



**YIĞMA KÖPRÜLERİN DEPREM
DAVRANIŞLARININ DOĞRUSAL
OLMAYAN STATİK YÖNTEMLERLE
TAHMİNİ**

Suat Gökhan ÖZKAYA

**Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İlker KAZAZ**

**2019
Her hakkı saklıdır.**



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZİ

**YIĞMA KÖPRÜLERİN DEPREM DAVRANIŞLARININ DOĞRUSAL
OLMAYAN STATİK YÖNTEMLERLE TAHMİNİ**

Suat Gökhan ÖZKAYA

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İlker KAZAZ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Erzurum

2019

Her hakkı saklıdır

T.C.
ERZURUM TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ ONAY FORMU

**YIĞMA KÖPRÜLERİN DEPREM DAVRANIŞLARININ DOĞRUSAL
OLMAYAN STATİK YÖNTEMLERLE TAHMİNİ**

Prof. Dr. İlker KAZAZ danışmanlığında, Suat Gökhan ÖZKAYA tarafından hazırlanan bu çalışma 05 / 09 / 2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Doktora tezi olarak **Oy birliği ile (5/5)** ile kabul edilmiştir.

Başkan	: Prof. Dr. İlker KAZAZ	<i>İmza</i>	:
Üye	: Prof. Dr. Habib UYSAL	<i>İmza</i>	:
Üye	: Doç. Dr. Salih AKPINAR	<i>İmza</i>	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU	<i>İmza</i>	:
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Barış ERDİL	<i>İmza</i>	:

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Doç. Dr. Arzu GÖRMEZ
Enstitü Müdürü

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

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

05 / 09 / 2019

Suat Gökhan ÖZKAYA

ÖZET

DOKTORA TEZİ

YIĞMA KÖPRÜLERİN DEPREM DAVRANIŞLARININ DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK YÖNTEMLERLE TAHMİNİ

Suat Gökhan ÖZKAYA

Erzurum Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İlker KAZAZ

Tarihi yığma yapıların inşasında, genellikle düşey yönde uygulanan statik yükler göz önünde bulundurulmuştur. Ancak, yığma yapılar sismik etkilerden dolayı da hasar görmüş veya tahrip olmuş olabilir. Tarihi yığma yapıların, geleceğe güvenle korunarak aktarılmaları için deprem performansları elde edilmelidir. Yapıların performans değerlendirmesine bağlı olan analiz yöntemleri, yığma yapıların deprem yükleri altındaki davranışlarının önceden tahmin edilmesi amacı ile uygulanmaktadır. Bu çalışmada, performansa bağlı analiz yöntemlerinden “Kapasite Spektrumu Yöntemi” ile tek açıklıklı tarihi yığma kemer köprülerin performans analizlerinin yapılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, farklı geometrilere sahip 5 adet tek açıklıklı yığma kemer köprü ele alınmış olup, bu yapıların yatay yükleme ile itme analizleri yapılarak kapasite spektrumları elde edilmiştir. Dünya genelinden seçilen 8 farklı deprem kaydı ile talep spektrumları elde edilmiştir. Sonuç olarak talep ve kapasite spektrumları kullanılarak performans noktaları belirlenmiştir.

2019, 380 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kapasite Spektrum Yöntemi, Kemer köprü, Performans Analizi, Statik, Yığma

ABSTRACT

Ph.D

ESTIMATION OF EARTHQUAKE BEHAVIOR OF MASONRY BRIDGES WITH NONLINEAR STATIC METHODS

Suat Gökhan ÖZKAYA

Erzurum Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. İlker KAZAZ

In the construction of historical masonry structures, static loads which are generally applied in the vertical direction are taken into consideration. However, masonry structures may also be damaged or destroyed by seismic effects. Earthquake performances should be obtained in order to transfer historical masonry structures safely to the future. Analysis methods, which depend on the performance evaluation of the structures, are applied in order to predict the behavior of masonry structures under earthquake loads. In this study, “Capacity Spectrum Method”, which is one of the performance-based analysis methods, is aimed to perform performance analyzes of single-span historical masonry arch bridges. For this purpose, 5 single-span masonry arch bridges with different geometries were handled and capacity analyzes were obtained by lateral thrust analysis. Demand spectra have been obtained with 8 different earthquake records selected from all over the world. As a result, performance points were determined by using demand and capacity spectra.

2019, 380 pages

Keywords: Capacity Spectrum Method, Arch Bridge, Performance Analysis, Static, Masonry

TEŞEKKÜR

Tez alıőmamın planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, sayın hocam Prof. Dr. İlker KAZAZ'a, yoğun çalıőmalarım sırasında sabır gösterdiği ve bana katlandığı için eőim Alev'e, sürekli çalıőmama izin verdikleri için küçük kızlarım Iőıl ve İnci'ye, öğrenim hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Suat Gökhan ÖZKAYA
Eylül / 2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xlii
1. GİRİŞ	1
1.1. Yığma Yapı Nedir?	5
1.2. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzeme Türleri	6
1.3. Kemer Terminolojisi	9
1.4. Kemer Türleri	11
1.5. Kemer Köprülerin Avantaj ve Dezavantajları	13
1.6. Taş Kemer Köprülerin Tarih İçinde İlerleyişi	14
1.7. Kemer Çalışma Prensibi	16
1.8. Tezin Amacı ve Yapısı	20
2. KAYNAK ÖZETLERİ	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM	30
3.1. Materyal.....	30
3.1.1. Genel Bilgiler	30
3.2. Yöntem	31
3.2.1 Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği	31
3.2.1.1 Performansa dayalı yöntemler	32
3.2.1.2. Doğrusal statik analiz prosedürü	32
3.2.1.3. Doğrusal dinamik analiz prosedürü.....	33
3.2.1.4. Doğrusal olmayan statik analiz prosedürü	33
3.2.1.5. Doğrusal olmayan dinamik analiz prosedürü	34
3.2.2. Statik İtme (Pushover) Analizi	34
3.2.3. Yanal yük modelleri	38
3.2.4. Statik İtme Analizi Yöntemleri	41
3.2.4.1. Geleneksel itme analizi yöntemleri	41

3.2.4.1.1. Kapasite spektrumu yöntemi	41
3.2.4.1.2. Modal itme analizi yöntemi	46
3.2.4.1.3. N2 yöntemi	47
3.2.4.1.4. Geliştirilmiş kapasite spektrumu yöntemi	48
3.2.4.1.5. Yer değiştirme katsayısı yöntemi	48
3.2.5. Enerji Tabanlı İtme Analizi Yöntemleri	49
3.2.6. Adaptif İtme Analizi Yöntemleri	51
3.2.7. FEMA440'a Göre Performans Noktasının Belirlenmesi	53
3.2.8. Modal Analiz	58
3.2.8.1. Sönüm	59
3.2.9. Sonlu Eleman Modeli	61
3.2.10. Dinamik Analiz	61
3.2.10.1. Sonlu elemanlar denklemleri	61
3.2.10.2. Zaman-tanım analizi	67
3.2.11. ANSYS sonlu eleman paket programı	68
3.2.12. Yığılma Yapılarda Kullanılan Malzeme Özellikleri	70
3.2.12.1. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi	71
3.2.12.2. Duvarın dayanımının belirlenmesi	74
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	77
4.1. Tarihi Köprülerin Tanıtılması	77
4.1.1. Coşandere köprüsü (Trabzon)	77
4.1.2. Kireçli köprüsü (Erzurum)	78
4.1.3. Kız köprüsü (Erzurum)	79
4.1.4. Şenyuva köprüsü (Rize)	80
4.1.5. Şinik köprüsü (Trabzon)	81
4.2. Köprülerde Kullanılan Malzeme Özellikleri	82
4.3. Deneysel Doğrulama	83
4.4. Köprülerin Modal Analiz Sonuçları	87
4.4.1. Coşandere köprüsü	87
4.4.2. Kireçli köprüsü	89
4.4.3. Kız köprüsü	90
4.4.4. Şenyuva köprüsü	92
4.4.5. Şinik köprüsü	93
4.4.6. Modal analiz sonuçlarının değerlendirilmesi	95

4.5. Statik İtme (Pushover) Analizleri.....	97
4.5.1. Coşandere köprüsü düşey ve yatay itme analizleri	97
4.5.1.1. Düşey itme analizi	97
4.5.1.2. Yatay itme analizi.....	101
4.5.2. Kireçli köprüsü düşey ve yatay itme analizleri	105
4.5.2.1. Düşey itme analizi	105
4.5.2.2. Yatay itme analizi.....	110
4.5.3. Kız köprüsü düşey ve yatay itme analizleri.....	114
4.5.3.1. Düşey itme analizi	114
4.5.3.2. Yatay itme analizi.....	119
4.5.4. Şenyuva köprüsü düşey ve yatay itme analizleri.....	122
4.5.4.1. Düşey itme analizi	122
4.5.4.2. Yatay itme analizi.....	127
4.5.5. Şinik köprüsü düşey ve yatay itme analizleri	131
4.5.5.1. Düşey itme analizi	131
4.5.5.2. Yatay itme analizi.....	136
4.5.6.1. Düşey yönde statik itme analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	140
Şekil 4.71. Köprülerin düşey yönde statik itme analiz eğrilerinin karşılaştırılması	141
Şekil 4.71. Köprülerin düşey yönde statik itme analiz eğrilerinin karşılaştırılması (devam)	142
4.5.6.2. Yatay yönde statik itme analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	142
4.6. Dinamik Analizler	144
4.6.1. Coşandere Köprüsüne ait doğrusal olmayan dinamik analizler	146
4.6.1.1. Coşandere köprüsü Düzce depremine ait dinamik analiz.....	146
4.6.1.2. Coşandere köprüsü Erzincan depremine ait dinamik analiz	150
4.6.1.3. Coşandere köprüsü İzmit depremine ait dinamik analiz	154
4.6.1.4. Coşandere köprüsü Loma-Prieta depremine ait dinamik analiz.....	158
4.6.1.5. Coşandere köprüsü Kobe depremine ait dinamik analiz	162
4.6.1.6. Coşandere köprüsü Rudbar-İran depremine ait dinamik analiz	166
4.6.1.7. Coşandere köprüsü Hector-Mine depremine ait dinamik analiz	170
4.6.1.8. Coşandere köprüsü Yarımca depremine ait dinamik analiz	174
4.6.2. Kireçli Köprüsüne ait doğrusal olmayan dinamik analizler	178
4.6.2.1. Kireçli köprüsü Düzce depremine ait dinamik analiz	178

4.6.2.2. Kireçli köprüsü Erzincan depremine ait dinamik analiz	183
4.6.2.3. Kireçli köprüsü İzmit depremine ait dinamik analiz	187
4.6.2.4. Kireçli köprüsü Loma-Prieta depremine ait dinamik analiz	191
4.6.2.5. Kireçli köprüsü Kobe depremine ait dinamik analiz.....	195
4.6.2.6. Kireçli köprüsü Rudbar depremine ait dinamik analiz.....	200
4.6.2.7. Kireçli köprüsü Hector-Mine depremine ait dinamik analiz.....	204
4.6.2.8. Kireçli köprüsü Yarımca depremine ait dinamik analiz.....	208
4.6.3. Kız Köprüsüne ait doğrusal olmayan dinamik analizler	212
4.6.3.1. Kız köprüsü Düzce depremine ait dinamik analiz.....	212
4.6.3.2. Kız köprüsü Erzincan depremine ait dinamik analiz.....	215
4.6.3.3. Kız köprüsü İzmit depremine ait dinamik analiz	218
4.6.3.4. Kız köprüsü Loma-Prieta depremine ait dinamik analiz.....	222
4.6.3.5. Kız köprüsü Kobe depremine ait dinamik analiz	225
4.6.3.6. Kız köprüsü Rudbar-İran depremine ait dinamik analiz	228
4.6.3.7. Kız köprüsü Hector-Mine depremine ait dinamik analiz	231
4.6.3.8. Kız köprüsü Yarımca depremine ait dinamik analiz	234
4.6.4. Şenyuva Köprüsüne ait doğrusal olmayan dinamik analizler	237
4.6.4.1. Şenyuva köprüsü Düzce depremine ait dinamik analiz.....	237
4.6.4.2. Şenyuva köprüsü Erzincan depremine ait dinamik analiz.....	241
4.6.4.3. Şenyuva köprüsü İzmit depremine ait dinamik analiz	244
4.6.4.4. Şenyuva köprüsü Loma-Prieta depremine ait dinamik analiz.....	248
4.6.4.5. Şenyuva köprüsü Kobe depremine ait dinamik analiz	251
4.6.4.6. Şenyuva köprüsü Rudbar-İran depremine ait dinamik analiz	256
4.6.4.7. Şenyuva köprüsü Hector-Mine depremine ait dinamik analiz	260
4.6.4.8. Şenyuva köprüsü Yarımca depremine ait dinamik analiz	264
4.6.5. Şinik Köprüsüne ait doğrusal olmayan dinamik analizler.....	268
4.6.5.1. Şinik köprüsü Düzce depremine ait dinamik analiz.....	268
4.6.5.2. Şinik köprüsü Erzincan depremine ait dinamik analiz.....	272
4.6.5.3. Şinik köprüsü İzmit depremine ait dinamik analiz.....	275
4.6.5.4. Şinik köprüsü Loma-Prieta depremine ait dinamik analiz	279
4.6.5.5. Şinik köprüsü Kobe depremine ait dinamik analiz	283
4.6.5.6. Şinik köprüsü Rudbar-İran depremine ait dinamik analiz.....	287
4.6.5.7. Şinik köprüsü Hector-Mine depremine ait dinamik analiz	291
4.6.5.8. Şinik köprüsü Yarımca depremine ait dinamik analiz	295

4.6.6. Dinamik analiz sonuçlarının değerlendirilmesi.....	299
4.7. Performans Noktasının Belirlenmesi.....	300
4.7.1. Coşandere köprüsünün performans noktasının belirlenmesi.....	302
4.7.2. Kireçli köprüsünün performans noktasının belirlenmesi	305
4.7.3. Kız köprüsünün performans noktasının belirlenmesi.....	308
4.7.4. Şenyuva köprüsünün performans noktasının belirlenmesi.....	310
4.7.5. Şinik köprüsünün performans noktasının belirlenmesi	313
4.7.6. Kapasite spektrum metodu yöntemiyle gerçekleştirilen analizlerin değerlendirilmesi	315
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	320
KAYNAKLAR.....	314
EKLER.....	323
EK 1.	323
ÖZGEÇMİŞ.....	324

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
N_i	Şekil fonksiyonu
%	Yüzde
\bar{V}_j	Ölçeklendirilmiş modal taban kesmesi
Φ_{ij}	j modu için i'inci kattaki elemanların mod şekil vektörü
Φ_m	Tepe seviyesinde n'inci modun genliği
Φ_n	Tepe mod şekli
h_i	i'inci kattaki yükseklik
\ddot{u}^*	ESDOF sistemde referans ivme
\ddot{u}_g	Yer ivmesi kayıtları
\ddot{u}_t	Tepenin bağıl ivmesi
$\{\Phi\}$	Mod şekil vektörü
C^*	ESDOF sistemde sönüm
C_0	Spektral yer değiştirmeyi ve muhtemel çatı yer değiştirmesini ilişkilendiren değişkenlik faktörü
C_1	Doğrusal elastik tepki için hesaplanan yer değiştirmeler ile beklenen en büyük elastik yer değiştirmeleri ilişkilendiren değişkenlik faktörü
C_2	Histeretik şeklinin maksimum yer değiştirme tepkisi üzerindeki etkisini temsil eden değişkenlik faktörü
C_3	İkinci mertebeden etkilere bağlı olarak artan yer değiştirmeleri temsil eden modifikasyon faktörü
D_n	En üst spektral çatı yer değiştirmesi
F^*	ESDOF sistemde kuvvet ilişkisi
F_i	i'inci kattaki uygulanan kuvveti
F_{ij}	j modu için i'inci seviyedeki yanal kat kuvveti
F_y^*	ESDOF sistemde akma kuvveti
K^*	ESDOF sistemde elastik rijitlik
K_i	Binanın düşey yönde elastik yanal rijitliği
M^*	ESDOF sistemde kütle

M_i	i 'inci katın kütlesi
N_s	Üniform adım sayısı
PF_1	CSM metodunda katılım faktörü
S_a	Spektral ivme
$S_a(\zeta_j, T_j)$	j modunda depremde verilen periyod ve sönüm oranı için spektral ivme
S_d	ESDOF sisteminde spektral yer değiştirme
S_n	Ölçeklendirme faktörü
T_0	Spektrumun sabit ivmeli kısmından spektrumun sabit hız kısmına geçişi ile ilişkili periyod
T_e	Elastik dinamik analiz ile hesaplanan temel elastik periyodu (saniye cinsinden)
T_{eq}	ESDOF sistemde elastik periyot
T_i	Yapının etkili temel periyodunda tanımlanan ivme tepki spektrumu
T_n	Temel titreşim periyodu
V_B	Tahmin edilen taban kesmesi
V_b	MDOF sistemde taban kesmesi
V_j	Modal taban kesmesi
V_{pi}	En büyük yer değiştirmede tahmin edilen başlangıç taban kesmesi
V_y	MDOF sistemde akma dayanımı
V_y	MDOF sisteminde akma dayanımı
V_y	MDOF sisteminde akma dayanımı
W_i	i 'inci kattaki ağırlık
W_i	i 'inci kattaki ağırlık
a_{mr}	Kunnath yük modelinde modifikasyon faktörü
a_{pi}	ESDOF sisteminde CSM metodu için başlangıç performans ivmesi
a_y	SDOF sisteminde akma ivmesi
d_{pi}	ESDOF sisteminde CSM metodu için başlangıç performans noktası
d_y	SDOF sisteminde CSM metodu için akma yer değiştirme
s_a	Yapının etkili temel periyodunda tanımlanan ivme tepki spektrumu
u^*	ESDOF sistemde referans yer değiştirme
u^*	ESDOF sistemde referans yer değiştirme
u_{mo}	Çatı seviyesinde n . modun genliği

u_{pi}	Tahmin edilen başlangıç yer değiştirmesi
u_t	MDOF sisteminde tepe yer değiştirmesi
u_t	MDOF sistemde tepe yer değiştirmesi
u_y	MDOF sistemde akma yer değiştirmesi
u_y	SDOF sisteminde akma yer değiştirmesi
u_y^*	ESDOF sistemde akma yer değiştirmesi
Γ_j	j modu için katılım faktörü
Γ_j	j modunda katılım faktörü
Γ_n	mod için modal katılım faktörü
α_m	Modal ktle katsayısı
δ^*	MDOF sisteminde referans yer değiştirme
δ_y	MDOF sisteminde akma yer değiştirmesi
φ_{ij}	j modunda i'inci katın normalleştirilmiş ktlenin mod Şekli
[C]	Sönümleme matrisi MDOF sisteminin
[M]	Ktle matrisi MDOF sisteminin
{F}	Katlı kuvvet vektörü MDOF sisteminin
ΔF^*	ESDOF sisteminde artan kuvvet ilişkisi
ΔF_i	Artımlı yk
$\Delta \delta^*$	MDOF sisteminde artımlı yer değiştirme
B	Birinci dereceden farklılaştırılmış Şekil fonksiyonlarının vektörü
C°	Santigrat Derece
E	Elastisite matrisi
f	Frekans değeri
F	Genel eksende kuvvet vektörü
f	Kemer oku
g	Yerçekimi ivmesi
GPa	Giga Pascal
H	Yapı yüksekliği
Hz	Hertz
K	Yapı veya elemanın rijitlik matrisi
Ke	Eleman rijitlik matrisi
Ke	MDOF sistemde etkili elastik rijitlik

Kl	Eleman lokal rijitliği
kN	Kilo Newton
KN	Tepe kontrol noktası
Ks	Sertleşme rijitliği
L	Kemer açıklığı
M	Yapı veya elemanın kütle matrisi
m	Metre
mm	Milimetre
MPa	Mega Pascal
N	Şekil fonksiyonunun vektörü
N	Yerel eksenlerde kuvvet vektörü
P	Basınç
PD1	Düşey yükleme (L/6)
PD2	Düşey yükleme (L/4)
PD3	Düşey yükleme (L/3)
PD4	Düşey yükleme (L/2)
PY1	Yatay yükleme (L+2t)
PY2	Yatay yükleme ((L+2t)/2)
PY3	Yatay yükleme ((L+2t)/4)
q	Yayıllı yük
r	Kemer yarı çapı
s	Kemer açıklığı
t	Kemer kalınlığı
T	Transformation matrix [-] in analysis of trusses and rods
t	Zaman
T_{eff}	Efektif periyot
U	Düğüm yer değiştirme vektörü
u	Yer değiştirme vektörü
u, v, w	Elemanın X,Y,Z eksenlerinde yer değiştirmesi
u_i	Şekil fonksiyonuna bağlı noktasal yer değiştirme
v	Hız
v	Virtüel yer değiştirme vektörü
v_i	Şekil fonksiyonuna bağlı noktasal yer değiştirme

w	Yer değiştirme vektörü
w_i	şekil fonksiyonuna bağlı noktasal yer değiştirme
X,Y,Z	Genel eksenler
β_{eff}	Efektif sönüm
β_i	Sönüm katsayısı
β_o	Sönüm oranı
γ	Kayma gerilmesi
ε	Normal gerilme
ζk	Rijitlik matrisi
η	Bir noktanın koordinatı
μ	Süneklilik
ν	Poisson oranı
ξ	Bir noktanın koordinatı
ξ, η	Yerel eleman koordinatları
ρ	Yoğunluk
σ	Normal gerilme
τ	Kesme gerilmesi
ω	Doğal frekans
$\{\ddot{U}\}$	MDOF sisteminin bağlı ivme vektörü
$\{1\}$	Etki vektörü
N	Kat sayısı
R	Elastik olmayan dayanım talebinin hesaplanan akma dayanımı katsayısına oranı
U	MDOF sistemde rölatif yer değiştirme vektörü
V_b	MDOF sistemde taban kesme
W	Yapı ağırlığı
a	Birim şekil değiştirme-sertleşme oranı
g	Yerçekimine bağlı ivme
j	Mod sayısı
k	Temel titreşim periyoduna bağlı katsayı
m	SDOF sistemde kütle
n	Katların toplam sayısı
u	Yer değiştirme

x	Kattan yere uzaklık
π	Pi
ω_n	Doğal frekans
H	Köprü toplam yüksekliği
h	Kemer yüksekliği
L	Köprü toplam uzunluğu
l	Kemer açıklığı
R_n	Schmidt sertlik değerleri
V_p	P dalgası hızı
g	birim hacim ağırlığı
P_n	Performans noktası
δ_{maks}	Dinamik analizden elde edilen yer değiştirme
Δ_{maks}	Performans analizinden elde edilen yer değiştirme

Kısaltmalar

ADRS	İvme-yer değiştirme tepki spektrumları
ANSYS	Analiz Sistemi
BISO	Von-Mises tek eksenli izotropik gerilme plastisitesi
CONC	Willam-Warnke malzeme modeli
DP	Drucker-Prager plastisite modeli
EA	Enerji tabanlı
ESDOF	Eşdeğer tek serbestlik dereceli
ICSM	Geliştirilmiş kapasite spektrumu yöntemi
M.Ö.	Milattan önce
MDOF	Çok serbestlik dereceli
MISO	Multi-doğrusal izotropik gerilme plastisitesi
MPA	Modal Pushover Analis
SDOF	Tek serbestlik dereceli

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Amerika da bulunan Ulusal Kemer Parkında jeolojik oluşumlar neticesinde meydana gelen kemer örneği (Anonim 1).....	1
Şekil 1.2. Erzurum ili Aşkale ilçesinde bulunan hasar görmüş ancak yıkılmadan günümüze ulaşan taş kemer örneği	3
Şekil 1.3. Dekoratif amaçlı kemer örneği	3
Şekil 1.4. Fransa da bulunan Pont du Gard su kemeri (Anonim 2)	4
Şekil 1.5. Milvian köprüsü (Anonim 3)	4
Şekil 1.6. Tarihi Kanuni Sultan Süleyman köprüsü (Anonim 4).....	5
Şekil 1.7. Taş duvar örgüleri (Kaya 2010).....	6
Şekil 1.8. Tuğla duvar örgüleri (Kaya 2010)	6
Şekil 1.9. Tipik kemer örneği.....	9
Şekil 1.10. Kemere ait elemanlar	10
Şekil 1.11. Farklı yük modellerine göre optimum kemer şekilleri (Proske and Gelder 2009).....	11
Şekil 1.12. Kemer yapım şekilleri (Proske and Gelder 2009).....	12
Şekil 1.13. Kemer türleri (Apay 1992).....	13
Şekil 1.14. Taş kayaların tekli elemanlara ayrılması	15
Şekil 1.15. Kemer köprülerin tarihsel gelişimi	15
Şekil 1.16. Kemerde itki çizgisi ve çatlak ilişkisi (Heyman 1999).....	17
Şekil 1.17. Kemerde itki çizgisi ve çatlak ilişkisi (Heyman 1999).....	18
Şekil 1.18. Zincir eğrisi ve ters zincir eğrisiyle elde edilen kemer ilişkisi (Block 2006).....	19
Şekil 1.19. Kemerlerde göçme mekanizması-itme çizgisi ilişkisi (Saraç 2003).....	19
Şekil 1.20. Barlow modeli kemer ve itki çizgileri (Barlow 2015).....	20
Şekil 3.1. MDOF'un SDOF sisteme dönüşümü için kavramsal diyagram	35
Şekil 3.2. (a) MDOF yapı için kapasite eğrisi (b) Eşdeğer SDOF sistem için iki doğrusal idealleştirme	37
Şekil 3.3. Kapasite eğrisinin iki doğrusal yaklaşımı	43
Şekil 3.4. Elastik spektrumun ivme-yer değiştirme tepki spektrumuna dönüştürülmesi	44

Şekil 3.5. Eşit yer değişim kuralını kullanan performans noktasının başlangıç tahmini.....	45
Şekil 3.6. CSM yöntemini kullanan hedef yer değişiminin tahmini	45
Şekil 3.7. ICSM yönteminin uygulanması	48
Şekil 3.8. Bir itme analizinde enerji tabanlı itme analizinde basitleştirilmiş şeması	51
Şekil 3.9. ADRS eğrisinin oluşturulması ve kapasite eğrisi	54
Şekil 3.10. Kapasite eğrisinin iki doğru parçalı hale getirilmesi	55
Şekil 3.11. FEMA440’da tanımlanan Prosedür A’ya göre maksimum yer değiştirme ve ivmenin belirlenmesi	57
Şekil 3.12. Tek serbestlik dereceli, toplu-parametre osilatörü	60
Şekil 3.13. 8 düğümlü üç boyutlu elemanlı genel üç boyutlu gövde	62
Şekil 3.14. SOLID65 elemanı geometrisi (ANSYS kullanım kılavuzu)	69
Şekil 3.15. Sistem ölçümleri ve basınç testleri	73
Şekil 3.15. Yapıda elastik modülün hesaplanmasında temel alınan örnek duvar elemanı ve çatlak yoğunluğu faktörü hesaplamasında kullanılan yatay ve düşey süreksizlik yüzeyleri (L: uzunluk, h: yükseklik, t: genişlik)	75
Şekil 4.1. (a) Tarihi taş kemerli Coşandere köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri	77
Şekil 4.1. (a) Tarihi taş kemerli Coşandere köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri (devam)	78
Şekil 4.2. (a) Tarihi taş kemerli Kireçli köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri	78
Şekil 4.2. (a) Tarihi taş kemerli Kireçli köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri (devam).....	79
Şekil 4.3. (a) Tarihi taş kemerli Kız köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri.....	79
Şekil 4.3. (a) Tarihi taş kemerli Kız köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri (devam)	80
Şekil 4.4. (a) Tarihi taş kemerli Şenyuva köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri	80
Şekil 4.4. (a) Tarihi taş kemerli Şenyuva köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri (devam).....	81

Şekil 4.5. (a) Tarihi taş kemerli Şinik köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görünüşleri	81
Şekil 4.5. (a) Tarihi taş kemerli Şinik köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görünüşleri (devam).....	82
Şekil 4.6. Deneysel köprü çalışmasına ait sonlu eleman modeli	84
Şekil 4.7. Bir eksenli gerilme-şekil değiştirme ilişkisi	86
Şekil 4.8. Karşılaştırmalı yük-yer değiştirme grafiği.....	87
Şekil 4.9. Coşandere köprüsüne ait mod şekilleri	87
Şekil 4.9. Coşandere köprüsüne ait mod şekilleri (devam).....	88
Şekil 4.10. Kireçli köprüsüne ait mod şekilleri.....	89
Şekil 4.11. Kız köprüsüne ait mod şekilleri	91
Şekil 4.12. Şenyuva köprüsüne ait mod şekilleri	92
Şekil 4.13. Şinik köprüsüne ait mod şekilleri	94
Şekil 4.14. Köprülerin 1'inci modlarına ait Z yönünde kütle katılım oranları	96
Şekil 4.15. Coşandere köprüsünün sonlu elemanlar modeli ve düşey yönde statik analizler için yük uygulama yerleri	97
Şekil 4.16. Coşandere köprüsünün düşey yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği	98
Şekil 4.17. Coşandere köprüsünün PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	99
Şekil 4.18. Coşandere köprüsünün PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	100
Şekil 4.19. Coşandere köprüsünün PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	100
Şekil 4.20. Coşandere köprüsünün PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	101
Şekil 4.21. Coşandere köprüsünün yatay yükleme durumu ve tepe kontrol noktası (KN).....	102
Şekil 4.22. Coşandere köprüsünün yatay yönde statik yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği	102
Şekil 4.23. Coşandere köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	103
Şekil 4.24. Coşandere köprüsünün PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	104

Şekil 4.25. Coşandere köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	104
Şekil 4.25. Coşandere köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi (devam)	105
Şekil 4.26. Kireçli köprüsünün sonlu elemanlar modeli ve düşey yönde statik analizler için yük uygulama yerleri	106
Şekil 4.27. Kireçli köprüsünün düşey yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği	107
Şekil 4.28. Kireçli köprüsünün PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	108
Şekil 4.29. Kireçli köprüsünün PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	108
Şekil 4.29. Kireçli köprüsünün PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi (devam)	109
Şekil 4.30. Kireçli köprüsünün PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	109
Şekil 4.31. Kireçli köprüsünün PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	110
Şekil 4.32. Kireçli köprüsünün yatay yükleme durumu ve tepe kontrol noktası (KN)	110
Şekil 4.33. Kireçli köprüsünün yatay yönde statik yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği	111
Şekil 4.34. Kireçli köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi(devam)	112
Şekil 4.35. Kireçli köprüsünün PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	112
Şekil 4.35. Kireçli köprüsünün PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi (devam)	113
Şekil 4.36. Kireçli köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	113
Şekil 4.36. Kireçli köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi (devam)	114
Şekil 4.37. Kız köprüsünün sonlu elemanlar modeli ve düşey yönde statik analizler için yük uygulama yerleri	115

Şekil 4.38. Kız köprüsünün düşey statik yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği	116
Şekil 4.39. Kız köprüsünün PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	117
Şekil 4.40. Kız köprüsünün PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	117
Şekil 4.41. Kız köprüsünün PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	118
Şekil 4.42. Kız köprüsünün PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	118
Şekil 4.43. Kız köprüsünün yatay yükleme durumu ve tepe kontrol noktası (KN).....	119
Şekil 4.44. Kız köprüsünün yatay yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği	120
Şekil 4.45. Kız köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	120
Şekil 4.45. Kız köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi (devam)	121
Şekil 4.46. Kız köprüsünün PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	121
PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von- mises gerilmesi Şekil 4.47’de yer almaktadır.	121
Şekil 4.47. Kız köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	122
Şekil 4.48. Şenyuva köprüsünün sonlu elemanlar modeli ve düşey yönde statik analizler için yük uygulama yerleri	123
Şekil 4.49. Şenyuva köprüsünün düşey yönde statik yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği	124
Şekil 4.50. Şenyuva köprüsünün PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	125
Şekil 4.51. Şenyuva köprüsünün PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	125
Şekil 4.52. Şenyuva köprüsünün PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	126

Şekil 4.53. Şenyuva köprüsünün PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	126
Şekil 4.54. Şenyuva köprüsünün yatay yükleme durumu ve tepe kontrol noktası (KN)	127
Şekil 4.55. Şenyuva köprüsünün yatay yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği	128
Şekil 4.56. Şenyuva köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	128
Şekil 4.56. Şenyuva köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi (devam)	129
Şekil 4.57. Şenyuva köprüsünün PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	129
Şekil 4.58. Şenyuva köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	130
Şekil 4.59. Şinik köprüsünün sonlu elemanlar modeli ve düşey yönde statik analizler için yük uygulama yerleri	131
Şekil 4.60. Şinik köprüsünün düşey statik yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği	132
Şekil 4.61. Şinik köprüsünün PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	133
Şekil 4.62. Şinik köprüsünün PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	134
Şekil 4.63. Şinik köprüsünün PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	134
Şekil 4.64. Şinik köprüsünün PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	135
Şekil 4.65. Şinik köprüsünün yatay yükleme durumu ve tepe kontrol noktası (KN)	136
Şekil 4.66. Şinik köprüsünün Şinik köprüsünün yatay statik yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği	136
Şekil 4.67. Şinik köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	137
Şekil 4.68. Şinik köprüsünün PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	138

Şekil 4.69. Şinik köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi	139
Şekil 4.70. Köprülerin düşey yönde statik itme analiz eğrilerinin karşılaştırılması	140
Şekil 4.72. Köprülerin yatay yönde statik itme analiz eğrilerinin karşılaştırılması	142
Şekil 4.73. Köprülerin yatay yönde kemer açıklığına bağlı ötelenme oranlarının karşılaştırılması	143
Şekil 4.74. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	146
Şekil 4.75. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında 3,47'nci ve 3,92'nci saniyelere ait asal şekil değiştirmeler	147
Şekil 4.76. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	147
Şekil 4.76. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler (devam)	148
Şekil 4.77. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	148
Şekil 4.78. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	149
Şekil 4.79. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L / 2 ve L / 4 açıklıklarına ait itme analizleri ve dinamik analiz eğrisi	150
Şekil 4.80. Coşandere köprüsü için Erzincan deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	151
Şekil 4.81. Coşandere köprüsü için Erzincan deprem kaydında 21'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	151
Şekil 4.82. Coşandere köprüsü için Erzincan deprem kaydında 21'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	152
Şekil 4.83. Coşandere köprüsü için Erzincan deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	153
Şekil 4.84. Coşandere köprüsü için Erzincan deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L / 2 ve L / 4 açıklıklarına ait itme analizleri ve dinamik analiz eğrisi	153
Şekil 4.85. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	154

Şekil 4.86. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydında 4,48'inci ve 4,78'inci saniyelere ait asal şekil değiştirmeler	155
Şekil 4.87. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydında 7,495'inci saniye saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	155
Şekil 4.88. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydında 7,495'inci saniye saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	156
Şekil 4.89. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	157
Şekil 4.90. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	157
Şekil 4.91. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	158
Şekil 4.92. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydı 2,82'nci ve 2,89'uncu saniyelere ait asal şekil değiştirmeler	159
Şekil 4.93. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 3,08'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	160
Şekil 4.94. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 3,08'inci saniye saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	160
Şekil 4.95. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	161
Şekil 4.96. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L / 2 ve L / 4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	162
Şekil 4.97. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	163
Şekil 4.98. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydında 7,11'inci ve 10,3'üncü saniyelere ait asal şekil değiştirmeler	163
Şekil 4.99. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydında 20'nci saniye saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	164
Şekil 4.100. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydında 20'nci saniye saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	164
Şekil 4.101. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	165

Şekil 4.102. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydında kemer ana gövdesinde L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	166
Şekil 4.103. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	167
Şekil 4.104. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 9,42'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	167
Şekil 4.105. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 9,56'ncı saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	168
Şekil 4.106. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 9,56'ncı saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	168
Şekil 4.107. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	169
Şekil 4.108. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	170
Şekil 4.109. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	171
Şekil 4.110. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 13,01'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	171
Şekil 4.111. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	172
Şekil 4.112. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	172
Şekil 4.113. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	173
Şekil 4.114. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L / 2 ve L / 4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	174
Şekil 4.115. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	175
Şekil 4.116. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydında 13,9'uncu ve 15,8'inci saniyelere ait asal şekil değiştirmeler	175

Şekil 4.117. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	176
Şekil 4.118. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	177
Şekil 4.119. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	177
Şekil 4.120. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	178
Şekil 4.121. Kireçli köprüsü Düzce depreminde 2,5'inci, 2,865'inci, 2,885'inci, 2,98'inci ve 3,505'inci saniyelere ait asal şekil değiştirmeler	179
Şekil 4.122. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	180
Şekil 4.123. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydında 4,17'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	180
Şekil 4.124. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydında 4,37'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	181
Şekil 4.125. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydında 4,68'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	181
Şekil 4.126. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	182
Şekil 4.127. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydında kemer ana gövdesinde L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	182
Şekil 4.128. Kireçli köprüsü için Erzincan deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	184
Şekil 4.129. Kireçli köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizin 2,84'üncü, 2,87'nci, 2,99'uncu, 4,19'uncu ve 6,72'nci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler.....	185
Şekil 4.130. Kireçli köprüsü için Erzincan deprem kaydında 6,725'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	186
Şekil 4.131. Kireçli köprüsü için Erzincan deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	186

Şekil 4.132. Kireçli köprüsü için Erzincan deprem kaydında kemer ana gövdesinde L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	187
Şekil 4.133. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	188
Şekil 4.134. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında analizin 2'nci, 2,4'üncü, 2,625'inci, 2,64'üncü ve 2,8'inci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler	188
Şekil 4.134. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında analizin 2'nci, 2,4'üncü, 2,625'inci, 2,64'üncü ve 2,8'inci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler (devam)	189
Şekil 4.135. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında analizin 3,29'uncu saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	189
Şekil 4.136. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında 3,29'uncu saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	190
Şekil 4.137. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	190
Şekil 4.138. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	191
Şekil 4.139. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	192
Şekil 4.140. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 2,42'nci, 2,445'inci, 2,80'inci ve 3,03'üncü saniyelere ait asal şekil değiştirmeler	192
Şekil 4.140. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 2,42'nci, 2,445'inci, 2,80'inci ve 3,03'üncü saniyelere ait asal şekil değiştirmeler (devam)	193
Şekil 4.141. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizin 3,15'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	193
Şekil 4.142. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 3,15'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	194
Şekil 4.143. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	194

Şekil 4.144. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında kemerin ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	195
Şekil 4.145. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	196
Şekil 4.146. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında analizin 6,5'inci, 9,4'üncü, 9,49'uncu ve 9,82'nci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler	196
Şekil 4.146. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında analizin 6,5'inci, 9,4'üncü, 9,49'uncu ve 9,82'nci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler (devam)	197
Şekil 4.147. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında analizin 10,43'üncü saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	197
Şekil 4.148. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında 10,43'üncü saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	198
Şekil 4.149. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	199
Şekil 4.150. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	199
Şekil 4.151. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	200
Şekil 4.152. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında Analizin 5'inci, 6'ncı ve 6,54'üncü saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler.....	201
Şekil 4.153. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 7,36'ncı saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	201
Şekil 4.154. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizin 9,5'inci ve 9,66'ıncı saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler.....	202
Şekil 4.155. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizin 10'uncu saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	202
Şekil 4.156. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 10'uncu saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	203

Şekil 4.157. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında kemer toplam uzunluğu boyunca yatay yüklenme ve deprem yükünün uygulanması	203
Şekil 4.158. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	204
Şekil 4.159. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	205
Şekil 4.160. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizin 8,11'inci, 8,52'nci ve 13'üncü saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler	205
Şekil 4.160. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizin 8,11'inci, 8,52'nci ve 13'üncü saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler (devam)	206
Şekil 4.161. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	206
Şekil 4.162. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	207
Şekil 4.163. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	207
Şekil 4.164. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	208
Şekil 4.165. Kireçli köprüsün için Yarımca deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	209
Şekil 4.166. Kireçli köprüsü için Yarımca deprem kaydında 10,1'inci ve 13,9'uncu saniyelere ait asal şekil değiştirmeler	209
Şekil 4.167. Kireçli köprüsü için Yarımca deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	210
Şekil 4.168. Kireçli köprüsü için Yarımca deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	210
Şekil 4.169. Kireçli köprüsü için Yarımca deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	211

Şekil 4.170. Kireçli köprüsü için Yarımca deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	211
Şekil 4.171. Kız köprüsü için Düzce deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	213
Şekil 4.172. Kız köprüsü için Düzce deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	213
Şekil 4.173. Kız köprüsü için Düzce deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	214
Şekil 4.174. Kız köprüsü için Düzce deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	214
Şekil 4.175. Kız köprüsü için Düzce deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	215
Şekil 4.176. Kız köprüsü için Erzincan deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	216
Şekil 4.177. Kız köprüsü için Erzincan deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	216
Şekil 4.178. Kız köprüsü için Erzincan deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	217
Şekil 4.179. Kız köprüsü için Erzincan deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	217
Şekil 4.180. Kız köprüsü için Erzincan deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	218
Şekil 4.181. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	219
Şekil 4.182. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydında 5,3'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	219
Şekil 4.183. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	220
Şekil 4.184. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	220

Şekil 4.185. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	221
Şekil 4.186. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	221
Şekil 4.187. Kız köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	222
Şekil 4.188. Kız köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	223
Şekil 4.189. Kız köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	223
Şekil 4.190. Kız köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	224
Şekil 4.191. Kız köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	224
Şekil 4.192. Kız köprüsü için Kobe deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	225
Şekil 4.193. Kız köprüsü için Kobe deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	226
Şekil 4.194. Kız köprüsü için Kobe deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von- mises gerilme durumu	226
Şekil 4.195. Kız köprüsü için Kobe deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	227
Şekil 4.196. Kız köprüsü için Kobe deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	227
Şekil 4.197. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	228
Şekil 4.198. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 7,44'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	229
Şekil 4.199. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 7,48'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	229

Şekil 4.200. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizin 8,76'ncı saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	229
Şekil 4.201. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 8,76'ncı saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	230
Şekil 4.202. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	230
Şekil 4.203. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	231
Şekil 4.204. Kız köprüsü için Hector-Mine deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	232
Şekil 4.205. Kız köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	232
Şekil 4.206. Kız köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	233
Şekil 4.207. Kız köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	233
Şekil 4.208. Kız köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	234
Şekil 4.209. Kız köprüsü için Yarımca deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	235
Şekil 4.210. Kız köprüsü için Yarımca deprem kaydında 20'nci saniyedeki asal şekil değiştirmeler	235
Şekil 4.211. Kız köprüsü için Yarımca deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	236
Şekil 4.212. Kız köprüsü için Yarımca deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	236
Şekil 4.213. Kız köprüsü için Yarımca deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	237
Şekil 4.214. Şenyuva köprüsü için Düzce deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	238

Şekil 4.215. Şenyuva köprüsü için Düzce deprem kaydında analizin 3,53'üncü saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	238
Şekil 4.216. Şenyuva köprüsü için Düzce deprem kaydı 3,53'üncü saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	239
Şekil 4.217. Şenyuva köprüsü için Düzce deprem kaydında kemerin toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	240
Şekil 4.218. Şenyuva köprüsü için Düzce deprem kaydında kemer ana gövdesinde L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	240
Şekil 4.214. Şenyuva köprüsü için Erzincan deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	241
Şekil 4.220. Şenyuva köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizin 3,04'üncü saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	242
Şekil 4.221. Şenyuva köprüsü için Erzincan deprem kaydında 3,04'üncü saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	242
Şekil 4.222. Şenyuva köprüsü için Erzincan deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	243
Şekil 4.223. Şenyuva köprüsü için Erzincan deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	243
Şekil 4.224. Şenyuva köprüsü için İzmit deprem kaydında analizin 2,03'üncü ve 2,28'inci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler	244
Şekil 4.225. Şenyuva köprüsü için İzmit deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	245
Şekil 4.227. Şenyuva köprüsü için İzmit deprem kaydında analizin 2,735'inci saniyesine ait Von-mises gerilme durumu	246
Şekil 4.228. Şenyuva köprüsü için İzmit deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	247
Şekil 4.229. Şenyuva köprüsü için İzmit deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	247
Şekil 4.230. Şenyuva köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	248

Şekil 4.231. Şenyuva köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizin 2,5'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	249
Şekil 4.232. Şenyuva köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 7,455'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	249
Şekil 4.233. Şenyuva köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	250
Şekil 4.234. Şenyuva köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	251
Şekil 4.235. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında 5,43'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	252
Şekil 4.236. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	252
Şekil 4.237. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında 5,71'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	253
Şekil 4.238. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında 6,13'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	253
Şekil 4.239. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında analizin 7,05'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	254
Şekil 4.240. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında 7,05'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	254
Şekil 4.241. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	255
Şekil 4.242. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	256
Şekil 4.243. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 5,5'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	257
Şekil 4.244. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	257
Şekil 4.245. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 5,82'nci saniyeye ait asal şekil değiştirme	258
Şekil 4.246. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizin 6,1'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	258

Şekil 4.247. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 6,1'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	259
Şekil 4.248. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	259
Şekil 4.249. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	260
Şekil 4.250. Şenyuva köprüsü için Hector-Mine deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	261
Şekil 4.251. Şenyuva köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizin 5,36'ncı saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	261
Şekil 4.252. Şenyuva köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	262
Şekil 4.253. Şenyuva köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	263
Şekil 4.254. Şenyuva köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	263
Şekil 4.255. Şenyuva köprüsü için Yarımca deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	264
Şekil 4.256. Şenyuva köprüsü için Yarımca deprem kaydında 10,7'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	265
Şekil 4.257. Şenyuva köprüsü için Yarımca deprem kaydında 11,89'uncu saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	265
Şekil 4.258. Şenyuva köprüsü için Yarımca deprem kaydında 11,89'uncu saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	266
Şekil 4.259. Şenyuva köprüsü için Yarımca deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	267
Şekil 4.260. Şenyuva köprüsü için Yarımca deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	267
Şekil 4.261. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	268

Şekil 4.262. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında 3,93'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	269
Şekil 4.263. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında 4,03'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	269
Şekil 4.264. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	270
Şekil 4.265. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	270
Şekil 4.261. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	271
Şekil 4.267. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	271
Şekil 4.268. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydında 2,91'inci saniyeye ait asal şekil değiştirme	272
Şekil 4.269. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	273
Şekil 4.270. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	273
Şekil 4.271. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	274
Şekil 4.272. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	274
Şekil 4.273. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	275
Şekil 4.274. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	276
Şekil 4.275. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında 7,9'uncu saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	276
Şekil 4.276. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında 11,2'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	277
Şekil 4.277. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	277

Şekil 4.278. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	278
Şekil 4.279. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	278
Şekil 4.280. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	279
Şekil 4.281. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 2,86'ncı saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	280
Şekil 4.282. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	280
Şekil 4.283. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizin 2,91'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	281
Şekil 4.284. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 2,91'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	281
Şekil 4.285. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	282
Şekil 4.286. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	282
Şekil 4.287. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydında 10,5'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	283
Şekil 4.288. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	284
Şekil 4.289. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydında 10,53'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	284
Şekil 4.290. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydında 10,53'üncü saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	285
Şekil 4.291. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.....	286
Şekil 4.292. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	286

Şekil 4.293. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 5,9'uncu saniyeye ait asal şekil değiştirme	287
Şekil 4.294. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 6'ncı saniyeye ait asal şekil değiştirme	288
Şekil 4.295. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 6,12'nci saniyeye ait asal şekil değiştirme	288
Şekil 4.296. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	289
Şekil 4.297. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizin 6,54'üncü saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	289
Şekil 4.298. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 6,54'üncü saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	290
Şekil 4.299. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	290
Şekil 4.300. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	291
Şekil 4.301. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 8,1'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	292
Şekil 4.302. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	292
Şekil 4.303. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	293
Şekil 4.304. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	293
Şekil 4.305. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	294
Şekil 4.306. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	295
Şekil 4.307. Şinik köprüsü için Yarımca deprem kaydında 10,1'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler	296
Şekil 4.308. Şinik köprüsü için Yarımca deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği	296

Şekil 4.309. Şinik köprüsü için Yarımca deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler	297
Şekil 4.310. Şinik köprüsü için Yarımca deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu	297
Şekil 4.311. Şinik köprüsü için Yarımca deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması	298
Şekil 4.312. Şinik köprüsü için Yarımca deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi	298
Şekil 4.313. Dinamik analizlerden elde edilen en büyük yer değiştirmelerin karşılaştırılması	300
Şekil 4.314. Deprem yer hareketlerinin %3 sönüm oranı ile ölçeklendirilmiş ivme-periyot eğrisi	301
Şekil 4.315. Deprem yer hareketlerinin %3 sönüm oranı ile ölçeklendirilmiş yer değiştirme-periyot eğrisi	302
Şekil 4.316. Coşandere köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları	303
Çizelge 4.65. Coşandere köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler	304
Şekil 4.317. Coşandere köprüsü için elde edilen en büyük yer değiştirmelerin karşılaştırılması	304
Şekil 4.318. Kireçli köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları	305
Şekil 4.318. Kireçli köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları (devam)	306
Şekil 4.319. Kireçli köprüsü için elde edilen en büyük yer değiştirmelerin karşılaştırılması	307
Şekil 4.320. Kız köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları	308
Şekil 4.320. Kız köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları (devam)	309
Şekil 4.321. Kız köprüsü için elde edilen en büyük yer değiştirmelerin karşılaştırılması	310

Şekil 4.322. Şenyuva köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları.....	311
Şekil 4.323. Şenyuva köprüsü için elde edilen en büyük yer değiştirmelerin karşılaştırılması	312
Şekil 4.324. Şinik köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları.....	313
Şekil 4.324. Şinik köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları (devam)	314
Şekil 4.325. Şinik köprüsü için elde edilen en büyük yer değiştirmelerin karşılaştırılması	315
Şekil 4.326. Köprülerin performans noktalarının karşılaştırılması.....	316
Şekil 4.327. Kemer yüksekliğine bağlı ötelenme oranları	317
Şekil 4.328. Süneklik oranının karşılaştırılması	317
Şekil 4.329. Efektif sönüm oranı parametresinin karşılaştırılması	318
Şekil 4.330. Efektif sönüm oranı ile süneklik oranının karşılaştırılması	318

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Taşların ortalama mekanik özellikleri	7
Çizelge 1.2. Tuğlaya ait mekanik özellikler.....	9
Çizelge 3.1. Efektif sönüm denklemlerinde kullanılacak katsayılar.....	56
Çizelge 3.2. Andezit ve Tercan taşının mekanik özellikleri (E, f_c, V_p ve R_n) arasındaki ilişki	72
Çizelge 3.2. Andezit ve Tercan taşının mekanik özellikleri (E, f_c, V_p ve R_n) arasındaki ilişki	73
Çizelge 3.3. Numuneler ve sistemlerde f_c - V_p ilişkisine ait bağıntılar ve korelasyon değerleri.....	74
Çizelge 3.4. Köprülere ait mekanik özellikler	76
Çizelge 4.1. Kireçli köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri.....	82
Çizelge 4.2. Coşandere köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri.....	83
Çizelge 4.3. Şinik köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri	83
Çizelge 4.4. Şenyuva köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri.....	83
Çizelge 4.5. Kız köprü modelinde kullanılan malzeme özellikleri.....	83

Çizelge 4.6. Sonlu eleman analizi yapılan deneysel köprü çalışmasına ait malzeme özellikleri	85
Çizelge 4.7. Coşandere köprüsüne ait modal analizden elde edilen modlara ait 5 adet frekans değeri, periyotlar ve kütle katılım oranları	88
Çizelge 4.8. Kireçli köprüsüne ait modal analizden elde edilen modlara ait 5 adet frekans değeri, periyotlar ve kütle katılım oranları	90
Çizelge 4.9. Kız köprüsüne ait modal analizden elde edilen modlara ait 5 adet frekans değerleri, periyotlar ve kütle katılım oranları.....	91
Çizelge 4.10. Şenyuva köprüsüne ait modal analizden elde edilen modlara ait 5 adet frekans değerleri, periyotlar ve kütle katılım oranları	93
Çizelge 4.11. Şinik köprüsüne ait modal analizden elde edilen modlara ait 5 adet frekans değerleri, periyotlar ve kütle katılım oranları.....	94
Çizelge 4.12. Coşandere köprüsünde düşey doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri	101
Çizelge 4.13. Coşandere köprüsünde yatay doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri	105
Çizelge 4.14. Kireçli köprüsünde düşey doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri	110
Çizelge 4.15. Kireçli köprüsünde yatay doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri	114
Çizelge 4.16. Kız köprüsünde düşey doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri	119
Çizelge 4.17. Kız köprüsünün yatay doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri	122
Çizelge 4.18. Şenyuva köprüsünde düşey doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri	127
Çizelge 4.19. Şenyuva köprüsünün yatay doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri	131
Çizelge 4.20. Şinik köprüsünde düşey doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri	135
Çizelge 4.21. Şinik köprüsünde yatay doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri	140
Çizelge 4.22. Analizlerde kullanılan depremlerin özellikleri	144
Çizelge 4.23. Analizlerde kullanılan deprem ivme kayıtları.....	145

Çizelge 4.24. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	150
Çizelge 4.25. Coşandere köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	154
Çizelge 4.26. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	158
Çizelge 4.27. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	162
Çizelge 4.28. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	166
Çizelge 4.29. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	170
Çizelge 4.30. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	174
Çizelge 4.31. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	178
Çizelge 4.32. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	183
Çizelge 4.33. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydından elde edilen kuvvet-yer değiştirme değerleri.....	183
Çizelge 4.34. Kireçli köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	187
Çizelge 4.35. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	191
Çizelge 4.36. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	195
Çizelge 4.37. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	200
Çizelge 4.38. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	204
Çizelge 4.39. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	208
Çizelge 4.40. Kireçli köprüsü için Yarımca deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	212

Çizelge 4.41. Kız köprüsü için Düzce deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme	215
Çizelge 4.42. Kız köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	218
Çizelge 4.43. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme	222
Çizelge 4.44. Kız köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	225
Çizelge 4.45. Kız köprüsü için Kobe deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme	228
Çizelge 4.46. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	231
Çizelge 4.47. Kız köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	234
Çizelge 4.48. Kız köprüsü için Yarımca deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	237
Çizelge 4.49. Şenyuva köprüsü için Düzce deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	241
Çizelge 4.50. Şenyuva köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	244
Çizelge 4.51. Şenyuva köprüsü için İzmit deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	248
Çizelge 4.52. Şenyuva köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme	251
Çizelge 4.53. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	256
Çizelge 4.54. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	260
Çizelge 4.55. Şenyuva köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme	264
Çizelge 4.56. Şenyuva köprüsü için Yarımca deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	267
Çizelge 4.57. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	272

Çizelge 4.58. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	275
Çizelge 4.59. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme	279
Çizelge 4.60. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	283
Çizelge 4.61. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme	287
Çizelge 4.62. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	291
Çizelge 4.63. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	295
Çizelge 4.64. Şinik köprüsü için Yarımca deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme.....	299
Çizelge 4.65. Coşandere köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler	305
Çizelge 4.66. Kireçli köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler	307
Çizelge 4.67. Kız köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler	309
Çizelge 4.68. Şenyuva köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler	312
Çizelge 4.69. Şinik köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler	314
Çizelge 4.69. Şinik köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler	315

1. GİRİŞ

1. GİRİŞ

Malzemeler dünyasında sadece doğal olgular vardır. İnsanoğlu bugüne kadar yapmış olduğu eserleri gördüğü malzemelerden esinlenerek ortaya koymuştur. Köprülerde bu yapılardan biridir. Binlerce yıldır var olan doğal köprüler, rüzgâr ve su tarafından jeolojik oluşumlar sayesinde meydana gelmiştir. İnsan eli değmeksizin oluşan köprüleri Amerika da bulunan ulusal kemer parkında görmek mümkündür. Bu duruma örnek bir durum Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Amerika da bulunan Ulusal Kemer Parkında jeolojik oluşumlar neticesinde meydana gelen kemer örneği (Anonim 1)

İnsanoğlunun kendi yaşam alanını genişletme ısrarı, yiyecek bulma çabası gibi nedenler insanları bir yerden başka bir yere gitmeye mecbur kılmıştır. İnsanlığın başlangıcından bu yana, insanoğlu çok uzun bir zaman dilimi içerisinde hem kendilerini hem de mallarını mekânsal olarak yer değiştirmiştir. Tarımsal faaliyetlerin gerekliliğinden ötürü insanlar erişilemeyen dağlar, okyanuslar ve nehirler gibi engellere maruz kalmadan geçiş yapmışlardır. İnsanoğlu hareket aracının becerisinin genişletilmesi ve erişimle ilgili olarak, sırasıyla geliştirilmiş hareket ve ulaştırma sistemlerinin geliştirilmesi için çaba sarf etmiştir. İnsanoğlunun en büyük icatlarından biri mekânsal hareketi kolay hale getiren tekerlektir. Tekerlek, malların ve insanların çok ekonomik bir şekilde taşınmasına izin veren araçların oluşumunun temelidir. Ancak tekerleklerin katkısı yalnızca düzgün bir yol ile mümkün olmaktadır. Bu noktadaki gereksinimlerden biri, yol yüzeyinin belirli bir tekerlek düzlüğü ve yataylığına sahip olmasıdır. Böyle bir tekerlek düzlüğü ise insan ve hayvan hareket aracının kullanımını kolaylaştırmaktadır. Tüm bu durumlar göz önüne

1. GİRİŞ

alındığında insanoğlu hareket için ulaşım ağı oluşturmaya başlamıştır. Ancak bu ağı oluştururken de s¼rekli olarak hareketi kolaylaştırmanın yollarını aramışlardır. Bu kolaylaştırma yollarından birisi de yolun uygun olmayan uzantılarından kaçınilabilmesi için yolun kısaltılması işlemidir. Bu çabanın desteklenmesinde k¼pr¼ler b¼y¼k rol oynamıştır. Ç¼nk¼ ortaya çıktığı ilk zamanlardan beri k¼pr¼lerin temel amacı uzun yolları kısaltmak olmuştur. İlkel k¼pr¼lerin ilk örnekleri Dartmoor'un taş k¼pr¼leri, M.Ö (milattan önce) 500'de Çin'deki ve 2500 M.Ö'de Gizeh'deki taş k¼pr¼leridir (Heinrich 1983).

D¼nya üzerinde çeşitli k¼pr¼ t¼rleri yer almaktadır. Bu k¼pr¼lere paralel bir şekilde ¼lkemizde de çeşitli t¼rlerde ve özelliklerde k¼pr¼ler yer almaktadır. Bu çeşitli t¼r ve özelliklerdeki k¼pr¼ler t¼m d¼nya genelinde bir k¼lt¼rel miras olarak kabul edilmektedir. Tahmin edilebileceği ¼zere ¼lkemiz de, k¼lt¼rel mirası oluşturan birçok tarihi sanat yapılarına ev sahipliği yapmaktadır. Bu sanat yapıları cami, medrese, k¼pr¼ gibi yapılardan oluşmaktadır. ¼lkemiz farklı medeniyetlere ev sahipliği yapmıştır. Bu nedenle ¼lkemizde farklı k¼lt¼rlere ait birçok tarihi sanat yapısı mevcuttur. Ulaşım ağında kullanılan geçmişten g¼n¼m¼ze kadar ulaşan farklı d¼nemlere ait, açıklıkları ve geometrileri farklı birçok taş kemer k¼pr¼ mevcuttur. Eski zamanlarda kullanılan tasarım metotları sayesinde, bu k¼pr¼lerin çoğunun g¼çme riski olmadan g¼n¼m¼z trafik y¼klerini taşıyabilecekleri kabul edilir. Tarihi k¼pr¼lerin çoğu b¼y¼k depremlere maruz kalmış olsalar bile g¼n¼m¼ze kadar ayakta kalmayı başarmışlardır (Lourenço 1996). Taş kemer k¼pr¼ler, Anadolu'da ve özellikle 19. y¼zyılda Osmanlılar tarafından tek açıklıklı taş kemer formunda yaygın olarak kullanılmıştır. Geçmişten g¼n¼m¼ze kadar uzanan ve binlerce yıllık geçmişe sahip olan bu tarihi yapılar, depremler gibi beklenmedik doğal afetler karşısında zarar g¼rm¼ř ya da yıkılmışlardır. Ayrıca, sel felaketleri, yangınlar, savaşlar, yapı malzemelerinin dayanımlarını yitirmesi, deformasyonlar ve d¼zensiz y¼klemeler tarihi yapıların zamanla yok olmalarının diğer nedenlerindedir (Toker ve ¼nay 2004). şekil 1.2'de Erzurum ilinde hasar g¼rm¼ř ancak yıkılmadan g¼n¼m¼ze kadar ulaşmış kemer örneği verilmiştir.

1. GİRİŞ



Şekil 1.2. Erzurum ili Aşkale ilçesinde bulunan hasar görmüş ancak yıkılmadan günümüze ulaşan taş kemer örneği

Yapıların davranışını gelişmiş hesap yöntemleriyle ayrıntılı bir şekilde incelemek mümkündür. Çoğu eğrisel geometrik formda olan yığma taş veya tuğla sistemli tarihi yapıların yük taşıyan elemanlarının üç boyutlu olarak incelenmesi sonlu elemanlar analizini, tarihi yapıların davranışlarının değerlendirilmesinde kullanıma uygun hesap yöntemi haline getirmektedir. Kemerler, yığma yapılarda hem yapısal hem de görselliğe yönelik olarak sıkça kullanılmaktadır. Geniş açıklıkları geçmek için oldukça uygun olan kemerler, geometrik biçimlerinden dolayı genellikle basınç kuvvetlerinin etkisinde kalır. Bu sebeple taş ve tuğla gibi yüksek basınç dayanımlarına sahip malzemeler kemerin temel yapı malzemelerindedir. Hem işlevsel hem de dekoratif amaçlı çok farklı kemer türleri kullanılmıştır. Bu amaçlı bir kemer örneği Şekil 1.3’de sunulmaktadır.



Şekil 1.3. Dekoratif amaçlı kemer örneği

Kemer formunun ilk örnekleri M.Ö. 3000 yıllarında Mezopotamya’da Sümerlere ait yeraltı mezarlarında görülmüştür. Mısırlılara ait olan örnekler, bu uygarlığın da aynı

1. GİRİŞ

dönemlerde kemer formunun yapısal potansiyeli hakkında bilgi sahibi olduklarını göstermektedir. Ancak kemer formları en etkin ve göz alıcı şekilde kullanmayı başaranlar Romalılar olmuştur. Milattan önceki son yüzyıllarda kemer, cephelerde, portik girişlerin üzerlerinde ve kent giriş kapılarında yaygın bir şekilde kullanılarak bu uygarlığın geleneksel yapısal formu haline gelmiştir. Geniş ve dik vadilerden şehirlere su getirmek amacıyla Romalılar tarafından su kemerleri yaptırılmıştır. İlk örnekleri yeraltı yapıları olarak inşa edilen su kemerlerinin en iyi korunmuş ve bilinen örnekleri Segiova'daki iki katlı su kemeri ve üç farklı kemerden oluşan Pont du Gard'dır. Bu köprüye ait örnek bir görüntü Şekil 1.4'de verilmektedir.



Şekil 1.4. Fransa da bulunan Pont du Gard su kemeri (Anonim 2)

Daha küçük ölçekte ve yayalara yönelik yapılmış olsalar da köprüler de sukemerleriyle karşılaştırılabilir niteliktedirler. Suyun akış şiddetine göre yönlendirilen kemerleri ve ayaklarda yer alan su kesicileriyle, 2. yüzyılın başlarında inşa edilen Milvian köprüsü en önemli örneklerden biridir. Bu köprüye ait bir görüntü ise Şekil 1.5'de sunulmaktadır.



Şekil 1.5. Milvian köprüsü (Anonim 3)

1. GİRİŞ

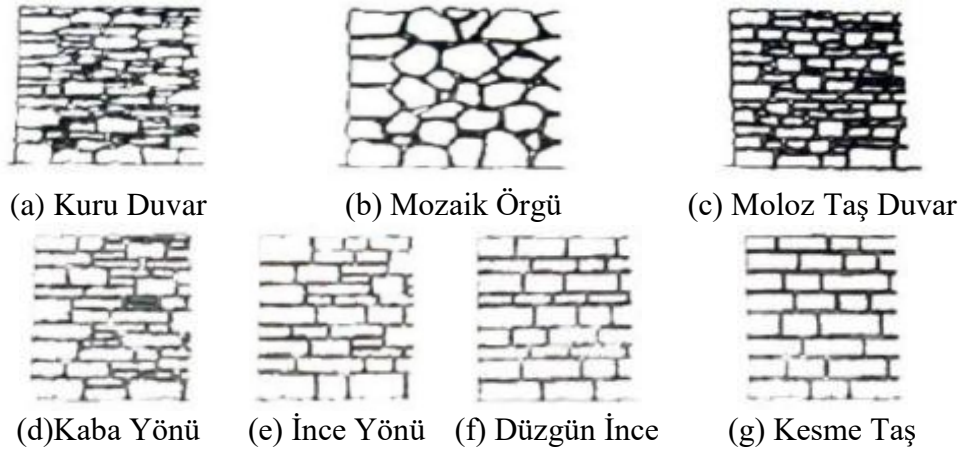
6. yüzyılda inşa edilen Ponte Vecchio Romalıların, karakteristik yuvarlak kemerlerinden sonra basık kemer formuyla yaptıkları iyi korunmuş önemli örneklerdendir. Ancak Roma İmparatorluğu'nun çöküşünden sonra uzun yüzyıllar boyunca köprülerde önemli bir gelişme olmamıştır. Türkiye'de Cender Suyu Köprüsü, Karamağara Köprüsü ve Justinianus Köprüsü Roma devrinden kalan yapıtlar arasındadır. Kesme taş işçiliğindeki incelikleri, çoğunluğu sivri kemerli olan Selçuklu köprülerinin öne çıkmasını sağlamaktadır. Ancak yine de, köprü mimarisinin ülkemizdeki en güzel örnekleri 16. yüzyılda inşa edilen Mimar Sinan eserleridir. Şekil 1.6'da yer alan tarihi Kanuni Sultan Süleyman köprüsü Mimar Sinan'ın yapmış olduğu en önemli sanat yapılarından biridir.



Şekil 1.6. Tarihi Kanuni Sultan Süleyman köprüsü (Anonim 4)

1.1. Yığma Yapı Nedir?

Yığma yapı harç bağlantılı taş veya imal edilmiş tuğla bloklardan oluşan sisteme verilen isimdir. Yığma yapı heterojen bir yapıya sahiptir. Oluşumunda kullanılan bloklar doğal taş, kesme taş, imal edilmiş tuğla olabileceği gibi, bağlantıyı sağlayan harç ise yapıştırıcı, kil, çimento esaslı veya kireç esaslı harç olabilmektedir. Yığma taş duvarcılık 7 farklı şekilde olabilmektedir. Yığma yapının davranışı onu oluşturan standart bir malzemenin davranışından oldukça farklıdır. Bu yapılar heterojen yapılarından dolayı tekil olarak değil sistematik olarak değerlendirilmektedir. Bu duruma ait görüntüler Şekil 1.7 ve Şekil 1.8'de sunulmaktadır.



Şekil 1.7. Taş duvar örgüleri (Kaya 2010)



Şekil 1.8. Tuğla duvar örgüleri (Kaya 2010)

1.2. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzeme Türleri

Analizlerde oluşturulacak olan tarihi yapı modellerinin geometrik özelliklerinin ve kullanılan malzemelerin gerçeğe uygun olması gerekmektedir. Bu hedefler doğrultusunda inceleme yapılacak olursa, tarihi yığma yapılarda kullanılan malzemeler aşağıdaki şekilde sıralanmaktadır;

- **Doğal Taş:** En eski yapı malzemelerinden biri olan taş, hem kolay temin edilebilir olması hem de dayanıklı bir yapı malzemesi olmasından dolayı sıkça tercih edilmektedir

1. GİRİŞ

(Ünay 2002). Doğadan kolaylıkla temin edilebilir olan doğal taşın çekme dayanımının zayıf, basınç dayanımının ise yüksek olduğu bilinmektedir. Taşın bu özelliğinden dolayı sadece basınca maruz kalan kemer, tonoz ve kubbelerde genellikle taş kullanılmaktadır. Kemerlerin ilettiği basınç kuvvetini alan ayak, sütun ve duvarlarda yine aynı şekilde taştan inşa edilmiştir. Taşların uzun süre kullanılabilir olmasından dolayı tercih edilebilir olmasının yanı sıra bazen çatlaklar, aşınmalar ve taşın yapısında bozulmalar meydana gelebilmektedir (Ferit vd. 2015).

Taşlarda iki türlü çatlak oluşabilmektedir. Bunlardan birincisi genişleme çatlağı olarak tanımlanmaktadır. Diğer ise dış etkenlere bağlı olarak (sıcaklık değişimi, rüzgâr, su, bitki kökü, vb.) meydana gelen çatlaklar olarak tanımlanmaktadır. Bu bağlamda taşların ortalama mekanik özellikleri Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Taşların ortalama mekanik özellikleri (Yılmaz 2006)

Taşın Cinsi	Elastite Modülü GPa	Basınç Dayanımı MPa	Çekme Dayanımı MPa
Kireç Taşı	10-55	18-35	2-6
Kum Taşı	13-50	5-30	2-4
Kuars	15-55	10-30	3-4
Granit	30-55	30-70	4-7
Mermer	25-65	25-65	1-15

- **Harçlar:** Yapılarda taş veya tuğlaları birbirine bağlayabilmek için kum ve kirecin su ile karıştırılması neticesinde elde edilen hamura harç denilmektedir. Harç, geçmiş zamanlarda yapılan kerpiç yapılarda, toprak ve samanın su ile karıştırılması neticesinde elde edilmekteydi. Bu kapsamda günümüzde kullanılan çimentonun geliştirilmesine kadar geçen zamanda çeşitli harçlar kullanılmıştır. Harçların mukavemetleri değişkenlik göstermektedir. Bu durum, bileşimdeki malzemelerin katılım oranlarıyla alakalıdır. Harçların mekanik özelliklerinin belirlenmesinde bir takım zorluklar yaşanmaktadır. Bunun üstesinden ise laboratuvar ortamında hazırlanacak olan karışımların çeşitli deneyler ile mekanik özelliklerinin belirlenmesi sonucu gelinebilmektedir.

- **Kireç Harcı:** Eski Yunan, Roma ve daha sonrasında farklı medeniyetlerin yapılarının inşasında kirecin kullanılmasıyla elde ettikleri kireç harcı, bağlayıcı malzeme olarak bilinmektedir. Bağlayıcı özelliğinin yanı sıra agregalar ile karıştırılarak dolgu malzemesi

1. GİRİŞ

olarak da kullanılmıştır. Kirecin hammaddesi doğada bulunan kireç taşlarıdır. Harçların hazırlanması esnasında ise özelliklerini değiştirmek adına organik ve inorganik maddelerin kullanıldığı da bilinmektedir (Böke vd 2004). Kireç 1690°C’de uçmaya başlamaktadır. Ayrıca kireç, 2572°C’de erimeye başlamakta ve 2850°C’de kaynamaya başlamaktadır. Bu maddeye ise sönmemiş kireç denilmektedir. Sönmemiş kireç su ilave edilerek söndürülmektedir. Bu noktada elde edilen kirece ise sönmüş kireç adı verilmektedir (Hasol 1988). Kireç kuru veya sulu söndürme işlemleri uygulanarak söndürülmektedir. Kuru söndürme sonucunda kirecin toz hali elde edilmektedir. Sulu söndürmede ise kireç bolca sulama işlemine tabi tutulduktan sonra suyun içine bırakılmaktadır. Bunun sonucunda ise macun kıvamında kireç elde edilmektedir. Sönmüş kireç eğer harç için kullanılacaksa en az 10 gün bekletilmelidir. Kirecin özelliklerinin değişmesine neden olan birçok faktör bulunmaktadır. Bu nedenlerden birisi kireç taşlarının içeriğindeki kalsiyum karbonat kristallerinin yapısı ve taşların gözenekliliğidir (McClellan and Eades 1970). Kireçleri iki grupta incelenebilmektedir. Bunlardan birincisi havada sertleşen kireçler, diğeri ise havada veya suda sertleşen kireçlerdir.

- **Horasan Harcı:** Tuğla, kiremit ve benzeri malzemelerin suyla karıştırılması neticesinde elde edilen hidrolik esaslı harçlara ülkemizde verilen addır. Hidrolik özelliklerinden dolayı bu harç sarnıç, hamam, su kuyusu ve su kemerlerinde kullanılmıştır (Böke vd 2004). Agregada olarak kullanılan tuğlaların yoğunlukları kireç taşı, bazalt vb. gibi agregaların yoğunluklarından daha düşük olduğundan hafiftir ve yüksek çekme dayanımına sahiptir. Ayasofya’nın kubbesinde kullanılan horasan harçları bu duruma örnek olarak verilebilmektedir. (Livingston 1993; Moropoulou *et al.* 2002).

- **Ahşap:** Kolay işlenebilir bir yapı malzemesi olan ve özellikle hafif malzeme yapısına sahip, çekme, basınç ve eğilmeye karşı dayanıklı ahşap sayesinde büyük açıklıklar rahatça geçilebilmektedir. Ahşap malzemeler, yığma kagir yapılarda tavan ve döşemede taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanılmıştır. Ayrıca çekmeye karşı dayanımından dolayı duvarlarda hatıl olarak, eğilmeye karşı dayanımından dolayı ise çıkma (saçak, cumba, taşma) olarak kullanılmıştır.

1. GİRİŞ

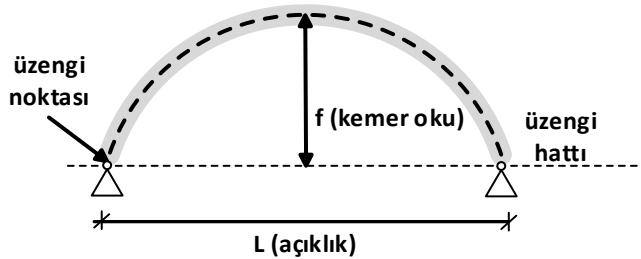
• **Tuğla:** Eski dönemlerde kilin yüksek sıcaklıklarda pişirilmesiyle elde edilen tuğla tarihi yapılarda yapı malzemesi olarak kullanılmıştır. Tuğlalar işlevselliğine ve görünümlerine göre sınıflandırılmaktadır. Tuğlalar günümüzde fırın teknolojisiyle yüksek ısılarda veya fırın sistemlerinin olmadığı yerlerde doğrudan güneşin altında bekletilerek pişirilmektedir (Reddy 1993). Tuğlanın iyi pişirilmesi son derece önemlidir. Öyle ki iyi pişirilmiş tuğla, iyi pişirilmemiş tuğlaya göre 3 kat daha fazla dayanıma sahip olabilmektedir (Ünay 2002). Genel olarak tuğlanın çekme dayanımı basınç dayanımının %10'u kadardır. Tuğlanın basınç dayanımı 10 MPa ila 30 MPa arasında değişmektedir. Elastisite modül değeri düşüktür. Tuğla da taş gibi ancak basınç altında çalışmaktadır. Çünkü çekme mukavemeti oldukça düşüktür. Çizelge 1.2'de tuğlaya ait mekanik özellikler verilmektedir.

Çizelge 1.2. Tuğlaya ait mekanik özellikler (Saraç 2003)

Malzeme cinsi	Elastisite Modülü MPa	Basınç Dayanımı MPa	Çekme Dayanımı MPa
Tuğla	1000-5000	10-30	1-3

1.3. Kemer Terminolojisi

Kemerler oluşum bakımından eğrisel bir geometriye sahip olduğundan üzerlerine gelen yükü, herhangi bir birleşim noktasına aktarmadan doğrudan mesnetlere aktarırlar (Reddy 1993). Tipik bir kemer örneği Şekil 1.9'da sunulmaktadır.



Şekil 1.9. Tipik kemer örneği

Geleneksel yapı sistemlerinden biri olan kemer farklı bölümlerden oluşmaktadır. Örneğin kemerin başlangıç noktasındaki kemer taşının yerleştirildiği yüzeye üzenge yüzeyi, yerleştirilen ilk kemer taşına üzenge taşı (üzenge noktası) ve bu üzenge noktalarının

1. GİRİŞ

birleşimiyle oluşan doğruya ise üzengi hattı denilmektedir. Üzengi noktaları arasındaki uzaklığa kemer açıklığı (L) adı verilmektedir. Kemerin en üst ve orta noktada sıkışmasını sağlayan elemana kilit taşı, kemeri oluşturan diğer ara elemanlara kemer taşı ve bu taşların birbirleriyle birleşme yüzeylerine ise yatak adı verilmektedir (Ekiz 1995; Usta vd 2001). Üzengi yüzeyi ile kilit taşı arasındaki yükseklik kemerin sehimi olarak adlandırılmaktadır. Açıklığa göre sehimi fazla olan kemerlerin taşıma gücü yüksektir (Apay 1992). Kemerin dıştan bakıldığında görülen şerit biçimindeki kenarına kemer alını denilmektedir. Kemerin dış yüzeyine ise kemer sırtı adı verilmektedir. Ayrıca çalışma kapsamında kemer açıklığı, kemer taşı ve tempan duvarlarının bir kısmı genel olarak kemer ana gövdesi olarak tanımlanmıştır. Yapılan analizlerde ele alınan bu bölge kemer ana gövdesi olarak kullanılmıştır.

M: Kemer yayının merkezi

M1: Üzengi seviyesi

C-D: Kemer genişliği

A-A1: Kemer kalınlığı

G: Kemer eksen

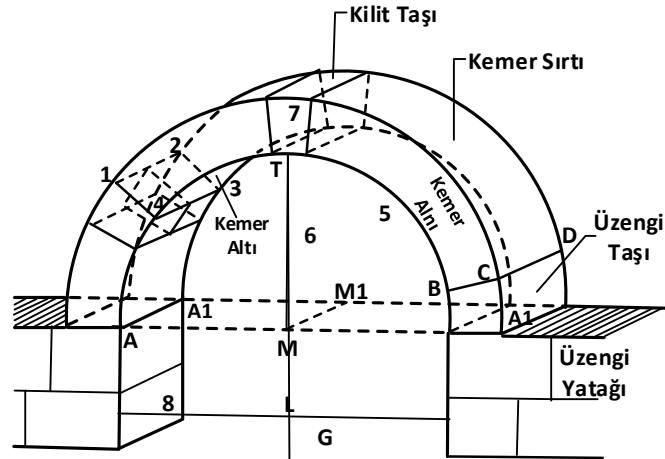
5: Kemer kenarı

6: Kemer yüksekliği

7: Tepe noktası

8: Kemer ayakları

Kemere ait elemanlar Şekil 1.10'da verilmektedir.



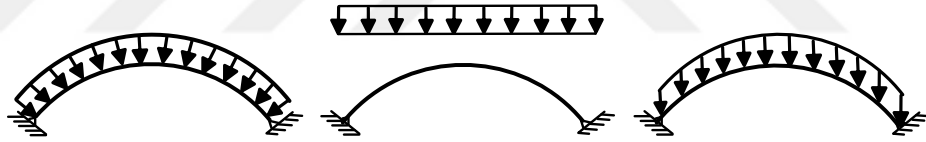
Şekil 1.10. Kemere ait elemanlar

1. GİRİŞ

Köprülerin üzerinde yer alan parapetler köprüyle bütünleşik bir parça gibi görülmesine rağmen köprüden ayrı bir parça olarak değerlendirilebilmektedirler. Bu durumun temel sebebi ise yapı davranışına önemli bir etkisinin olmamasıdır (Wallsgove 1995). Eski geleneksel yapılarda genellikle taş formlarda kullanılan parapetler günümüz mimarisinde ise ahşap veya metal formlarda kullanılmaktadırlar.

1.4. Kemer Türleri

Kemerler eğri ve kavisli bir yapıya sahiptir. Eğriliğin seçimi ve kemerin geometrisi, itme çizgisi ile kemer geometrisi arasındaki maksimum eşleşmeye dayanmaktadır. İtme çizgisi, büyük ölçüde yükleme tipine bağlıdır. Bu nedenle, bir dairesel kemer sabit bir radyal yük için en uygun seçimdir (Şekil 1.11 soldaki), bir parabolik kemer sabit bir düşey üniform yükten kaynaklanır (Şekil 1.11 ortadaki) ve bir zincir kemer kemerin sabit ölü yükü için en idealdir (Şekil 1.11 sağdaki) (Proske and Gelder 2009). Bu durumlar Şekil 1.11’de örneklenmektedir.



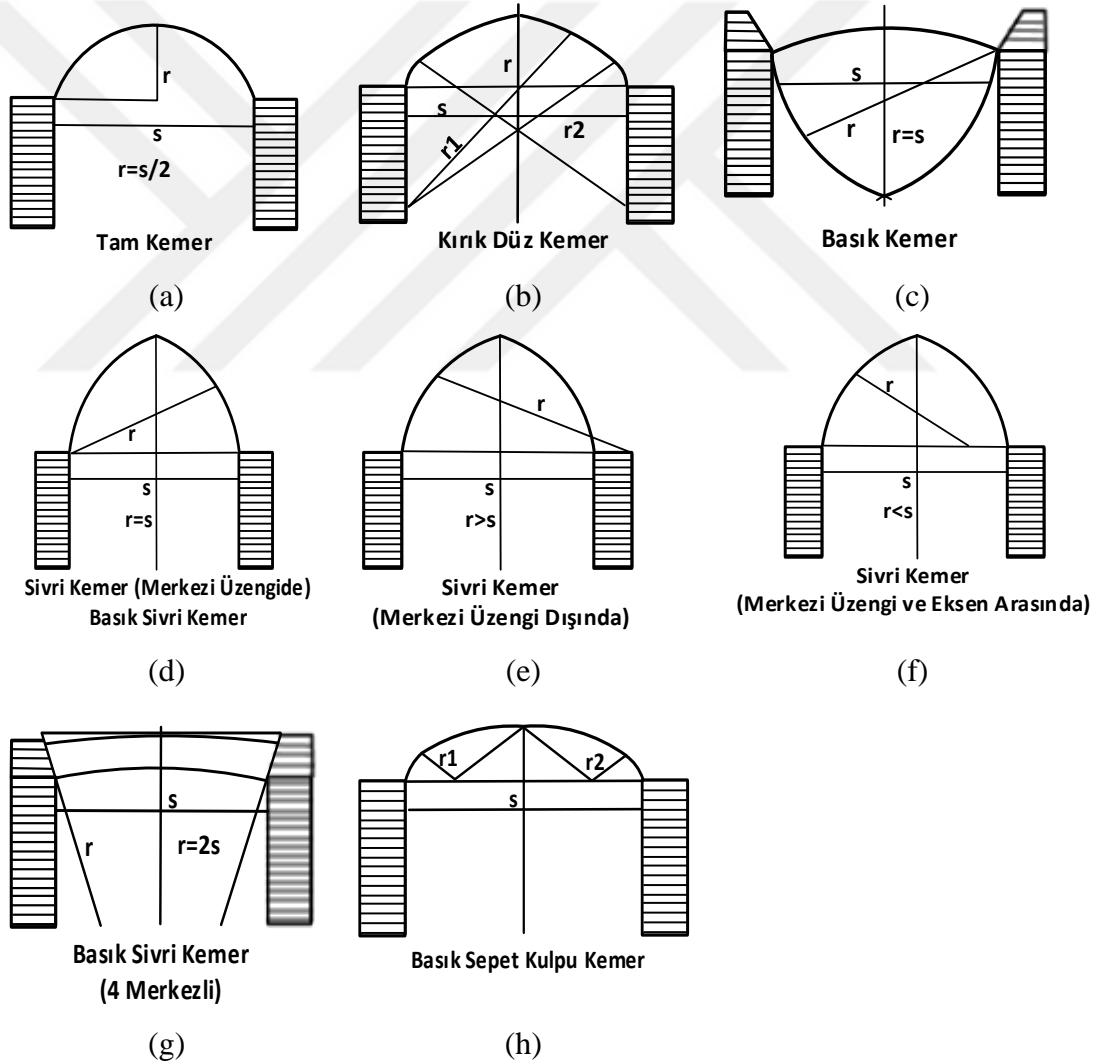
Şekil 1.11. Farklı yük modellerine göre optimum kemer şekilleri (Proske and Gelder 2009)

“İtme çizgisi” terimi, yükün sadece aksenal kuvvetler tarafından aktarıldığı geometriyi tanımlamaktadır. Burada aksenal kuvvetler sadece basınç kuvvetleri olarak aktarılmaktadır. Ancak kemerler tasarlanırken gerçekçi koşullar altında yük değişiklikleri ve inşaat sınırları göz önünde bulundurulmalıdır. Burada “r” kemer yarıçapını, “s” ise kemer açıklığını temsil etmektedir.

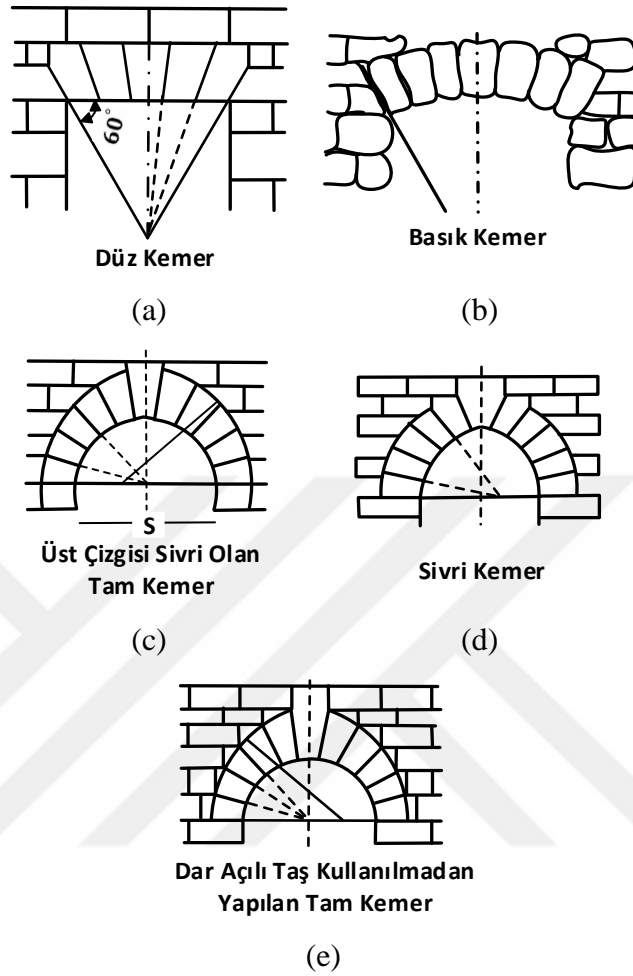
- Tam kemer: Kemer yarıçapının kemer açıklığının yarısına eşit olduğu kemer türüdür ($r=s/2$).
- Basık kemer: Kemer yarıçapının kemer açıklığına eşit olduğu kemer türüdür ($r=s$).

1. GİRİŞ

- Sivri kemer (merkezi üzengi dışında): Kemer yarıçapının kemer açıklığından büyük olduğu kemer türüdür ($r>s$).
- Sivri kemer (merkezi üzengi ve eksen arasında): Kemer yarıçapının kemer açıklığından küçük olduğu kemer türüdür ($r<s$).
- Basık sivri kemer: Kemer yarıçapının kemer açıklığının iki katı olduğu kemer türüdür ($r=2s$).
- Basık sepetkulpu kemer: Sepet kemeri, farklı yarıçaplı birkaç daireden bir araya getirildiği için dairesel kemerin özel bir türüdür. Şekil 1.12 ve Şekil 1.13’de sırasıyla kemer yapım örnekleri ve kemer türleri gösterilmektedir.



Şekil 1.12. Kemer yapım şekilleri (Proske and Gelder 2009)



Şekil 1.13. Kemer türleri (Apay 1992)

1.5. Kemer Köprülerin Avantaj ve Dezavantajları

Tüm teknik sistemler çeşitli avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Kemer köprülerin avantajlarından birisi görsel açıdan güzel olmasıdır. Zaman içerisinde kemer köprüler insanların turistik gezilerde gidilip fotoğraflar çekildiği mekân halini almıştır. Ülkemizde özellikle Karadeniz bölgesinde bulunan bu tarihi köprüleri görmek için turlar düzenlenmektedir. Bu bağlamda kemer köprülerin sunmuş olduğu avantaj ve dezavantajlar maddeler halinde aşağıda verilmiştir:

1. GİRİŞ

Avantajlar:

- Yapım malzemelerinin kolaylıkla temin edilebilir olması ve sonradan bu malzemelerin başka bir yerde yapı malzemesi olarak tekrardan kullanılabilir olması,
- Uzun süre kullanılabilir olması,
- Çalışma bozukluğunun erken sürede tespit edilebilir olması,
- Yüksek hasar toleransına sahip olması,
- Kullanılabilirliğin ve yıpranmanın birbirinden bağımsız olmasıdır (toplam gerilmenin dairesel basınç yükleme bölgesinde olması) (Weber 1999).

Dezavantajlar:

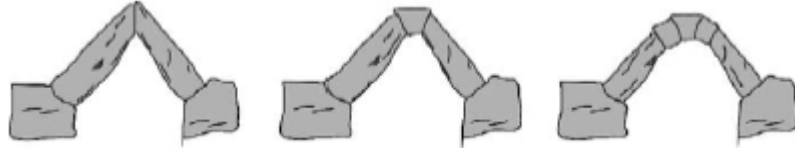
- Yükleme kapasitesinin önemli ölçüde azaltılmasının büyük yer değiştirmeler ile olması,
- Köprünün altındaki açıklık şemasının sabit olmamasıdır (Proske and Gelder 2009).

1.6. Taş Kemer Köprülerin Tarih İçinde İlerleyişi

İnsanoğlu ilk olarak doğada karşılaşılabilecek tehlikelere karşı koyabilmek ve kendilerini güvende hissetmek için barınak ihtiyacını gidermeye çalışmıştır. Bu çerçevede ilk olarak da barınma ihtiyacını mağaralar ve altı oyuk kayalarla gidermeye çalışmıştır. Sonraları ise çevreden temin ettiği taş ve ahşap gibi malzemelerle barınma gereksinimlerini gidermeye çalışmıştır. İlerleyen süreçte ise yine doğada var olan malzemeleri kullanarak elde ettikleri kerpiç veya tuğla gibi yapı malzemelerini kullanarak daha sağlam ve güvenli barınma yerleri inşa etmiştir. Zaman içerisinde insanların daha geniş ve ferah yapılar yapma istekleri doğadan kolay temin edilebilir taş, ahşap ve tuğla gibi malzemeleri üst üste yığarak yeni yapılar inşa etmelerine neden olmuştur. Daha sonrasında insanların göç etme ihtiyaçlarıyla birlikte uzun yolları kısaltmak, geniş açıklıkları geçmek gibi istekleri de beraberinde gelmiştir. İlk olarak açıklıklar ahşap ya da taş ile geçilmeye çalışılmıştır. Sonrasında ise bu malzemelerin yetersiz kaldığı açıklıklar köprü sistemleri ile geçilmiştir (Nil 2017). Köprü yapımında kemer uygulamasının birkaç bin yıl öncesine dayandığı düşünülmektedir. Kemer yapının nasıl icat edildiği konusunda ise literatürde birçok farklı

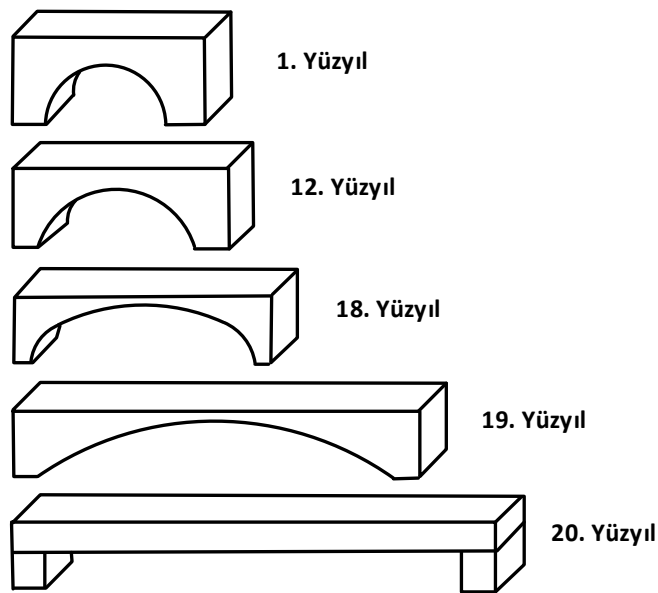
1. GİRİŞ

teori vardır. Bu teorilerden bir tanesine göre, sahte tonozların devrilmesi neticesinde kemerler meydana gelmiştir. Bir diğer teoriye göre ise, destek taş elemanlarının veya taş kirişlerin alt bölümlerinin Şekil 1.14’de gösterildiği gibi tekil parçalara ayrışmasından kemerlerin oluştuğu düşünülmektedir (Heinrich 1983; Kurrer 2002).



Şekil 1.14. Taş kayaların tekli elemanlara ayrılması

Kemer yapımında ilk önemli adımı atan Yunanlılar oluşmuştur. Yunanlılar kama taş kemerinin mucidi olarak görülmektedir. Kemerlerde kullanılan taşlar kama şekline sahiptir. Kama şeklindeki taşların kullanımı kemerin yapımına olanak sağlamaktadır. Ancak, Yunanlılar harç kullanmamışlardır. Bu da kemerin taşıma kapasitesini zayıf kılmıştır. İkinci önemli adım ise Romalılar tarafından atılmıştır. Romalılar sadece taşların yerleştirilme kalitesini önemli ölçüde arttırmakla kalmayıp, aynı zamanda kemer ile tempan duvarları arasındaki bağlantıyı iyileştirmek için harç ve beşgen biçimli taşları icat etmişlerdir. Kemer köprülerinin tarihsel gelişimi Şekil 1.15’de verilmiştir (Harrison 2004).

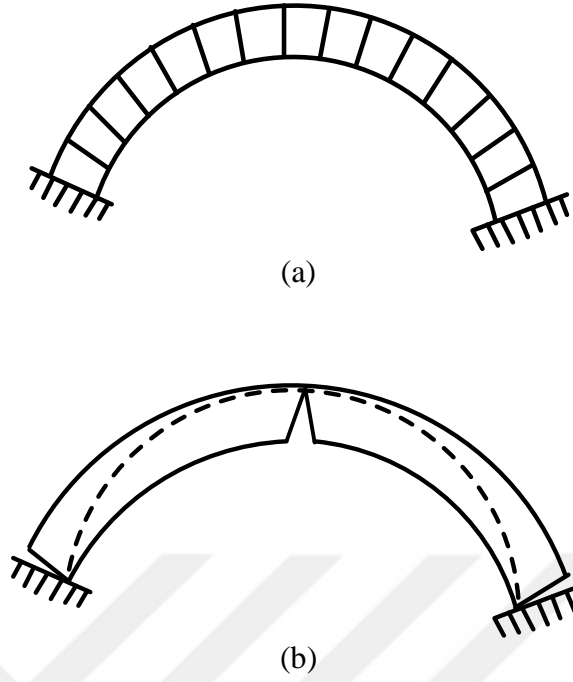


Şekil 1.15. Kemer köprülerinin tarihsel gelişimi

1.7. Kemer Çalışma Prensibi

Kemer, yapısal olarak taş, tuğla veya ahşap malzemelerden kavisli olarak örülen, iki sütun veya ayak arasındaki bir açıklığın üstünü örtmek için, uçları bu sütun veya ayaklara oturtularak inşa edilen yay şeklindeki yapı elemanıdır. Merkezi bir kilit taşı ile sıkıştırılarak inşa edilen kemerler üzerine gelen yükleri ayak veya sütunlara ileterek açıklıkların geçilmesi sağlanmaktadır. Kilit taşı ise kemerlerin tepe noktalarına konularak üstüne gelen yükleri yanındaki taşlara aktaran taş olarak adlandırılmaktadır. Kemer üzerine gelen yükler önce kemer çevresinde toplanmaktadır. Sonrasında ise yükler üzengi seviyesine kadar aktarılarak yan duvarlara veya ayaklara kadar iletilmektedir. Kemer inşa edilirken ayaklar arasına son taş koyulana kadar kemerin dengede durması için açıklık boyunca iskele yapılmaktadır. İskele söküldüğünde ise taşlar mesnetleri itmeye başlamakta ve böylece kemerin hafifçe yayılması sağlanmaktadır. Kilit taşının arada sıkışmasıyla da kemer çalışmaya başlamaktadır. Mesnetlerin açıklık boyunca açılmadan dengede kalması ve kemerin stabilitesini sürekli kılmak için araya ahşap veya demir gergiler konulmaktadır (Hasol 1988).

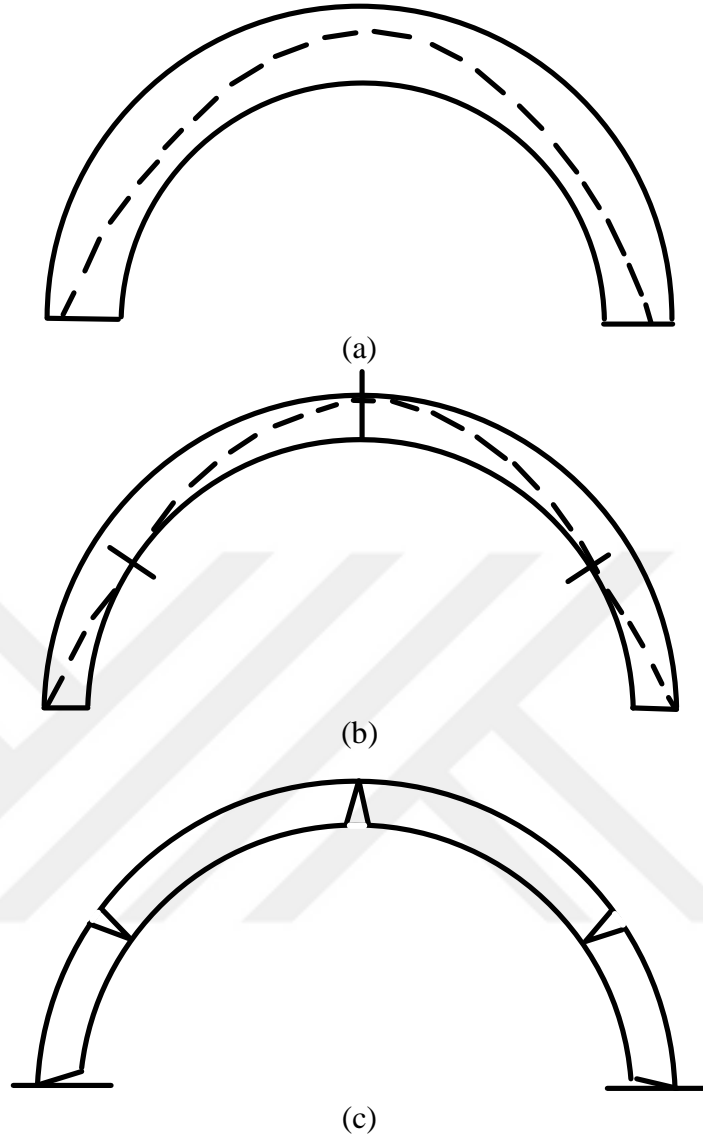
Yeni inşa bir kemerin mesnetlerinin kendi haline açılmasıyla yerleşen ve çalışmaya başlayan tipik kemer örneği Şekil 1.16-(a)'da verilmiştir. Üzerine yükün gelmesiyle kemer taşlarının mukavemet gösteremeyen ara yüzeylerden ayrılması ise kemerde çatlamların oluşmasına neden olmaktadır. Bu aşamadan sonra ise 3 mafsallı kemer meydana gelmektedir. Bu durumda kemer kararlı bir davranış sergilemiş olmaktadır. Bu durum ise Şekil 1.16-(b)'de gösterilmektedir.



Şekil 1.16. Kemerde itki çizgisi ve çatlak ilişkisi (Heyman 1999)

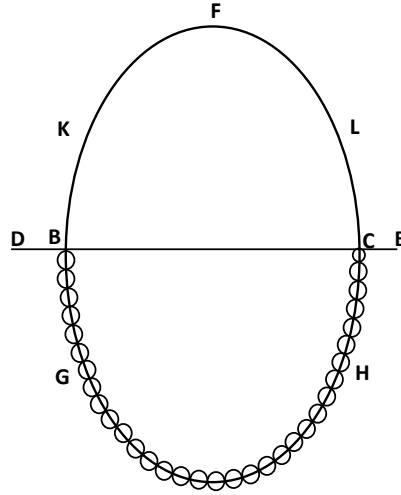
Hooke tarafından geliştirilen plastik teorideki güvenlik teoremi, kemer içindeki itki çizgisinin (bileşke kuvvet çizgisi) kemerin alt yüzeyi ve üst yüzeyi arasında kalma durumunu desteklemektedir. Heyman'da bu görüşü desteklemektedir. Basınç dayanımının yüksek, çekme dayanımının ise zayıf olduğu kemer sistemlerinin modern plastik teorisi ile incelenebileceğini savunmaktadır (Heyman 1999). Bu düşünce ile iç ve dış kuvvetlerin dengede olması halinde kemer sistemin içindeki itki çizgisinin kemerin içinde kalacağı ve yıkılmayacağı düşünülmektedir.

Tipik bir kemerin denge hali kemer kalınlığıyla orantılıdır. Kemer itki çizgisinin kemerin içinde kaldığı durum Şekil 1.17-(a)'da gösterilmiştir. Kemer kalınlığının azalmasıyla itki çizgisinin kemer dışında kaldığı durumlar ise Şekil 1.17-(b) ve Şekil 1.17-(c)'de gösterilmektedir. Bu gibi durumlarda kemerde çatlamlar meydana gelmekte ve sonrasında göçme oluşmaktadır. Şekil 1.17-(c)'de göçmenin meydana gelmesi halinde oluşacak mafsalsal durumu gösterilmiştir.



