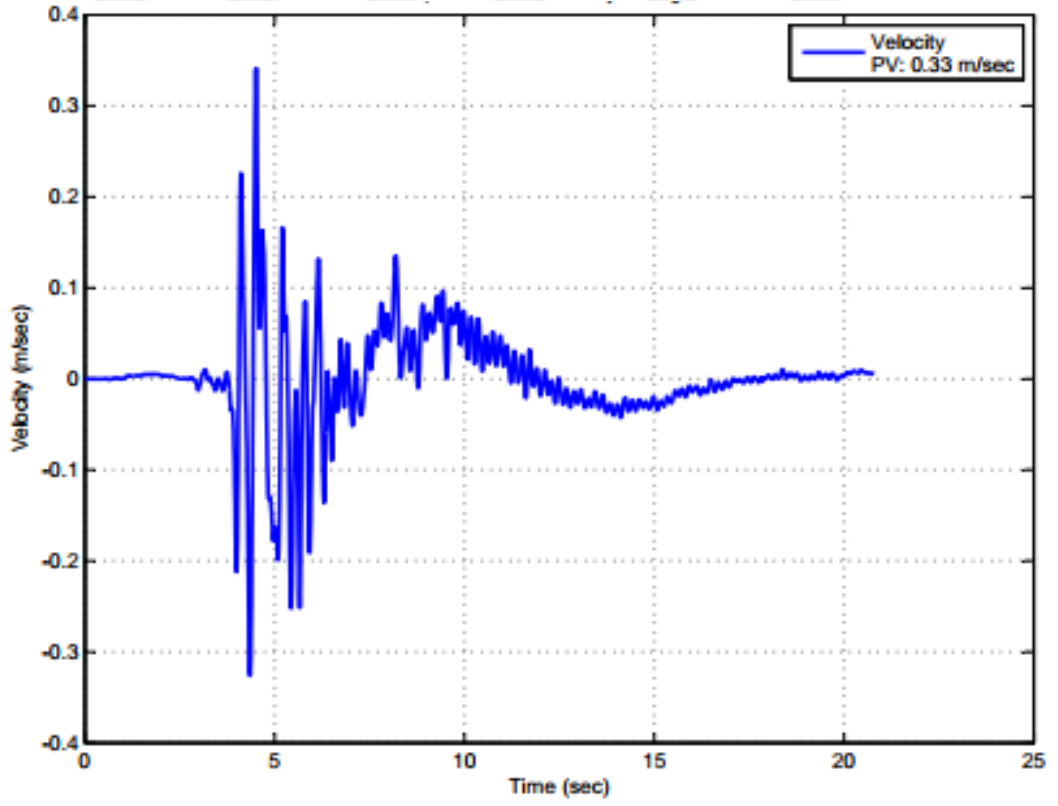
Şekil 3.48. 4 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



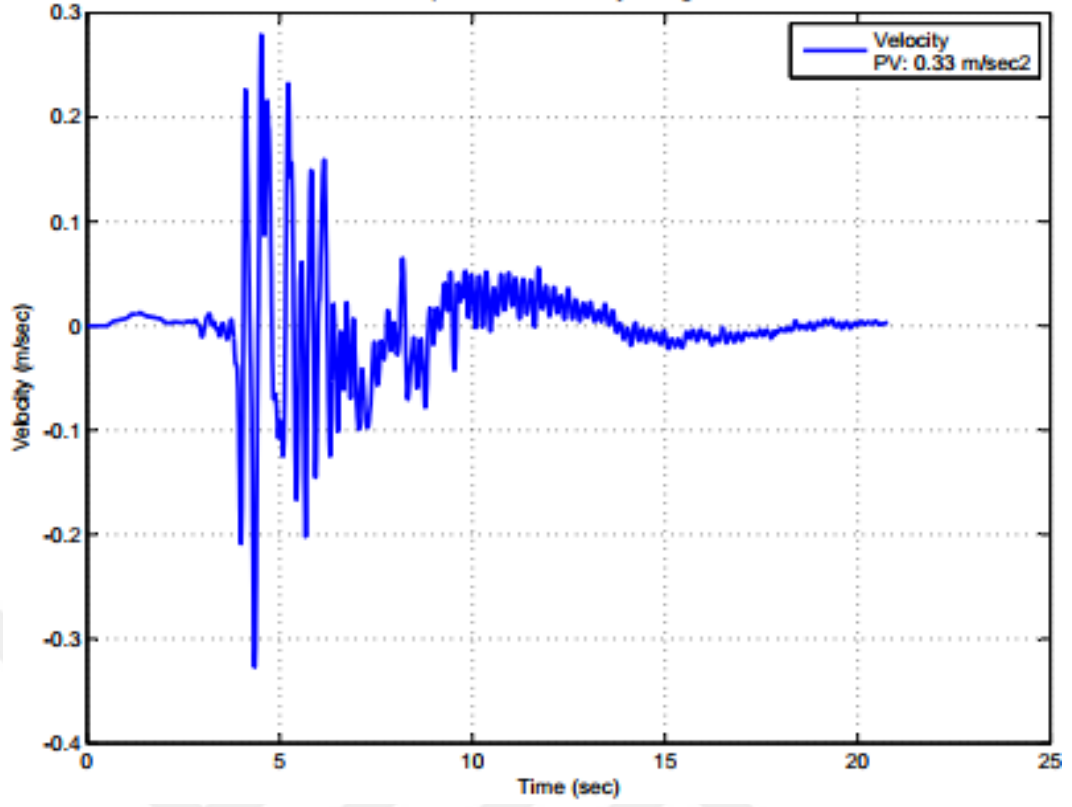
Şekil 3.49. 5 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



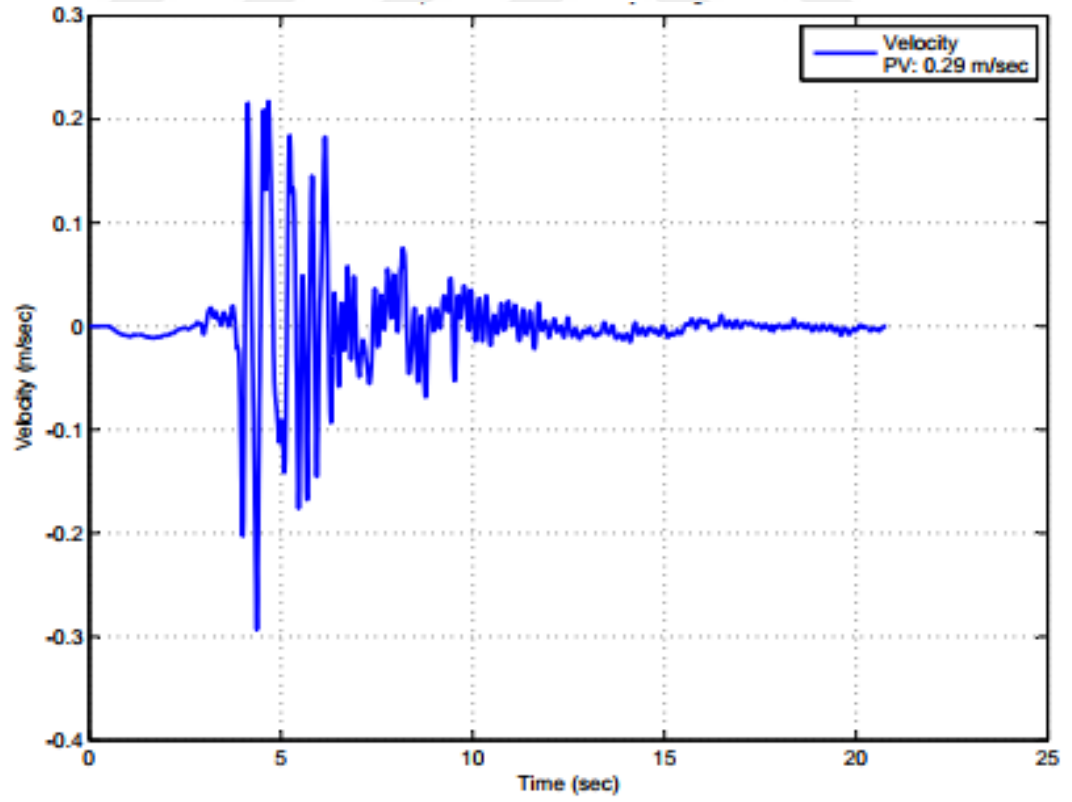
Şekil 3.50. 6 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



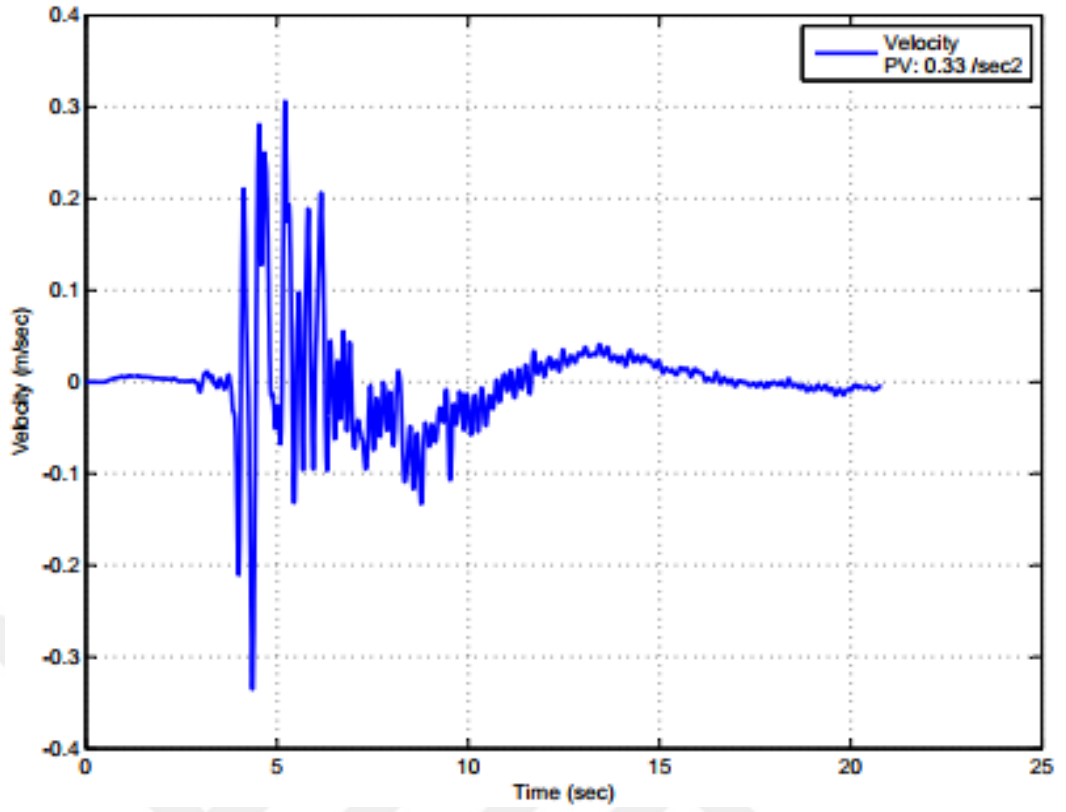
Şekil 3.51. 7 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



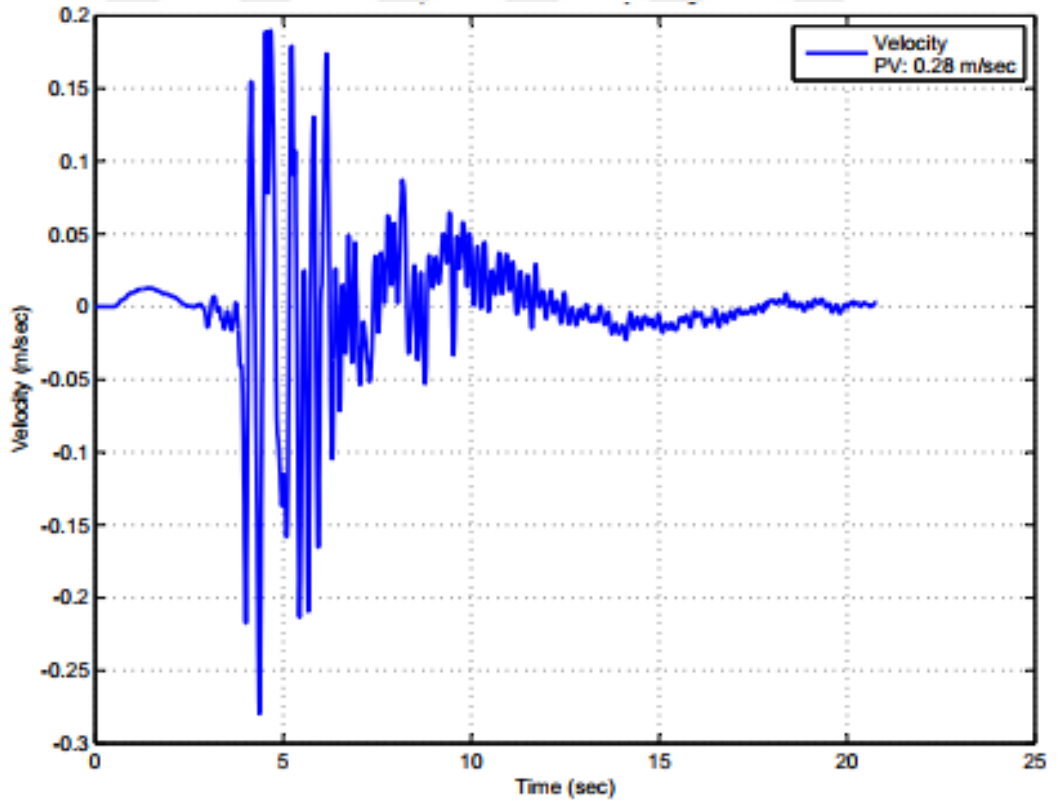
Şekil 3.52. 8 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



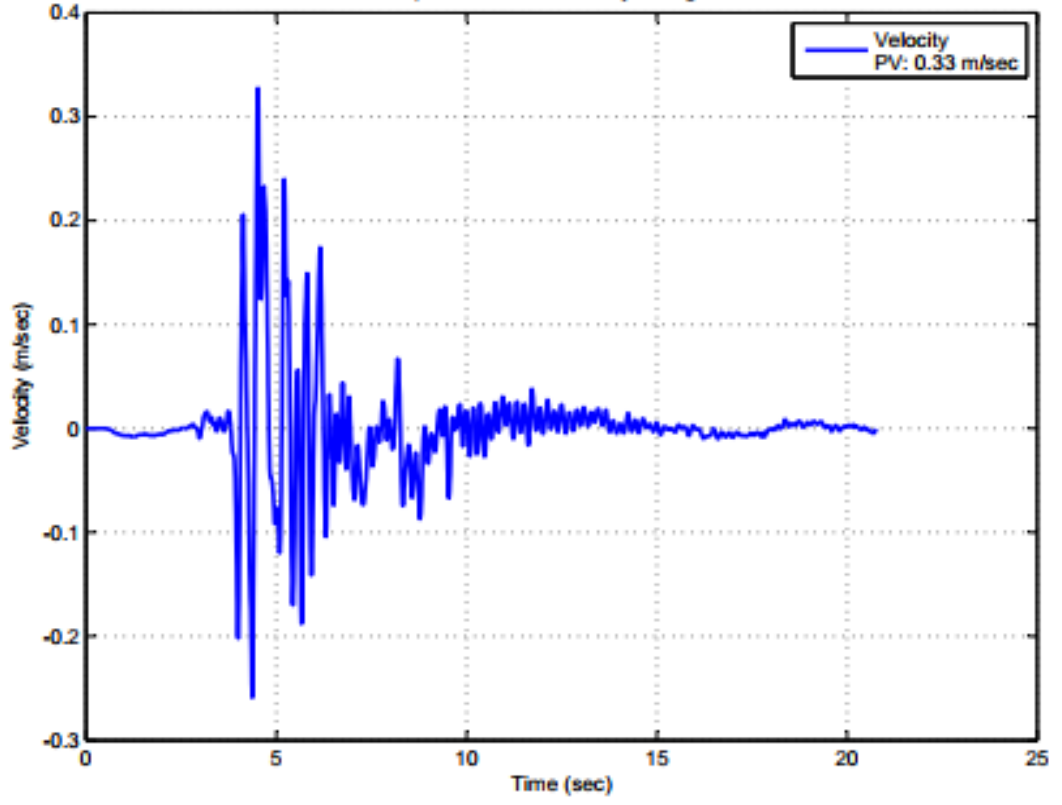
Şekil 3.53. 9 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



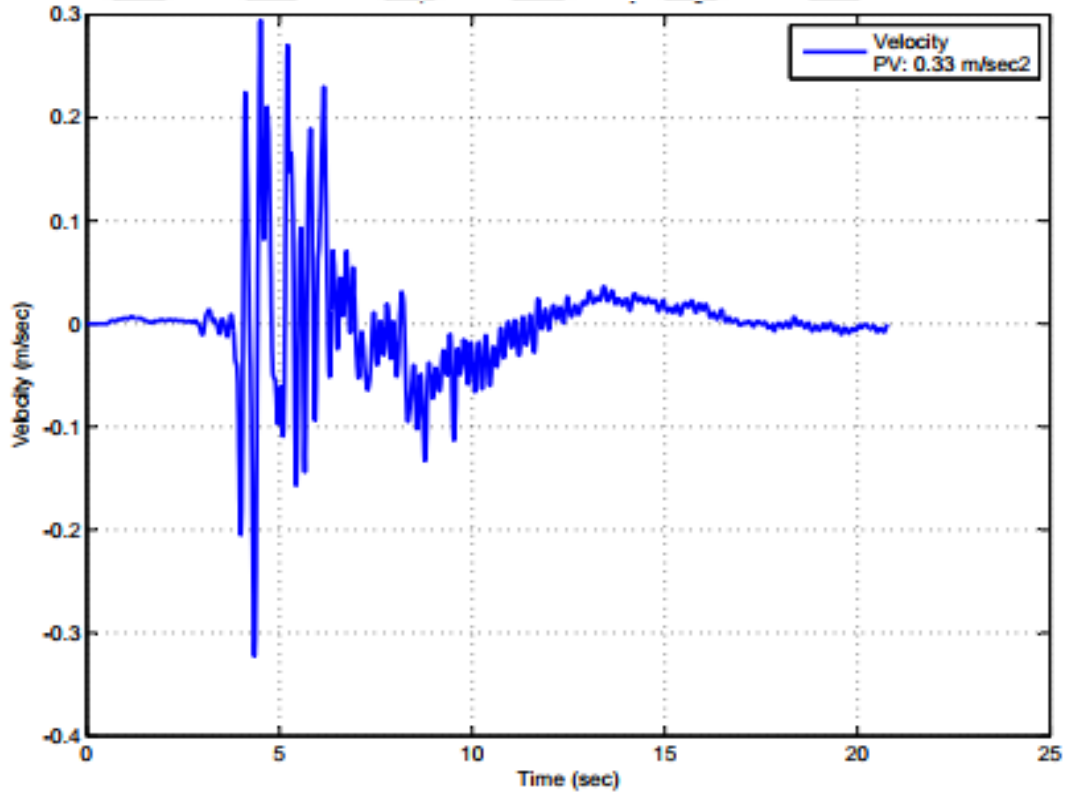
Şekil 3.54. 10 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



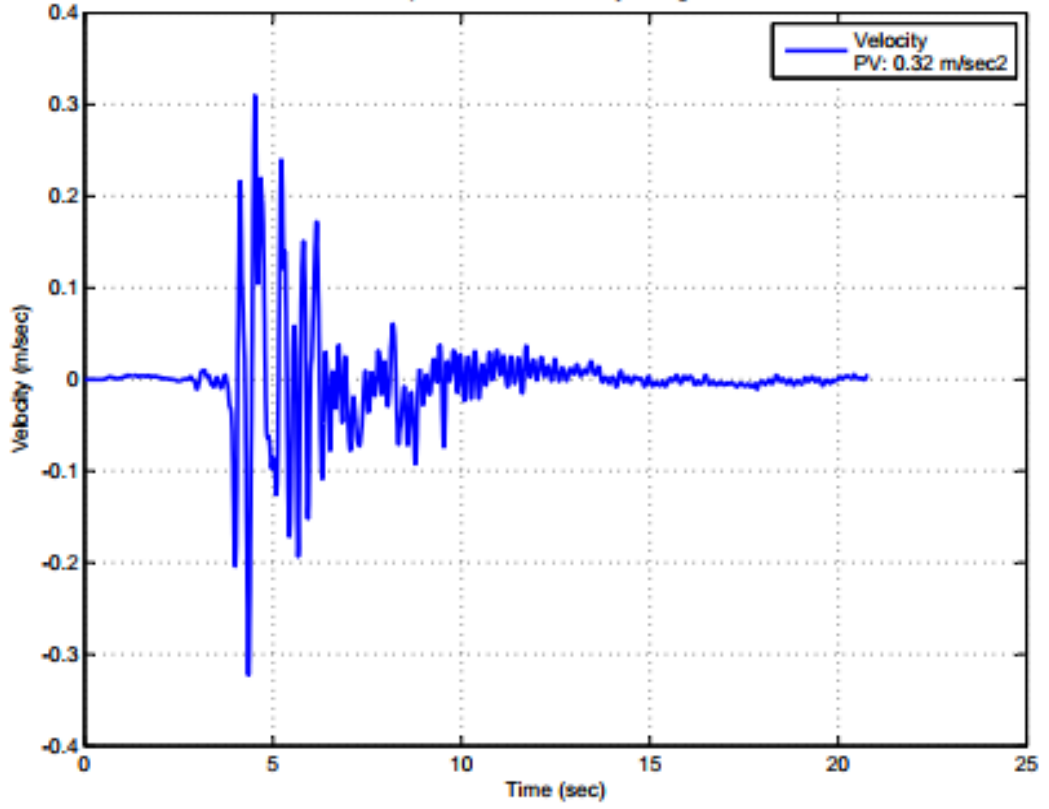
Şekil 3.55. 11 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



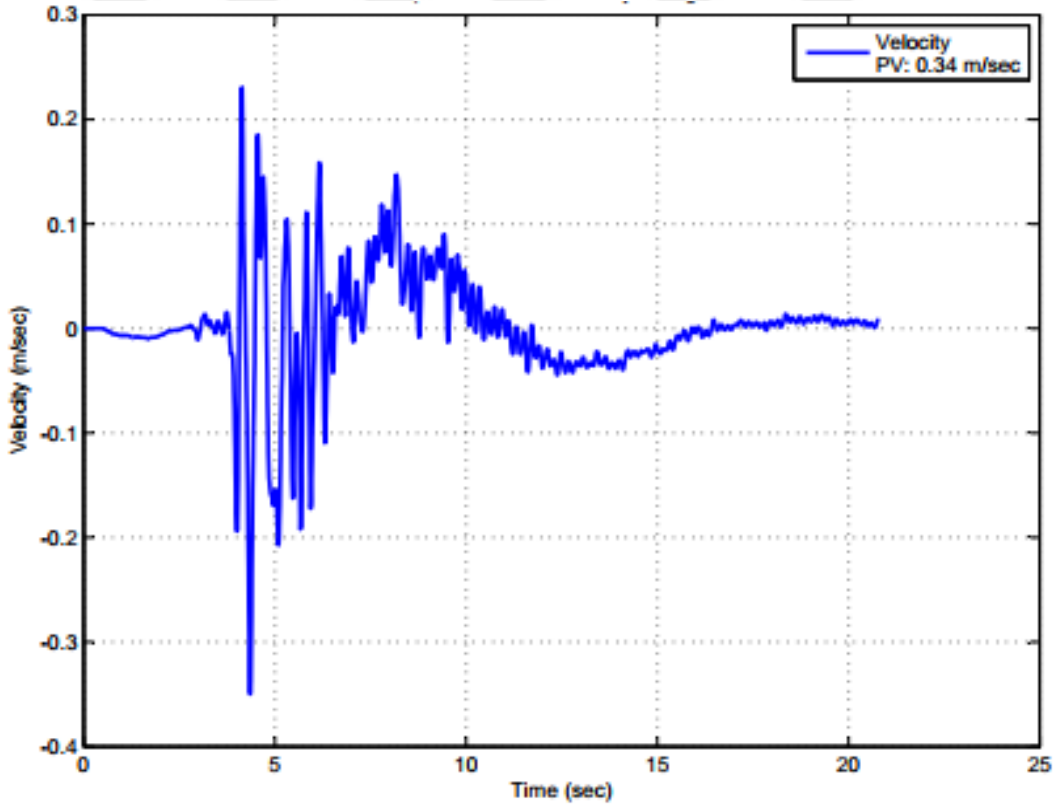
Şekil 3.56. 12 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



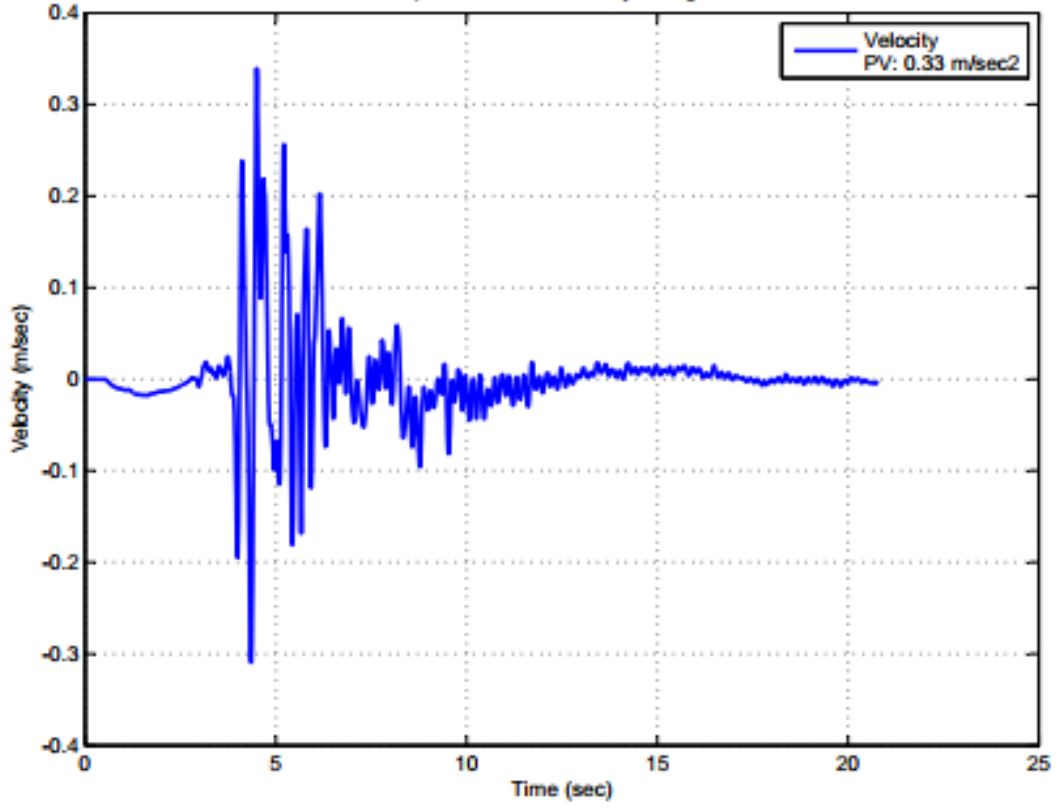
Şekil 3.57. 13 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



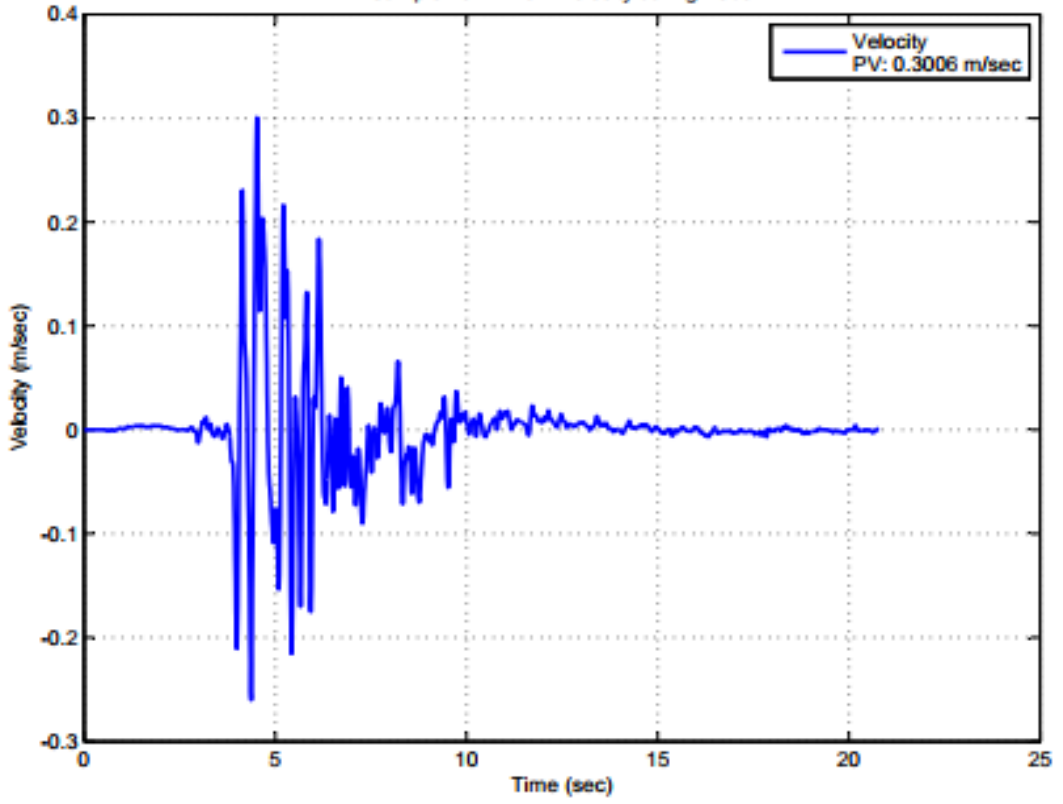
Şekil 3.58. 14 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



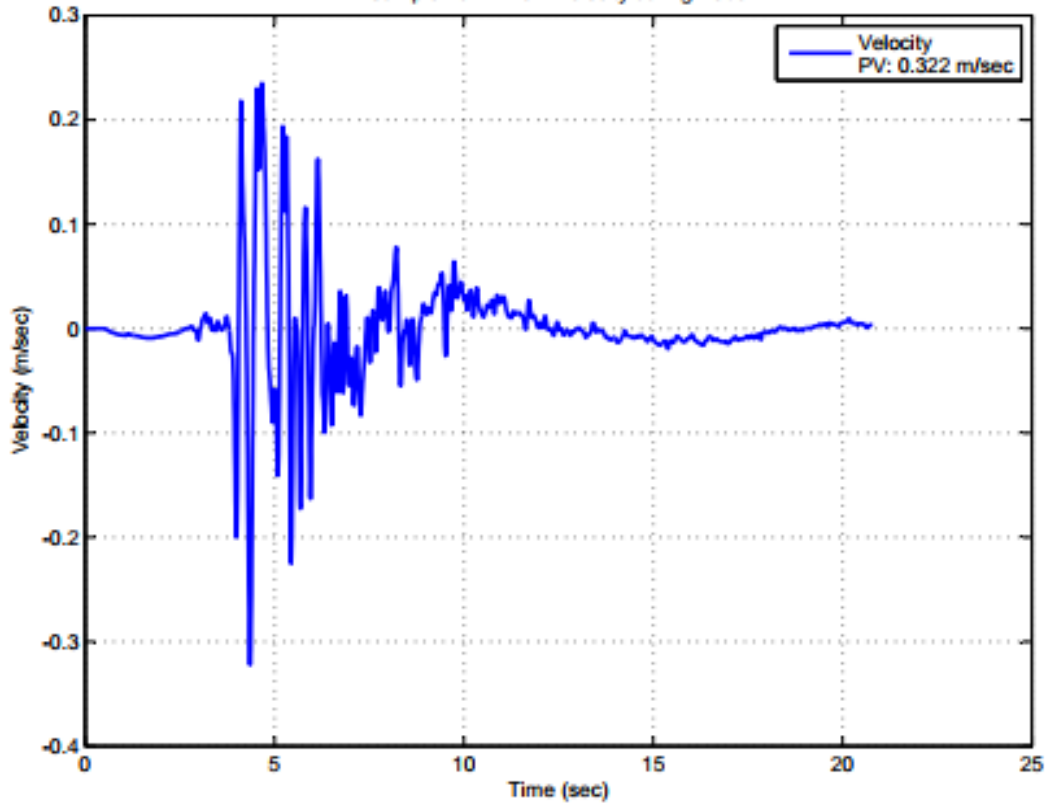
Şekil 3.59. 15 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