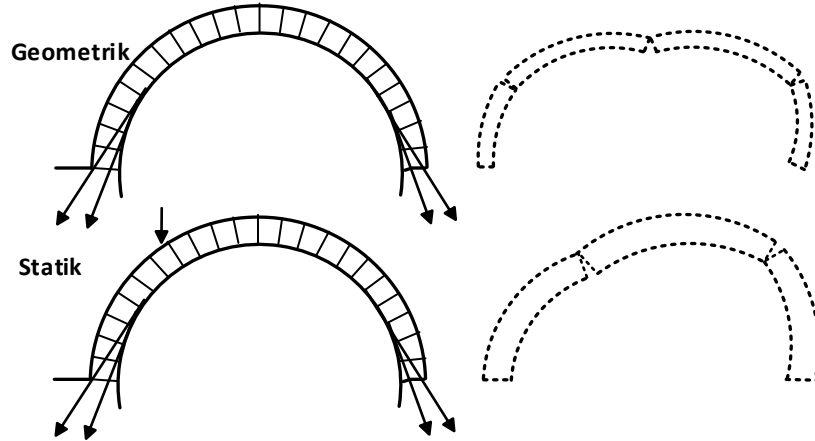
Şekil 1.17. Kemerde itki çizgisi ve çatlak ilişkisi (Heyman 1999)

Kemerlerin geometrik olarak doğru bir şekilde tasarlanabilmesi için zincir eğrisi kullanılmıştır. Çünkü zincir iki ucundan tutularak bırakıldığında, ağırlığından dolayı bütün parçalarında çekme kuvveti oluşacak şekilde sarkma meydana getirmektedir. Bunun tersi kemerlerde düşünüldüğünde ise tamamen basınç kuvvetleri altında olacaktır. Zincir ve ters zincir eğrisine ait bir görüntü Şekil 1.18’de verilmektedir.



Şekil 1.18. Zincir eğrisi ve ters zincir eğrisiyle elde edilen kemer ilişkisi (Block 2006)

İtki çizgisinin kemerin merkezine yakın olduğu durumlar kemerin sağlamlığı hakkında bilgi vermektedir. Kemer kalınlığının azaltılarak inşa edilmesi itki çizgisinin kemerin merkezine doğru yaklaştırılması ile mümkün olmaktadır. Kemerlerin geometrik olarak doğru bir şekilde inşa edilmemesi durumunda göçme durumu meydana gelecektir. Bu durum incelendiğinde yükleme durumu ve geometrik açıdan gerekli hususlar dikkate alınırsa kemer ayakta kalacaktır. Şekil 1.19’da kemerin içerisinde yer alan itki çizgisine bağlı olarak göçme mekanizmaları verilmiştir (Saraç 2003).

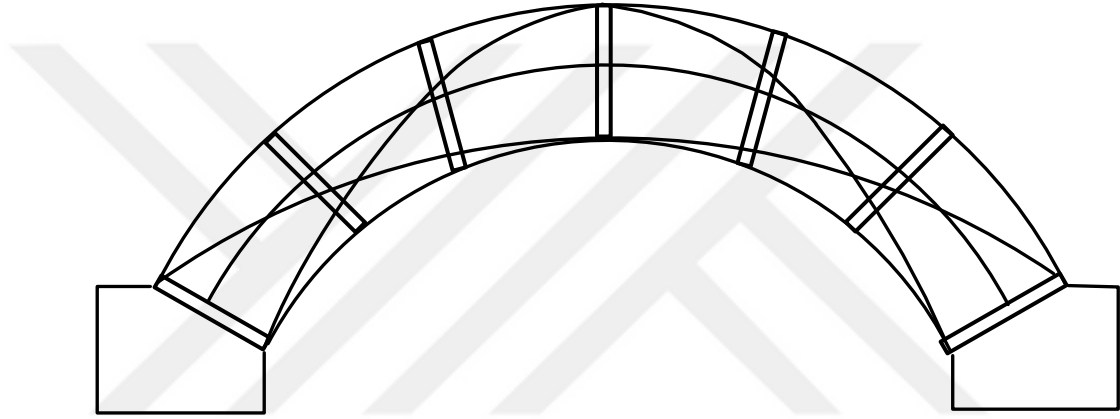


Şekil 1.19. Kemerlerde göçme mekanizması-itme çizgisi ilişkisi (Saraç 2003)

Barlow (2015) tarafından kama şeklinde kesilmiş 6 adet kesme taştan bir kemer modeli tasarlanmıştır (Şekil 1.20). Bu modeli tasarlamasının amacı kemer içinde yer alan itki

1. GİRİŞ

çizgilerini tespit etmektir. Yükün iletildiği noktalar tespit edilerek itki çizgisi belirlenmiştir. Tepe noktasından kemer dış çeperine değen itki çizgisine direnme çizgisi, kemer iç çeperine değen itki çizgisine ise basınç çizgisi adını vermiştir. Kemer kalınlığının belirlenmesinin kolay olduğunu vurgulayan Barlow, laboratuvar ortamında modeller yapılarak bunun mümkün olabileceğini göstermiştir. Ayrıca itki çizgisinin en çok kavisli olduğu durumların yarı elips ve yarı dairesel kemerlerde olduğunu belirlemiştir. Bu kemerlerde destek olarak yan duvarların gerekliliğini genel kabul olarak belirtmiştir (Barlow 2015).



Şekil 1.20. Barlow modeli kemer ve itki çizgileri (Barlow 2015)

1.8. Tezin Amacı ve Yapısı

Tarihi yığma köprüler kültürel mirasın önemli bir parçasıdır. Bu köprüler genellikle temel, kemer, yaylı duvar ve dolgu malzemesinden oluşur. Sel ve deprem gibi doğal afetler bu önemli tarihi yapılara zarar verebilir veya tahrip edebilir. Bu nedenle, yapısal bütünlüğü korumak için bu yapıların sismik tepkisinin değerlendirilmesi gereklidir. Yapılar için uyumlu ve çok fazla doğal yapısına zarar vermeden yapılan müdahalelerle kırılma noktalarını azaltmak için, sismik analiz için doğru modellere sahip olmak, yığma yapıların doğrusal olmayan davranışını taklit edebilmek ve iyi tanımlanmış bir performansa sahip olmak gerekir. Çalışmada, performansa bağlı analiz yöntemlerinden olan “Kapasite Spektrumu Yöntemi” ile tek açıklıklı tarihi yığma kemer köprülerin performans noktalarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Yöntemin tek açıklıklı yığma kemer

1. GİRİŞ

köprüler için uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç doğrultusunda tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen çalışmalar maddeler halinde aşağıda sunulduğu gibidir:

- Öncelikli olarak günümüze kadar ayakta kalmayı başarmış olan 5 adet tarihi yığma köprü seçilmiştir. Bunlar Erzurum, Rize ve Trabzon illerinde yer alan Kireçli Köprüsü, Kız köprüsü, Coşandere Köprüsü, Şinik Köprüsü ve Şenyuva köprüsüdür.
- Ardından seçilen köprülerin ANSYS yazılımı ile sonlu eleman modelleri yapılmıştır.
- Tarihi yığma kemer köprülerde kullanılan elemanların malzeme özellikleri belirlenmiştir.
- Öncelikli olarak 5 adet köprünün modal analizleri gerçekleştirilmiştir.
- Ardından yığma kemer köprülerin düşey yönde taşıma kapasitelerini belirleyebilmek için köprülere düşey yönde belirlenen bölgelere deplasman uygulanarak düşey yönde itme analizleri gerçekleştirilmiştir.
- Yığma kemer köprülerin yatay yönde dayanım kapasitelerini belirleyebilmek için köprülere yatay yönde belirlenen bölgelere kuvvet uygulanarak yatay yönde itme analizleri gerçekleştirilmiştir.
- 8 adet gerçek deprem hareketi belirlenmiştir. Bu depremler odak derinliklerine göre iki gruba ayrılmaktadır. Bunlardan birincisi uzak bölge depremleri diğeri ise yakın bölge depremleridir (Dikici 2011). Seçilen deprem kayıtlarının 5'i yakın bölge depremi, 3'ü ise uzak bölge depremidir. Düzce depremi, Erzincan depremi, İzmit depremi, Loma-Prieta depremi ve Yarımca depremi yakın bölge depremi olup, Kobe depremi, Rudbar-İran depremi, Hector-Mine depremleri ise uzak bölge depremleridir.
- İvme kayıtları ATC40'a göre belirlenen katsayılarla ölçeklenerek yığma kemer köprülerin deprem hareketleri altında davranışlarını belirleyebilmek için doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilmiştir.
- Son olarak ise ATC40 ve FEMA 440 prosedürleri kullanılarak Kapasite Spektrum Metodu yardımıyla kemer köprülerin sismik kapasite eğrileri elde edilerek köprülerin performans noktaları belirlenmiştir.

Yukarıda sıralanan maddeler ışığında gerçekleştirilen doktora tez çalışmasının giriş bölümünde kemerlerin tarihçesi, çalışma prensibi, kemer özellikleri, kemer tipleri kısaca anlatılmıştır. Doktora tez çalışmasının ikinci bölümünde literatür araştırması yapılarak, incelen çalışma özetlerine yer verilmiştir. Üçüncü bölümde tez çalışmasının analizlerinde

1. GİRİŞ

kullanılan yöntemler anlatılmıştır. Dördüncü bölümde analizler gerçekleştirilmiş olup, analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Beşinci bölümde analiz sonuçlarından elde edilen bulgular değerlendirilmiş olup altıncı bölümde kaynaklara yer verilmiştir.



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde yığma yapıların performans değerlendirilmesiyle ilgili yapılan çalışmalar kısaca özetlenmiştir.

Krawinkler (1998) çalışmasında, dikkatli bir şekilde gerçekleştirilen itme analizinin şiddetli depremler sırasında performansı kontrol eden yapısal yönler için öngörü sağlayacağını belirtmiştir. Öncelikle temel modda titreşen yapılar için, itme analizi büyük olasılıkla küresel ve yerel esnek olmayan deformasyon taleplerinin iyi tahminlerini elde edilmesini sağlamıştır. Bu analiz aynı zamanda elastik bir analizde gizli kalabilecek tasarım zayıflıklarını da ortaya çıkarmıştır. Bu zayıflıklar aşırı deformasyon talepleri, kuvvet düzensizlikleri ve sütunlar ve bağlantılar gibi potansiyel olarak kırılabilir elemanlara aşırı yüklenmeyi içerir. Ancak yüksek modların etkilerinin dikkate alınmasıyla birlikte itme analizlerinin bütün yapılara uygulanabilirliğini göstermişlerdir.

Priestley (2000) bu çalışma ile, kapasite spektrumu yöntemi, N2 yöntemi ve doğrudan yer değiştirmeye dayalı tasarım yöntemi araştırılmış olup, mevcut yapıların sismik değerlendirmesinin veya özel deformasyona dayalı kriterlerin karşılanmasını sağlamak için yeni yapıların tasarımının yapılabileceği vurgulanmıştır. Belirli bir sismik yoğunluğun altında belirli bir gerginlik veya sapma performans seviyesine ulaşmak için tasarıma dayalı alternatif bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bunun uygulanmasının çok basit olduğu ve eşit sismik risk seviyelerine sahip olması gerektiği gösterilmiştir. Sismik performanstaki önemli farklılıklar, geleneksel kuvvet tabanlı / yer değiştirme-kontrol yaklaşımlarıyla karşılaştırıldığında bu yaklaşım için tasarlanan yapılardan beklenebilir. Çalışmayı farklı kılan özelliği ise özellikle, zemin uyumluluğunun dahil edilmesidir. Zemine bağlı sorunlara ve zemin / yapı etkileşiminin performansa dayalı tasarıma dahil edilmesine biraz vurgu yapılacaktır. Bunun nispeten basit olduğu ve kuvvet azaltma faktörleri kullanan kuvvet esaslı tasarımlarla kolayca bulunmayan tutarlı tasarım çözümleriyle sonuçlandığı gösterilmiştir.

Fajfar (2000) çalışmasında, yapıların sismik analizi için nispeten basit bir doğrusal olmayan yöntem (N2 yöntemi) sunulmaktadır. Yöntemde Çok dereceli serbestlik dereceli (MDOF) bir modelin itme analizini, bir eşdeğer serbestlik dereceli (SDOF) sistemin yanıt

2. KAYNAK ÖZETLERİ

spektrum analizi ile birleştirilmiştir. Yöntem, prosedürün ve sismik tepkimeyi kontrol eden temel miktarlar arasındaki ilişkilerin görsel yorumunu mümkün kılan ivme-yer değiştirme biçiminde formüle edilmiştir. Elastik olmayan spektrumlar, eşdeğer sönümlenme ve periyotlu elastik spektrumlar yerine uygulanmıştır. Bu özellik, kapasite spektrum yöntemine göre temel farkı temsil eder. Ayrıca, talep miktarları yineleme olmadan elde edilebilir. Genel olarak, N2 yönteminin sonuçları, yapının ağırlıklı olarak birinci modda salınması koşuluyla, makul derecede doğrudur. Önerilen yöntem ile FEMA 273 ve ATC 40 arasındaki doğrusal olmayan statik analiz prosedürleri arasındaki benzerlik ve farklılıklar tartışılmaktadır. Bu çalışma FEMA 273'teki doğrusal olmayan statik prosedürün ve N2 yönteminin önerilen basit versiyonunun çok benzer olduğu ve aynı yer değiştirme şekli ve yanal yük dağılımı varsa, tam olarak aynı sonuçları verebileceği sonucuna varılabileceğini göstermiştir. En büyük farkın N2 yönteminin sağladığı görselleştirme olduğu belirtilmiştir. ATC'de (40), MDOF'den SDOF sistemine dönüşüm diğer iki yöntemle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, dönüşüm formüllerinde temel miktar olan varsayılan yer değiştirme şekli elastik birinci mod şekli ile sınırlı olduğu belirtilmiştir. Sonuç olarak, ATC 40 dönüşümü yalnızca özel bir durumda FEMA 273 ve N2 dönüşümlerine eşdeğerdir. N2'de, varsayılan yer değiştirme şekli ve yanal kuvvet düzeni ilişkilidir. Bu şekilde FEMA 273 ve ATC 40'da mevcut olan yaklaşımlardan biri elimine edilebilir kanısına varılmıştır.

Chopra and Goel (2002) çalışmalarında, sabit kuvvet dağılımı ile mevcut işlemlerin yapısal dinamik teorisine dayanan geliştirilmiş bir itme analizi prosedürü üzerinde durmuştur. Bu modal itme analizinde (MPA), etkili deprem kuvvetlerinin modal genişlemesinde bireysel terimlerden kaynaklanan sismik talep, her bir mod için atalet kuvveti dağılımı kullanan bir itme analizi ile belirlenmiştir. Bu “modal” talepleri birleştirmek, elastik olmayan sistemlerdeki toplam sismik talebin bir tahminini sağlamıştır. Elastik sistemlere uygulandığında, MPA prosedürünün standart tepki spektrum analizine eşdeğer olduğu gösterilmiştir.

Aydinoğlu (2003) çalışmasında, her mod için artan yer değiştirme profilini tanımlamak için her adımda sistemin anlık konfigürasyonu ile ilişkili elastik olmayan esnek yer değiştirmeyi kullanan gelişmiş bir yer değiştirme tabanlı uyarılma yöntemi önermiştir. Yönteme göre, hedef yer değiştirmesi, her bir mod için bağımsız olarak tanımlanamaz ve

2. KAYNAK ÖZETLERİ

modlardan herhangi birinin tepe yer değiştirmesine ulaşması üzerine, prosedür sonlandırılır ve diğer tüm modların bu yer ile aynı anda tepe yer değiştirmelerine ulaştığını varsayar. Bu prosedürün düşük katlı yapılarda daha tutarlı sonuçlar verebileceğini vurgulamıştır.

Galasco (2004) çalışmasında gösterildiği gibi, 3 boyutlu yığma binalarının ve köprülerinin doğrusal olmayan makro eleman modellemesi, deneysel verilerle karşılaştırıldığında güvenilir sonuçlar vermiştir. Makro eleman modeli, sınırlı sayıda serbestlik dereceli sistem (d.o.f.) ile geniş yığma yapılarının güvenilir doğrusal olmayan sismik analizlerini gerçekleştirmeye uygun olduğunu belirmişlerdir. Ayrıca bilgisayar teknolojisi le analizlerin daha da kısalacağı vurgulanmıştır. Performansa dayalı deprem mühendisliğinde hem zaman-tanım alanı hem de kapasite değerlendirmesinin yığma yapılar için uygulanabilir olduğunu göstermişlerdir.

Bento *et al.* (2004) çalışmalarında, yapısal bir sistemin performansının doğrusal olmayan statik analize başvurularak değerlendirilebilir olduğunu göstermişlerdir. İki betonarme bina sisteminin, ATC-40 ve FEMA-273 ve EC8 (Eurocode 8) tasarım kodları ile doğrusal olmayan statik prosedürler kullanılarak açıklanan farklı metodolojilerin kullanılmasıyla tepkilerin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması belirlenen kabul kriterleri ile yapılmıştır. Kontrol noktası olarak tepe noktası seçilmiştir. İtme analizinin bazı kısıtlamaları nedeniyle, doğrulama aracı olarak doğrusal olmayan dinamik analizi (zaman-tanım analizi) kullanılmıştır.

Resemini and Lagomarsino (2007) çalışmalarında, İtalya da XIX. Yüzyılda inşa edilen yığma kemerli köprülerin, sismik harekete bağlı olarak emniyet seviyelerinin değerlendirilmesiyle ilgili bir yöntem önerilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, yakın tarihte önerilen sıradan binalar için uygulanan, birkaç kodda (ATC40, FEMA 273 ve 356 yeni İtalyan Sismik Kodu) önerilen performansa dayalı yaklaşım bu yapılarda uygulanmıştır. Bu şekilde, statik analizler dinamik simülasyonlarla elde edilen sonuçlarla doğrulanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Shakeri *et al.* (2008) çalışmalarında, geleneksel itme analizleri elastik olmayan fazdaki yapının, dinamik niteliğindeki daha yüksek modların ve ilerleyici varyasyonun etkisini göz ardı edemediğinden, son yıllarda bazı gelişmiş çok modlu ve uyarlamalı baskı prosedürlerini önermiştir. Geleneksel itme analizlerinin dezavantajlarından bahsetmişlerdir. Bu dezavantajları gidermek için, çalışmalarında gelişmiş bir spektrum bazlı çok modlu uyarlamalı (MMA) prosedür önermişlerdir. Bu yöntem, çok modlu itme analizinde uyarlamalı yöntemi içerirken, ardışık aşamalarda bir modda verimin etkileri, diğer modların rijitlik matrisine yansıtılırken, kapasite eğrisi ve sismik talep, her mod için ayrı ayrı türetilir. Toplam sismik talepler, seçilen bazı modlar ile modal taleplerin birleştirilmesiyle tahmin edilir.

Pelà *et al.* (2009) çalışmalarında, mevcut yığma kemer köprülerinin sismik performansı, UNI ENV 1998-1 (2003), OPCM 3274 (2004) ve FEMA 440 (2005) gibi çeşitli modern standartlar tarafından önerildiği gibi doğrusal olmayan statik analiz kullanılarak değerlendirmişlerdir. Elastik olmayan itme analizinin kullanımı ve çerçevesi yapılar dışındaki yapılar incelendiğinde tepki spektrumu yaklaşımları daha da zorlaşmaktadır. Bu çalışma, iki özel durum çalışması sunarak bu yöntemin yığma kemer köprülere de uygulanabilirliğini göstermiştir. Malzemeleri ve köprünün dinamik özelliklerini kalibre etmek için deneysel testlere duyulan ihtiyaç, yapının en kritik bölgelerini doğru bir şekilde modellemek için vurgulanmıştır. Duvar kemer köprülerinin itme analizinde kontrol düğümünün seçimi ve sismik güvenlik değerlendirmesine etkisi incelenmiştir. Tepe yer değiştirmesi, kütle merkezi yer değiştirmesi ve sanal enerji eşdeğeri yer değiştirmesi dikkate alınarak kuvvet-yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir. Sonrasında ise tepe yer değiştirmesi ve diğer farklı noktalarda ele alınan yer değiştirme eğrileri karşılaştırılmıştır. Bunun neticesinde ise köprünün sismik kapasitesini tanımlamak için yapının tipik tepe kontrol noktası seçiminin uygun olmadığını vurgulamışlardır.

De Santis and Felice (2012) çalışmalarında, yığma kemerlerin ve tonozların, tarihi yapıların sismik kırılganlığındaki kritik unsurlardan biri olduğunu göstermişlerdir. Bununla birlikte, güvenilir sismik değerlendirme yöntemleri geliştirmek için bu çalışmada fiber kiriş elemanlarını kullanan bir modelleme yaklaşımı önermişlerdir. Yığma kemerlerin sismik kapasitesi, farklı yük dağılımları altındaki döngüsel itme analizleri ile değerlendirilmiştir. Daha sonra, çelik bağlantı çubukları ve harici olarak

2. KAYNAK ÖZETLERİ

bağlanmış kompozit malzeme şeritleri gibi sütunların ve güçlendirme cihazlarının varlığının sismik kapasite üzerindeki etkilerini araştırdığı düşünülmektedir. Deprem yükleri etki ettirilerek elde edilen sonuçlar, itme analizinin hem düşey hemde yatay yönde yükleme modeli kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu nedenle, bu, duvar destekli kemerin itme esaslı sismik değerlendirme prosedürlerinde kullanılacak olan deprem hareketi altındaki gerçek tepkisinden kaynaklanan eylemsizlik kuvvetlerinin yeterli bir temsili gibi görüldüğünü belirtmişlerdir.

Pelà *et al.* (2013), mevcut üçlü kemerli köprünün detaylı bir analiziyle duvar köprülerinin sismik değerlendirmesiyle ilgili çalışılmıştır. İlk olarak, doğrusal olmayan statik analizin etkinliği, 84 adet doğrusal olmayan dinamik analizin kapsamlı bir şekilde karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. İkinci olarak ise, sonlu eleman yapısal modelindeki kontrol düğümünün seçimi, sismik kapasitenin öngörülmesi üzerindeki etkisini anlamak için incelenmiştir. En üst seviyedeki düğümün genellikle ortak yapıların kuvvet-yer değiştirme tepkisini karakterize ettiği düşünülse de, çalışmaları için uygun olmadığını belirtmişlerdir. Köprünün kütle merkezi seviyesinde bulunan düğüm, sismik kapasitenin daha güvenilir bir şekilde tahmin edilmesini sağladığından daha iyi bir seçim olduğunu vurgulamışlardır.

Yazdani and Marefat (2013) çalışmalarında, köprülerin depreme dayanıklılığını araştırmışlardır. Dinamik yük analizlerinden elde ettikleri sonuçları, doğrusal bir gerilme analizi yapılan köprünün sonlu eleman modelini kalibre etmek için kullanılmıştır. Kemerin düşey yer değiştirmesini kalibrasyon kriteri olarak kullanmışlardır. Kontrol noktası olarak birkaç farklı noktada seçerek, yığma kemer köprülerinin itme analizinde kontrol noktalarının seçimi ve sismik değerlendirme üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kontrol noktası olarak tepe, kütle merkezi ve oluşturulan sanal bir nokta seçilmiştir. Seçilen noktalara göre kuvvet-yer değiştirme eğrilerinin birbirinden farklı olduğunu göstermişlerdir. Kontrol noktasının kütle merkezinde seçilmesiyle en büyük yer değiştirme elde edilirken, tepe kontrol noktasında ise en büyük taban kesme kuvveti elde edilmiştir. Ayrıca yığma köprülerde sismik davranışın iki faktöre bağlı olduğunu vurgulamışlardır. Bunlar a) malzeme sertliği ve yayılma uzunluğu gibi yapıların kapasitesini etkileyen parametreler; ve b) süneklik faktörü, zemin tipi ve bölgenin sismik tehlikesi gibi deprem spektrumunu etkileyen parametrelerdir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Lande and Yawale (2015) bu çalışmada, Amravati'de şehir ulaşımında önemli bir yapı olarak kabul edilen bir köprüyü doğrusal olmayan statik yöntem kullanarak incelemiştir. Söz konusu köprünün üç boyutlu modeli doğrusal olmayan statik prosedür (NSP) kullanılarak geliştirilmiş ve analiz edilmiş, ve böylece sismik performansı buna göre değerlendirilmiştir. Bazı önemli bulgulara ulaşmışlardır. Bu bulgulardan biri, deprem sırasındaki baskın uyarma yönünün, çalışmada incelenen itme yönü ile aynı hizaya gelme ihtimalinin düşük olmasıdır. Bu nedenle, itme yönüne olan herhangi bir bağımlılık, bir depreme maruz kalan köprünün tepkisinde ve potansiyel olarak ayakta kalabilmesi için çok önemli olabileceğini vurgulamışlardır. Deplasman katsayısı yönteminde köprünün boyuna değil, enine doğrultusundan elde edilen sonuçların daha makul sonuçlar verdiği vurgulanmıştır. Kontrol noktası olarak kütle merkezini seçilince birinci mod hakimiyetindeki yer değiştirmeyi daha iyi tahmin ettiklerini vurgulamışlardır.

Lagomarsino and Cattari (2015)'nin bu çalışmasında, yer değiştirme temelli bir yaklaşım benimsemiştir. Çünkü bu yapılar düşük yoğunluklu depremlerde bile çatlak ve yalnızca yeterli yer değiştirme kapasitelerine sahiplerse ciddi yapılara dayanabilirler. Güvenlik ve koruma gereksinimleri, insanların kullanımı ve güvenliği, binanın ve mevcut olabilecek sanatsal varlıkların korunması ile ilgili farklı performans seviyeleri göz önünde bulundurularak önerilmektedir. Yapının özelliklerine bağlı olarak farklı modelleme yaklaşımları ve analiz yöntemleri göz önünde bulundurulur; Hem statik itme analizleri hem de artımlı doğrusal dinamik olmayan analizler gerçekleştirilmiştir. İlgili doğrulama prosedürleri, sismik yoğunluk ölçüsünü ve yerine getirilmesi gereken her performans seviyesine uygun karşılık gelen geri dönüş süresini değerlendirmek için tanımlanmıştır. Yer değiştirme temelli bu yaklaşım normal ve stratejik yapılar için kabul edilmiştir.

Karaton vd (2017) çalışmasında, Malabadi Köprüsü'nün doğrusal olmayan sismik tepkileri incelemiştir. Köprünün malzeme özellikleri tahribatsız testler (Schmidt çekici, ultrasonik ve kütle kaybı testleri) ve tek eksenli basınç testleri kullanılarak tanımlanmaktadır. Sismik ivme verileri, köprünün bulunduğu bölgenin sismik özellikleri dikkate alınarak üç farklı seviye için (D1, D2 ve D3) üretilmiş olup analizler bu ivme verilerine göre gerçekleştirilmiştir. Bu deprem seviyeleri için köprünün doğrusal olmayan sismik analizleri yapılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Özmen ve Sayın (2018) çalışmalarında, 2003 Bingöl deprem ivme kayıtları kullanılarak Dutpınar adı verilen tarihi bir duvar kemer köprüsünün deprem davranışlarını analiz etmişlerdir. Köprü üç boyutlu sonlu elemanlar yazılımı ile modellenmiştir. Köprü'nün dinamik tepkisi incelenmiştir. Üç boyutlu sonlu elemanlar modeli ANSYS yazılımı ile oluşturulmuştur. Bu amaçla köprü'nün tepesinde bulunan düğüm noktasının yer değiştirmesi araştırılmıştır. Modelin tabanındaki tüm serbestlik dereceleri sabit olarak kabul edilir. Köprü'nün tepesinde bulunan nodal noktasının yer değiştirmesi, x, y ve z yönünde elde edilmiştir.



3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Genel Bilgiler

Deprem mühendisliği, yapılarda deprem kaynaklı hasarın azaltılması ve yaşam kaybının en aza indirilmesi ile ilgilenen bir inşaat mühendisliği sektörüdür. Son yıllarda bu sektör, bilgisayarların hızla gelişmesi, deney sistemlerinin artması ve yeni sismik tasarım yöntemlerinin geliştirilmesi gibi gelişim faaliyetleriyle önemli ölçüde ilerlemiştir. Bununla birlikte, esnek olmayan yer değiştirmelerin farklı yapısal performans seviyelerini daha fazla temsil ettiği düşünüldüğünden, geleneksel kuvvet temelli prosedürlerden yer değiştirme temelli prosedürlere (Antoniou 2002) geçiş ile tasarım ve değerlendirme prosedürlerinde bazı iyileşmeler sağlanmıştır. Kuvvet temelli prosedürler kullanılmaya devam etse de yer değiştirme temelli prosedürlerin kullanılması da yaygınlaşmıştır. Ancak bu noktada bir takım zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorluklar doğrusal olmayan davranışın dikkate alınmasını zorunlu kılan yer değiştirme temelli yöntemlerin, geleneksel olarak doğrusal davranışa koşullandırılmış biçimde gelişen mühendislik pratiğiyle ilişkilendirilmesinde ortaya çıkmaktadır (Aydınoglu 2003; Themelis 2008). Bu sorunu aşabilmek amacıyla ATC-40 (1996)'da kapasite spektrum yöntemi, FEMA-273 (1997) ve Aydınoglu (2003)'de ise yer değiştirme katsayıları yöntemi önerilmektedir. Her iki yöntemin ortak özelliği ise itme analizlerinde kapasite eğrilerine gerek duyulmasıdır.

Doktora tez çalışmasının bu bölümünde, sismik değerlendirme ve tasarımda performansa dayalı deprem mühendisliği ile hedefleri kısaca açıklanmaktadır. Sismik tasarım ve değerlendirme amaçları için önerilen prosedürler kısaca tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan statik itme analiz yönteminin teorik altyapısı daha sonra çeşitli itme analiz prosedürleriyle birlikte açıklanmaktadır.

Bu yöntemin en belirgin özelliği, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yapmak yerine, doğrusal olmayan davranış spektrumundan faydalanarak deprem isteminin

3. MATERYAL ve YÖNTEM

belirlenebilmesidir. Bu nedenle mühendislik uygulamalarında sıkça tercih edilen yöntemlerden biri haline gelmiştir. Bu yöntem basit ve düzenli köprüler için kullanılabilir (Aydınöğlu 2003).

3.2. Yöntem

3.2.1. Performansa Dayalı Deprem Mühendisliği

Yakın zamanda meydana gelen depremlerin sosyo-ekonomik açıdan yıkıcı etkiler meydana getirmesi, riskli deprem bölgelerinde mevcut yapıların deprem dayanımlarının belirlenmesi, zayıf olan yapıların ise güçlendirilmesi veya yıkılması gibi önlemlerin alınması gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu işlemlerin gerçeğe uygun ve pratik bir şekilde olması gerekmektedir. Doğrusal olmayan ve zaman tanım alanında uygulanan dinamik analiz yöntemleri, yapı sisteminin doğrusal olmayan davranışlarını gerçeğe yakın ve pratik bir şekilde yaptığı için bu yöntem tercih edilmektedir. Ancak yöntemin fazlaca deprem ivme kaydı gereksinimi ve doğrusal olmayan davranışın tanımlanması aşamasında karşılaşılan zorluklar, bu yöntemin pratik bir çözüm yolu olmaktan çıkmasına neden olmaktadır.

Mühendislik pratiğinde son yıllarda yapılan çalışmalar performansa dayalı değerlendirme yaklaşımla uyumlu olarak kullanılabilir, gerek doğrusal elastik gerekse de doğrusal elastik olmayan yöntemler üzerinde durulmuştur. Doğrusal elastik yöntemlerde yapısal kesit hasarları kuvvet cinsinden verilmektedir. Doğrusal elastik olmayan yöntemlerde ise bu hasar şekil değiştirme cinsinden verilmektedir. Gerçekleştirilen araştırmalar neticesinde meydana gelen yapı sistemlerindeki hasarların şekil ve yer değiştirmelere bağlı olduğu düşünüldüğünden çalışmalar kapsamında doğrusal olmayan analiz yöntemleri üzerine yoğunlaşmıştır. Bu yöntemlerin esas amacı daha pratik hesaplama yöntemleri kullanarak doğrusal olmayan zaman analizi yöntemlerinden elde edilen değerlere yakın değerler elde etmektir (Genç 2007).

3.2.1.1. Performansa dayalı yöntemler

Performansa bağlı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen yapı sistemlerinin tasarım ve değerlendirme aşamasında iki farklı parametre önemli hale gelmektedir. Bunlardan birincisi sismik kapasite olup, diğeri ise sismik taleptir. Sismik kapasite, binanın sismik etkilere karşı direnme yeteneğini temsil etmektedir. Sismik talep ise binadaki deprem etkilerinin bir tanımıdır. Performans, kapasitenin talepten daha fazla olacağı şekilde değerlendirilmektedir (ATC-40 1996). Kapasite ve talep miktarları ya elastik olmayan zaman-tanım analizleri ya da doğrusal olmayan statik itme analizleri yapılarak belirlenebilmektedir. Birincisi, bir yapının performansını değerlendirmek için en gerçekçi analitik yaklaşımdır, ancak genellikle güçlü zemin hareketlerinin karmaşık doğası nedeniyle çok karmaşık ve zaman alıcıdır. Bu karmaşıklık, doğrusal olmayan statik analiz yöntemlerinin gerekli değerlendirme ve tasarım araçları olarak uyarlanmasına yol açmıştır.

Tasarım ve değerlendirmeyi amaçlayan dört farklı analitik prosedür vardır. Bunlar artan karmaşıklık sırasına göre Doğrusal Statik Analiz Prosedür, Doğrusal Dinamik Analiz Prosedür, Doğrusal Olmayan Statik Analiz Prosedür ve Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz Prosedür olarak ifade edilmektedir (Themelis 2008).

3.2.1.1.1. Doğrusal statik analiz prosedürü

Doğrusal statik analiz prosedürü, güçlü yer hareketinden kaynaklanan yapının her bir elemanı üzerindeki kuvvet ve yer değiştirme taleplerini hesaplamak için yapay bir yanal statik yük modeli kullanmaktadır. Bu talepler yapısal elemanların kapasiteleriyle karşılaştırılmaktadır. Ancak bu analiz prosedürleri, yapının düzensiz olması, rijitlik, mukavemet, kütle dağılımı, vb. gibi unsurlar bakımından büyük süneklik talepleri olması veya yanal kuvvet direnme sisteminin ortogonal olmaması durumunda kullanılmamaktadır (Gupta 1998).

3.2.1.1.2. Doğrusal dinamik analiz prosedürü

Doğrusal dinamik analiz prosedürü kuvvet ve yer değiştirme taleplerini, modal analiz, tepki spektrumu analizi veya bir zaman-tanım analizi kullanarak hesaplanmasını içermektedir. Genellikle tepki spektrumu analizi, modal analiz ile karşılaştırıldığında tercih edilmektedir. Talepler, yer hareketinin tepki spektrumundan veya yer hareketinin tepki spektrumundan maksimum yer ivmesi elde edilerek doğrudan hesaplanmaktadır (Themelis 2008).

3.2.1.1.3. Doğrusal olmayan statik analiz prosedürü

Doğrusal olmayan statik analiz aslında İtme (pushover) analizi olarak ta ifade edilmektedir. Bu analiz prosedürleri yapıların sismik performansını değerlendirmek için kullanılan basit ama etkili yöntemlerden biridir. Bu yöntemin amacı, statik analiz yoluyla tasarım depremlerindeki kuvvet ve deformasyon taleplerini tahmin etmek ve bu talepleri mevcut kapasitelere göre karşılaştırıp yapısal sistemlerin beklenen performansını değerlendirerek yapı sisteminin performansını tahmin etmektir. Yapılarda, kalıcı düşey yükler altında kademeli olarak artan yanal yüklerin etkisi altında yapının karakteristiği ve davranış karakteristiklerini belirlemek için itme analizi kullanılmaktadır. Yanal yük artırılarak kademeli olarak uygulanmaktadır. Eşdeğer statik yanal yükler yaklaşık olarak deprem kuvvetini temsil etmektedir (Kesim 2005).

İtme analizi, sismik kuvvet ve deformasyon taleplerini tahmin etmek için yapısal davranış elastik aralığında direnemeyen iç kuvvetlerin yeniden dağılımı için yaklaşık bir hesaplama yöntemi olarak görülebilmektedir. Bu analiz, yapının elde edilen toplam kesme kuvveti ile tepe noktası yer değiştirme grafiğinden bir ön hasar durumunu göstermektedir. Bu analiz, yapının zayıflığının tanımlanmasını sağlamaktadır (Krawinkler and Seneviratna 1998). Uygun bir yanal yük dağılımı seçimi, itme analizinin önemli bir faktörüdür. Çünkü yükler, deprem sırasında yapıya etki eden atalet kuvvetlerini temsil etmelidir. Yapının kapasitesi, uygun bir kontrol noktasında yer değiştirmeye karşı taban kesme kuvvetinin eğrisi ile açıklanmaktadır. Bu nedenle, karmaşık bir yapısal davranış, tepki spektrumu açısından sismik talep ile doğrudan bir

3. MATERYAL ve YÖNTEM

karşılaştırmaya izin veren eşdeğer doğrusal olmayan tek serbestlik dereceli SDOF (single degree-of-freedom) sisteminin cevabına dönüştürülmektedir. Köprünün elastik olmayan itme analizleri, düşey yükler, yanal sismik yükler ve kemer köprüsünün desteğindeki hareketler durumunda yapının kapasitesini hesaplamak için yapılmıştır.

3.2.1.1.4. Doğrusal olmayan dinamik analiz prosedürü

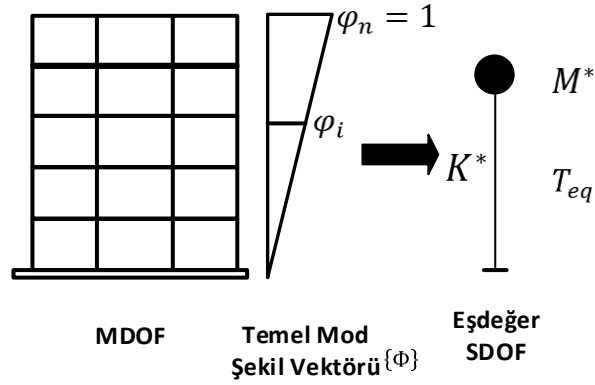
Doğrusal olmayan dinamik analiz prosedürü, en karmaşık analiz yöntemidir. Değerlendirme veya tasarım sorunlarına genellikle kesin çözümler sağlamak için tercih edilmektedir. Yöntemin doğruluğu, yapının teknik açıdan düzgün biçimde modellenmesine, yer hareketi özelliklerine ve analizlerde kullanılan doğrusal olmayan malzeme modellerine bağlıdır (Themelis 2008).

3.2.2. Statik İtme (Pushover) Analizi

Statik itme analizi temelde, yapının tepkisinin ilk titreşim modu, mod şekli veya ilk birkaç titreşim modu tarafından kontrol edildiği ve bu şeklin yapının elastik ve esnek olmayan tepkisi boyunca sabit kaldığı varsayımına dayanmaktadır. Bu, teorik olarak dinamik bir problemi statik bir probleme dönüştürmek için temel sağlamaktadır. Ayrıca bir çok serbestlik dereceli (MDOF multiple degree-of-freedom) sistem yapısının tepkisi, eşdeğer bir tek serbestlik dereceli (SDOF multiple degree-of-freedom) sisteminin, ESDOF'un cevabı ile ilgilidir. Bu kavram Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Elastik ya da elastik olmayan bir MDOF sisteminin deprem kaynaklı hareketi, onun yönetimsel diferansiyel denkleminde türetilebilmektedir:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + \{F\} = -[M]\{1\}\ddot{u}_g \quad (3.1)$$

Burada $[M]$ kütle matrisi, $[C]$ sönümlenme matrisidir, $\{F\}$ katlı kuvvet vektörüdür, $\{1\}$ birim yer değiştirilmenin statik olarak uygulanması, kütlelerin yer değiştirmelerini karakterize eden etki vektörüdür, \ddot{u}_g ise yer ivmesi kayıtlarıdır.



Şekil 3.1. MDOF'un SDOF sisteme dönüşümü için kavramsal diyagram

Tek bir şekil vektörü varsayılarak, zamanın bir fonksiyonu olmayan ve ilişkili bir yer değişim vektörünü tanımlarken $\{\Phi\}$, MDOF sistem $U = \{\Phi\}u_t$ olarak tanımlanmaktadır. Burada u_t çatı/tepe yer değişimini ifade etmektedir. MDOF sistemin diferansiyel gelişim denklemi ise denklem 3.2'de verilmektedir:

$$[M]\{\Phi\}\ddot{u}_t + [C]\{\Phi\}\dot{u}_t + \{F\} = -[M]\{1\}\ddot{u}_g \quad (3.2)$$

Eğer SDOF sistemin referans yer değişimi u^* aşağıdaki gibi tanımlanır;

$$u^* = \frac{\{\Phi\}^T [M] \{\Phi\}}{\{\Phi\}^T [M] \{1\}} u_t \quad (3.3)$$

$\{\Phi\}^T$, denklem (3.2) ile çarpılıp, denklem (3.3)'de u_t yerine koyulursa, ESDOF sistemin tepkisi aşağıda verilen diferansiyel denklem şeklinde olacaktır:

$$M^* \ddot{u}^* + C^* \dot{u}^* + F^* = -M^* \ddot{u}_g \quad (3.4)$$

Burada ise M^* , C^* ve F^* ifadeleri aşağıda verilen denklemlerdeki gibidir:

$$M^* = \{\Phi\}^T [M] \{1\} \quad (3.5)$$

$$C^* = \{\Phi\}^T [M] \{\Phi\} \frac{\{\Phi\}^T [M] \{1\}}{\{\Phi\}^T [M] \{\Phi\}} \quad (3.6)$$

$$F^* = \{\Phi\}^T \{F\} \quad (3.7)$$

ESDOF sisteminin kuvvet-deformasyon özelliklerini belirleyerek, MDOF yapısının doğrusal olmayan artımlı bir statik analizi gerçekleştirilebilir. MDOF yapı analizinin sonucu, bir taban kesme, V_b , çatı/tepe yer değiştirme, diyagram, genel kuvvet-yer değiştirme eğrisi veya yapının kapasite eğrisidir. Bu kapasite eğrisi, yapının tepkisi hakkında önemli bilgiler sağlamaktadır. Çünkü yapının elastik sınırı aşıldıktan sonra nasıl davranacağını tahmin etmektedir. Kapasite eğrisinin elastik sonrası evresiyle ilgili birtakım belirsizlikler vardır. Çünkü sonuçlar kullanılan malzeme modellerine (Lin and Pankaj 2004) ve modelleme varsayımlarına (Dieirlein and Hsieh 1990; Wight *et al.* 1997) bağlıdır.

Eğri, akma dayanımı V_y , etkili bir elastik rijitlik $K_e = V_y/u_y$ ve bir sertleşme/yumuşama rijitliği $K_s = aK_e$ olarak tanımlanmış olup, iki doğrusal şekilde belirlenmiştir. Belirlenen eğri, eşdeğer SDOF sistemin özelliklerini belirleyebilmek için denklem (3.3) ve (3.7) ile birlikte kullanılabilir. Bu durum Şekil 3.2-(b)'de sunulmaktadır. Bu nedenle eşdeğer SDOF sistemin başlangıç periyodu T_{eq} aşağıdaki gibi olacaktır:

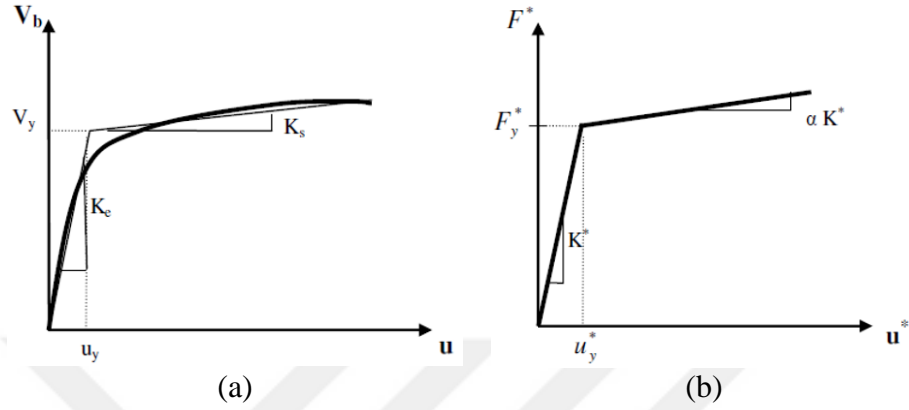
$$T_{eq} = 2\pi \sqrt{\frac{M^*}{K^*}} \quad (3.8)$$

Burada K^* eşdeğer SDOF sistemin elastik rijitliğini tanımlamaktadır ve bu durum aşağıda verilmektedir:

$$K^* = \frac{F_y^*}{u_y^*} \quad (3.9)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Gerilme-sertleşme oranı, a , ESDOF sisteminin taban kesme-çatı yer değişim ilişkisi MDOF yapısı için aynı alınmaktadır.



Şekil 3.2. (a) MDOF yapı için kapasite eğrisi (b) Eşdeğer SDOF sistem için iki doğrusal idealleştirme

Verilen bir yer hareketine konu olan SDOF sisteminin maksimum yer değişimi ya elastik, ya elastik olmayan spektrum ya da bir zaman-tanım analizinden elde edilebilmektedir. Daha sonra, MDOF sistemine karşılık gelen yer değiştirme olan denklem 3.3 aşağıdaki gibi yeniden düzenlenerek tahmin edilebilmektedir:

$$u_t = \frac{\{\Phi\}^T [M] \{1\}}{\{\Phi\}^T [M] \{\Phi\}} u^* \quad (3.10)$$

Eşdeğer SDOF sisteminin formülü, tasarım spektrumunun küçük periyot değişimleri için hassas olmadıkça sonuçların çok fazla değişmesine neden olmayacaktır (Krawinkler and Seneviratna 1998). Ayrıca, itme analizi yönteminde, MDOF sisteminin şeklinin, deformasyon seviyesine bakılmaksızın, tek ve sabit şekil vektörü $\{\Phi\}$ ile temsil edilebileceği düşüncesi de yaygındır (Krawinkler and Seneviratna 1998). Reinhorn (1997)'a göre Kapasite Eğrisi, aşağıdaki ilişkiye göre bir dizi doğrusal eğri ile yakınlştırılabilmektedir:

$$V(u) = V_y x \{u/u_y - (1 - a)(u/u_y - 1)U(u/u_y - 1)\} \quad (3.11)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Burada V_y ve u_y sırasıyla doğrusallık katsayısı ve yer değişimi iken, $a=K_s/K_e$ verim sonrası sertlik oranı ve $U(u/u_y - 1)$, $u/u_y < 1$ için 0'a veya $u/u_y > 1$ için 1'e eşit olan bir adım fonksiyonudur (Themelis 2008)F.

Basitleştirme denklemi 3.11'e göre kapasite eğrisi aşağıda verildiği gibi ifade edilmektedir. Reinhorn'un yaklaşımı gündelik tasarım amaçları için oldukça basit görünmektedir.

$$V(u) = \begin{cases} K_e u, u < u_y \\ V_y + aK_e(u - u_y), u > u_y \end{cases} \quad (3.12)$$

3.2.2.1. Yanal yük modelleri

Bir MDOF sistemiyle itme analizini gerçekleştirebilmek için, artan yanal kuvvet modellerinin sistemin kütle noktalarına uygulanması gerekmektedir. Yapılan bu işlemin amacı sistemin deprem etkisine maruz kaldığında üretilen tüm kuvvetleri sunmasıdır. Yanal yük modelinin artan bir şekilde uygulanmasıyla, yapısal elemanların davranışları izlenebilmektedir. Elastik olmayan aşama sırasında sistem bir rijitlik kaybı yaşayacaktır. Ayrıca titreşim periyodunda da değişim meydana gelecektir.

Bir statik analiz yük modelinin seçimi oldukça önemlidir. Çünkü seçilen yük modeli sonuçları önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Lawson *et al.* 1994; Naeim and Lobo 1998; Gupta and Kunnath 1999; Moghadam and Tso 2000; Mwafy and Elnashai 2000; Lew and Kunnath 2001; Inel *et al.* 2003).

Tek bir yük modelinin uygulanmasının, sistemin dinamik etkisi hakkında pek fazla fikir sahibi olunamayacağını bunun için en az iki yük modeli uygulanması gerektiği FEMA-356 (2000) ve EC-8 (2003)'de belirtilmiştir. İtme analizlerinde genellikle aşağıdaki yük modelleri kullanılmaktadır:

3. MATERYAL ve YÖNTEM

1. Temel mod veya diğer mod şekillerine bağlı mod şekil dağılımı:

$$F_i = W_i \phi_{ij} \quad (3.13)$$

Burada W_i , “i” katının ağırlığı iken, ϕ_{ij} , j modu için “i” katına karşılık gelen mod şekil vektörünün i’inci elemanıdır.

2. Ters üçgen dağılımı:

$$F_i = \frac{W_i h_i}{\sum_{l=1}^n W_l h_l} \times V_b \quad (3.14)$$

Burada h_i , “i” katının yüksekliği, n katların toplam sayısı ve V_b aşağıdaki denklem tarafından verilen taban kesmesidir:

$$V_b = S_d(T_n)W \quad (3.15)$$

Burada $S_d(T_n)$ temel periyot T_n ’de tasarım spektrumunun ivme ordinatı ve W , yapının toplam ağırlığıdır.

3. FEMA yük dağılımı:

$$F_i = \frac{W_i h_i^k}{\sum_{l=1}^n W_l h_l^k} \times V_b \quad (3.16)$$

Burada k , yapının temel periyodu T_n ’ye bağlı olarak varsayılan bir kat sayıdır. Bu değer, periyodu 0,5’den daha kısa olan yapılar için 1.0’a ve $T > 2,5$ saniye için 2,0’a ayarlanabilmektedir. 1 ve 2 arasında doğrusal bir değişken iki uç değer arasında basit bir geçiş elde etmek için kullanılabilir (FEMA-356 2000).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

4. Aynı yük dağılımı:

$$F_i = W_i \quad (3.17)$$

5. Kunnath'ın yük dağılımı (Kunnath 2004):

$$F_i = \sum_{j=1}^n a_{mr} \Gamma_j M_i \varphi_{ij} S_a(\zeta_j, T_j) \quad (3.18)$$

Burada a_{mr} , her bir modun göreceli etkilerini kontrol edebilen, pozitif veya negatif değerler alabilen bir değişkenlik faktörüdür. Γ_j , j modu için katılım faktörüdür. M_i , i 'inci katın kütlesi olup, φ_{ij} , j modu için i 'inci katın mod şeklidir. $S_a(\zeta_j, T_j)$, j modu için T periyodu ve C sönümlenme oranına karşılık gelen frekansta verilen bir deprem yükü için spektrum ivmesidir.

6. İki fazlı yük modeli (Jingjiang *et al.* 2003):

Öncelikle, ters üçgen yük dağılımı, performans seviyesine kadar uygulanır ve taban kesitinin maksimum değeri elde edilir. Bu işlemin ardından, ikinci bir itme analizi, taban kesiti $(x/H)n$ olarak tanımlanan üstel bir formdaki model tarafından maksimum miktar, (B) parçasına ulaşıncaya kadar ters üçgen modeli kullanılarak gerçekleştirilir. Burada x , yerden zemine olan mesafe, H binanın yüksekliği ve n binaların farklı türleri için bir özellik parametresidir. N parametresinin tahmini üzerine net bir ifade sağlanamamıştır.

7. Adaptif kuvvet modeli:

Çalışan sistemin anlık dinamik özelliklerine göre güncellenmektedir. Örnek olarak Bracci *et al.* (1997) bir başlangıç yük modeli (Fi) varsaymış olup, aşağıdaki denkleme göre artan yükleri hesaplamıştır:

$$\Delta F_i^{k+1} = V_b^k \left(\frac{F_i^k}{V_b^k} - \frac{F_i^{k-1}}{V_b^{k-1}} \right) + \Delta V_b^{k+1} \left(\frac{F_i^k}{V_b^k} \right) \quad (3.19)$$

Burada i kat numarası, k artış miktarı, V_b taban kesiti, ΔV_b artırımlı taban kesitidir (Themelis 2008).

3.2.3. Statik İtme Analizi Yöntemleri

Yaygın olarak kullanılan statik itme analizi yöntemleri, üç gruba ayrılır. Bu yöntemler geleneksel itme analizi yöntemleri, adaptif itme analizi yöntemleri ve enerji tabanlı itme analizi yöntemleridir.

3.2.3.1. Geleneksel itme analizi yöntemleri

Geleneksel itme analizi yöntemleri şunlardır:

- Kapasite Spektrumu Yöntemi
- Modal İtme Analizi Yöntemi
- N2 Yöntemi
- Geliştirilmiş Kapasite Spektrumu Yöntemi
- Yer değiştirme Katsayısı Yöntemi

3.2.3.1.1. Kapasite spektrumu yöntemi

Freeman *et al.* (1975), günümüzün “Kapasite spektrumu” yönteminin öncüsü olarak düşünülebilecek hızlı bir değerlendirme yöntemi geliştirmiştir. Saiedi and Sozen (1981), eşdeğer bir SDOF sistemi üzerinde doğrusal olmayan dinamik analizler yapmayı önermiştir. Bu düşünceye dayanarak, Fajfar and Fischinger (1987); Fajfar and Fischinger (1989) N2 yönteminin ilk versiyonunu geliştirmişlerdir (‘N’ doğrusal olmayan terimini ve ‘2’ matematiksel modeli simgelemektedir. Bunlardan biri SDOF diğeri ise MDOF

3. MATERYAL ve YÖNTEM

modelidir). Bu yaklaşımların örnekleri kapasite spektrumu metodudur. ATC-40 (1996)'da ve FEMA-273 (1997)'de uygulanan ve FEMA-356 (2000)'da geliştirilen doğrusal olmayan statik prosedürdür. Bir grafik prosedürü ile uygulanan kapasite spektrumu yöntemi, bir yapının kapasitesini deprem yer hareketi talepleriyle karşılaştırır. Grafikselsunum, yapının deprem yer hareketlerine maruz kaldığında nasıl performans göstereceğinin görsel bir değerlendirmesini mümkün kılar. Yapının kapasitesi, doğrusal olmayan statik (pushover) analizle elde edilen bir kuvvet-yer değiştirme eğrisi ile temsil edilir. Bu yöntemde, öncelikle çerçevedeki yanal yükler için bir dağılım varsayılır ve monoton olarak arttırılır. Bundan dolayı yapı rijitliğinde bir kayıp yaşanır. Taban kesme kuvvetleri ve çatı yer değiştirmeleri, sırasıyla eşdeğer bir tek serbestlik derecesi (SDOF) sisteminin spektral ivme ve spektral yer değiştirmesine dönüştürülür. Bu spektral değerler, kapasite spektrumunu tanımlar. Elastik olmayan tasarım spektrumlarından elastik olmayan talep spektrumları belirlenir ve ivme-yer değiştirme tepki spektrumları (ADRS) formatına dönüştürülür. Bu, talep spektrumudur ve kapasite spektrumu ile talep spektrumunun kesişimi, elastik olmayan ivme (kuvvet) ve yer değiştirme talebi hakkında bir tahmin imkanı sağlar (Prasad *et al.* 2004).

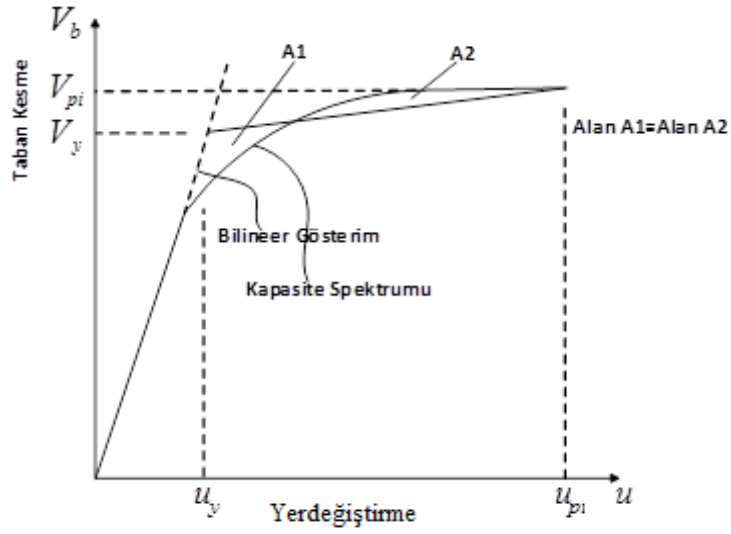
1. MDOF modelinin doğrusal olmayan statik ivme analizi

Yapıya uygulanacak olan yatay yüklemenin düşey dağılımı, titreşim moduna bağlı olarak kabul edilir.

Daha sonra bir Taban Kesme-Çatı Yer Değiştirme Eğrisi, Kapasite Eğrisi vermek için doğrusal olmayan bir statik analiz gerçekleştirilir.

2. Elastik olmayan eşdeğer SDOF sisteminin tanımı

Kapasite eğrisi, daha sonra, yapısal sistemin genel bir akma noktası (V_y, u_y) ve nihai yer değiştirme (V_{pi}, u_{pi}) seçimi ile bir iki doğrulu ilişki tahmini yapılır. Akma noktası (V_y, u_y), her bir eğri ile ilişkili eşit enerji oluşumunun sağlanması için Şekil 3.3'de A_1 ve A_2 bölgelerinin yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu varsayımı yapılmıştır.



Şekil 3.3. Kapasite eğrisinin iki doğrusu yaklaşımı

3. Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi

Kapasite eğrisi aşağıda verilen denklemler ile kapasite spektrumuna dönüştürülür.

$$S_a = \frac{V_b}{\alpha_m \cdot M} \quad (3.20)$$

$$S_d = \frac{u}{PF_1 \phi_{ij}} \quad (3.21)$$

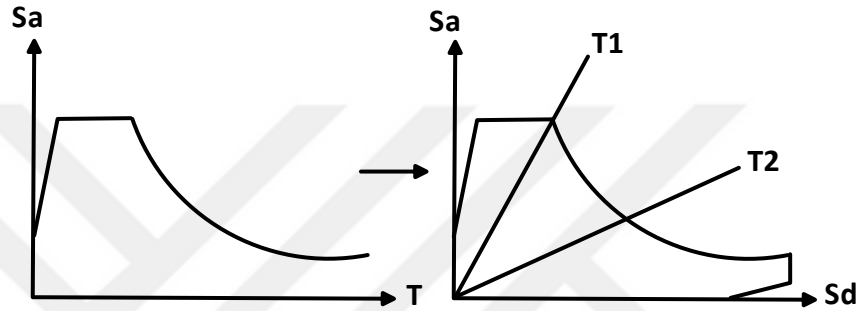
M 'nin binanın toplam kütlesi olduğu durumda, ϕ_{ij} , j modu için “ i ” inci kat seviyesinde olan modal büyüklüktür, PF_1 bir katılım faktörüdür ve α_m modal kütle katsayısıdır:

$$PF_1 = \frac{\{\Phi\}^T [M] \{1\}}{\{\Phi\}^T [M] \{\Phi\}} \quad (3.22)$$

$$\alpha_m = \frac{[\sum_{j=1}^n m_i \phi_{ij}]^2}{\sum_{i=1}^n m_i \sum_{j=1}^n m_i \phi_{ij}^2} \quad (3.23)$$

4. Elastik tepki spektrumu ve ivme-yer değiştirme spektrumu

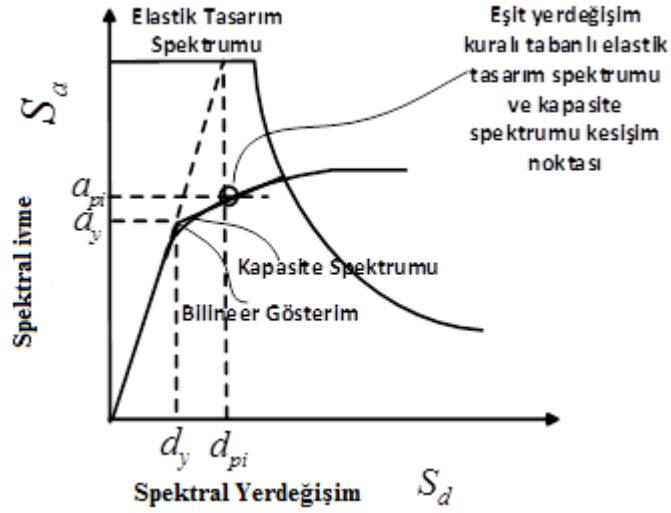
Kapasite eğrisinin kapasite spektrumuna dönüştürülmesi, elastik tepki veya tasarım spektrumunun ivme-zaman formatı yerine, Şekil 3.4'de ivme-yer değiştirme formatı olarak çizilmesini gerektirmektedir. İvme-yer değiştirme tepki spektrumları da talep spektrumu olarak belirtilmektedir. Mahaney *et al.* (1993) tarafından kapasite spektrum yönteminin ilk gelişimi sağlanmıştır.



Şekil 3.4. Elastik spektrumun ivme-yer değiştirme tepki spektrumuna dönüştürülmesi

5. Elastik sönümlü talep spektrumunda kapasite spektrumunun birleştirilmesi

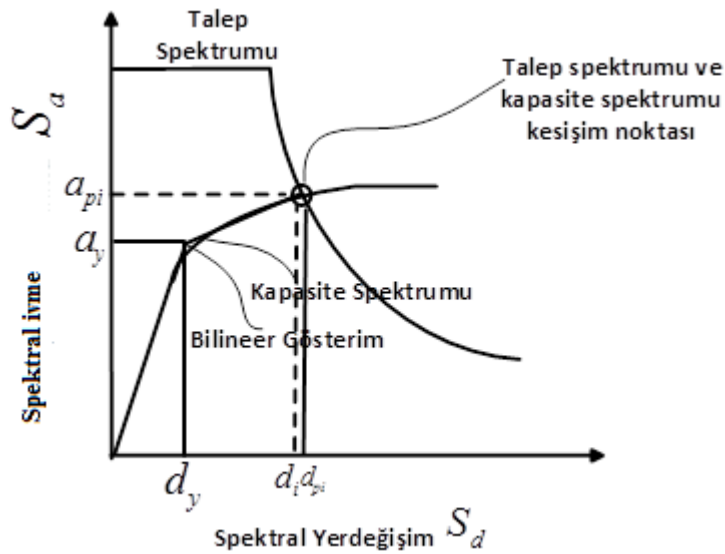
Kapasite spektrumu ve %5 sönümlü elastik talep spektrumu, ADRS formatında birlikte çizildiğinde, eşit yer değiştirme kuralı kullanılarak performans noktasının başlangıç tahmini, kapasite spektrumu ve %5 sönümlü elastik talep spektrumunun doğrusal bölümün kesişinceye kadar uzatılmasıyla elde edilmektedir. Ayrıca, performans noktasının, kapasite spektrumunun son noktası olduğu varsayılabilmekte veya ATC-40'ın önerdiği gibi, mühendislik kurallarına uygun olarak seçilen başka bir nokta da olabilmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Eşit yer değışim kuralını kullanan performans noktasının başlangıç tahmini

6. Eşdeğer SDOF (tek serbestlik dereceli sistem) sisteminin performans noktası

Yeni talep spektrumu, kapasite spektrumu performans noktasının tahminine yeterince yaklaşıncaya kadar veya kesişinceye kadar kontrol edilmelidir (Şekil 3.6). Talep spektrumu kapasite spektrumunu kabul edilebilir bir toleransla keserse, tahmin kabul edilebilir olacaktır. Aksi takdirde, performans noktası yeniden tahmin edilir ve ADRS spektrumu prosedürü, kapasite spektrumunun üst üste bindirilmesi adımından tekrarlanır.



Şekil 3.6. CSM yöntemini kullanan hedef yer değışiminin tahmini

6. MDOF(Çok serbestlik dereceli sistem) sisteminin performans noktası

Performans noktası hesaplandığında, MDOF sisteminin hedef yer değiştirmesine dönüştürülür.

$$u_t = PF_1 \Phi_{ij} S_d \quad (3.24)$$

Burada PF_1 3.22 denkleminde tanımlanan katılım faktörü ve S_d ise 3.21'inci denkleminde tanımlanan eşdeğer SDOF sisteminin spektral yer değişimidir.

3.2.3.1.2. Modal itme analizi yöntemi

Modal itme analizi yöntemini, akma sırasında oluşan atalet kuvvetlerinin yeniden dağılımını ve yüksek modların yapısal tepki üzerindeki etkilerini açıklamak için Chopra and Goel (2001); Chopra and Goel (2002) geliştirmiştir. Prosedür, kavramsal olarak basittir ve değişmez yanal yük modelleri ile itme analizinde uygulanması kolaydır.

- Yapının doğrusal elastik titreşim için doğal frekansların (ω_n) ve modların (Φ_n) belirlenmesi.
- n . mod için tüm yapıya uygulanan yanal yük modelinin modal kapasite eğrisinin(taban kesmeye karşın tepe yer değiştirmesi) geliştirilmesi.

$$s_n^* = m \Phi_n \quad (3.25)$$

Buradaki m kütle matrisidir.

- Prosedürlere göre yapılan modal kapasite eğrisinden tek serbestlik dereceli sisteminin elastik olmayan n . modunun kuvvet yer değiştirme ilişkisinin elde edilmesi.
- n . modu elastik olmayan tek serbestlik dereceli sistemin tepe yer değişimini (D_n) elde etmek için n . modu esnek olmayan tek serbestlik dereceli sistemin kuvvet-yer

3. MATERYAL ve YÖNTEM

değiştirme ilişkisini kullanarak, uyarıcı bir yer hareketiyle doğrusal olmayan bir dinamik analiz gerçekleştirilmesi.

- n . modu elastik olmayan tek serbestlik dereceli sisteminden ilişki kurularak tepe yer değişiminin hesaplanması.

$$u_{mo} = \Gamma_n \phi_m D_n \quad (3.26)$$

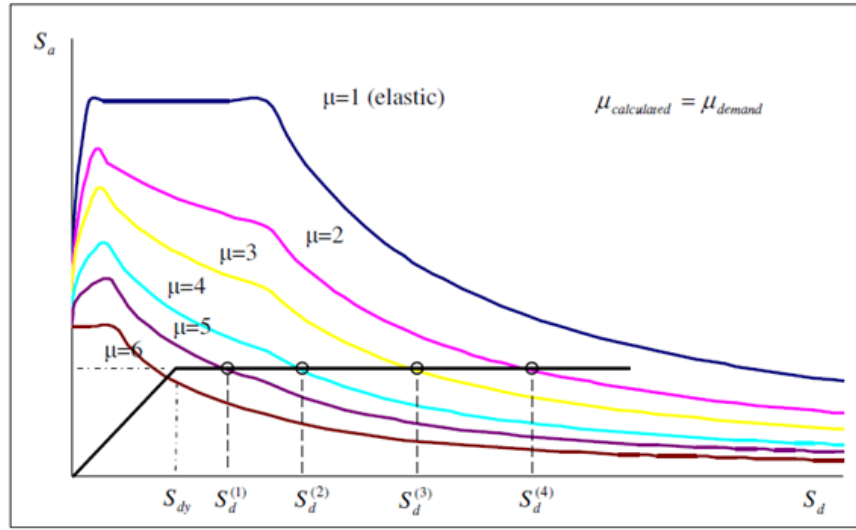
- Çatı yerdeğişiminde itme analizi sonuçlarından herhangi bir tepkinin çıkarılması.
- Gerekli yakınsama sağlanıncaya kadar iki ve altıncı adımın tekrarlanması.
- Üst modal tepkiler birleştirilerek toplam tepkinin üst değerinin belirlenmesi (Oğuz 2005).

3.2.3.1.3. N2 yöntemi

N2 yöntemi sismik tepkinin ilk titreşim şeklinin katkısıyla baskın olduğu sistemler için kullanılabilir ve yeterli doğrulukta sonuçlar elde edilmesini sağlar. Başlangıçta N2 yöntemi düzenli sistemler için sunulmuştur (Fajfar and Fischinger 1987; Fajfar and Fischinger 1989). Bu yöntemin temel önerileri, iki farklı matematiksel modelin kullanılması ve analizde üç ana adımın uygulanmasıdır. İlk adımda rijitlik, kuvvetler ve süneklik belirlenir. Bunun için, sabit olarak artan bir yük dağılımı uygulamasının etkisiyle sistemin MDOF ile doğrusal olmayan statik analizi uygulanır. İkinci adımda, tek serbestlik derecesine sahip eşdeğer sistem tanımlanır. Eşdeğer sistemin doğrusal olmayan karakteristikleri, ilk adımda doğrusal olmayan statik analiz ile belirlenen çatı yer değişimine ve taban kesme kuvvetine dayanmaktadır. Tek serbestlik derecesine sahip eşdeğer sistemin doğrusal olmayan dinamik analizinden elde edilen N2 yönteminin üçüncü adımında ise maksimum yer değiştirme belirlenmektedir. Üçüncü aşama, basit bir formda elastik olmayan spektrumlar kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir (Dautaj *et al.* 2015).

3.2.3.1.4. Geliştirilmiş kapasite spektrumu yöntemi

ICSM yöntemi Chopra and Goel (2000) tarafından elastik sönümlü spektrumlar yerine kapasite spektrum metodu yönteminde sabit süneklikli elastik olmayan tasarım spektrumlarını tanımlamak amacıyla yapılmıştır. Bu amaç doğrultusunda, incelenen sistemin kapasite spektrumu elastik olmayan spektruma bindirildiğinde, çeşitli süneklik (μ) değerlerinde kesişecektir. Bu durum Şekil 3.7’de verilmektedir.



Şekil 3.7. ICSM yönteminin uygulanması

Kesişim noktalarından biri deformasyon talebini sağlayacaktır. Buradaki kriter, kapasite diyagramından elde edilen süneklik katsayısının kesişen talep eğrisi ile ilişkili süneklik değeriyle eşleşmesidir (Themelis 2008).

3.2.3.1.5. Yer değiştirme katsayısı yöntemi

Belirlenen bir yer değiştirmeyi hesaplayabilmek amacıyla kapasite eğrisinin iki doğrusal temsili ve bir dizi değişkenlik faktörü veya katsayıları kullanarak, yapı üzerindeki yer değiştirme talebini tahmin etmek için sayısal bir çözüm sağlayan doğrusal olmayan statik analiz yöntemidir. Kapasite eğrisi üzerinde belirlenen yer değiştirme noktası, kapasite spektrumu yöntemindeki performans noktasının eşdeğeridir (ATC-40 1996).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu yöntemin uygulanmasında birkaç hesap işleminin yapılması gerekmektedir. Bunlardan ilki değişkenlik faktör değerlerinin bilinmesidir. İkinci olarak temel periyot etkilerinin hesaplanması gerekmektedir (T_e).

$$T_e = T_i \sqrt{\frac{K_i}{K_e}} \quad (3.27)$$

Üçüncü yapılması gereken adım ise belirlenen yer değişiminin hesaplanmasıdır.

$$u_t = C_0 C_1 C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} \quad (3.28)$$

$$= T_e \geq T_0 \text{ için } 1.0$$

$$= T_e < T_0 \text{ için } [1.0 + (R - 1)T_0/T_e]/R \quad (3.29)$$

$$T_e < 0.1 \text{ için } C_1 \text{ 2.0' ı aşmaz}$$

Aşağıdaki denklemde verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$R = \frac{S_a/g}{V_y/W} \cdot \frac{1}{C_0} \quad (3.30)$$

(ATC-40 1996).

3.2.4. Enerji Tabanlı İtme Analizi Yöntemleri

MDOF modelinin belirli bir nokta varsayımı yapılacak olursa, enerji yaklaşımı yöntemi hem MDOF hem de SDOF modellerin enerji deformasyonlarını eşitleyen sanal bir " F_i " yer değişimini tanımlayacaktır.

İtme analizinin her " k " adımında MDOF modelinin i 'inci katlarına uygulanan yatay kuvvetler, belirlenen kuvvet dağılımının şekli ile orantılı olacak şekilde " δ " artışlarla büyümektedir. Kat kuvvetleri $(F_i)k$ 'den $(F_i)k + (\Delta F_i)k$ 'ye büyüdüğünde, yer

3. MATERYAL ve YÖNTEM

değişiklikler $(d_i)_k$ 'den $(d_i)_k + (\Delta d_i)_k$ 'ye büyür. $(\Delta d_i)_k$, gerçekleştirilen bir statik analiz yoluyla hesaplanan "k" elastik adımı tarafından (veya plastik deformasyon meydana geldiğinde oluşan elastik olmayan adım tarafından) MDOF modeline uygulanan artırımsal yer değişimleridir.

Enerji eşdeğeri SDOF modelinin davranışını tanımlamak için güç $(F^*)_k = \sum_i (F_i)_k$ ve kütle $m^* = \sum_i (m_i)$ enerji tabanlı itme analizinde kabul edilmiştir. Her bir doğrusal k adımında MDOF modelininkine eşdeğer enerji veren sanal yer değiştirme (d) daha sonra aşağıdaki artımlı korelasyon ile tanımlanır (Şekil 3.8'de sadeleştirilmiştir).

$$\left(F^* + \frac{1}{2}\Delta F^*\right)_k (\Delta\delta^*)_k = \sum_i \left[\left(F_i + \frac{1}{2}(\Delta F_i)\right)_k (\Delta d_i)_k\right] \quad (3.31)$$

$(\Delta d_i)_k$ artan deplasmanları "k" adımında $(F_i)_k$ kuvveti tarafından üretildiği için, $(\Delta d^*)_k$ artışı olarak hesaplanabilir ve k adımında ulaşılan toplam d^* eşdeğer deplasman tüm bu artan değerleri ekleyerek elde edilir:

$$(\Delta\delta^*)_k = \frac{\sum_i \left[\left(F_i + \frac{1}{2}(\Delta F_i)\right)_k (\Delta d_i)_k\right]}{\left(F^* + \frac{1}{2}\Delta F^*\right)_k} \quad (3.32)$$

$$(\delta^*)_k = \sum_k (\Delta\delta^*)_k \quad (3.33)$$

EA'da, enerji eşdeğeri SDOF modelinin (yani performans eğrisinin) davranışı, daha sonra F^* kuvvet ve δ^* deplasmanı tarafından tanımlanır:

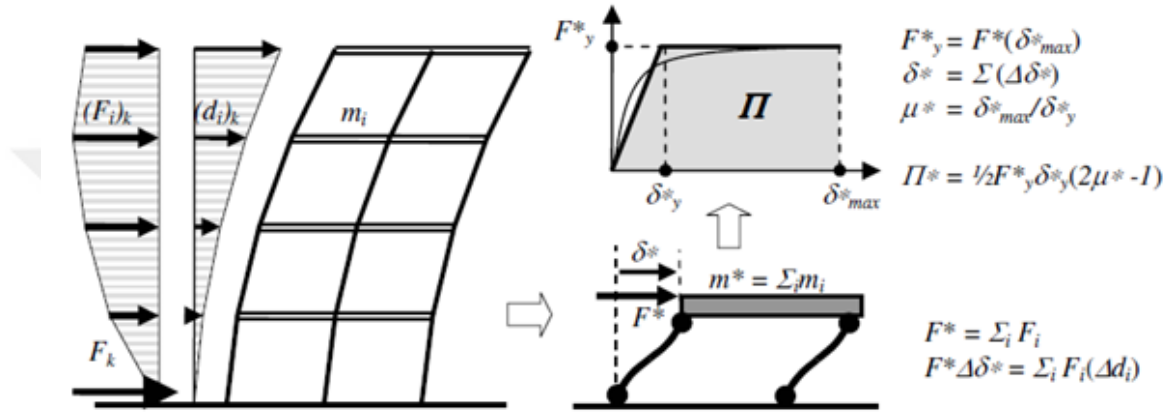
$$F^* = F^*(\delta^*) \quad (3.34)$$

D^* deplasmanı, MDOF modelinin belirli bir noktasına karşılık gelmez, ancak toplam kesme kuvveti $F^* = S(F_i)$ SDOF modeline uyarlandığında, modellerin enerji kapasitelerini eşitleyen sanal değerdir. Enerji tabanlı itme analizi prosedürü

3. MATERYAL ve YÖNTEM

uygulandığında, $F^*(\delta^*)$ performans eğrisinin $P(\delta^*)$ alanı, MDOF modelinin tam olarak deformasyon enerjisini yeniden üretecektir.

Son olarak, spesifik tepki kuvvetinin $f^* = F^* / m^*$ katılmasıyla, spesifik performans eğrisi $f^*(\delta^*)$, kararlı ivmelenme talebi (Şekil 3.8) ve genel spektrum ile doğrudan karşılaştırılarak ADRS formatında çizilebilir ve değişkenlik yöntemleri uygulanabilir.



Şekil 3.8. Bir itme analizinde enerji tabanlı itme analizinde basitleştirilmiş şeması

Performans eğrileri $F^*(\delta^*)$ veya $f^*(\delta^*)$, genellikle tek tip bir plastik eşiğe sahip olan bi-doğrusal elasto-plastik eğrilerinde dönüştürülür. Bu durumda, δ^*_y elastik limiti genel olarak eğrilerin aynı alanını koruyarak tanımlanır.

$$\Pi^* = 1/2 f^*(2\delta^* - \delta^*_y) \quad (3.35)$$

Deformasyon enerjisi ile süneklik oranı arasında $\mu = \delta^*/\delta^*_y$ gerçek bir önemi varsayar (Parducci *et al.* 2006).

3.2.5. Adaptif İtme Analizi Yöntemleri

Adaptif itme analizi, yapının deformasyonu ve tanımlanan yer hareketinin frekans içeriğinin yapının dinamik davranış özelliklerine olan etkilerini tamamıyla dikkate alarak, yapının yatay kapasitelerini tahmin etmekte kullanılır. Hem binaların hem köprülerin

3. MATERYAL ve YÖNTEM

değerlendirilmesinde kullanılabilir. Adaptif itme analizi yöntemlerinde, modal kuvvet vektörü daha kesin sonuçlar elde edebilmek için her yükleme adımında yenilenerek uygulanır. Sistemde oluşan doğrusal olmayan deformasyonların hesaba katılımının sağlanabilmesi için yapının öz değer analizinin her yük artımında yapılması gereklidir. (Gupta ve Kunnath 2000; Aydınoglu 2003; Antoniou and Pinho 2004; Alıcı vd 2015). Adaptif itme analizi yöntemi bütünüyle çok modludur. Yöntem, yapının yumuşaması, periyodun uzaması, spektral amplifikasyona bağlı olarak atalet kuvvetlerinin değişmesi (sahaya uygun spektrum uygulanmasıyla) gibi etmenleri içermektedir (SeismoSoft User Manual 2014; Karaşın ve Işık 2017).

Doğrusal olmayan statik analize başlamadan önce, tüm kat seviyelerine karşılık gelen katlı kuvvetler ve ilgili mod sayısı, n , aşağıdaki ifade kullanılarak hesaplanır.

$$F_{ij} = \Gamma_j \phi_{ij} W_i S_a(j) \quad (3.36)$$

Modal katılım faktörleri ise aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenir.

$$\Gamma_j = \frac{1}{g} \sum_{i=1}^{i=N} W_i \phi_{ij} \quad (3.37)$$

Burada g yerçekimine bağlı ivmeyi, N ise kat sayısını temsil etmektedir. Daha sonra, yapı taban kesmesi için kareler toplamının karekökü kuralı kullanılarak modal taban kesmeleri, V_j , hesaplanmalı ve birleştirilmelidir.

$$V_j = \sum_{i=1}^{i=N} F_{ij} \quad (3.38)$$

$$V = \sqrt{\sum_{j=1}^n V_j^2} \quad (3.39)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Daha sonra kat kuvvetleri aşağıdaki denklem ile bir ölçekleme faktörü S_n kullanılarak eşit olarak ölçeklendirilir.

$$\bar{V}_j = S_n V_j \quad (3.40)$$

$$S_n = \frac{V_B}{N_s V} \quad (3.41)$$

Burada V_B yapının tahmin edilen taban kesmesi, N ise taban kesme uygulamasında kullanılacak tek tip adım sayısıdır. Yapının doğrusal olmayan statik analizi daha sonra her bir modda bağımsız olarak karşılık gelen kat kuvvetleri için gerçekleştirilir (Themelis 2008). Adaptif itme analizi yaklaşımında, yatay yük dağılımı sabit tutulmak yerine, analiz boyunca her adımda gerçekleştirilen öz değer (eigen value) analizlerinden elde edilen mod şekilleri ve katılım faktörlerine göre güncellenmektedir.

Tez süresince yapılan çalışmalarda yapı performansı hesaplanırken statik itme analizi ile dinamik zaman tanım analiz metodu kullanılmıştır.

3.2.6. FEMA440'a Göre Performans Noktasının Belirlenmesi

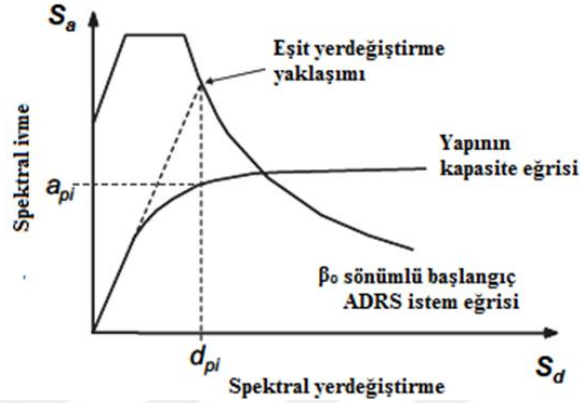
Deprem isteminin fonksiyonları efektif periyot T_{eff} ve efektif sönüm β_{eff} 'dir. Eşdeğer doğrusallaştırma ile belirlenen performans noktası, grafik yöntemleri ya da ardışık yaklaşım yöntemleri kullanılarak belirlenebilir. Performans noktasının belirlenmesinde izlenen başlıca adımlar kısaca maddeler halinde sıralanmıştır;

- 1- İstenen zemin hareketine ait spektral eğrinin oluşturulması. Bu aşamada $\beta_i = \%5$ sönüm oranı kullanılabilir. Bu amaçla ATC-40 veya FEMA356'dan alınmış bir tasarım spektrumu ya da belirli bir bölge için oluşturulmuş bir ivme spektrumu kullanılabilir. Tez çalışmasında $\beta_i = \%3$ sönüm oranı kullanılmıştır.
- 2- Zemin yapı etkileşimini dikkate almak üzere, FEMA440 Bölüm 9'da verilen prosedüre uygun olarak spektral eğri revize edilebilir. Bu işlem spektral eğri ordinatlarının küçültülmesi ve temelde meydana gelen sönümü dikkate almak üzere sönüm katsayısının β_i 'den β_o 'a dönüştürülmesini kapsamaktadır. Eğer temelde oluşacak

3. MATERYAL ve YÖNTEM

sönüm dikkate alınmayacak ise $\beta_o = \beta_i$ alınır. Tez çalışmasında zemin yapı etkileşimi dikkate alınmamış olup $\beta_o = \beta_i$ olarak kabul edilerek $\beta_o = \%3$ alınmıştır.

3- ATC 40'ta tanımlanan yöntem ile ivme spektrumu spektral ivme-spektral yer değiştirme formatına (ADRS) dönüştürülür (Şekil 3.9).

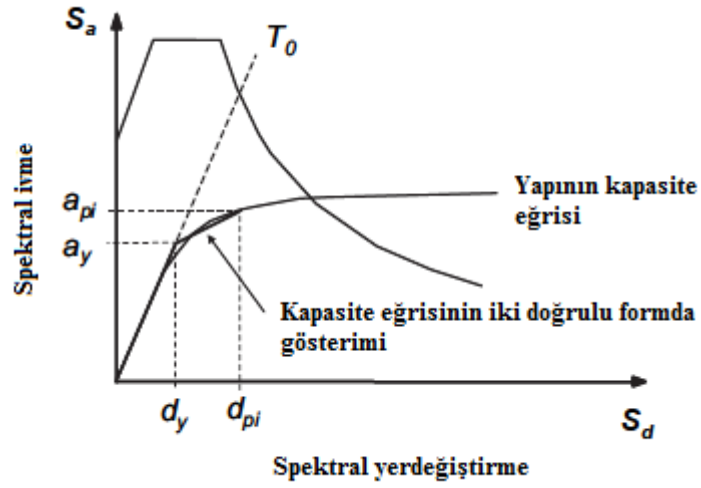


Şekil 3.9. ADRS eğrisinin oluşturulması ve kapasite eğrisi

4- İncelenen yapı sistemi için kapasite eğrisi elde edilir. Kapasite eğrisi elde edilirken yatay yönde kuvvet uygulanarak gerçekleştirilen itme analizlerinde, $(L+2t)$ açıklığı boyunca yükleme yapılarak elde edilen yatay itme analiz sonuçları kullanılmıştır. Bu, yapının tek serbestlik dereceli modeli için (SDOF) spektral ivme ile spektral yer değiştirme arasında oluşturulan bir ilişkidir. FEMA356'da tanımlanan yöntem binaya ait taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. Taban kesme kuvveti-tepe yer değiştirmesi ilişkisi spektral ivme-spektral yer değiştirme formatına dönüştürülür.

5- Bir başlangıç performans noktası (en büyük a_{pi} ve en büyük d_{pi}) seçilir.

6- ATC 40'da tanımlanan yola uygun olarak kapasite eğrisi iki doğrulu formata dönüştürülür. Bu dönüşümde başlangıç periyodu T_0 , akma yer değiştirmesi d_y ve akma ivmesi a_y belirlenir. Bu parametreler a_{pi} ve d_{pi} için farklı varsayımlar dikkate alındığında değişiklik göstermektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Kapasite eğrisinin iki doğru parçalı hale getirilmesi

7- Altıncı maddede yapılan iki doğrusal dönüşüm sonrasında akma sonrası rijitlik ve süneklik oranı hesaplanır.

$$\alpha = \frac{\left(\frac{a_{pi}-a_y}{d_{pi}-d_y}\right)}{\left(\frac{a_y}{d_y}\right)} \quad (3.42)$$

$$\mu = \left(\frac{d_{pi}}{d_y}\right) \quad (3.43)$$

Hesaplanan α ve μ değerleri kullanılarak, efektif periyot T_{eff} ve efektif sönüm β_{eff} hesaplanır.

$\mu < 4,0$ için;

$$T_{eff} = (0,2 (\mu - 1)^2 - 0,038(\mu - 1)^3 + 1)T_0 \quad (3.44)$$

$$\beta_{eff} = A (\mu - 1)^2 - B (\mu - 1)^3 + \beta_0 \quad (3.45)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

$4,0 \leq \mu \leq 6,5$ için;

$$T_{\text{eff}} = (0,28 + 0,13(\mu - 1) + 1)T_0 \quad (3.46)$$

$$\beta_{\text{eff}} = C + D(\mu - 1) + \beta_0 \quad (3.47)$$

$\mu > 6,5$ için;

$$T_{\text{eff}} = (0,89 \left[\frac{(\mu-1)}{1+0,005(\mu-2)} - 1 \right] T_0 \quad (3.48)$$

$$\beta_{\text{eff}} = E \left[\frac{(F(\mu-1)-1)}{(F(\mu-1)^2)} \right] \left(\frac{T_{\text{eff}}}{T_0} \right)^2 + \beta_0 \quad (3.49)$$

Çizelge. 3.1. Efektif sönüm denklemlerinde kullanılacak katsayılar

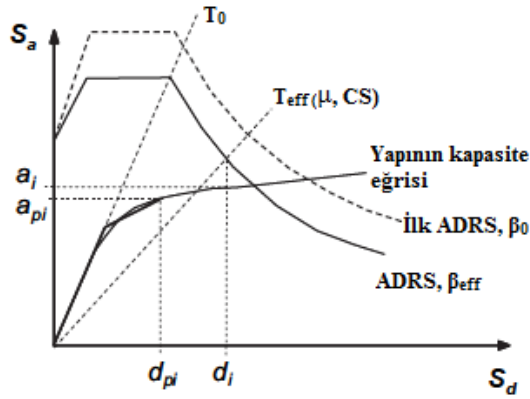
Model	α (%)	A	B	C	D	E	F
İki doğru histeretik	0	3.2	-0.66	11	0.12	19	0.73
İki doğru histeretik	2	3.3	-0.64	9.4	1.1	19	0.42
İki doğru histeretik	5	4.2	-0.83	10	1.6	22	0.40
İki doğru histeretik	10	5.1	-1.1	12	1.6	24	0.36
İki doğru histeretik	20	4.6	-0.99	12	1.1	25	0.37
Rijitlik azaltıcı	0	5.1	-1.1	12	1.4	20	0.62
Rijitlik azaltıcı	2	5.3	-1.2	11	1.6	20	0.51
Rijitlik azaltıcı	5	5.6	-1.3	10	1.8	20	0.38
Rijitlik azaltıcı	10	5.3	-1.2	9.2	1.9	21	0.37
Rijitlik azaltıcı	20	4.6	-1.0	9.6	1.3	23	0.34
Dayanım azaltıcı	-3 ^a	5.3	-1.2	14	0.69	24	0.90
Dayanım azaltıcı	-5 ^a	5.6	-1.3	14	0.61	22	0.90

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Burada öncelikli olarak μ değerine bakılır. Sonrasında ise α değeri Çizelge 3.1’de korele edilip, hangi katsayı kullanılacaksa korele edilerek μ değerine bağlı olarak β_{eff} hesaplanır. Bu aşamadan sonra FEMA440’da üç farklı prosedür tanımlanmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında ise FEMA440’da yer alan Prosedür A kullanılmıştır. Bu yöntemde ardışık yaklaşım doğrudan performans noktasına (en büyük a_{pi} ve en büyük d_{pi}) ulaşmayı amaçlamaktadır. Tez çalışması için ATC40’da yer alan efektif periyot formülü kullanılmıştır.

$$T_{eff} = 2\pi\sqrt{\left(\frac{S_d}{1000}\right) / (S_a * 9,81)} \quad (3.50)$$

- 8- Belirlenen β_{eff} değeri kullanarak spektral ivme-spektral yer değiştirme eğrisi değiştirilir.
- 9- β_{eff} için çizilen spektral ivme-spektral yer değiştirme eğrisi ile radyal T_{eff} doğrusunun kesişim yeri (tahmini spektral yer değiştirme d_i) belirlenir. Tahmin edilen en büyük spektral ivme a_i kapasite eğrisi üzerindeki noktaya karşı gelmektedir.



Şekil 3.11. FEMA440’da tanımlanan Prosedür A’ya göre maksimum yer değiştirme ve ivmenin belirlenmesi

- 10- Belirlenen en büyük spektral yer değiştirme d_i değeri ardışık yaklaşımın bir önceki adımındaki değer ile karşılaştırılır. Fark kabul edilen sınırlar içinde ise performans noktası a_{pi} ve d_{pi} olarak belirlenir. Aksi durumda beşinci hesap adımına geri dönülerek

3. MATERYAL ve YÖNTEM

hesap tekrarlanır. Uygulanan hesapta, seçilen ilk spektral eğrinin β_{eff} efektif sönüm oranları için küçültülmesi gerekmektedir.

3.2.7. Modal Analiz

Doğal frekansların ve titreşim modlarının varlığı, tüm gerçek fiziksel sistemlerin uzayda sınırlı olduğu gerçeğiyle ilgilidir. Gergin, sabit bir sicim üzerindeki bir titreşim modu (ve bununla ilişkili doğal frekans), iki sınırlanmış uç arasındaki zıt yönlerde hareket eden iki eşit genlik ve dalgadan oluştuğu şeklinde yorumlanabilir. Diğer bir deyişle sabit bir dalga olarak yorumlanabilir, yani ip belirli bir sabit dalga formunun sınırları içinde uzlamsal olarak değişen bir genliğe sahip olarak salınır (Norton and Karczub 2003) Yapı eğer doğal frekanslardan birine yakın olan kuvvet frekansı tarafından uyarılır ise yapıda rezonans meydana gelir. Rezonans, sadece titreşim genliğini sınırlayan bir sistemdeki sönümdür. Doğal frekanslar yapıya özgüdür ve bunlarda meydana gelen titreşimler genel olarak titreşim türleri olarak ifade edilir. Yapı, mod şekli olarak tanımlanan her bir titreşim modu altında farklı bir biçime bürünür. Yapının karakteristik özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu analiz modal analiz olarak tanımlanabilir. Modal analiz teorik ya da deneysel olarak gerçekleştirilebilir. Teorik model analizinde, yapı için bir dizi hareket denkleminde dinamik bir model oluşturulur. Bu denklemler doğal frekansları ve mod şekillerini belirlemek için çözülür (White and Walker 1982). Deneysel modal analiz ise bir yapının doğru modellenemeyecek kadar karmaşık olduğu durumlarda veya teorik bir modelin doğrulanmasının gerekli olduğu durumlarda kullanılabilir. Ayrıca deneysel analiz sönümleme özelliklerini değerlendirmek için de kullanılabilir. İnşaat mühendisliğinde genel olarak, yapı boyunca dağılmış kütle sönümleme özelliklerine sahiptir ve bu durumlarda dağıtılmış bir parametre modeli kullanılmaktadır. Hareket denklemleri, ayrı elemanlarla kolayca ilişkilendirilebilecek kütleleri, sönümleme hızlarını ve yay sertliklerini içermez. Bunun yerine, güç dengesi koşullarının yapı üzerindeki tüm konumlarda yerine getirildiği değerleri içerir. Yapı için hareket denklemlerini formüle ettikten sonra, analiz sürecindeki ikinci aşamaya geçilebilir. Bu, serbest titreşim çözümü olarak bilinir ve yapının doğal frekanslarının ve mod şekillerinin elde edilmesini sağlar. Bunlar modal frekanslar ve mod şekilleri olarak adlandırılır; modal modeli oluştururlar. Teorik modal analizin üçüncü aşaması olan zorunlu tepki analizidir. Açıkça bir yapının dinamik tepkisi, yalnızca içsel modal özelliklere değil, yapıya uygulanan uyarmanın

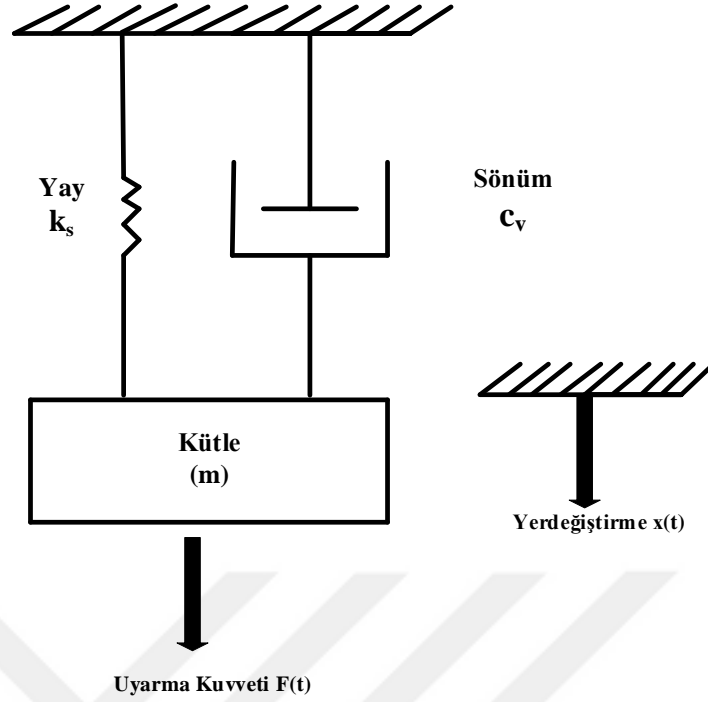
3. MATERYAL ve YÖNTEM

türüne de bağlıdır. Zorlanmış tepki analizi genellikle hareket denklemlerinin çözümünü içerir ve dinamik fonksiyonların bir transfer fonksiyonu olarak tanımlanmasına yol açar. Deneysel modal analiz, uygun bir işlemten sonra bir yapının dinamik karakteristiğinin bir tanımının elde edilebileceği özel bir transfer fonksiyonu durumu olan frekans tepki fonksiyonunun (FRF) ölçülmesine dayanır (Potter 1975; Newland 1989; Armstrong *et al.* 1995). Modal analizde sınır koşulları ve başlangıç koşulları çok önemlidir. Sınır koşulları bir sistemin mod şekillerini ve frekanslarını belirler. Başlangıç koşulları ise herbir modun toplam tepkiye katılımını belirler (Norton and Karczub 2003).

3.2.7.1. Sönüm

Sönümlenme tüm gerçek sistemlerde mevcuttur ve çok nadiren viskozdur. Pratikte birçok farklı sönümlenme türü mevcuttur ancak en sık karşılaşılan yapısal (histeretik) sönümlenme, coulomb (kuru sürtünme) sönümlenmesi ve hız karesi (aerodinamik sürtünme) sönümlenmesidir. Çoğu mekanik sistem esasen hafifçe söndüğü için (sönümlenmenin etkisi bir rezonansın dışında önemsiz) eşdeğer viskoz sönümlenleyiciler açısından yaklaşık viskoz olmayan sönüm modelleri elde etmek mümkündür. Viskoz sönümlenme sadece iki kayganlaştırılmış yüzey arasındaki hızın laminar akış koşulları oluşacak şekilde yeterince düşük olduğunda ortaya çıkar (Norton and Karczub 2003). Çeşitli sönümlenme modelleri mevcuttur ve en yaygın kullanılan model viskoz sönümlenmedir (yani sönümlenme kuvveti hız ile orantılıdır).

Bir yapının titreşim özelliklerini modellerken, modeli oluşturan elemanlar bir kütle, bir yay, bir sönümlendirici ve bir uyarma kuvveti içerir. Temel, tek serbestlik dereceli, kümelenmiş parametre osilatör modeli Şekil 3.12'de gösterilmektedir.



Şekil 3.12. Tek serbestlik dereceli, toplu-parametre ossilatörü

Uyarma kuvveti, sisteme daha sonra kütle ve yay tarafından depolanan ve sönümlendirici de dağılan enerji sağlar. M kütlesi rijit bir cisim olarak modellenmiştir ve kinetik enerji kazanır veya kaybeder. Yay sertliği (k_s) ihmal edilebilir bir kütleye sahip olduğu varsayılır ve esnekliğine sahiptir. Uçları arasında nispi bir yer değiştirme olduğunda bir yay kuvveti vardır ve yayı sıkıştırmak ya da uzatmak için yapılan işler potansiyel enerjiye dönüştürülür, yani gerilme enerjisi yayda depolanır. Yay sertliği k_s , birim sapma başına kuvvet birimlerine sahiptir. Sönümlendirici (viskoz-sönümlenme oranı c_v ile) ne kütle ne de sertliğe sahip değildir ve uçları arasında nispi hareket olduğunda bir sönümlenme kuvveti üretilecektir. Sönümlendirici koruyucu değildir çünkü enerjiyi yayar. Viskoz sönümlenme katsayısı (c_v), birim hız başına kuvvet birimlerine sahiptir. Diğer sönümlenme modelleri arasında coulomb (veya kuru sürtünme) sönümlenmesi, histeretik sönümlenme ve hız kare sönümlenmesi bulunur (Norton and Karczub 2003). Sönümlenme oranı, yer değiştirme genliğindeki bozulmanın zamanla ölçülmesi ile tahmin edilebilir (Wakabayashi 1986). Sönümlenme oranı dinamik bir sistemdeki enerji dağılımının bir ölçüsüdür. Viskoz sönümlenme, dinamik analizlerde kullanılan en yaygın sönümlenme türüdür (Elmenschavi *et al.* 2010). Çalışmada gerçekleştirilen dinamik analizlerde viskoz sönümlenme kullanılmıştır.

3.2.8. Sonlu Eleman Modeli

Genellikle yığma yapıların sayısal modellenmesinde hassaslık seviyesi dikkate alınarak detaylı mikro modelleme, basitleştirilmiş mikro modelleme ve makro modelleme olmak üzere, üç farklı modelleme tekniği kullanılmıştır (Lourenço 1996; Sayın 2009). Literatür incelendiğinde büyük çoğunlukla makro modelleme tekniğine göre modellendiği görülmektedir (Modena *et al.* 2002; Bernardeschi *et al.* 2004). Yapılan bir çalışmada, tarihi Uzunok köprüsünün modellenmesinde makro modelleme tekniği kullanılarak doğrusal olmayan sismik analizleri yapılmıştır (Sayın vd. 2011).

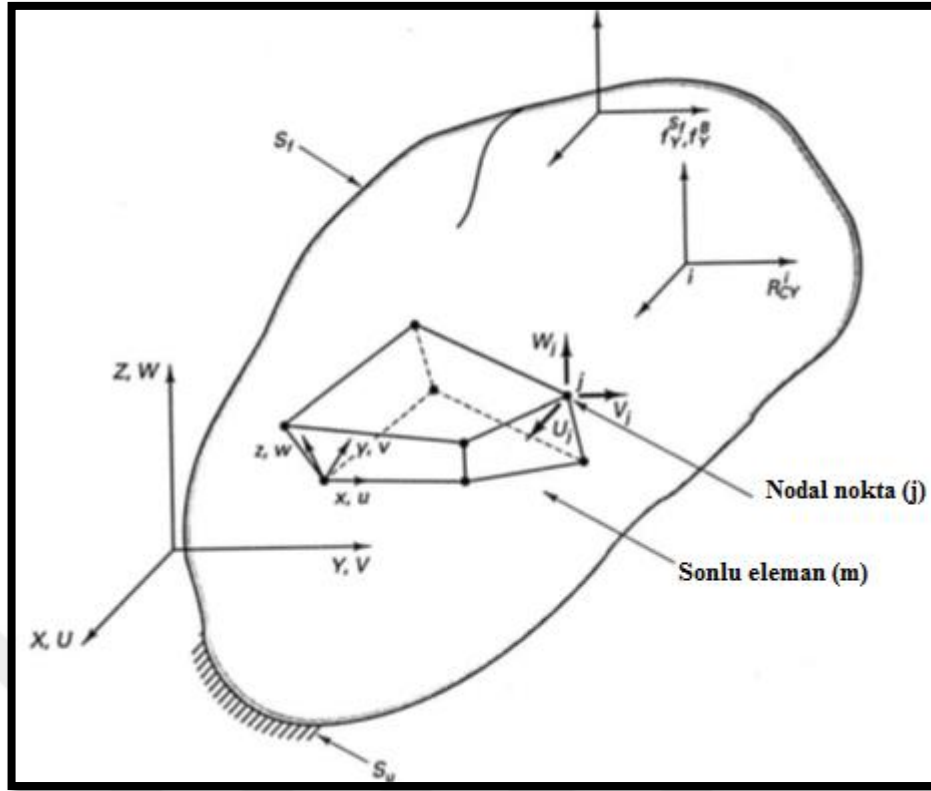
Makro modelleme yöntemi, büyük ölçekli tarihi yapıların modellenmesinde yaygın olarak tercih edilmiştir, çünkü bu yöntem, bilgisayar kullanım süresini önemli ölçüde azaltır (Modena *et al.* 2002; Betti 2011). Fanning and Boothby (2001), yığma köprüyü üçboyutlu modelini statik yükler altında makro modelleme yöntemini kullanarak modelleyip analiz etmiştir.

3.2.9. Dinamik Analiz

Bir yapıya uygulanan uyarma sıklığı, yapının en düşük doğal titreşim frekansının beşte birinden daha az ise, atalet etkileri ihmal edilebilir ve sorun quasitatiktir. Kütle matrisi, bir eleman için $[m]$ ve bir yapı için $[M]$ olarak yazılır, atalet için hesaplanır. Yapısal dinamiklerin problemleri iki sınıfa ayrılabilir. Birinde, doğal titreşim frekanslarını ve ilgili mod şekilleri istenir. Genellikle yapının doğal frekanslarını uyarma frekansları ile karşılaştırmak istenir. Bu frekansların iyi bir şekilde ayrıldığından emin olmak genellikle arzu edilir. Diğer sınıflandırmada, bir yapının öngörülen yükler ve/veya destek hareketleri altında zaman içinde nasıl hareket ettiğini; yani zaman-tanım analizini istenir. İki popüler zaman-tanım analizi yöntemi, doğrudan entegrasyon yöntemleri ve modal yöntemlerdir. Bu bölümde sadece doğrudan entegrasyon yöntemleri ele alınmıştır.

3.2.9.1. Sonlu elemanlar denklemleri

Şekil 3.13'de gösterilen genel üç boyutlu gövdenin tepkisine dikkat ediyoruz.



Şekil 3.13. 8 düğümlü üç boyutlu elemanlı genel üç boyutlu gövde

Sonlu elemanlar analizinde, Şekil 3.13'deki gövdeye, eleman sınırları üzerindeki düğüm noktalarında birbirine bağlı ayrı sonlu elemanlar topluluğu olarak yaklaşıyoruz. Yerel bir koordinat sisteminde (x, y, z) her elemanın içinde ölçülen yer değiştirmelerin, j sonlu eleman düğüm noktalarındaki yer değiştirmenin bir işlevi olduğu kabul edilir. Bu nedenle, m elemanı için:

$$u^{(m)}(x, y, z) = N^{(m)}(x, y, z) \hat{U} \text{ veya kısaca } u^{(m)} = N^{(m)} \hat{U} \quad (3.51)$$

$N^{(m)}$ yer değiştirme enterpolasyon matrisi olduğunda, üst simge m, m elemanını belirtir ve \hat{U} , element düzeneğinin desteğini de içeren tüm düğüm noktalarında üç küresel yer değiştirme bileşeninin (U_i, V_i, W_i) bir vektörüdür; yani, \hat{U} , $3N$ boyutunda bir vektördür.

$$\hat{U}^T = [U_1 \ V_1 \ W_1 \ U_2 \ V_2 \ W_2 \ \dots \ U_N \ V_N \ W_N] \quad (3.52)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Veya daha genel olarak:

$$\hat{U}^T = [U_1 \ U_2 \ \dots \ U_n] \quad (3.53)$$

Anlaşıldığı üzere, U_i 'nin X, Y veya Z'nin herhangi bir yönündeki bir yer değiştirmeye tekabül edebileceği ve aynı zamanda kirişleri, plakaları veya mermileri göz önüne aldığımızda bir dönme olabileceği de anlaşılabilir. \hat{U} , eleman grubunun desteklerinde yer değiştirmeleri (ve rotasyonları) içerdiğinden, bilinmeyen düğüm noktası yer değiştirmelerini çözmeden önce, bilinen \hat{U} değerlerini empoze etmemiz gerekir. Şekil 3.13, düzeneğin tipik bir sonlu elemanını göstermektedir. Bu elemanın her biri bir köşesinde olmak üzere sekiz düğüm noktası vardır ve bir “tuğla” elemanı olarak düşünülebilir. Tüm gövdenin bir araya getirilmiş tuğla elemanlarının bir topluluğu olarak temsil edildiğini hayal etmeliyiz ki eleman alanları arasında boşluk kalmayacaktır. (3.51)'deki yer değiştirmeler hakkındaki varsayımlarla şimdi karşılık gelen eleman gerilmelerini değerlendirebiliriz;

$$\varepsilon^{(m)}(x, y, z) = \partial u^{(m)}(x, y, z) = B^{(m)}(x, y, z) \hat{U} \quad (3.54)$$

Burada;

$$B^{(m)}(x, y, z) = \partial N^{(m)}(x, y, z)$$

Veya kısaca

$$\varepsilon^{(m)} = B^{(m)} \hat{U}$$

olup B , gerilme-yer değiştirme matrisidir; B sıraları, N matrisinin sıralarının uygun şekilde ayırt edilmesi ve birleştirilmesiyle elde edilir. Diferansiyel operatör matrisi ∂ , üç boyutlu problemler için 6'ya 3, iki boyutlu problemler için ise 3'e 2'dir. İki boyutta;

$$\begin{cases} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{cases} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \partial \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (3.55)$$

Sonlu bir elemandaki gerilmeler, eleman gerilmeleri ve elemanın ilk gerilmelerinin aşağıdakilerle kullanılması ile ilgilidir:

$$\sigma^{(m)} = C^{(m)} \varepsilon^{(m)} + \sigma^{I(m)} \quad (3.56)$$

buradaki $C^{(m)}$, m elemanın elastisite matrisidir ve $\sigma^{I(m)}$, verilen eleman ilk gerilmeleridir.

Elemanlar yer değiştirmelerinin ve gerilmelerin sonlu elemanlar dizisi düğüm nokta yer değiştirmeler dizisinin tamamı açısından tanımlanmasının amacı, yer değiştirmeye dayalı sonlu elemanlar yönteminin temeli olan yer değiştirmeler prensibinin oluşturulmasını kolaylaştırır. Bu ilke, Şekil 3.13'deki cisim dengesinin, cisimde denge durumunda uygulanan herhangi bir uyumlu virtüel yer değiştirme için toplam iç virtüel işin, toplam dış virtüel işe eşit olmasını gerektirdiğini belirtir:

$$\int_V \bar{\varepsilon} \sigma dV = \int_V \bar{U}^T f^B dV + \int_{S_f} \bar{U}^{S_f T} f^{S_f} dS + \sum_i \bar{U}^{iT} F_C^i \quad (3.57)$$

$\bar{\varepsilon}^T$, virtüel yer değiştirmelere karşılık gelen gerçek gerilmeler olduğunda, \bar{U}^T ve σ , uygulanan yüklerle dengede bulunan gerilmelerdir. Virtüel yer değiştirmeler ilkesinde (3.51) ve (3.54)'ün kullanılmasıyla, otomatik olarak tüm eleman matrislerinin yönetim yapısı matrislerinde etkin bir birleştirme sürecine yol açacağı görülür. Bu birleştirme işlemine doğrudan rijitlik yöntemi denir. Öncelikle, tüm sınırlı öğelerin hacmi ve alanlarındaki bütünleşmenin bir toplamı olarak (3.57) yeniden yazılır;

3. MATERYAL ve YÖNTEM

$$\begin{aligned} \sum_m \int_{V^{(m)}} \bar{\epsilon}^{(m)T} \sigma^{(m)} dV &= \sum_m \int_{V^{(m)}} \bar{U}^{(m)T} f^{B(m)} dV \\ + \sum_m \int_{S_1^{(m)} \dots S_{1q}^{(m)}} \bar{U}^{S(m)T} f^{S(m)} dS^{(m)} + \sum_i \bar{U}^{iT} F_C^i \end{aligned} \quad (3.58)$$

M = 1,2,... k olduğunda, k = eleman sayısı ve S1 (m),..., Sq (m), cisim yüzeyinin S parçası olan eleman yüzeylerini belirtir. (3.54) ve (3.56)'daki sanal yer değiştirmeler, gerilme ve birim şekil değiştirmeler için (3.58)'e ulaşıyoruz.

$$\begin{aligned} \bar{U}^T \left[\sum_m \int_{V^{(m)}} B^{(m)T} C^{(m)} B^{(m)} dV^{(m)} \right] \bar{U} &= \bar{U}^T \left[\sum_m \int_{V^{(m)}} N^{(m)T} f^{B(m)} dV^{(m)} + \right. \\ \left. \sum_m \int_{S_1^{(m)} \dots S_{1q}^{(m)}} N^{S(m)T} f^{S(m)} dS^{(m)} - \sum_m \int_{V^{(m)}} B^{(m)T} \sigma^{I(m)} dV^{(m)} + F_C \right] \end{aligned} \quad (3.59)$$

Bilinmeyen düğüm noktası yer değiştirmelerinin denklemlerini (3.59) elde etmek için sırayla U tüm bileşenleri için virtüel birim yer değiştirmeler uygulanarak, virtüel yer değiştirme ilkesini n kez uygularız. İlk uygulamada $\hat{U} = [1,0,0, \dots, 0]$, ikinci uygulamada $\hat{U} = [0,1,0, \dots, 0]$ vb. elementlerin bir araya getirilmesi için aşağıdakileri yaparak dengeyi elde ederiz.

$$KU=F \quad (3.60)$$

K matrisinin eleman grubunun rijitlik matrisi olduğu gösterilmiştir;

$$K = \sum_m \int_{V^{(m)}} B^{(m)T} C^{(m)} B^{(m)} dV^{(m)} = \sum K^{(m)} \quad (3.61)$$

F yük vektörü $F = F_B + F_S - F_I + F_C$ yüklerini verir ve eleman gövdesi kuvvetlerinin etkisi şunları içerir;

$$F_B = \sum_m \int_{V^{(m)}} N^{(m)T} f^{B(m)} dV^{(m)} \quad (3.62)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

*Eleman yüzey kuvvetlerinin etkisi,

$$F_B = \sum_m \int_{S_1^{(m)} \dots S_{1q}^{(m)}} N^{S^{(m)T}} f^{S^{(m)}} dS^{(m)} \quad (3.63)$$

*Elemanın ilk basınç etkisi,

$$F_I = \sum_m \int_{V^{(m)}} B^{(m)T} \sigma^{I^{(m)}} dV^{(m)} \quad (3.64)$$

*Düğüm tekil yükler F_c .

F_c 'deki i 'inci bileşenin, \hat{U} konumundaki itme bileşenine karşılık gelen tekil yükün düğüm kuvveti olduğunu not etmeliyiz. Ayrıca eleman hacminin toplamının (3.61) içerisindeki integralinin, toplam düzeneğin rijitlik matrisini elde etmek için $K(m)$ eleman rijitliği matrislerinin doğrudan eklendiğini ifade ettiğini not ettik. Aynı şekilde, birleştirme kuvveti vektörleri elde edilir. Eleman matrislerini bu doğrudan ekleme ile birleştirme işlemine doğrudan rijitlik yöntemi denir. Denklem (3.59), eleman grubunun statik dengesinin bir ifadesidir (Cook 1981; Bathe 2006).

Eleman hız ve ivme değerlerinin, (3.51)'deki elemanların yer değiştirmeleriyle aynı olduğu ve gövde kuvvetlerine katkı olarak eleman ataletlerinin dahil edildiğini varsayarak, aşağıdakileri elde ederiz:

$$F_B = \sum_m \int_{V^{(m)}} N^{(m)T} \left[f^{B^{(m)}} - \rho^{(m)} N^{(m)} \ddot{U} \right] dV^{(m)} \quad (3.65)$$

Denge denklemleri, bu durumda;

$$M\ddot{U} + KU = F \quad (3.66)$$

olur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

M matrisi ise yapının kütle matrisidir;

$$M = \sum_m \int_{V(m)} N^{(m)T} \sigma^{I(m)} N^{(m)} dV^{(m)} \quad (3.67)$$

3.2.9.2. Zaman-tanım analizi

Zaman tanım alanında hesap yöntemlerinde, zaman alanında kabul edilen deprem hareketi altında taşıyıcı sistem adım adım çözülür. Sonuçlar belirlenen deprem hareketi ve taşıyıcı sistemin davranışı için yapılan kabullerin geçerliliği oranında güvenlidir. Ancak bu yöntem ayrıntılı ve zaman aldığı için büyük boyutlara sahip sistemler için uygun olmayan bir yöntemdir (Betti *et al.* 2011). Yer hareketi etkisi altındaki sistemlerin çözümünde kullanılan yaygın bir yöntem de hareket denkleminin zaman alanında adım adım sayısal integrasyonudur. Bir sistemin dinamik davranışının belirlenebilmesi, sistemin hareket denkleminin yazılmasına bağlıdır. Hareket denklemi,

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{F\} \quad (3.68)$$

formülünde olduğu gibidir. Doğrusal davranışta, [M], [C] ve [K] sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrislerini, {F} ise dış yük vektörünü göstermektedir. Sistemin yalnız yer hareketinin etkisi altında olması durumunda, {I} birim kolon vektör ve U_g yer ivmesi olmak üzere, {F} dış yük vektörü $-[M]\{I\}U_g$ 'ye eşittir.

Doğrusal olmayan davranışta ise kayma modülü şekil değiştirmelere ve zamana bağlı olarak değiştiğinden rijitlik ve sönüm matrisleri zamana bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Burada, $\{\ddot{U}\}$, $\{\dot{U}\}$, $\{U\}$ sırasıyla zamana bağlı ivme, hız ve yer değiştirme vektörlerini göstermektedir.

Bir (t) zaman diliminden (t+Δt) zamanına gelindiğinde yer değiştirmelerde meydana gelecek $\Delta U(t) = U(t + \Delta t) - U(t)$ değişimler ile hareket denklemindeki kuvvetlerde oluşacak değişimlerin dengede olması gerekir. Hareket denklemi değişim türünden,

$$[M]\{\Delta\ddot{U}(t)\} + [C(t)]\{\Delta\dot{U}(t)\} + [K(t)]\{\Delta U(t)\} = \{\Delta F(t)\} \quad (3.69)$$

şeklinde ifade edilebilir (Ağcakoca ve Elmas 2004).

3.2.10. ANSYS sonlu eleman paket programı

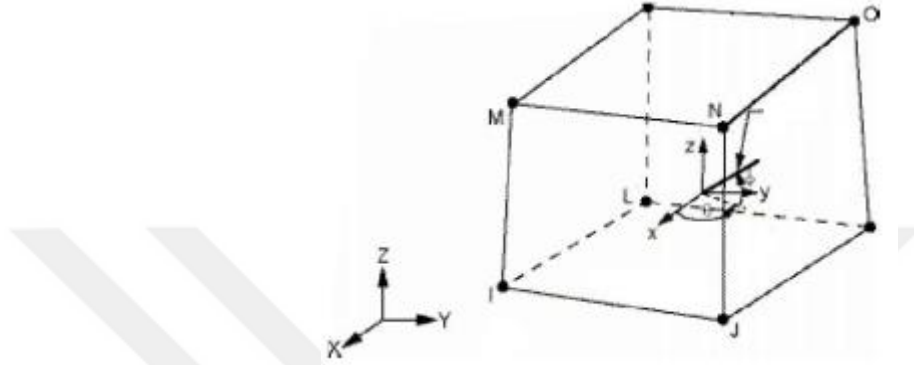
ANSYS genel amaçlı sonlu elemanlar paket programıdır. Yazılım bünyesinde statik/dinamik yapısal analizler (doğrusal ve doğrusal olmayan), ısı transferi ve akış problemleri ile akustik ve elektro-manyetik gibi çalışmaların yapılabilmesine olanak sağlar. Genel olarak sonlu elemanlar analizlerinin üç kademede gerçekleştirilebildiğini söyleyebiliriz.

1. Preprocessing: Bu bölüm keypoint/çizgi/alan/hacimlerin tanımlanması, element tipi ve malzeme/geometri özelliklerinin tanımlanması, gerekli çizgi/alan/hacimlerin sonlu elemanlara bölünmesi (mesh işleminin yapılması) gibi işlemleri içerir.
2. Solution: Yapıya etki ettirilecek yüklerin ve uygulanmak istenen sınır şartlarının belirlenip modelin analizler için hazır hale getirildiği ve analizlerin başlatıldığı bölüm olarak tanımlayabiliriz.
3. Postprocessing: Bu bölümü ise sonuçların görüntülenebildiği, düğüm yer değiştirmelerin listelenmesi, kuvvet ve momentlerinin elde edilebildiği, gerilme kontur diyagramlarının izlenebildiği bölüm olarak ifade edebiliriz.

ANSYS sonlu elemanlar paket programı ile tez çalışmasında kullanılan tek açıklıklı yığma kemer köprülerin sonlu eleman modelleri oluşturulmuş ve analizler yapılmıştır. Yazılımda sonlu eleman analizlerinde köprülerin hem doğrusal hem de doğrusal olmayan analizlerini gerçekleştirmek için SOLID65 sonlu elemanı kullanılmaktadır. SOLID65 elemanı her düğüm noktasında üç doğrultuda yer değiştirmeye sahip olup sekiz nodlu bir elemandır. SOLID65 elemanı, yapılar uygulanan yükleme sonrasında köprülerde oluşacak çatlakların ve kırılma mekanizmalarının incelenebilmesi için uygun bir sonlu elemandır. ANSYS yazılımında çatlakların incelenebilmesi için CONCRETE malzeme modeli kullanılmaktadır. Bu malzeme modeli yığma yapıların gevrek davranışını ortaya koyarak kırılma durumlarını göstermektedir. Yığma kemer köprülerin tasarımı ve

3. MATERYAL ve YÖNTEM

modellenmesi aşamasında, sistemin basınca çalışması durumu gözetilerek çekme almayan malzeme kabulü yapılmıştır. ANSYS yazılımında kırılma durumunu belirlemek için basınç dayanımı yüksek fakat çekme dayanımı düşük olan malzemeler için uygun bir hipotez olan Willam-Warnke kırılma hipotezini kullanmaktadır. SOLID65 elemanı Şekil 3.14'de gösterilmektedir.



Şekil 3.14. SOLID65 elemanı geometrisi (ANSYS kullanım kılavuzu)

Sekiz düğüm noktalı izoparametrik SOLID65 elemanı, sekiz birleşim (düğüm) noktası ile (2x2x2) geometri ve yer değiştirme için sekiz enterpolasyon fonksiyonu verilmektedir. Bu eleman için enterpolasyon şekil fonksiyonu aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$N_i = \frac{1}{8}(1 \pm \xi)(1 \pm \eta)(1 \pm \zeta) \quad i=1, \dots, 8 \quad (3.70)$$

Bu N_i şekil fonksiyonuna bağlı olarak, noktasal yer değiştirme (u_i, v_i, w_i) eleman üzerindeki bir noktanın (ξ, η, ζ) koordinatlarına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\begin{aligned} u &= u_1 N_1 + u_2 N_2 + \dots + u_8 N_8 \\ v &= v_1 N_1 + v_2 N_2 + \dots + v_8 N_8 \\ w &= w_1 N_1 + w_2 N_2 + \dots + w_8 N_8 \end{aligned} \quad (3.71)$$

3.2.11. Yığma Yapılarda Kullanılan Malzeme Özellikleri

Kültürel mirasın yaşatılıp gelecek nesillere güvenle aktarılması yapı mühendisliği alanındaki en önemli konulardan biridir. Bu nedenle, kültürel varlıkların yapısal açıdan incelenmesi ve yapısal performanslarının belirlenmesi günümüzde üzerinde önemle durulan bir konu haline gelmiştir. Ancak, tarihi yapıların yapısal performanslarının belirlenmesi konusu birçok farklı zorluğu içinde barındırmaktadır. Özellikle bu yapıların uzun yıllar önce inşa edilmeleri ve yapıldıkları dönemin tarihsel izlerini günümüze taşımaları bu yapılar üzerinde yapılacak uygulamaları zorlaştırmakta ve sınırlamaktadır. Bu zorluklardan birisi de tarihi yapıyı oluşturan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesidir. Özelliklerin belirlenme aşamasında da hem tarihi yapıyı oluşturan malzemenin zarar görmemesi hem de özelliğinin doğruya en yakın şekilde belirlenmesi öncelikli hedefdir. (Toker ve Ünay 2004).

Yığma yapıyı oluşturan taş, tuğla, kerpiç ve harç gibi malzemelerin basınç dayanımları yüksek, çekme gerilmeleri ise düşüktür. Gevrek malzeme olarak tanımlanan bu malzemelerin çekme gerilmelerine karşı deformasyon kabiliyeti de oldukça düşüktür. Bundan dolayı deprem kuvvetleri ya da zeminde meydana gelen hareketler sonucunda oluşan çekme gerilmelerini karşılayamazlar. Sonuç olarak ise yığma yapıyı oluşturan taşıyıcı elemanlarda (ayak, sütun gibi) çatlaklar veya hasarlar oluşmaktadır. Ayrıca zaman içerisinde atmosferik olayların neden olduğu malzemelerin aşınmaya maruz kalması, bu malzemelerin dayanımlarının zamanla azalmasına neden olmaktadır. Malzemenin dayanımı hem yapının dayanımının azalmasına hem de yapının yük taşıma kapasitesinin azalmasına neden olur (Dilek 2004).

Tarihi yapılarda malzeme özelliklerinin belirlenmesi için öncelikle malzeme özellikleri ile ilgili olarak ölçüm yapılması gereken elemanlar belirlenir. Daha sonra ise aşağıda belirtilen deney ve ölçümler yapılır (Ekşi ve Aköz 2004; Aköz 2005).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Yerinde gerçekleştirilen çalışmalar;

- İşlem yapılacak malzemelerin yüzeylerinde kaplama varsa öncelikli olarak bu kaplama kaldırılarak malzemelerin yüzeyleri temizlenir.
- Havanın nemi belirlenir.
- Ultrasonik aletler yardımıyla ses veya titreşimin hızının iletim süresi ölçülür.
- Malzemenin yüzey sertliği ölçülür.
- Yapıdaki basınç gerilme seviyesi Flat-Jack aleti ile belirlendikten sonra, gerilme-şekil değiştirme ilişkisi incelenir.
- Yapıyı oluşturan malzemelerin(tuğla, taş veya kerpiç ile harç) arasındaki kayma dayanımı belirlenir.
- Ayrıca yapıdan yeterli sayıda laboratuvar ortamında araştırma yapabilmek için karot örnekleri alınır.

Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen çalışmalar;

- Alınan numunelerin alındıkları yapının bölgesine göre sınıflandırılıp sonrasında ise numaralandırılması yapılır.
- Ultrasonik aletler yardımıyla ses veya titreşimin hızının iletim süresi ölçülür.
- Numunelerin birim ağırlık, su emme, özgül ağırlık deneyleri yapılır.
- Tek eksenli basınç deneyi yapılır (Aköz 2005).

3.2.11.1. Malzeme özelliklerinin belirlenmesi

Bu tez kapsamında, tarihi kemer köprülerde kullanılan yapı malzemelerinin mekanik özelliklerinin tahribatsız yöntemlerle belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Çalışma kapsamında, ülkemizin Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Erzurum, Trabzon ve Rize illeri plot bölge olarak seçilmiş ve bu bölgelerde farklı dönemlerde ve farklı yapı malzemeleriyle inşa edilmiş 5 adet kemer köprü üzerinde çalışmaların yürütülmesi planlanmıştır. Ultrasonik hız deneyleri Proceq marka Pundit PL200 modeli ile gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Öncelikli olarak laboratuvar ortamında ocaklardan temin edilen Tercan taşı ve Andezit taş numuneleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Taş numuneler 95mm çapında 150 mm boyunda silindirik şekilde kesilmiştir. Kesilme esnasında meydana gelen boyut farklılıkları kumpas ile ölçümlerle dikkate alınmış ve hesaplamalara dahil edilmiştir. Taş numunelerinin oda koşullarındaki birim hacim ağırlığı, Schmidt sertlik çekici ile yüzey sertlik değerleri ve ultrasonik hız deneyleri ile her bir taş numunesinin özellikleri belirlenmiştir. Sonrasında ele alınan numuneler basınç testine tabi tutularak mekanik özellikleri belirlenmiştir. Tercan ve Andezit taşında elastisite modülü E (MPa), basınç dayanımı f_c (MPa), P dalga hızı V_p (m/sn), Schmidt sertlik indeksi R_n ve oda koşullarında birim hacim ağırlığı g (gr/cm³) arasındaki ilişkiler Çizelge 3.2’de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Andezit ve Tercan taşının mekanik özellikleri (E , f_c , V_p ve R_n) arasındaki ilişki

İlişki Bağıntısı	R ²	Denklem No
Andezit Taşı		
$E = 298.53f_c - 11081$	0.91	58
$V_p = 168.5f_c - 7832.6$	0.68	59
$g = 0.0121f_c + 0.8394$	0.79	60
$E = 1.3543V_p + 4411.2$	0.78	61
$E = 10414g - 14322$	0.62	62
$V_p = 7247g - 12813$	0.72	63
$R_n = 0.6192f_c - 0.1784$	0.96	64
$E = 434.46R_n - 8954.4$	0.77	65
$R_n = 0.0024V_p + 33.565$	0.59	66
$g = 0.0338R_n + 0.8525$	0.81	67

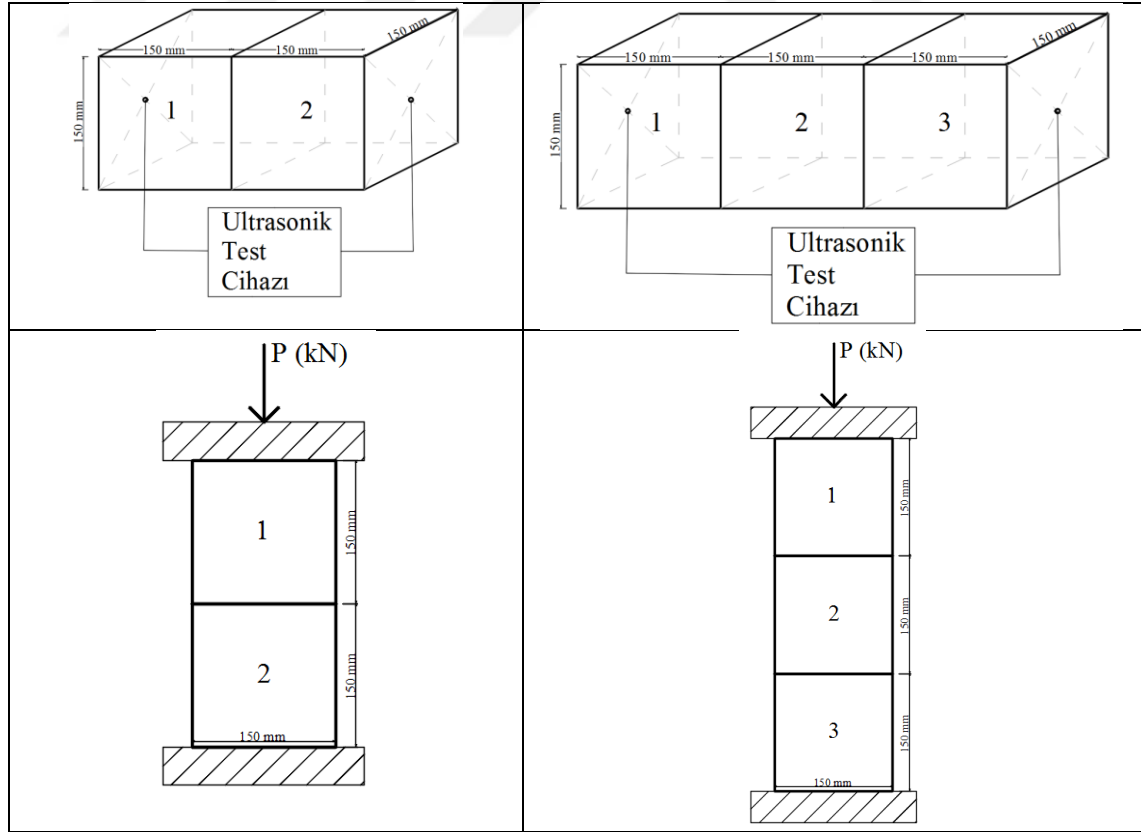
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çizelge 3.2. Andezit ve Tercan taşının mekanik özellikleri (E , f_c , V_p ve R_n) arasındaki ilişki (devam)

Tercan Taşı		
$E = 219.72f_c - 102.84$	0.84	68
$V_p = 107.61f_c + 777.76$	0.72	69
$g = 0.0121f_c + 1.7709$	0.81	70
$E = 1.5356V_p - 377.17$	0.66	71
$E = 16480g - 28937$	0.85	72
$V_p = 7046.4g - 11320$	0.56	73

Tercan taşında Schmidt sertlik indeksi ile diğer özellikler arasında anlamlı bir ilişki kurulamamıştır. Bu durum haricinde her iki taşa özellikler arasında 0.56-0.96 arasında değişen korelasyonlarla ilişkiler kurulmuştur.

Sonrasında küp taş numunleri ikiye ve üçerli olarak birleştirilmiştir. Tablo 1’de verilen bağıntılar kullanılarak her bir taş numunesini ultrasonik cihaz ile diğer özellikleri elde edilmiştir. Şekil 3.15’de küp taşların deney düzenekleri verilmektedir.



Şekil 3.15. Sistem ölçümleri ve basınç testleri

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Yapılan deney neticesinde sistemin p dalgası V_p ile sistemin basınç dayanımı f_c arasında bağıntılar elde edilmiştir (Çizelge3.3).

Çizelge 3.3. Numuneler ve sistemlerde f_c - V_p ilişkisine ait bağıntılar ve korelasyon değerleri

	Andezit Taşı		Tercan Taşı	
Taş Numuneleri	$f_c = 5.9385 \times 10^{-3} V_p + 46.484$	0.68	$f_c = 9.293 \times 10^{-3} V_p - 7.228$	0.72
Sistem Numuneleri	$f_c = 0.0172 V_p + 14.575$	0.86	$f_c = 0.0044 V_p + 3.9401$	0.85

Gerçekleştirilen deneylerden sonra ultrasonik cihaz ile köprülerin malzeme özelliklerinin belirlenebilmesi için yerinde çalışmalar yapılmıştır. Ancak köprülerin boşluklu yapılarından dolayı anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Yalnızca köprülerin parapet duvarlarından veya tekil taşlardan elde edilen P dalga hızları elde edilerek, taşların basınç dayanımları belirlenmiştir.

3.2.11.2. Duvarın dayanımının belirlenmesi

Yığma duvarların basınç dayanımlarının belirlenmesi farklı parametrelere bağlıdır. Bu parametrelerden bazıları duvarın yapım tekniği, inşasında kullanılan taşın, tuğlanın, harcın vb. malzemelerin mekanik özellikleridir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, malzeme özellikleri bilinen duvarın basınç dayanımının belirlenmesinde bazı bağıntılar önerilmiştir.

Tsoutrelis and Exadaktylos (1993) çalışmalarında kuru derzli yığma duvarların basınç dayanımlarının belirlenmesinde bir mermer çeşidi kullanarak kaya bloklar arasındaki süreksizliklerden kaynaklanacak basınç farklılıklarını deneysel olarak incelemişlerdir. Buna bağlı olarak ta kuru derzli yığma duvarların basınç dayanımlarının belirlenmesinde etkin bir bağıntı önermişlerdir.

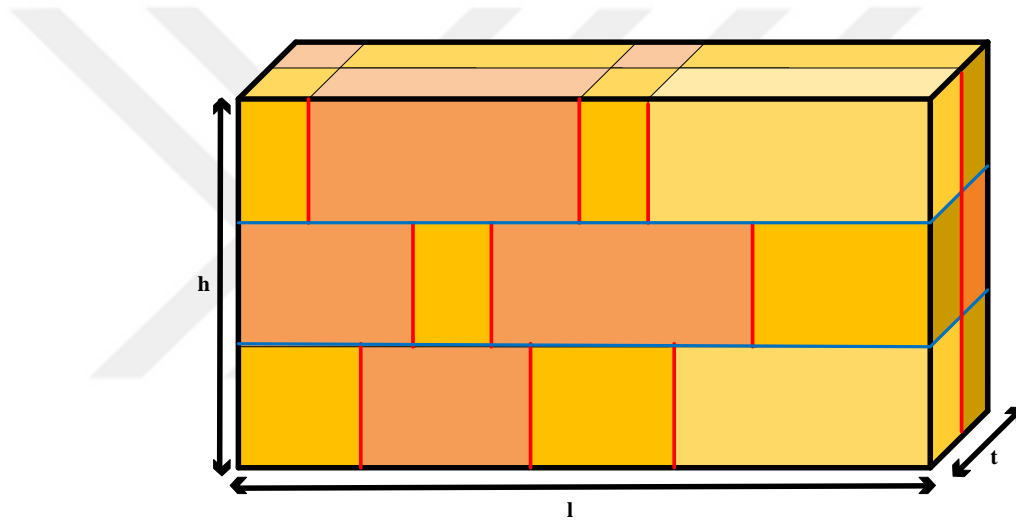
$$f_k = e^{-0,3117 * L * f} * f_b \quad (3.72)$$

3. MATERYAL ve YÖNTEM

$$L = \sqrt[3]{l * h * t} \quad (3.73)$$

Bu denklemde f_k , yığma duvarın karma basınç dayanımı, f_b taşın basınç dayanımını temsil etmektedir. l , h , t ise sırasıyla duvarın genişliğini, yüksekliğini, kalınlığını temsil etmektedir. f ise çatlak yoğunluğunu temsil etmektedir. Duvarı meydana getiren taşların boyutlarının tümünde sürekliliği bozan yüzeylerinin toplam alanının duvarın toplam hacmine bölümü çatlak yoğunluğu olarak hesaplanır (m^2/m^3) (Kocaman vd 2019).

Örnek bir duvar örgüsü Şekil 3.15’de gösterilmiştir.



Şekil 3.15. Yapıda elastik modülün hesaplanmasında temel alınan örnek duvar elemanı ve çatlak yoğunluğu faktörü hesaplamasında kullanılan yatay ve düşey süreksizlik yüzeyleri (L: uzunluk, h: yükseklik, t: genişlik)

Basınç dayanımı bilinen yığma duvarların Elastisite modülüne geçiş parametresi Tomazevic (1999) tarafından 200-1000 arasında olduğu belirlenmiştir. Bu denklemler ışığında duvarın basınç dayanımı, çatlak yoğunluğu ve elastisite modülü Çizelge 3.4’de verilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Çizelge 3.4. Köprülere ait mekanik özellikler

Köprü adı	Taşın basınç dayanımı MPA	Duvarın basınç dayanımı MPA	Çatlak yoğunluğu m ² /m ³	Elastisite modülü GPA
Coşandere	40	5,43	4,89	3,95
Kireçli	30	10,0	2,38	3,0
Kız	20	4,4	6,42	1,23
Şenyuva	32	1,61	12,46	0,82
Şinik	31	1,1	10,7	0,9

Tarihi yığma binaların yapısal analizi günümüz yapılarının yapısal analizlerinden farklıdır. Malzemelerin gerçek mekanik özelliklerinin kesin olarak belirlenememesi, birleşim detaylarının açık bir şekilde tanımlanamaması gibi eksiklikler nedeniyle, daha önce ele alınan benzer nitelikteki yapıların davranışları, yapılacak olan çalışmanın yorumlanmasında kılavuz olarak ön plana çıkmaktadır (Çavuş 2013).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Tarihi Köprülerin Tanıtılması

Çalışma kapsamında, ülkemizin Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yer alan Erzurum, Trabzon ve Rize illeri pilot bölge olarak seçilmiş ve bu bölgelerde farklı dönemlerde ve farklı yapı malzemeleriyle inşa edilmiş 5 adet tek açıklıklı yığma kemer köprü üzerinde çalışmalar yürütülmüştür. Bu köprülerin isimleri sırasıyla Coşandere köprüsü, Kireçli Köprüsü, Kız köprüsü, Şenyuva köprüsü ve sonuncusu ise Şinik köprüsüdür.

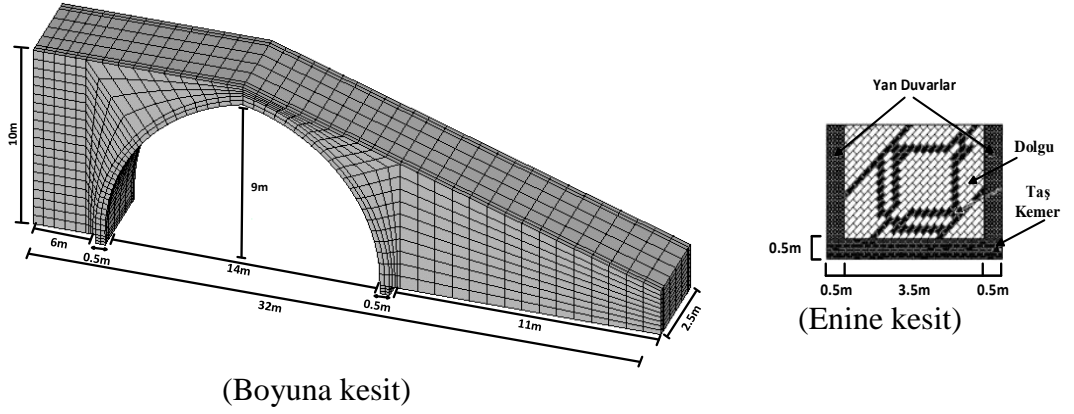
4.1.1. Coşandere köprüsü (Trabzon)

Trabzon ilinin Maçka ilçesinde bulunan Coşandere Köprüsü bölgenin geleneksel kemer köprülerindedir. Kemer kısmı sarı ve yeşil renkli taş işçiliğine sahip olan köprü'nün üst kısmı kavislidir. Köprüyü oluşturan elemanlar kemer, yan duvarlar, dolgu malzemesi ve köprü'nün üst kısmında yer alan korkuluklardır. Şekil 4.1'de köprü'nün görünüşü, boyuna ve enine kesitleri verilmektedir.



(a)

Şekil 4.1. (a) Tarihi taş kemerli Coşandere köprüsü, (b) köprü'nün boyuna ve enine kesit görünüşleri



(b)

Şekil 4.1. (a) Tarihi taş kemerli Coşandere köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri (devam)

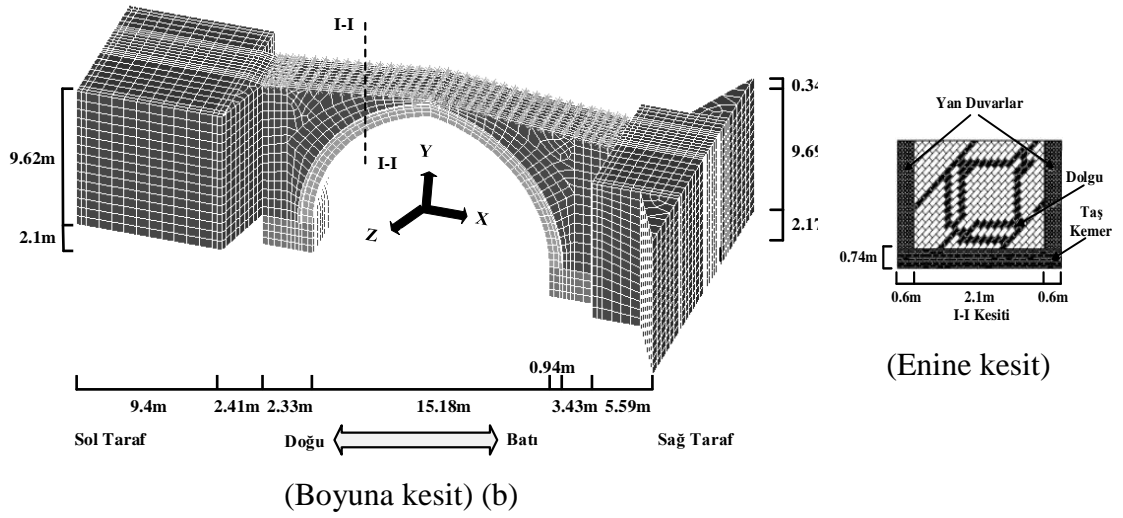
4.1.2. Kireçli köprüsü (Erzurum)

Erzurum ili Tortum ilçesinde bulunan tarihi taş kemerli Kireçli köprüsü yaklaşık 100 yıllık geçmişe sahiptir. Tek açıklıklı sivri kemere sahip olan bu köprü sarı renkli taş işçiliğine sahiptir. Köprü, taşıyıcı kemer, yan duvarlar ve dolgu malzemesinden oluşmaktadır. Şekil 4.2’de köprünün görünüşü, boyuna ve enine kesitleri verilmektedir.



(a)

Şekil 4.2. (a) Tarihi taş kemerli Kireçli köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri



Şekil 4.2. (a) Tarihi taş kemerli Kireçli köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görünüşleri (devam)

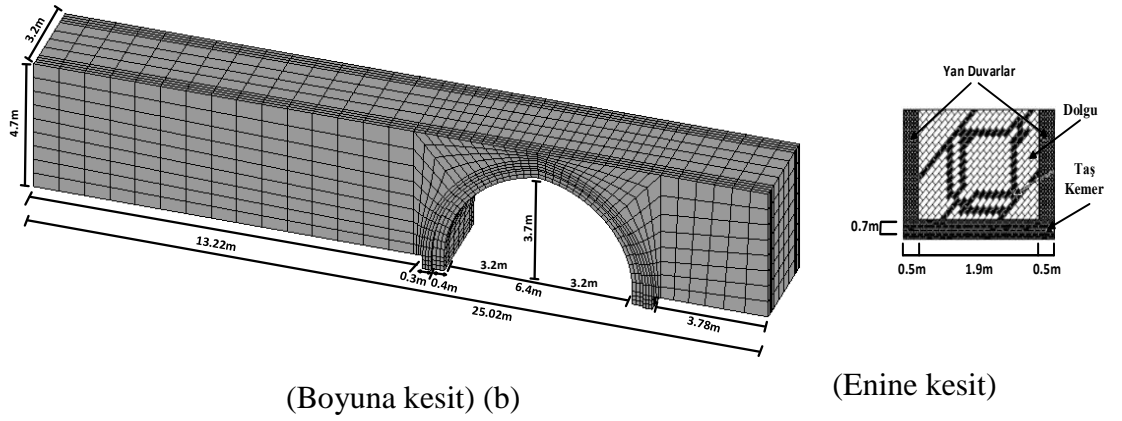
4.1.3. Kız köprüsü (Erzurum)

Erzurum ili ispir ilçesinde yer alan köprünün kitabesi olmamakla birlikte 17. yüzyılda yaptırılmış olduğu düşünülmektedir. Köprü restore edilmiştir. Kemer kısmında düzgün kesme taş kullanılmıştır. Sabit yarıçaplı tek açıklıklı köprü kemer, yan duvarlar, dolgu malzemesi ve korkuluklardan oluşmaktadır. Şekil 4.3’da köprünün görünüşü, boyuna ve enine kesitleri verilmektedir.



(a)

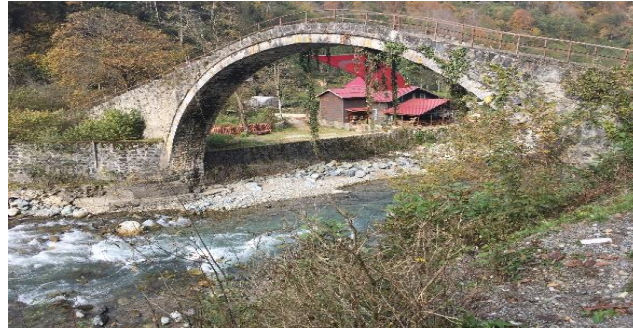
Şekil 4.3. (a) Tarihi taş kemerli Kız köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görünüşleri



Şekil 4.3. (a) Tarihi taş kemerli Kız köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri (devam)

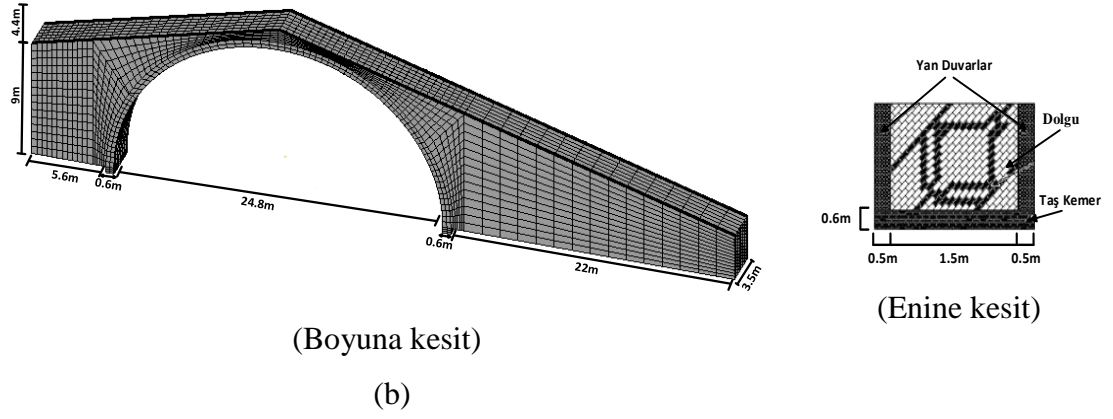
4.1.4. Şenyuva köprüsü (Rize)

Rize ilinin Çamlıhemşin ilçesindeki Fırtına Deresi üzerinde bulunan kemerli taş köprü 1696 yılında yapılmıştır. Köprü yapımında kesme taş ve moloz taş kullanılmıştır. Kemer kısmı düzenli taş örgülü, yan duvarlar ise düzenli moloz taş örgülüdür. Şekil 4.4'de köprünün görünüşü, boyuna ve enine kesitleri verilmektedir.



(a)

Şekil 4.4. (a) Tarihi taş kemerli Şenyuva köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri



Şekil 4.4. (a) Tarihi taş kemerli Şenyuva köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görünüşleri (devam)

4.1.5. Şinik şöprüsü (Trabzon)

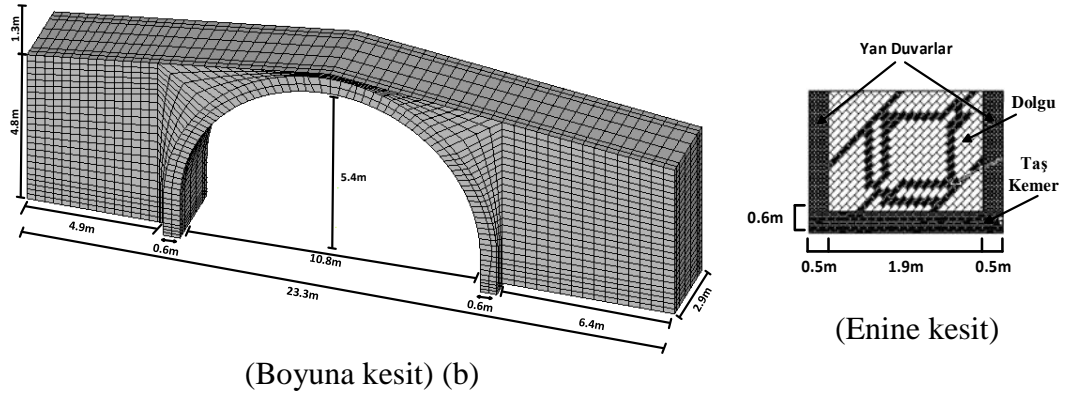
Trabzon ilinin Akçaabat ilçesinde bulunan Şinik Köprüsü bölgenin geleneksel kemer köprülerindedir. Kemer kısmı sarı renkli taş işçiliğine sahip olan köprünün üst kısmı kavislidir. Köprüyü oluşturan elemanlar kemer, yan duvarlar, dolgu malzemesi ve köprünün üst kısmında yer alan korkuluklardır. Şekil 4.5’de köprünün görünüşü, boyuna ve enine kesitleri verilmektedir.



(a)

Şekil 4.5. (a) Tarihi taş kemerli Şinik köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görünüşleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.5. (a) Tarihi taş kemerli Şinik köprüsü, (b) köprünün boyuna ve enine kesit görüntüleri (devam)

4.2. Köprülerde Kullanılan Malzeme Özellikleri

Kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi süreci çok uzun olduğu ve tezde araştırılan köprülerin tarihi değer niteliği taşıdığı dikkate alındığında yerinde ve laboratuvar ortamında yapılan çalışmaların yerine öncelikli olarak yapıyı oluşturan malzemelerin basınç dayanımlarının belirlenip sonrasında ise elastisite modül değerlerinin belirlenmesi yoluna gidilmiştir. Tezde değerlendirmeye alınan köprülerin modelinde kullanılan malzeme özellikleri Çizelge 4.1, Çizelge 4.2, Çizelge 4.3, Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5 ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Coşandere köprüsü modelinde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Kemer Taşı	3950	0,2	2350	5,43	0,03
Yan Duvarlar	3950	0,2	2350	5,43	1
Dolgu Malzemesi	1500	0,15	1600	-	-
Zemin Kayası	15000	0,2	2350	65	1

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.2. Kireçli köprüsü modelinde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Kemer Taşı	3000	0,2	2350	10	0,03
Yan Duvarlar	3000	0,2	2350	10	1
Dolgu Malzemesi	2000	0,15	1600	-	-
Zemin Kayası	15000	0,2	2350	65	1

Çizelge 4.3. Kız köprüsü modelinde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Kemer Taşı	1230	0,2	2350	4,4	0,03
Yan Duvarlar	1230	0,2	2350	4,4	1
Dolgu Malzemesi	1500	0,15	1600	-	-
Zemin Kayası	15000	0,2	2350	65	1

Çizelge 4.4. Şenyuva köprüsü modelinde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Kemer Taşı	900	0,2	2350	1,61	0,03
Yan Duvarlar	900	0,2	2350	1,61	1
Dolgu Malzemesi	1500	0,15	1600	-	-
Zemin Kayası	15000	0,2	2300	65	1

Çizelge 4.5. Şinik köprüsü modelinde kullanılan malzeme özellikleri

Malzeme Özellikleri	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
Kemer Taşı	820	0,2	2350	1,1	0,03
Yan Duvarlar	820	0,2	2350	1,1	1
Dolgu Malzemesi	1500	0,15	1600	-	-
Zemin Kayası	15000	0,2	2350	65	1

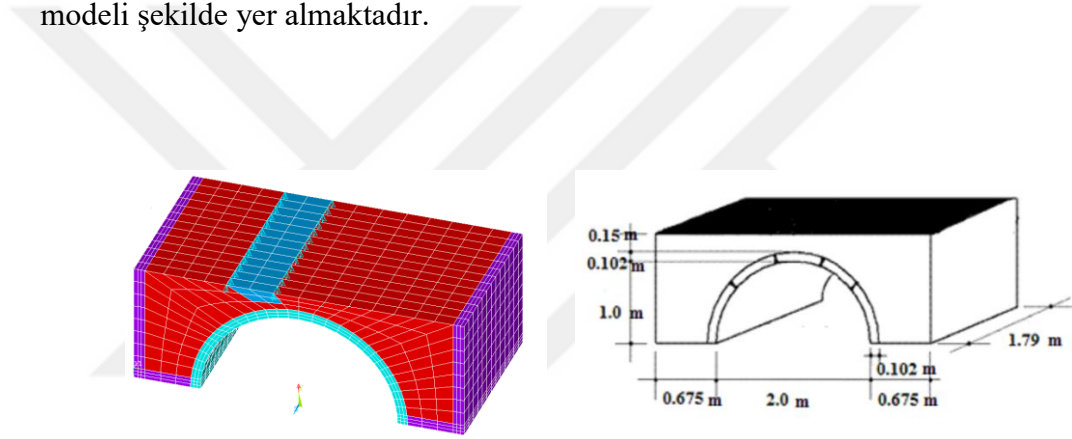
4.3. Deneysel Doğrulama

ANSYS sonlu eleman yazılımının yığma kemer köprülerde kullanılabilirliğini gösterebilmek için Thavalingam *et al.* (2001) tarafından test edilen deneysel kemer köprü

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

ANSYS v16.0 sonlu eleman yazılımı ile modellenerek elde edilen analitik sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır (Thavalingam *et al.* 2001). Çalışmada modeli oluşturulan kemer köprünün Şekil 4.6'da görüldüğü gibi sonlu eleman modeli oluşturulmuştur.

Örnek model 2 m kemer açıklığına ve 0,102 m kalınlığında taş kemere sahiptir. Model 4563 eleman kullanılarak oluşturulmuştur. Model oluşturulduktan sonra malzeme özellikleri dikkate alınarak deneysel çalışmada da olduğu üzere yükleme yapılacak yere çelik plaka yerleştirilmiştir. Daha sonra bu çelik plakanın uzunluğu boyunca karşılıklı iki tarafına yer değiştirme yükü uygulanmıştır. Deneysel köprü çalışmasına ait sonlu eleman modeli şekilde yer almaktadır.



Şekil 4.6. Deneysel köprü çalışmasına ait sonlu eleman modeli

Köprüün kemer kısmında harçla birlikte B sınıfı gri tuğlalar kullanılmıştır. Dolgu malzemesi olarak kurutulmuş, tane büyüklüğü 0,6 mm olan homojen silika kum kullanılmıştır. Yan duvarlarda ise ahşap malzeme kullanılmıştır. Ayrıca yükleme yapılırken yükleme plakası kullanılmıştır. Yığma köprüyü oluşturan tüm elemanlar (kemer taşı, dolgu malzemesi, yan duvarlar ve plaka) sekiz düğüm noktalarında x, y ve z eksenleri etrafında öteleme ve serbestlik derecesine sahip SOLID65 katı elemanı kullanılarak modellenmiştir. Kemerde bulunan farklı bölgelere kendilerine özgü mekanik malzeme özellikleri Çizelge 4.6'da görüldüğü gibi tanımlanmıştır. Dolgu malzemesinin doğrusal olmayan malzeme davranışı Drucker-Prager yöntemi kullanılarak tanımlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.6. Sonlu eleman analizi yapılan deneysel köprü çalışmasına ait malzeme özellikleri

Malzeme	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Elastisite Modülü (N/mm ²)	Poisson Oranı	Kohezyon Değeri (N/mm ²)	Sürtünme Açısı	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Çekme Dayanımı (N/mm ²)
Kemer Taşı	2200	1500	0,2	-	-	5	0,03
Yan Duvarlar ve Temel Kayası	2200	20000	0,2	-	-	5	1
Dolgu Malzemesi	1600	10	0,3	0,03	34°	-	-
Yükleme Plakası	-	200000	0,3	-	-	-	-

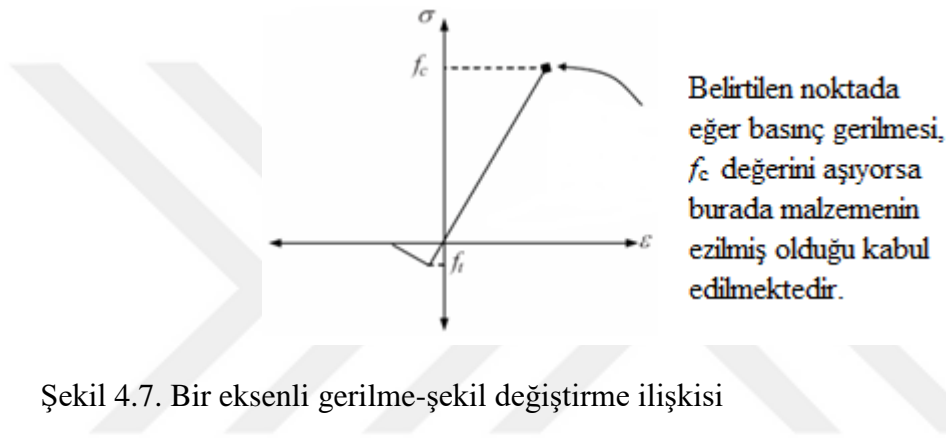
Yığılma yapının malzeme davranışının beton davranışıyla benzer özellikler gösterdiği varsayılarak, ANSYS'te sonlu eleman modeli oluşturulan köprünün malzeme özellikleri CONC (beton) malzeme modeli kullanılarak tanımlanmıştır. Beton malzemenin yüklemeye altındaki (bir eksenli, iki eksenli ve üç eksenli) davranışı oldukça karmaşıktır. Çatlama, ezilme, gerilme sertleşmesi, basınç azalması, aderans gibi beton davranışları doğrusal olmayan malzeme modeli ile verilmektedir. Betonun doğrusal olmayan davranışının iki önemli sebebi; donatının plastik davranışı ve betonun yük altında çatlamasıdır. Çekme çatlağı betonun rijitliğini azaltır ve genellikle, iki eksenli çekme - basınç gerilmeleri taşıyan duvar, panel veya perde gibi elemanlar bulunan betonarme yapının doğrusal olmayan davranışını büyük oranda etkiler. Bu tür yapılar için betonun çatlama davranışını doğru modellemek, hiç şüphesiz ki en büyük zorluklardan biridir.

ANSYS betonarme elemanların modellenmesinde kullanılmak üzere farklı malzeme özellikleri sunar. Programda Willam-Warnke (1975) ölçütü beş parametre SOLID65 elemanı ile kullanılmak üzere verilmektedir. Modelde, betonda ezilme oluşana kadar gerilme-şekil değiştirme arasında, doğrusal elastik bir ilişki olduğu kabul edilir. Plastisite yasası kullanılmaz ise, betonun şekil değiştirme kapasitesi düşük çıkmaktadır. Çünkü kırılma-ezilme yükü aşılana kadar beton, doğrusal olmayan bir davranış göstermektedir. ANSYS yazılımı, basınç altındaki betonarme elemanların böyle doğrusal olmayan davranışını yansıtabilecek birçok özelliği (kinematik ve izotropik plastisite) dikkate almaktadır. Drucker-Prager plastisite modeli (DP), Von-Mises tek eksenli (BISO) ve multi-doğrusal izotropik gerilme plastisitesinin (MISO) Willam-Warnke malzeme modelinin (CONC)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

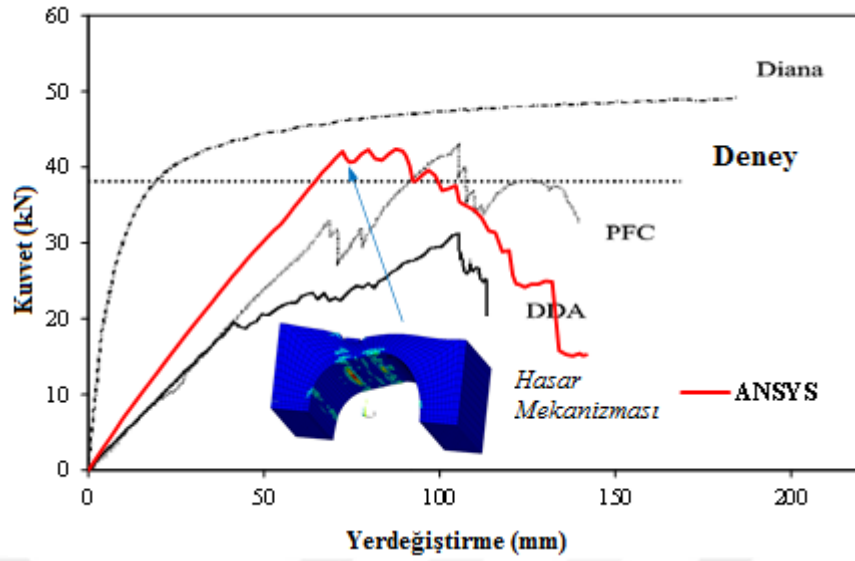
gerilme göçme kriteri ile birleştirilmiş halidir. Parantez içinde verilen notasyon ANSYS de kullanılan plastisite modellerini ifade etmek için kullanılır.

Eğer Willam-Warnke'nin göçme kriteri plastisite ilkesiyle birleştirilmemişse, betonun davranışı kırılma durumunda doğrusaldır ve kırılma gerilmesi güç kaybından dolayı ilk göçme yüzeyinde sonuçların sıfır olması ile rijitliğin azalmasına katkıda bulunarak eleman rijitliğini azaltır. Bir eksenli gerilme-şekil değiştirme ilişkisi Şekil 4.2'de verilmiştir (Kazaz vd. 2017).



Şekil 4.7. Bir eksenli gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

DeneySEL ve sonlu eleman analizlerinden elde edilen yük-yer değiştirme eğrileri Şekil 4.8'de görüldüğü gibi büyük oranda benzerlik göstermiştir. Thavalingam *et al.* (2001) tarafından 3 farklı hesaplama yöntemi kullanılarak elde edilen sonuçlarda grafikte gösterilmektedir. Elde edilen sonuçların güvenilirliğinden yola çıkılarak Türkiye'de bulunan tarihi köprülerin katı modelleri oluşturulmuş ve sonlu eleman analizleri yapılmıştır.

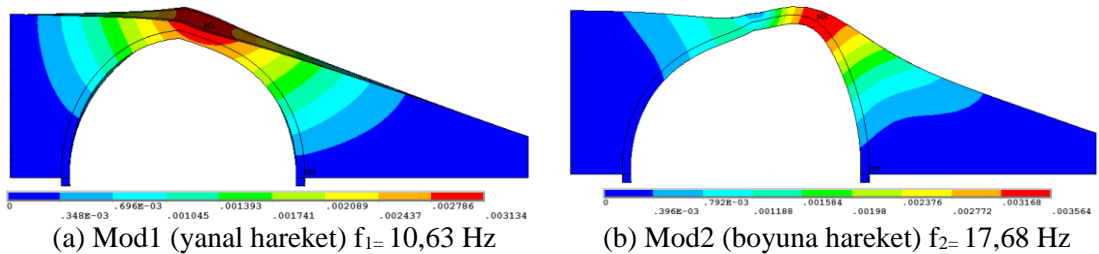


Şekil 4.8. Karşılaştırmalı yük-yer değiştirme grafiği

4.4. Köprülerin Modal Analiz Sonuçları

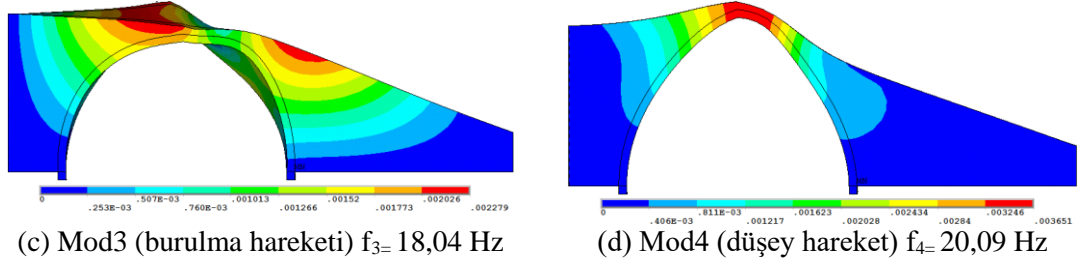
4.4.1. Coşandere köprüsü

Sonlu elemanlar modelinden elde edilen verilerin asıl davranışı doğru bir şekilde yansıtılabileceğini göstermek için, önce modelin çalışıp çalışmadığının doğrulanması gerekir. Modal analiz ilk önce sayısal modelin çalıştığını kontrol etmek, genel titreşim frekanslarını ve köprünün mod şekillerini belirlemek için gerçekleştirilmiştir. Yapının sonlu elemanlar analizi sonucu oluşan sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü mod şekilleri Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. Coşandere köprüsüne ait mod şekilleri

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.9. Coşandere köprüsüne ait mod şekilleri (devam)

Modal analizden elde edilen köprünün modlarına ait 5 adet frekans değeri Çizelge 4.7’de verilmiştir. Yine Çizelge 4.7’de yapıya ait periyotlar ve kütle katılım oranları verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; birinci mod periyodu 0,09404 sn, ikinci mod periyodu 0,05657 sn, üçüncü mod periyotunun 0,05543 sn, dördüncü mod periyotunun ise 0,04977 sn olduğu görülmektedir. Yığma yapıların salınım periyotlarının küçük olduğu (0,05-0,20) düşünüldüğünde, elde edilen değerlerin tutarlı olduğu görülmektedir (Çöğürücü vd 2007).

Çizelge 4.7. Coşandere köprüsüne ait modal analizden elde edilen modlara ait 4 adet frekans değeri, periyotlar ve kütle katılım oranları

Mod	Frekans Değeri (f)	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranı					
			X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X Yönü Dönme	Y Yönü Dönme	Z Yönü Dönme
1	10,63	0,09404	0,00	0,00	0,35	0,53	0,02	0,00
2	17,68	0,05657	0,17	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
3	18,04	0,05543	0,00	0,00	0,02	0,01	0,21	0,00
4	20,09	0,04977	0,02	0,22	0,00	0,03	0,00	0,00

Kütle katılım oranlarına bakarak ta mod şekillerinin nasıl olması gerektiğini söylemek mümkün olmaktadır. Yukarıdaki Çizelge incelendiği zaman birinci mod için X yönü kütle katılım oranı 0,00, Y yönü kütle katılım oranı aynı şekilde 0,00 olduğu ve son olarak Z yönüne bakacak olursak kütle katılım oranının %35,0 olduğu görülmektedir. Ve dolayısıyla köprüde, Z yönünde yanal hareket meydana gelmiştir. Diğer mod şekilleri de incelendiğinde aynı şeyin söz konusu olduğu söylenebilir.

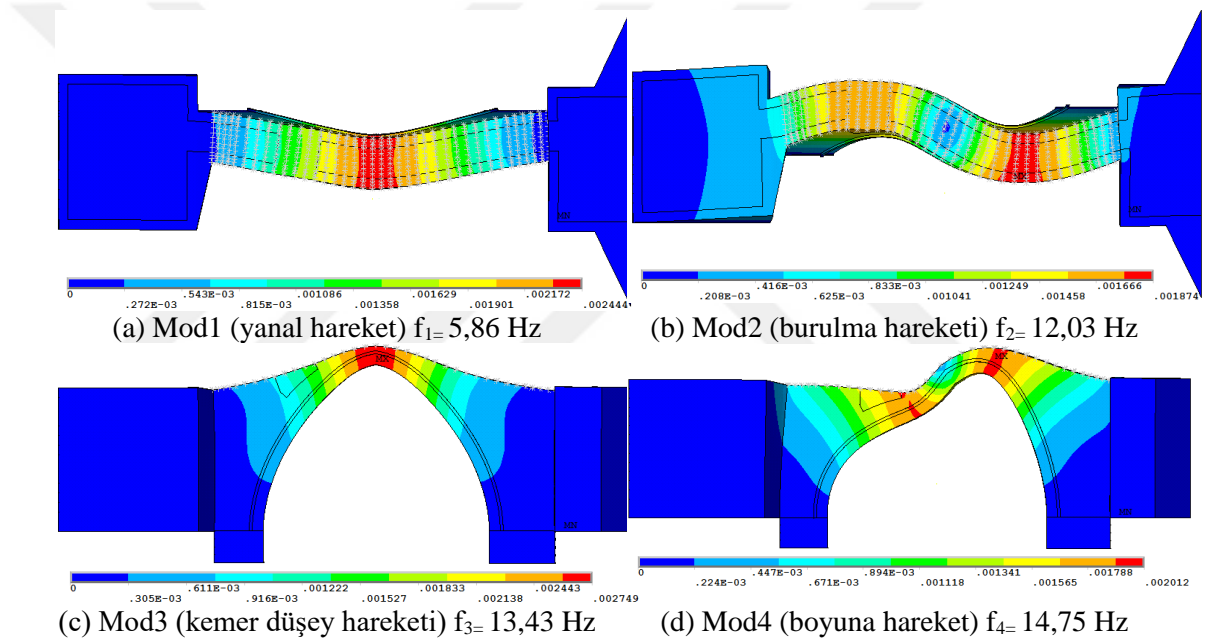
Yapının toplam ağırlığı 1194 t’dur. Doğu (modele göre X yönü) yönünde uygulanan deprem etkisi altında toplam kütle katılım miktarı 226 t, modele göre dik (modele göre Y yönü) doğrultuda uygulanan deprem etkisi altındaki toplam kütle katılım miktarı 286 t,

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

ve son olarak güney (modele göre Z yönü) doğrultuda 441 t olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre yapının maruz kaldığı kütle katılım oranları, X, Y ve Z yönünde toplam ağırlığının sırasıyla %19'una, %24'üne ve %37'sine karşılık geldiği görülmüştür. Kütle katılım oranlarına göre en büyük katılımın Z yönünde olduğu görülmüştür.

4.4.2. Kireçli köprüsü

Yapının sonlu elemanlar analizi sonucu oluşan sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü mod şekilleri Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Kireçli köprüsüne ait mod şekilleri

Modal analizden elde edilen köprü'nün modlarına ait 4 adet frekans değeri Çizelge 4.8'de verilmiştir. Yine Çizelge 4.8'de yapıya ait periyotlar ve kütle katılım oranları verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; birinci mod periyodu 0,17077 sn, ikinci mod periyodu 0,08314 sn, üçüncü mod periyodunun 0,07450 sn, dördüncü mod periyodunun ise 0,06779 sn olduğu görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.8. Kireçli köprüsüne ait modal analizden elde edilen modlara ait 4 adet frekans değeri, periyotlar ve kütle katılım oranları

Mod	Frekans Değeri (f)	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranı					
			X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X Yönü Dönme	Y Yönü Dönme	Z Yönü Dönme
1	5,86	0,17077	0,00	0,00	0,15	0,18	0,00	0,00
2	12,03	0,08314	0,00	0,00	0,01	0,01	0,07	0,00
3	13,42	0,07450	0,00	0,11	0,00	0,05	0,00	0,00
4	14,75	0,06779	0,11	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01

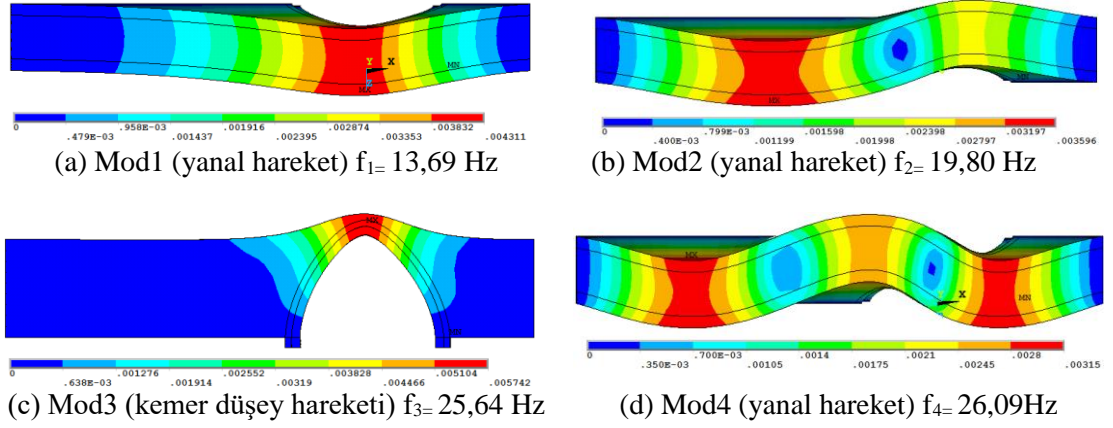
Yukarıdaki Çizelge incelendiği zaman birinci mod için X yönü kütle katılım oranı 0,00, Y yönü kütle katılım oranı aynı şekilde 0,00 olduğu ve son olarak Z yönüne bakacak olursak kütle katılım oranının %15 olduğu görülmektedir. Dolayısıyla köprü Z yönünde hareket ederek yanal hareket meydana gelmiştir.

Yapının toplam ağırlığı 4038 t'dur. Batı (modele göre X yönü) yönünde uygulanan deprem etkisi altında meydana gelen toplam kütle katılım miktarı 444 t, modele göre dik (modele göre Y yönü) doğrultuda uygulanan deprem etkisi altındaki toplam kütle katılım miktarı 444 t, ve son olarak kuzey (modele göre Z yönü) doğrultuda 1534 t olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre yapının maruz kaldığı kütle katılım oranları, X, Y ve Z yönünde toplam ağırlığının sırasıyla %11, %11 ve %16'sına karşılık geldiği görülmüştür. Kütle katılım oranlarına göre en büyük katılımın Z yönünde olduğu görülmüştür.

4.4.3. Kız köprüsü

Yapının sonlu elemanlar analizi sonucu oluşan sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü mod şekilleri Şekil 4.11'de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.11. Kız köprüsüne ait mod şekilleri

Modal analizden elde edilen köprünün modlarına ait 5 adet frekans değeri Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Yine Çizelge 4.9’da yapıya ait periyotlar ve kütle katılım oranları verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; birinci mod periyodu 0,07305 sn, ikinci mod periyodu 0,05052 sn, üçüncü mod periyodunun 0,03901 sn, dördüncü mod periyodunun ise 0,03833 sn olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9. Kız köprüsüne ait modal analizden elde edilen modlara ait 4 adet frekans değerleri, periyotlar ve kütle katılım oranları

Mod	Frekans Değeri (f)	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranı					
			X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X Yönü Dönme	Y Yönü Dönme	Z Yönü Dönme
1	13,69	0,07305	0,00	0,00	0,34	0,43	0,02	0,00
2	19,80	0,05052	0,00	0,00	0,08	0,10	0,27	0,00
3	25,64	0,03901	0,01	0,16	0,00	0,03	0,00	0,00
4	26,09	0,03833	0,00	0,00	0,10	0,12	0,05	0,00

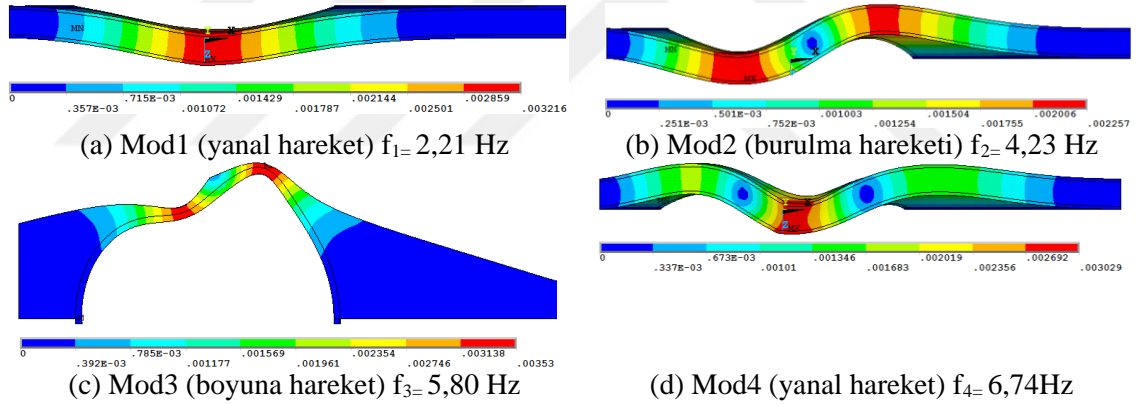
Yukarıdaki Çizelge incelendiği zaman birinci mod için X yönü kütle katılım oranı 0,00, Y yönü kütle katılım oranı aynı şekilde 0,00 olduğu ve son olarak Z yönüne bakacak olursak kütle katılım oranının %34 olduğu görülmektedir. Ve dolayısıyla köprü Z yönünde hareket ederek yanal hareket meydana gelmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yapının toplam ağırlığı 6064 t'dur. Batı (modele göre X yönü) yönünde uygulanan deprem etkisi altında meydana gelen toplam kütle katılım miktarı 60 t, modele göre dik (modele göre Y yönü) doğrultuda uygulanan deprem etkisi altındaki toplam kütle katılım miktarı 970 t ve son olarak güney (modele göre Z yönü) doğrultuda 3153 t olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre yapının maruz kaldığı kütle katılım oranları, X, Y ve Z yönünde toplam ağırlığının sırasıyla %1'ine, %16'sına ve %52'sine karşılık geldiği görülmüştür. Kütle katılım oranlarına göre en büyük katılımın Z yönünde olduğu görülmüştür.

4.4.4. Şenyuva köprüsü

Yapının sonlu elemanlar analizi sonucu oluşan sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü mod şekilleri Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12. Şenyuva köprüsüne ait mod şekilleri

Modal analizden elde edilen köprünün modlarına ait 4 adet frekans değeri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Yine Çizelge 4.10'da yapıya ait periyotlar ve kütle katılım oranları verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; birinci mod periyodu 0,45215 sn, ikinci mod periyodu 0,23635 sn, üçüncü mod periyotunun 0,17233 sn, dördüncü mod periyotunun ise 0,14843 sn olduğu görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.10. Şenyuva köprüsüne ait modal analizden elde edilen modlara ait 4 adet frekans değerleri, periyotlar ve kütle katılım oranları

Mod	Frekans Değeri (f)	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranı					
			X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X Yönü Dönme	Y Yönü Dönme	Z Yönü Dönme
1	2,21	0,45215	0,00	0,00	0,26	0,61	0,01	0,00
2	4,23	0,23635	0,00	0,00	0,01	0,01	0,15	0,00
3	5,80	0,17233	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	6,74	0,14843	0,00	0,00	0,21	0,20	0,02	0,00

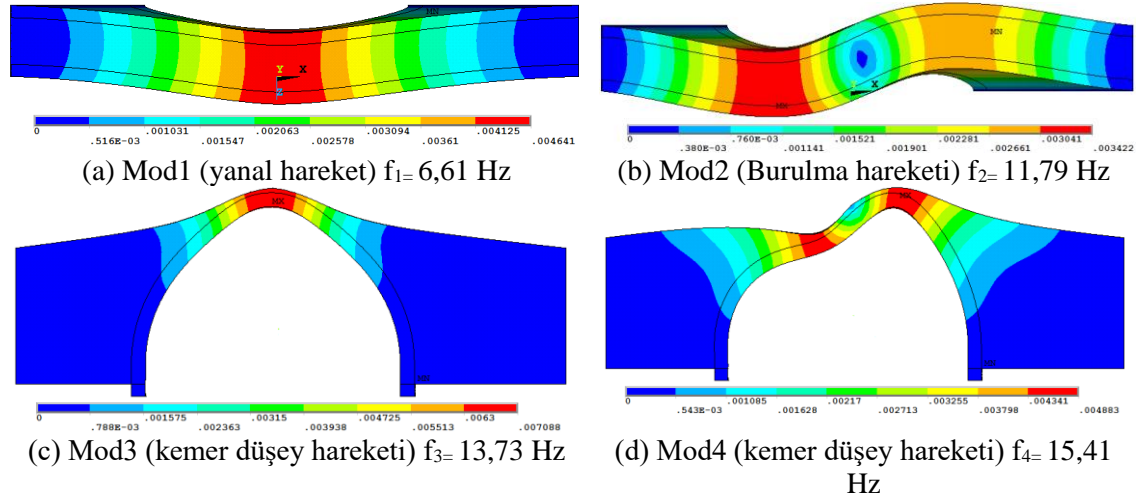
Çizelge 4.10 incelendiği zaman birinci mod için X yönü kütle katılım oranı 0,00, Y yönü kütle katılım oranı aynı şekilde 0,00 olduğu ve son olarak Z yönüne bakacak olursak kütle katılım oranının %26 olduğu görülmektedir. Ve dolayısıyla köprü Z yönünde hareket ederek yanal hareket meydana gelmiştir.

Yapının toplam ağırlığı 1501 t'dur. Doğu (modele göre X yönü) yönünde uygulanan deprem etkisi altında meydana gelen toplam kütle katılım miktarı 90 t, modele göre dik (modele göre Y yönü) doğrultuda uygulanan deprem etkisi altındaki toplam kütle katılım miktarı 1098 t, ve son olarak güney (modele göre Z yönü) doğrultuda 720 t olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre yapının maruz kaldığı kütle katılım oranları, X, Y ve Z yönünde toplam ağırlığının sırasıyla %6'sına, %0'ına ve %48'ine karşılık geldiği görülmüştür. Kütle katılım oranlarına göre en büyük katılımın Z yönünde olduğu görülmüştür.

4.4.5. Şinik köprüsü

Yapının sonlu elemanlar analizi sonucu oluşan sırasıyla birinci, ikinci, üçüncü ve dördüncü mod şekilleri Şekil 4.13'de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.13. Şinik köprüsüne ait mod şekilleri

Modal analizden elde edilen köprünün modlarına ait 4 adet frekans değeri Çizelge 4.11’de verilmiştir. Yine Çizelge 4.11’de yapıya ait periyotlar ve kütle katılım oranları verilmiştir. Çizelge incelendiğinde; birinci mod periyodu 0,15130 sn, ikinci mod periyodu 0,08484 sn, üçüncü mod periyodunun 0,07284 sn, dördüncü mod periyodunun ise 0,06488 sn olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.11. Şinik köprüsüne ait modal analizden elde edilen modlara ait 4 adet frekans değerleri, periyotlar ve kütle katılım oranları

Mod	Frakans Değeri (f)	Periyot (sn)	Kütle Katılım Oranı					
			X Yönü	Y Yönü	Z Yönü	X Yönü Dönme	Y Yönü Dönme	Z Yönü Dönme
1	6,61	0,15130	0,00	0,00	0,35	0,55	0,01	0,00
2	11,79	0,08484	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00
3	13,73	0,07284	0,00	0,14	0,00	0,02	0,00	0,00
4	15,41	0,06488	0,09	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00

Yukarıdaki Çizelge incelendiği zaman birinci mod için X yönü kütle katılım oranı 0,00, Y yönü kütle katılım oranı aynı şekilde 0,00 olduğu ve son olarak Z yönüne bakacak olursak kütle katılım oranının %35 olduğu görülmektedir. Ve dolayısıyla köprü Z yönünde hareket ederek yanal hareket meydana gelmiştir.

Yapının toplam ağırlığı 5324 t’dur. Batı (modele göre X yönü) doğrultusunda uygulanan deprem etkisi altında meydana gelen toplam kütle katılım miktarı 479 t, modele göre dik

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

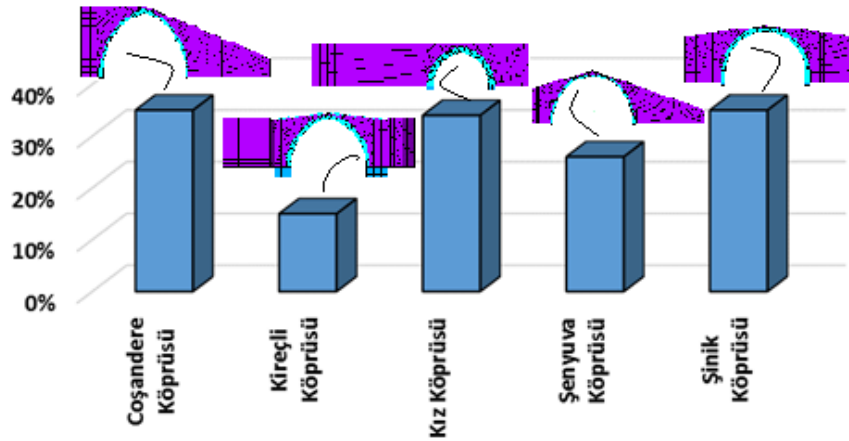
(modele göre Y yönü) doğrultuda uygulanan deprem etkisi altındaki toplam kütle katılım miktarı 745 t, ve son olarak güney (modele göre Z yönü) doğrultuda 1863 t olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre yapının maruz kaldığı kütle katılım oranları, X, Y ve Z yönünde toplam ağırlığının sırasıyla %9'una, %14'üne ve %35'ine karşılık geldiği görülmüştür. Kütle katılım oranlarına göre en büyük katılımın Z yönünde olduğu görülmüştür.

Köprülerin modal analizleri incelendiğinde birinci mod şekillerinin yanal hareket olduğu görülmektedir. İkinci mod şekillerinin ağırlıklı olarak burulma hareketi olduğu gözlemlenmiştir. Üçüncü mod şekillerinin ise ağırlıklı olarak kemer düşey hareketi olduğu görülmektedir. Köprülerin modal analiz sonucu elde edilen doğal frekansları incelendiğinde, birinci frekansın 2,2-13,7 Hz aralığında, ikinci frekansın 4,2-19,8 Hz ve üçüncü frekansın 5,8-25,6 Hz aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bütün köprüler dikkate alındığında en büyük kütle katılım oranının Z yönünde olduğu görülmektedir.

4.4.6. Modal analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Yapıların 1'inci mod frekansları ve performans analizlerinden elde edilen sönüm oranları karşılaştırıldığında ters ilişkili bir bağıntı olduğu belirlenmiştir. Frekans değeri düşük olan Şenyuva köprüsünün sönüm oranının yüksek olduğu, Kız köprüsünün ise aksine frekans değeri yüksek ve sönüm oranı düşük çıkmıştır.

Modal analiz sonuçları incelendiğinde genel olarak bütün köprülerde baskın modun 1'inci mod olduğu ve köprülerin 1'inci modal davranışlarında yalnızca Z yönünde kütle katılımının olduğu görülmektedir. Şekilde gerçekleştirilen modal analizlerin 1'inci modlarına ait köprülerin Z yönünde kütle katılım oranları verilmektedir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Köprülerin 1'inci modlarına ait Z yönünde kütle katılım oranları

Köprülerin modal analizleri incelendiğinde birinci mod şekillerinin yanal hareket olduğu görülmektedir. İkinci mod şekillerinin ağırlıklı olarak burulma hareketi olduğu gözlemlenmiştir. Üçüncü mod şekillerinin ise ağırlıklı olarak kemer düşey hareketi olduğu görülmektedir. Z yönünde kütle katılım oranı en düşük Kireçli köprüsünde olmuştur. Bunun nedeni ise, köprülerin mesnet koşulları göz önüne alındığında titreşim altında yalnızca köprülerin ana gövdelerinin hareket etmesidir. Dolgu bloklar sabit kalmaktadır. Köprülerin bütünü incelendiğinde, Kireçli köprüsü diğer köprülere nazaran daha ağır dolgu bloklardan oluşmaktadır. Dolayısıyla kütle katılım oranı düşük çıkmaktadır. Köprülerin modal analiz sonucu elde edilen doğal frekansları incelendiğinde, birinci frekansın 2,2-13,7 Hz aralığında, ikinci frekansın 4,2-19,8 Hz ve üçüncü frekansın 5,8-25,6 Hz aralığında değiştiği belirlenmiştir. Bütün köprüler dikkate alındığında en büyük kütle katılım oranının Z yönünde olduğu görülmektedir. Rijit kabul edilen Kız, Şinik ve Coşandere köprülerinin frekans değerlerinin yüksek olduğu, narin bir yapı olan Şenyuva köprüsünün frekans aralığının ise düşük olduğunu görülmektedir. Yapılan bir çalışmada köprülerin kemer açıklığı, köprü toplam uzunluğu, kemer yüksekliği ve köprü toplam yüksekliği parametrelerine bağlı olarak yığma köprülerin formüle dayalı 1'inci, 2'inci ve 3'üncü modlarına ait frekans hesaplaması yapılmıştır. Elde edilen formül ile yaptıkları çalışmada %5-8 arasında değişen hata oranıyla yaklaşık olarak frekans değerleri elde etmişlerdir (Çoruhlu vd. 2017). Burada 'h' kemer yüksekliğini, 'H' köprü yüksekliğini, 'l' kemer açıklığını ve 'L' ise Toplam köprü uzunluğunu temsil etmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

$$f_1 = 35,289382 - 2,23815 * h + 0,969321 * H - 0,52579 * l - 0,23352 * L \quad (4.1)$$

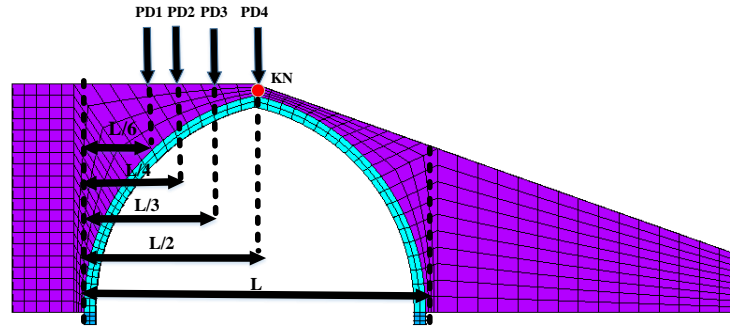
Coşandere köprüsünün birinci moduna ait frekans değeri yukarıda belirtilen formül ile hesaplanmış olup, hata oranı %0 olarak elde edilmiştir. Hesaplama diğer köprüler için de yapılmış ancak %10'dan fazla hata oranı çıkmıştır.

4.5. Statik İtme (Pushover) Analizleri

Düşey yönde gerçekleştirilen statik itme analizlerinde 4 farklı bölgeden yükleme yapılmıştır. Yükleme yapılan bölgelere çelik plakalar konularak yükleme gerçekleştirilmiştir (PD1, PD2, PD3 ve PD4). Yatay yönde gerçekleştirilen statik itme analizlerinde ise 3 farklı bölgeden yükleme yapılmıştır (PY1, PY2 ve PY3).

4.5.1. Coşandere köprüsü düşey ve yatay itme analizleri

4.5.1.1. Düşey itme analizi

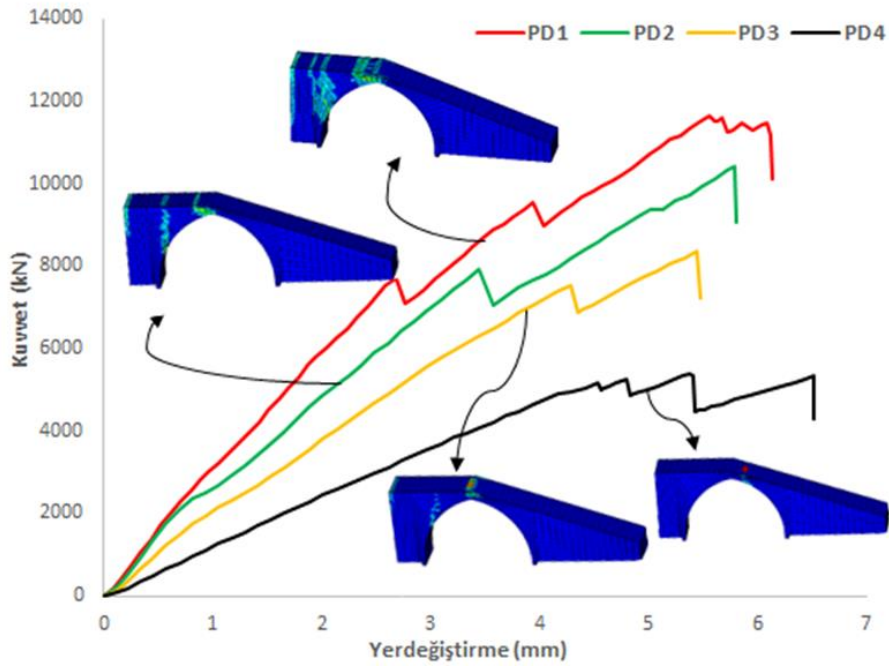


Şekil 4.15. Coşandere köprüsünün sonlu elemanlar modeli ve düşey yönde statik analizler için yük uygulama yerleri

Köprünün düşey yönde yük kapasitesini hesaplamak için, PD1, PD2, PD3 ve PD4 yükleri, kemerin açıklığı boyunca düşey yönde sırasıyla L/6, L/4, L/3 ve orta noktasında yer değiştirme yüklemesi olarak uygulanmıştır (Şekil 4.15). Düşey yer değiştirmeler tepe noktasına (KN) göre hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

PD1, PD2, PD3 ve PD4 yükleri kemer açıklığının mansap tarafına göre batı kısımdaki kemer açıklığına uygulanmıştır. Hesaplanan kuvvet-yer değiştirme tepkileri Şekil 4.16'da gösterilmiştir. PD4 yüklemesi altında (tepe yükü) kemerin yük kapasitesi, grafiğe göre 6,52 mm yer değiştirmeye karşı 5320,4 kN olarak hesaplanmıştır. Düşey yükleme altında gerilmelerin en fazla yoğunlaştığı bölgeler, genelde köprü üzerinde yükün uygulandığı bölgelerdir. Köprünün düşey yönde yük kapasitesine ulaştıktan sonra bu bölgelerde mafsalsal ezilme, çatlama ve bunlara bağlı olarak elemanlarda ayrılma gerçekleşir. Son olarak, kemerde göçme gözlenmiştir. PD3 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 8358,9 kN, en büyük yer değiştirme ise 5,44 mm'dir. PD2 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 10418,9 kN, en büyük yer değiştirme 5,78 mm'dir. Son olarak, PD1 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 11519,5 kN olarak hesaplanırken, en büyük yer değiştirme 6,14 mm'dir.



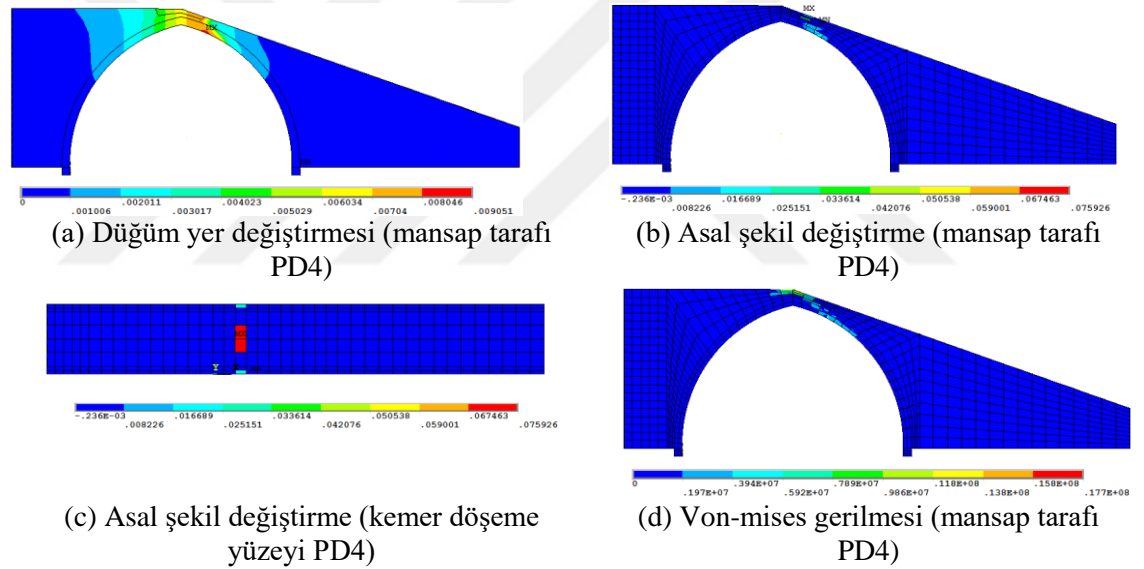
Şekil 4.16. Coşandere köprüsünün düşey yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği

En büyük yer değiştirme PD4 yüklemesinde olup en büyük kuvvet ise PD1 yüklemesinde. En zayıf yükleme tipi köprünün taç kısmından uygulanan PD4 yüklemesidir. Düşey yükler altında en çok zorlanan kısımlar, yükün uygulandığı bölgelerdir. Başlangıçta, kemer mafsalsal içermez. Mafsalların oluşumu ve ayrılmalarına yol

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

açan tamamlayıcı çatlakların yayılması, çekme dayanımının yüklemeye noktasının altına ulaştığı konumda belirir. Son olarak, mafsalların oluşumu nedeniyle, kemer düşey yüklemeye altında başarısız olmaktadır. Bu mekanizmalar, kemerler için en olası göçme mekanizması olarak düşünülebilir.

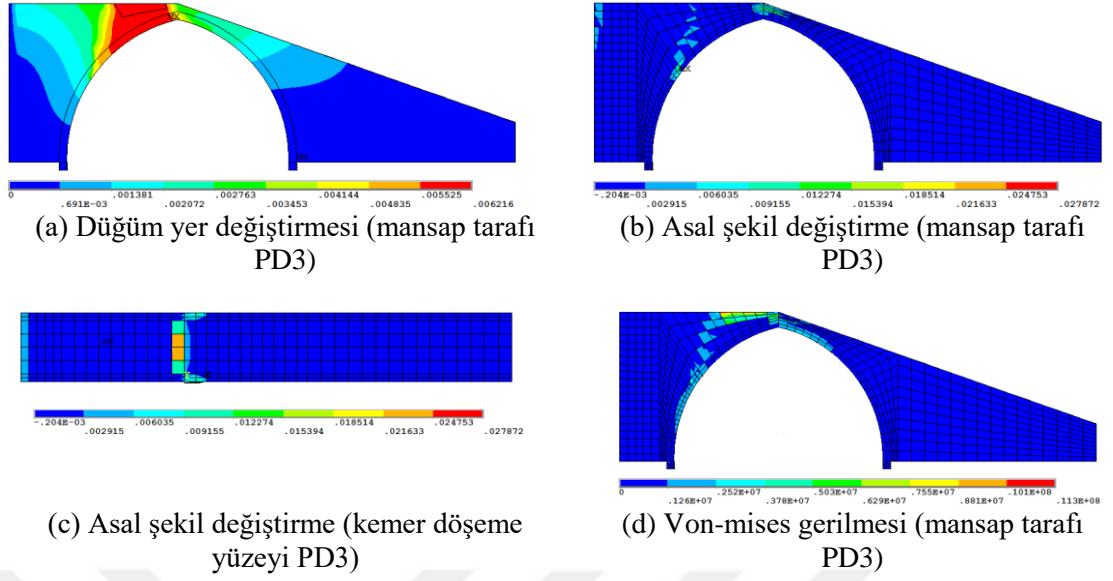
En büyük göçme kuvvetinin P1 yüklemesinden elde edilmesinin nedeni taşıyıcı ayağa çok yakın bir yüklemeye yapılmasından dolayıdır. Genel olarak en büyük göçme yükü kemer açıklığının dörtte birlik kısmında (quarter-point) uygulanan PD2 yüklemesiyle oluşması beklenir. Coşandere köprüsü için gerçekleştirilen düşey itme analizinde de en uygun yüklemeye PD2 yüklemesi olduğu belirlenmiştir. PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.17’de verilmiştir.



Şekil 4.17. Coşandere köprüsünün PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

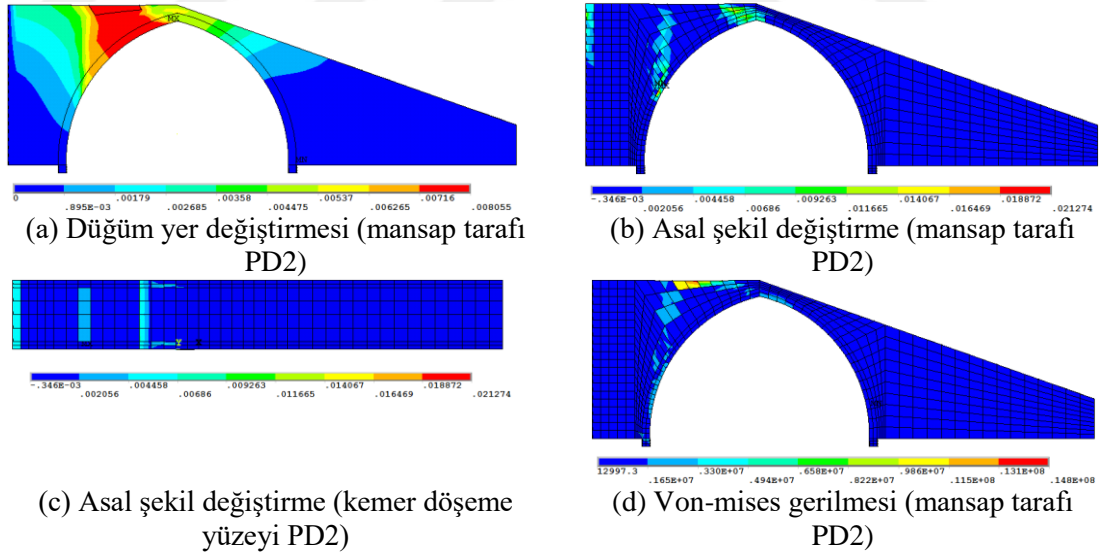
PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.18’de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.18. Coşandere köprüsünün PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

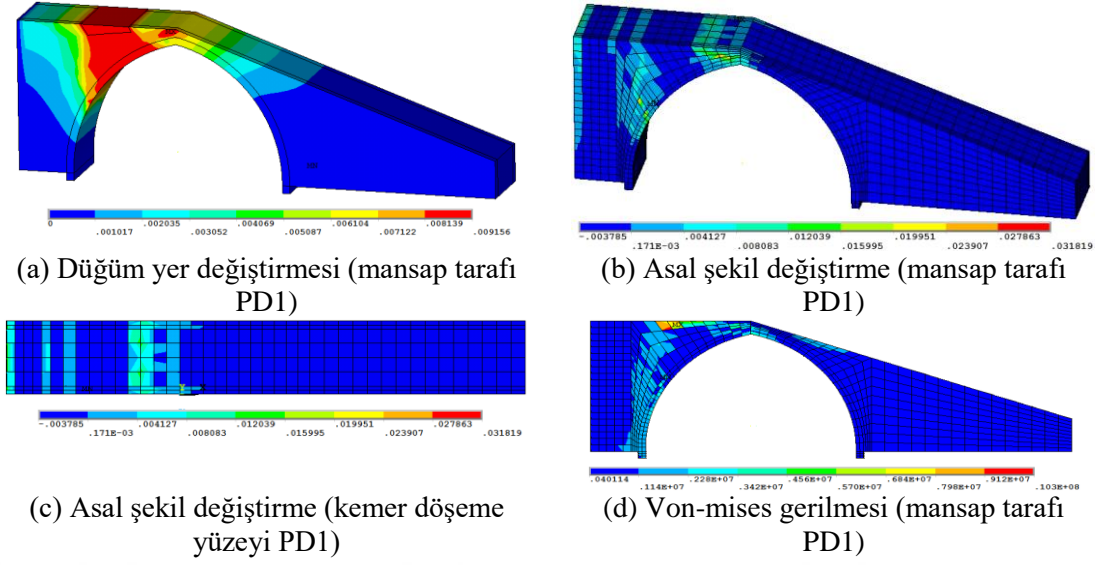
PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.19’da verilmiştir.



Şekil 4.19. Coşandere köprüsünün PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.20’de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Őekil 4.20. Coőandere kōprūřunūn PD1 yūklemesi altında gōçme mekanizmasını gōsteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

Çekme gerilmelerinin yūkleme yapılan bōğelerde bazı dūęüm noktalarında taőın çekme dayanımını aőtıęı belirlenmiřtir. Çizelge 4.12’de yūklemelere ait en būyūk çekme gerilmeleri verilmiřtir.