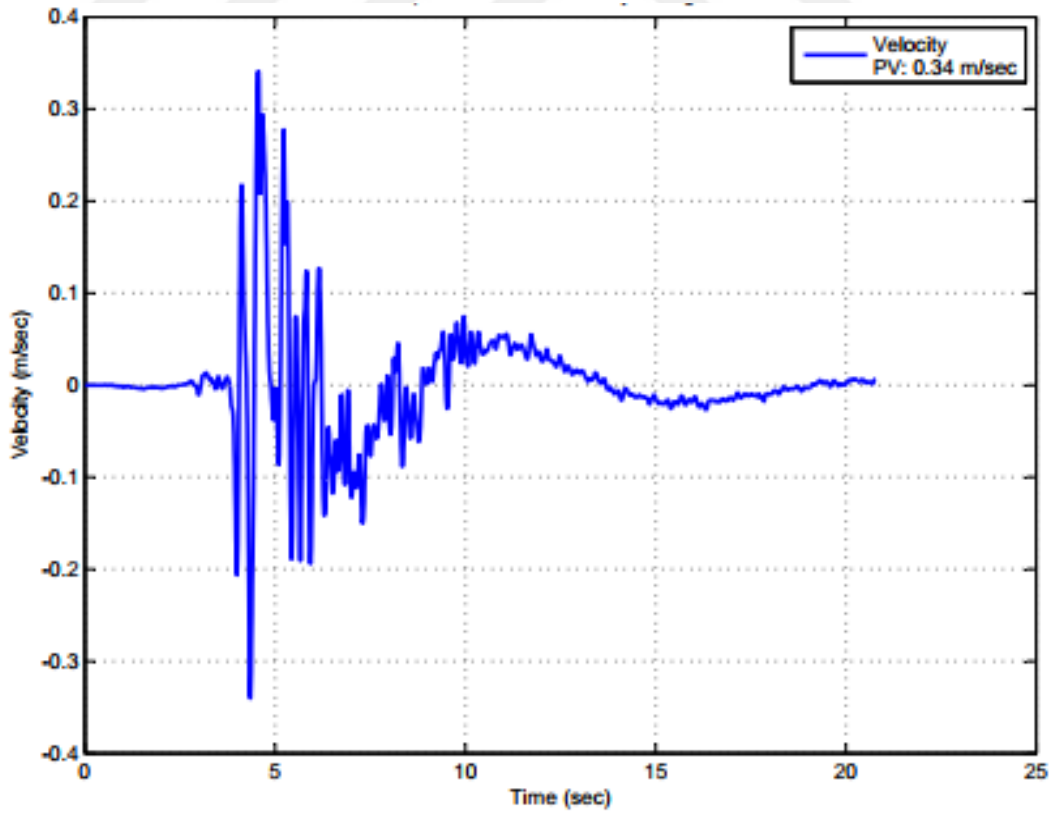
Şekil 3.60. 16 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



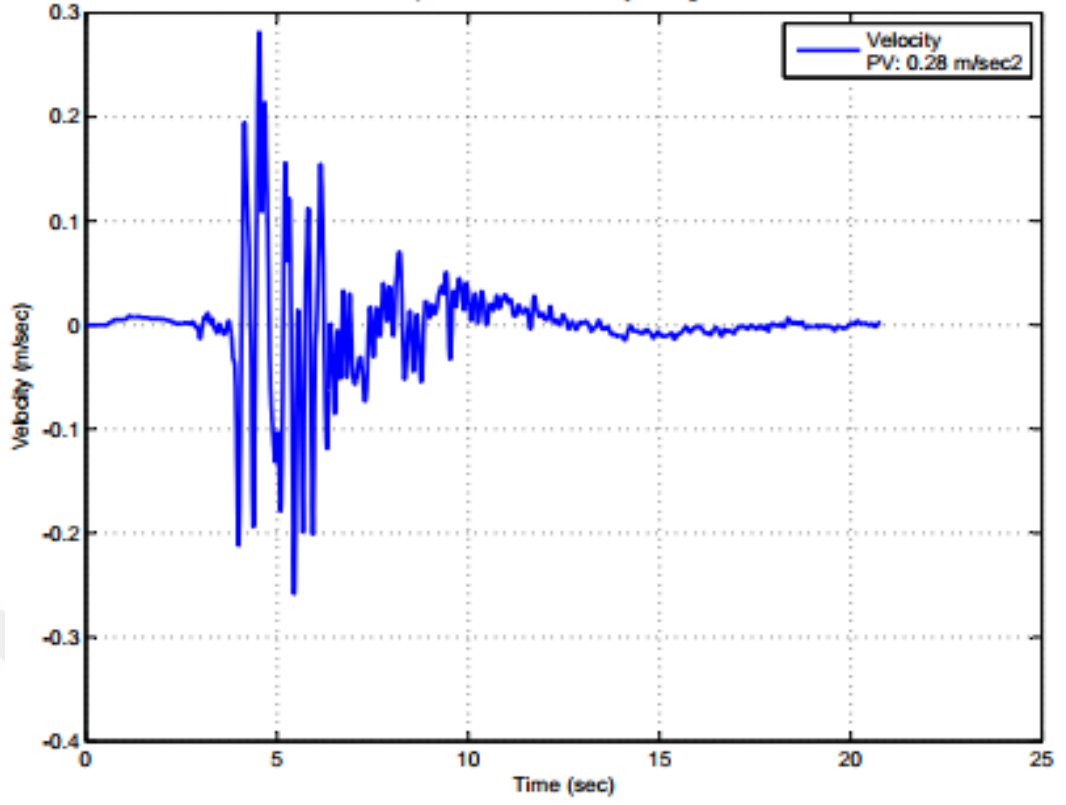
Şekil 3.61. 17 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız - zaman grafiği



Şekil 3.62. 18 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız-zaman grafiği



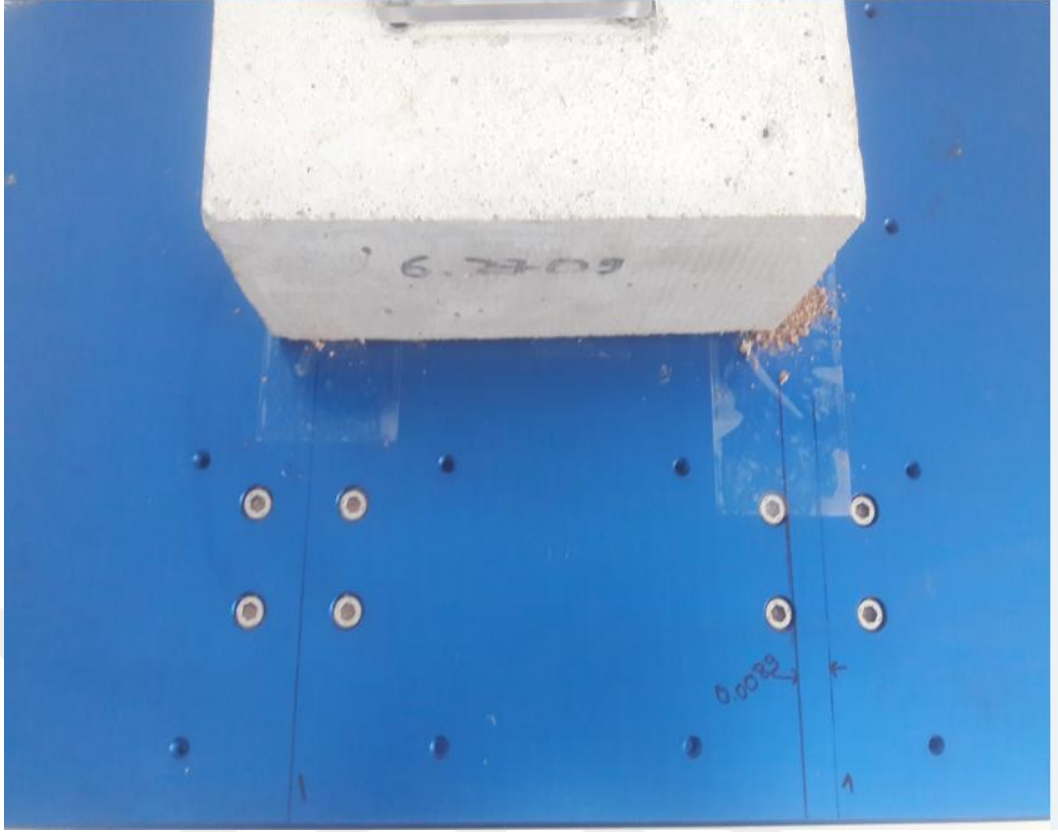
Şekil 3.63. 19 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız-zaman grafiği



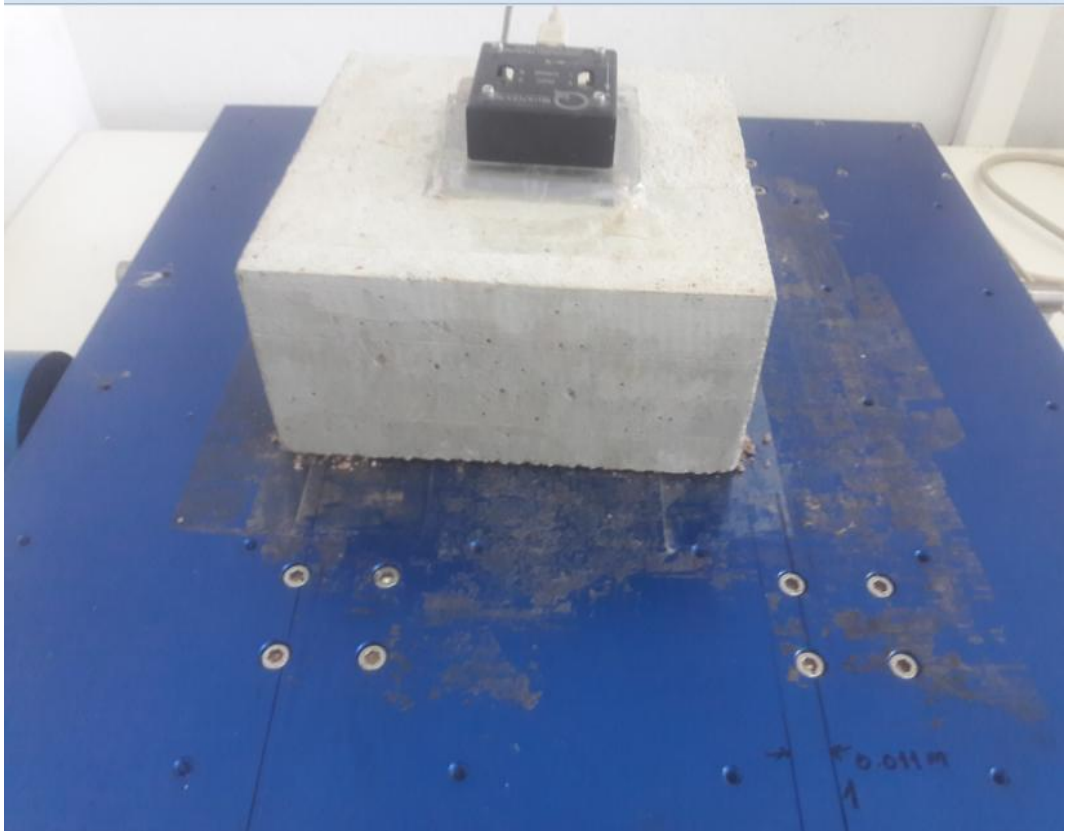
Şekil 3.64. 20 no.lu deneyden elde edilen beton kütle hız-zaman grafiği



Şekil 3.65. Deney sonrası gözlenen kalıcı yerdeğiştirme



Şekil 3.66. Deney sonrası gözlenen kalıcı yerdeğiştirme



Şekil 3.67. Deney sonrası gözlenen kalıcı yerdeğiştirme

Gerçekleştirilmiş olan toplam 20 adet numune için 20 adet sarsma masası deneyleri sonuçlarının ortalama değerleri Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Sarsma masası deneyleri sonuçlarından elde edilen ortalama ivme değeri

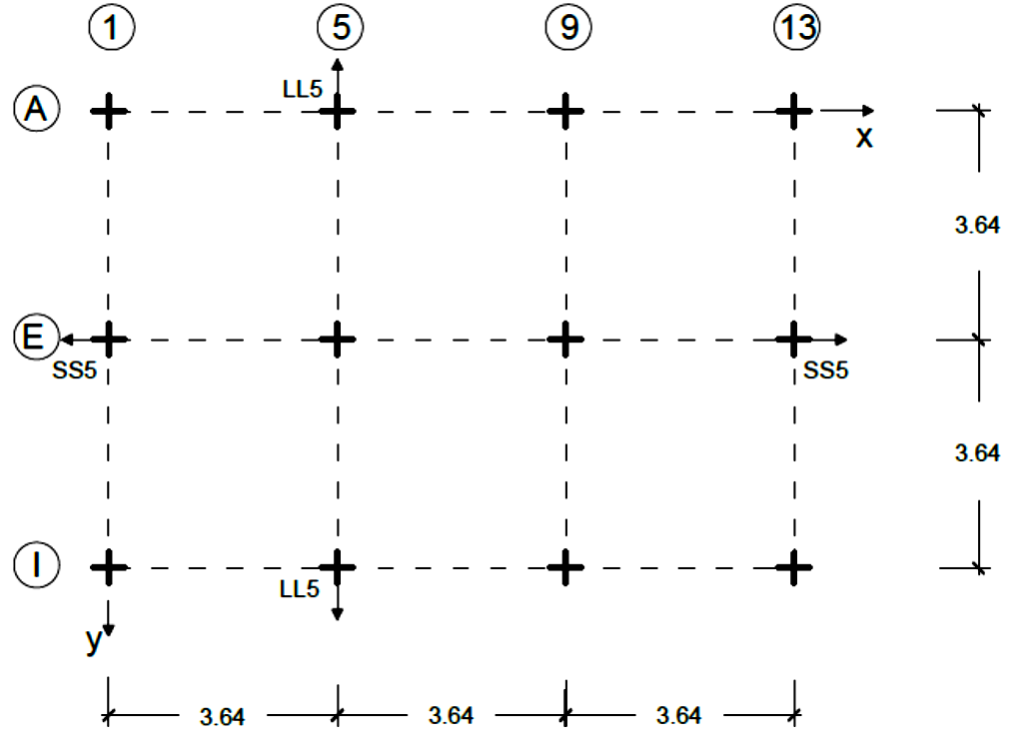
Deney bilgileri	Ölçeklendirilmiş Kobe depremi maksimum ivmesi (m/sn^2)	Deney sonucu elde edilen ortalama ivme (m/sn^2)	Azalma Yüzdesi
	8.17	5.6595	30.73

Ayrıca, gerçekleştirilmiş olan toplam 20 adet numune için 20 adet sarsma masası deneyleri sonuçlarının ortalama hız değeri $0.32198 m/sn$ olarak hesaplanmıştır.

3.7. Geliştirilmiş Coulomb Sürtünme Modeli Parametrelerinin Tam Ölçekli E-Defense Sarsma Masası Deneyinde Uygulamalı Karşılaştırılması

Önceki bölümde sunulduğu gibi, geliştirilmiş Coulomb sürtünme modeli parametrelerinin belirlenmesi için ilgili deneyler gerekmektedir. Bu bölümde, bu çalışmalara ışık tutmak amacıyla, bahsedilen parametrelerin uygulamalı karşılaştırılması tam ölçekli sarsma masası deneyi ile Hyogo Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinde bulunan E-Defense isimli Dünyanın en büyük sarsma masasında gerçekleştirilmiş deney sonuçlarına dayanarak yapılmıştır. İlgili deneysel çalışma bilgileri aşağıda sunulmuştur.

Deneyde, Şekil 3.68’de ölçüleri gösterilmiş olan geleneksel Japon ahşap yapılarına ekstremum yer ivmesi y doğrultusunda $4.93 m/sn^2$ olan BCJ-L2 (The Building Center of Japan, 2010) yapay deprem ivmesi etki ettirilmiştir. Deney modeli, $0.15 m \times 0.15 m$ kesitlerinde ahşap kolon ayaklarından ve ahşap kolon ayakların altında bulunan taş temellerden oluşmaktadır. Kat yüksekliği birinci kat için $2.7 m$ olup, taş temel üzerinde yükselen kısmın yüksekliği ise $0.3 m$ ’dir (Şekil 3.69, Şekil 3.70). Yapı ağırlığı, birinci kat seviyesinin üst ve alt kısmı için sırasıyla $70.5367 kN$ ve $46.33 kN$ ’dur (Kasımzade vd, baskıda-a).



Şekil 3.68. Deney modelinin ölçüleri

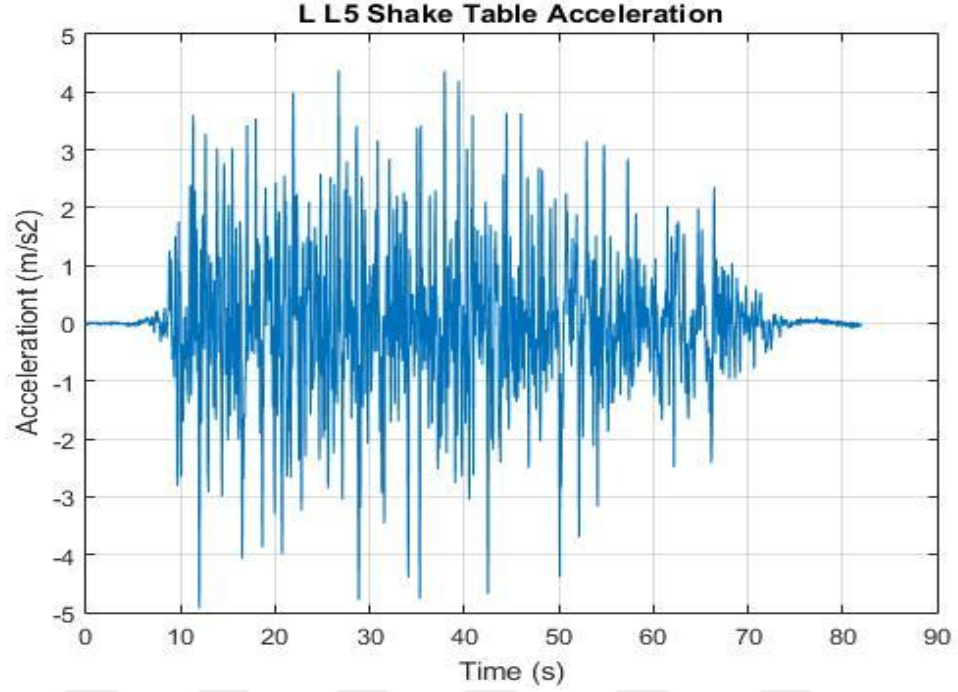


Şekil 3.69. Tam ölçekli E-Defense sarsma masası deneyi

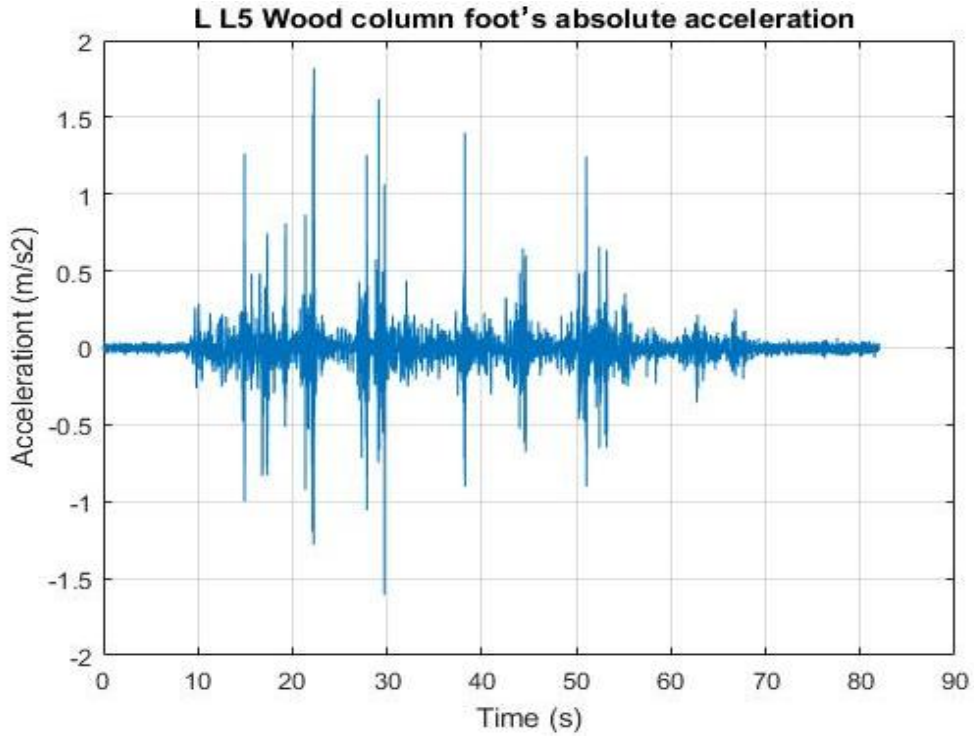


Şekil 3.70. Taş - ahşap modeli

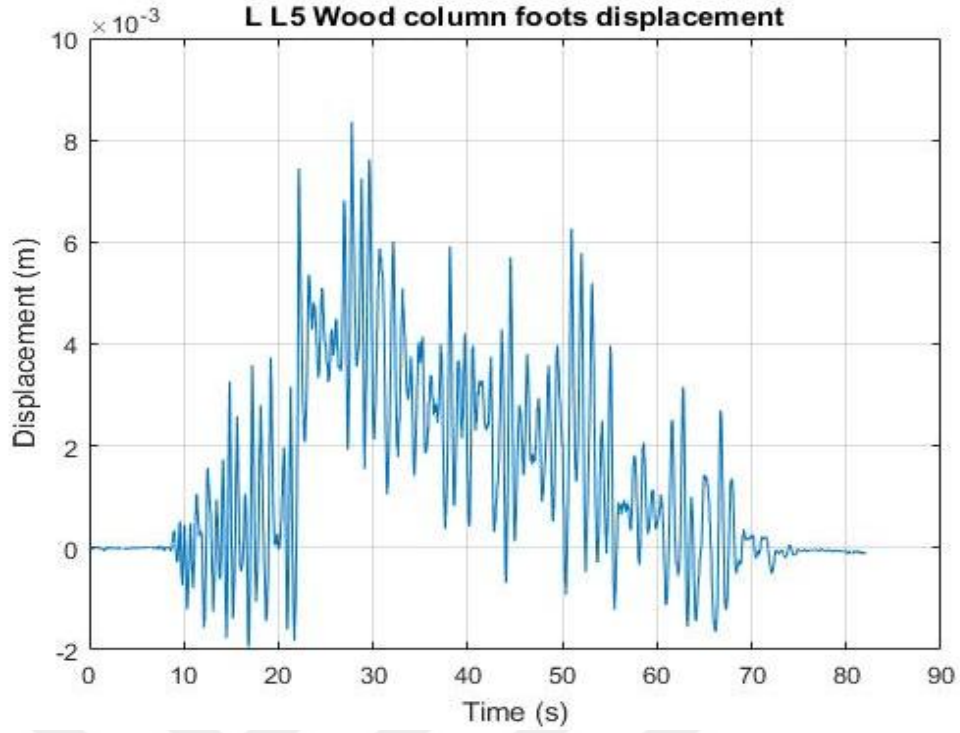
E-Defense sarsma masasında uygulanan ivme-zaman grafiği ve ahşap kolon ayaklarının 5-5 (LL5) aksı doğrultusunda elde edilen ivme ve yerdeğiştirme tepkileri sırasıyla Şekil 3.71, Şekil 3.72 ve Şekil 3.73'de gösterilmiştir.



Şekil 3.71. E-Defense sarsma masasında uygulanan ivme - zaman grafiği (The Building Center of Japan, 2010)



Şekil 3.72. Ahşap kolon ayaklarının ivme - zaman grafiği



Şekil 3.73. Ahşap kolon ayaklarının yerdeğiştirme-zaman grafiği

Çizelge 3.2’de gösterilen ahşap-taş modeli sayısal analiz sonuçları ile tam ölçekli E-Defense sarsma masası deney sonuçları karşılaştırması Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Tam ölçekli E-Defense sarsma masası deneyi ile sayısal analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Analiz Tipi	Etki ettirilen en büyük ivme değeri (m/sn^2)	Deprem etki süresi (sn)	Ahşap kolon ayağında en büyük ivme değeri (m/sn^2)	Ahşap kolon ayağında ortalama yerdeğiştirme (mm)	İvme azalması (%)
Tam ölçekli E-Defense sarsma masası deneyi	4.93	82	1.8191	5	63
Sayısal analiz	5.2315	25.88	2.1	4.2	60
Yüzdesele fark	6	68.4	15.4	16	4.76

Çizelge 3.8’de görüldüğü üzere, gösterilen doğal sismik yalıtım sisteminin etkililiğinin anahtar göstergesi olan deprem ivmelerinde % 60 oranında azalmanın,

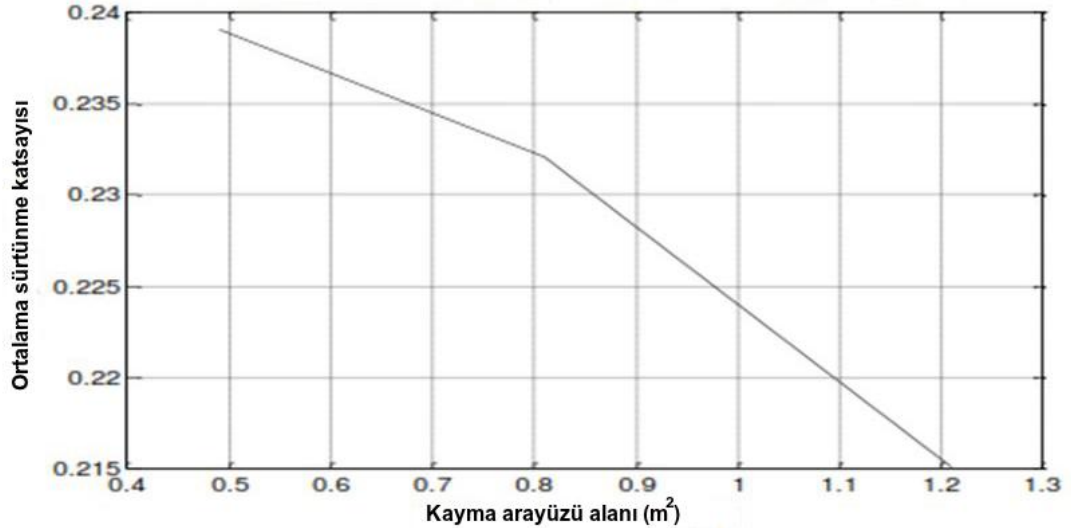
sarma masası deneylerinde bulunan azalma oranına (% 63) çok yakın olması hususu çok önemli ve dikkat çekicidir.

Bu çalışmalar, hem sunulmuş sürtünme arayüzü modellerinin (basamak ve sürtünme arayüzleri, depremin geri düzeltme kuvveti, sürtünme arayüzleri parametreleri) denenmesi, hem de sürtünme katsayısı parametrelerinin (μ_s , μ_d , d_c) bulunması için kullanılmıştır.

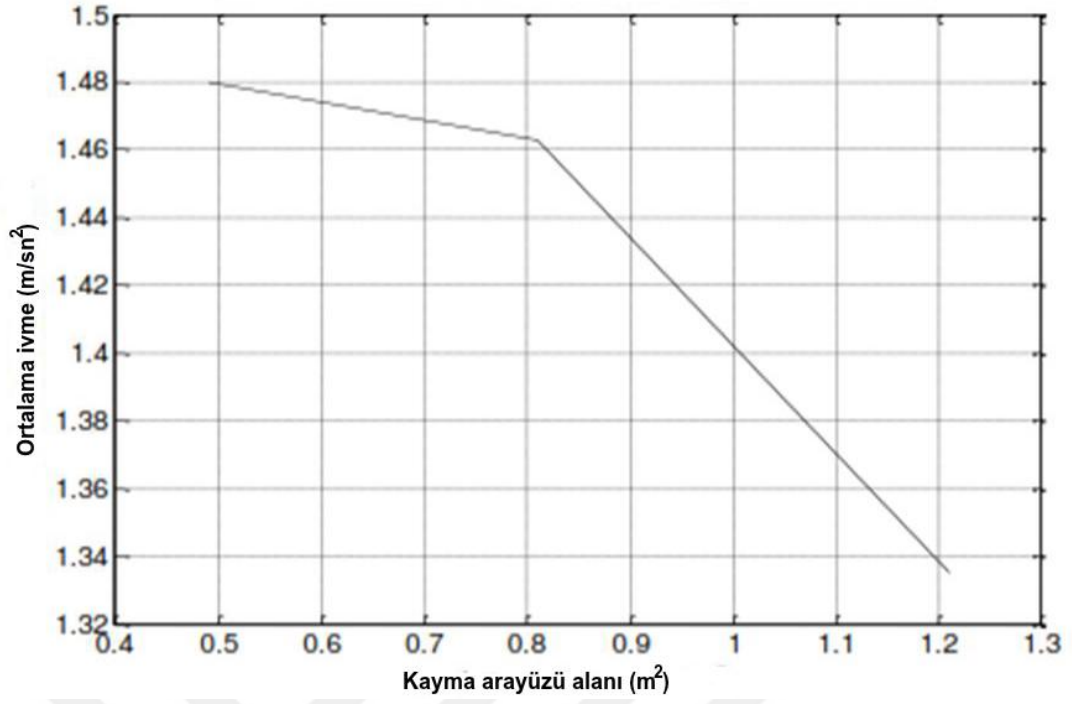
3.8. Coulomb Sürtünme Modelinde Sürtünme Arayüzü Alanı Etkisi

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi gerek klasik gerek geliştirilmiş Coulomb sürtünme modelinde sürtünme katsayısının sürtünme arayüzü alanı ile ilişkisi görünmemektedir. Ancak, kısıtlı sayıdaki çalışmalarda (Giancoli, 2004; Kärkima, 2013; KasıMZade vd, 2017) bu bağlantının mevcut olduğu ortaya çıkarılmıştır.

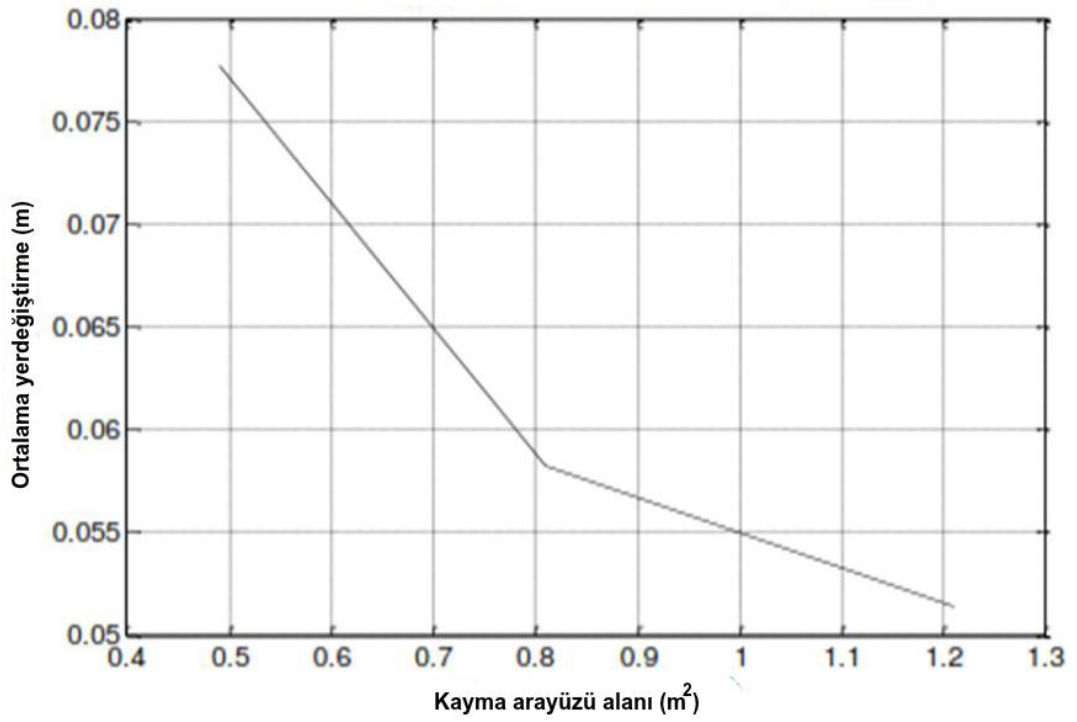
KasıMZade vd (2017) çalışmasına dayanarak, sürtünme katsayısı ile sürtünme arayüzü alanı arasında bağlantı kurularak uygulamalara yönelik abaklar oluşturulmuştur (Şekil 3.74, Şekil 3.75, Şekil 3.76, Şekil 3.77).