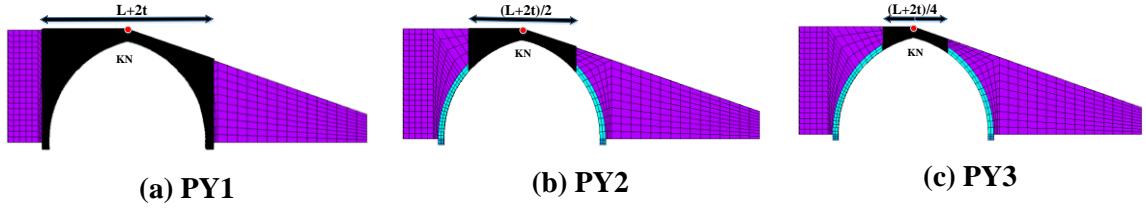
Çizelge 4.12. Coőandere kōprūřünde dūőey doęrultuda yūklemelere ait en būyūk çekme gerilmeleri

Yūkleme adı	Kuvvet (kPa)	Çekme gerilmesinin en būyūk olduęu dūęüm noktaları
PD1	3,181	466 yūkleme bōğesi
PD2	2,127	1311 yūkleme bōğesi
PD3	2,787	1311 yūkleme bōğesi
PD4	7,592	1239 yūkleme bōğesi

4.5.1.2. Yatay itme analizi

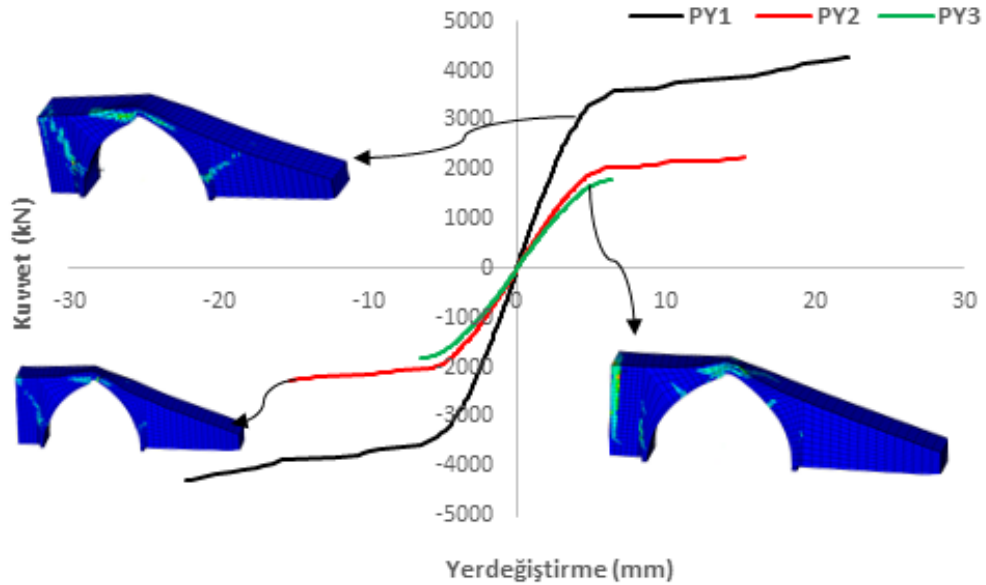
Kōprūnün yatay yūk kapasitesini hesaplamak için, Őekilde gōsterildięi gibi, kemer orta kısmının yan yūzünde $L / 4$, $L / 2$ ve L geniřlięindeki bōğelerine PY yūklemesi olarak adlandırılan ũç farklı yanal yūk modeli uygulanmıřtır. Referans yer deęiřtirme kontrol noktası Őekil 4.21’de gōsterilmiřtir. Dinamik analizlerden elde edilen histeretik eęriler, kemer ana gōvdesi olarak belirlenen ve PY1 yūklemesinde yūklerin uygulandıęı $L+2t$ bōğesinden elde edilmiřtir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.21. Coşandere köprüsünün yatay yükleme durumu ve tepe kontrol noktası (KN)

Bu yük modellerinin uygulanmasıyla hesaplanan kuvvet-yer değiştirme eğrileri, Şekil 4.22'de gösterildiği gibidir. Grafikte görüldüğü gibi, PY1 yüklemesinde kemerin yanal dayanım kapasitesi 4286,7 kN, en büyük yer değiştirme 22,2 mm'dir. PY2 durumunda, kemerin yanal dayanım kapasitesi 2430 kN'a ulaşırken, en büyük yer değiştirme 55,1 mm'dir. PY3 yüklemesinde, kemerin yanal dayanım kapasitesi 1886 kN'a ulaşırken, en büyük yer değiştirme 38,8 mm'dir.

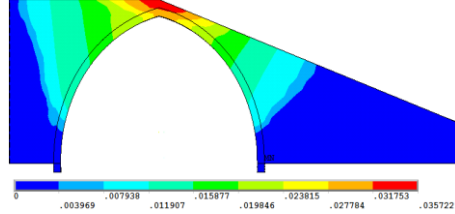


Şekil 4.22. Coşandere köprüsünün yatay yönde statik yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği

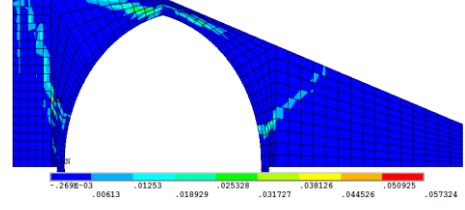
PY1 yüklemesinde çatlaklar, kemer eğrisinin her iki tarafında başlamış ve çapraz olarak üst destek bölgesine kadar uzanmıştır. Yükleme alanı daralırken, çatlak düzeni de değişmiştir. PY2 yüklemesinde kemer ucundan başlayıp destek bölgesine kadar uzanan bir çatlak gelişmiştir. PY3 yüklemesinde ise kemer eğrisinin her iki üst bölgesinde çatlaklar oluşmuştur. Diğer yüklemelere nazaran destek bölgesi daha çok zorlanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

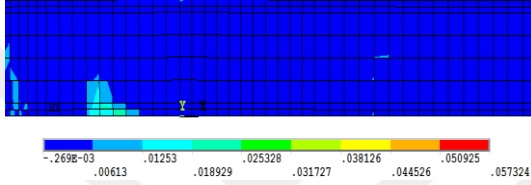
Ayrıca her yükleme için, yükleme alanına bağlı olarak taç bölgesinde çatlak boylarında artma ya da azalmalar gözlemlenmiştir. PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.23’de yer almaktadır.



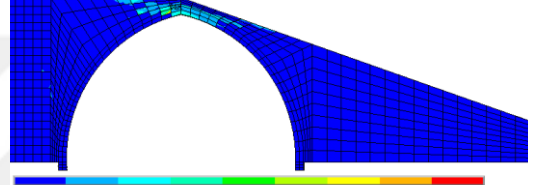
(a) Düğüm yer değişikliği (mansap tarafı PY1)



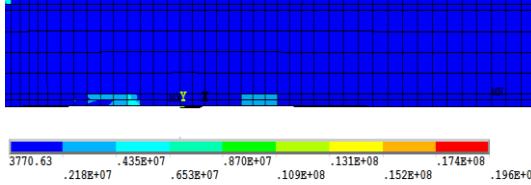
(b) Asıl şekil değişikliği (mansap tarafı PY1)



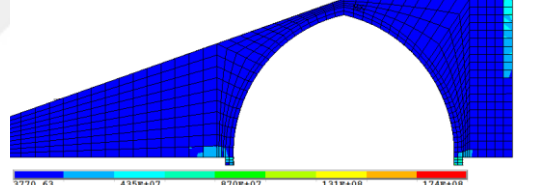
(c) Asıl şekil değişikliği (kemer döşeme yüzeyi PY1)



(d) Von-mises gerilmesi (mansap tarafı PY1)



(e) Von-mises gerilmesi (kemer döşeme yüzeyi PY1)

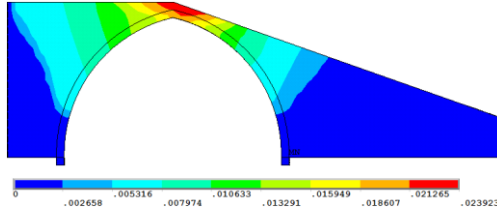


(f) Von-mises gerilmesi (membra tarafı PY1)

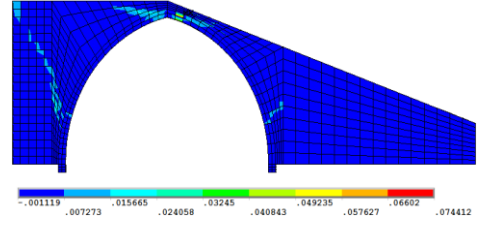
Şekil 4.23. Coşandere köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.24’de yer almaktadır.

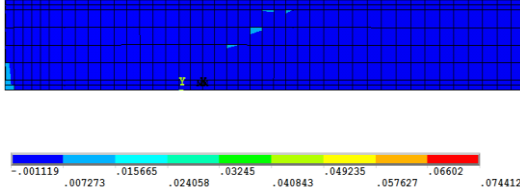
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



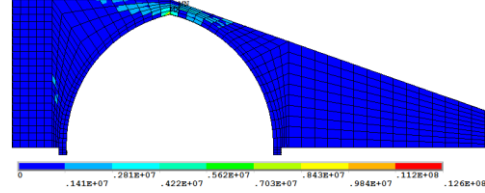
(a) Düğüm yer değiştirmesi (mansap tarafı PY2)



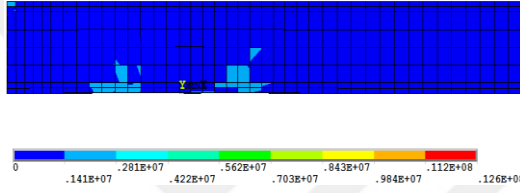
(b) Asal Şekil değiştirme (mansap tarafı PY2)



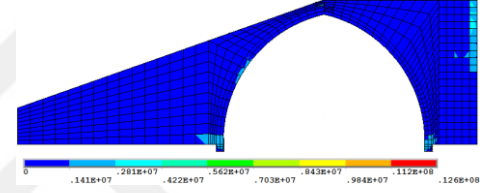
(c) Asal Şekil değiştirme (kemer döşeme yüzeyi PY2)



(d) Von-mises gerilmesi (mansap tarafı PY2)



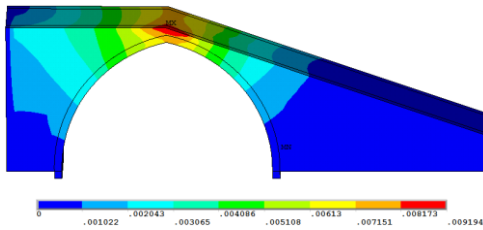
(e) Von-mises gerilmesi (kemer döşeme yüzeyi PY2)



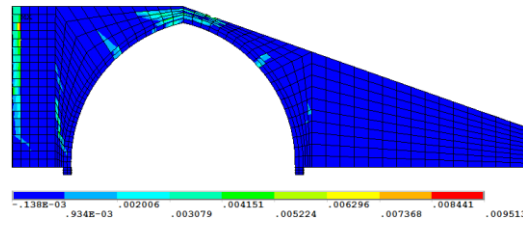
(f) Von-mises gerilmesi (membra tarafı PY2)

Şekil 4.24. Coşandere köprüsünün PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.25’de yer almaktadır.



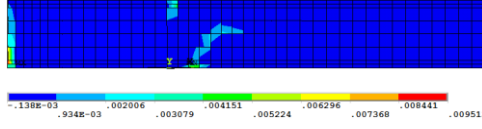
(a) Düğüm yer değiştirmesi (mansap tarafı PY3)



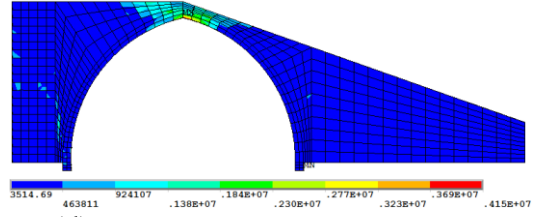
(b) Asal Şekil değiştirme (mansap tarafı PY3)

Şekil 4.25. Coşandere köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

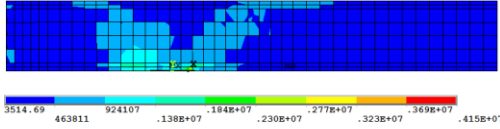
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



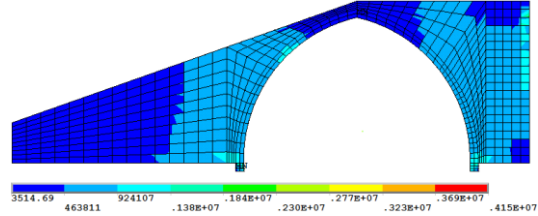
(c) Asal şekil değiştirme (kemer döşeme yüzeyi PY3)



(d) Von-mises gerilmesi (mansap tarafı PY3)



(e) Von-mises gerilmesi (kemer döşeme yüzeyi PY3)



(f) Von-mises gerilmesi (membra tarafı PY3)

Şekil 4.25. Coşandere köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi (devam)

Çekme gerilmelerinin yükleme yapılan bölgelerde bazı düğüm noktalarında taşın çekme dayanımını aştığı belirlenmiştir. Çizelge 4.13’de yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri verilmiştir.

Çizelge 4.13. Coşandere köprüsünde yatay doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri

Yükleme adı	Gerilme (kPa)	Çekme gerilmesinin en büyük olduğu düğüm noktaları
PY1	5,732	288 kemer üst bölgesi
PY2	7,441	1051 kemer üst bölgesi
PY3	0,951	1051 kemer üst bölgesi

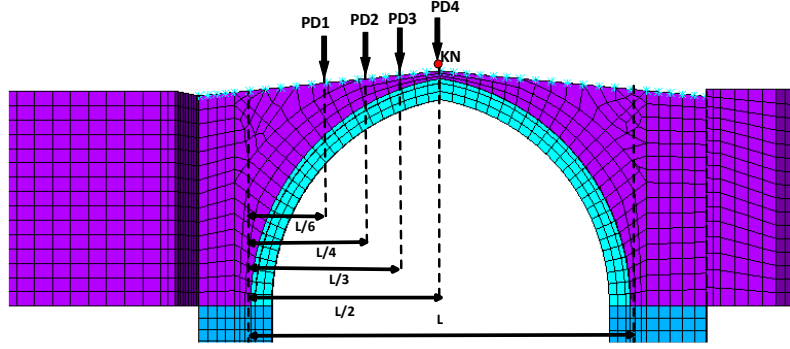
4.5.2. Kireçli köprüsü düşey ve yatay itme analizleri

4.5.2.1. Düşey itme analizi

Köprünün düşey yönde yük kapasitesini hesaplamak için Şekil 4.26’da gösterildiği gibi, PD1, PD2, PD3 ve PD4 yükleri, kemerin açıklığı boyunca düşey yönde sırasıyla L/6, L/4,

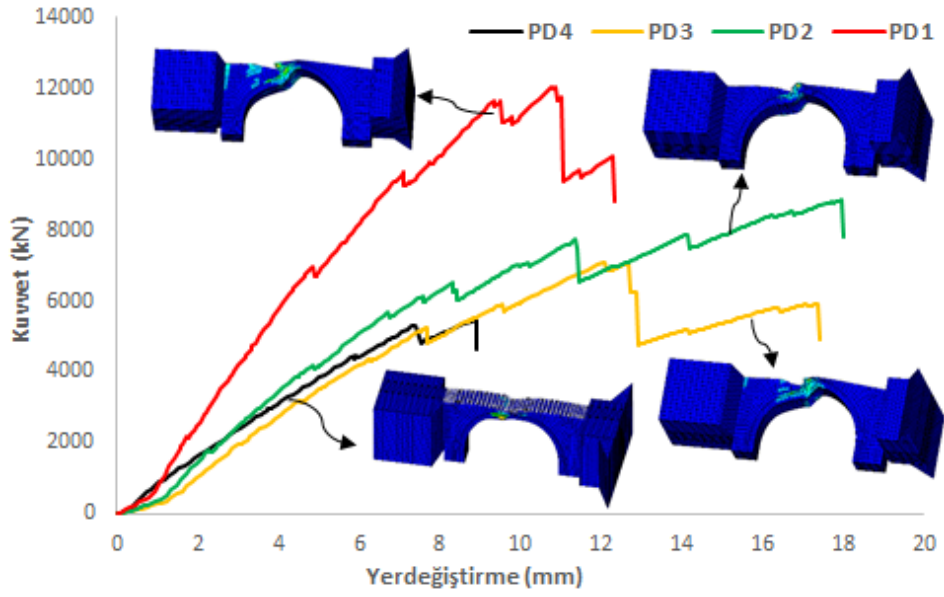
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

L/3 ve orta noktasında yer değiştirme yüklemesi olarak uygulanmıştır. Düşey yer değiştirmeler tepe noktasına (KN) göre hesaplanmıştır.



Şekil 4.26. Kireçli köprüsünün sonlu elemanlar modeli ve düşey yönde statik analizler için yük uygulama yerleri

PD1, PD2, PD3 ve PD4 yükleri kemer açıklığının mansap tarafına göre doğu kısımdaki kemer açıklığına uygulanmıştır. Hesaplanan kuvvet-yer değiştirme tepkileri Şekil 4.27’de gösterilmiştir. PD4 yüklemesi altında (tepe yükü) kemerin yük kapasitesi, grafiğe göre 8,9 mm yer değiştirmeye karşı 5493,3 kN olarak hesaplanmıştır. Düşey yüklemeye altında gerilmelerin el fazla yoğunlaştığı bölgeler, genelde köprü üzerinde yükün uygulandığı bölgelerdir. Köprünün düşey yönde yük kapasitesine ulaştıktan sonra bu bölgelerde mafsallarda ezilme, çatlama ve bunlara bağlı olarak elemanların ayrılması sonucu gelişir. Son olarak, kemerde göçme gözlenmiştir. PD3 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 7098,6 kN, en büyük yer değiştirme ise 17,4 mm’dir. PD2 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 8841,4 kN iken en büyük yer değiştirme 18 mm’dir. Son olarak, PD1 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 12017,4 kN olarak hesaplanırken, en büyük yer değiştirme 12,3 mm’dir.

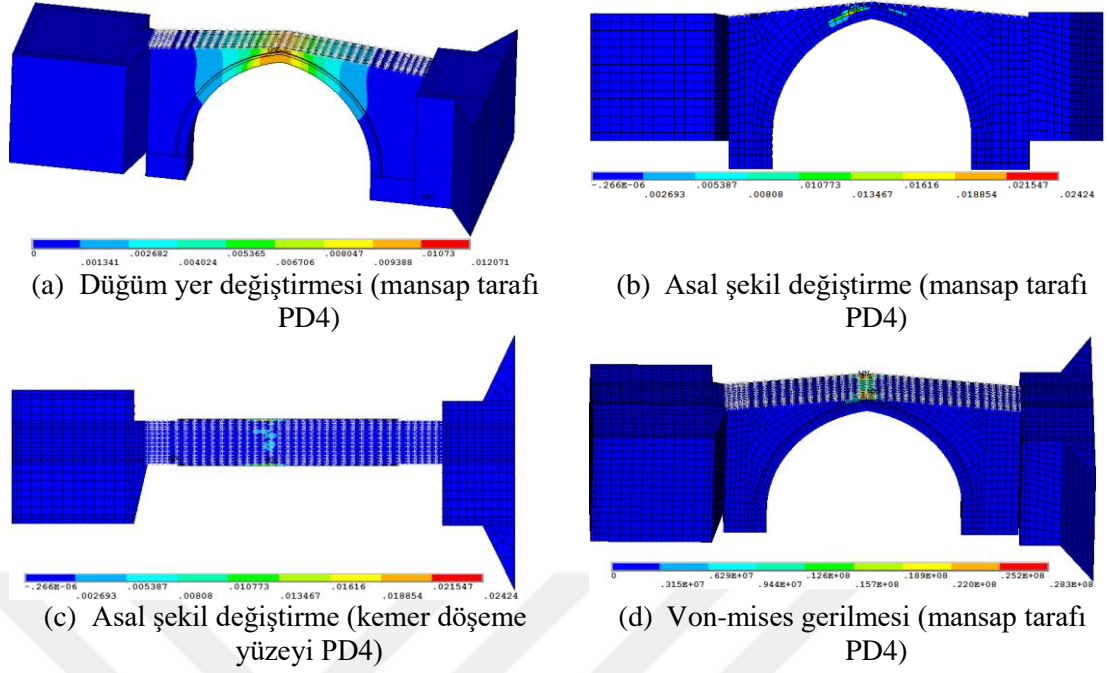


Şekil 4.27. Kireçli köprüsünün düşey yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği

Maksimum yer değiştirme PD2 yüklemesinde olup maksimum kuvvet ise PD1 yüklemesindedir. En zayıf yükleme tipi köprünün taç kısmından uygulanan PD4 yüklemesidir. Kireçli köprüsü için gerçekleştirilen düşey itme analizinde de en uygun yüklemenin PD2 yüklemesi olduğu belirlenmiştir.

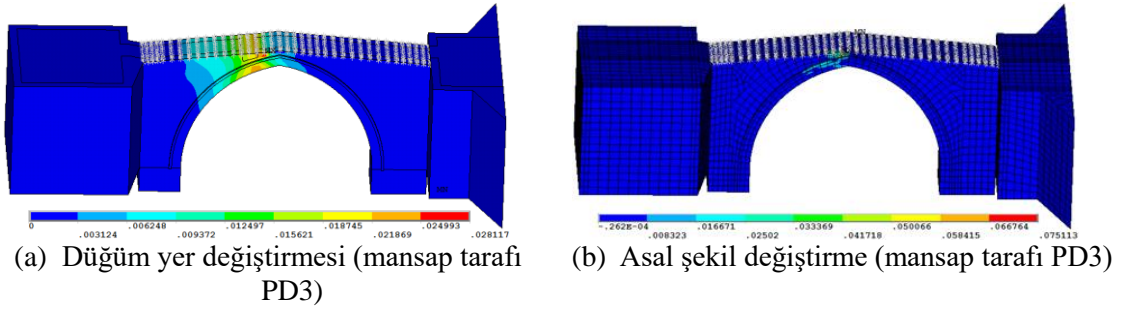
PD1 yüklemesinde göçme yükünün yüksek elde edilmesinin nedeni taşıyıcı ayağa çok yakın bir yükleme yapılmasından dolayıdır. PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.28'de gösterilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



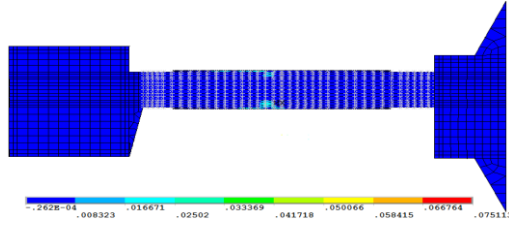
Şekil 4.28. Kireçli köprüsünün PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.29’da gösterilmektedir.

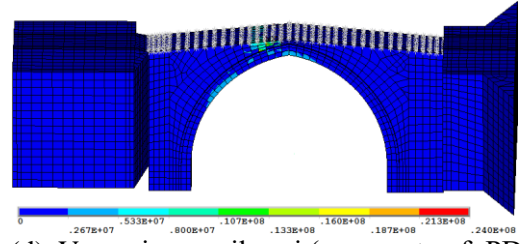


Şekil 4.29. Kireçli köprüsünün PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



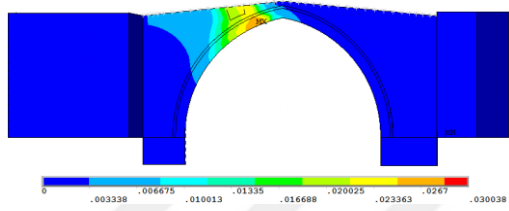
(c) Asal şekil değişirme (kemer döşeme yüzeyi PD3)



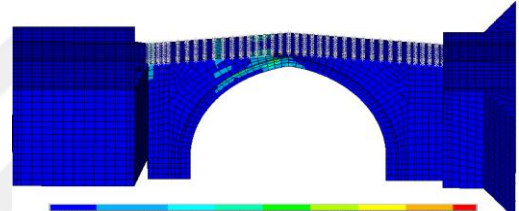
(d) Von-mises gerilmesi (mansap tarafı PD3)

Şekil 4.29. Kireçli köprüsünün PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi (devam)

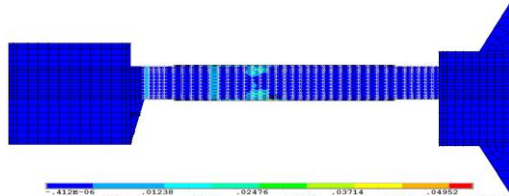
PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.30'da gösterilmektedir.



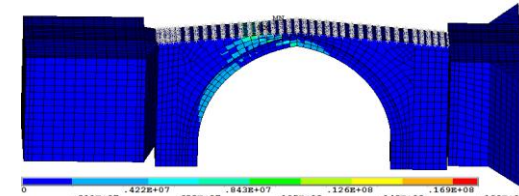
(a) Düğüm yer değişirmesi (mansap tarafı PD2)



(b) Asal şekil değişirme (mansap tarafı PD2)



(c) Asal şekil değişirme (kemer döşeme yüzeyi PD2)

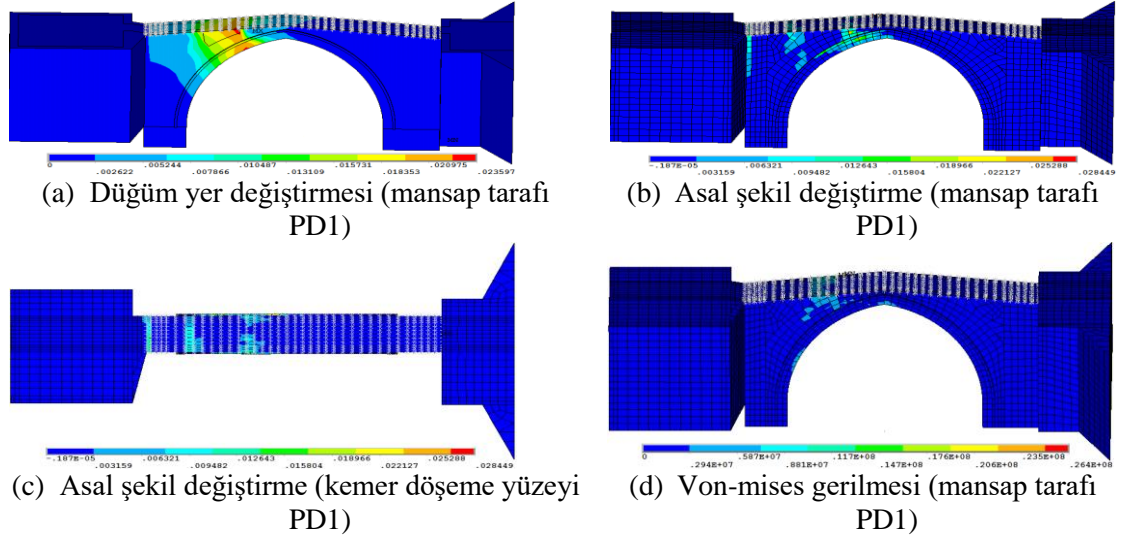


(d) Von-mises gerilmesi (mansap tarafı PD2)

Şekil 4.30. Kireçli köprüsünün PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.31'de gösterilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



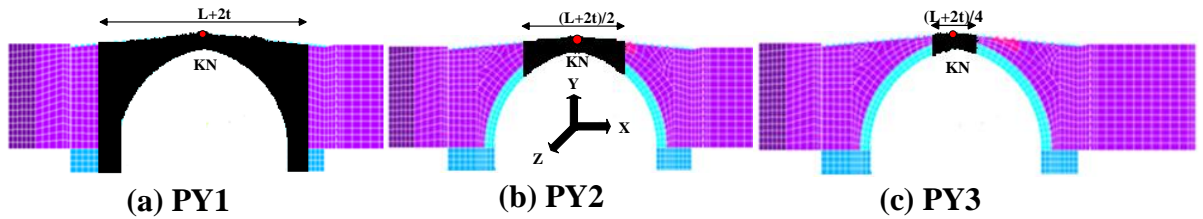
Şekil 4.31. Kireçli köprüsünün PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

Çekme gerilmelerinin yükleme yapılan bölgelerde bazı düğüm noktalarında taşın çekme dayanımının aştığı belirlenmiştir. Çizelge 4.14’de yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri verilmiştir.

Çizelge 4.14. Kireçli köprüsünde düşey doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri

Yükleme adı	Gerilme (kPa)	Çekme gerilmesinin en büyük olduğu düğüm noktaları
PD1	2,844	16128 yükleme bölgesi
PD2	5,571	9506 yükleme bölgesi
PD3	7,511	2877 yükleme bölgesi
PD4	2,424	2902 yükleme bölgesi

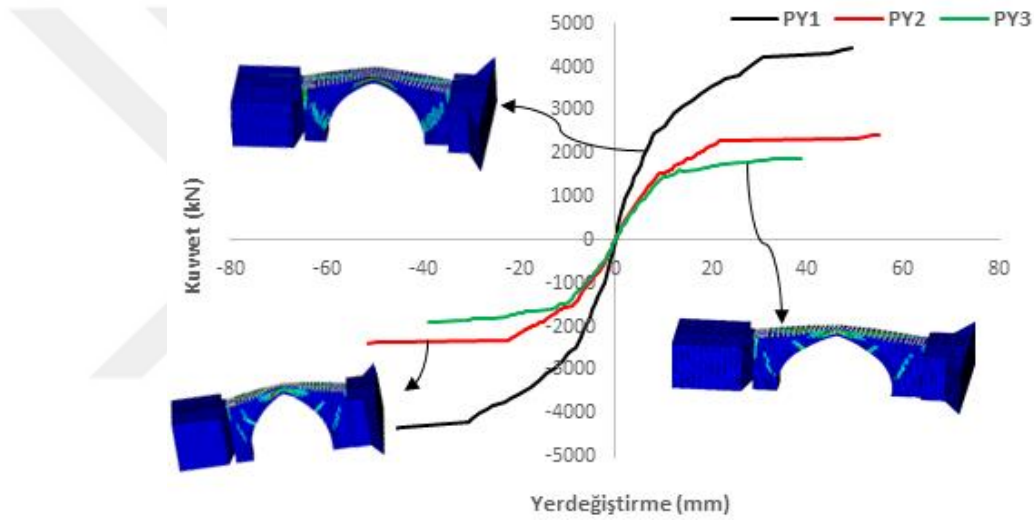
4.5.2.2. Yatay itme analizi



Şekil 4.32. Kireçli köprüsünün yatay yükleme durumu ve tepe kontrol noktası (KN)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

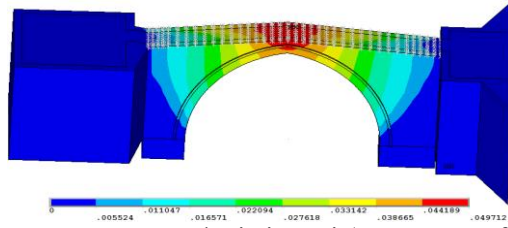
Köprünün yatay yük kapasitesini hesaplamak için kemer orta kısmının yan yüzünde L/4, L/2 ve L genişliğindeki bölgelerine PY yüklemesi olarak adlandırılan üç farklı yanal yük modeli uygulanmıştır. Referans yer değiştirme kontrol noktası Şekil 4.32’de gösterildiği gibidir. Bu yük modellerinin uygulanmasıyla hesaplanan kuvvet-yer değiştirme eğrileri, Şekil 4.33’de gösterildiği gibidir. Grafikte görüldüğü gibi, PY1 yüklemesinde, kemerin yanal yük kapasitesi 4456 kN, en büyük yer değiştirme 49,1 mm’dir. PY2 durumunda, kemerin taşıma kapasitesi 2430 kN'a ulaşırken, en büyük yer değiştirme 55,1 mm'dir. PY3 durumunda, kemerin yanal yük kapasitesi 1886 kN'a ulaşırken, yer değiştirme 38,8 mm'dir.



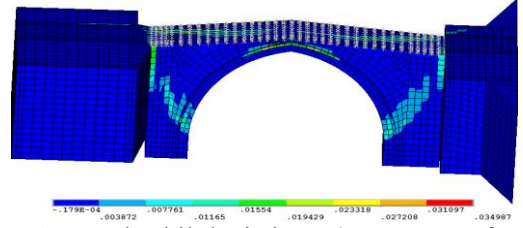
Şekil 4.33. Kireçli köprüsünün yatay yönde statik yüklemeye altınca elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği

Çatlaklar, kemer eğrisinin ucunda başlar ve çapraz olarak üst destek bölgesine kadar uzanır. Yükleme alanı daralırken, kemer açıklığının kenarından yaklaşık L/6 mesafede başlayan ve tekrar üst destek bölgesine uzanan ikinci bir çatlak düzeni belirir. Ayrıca taç bölgesinde çekme gerilmeleri de oluşmuştur. PY1 yüklemesi altınca göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.34’de verilmiştir.

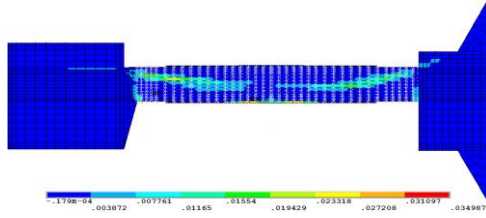
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



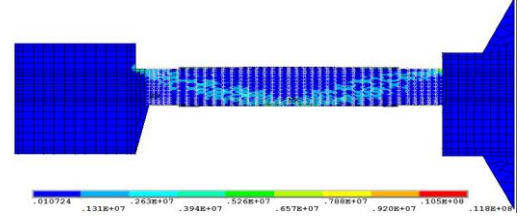
(a) Dügüm yer değistirmesi (mansap tarafı PY1)



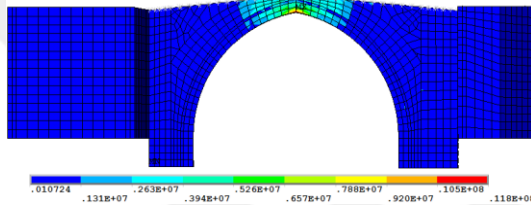
(b) Asal Şekil değişirme (mansap tarafı PY1)



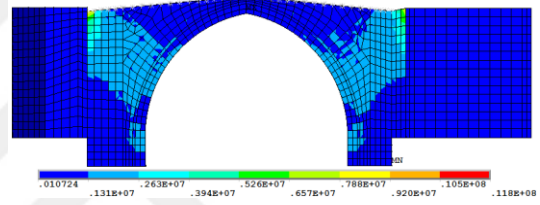
(c) Asal Őekil deęiŐirme (kemer dōŐeme yūzeyi PY1)



(d) Von-mises gerilmesi (kemer dōŐeme yūzeyi PY1)



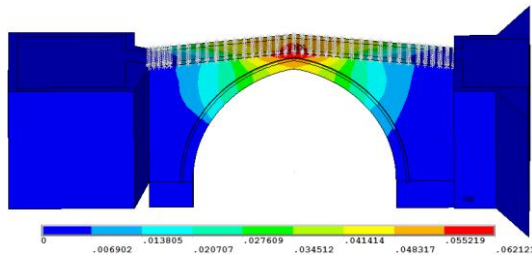
(e) Von-mises gerilmesi (mansap tarafı PY1)



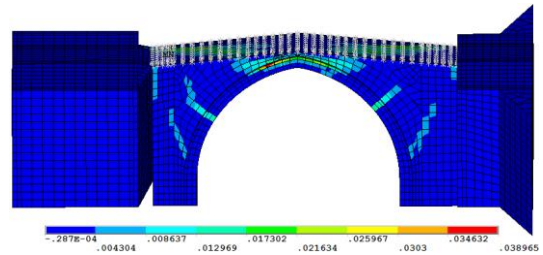
(f) Von-mises gerilmesi (membra tarafı PY1)

Őekil 4.34. Kireçli kōprūŐünün PY1 yūklemesi altında gōŐme mekanizmasını gōŐsteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi(devam)

PY2 yūklemesi altında gōŐme mekanizmasını gōŐsteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Őekil 4.35’de verilmiŐtir.



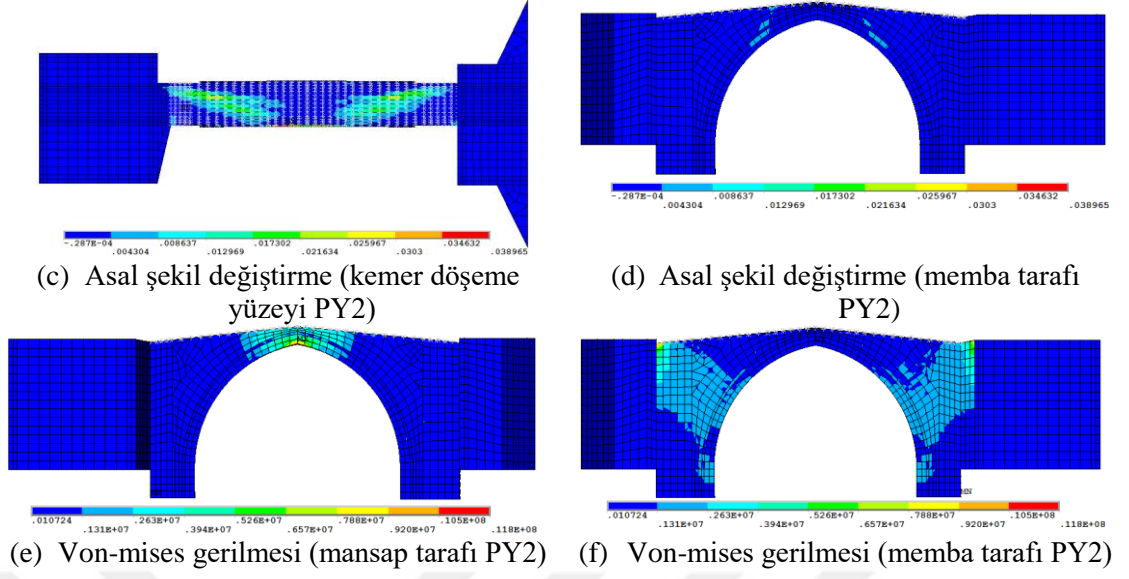
(a) Dügüm yer değistirmesi (mansap tarafı PY2)



(b) Asal Şekil değişirme (mansap tarafı PY2)

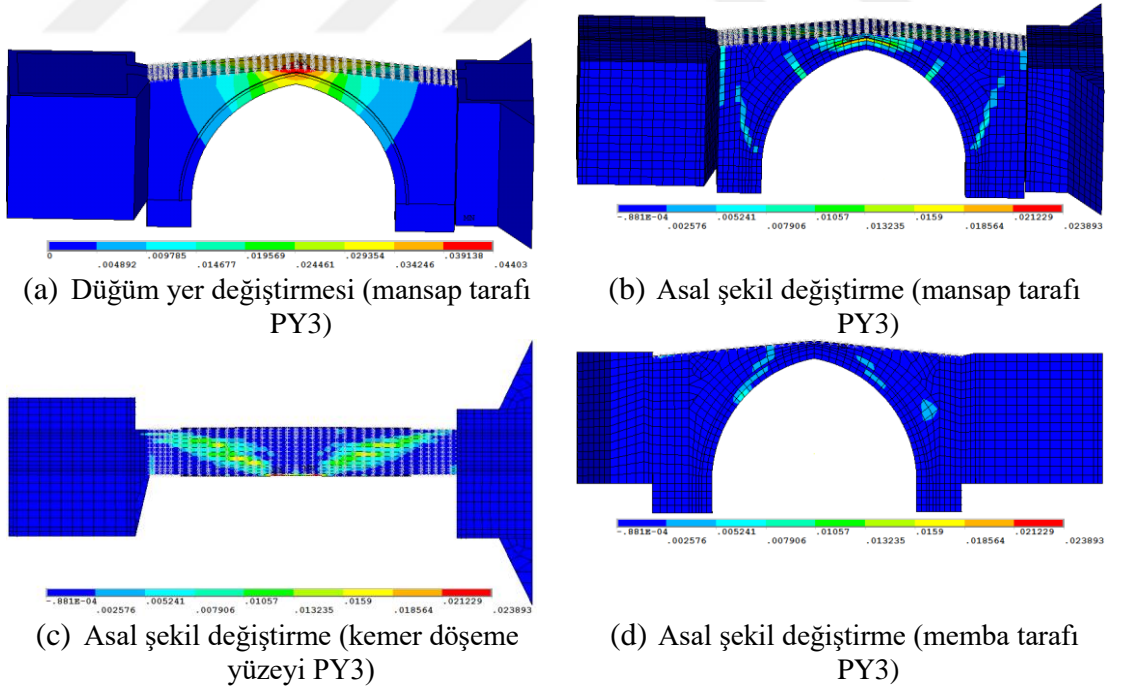
Őekil 4.35. Kireçli kōprūŐünün PY2 yūklemesi altında gōŐme mekanizmasını gōŐsteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



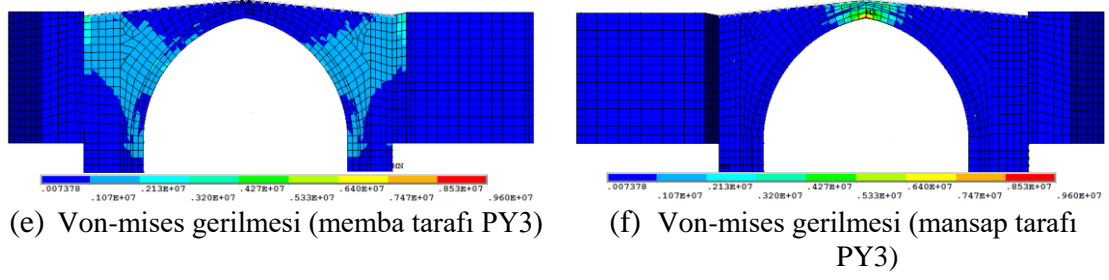
Şekil 4.35. Kireçli köprüsünün PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi (devam)

PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.36. Kireçli köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.36. Kireçli köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi (devam)

Çekme gerilmelerinin yükleme yapılan bölgelerde bazı düğüm noktalarında taşın çekme dayanımının aştığı belirlenmiştir. Çizelge 4.15’de yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri verilmiştir.

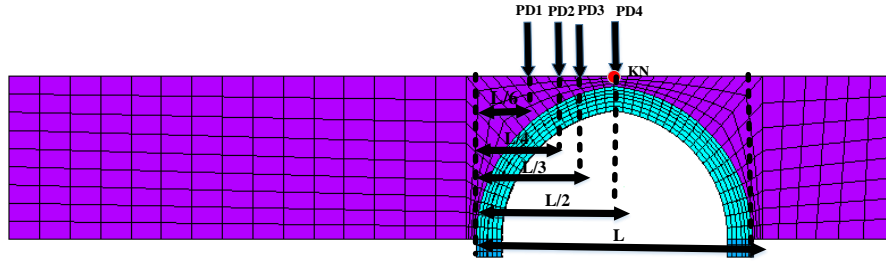
Çizelge 4.15. Kireçli köprüsünde yatay doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri

Yükleme adı	Gerilme (kPa)	Çekme gerilmesinin en büyük olduğu düğüm noktaları
PY1	3,498	2467 kemer bölgesi
PY2	3,896	2764 kemer bölgesi
PY3	2,389	2764 kemer bölgesi

4.5.3. Kız köprüsü düşey ve yatay itme analizleri

4.5.3.1. Düşey itme analizi

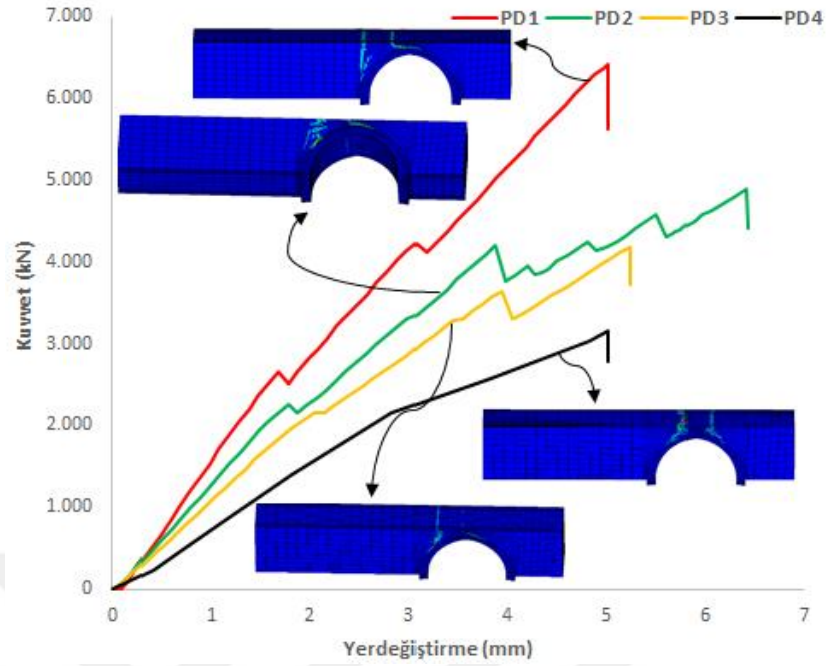
Köprünün düşey yönde yük kapasitesini hesaplamak için, PD1, PD2, PD3 ve PD4 yükleri, kemerin açıklığı boyunca düşey yönde sırasıyla L/6, L/4, L/3 ve orta noktasında yer değiştirme yüklemesi olarak uygulanmıştır. Düşey yer değiştirmeler tepe noktasına (KN) göre hesaplanmıştır.



Şekil 4.37. Kız köprüsünün sonlu elemanlar modeli ve düşey yönde statik analizler için yük uygulama yerleri

PD1, PD2, PD3 ve PD4 yükleri kemer açıklığının mansap tarafına göre doğu kısımdaki kemer açıklığına uygulanmıştır (Şekil 4.37). Hesaplanan kuvvet-yer değiştirme tepkileri Şekil 4.37’de gösterilmiştir. PD4 yüklemesi altında (tepe yükü) kemerin yük kapasitesi, grafiğe göre 5,1 mm yer değiştirmeye karşı 2790,7 kN olarak hesaplanmıştır. Düşey yüklemeye altında gerilmelerin el fazla yoğunlaştığı bölgeler, genelde köprü üzerinde yükün uygulandığı bölgelerdir. Köprünün düşey yönde yük kapasitesine ulaştıktan sonra bu bölgelerde mafsallık, ezilme, çatlama ve bunlara bağlı olarak elemanların ayrılması sonucu gelişir. Son olarak, kemerde göçme gözlenmiştir. PD3 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 4187,5 kN, en büyük yer değiştirme ise 5,24 mm’dir. PD2 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 4889,5 kN iken en büyük yer değiştirme 6,4 mm’dir. Son olarak, PD1 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 6418,6 kN olarak hesaplanırken, en büyük yer değiştirme 5,1 mm’dir. Farklı yüklemelere ait köprünün göçme mekanizmaları Şekil 4.38’de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

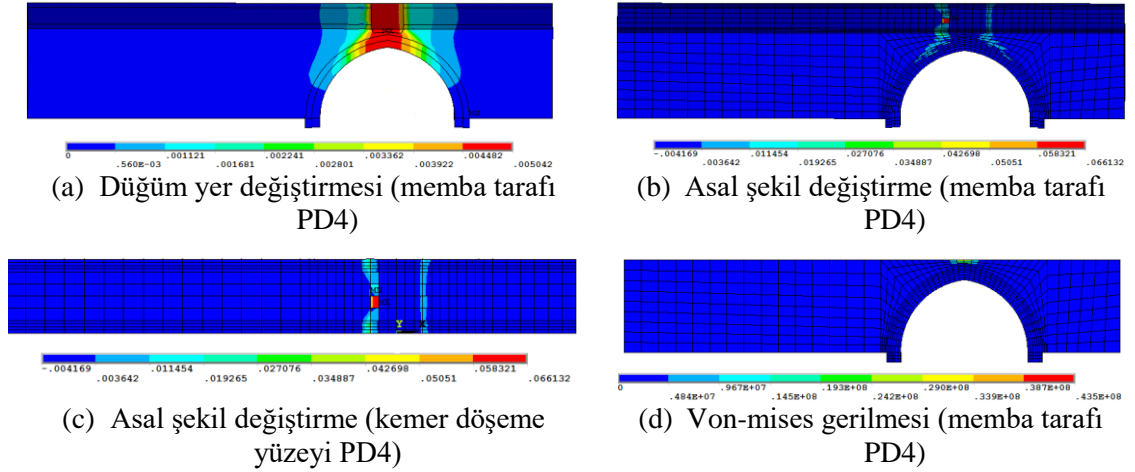


Şekil 4.38. Kız köprüsünün düşey statik yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği

Maksimum yer değiştirme PD2 yüklemesinde olup maksimum kuvvet ise PD1 yüklemesindedir. En zayıf yükleme tipi köprünün taç kısmından uygulanan PD4 yüklemesidir. Kız köprüsü için gerçekleştirilen düşey itme analizinde de en uygun yüklemenin PD2 yüklemesi olduğu belirlenmiştir.

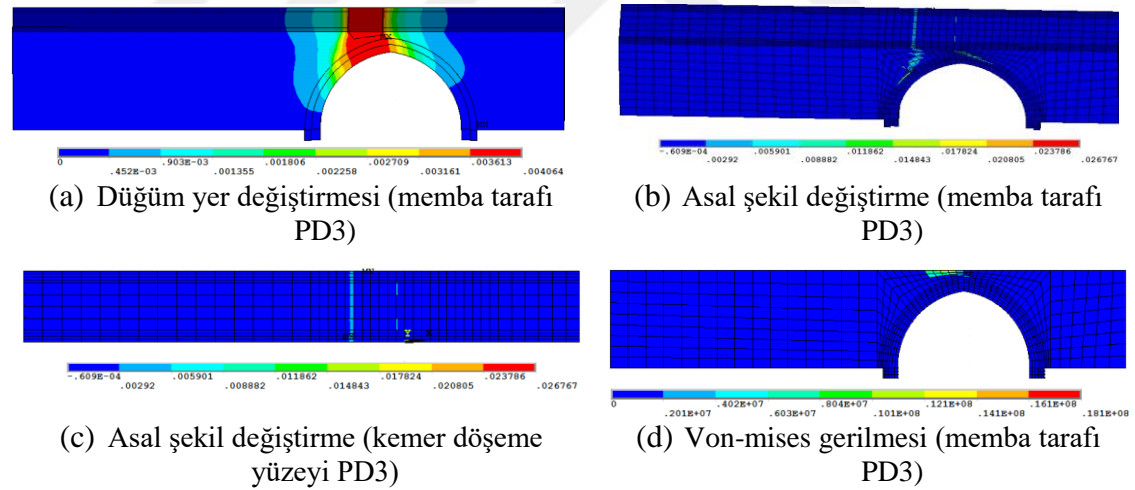
Düşey yükler altında en çok zorlanan kısımlar, yükün uygulandığı bölgelerdir. Başlangıçta, kemer mafsalları içermez. Mafsalların oluşumu ve ayrılmalara yol açan tamamlayıcı çatlakların yayılması, çekme dayanımının yükleme noktasının altına ulaştığı konumda belirir. Son olarak, mafsalların oluşumu nedeniyle, kemer düşey yükleme altında başarısız olmaktadır. Bu mekanizmalar, kemerler için en olası göçme mekanizması olarak düşünülebilir. PD1 yüklemesinde göçme yükünün yüksek elde edilmesinin nedeni taşıyıcı ayağa çok yakın bir yükleme yapılmasıdır. PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.39'da yer almaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.39. Kız köprüsünün PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

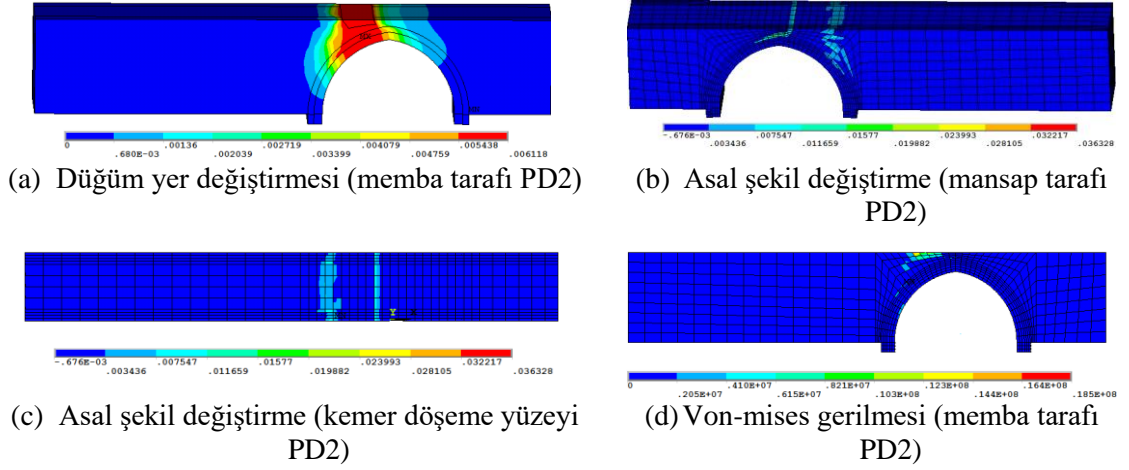
PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.40'da yer almaktadır.



Şekil 4.40. Kız köprüsünün PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

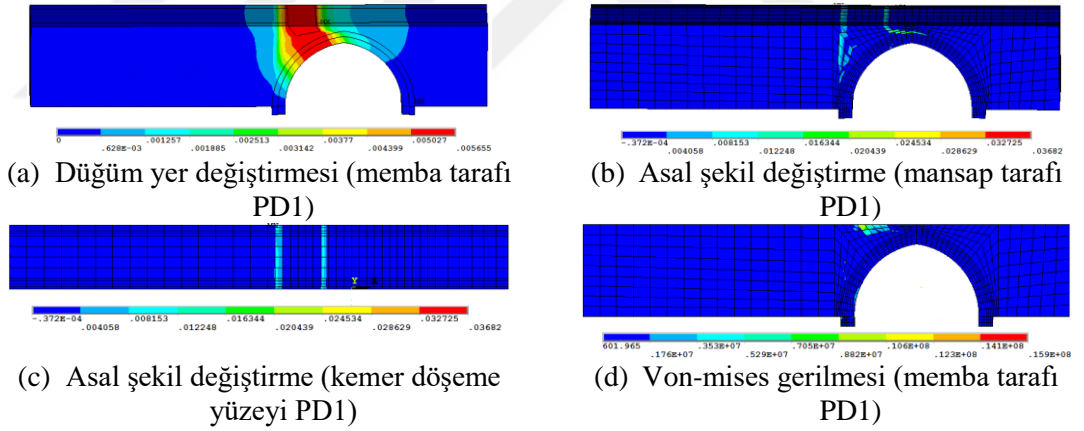
PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.41'de yer almaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.41. Kız köprüsünün PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.42’de yer almaktadır.



Şekil 4.42. Kız köprüsünün PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

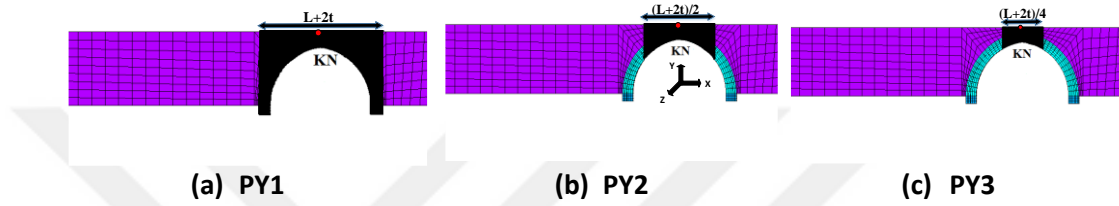
Çekme gerilmelerinin yükleme yapılan bölgelerde bazı düğüm noktalarında taşın çekme dayanımını aştığı belirlenmiştir. Çizelge 4.16’da yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.16. Kız köprüsünde düşey doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri

Yükleme adı	Gerime (kPa)	Çekme gerilmesinin en büyük olduğu düğüm noktaları
PD1	3,682	3156 kemer üst bölgesi
PD2	3,632	2191 yüklem bölgesi
PD3	2,676	2188 yüklem bölgesi
PD4	6,613	1871 yüklem bölgesi

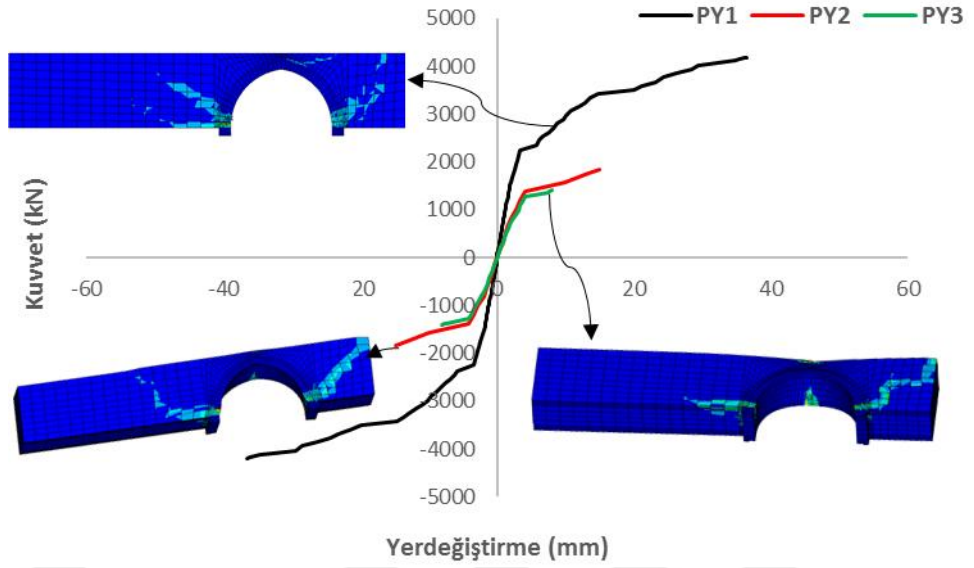
4.5.3.2. Yatay itme analizi



Şekil 4.43. Kız köprüsünün yatay yüklemeleri ve tepe kontrol noktaları (KN)

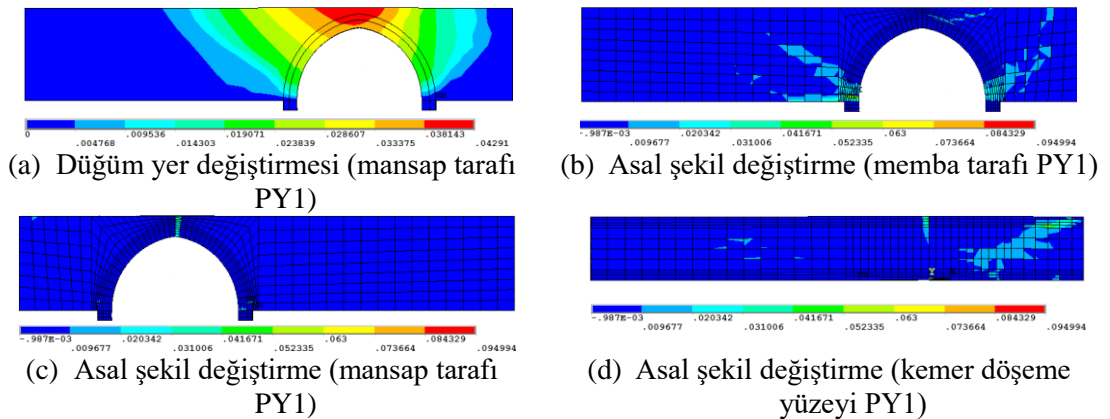
Köprü'nün yatay yük kapasitesini hesaplamak için Şekil 4.43'de gösterildiği gibi, kemer orta kısmının yan yüzünde $L/4$, $L/2$ ve L genişliğindeki bölgelerine PY yüklemesi olarak adlandırılan üç farklı yanal yük modeli uygulanmıştır. Referans yer değiştirme kontrol noktası şekil de gösterilmiştir. Bu yük modellerinin uygulanmasıyla hesaplanan kuvvet-yer değiştirme eğrileri Şekil 4.44'de gösterildiği gibidir. Grafikte görüldüğü gibi, PY1 yüklemesinde, kemerin yanal yük kapasitesi 4188 kN, en büyük yer değiştirme 36,5 mm'dir. PY2 durumunda, kemerin taşıma kapasitesi 1843 kN'a ulaşırken, en büyük yer değiştirme 14,9 mm'dir. PY3 durumunda, kemerin yanal yük kapasitesi 1405 kN'a ulaşırken, yer değiştirme 8,1 mm'dir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



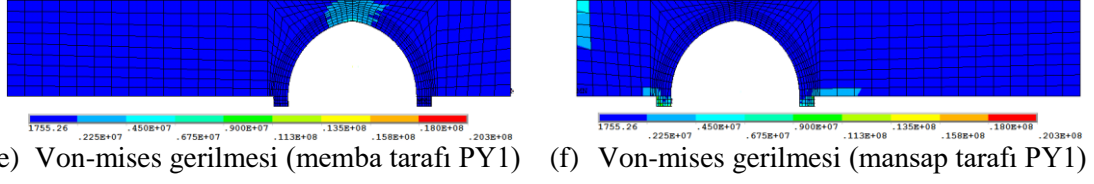
Şekil 4.44. Kız köprüsünün yatay yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği

Tüm analiz durumlarında, ana çatlaklar yükleme yapılan bölgenin kenarlarında gelişmiştir. Çatlaklar, kemer eğrisinin ucunda başlar ve çapraz olarak üst destek bölgesine kadar uzanır. Yükleme alanı genişlerken, kemer açıklığının kenarından yaklaşık $L/6$ mesafede başlayan ve tekrar üst destek bölgesine uzanan ikinci bir çatlak düzeni belirir. Ayrıca taç bölgesinde çekme gerilmeleri de oluşmuştur. PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.45’de verilmiştir.



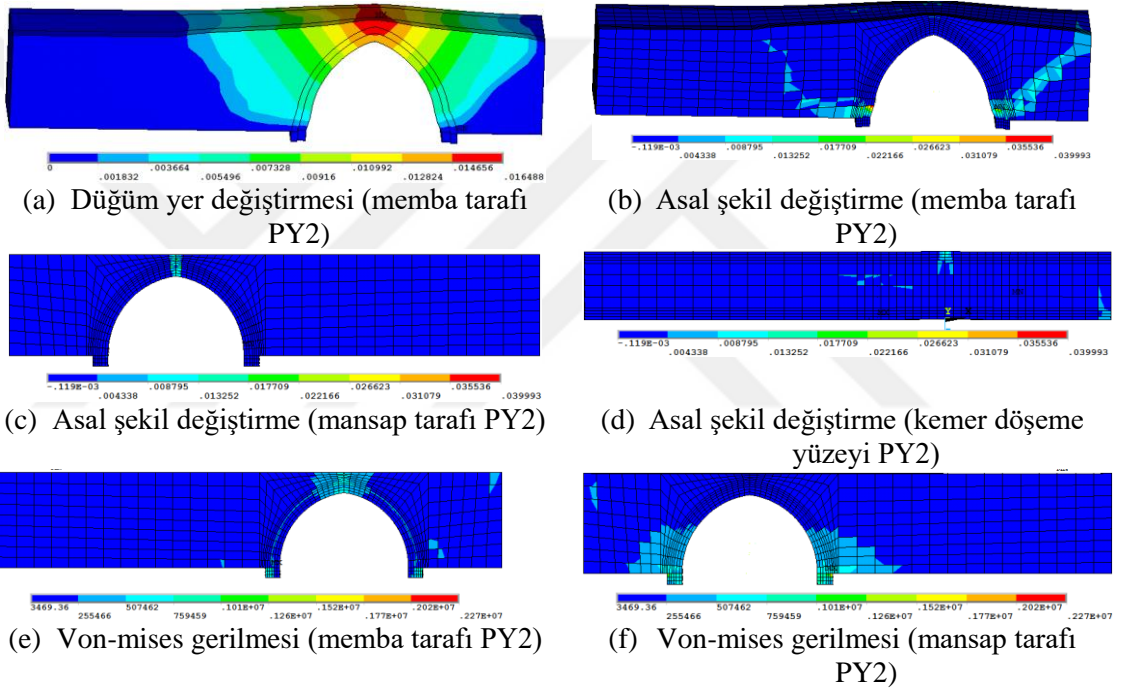
Şekil 4.45. Kız köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.45. Kız köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi (devam)

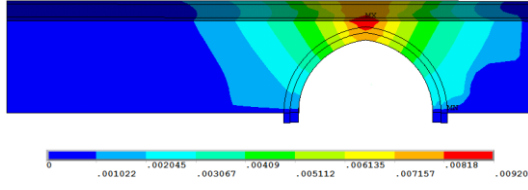
PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.46'da yer almaktadır.



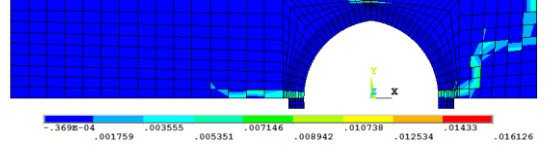
Şekil 4.46. Kız köprüsünün PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.47'de yer almaktadır.

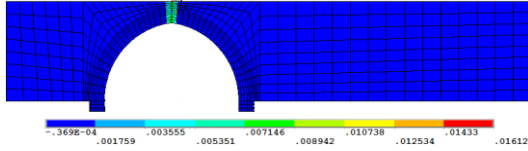
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



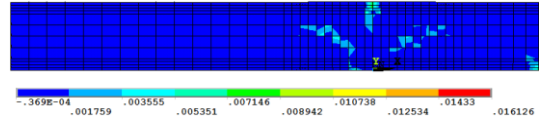
(a) Düğüm yer değiştirmesi (membra tarafı PY3)



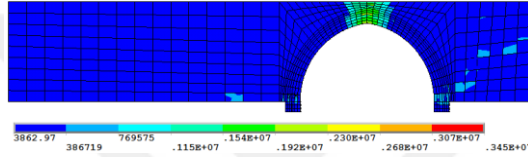
(b) Asal Şekil değiştirme (membra tarafı PY3)



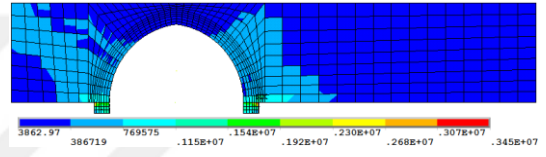
(c) Asal Şekil değiştirme (mansap tarafı PY3)



(d) Asal Őekil deęiřtirme (kemer dōřeme yūzeyi PY3)



(e) Von-mises gerilmesi (membra tarafı PY3)



(f) Von-mises gerilmesi (mansap tarafı PY3)

Őekil 4.47. Kız kōprūřnūn PY3 yūklemesi altında gōçme mekanizmasını gōsteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

Çekme gerilmelerinin yūkleme yapılan bōlgelerde bazı dūęūm noktalarında tařın çekme dayanımını ařtıęı belirlenmiřtir. Çizelge 4.17'de yūklemelere ait en būyūk çekme gerilmeleri verilmiřtir.

Çizelge 4.17. Kız kōprūřnūn yatay doęrultuda yūklemelere ait en būyūk çekme gerilmeleri

Yūkleme adı	Gerilme (kPa)	Çekme gerilmesinin en būyūk olduęu dūęūm noktaları
PY1	9,499	1161 zemin kayası
PY2	3,999	1591 zemin kayası
PY3	1,612	1704 kemer bōlgesi

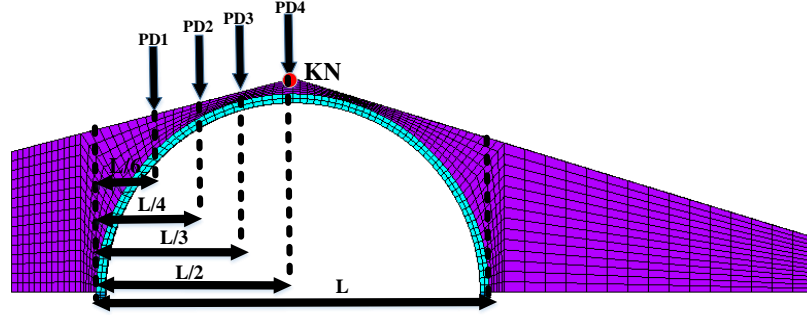
4.5.4. Őenyuva kōprūřsū dūřey ve yatay itme analizleri

4.5.4.1. Dūřey itme analizi

Kōprūnūn dūřey yōnde yūk kapasitesini hesaplamak için, PD1, PD2, PD3 ve PD4 yūkleri, kemerin açıklıęı boyunca dūřey yōnde sırasıyla L/6, L/4, L/3 ve orta noktasında yer

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

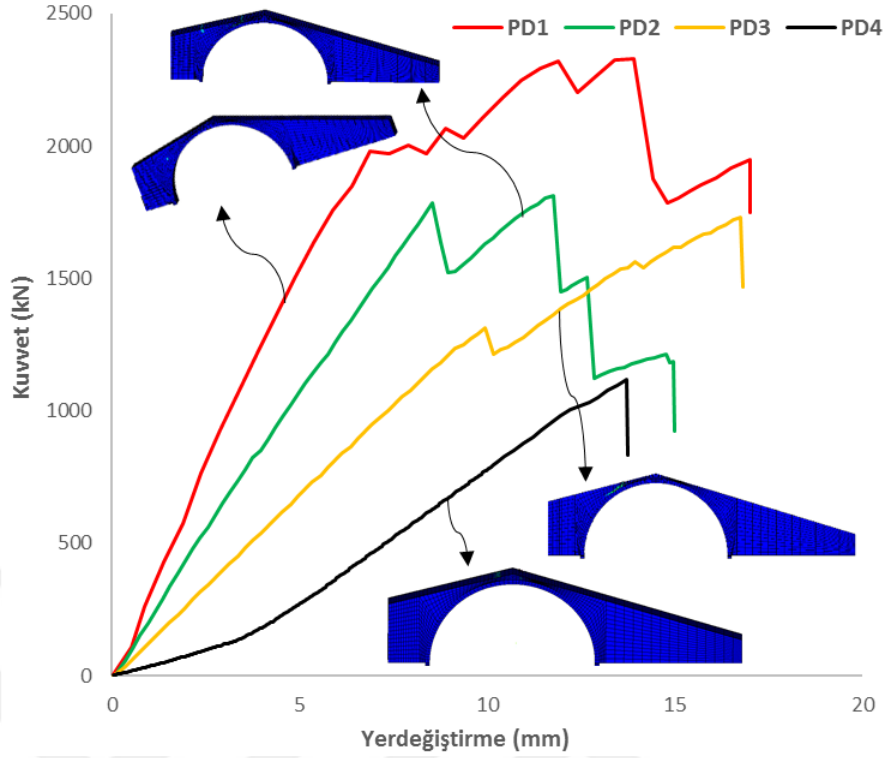
değiştirme yüklemesi olarak uygulanmıştır. Düşey yer değiştirmeler tepe noktasına (KN) göre hesaplanmıştır (Şekil 4.48).



Şekil 4.48. Şenyuva köprüsünün sonlu elemanlar modeli ve düşey yönde statik analizler için yük uygulama yerleri

PD1, PD2, PD3 ve PD4 yükleri kemer açıklığının mansap tarafına göre batı kısımdaki kemer açıklığına uygulanmıştır. Hesaplanan kuvvet-yer değiştirme tepkileri Şekil 4.49'da gösterilmiştir. PD4 yüklemesi altında (tepe yükü) kemerin düşey yük kapasitesi, grafiğe göre 13,7 mm yer değiştirmeye karşı 1120 kN olarak hesaplanmıştır. Düşey yükleme altında gerilmelerin en fazla yoğunlaştığı bölgeler, genelde köprü üzerinde yükün uygulandığı bölgelerdir. Köprüün düşey yönde yük kapasitesine ulaştıktan sonra bu bölgelerde mafsalsız; ezilme, çatlama ve bunlara bağlı olarak elemanların ayrılması sonucu gelişir. Son olarak, kemerde göçme gözlenmiştir. PD3 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 1730 kN, en büyük yer değiştirme ise 16,8 mm'dir. PD2 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 1810 kN iken en büyük yer değiştirme 11,8 mm'dir. Son olarak, PD1 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 2330,8 kN olarak hesaplanırken, en büyük yer değiştirme 13,9 mm'dir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.49. Şenyuva köprüsünün düşey yönde statik yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği

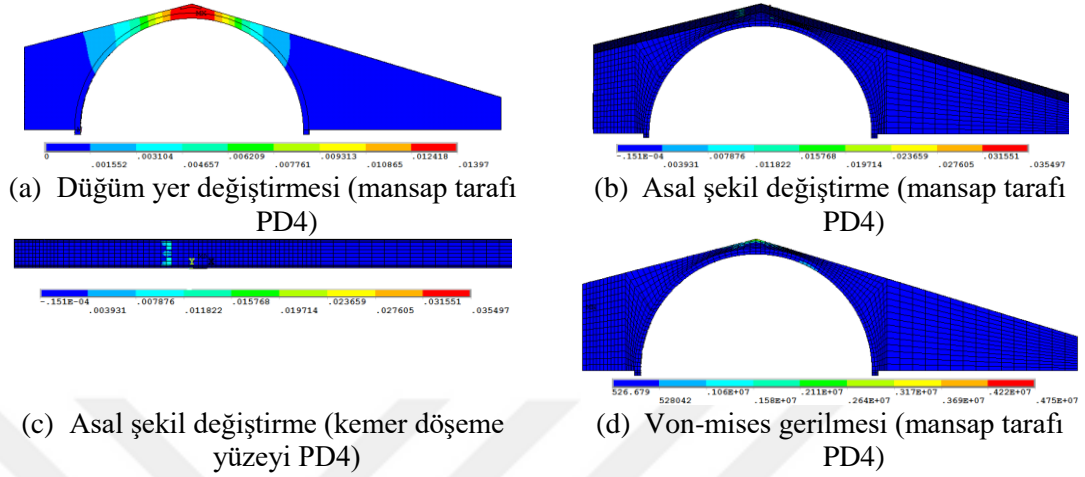
Maksimum yer değiştirme PD3 yüklemesinde olup maksimum kuvvet ise PD1 yüklemesindedir. En zayıf yükleme tipi köprüün taç kısmından uygulanan PD4 yüklemesidir. Şenyuva köprüsü için gerçekleştirilen düşey itme analizinde de en uygun yüklemenin PD2 yüklemesi olduğu belirlenmiştir.

Düşey yükler altında en çok zorlanan kısımlar, yükün uygulandığı bölgelerdir. Başlangıçta, kemer mafsall içermez. Mafsalların oluşumu ve ayrılmalara yol açan tamamlayıcı çatlakların yayılması, çekme dayanımının yükleme noktasının altına ulaştığı konumda belirir. Son olarak, mafsalların oluşumu nedeniyle, kemer düşey yükleme altında başarısız olmaktadır. Bu mekanizmalar, kemerler için en olası göçme mekanizması olarak düşünülebilir.

PD1 yüklemesinde göçme yükünün yüksek elde edilmesinin nedeni taşıyıcı ayağa çok yakın bir yükleme yapılmasından dolayıdır.

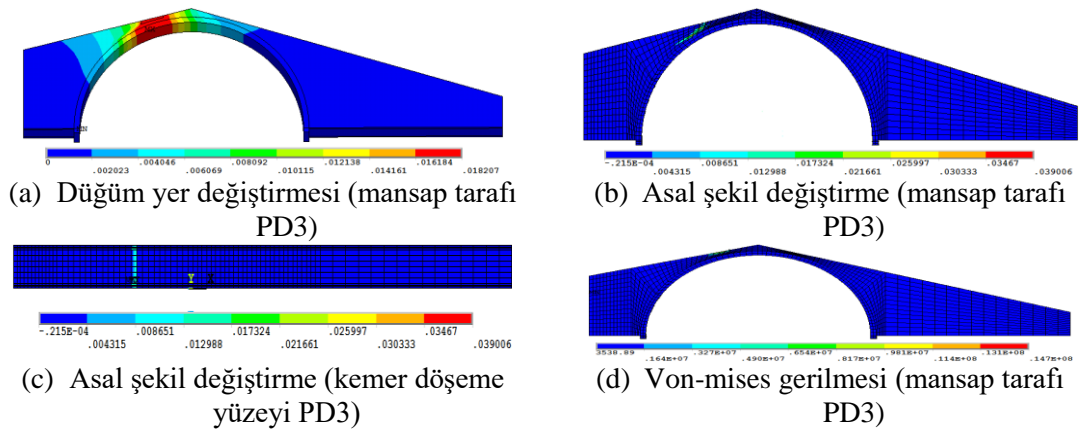
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.50'de yer almaktadır.



Şekil 4.50. Şenyuva köprüsünün PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

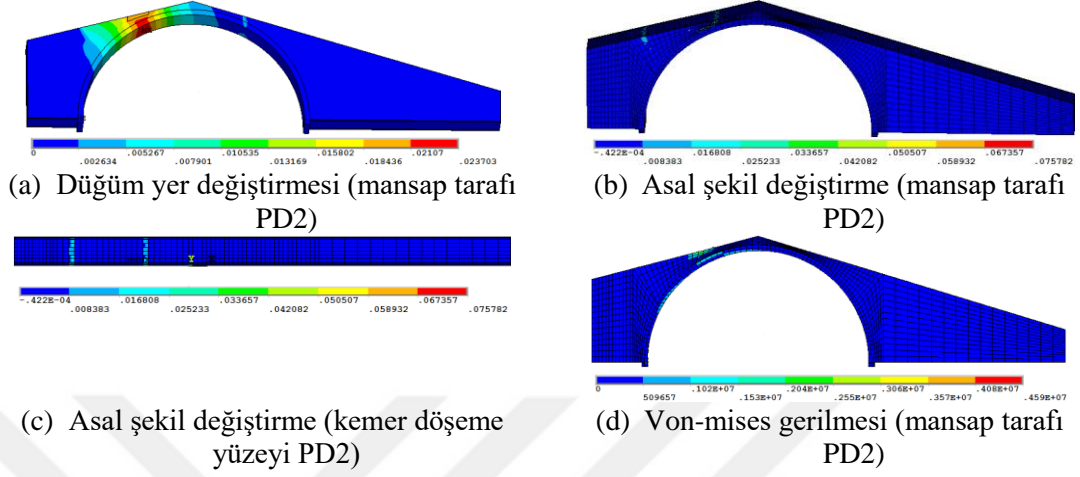
PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.51'de yer almaktadır.



Şekil 4.51. Şenyuva köprüsünün PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

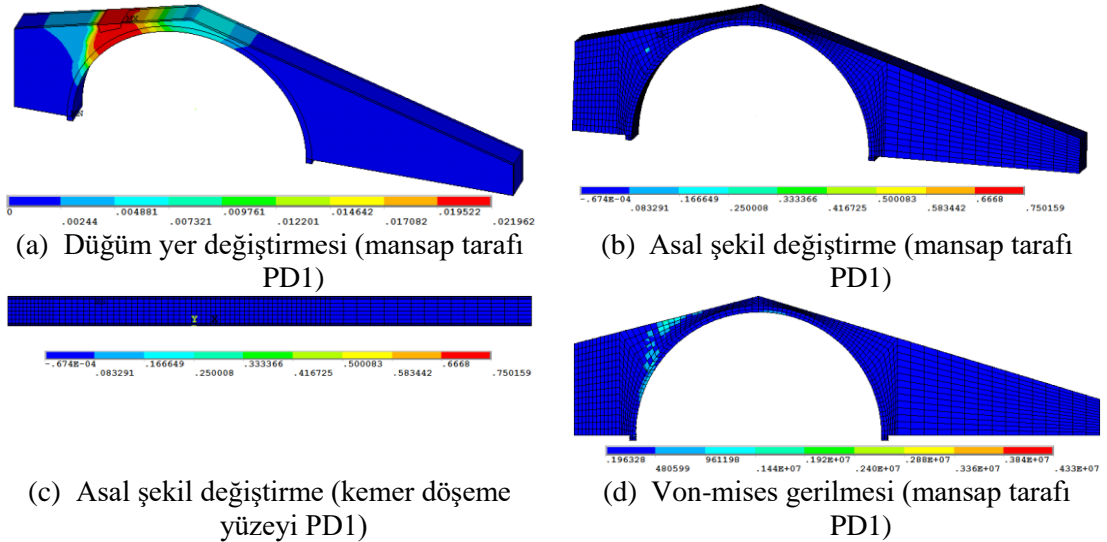
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.52’de yer almaktadır.



Şekil 4.52. Şenyuva köprüsünün PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.53’de yer almaktadır.



Şekil 4.53. Şenyuva köprüsünün PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

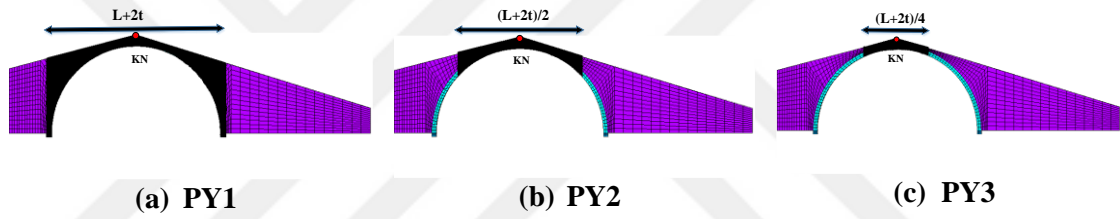
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çekme gerilmelerinin yükleme yapılan bölgelerde bazı düğüm noktalarında taşın çekme dayanımını aştığı belirlenmiştir. Çizelge 4.18’de yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri verilmiştir.

Çizelge 4.18. Şenyuva köprüsünde düşey doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri

Yükleme adı	Gerilme (kPa)	Çekme gerilmelerinin en büyük olduğu düğüm noktaları
PD1	7,501	7843 kemer üst bölgesi
PD2	7,578	7701 yükleme bölgesi
PD3	3,900	7869 yükleme bölgesi
PD4	3,549	7916 yükleme bölgesi

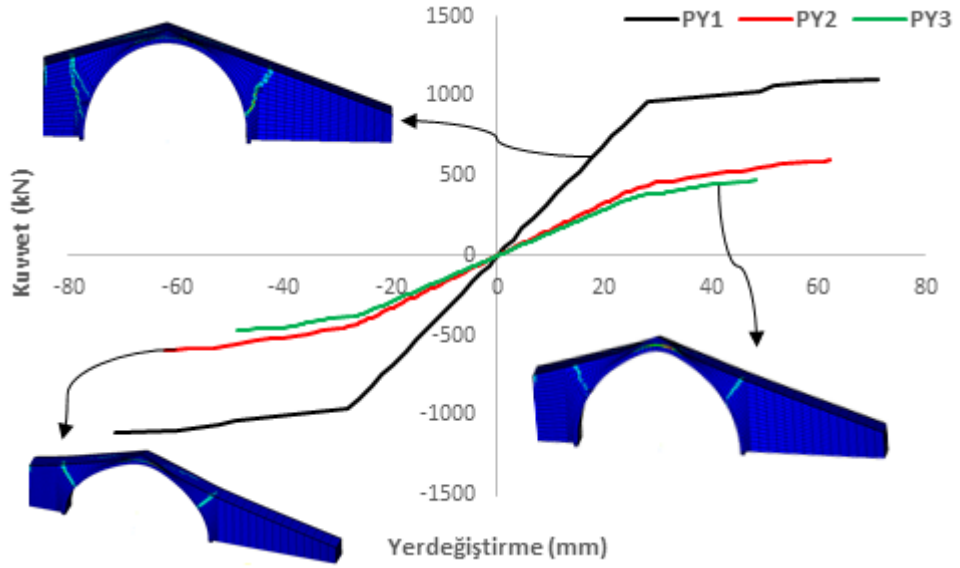
4.5.4.2. Yatay itme analizi



Şekil 4.54. Şenyuva köprüsünün yatay yükleme durumu ve tepe kontrol noktası (KN)

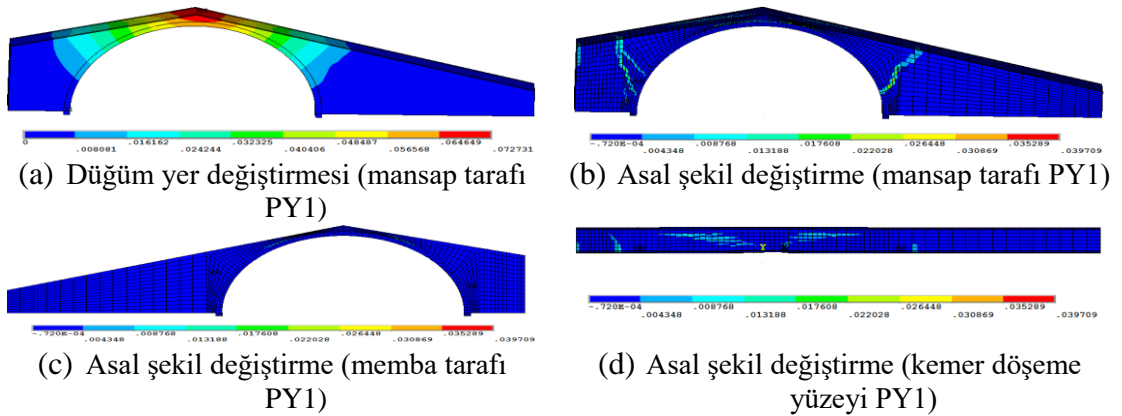
Köprünün yatay yük kapasitesini hesaplamak için kemer orta kısmının yan yüzünde $L/4$, $L/2$ ve L genişliğindeki bölgelerine PY yüklemesi olarak adlandırılan üç farklı yanal yük modeli uygulanmıştır (Şekil 4.54). Referans yer değiştirme kontrol noktası Şekil 4.55’de gösterildiği gibidir. Bu yük modellerinin uygulanmasıyla hesaplanan kuvvet-yer değiştirme eğrileri Şekil 4.54’de gösterildiği gibidir. Grafikte görüldüğü gibi, PY1 yüklemesinde, kemerin yanal yük kapasitesi 1103,3 kN, en büyük yer değiştirme 71,2 mm’dir. PY2 durumunda, kemerin taşıma kapasitesi 598,5 kN’a ulaşırken, en büyük yer değiştirme 62 mm’dir. PY3 durumunda, kemerin yanal yük kapasitesi 472 kN’a ulaşırken, yer değiştirme 48,4 mm’dir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



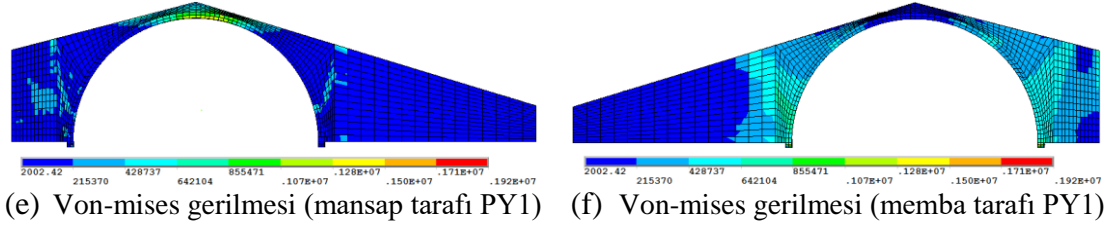
Şekil 4.55. Şenyuva köprüsünün yatay yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği

Bu analizlerden elde edilen hasar durumları Şekil'de gösterilmiştir. Tüm analiz durumlarında, ana çatlaklar yükleme yapılan bölgenin kenarlarında gelişmiştir. Çatlaklar, kemer eğrisinden başlar ve çapraz olarak üst destek bölgesine kadar uzanır. Yükleme alanı genişlerken, kemer açıklığının kenarından yaklaşık $L/6$ mesafede başlayan ve tekrar üst destek bölgesine uzanan ikinci bir çatlak düzeni belirir. Ayrıca taç bölgesinde çekme gerilmeleri de oluşmuştur. PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.56'da verilmiştir.



Şekil 4.56. Şenyuva köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

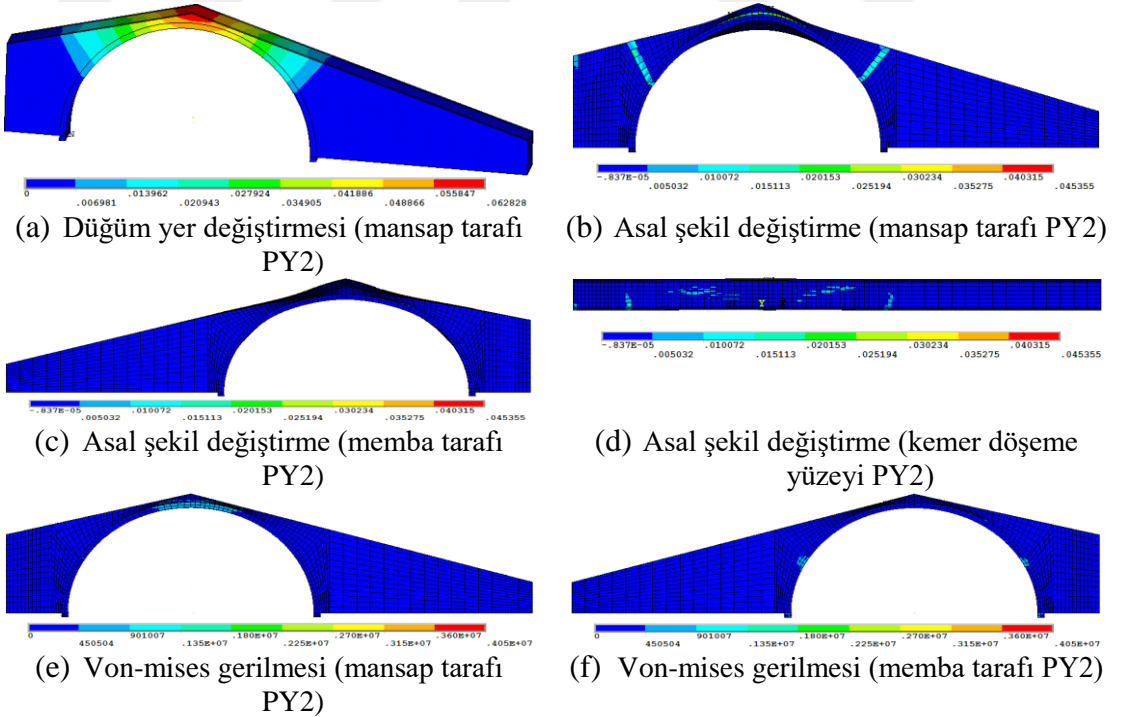
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.56. Şenyuva köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi (devam)

PY1 analizinin Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiğinde en çok zorlanmanın kemer taç bölgesinde olduğu görülmektedir. Ayrıca kemerin mansap tarafının batı bölümünde kemer eğrisinden başlayıp destek bölgesinde birleşen iki çatlak dizini görülmektedir. Von-mises gerilme grafiği incelendiğinde ise gerilmelerin memba tarafında kemer eğrisinden başlayıp destek bölgesine kadar yayıldığı görülmektedir.

PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.57’de yer almaktadır.

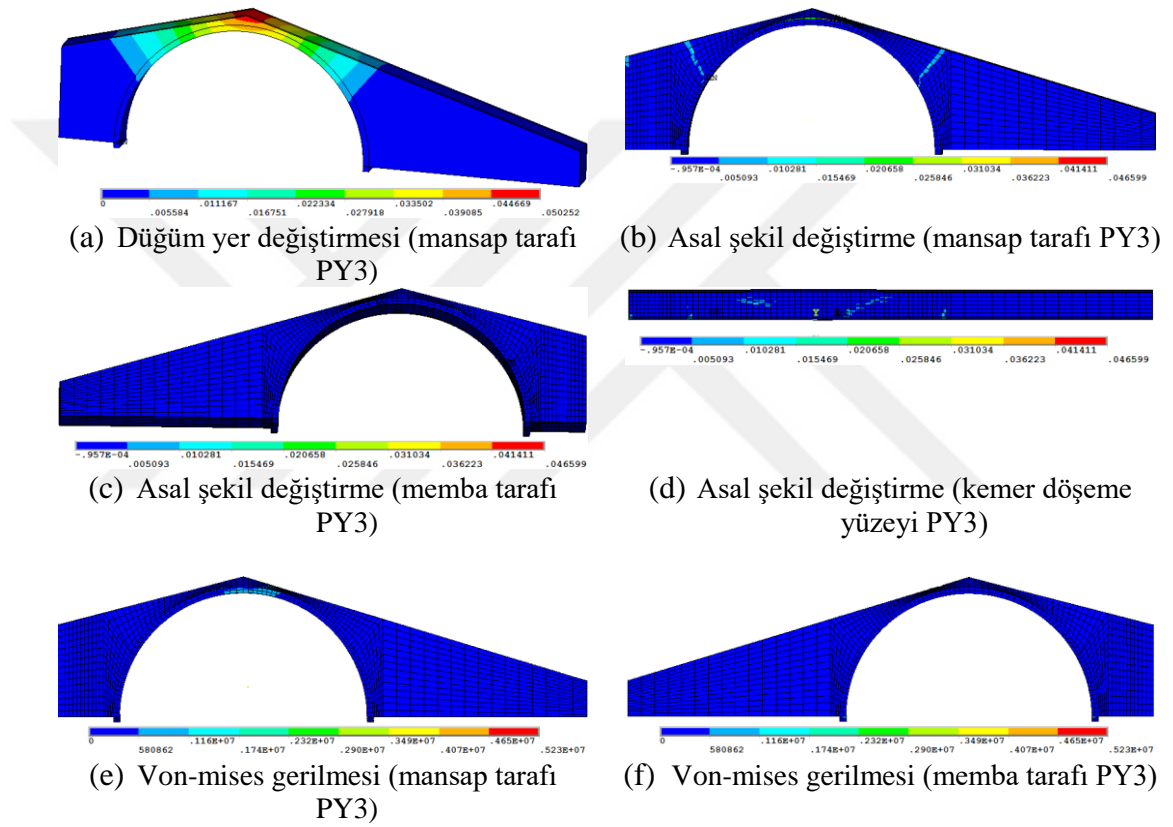


Şekil 4.57. Şenyuva köprüsünün PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

PY2 analizinin Dügüm yer değiştirme grafiği incelendiğinde en çok zorlanmanın kemer taç bölgesinde olduğu görölmektedir. Ayrıca kemerin mansap tarafında kemerin her iki tarafında kemer eğrisinden başlayıp destek bölgesine kadar uzanan çatlak dizini görölmektedir.

PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.58’de yer almaktadır.



Şekil 4.58. Şenyuva köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

PY3 analizinin Dügüm yer değiştirme grafiği incelendiğinde en çok zorlanmanın kemer taç bölgesinde olduğu görölmektedir. Ayrıca kemerin mansap tarafında kemerin her iki tarafında kemer eğrisinden başlayıp destek bölgesine kadar uzanan çatlak dizini görölmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çekme gerilmelerinin yükleme yapılan bölgelerde bazı düğüm noktalarında taşın çekme dayanımını aştığı belirlenmiştir. Çizelge 4.19’da yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri verilmiştir.

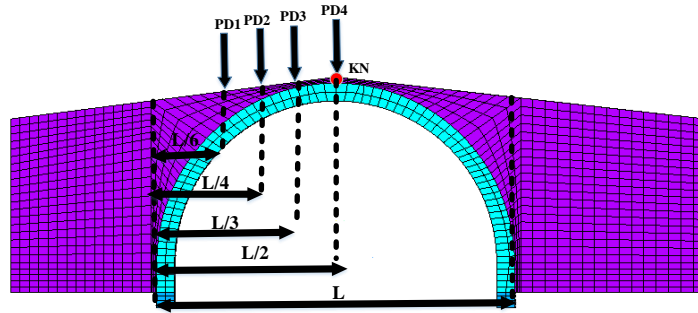
Çizelge 4.19. Şenyuva köprüsünün yatay doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri

Yükleme adı	Gerilme (kPa)	Çekme gerilmelerinin en büyük olduğu düğüm noktaları
PY1	3,970	1300 kemer alnı
PY2	4,535	7158 kemer üst bölgesi
PY3	4,659	7157 kemer üst bölgesi

4.5.5. Şinik köprüsü düşey ve yatay itme analizleri

4.5.5.1. Düşey itme analizi

Köprünün düşey yönde yük kapasitesini hesaplamak için, PD1, PD2, PD3 ve PD4 yükleri, kemerin açıklığı boyunca düşey yönde sırasıyla $L/6$, $L/4$, $L/3$ ve orta noktasında yer değiştirme yüklemesi olarak uygulanmıştır. Düşey yer değiştirmeler tepe noktasına (KN) göre hesaplanmıştır (Şekil 4.59).

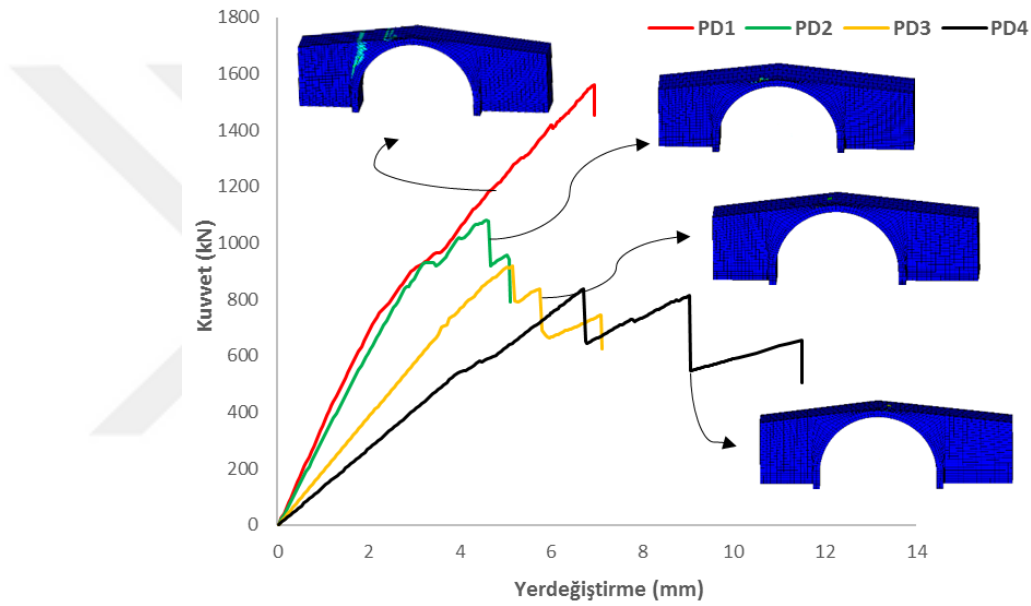


Şekil 4.59. Şinik köprüsünün sonlu elemanlar modeli ve düşey yönde statik analizler için yük uygulama yerleri

PD1, PD2, PD3 ve PD4 yükleri kemer açıklığının mansap tarafına göre batı kısımdaki kemer açıklığına uygulanmıştır. Hesaplanan kuvvet-yer değiştirme tepkileri Şekil 4.60’da gösterilmiştir. PD4 yüklemesi altında (tepe yükü) kemerin düşey yük kapasitesi, grafiğe göre 11,5 mm yer değiştirmeye karşı 838,2 kN olarak hesaplanmıştır. Düşey yükleme

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

altında gerilmelerin el fazla yoğunlaştığı bölgeler, genelde köprü üzerinde yükün uygulandığı bölgelerdir. Köprünün düşey yönde yük kapasitesine ulaştıktan sonra bu bölgelerde mafsalsal; ezilme, çatlama ve bunlara bağlı olarak elemanların ayrılması sonucu gelişir. Son olarak, kemerde göçme gözlenmiştir. PD3 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 910,2 kN, en büyük yer değiştirme ise 6,95 mm'dir. PD2 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 1078,7 kN iken en büyük yer değiştirme 5,1 mm'dir. Son olarak, PD1 yüklemesi altında kemerin yük kapasitesi 1560,3 kN olarak hesaplanırken, en büyük yer değiştirme 6,94 mm'dir.



Şekil 4.60. Şinik köprüsünün düşey statik yüklemeye altındaki elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği

Maksimum yer değiştirme PD4 yüklemesinde olup maksimum kuvvet ise PD1 yüklemesinde. En zayıf yüklemeye tipi köprünün taç kısmından uygulanan PD4 yüklemesidir. Şinik köprüsü için gerçekleştirilen düşey itme analizinde de en uygun yüklemeye PD2 yüklemesi olduğu belirlenmiştir.

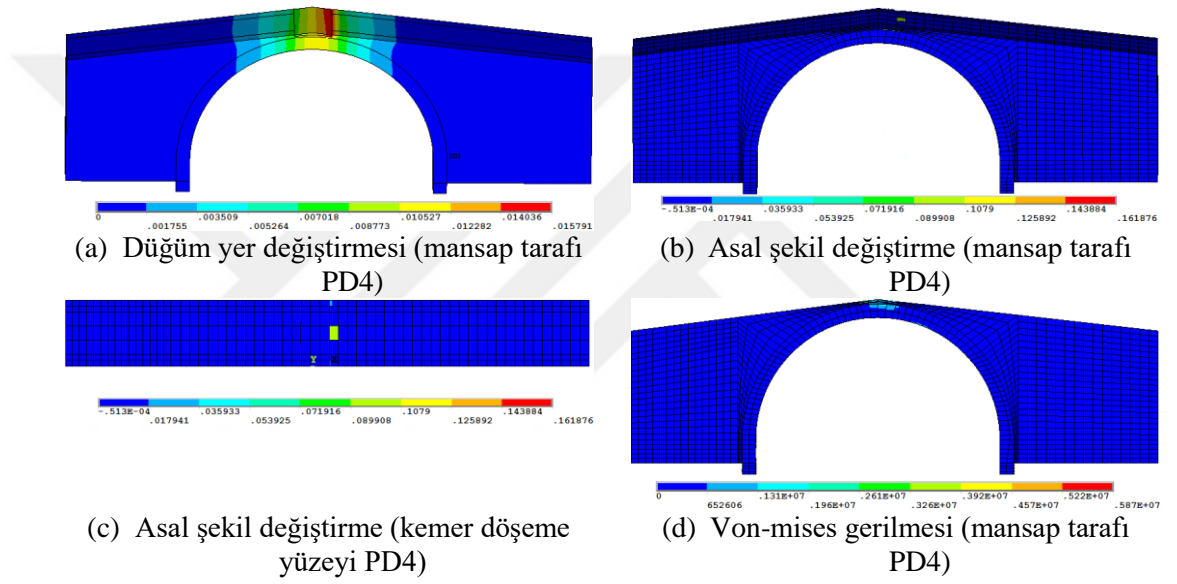
Düşey yükler altında en çok zorlanan kısımlar, yükün uygulandığı bölgelerdir. Başlangıçta, kemer mafsalsal içermez. Mafsalların oluşumu ve ayrılmalara yol açan tamamlayıcı çatlakların yayılması, çekme dayanımının yüklemeye noktasının altına ulaştığı konumda belirir. Son olarak, mafsalların oluşumu nedeniyle, kemer düşey yüklemeye

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

altında başarısız olmaktadır. Bu mekanizmalar, kemerler için en olası göçme mekanizması olarak düşünülebilir.