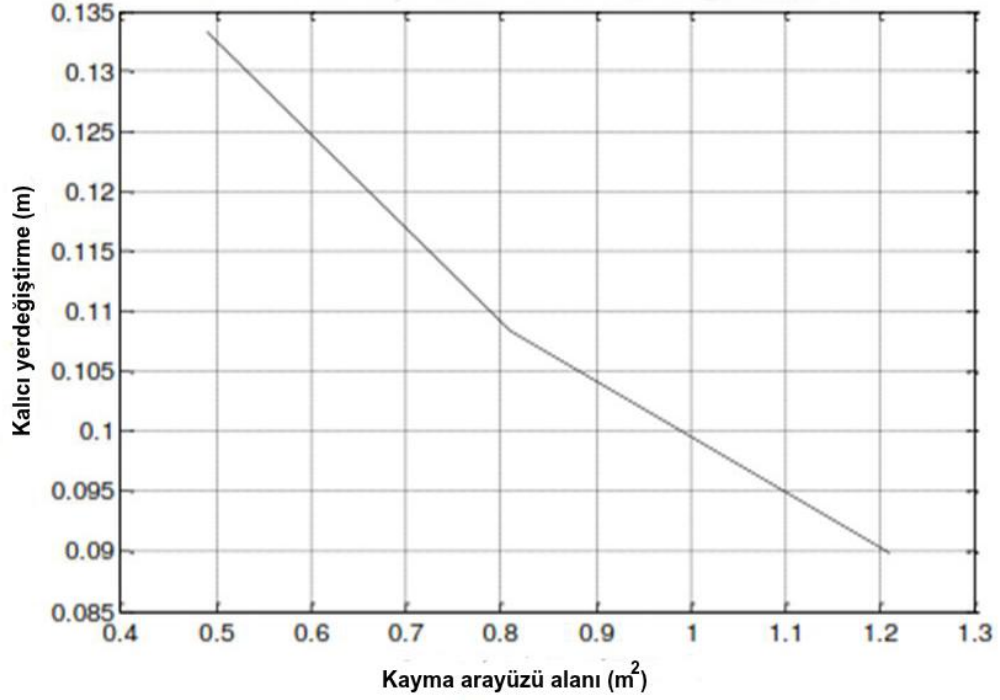
Şekil 3.74. Ortalama sürtünme katsayısının kayma arayüzü alanına bağılılığı



Şekil 3.75. Ortalama ivmenin kayma arayüzü alanına bağlılığı

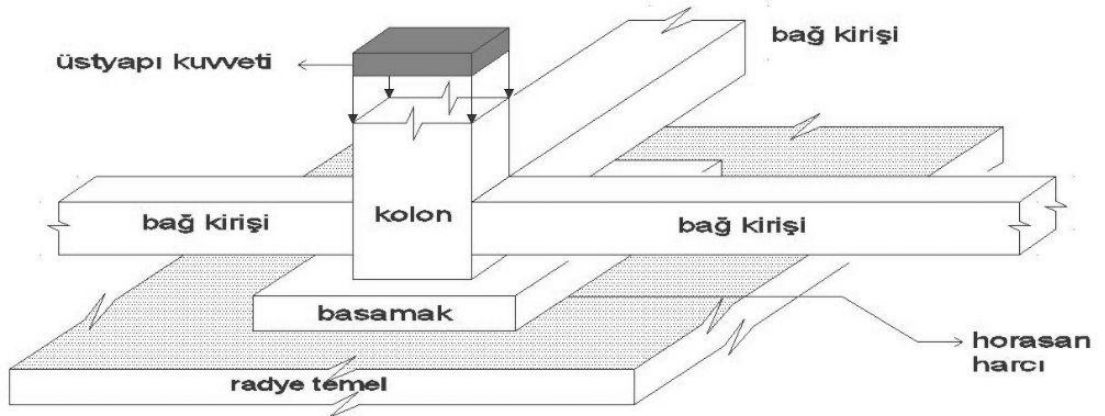


Şekil 3.76. Ortalama yerdeğiştirmenin kayma arayüzü alanına bağlılığı



Şekil 3.77. Kalıcı yerdeğiştirmenin kayma arayüzü alanına bağlılığı

Önceki bölümlerde yapılan çalışmalara (depremin geri düzeltme fenomeni, geliştirilmiş hıza dayalı Coulomb sürtünme modeli, sürtünme katsayısı parametrelerinin belirleme yöntemi ve Coulomb sürtünme modelinde sürtünme arayüzü etkisi) istinaden tek betonarme basamak ve Horasan harcından oluşan tek sürtünme arayüzlü sismik yalıtım sistemi modeli oluşturulmuştur (Şekil 3.78).



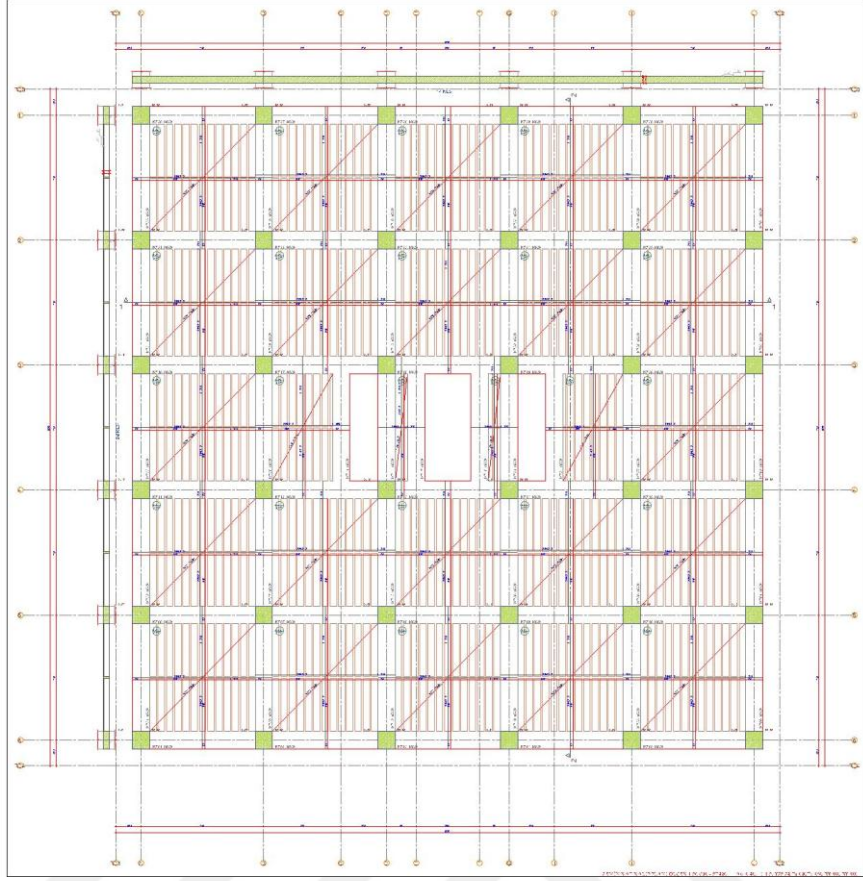
Şekil 3.78. Tek betonarme basamak ve Horasan harcından oluşan tek sürtünme arayüzlü sismik yalıtım sistemi

4. DOĞAL SİSMİK YALITIM SİSTEMİNİN DEVRİLME MOMENTİ OLMAYAN HAFİF YAPILARDA TASARIMI, UYGULAMASI VE PERFORMANSI

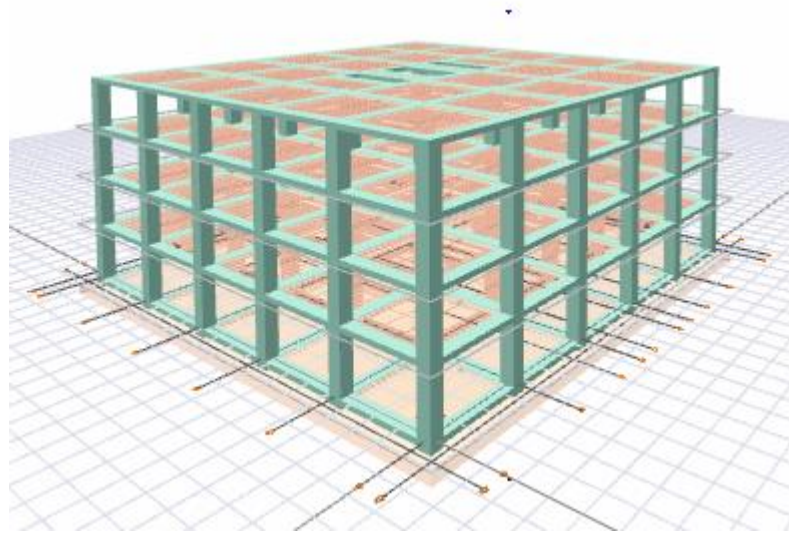
Önceki bölümde ortaya koyulmuş ve tasarım kuralları sunulmuş yeni doğđal sismik yalıtım sisteminin bina türlü yapılar da uygulamasına yönelik yapı tasarımı bu bölümde gösterilmiştir (Kasımzade vd, baskıda-b).

4.1. Doğđal Sismik Yalıtım Sistemi ile Yalıtılmış Örnek Yapının Önboyutlandırılması ve Tasarımı

Doğđal Sismik Yalıtım Sistemi (DSYS) modellenirken, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018) uygun olarak projelendirilmiş, hastane tipli (Özel Hastaneler Yönetmeliğine uygun (Özel Hastaneler Yönetmeliği, 2002)), devrilme momenti olmayan, 4 katlı betonarme bir yapı örnek olarak ele alınmıştır. Örnek olarak ele alınan 4 katlı yapı ve planı aşağıda gösterilmiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.2).



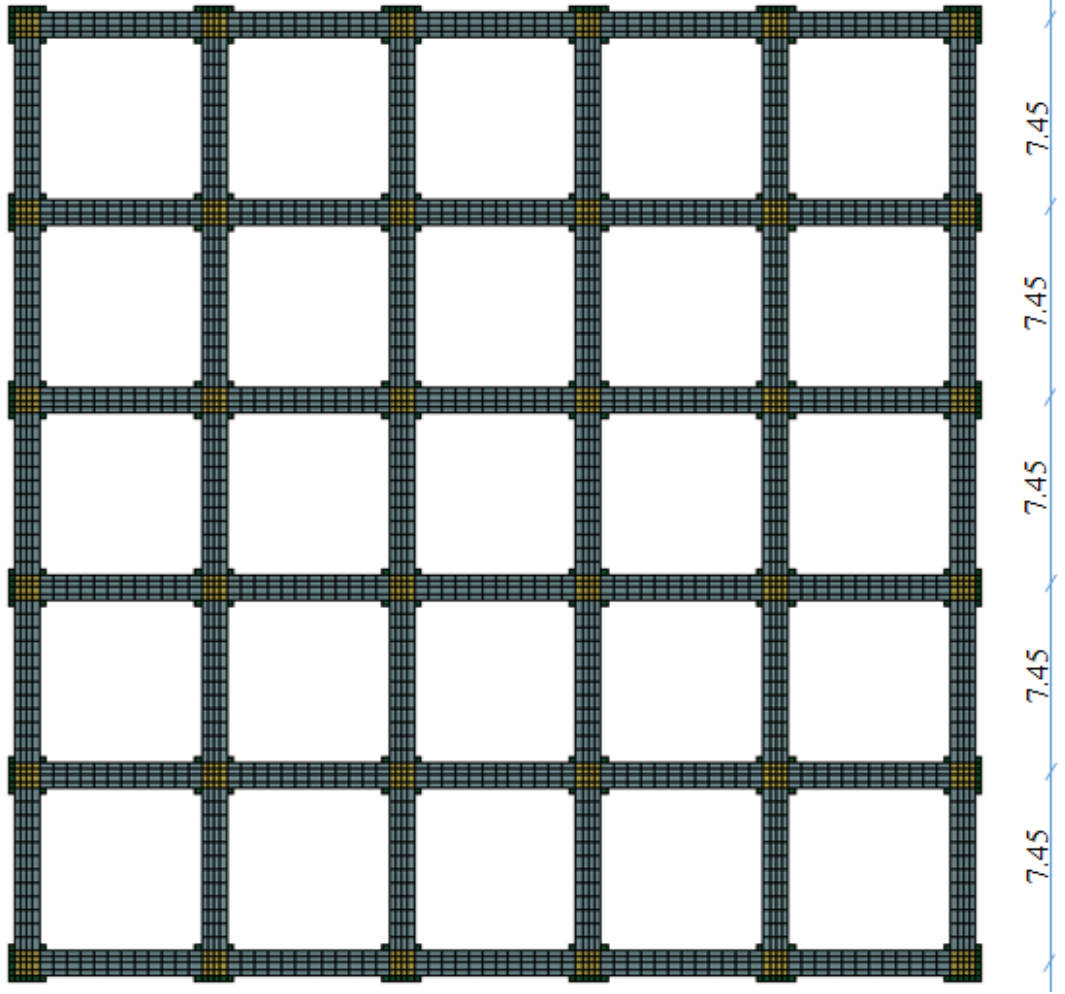
Şekil 4.1. Örnek 4 katlı yapı planı



Şekil 4.2. Örnek 4 katlı yapı

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'den anlaşılacağı üzere 4 katlı hastane tipli örnek yapı, 6 aks, 5 açıklıktan oluşmaktadır. Akstan aksa mesafe 7.45 m uzunluğundadır (Şekil 4.3). Yapıda her katta $105 \text{ cm} \times 105 \text{ cm}$ boyutlarında olmak üzere 36 adet kolon bulunmaktadır. Kirişler ve bağ kirişleri $105 \text{ cm} \times 39 \text{ cm}$ boyutlarındadır. Döşemeler

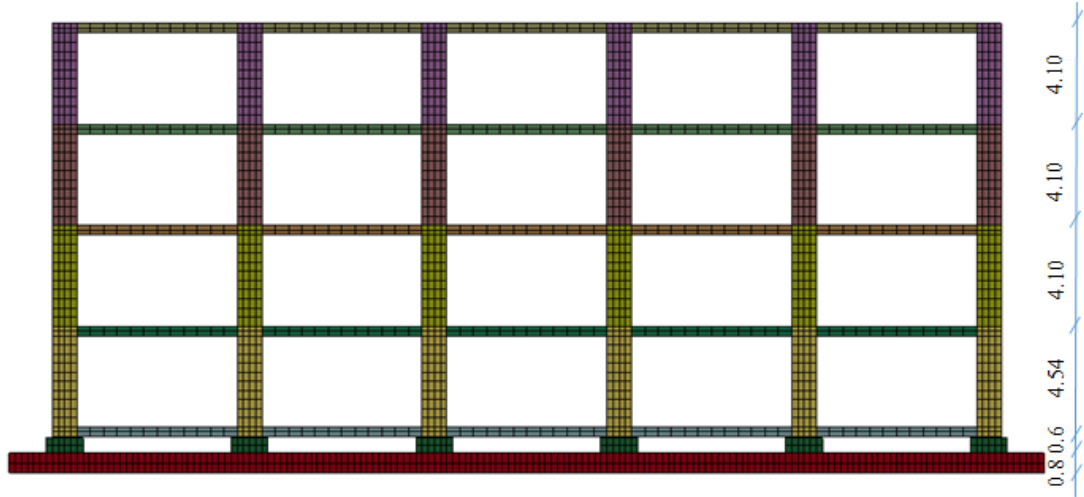
ise asmolen döşeme olup, dış yüksekliği 39 cm'dir. Kat yükseklikleri ise Çizelge 4.1'de ve Şekil 4.4'de belirtilmiştir.



Şekil 4.3. Örnek 4 katlı yapıda akstan aksa mesafeler

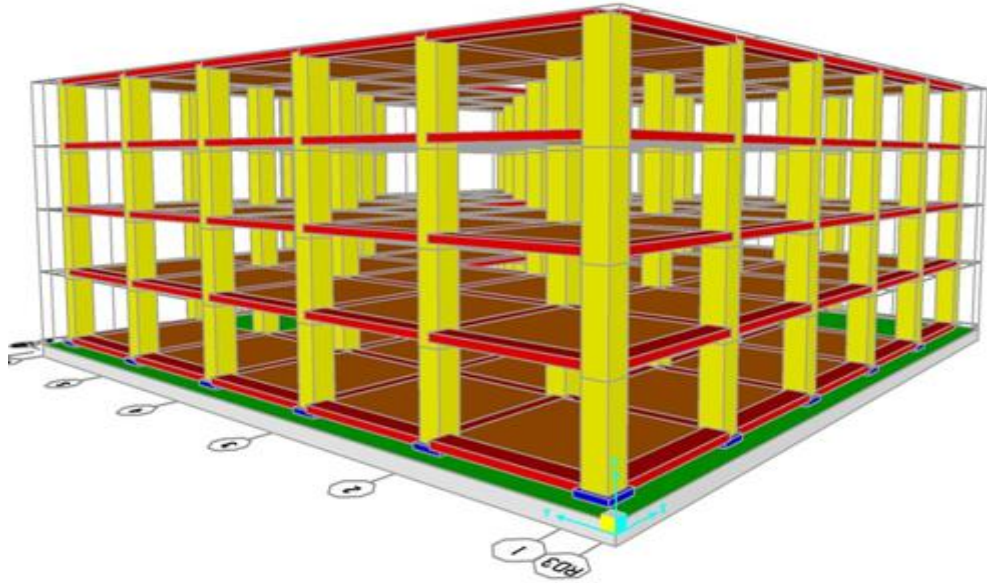
Çizelge 4.1. Kat yükseklikleri

Kat	Yükseklik (m)
Zemin Kat	4.54
1. Kat	4.1
2. Kat	4.1
3. Kat	4.1



Şekil 4.4. Örnek 4 katlı yapının kat yükseklikleri

Doğal sismik yalıtım sisteminin örnek olarak ele alınan yapı için boyutlandırılması 3. bölümdeki bilgilere dayanarak yapılmıştır. Bu tasarım sonuçlarına dayanarak zemin katta her kolon altına gelecek şekilde $150\text{ cm} \times 150\text{ cm} \times 60\text{ cm}$ boyutlarında (betonarme basamak boyutları Coulomb sürtünme modelinde sürtünme arayüzü etkisi çalışmasından elde edilmiştir) toplam 36 adet betonarme basamak konumlandırılmıştır. Betonarme basamakların altında ise 2 cm kalınlığında sürtünme arayüzü - Horasan harcı konumlandırılmıştır. Horasan harcının altında ise $4300\text{ cm} \times 4300\text{ cm} \times 80\text{ cm}$ boyutlarında radye temel tasarlanmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Örnek yapının sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş Horasan harcı (yeşil), betonarme basamaklar (mavi), kolonlar (sarı), kirişler ve bağ kirişleri (kırmızı) modeli

Betonarme, asmolen döşeme ve Horasan harcına ait parametreler Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Betonarme ve asmolen döşeme malzeme parametreleri

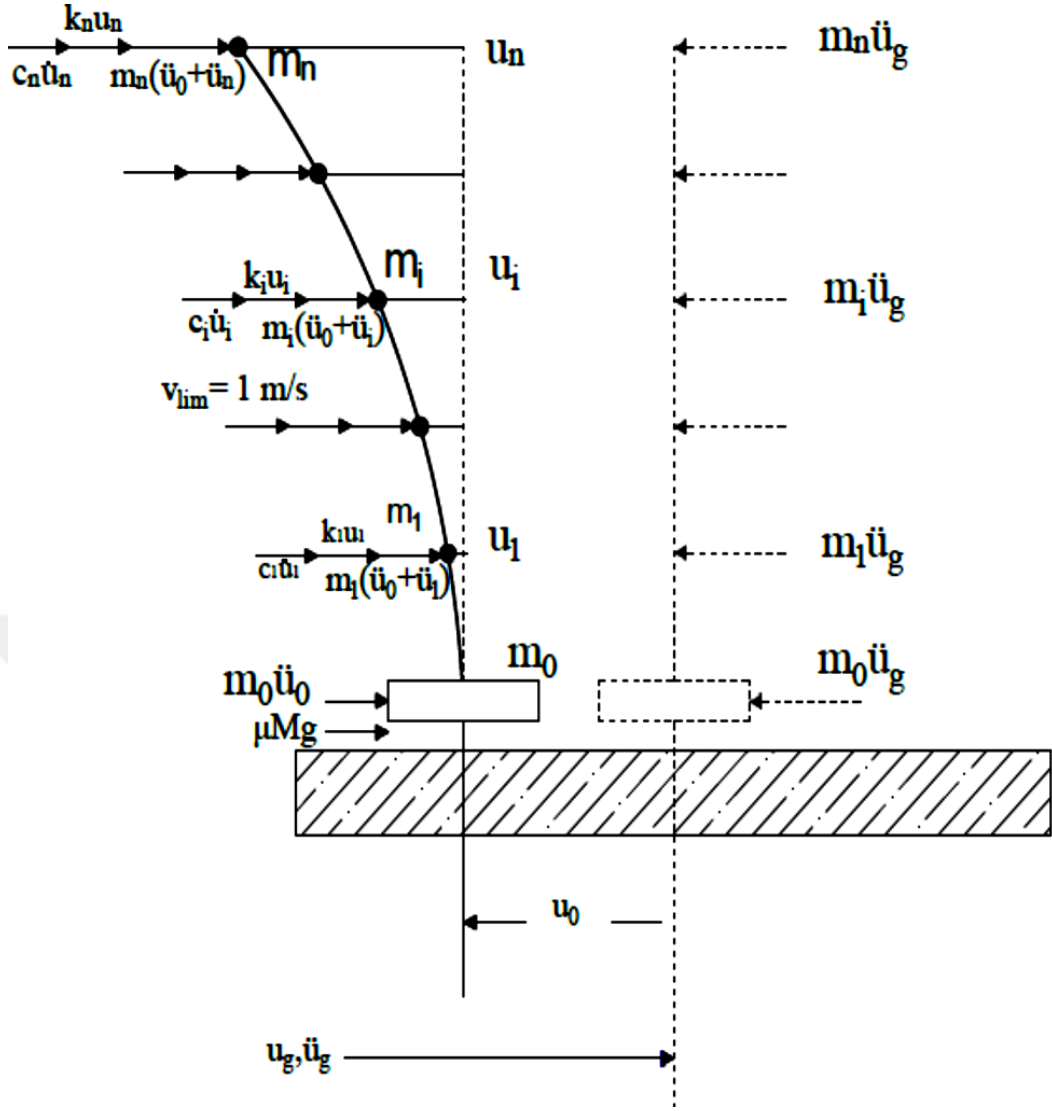
Malzeme	Betonarme	Asmolen döşeme
	C30 Beton + % 1 donatı oranı (S420)	
Elastisite Modülü (N/m^2)	3.8×10^{10}	3.8×10^{10}
Poisson Oranı	0.25	0.25
Yoğunluk (kg/m^3)	2400	975
Basınç Dayanımı (N/m^2)	0.3×10^8	0.3×10^8
Çekme Dayanımı (N/m^2)	0.19×10^7	0.19×10^7
Kayma Modülü (N/m^2)	1.52×10^{10}	1.52×10^{10}

Çizelge 4.3. Horasan harcının fiziksel ve mekanik özellikleri (Kasımzade vd, 2019b)

Horasan Harcı	
Elastisite Modülü (N/m^2)	3.89×10^9
Poisson Oranı	0.167
Yoğunluk (kg/m^3)	1334.2
Basınç Dayanımı (N/m^2)	0.49×10^7
Çekme Dayanımı (N/m^2)	1.71×10^6
Kesme Dayanımı (N/m^2)	0.275×10^7
Akma Dayanımı (N/m^2)	2.745×10^6
Tang Modu (N/m^2)	0.235×10^9

4.2. Doğal Sismik Yalıtım Sistemi ile Yalıtılmış Yapının Matematik Modeli

Önceki bölümlerde yapılan çalışmalara dayalı (Kasımzade vd, 2019b) olarak sürtünme arayüzü yalıtımlı n katlı yapının matematik modeli aşağıdaki şekilde ifade edilir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. n katlı yapının matematik modeli

$$F \mu = \mu N = \mu Mg \quad (4.1)$$

$$M = m_0 + m_{ss} \quad (4.2)$$

$$m_{ss} = \sum_{i=1,n} m_i \quad (4.3)$$

Kayma aşaması (4.4) no'lu denklemde gösterilmiştir.

$$\left| \frac{m_0}{M} (\ddot{u}_g - u_0) + \frac{c_i \dot{u}_1 + k_1 u_1}{M} \right| \geq \mu g \quad (4.4)$$

Hareket denklemi, diferansiyel denklem takımı ile (4.5) ve (4.6) no'lu denklemler ile gösterilebilir.

$$m_0\ddot{u}_0 + \mu Mg \operatorname{sgn}(\dot{u}_0) - c_1\dot{u}_1 - k_1u_1 = m_0\ddot{u}_g \quad (4.5)$$

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = \left[\frac{\mu Mg}{m_0} \operatorname{sgn}(\dot{u}_0) - \frac{c_1\dot{u}_1 + k_1u_1}{m_0} \right] [m]\{1\} \quad (4.6)$$

Aksi takdirde, (4.4) no'lu denklem koşulunun sağlanmadığı durumda, hareket denklemi (4.7) no'lu denklemdeki gibi ifade edilir.

$$[m]\{\ddot{u}\} + [c]\{\dot{u}\} + [k]\{u\} = +\ddot{u}_g [m]\{1\} \quad (4.7)$$

sgn tanımı (4.8) no'lu denklem takımı ile ifade edilir.

$$\text{eğer } |\dot{u}_0| = 0$$

$$\operatorname{sgn} = \frac{1}{\mu g} \left[\frac{m_0}{M} (\ddot{u}_g - \ddot{u}_0) + \frac{c_1\dot{u}_1 + k_1u_1}{M} \right]$$

$$\text{değilse, eğer } u_0 > 0 \quad (4.8)$$

$$\operatorname{sgn} = +1$$

$$\text{değilse}$$

$$\operatorname{sgn} = -1$$

Burada, $[m]$ kütle matrisi, $[c]$ sönüm matrisi, $[k]$ rijitlik matrisidir.

(4.5) ve (4.6) no'lu denklem takımları yüksek dereceden lineer olmayan denklemlerdir. Bu denklemler sonlu elemanlar yöntemi temelinde oluşturularak (Kasımzade, 2018b) ve Runge-Kutta yöntemi ile MATLAB araçları (MathWorks, 2017) kullanılarak incelenmiştir.

Hazırlanan modele ait kütle, sönüm ve rijitlik matrisleri aşağıda gösterilmiştir.

$$m_{\text{zemin}} = 0.7877775 \times 10^6 \text{ kg} \quad (4.9)$$

$$[m] = \begin{bmatrix} 1.2085 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.1982 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.1982 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.9547 \end{bmatrix} \times 10^6 \text{ kg} \quad (4.10)$$

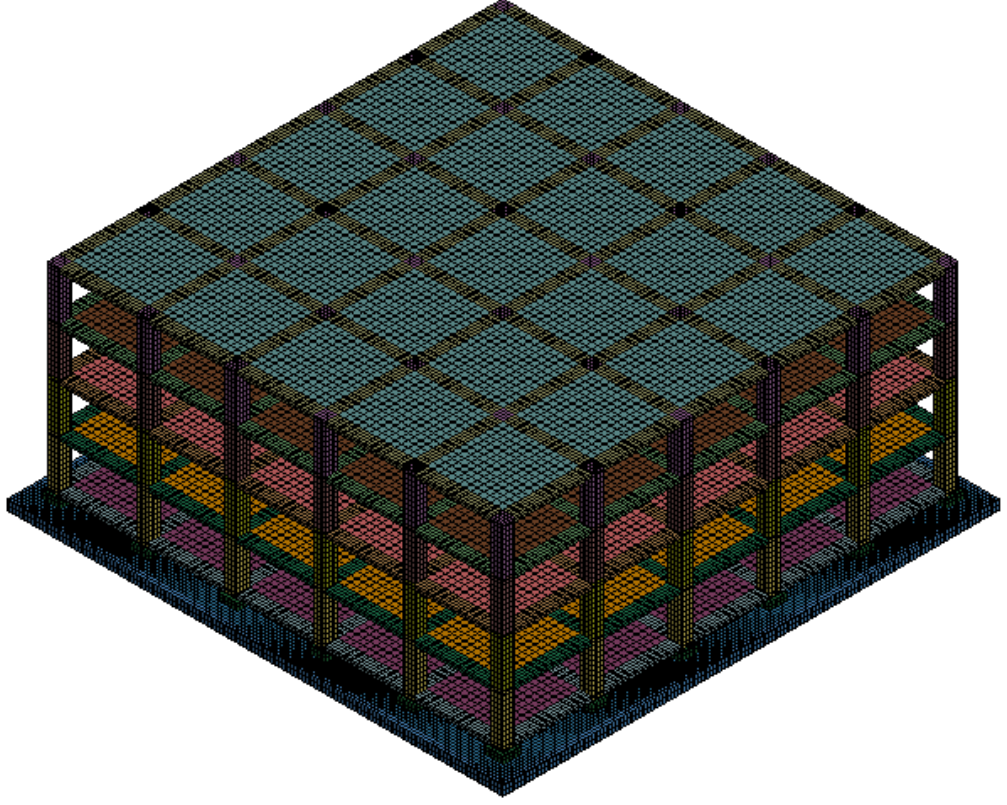
$$[k] = \begin{bmatrix} 3.7440 & -2.1600 & 0 & 0 \\ -2.1600 & 4.3200 & -2.1600 & 0 \\ 0 & -2.1600 & 4.3200 & -2.1600 \\ 0 & 0 & -2.1600 & 2.1600 \end{bmatrix} \times 10^{10} \text{ N/m} \quad (4.11)$$

$$[c] = \begin{bmatrix} 2.0148 & -0.6638 & -0.1298 & -0.0565 \\ -0.6638 & 2.0546 & -0.6981 & -0.1559 \\ -0.1298 & -0.6981 & 1.9876 & -0.7583 \\ -0.0565 & -0.1559 & -0.7583 & 1.2578 \end{bmatrix} \times 10^7 \text{ Nsn/m} \quad (4.12)$$

4.3. Örnek Yapının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Modellenmesi

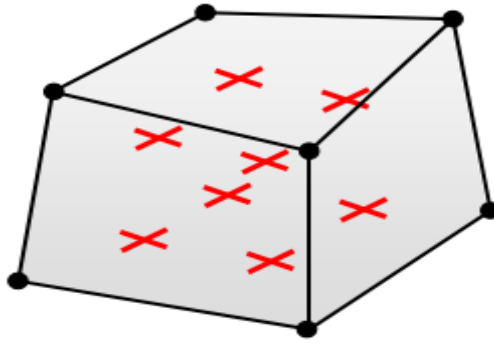
Yapının sayısal modellemesi ve analizi LS-DYNA yazılımı (Livermore Software Technology Corporation, 2016) ile sonlu elemanlar metodu (Kasımzade, 2018b) temelinde gerçekleştirilmiştir. LS-DYNA yazılımının temeli 1976 yılında Livermore Software Technology Corporation şirketi tarafından atılmıştır. Yazılımda her türlü dinamik ve statik analiz gerçekleştirilmesi mümkündür, ancak isminden de belli olduğu gibi bu program özellikle dinamik analizler için çok kullanışlıdır. Yazılım genel olarak explicit zaman entegrasyonu temelinde analiz yapmakta olup, sadece hızlı bilgisayarlarda analiz gerçekleştirilebilmektedir.

Yapının sonlu elemanlar ağ (mesh) yapısı LS-DYNA yazılımında gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Örnek 4 katlı yapının sonlu elemanlar ağ modeli

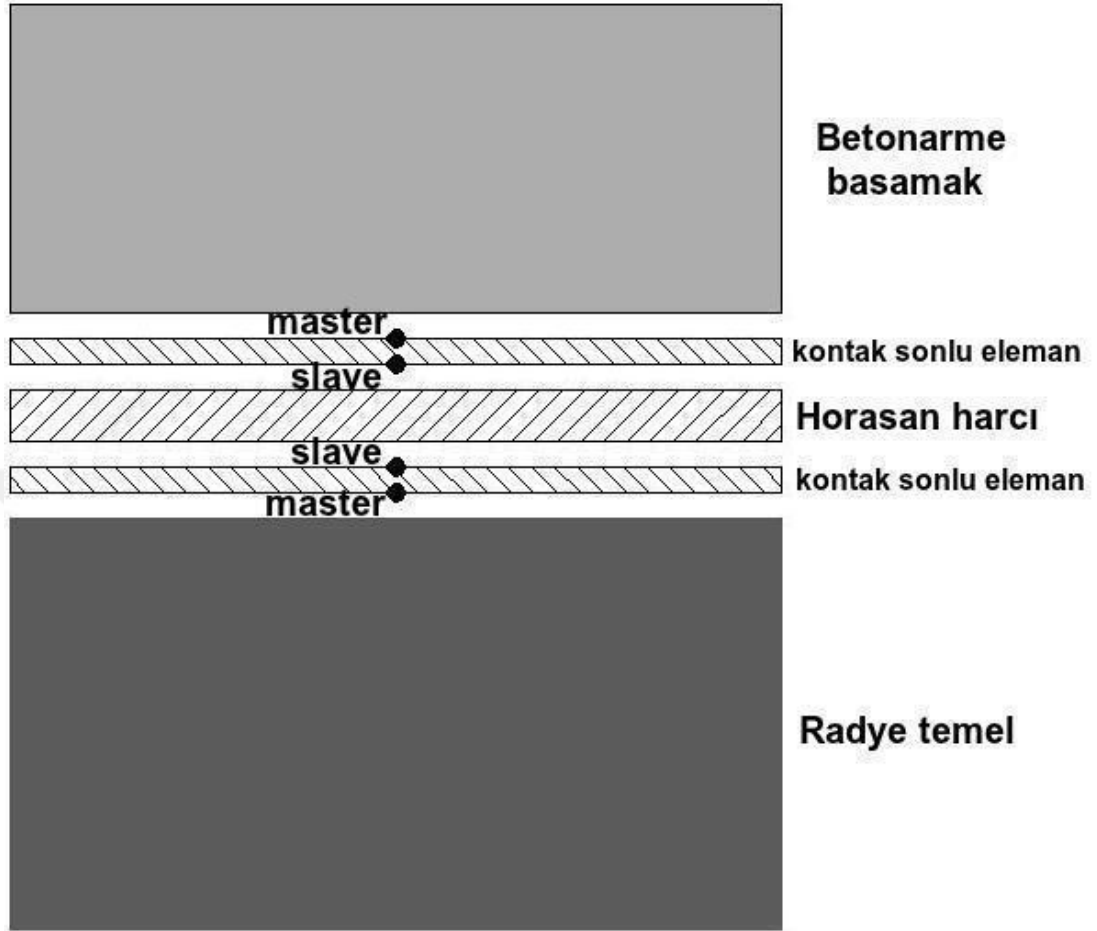
Modelde ağ yapısı oluşturulan radye temel, Horasan harcı, betonarme basamaklar, kolonlar, kirişler ve döşemeler, 8 düğümlü ve 24 serbestlik dereceli (Şekil 4.8) ELEMENT_SOLID sonlu eleman türü ile modellenerek tüm sistemin solid modeli oluşturulmuştur.