PD1 yüklemesinde göçme yükünün yüksek elde edilmesinin nedeni taşıyıcı ayağa çok yakın bir yükleme yapılmasından dolayıdır.

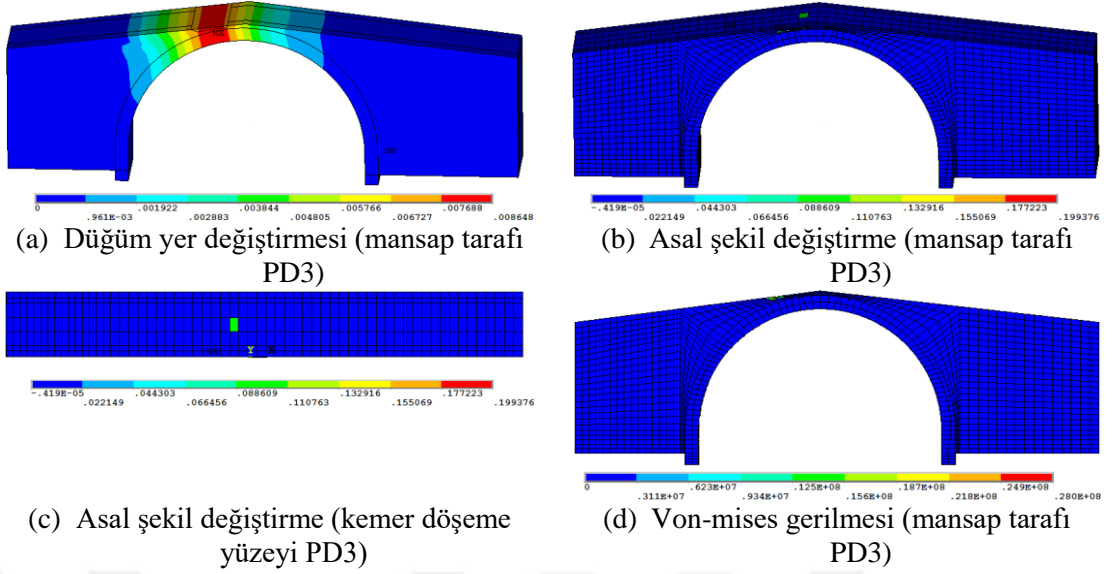
PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.61’de yer almaktadır.



Şekil 4.61. Şinik köprüsünün PD4 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

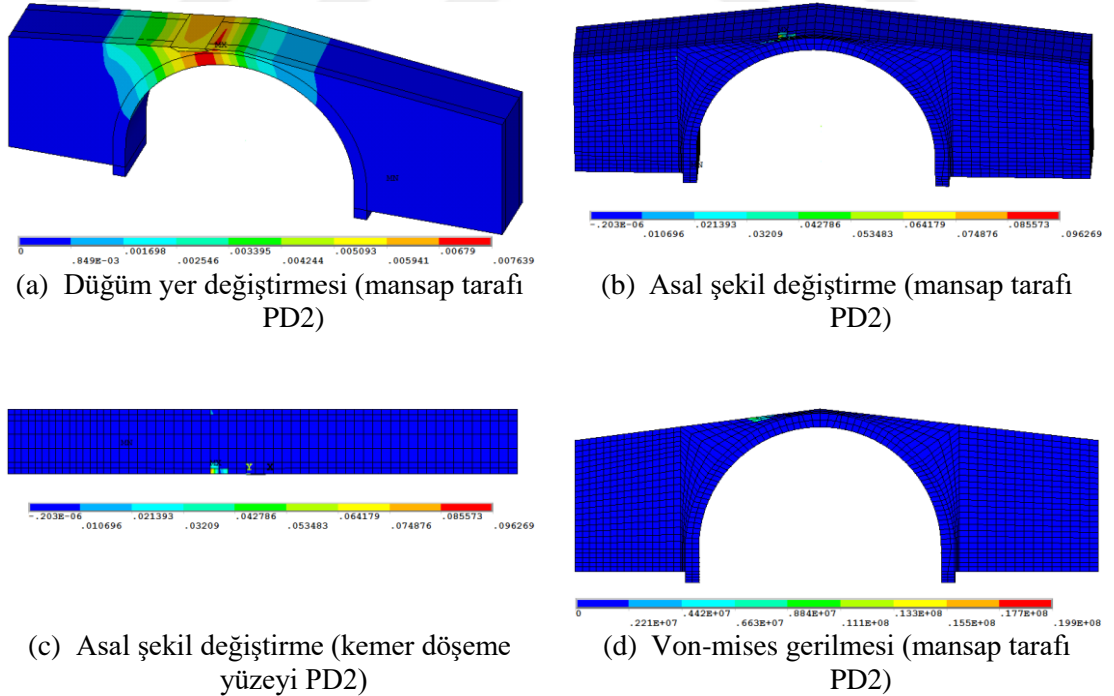
PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.62’de yer almaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.62. Şinik köprüsünün PD3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

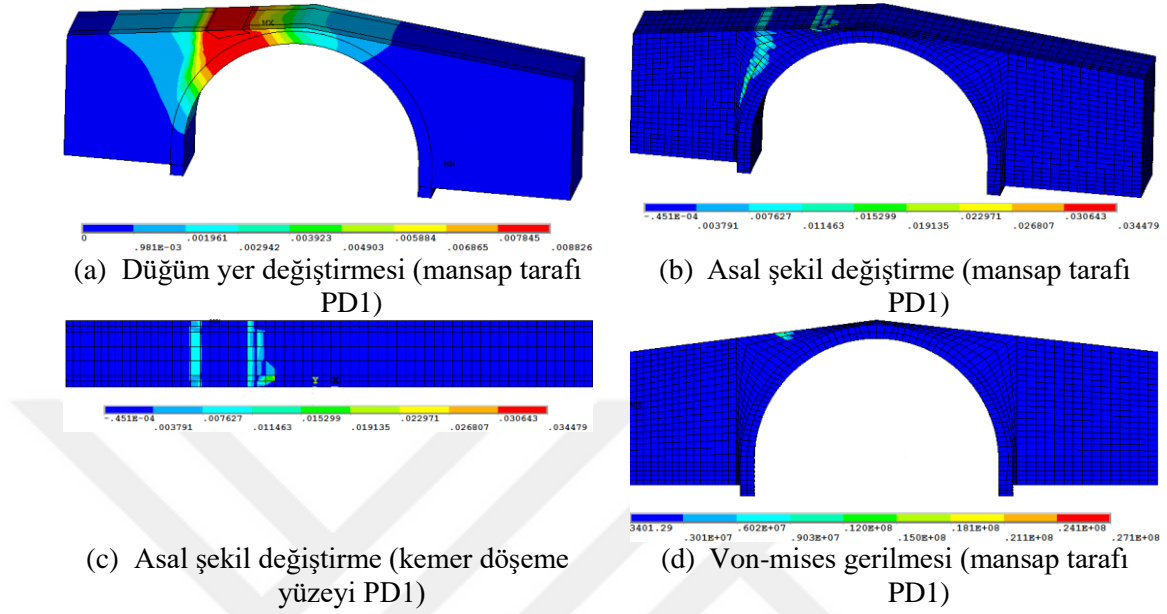
PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.63’de yer almaktadır.



Şekil 4.63. Şinik köprüsünün PD2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.64’de yer almaktadır.



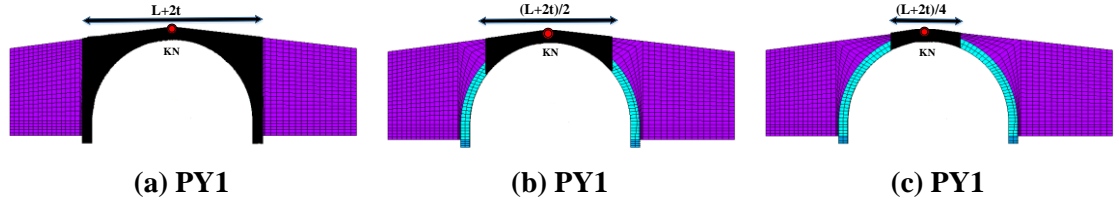
Şekil 4.64. Şinik köprüsünün PD1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

Çekme gerilmelerinin yükleme yapılan bölgelerde bazı düğüm noktalarında taşın çekme dayanımını aştığı belirlenmiştir. Çizelge 4.20’de yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri verilmiştir.

Çizelge 4.20. Şinik köprüsünde düşey doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri

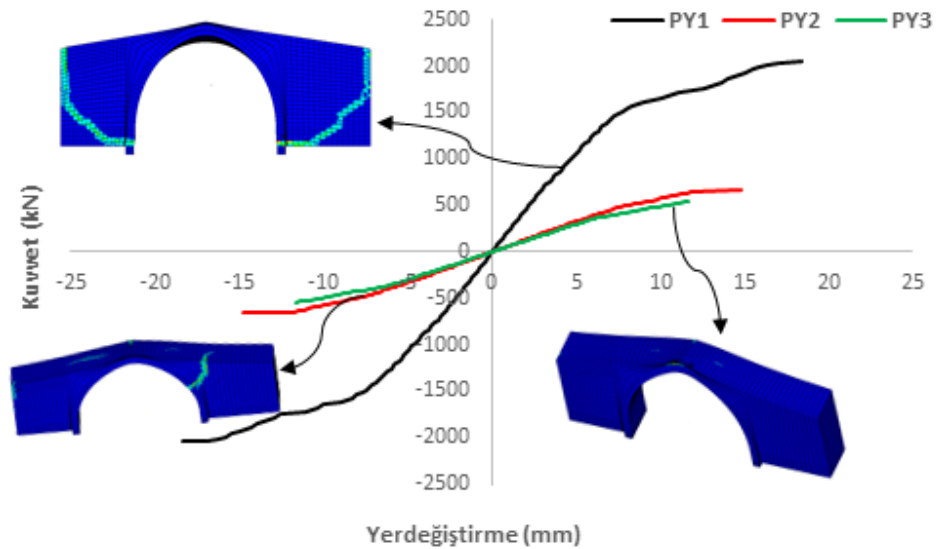
Yükleme adı	Gerilme (kPa)	Çekme gerilmesinin en büyük olduğu düğüm noktaları
PD1	3,447	5549 yükleme bölgesi
PD2	9,626	39 yükleme bölgesi
PD3	19,937	2183 yükleme bölgesi
PD4	16,187	5497 yükleme bölgesi

4.5.5.2. Yatay itme analizi



Şekil 4.65. Şinik köprüsünün yatay yükleme durumu ve tepe kontrol noktası (KN)

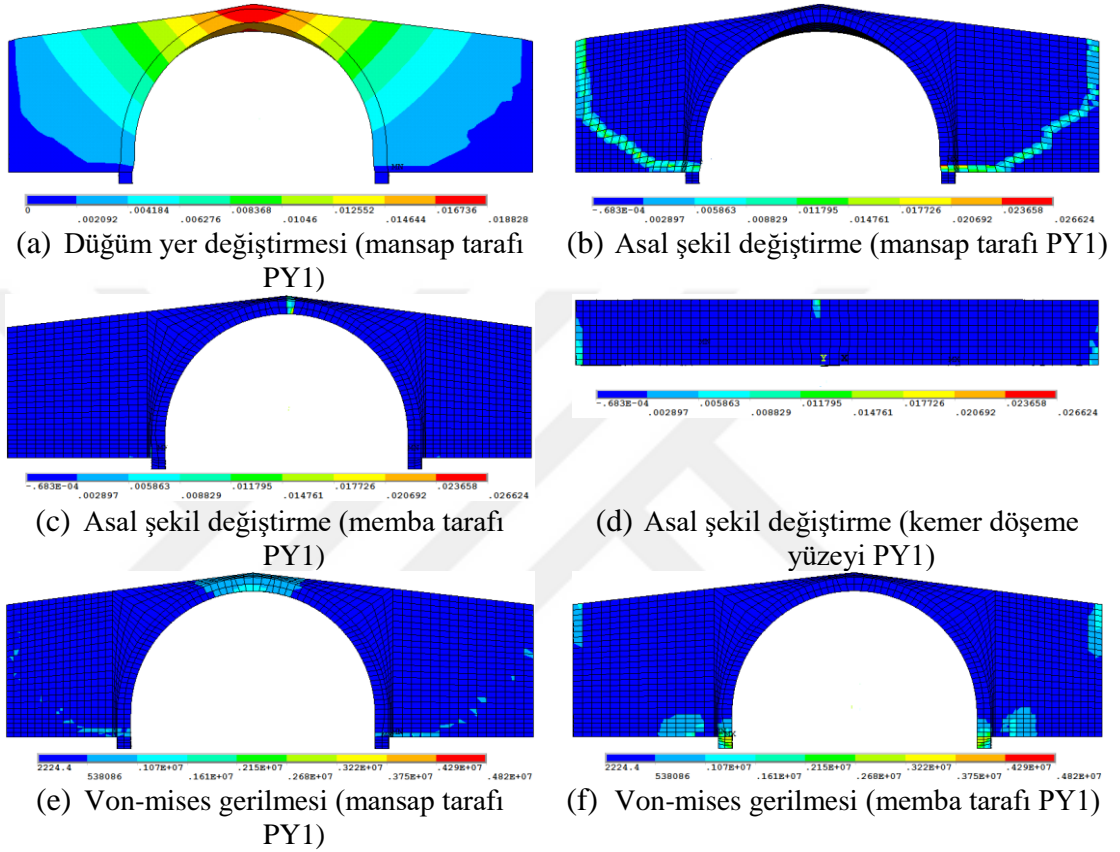
Köprünün yatay yük kapasitesini hesaplamak için kemer orta kısmının yan yüzünde $L/4$, $L/2$ ve L genişliğindeki bölgelerine PY yüklemesi olarak adlandırılan üç farklı yanal yük modeli uygulanmıştır. Referans yer değiştirme kontrol noktası Şekil 4.64'de gösterildiği gibidir. Bu yük modellerinin uygulanmasıyla hesaplanan kuvvet-yer değiştirme eğrileri Şekil 4.66'da gösterilmiştir. Grafikte görüldüğü gibi, PY1 yüklemesinde, kemerin yanal yük kapasitesi 2046,3 kN, en büyük yer değiştirme 18,4 mm'dir. PY2 durumunda, kemerin taşıma kapasitesi 658 kN'a ulaşırken, en büyük yer değiştirme 14,8 mm'dir. PY3 durumunda, kemerin yanal yük kapasitesi 545,2 kN'a ulaşırken, yer değiştirme 11,7 mm'dir.



Şekil 4.66. Şinik köprüsünün yatay statik yükleme altında elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Tüm analiz durumlarında, ana çatlaklar yükleme yapılan bölgenin kenarlarında gelişmiştir. Ayrıca taç bölgesinde çekme gerilmeleri de oluşmuştur. PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.67’de verilmiştir.

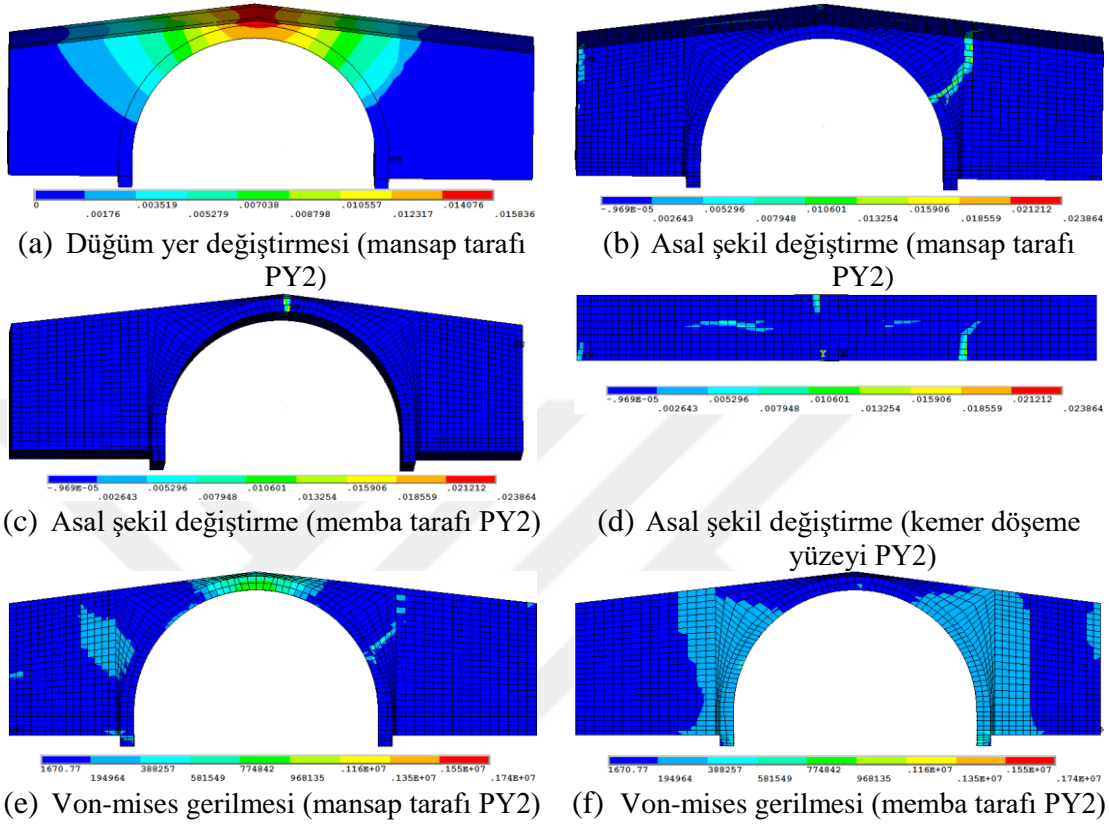


Şekil 4.67. Şinik köprüsünün PY1 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

PY1 analizinin Düğüm yer değişirme grafiği incelendiğinde en çok zorlanmanın kemer taç bölgesinde olduğu görülmektedir. Ayrıca kemerin mansap tarafı incelendiğinde kemerin her iki bölümünde kemer eğrisinin ucundan başlayıp destek bölgesinde birleşen çatlak dizini görülmektedir. Köprünün memba tarafında ise taç bölgesinde çatlak oluşmuştur. Von-mises gerilme grafiği incelendiğinde ise gerilmelerin memba tarafında kemer eğrisinden uç kısmından başlayarak destek bölgesine doğru yayıldığı görülmektedir. Mansap kısmında ise kemer eğrisinin uç kısmından başlayarak destek bölgesine doğru yayılan gerilmeler mevcuttur. Kemer üst bölgesinde de gerilmelerin yoğunlaştığı görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.68'de verilmiştir.

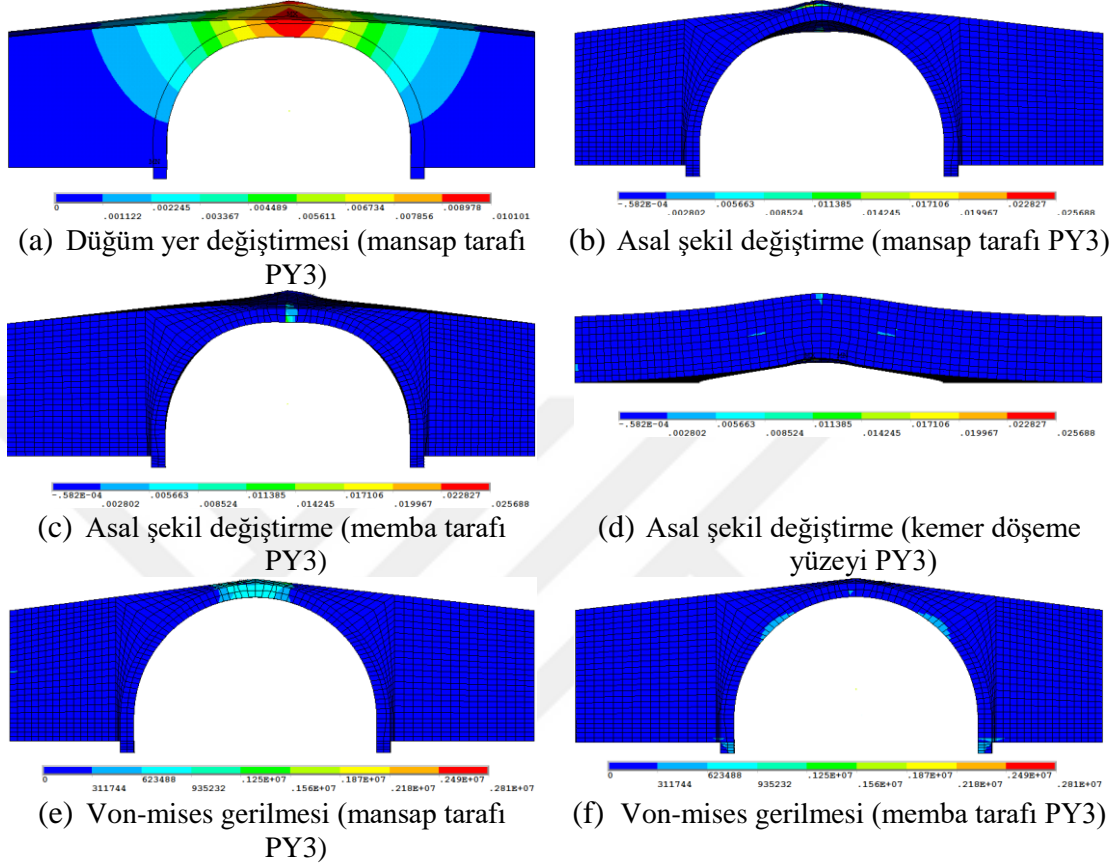


Şekil 4.68. Şinik köprüsünün PY2 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

PY2 analizinin Düğüm yer değişikliği grafiği incelendiğinde en çok zorlanmanın kemer taç bölgesinde olduğu görülmektedir. Ayrıca kemerin mansap tarafı incelendiğinde köprü'nün doğu tarafında kemer eğrisinden başlayarak destek bölgesine uzanan çatlak dizini oluşmuştur. Köprü'nün memba tarafında ise taç bölgesinde çatlak oluşmuştur. Von-mises gerilme grafiği incelendiğinde ise gerilmelerin memba tarafında kemer eğrisinden uç kısmından başlayarak destek bölgesine doğru yayıldığı görülmektedir. Mansap kısmında ise kemer eğrisinin uç kısmından başlayarak destek bölgesine doğru yayılan gerilmeler mevcuttur. Kemer üst bölgesinde de gerilmelerin yoğunlaştığı görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi Şekil 4.69'da verilmiştir.



Şekil 4.69. Şinik köprüsünün PY3 yüklemesi altında göçme mekanizmasını gösteren ana gerilmeler ve Von-mises gerilmesi

PY3 analizinin Düğüm yer değişikliği grafiği incelendiğinde en çok zorlanmanın kemer taç bölgesinde olduğu görülmektedir. Ayrıca kemerin mansap tarafı incelendiğinde kemer üst bölgesinde çatlak oluşmuştur. Memba tarafında ise kemer taç bölgesinde çatlak oluşmuştur. Von-mises gerilme grafiği incelendiğinde ise gerilmelerin memba tarafında kemer üst bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir. Memba kısmında ise kemer eğrisinde gerilmeler oluşmuştur.

Çekme gerilmelerinin yükleme yapılan bölgelerde bazı düğüm noktalarında taşın çekme dayanımını aştığı belirlenmiştir. Çizelge 4.21'de yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri verilmiştir.

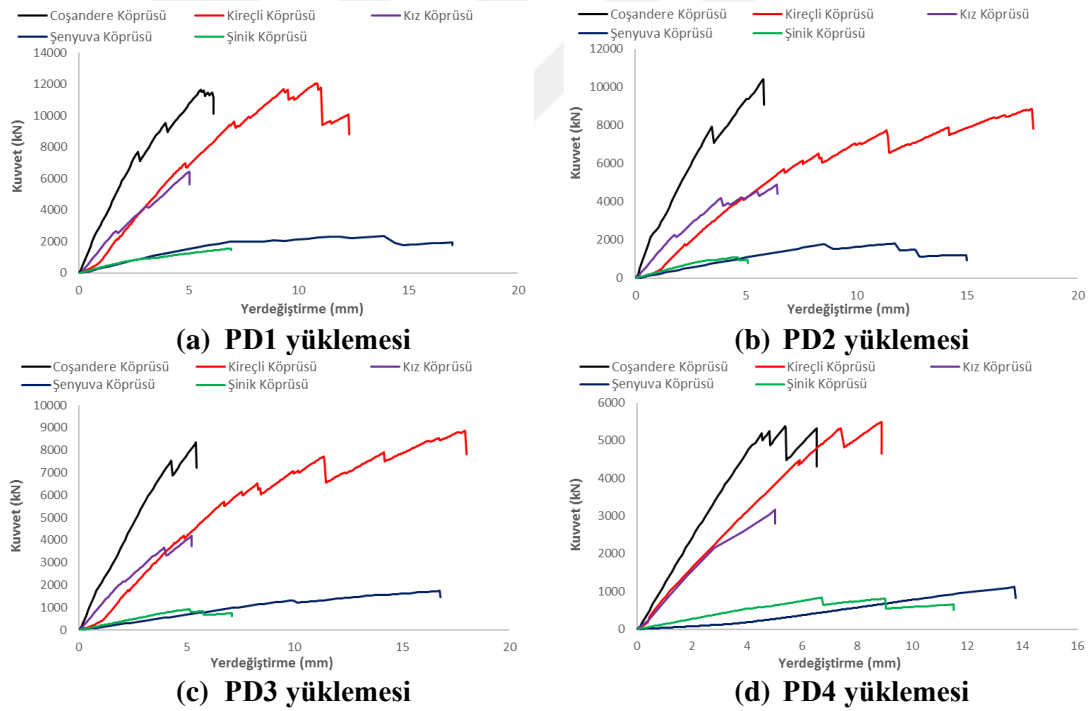
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.21. Şinik köprüsünde yatay doğrultuda yüklemelere ait en büyük çekme gerilmeleri

Yükleme adı	Gerilme (kPa)	Çekme gerilmesinin en büyük olduğu düğüm noktaları
PY1	2,662	2256 temel kayası
PY2	2,386	6150 kemer üst bölgesi
PY3	2,568	2324 kemer üst bölgesi

4.5.6.1. Düşey yönde statik itme analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

Köprülerin malzeme özellikleri, kemer yüksekliği, kemer açıklığı, kemer kalınlığı gibi parametreler yük taşıma kapasitesini etkilemektedir. Şekilde farklı geometrilere ve malzeme özelliklerine sahip olan köprülerin, farklı noktalarda düşey yönde yük uygulanarak elde edilen kapasite eğrilerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Düşey yükler altında en çok zorlanan kısımlar, yükün uygulandığı bölgelerdir.



Şekil 4.70. Köprülerin düşey yönde statik itme analiz eğrilerinin karşılaştırılması

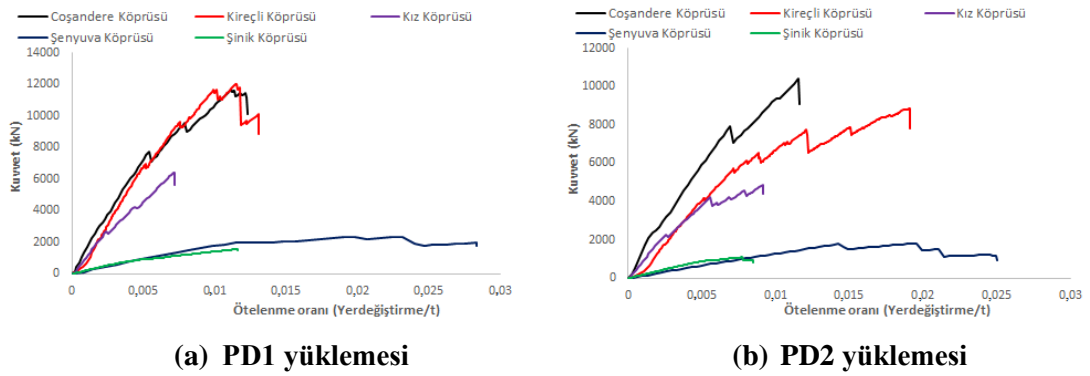
Malzeme özellikleri, toplam köprü uzunluğu, köprü genişliği ve kemer kalınlığı gibi özellikleri birbirine yakın olan Kız ve Şinik köprülerinin kemer açıklığı ve kemer yüksekliği farklıdır. Kemer açıklığı ve kemer yüksekliği gibi parametrelere bağlı olarak ta düşey yük taşıma kapasitesi farklı çıkmaktadır. Düşey yönde gerçekleştirilen itme

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

analizlerinden en büyük düşey yük taşıma kapasitesi Coşandere köprüsüne aittir. En düşük yük taşıma kapasitesi ise Şinik köprüsüne aittir. En büyük yer değiştirme Kireçli köprüsünde meydana gelmiştir (Şekil 4.70).

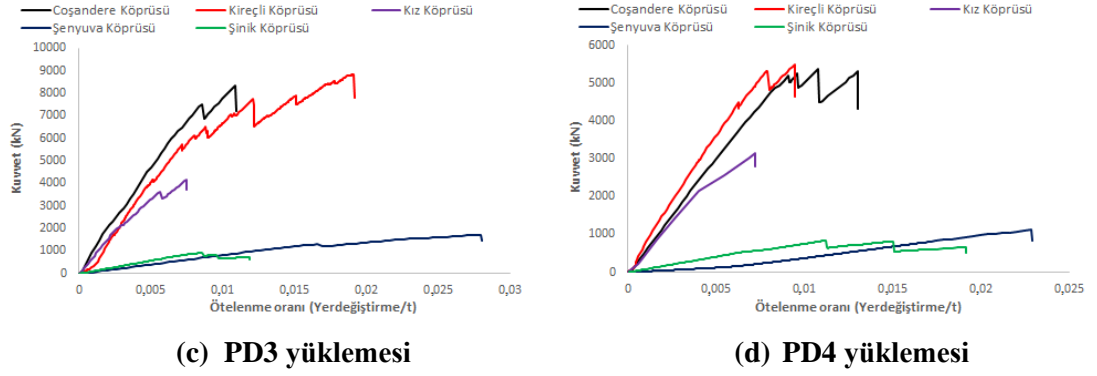
Coşandere köprüsünün itme analizlerinde en büyük yer değiştirme PD4 yüklemesinden elde edilmiş olup, sonrasında ise sırasıyla PD1,PD2 ve PD3 yüklemelerinde giderek azalma gözlenmiştir. Kireçli köprüsü için gerçekleştirilen düşey itme analizlerinde ise en büyük yer değiştirme ise PD2 yüklemesinden elde edilmiştir. Kız köprüsü için gerçekleştirilen düşey itme analizlerinde de en büyük yer değiştirme Kireçli köprüsünde olduğu gibi PD2 yüklemesinden elde edilmiştir. Şenyuva köprüsünde diğer köprülerden farklı davranış sergileyerek en büyük yer değiştirme PD1 analizinden elde edilmiştir. Bu farklılığın köprünün geometrik özelliği, malzeme özelliklerine bağlı olduğu söylenebilir. Şinik köprüsünde ise en büyük yer değiştirme Coşandere köprüsünde olduğu gibi PD4 yüklemesinden elde edilmiştir.

Köprülerin genel özelliği, düşey yönde yük taşıma kapasitesinin köprü ayağından kemer ortasına doğru azalma eğiliminde olmasıdır. Ancak düşey yükler altında göstermiş olduğu davranışlar kemer yüksekliği, kemer açıklığı, kemer kalınlığı ve malzeme özelliği gibi parametrelere bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. Düşey yönde yük taşıma kapasitesini etkileyen kemer kalınlığına bağlı ötelenme oranları Şekil 4.71’de verilmiştir.



Şekil 4.71. Köprülerin düşey yönde statik itme analiz eğrilerinin karşılaştırılması

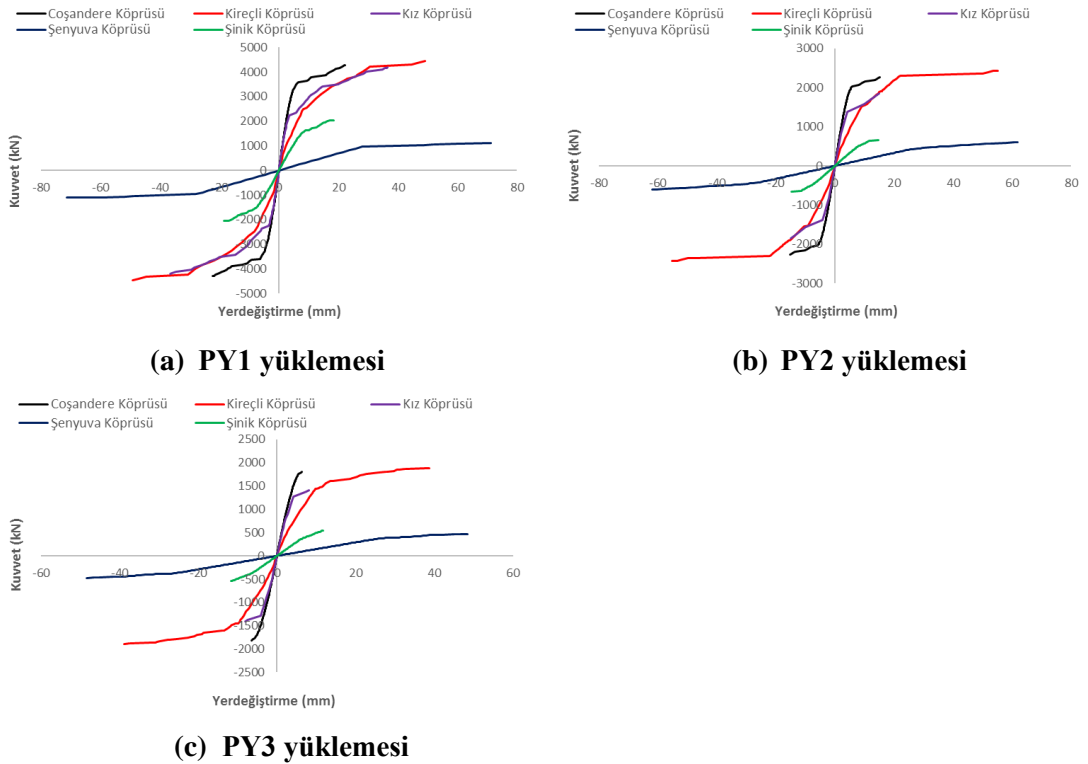
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.71. Köprülerin düşey yönde statik itme analiz eğrilerinin karşılaştırılması (devam)

4.5.6.2. Yatay yönde statik itme analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

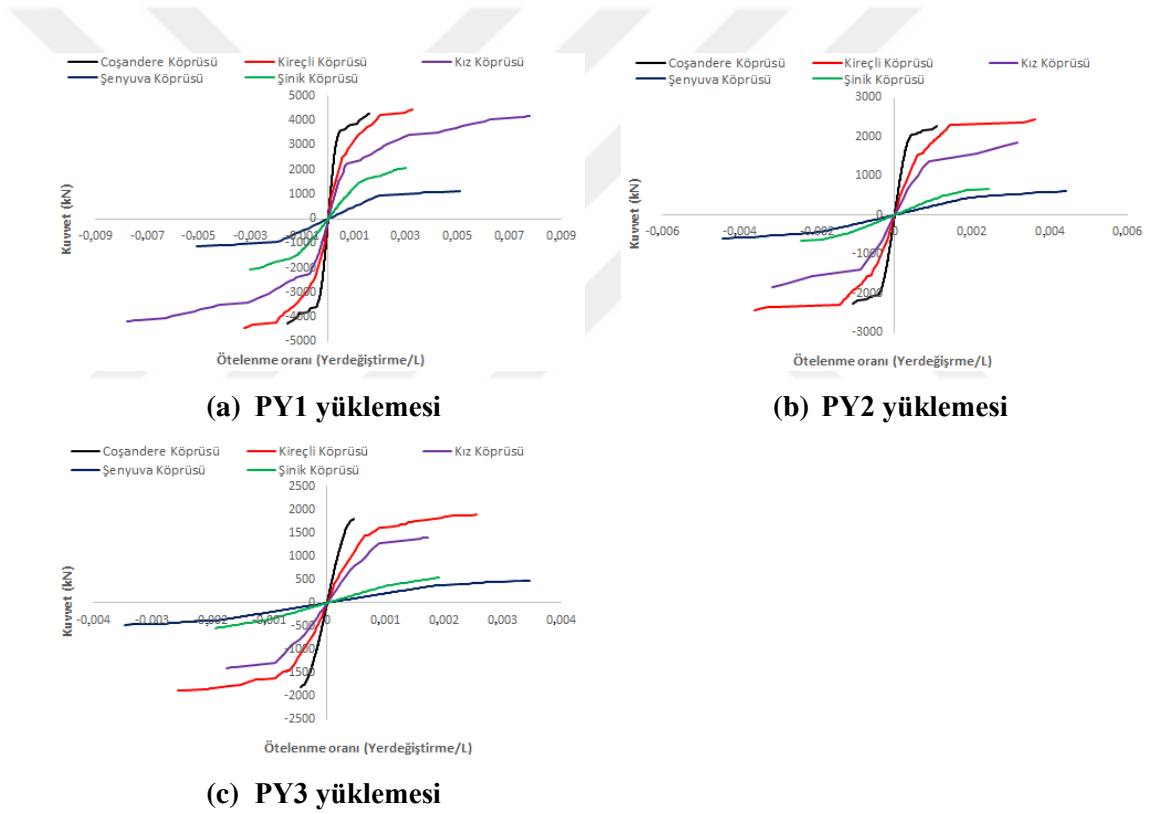
Dikkatli bir şekilde gerçekleştirilen itme analizi, şiddetli depremler sırasında performansı kontrol eden yapısal yönler için ön bilgi sağlayacaktır. Özellikle temel modda titreşen yapılar için, itme analizi büyük olasılıkla genel veya lokal esnek olmayan deformasyon taleplerinin yaklaşık tahminlerini sağlayacaktır.



Şekil 4.72. Köprülerin yatay yönde statik itme analiz eğrilerinin karşılaştırılması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu analiz aynı zamanda elastik bir analizde saklı kalabilecek tasarım zayıflıklarını da ortaya çıkaracaktır. Köprüler için gerçekleştirilen yatay yönde statik itme analizlerinde elde edilen genel yargı yükün uygulandığı açıklığa bağlı olarak, uygulama alanının genişlemesiyle hem yatay yük taşıma kapasitesinin hem de yatay yer değiştirmenin orantılı olarak artmasıdır. En büyük yer değiştirme narin köprü olan Şenyuva köprüsünden elde edilmiş olup, en düşük yatay yük taşıma kapasitesi yine bu köprüye aittir (Şekil 4.72). Köprülere uygulanan PY1 yüklemesiyle gerçekleştirilen analizlerden elde edilen hasar mekanizmalarıyla dinamik analizlerde elde edilen hasar mekanizmaları benzerlik göstermektedir. Köprülerin kemer açıklığına bağlı ötelenme oranları Şekil 4.73’de verilmiştir.



Şekil 4.73. Köprülerin yatay yönde kemer açıklığına bağlı ötelenme oranlarının karşılaştırılması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.6. Dinamik Analizler

Tarihi yığma kemer köprülerin deprem yükleri altındaki davranışlarını belirleyebilmek için doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. 8 adet yer hareketi ivme kaydı kullanılmıştır. Kullanılan ivme kayıtları ATC63'e göre ölçeklendirilmiştir. Çizelge 4.22'de kullanılan ivme kayıtlarının özellikleri verilmektedir.

Çizelge 4.22. Analizlerde kullanılan depremlerin özellikleri

Deprem	Tarih	İsim	PGA (g)	Ölçeklendirme Katsayısı (ATC63)	Fay Tipi
Loma-Prieta	18/10/1989	NGA753	0,479	1,17	Ters Oblik Atımlı
Kobe	16/01/1995	NGA1111	0,503	1,03	Yanal Atımlı
Rudbar-İran	20/06/1990	NGA1633	0,496	0,79	Sol Yönlü Doğrultu Atımlı
Erzincan	13/03/1992	NGA821	0,515	1,09	Kuzeybatı-Güneydoğu doğrultu, Sağ Yönlü Atımlı
Düzce	12/11/1999	NGA1605	0,535	1,08	Tekil Sağ Yönlü, Doğrultu Atımlı
İzmit	17/08/1999	NGA1165	0,424	2,79	Tekil Sağ Yönlü, Doğrultu Atımlı
Hector-Mine	16/10/1999	NGA1787	0,337	1,09	Doğrultu Atımlı
Yarımca	17/08/1999	NGA1176	0,268	1,04	Doğrultu Atımlı

Çizelge 4.22. Analizlerde kullanılan depremlerin özellikleri (devam)

Deprem	Tarih	İsim	X	Y	Z
Loma-Prieta	18/10/1989	NGA753	Corralitos_00	Corralitos_V	Corralitos_90
Kobe	16/01/1995	NGA1111	NishiAkashi_00	NishiAkashi_V	NishiAkashi_90
Rudbar-İran	20/06/1990	NGA1633	Abbar_L	Abbar_V	Abbar_T
Erzincan	13/03/1992	NGA821	Erzincan_EW	Erzincan_V	Erzincan_NS
Düzce	12/11/1999	NGA1605	Duzce_180	Duzce_V	Duzce_270
İzmit	17/08/1999	NGA1165	Izmit_90	Izmit_V	Izmit_180
Hector-Mine	16/10/1999	NGA1787	Hector_00	Hector_V	Hector_90
Yarımca	17/08/1999	NGA1176	Yarımca_30	Yarımca_V	Yarımca_60

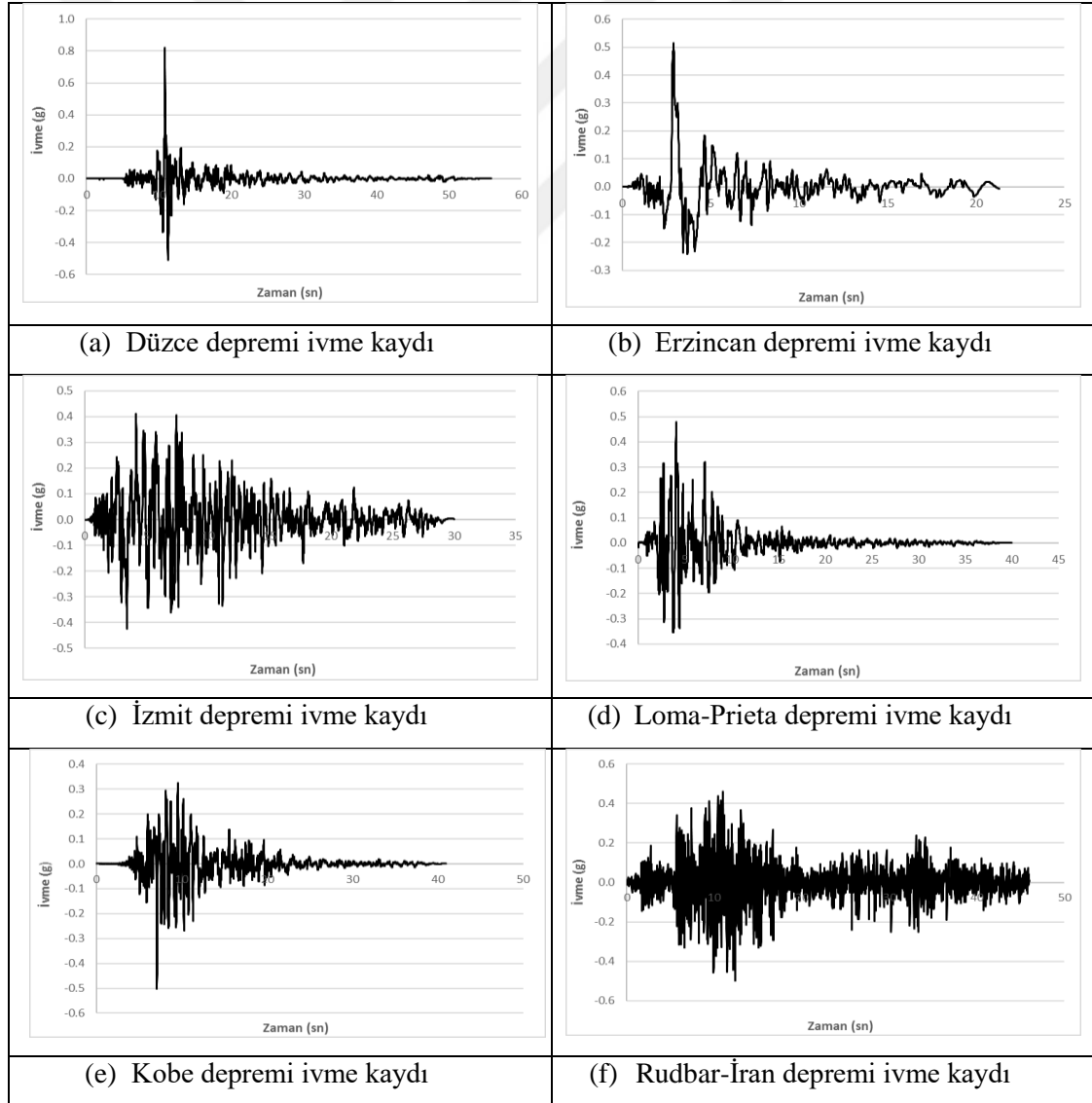
Kullanılan yer hareketlerine ait diğer özellikler Ek 1'de verilmiştir. Etki ettirilen kuvvetler altında yapıyı oluşturan elemanlarda meydana gelen çatlama, akma ve

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

sonrasındaki davranışlarını, dinamik analizlerden elde edilen histeretik çevrimler temsil etmektedir. Bu çevrimlerin asıl amacı, tersinir yükler etkisinde yapıların davranışlarını mümkün olduğu kadar gerçeğe yakın olarak yansıtmaktır. Yapı elemanlarının davranışında tersinir tekrarlı yükleme olması durumunda gözlemlenen farklılıklar, şekil değiştirme seviyesinin ilerlemesi ve çevrim sayısının artması ile dayanım ve rijitliğin azalması ve ayrıca başlangıç bölgesinde meydana gelen çevrim sıkışmasıdır (İlki 2000 ve Pakyürek 2006). Dinamik analizlerde deprem yer hareketleri 3 yönlü olarak uygulanmıştır.

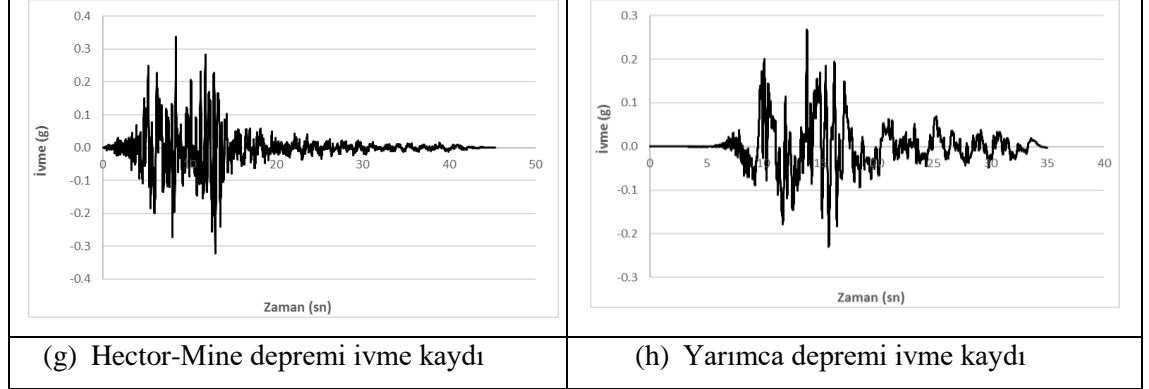
Çizelge 4.23’de dinamik analizlerde kullanılan deprem ivme kayıtları yer almaktadır.

Çizelge 4.23. Analizlerde kullanılan deprem ivme kayıtları



4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

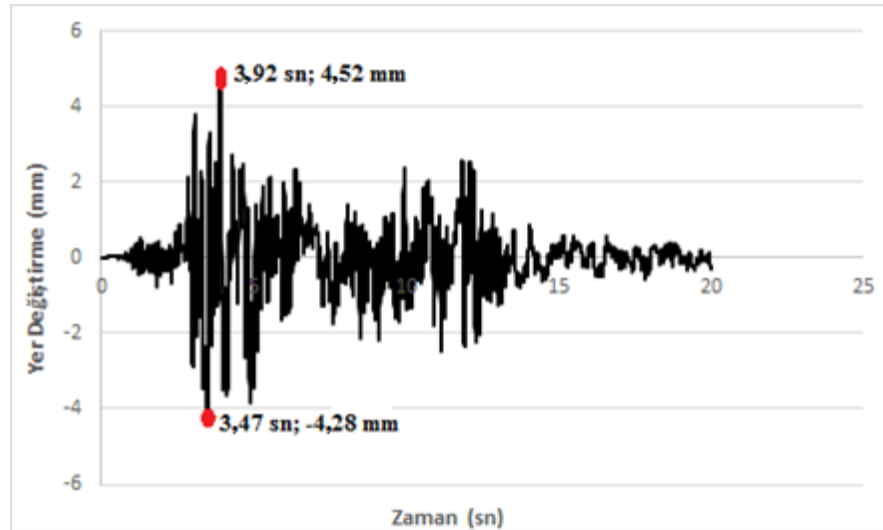
Çizelge 4.23. Analizlerde kullanılan deprem ivme kayıtları (devam)



4.6.1. Coşandere Köprüsüne ait doğrusal olmayan dinamik analizler

4.6.1.1. Coşandere köprüsü Düzce depremine ait dinamik analiz

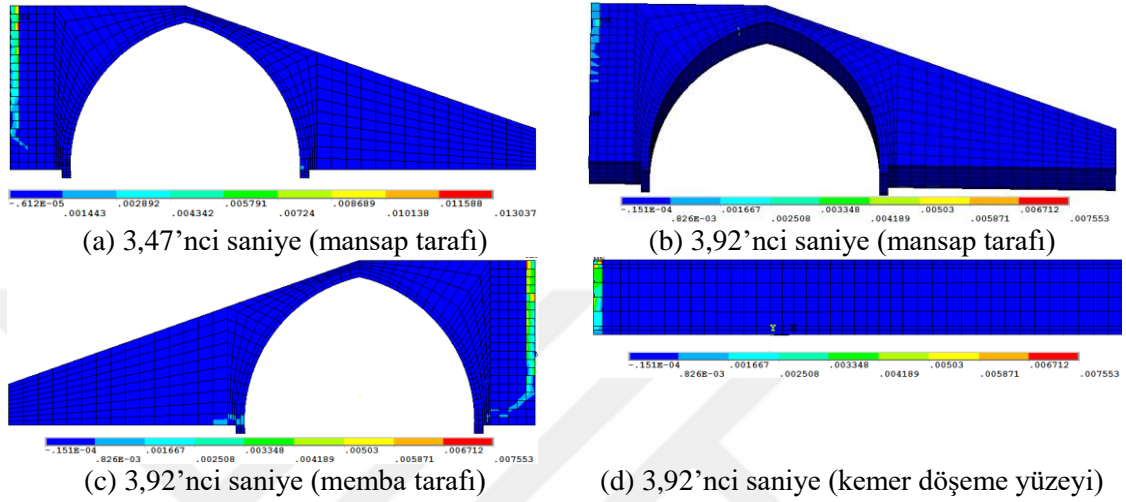
Kemer köprüde ilk olarak gerilmeler destek bölgesinde oluşmuştur. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.74’de incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin gerçekleştiği süreler görülmektedir. Bunların ilki 3,47’nci saniyede, ikincisi ise 3,92’nci saniyede meydana gelmiştir.



Şekil 4.74. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

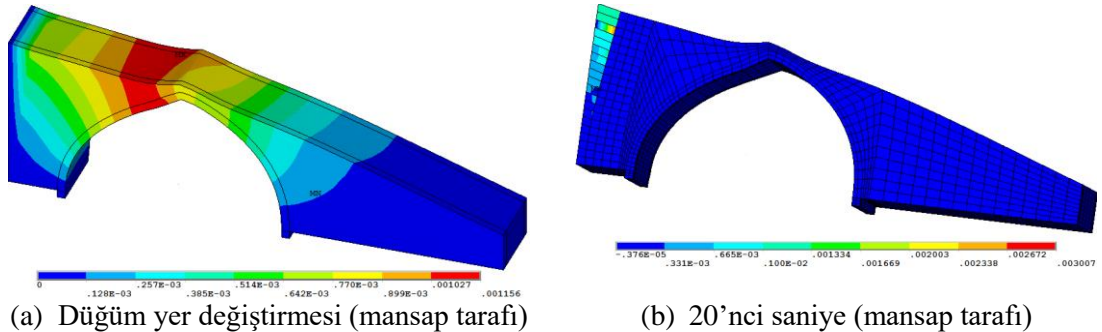
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

3,47'nci saniyede 4,28 mm yer değiştirmeye karşılık 4144,3 kN'luk bir kuvvet elde edilmiştir. Depremin ilerleyen 3,91'nci saniyesinde ise 4.52 mm yer değiştirmeye karşılık 4244,7 kN'luk bir kuvvet elde edilmiştir. Bu saniyelere ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.75'de verilmiştir.



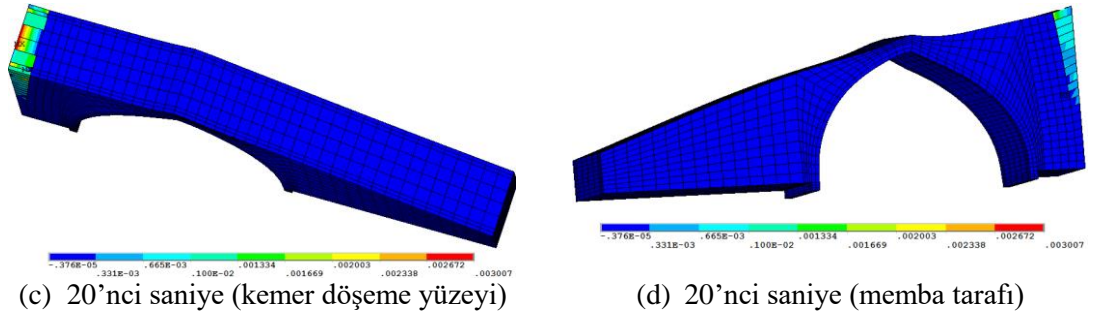
Şekil 4.75. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında 3,47'nci ve 3,92'nci saniyelere ait asal şekil değiştirmeler

Köprünün memba tarafında destek bölgesinden başlayıp çapraz şekilde üzengi taşına doğru ilerleyen gerilmeler oluşmuştur. Ayrıca memba tarafında kemer yayının diğer ucunda gerilmelerin oluştuğu görülmektedir. Deprem kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz 20'nci saniyeye kadar devam etmiştir. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.76'da yer almaktadır.



Şekil 4.76. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



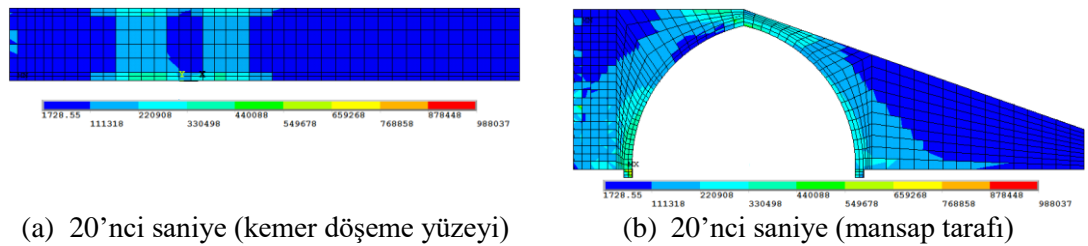
Şekil 4.76. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler (devam)

Analiz boyunca maksimum yer değiştirme 3,905'inci saniyede meydana gelmiştir ve 4,93 mm'dir. Kuvvet ise 5050,8 kN'dur.

20'nci saniyede çekme gerilmelerinin, düğüm noktalarında taşın çekme dayanımını aşmadığı görülmüştür. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üzengi bölgesinde yer alan 3067 nolu düğüm noktasıdır. E

Köprünün taşıyıcı elemanlarında meydana gelen gerilmelerin sınır değerlerin çok altında olması nedeni ile Düzce deprem yükü altında hasar almayacağı görülmektedir.

20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.77'de verilmiştir.

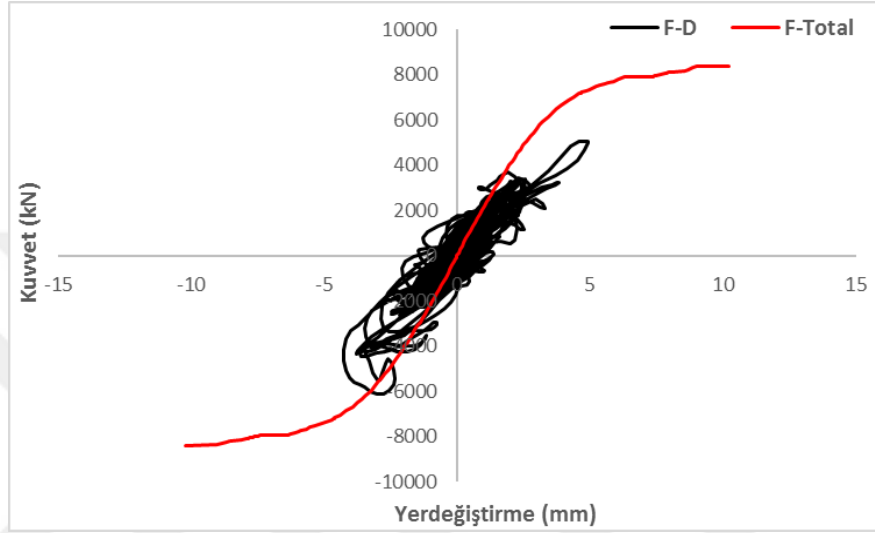


Şekil 4.77. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilmeleri incelendiğinde gerilmelerin kemer yayının taç kısmından başlayıp üzengi bölgesine ve sonrasında ise destek bölgelerine doğru yayıldığı görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

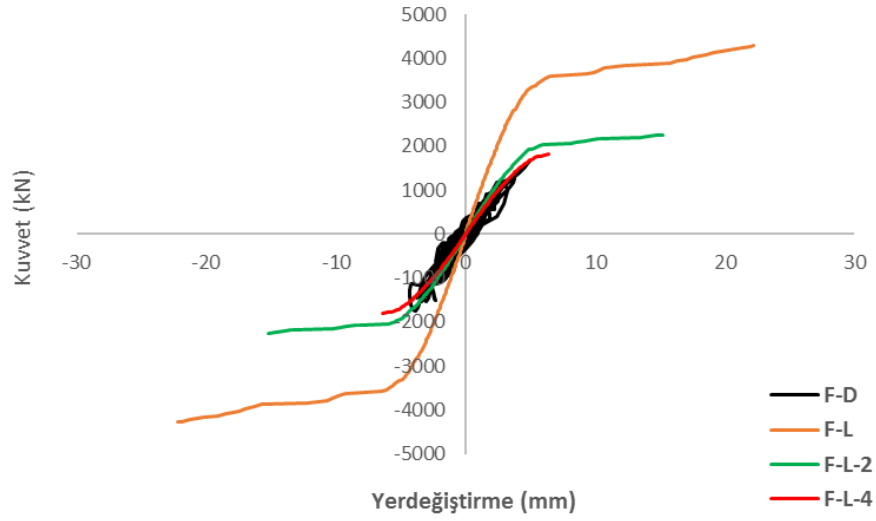
Şekil 4.78’de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 10,2 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 4,93 mm’dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 8375 kN iken dinamik analizde 5972 kN’dur.



Şekil 4.78. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Karşılaştırma yapabilmek için yatay yönde uygulanan itme analizleri ve dinamik analizler sadece kemer ana gövdesi alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.79).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.79. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L / 2 ve L / 4 açıklıklarına ait itme analizleri ve dinamik analiz eğrisi

Yatay itme analizlerinde, PY1 analizi için yükleme yapılan bölge kemer açıklığı (L) ve kemer kalınlığıdır (t). PY2 analizinde yükleme yapılan yer $(L+2t)/2$ olarak seçilmiştir. PY3 analizinde ise $(L+2t)/4$ olarak yükleme bölgesi seçilmiştir.

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.24'de verilmiştir.

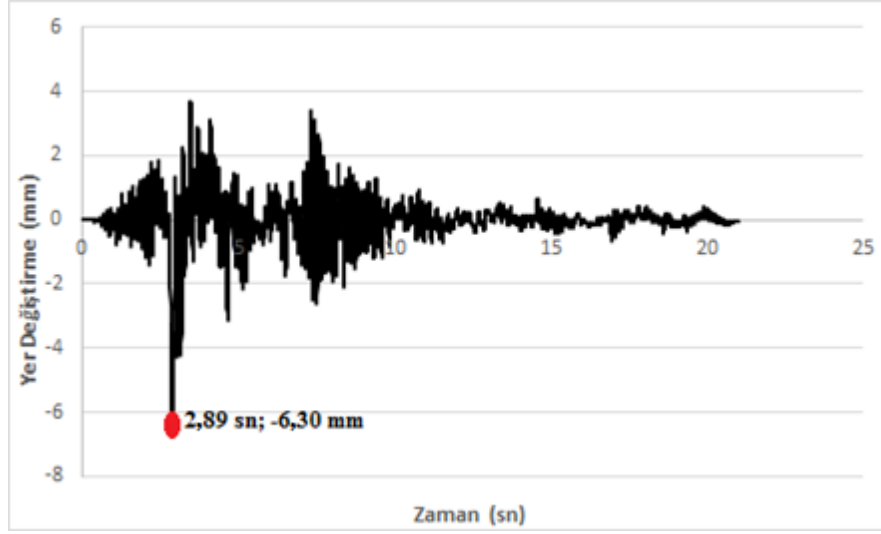
Çizelge 4.24. Coşandere köprüsü için Düzce deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değıştirme

Analiz adı	Maksimum yer değıştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	4,55	1694
PY1 (L+2t)	22,2	4286
PY2 ((L+2t)/2)	15,2	2261
PY3 ((L+2t)/4)	6,4	1808

4.6.1.2. Coşandere köprüsü Erzincan depremine ait dinamik analiz

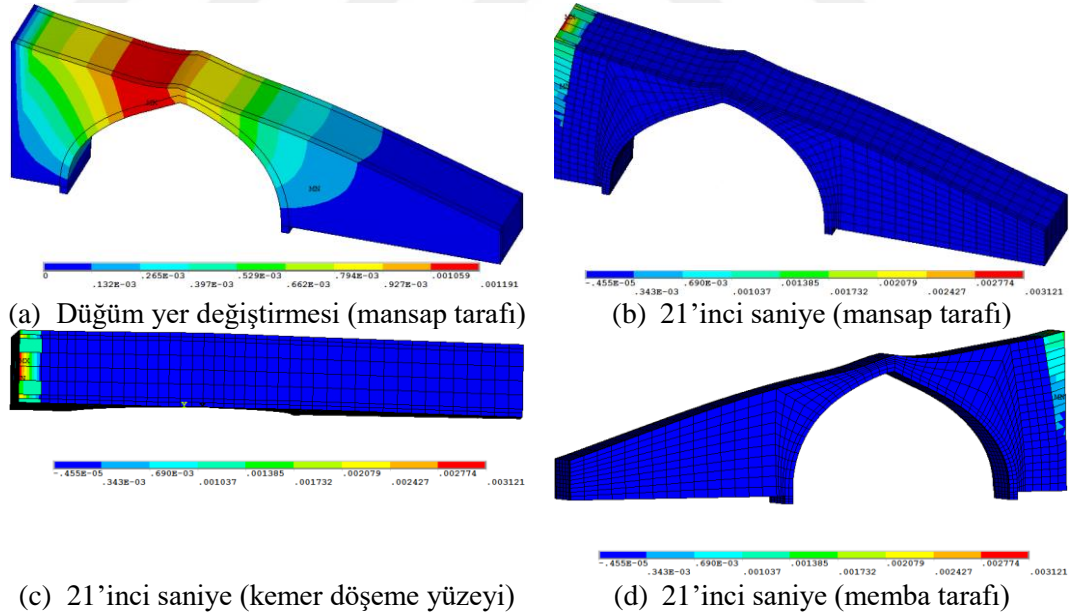
Kemer köprüde ilk olarak gerilmeler destek bölgesinde oluşmuştur. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizin yer değıştirme-zaman grafiği Şekil 4.80'de incelendiğinde en büyük yer değıştirmenin 2,89'uncu saniyede meydana geldiği görülmektedir. 2,89'uncu saniyede yer değıştirmenin 6,3 mm olduğu ve kuvvetin ise 7109 kN olduğu belirlenmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.80. Coşandere köprüsü için Erzincan deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Deprem kaydının 21 saniyesi dikkate alınarak doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.81’de yer almaktadır.



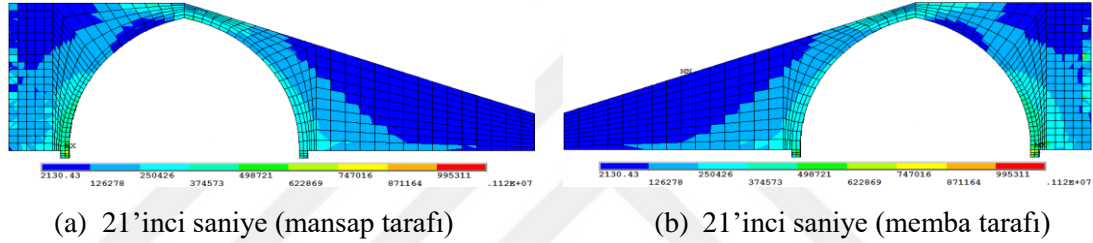
Şekil 4.81. Coşandere köprüsü için Erzincan deprem kaydında 21’inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği ise kemer üst bölgesinde zorlanma meydana gelmiştir. Analiz boyunca maksimum yer değiştirme 2,89'uncu saniyede meydana gelmiştir ve 6,3 mm'dir. Kuvvet ise 7109,7 kN'dur.

21'inci saniyede çekme gerilmelerinin düğüm noktalarında taşın çekme dayanımını geğmediği görölmüştür. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üzengi bölgesinde yer alan 1370 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,312 kPa olarak belirlenmiştir.

21'inci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.82'de verilmiştir.



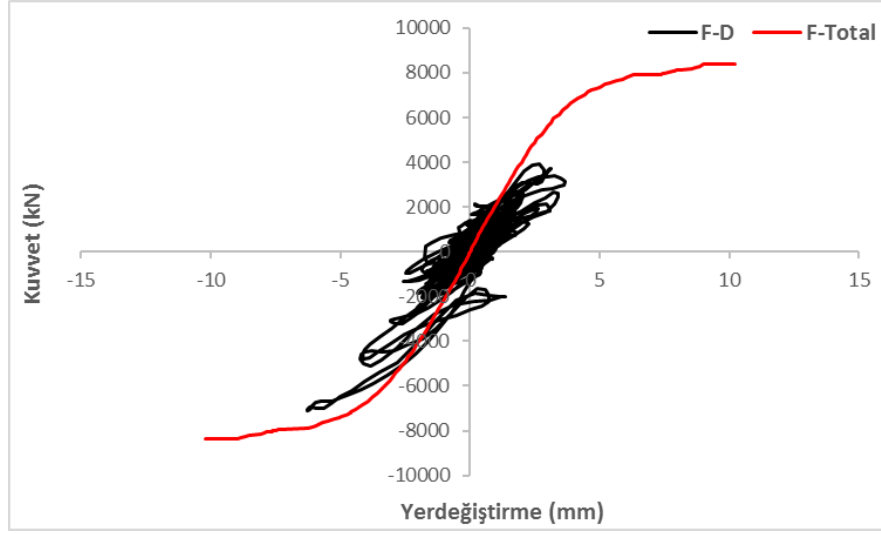
Şekil 4.82. Coşandere köprüsü için Erzincan deprem kaydında 21'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilmeleri incelendiğinde gerilmelerin kemer yayının taç kısmından başlayıp üzengi bölgesine ve sonrasında ise destek bölgelerine doğru yayıldığı görölmektedir.

Köprünün taşıyıcı elemanlarında meydana gelen gerilmelerin sınır değerlerin çok altında olması nedeni ile Erzincan deprem yükü altında hasar almayacağı görölmektedir.

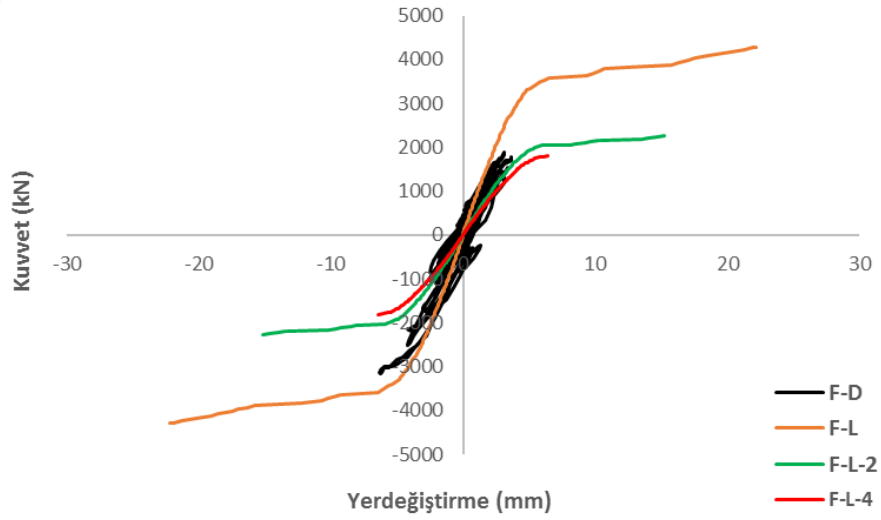
Şekil 4.83'de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 10,2 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 6,3 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 8375 kN iken dinamik analizde 7109 kN'dur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.83. Coşandere köprüsü için Erzincan deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.84'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.84. Coşandere köprüsü için Erzincan deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L / 2 ve L / 4 açıklıklarına ait itme analizleri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.25'de verilmiştir.

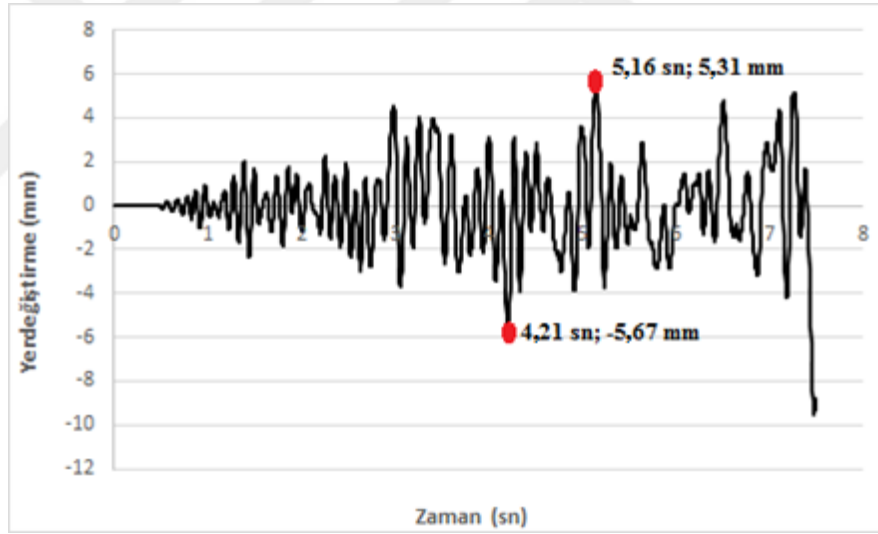
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.25. Coşandere köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	6,27	3149
PY1 (L+2t)	22,2	4286
PY2 ((L+2t)/2)	15,2	2261
PY3 ((L+2t)/4)	6,4	1808

4.6.1.3. Coşandere köprüsü İzmit depremine ait dinamik analiz

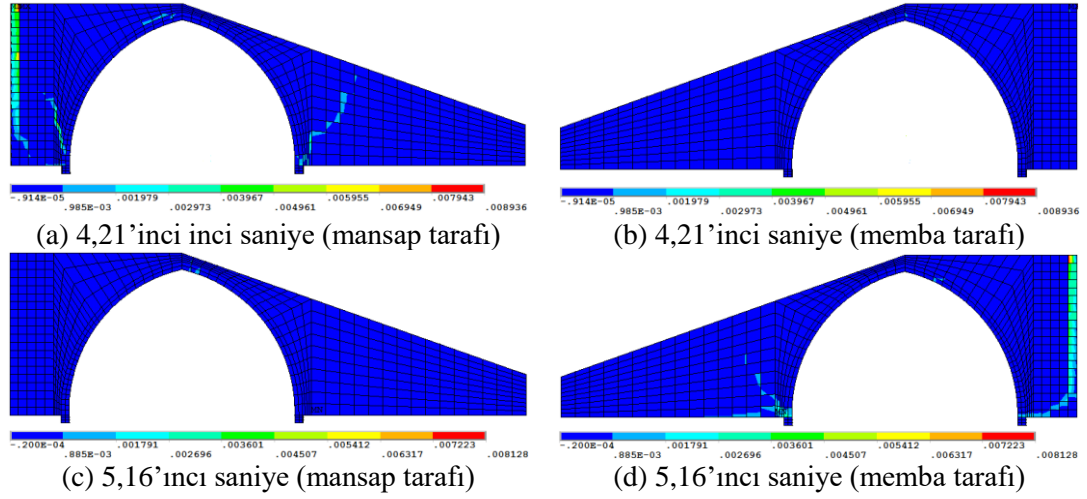
Kemer köprüde ilk olarak gerilmeler destek bölgesinde olmuştur. Zaman tanım alanında gerçekteştirilen analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.85’de incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin gerçekteştiği süreler görölmektedir. Bunların ilki 4,21’inci saniyede, ikincisi ise 5,16’ıncı saniyede meydana gelmiştir.



Şekil 4.85. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydı kullanarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

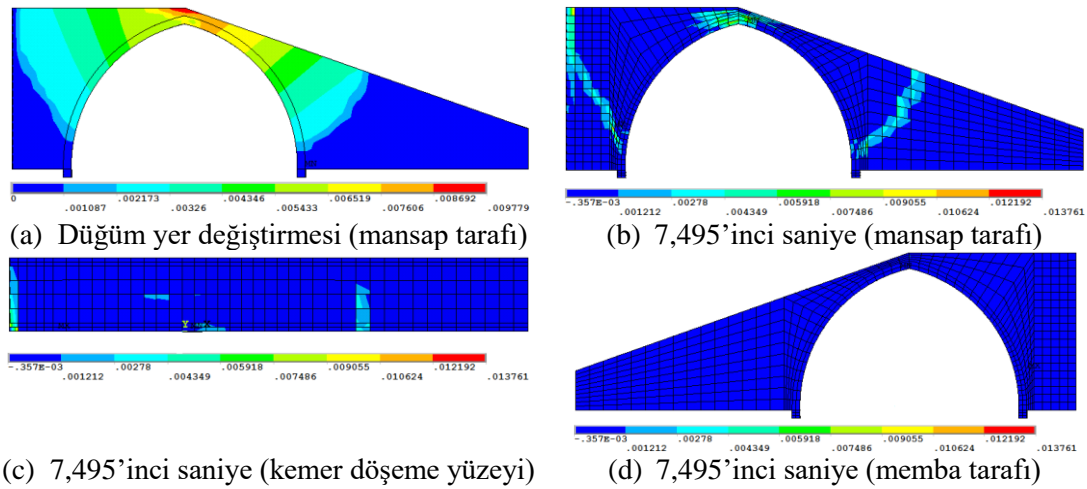
4,21’inci saniyede 5,67 mm yer değiştirmeye karşılık 3809,6 kN’luk bir kuvvet elde edilmiştir. Depremin ilerleyen 5,16’ıncı saniyesinde ise 5,31 mm yer değiştirmeye karşılık 4487,1 kN’luk bir kuvvet elde edilmiştir. 5,16’ıncı saniyede memba tarafında kemerde ezilme ve çatlamlar kemer ucundan başlayarak destek bölgesine kadar yayılmıştır. Bu saniyelere ait asal Şekil değiştirmeler Şekil 4.86’da verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.86. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydında 4,48'inci ve 4,78'inci saniyelere ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği ise kemer üst bölgesinde zorlanma meydana gelmiştir. Analiz boyunca maksimum yer değiştirme 7,475'inci saniyede meydana gelmiştir ve 9,44 mm'dir. Kuvvet ise 5553,8 kN'dur. Deprem kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz daha fazla yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için 7,495'inci saniyede sonlandırılmıştır. Köprü'nün mansap tarafı incelendiğinde kemer eğrisinin her iki ucundan başlayarak destek bölgesine doğru çatlak dizinlerinin oluştuğu görülmektedir. Ayrıca kemer üst bölgesinde de ezilme ve çatlamlar oluşmuştur. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.87'de yer almaktadır.

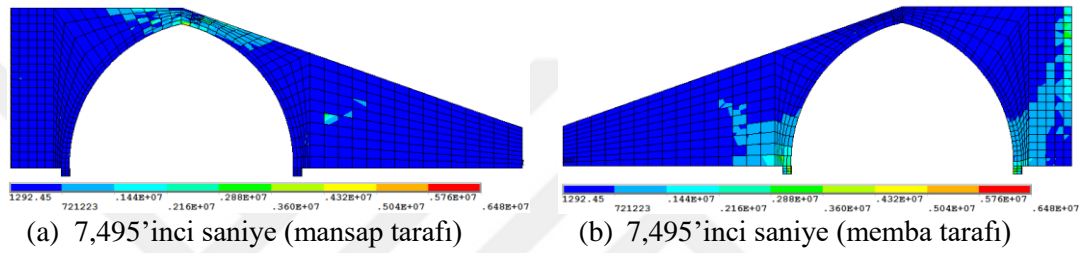


Şekil 4.87. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydında 7,495'inci saniye saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Coşandere köprüsün taşıyıcı elemanlarında hasar meydana gelmiştir. Köprünün zorlanan bölümü dolgu bölgesi olmuştur. 7,495'inci saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer kemer üst bölgesinde yer alan 2074 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 3,270 kPa'dır.

7,495'inci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.88'de verilmiştir.



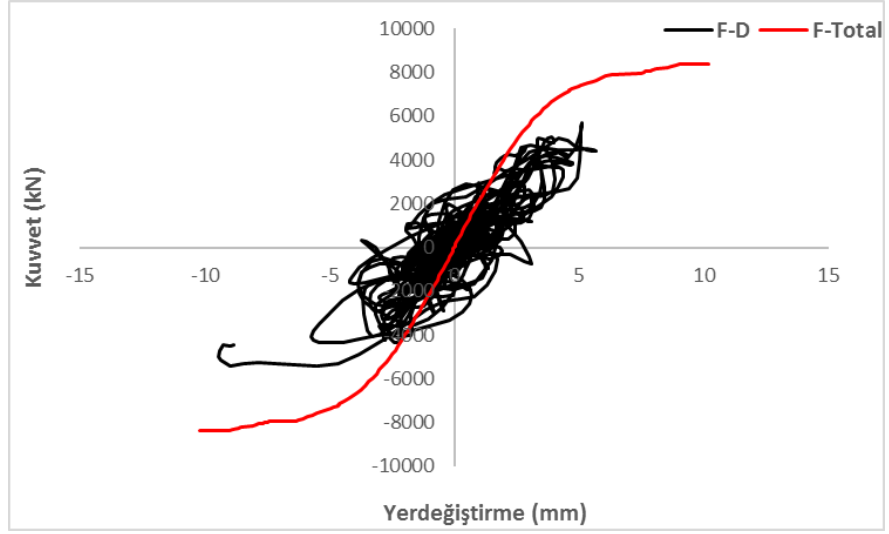
Şekil 4.88. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydında 7,495'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilmeleri incelendiğinde gerilmelerin mansap tarafında kemer bölgesinde yoğunlaştığı, memba tarafında ise kemer eğrisini uç bölgesinde başlayarak çapraz şekilde destek bölgesine doğru gerilme dizinin olduğu görülmektedir.

Köprünün taşıyıcı elemanlarında meydana gelen gerilmelerin sınır değerlerin üstünde olması nedeni ile İzmit deprem yükü altında köprünün göçeceği düşünülmektedir.

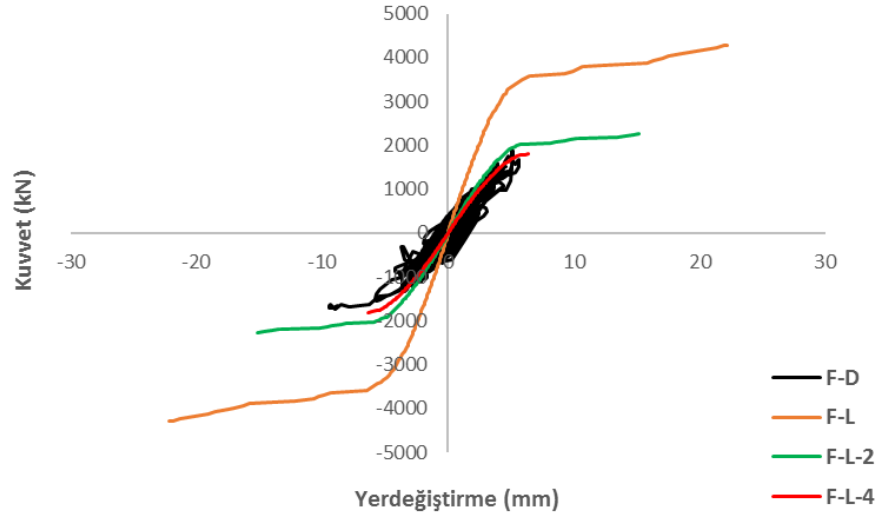
Şekil 4.89'da köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 10,2 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 9,44 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 8375 kN iken dinamik analizde 5553,8 kN'dur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.89. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.90'da sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.90. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrisi ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.26'da verilmiştir.

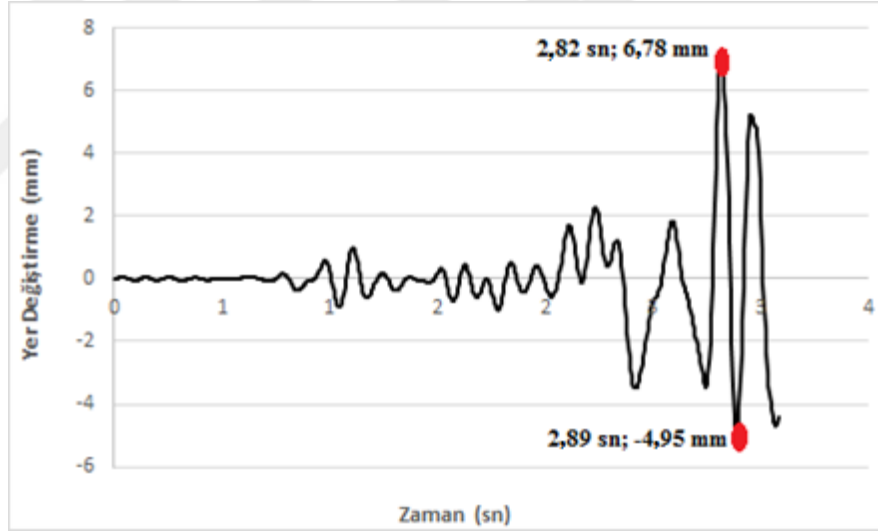
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.26. Coşandere köprüsü için İzmit deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	9,44	1793
PY1 (L+2t)	22,2	4286
PY2 ((L+2t)/2)	15,2	2261
PY3 ((L+2t)/4)	6,4	1808

4.6.1.4. Coşandere köprüsü Loma-Prieta depremine ait dinamik analiz

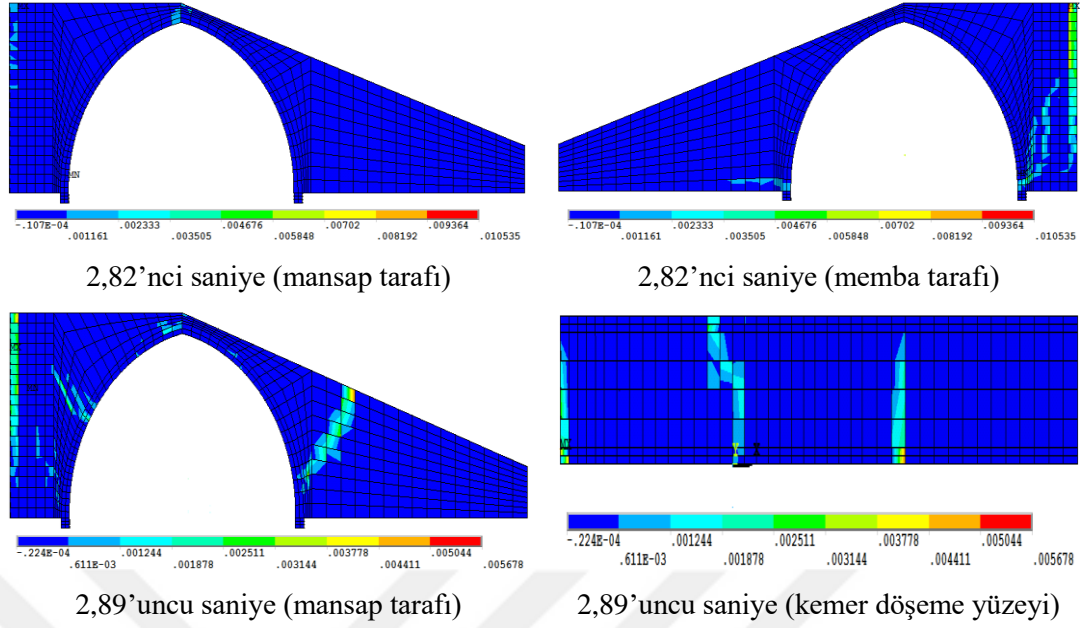
Kemer köprüde ilk olarak gerilmeler destek bölgesinde oluşmuştur. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.91’de incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin gerçekleştiği süreler görülmektedir. Bunların ilki 2,82’nci saniyede, ikincisi ise 2,89’uncu saniyede meydana gelmiştir.



Şekil 4.91. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

2,82’nci saniyede 6,97 mm yer değiştirmeye karşılık 3262,5 kN’luk bir kuvvet elde edilmiştir. Depremin ilerleyen 2,89’uncu saniyesinde ise 5,15 mm yer değiştirmeye karşılık 684,5 kN’luk bir kuvvet elde edilmiştir. Bu saniyelere ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.92’de verilmiştir.

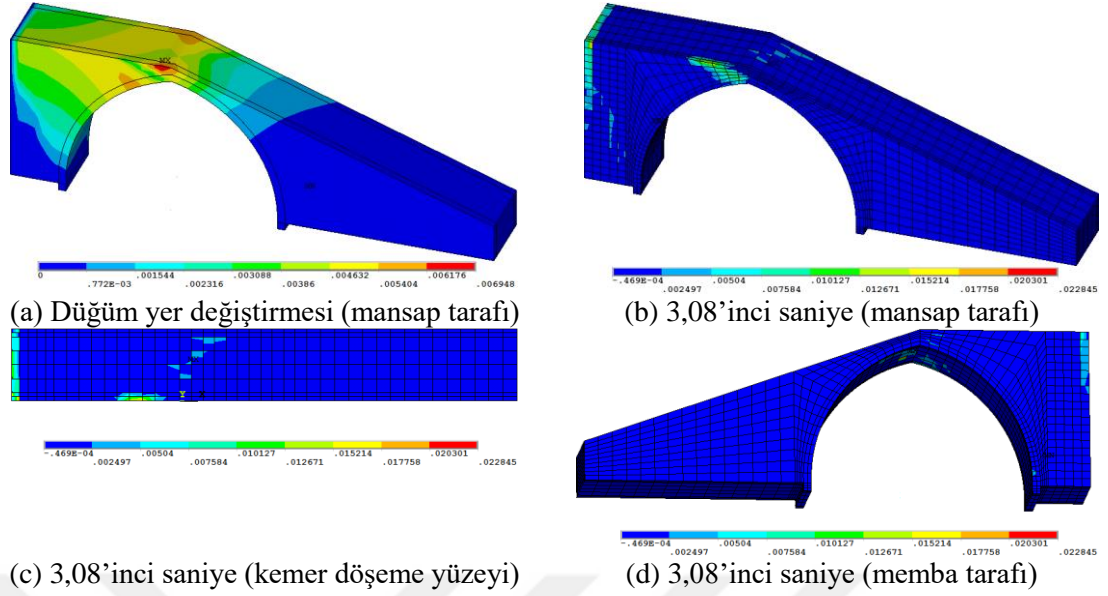
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.92. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydı 2,82'nci ve 2,89'uncu saniyelere ait asal şekil değiştirmeler

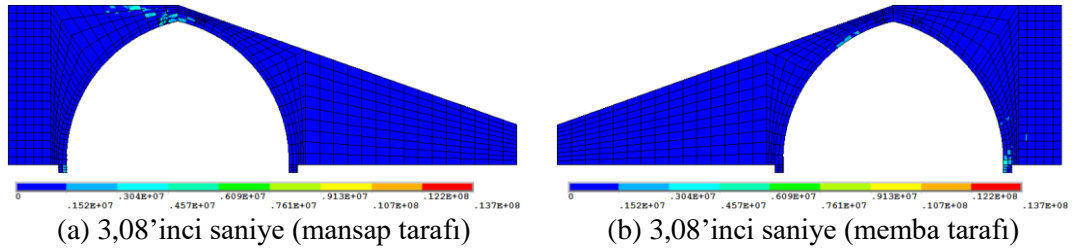
2.82'nci saniyede köprünün memba tarafında destek bölgesinden başlayıp çapraz şekilde üzengi taşına doğru ilerleyen gerilmeler oluşmuştur. Ayrıca memba tarafında kemer yayının diğer ucunda gerilmelerin olduğu görülmektedir. Mansap tarafında ise kemer tepe bölgesinde gerilmeler oluşmuştur. Deprem kaydının 2,89'uncu saniyesi incelendiğinde ise köprünün mansap tarafında destek bölgesinden başlayıp çapraz şekilde üzengi taşına doğru ilerleyen gerilmeler ve çatlak dizisi oluşmuştur. Ayrıca kemer yayında gerilmeler ve çatlamlar meydana gelmiştir. Köprü döşeme yüzeyi bölgesinde de çatlaklar meydana gelmiştir. Analiz 3.08'inci saniyede artık yakınsama işlemi sürdürülememiş olup analiz sonlandırılmıştır. 3.08'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.93'de yer almaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.93. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 3,08'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Bu saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmelerinin, taşın çekme dayanımını aştığı ve en büyük çekme gerilmesi 2,030 kPa'dır. Yapıya ait Von-mises gerilmeleri Şekil 4.94'de yer almaktadır.



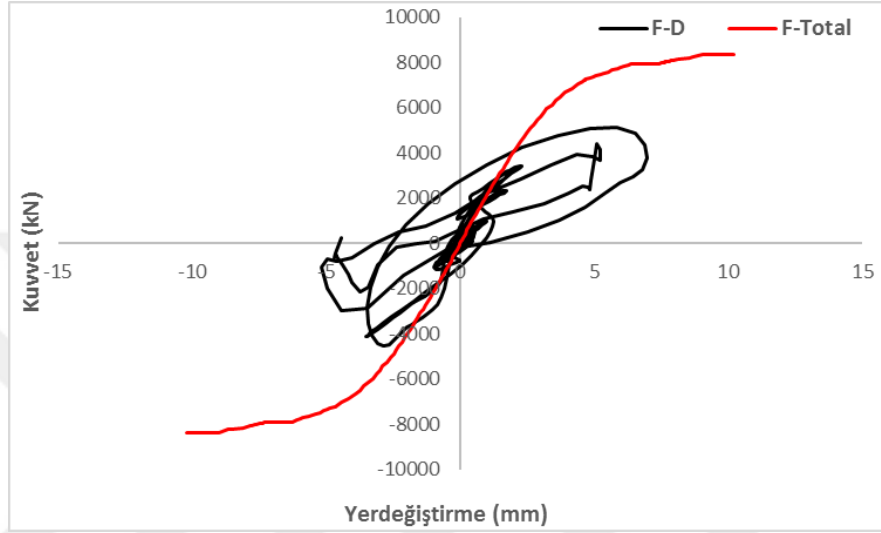
Şekil 4.94. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 3,08'inci saniye saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilmeleri incelendiğinde gerilmelerin kemer yayının taç kısmında ve zemin kayasında yoğunlaşmıştır.

Köprünün taşıyıcı elemanlarında meydana gelen gerilmeler ve çatlaklar, köprünün Loma-Prieta deprem yükü altında göçeceğini göstermektedir.

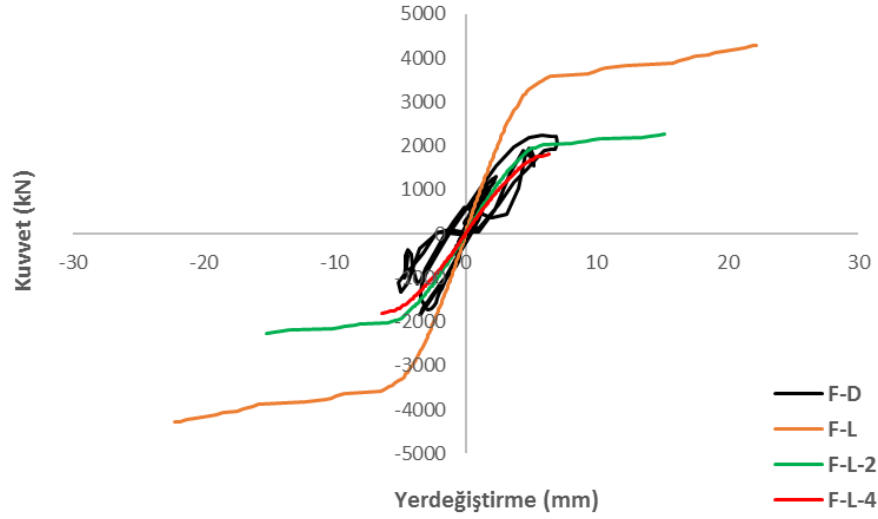
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.95’de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 10,2 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 6,97 mm’dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 8375 kN iken dinamik analizde 5464 kN’dur.



Şekil 4.95. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.96’da sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.96. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L / 2 ve L / 4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.27’de verilmiştir.

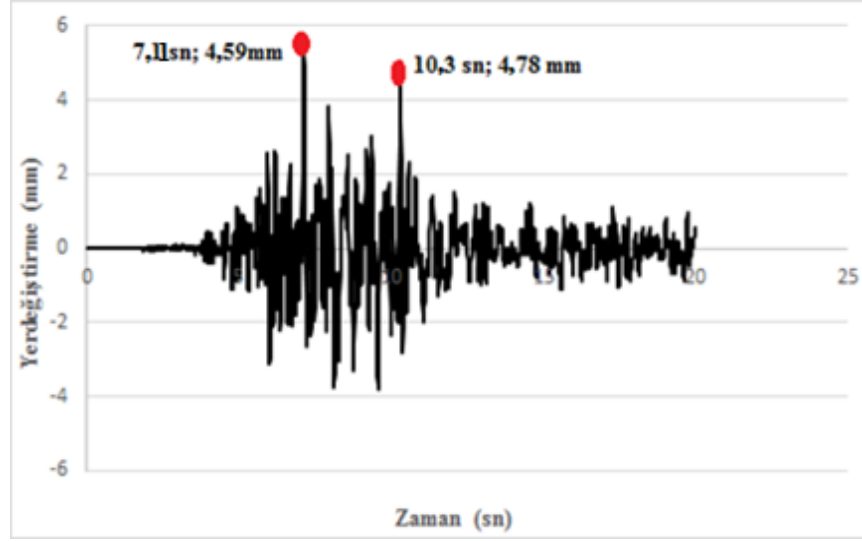
Çizelge 4.27. Coşandere köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değıştirme

Analiz adı	Maksimum yer değıştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	6,97	2229
PY1 (L+2t)	22,2	4286
PY2 ((L+2t)/2)	15,2	2261
PY3 ((L+2t)/4)	6,4	1808

4.6.1.5. Coşandere köprüsü Kobe depremine ait dinamik analiz

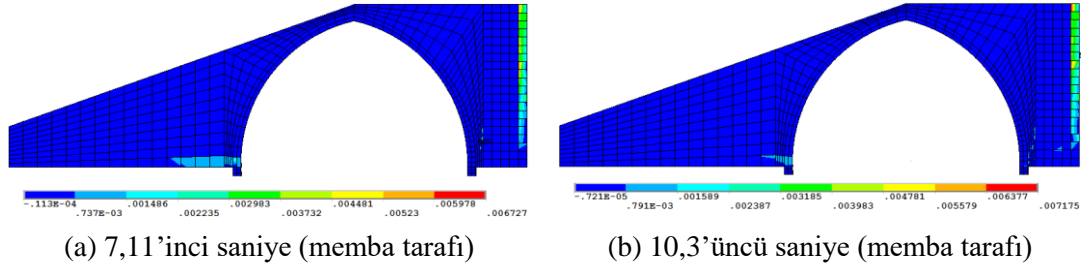
Kemer köprüde ilk olarak gerilmeler destek bölgesinde oluşmuştur. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizin yer değıştirme-zaman grafiği Şekil 4.97’de incelendiğinde en büyük yer değıştirmenin gerçekleştiği süreler görülmektedir. Bunların ilki 7,11’inci saniyede, ikincisi ise 10,3’üncü saniyede meydana gelmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.97. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

7,11'inci saniyede 4,59 mm yer değiştirmeye karşılık 6356,4 kN'luk bir kuvvet elde edilmiştir. Depremin ilerleyen 10,3'üncü saniyesinde ise 4,78 mm yer değiştirmeye karşılık 4319,5 kN'luk bir kuvvet elde edilmiştir. Bu saniyelere ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.98'de verilmiştir.

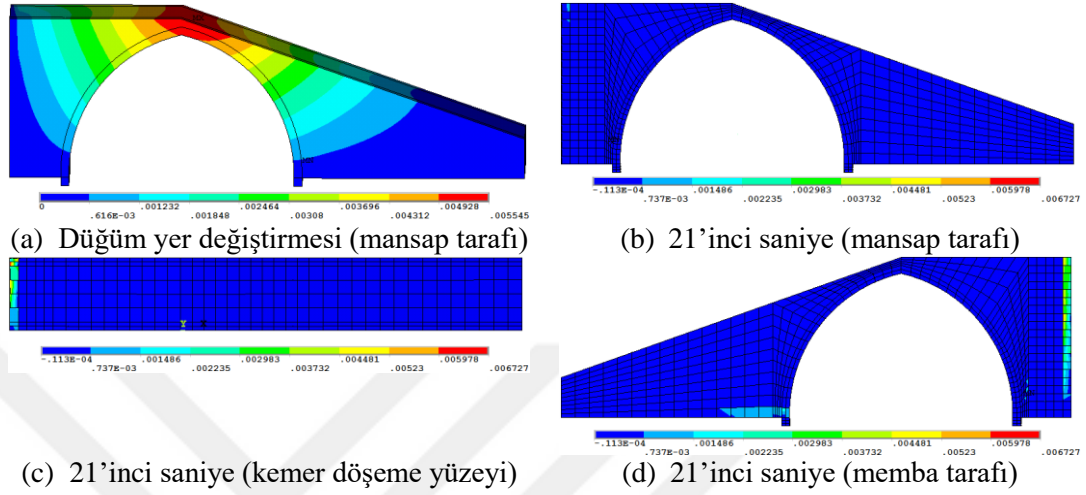


Şekil 4.98. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydında 7,11'inci ve 10,3'üncü saniyelere ait asal şekil değiştirmeler

7,11'inci saniyede kemer yayının batı tarafında üzengi taşından destek bölgesine doğru uzanan gerilmeler oluşmuştur. Ayrıca doğu tarafında ki destek kısmında da gerilmeler mevcuttur. İkinci en büyük yer değiştirme noktasında ise gerilmeler daha az yoğunlukta ve aynı bölgelerde oluşmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

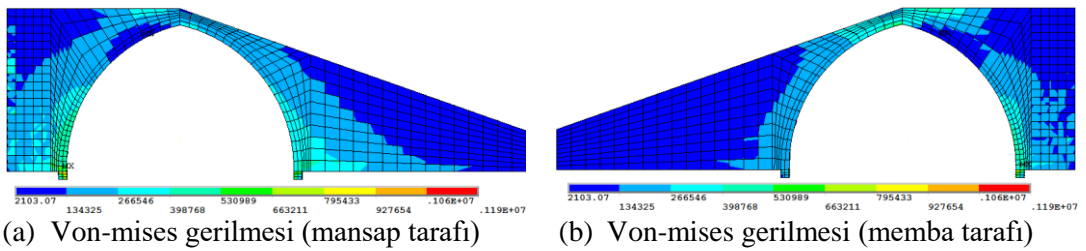
Deprem kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz 20'nci saniyeye kadar devam etmiştir. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.99'da yer almaktadır.



Şekil 4.99. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydında 20'nci saniye saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Analizin 20'nci saniyesinde memba tarafında kemer eğrisinin uç bölümünden başlayarak destek bölgesine doğru uzanan çatlak dizini oluşmuştur. 20'nci saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üzengi bölgesinde yer alan 1335 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,672 kPa'dır.

20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.100'de verilmiştir.



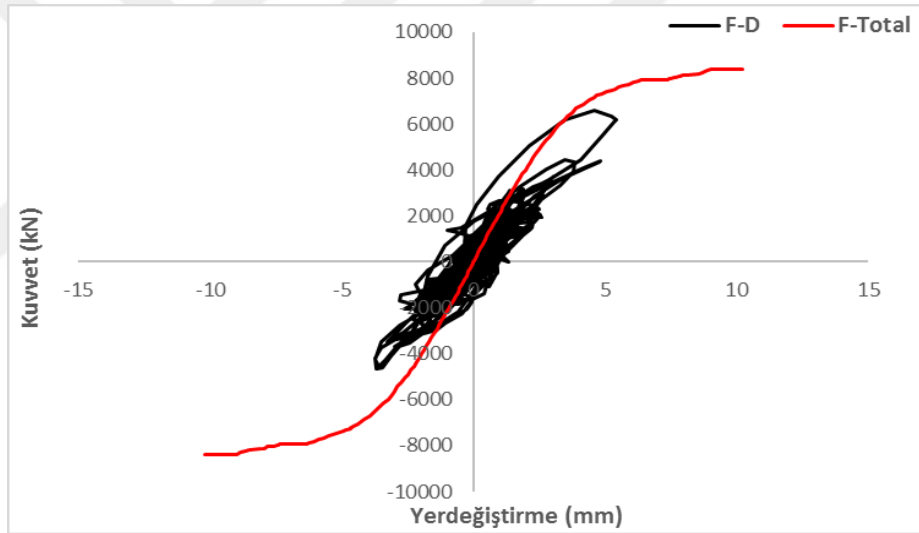
Şekil 4.100. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydında 20'nci saniye saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Von-mises gerilmeleri incelendiğinde gerilmelerin kemer yayının taç kısmından başlayıp üzüngi bölgesine ve sonrasında ise destek bölgelerine doğru yayıldığı görülmektedir.

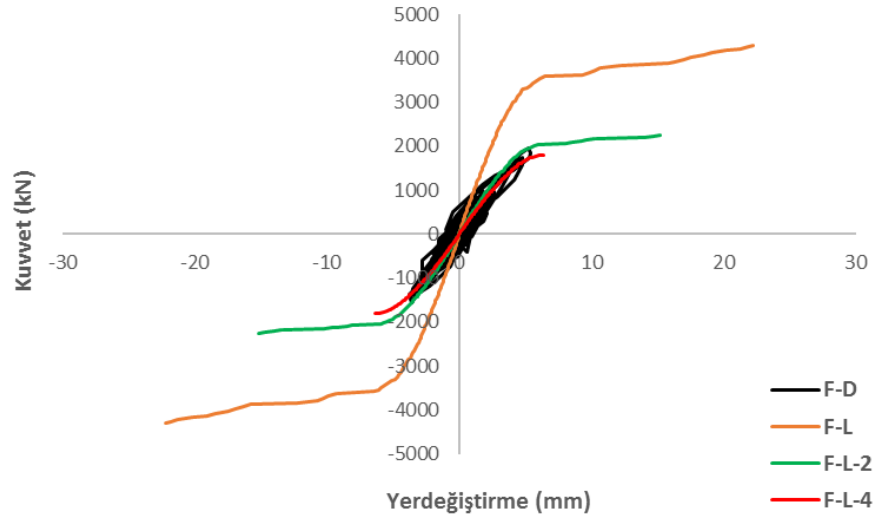
Köprünün taşıyıcı elemanlarında meydana gelen gerilmelerin sınır değerlerin çok altında olması nedeni ile Kobe deprem yükü altında hasar almayacağı görülmektedir.

Şekil 4.101’de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 10,2 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 5,44 mm’dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 8375 kN iken dinamik analizde 6858 kN’dir.



Şekil 4.101. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.102’de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.102. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydında kemer ana gövdesinde L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.28’de verilmiştir.

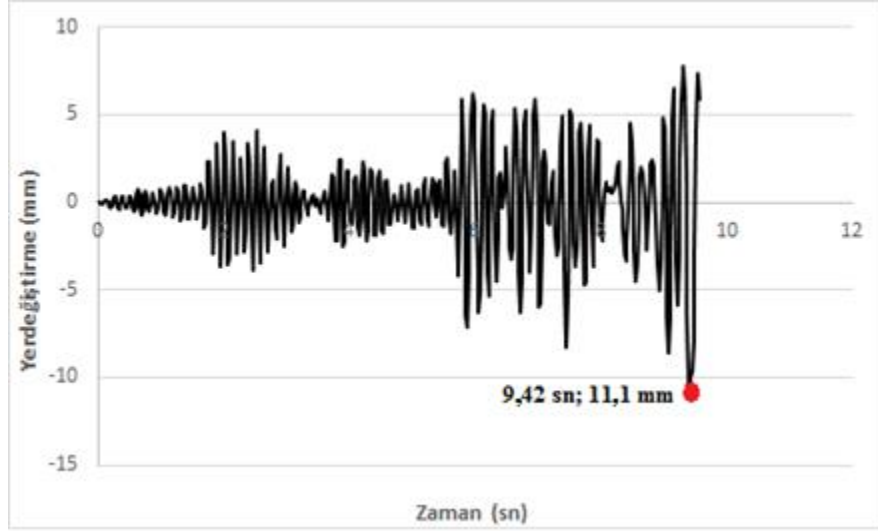
Çizelge 4.28. Coşandere köprüsü için Kobe deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değıştirme

Analiz adı	Maksimum yer değıştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	5,44	1938
PY1 (L+2t)	22,2	4286
PY2 ((L+2t)/2)	15,2	2261
PY3 ((L+2t)/4)	6,4	1808

4.6.1.6. Coşandere köprüsü Rudbar-İran depremine ait dinamik analiz

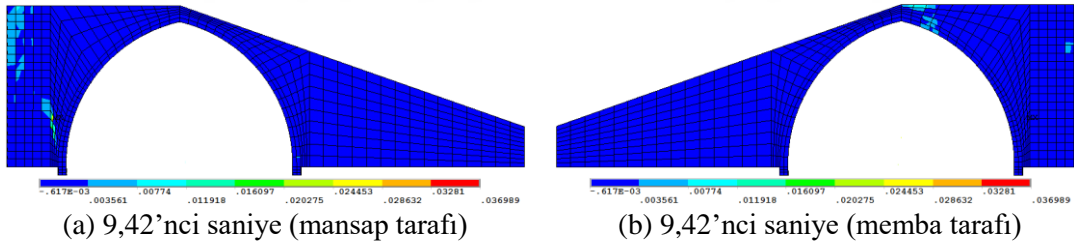
Kemer köprüde ilk olarak gerilmeler destek bölgesinde oluşmuştur. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizin yer değıştirme-zaman grafiği Şekil 4.103’de incelendiğinde en büyük yer değıştirme 9,42’nci saniyede meydana gelmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.103. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

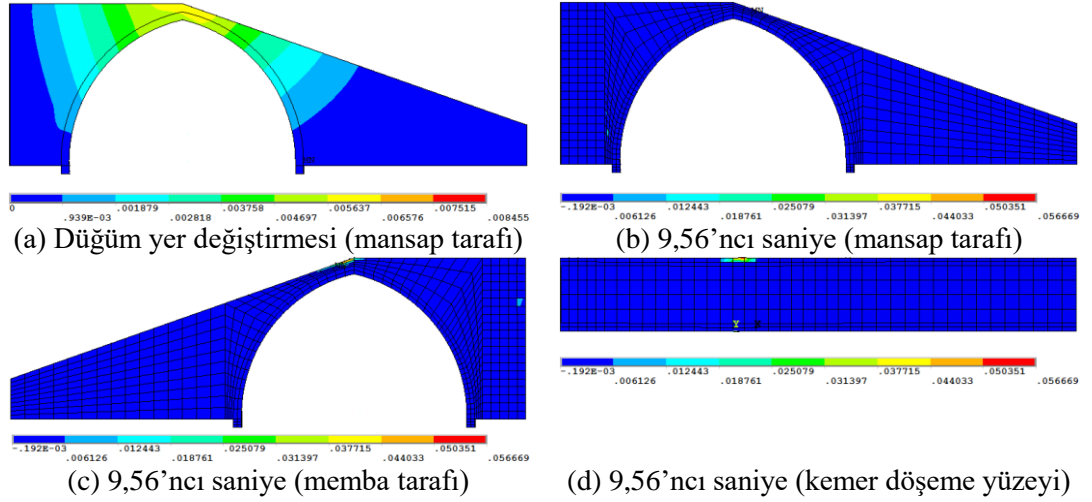
9,42'nci saniyede yer değiştirmenin 11,1 mm olduğu ve kuvvetin ise 5696,7 kN olduğu belirlenmiştir. Depremin 9,42'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.104'de yer almaktadır.



Şekil 4.104. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 9,42'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Deprem kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz artık yakınsama işlemi yapılamadığından 9,56'nci saniyede durmuştur. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.105'de yer almaktadır.

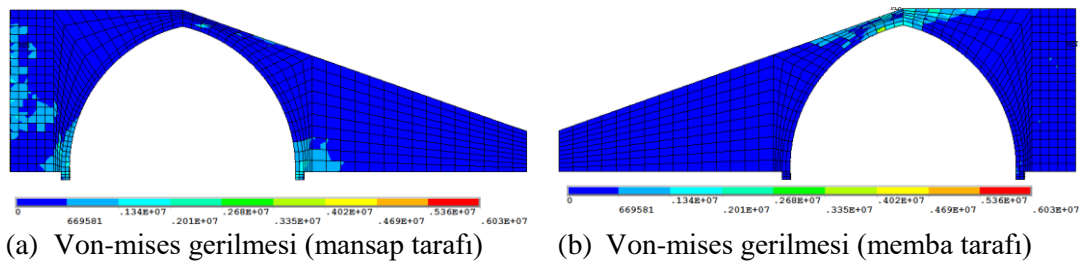
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.105. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 9,56'ncı saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Kemer üst bölgesinde gerilmeler mevcuttur. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizde deprem ivme kaydının 9,56'ncı saniyesi dikkate alınmıştır. 9,56'ncı saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üst bölgesinde yer alan 2232 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 5,666 kPa'dır.

9,56'ncı saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.106'da verilmiştir.

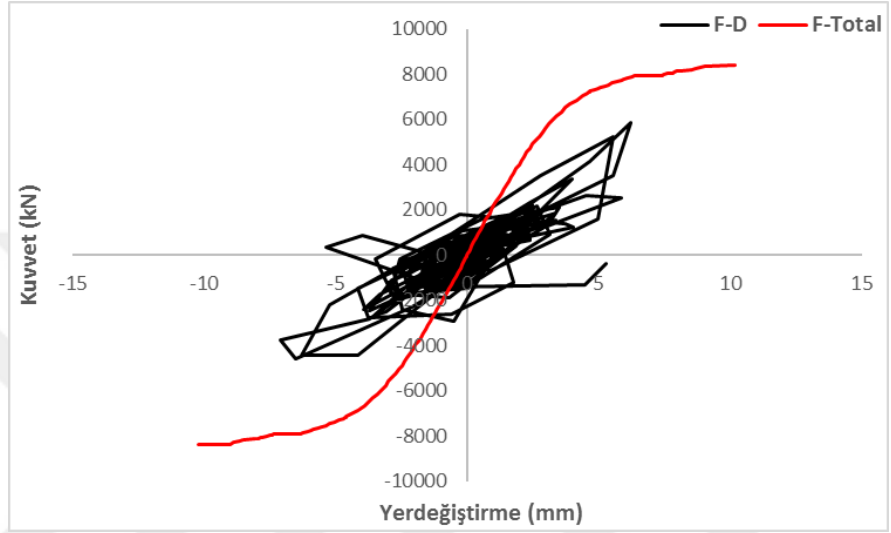


Şekil 4.106. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 9,56'ncı saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilmeleri incelendiğinde mansap tarafında kemer yayının her iki ucunda ve destek bölgesinde gerilmelerin yoğunlaştığı görülmüştür. Ayrıca memba tarafında kemer üst bölgesinde gerilmeler mevcuttur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

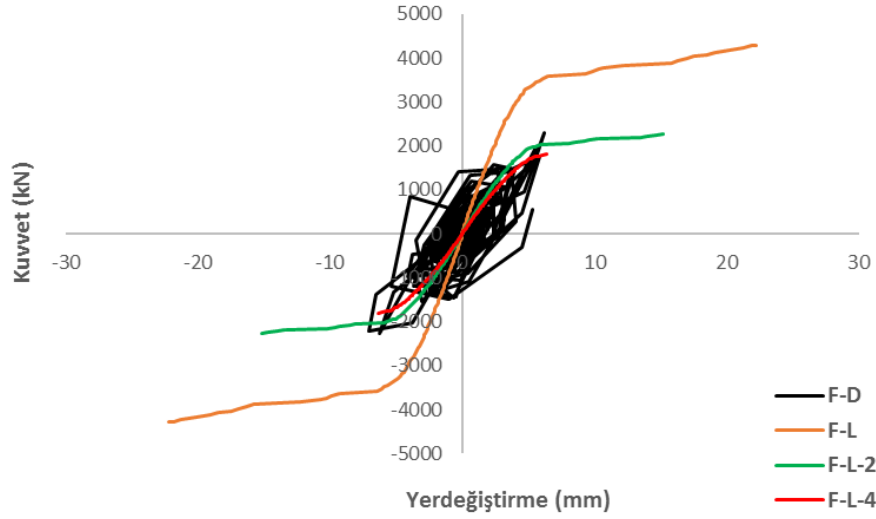
Şekil 4.107’de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 10,2 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 7,1 mm’dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 8375 kN iken dinamik analizde 5838,9 kN’dur.



Şekil 4.107. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.108’de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.108. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.34’de verilmiştir.

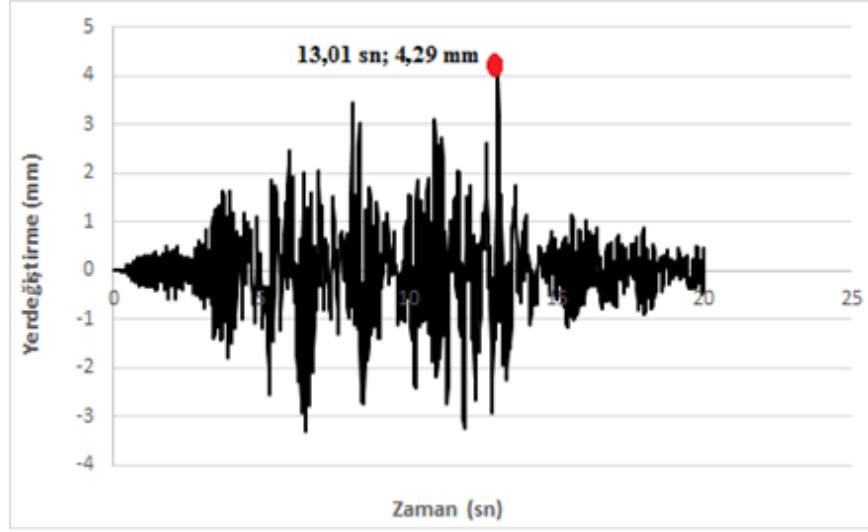
Çizelge 4.29. Coşandere köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	6,24	2289
PY1 (L+2t)	22,2	4286
PY2 ((L+2t)/2)	15,2	2261
PY3 ((L+2t)/4)	6,4	1808

4.6.1.7. Coşandere köprüsü Hector-Mine depremine ait dinamik analiz

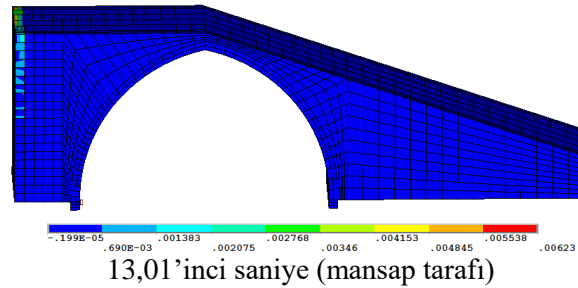
Kemer köprüde ilk olarak gerilmeler destek bölgesinde oluşmuştur. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.109’da incelendiğinde en büyük yer değiştirme 13,01’inci saniyede meydana geldiği görülmüştür.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.109. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

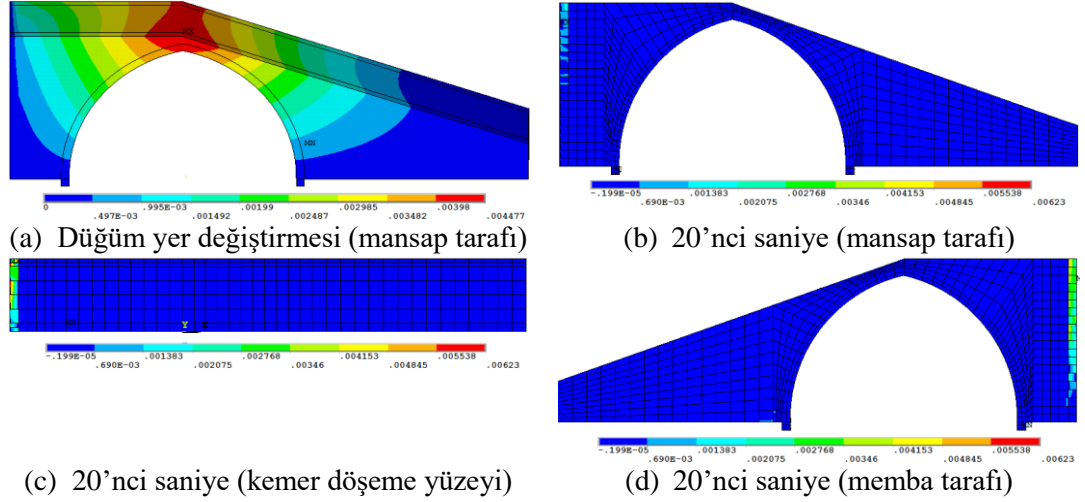
13,01'inci saniyede yer değiştirmenin 4,29 mm olduğu ve kuvvetin ise 4790,3 kN olduğu belirlenmiştir. Depremın 13,01'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.110'da yer almaktadır.



Şekil 4.110. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 13,01'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Gerilmelerin sadece destek bölgesinde olduğu görülmektedir. Deprem kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz 20'nci saniyede durmuştur. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.11'de yer almaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

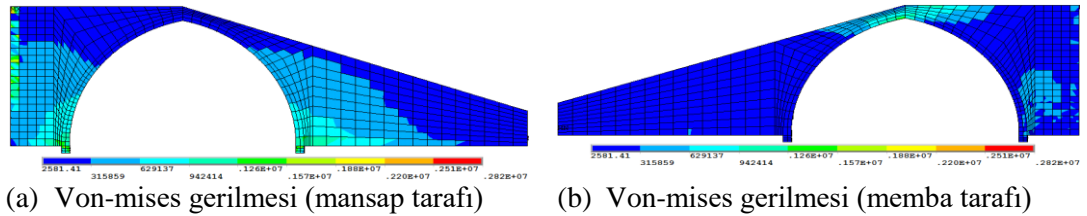


Şekil 4.111. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirmesi grafiğinde zorlanmanın kemer üst bölgesinde olduğu görülmektedir. Kemer köprüde kalıcı hasara neden olacak bir çatlak meydana gelmemiştir.

20'nci saniyede çekme gerilmelerinin destek bölgesinde çoğu düğüm noktasında taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri destek bölgesinde yer alan 1692 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,623 kPa'dır.

20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.112'de verilmiştir.



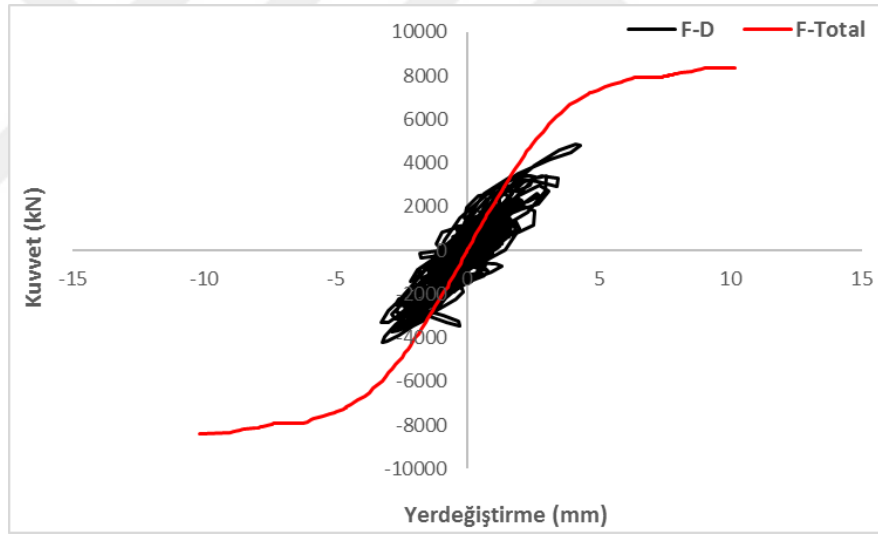
Şekil 4.112. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Von-mises gerilmeleri incelendiğinde mansap tarafında kemer yayının her iki ucunda ve destek bölgesinde gerilmelerin yoğunlaştığı görülmüştür. Ayrıca memba tarafında kemer üst bölgesinde ve kemer yayının doğu tarafında gerilmeler mevcuttur.

Köprünün taşıyıcı elemanlarında meydana gelen gerilmelerin sınır değerlerin çok altında olması nedeni ile Hector-Mine deprem yükü altında hasar almayacağı görülmektedir.

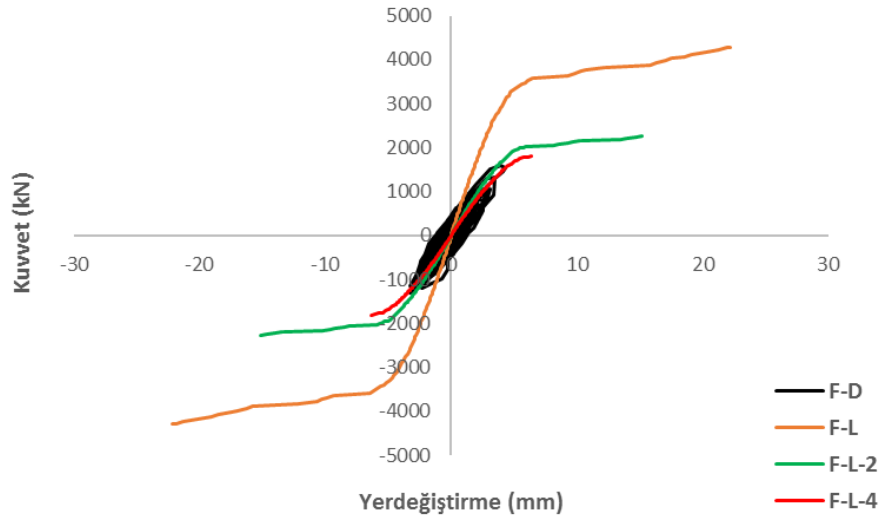
Şekil 4.113’de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 10,2 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 4,29 mm’dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 8375 kN iken dinamik analizde 4790,3 kN’dur.



Şekil 4.113. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.114’de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.114. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L / 2 ve L / 4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.30'da verilmiştir.

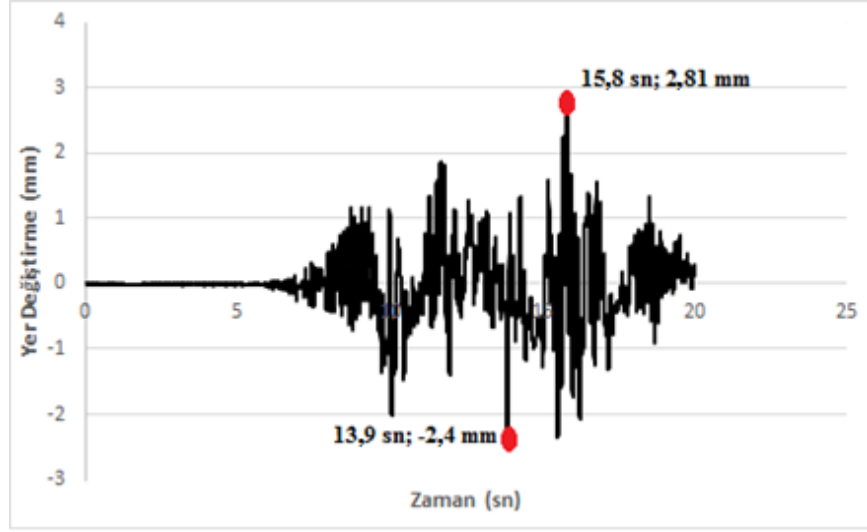
Çizelge 4.30. Coşandere köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	4,29	1548
PY1 (L+2t)	22,2	4286
PY2 ((L+2t)/2)	15,2	2261
PY3 ((L+2t)/4)	6,4	1808

4.6.1.8. Coşandere köprüsü Yarımca depremine ait dinamik analiz

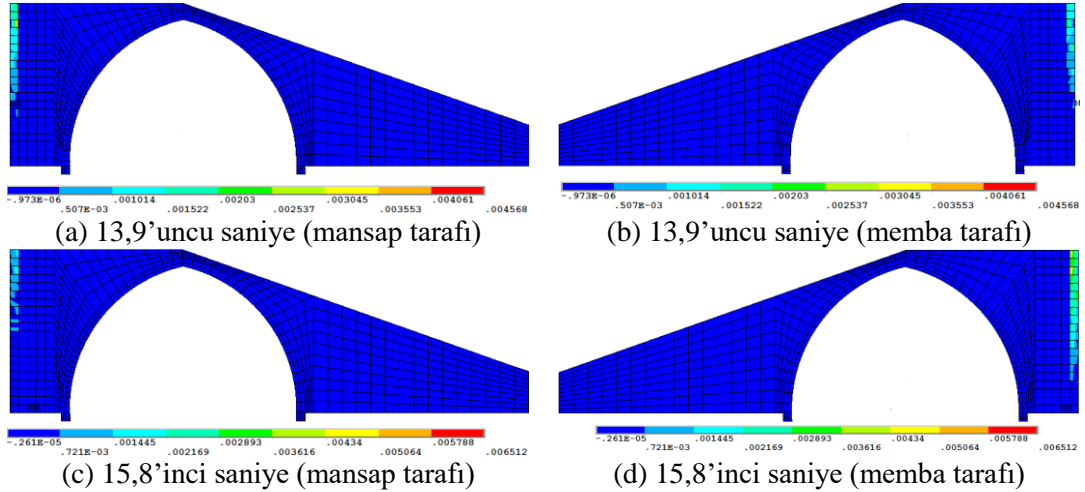
Kemer köprüde ilk olarak gerilmeler destek bölgesinde oluşmuştur. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.115'de incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin gerçekleştiği süreler görülmektedir. Bunların ilki 13,9'uncu saniyede, ikincisi ise 15,8'inci saniyede meydana gelmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.115. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

13,9'uncu saniyede 2,4 mm yer değiştirmeye karşılık 692 kN'luk bir kuvvet elde edilmiştir. Depremin ilerleyen 15,8'inci saniyesinde ise 2,81 mm yer değiştirmeye karşılık 3318 kN'luk bir kuvvet elde edilmiştir. Bu saniyelere ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.116'da verilmiştir.

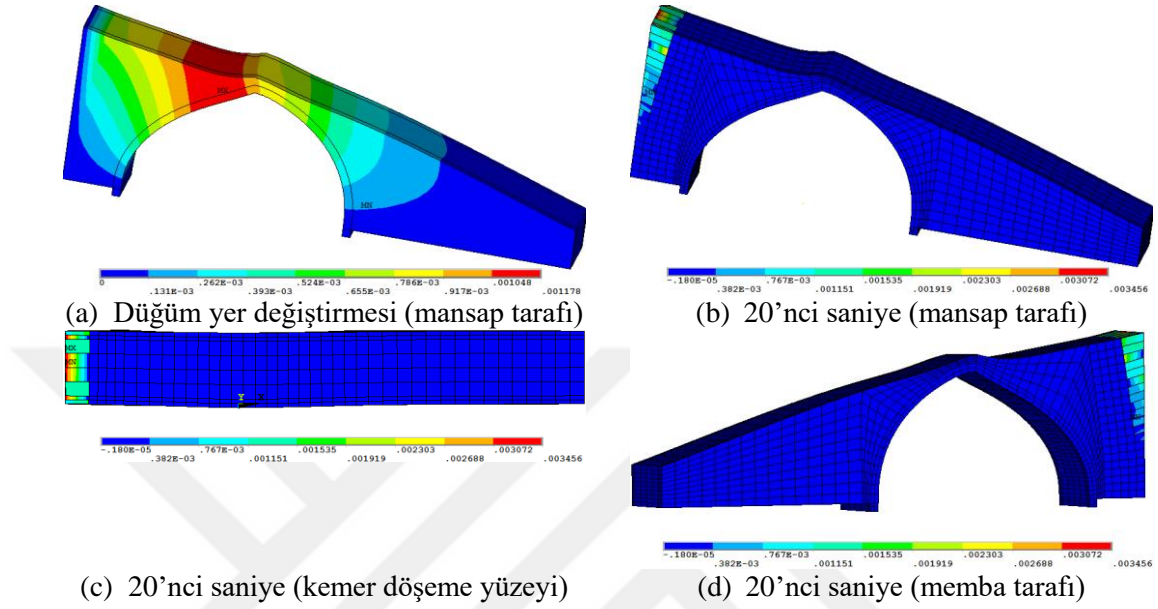


Şekil 4.116. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydında 13,9'uncu ve 15,8'inci saniyelere ait asal şekil değiştirmeler

En büyük yer değiştirme noktalarındaki köprü'nün gerilme durumu incelendiğinde her iki noktada da gerilmelerin destek bölgesinde oluştuğu görülmüştür.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Deprem kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz 20'nci saniyede durmuştur. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.117'de yer almaktadır.



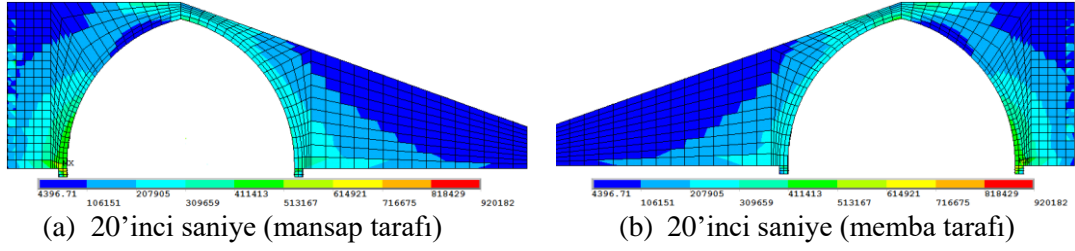
Şekil 4.117. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirmesi grafiğinde zorlanmanın kemer üst bölgesinde olduğu görülmektedir. Kemer köprüde kalıcı hasara neden olacak bir çatlak meydana gelmemiştir.

20'nci saniyede çekme gerilmelerinin düğüm noktalarında taşın çekme dayanımını aşmamıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üzengi taşının olduğu bölgede yer alan 1229 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,345 kPa'dır.

20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.118'de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

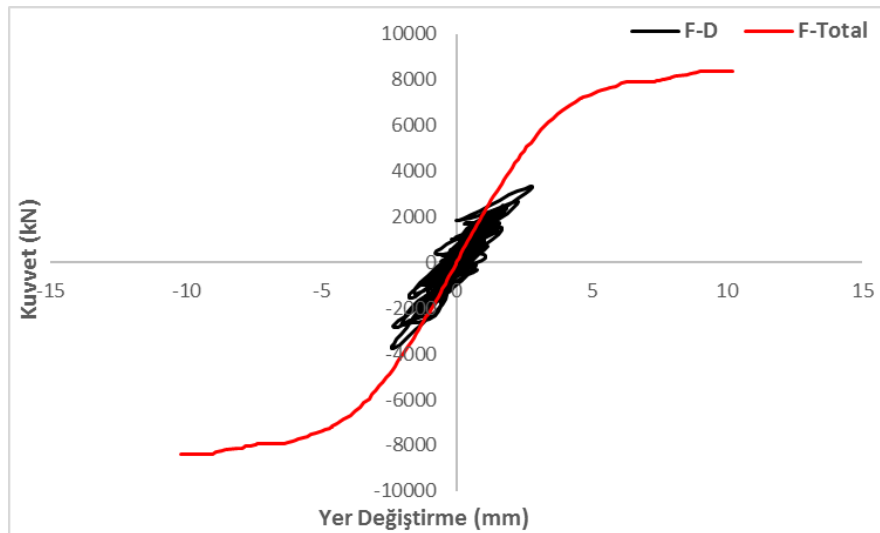


Şekil 4.118. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilmeleri incelendiğinde gerilmelerin kemer yayının taç kısmından başlayıp üzengi bölgesine ve sonrasında ise destek bölgelerine doğru yayıldığı görülmektedir.

Köprünün taşıyıcı elemanlarında meydana gelen gerilmelerin sınır değerlerin çok altında olması nedeni ile Yarımca deprem yükü altında taşıyıcı elemanların kalıcı hasar almayacağı görülmektedir.

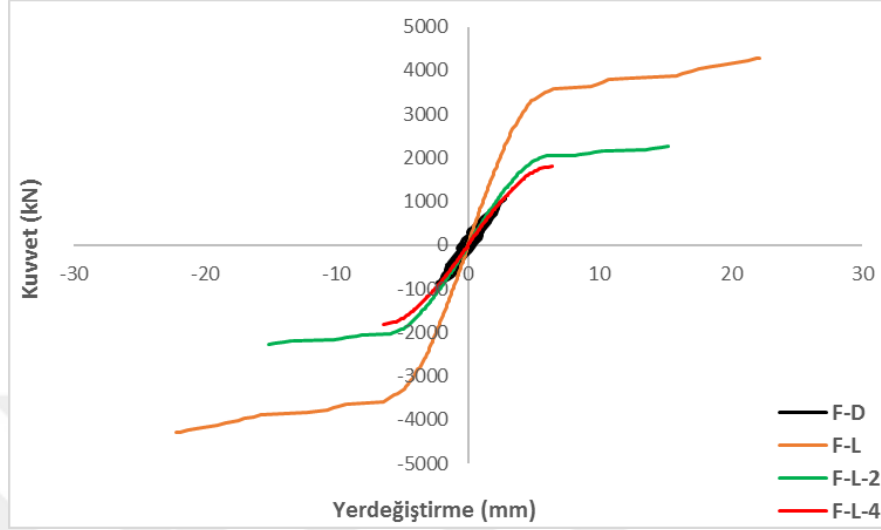
Şekil 4.119'da köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 10,2 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 2,81 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 8375 kN iken dinamik analizde 3758,5 kN'dur.



Şekil 4.119. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydında toplam köprü uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.120’de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.120. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.36’da verilmiştir.

Çizelge 4.31. Coşandere köprüsü için Yarımca deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	2,81	1077
PY1 (L+2t)	22,2	4286
PY2 ((L+2t)/2)	15,2	2261
PY3 ((L+2t)/4)	6,4	1808

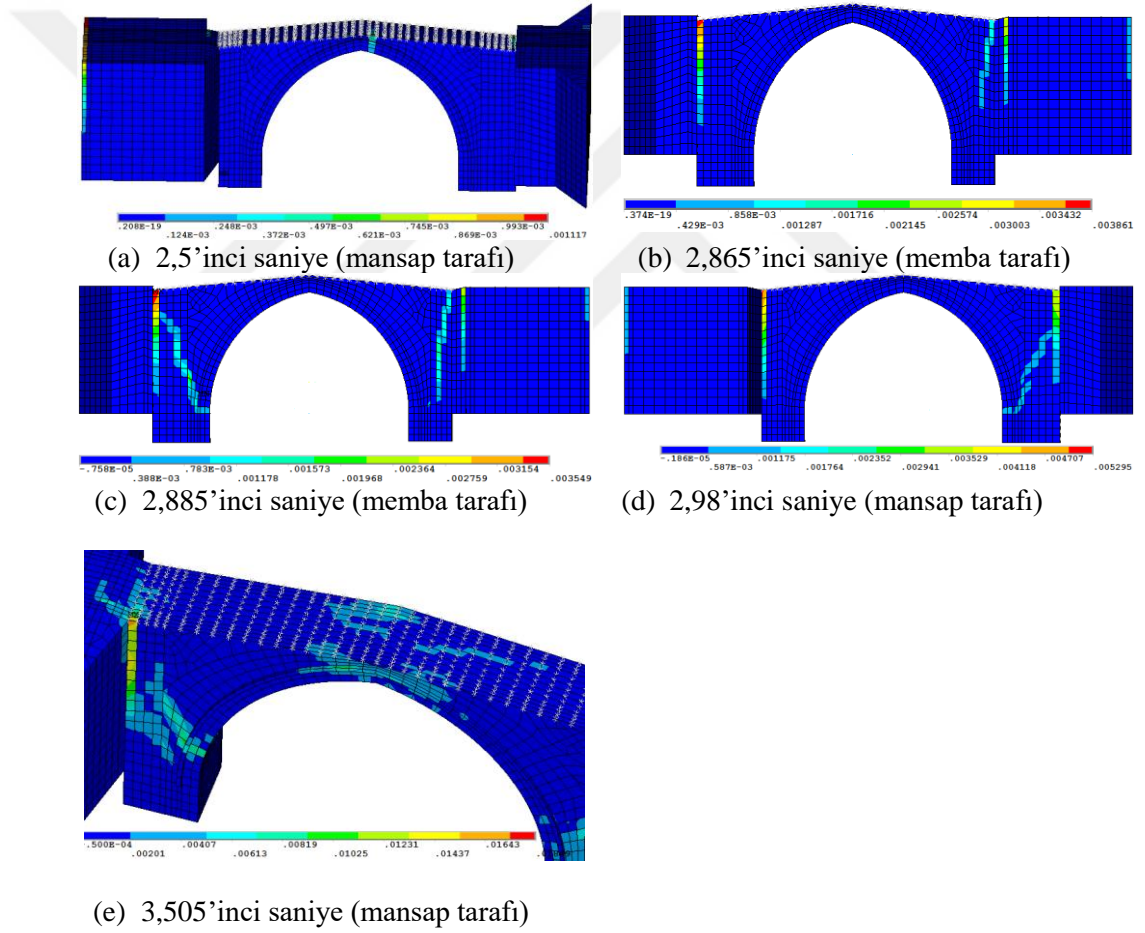
4.6.2. Kireçli Köprüsüne ait doğrusal olmayan dinamik analizler

4.6.2.1. Kireçli köprüsü Düzce depremine ait dinamik analiz

Köprüde basınç gerilmelerinin ilk olarak depremin 2,5’inci saniyesinde kemer üst ön bölgesinde oluşmuştur. Yer değiştirmenin 2,48 mm ve kuvvetin 3340 kN olduğu görülmektedir. Akabinde depremin ilerlemesiyle 2,865’inci saniyesinde köprünün memba tarafında sağ ayak üst kısmında ezilmeler meydana gelmiştir. Bu saniyede ise yer

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

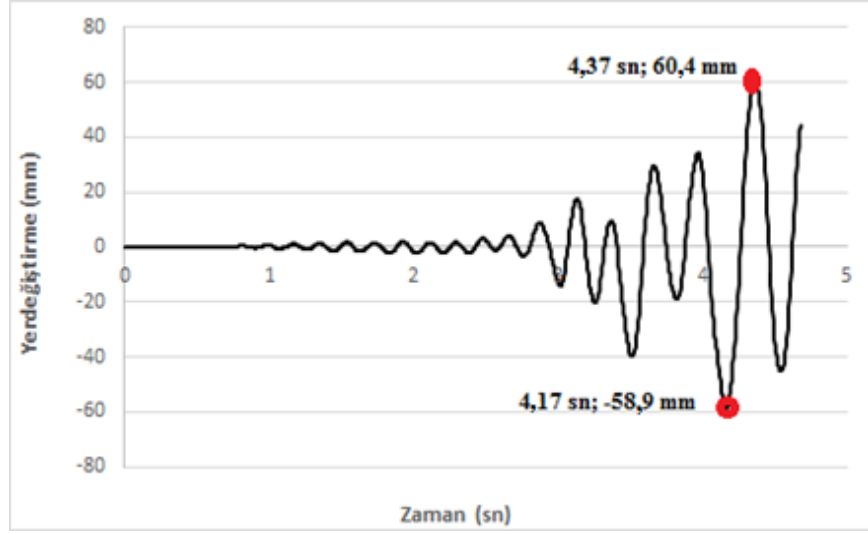
değiştirmenin 8,62 mm olduğu ve kuvvetin ise 9387 kN olduğu görülmektedir. Köprü sağ ayağı üst kısmında ezilmenin devam etmesi ve aynı ezilmenin sol ayak kısmında başlaması 2,885'inci saniyede gerçekleşmiştir. Yer değiştirmenin ve kuvvetin sırasıyla 8,51 mm ve 7431 kN olduğu görülmektedir. Deprem devam etmesi ile mansap tarafında da 2,98'inci saniyesinde ise yer değiştirme 9,68 mm ve kuvvet 12414 kN olup, ayak tarafında ezilmeler meydana gelmiştir. Deprem 3,505'inci saniyesinde ise köprü üst kısmında basınç ve çekme gerilmeleri yoğunlaşmıştır. Yer değiştirme 39,9 mm olup belirlenen kuvvet ise 4437 kN'dur. Şekil 4.121'de dinamik analiz gerçekleştirilerek elde edilen farklı saniyelere ait asal yer değiştirme grafikleri yer almaktadır.



Şekil 4.121. Kireçli köprüsü Düzce depreminde 2,5'inci, 2,865'inci, 2,885'inci, 2,98'inci ve 3,505'inci saniyelere ait asal şekil değiştirmeler

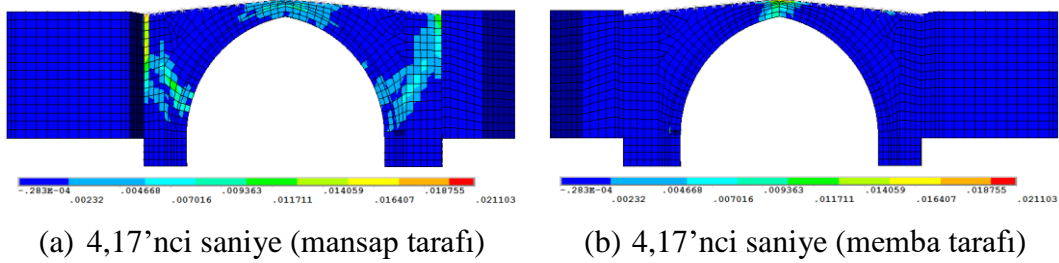
Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz incelendiğinde Şekil 4.122'de en büyük yer değiştirme süreleri görülmektedir. Bunların ilki 4,17'nci saniyede, ikincisi ise 4,37'nci saniyede meydana gelmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.122. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

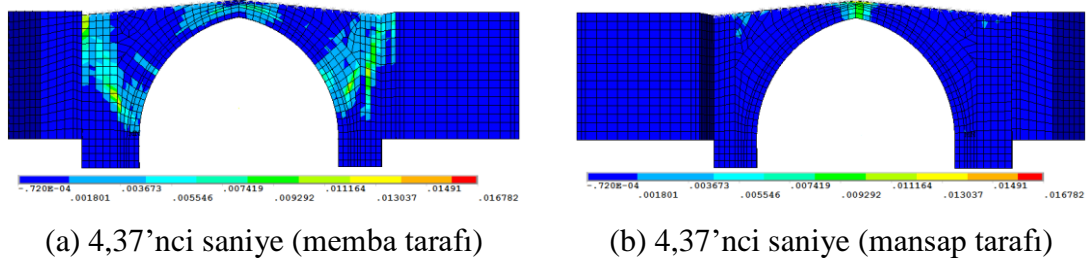
4,17'nci saniye incelendiğinde basınç ve çekme gerilmelerinin köprü'nün üst döşeme bölgesinde arttığı görülmüştür (Şekil 4.123). Yer değiştirmenin 58,9 mm olduğu ve kuvvetin ise 10994 kN olduğu görülmektedir.



Şekil 4.123. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydında 4,17'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Aynı saniyede kemerin mansap tarafında her iki ayakta ezilmelerin yoğunlaştığı ve köprü ana kısmı ile dolgu bloklarındaki ezilmelerle birleştiği görülmektedir. Membra tarafında ise kemer üst kısmında hasarın olduğu görülmektedir. İkinci en büyük yer değiştirme noktası ise depremin 4,37'nci saniyesidir. Analizin 4,37'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.124'de yer almaktadır.

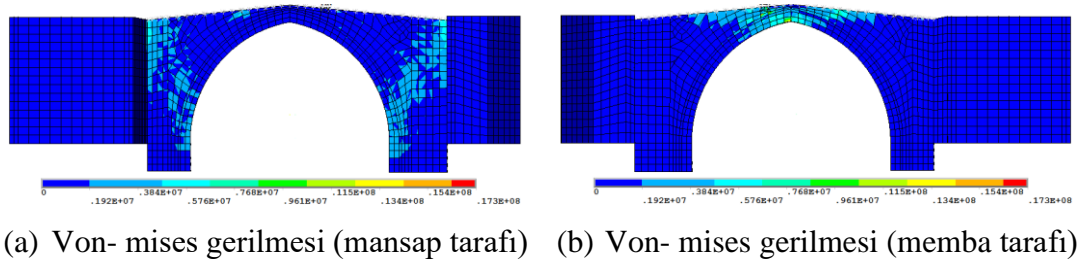
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.124. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydında 4,37'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Kemerin memba tarafındaki ezilme ve çatlakların giderek arttığı görülmektedir. Aynı şekilde döşeme üst bölgesinde de basınç ve çekme gerilmelerin arttığı görülmektedir. Mansap tarafındaki kemer üst bölgesindeki hasarın ise az da olsa arttığı görülmektedir. Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği ise kemer üst bölgesindeki gerilmelerin arttığı gözlemlenmiştir. Analiz boyunca maksimum yer değiştirme bu saniyede meydana gelmiştir ve 60,4 mm'dir. Kuvvet ise 10090 kN'dur.

Analiz 4,68'inci saniyede artık yakınsama işlemi gerçekleştirilememiş olup analiz sonlandırılmıştır. Bu saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşıın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üst bölgesinde yer alan 5754 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 1,678 kPa'dır. 4,68'inci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.125'de verilmiştir.

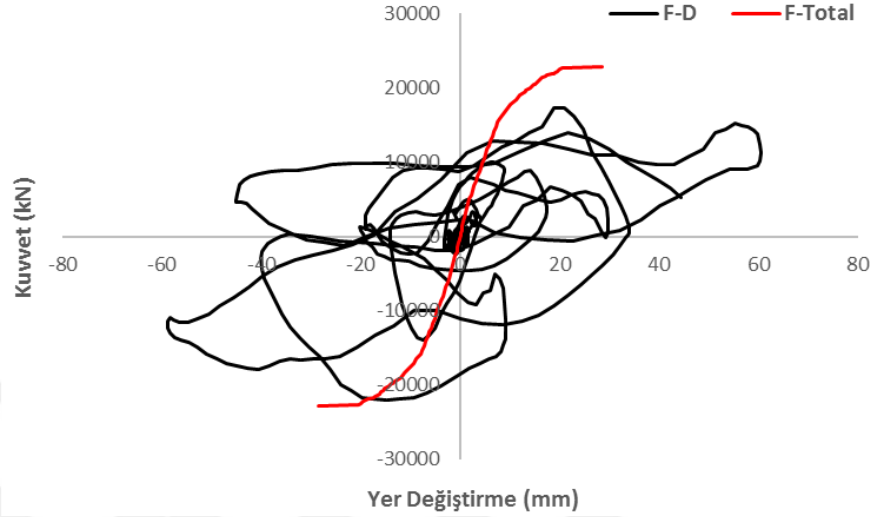


Şekil 4.125. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydında 4,68'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Şekil 4.126'da köprüünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprüünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 28,5 mm iken

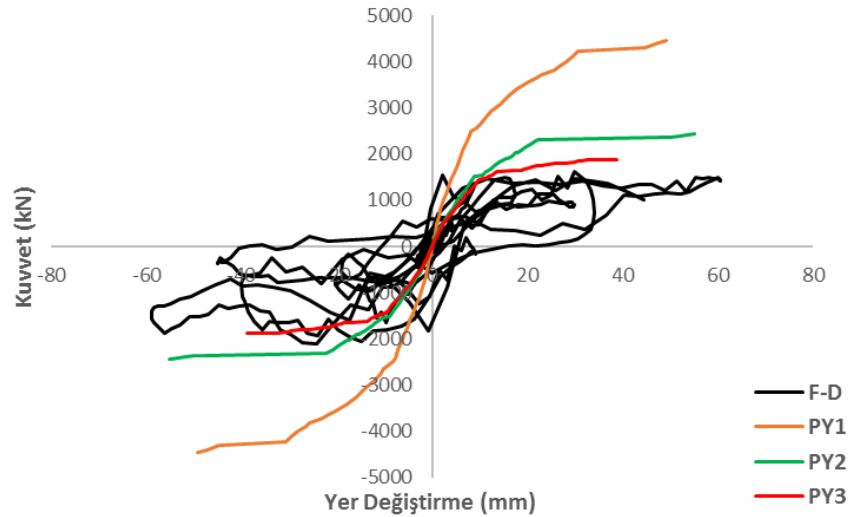
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 60,4 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 22824 kN iken dinamik analizde 21740 kN'dur.



Şekil 4.126. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Karşılaştırma yapabilmek için yatay yönde uygulanan itme analizleri ve dinamik analiz sadece kemer ana gövdesi ele alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.127).



Şekil 4.127. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydında kemer ana gövdesinde L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Yatay itme analizlerinde PY1 analizinde ele aldığımız bölge kemer açıklığı (L) ve kemer kalınlığıdır (t). Aynı şekilde PY2 analizinde yükleme yapılan yer $(L+2t)/2$ olarak seçilmiştir. PY3 analizinde ise $(L+2t)/4$ olarak yükleme bölgesi seçilmiştir.

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.32’de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	60,4	2126
PY1 (L+2t)	49,1	4456
PY2 ((L+2t)/2)	55,1	2430
PY3 ((L+2t)/4)	47,7	1886

Doğrusal olmayan dinamik analizler ile yatay yönde gerçekleştirilen itme analizleri incelendiğinde aynı yer değiştirme de elde edilen kuvvetin birbirinden farklı olduğu belirlenmiştir. Örnek olarak Düzce depreminden elde edilen kuvvet-yer değiştirme grafiği ve L bölgesinde gerçekleştirilen yatay itme analizi incelendiğinde Çizelge 4.33’de bu farklılıklar görülmektedir.

Çizelge 4.33. Kireçli köprüsü için Düzce deprem kaydından elde edilen kuvvet-yer değiştirme değerleri

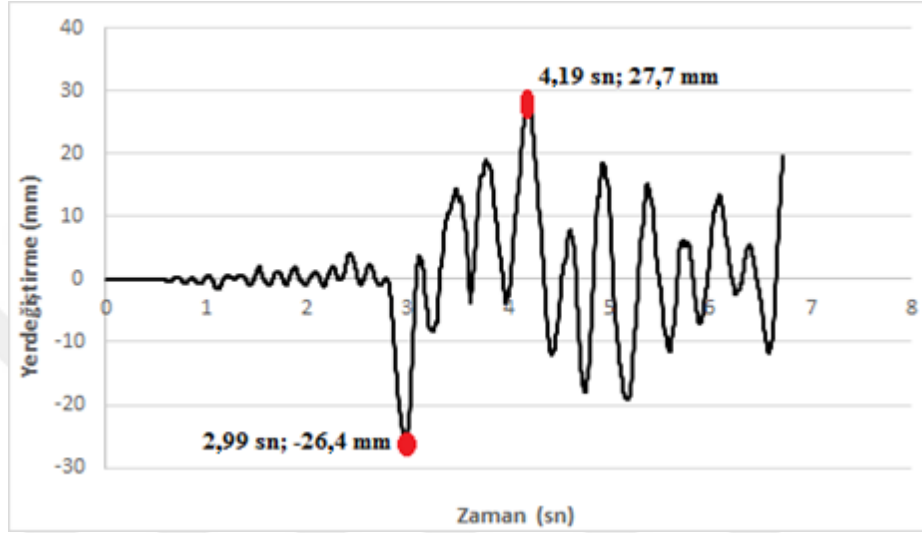
Yer değiştirme (mm)	Doğrusal olmayan dinamik analizden elde edilen kuvvet (kN)	Yatay itme analizinden elde edilen kuvvet (kN)
8.16	413	2481
14.2	515	3087
26.6	58	3893
29.6	91	4132
49.1	875	4456

4.6.2.2. Kireçli köprüsü Erzincan depremine ait dinamik analiz

Düzce depreminde olduğu gibi köprünün Erzincan depreminin uygulanmasıyla kemer köprü benzer davranış göstermiştir. Köprüde ilk olarak 2,84’üncü saniyede ezilme ve çatlamlar ana gövdenin dolgu bloklarla birleşim yerlerinde olduğu görülmektedir. Sonrasında ise depremin ilerleyen saniyelerinde ezilmeler ve çatlamlar devam

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

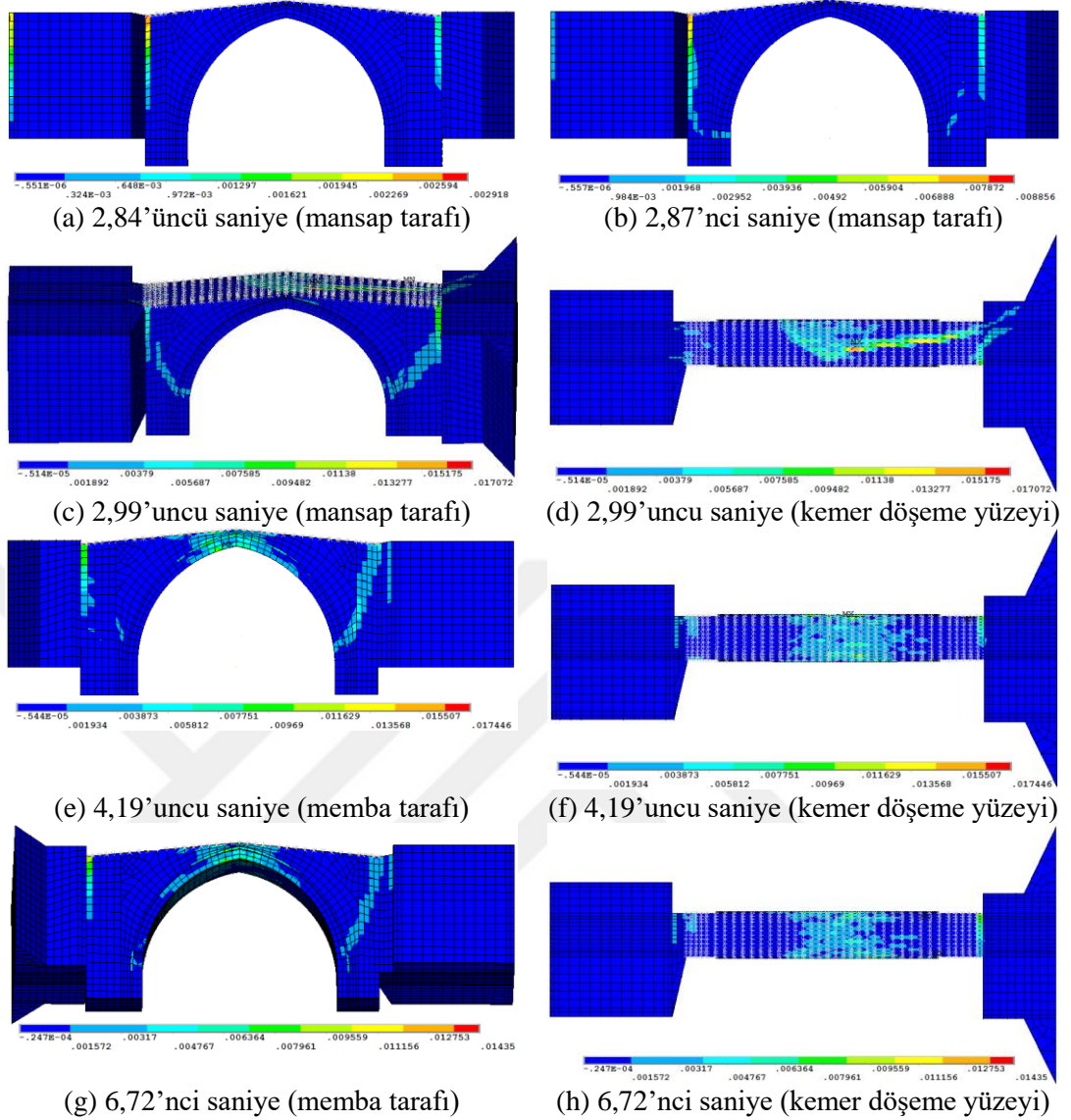
etmektedir. 2,87'nci saniyede çatlak ilerleyişi kemerin mansap tarafında doğu tarafındaki ayak kısmında üzengi taşına doğru ilerlemiştir. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizlerde elde edilen depreme ait yer değiştirme-zaman grafiğinde en büyük yer değiştirme süreleri Şekil 4.128'de irdelenmiştir. Bunların ilki 2,99'uncu saniyede, ikincisi ise 4,19'uncu saniye gerçekleşmiştir.



Şekil 4.128. Kireçli köprüsü için Erzincan deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

İlk en büyük yer değiştirme noktasında kemerin memba tarafında ezilmelerin kemerin üst döşeme bölgesinde başladığı görülmektedir. Mansap tarafında ise ayakların her iki tarafında da üzengi taşlarının üst kısmındaki taşlarla birleşen çatlakların genişlediği görülmektedir. Kemer üst bölgesinde ise orta bölgede gerilmelerin ve ezilmenin arttığı gözlemlenmiştir. İkinci en büyük yer değiştirme noktasında ise memba tarafında batı tarafında kemer alt kısmında zorlanmalar ve ezilmeler meydana gelmiştir. Analiz 6,72'nci saniye sonlandırılmıştır. Gerilmeler kemer üst bölgesinde artmıştır. En çok zorlanan bu bölge olmuştur. Analizin farklı saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.129'da verilmiştir.

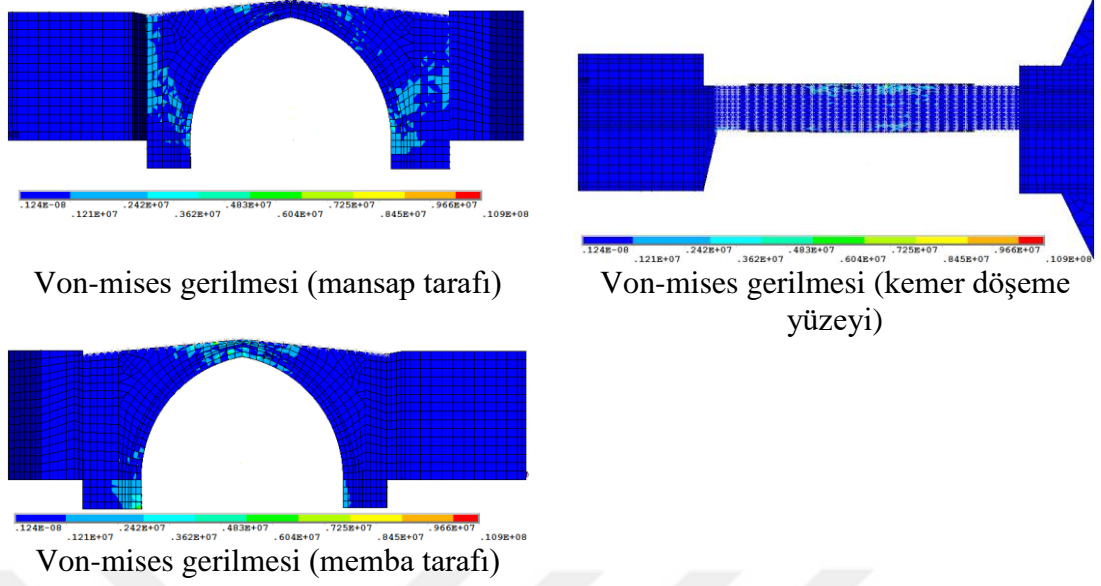
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.129. Kireçli köprüsü için Erzincan deprem kaydında analiz 2,84'üncü, 2,87'nci, 2,99'uncu, 4,19'uncu ve 6,72'nci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler

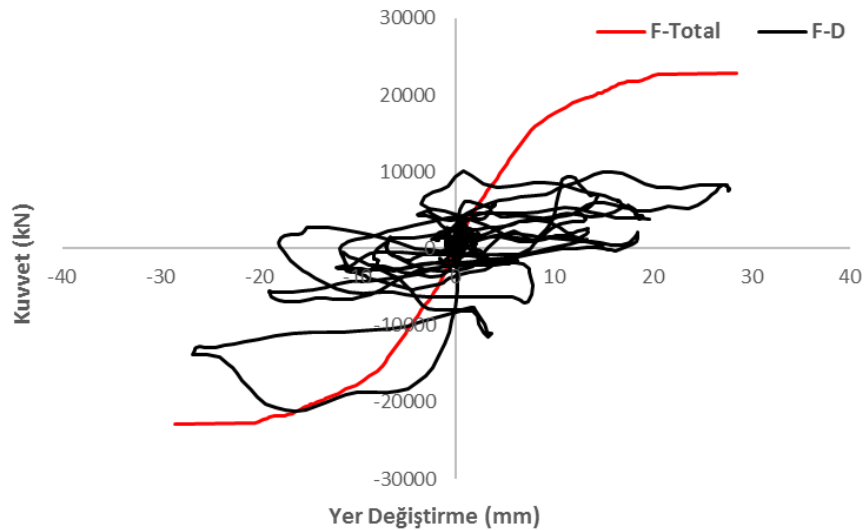
Analiz 6,725'inci saniyede artık yakınsama işlemi sürdürülemediği olup analiz sonlandırılmıştır. Bu saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üst bölgesinde yer alan 5723 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 1,435 kPa'dır. 6,725'inci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.130'da verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.130. Kireçli köprüsü için Erzincan deprem kaydında 6,725'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

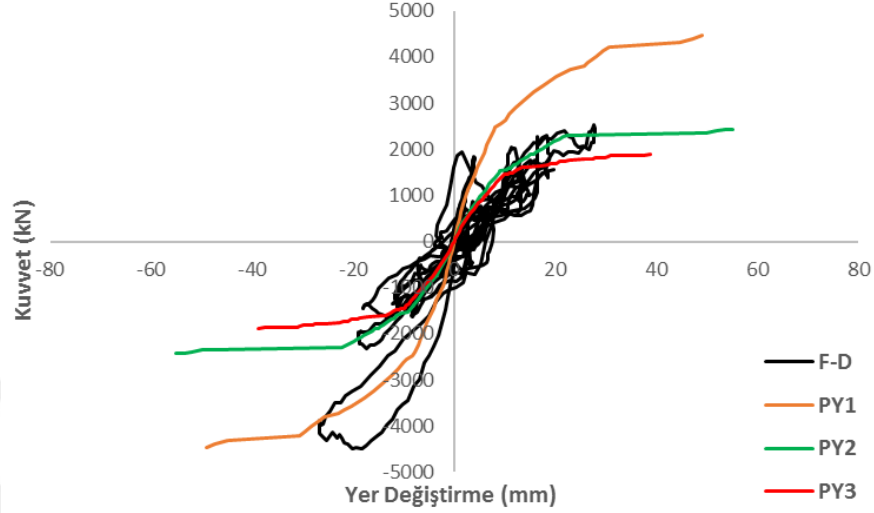
Şekil 4.131'de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 28,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 27,7 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 22824 kN iken dinamik analizde 21013 kN'dur.



Şekil 4.131. Kireçli köprüsü için Erzincan deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Karşılaştırma yapabilmek için yatay yönde uygulanan itme analizleri ve dinamik analizler sadece kemer ana gövdesi ele alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.132).



Şekil 4.132. Kireçli köprüsü için Erzincan deprem kaydında kemer ana gövdesinde L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.34’de verilmiştir.

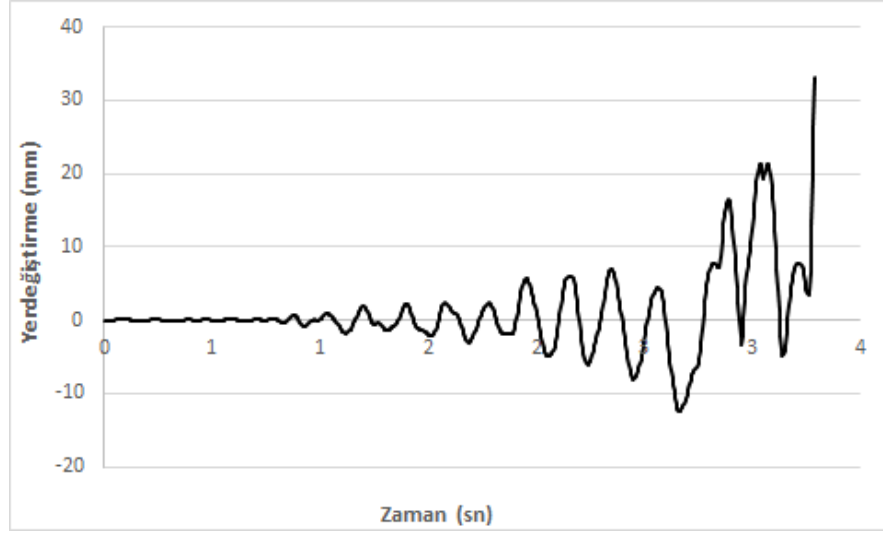
Çizelge 4.34. Kireçli köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	27,93	4497
PY1 (L+2t)	49,1	4456
PY2 ((L+2t)/2)	55,1	2430
PY3 ((L+2t)/4)	47,7	1886

4.6.2.3. Kireçli köprüsü İzmit depremine ait dinamik analiz

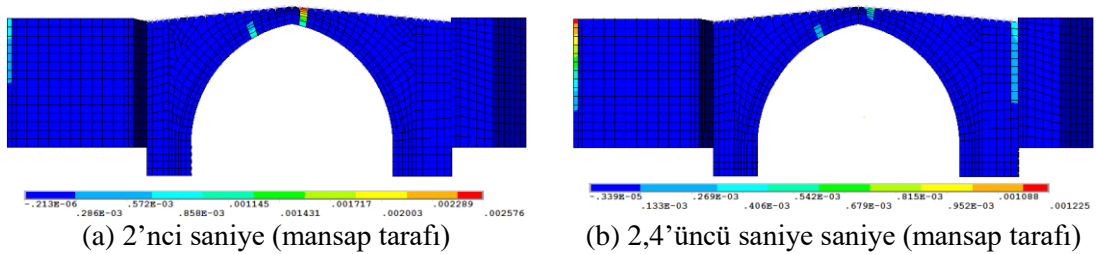
Köprüde ilk olarak 2’nci saniyede ezilme ve gerilmeler kemer eğrisinin üst bölgesinde ve kemer döşeme yüzeyinde olduğu görülmektedir. Sonrasında ise depremin ilerleyen saniyelerinde ezilmeler ve çatlamlar devam etmektedir. 2,4’üncü saniyede basınç ve çekme gerilmelerinin köprünün üst döşeme yüzeyinde ve kemerin üst bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizlerde elde edilen depreme ait yer değiştirme-zaman grafiğinde Şekil 4.133’de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



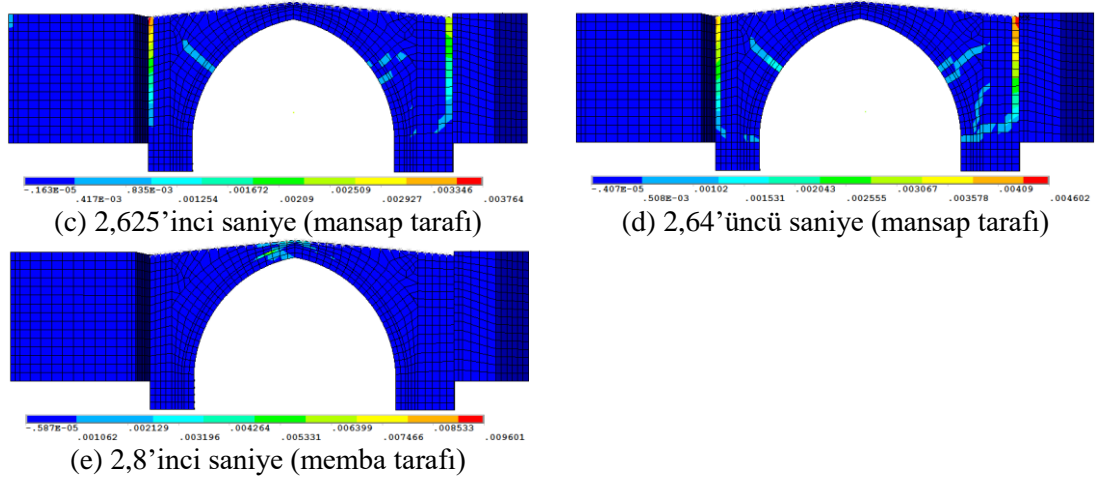
Şekil 4.133. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin ilerleyen 2,625'inci saniyesinde nansap tarafının doğu bölgesinde kemer eğrisinden başlayıp destek bölgesine doğru yayılan çatlak dizininin oluştuğu görülmektedir. Ayrıca dolgu ile ana gövdenin birleşim yerlerinde de çatlamlar oluşmuştur. 2,64'üncü saniyesinde ise mevcut gerilmelerin yoğunluğu durumu az da olsa artmıştır. Kemer eğrisinin hem batı hemde doğu tarafında üzengi taşından başlayarak destek bölgesiyle birleşen çatlak dizini oluşmuştur. Ayrıca kemer eğrisinin her iki tarafında destek bölgesine doğru uzanan ikinci bir çatlak dizini daha oluşmuştur. Gerilmeler kemer üst bölgesinde artmıştır. En çok zorlanan bölge kemerin üst bölgesi olmuştur. Analizin farklı saniyelerine ait asal şekil değiştirmeleri Şekil 4.134'de verilmiştir.



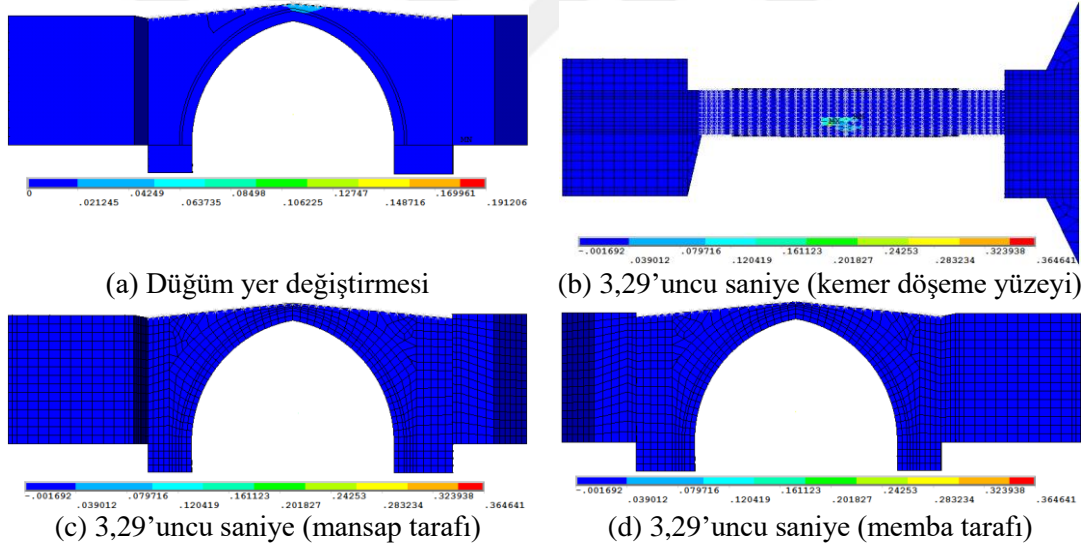
Şekil 4.134. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında analizin 2'nci, 2,4'üncü, 2,625'inci, 2,64'üncü ve 2,8'inci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.134. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında analizin 2'nci, 2,4'üncü, 2,625'inci, 2,64'üncü ve 2,8'inci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler (devam)

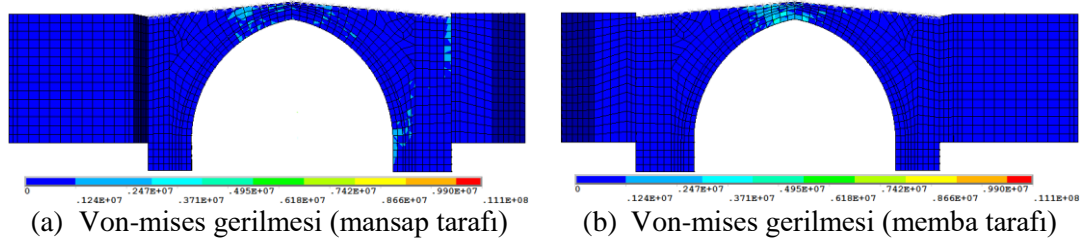
Analiz 3,29'uncu saniyede artık yakınsama işlemi sürdürülememiş olup analiz sonlandırılmıştır (Şekil 4.135).



Şekil 4.135. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında analizin 3,29'uncu saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

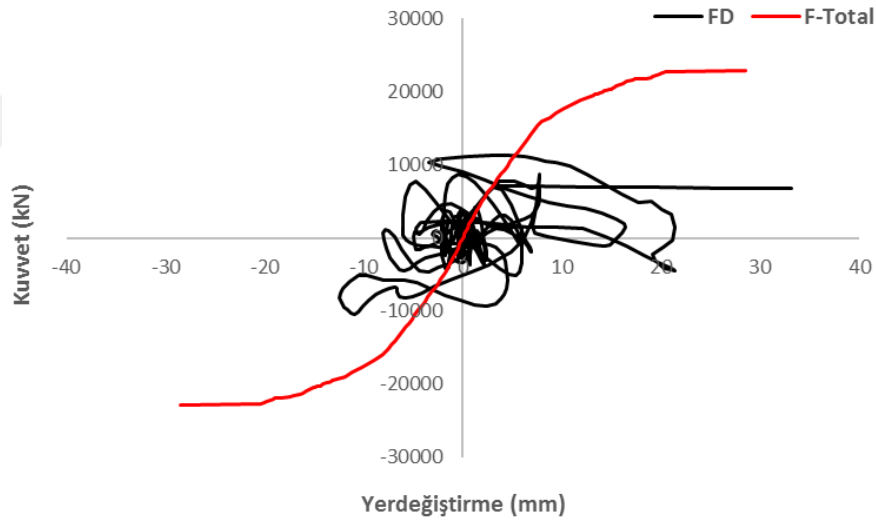
Bu saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üst bölgesinde yer alan 9503 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 36,460 kPa'dır. 3,29'uncu saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.136'da verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.136. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında 3,29'uncu saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

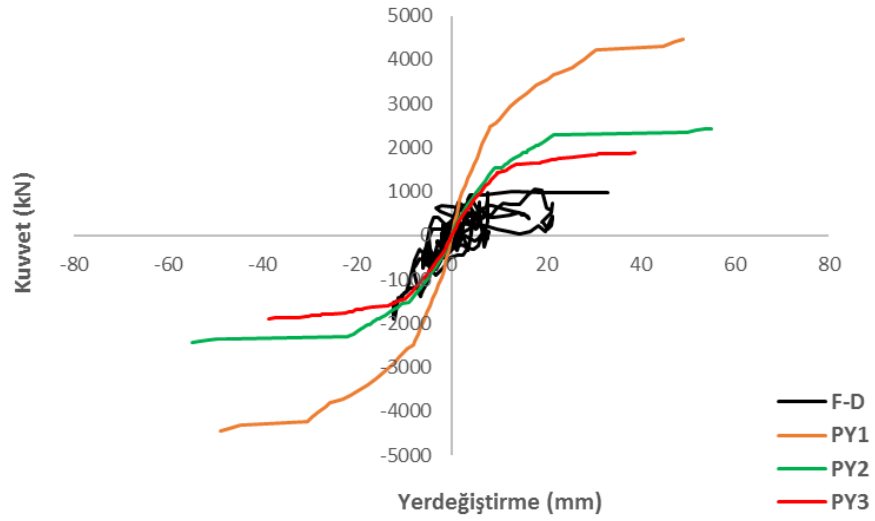
Şekil 4.137'de köprü'nün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprü'nün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 28,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 33,2 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 22824 kN iken dinamik analizde 11288 kN'dur.



Şekil 4.137. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.138'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.138. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.35’de verilmiştir.

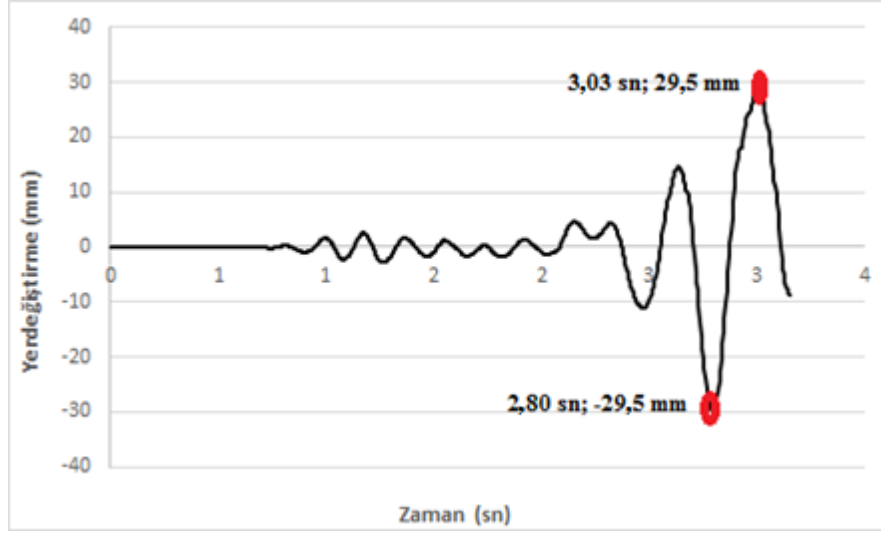
Çizelge 4.35. Kireçli köprüsü için İzmit deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	33,2	1893
PY1 (L+2t)	49,1	4456
PY2 ((L+2t)/2)	55,1	2430
PY3 ((L+2t)/4)	47,7	1886

4.6.2.4. Kireçli köprüsü Loma-Prieta depremine ait dinamik analiz

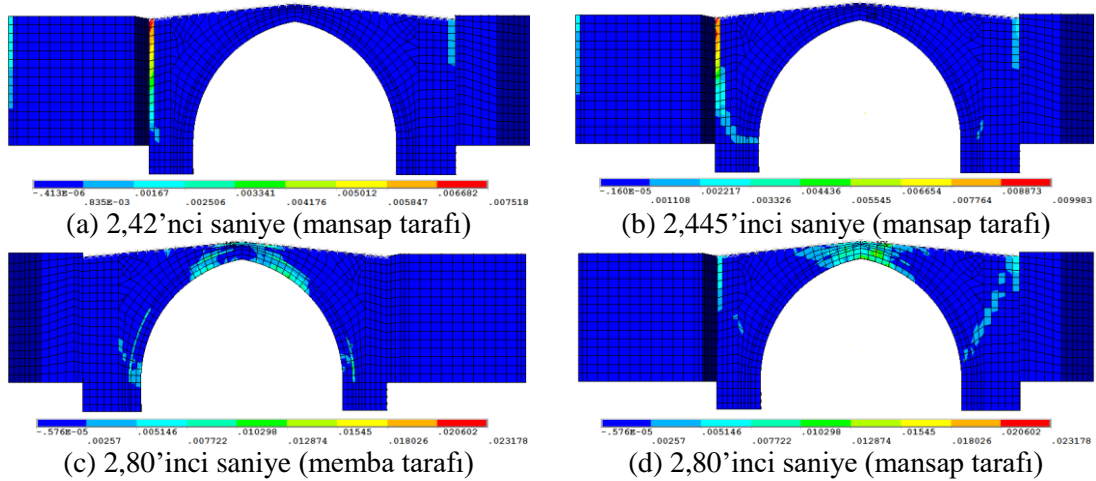
Köprüde ilk olarak 2,42’nci saniyede ezilme ve çatlamlar ana gövdenin dolgu bloklarla birleşim yerlerinde oluştuğu görülmektedir. Sonrasında ise depremin ilerleyen saniyelerinde ezilmeler ve çatlamlar devam etmektedir. 2,445’inci saniyede çatlak ilerleyişi kemerin mansap tarafında doğu tarafındaki ayak kısmında üzengi taşına doğru ilerlemiştir. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizlerde elde edilen depreme ait yer değiştirme-zaman grafiğinde en büyük yer değiştirme süreleri Şekil 4.139’da irdelenmiştir. Bunların ilki 2,80’inci saniyede, ikincisi ise 3,03’üncü saniyede gerçekleşmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



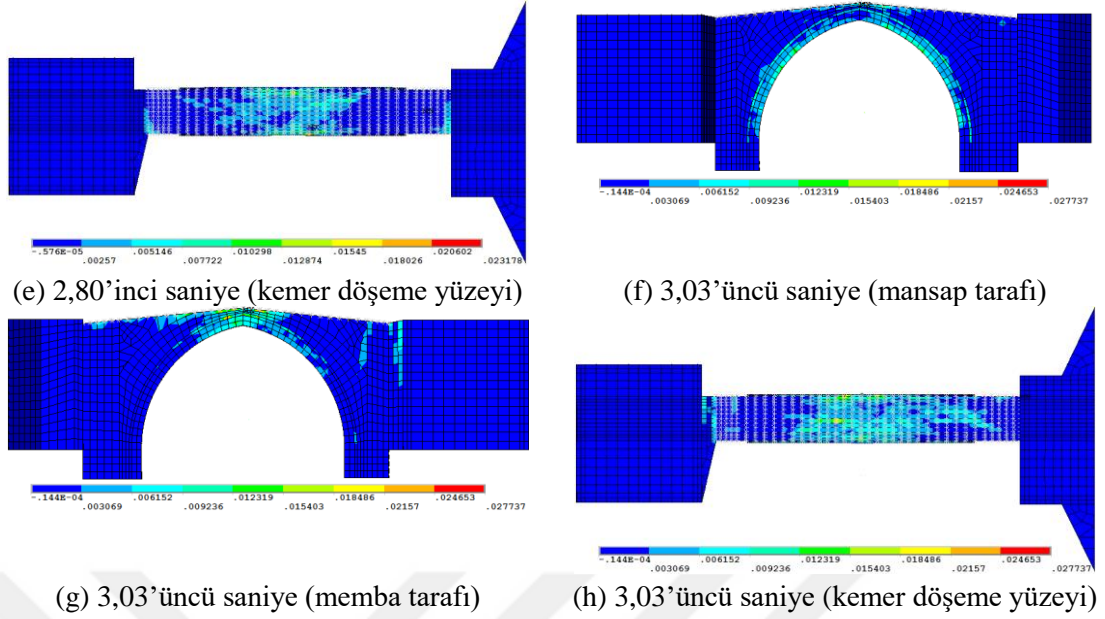
Şekil 4.139. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

İlk en büyük yer değiştirme noktasında kemerin üst döşeme bölgesinde çatlakların ve ezilmelerin arttığı görülmektedir. İkinci en büyük yer değiştirme noktasında ise mevcut gerilmelerin yoğunluğu artmıştır. Analiz, 3,15'inci saniyede daha fazla yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için sonlandırılmıştır. Gerilmeler kemer üst bölgesinde artmıştır. En çok zorlanan bölge kemerin üst bölgesi olmuştur. Analizin farklı saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.140'da verilmiştir.



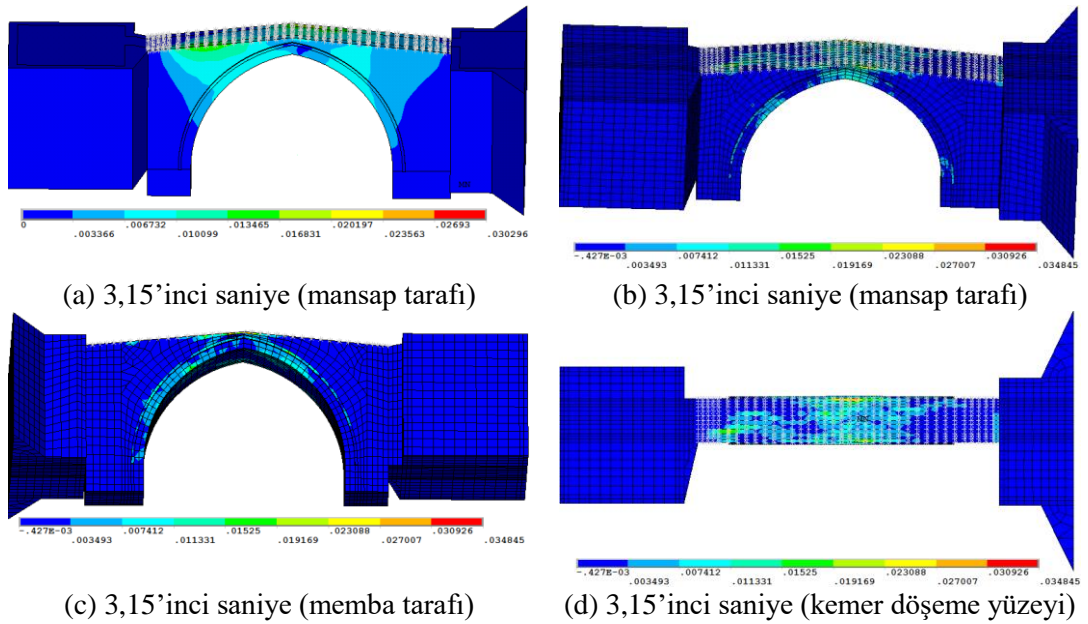
Şekil 4.140. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 2,42'nci, 2,445'inci, 2,80'inci ve 3,03'üncü saniyelere ait asal şekil değiştirmeler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.140. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 2,42'nci, 2,445'inci, 2,80'inci ve 3,03'üncü saniyelere ait asal şekil değiştirmeler (devam)

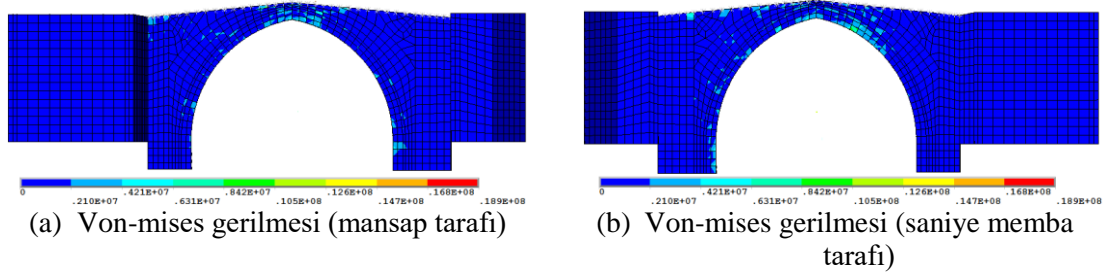
Analiz 3,15'inci saniyede artık yakınsama işlemi sürdürülememiş olup analiz sonlandırılmıştır. Kemer bölgesinde üzengi taşından başlayıp kemer üst bölgesine doğru gerilmelerin arttığı gözlemlenmiştir. Analizin 3,15'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.141'de gösterilmiştir.



Şekil 4.141. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analiz 3,15'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

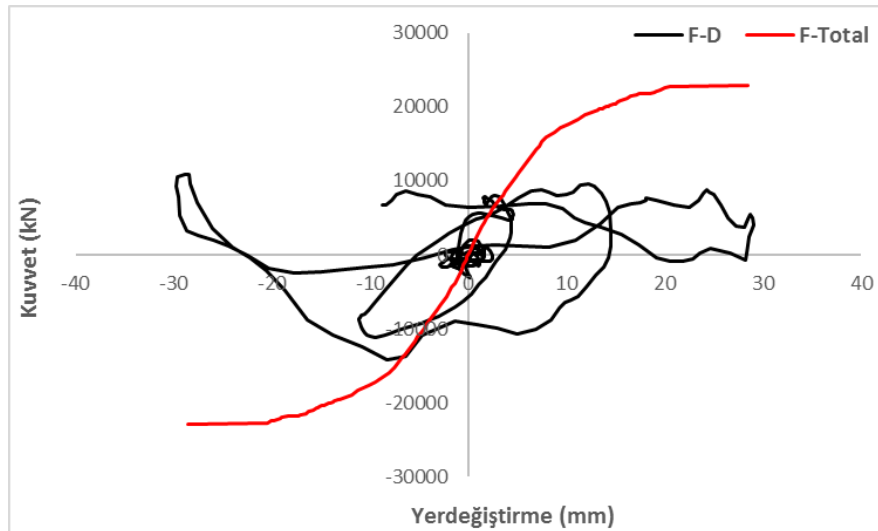
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üst bölgesinde yer alan 9760 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 2,773 kPa olarak belirlenmiştir. 3,15'inci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.142'de verilmiştir.



Şekil 4.142. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 3,15'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

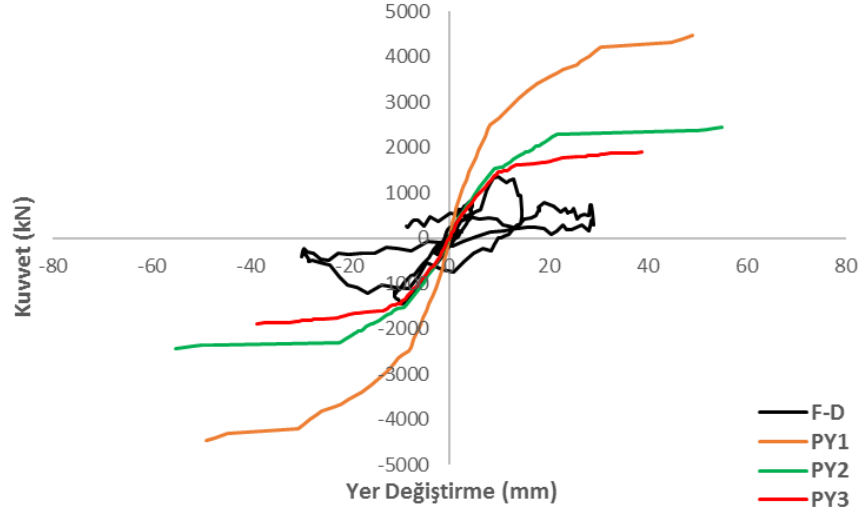
Şekil 4.143'de köprü'nün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprü'nün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 28,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 29,8 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 22824 kN iken dinamik analizde 12887 kN'dur.



Şekil 4.143. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.144’de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.144. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında kemerin ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.41’de verilmiştir.

Çizelge 4.36. Kireçli köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

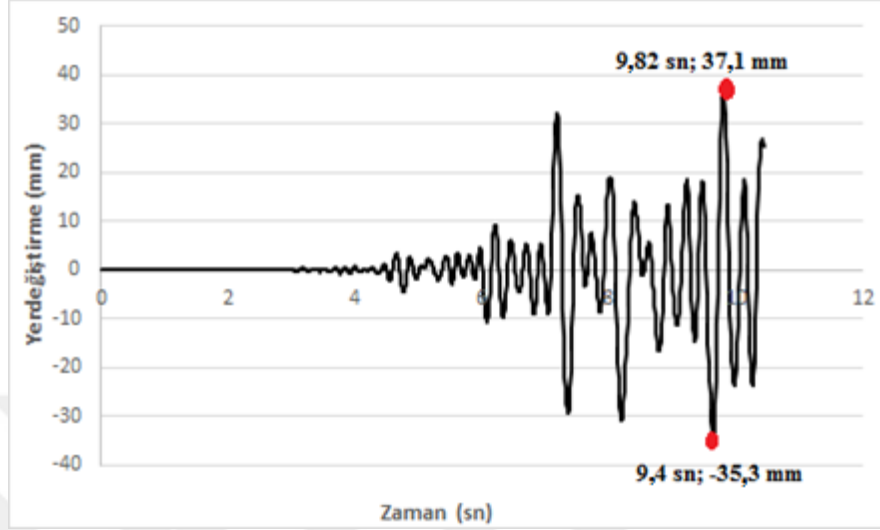
Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	29,0	1280
PY1 (L+2t)	49,1	4456
PY2 ((L+2t)/2)	55,1	2430
PY3 ((L+2t)/4)	47,7	1886

4.6.2.5. Kireçli köprüsü Kobe depremine ait dinamik analiz

Köprüde ilk olarak 6,5’inci saniyede ezilme ve çatlamlar ana gövdenin dolgu bloklarla birleşim yerlerinde oluştuğu görülmektedir. Sonrasında ise depremin ilerleyen saniyelerinde ezilmeler ve çatlamlar devam etmektedir. En büyük yer değiştirme süreleri Şekil 4.145’de gösterilmiştir. Bunların ilki olan 9,4’üncü saniyede gerçekleşmiş olup, basınç gerilmelerinin yoğunlaşarak mansap tarafındaki kemer ayaklarıyla birleştiği görülmektedir. Ayrıca kemer üst döşeme yüzeyi ve kemer üst bölgesinde de gerilmelerin

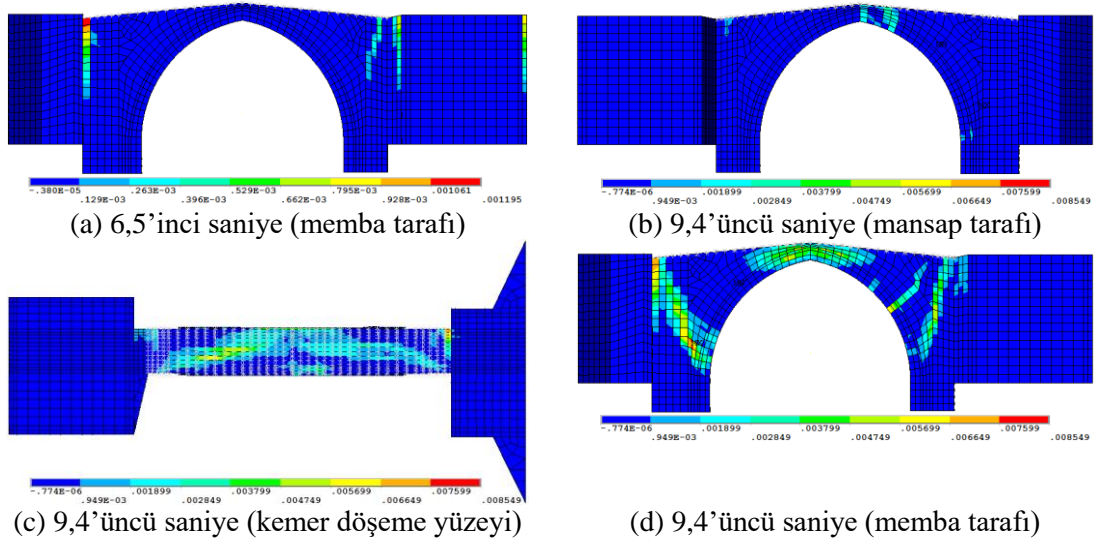
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

arttığı görülmektedir. 9,49'uncu saniyede gerilmeler kemer tepe bölgesinde yoğunlaşmıştır.



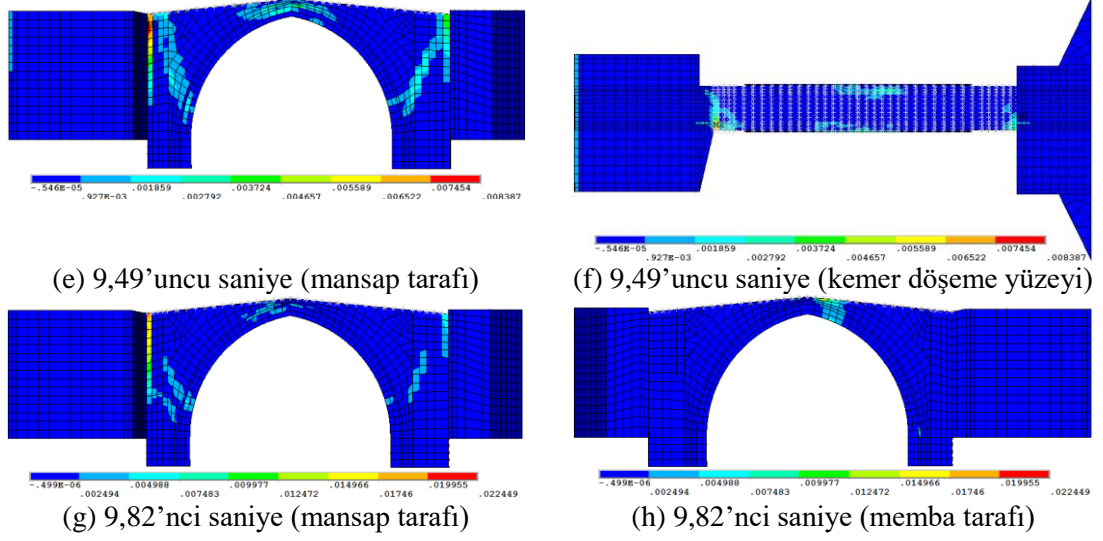
Şekil 4.145. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

İkinci en büyük yer değiştirme ise 9,82'nci saniyede gerçekleşmiştir. Analizin farklı saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.146'da verilmiştir.



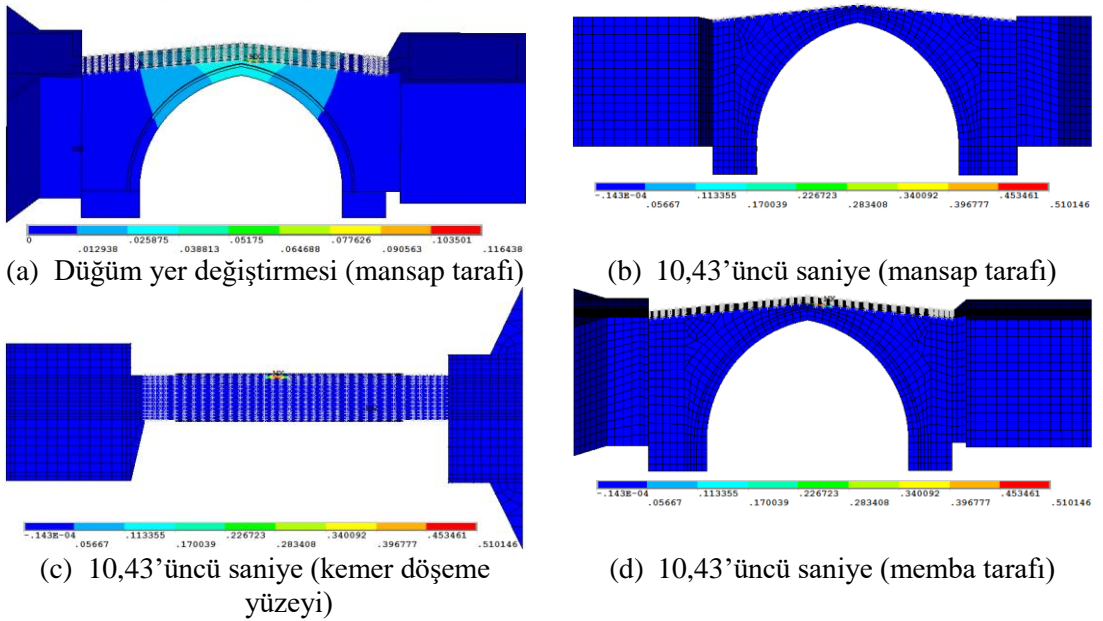
Şekil 4.146. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında analizin 6,5'inci, 9,4'üncü, 9,49'uncu ve 9,82'nci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.146. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında analizin 6,5'inci, 9,4'üncü, 9,49'uncu ve 9,82'nci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler (devam)

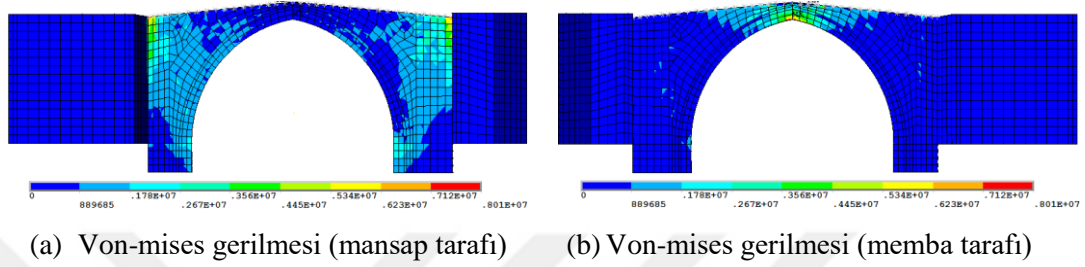
Analiz, 10,43'üncü saniyede yakınsama işlemi gerçekleştirilemediğinden dolayı sonlandırılmıştır. Analizin 10,43'üncü saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.147'de gösterilmiştir.



Şekil 4.147. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında analizin 10,43'üncü saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üst bölgesinde yer alan 2764 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 51,000 kPa olarak belirlenmiştir. 10.43'üncü saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.148'de verilmiştir.

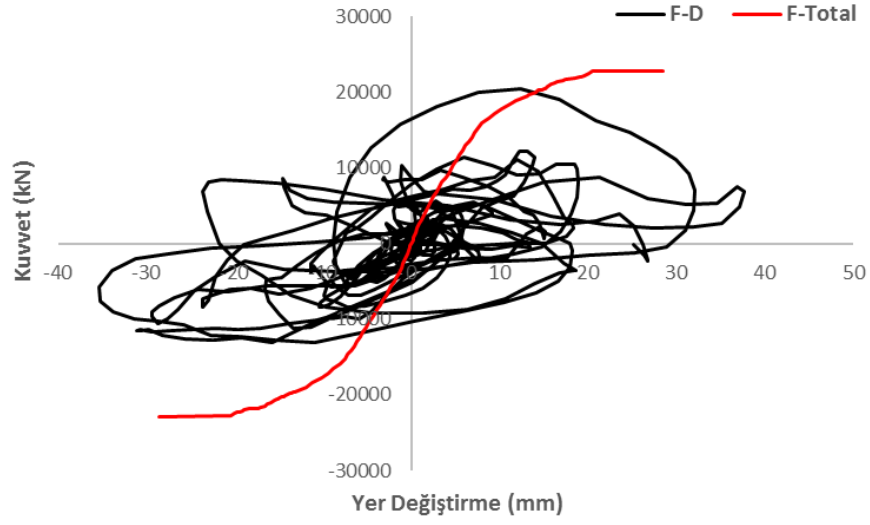


Şekil 4.148. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında 10,43'üncü saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Yığma yapılarda deprem kuvvetleriyle oluşan en önemli hasar nedenleri çekme gerilmelerine bağlı olarak meydana gelen çatlak, ayrılma veya dağılma hasarlarıdır. Yığma yapıyı oluşturan malzemelerin çekme dayanımı düşüktür. Sünek olmayan davranışa sahip olan yığma köprü, çekme ve basınç gerilmeleri altında önemli bir plastik şekil değiştirme göstermeden göçmeye maruz kalmıştır diyebiliriz.