Şekil 4.8. Solid sonlu eleman türü

Modelde, radye temel - Horasan harcı ve Horasan harcı - betonarme basamaklar arasındaki kontak (sürtünme arayüzü) modellemesinde LS-DYNA yazılımında mevcut olarak bulunan toplam 7 kontak sonlu eleman türünden

CONTACT_AUTOMATIC_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE kontak sonlu eleman türü seçilmiştir (Şekil 4.9).



Şekil 4.9. Radye temel, betonarme basamak, Horasan harcı, sürtünme arayüzü etkileşimi sonlu elemanlar modellemesi

Yazılımda sürtünme etkileşimi, hız ve ivmeye dayalı olarak modelleme formülasyonları ile sunulmuştur. Sunulan modellemede, önceki bölümlerde (3.4. Geliştirilmiş Coulomb Sürtünme Modeli, 3.5. Geliştirilmiş Coulomb Sürtünme Modeli Parametrelerinin Belirlenmesi (Newton Yavaşlama Yöntemi - Newton Slowdown Method)) yapılan çalışmalara ve hız dayalı formülasyona istinaden $\mu_s = 0.37$, $\mu_d = 0.26$, $d_c = 11$ olarak alınmıştır (Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12).

Keyword Input Form (Subsys: 1 Pure_Friction_45_10.k)

*CONTACT_AUTOMATIC_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE_(ID/TITLE/MPP)_(THERMAL) (2)

3	UNUSED	CHKSEGS	PENSP	GRPABLE			
		0	1.0	0			
4	SSID	MSID	SSTYP	MSTYP	SBOXID	MBOXID	SPR
	2	1	0	0	0	0	0
5	ES	FD	DC	VC	VDC	PENCHK	BT
	0.3700000	0.2600000	11.000000	0.0	0.0	0	0.0
6	SFS	SFM	SST	MST	SFST	SFMT	SFE
	1.0000000	1.0000000	0.0	0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000
<input type="checkbox"/> Thermal <input type="checkbox"/> T_Friction <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> AB <input type="checkbox"/> ABC <input type="checkbox"/> ABCD <input type="checkbox"/> ABCD							
7	CF	FRAD	HTC	GCRIT	GMAX	CD_FACT	BC_FLG
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							

Total Card: 2 Smallest ID: 1 Largest ID: 2 Total deleted card: 0

Şekil 4.10. Radye temel - Horasan harcı arası kontak modelinde kullanılan parametreler

Keyword Input Form (Subsys: 1 Pure_Friction_45_10.k)

*CONTACT_AUTOMATIC_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE_(ID/TITLE/MPP)_(THERMAL) (2)

3	UNUSED	CHKSEGS	PENSP	GRPABLE			
		0	1.0	0			
4	SSID	MSID	SSTYP	MSTYP	SBOXID	MBOXID	SPR
	3	4	0	0	0	0	0
5	ES	FD	DC	VC	VDC	PENCHK	BT
	0.3700000	0.2600000	11.000000	0.0	0.0	0	0.0
6	SFS	SFM	SST	MST	SFST	SFMT	SFE
	1.0000000	1.0000000	0.0	0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000
<input type="checkbox"/> Thermal <input type="checkbox"/> T_Friction <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> AB <input type="checkbox"/> ABC <input type="checkbox"/> ABCD <input type="checkbox"/> ABCD							
7	CF	FRAD	HTC	GCRIT	GMAX	CD_FACT	BC_FLG
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							

Total Card: 2 Smallest ID: 1 Largest ID: 2 Total deleted card: 0

Şekil 4.11. Radye temel - Horasan harcı arası kontak modelinde kullanılan parametreler

Keyword Input Form (Subsys: 1 Pure_Friction_45_10.k)

*CONTACT_AUTOMATIC_ONE_WAY_SURFACE_TO_SURFACE_(ID/TITLE/MPP)_(THERMAL) (2)

3	UNUSED	CHKSEGS	PENSP	GRPABLE			
		0	1.0	0			
4	SSID	MSID	SSTYP	MSTYP	SBOXID	MBOXID	SPR
	3	4	0	0	0	0	0
5	ES	FD	DC	VC	VDC	PENCHK	BT
	0.3700000	0.2600000	11.000000	0.0	0.0	0	0.0
6	SFS	SFM	SST	MST	SFST	SFMT	SFE
	1.0000000	1.0000000	0.0	0.0	1.0000000	1.0000000	1.0000000
<input type="checkbox"/> Thermal <input type="checkbox"/> T_Friction <input type="checkbox"/> A <input type="checkbox"/> AB <input type="checkbox"/> ABC <input type="checkbox"/> ABCD <input type="checkbox"/> ABCD							
7	CF	FRAD	HTC	GCRIT	GMAX	CD_FACT	BC_FLG
<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							

Total Card: 2 Smallest ID: 1 Largest ID: 2 Total deleted card: 0

Şekil 4.12. Horasan harcı - betonarme basamaklar arası kontak modelinde kullanılan parametreler

Modelde kullanılacak malzeme parametrelerinin veri girişlerinde betonarme olarak modellenen kolonlar, kirişler ve döşemeler için MAT_ELASTIC malzeme türü, Horasan harcı için MAT_PLASTIC_KINEMATIC malzeme türü ve radye temel, betonarme basamaklar için MAT_RIGID malzeme türü kullanılmıştır (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15, Şekil 4.16).

Keyword Input Form

MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done

Use *Parameter (Subsys: 1 Pure_Friction_4S_10.k) Setting

*MAT_ELASTIC_(TITLE) (001) (2)

TITLE
RCC

1	MID	RO	E	PR	DA	DB	NOT_USED
	1	2400.0000	3.800e+010	0.2500000	0.0	0.0	0

COMMENT:

Total Card: 2 Smallest ID: 1 Largest ID: 3 Total deleted card: 0

Şekil 4.13. Betonarme kolonlar ve kirişler için kullanılan malzeme parametreleri

Keyword Input Form

MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done

Use *Parameter (Subsys: 1 Pure_Friction_4S_10.k) Setting

*MAT_ELASTIC_(TITLE) (001) (2)

TITLE
RCC Slabs

1	MID	RO	E	PR	DA	DB	NOT_USED
	3	975.00000	3.800e+010	0.2500000	0.0	0.0	0

COMMENT:

Total Card: 2 Smallest ID: 1 Largest ID: 3 Total deleted card: 0

Şekil 4.14. Betonarme döşemeler (asmolen) için kullanılan malzeme parametreleri

Keyword Input Form

MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done 2 Harc

Use *Parameter (Subsys: 1 Pure_Friction_45_10.k) Setting

*MAT_PLASTIC_KINEMATIC_(TITLE) (003) (1)

TITLE
Harc

1	MID	RO	E	PR	SIGY	ETAN	BETA
2		1334.2000	3.890e+009	0.1670000	2.745e+006	2.350e+008	0.0

2	SRC	SRP	FS	VP
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

COMMENT:

Total Card: 1 Smallest ID: 2 Largest ID: 2 Total deleted card: 0

Şekil 4.15. Horasan harcı için kullanılan malzeme parametreleri

Keyword Input Form

MatDB RefBy Pick Add Accept Delete Default Done 4 Rigid

Use *Parameter (Subsys: 1 Pure_Friction_45_10.k) Setting

*MAT_RIGID_(TITLE) (020) (1)

TITLE
Rigid

1	MID	RO	E	PR	N	COUPLE	M	ALIAS
4		2400.0000	3.800e+010	0.2500000	0.0	0	0.0	

2	CMO	CON1	CON2
0.0	0	0	0

3	LCO OR A1	A2	A3	V1	V2	V3
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

COMMENT:

Total Card: 1 Smallest ID: 4 Largest ID: 4 Total deleted card: 0

Şekil 4.16. Radye temel ve betonarme basamaklar için kullanılan malzeme parametreleri

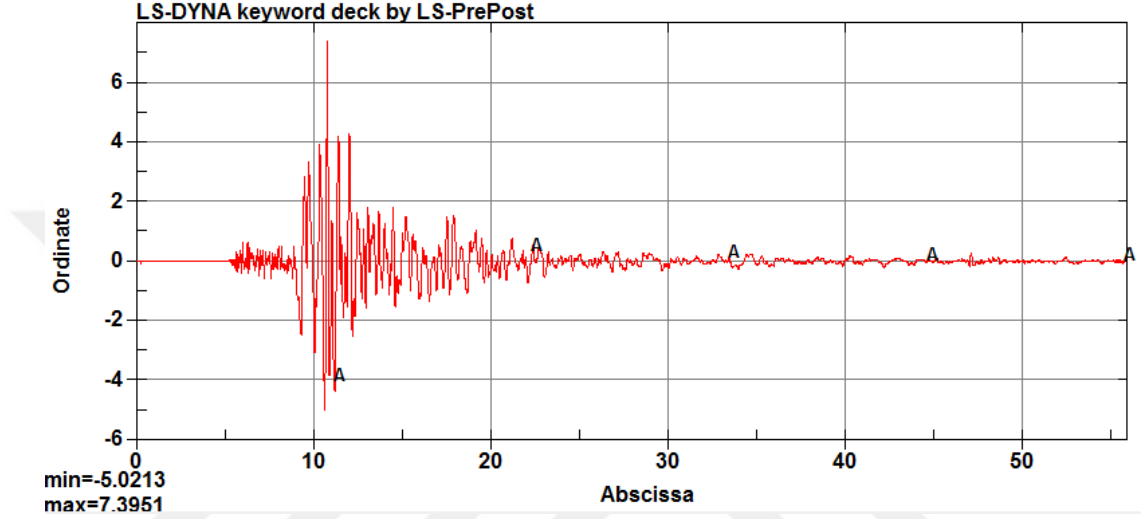
4.4. Örnek Yapının Sonlu Elemanlar Modelinin Deprem Etkilerinde İncelenmesi ve Tepkilerinin Değerlendirilmesi

Modelin deprem etkisinde analizi için Düzce depremi (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2017) ve Kobe depremi (Pasific Earthquake Engineering Research Center, 2018) kullanılmıştır.

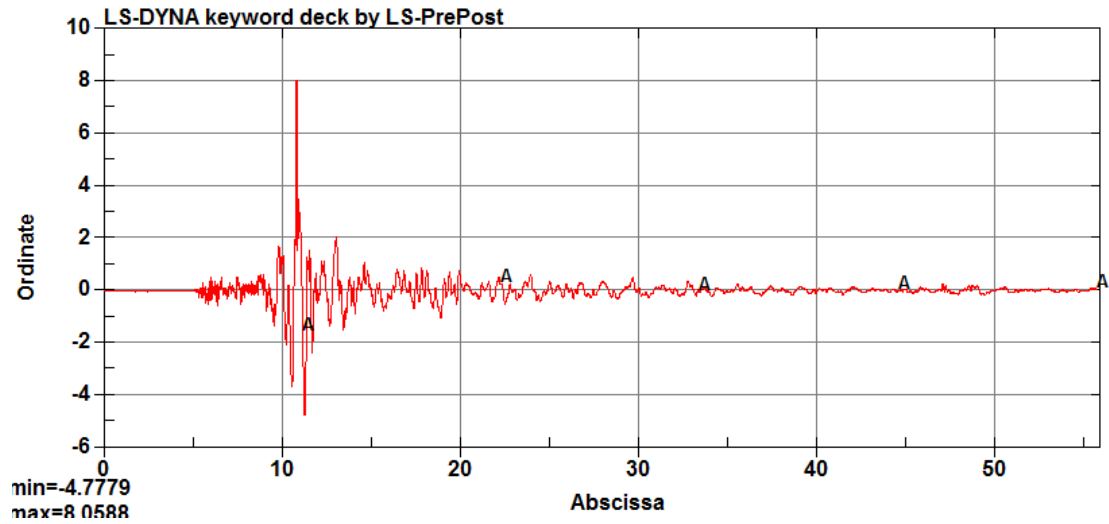
Deprem veri kayıtları, ilgili yazılımlara tanımlanmadan önce işlenmektedirler. Bununla ilgili olarak deprem veri kayıtlarının işlenmesi amacıyla deprem ve inşaat mühendisliği alanlarında yaygın olarak kullanılan Seismosoft firmasının SeismoSignal yazılımı (Seismosoft, 2019) kullanılmıştır. Bu amaçla, Düzce depremi ve Kobe depreminin x ve y doğrultusundaki verileri SeismoSignal yazılımı ile filtrelenmiştir.

4.4.1. Örnek yapının sonlu elemanlar modelinin Düzce depremi etkisinde incelenmesi ve tepkilerinin değerlendirilmesi

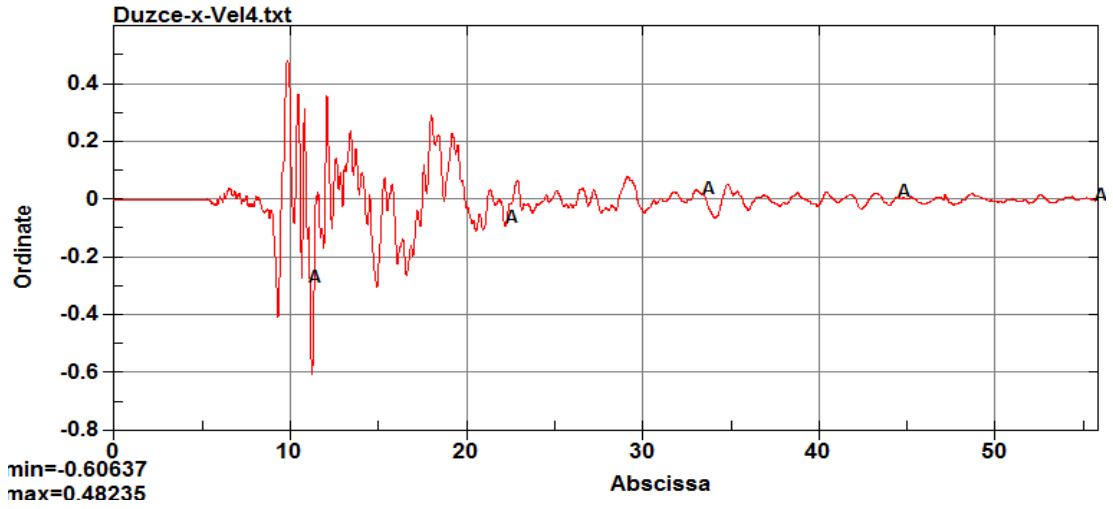
Düzce depreminin etki süresi 55.88 sn'dir. Düzce depremine ait X ve Y doğrultularındaki ivme-zaman grafiği, hız-zaman grafiği ve yerdeğiştirme-zaman grafiği Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir.



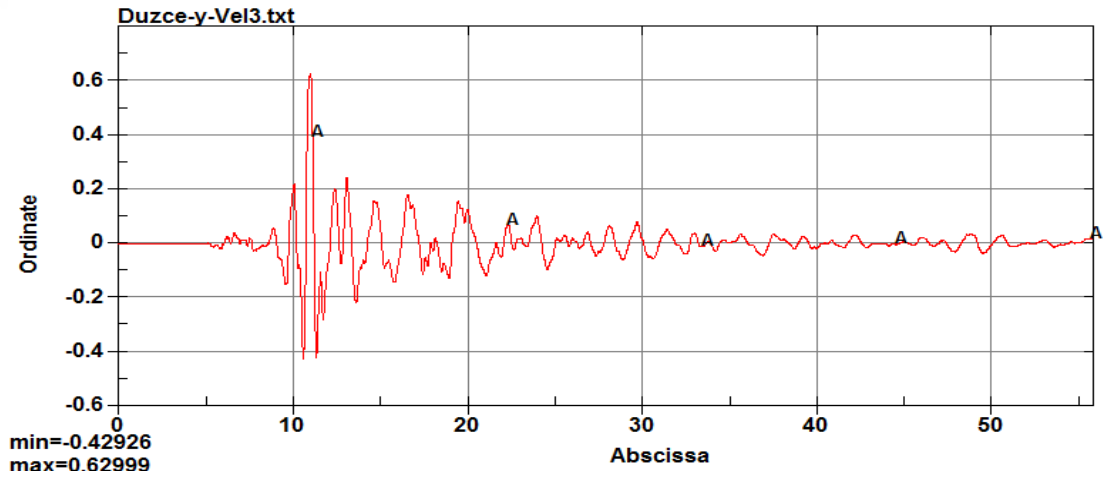
Şekil 4.17. Düzce depreminin X doğrultusundaki ivme - zaman grafiği (zaman sn , ivme m/sn^2 birimindedir.)



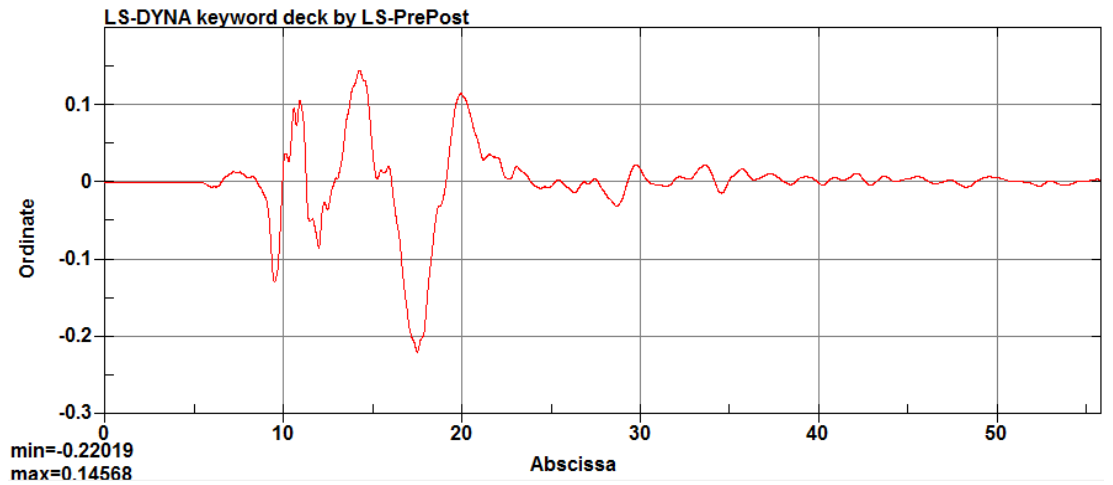
Şekil 4.18. Düzce depreminin Y doğrultusundaki ivme - zaman grafiği (zaman sn , ivme m/sn^2 birimindedir.)



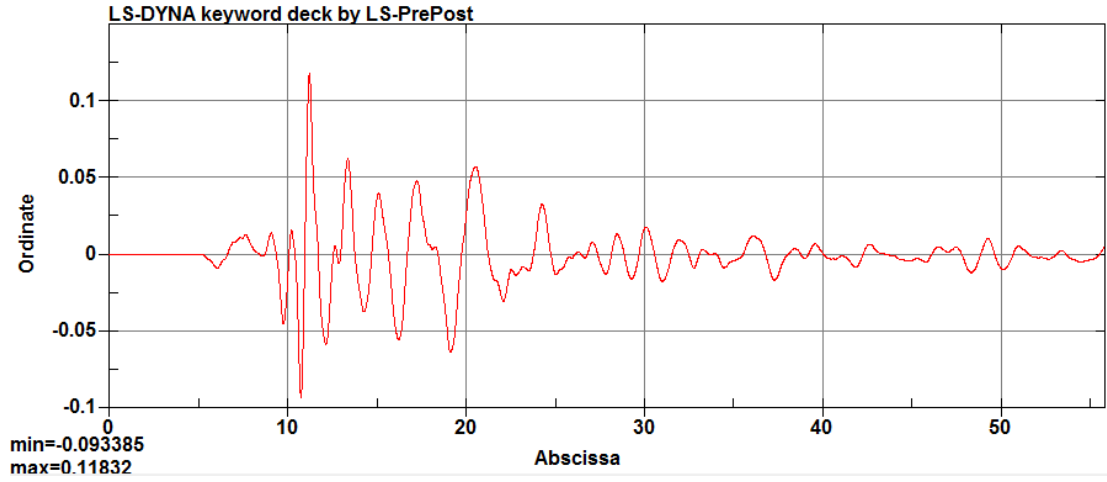
Şekil 4.19. Düzce depreminin X doğrultusundaki hız - zaman grafiği (zaman sn , hız m/sn birimindedir.)



Şekil 4.20. Düzce depreminin Y doğrultusundaki hız - zaman grafiği (zaman sn , hız m/sn birimindedir.)



Şekil 4.21. Düzce depreminin X doğrultusundaki yerdeğiştirme - zaman grafiği (zaman sn , yerdeğiştirme m birimindedir.)



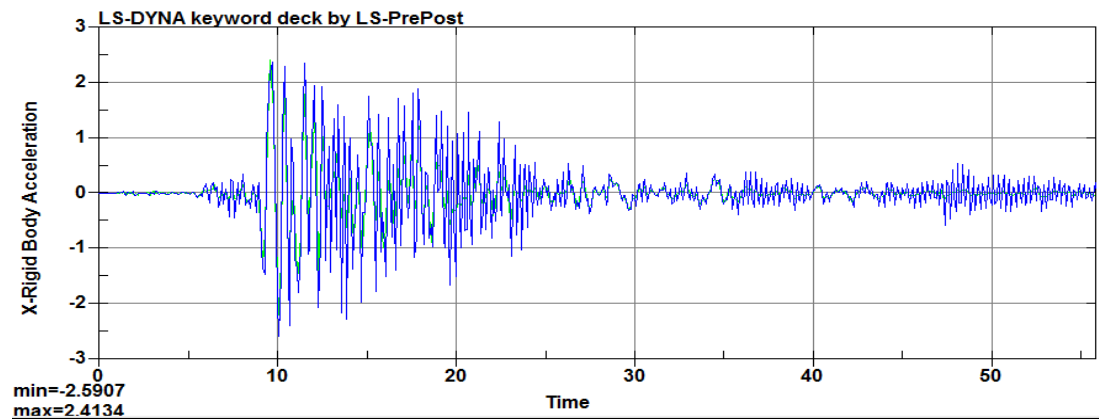
Şekil 4.22. Düzce depreminin Y doğrultusundaki yerdeğiştirme - zaman grafiği (zaman sn , yerdeğiştirme m birimindedir.)

LS-DYNA yazılımına tanıtılan Düzce depremi yerdeğiştirme etkisi $0.01 sn$ aralıklar ile uygulanmıştır.

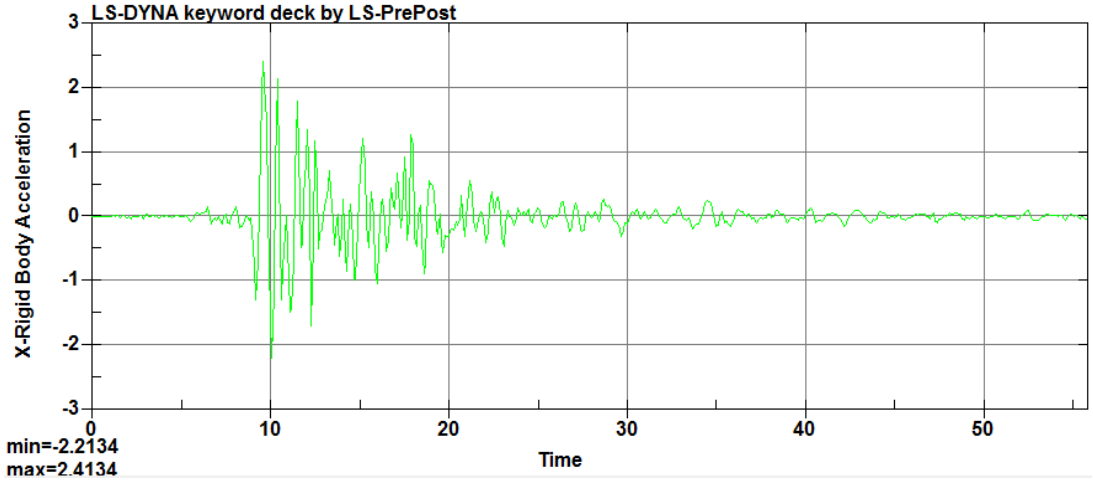
Hazırlanan sonlu elemanlar modelinde 180112 sonlu eleman ve 286200 düğüm bulunmaktadır.

Örnek yapının hazırlanan sonlu elemanlar modelinin Düzce depremi etkisindeki analizi Intel Core i7 4930K @ 3.40 GHz, 2x16 GB RAM @ 1600 MHz, Windows 10 Education 64 bit özelliklere sahip bilgisayarda yapılmıştır.

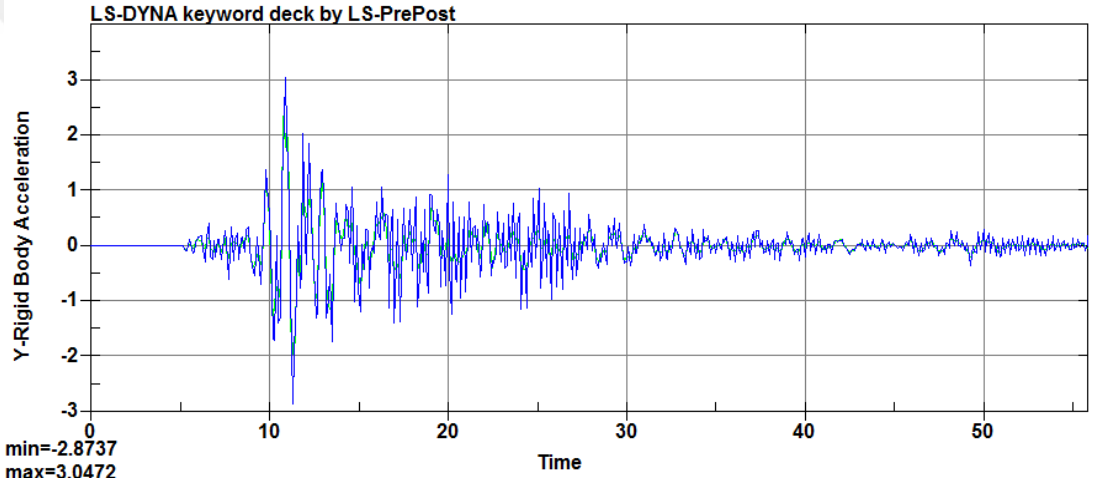
Düzce depremi etkisindeki modelin analiz sonuçları Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25, Şekil 4.26, Şekil 4.27, Şekil 4.28, Şekil 4.29, Şekil 4.30, Şekil 4.31, Şekil 4.32, Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6, Çizelge 4.7, Çizelge 4.8, Çizelge 4.9'da sunulmuştur.



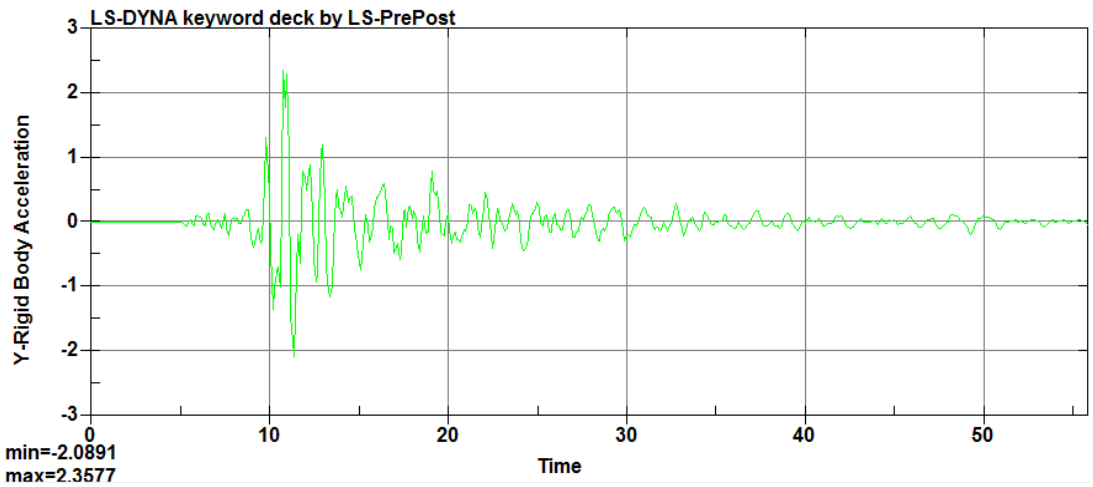
Şekil 4.23. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen ivme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)



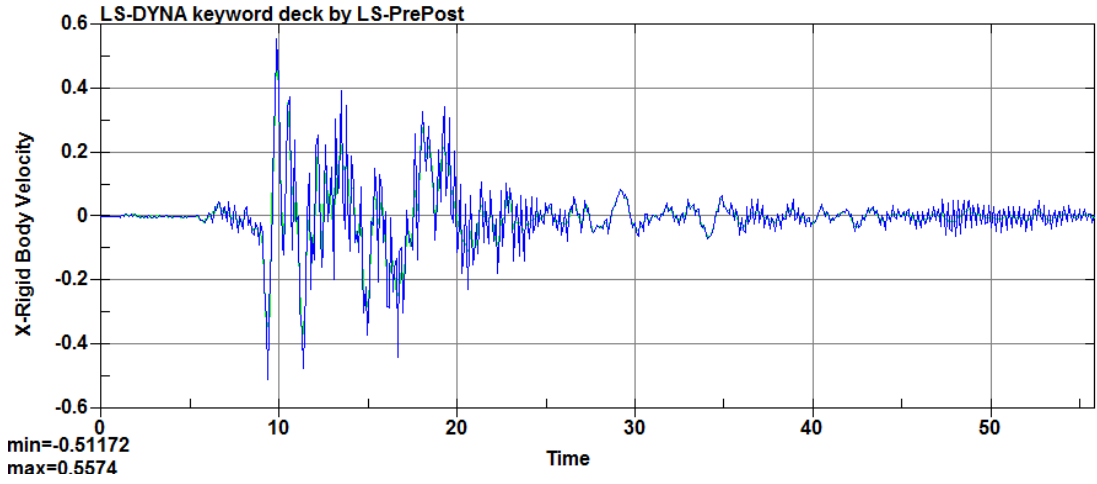
Şekil 4.24. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği



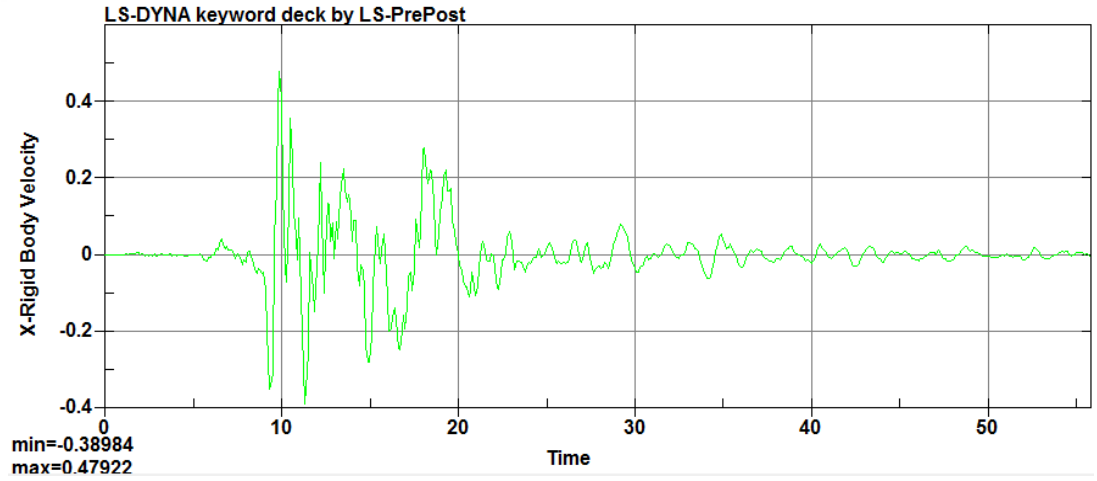
Şekil 4.25. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen ivme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)



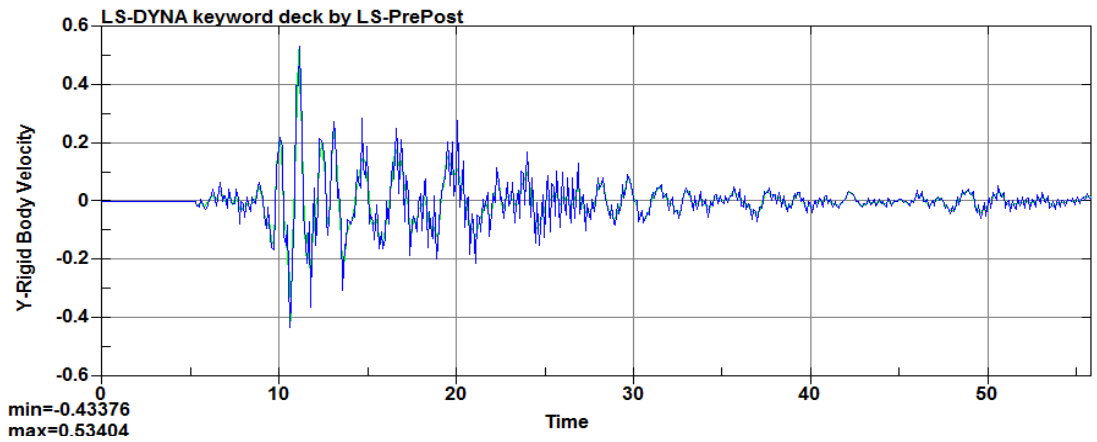
Şekil 4.26. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği