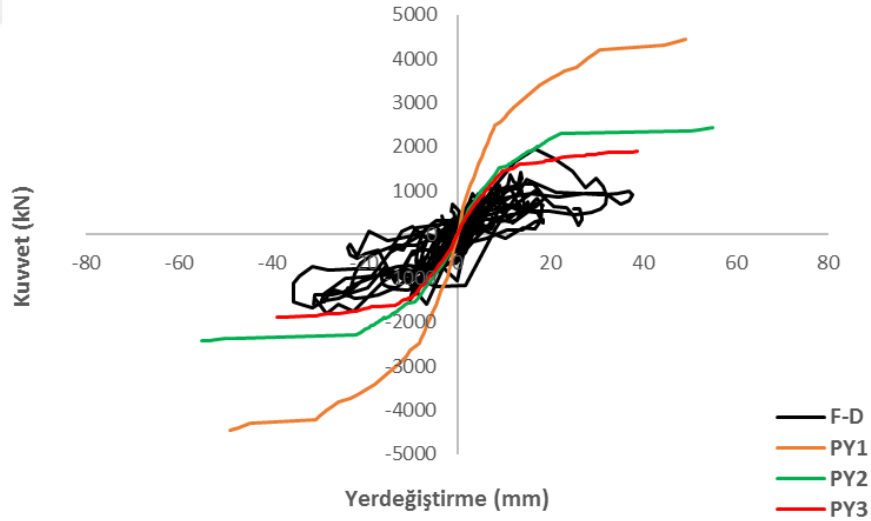
Şekil 4.149'da köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 28,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 37,7 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 20374 kN iken dinamik analizde 12887 kN'dur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.149. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.150'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.150. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.37'de verilmiştir.

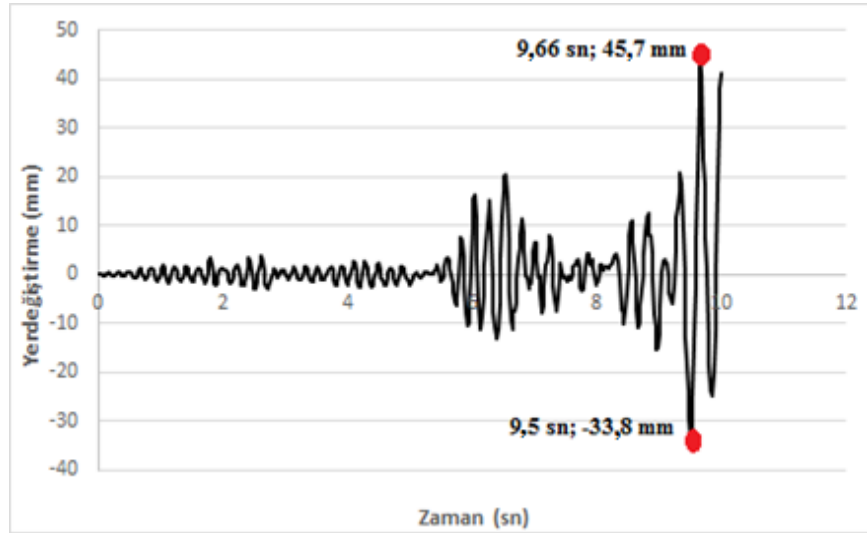
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.37. Kireçli köprüsü için Kobe deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	37,7	2030
PY1 (L+2t)	49,1	4456
PY2 ((L+2t)/2)	55,1	2430
PY3 ((L+2t)/4)	47,7	1886

4.6.2.6. Kireçli köprüsü Rudbar depremine ait dinamik analiz

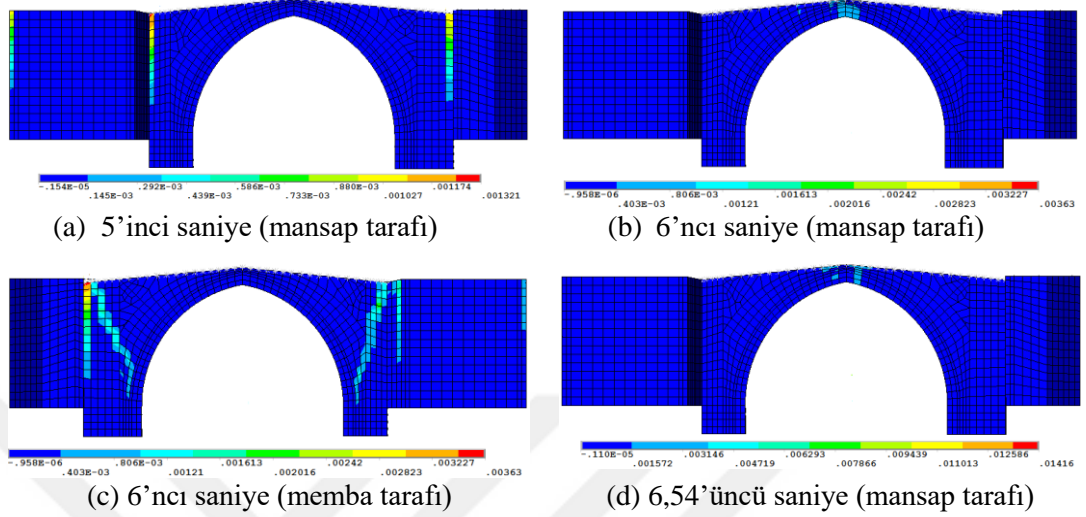
Köprüde ilk olarak 5'inci saniyede ezilme ve çatlama ana gövdenin dolgu bloklarla birleşim yerlerinde oluştuğu görülmektedir. Sonrasında ise depremin ilerleyen 6'ncı saniyesinde ezilmeler ve çatlama devam etmektedir. Ayrıca basınç gerilmelerinin yoğunlaşarak mansap tarafındaki kemer ayaklarıyla birleştiği görülmektedir. Ayrıca kemer üst döşeme yüzeyi ve kemer üst bölgesinde de gerilmelerin arttığı görülmektedir. 6,54'üncü saniyede gerilmeler kemer tepe bölgesinde yoğunlaşmıştır. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz incelendiğinde en büyük yer değiştirme süreleri görülmektedir. Bunların ilki 9,5'inci saniyede, ikincisi ise 9,66'ncı saniyede meydana gelmiştir (Şekil 4.151).



Şekil 4.151. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

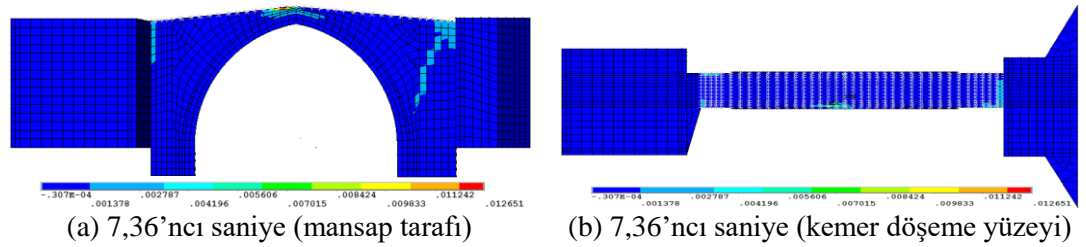
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.152’de deprem kuvveti altında belirli saniyelerde meydana gelen asal şekil değiştirme grafikleri yer almaktadır.



Şekil 4.152. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında Analizin 5’inci, 6’ncı ve 6,54’üncü saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler

Analizin ilerleyen 7,36’ncı saniyesinde 7,56 mm yer değiştirmeye karşılık 5223 kN kuvvet elde edilmiştir. Köprünün mansap tarafının batı bölümünde destek bölgesinde başlayarak kemer eğrisine doğru yayılan çatlak dizini oluşmuştur. Ayrıca kemer döşeme yüzeyinde ezilme ve ayrışmalara bağlı olarak çatlak oluşmuştur. 7,36’ncı saniyeye ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.153’de verilmiştir.

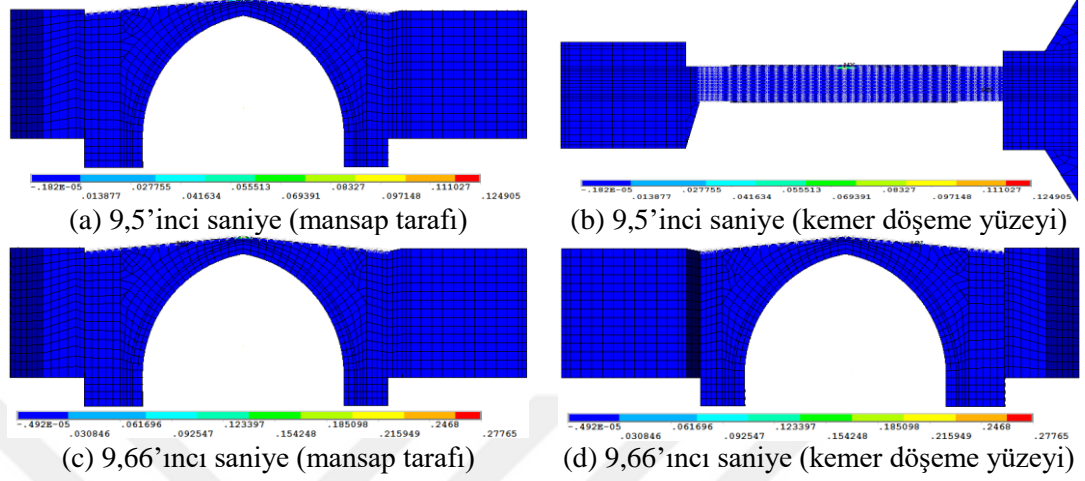


Şekil 4.153. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 7,36’ncı saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

9,5’inci saniyede 33,8 mm yer değiştirmeye karşılık 773 kN’luk kuvvet elde edilmiştir. Kemer döşeme yüzeyinde ezilme, ayrışma ve çatlak oluşmuştur. Şekil 4.154’de asal şekil değiştirmeler yer almaktadır. 9,66’ncı saniyede ise 45,7 mm yer değiştirmeye karşılık 36

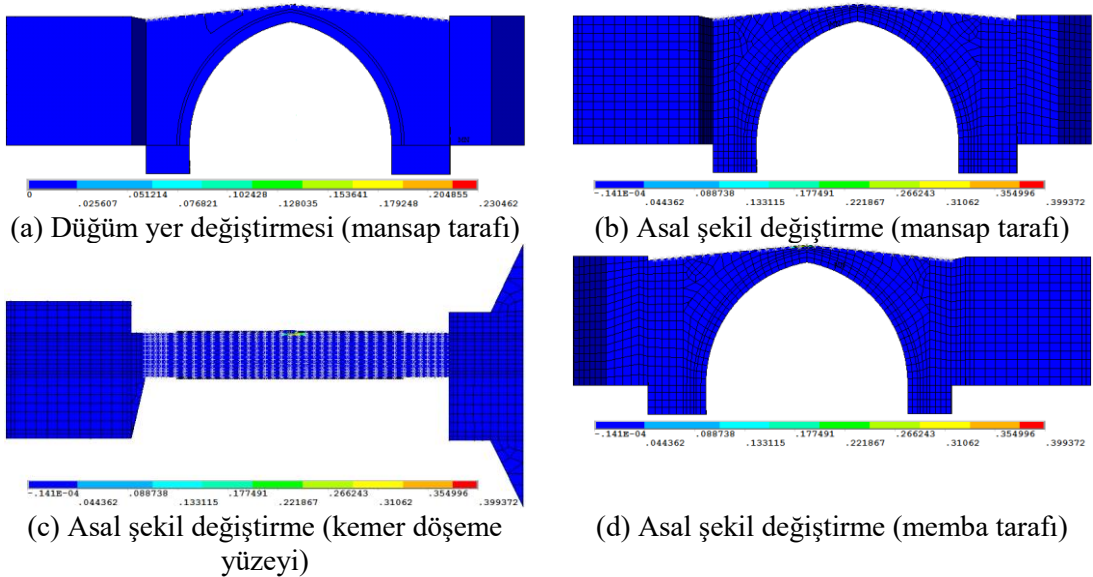
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

kN'luk kuvvet elde edilmiştir. Şekil 4.149'da en büyük yer değiştirme noktalarına ait asal şekil yer değiştirmeler yer almaktadır.



Şekil 4.154. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analiz 9,5'inci ve 9,66'inci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler

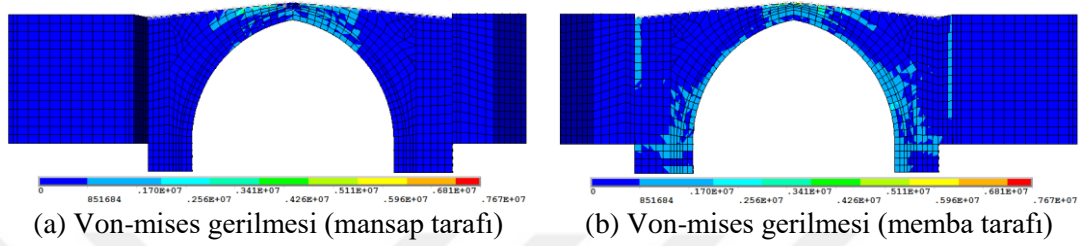
Analiz 10'uncu saniyede yakınsama işlemi gerçekleştirilemediğinden dolayı sonlandırılmıştır. Analiz 10'uncu saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.155'de yer almaktadır.



Şekil 4.155. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analiz 10'uncu saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

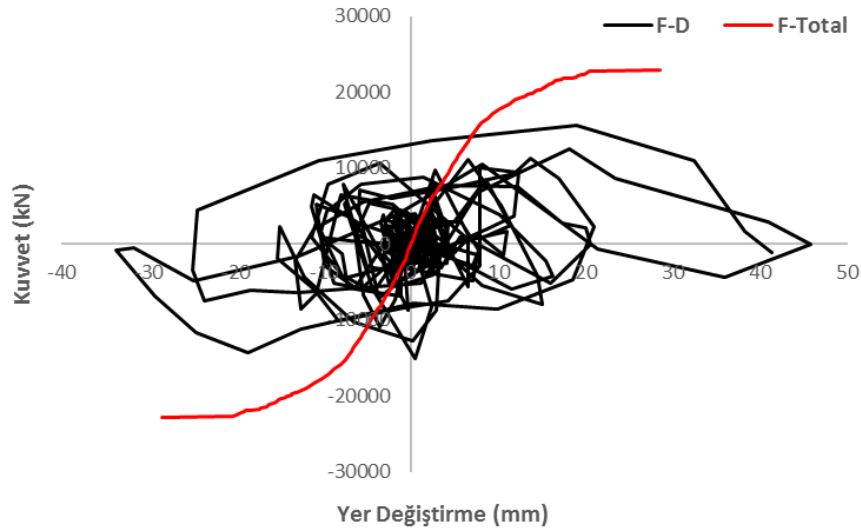
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Analizin 10'uncu saniyesinde çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri, taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üst bölgesinde yer alan 11048 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 39,937 kPa olarak belirlenmiştir. 10'uncu saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.151'de verilmiştir.



Şekil 4.156. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 10'uncu saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

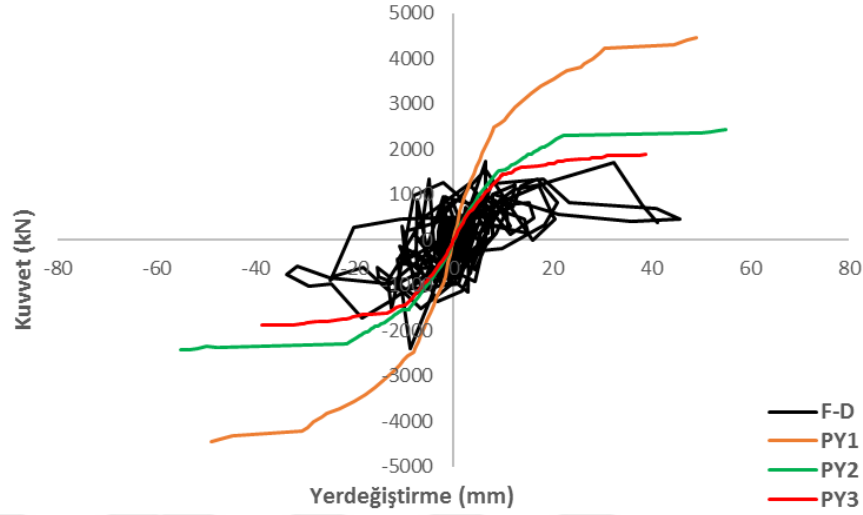
Şekil 4.157'de köprü'nün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprü'nün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 28,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 45,7 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 20374 kN iken dinamik analizde 15108 kN'dur.



Şekil 4.157. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında kemer toplam uzunluğu boyunca yatay yüklenme ve deprem yükünün uygulanması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.158’de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.158. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.38’de verilmiştir.

Çizelge 4.38. Kireçli köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

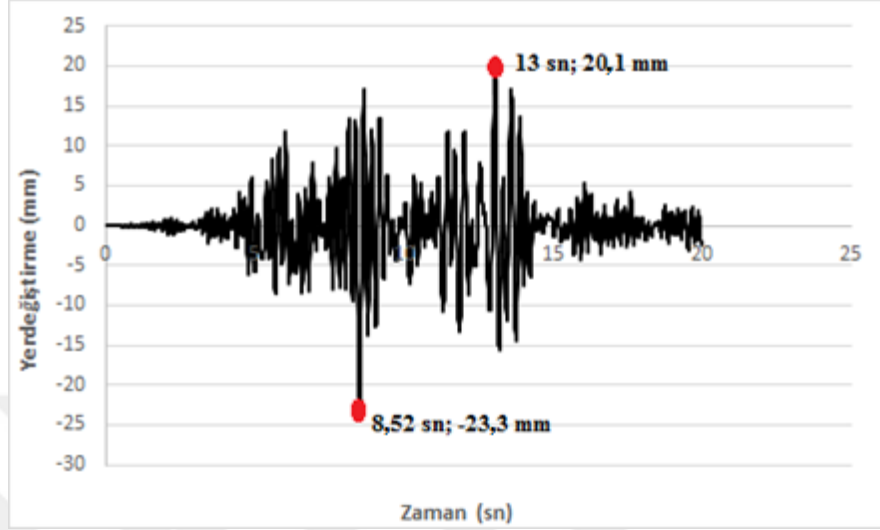
Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	45,7	2588
PY1 (L+2t)	49,1	4456
PY2 ((L+2t)/2)	55,1	2430
PY3 ((L+2t)/4)	47,7	1886

4.6.2.7. Kireçli köprüsü Hector-Mine depremine ait dinamik analiz

Köprüde ilk olarak 8,11’inci saniyede ezilme ve çatlamlar ana gövdenin dolgu bloklarla birleşim yerlerinde oluştuğu görülmektedir. Sonrasında ise depremin ilerleyen saniyelerinde ezilmeler ve çatlamlar kemer kısmına doğru devam etmektedir. En büyük yer değiştirmeler gösterilmiştir (Şekil 4.159). Bunların ilki depremin 8,52’nci saniyesinde gerçekleşmiştir. 8,52’nci saniyede basınç gerilmelerinin yoğunlaşarak mansap taraftaki

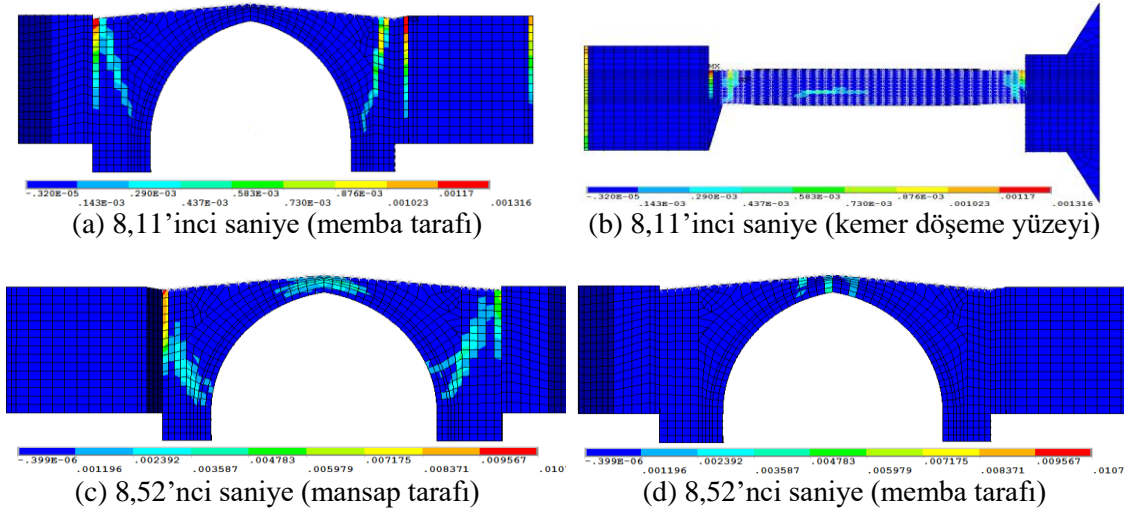
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

kemer ayaklarıyla birleştiği görülmektedir. Ayrıca kemer üst döşeme yüzeyi ve kemer üst bölgesinde de gerilmelerin arttığı görülmektedir.



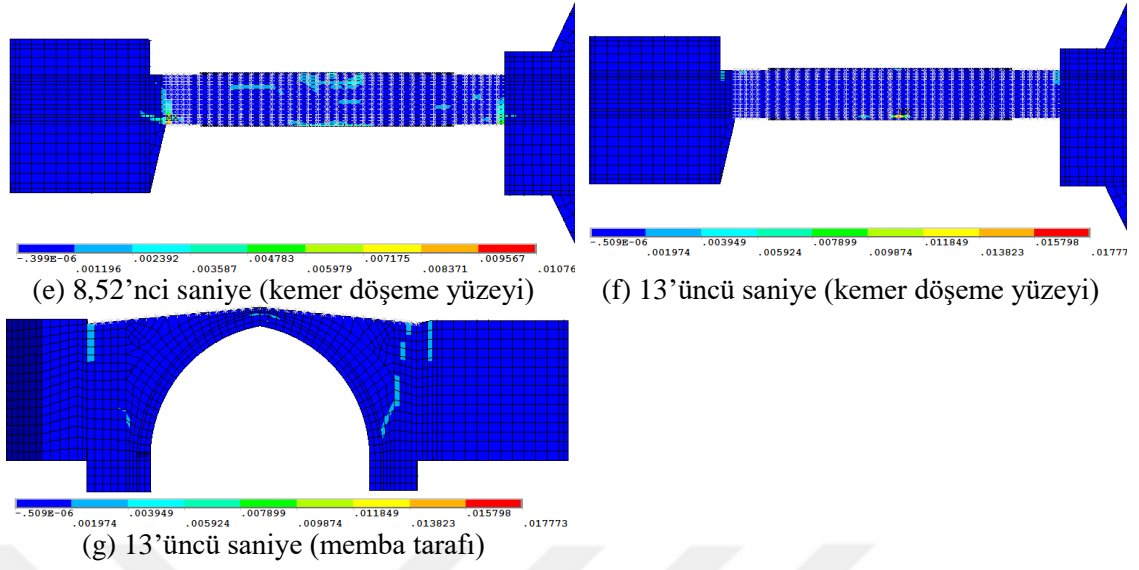
Şekil 4.159. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

En büyük yer değiştirme noktalarından ikincisi ise 13'üncü saniye de gerçekleşmiştir. Gerilmeler bu saniyede azalmıştır. Şekil 4.160'da deprem kuvveti altında belirli saniyelerde meydana gelen asal şekil değiştirme grafikleri yer almaktadır.



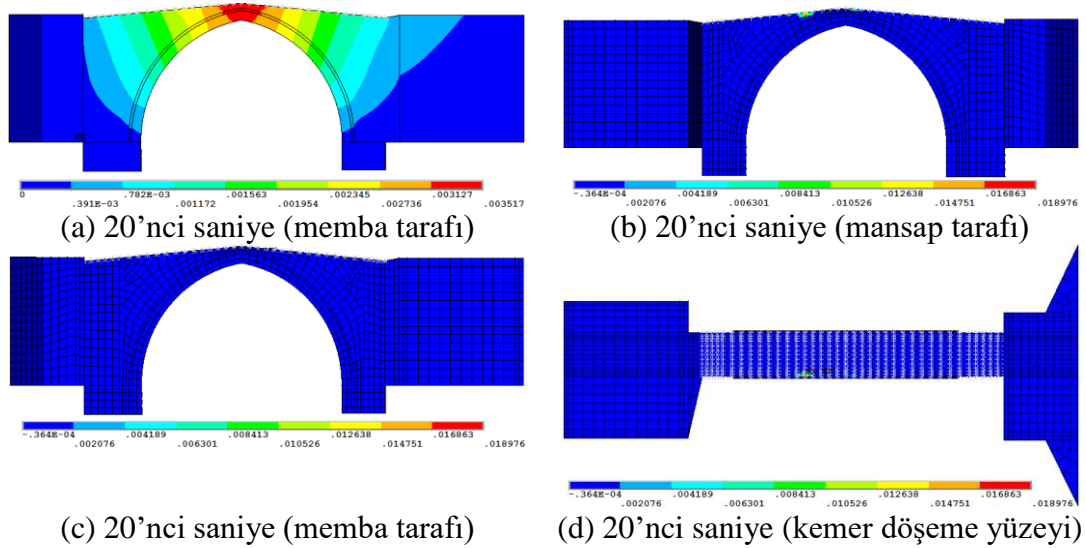
Şekil 4.160. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizin 8,11'inci, 8,52'nci ve 13'üncü saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.160. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analiz 8,11'inci, 8,52'nci ve 13'üncü saniyelerine ait asal şekil değişimleri (devam)

Analizlerde depremlerin 20 saniyelik kısımları dikkate alınmıştır. Deprem yükleri altında analiz 20 saniyenin sonunda durdurulmuştur. Analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değişimleri Şekil 4.161'de gösterilmiştir.

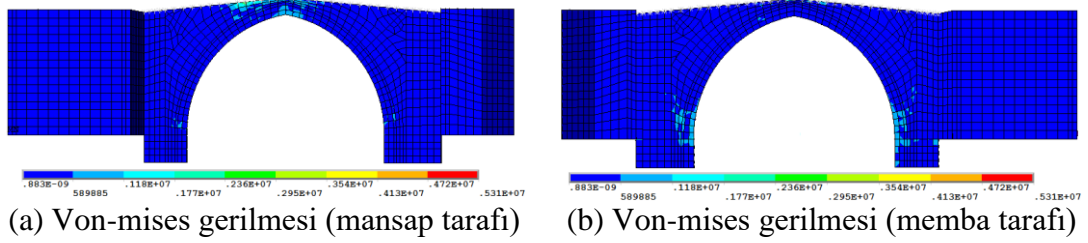


Şekil 4.161. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analiz 20'nci saniyesine ait asal şekil değişimleri

20'nci saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kelebeç üst bölgesinde yer alan 2901

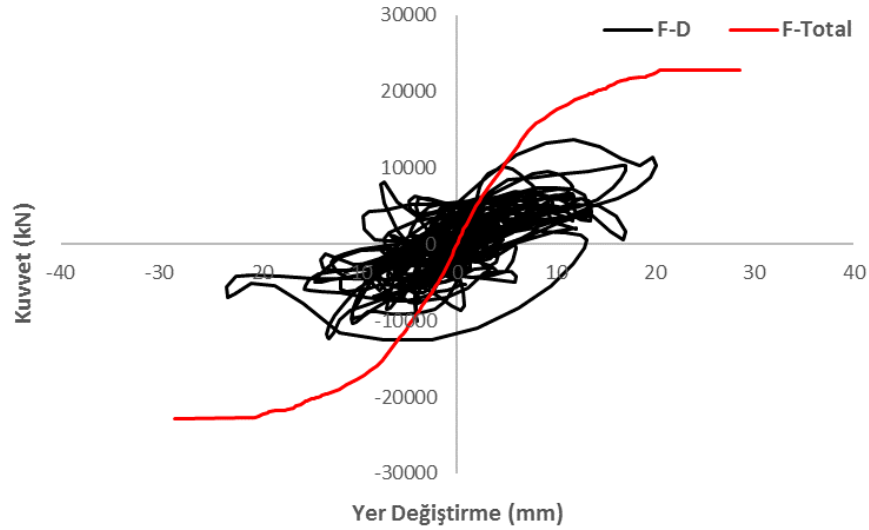
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 1,897 kPa'dır. 10,43'üncü saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.162'de verilmiştir.



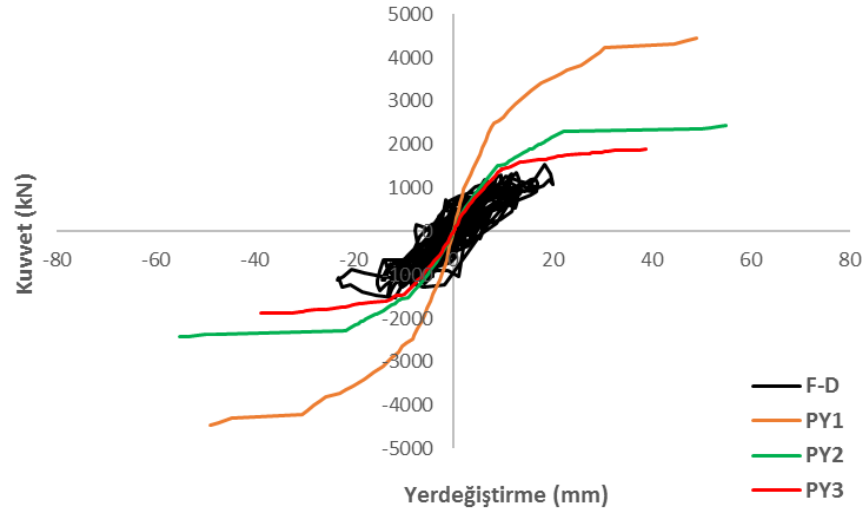
Şekil 4.162. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu.

Şekil 4.163'de köprü'nün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprü'nün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 28,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 23,3 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 20374 kN iken dinamik analizde 13687 kN'dur.



Şekil 4.163. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.164'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.164. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.39’da verilmiştir.

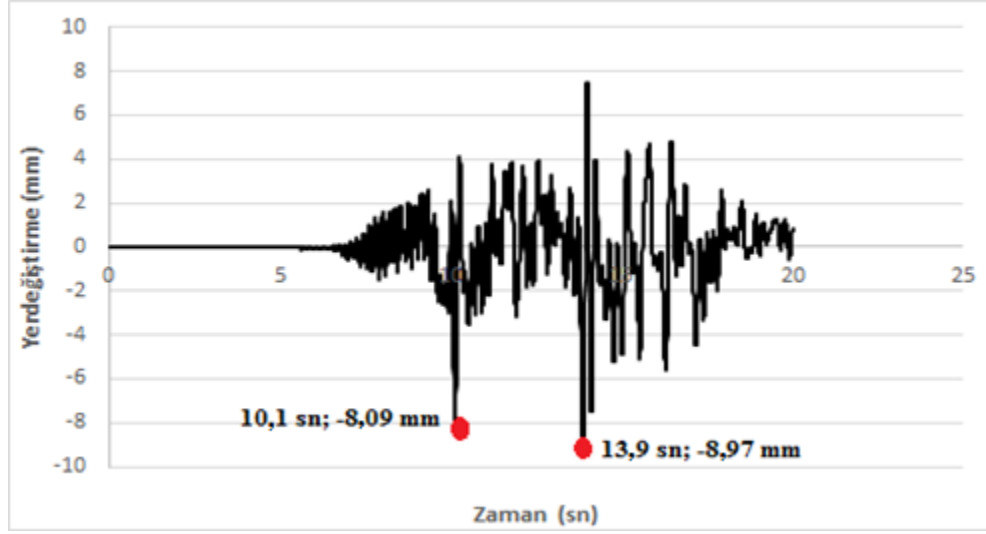
Çizelge 4.39. Kireçli köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	23,2	1565
PY1 (L+2t)	49,1	4456
PY2 ((L+2t)/2)	55,1	2430
PY3 ((L+2t)/4)	47,7	1886

4.6.2.8. Kireçli köprüsü Yarımcı depremine ait dinamik analiz

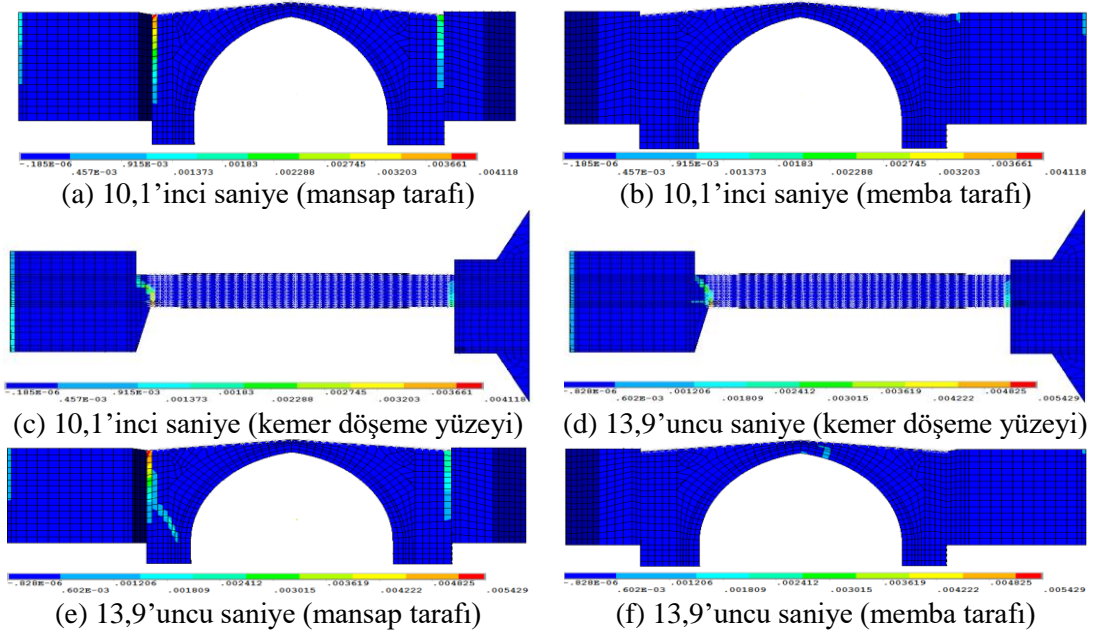
Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizlerde elde edilen depreme ait yer değiştirme-zaman grafiğinde en büyük yer değiştirme süreleri Şekil 4.165’de irdelenmiştir. Bunların birinci 10,1’inci saniyede, ikincisi ise 13,9’uncu saniyede gerçekleşmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.165. Kireçli köprü için Yarımca deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

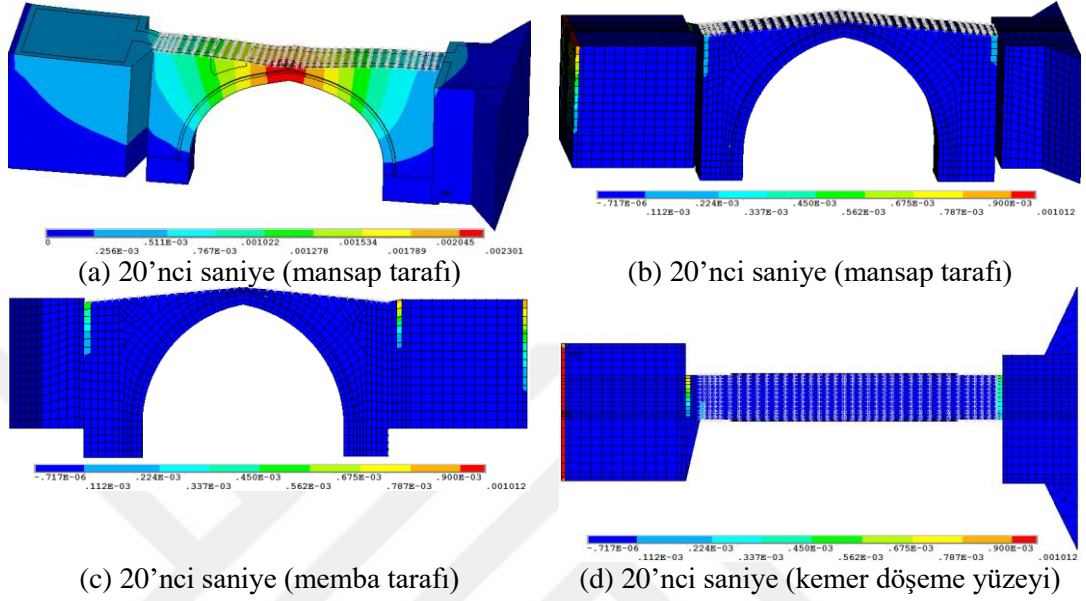
Şekil 4.166'da deprem kuvveti altında belirli saniyelerde meydana gelen deformasyonlar yer almaktadır. Köprüde 13,9'uncu mansap tarafında saniyede ezilme ve çatlamlar ana gövdenin dolgu bloklarla birleşim yerlerinde olduğu görülmektedir. Ayrıca kemer üst bölgesinde de gerilmeler oluşmuştur. Analizin en büyük yer değiştirme noktalarında gerçekleşen tepkiler Şekil 4.166'da verilmiştir.



Şekil 4.166. Kireçli köprü için Yarımca deprem kaydında 10,1'inci ve 13,9'uncu saniyelere ait asal şekil değiştirmeler

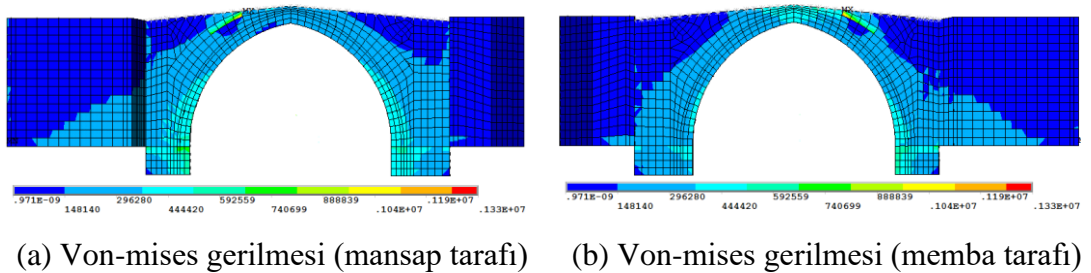
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Analizlerde depremlerin 20 saniyelik kısımları dikkate alınmıştır. Deprem yükleri altında analiz 20 saniyenin sonunda durdurulmuştur. Analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.167'de yer almaktadır.



Şekil 4.167. Kireçli köprüsü için Yarımca deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üst bölgesinde yer alan 2271 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,101 kPa'dır. 20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.168'de verilmiştir.

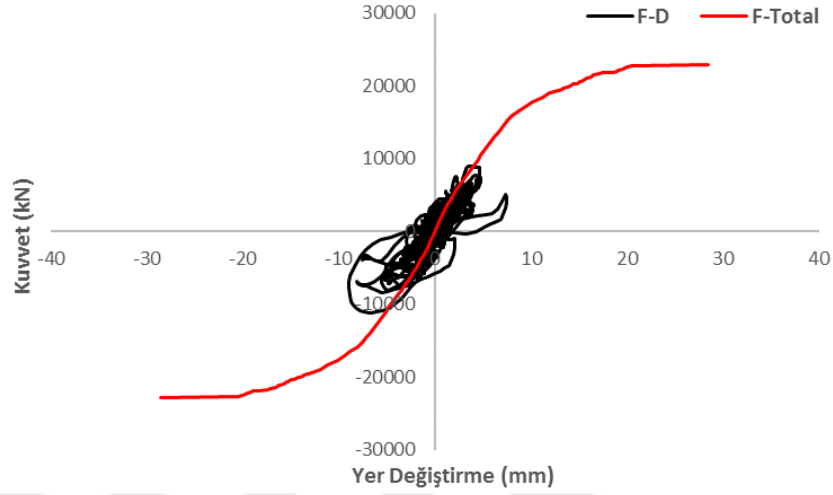


Şekil 4.168. Kireçli köprüsü için Yarımca deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Şekil 4.169'da köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri

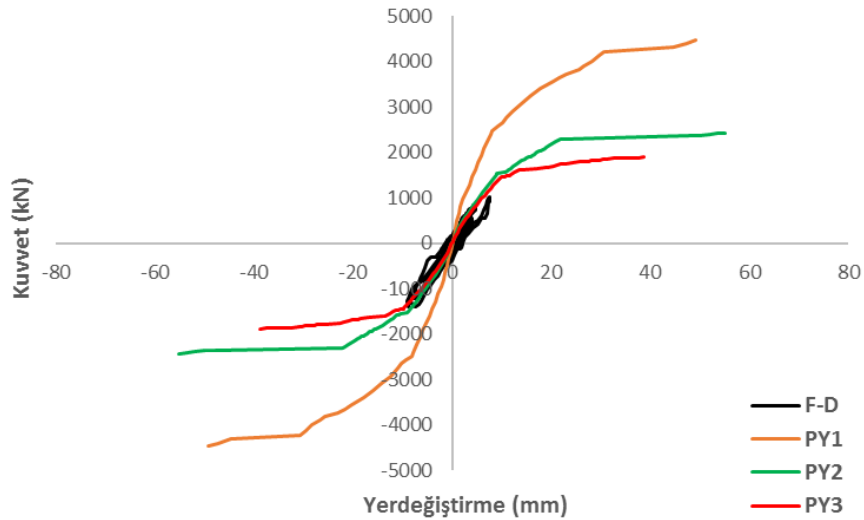
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 28,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 8,97 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 20374 kN iken dinamik analizde 10914 kN'dur.



Şekil 4.169. Kireçli köprüsü için Yarımca deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.170'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.170. Kireçli köprüsü için Yarımca deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.40’da verilmiştir.

Çizelge 4.40. Kireçli köprüsü için Yarımcı deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	8,97	1389
PY1 (L+2t)	49,1	4456
PY2 ((L+2t)/2)	55,1	2430
PY3 ((L+2t)/4)	47,7	1886

Tarihi Kireçli köprüsünün sismik performansı doğrusal olmayan statik analiz (pushover) ile değerlendirilmiştir. Kontrol noktası olarak tepe noktası seçilmiştir ve yer değiştirmeler bu kontrol noktasına göre belirlenmiştir. Kendi ağırlığından dolayı oluşan basınç ve çekme gerilmeleri malzeme dayanımlarından düşük olduğundan, sabit yük altında taş kemerli köprüde herhangi bir hasar oluşması beklenmemektedir. Kireçli köprüsünün her bir deprem kuvveti altında benzer şekilde hasar mekanizmaları oluşmuştur. Gerilme ve çatlakların yoğun olarak taşıyıcı olan köprünün ayak kısımlarında ve kemer üst bölgesinde olduğu belirlenmiştir. Kobe depremi altındaki köprünün göçmesi beklenmektedir.

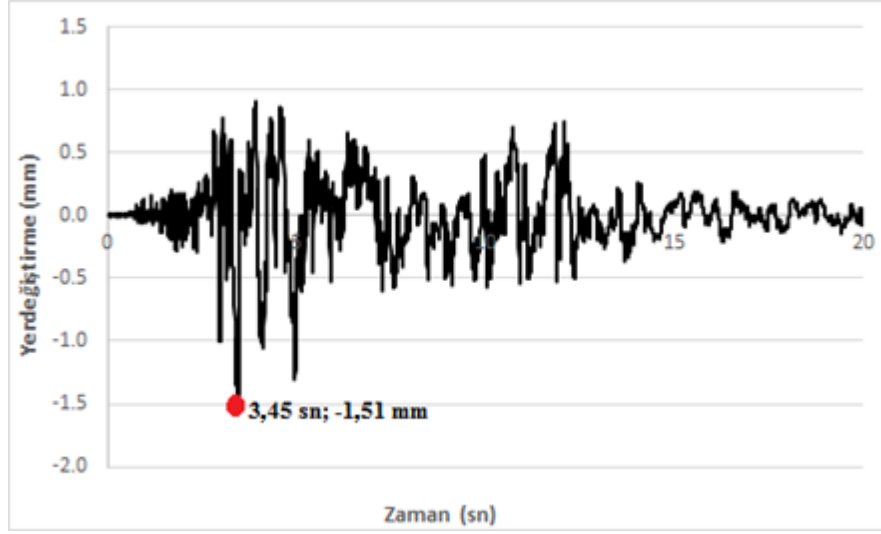
4.6.3. Kız Köprüsüne ait doğrusal olmayan dinamik analizler

Köprü hem fiziki hem de malzeme özelliklerine bağlı olarak oldukça rijittir. Buna bağlı olarak ta uygulanan deprem yükleri altında köprü elastik davranış göstermiştir.

4.6.3.1. Kız köprüsü Düzce depremine ait dinamik analiz

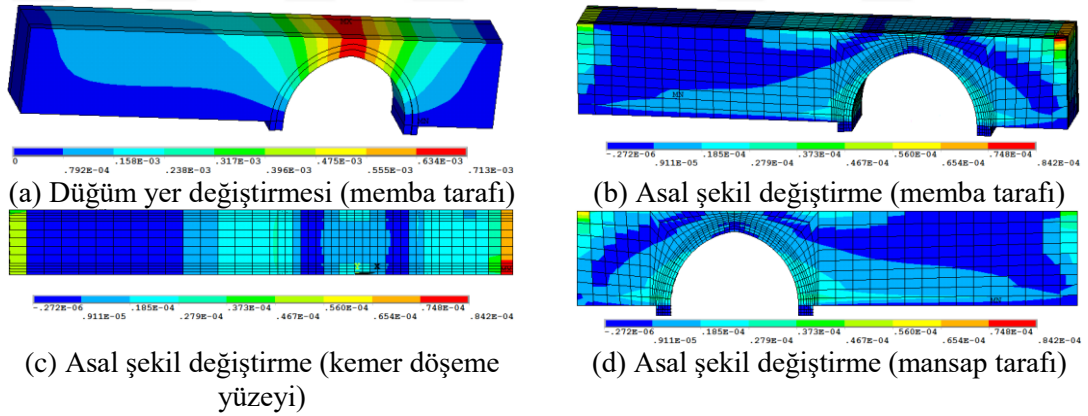
Uygulanan Düzce depremi yükleri altında köprü elastik davranış göstermiştir. Kullanılan ivme kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.171’de incelendiğinde 3,45’inci saniyede en büyük yer değiştirmenin olduğu görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.171. Kız köprüsü için Düzce deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin 3,45'inci saniyesinde 1,51 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 3162,2 kN'dur. Analiz 20'nci saniyede sonlandırılmıştır. 20'nci saniyedeki asal şekil değiştirmeler Şekil 4.172'de verilmiştir.

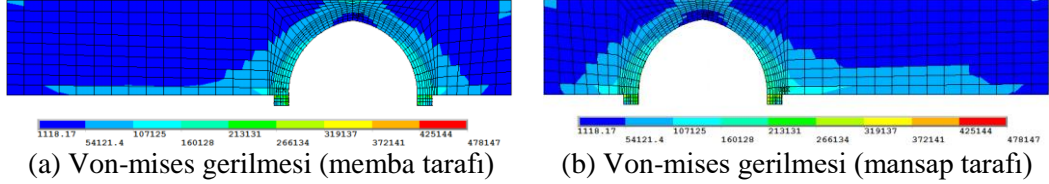


Şekil 4.172. Kız köprüsü için Düzce deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Gerilmelerin kemer eğrisinin üst kısmından başlayıp eğrinin uç kısımlarına doğru ilerlediği ve sonrasında destek bölgesine aktarıldığı görülmektedir. Düğüm şekil değiştirme grafiği incelendiğinde en çok zorlanan bölgenin kemerin üst bölgesi olduğu görülmektedir. Analiz süresince en büyük kuvvet 3447,8 kN iken en büyük yer değiştirme 1,51 mm'dir.

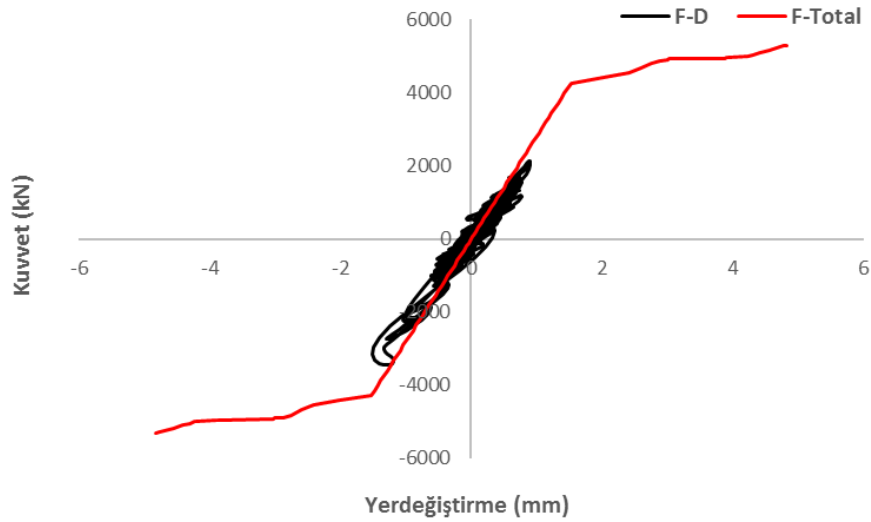
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemerin üzengi taşında yer alan 200 nolu düğüm noktasıdır. 20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.173'de verilmiştir.



Şekil 4.173. Kız köprüsü için Düzce deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

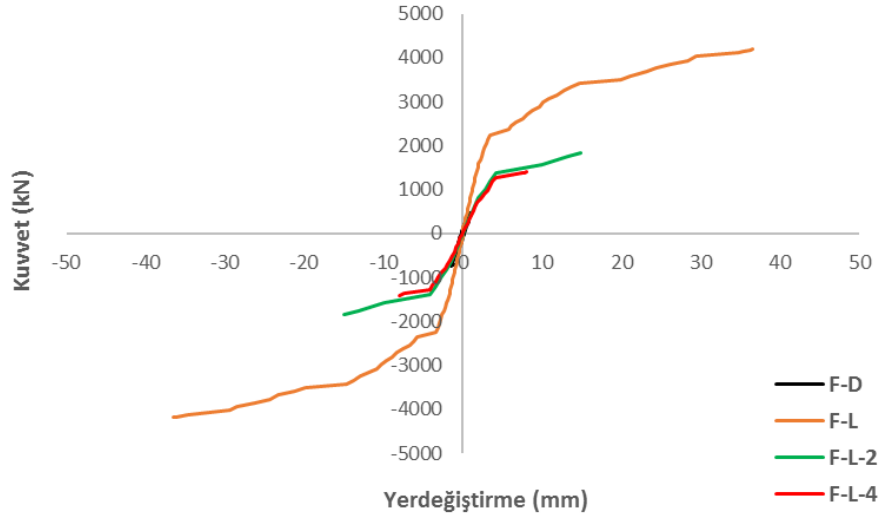
Şekil 4.174'de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 4,84 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 1,51 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 5303 kN iken dinamik analizde 34725 kN'dur.



Şekil 4.174. Kız köprüsü için Düzce deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.175'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.175. Kız köprüsü için Düzce deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.41’de verilmiştir.

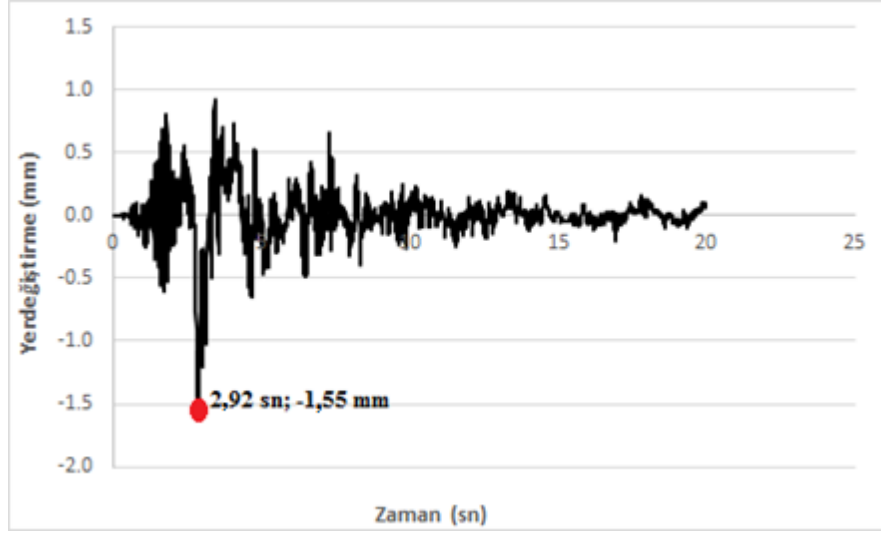
Çizelge 4.41. Kız köprüsü için Düzce deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	1,51	725
PY1 (L+2t)	36,5	4189
PY2 ((L+2t)/2)	14,9	1843
PY3 ((L+2t)/4)	8,1	1405

4.6.3.2. Kız köprüsü Erzincan depremine ait dinamik analiz

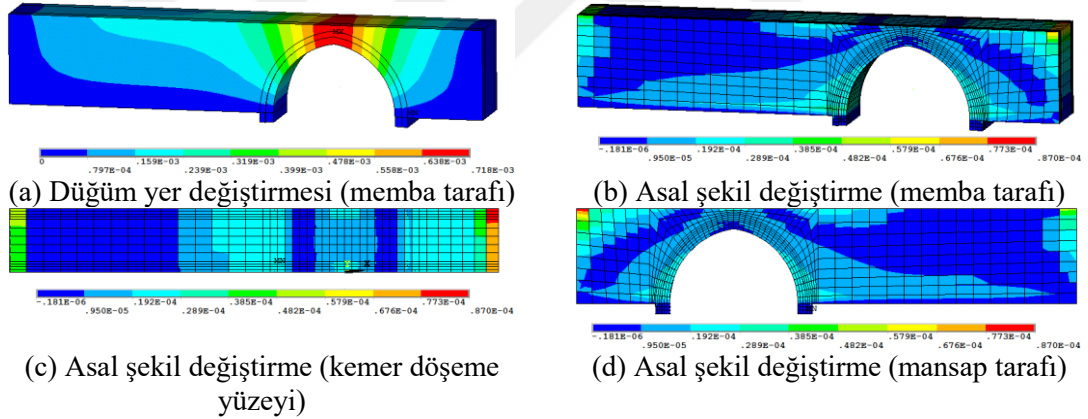
Uygulanan Erzincan depremi yükleri altında köprü elastik davranış göstermiştir. Kullanılan ivme kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizin 2,92’nci saniyesinde 1,55 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 3279,8 kN’dur. Analiz 20’nci saniyede sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.176’da incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin 2,92’inci saniyede meydana geldiği görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.176. Kız köprüsü için Erzincan deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

20'nci saniyedeki asal şekil değiştirmeler Şekil 4.177'de verilmiştir.

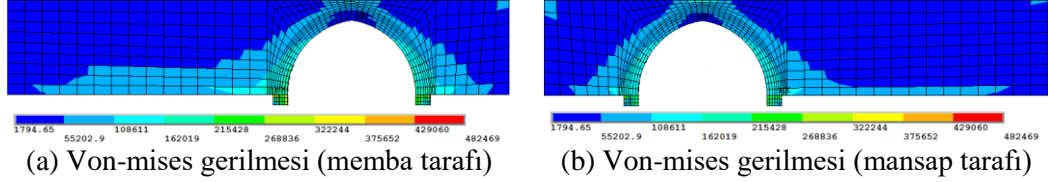


Şekil 4.177. Kız köprüsü için Erzincan deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Gerilmelerin kemer eğrisinin üst kısmından başlayıp eğrinin uç kısımlarına doğru ilerlediği ve sonrasında destek bölgesine aktarıldığı görülmektedir. Düğüm şekil değiştirme grafiği incelendiğinde en çok zorlanan bölgenin kemerin üst bölgesi olduğu görülmektedir. Analiz süresince en büyük kuvvet 3315,2 kN iken en büyük yer değiştirme 1,55 mm'dir.

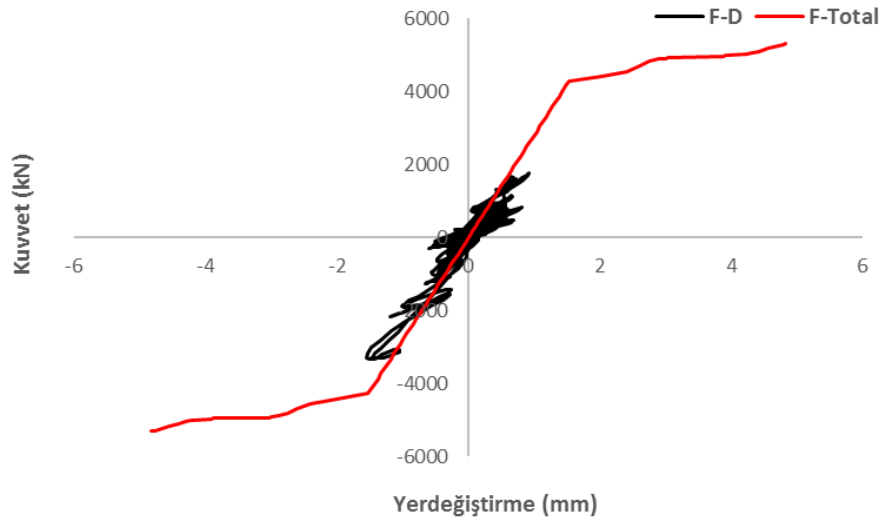
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemerin üzengi taşında yer alan 200 nolu düğüm noktasıdır. 20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.178'de verilmiştir.



Şekil 4.178. Kız köprüsü için Erzincan deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

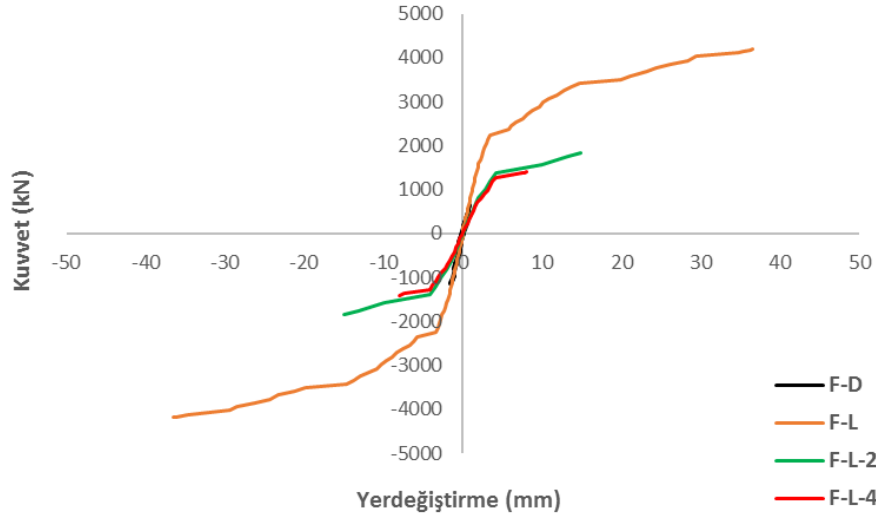
Şekil 4.179'da köprü'nün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprü'nün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 4,84 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 1,55 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 5303 kN iken dinamik analizde 3315 kN'dur.



Şekil 4.179. Kız köprüsü için Erzincan deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.180'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.180. Kız köprüsü için Erzincan deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.42’de verilmiştir.

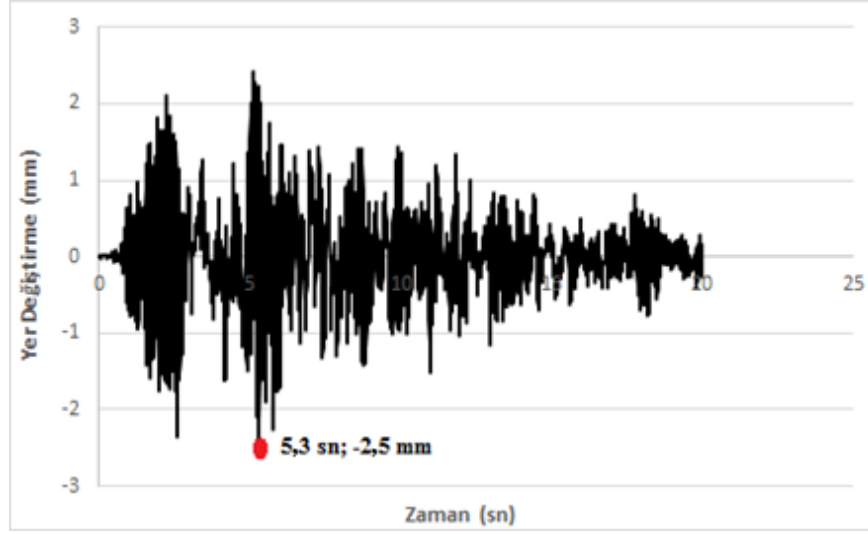
Çizelge 4.42. Kız köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	1,55	1140
PY1 (L+2t)	36,5	4189
PY2 ((L+2t)/2)	14,9	1843
PY3 ((L+2t)/4)	8,1	1405

4.6.3.3. Kız köprüsü İzmit depremine ait dinamik analiz

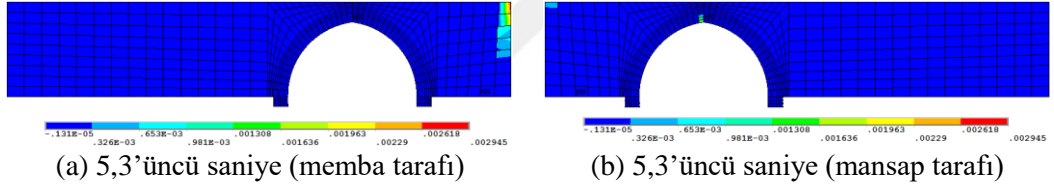
Uygulanan Erzincan depremi yükleri altında köprü elastik davranış göstermiştir. Kullanılan ivme kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. En büyük yer değiştirmenin 5,3’üncü saniyede oluştuğu görülmüştür. Analizin 5,3’üncü saniyesinde 2,5 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 2311,3 kN’dur. Analiz 20’nci saniyede sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.181’de gösterilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.181. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

5,3'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.182'de verilmiştir.

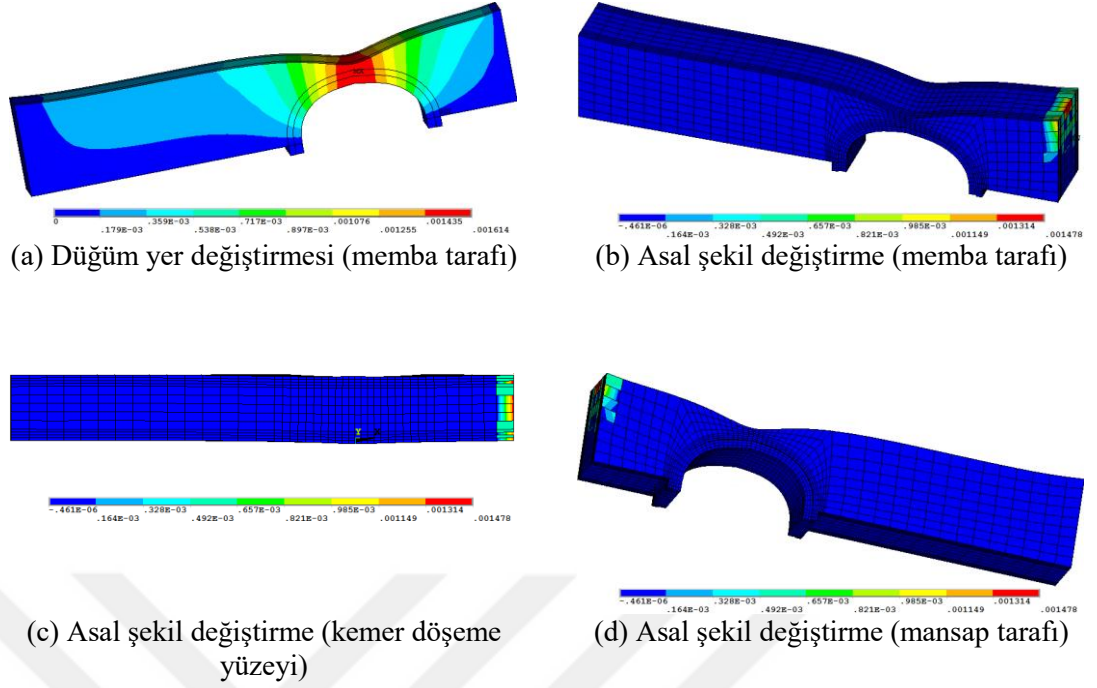


Şekil 4.182. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydında 5,3'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Analizin 5,3'üncü saniyesinde köprü'nün memba tarafında destek bölgesinde gerilmelerin oluştuğu görülmektedir. Ayrıca kemer üst bölgesinde de gerilme ve ezilmelerin oluştuğu görülmektedir.

Analiz 20'nci saniyede sonlandırılmıştır. 20'nci saniyedeki asal şekil değiştirmeler Şekil 4.183'de verilmiştir.

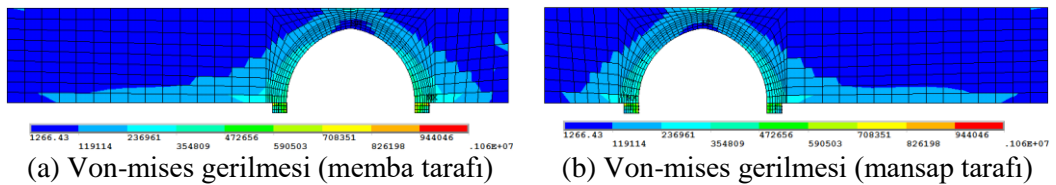
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.183. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydında analiz 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Analiz 20'nci saniyesi incelendiğinde köprü'nün sadece destek bölgesinde deformasyonlar meydana gelmiştir. Taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmamıştır. Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiğinde ise en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmüştür. Analiz süresince en büyük kuvvet 3206,8 kN iken en büyük yer değiştirme 2,5 mm'dir.

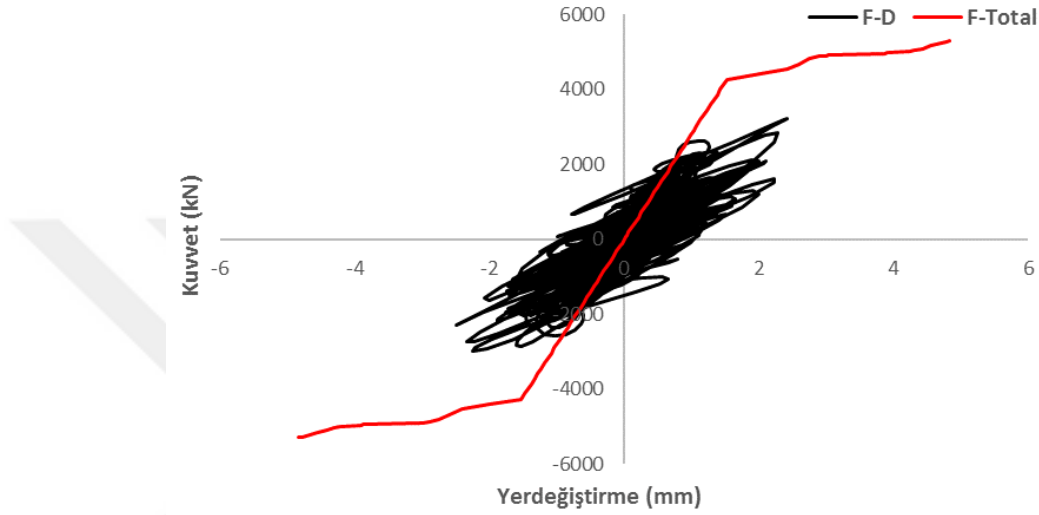
En çok zorlanan düğüm noktalarından biri temel kayasında yer alan 1837 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,187 kPa'dır. 20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.184'de verilmiştir.



Şekil 4.184. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

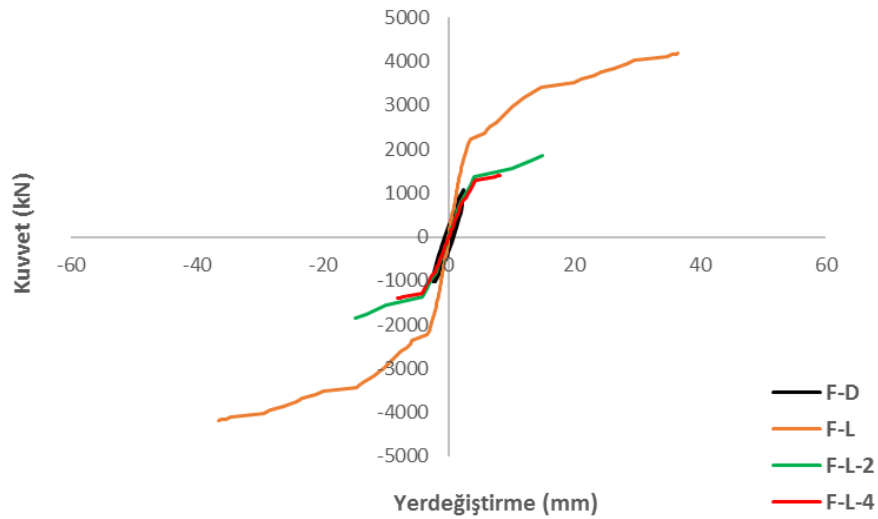
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.185’de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 4,84 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 2,5 mm’dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 5303 kN iken dinamik analizde 3207 kN’dur.



Şekil 4.185. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.186’da sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.186. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

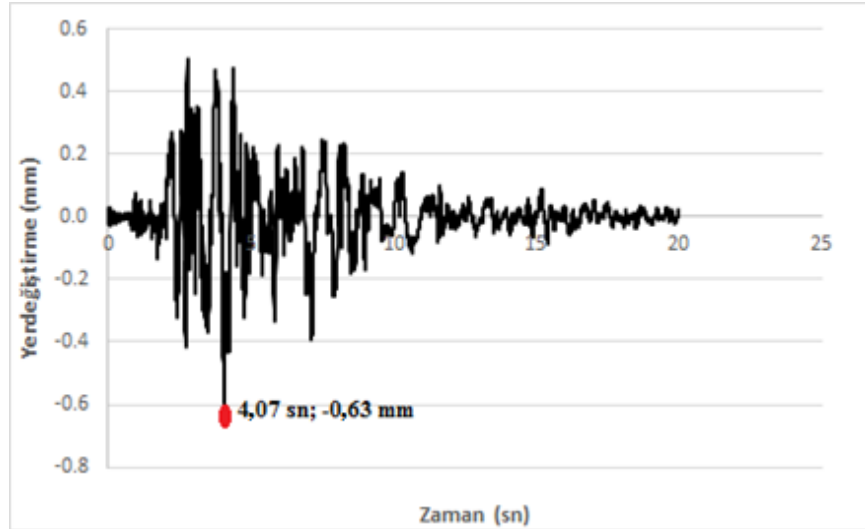
Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.43’de verilmiştir.

Çizelge 4.43. Kız köprüsü için İzmit deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	2,5	1002
PY1 (L+2t)	36,5	4189
PY2 ((L+2t)/2)	14,9	1843
PY3 ((L+2t)/4)	8,1	1405

4.6.3.4. Kız köprüsü Loma-Prieta depremine ait dinamik analiz

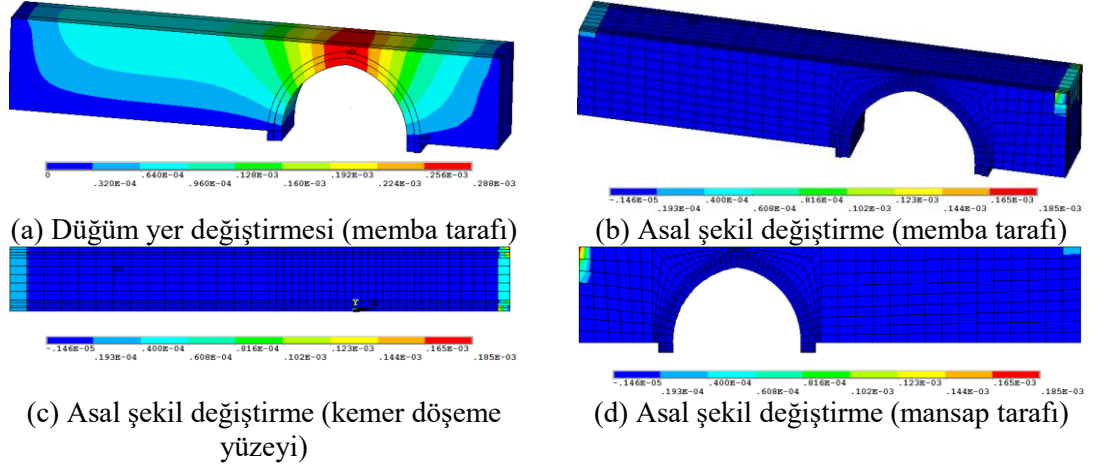
Uygulanan Loma-Prieta depremi yükleri altında köprü elastik davranış göstermiştir. Kullanılan ivme kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizin 4,07’nci saniyesinde 0,64 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 3442,6 kN’dur. Analiz 20’nci saniyede sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.187’de incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin 4,07’inci saniyede meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.187. Kız köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin 20’nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.188’de verilmiştir.

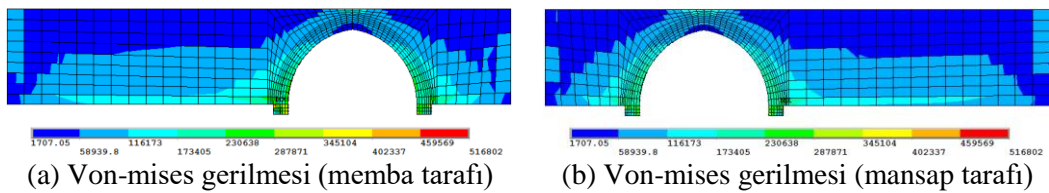
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.188. Kız köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Analizin 20'nci saniyesi incelendiğinde köprü'nün sadece destek bölgesinde deformasyonlar meydana gelmiştir. Taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmamıştır. Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiğinde ise en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmüştür. Analiz süresince en büyük kuvvet 3442,6 kN iken en büyük yer değiştirme 0,63 mm'dir.

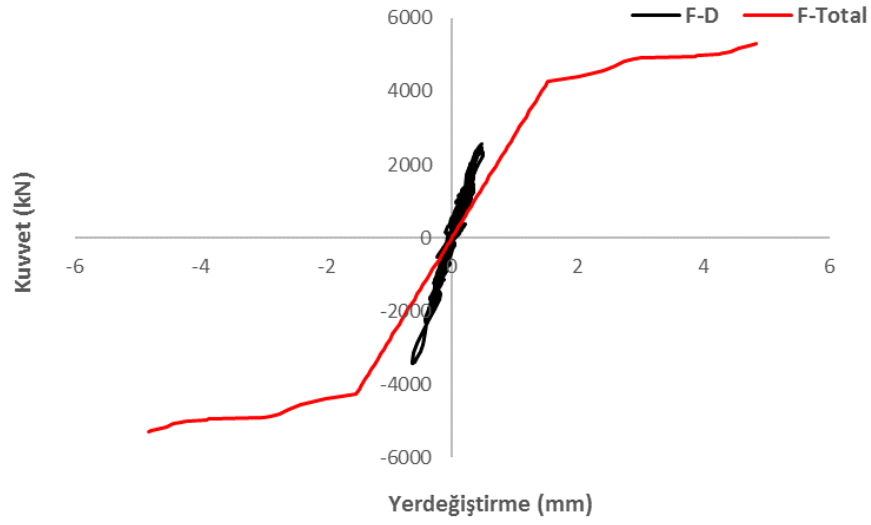
20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.189'da verilmiştir.



Şekil 4.189. Kız köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

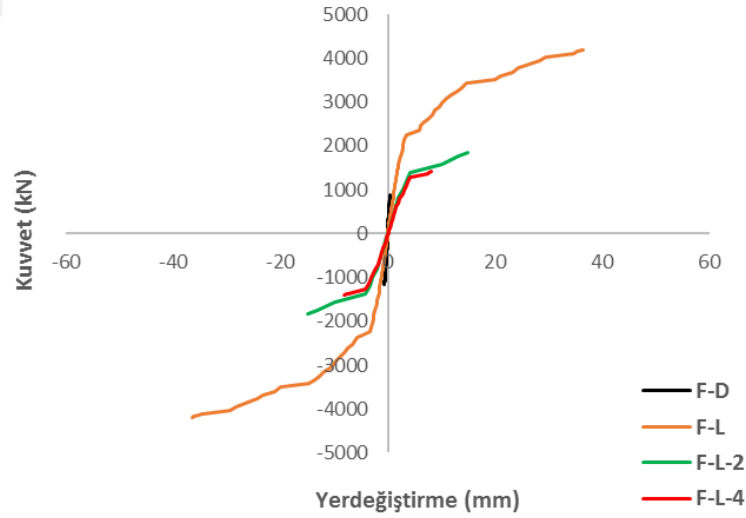
Şekil 4.190'da köprü'nün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprü'nün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 4,84 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 2,5 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 5303 kN iken dinamik analizde 3207 kN'dur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.190. Kız köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.191'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.191. Kız köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.44'de verilmiştir.

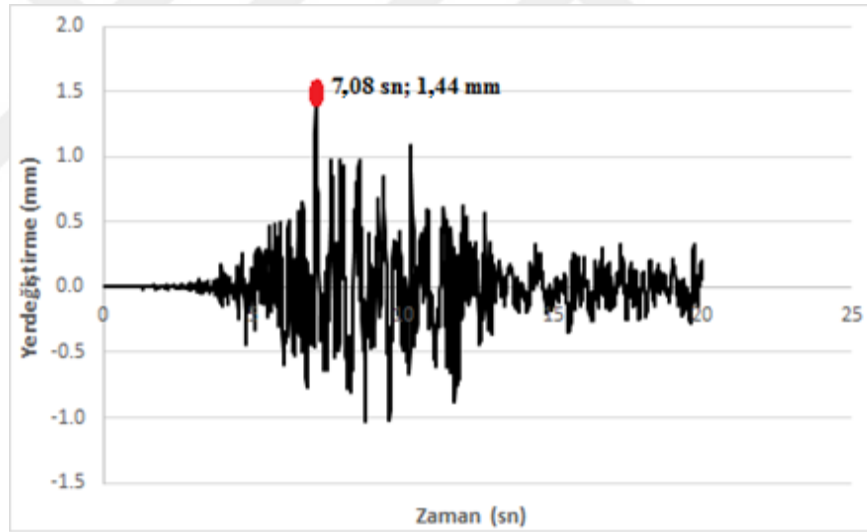
Çizelge 4.44. Kız köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	0,63	1144
PY1 (L+2t)	36,5	4189
PY2 ((L+2t)/2)	14,9	1843
PY3 ((L+2t)/4)	8,1	1405

4.6.3.5. Kız köprüsü Kobe depremine ait dinamik analiz

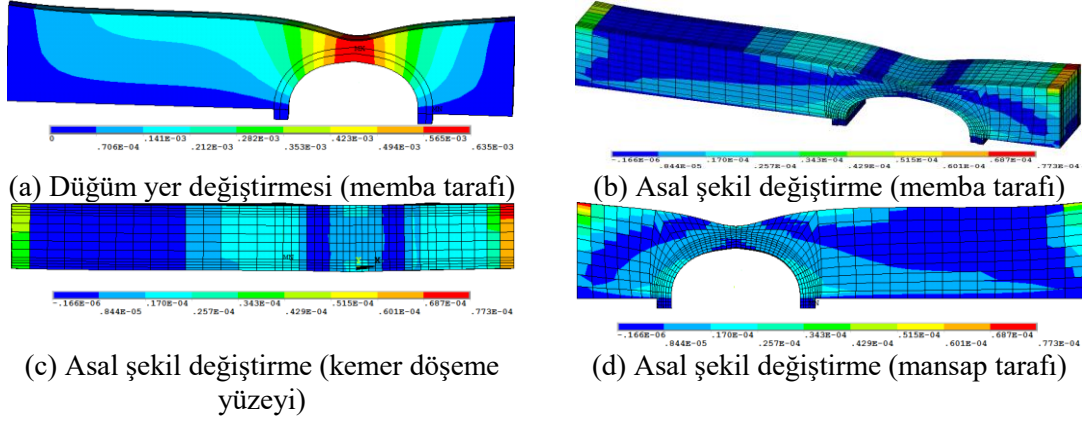
Uygulanan Kobe depremi yükleri altında köprü elastik davranış göstermiştir. Kullanılan ivme kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizin 7,08'inci saniyesinde 1,5 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 3256 kN'dur. Analiz 20'nci saniyede sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.192'de incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin 7,08'inci saniyede meydana geldiği görölmektedir.



Şekil 4.192. Kız köprüsü için Kobe deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin 20'nci saniyedeki asal Şekil değiştirmeler Şekil 4.193'de verilmiştir.

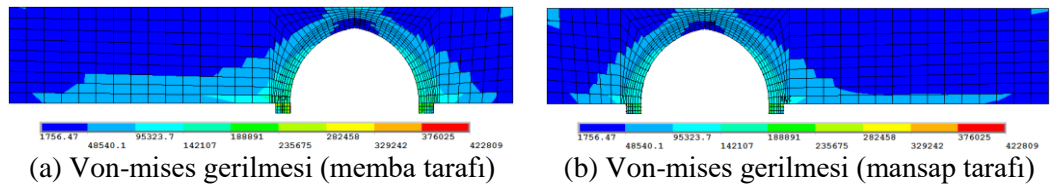
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.193. Kız köprüsü için Kobe deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Analizin 20'nci saniyesi incelendiğinde köprü'nün sadece destek bölgesinde deformasyonlar meydana gelmiştir. Taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmamıştır. Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiğinde ise en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmüştür. Analiz süresince en büyük kuvvet 3256 kN iken en büyük yer değiştirme 1,5 mm'dir.

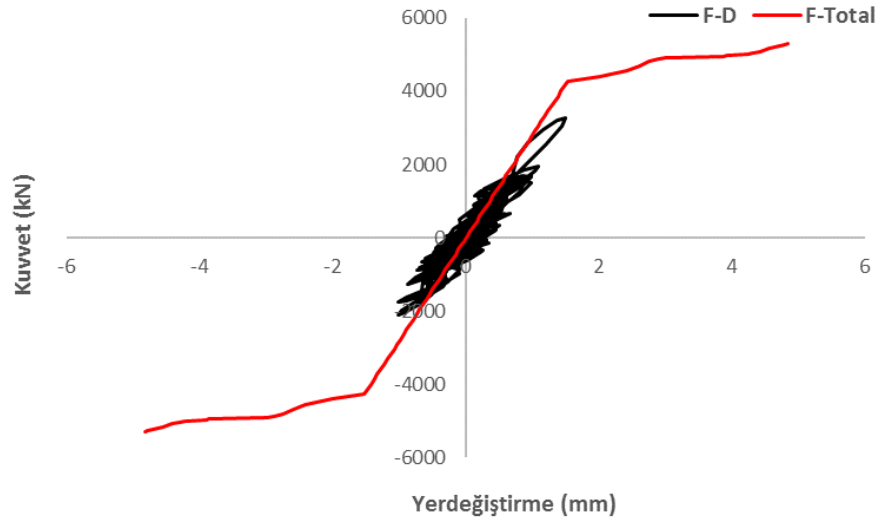
En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üzengi taşında yer alan 200 nolu düğüm noktasıdır. 20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.194'de verilmiştir.



Şekil 4.194. Kız köprüsü için Kobe deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

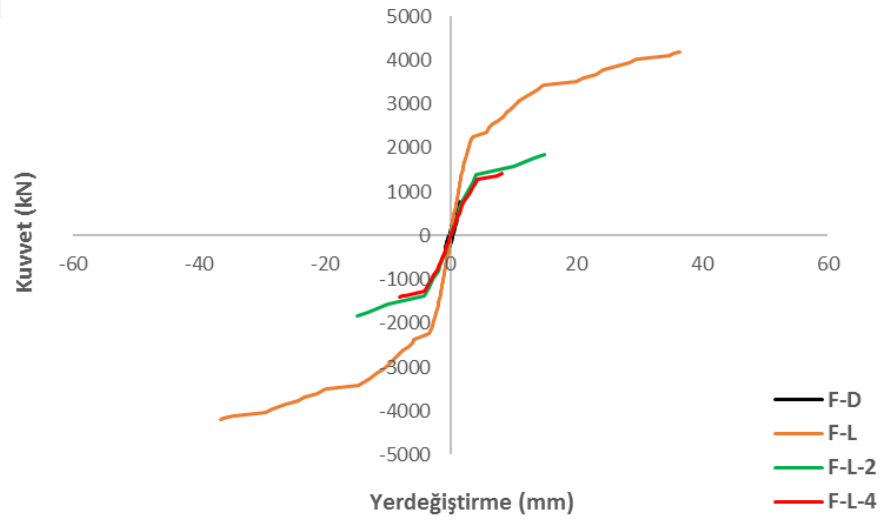
Şekil 4.195'de köprü'nün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprü'nün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 4,84 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 1,5 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 5303 kN iken dinamik analizde 3256 kN'dur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.195. Kız köprüsü için Kobe deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.196'da sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.196. Kız köprüsü için Kobe deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.45'de verilmiştir.

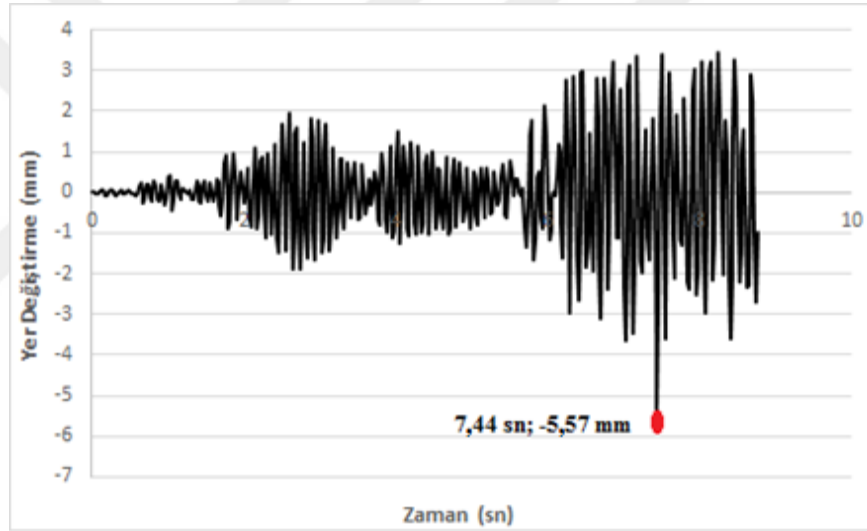
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.45. Kız köprüsü için Kobe deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	1,5	756
PY1 (L+2t)	36,5	4189
PY2 ((L+2t)/2)	14,9	1843
PY3 ((L+2t)/4)	8,1	1405

4.6.3.6. Kız köprüsü Rudbar-İran depremine ait dinamik analiz

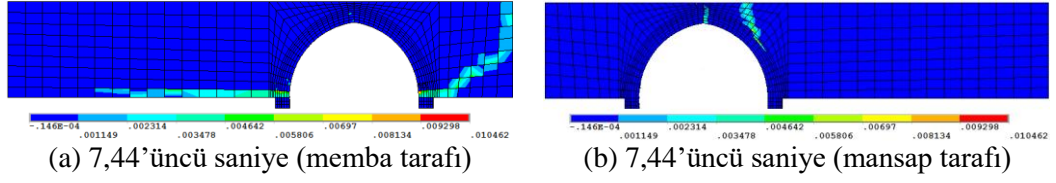
Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.197'de incelendiğinde en büyük yer değiştirme 7,44'üncü saniyede meydana gelmiştir.



Şekil 4.197. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

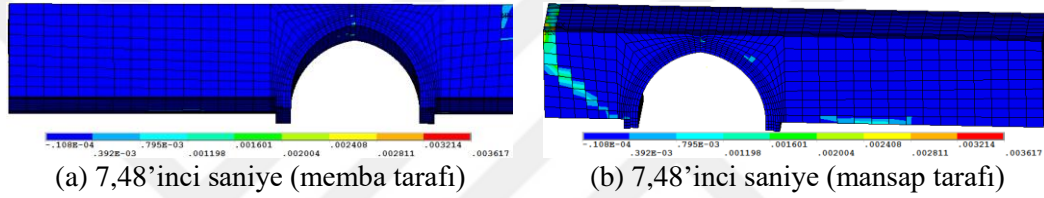
Analizin 7,44'üncü saniyesinde 5,57 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 2554,4 kN'dur. Gerilme ve ezilmeler köprü'nün memba tarafında kemer eğrisinin her iki ucundan başlayıp batı tarafında düz bir hat şeklinde yayılarak, doğu tarafında ise destek bölgesine doğru çapraz bir şekilde yayılarak ilerlediği Şekil 4.198'de görülmektedir. Köprü'nün mansap tarafında ise kemer taç bölgesinde ezilme ve çatlama meydana gelmiştir. Ayrıca kemer üst bölgesinde köprü döşeme yüzeyinden başlayarak kemer sırtına doğru ezilme ve çatlama oluşmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



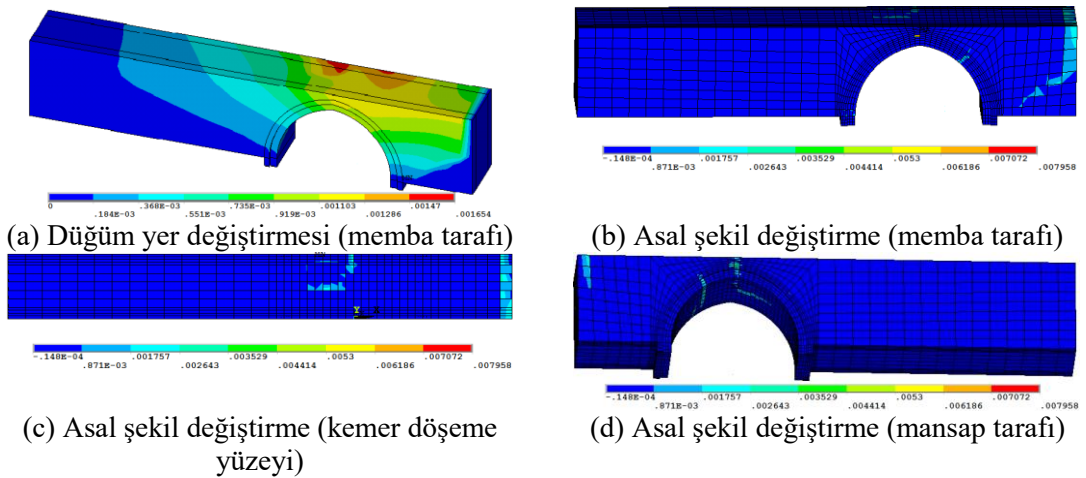
Şekil 4.198. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 7,44'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Analizin 7,48'inci saniyesinde ise mansap tarafında kemer eğrisinin ucundan başlayıp destek bölgesine doğru çapraz bir şekilde uzanan çatlak dizisinin oluştuğu Şekil 4.199'da görülmektedir.



Şekil 4.199. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 7,48'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Deprem kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analizin 8,76'ncü saniyesinde artık yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için analiz sonlandırılmıştır. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.200'de yer almaktadır.

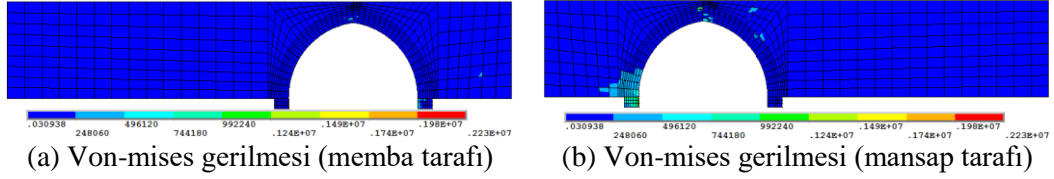


Şekil 4.200. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analiz 8,76'ncü saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

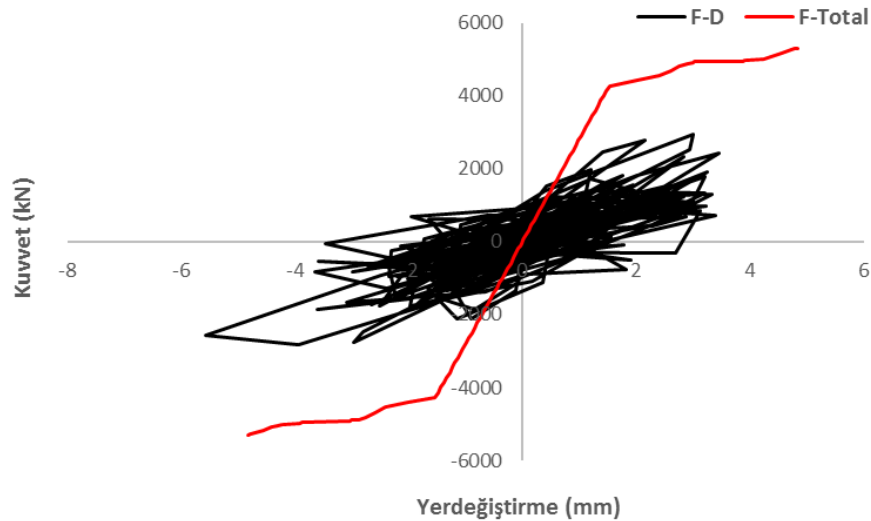
En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üst bölgesinde yer alan 1351 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,795 kPa'dır.

8,76'ncı saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.201'de verilmiştir.



Şekil 4.201. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 8,76'ncı saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

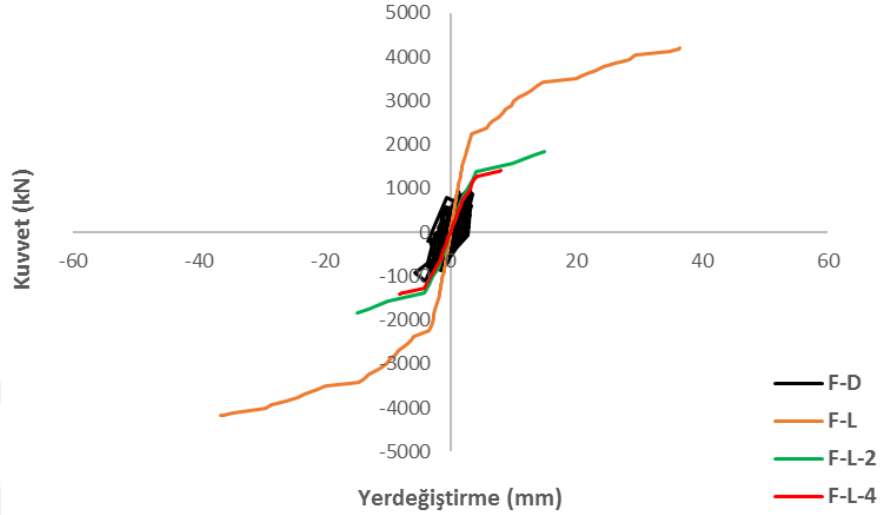
Şekil 4.202'de köprüün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprüün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 4,84 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 5,57 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 5303 kN iken dinamik analizde 2954 kN'dur.



Şekil 4.202. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.203’de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.203. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.46’da verilmiştir.

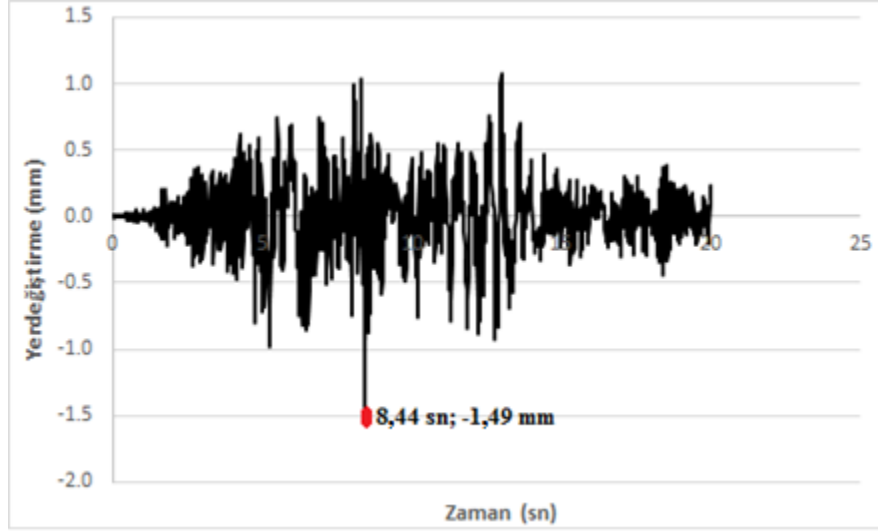
Çizelge 4.46. Kız köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değıştirme

Analiz adı	Maksimum yer değıştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	5,57	1094
PY1 (L+2t)	36,5	4189
PY2 ((L+2t)/2)	14,9	1843
PY3 ((L+2t)/4)	8,1	1405

4.6.3.7. Kız köprüsü Hector-Mine depremine ait dinamik analiz

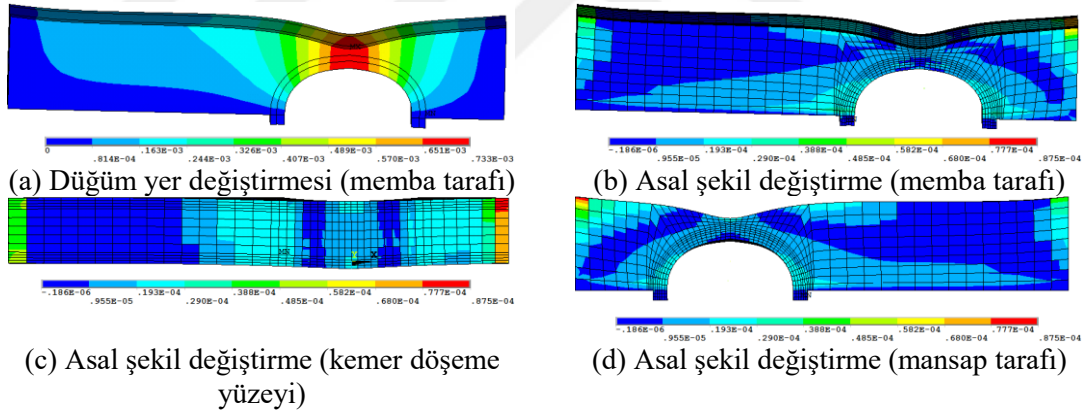
Uygulanan Hector-Mine depremi yükleri altında köprü elastik davranış göstermiştir. Kullanılan ivme kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analizin 8,44’üncü saniyesinde 1,49 mm yer değıştirmeye karşılık gelen kuvvet 2689 kN’dur. Analiz 20’nci saniyede sonlandırılmıştır. Analizin yer değıştirme-zaman grafiği Şekil 4.204’de incelendiğinde en büyük yer değıştirmenin 8,44’üncü saniyede oluştuğu görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.204. Kız köprüsü için Hector-Mine deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin 20'nci saniyesindeki asal şekil değiştirmeler Şekil 4.205'de verilmiştir.

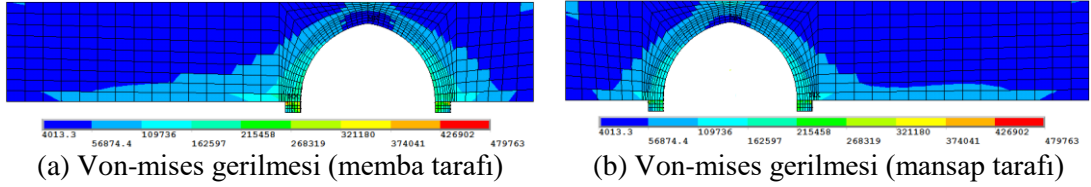


Şekil 4.205. Kız köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Analizin 20'nci saniyesi incelendiğinde köprü'nün sadece destek bölgesinde deformasyonlar meydana gelmiştir. Taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmamıştır. Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiğinde ise en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmüştür. Analiz süresince en büyük kuvvet 2689 kN iken en büyük yer değiştirme 1,49 mm'dir.

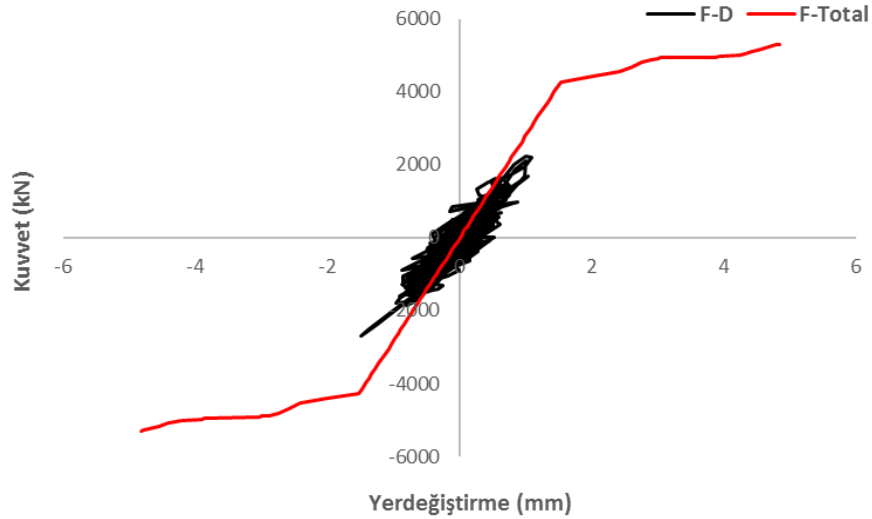
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

20'nci saniyede çekme gerilmelerinin hiçbir düğüm noktalarında taşın çekme dayanımını aşmadığı belirlenmiştir. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üzengi taşında yer alan 200 nolu düğüm noktasıdır. 20'inci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.206'da verilmiştir.



Şekil 4.206. Kız köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

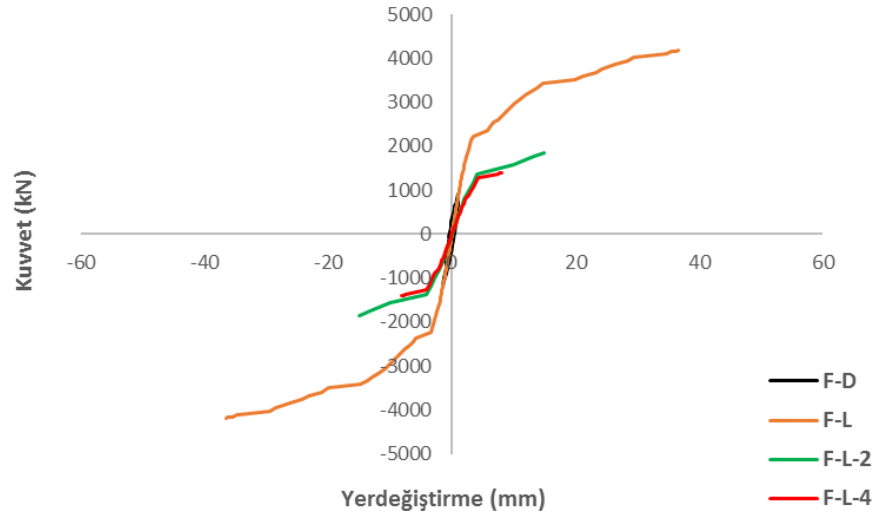
Şekil 4.207'de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 4,84 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 1,49 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 5303 kN iken dinamik analizde 2689 kN'dur.