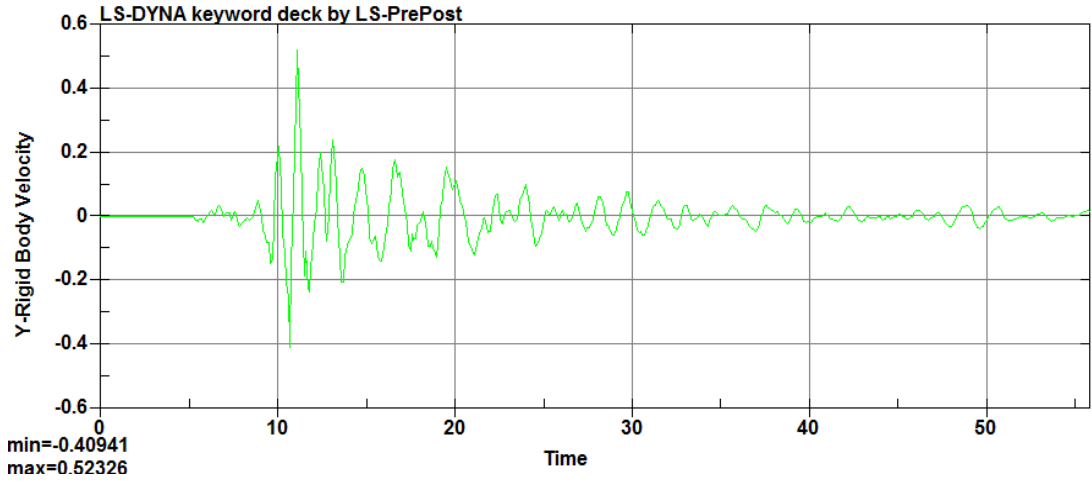
Şekil 4.27. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen hız - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)



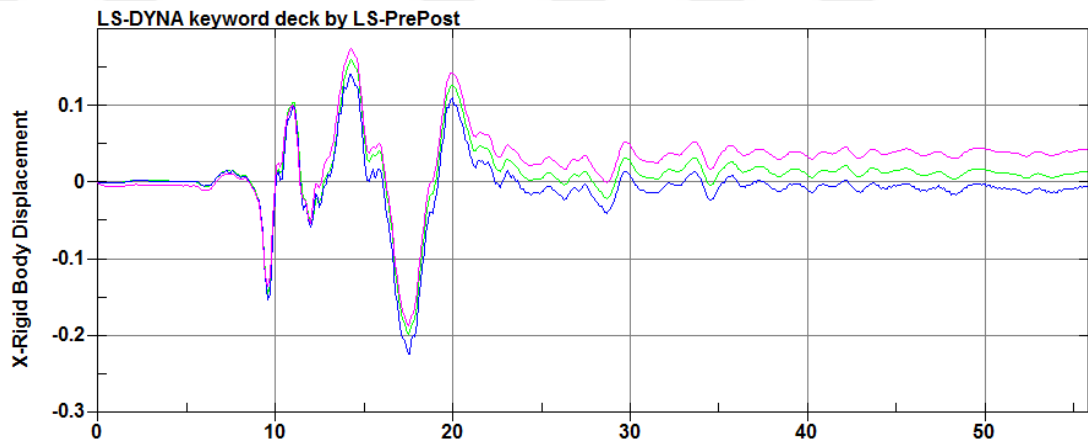
Şekil 4.28. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği



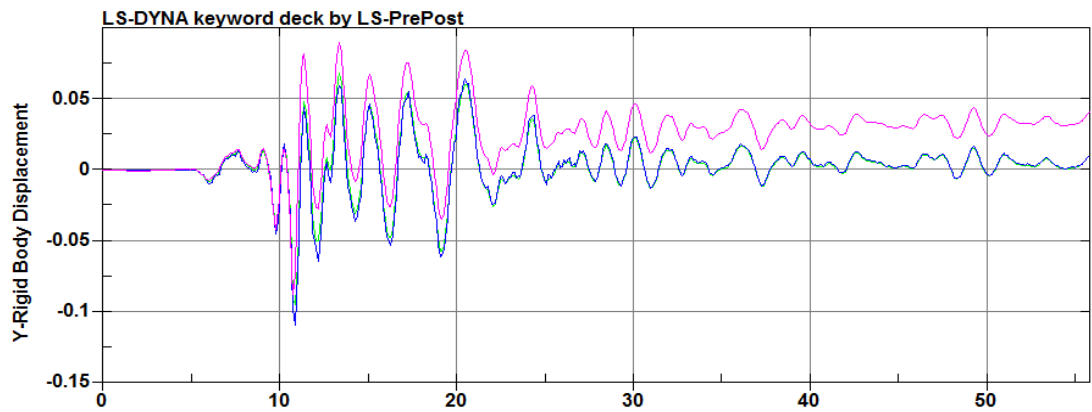
Şekil 4.29. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen hız-zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)



Şekil 4.30. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği



Şekil 4.31. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, 4. kat, betonarme basamak ve Horasan harcı seviyelerinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini, pembe renk Horasan harcı seviyesini temsil etmektedir.)



Şekil 4.32. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, 4. kat, betonarme basamak ve Horasan harcı seviyelerinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini, pembe renk Horasan harcı seviyesini temsil etmektedir.)

Çizelge 4.4. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları

Düzce depremi $\ddot{u}_{eks} = 7.3951 m / sn^2$	Elde edilen ekstremum ivme değeri (m / sn^2)	Azalma Yüzdesi
4. kat seviyesi	2.5907	64.97
Betonarme basamak seviyesi	2.4134	67.36

Çizelge 4.5. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları

Düzce depremi $\ddot{u}_{eks} = 8.0588 m / sn^2$	Elde edilen ekstremum ivme değeri (m / sn^2)	Azalma Yüzdesi
4. kat seviyesi	3.0472	62.19
Betonarme basamak seviyesi	2.3577	70.74

Çizelge 4.6. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda elde edilen hız sonuçları

Düzce depremi	Elde edilen ekstremum hız değeri (m / sn)
4. kat seviyesi	0.5574
Betonarme basamak seviyesi	0.47922

Çizelge 4.7. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda elde edilen hız sonuçları

Düzce depremi	Elde edilen ekstremum hız değeri (m / sn)
4. kat seviyesi	0.53404
Betonarme basamak seviyesi	0.52326

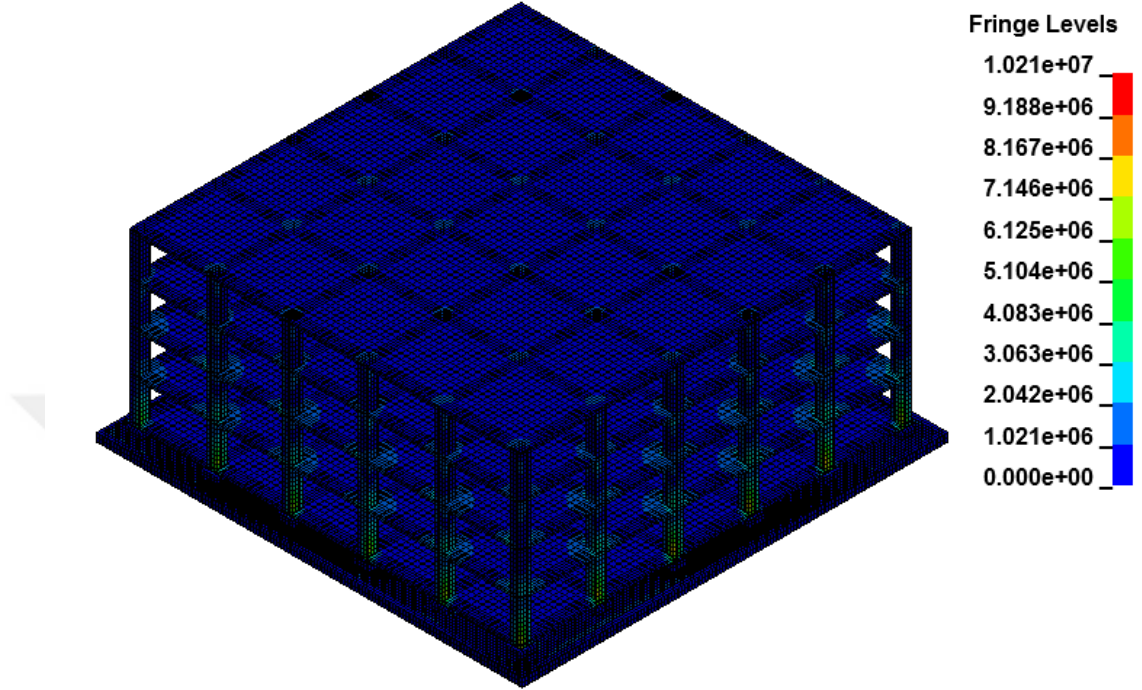
Çizelge 4.8. Düzce depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları

Düzce depremi	Elde edilen ekstremum yerdeğiştirme değeri (m)	Kalıcı yerdeğiştirme (m)
4. kat seviyesi	0.05	0.0496
Betonarme basamak seviyesi	0.0299	0.0299

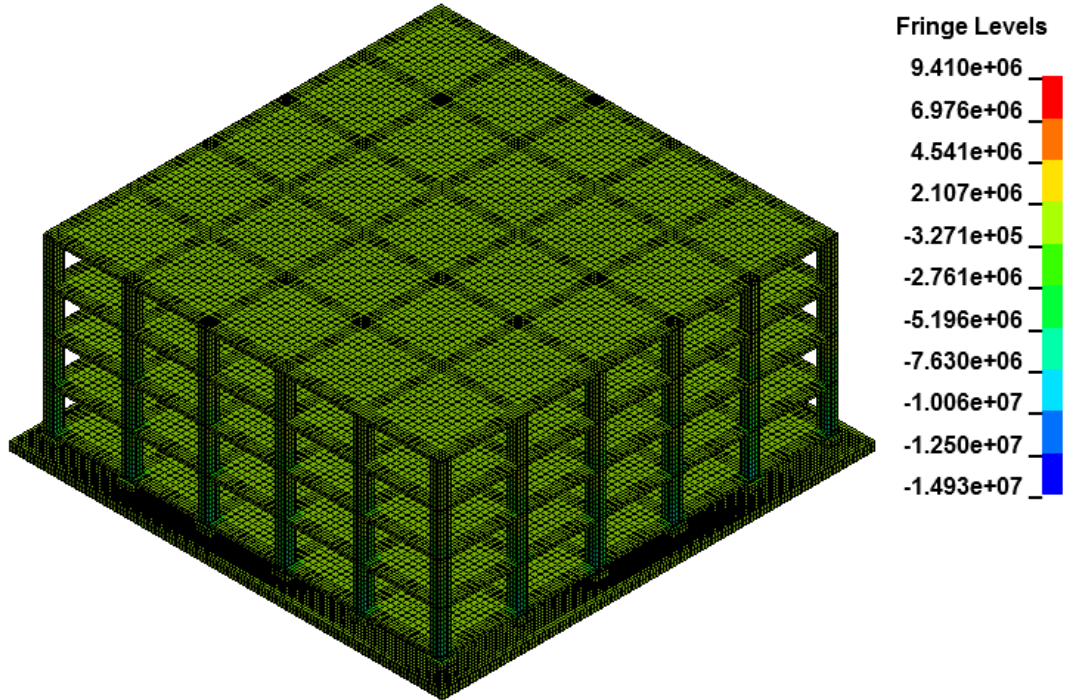
Çizelge 4.9. Düzce depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları

Düzce depremi	Elde edilen maksimum yerdeğiştirme değeri (m)	Kalıcı yerdeğiştirme (m)
4. kat seviyesi	0.0634	0.0311
Betonarme basamak seviyesi	0.0573	0.0311

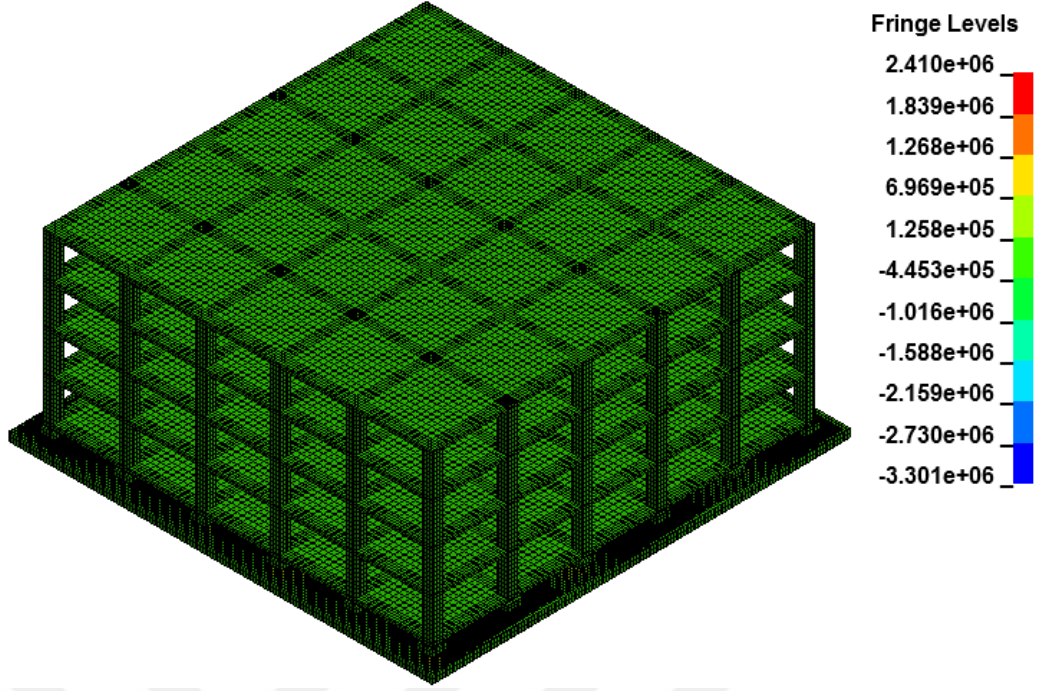
Düzce depremi etkisindeki örnek yapının sonlu elemanlar modelinin analizinden elde edilen gerilme durumları aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.33, Şekil 4.34, Şekil 4.35).



Şekil 4.33. Von Mises maksimum gerilme durumu ($t = 11.2 sn$)



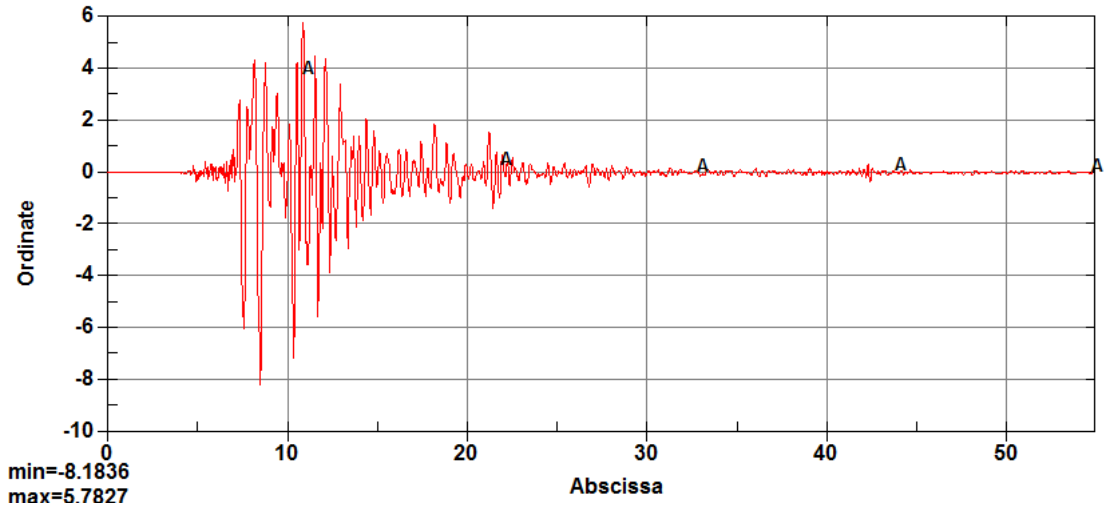
Şekil 4.34. Z doğrultusundaki ekstremum gerilme durumu ($t = 11.2 sn$)



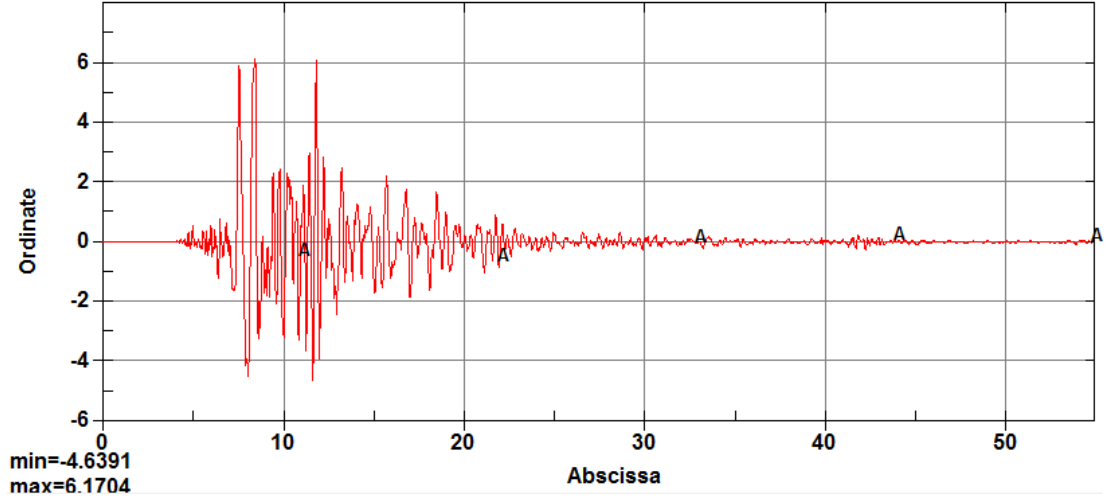
Şekil 4.35. XY kayma gerilmesi ekstremum gerilme durumu ($t = 55.83 sn$)

4.4.2. Örnek yapının sonlu elemanlar modelinin Kobe depremi etkisinde incelenmesi ve tepkilerinin değerlendirilmesi

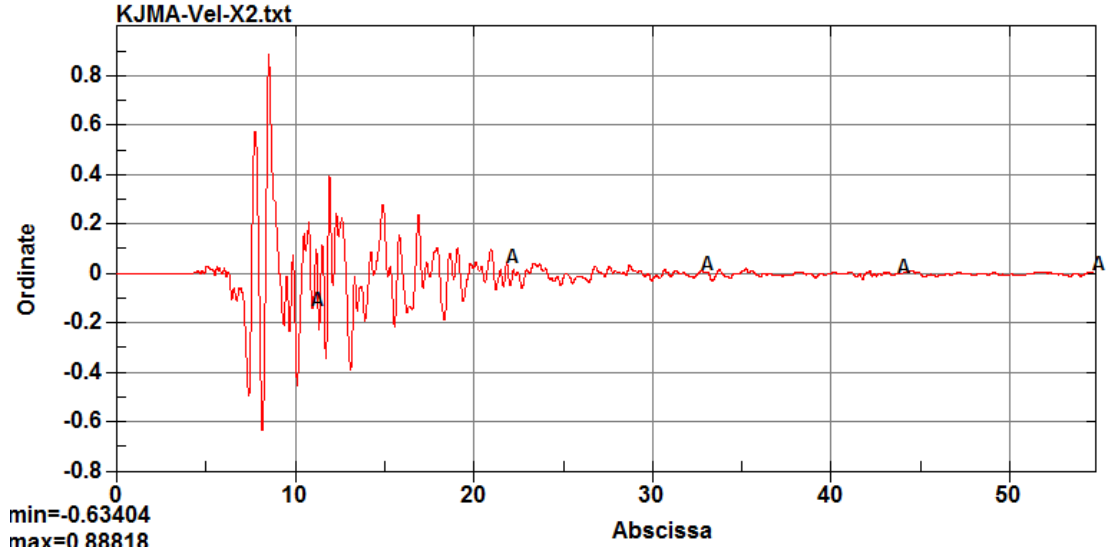
Kobe depreminin etki süresi 54.84 sn'dir. Kobe depremine ait X ve Y doğrultularındaki ivme-zaman grafiği, hız-zaman grafiği ve yerdeğiştirme-zaman grafiği Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38, Şekil 4.39, Şekil 4.40 ve Şekil 4.41'de gösterilmiştir.



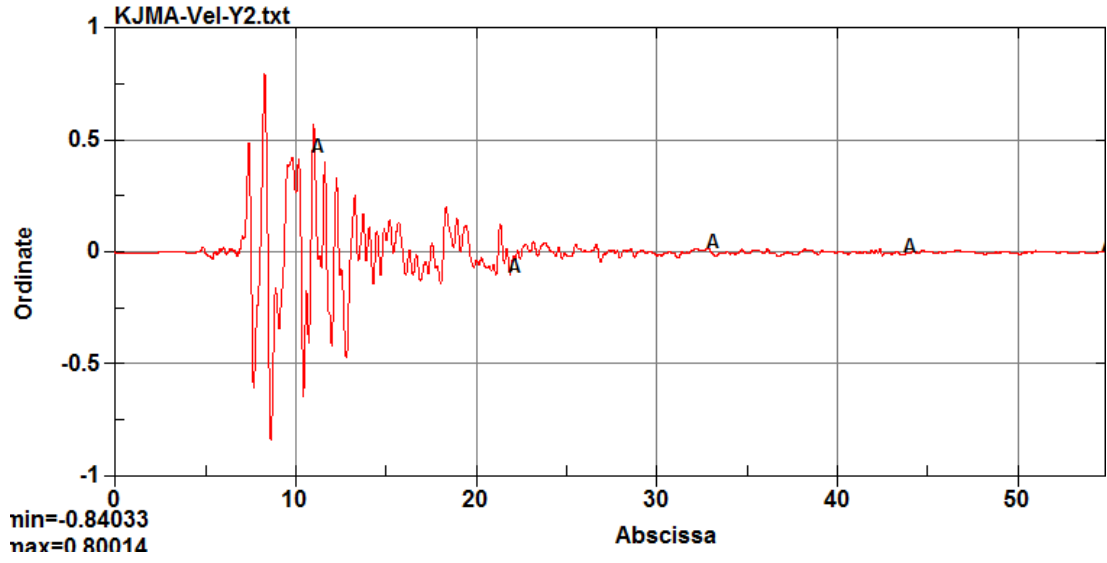
Şekil 4.36. Kobe depreminin X doğrultusundaki ivme - zaman grafiği (zaman sn , ivme m/sn^2 birimindedir.)



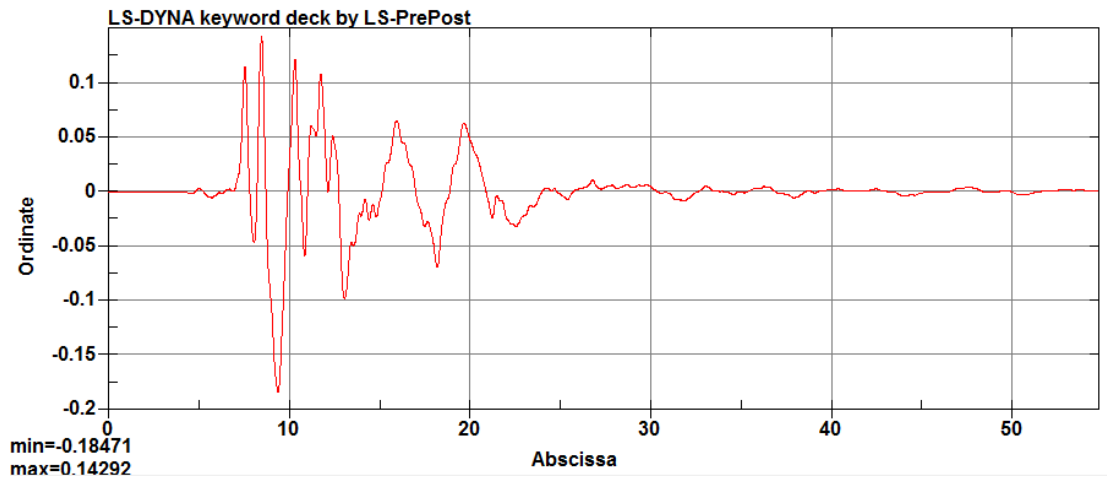
Şekil 4.37. Kobe depreminin Y doğrultusundaki ivme - zaman grafiği (zaman sn , ivme m/sn^2 birimindedir.)



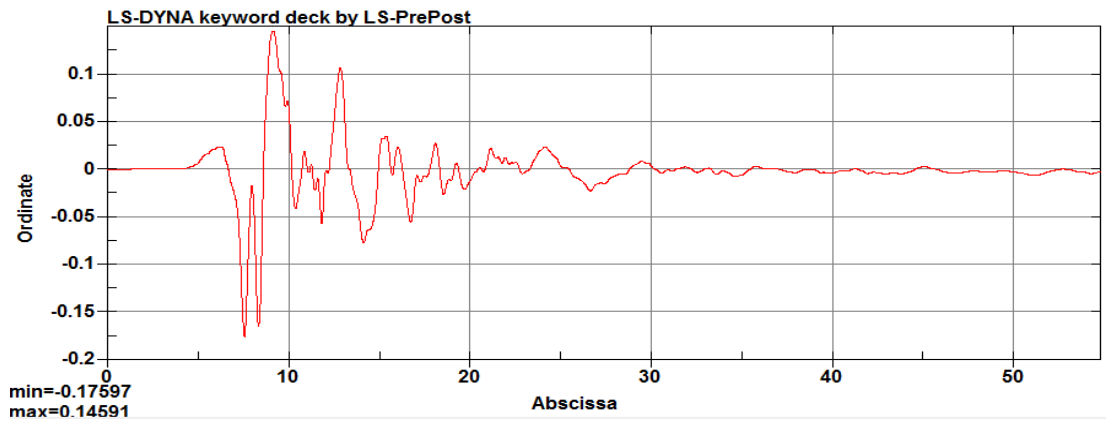
Şekil 4.38. Kobe depreminin X doğrultusundaki hız - zaman grafiği (zaman sn , hız m/sn birimindedir.)



Şekil 4.39. Kobe depreminin Y doğrultusundaki hız - zaman grafiği (zaman sn , hız m/sn birimindedir.)



Şekil 4.40. Kobe depreminin X doğrultusundaki yerdeğiştirme - zaman grafiği (zaman sn , yerdeğiştirme m birimindedir.)



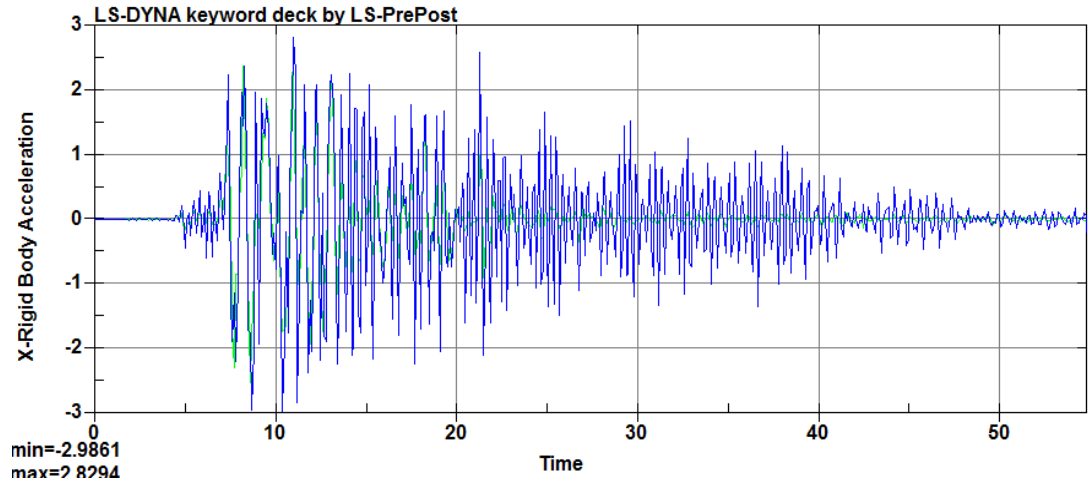
Şekil 4.41. Kobe depreminin Y doğrultusundaki yerdeğiştirme - zaman grafiği (zaman sn , yerdeğiştirme m birimindedir.)

LS-DYNA yazılımına tanıtılan Kobe depremi yerdeğiştirme etkisi 0.01 sn aralıklar ile uygulanmıştır.

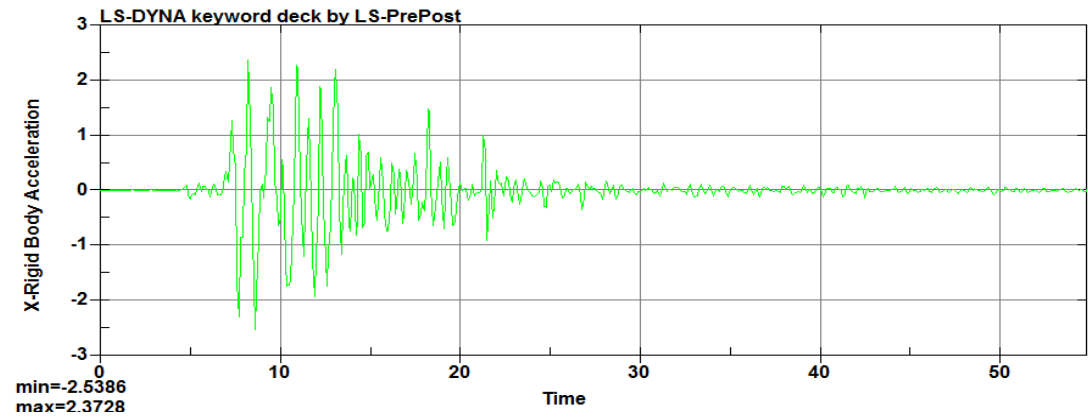
Hazırlanan sonlu elemanlar modelinde 180112 sonlu eleman ve 286200 düğüm bulunmaktadır.

Örnek yapının hazırlanan sonlu elemanlar modelinin Kobe depremi etkisindeki analizi Intel Core i7 4930K @ 3.40 GHz, 2x16 GB RAM @ 1600 MHz, Windows 10 Education 64 bit özelliklere sahip bilgisayarda yapılmıştır.

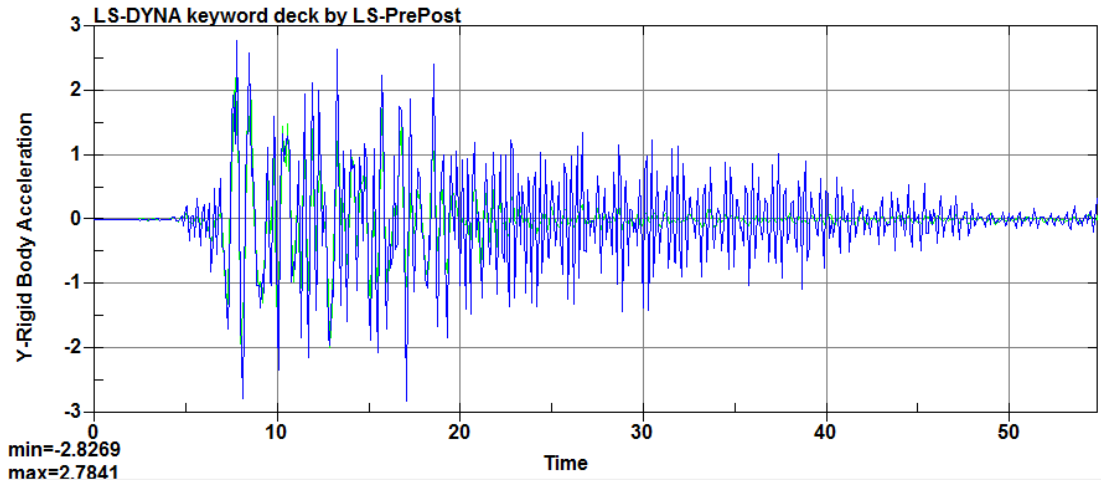
Kobe depremi etkisindeki modelin analiz sonuçları Şekil 4.42, Şekil 4.43, Şekil 4.44, Şekil 4.45, Şekil 4.46, Şekil 4.47, Şekil 4.48, Şekil 4.49, Şekil 4.50, Şekil 4.51, Çizelge 4.10, Çizelge 4.11, Çizelge 4.12, Çizelge 4.13, Çizelge 4.14, Çizelge 4.15'de sunulmuştur.



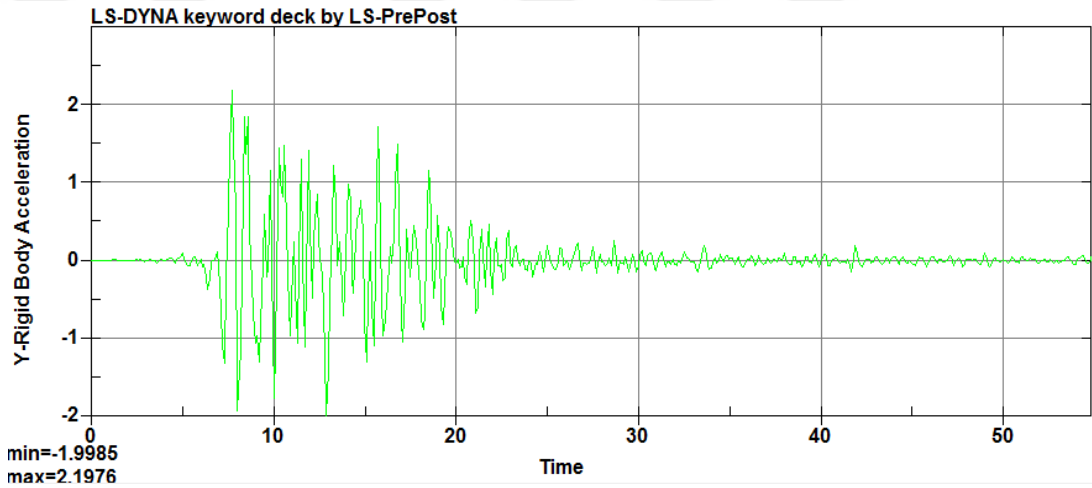
Şekil 4.42. Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen ivme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)



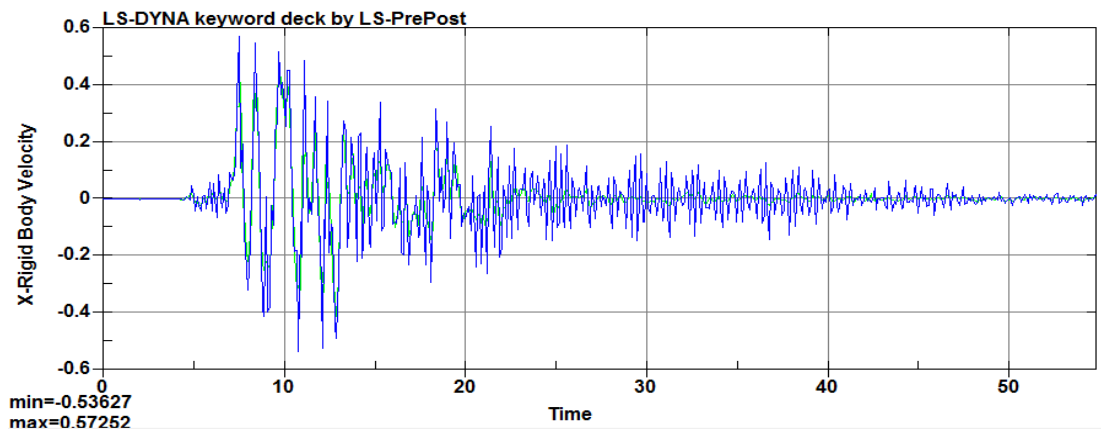
Şekil 4.43. Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği



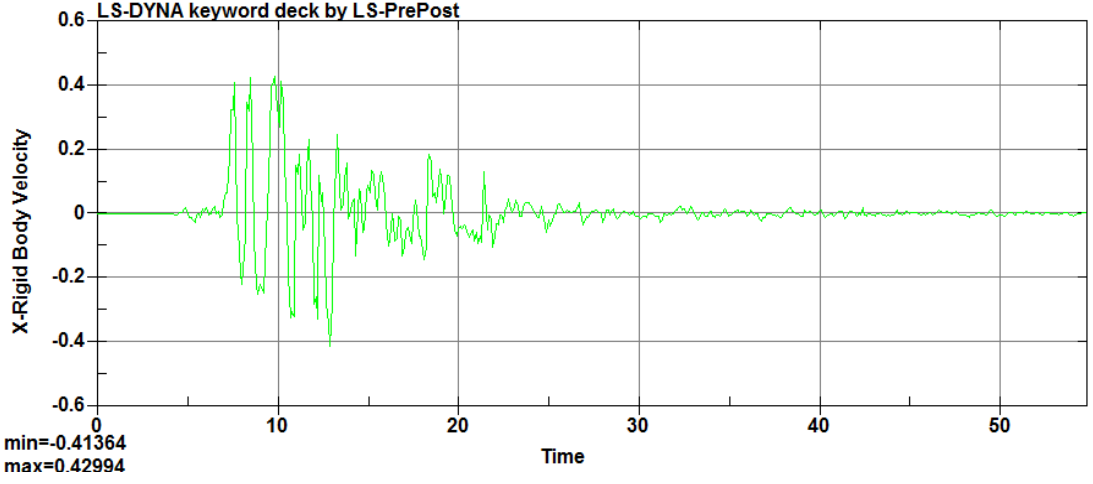
Şekil 4.44. Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen ivme - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)



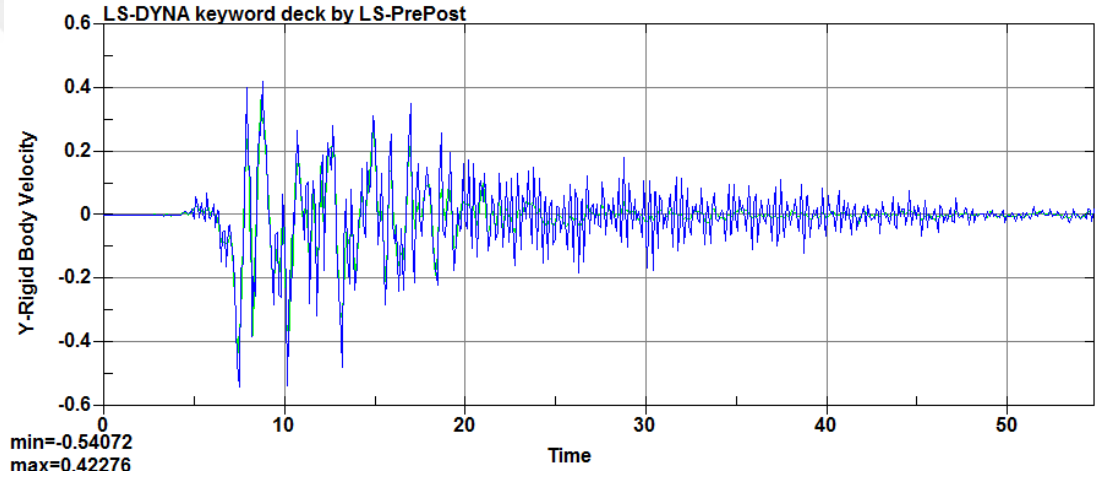
Şekil 4.45. Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği



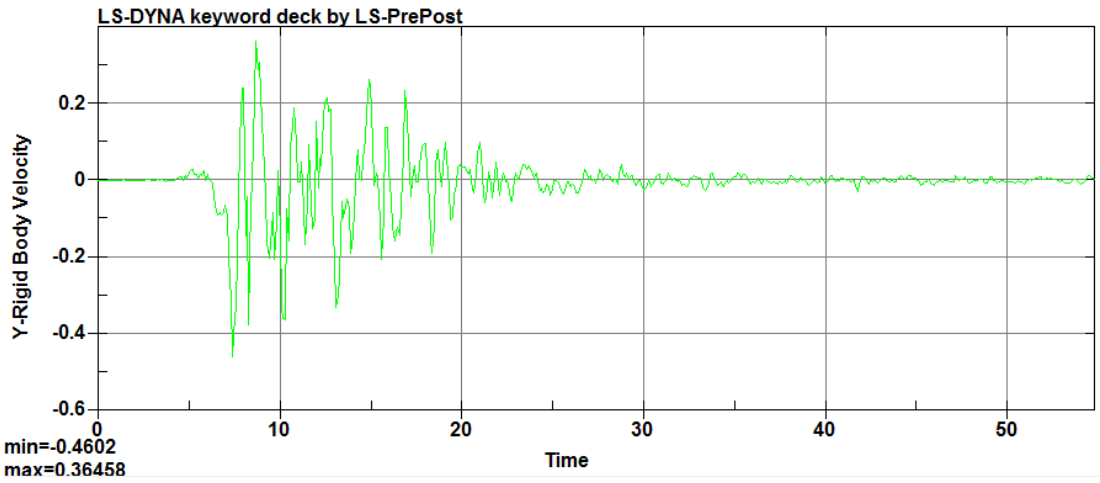
Şekil 4.46. Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen hız - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)



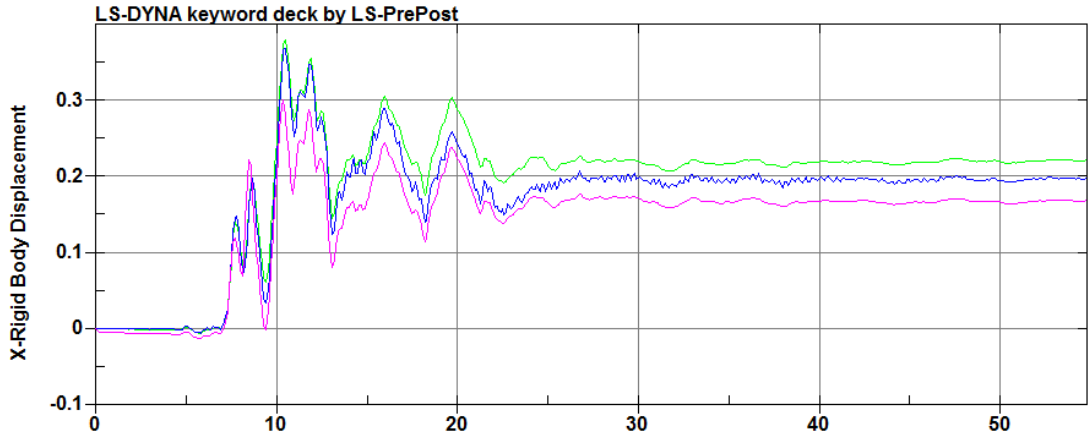
Şekil 4.47. Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği



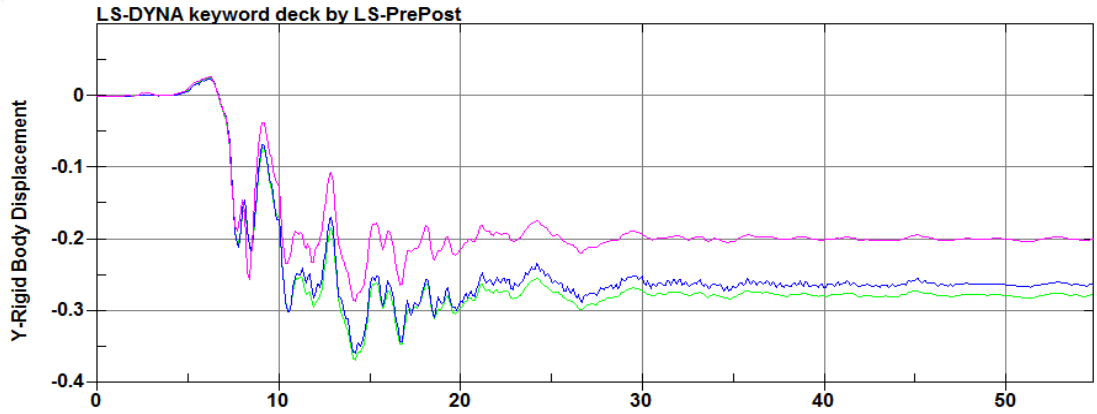
Şekil 4.48. Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, 4. kat ve betonarme basamak seviyelerinde elde edilen hız - zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini temsil etmektedir.)



Şekil 4.49. Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, betonarme basamak seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği



Şekil 4.50. Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda, 4. kat, betonarme basamak ve Horasan harcı seviyelerinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme-zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini, pembe renk Horasan harcı seviyesini temsil etmektedir.)



Şekil 4.51. Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda, 4. kat, betonarme basamak ve Horasan harcı seviyelerinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme-zaman grafiği (mavi renk 4. katı, yeşil renk betonarme basamak seviyesini, pembe renk Horasan harcı seviyesini temsil etmektedir.)

Çizelge 4.10.Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları

Kobe depremi $\ddot{u}_{eks} = 8.1806 m / sn^2$	Elde edilen ekstremum ivme değeri (m / sn^2)	Azalma Yüzdesi
4. kat seviyesi	2.9861	63.49
Betonarme basamak seviyesi	2.5386	68.97

Çizelge 4.11.Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları

Kobe depremi $\ddot{u}_{eks} = 6.1704 m / sn^2$	Elde edilen ekstremum ivme değeri (m / sn^2)	Azalma Yüzdesi
4. kat seviyesi	2.8269	54.19
Betonarme basamak seviyesi	2.1976	64.38

Çizelge 4.12.Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda elde edilen hız sonuçları

Kobe depremi	Elde edilen ekstremum hız değeri (m/ sn)
4. kat seviyesi	0.57252
Betonarme basamak seviyesi	0.42994

Çizelge 4.13.Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda elde edilen hız sonuçları

Kobe depremi	Elde edilen ekstremum hız değeri (m/ sn)
4. kat seviyesi	0.54072
Betonarme basamak seviyesi	0.46042

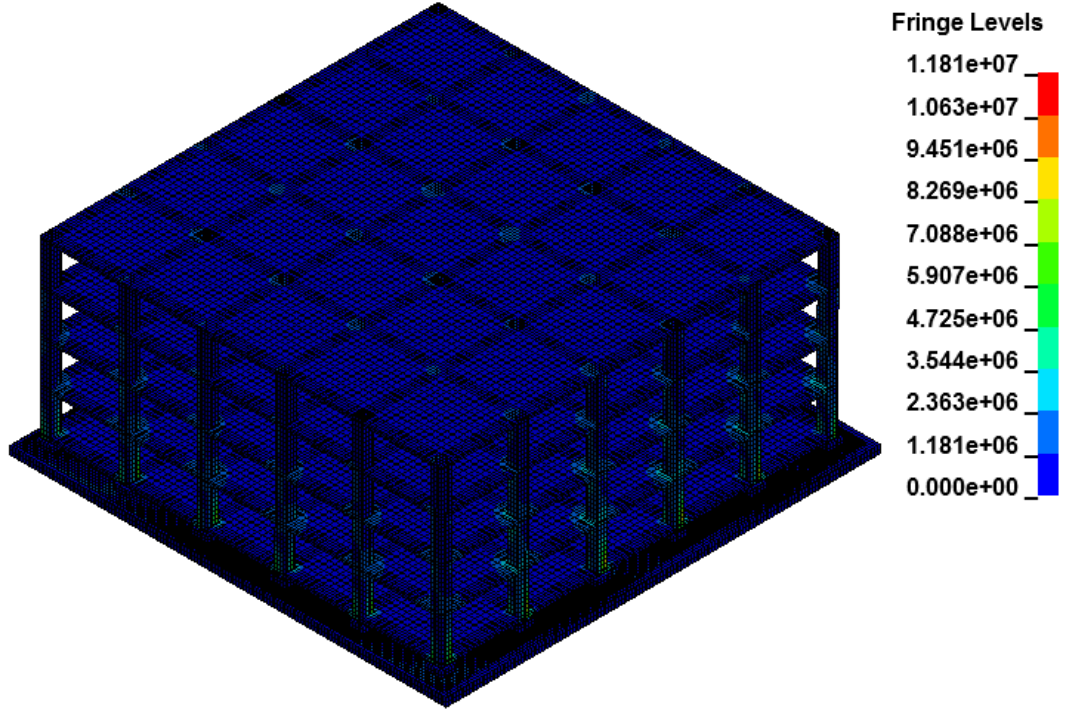
Çizelge 4.14.Kobe depremi etkisindeki modelin X doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları

Kobe depremi	Elde edilen ekstremum yerdeğiştirme değeri (m)	Kalıcı yerdeğiştirme (m)
4. kat seviyesi	0.107	0.0299
Betonarme basamak seviyesi	0.0849	0.0779

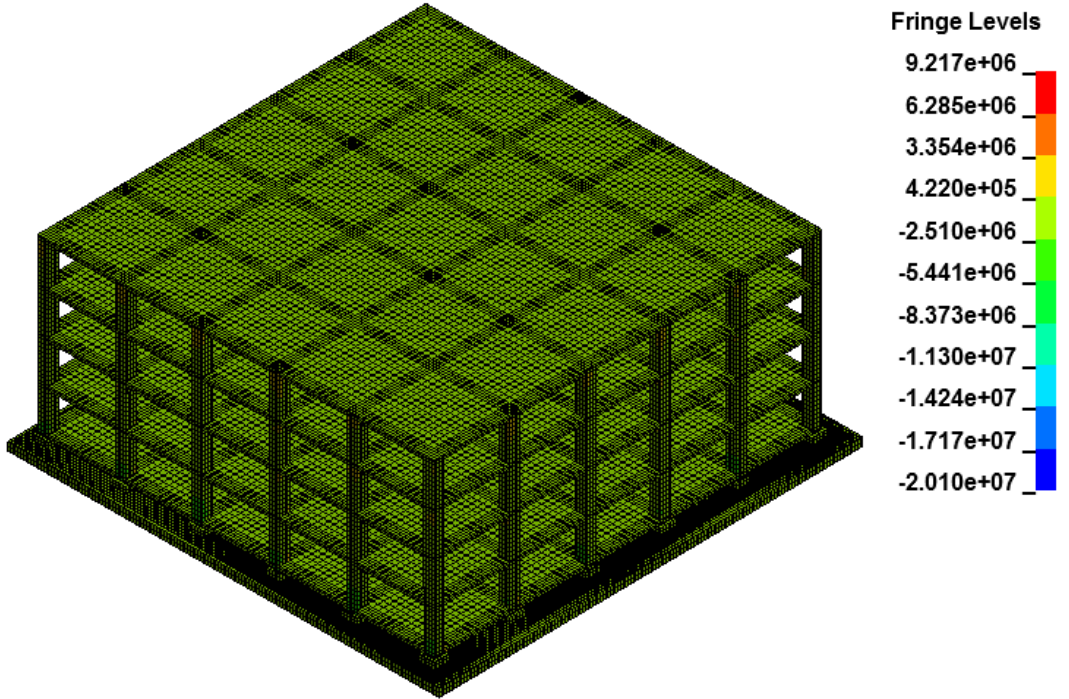
Çizelge 4.15.Kobe depremi etkisindeki modelin Y doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları

Kobe depremi	Elde edilen ekstremum yerdeğiştirme değeri (m)	Kalıcı yerdeğiştirme (m)
4. kat seviyesi	0.0898	0.0640
Betonarme basamak seviyesi	0.0849	0.0779

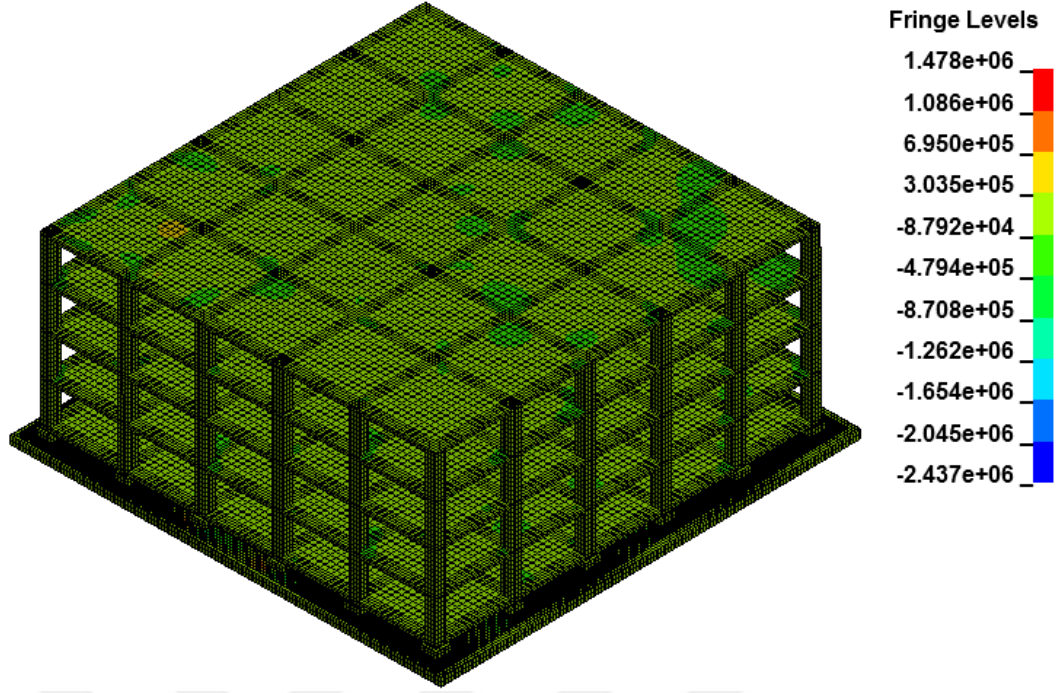
Kobe depremi etkisindeki örnek yapının sonlu elemanlar modelinin analizinden elde edilen gerilme durumları aşağıda sunulmuştur (Şekil 4.52, Şekil 4.53, Şekil 4.54).



Şekil 4.52. Von Mises maksimum gerilme durumu ($t = 18.2 sn$)



Şekil 4.53. Z doğrultusundaki ekstremum gerilme durumu ($t = 36.4 sn$)



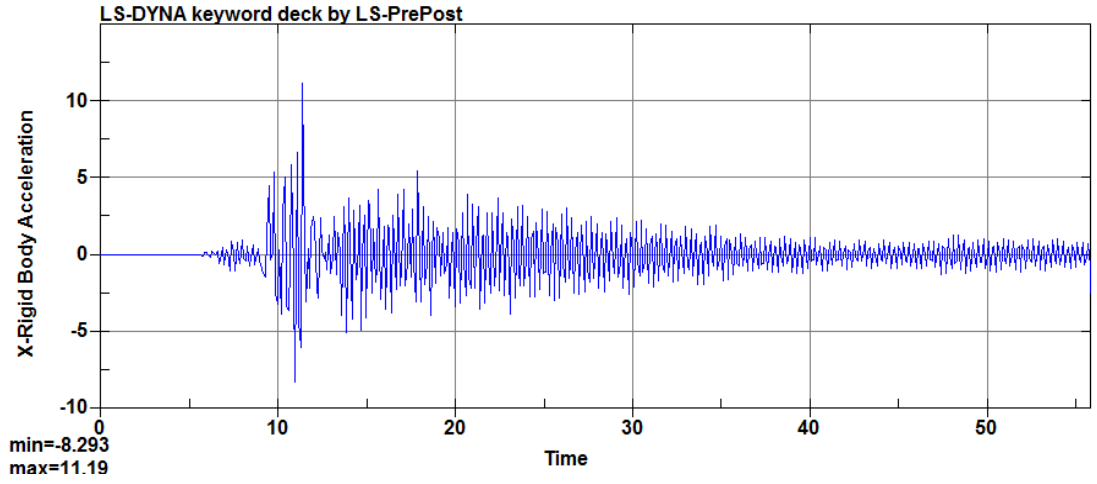
Şekil 4.54. XY kayma gerilmesi ekstremum gerilme durumu ($t = 45.9 sn$)

4.4.3. Örnek yapının sonlu elemanlar ankastre modelinin Düzce depremi etkisinde incelenmesi ve tepkilerinin değerlendirilmesi

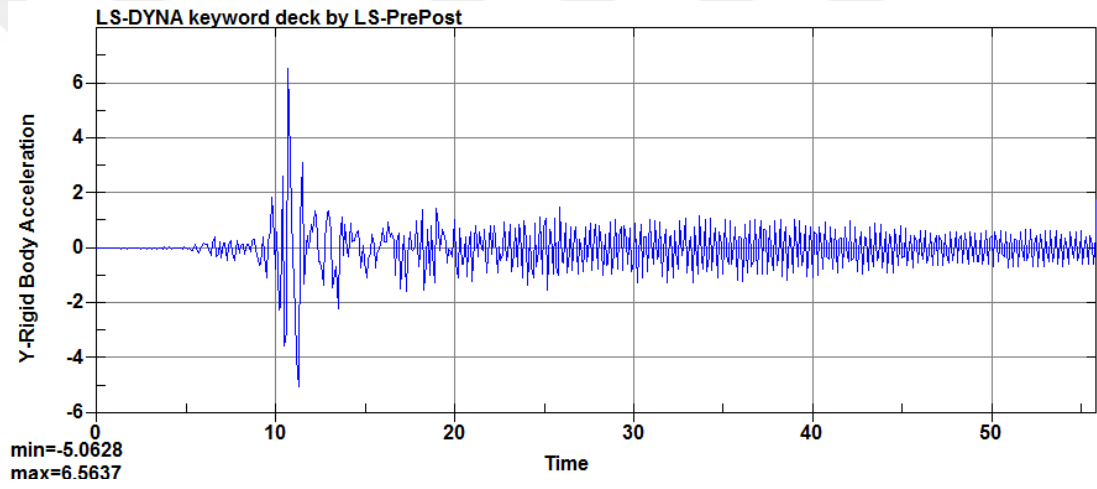
Doğal Sismik Yalıtım Sistemi (DSYS) ile donatılmış örnek 4 katlı yapı, ayrıca LS-DYNA yazılımında ankastre olarak Düzce ve Kobe depremleri etkisinde analiz edilmiştir.

Sismik yalıtımsız 4 katlı örnek yapının hazırlanan sonlu elemanlar ankastre modelinin Düzce depremi etkisindeki analizi Intel ® Xeon ® CPU ES-2630 v4 @ 2.20 GHz 2.20 GHz, 64 GB RAM, Windows 10 Pro 64 bit özelliklere sahip bilgisayarda yapılmıştır.

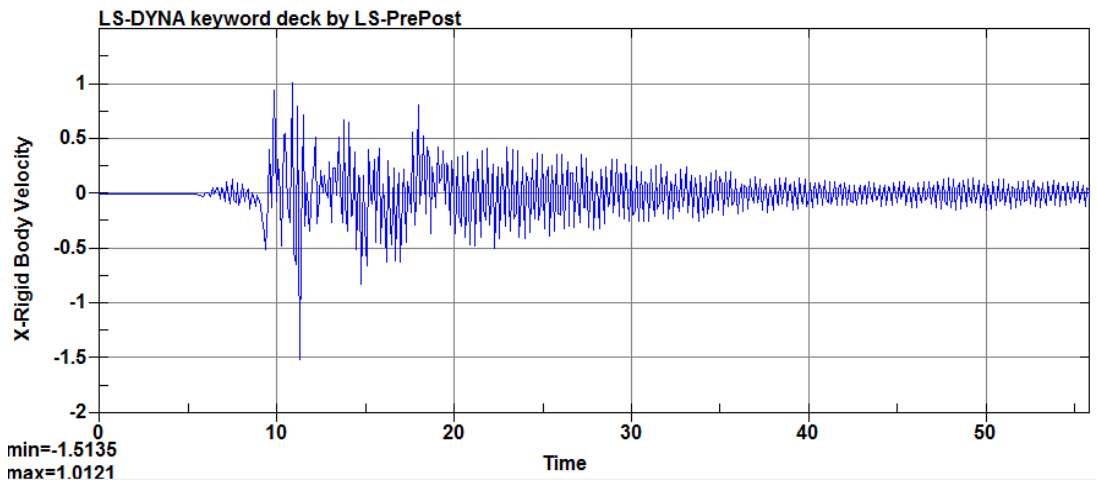
Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin analiz sonuçları Şekil 4.55, Şekil 4.56, Şekil 4.57, Şekil 4.58, Şekil 4.59, Şekil 4.60, Çizelge 4.16, Çizelge 4.17, Çizelge 4.18, Çizelge 4.19, Çizelge 4.20, Çizelge 4.21'de sunulmuştur.



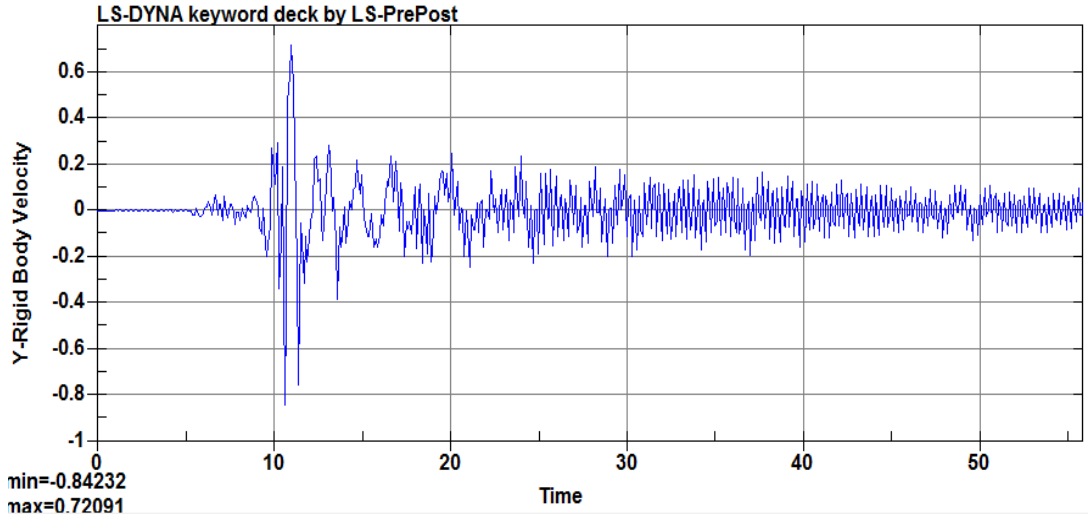
Şekil 4.55. Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği



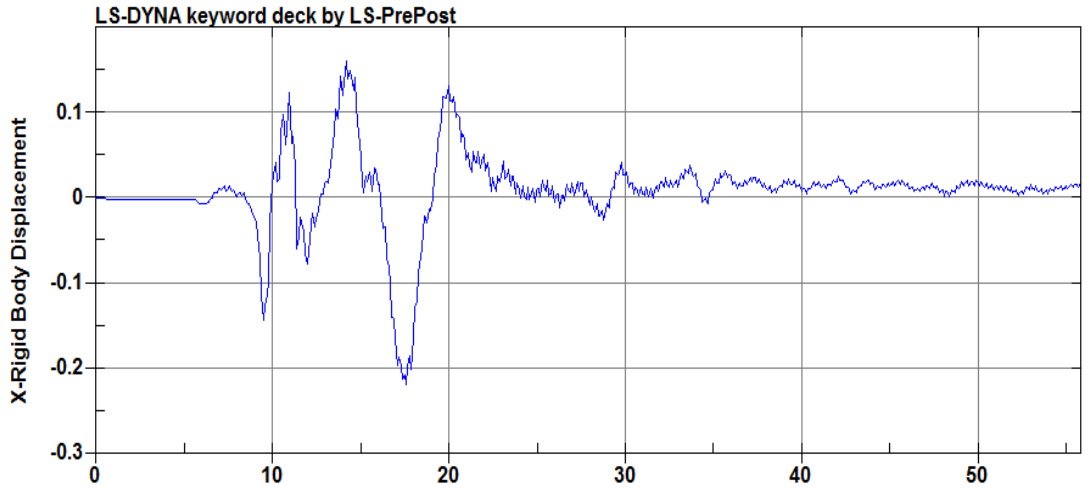
Şekil 4.56. Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği



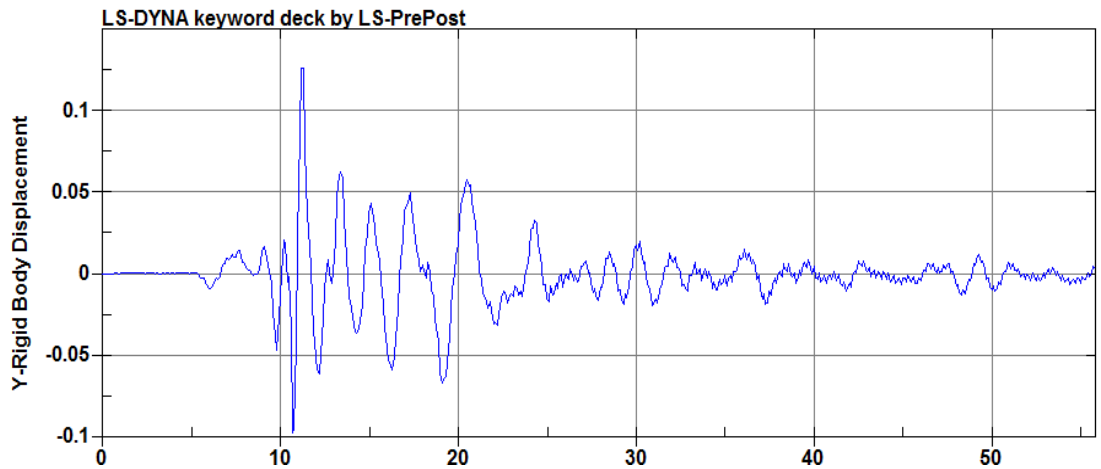
Şekil 4.57. Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği



Şekil 4.58. Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği



Şekil 4.59. Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği



Şekil 4.60. Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği

Çizelge 4.16.Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları

Düzce depremi	Elde edilen ekstremum ivme değeri (m/sn^2)
$\ddot{u}_{eks} = 7.3951m/sn^2$	
4. kat seviyesi	11.19

Çizelge 4.17.Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları

Düzce depremi	Elde edilen ekstremum ivme değeri (m/sn^2)
$\ddot{u}_{eks} = 8.0588m/sn^2$	
4. kat seviyesi	6.5637

Çizelge 4.18.Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda elde edilen hız sonuçları

Düzce depremi	Elde edilen ekstremum hız değeri (m/sn)
4. kat seviyesi	1.5135

Çizelge 4.19.Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda elde edilen hız sonuçları

Düzce depremi	Elde edilen ekstremum hız değeri (m/sn)
4. kat seviyesi	0.84232

Çizelge 4.20.Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları

Düzce depremi	Elde edilen ekstremum yerdeğiştirme değeri (m)
4. kat seviyesi	0.0576

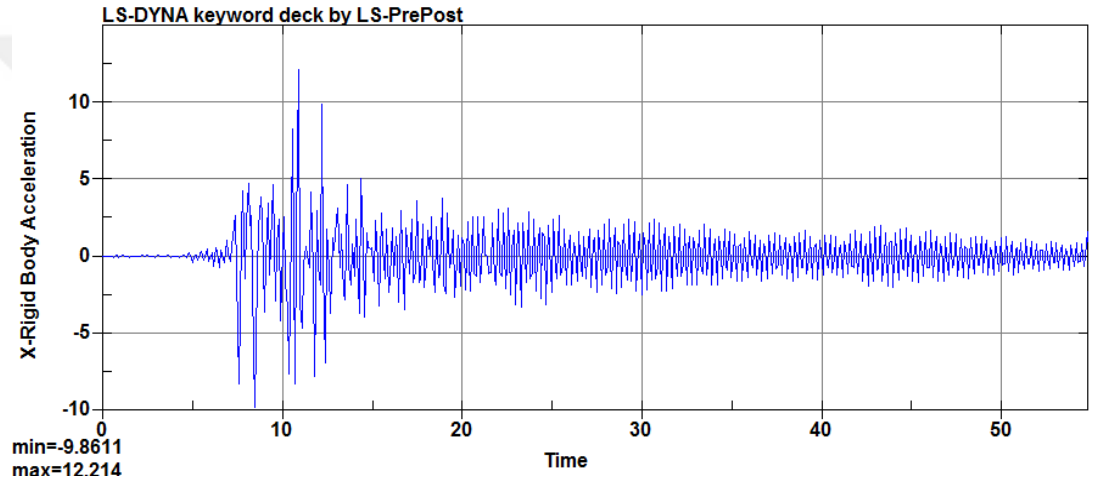
Çizelge 4.21.Düzce depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları

Düzce depremi	Elde edilen ekstremum yerdeğiştirme değeri (m)
4. kat seviyesi	0.0274

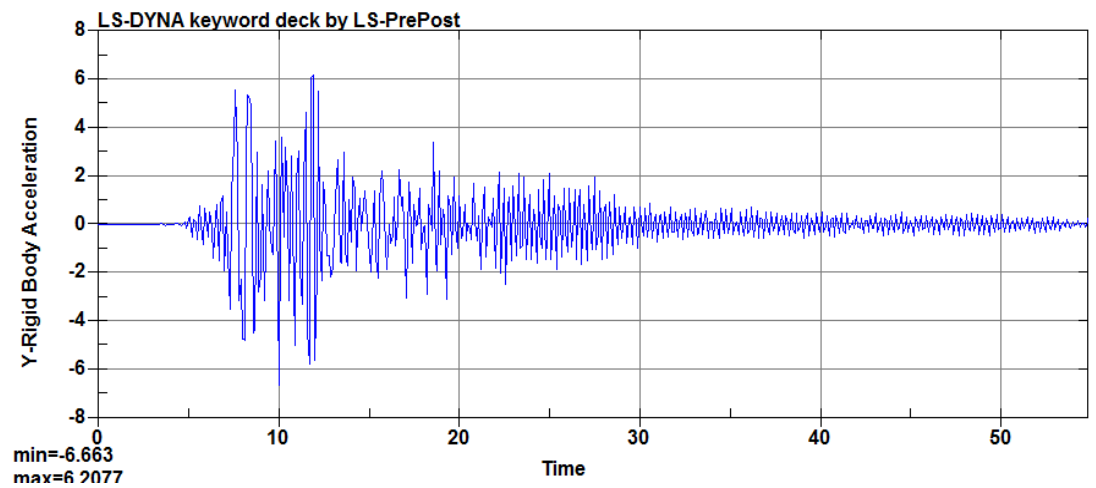
4.4.4. Örnek yapının sonlu elemanlar ankastre modelinin Kobe depremi etkisinde incelenmesi ve tepkilerinin değerlendirilmesi

Sismik yalıtımsız 4 katlı örnek yapının hazırlanan sonlu elemanlar ankastre modelinin Kobe depremi etkisindeki analizi Intel ® Xeon ® CPU ES-2630 v4 @ 2.20 GHz 2.20 GHz, 64 GB RAM, Windows 10 Pro 64 bit özelliklere sahip bilgisayarda yapılmıştır.

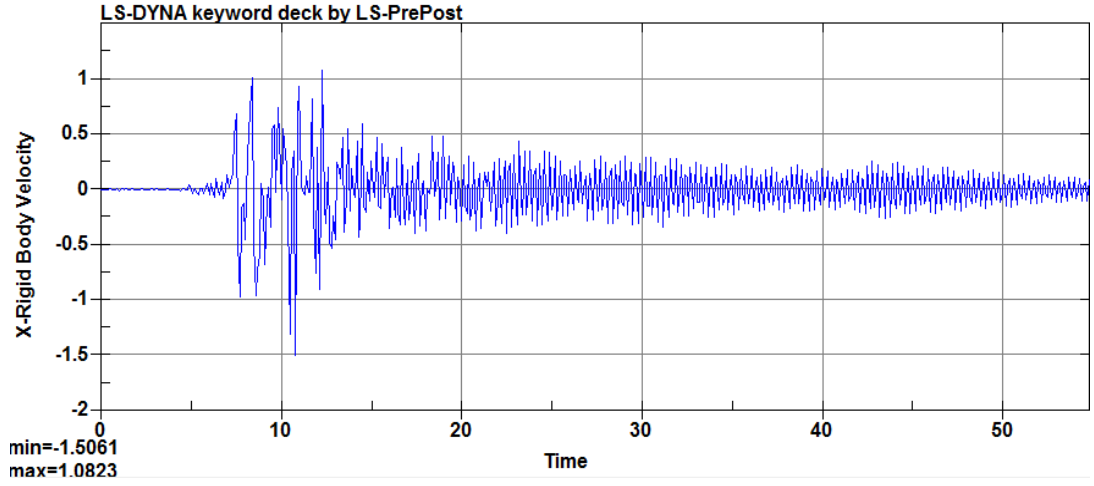
Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin analiz sonuçları Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63, Şekil 4.64, Şekil 4.65, Şekil 4.66, Çizelge 4.22, Çizelge 4.23, Çizelge 4.24, Çizelge 4.25, Çizelge 4.26, Çizelge 4.27’de sunulmuştur.



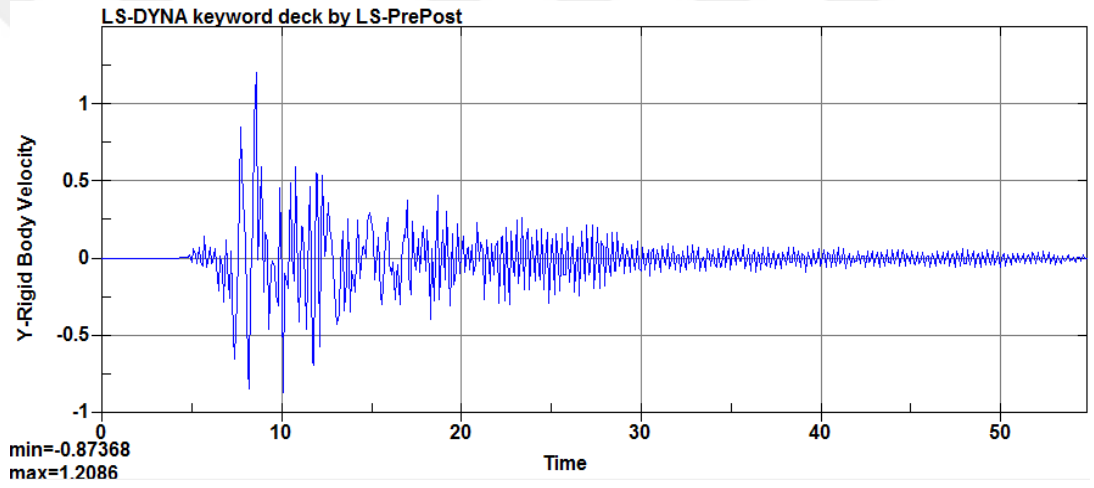
Şekil 4.61. Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği



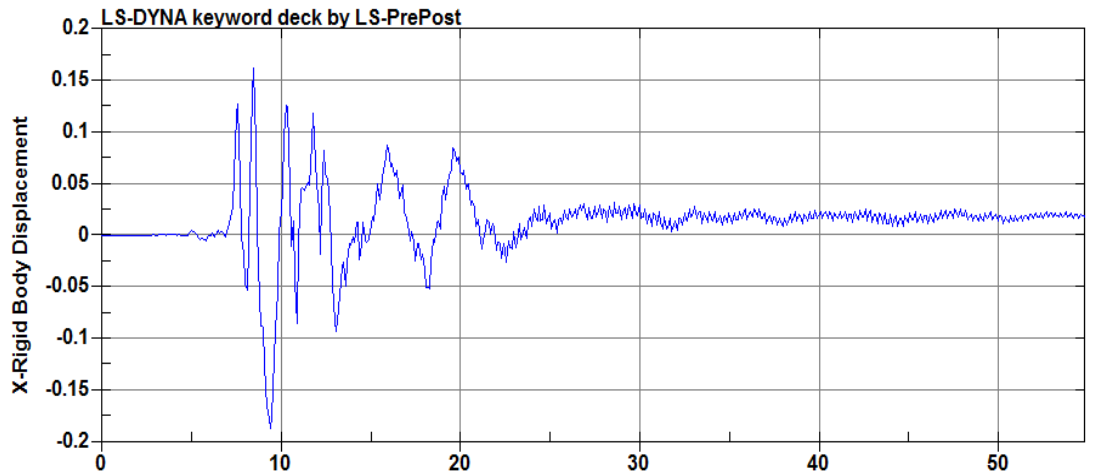
Şekil 4.62. Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen ivme - zaman grafiği



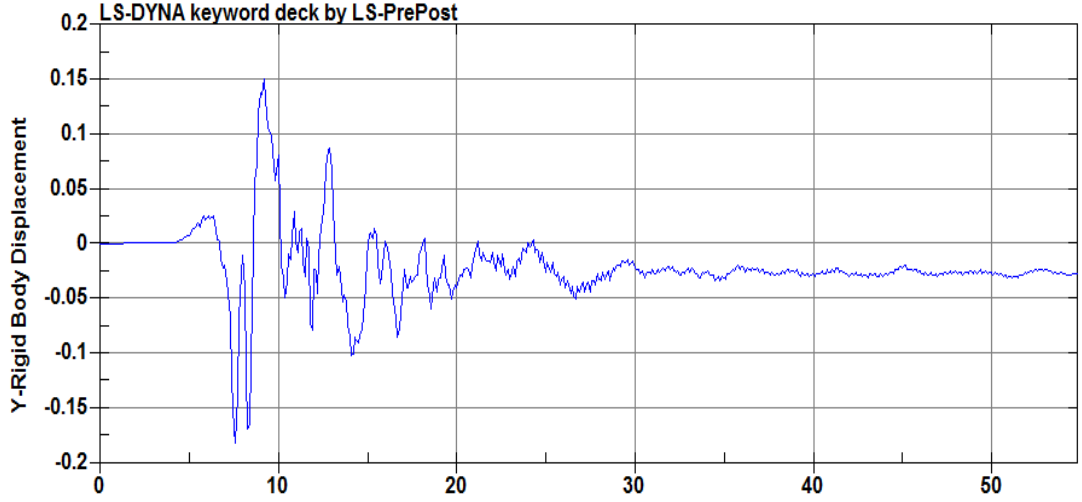
Şekil 4.63. Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği



Şekil 4.64. Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen hız - zaman grafiği



Şekil 4.65. Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği



Şekil 4.66. Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda, 4. kat seviyesinde elde edilen rölatif yerdeğiştirme - zaman grafiği

Çizelge 4.22.Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları

Kobe depremi	Elde edilen ekstremum ivme değeri (m/sn^2)
$\ddot{u}_{eks} = 8.1806 m/sn^2$	
4. kat seviyesi	12.214

Çizelge 4.23.Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda elde edilen ivme sonuçları

Kobe depremi	Elde edilen ekstremum ivme değeri (m/sn^2)
$\ddot{u}_{eks} = 6.1704 m/sn^2$	
4. kat seviyesi	6.663

Çizelge 4.24.Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda elde edilen hız sonuçları

Kobe depremi	Elde edilen ekstremum hız değeri (m/sn)
4. kat seviyesi	1.5061

Çizelge 4.25.Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda elde edilen hız sonuçları

Kobe depremi	Elde edilen ekstremum hız değeri (m/sn)
4. kat seviyesi	1.2086

Çizelge 4.26.Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin X doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları

Kobe depremi	Elde edilen ekstremum yerdeğiştirme değeri (m)
4. kat seviyesi	0.0564

Çizelge 4.27.Kobe depremi etkisindeki ankastre modelin Y doğrultusunda elde edilen yerdeğiştirme sonuçları

Kobe depremi	Elde edilen ekstremum yerdeğiştirme değeri (m)
4. kat seviyesi	0.0564



5. DOĞAL SİSMİK YALITIM SİSTEMİNİN BİNA TÜRLÜ YAPILARDA UYGULAMA SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Bu bölümde, Düzce depremi ve Kobe etkisinde Doğal Sismik Yalıtım Sistemi (DSYS) ile sismik yalıtılmış, devrilme momenti olmayan 4 katlı hastane binasının Düzce depremi ve Kobe depremi etkisinde performansı değerlendirilerek ilgili ankastre yapı ile karşılaştırması ve değerlendirilmesi sunulmuştur.

5.1. Düzce Depremi Etkisindeki Doğal Sismik Yalıtım - Yapı Sistemi Modeli Analiz Sonuçlarının Ankastre Yapı Modeli Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması

Modellemesi ve Düzce depremi etkisinde analizi yapılmış olan doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, Düzce depremi etkisinde analizi yapılmış ankastre yapı modeli ile karşılaştırılması Çizelge 5.1, Çizelge 5.2, Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Çizelge 5.5, Çizelge 5.6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile X doğrultusunda elde edilen ekstremum ivme sonuçlarının karşılaştırılması

Düzce depremi $\ddot{u}_{ext} = 7.3951 m / sn^2$	Doğal sismik yalıtım - yapı sistemi modeli (m / sn^2)	Ankastre yapı modeli (m / sn^2)
4. kat seviyesi	2.5907	11.19
Betonarme basamak seviyesi	2.4134	-

Çizelge 5.2. Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile Y doğrultusunda elde edilen ekstremum ivme sonuçlarının karşılaştırılması

Düzce depremi $\ddot{u}_{ext} = 8.0588 m / sn^2$	Doğal sismik yalıtım - yapı sistemi modeli (m / sn^2)	Ankastre yapı modeli (m / sn^2)
4. kat seviyesi	3.0472	6.5637
Betonarme basamak seviyesi	2.3577	-

Çizelge 5.3. Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile X doğrultusunda elde edilen ekstremum hız sonuçlarının karşılaştırılması

Düzce depremi	Doğal sismik yalıtım - yapı sistemi modeli (m/sn)	Ankastre yapı modeli (m/sn)
4. kat seviyesi	0.5574	1.5135
Betonarme basamak seviyesi	0.47922	-

Çizelge 5.4. Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile Y doğrultusunda elde edilen ekstremum hız sonuçlarının karşılaştırılması

Düzce depremi	Doğal sismik yalıtım - yapı sistemi modeli (m/sn)	Ankastre yapı modeli (m/sn)
4. kat seviyesi	0.53404	0.84232
Betonarme basamak seviyesi	0.52326	-

Çizelge 5.5. Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile X doğrultusunda elde edilen ekstremum yerdeğiştirme sonuçlarının karşılaştırılması

Düzce depremi	Doğal sismik yalıtım - yapı sistemi modeli (m)	Ankastre yapı modeli (m)
4. kat seviyesi	0.05	0.0576
Betonarme basamak seviyesi	0.0299	-

Çizelge 5.6. Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile Y doğrultusunda elde edilen ekstremum yerdeğiştirme sonuçlarının karşılaştırılması

Düzce depremi	Doğal sismik yalıtım - yapı sistemi modeli (m)	Ankastre yapı modeli (m)
4. kat seviyesi	0.0634	0.0274
Betonarme basamak seviyesi	0.0573	-

Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin ve ankastre modelin analiz sonuçları incelendiğinde, yapıya etki ettirilmiş ve X doğrultusunda ekstremum ivme değeri $\ddot{u}_{ext} = 7.3951 m/sn^2$ olan Düzce depremi ivme değerinin doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin 4. kat seviyesinde % 64.97 azalma ile $2.5907 m/sn^2$, betonarme basamak seviyesinde ise % 67.36 azalma ile $2.4134 m/sn^2$ olduğu gözlemlenmiştir. Aynı deprem ivmesi veri girdisi, ankastre sistem yapı modelinin 4. kat seviyesinde ise $11.19 m/sn^2$ olarak elde edilmiştir.

Yapıya etki ettirilmiş olan ve Y doğrultusunda ekstremum ivme değeri $\ddot{u}_{ext} = 8.0588 m/sn^2$ olan Düzce depremi ivme değerinin doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin 4. kat seviyesinde % 62.19 azalma ile $3.0472 m/sn^2$, betonarme basamak seviyesinde ise % 70.74 azalma ile $2.3577 m/sn^2$ olduğu gözlemlenmiştir. Aynı deprem ivmesi veri girdisi, ankastre sistem yapı modelinin 4. kat seviyesinde ise $6.5637 m/sn^2$ olarak elde edilmiştir.

Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin ve ankastre modelin hız sonuçları incelendiğinde, doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin 4. kat seviyesinde gözlenen hızın X doğrultusunda $0.5574 m/sn$, betonarme basamak seviyesinde ise $0.47922 m/sn$ olduğu gözlemlenmiştir. Ankastre sistem yapı modelinin 4. kat seviyesinde ise hız $1.5135 m/sn$ olarak elde edilmiştir.

Doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin 4. kat seviyesinde gözlenen hızın Y doğrultusunda $0.53404 m/sn$, betonarme basamak seviyesinde ise $0.52326 m/sn$ olduğu gözlemlenmiştir. Ankastre sistem yapı modelinin 4. kat seviyesinde ise hız $0.84232 m/sn$ olarak elde edilmiştir.

Doğal sismik yalıtım - yapı sisteminde elde edilen hız değerlerinin Kasımzade vd (2019c) çalışmasında belirtilen ve yapı içindeki hassas malzeme veya ekipmanlara zarar verebilecek $0.7 m/sn$ hız limitinin altında kaldığı görülmüştür.

Düzce depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin ve ankastre modelin yerdeğiştirme sonuçları incelendiğinde, doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin 4. kat seviyesinde gözlenen yerdeğiştirmenin X doğrultusunda $0.05 m$, betonarme basamak seviyesinde ise $0.0299 m$ olduğu gözlemlenmiştir. Ankastre sistem yapı modelinin 4. kat seviyesinde ise yerdeğiştirme verisi $0.0576 m$ olarak elde edilmiştir.

Doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin 4. kat seviyesinde gözlenen yerdeğiştirmenin Y doğrultusunda $0.0634 m$, betonarme basamak seviyesinde ise $0.0573 m$ olduğu gözlemlenmiştir. Ankastre sistem yapı modelinin 4. kat seviyesinde ise yerdeğiştirme verisi $0.0274 m$ olarak elde edilmiştir.

DSYS sistemi ile yalıtılmış örnek yapının ekstremum ivme geçiriciliği şöyle olup, $T_{r,ext,x,y} = 3.0472/8.0588 = 0.3781$, kısacası DSYS sistemi ile yalıtılmış örnek yapının ivmesi taban ivmesine ($8.0588 m/sn^2$) göre %38 azalmıştır.

Örnek ankastre yapının ekstremum ivme geçiriciliği şöyle olup, $T_{r,ext,x,y} = 11.19/8.0588 = 1.3885$, kısacası yalıtılmamış örnek ankastre yapının ivmesi taban ivmesine (8.0588 m/sn^2) göre %39 artmıştır. Bu, ankastre yapının yalıtımsız kullanımının imkansız olduğunu göstermektedir.

5.2. Kobe Depremi Etkisindeki Doğal Sismik Yalıtım - Yapı Sistemi Modeli Analiz Sonuçlarının Ankastre Yapı Modeli Analiz Sonuçları ile Karşılaştırılması

Modellemesi Kobe depremi etkisinde analizi yapılmış olan doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, Kobe depremi etkisinde analizi yapılmış ankastre yapı modeli ile karşılaştırılması Çizelge 5.7, Çizelge 5.8, Çizelge 5.9, Çizelge 5.10, Çizelge 5.11, Çizelge 5.12'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile X doğrultusunda elde edilen ekstremum ivme sonuçlarının karşılaştırılması

Kobe depremi $\ddot{u}_{ext} = 8.1806 \text{ m/sn}^2$	Doğal sismik yalıtım - yapı sistemi modeli (m/sn^2)	Ankastre yapı modeli (m/sn^2)
4. kat seviyesi	2.9861	12.214
Betonarme basamak seviyesi	2.5386	-

Çizelge 5.8. Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile Y doğrultusunda elde edilen ekstremum ivme sonuçlarının karşılaştırılması

Kobe depremi $\ddot{u}_{ext} = 6.1704 \text{ m/sn}^2$	Doğal sismik yalıtım - yapı sistemi modeli (m/sn^2)	Ankastre yapı modeli (m/sn^2)
4. kat seviyesi	2.8269	6.663
Betonarme basamak seviyesi	2.1976	-

Çizelge 5.9. Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile X doğrultusunda elde edilen ekstremum hız sonuçlarının karşılaştırılması

Kobe depremi	Doğal sismik yalıtım - yapı sistemi modeli (m/sn)	Ankastre yapı modeli (m/sn)
4. kat seviyesi	0.57252	1.5061
Betonarme basamak seviyesi	0.42994	-

Çizelge 5.10.Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile Y doğrultusunda elde edilen ekstremum hız sonuçlarının karşılaştırılması

Kobe depremi	Doğal sismik yalıtım - yapı sistemi modeli (m/ sn)	Ankastre yapı modeli (m/ sn)
4. kat seviyesi	0.54072	1.2086
Betonarme basamak seviyesi	0.46042	-

Çizelge 5.11.Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile X doğrultusunda elde edilen ekstremum yerdeğiştirme sonuçlarının karşılaştırılması

Kobe depremi	Doğal sismik yalıtım - yapı sistemi modeli (m)	Ankastre yapı modeli (m)
4. kat seviyesi	0.107	0.0564
Betonarme basamak seviyesi	0.0849	-

Çizelge 5.12.Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin, ankastre model ile Y doğrultusunda elde edilen ekstremum yerdeğiştirme sonuçlarının karşılaştırılması

Kobe depremi	Doğal sismik yalıtım - yapı sistemi modeli (m)	Ankastre yapı modeli (m)
4. kat seviyesi	0.0898	0.0564
Betonarme basamak seviyesi	0.0849	-

Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin ve ankastre modelin analiz sonuçları incelendiğinde, yapıya etki ettirilmiş ve X doğrultusunda ekstremum ivme değeri $\ddot{u}_{ext} = 8.1806 m/sn^2$ olan Kobe depremi ivme değerinin doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin 4. kat seviyesinde % 63.49 azalma ile $2.9861 m/sn^2$, betonarme basamak seviyesinde ise % 68.97 azalma ile $2.5386 m/sn^2$ olduğu gözlemlenmiştir. Aynı deprem ivmesi veri girdisi, ankastre sistem yapı modelinin 4. kat seviyesinde ise $12.214 m/sn^2$ olarak elde edilmiştir.

Yapıya etki ettirilmiş olan ve Y doğrultusunda ekstremum ivme değeri $\ddot{u}_{ext} = 6.1704 m/sn^2$ olan Düzce depremi ivme değerinin doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin 4. kat seviyesinde % 54.19 azalma ile $2.8269 m/sn^2$, betonarme basamak seviyesinde ise % 64.38 azalma ile $2.1976 m/sn^2$ olduğu gözlemlenmiştir. Aynı deprem ivmesi veri girdisi, ankastre sistem yapı modelinin 4. kat seviyesinde ise $6.663 m/sn^2$ olarak elde edilmiştir.

Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin ve ankastre modelin hız sonuçları incelendiğinde, doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin 4. kat seviyesinde gözlenen hızın X doğrultusunda 0.57252 m/sn , betonarme basamak seviyesinde ise 0.42994 m/sn olduğu gözlemlenmiştir. Ankastre sistem yapı modelinin 4. kat seviyesinde ise hız 1.5061 m/sn olarak elde edilmiştir.

Doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin 4. kat seviyesinde gözlenen hızın Y doğrultusunda 0.54072 m/sn , betonarme basamak seviyesinde ise 0.46042 m/sn olduğu gözlemlenmiştir. Ankastre sistem yapı modelinin 4. kat seviyesinde ise hız 1.2086 m/sn olarak elde edilmiştir.

Doğal sismik yalıtım - yapı sisteminde elde edilen hız değerlerinin Kasımzade vd (2019c) çalışmasında belirtilen ve yapı içindeki hassas malzeme veya ekipmanlara zarar verebilecek 0.7 m/sn hız limitinin altında kaldığı görülmüştür.

Kobe depremi etkisindeki doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin ve ankastre modelin yerdeğiştirme sonuçları incelendiğinde, doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin 4. kat seviyesinde gözlenen yerdeğiştirmenin X doğrultusunda 0.107 m , betonarme basamak seviyesinde ise 0.0849 m olduğu gözlemlenmiştir. Ankastre sistem yapı modelinin 4. kat seviyesinde ise yerdeğiştirme verisi 0.0564 m olarak elde edilmiştir.

Doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin 4. kat seviyesinde gözlenen yerdeğiştirmenin Y doğrultusunda 0.0898 m , betonarme basamak seviyesinde ise 0.0859 m olduğu gözlemlenmiştir. Ankastre sistem yapı modelinin 4. kat seviyesinde ise yerdeğiştirme verisi 0.0564 m olarak elde edilmiştir.

DSYS sistemi ile yalıtılmış örnek yapının ekstremum ivme geçiriciliği şöyle olup, $T_{r,ext,x,y} = 2.9871/8.1806 = 0.3651$, kısacası DSYS sistemi ile yalıtılmış örnek yapının ivmesi taban ivmesine (8.1806 m/sn^2) göre %37 azalmıştır.

Örnek ankastre yapının ekstremum ivme geçiriciliği şöyle olup, $T_{r,ext,x,y} = 12.214/8.1806 = 1.4930$, kısacası yalıtılmamış örnek ankastre yapının ivmesi taban ivmesine (8.1806 m/sn^2) göre %49 artmıştır. Bu, ankastre yapının yalıtımsız kullanımının imkansız olduğunu göstermektedir.

5.3. Tartışma

Sunulan örnek sistemin az katlı olması ve devrilme momenti olmaması nedeniyle, örnek sistem deprem etkisinde yükseklik boyunca hem yerdeğiştirme (sürüklenme) hem de ivme dağılımı açısından rijit cisim davranışı göstermektedir. Tartışma ve değerlendirmeleri somut hale getirmek amacıyla, 4. kat ve betonarme basamak seviyeleri için her iki doğrultuda elde edilen sonuçlar birleştirilerek ekstremum değer aralıkları tartışmaya açılmış ve aşağıda sunulmuştur.

Düzce ve Kobe depremleri etkisinde analizleri yapılmış olan doğal sismik yalıtım - yapı sisteminin analiz sonuçlarından görüldüğü üzere, deprem etkisi altındaki doğal sismik yalıtımlı yapının taban ivmesi ve 4. kat seviyesinde Düzce depremi için % 62 - % 71 aralığında, Kobe depremi için % 54 - % 69 aralığında ivme azalması gözlemlenmiş olup, sunulmuş Doğal Sismik Yalıtım Sisteminin (DSYS) iyi performans gösterdiği ortaya konulmuştur.

Doğal Sismik Yalıtım Sisteminin (DSYS) analizlerinde elde edilen hız değerleri, Düzce depremi etkisi altında $0.47022 \text{ m/sn} - 0.5574 \text{ m/sn}$ aralığında, Kobe depremi etkisi altında $0.42994 \text{ m/sn} - 0.57252 \text{ m/sn}$ aralığında elde edilmiş olup, kaynaklarla belirlenmiş ve yapı içindeki hassas malzeme veya ekipmanlara zarar verebilecek 0.7 m/sn hız limitini aşmamış olduğu görülmüştür.

Doğal Sismik Yalıtım Sisteminin (DSYS) analizlerinde yapı yerdeğiştirmesi Düzce depremi etkisi altında $0.0299 \text{ m} - 0.0634 \text{ m}$ olup, bunun sayesinde yapı ivmesi % 62 - % 71 oranında, Kobe depremi etkisi altında $0.0849 \text{ m} - 0.107 \text{ m}$ olup, bunun sayesinde yapı ivmesi % 54 - % 69 oranında azalmıştır.

Analiz sonuçlarından görüldüğü gibi, deprem büyüklüğü ve etki süresi aynı olsada deprem içeriğinden dolayı yapı tepkisi önemli farklılık gösterebilir. Sunduğumuz bu örnekte, Düzce ($\ddot{u}_{ext,x} = 7.3951 \text{ m/sn}^2, \ddot{u}_{ext,y} = 8.0588 \text{ m/sn}^2, 55.88 \text{ sn}$) ve Kobe ($\ddot{u}_{ext,x} = 8.1806 \text{ m/sn}^2, \ddot{u}_{ext,y} = 6.1704 \text{ m/sn}^2, 54.84 \text{ sn}$) depremlerinin büyüklükleri (Düzce depremi için $\ddot{u}_{ext,Düzce} = \sqrt{(7.3951)^2 + (8.0588)^2} = 10.9376 \text{ m/sn}^2$, Kobe depremi için $\ddot{u}_{ext,Kobe} = \sqrt{(8.1806)^2 + (6.1704)^2} = 10.2468 \text{ m/sn}^2$) ve etki süreleri ($55.88 \text{ sn}, 54.84 \text{ sn}$) yaklaşık olarak aynı olsada deprem içeriğinin farklılığından dolayı yapı tepkisi de bu iki deprem için önemli tepki farklılığı göstermiştir. Örneğin,

Düzce depremi etkisinden ivme % 62 - % 71 aralığında azaldığı halde, Kobe depreminden % 54 - % 69 aralığında azalmıştır. Diğer taraftan yapı Düzce depremi etkisinden 0.0299 m - 0.0634 m aralığında yerdeğiştirme aldığı halde, Kobe depremi etkisinden 0.0849 m - 0.107 m aralığında yerdeğiştirme almıştır ki, yerdeğiştirme sonuçları birbirinden yaklaşık 2 kat farklıdır. Von Mises gerilmeleri incelendiğinde Düzce depremi etkisinden meydana gelen gerilme aralığının Horasan harcı için 0 - $2.042 \cdot 10^6 N/m^2$ aralığında, betonarme elemanlar için 0 - $9.188 \cdot 10^6 N/m^2$ aralığında olduğu, Kobe depremi etkisinden meydana gelen gerilme aralığının Horasan harcı için 0 - $3.544 \cdot 10^6 N/m^2$ aralığında, betonarme elemanlar için 0 - $10.63 \cdot 10^6 N/m^2$ aralığında olduğu görülmüş olup, kullanılan malzemelerin gerilme değerleri, gerilme sınırları altında kalmıştır.

DSYS sistemi ile yalıtılmış örnek yapının ekstremum ivme geçiriciliği $T_{r,ext,x,y} = 0.37016$ olup, kısacası DSYS sistemi ile yalıtılmış örnek yapının ivmesi taban ivmesine ($8.1197 m/sn^2$) göre %38 azalmıştır.

Örnek ankastre yapının ekstremum ivme geçiriciliği $T_{r,ext,x,y} = 1.44075$, kısacası yalıtılmamış örnek ankastre yapının ivmesi taban ivmesine ($8.1197 m/sn^2$) göre %44 artmıştır. Bu, ankastre yapının yalıtımsız kullanımının imkansız olduğunu göstermektedir.

Bu gösterilen önemli hususlardan dolayı, sunmuş olduğumuz doğal sismik yalıtımlı yapının her bir deprem için ayrı ayrı tasarlanması gerekmektedir.

Doğal sismik yalıtım sisteminde kullandığımız Horasan harcının tarihi yapılarda uzun yıllar kullanılmış olması, bu malzemenin güvenilir bir şekilde sürtünme arayüzü olarak kullanılmasına kapı açmaktadır. Ayrıca, sunulan çalışmalar ile büyüklüğü 6'dan büyük olan depremlerde devrilme momenti olmayan ankastre yapıların kullanılmasının imkansız olduğu gösterilerek, bu yapıların sadece sismik yalıtımlı olarak kullanılabilir olduğu gösterilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada aşağıdaki somut sonuçlar elde edilmiş ve ilgili öneriler aşağıda sunulmuştur:

1) Çalışmada, kuvvetli deprem bölgelerindeki günümüze kadar ayakta durabilmiş tarihi yapılardan, bu yaşam sürecini sağlamış gömülü Doğal Sismik Yalıtım Sistemi (DSYS) ortaya çıkarılarak matematik modeli oluşturulmuştur;

2) Doğal Sismik Yalıtım Sisteminin (DSYS) sürtünme arayüzü için tarih sürecinde denenmiş, depremlerin tekrarlanma periyodunda davranışı öğrenilmiş Horasan harcı kullanılmıştır;

3) Doğal Sismik Yalıtım Sisteminin (DSYS) sürtünme arayüzü basamak alanı tasarımı için geliştirilmiş Coulomb sürtünme modeline alan etkisi eklenerek tasarım formülasyonları ve yöntemi sunulmuştur;

4) Doğal Sismik Yalıtım Sistemine (DSYS) etkiyen depremin kuvvetinin, aynı zamanda geri düzeltme mekanizmasını sağladığı ortaya konulmuştur;

5) Doğal Sismik Yalıtım Sisteminde (DSYS) yukarıda bahsedilen geliştirilmiş Coulomb sürtünme modelinde kullanılan sürtünme arayüzünün (Horasan harcı) daha yüksek dereceden sürtünme etkileşimi davranışını yansıtabilmesi için ilgili parametrelerin (μ_s , μ_d , d_c) deneylere dayalı bulunma yöntemi sunulmuştur;

6) Sunulan Doğal Sismik Yalıtım Sistemi (DSYS) sistemi kullanılarak sismik yalıtımlı yapı tasarımı yöntemi verilmiş ve uygulama sınırları belirlenmiştir.

7) Ayrıca, sunulan çalışmalar ile büyüklüğü 6'dan büyük olan depremlerde devrilme momenti olmayan ankastre yapıların ivmelerinin taban ivmesine (8.1197 m/sn^2) göre ortalama %44 arttığı gösterilmiş olup, bu yapıların sadece sismik yalıtımlı olarak kullanılabilir olduğu gösterilmiştir.

Yukarıda elde edilmiş sonuçlara dayanarak sunulan örneklerde Doğal Sismik Yalıtım Sisteminin (DSYS) yüksek performans gösterdiği görülmüş olup, özet detayları aşağıda sunulmuştur:

a) Yönetmeliklerden de bilindiği üzere, 6 büyüklüğüne kadar olan deprem etkilerinde, herhangi bir sismik yalıtım sistemi bulunmayan yapıların ayakta kalması öngörülmektedir. Bu yüzden, Doğal Sismik Yalıtım Sisteminin (DSYS) uygulaması ve tasarımı, 6 büyüklüğüne kadar olan depremlerde yapı temelinin ankastre davranışı sağlayabileceği şekilde yapılmıştır;

b) Büyüklüğü 6'dan büyük olan Düzce (7.2) ve Kobe (6.9) depremleri örneğinde yapı 0.0299 m - 0.107 m aralığında yerdeğiştirme almış ve ivme aralığı 2.1976 m/sn^2 - 3.0472 m/sn^2 olarak elde edilmiş olup, deprem ivmesi %54 - %71 aralığında azalmıştır;

c) Hız ve gerilme değerlerinin ilgili limit değerlerini aşmamış olduğu görülmüştür.

Çalışmada sunulan Doğal Sismik Yalıtım Sisteminin (DSYS) özellikleri ve yapıların sismik yalıtım tasarımı için yöntemlerin (1-6) örnek uygulamalarda deprem ivmesini % 54 - % 71 aralığında azaltması, hız ve gerilmelerin ise ilgili limit sınırlarında kalmış olması performansı aşağıdaki önerileri ortaya koymaktadır:

- Devrilme momenti, olmayan hafif (4 kata kadar hastane, okul, konut vb.) yapılarda kullanılabilir;
- Doğal Sismik Yalıtım Sisteminin (DSYS) tasarımı ve uygulaması çok ekonomik olduğundan geniş çapta kullanımına kapı açmaktadır;
- Ayrıca, Doğal Sismik Yalıtım Sisteminde (DSYS) kullandığımız sürtünme arayüzünün (Horasan harcı) davranışının asırlar boyunca öğrenilmiş olması, sunulan Doğal Sismik Yalıtım Sistemine önemli ayrıcalık tanımaktadır.

KAYNAKLAR

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2017. Kuvvetli Yer Hareketleri Veri Tabanı. <http://kyhdata.deprem.gov.tr/2K/genAcc.php?dst=TU9EVUxFX05BTUU9ZXZ0RmlsZSZNT0RVTEVfVEFTSz1zaG93Jk1PRFVMRV9TVUJUQVNLPUFMTCZNT0RVTEVfVEFSR0VUPW9sZCZUQVJHRVQ9MTk5OTEwMTIxNjU3MjJfMTQwMSZUQVJHRVRfU0VSSUFMPTQyMTc%3D> (Erişim tarihi: 01.06.2017)
- Ahmad, S., Ghani, F. and Adil, M. R. 2009. Seismic friction base isolation performance using demolished waste in masonry housing. *Construction and Building Materials*, 23:1, 146-152. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.01.012
- Amontons, G. 1699. De la resistance cause'e dans les machines (1). *Japanese Society of Tribologists*, 44:4, 229-235.
- Arya, A.S. 1984. Sliding Concept for Mitigation of Earthquake Disaster to Masonry Buildings. 8th World Conference on Earthquake Engineering, 21-28 July, Proceedings, 951-958, San Francisco, USA.
- Atmaca, G. 2012. Geri düzeltmesiz sismik yalıtım-yapı sisteminin sonlu elemanlarla modellenmesi ve uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 100, Samsun.
- Binal, A. 2008. The Properties of Khorasan Mortar and Brick Used in Stone and Brick Masonry Buildings in Kula (Manisa-Turkey). Historical Mortars Conference (HMC08), 24-26 September, CD book, Lisbon, Portugal.
- Botiş, M. and Harbic, C. 2012. A brief history upon seismic isolating systems. *Bulletin of Transilvania University of Braşov Series I: Engineering Sciences*, 5:54, 93-98.
- Bowden, F. P. and Tabor, D. 2001. *The friction and lubrication of solids*. Oxford University Press, New York, USA.
- Constantinou, M., Mokha, A. and Reinhorn, A. 1990. Teflon bearings in base isolation II: Modeling. *Journal of Structural Engineering*, 116:2, 455-474. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1990)116:2(455)
- Constantinou, M. C., Tsopeles, P., Kasalanati, A. and Wolff, E. D. 1999. *Property Modification Factors for Seismic Isolation Bearings* (Report No. MCEER-99-0012). Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, University at Buffalo, State University of New York.
- Çakmak, A. Ş., Moropoulou, A. and Mullen, C. L. 1995. Interdisciplinary study of dynamic behavior and earthquake response of Hagia Sophia. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 14:2, 125-133. doi: 10.1016/0267-7261(94)00031-B
- Das, A., Dutta, A. and Deb, S. K. 2012. Modeling of Fiber-Reinforced Elastomeric Base Isolations. 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE), 24-28 September, Proceedings, 10918-10927, Lisbon, Portugal.

- Deb, S. K. and Paul, D. K. 2000. Seismic Response of Buildings Isolated by Sliding-Elastomer Bearings Subjected to Bi-Directional Motion. 12th World Conference on Earthquake Engineering (12WCEE), 30 January - 4 February, Proceedings, Auckland, New Zealand.
- Engel, H. 1985. *Measure and construction of the Japanese house* (First edition). Tuttle Publishing, Clarendon, Vermont, USA.
- Enokida, R., Inami, M., Nakashima, M., Nagae, T. and Ikenaga, M. 2012. Development of Free Standing Steel Structure Using Kinematic Friction of Steel-Mortar. 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE), 24-28 September, Proceedings, Lisbon, Portugal.
- Enokida, R. and Nagae, T. 2018. Seismic damage reduction of a structural system based on nontraditional sliding interfaces with graphite lubrication. *Journal of Earthquake Engineering*. 22:4, 666-686. doi: 10.1080/13632469.2016.1264326
- Fujita, R., Mori, A., Kanaji, H. and Izuno, K. 2004. A Study on the Seismic Performance of a Sliding Typed Seismic Isolation System Applied for Bridges. 13th World Conference on Earthquake Engineering (13WCEE), 1-6 August, Proceedings, Paper No. 800, Vancouver B. C., Canada.
- Fujitani, H., Mukai, Y., Tomizawa, T., Hirata, K., Mazuka, Y. and Fujii, H. 2012. Response Reduction of Base-Isolation System Against Near-Fault Pulse and Long-Period Ground Motions. 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE), 24-28 September, Proceedings, 11781-11790, Lisbon, Portugal.
- Giancoli, D. C. 2004. *Physics: Principles with applications* (Sixth edition). Pearson/Prentice Hall, USA.
- Greenwood, J. A. and Williamson, J. B. P. (1966). Contact of nominally flat surfaces. *Proceedings of the Royal Society A*, 295:1442, 300-319. doi: 10.1098/rspa.1966.0242
- Gu, W., Wang, S. and Cai, W. 2015. Seismic response of pure-friction sliding base-isolated structures subjected to vertical component of earthquakes. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 20:14, 5979-5980.
- Guéraud, R., Noël-Leroux, J. P., Livolant, M. and Michalopoulos, A. P. 1985. Seismic isolation using sliding-elastomer bearing pads. *Nuclear Engineering and Design*, 84:3, 363-377. doi: 10.1016/0029-5493(85)90252-3
- Haile, J. M. 1997. *Molecular dynamics simulation: Elementary methods*. Wiley - Interscience, USA.
- Hall, J. F., Heaton, T. H., Halling, M. W. and Wald, D. J. 1995. Near-source ground motion and its effects on flexible buildings. *Earthquake Spectra*, 11:4, 569-605. doi: 10.1193/1.1585828
- Heaton, T. H., Hall, J. F., Wald, D. J. and Halling, M. W. 1995. Response of high-rise and base-isolated buildings to a hypothetical MW 7.0 blind thrust earthquake. *Science*, 267:5195, 206-211. doi: 10.1126/science.267.5195.206

- Higashino, M. and Okamoto, S. 2015. *Response control and seismic isolation of buildings* (First edition). Routledge, Abingdon.
- Ikawa, N., Yamashita, Y. and Tachibana, E. 2011. Verification of the Response Reduction of Base Isolation System Using Sliding Bearing. International Symposium on Disaster Simulation & Structural Safety in the Next Generation (DS'11), 17-18 September, Proceedings, 27-32, Japan.
- Itagaki, E. 1998. *Shrine-1 basics document collection of history of Japanese architecture*. Chuo Koron Bijutsu Shuppan, Tokyo, Japan.
- Jangid, R.S. 2005. Optimum friction pendulum system for near fault motions. *Engineering Structures*, 27:3, 349-359. doi: 10.1016/j.engstruct.2004.09.013
- Kärkimaa, J. 2013. On the Relation Between the Surface Area in Contact and the Coefficient of Static Friction. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.514.1117&rep=rep1&type=pdf> (Erişim tarihi: 21.06.2017)
- Kaldal, G. S., Jonsson, M., Pálsson, H. and Karlsdottir, S. N. 2013. Collapse Analysis of the Casing in High Temperature Geothermal Wells. Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, 11-13 February, Proceedings, Stanford University, Stanford, California, USA.
- Kasımzade, A. A. 2009. Mathematical Model of the Natural Seismic Protection: Modelling, Implementation, Application. The 2nd International Multi-Conference on Engineering and Technological Innovation (IMETI 2009), 10-13 July, Proceedings, Orlando, Florida, USA.
- Kasımzade, A. A., Tuhta, S. and Bal, S. 2009. Natural Seismic Protection Peculiarities of Historical Walled Obelisk Structure in Istanbul: Modelling and Numerical Approach. Smart Structures and Materials (SMART 2009), 13-15 July, Proceedings, Porto, Portugal.
- Kasımzade, A. A., Bal, S. and Bayar, T. 2011a. Structural Safety Secret of “Walled Obelisk” Monument From the Tenth Century and Its Simulated Model for Applications. International Symposium on Disaster Simulation & Structural Safety in the Next Generation (DS'11), 17-18 September, Proceedings, 413-420, University of Hyogo, Kobe, Japan.
- Kasımzade, A. A., Bal, S. and Atmaca, G. 2011b. Natural Structural Protection of Structures in Natural Cataclysm: Structural Resistivity Secret of “Walled Obelisk” Monument Against Strong Earthquake Actions for Ten Centuries and Its Mathematical Model for Application. International Congress “Natural Cataclysms and Global Problems of the Modern Civilization”, 19-21 September, Proceedings, 532, Istanbul, Turkey.
- Kasımzade, A. A., 2012. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı ve Yeni Deprem Yalıtım Sistemi. Samsun İlinin Deprem Riski ve Alınabilecek Önlemler Sempozyumu, 11-12 Mayıs, Sempozyum Bildiri Kitabı, 33-51, Samsun, Türkiye.

- Kasımzade, A. A. and Tuhta, S. 2012. Stochastic parametric system identification approach for validation of finite element models: industrial applications. *Turkic World Mathematical Soceity Journal of Pure and Applied Mathematics*. 3:1, 41-61.
- Kasımzade, A. A., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2013. The discovery of restoring mechanism phenomenon for earthquake and applications in creating new seismic base isolation. *Theoretical and Applied Mechanics*, 8:4, 122-134.
- Kasımzade, A. A., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2014. Modeling, computing and application particularities of no restoring mechanism aseismic control device. *IERI Procedia*, 7, 77-83. doi: 10.1016/j.ieri.2014.08.013
- Kasımzade, A. A., Tachibana, E., Mukai, Y., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2015a. Spherical Foundation Structural Seismic Isolation System on Base Ancient Architecture's Inherence. International Symposium on Disaster Simulation (DS'15), 13-14 June, Proceedings, 127-132, Ichō-Kaikan, Osaka University, Japan.
- Kasımzade, A. A., Tachibana, E., Mukai, E., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2015b. Spherical Foundation Structural Seismic Isolation System: Development of the New Type Earthquake Resistant Structures. 6th International Conference on the Theoretical and Applied Mechanics (TAM 15), 27-29 June, Proceedings, 287-292, Salerno University, Italy.
- Kasımzade, A. A., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2017. Sliding Interface Area Effect on Aseismic Artless Base Isolation. International Conference on Contemporary Problems of Construction and Civil Engineering Education, 19 December, Proceedings, 19-41, Baku, Azerbaijan.
- Kasımzade, A. A., 2018a. *Yapı dinamiği temelleri ve deprem mühendisliğinde uygulamaları* (Üçüncü Baskı). Nobel Yayınevi, 406-407, Ankara.
- Kasımzade, A. A., 2018b. *Sonlu elemanlar metodu temelleri ve yapı mekaniğinde uygulamaları* (Üçüncü Baskı). Nobel Yayınevi, Ankara.
- Kasımzade, A. A., Abrar, O., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2018. Investigation of seismic base isolated structures for long ground motions. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 5:6, 15-20.
- Kasımzade, A. A., Şafak, E., Ventura, C. E., Naeim, F. and Mukai, Y. (Editors) 2019a. *Seismic Isolation, Structural Health Monitoring, and Performance Based Seismic Design in Earthquake Engineering*. Springer International Publishing, Chapter 1, 3-54, Cham, Switzerland. doi: 10.1007/978-3-319-93157-9_1
- Kasımzade, A. A., Şafak, E., Ventura, C. E., Naeim, F. and Mukai, Y. (Editors) 2019b. *Seismic Isolation, Structural Health Monitoring, and Performance Based Seismic Design in Earthquake Engineering*. Springer International Publishing, Chapter 3, 85-127, Cham, Switzerland. doi: 10.1007/978-3-319-93157-9_3
- Kasımzade, A. A., Dushimimana, A., Tuhta, S., Atmaca, G., Günday, F. and Abrar, O. 2019c. A comparative study of effectiveness of using horasan mortar as a pure friction sliding interface material. *European Journal of Engineering Research & Science (EJERS)*, 4:2, 64-69. doi: 10.24018/ejers.2019.4.2.1166

- Kasımlzade, A. A., Mukai, Y., Atmaca, G. and Tuhta, S. (in press-a). Natural seismic base isolation in traditional Japanese structures. *Gradevinar*.
- Kasımlzade, A. A., Atmaca, G., Kuruoğlu, M. and Mukimov, R. A. (in press-b). Aseismic Control Device with Centuries Experiences for Applications. *17th World Conference on Earhquake Engineering (17WCEE)*.
- Kasımlzade, A. A., Atmaca, G., Kuruoğlu, M. and Mukimov, R. A. (in press-c). Structural Seismic Isolation Method for Seismic Protection of Highly Reliable Structures. *17th World Conference on Earhquake Engineering (17WCEE)*.
- Kato, S., Yamaguchi, K. and Matsubayashi, T. 1974. Stick-slip motion of machine tool sideway. *Journal of Engineering for Industry*, 96:2, 557-566.
- Kawabe, H. 2015. Long Period Ground Motion Simulation of Huge Plate Boundary Earthquakes. International Symposium on Disaster Simulation (DS'15), 13-14 June, Proceedings, Ichu-Kaikan, Osaka University, Japan.
- Konstantinidis, D. and Makris, N. 2005. *Experimental and Analytical Studies on the Seismic Response of Freestanding and Anchored Laboratory Equipment* (Report No. PEER 2005/07). Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- Livermore Software Technology Corporation, 2016. <https://www.lstc.com/products/lis-dyna> (Erişim tarihi: 18.05.2016)
- Locher, M., Simmons, B. and Kuma, K. 2015. *Japanese architecture: An exploration of elements & forms*. Tuttle Publishing, 224, Clarendon, Vermont, USA.
- Lou, Y., Wang, M. and Su, J. 1992. Research of Sliding Shock Absorbing of Multi-Storey Brick Buildings. 10th World Conference on Earthquake Engineering, 19-24 July, Proceedings, 2499-2503, Madrid, Spain.
- Masatsugu, N. and Zentaro, Y. 2013. *Zusetsu kenchiku no rekishi: Seiyo, nihon, kindai (The history of architectures: color version: The west, Japan, The Modern)*. Gakugei Shuppansha, Tokyo, Japan.
- MathWorks, 2017. MATLAB R2017b documentation. <https://www.mathworks.com/help/releases/R2017b/index.html> (Erişim tarihi: 01.12.2017)
- MathWorks, 2019. <https://www.mathworks.com> (Erişim tarihi: 07.02.2019)
- McCormick, J., Nagae, T., Ikenaga, M., Zhang, P. C., Katsuo, M. and Nakashima, M. 2009. Investigation of the sliding behaviour between steel and mortar for seismic applications in structures. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 38:12, 1401-1419. doi: 10.1002/eqe.908
- Microsoft, 2019. En son desteklenen Visual C++ indirmeleri. <https://support.microsoft.com/tr-tr/help/2977003/the-latest-supported-visual-c-downloads> (Erişim tarihi: 07.02.2019)

- Moss, R. E. S. and Noche, R. E. 2012. Scale Model Shake Table Testing of Seismic Earth Pressures in Soft Clay. GeoCongress 2012, 25-29 March, Proceedings, 2078-2087, Oakland, California, USA.
- Mostaghel, N., Hejazi, M. and Tanbakuchi, J. 1983. Response of sliding structures to harmonic support motion. *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 11:3, 355-366. doi: 10.1002/eqe.4290110305
- Mostaghel, N. and Tanbakuchi, J. 1983. Response of sliding structures to earthquake support motion. *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 11:6, 729-748. doi: 10.1002/eqe.4290110603
- Mostaghel, N. and Khodaverdian, M. 1987. Dynamics of resilient-friction base isolator (R-FBI). *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 15:3, 379-390. doi: 10.1002/eqe.4290150307
- Mukai, Y., Yonezawa, M., Koshihara, M., Saito, Y. and Suzuki, Y. 2012. Numerical Modeling of Traditional Japanese Wooden Structures Based on Full-Scale Shaking Table Test Results. World Conference on Timber Engineering 2012, 15-19 July, Proceedings, 429-437, Auckland, New Zealand.
- Mukai, Y. and Tanaka, E. 2012. Performance Evaluation for Traditional Japanese Wooden Pagodas Based on Micro-tremor Measurement and Numerical Frame Model Analysis. 15th World Conference on Earthquake Engineering (15WCEE), 24-28 September, Proceedings, Lisbon, Portugal.
- Mukaibo, K., Kawakami, T., Ariyama, M. and Suzuki, Y. 2011. Experimental and Analytical Study on Sliding Behaviour of Traditional Timber Building Under Strong Earthquakes. International Symposium on Disaster Simulation & Structural Safety in the Next Generation (DS'11), 17-18 September, Proceedings, University of Hyogo, Kobe, Japan.
- Nagae, T., Ikenaga, M., Nakashima, M. and Suita, K. 2006. Shear friction between base plate and base mortar in exposed steel column base. *Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ)*, 71:606, 217-223. doi: 10.3130/aijs.71.217
- Nagashima, I. 1998. Experimental Evaluation of Aging Effects on Properties of a Building with Sliding Base Isolation System. 10JEES, Proceedings, 2659.
- Nanda, R. P., Agarwal, P. and Shrikhande, M. 2008. Earthquake Hazard Mitigation for Rural Dwellings by P-F Base Isolation. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 12-17 October, Proceedings, Beijing, China.
- Nanda, R. P., Agarwal, P. and Shrikhande, M. 2010. Frictional base isolation by geotextiles for brick masonry buildings. *Geosynthetic International*, 17:1, 48-55. doi: 10.1680/gein.2010.17.1.48
- Nanda, R. P., Agarwal, P. and Shrikhande, M. 2012. Suitable friction sliding materials for base isolation of masonry buildings. *Shock and Vibration*, 19:6, 1327-1339. doi: 10.3233/SAV-2012-0675.
- Nanda, R. P. 2015. Base isolation for architectural temples. *International Journal of Civil and Structural Engineering*, 2:1, 192-195.

- Nikolic-Brzev, S. and Arya, A. S. 1996. Seismic Isolation of Masonry Buildings. Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, 23-28 June, Proceedings, Paper No. 1338, Acapulco, Mexico.
- Nishimura, H., Satoko, O. and Eizaburo, T. 2004. Identification of Frictional Coefficients of Stainless Steel Sliding Base Isolators. 13th World Conference on Earthquake Engineering, 1-6 August, Proceedings, Paper No. 380, Vancouver, B.C., Canada.
- Nishimura, H., Abe, S. and Tachibana E. 2007. Dynamic characteristics and response reduction of the metal-touched type of base-isolator. *Structural Control and Health Monitoring*, 14:4, 537-555. doi: 10.1002/stc.168
- Ohmori, K. 1998. *Shaji kenchiku no gijyutu: Chusei wo omotosita rekishi, giho, isho (Technique for architecture of the shrines and temples: The history, technique, and design in the middle ages in Japan)*, Rikogakusha Publishing, Tokyo, Japan.
- Özel Hastaneler Yönetmeliği, 2002. <https://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.4854&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch=%C3%B6zel%20hasta> (Erişim tarihi: 04.07.2017)
- Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2011. PEER Strong Ground Motion Database. <https://ngawest2.berkeley.edu> (Erişim tarihi: 18.11.2011)
- Pacific Earthquake Engineering Research Center, 2018. PEER Strong Ground Motion Database. <https://ngawest2.berkeley.edu> (Erişim tarihi: 06.10.2018)
- Purdue University, 2019. Shaking Table Demonstration of Dynamic Response of Base-Isolated Buildings. <https://engineering.purdue.edu/UCIST/TeachingModules/UG%20Exercises/Shaking%20Table%20Demonstration%20of%20Dynamic%20Response%20of%20Base-Isolated%20Buildings/website%202.htm> (Erişim tarihi: 06.02.2019)
- Qamaruddin, M., Rasheeduzaafar, Arya, A. S. and Chandra, B. 1986. Seismic response of masonry buildings with sliding substructure. *Journal of Structural Engineering*, 112:9, 2001-2011. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1986)112:9(2001)
- Quanser, 2019. <https://www.quanser.com> (Erişim tarihi: 07.02.2019)
- Reischauer, E. O. 1989. *Japan: The story of a nation* (Fourth edition). McGraw-Hill, 448, New York, USA.
- Roussis, P. C. and Constantinou, M. C. 2006. Experimental and analytical studies of structures seismically isolated with an uplift-restraining friction pendulum system. *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 35:5, 595-611. doi: 10.1002/eqe.546
- Saito, T. 2016. Response of high-rise buildings to long period earthquake ground motions. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, 5:4, 308-314. doi: 10.18178/ijscer.5.4.308-314
- Seismosoft Earthquake Engineering Software Solutions, 2019. SeismoSignal. <https://seismosoft.com/product/seismosignal/> (Erişim tarihi: 10.01.2019)

- Shonkwiler, B. E. and Miller, T. H. 2008a. Small-Scale Shake Table Experiments and Comparison to Analytical Predictions. Student Manual. <https://engineering.purdue.edu/UCIST/TeachingModules/UG%20Exercises/Small%20Shake%20Table%20Experiments%20and%20Comparison%20to%20Analytical%20Predictions/Student%20Manual.pdf> (Erişim tarihi: 07.02.2019)
- Shonkwiler, B. E. and Miller, T. H. 2008b. Small-Scale Shake Table Experiments and Comparison to Analytical Predictions. Teacher's Manual. <https://engineering.purdue.edu/UCIST/TeachingModules/UG%20Exercises/Small%20Shake%20Table%20Experiments%20and%20Comparison%20to%20Analytical%20Predictions/Teacher%20Manual.pdf> (Erişim tarihi: 07.02.2019)
- Singer, I. L. and Pollock, H. M. 1992. *Fundamentals of friction: Macroscopic and microscopic processes*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Song, B., Yin, C., Zhang, X. and Tao, S. 1990. Experimental Study and Seismic Response Analysis of Multi-Storeyed Brick Buildings with Friction Base Isolation. 5th North American Masonry Conference, 3-6 June, Proceedings, University of Illinois at Urbana-Champaign, USA.
- Stavridis, A., Shing, B. and Conte, J. 2010. Design, Scaling, Similitude, and Modeling of Shake-Table Test Structures. <http://nheri.ucsd.edu/eot/docs/2010-user-perspective-seismic-testing/UCSD%20MODELING%20SIMILITUDE%20AND%20SIMULATION%20ANDREAS%20STAVRIDIS.pdf> (Erişim tarihi: 07.02.2019)
- Symans, M. D., Madden, G. J. and Wongprasert, N. 2000. Experimental Study of an Adaptive Base Isolation System for Buildings. 12th World Conference on Earthquake Engineering, 30 January-4 February, Proceedings, 1965, Auckland, New Zealand.
- Tabatabeifar, S. H. R., Fatahi, B. and Samali B. 2014. Numerical and experimental investigations on seismic response of building frames under influence of soil-structure interaction. *Advances in Structural Engineering*, 17:1, 109-130. doi: 10.1260/1369-4332.17.1.109
- Tehrani, F. M. and Hasani, A. 1996. Behaviour of Iranian Low Rise Buildings on Sliding Base to Earthquake Excitation. 11th World Conference on Earthquake Engineering, 23-28 June, Proceedings, Paper 1433, Acapulco, Mexico.
- The Building Center of Japan, 2010. <https://www.bcj.or.jp> (Erişim tarihi: 18.10.2010)
- Tomlinson, G. A. 1929. CVI. A molecular theory of friction. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 7:46, 905-939. doi: 10.1080/14786440608564819
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018. <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2018/03/20180318M1-2.htm> (Erişim tarihi: 19.03.2018)

- Vairis, A. and Christakis, N. 2005. Recent Advances on Friction Modelling within a Computational Mechanics Framework. 1st International Conference on Experiments/Process/System Modelling/Simulation/Optimization, 6-9 July, Proceedings, Athens.
- Valluzzi, M. R., Binda, L. and Modena, C. 2005. Mechanical behaviour of historic masonry structures strengthened by bed joints structural repointing. *Construction and Building Materials*. 19:1, 63-73. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2004.04.036
- Wolowicz, C. H., Bowman, J. S. and Gilbert, W.P. 1979. *Similitude Requirements and Scaling Relationships as Applied to Model Testing* (Report No. 1435). National Aeronautics and Space Administration, USA.
- Zayas, V. A., Low, S. S. and Mahin, S. A. 1990. A simple pendulum technique for achieving seismic isolation. *Earthquake Spectra*, 6:2, 317-333. doi: 10.1193/1.1585573
- Zhang, P. C., Nagae, T., McCormick, J., Ikenaga M., Katsuo, M. and Nakashima, M. 2008. Friction-Based Sliding Between Steel and Steel, Steel and Concrete, and Wood and Stone. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, 12-17 October, Proceedings, Beijing, China.
- Ziemian, C., Ziemian, R. and Barker, E. 2010. Shake-table simulation study of small scale layered models. *Rapid Prototyping Journal*, 16:1, 4-11. doi: 10.1108/13552541011011659
- Zongjin, L., Rossow, E. C. and Shah, S. P. 1989. Sinusoidal forced vibration of sliding masonry system. *Journal of Structural Engineering*, 115:7, 1741-1755. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1989)115:7(1741)

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Gencay ATMACA
Doğum Yeri : Samsun
Doğum Tarihi : 05.06.1987
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Samsun Atatürk Anadolu Lisesi (2005)
Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü (2010)
Yüksek Lisans : Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı (Eylül 2010 - Ağustos 2012)

Çalıştığı Kurum ve Yıl

Samsun İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü (2011 - Devam ediyor)

Yayınlar

- Kasımzade, A. A., Bal, S. and Atmaca, G. 2011. Natural Structural Protection of Structures in Natural Cataclysm: Structural Resistivity Secret of “Walled Obelisk” Monument Against Strong Earthquake Action for Ten Centuries and Its Mathematical Model for Application. International Congress “Natural Cataclysms and Global Problems of the Modern Civilization”, 19-21 September, Proceedings, 532, Istanbul, Turkey.
- Kasımzade, A. A., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2013. The discovery of restoring mechanism phenomenon for earthquake and applications in creating new seismic base isolation. *Theoretical and Applied Mechanics*, 8:4, 122-134.
- Kasımzade, A.A., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2014. Modeling, computing and application particularities of no restoring mechanism aseismic control device. *IERI Procedia*, 7, 77-83. doi: 10.1016/j.ieri.2014.08.013
- Kasımzade, A. A., Tachibana, E., Mukai, Y., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2015. Spherical Foundation Structural Seismic Isolation System on Base Ancient Architecture's Inherence. International Symposium on Disaster Simulation (DS'15), 13-14 June, Proceedings, 127-132, Icho-Kaikan, Osaka University, Japan.

- Kasımzade, A. A., Tachibana, E., Mukai, E., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2015. Spherical foundation structural seismic isolation system: Development of the New Type Earthquake Resistant Structures. 6th International Conference on the Theoretical and Applied Mechanics (TAM 15), 27-29 June, Proceedings, 287-292, Salerno University, Italy.
- Kasımzade, A. A., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2017. Horasan Mortar in Aseismic Artless Base Isolation Device with Experience Since Ancient Architecture. International Conference on Contemporary Problems of Construction and Civil Engineering Education, 19 December, Proceedings, 1-19, Baku, Azerbaijan.
- Kasımzade, A. A., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2017. Sliding Interface Area Effect on Aseismic Artless Base Isolation. International Conference on Contemporary Problems of Construction and Civil Engineering Education, 19 December, Proceedings, 19-41, Baku, Azerbaijan.
- Kasımzade, A. A., Abrar, O., Tuhta, S. and Atmaca, G. 2018. Investigation of seismic base isolated structures for long ground motions. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, 5:6, 15-20.
- Kasımzade, A. A., Tuhta, S., Atmaca, G., Alameri, I. and Abrar, O. 2018. Novel approach on performance-based aseismic design based on FEMA requirements. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, 3:1, 812-816. doi: 10.31142/ijtsrd19068
- Kasımzade, A. A., Şafak, E., Ventura, C. E., Naeim, F. and Mukai, Y. (Editors) 2019. *Seismic Isolation, Structural Health Monitoring, and Performance Based Seismic Design in Earthquake Engineering*. Springer International Publishing, Chapter 1, 3-54, Cham, Switzerland. doi: 10.1007/978-3-319-93157-9_1
- Kasımzade, A. A., Şafak, E., Ventura, C. E., Naeim, F. and Mukai, Y. (Editors) 2019. *Seismic Isolation, Structural Health Monitoring, and Performance Based Seismic Design in Earthquake Engineering*. Springer International Publishing, Chapter 3, 85-127, Cham, Switzerland. doi: 10.1007/978-3-319-93157-9_3
- Kasımzade, A. A., Şafak, E., Ventura, C. E., Naeim, F. and Mukai, Y. (Editors) 2019. *Seismic Isolation, Structural Health Monitoring, and Performance Based Seismic Design in Earthquake Engineering*. Springer International Publishing, Chapter 9, 217-231, Cham, Switzerland. doi: 10.1007/978-3-319-93157-9_9
- Kasımzade, A. A., Şafak, E., Ventura, C. E., Naeim, F. and Mukai, Y. (Editors) 2019. *Seismic Isolation, Structural Health Monitoring, and Performance Based Seismic Design in Earthquake Engineering*. Springer International Publishing, Chapter 10, 233-246, Cham, Switzerland. doi: 10.1007/978-3-319-93157-9_10
- Kasımzade, A. A., Dushimimana, A., Tuhta, S., Atmaca, G., Günday, F., Pfidze, K. and Abrar, O. 2019. A comparative study on effectiveness of using horasan mortar as a pure friction sliding interface material. *European Journal of Engineering Research and Science (EJERS)*, 4:2, 64-69. doi: 10.24018/ejers.2019.4.2.1166
- Kasımzade, A. A., Mukai, Y., Atmaca, G. and Tuhta, S. (in press). Natural seismic base isolation in traditional Japanese structures. *Gradevinar*.
- Kasımzade, A. A., Atmaca, G., Kuruoğlu, M. and Mukimov, R. A. (in press). Aseismic Control Device with Centuries Experiences for Applications. *17th World Conference on Earthquake Engineering (17WCEE)*.
- Kasımzade, A. A., Atmaca, G., Kuruoğlu, M. and Mukimov, R. A. (in press). Structural Seismic Isolation Method for Seismic Protection of Highly Reliable Structures. *17th World Conference on Earthquake Engineering (17WCEE)*.