Şekil 4.207. Kız köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.208'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.208. Kız köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.47’de verilmiştir.

Çizelge 4.47. Kız köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

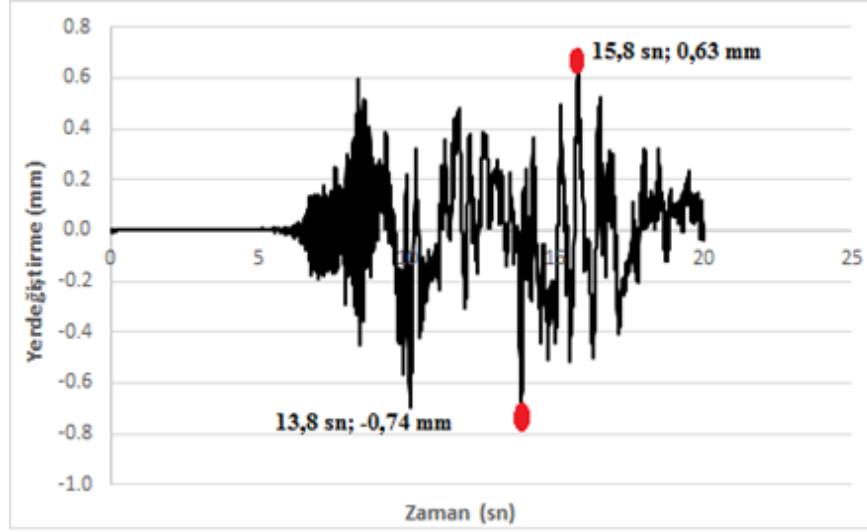
Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	0,46	385
PY1 (L+2t)	36,5	4189
PY2 ((L+2t)/2)	14,9	1843
PY3 ((L+2t)/4)	8,1	1405

4.6.3.8. Kız köprüsü Yarımca depremine ait dinamik analiz

Uygulanan Yarımca depremi yükleri altında köprü elastik davranış göstermiştir. Kullanılan ivme kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak analizler gerçekleştirilmiştir.

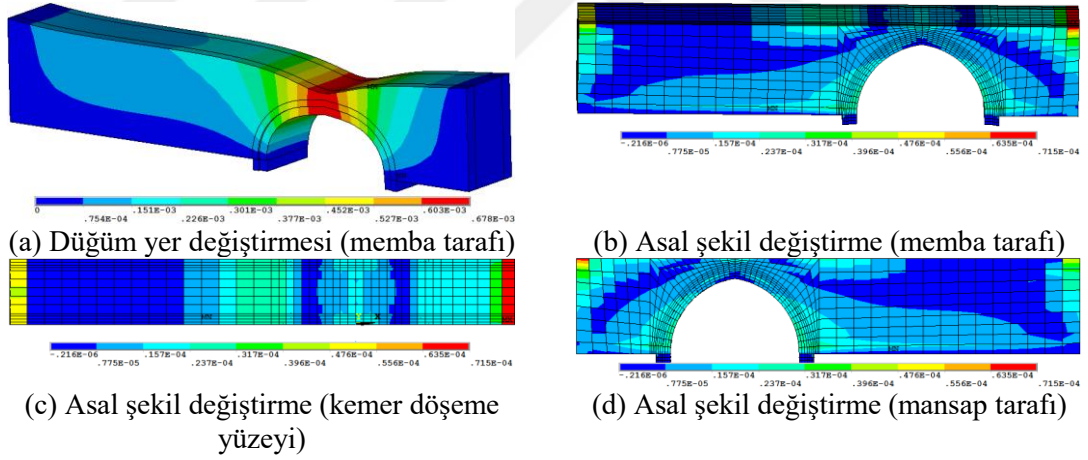
Analizin 13,8’inci saniyesinde 0,74 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 1177 kN’dur. Analizin 15,8’inci saniyesinde ise 0,63 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 1278 kN’dur. Analiz 20’nci saniyede sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.209’da incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin analizin 13,8’inci ve 15,8’inci saniyelerinde oluştuğu görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.209. Kız köprüsü için Yarımca deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.210'da verilmiştir.

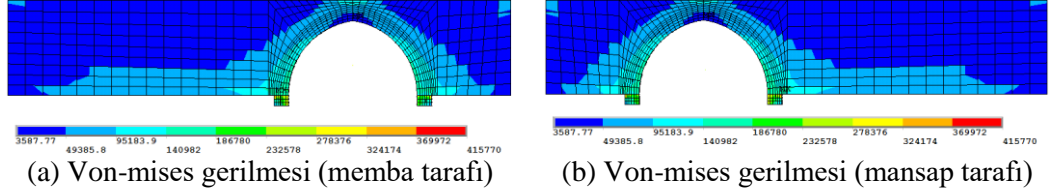


Şekil 4.210. Kız köprüsü için Yarımca deprem kaydında 20'nci saniyedeki asal şekil değiştirmeler

Analizin 20'nci saniyesi incelendiğinde köprü'nün sadece destek bölgesinde deformasyonlar meydana gelmiştir. Taşıyıcı elemanlarda hasar oluşmamıştır. Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiğinde ise en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmüştür. Analiz süresince en büyük kuvvet 1504 kN iken en büyük yer değiştirme 0,74 mm'dir.

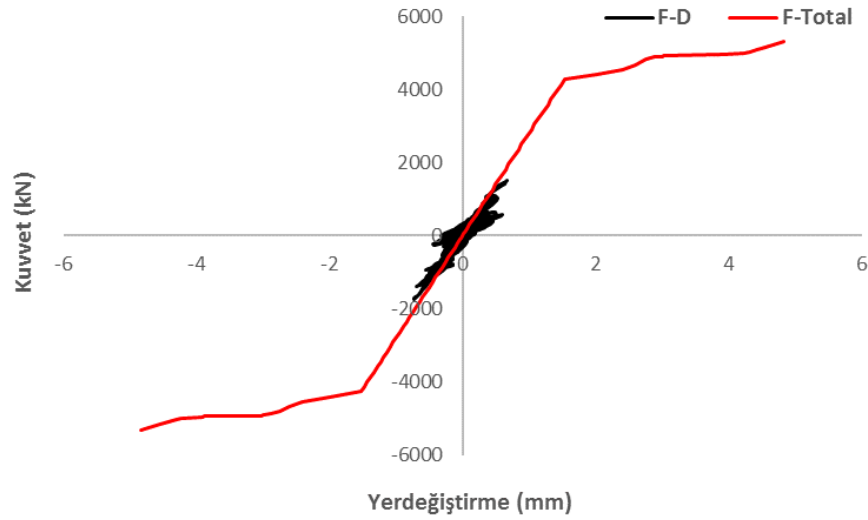
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üzengi taşında yer alan 200 nolu düğüm noktasıdır. 20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.211'de verilmiştir.



Şekil 4.211. Kız köprüsü için Yarımca deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

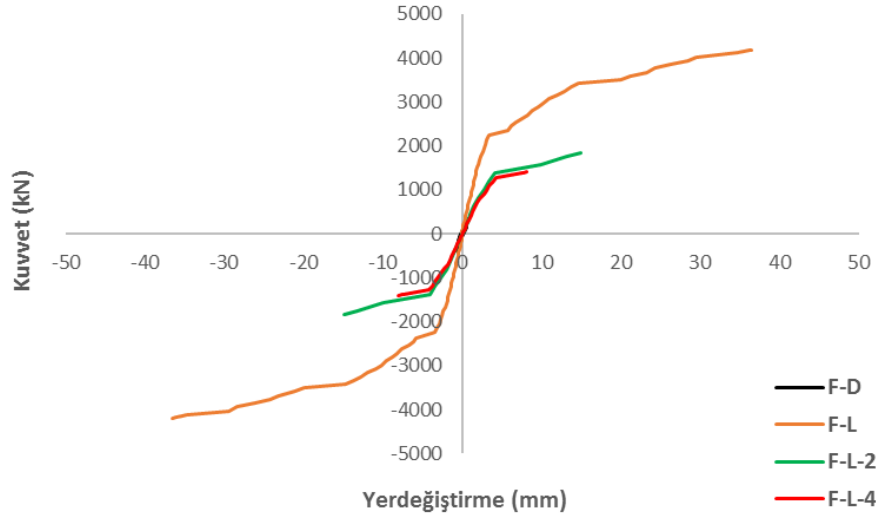
Şekil 4.212'de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 4,84 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 0,67 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 5303 kN iken dinamik analizde 1504 kN'dur.



Şekil 4.212. Kız köprüsü için Yarımca deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.

Şekil 4.213'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.213. Kız köprüsü için Yarımcı deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.48’de verilmiştir.

Çizelge 4.48. Kız köprüsü için Yarımcı deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

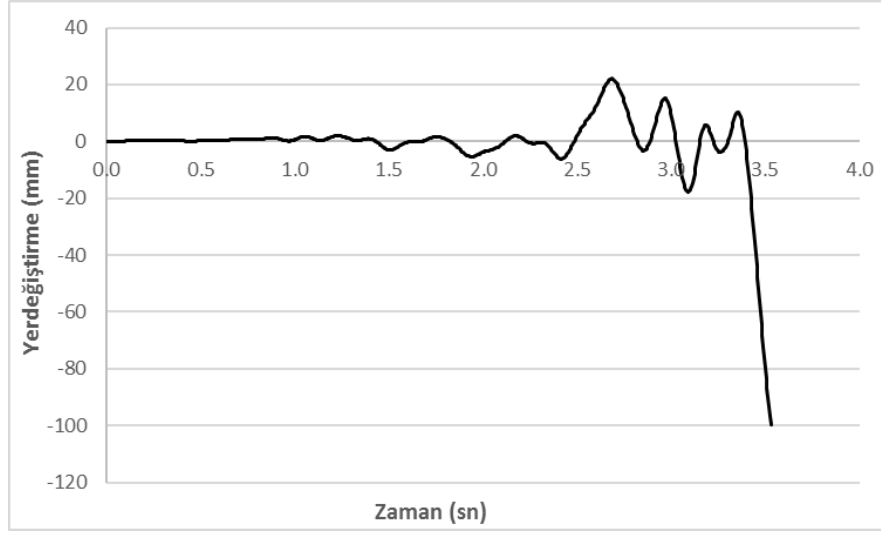
Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	0,33	382
PY1 (L+2t)	36,5	4189
PY2 ((L+2t)/2)	14,9	1843
PY3 ((L+2t)/4)	8,1	1405

4.6.4. Şenyuva Köprüsüne ait doğrusal olmayan dinamik analizler

4.6.4.1. Şenyuva köprüsü Düzce depremine ait dinamik analiz

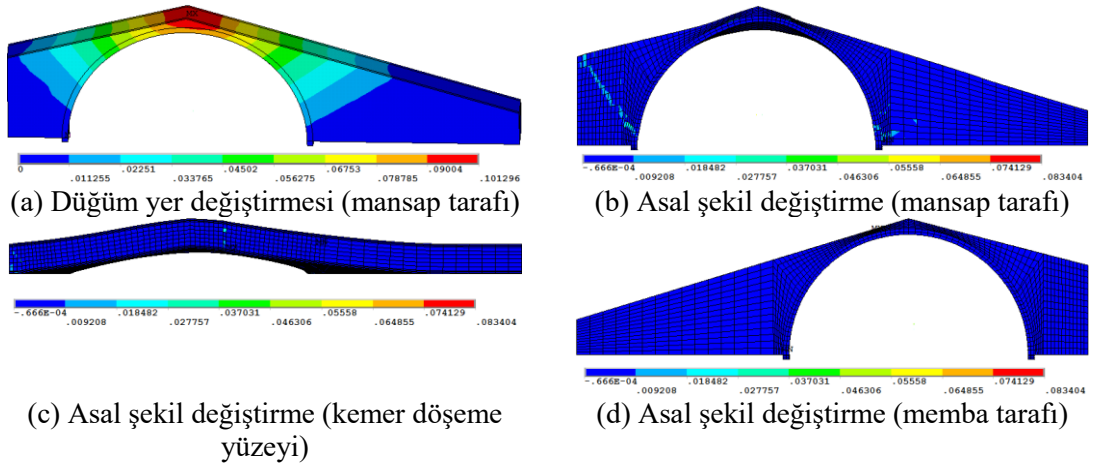
Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz incelendiğinde 3,53’üncü saniyede artık yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için analiz sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.214’de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.214. Şenyuva köprüsü için Düzce deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

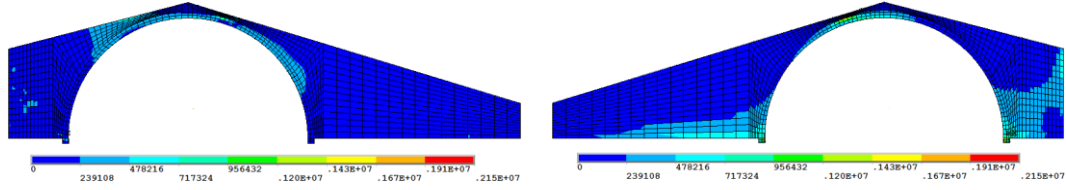
Analizin 3,53'üncü saniyesinde 99,7 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 1296,2 kN'dur. Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir. Köprü'nün mansap tarafının batı bölümünde kemer eğrisinin uç kısmından başlayıp destek bölgesine doğru uzanan çatlak dizini oluşmuştur. Ayrıca kemer döşeme yüzeyinde de gerilme ve ezilmeler oluşmuştur. 3,53'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.215'de yer almaktadır.



Şekil 4.215. Şenyuva köprüsü için Düzce deprem kaydında analizin 3,53'üncü saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Ezilme ve çatlak oluşumlarına bağlı olarak köprüde göçme yaşanmıştır. 3,53'üncü saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer üzengi taşında yer alan 2656 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,90 kPa olarak belirlenmiştir. 3,53'üncü saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.216'da verilmiştir.



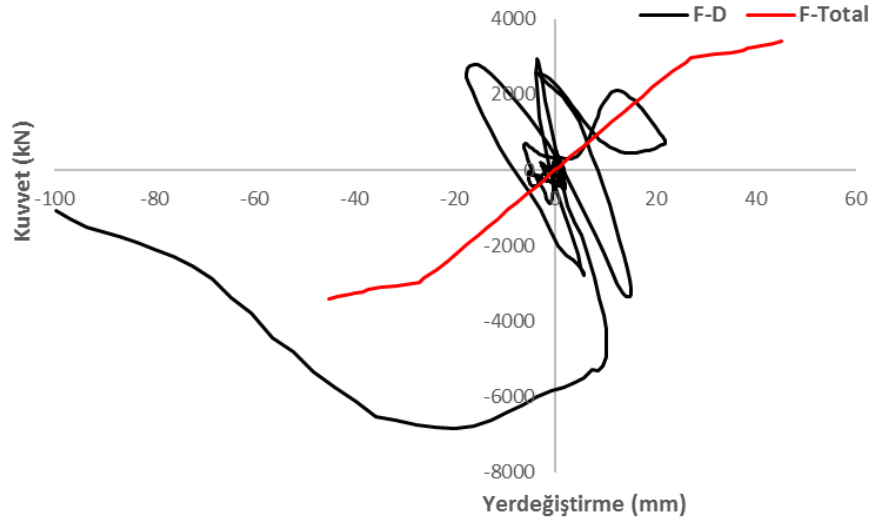
(a) Von-mises gerilmesi (mansap tarafı) (b) Von-mises gerilmesi (membra tarafı)

Şekil 4.216. Şenyuva köprüsü için Düzce deprem kaydı 3,53'üncü saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilme grafiği incelendiğinde gerilmelerin kemer eğrisinin tepe kısmından başlayıp uç kısımlara doğru ilerlediği ve sonrasında ise destek bölgesine doğru yayıldığı görülmektedir.

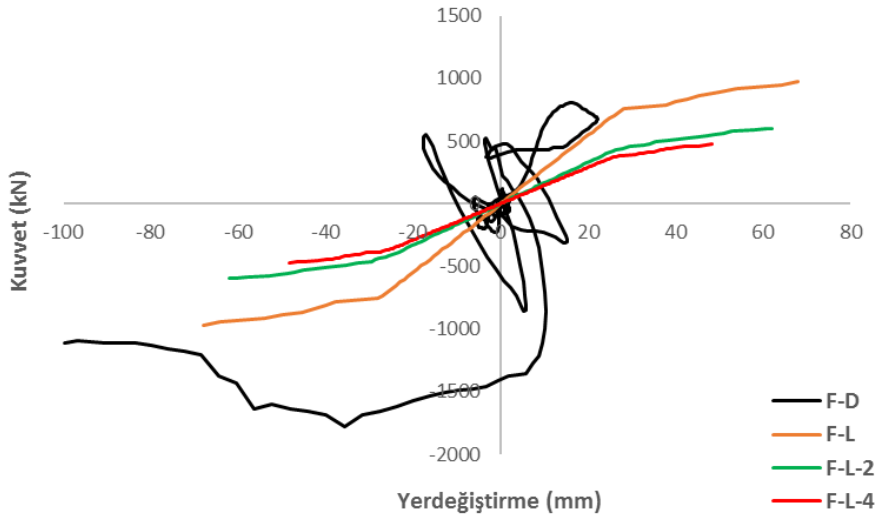
Şekil 4.217'de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 45,1 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 99,7 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3401 kN iken dinamik analizde 6824 kN'dur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.217. Şenyuva köprüsü için Düzce deprem kaydında kemerin toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yüklemeye ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.218'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.218. Şenyuva köprüsü için Düzce deprem kaydında kemer ana gövdesinde L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.49'da verilmiştir.

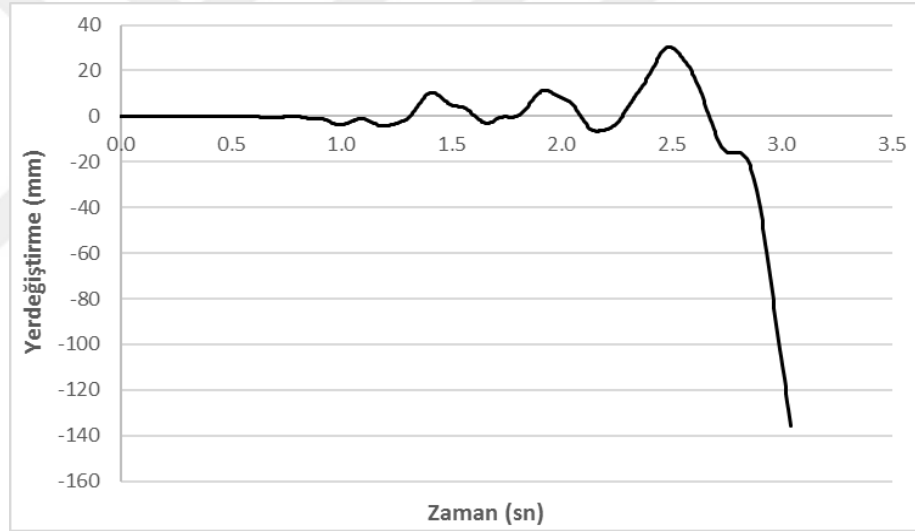
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.49. Şenyuva köprüsü için Düzce deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	99,7	1781
PY1 (L+2t)	68,1	970
PY2 ((L+2t)/2)	62,0	599
PY3 ((L+2t)/4)	48,4	472

4.6.4.2. Şenyuva köprüsü Erzincan depremine ait dinamik analiz

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz incelendiğinde 3,04'üncü saniyede artık yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için analiz sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.219'de verilmiştir.

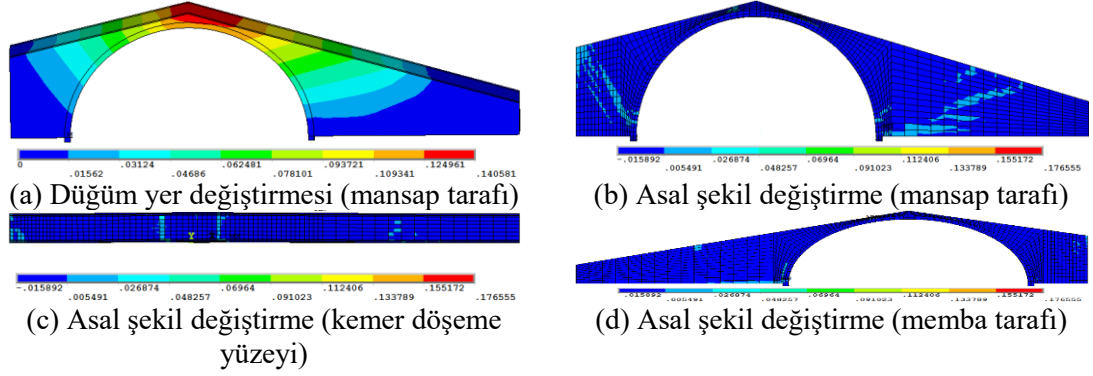


Şekil 4.214. Şenyuva köprüsü için Erzincan deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin 3,04'üncü saniyesinde 1362 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 3886,7 kN'dur. Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir. Köprü'nün mansap tarafının batı bölümünde kemer eğrisinin uç kısmından başlayıp destek bölgesine doğru uzanan çatlak dizini oluşmuştur. Doğu kısmında ise kemer eğrisinin uç bölümünden başlayıp destek bölgesine doğru yayılan çatlak dizini oluşmuştur. Ayrıca kemer döşeme yüzeyinde de gerilme ve ezilmeler oluşmuştur. Memba tarafında ise kemer eğrisinin uç bölümünden başlayıp destek

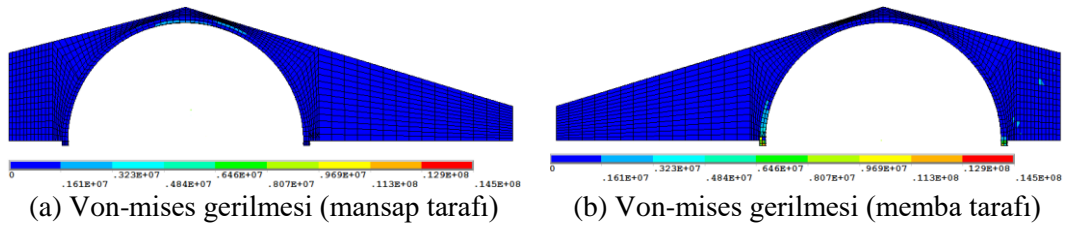
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

bölgesine doğru uzanan çatlak dizini oluşturmuştur. 3,04'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.220'de yer almaktadır.



Şekil 4.220. Şenyuva köprüsü için Erzincan deprem kaydında analiz 3,04'üncü saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Ezilme ve çatlak oluşumlarına bağlı olarak köprüde göçme yaşanmıştır. 3,04'üncü saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri, taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri temel kayasında yer alan 7292 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 17,655 kPa olarak belirlenmiştir. 3,04'üncü saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.221'de verilmiştir.



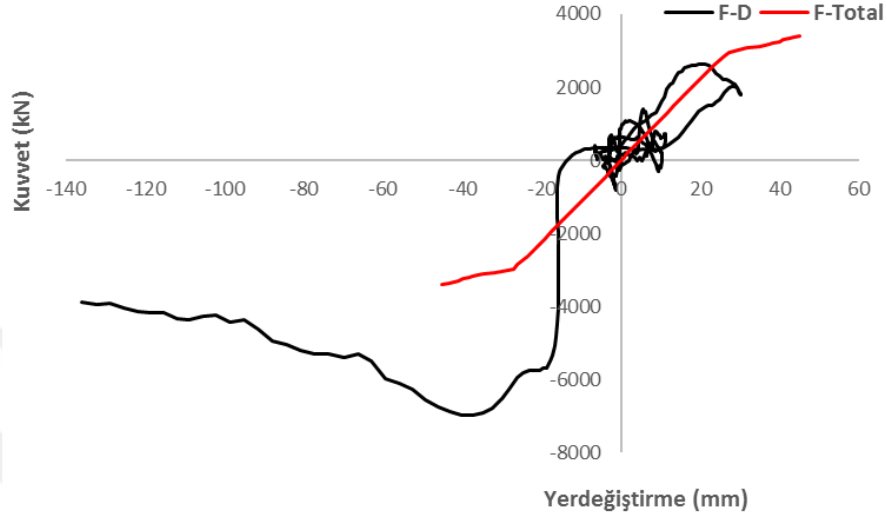
Şekil 4.221. Şenyuva köprüsü için Erzincan deprem kaydında 3,04'üncü saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilme grafiği incelendiğinde gerilmelerin mansap tarafında kemer eğrisinin üst kısmında, memba tarafında ise kemer eğrisinin uç kısmında gerilmelerin yoğunlaştığı görülmektedir.

Şekil 4.222'de köprü'nün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprü'nün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri

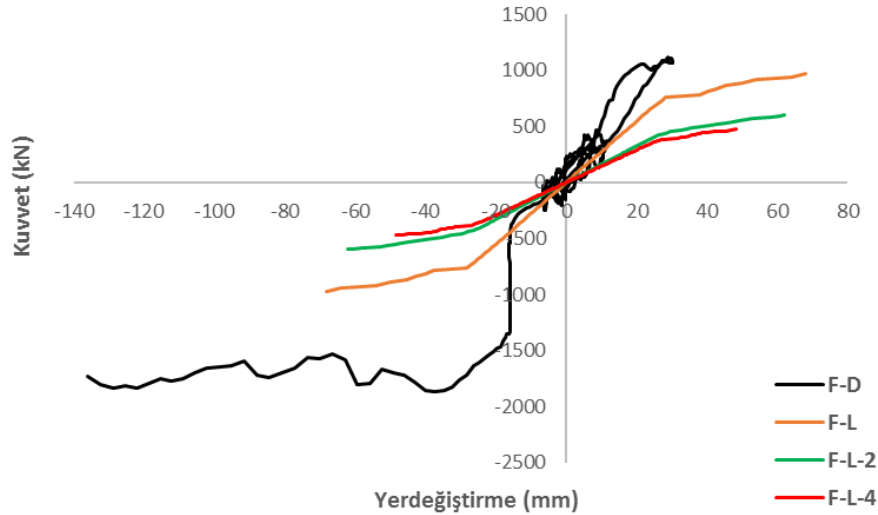
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 45,1 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 136 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3401 kN iken dinamik analizde 6967 kN'dur.



Şekil 4.222. Şenyuva köprüsü için Erzincan deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yüklemeye ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.223'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.223. Şenyuva köprüsü için Erzincan deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.50'de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

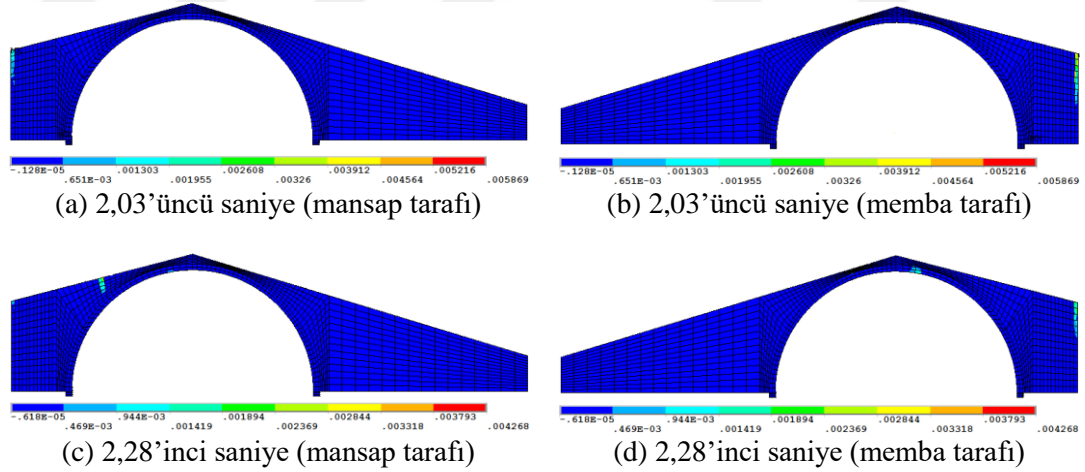
Çizelge 4.50. Şenyuva köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	80,8	1870
PY1 (L+2t)	68,1	970
PY2 ((L+2t)/2)	62,0	599
PY3 ((L+2t)/4)	48,4	472

4.6.4.3. Şenyuva köprüsü İzmit depremine ait dinamik analiz

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz incelendiğinde 2,735'inci saniyede artık yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için analiz sonlandırılmıştır.

Analizin 2,03'üncü saniyesinde 13,7 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 352,6 kN'dur. Analizin 2,28'inci saniyesinde ise 12,3 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 1398,6 kN'dur. 2,03'üncü ve 2,28'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.224'de yer almaktadır.

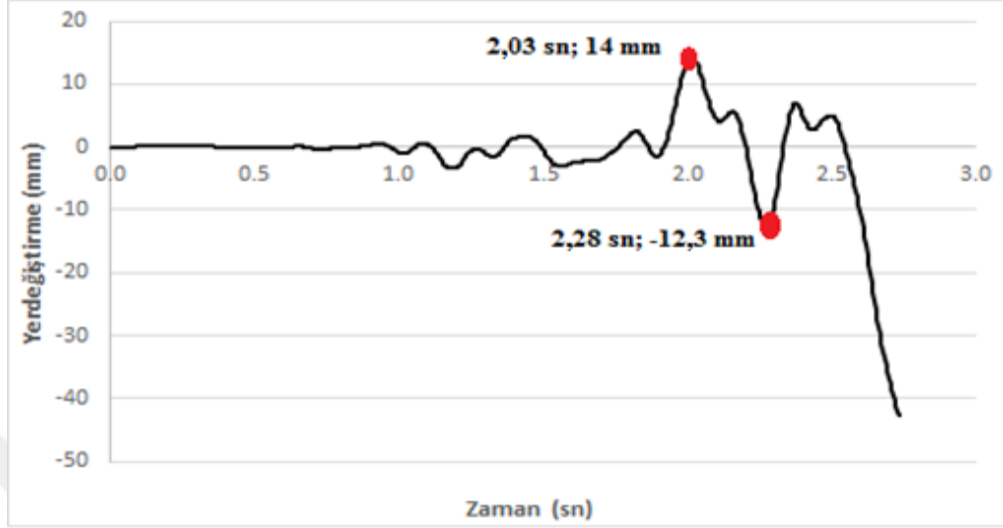


Şekil 4.224. Şenyuva köprüsü için İzmit deprem kaydında analizin 2,03'üncü ve 2,28'inci saniyelerine ait asal şekil değiştirmeler

Analizin 2,03'üncü saniyesinde yalnızca destek bölgesinde gerilmelerin olduğu gözlenmektedir. Analizin 2,28'inci saniyesi incelendiğinde ise mansap tarafının batı bölümünde destek bölgesinden kemer eğrisine doğru yayılan bir çatlak dizini oluşmuştur. Ayrıca memba tarafında ise kemer eğrisinin üst bölgesindeve kemer döşeme yüzeyinde

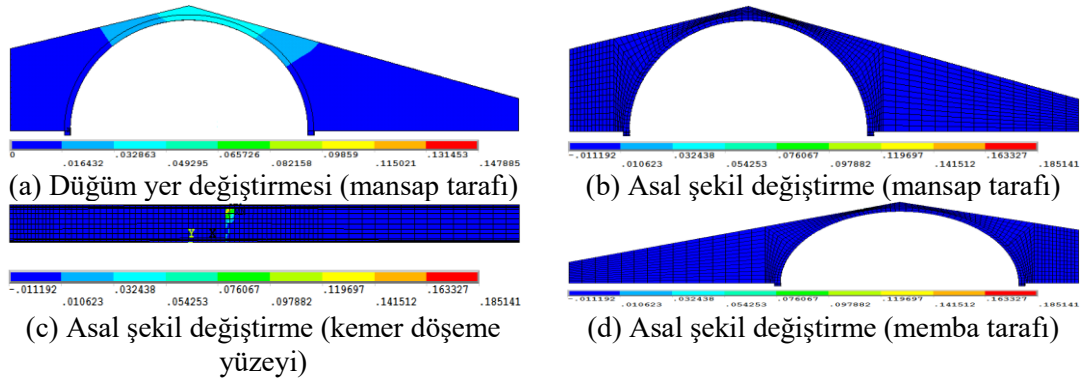
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

gerilme ve ezilmelerin oluştuğu görülmektedir. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.225’de en büyük yer değiştirme süreleri verilmektedir.



Şekil 4.225. Şenyuva köprüsü için İzmit deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizin artık yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için analiz 2,735’inci saniyede durdurulmuştur. Analizin 2,735’inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.226’da verilmiştir.



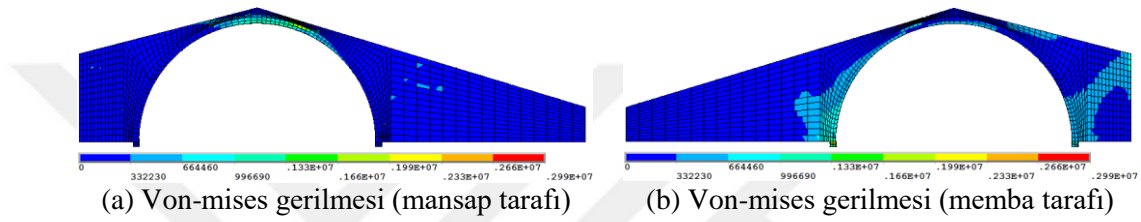
Şekil 4.226. Analizin 2,735’inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Analizin 2,735’inci saniyesinde 42,7 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 2220,8 kN’dur. Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

üst bölgesi olduğu görülmektedir. Kemer döşeme yüzeyinde gerilme ve ezilmeler oluşmuştur.

2,735'inci saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer alnı bölgesinde yer alan 3186 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 6,689 kPa olarak belirlenmiştir. 2,735'inci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.227'de verilmiştir.

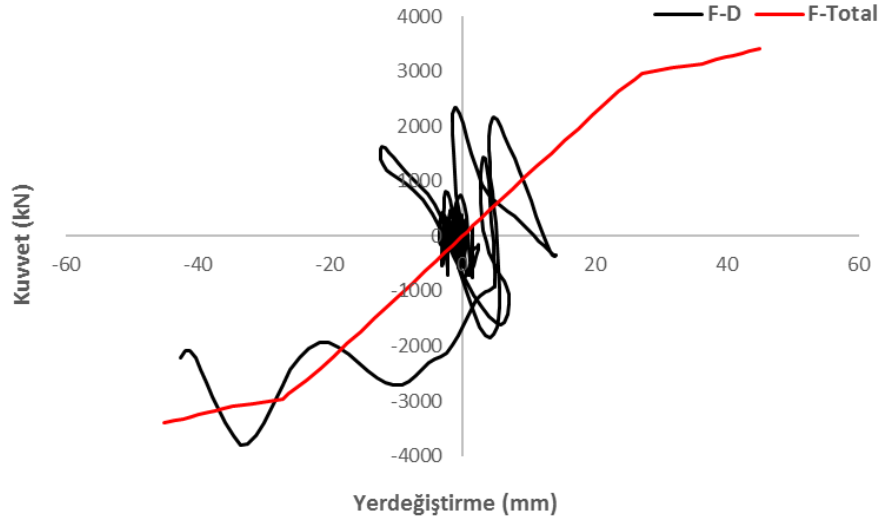


Şekil 4.227. Şenyuva köprüsü için İzmit deprem kaydında analiz 2,735'inci saniyesine ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilme grafiği incelendiğinde gerilmelerin kemer eğrisinin tepe kısmından başlayıp uç kısımlara doğru ilerlediği ve sonrasında ise destek bölgesine doğru yayıldığı görülmektedir.

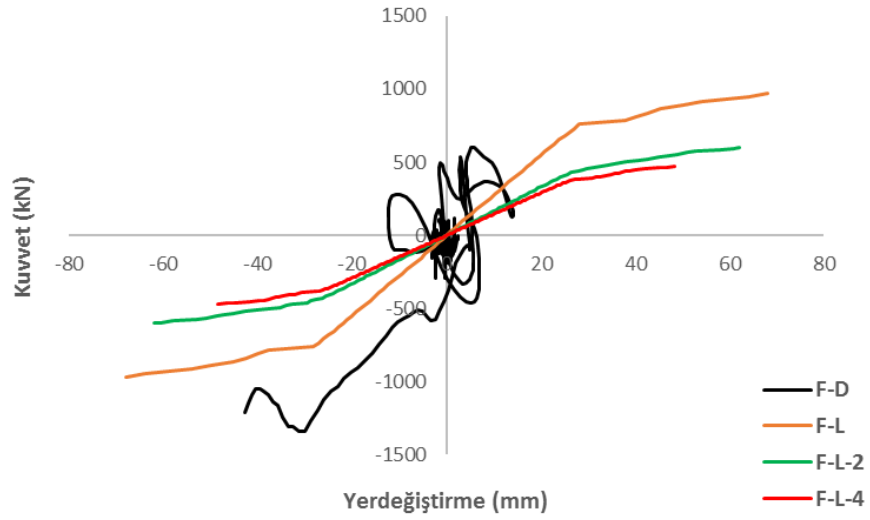
Şekil 4.228'de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 45,1 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 42,7 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3401 kN iken dinamik analizde 3792 kN'dur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.228. Şenyuva köprüsü için İzmit deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.229'da sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.229. Şenyuva köprüsü için İzmit deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.51'de verilmiştir.

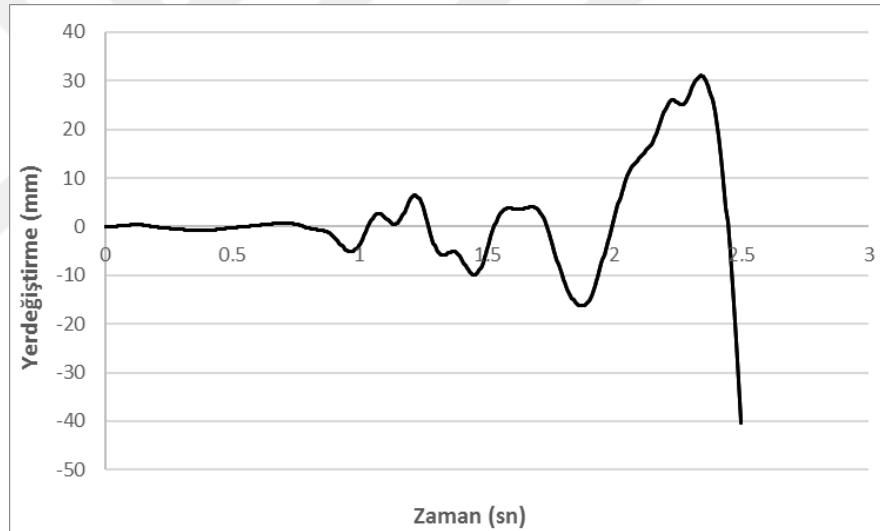
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.51. Şenyuva köprüsü için İzmit deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	42,7	1340
PY1 (L+2t)	68,1	970
PY2 ((L+2t)/2)	62,0	599
PY3 ((L+2t)/4)	48,4	472

4.6.4.4. Şenyuva köprüsü Loma-Prieta depremine ait dinamik analiz

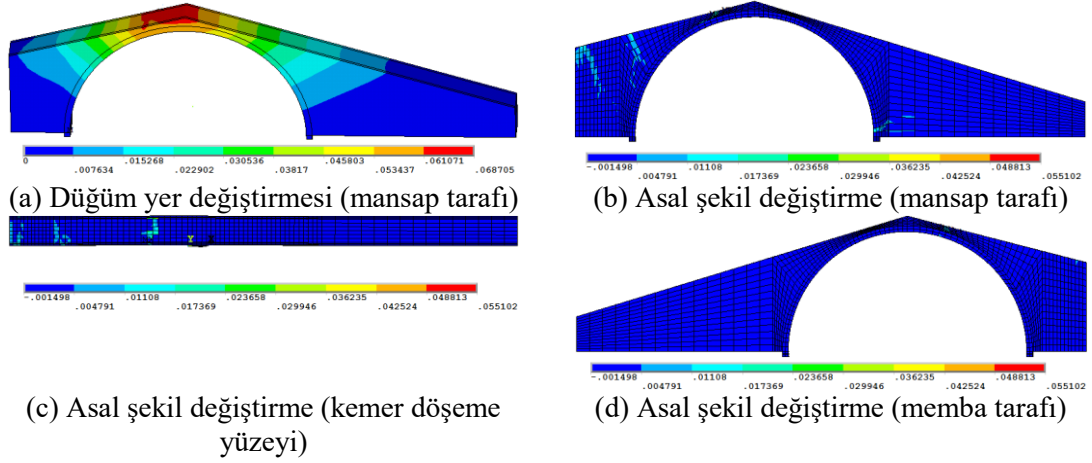
Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz incelendiğinde 2,5'inci saniyede artık yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için analiz sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.230'da yer almaktadır.



Şekil 4.230. Şenyuva köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin 2,5'inci saniyesinde 40,3 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 2738,1 kN'dur. 2,5'inci saniyeye ait asal Şekil değiştirmeler Şekil 4.231'da yer almaktadır.

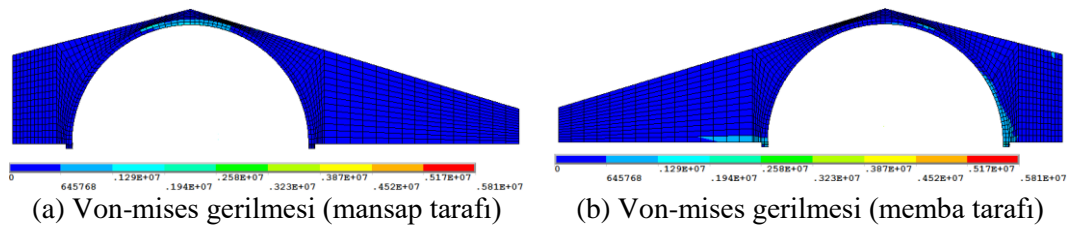
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.231. Şenyuva köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analiz 2,5'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir. Analizin 2,5'inci saniyesi incelendiğinde gerilme, ezilme ve buna bağlı olarak ta çatlak oluşumu köprü'nün mansap tarafında batı tarafında destek bölgesinden başlayarak kemer eğrisine doğru yayılmaktadır. Doğu tarafında ise kemer eğrisinin uç tarafından başlayarak destek bölgesine doğru yayılmaktadır.

2,5'inci saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer döşeme yüzeyinde yer alan 7870 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 5,510 kPa olarak belirlenmiştir. 2,5'inci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.232'de verilmiştir.

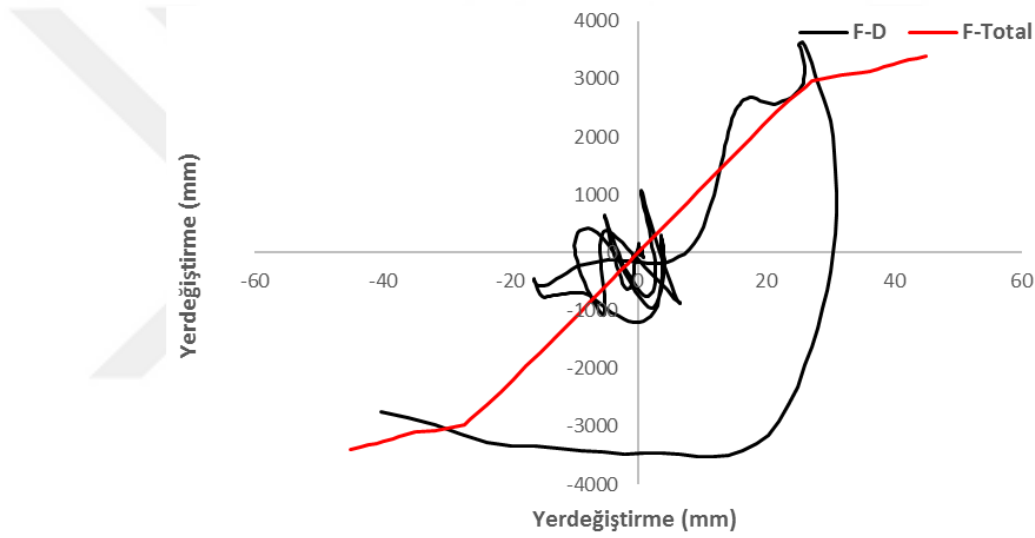


Şekil 4.232. Şenyuva köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 7,455'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Von-mises gerilme grafiği incelendiğinde gerilmelerin kemer eğrisinin tepe kısmından başlayıp uç kısımlara doğru ilerlediği ve sonrasında ise destek bölgesine doğru yayıldığı görölmektedir.

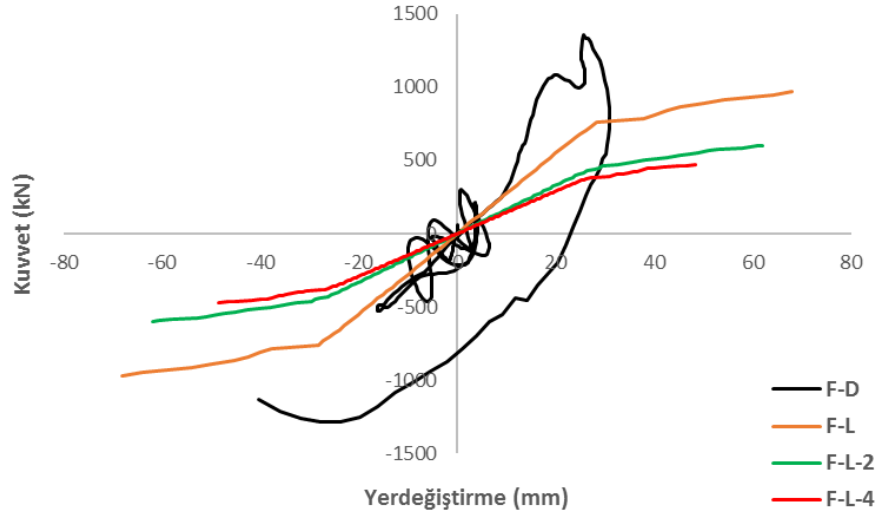
Şekil 4.233'de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 45,1 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 40,3 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3401 kN iken dinamik analizde 3588 kN'dur.



Şekil 4.233. Şenyuva köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.234'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.234. Şenyuva köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.52’de verilmiştir.

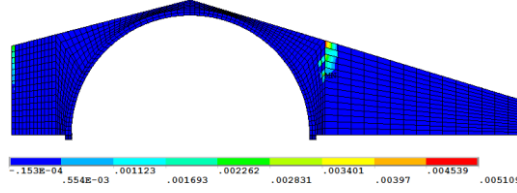
Çizelge 4.52. Şenyuva köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	40,3	1421
PY1 (L+2t)	68,1	970
PY2 ((L+2t)/2)	62,0	599
PY3 ((L+2t)/4)	48,4	472

4.6.4.5. Şenyuva köprüsü Kobe depremine ait dinamik analiz

Köprüde ilk olarak 5,43’üncü saniyede ezilme ve çatlamalar ana gövdenin dolgu bloklarla birleşim yerlerinde oluştuğu görülmektedir. 5,43’üncü saniyeye ait asal şekil değiştirme Şekil 4.235’de yer almaktadır.

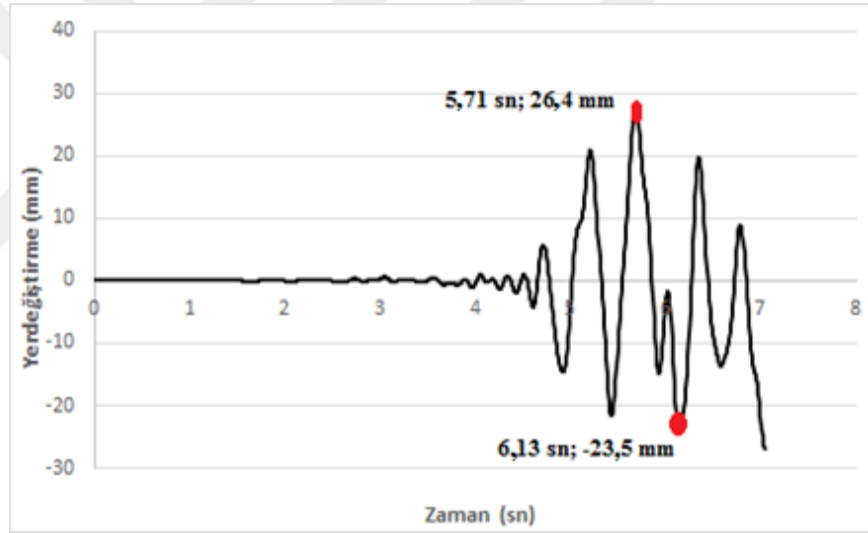
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



5,43'üncü saniye (mansap tarafı)

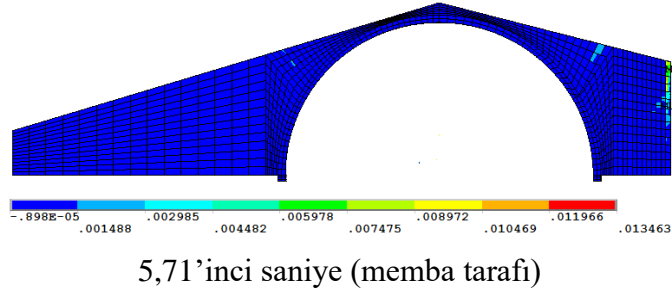
Şekil 4.235. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında 5,43'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Sonrasında ise depremin ilerleyen saniyelerinde ezilmeler ve çatlamlar kemer kısmına doğru devam etmektedir. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.236'da incelendiğinde en büyük yer değiştirme süreleri verilmektedir.



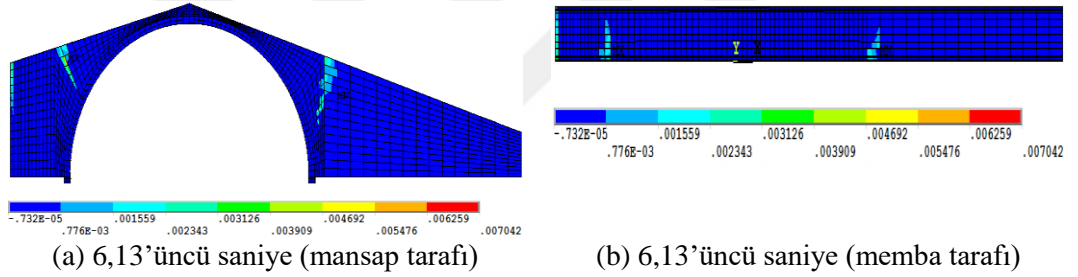
Şekil 4.236. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizde en büyük yer değiştirmelerden biri 5,71'inci saniyede gerçekleşmiştir. 5,71'inci saniyede basınç gerilmelerinin yoğunlaşarak memba tarafındaki kemer eğrisine doğru yayıldığı görülmektedir. Bu saniyede 26,4 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 1561,7 kN'dur. 5,71'inci saniyede analize ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.237'de yer almaktadır.



Şekil 4.237. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında 5,71'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

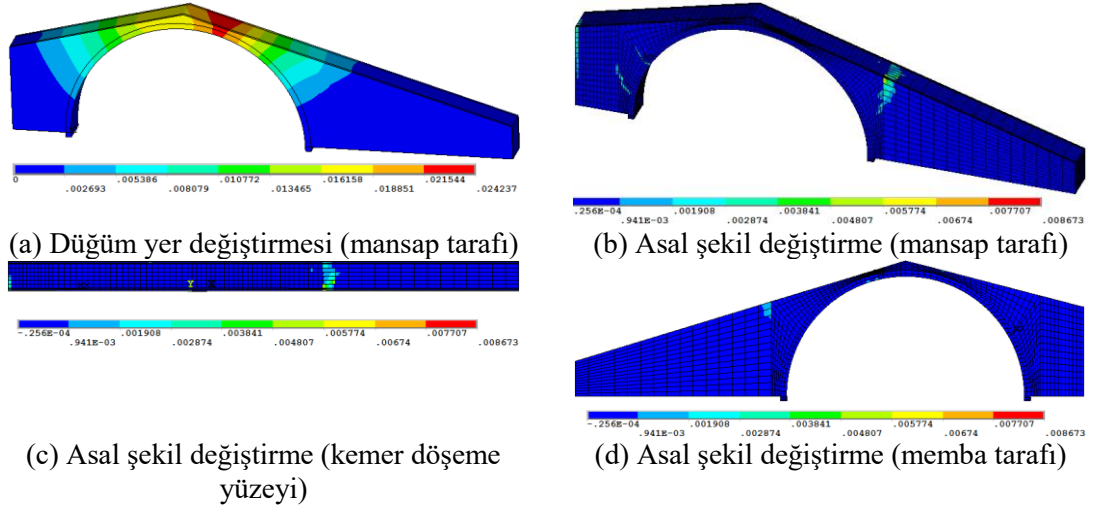
Diğer en büyük yer değiştirme ise 6,13'üncü saniyesinde gerçekleşmiştir. Bu saniyede 23,5 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 270,6 kN'dur. 6,13'üncü saniyede analize ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.238'de yer almaktadır.



Şekil 4.238. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında 6,13'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için analiz 7,05'inci saniyede durdurulmuştur. Bu saniyede 26,9 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 1084,5 kN'dur. Analizin 7,05'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.239'da yer almaktadır.

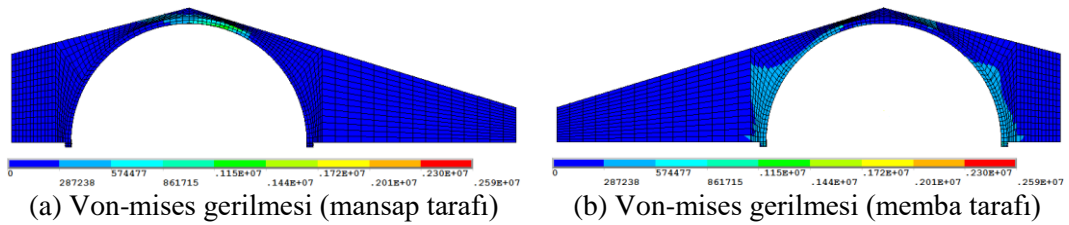
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.239. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında analiz 7,05'inci saniyesine ait asal Şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görölmektedir. Analizin 7,05'inci saniyesi incelendiğinde gerilme, ezilme ve buna bağlı olarak ta çatlak oluşumu köprünün mansap tarafında batı tarafında kemer eğrisinden başlayarak destek bölgesine doğru yayılmaktadır. Doğu tarafında ise destek bölgesinden tarafından başlayarak kemer eğrisine doğru yayılmaktadır.

7,05'inci saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri, taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer döşeme yüzeyinde yer alan 7870 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,867 kPa olarak belirlenmiştir. 7,05'inci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.240'de verilmiştir.

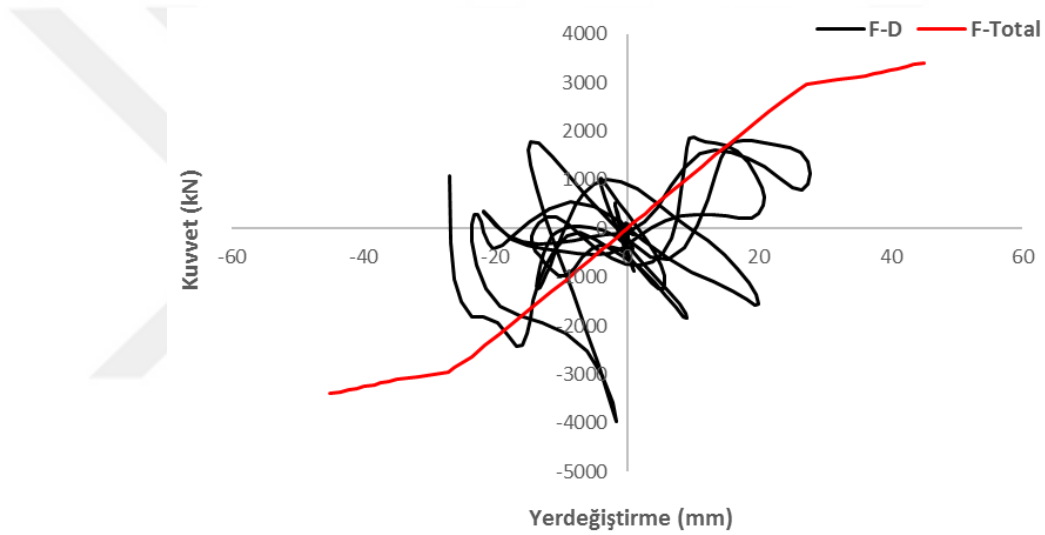


Şekil 4.240. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında 7,05'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

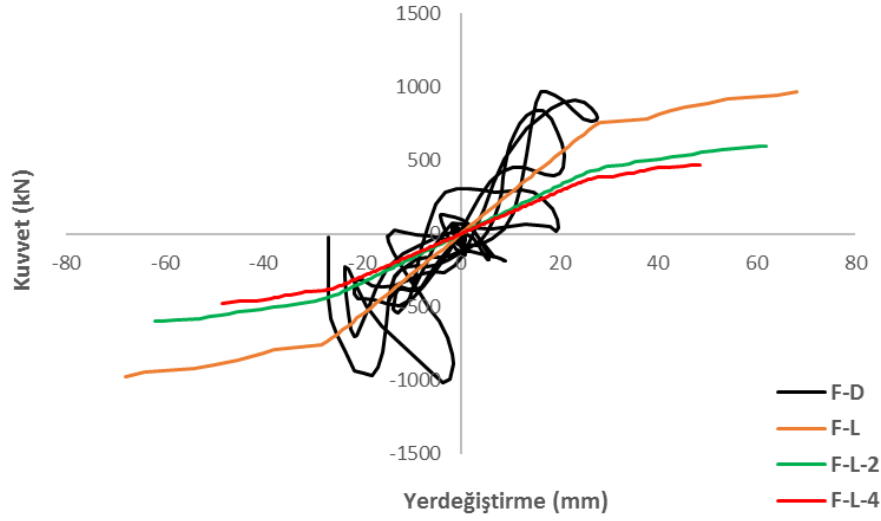
Von-mises gerilme grafiği incelendiğinde gerilmelerin kemer eğrisinin tepe kısmından başlayıp uç kısımlara doğru ilerlediği ve sonrasında ise destek bölgesine doğru yayıldığı görülmektedir.

Şekil 4.241’de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 45,1 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 27,5 mm’dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3401 kN iken dinamik analizde 3976,2 kN’dur.



Şekil 4.241. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması.

Şekil 4.242’de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.242. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.53’de verilmiştir.

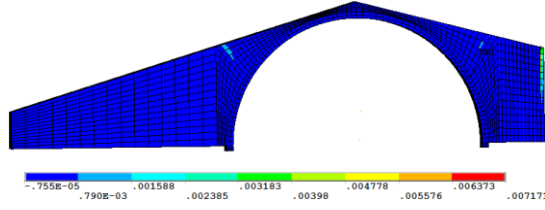
Çizelge 4.53. Şenyuva köprüsü için Kobe deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	27,2	1015
PY1 (L+2t)	68,1	970
PY2 ((L+2t)/2)	62,0	599
PY3 ((L+2t)/4)	48,4	472

4.6.4.6. Şenyuva köprüsü Rudbar-İran depremine ait dinamik analiz

Köprüde ilk olarak 5,5’inci saniyede ezilme ve çatlamalar ana gövdenin dolgu bloklarla birleşim yerlerinde oluştuğu görülmektedir. 5,5’inci saniyeye ait asal şekil değiştirme Şekil 4.243’de yer almaktadır.

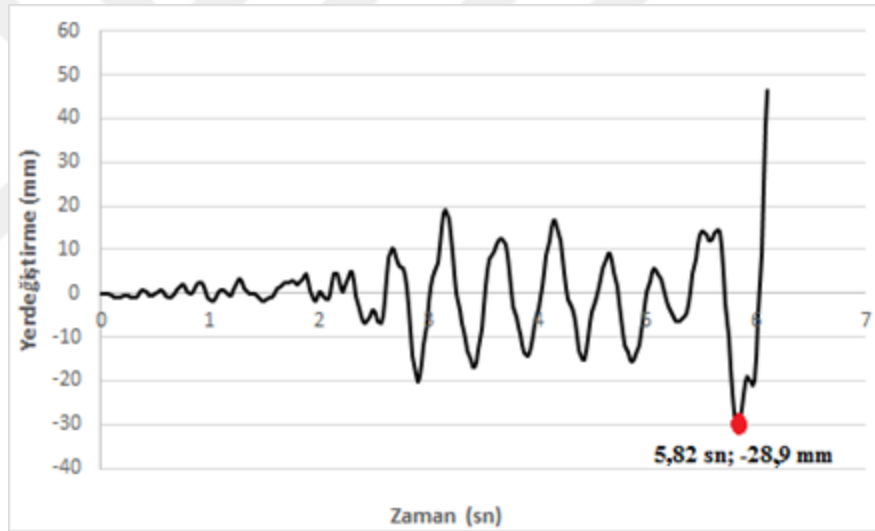
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



5,5'inci saniye (membra tarafı)

Şekil 4.243. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 5,5'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

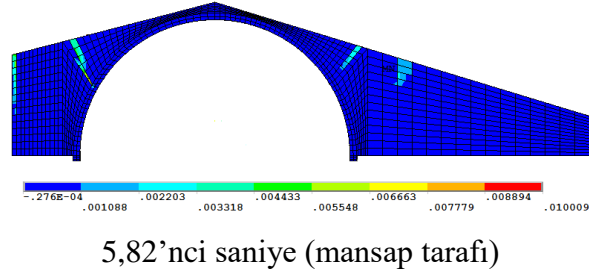
Sonrasında ise depremin ilerleyen saniyelerinde ezilmeler ve çatlamlar kemer kısmına doğru devam etmektedir. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.244'de incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin 5,82'nci saniyede olduğu görülmektedir.



Şekil 4.244. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

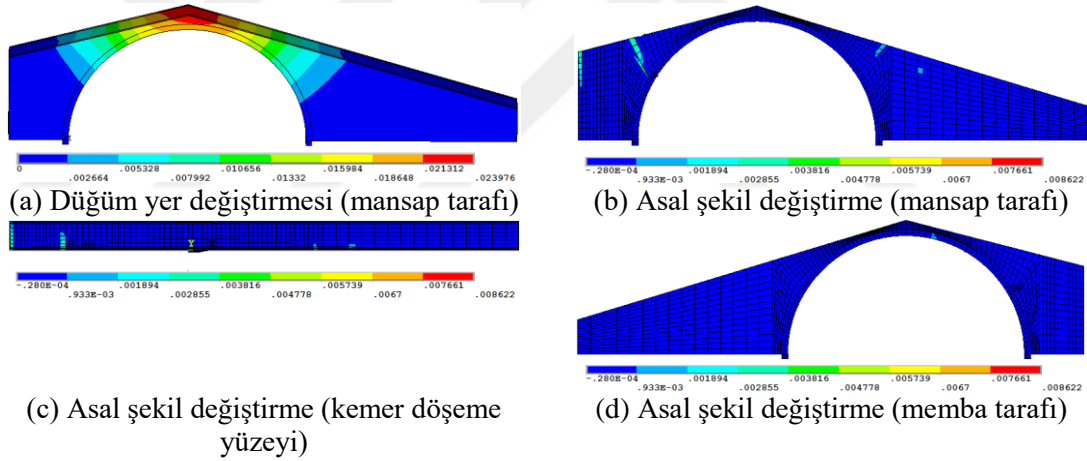
5,82'nci saniyede basınç gerilmelerinin yoğunlaşarak mansap tarafındaki kemer eğrisine doğru yayıldığı ve çatlakların olduğu görülmektedir. Bu saniyede 29,6 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 442,4 kN'dur. 5,82'nci saniyede analize ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.245'de yer almaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.245. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 5,82'nci saniyeye ait asal şekil değiştirme

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için analiz 6,1'inci saniyede durdurulmuştur. Bu saniyede 46,5 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 1150,8 kN'dur. Analizin 6,1'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.246'da yer almaktadır.

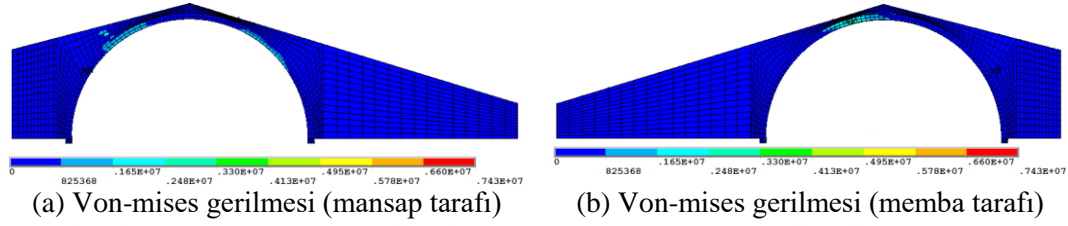


Şekil 4.246. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizin 6,1'inci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir. Analizin 6,1'inci saniyesi incelendiğinde gerilme, ezilme ve buna bağlı olarak ta çatlak oluşumu köprü'nün mansap tarafında batı tarafında destek bölgesinden başlayarak kemer eğrisine doğru yayılmaktadır. Doğu tarafında ise aynı şekilde çatlak dizini destek bölgesinden tarafından başlayarak kemer eğrisine doğru yayılmaktadır.

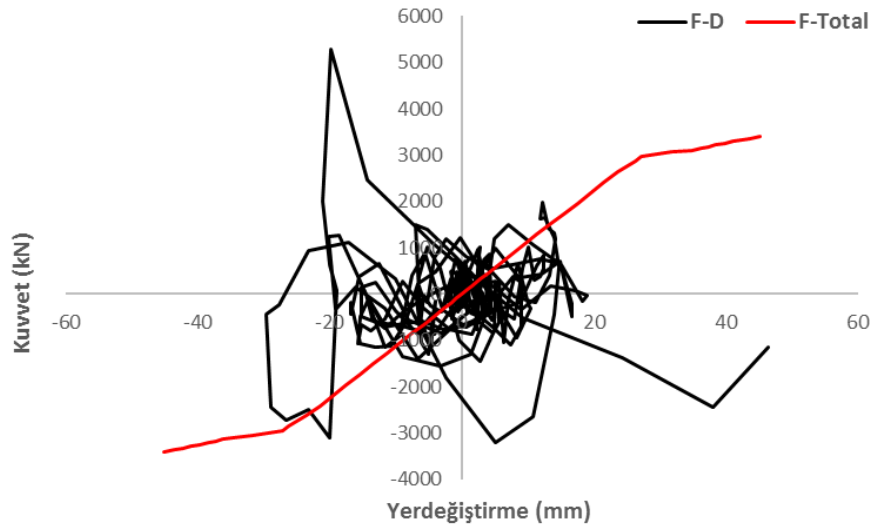
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

6,1'inci saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer karnı bölgesinde yer alan 5908 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,862 kPa olarak belirlenmiştir. 6,1'inci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.247'de verilmiştir.



Şekil 4.247. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 6,1'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

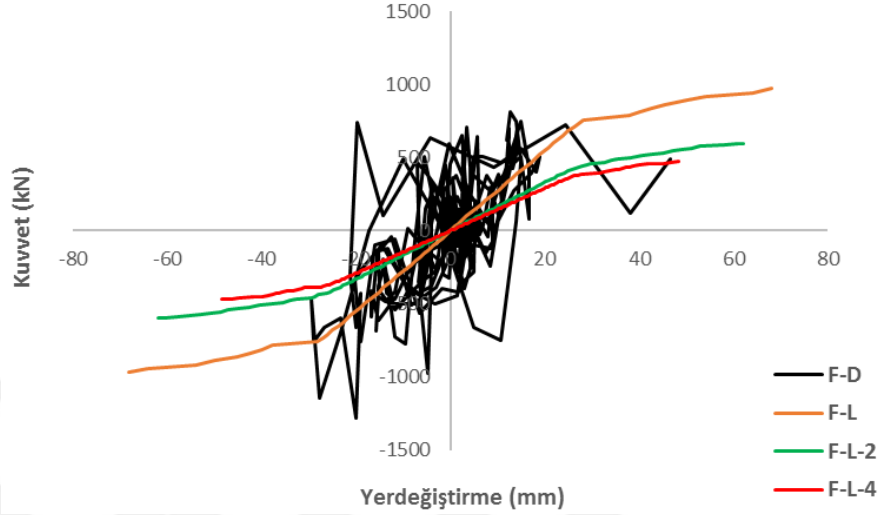
Şekil 4.248'de köprü'nün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprü'nün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 45,1 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 46,5 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3401 kN iken dinamik analizde 5276,1 kN'dur.



Şekil 4.248. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.249’da sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.249. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.54’de verilmiştir.

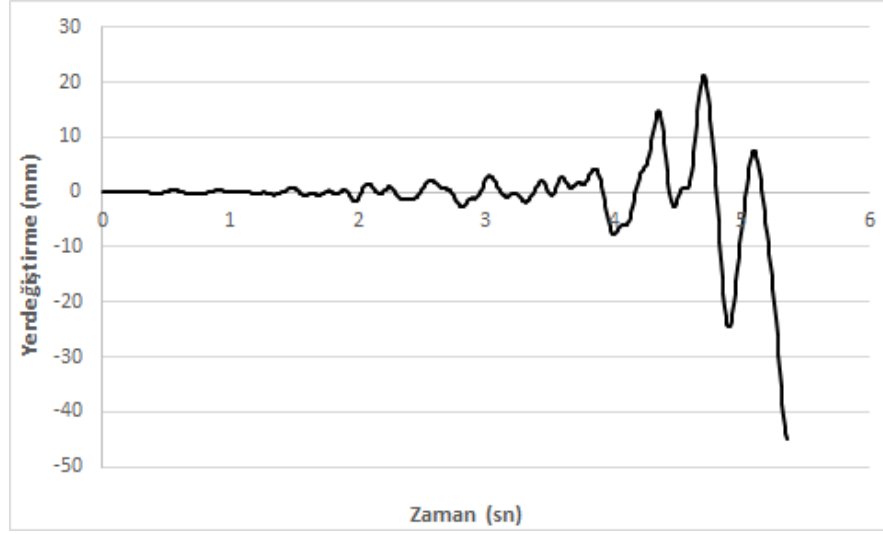
Çizelge 4.54. Şenyuva köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	46,3	1285
PY1 (L+2t)	68,1	970
PY2 ((L+2t)/2)	62,0	599
PY3 ((L+2t)/4)	48,4	472

4.6.4.7. Şenyuva köprüsü Hector-Mine depremine ait dinamik analiz

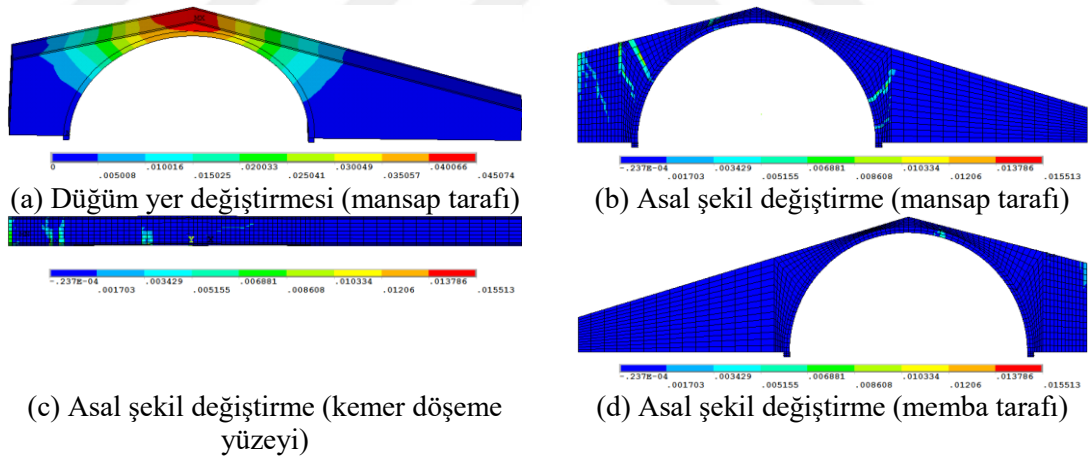
Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz incelendiğinde 5,36’ncı saniyede artık yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için analiz sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.250’de verilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.250. Şenyuva köprüsü için Hector-Mine deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin 5,36'ncı saniyesinde 44,9 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 383,3 kN'dur. 5,36'ncı saniyeye ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.251'de yer almaktadır.

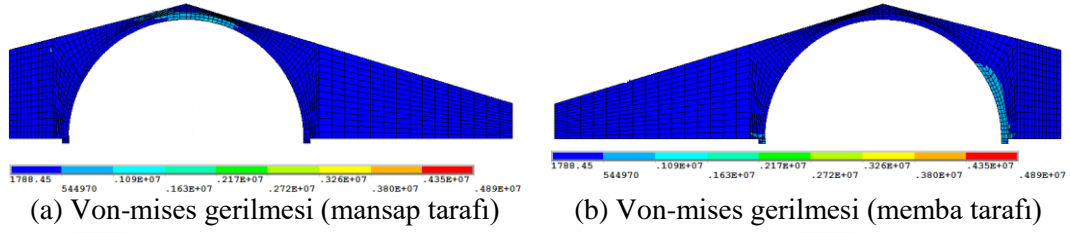


Şekil 4.251. Şenyuva köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizin 5,36'ncı saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir. Analizin 5,36'ncı saniyesi incelendiğinde gerilme, ezilme ve buna bağlı olarak ta çatlak oluşumu köprü'nün mansap tarafında batı tarafında destek bölgesinden başlayarak kemer eğrisine doğru yayılmaktadır. Doğu tarafında ise kemer eğrisinden başlayarak destek bölgesine doğru yayılan çatlak dizini oluşturmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

5,36'ncı saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri, taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer döşeme yüzeyinde yer alan 7869 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 1,551 kPa olarak belirlenmiştir. 5,36'ncı saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.252'de verilmiştir.

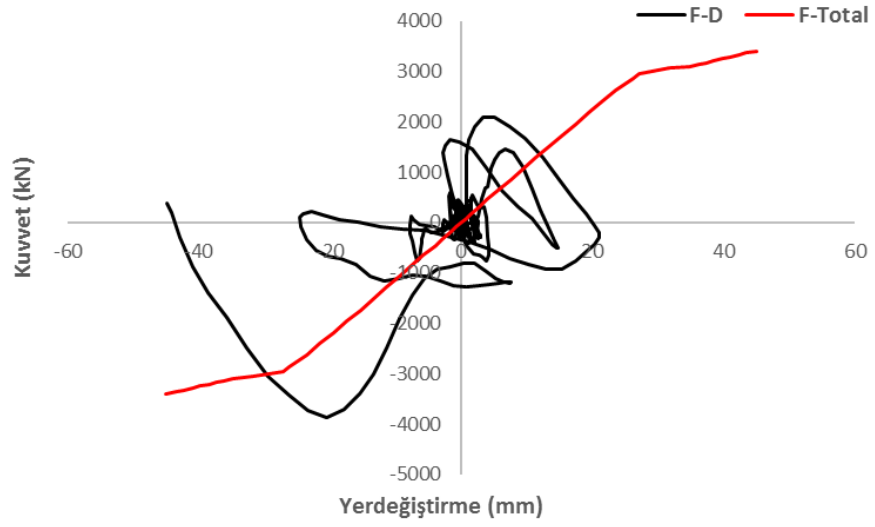


Şekil 4.252. Şenyuva köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilme grafiği incelendiğinde gerilmelerin mansap tarafında kemer üst bölgesinde yoğunlaştığı, memba tarafında ise kemer eğrisinde gerilmelerin yoğunlaştığı görülmektedir.

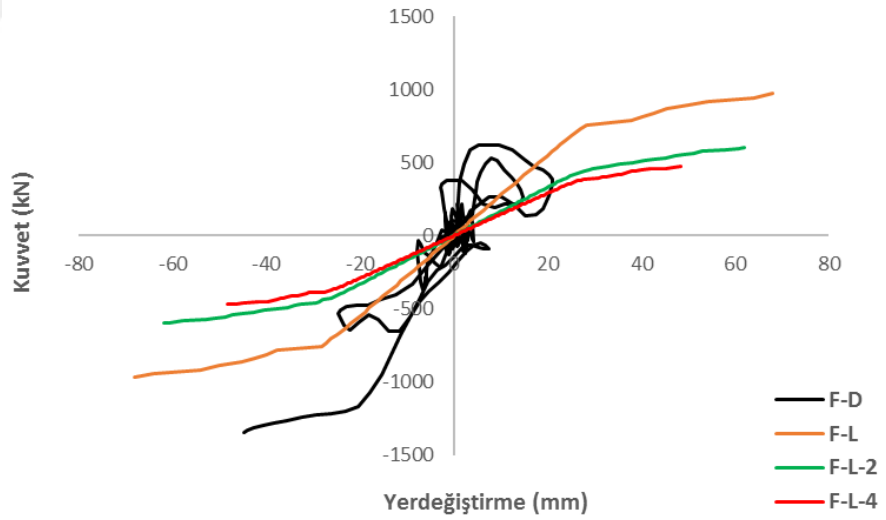
Şekil 4.253'de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 45,1 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 44,9 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3401 kN iken dinamik analizde 3873 kN'dur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.253. Şenyuva köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.254'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.254. Şenyuva köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.55'de verilmiştir.

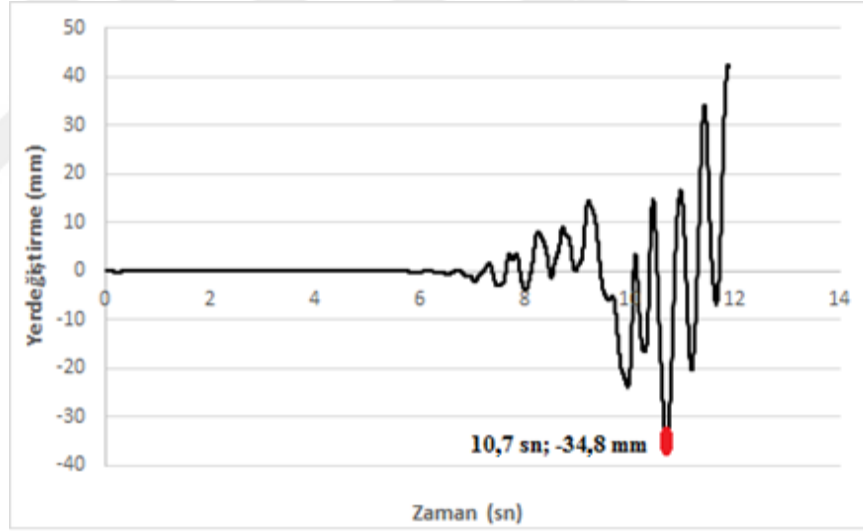
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.55. Şenyuva köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	25,9	1156
PY1 (L+2t)	68,1	970
PY2 ((L+2t)/2)	62,0	599
PY3 ((L+2t)/4)	48,4	472

4.6.4.8. Şenyuva köprüsü Yarımcı depremine ait dinamik analiz

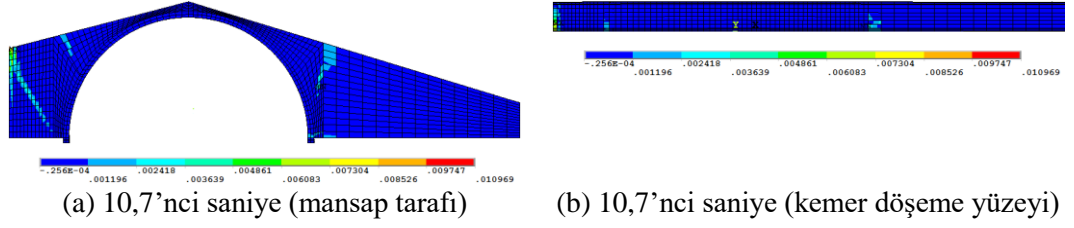
Analide en büyük yer değiştirme 10,7'nci saniyede gerçekleşmiştir. 10,7'nci saniyede basınç gerilmelerinin yoğunlaşarak mansap tarafındaki kemer eğrisine doğru yayıldığı ve çatlakların oluştuğu görülmektedir. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.255'de incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin 10,7'nci saniyede oluştuğu görülmektedir.



Şekil 4.255. Şenyuva köprüsü için Yarımcı deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

10,7'nci saniyede 34,8 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 1930,5 kN'dur. Bu saniyede analize ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.256'da yer almaktadır.

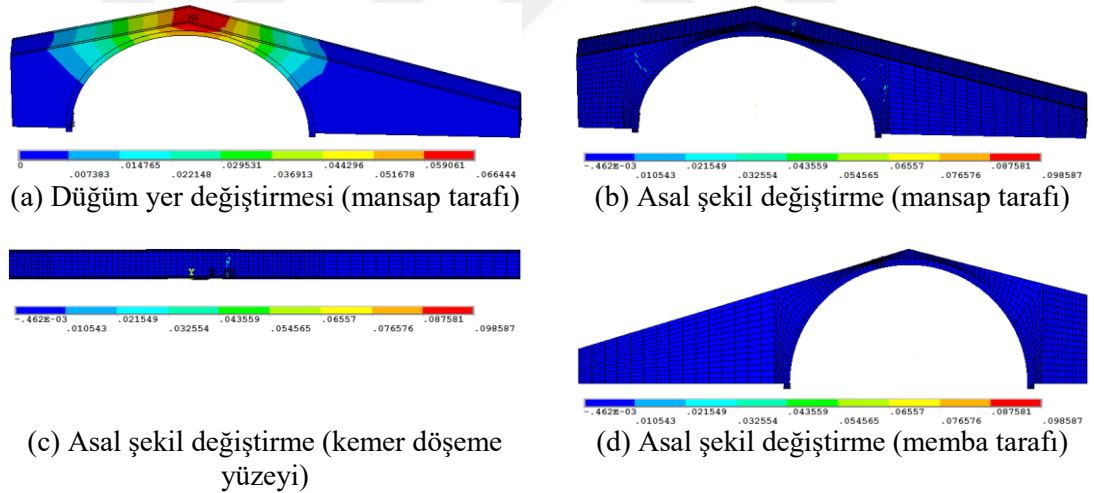
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.256. Şenyuva köprüsü için Yarımcı deprem kaydında 10,7'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Mansap tarafının batı bölümünde gerilme ve ezilmelere bağlı olarak destek bölgesinden başlayarak kemer eğrisine doğru uzanan çatlak dizini oluşmuştur.

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analiz yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için analiz 11,89'uncu saniyede durdurulmuştur. Bu saniyede 41,8 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 404 kN'dur. Analizin 11,89'uncu saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.257'de yer almaktadır.

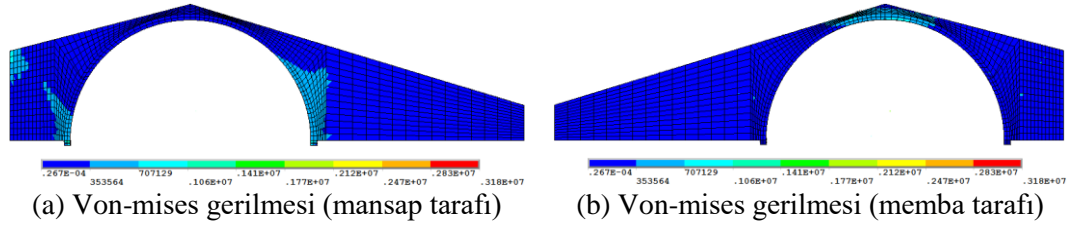


Şekil 4.257. Şenyuva köprüsü için Yarımcı deprem kaydında 11,89'uncu saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir. Analizin 11,89'uncu saniyesi incelendiğinde gerilme, ezilme ve buna bağlı olarak ta çatlak oluşumu köprü'nün mansap tarafında batı tarafında destek bölgesinden başlayarak kemer eğrisine doğru yayılmaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

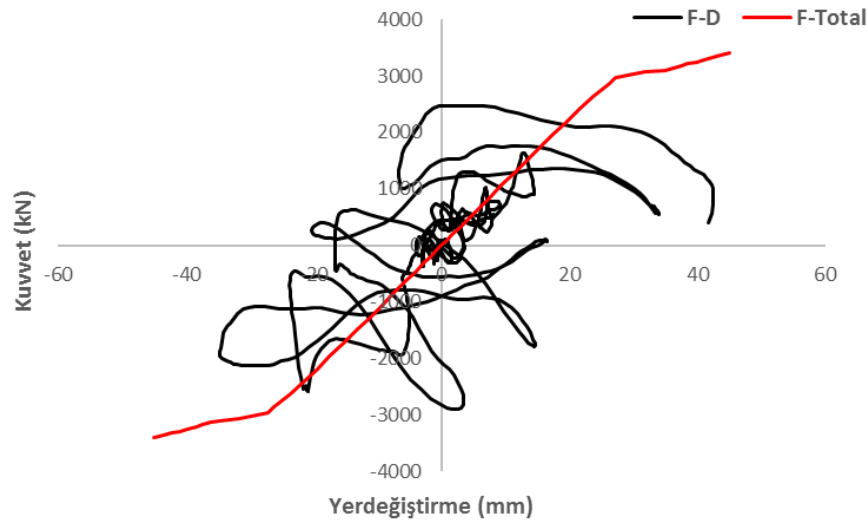
11,89'uncu saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmeleri, taşın çekme dayanımını aşmıştır. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer yüzeyinde yer alan 1189 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 9,858 kPa olarak belirlenmiştir. 11,89'uncu saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.258'de verilmiştir.



Şekil 4.258. Şenyuva köprüsü için Yarımca deprem kaydında 11,89'uncu saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilme grafiği incelendiğinde gerilmelerin mansap tarafında kemer üst bölgesinde yoğunlaştığı, memba tarafında ise kemer eğrisinde gerilmelerin yoğunlaştığı görülmektedir.

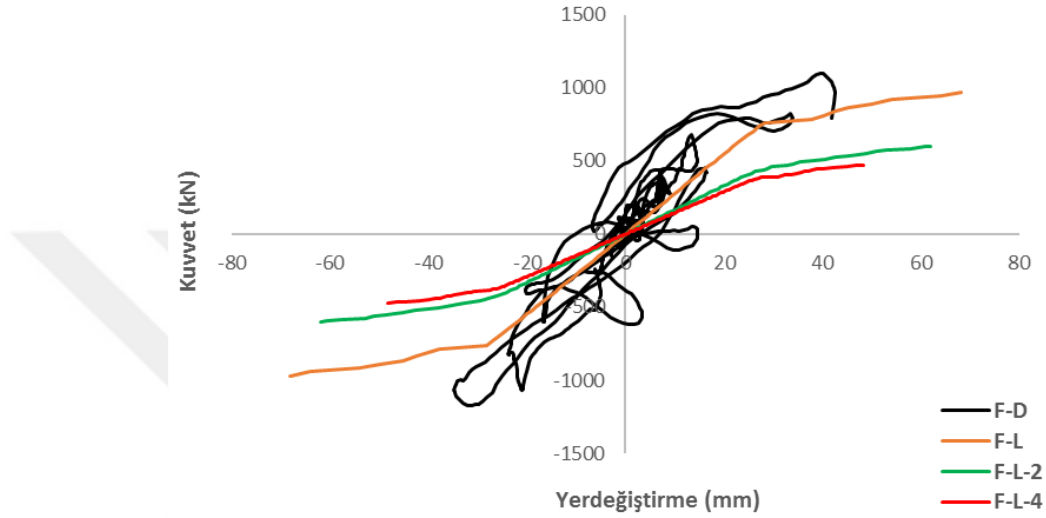
Şekil 4.259'da köprü'nün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprü'nün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 45,1 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 42,5 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3401 kN iken dinamik analizde 2879 kN'dur.



4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.259. Şenyuva köprüsü için Yarımcı deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.260'da sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.260. Şenyuva köprüsü için Yarımcı deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.56'da verilmiştir.

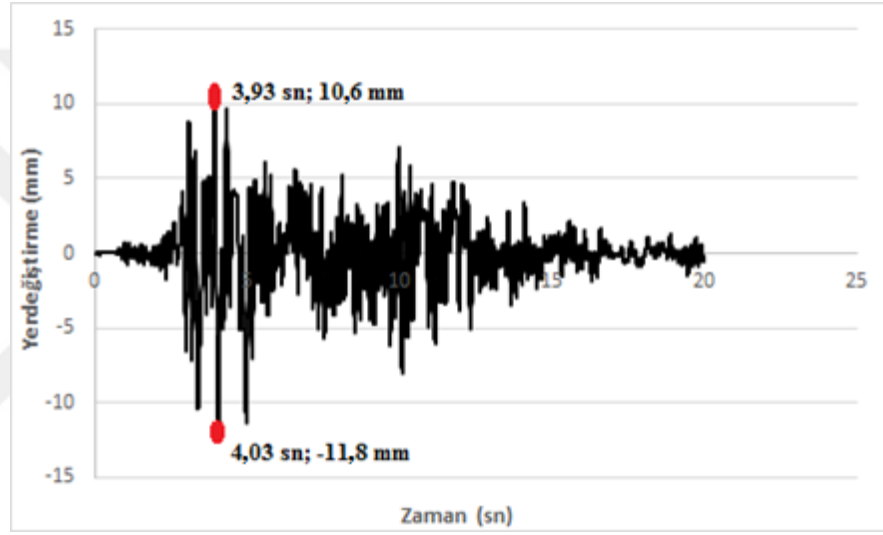
Çizelge 4.56. Şenyuva köprüsü için Yarımcı deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	42,2	1176
PY1 (L+2t)	68,1	970
PY2 ((L+2t)/2)	62,0	599
PY3 ((L+2t)/4)	48,4	472

4.6.5. Şinik Köprüsüne ait doğrusal olmayan dinamik analizler

4.6.5.1. Şinik köprüsü Düzce depremine ait dinamik analiz

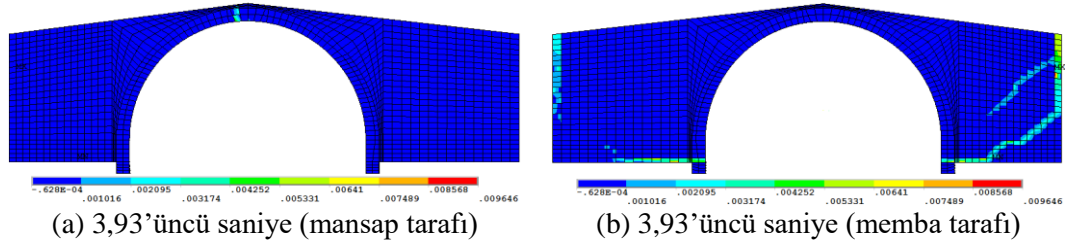
Kemer köprüde ilk olarak gerilmeler destek bölgesinde oluşmuştur. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.261'de incelendiğinde en büyük yer değiştirme süreler verilmektedir. Bunların ilki 3,93'üncü saniyede, ikincisi ise 4,03'üncü saniyede meydana gelmiştir.



Şekil 4.261. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

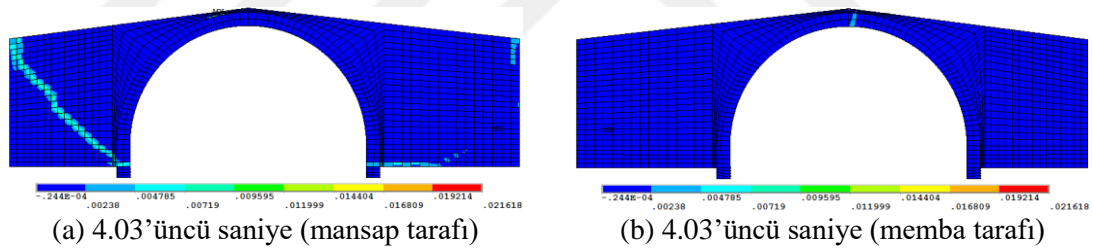
3,93'üncü saniyede 10,6 mm yer değiştirmeye karşılık 2312,5 kN'luk bir kuvvet elde edilmiştir. Depremin ilerleyen 4,03'üncü saniyesinde ise 11,8 mm yer değiştirmeye karşılık 2265 kN'luk bir kuvvet elde edilmiştir. Bu saniyelere ait asal şekil değiştirmeler Şekilde verilmiştir. 3,93'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.262'de yer almaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.262. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında 3,93'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

3,93'üncü saniyede kemer eğrisinin üst kısmında gerilme ve ezilmeler oluşmuştur. Memba tarafının batı bölümünde kemer eğrisinin uç kısmından başlayıp destek bölgesine doğru çapraz şekilde uzanan çatlak dizini oluşmuştur. Ayrıca ikinci bir çatlak dizini de destek bölgesinden kemer eğrisine doğru yayılmıştır. Doğu tarafında ise kemer eğrisinin uç kısmından başlayıp destek bölgesine doğru düz bir şekilde çatlak dizininin olduğu görülmektedir. 4,03'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.263'de yer almaktadır.

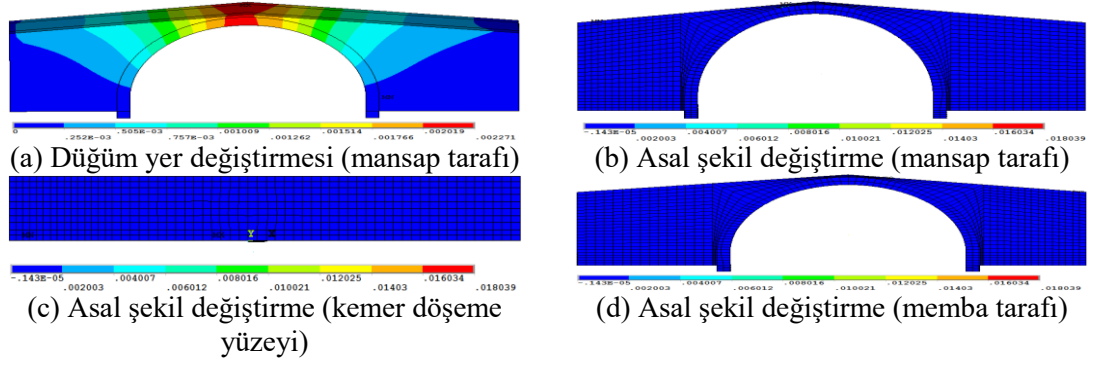


Şekil 4.263. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında 4,03'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

4,03'üncü saniyede mansap tarafının doğu bölümünde kemer eğrisinin uç kısmından başlayıp destek bölgesine doğru çapraz şekilde uzanan çatlak dizini oluşmuştur. Batı tarafında ise kemer eğrisinin uç kısmından başlayıp destek bölgesine doğru düz bir şekilde çatlak dizininin olduğu görülmektedir. Memba tarafında ise kemer eğrisinin üst kısmında gerilme ve ezilmeler oluşmuştur.

Deprem kaydının 20 saniyesi dikkate alınarak doğrusal olmayan dinamik analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz 20'nci saniyeye kadar devam etmiştir. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.264'de yer almaktadır.

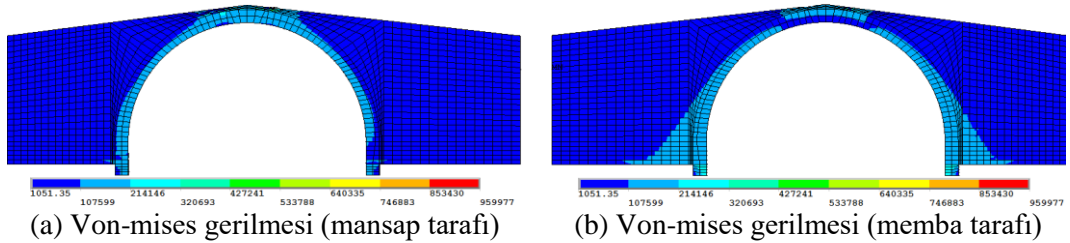
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.264. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında analiz 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir. Analizin 20'nci saniyesinde 0,53 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 199 kN'dur.

En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer döşeme yüzeyinde yer alan 4023 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 1,803 kPa olarak belirlenmiştir. 20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.265'de verilmiştir.

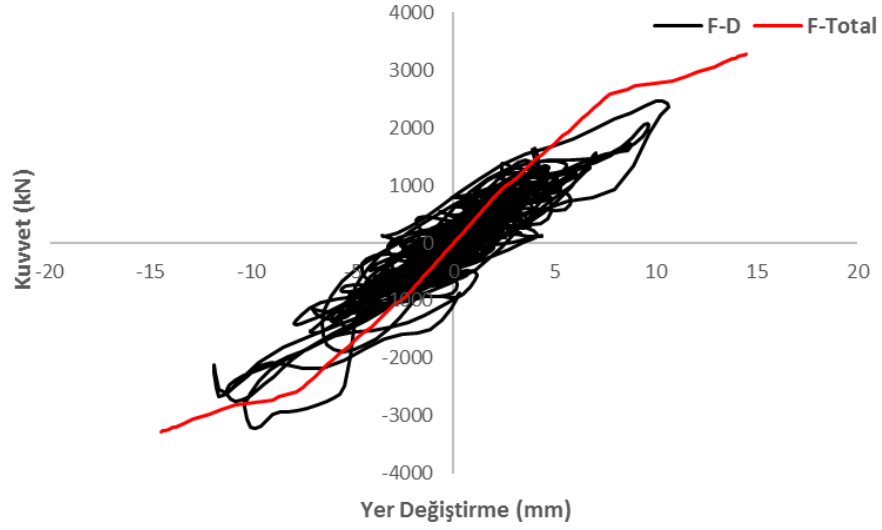


Şekil 4.265. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilme grafiğinde gerilmenin kemer eğrisinin tepe kısmından başlayarak kemer ucuna doğru yayıldığı ve sonrasında ise destek bölgesine doğru yayıldığı görülmektedir.

Şekil 4.266'da köprü'nün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprü'nün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir.

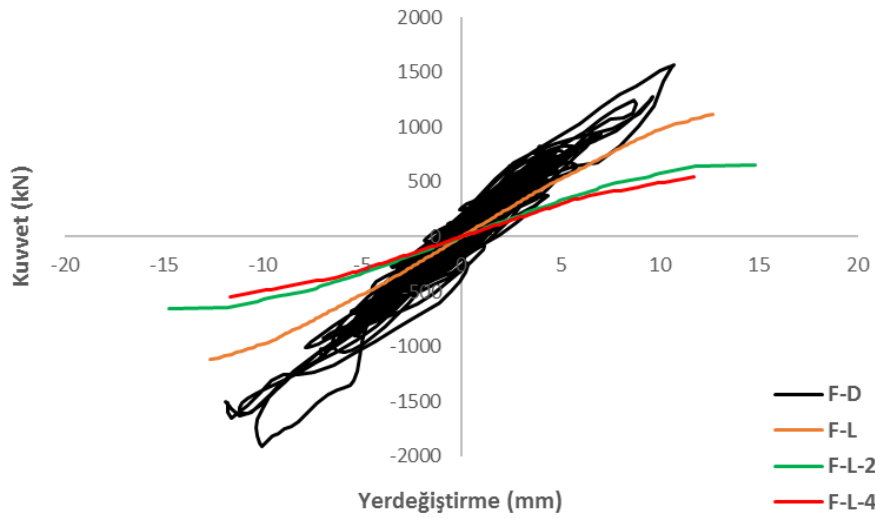
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.261. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 14,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 11,9 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3280 kN iken dinamik analizde 3209 kN'dur.

Şekil 4.267'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.267. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

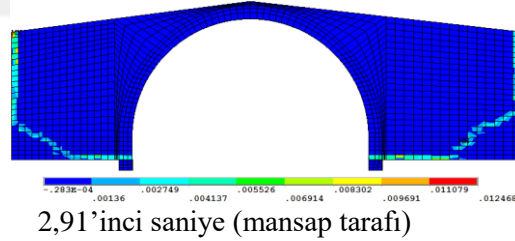
Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.57’de verilmiştir.

Çizelge 4.57. Şinik köprüsü için Düzce deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	11,8	1914
PY1 (L+2t)	12,7	1118
PY2 ((L+2t)/2)	14,8	658
PY3 ((L+2t)/4)	11,7	545

4.6.5.2. Şinik köprüsü Erzincan depremine ait dinamik analiz

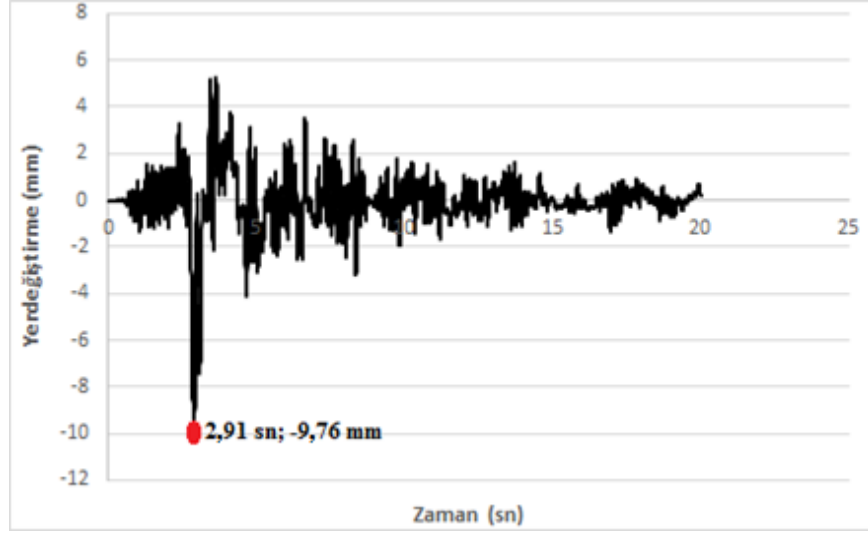
En büyük yer değiştirme depremin 2,91’inci saniyesinde gerçekleşmiştir. En büyük yer değiştirme noktasında basınç gerilmelerinin yoğunlaşarak mansap tarafındaki kemer eğrisine doğru yayıldığı ve çatlakların oluştuğu görülmektedir. Bu saniyede 9,78 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 3091,4 kN’dur. 2,91’inci saniyede analize ait asal şekil değiştirme grafiği Şekil 4.268’de yer almaktadır.



Şekil 4.268. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydında 2,91’inci saniyeye ait asal şekil değiştirme

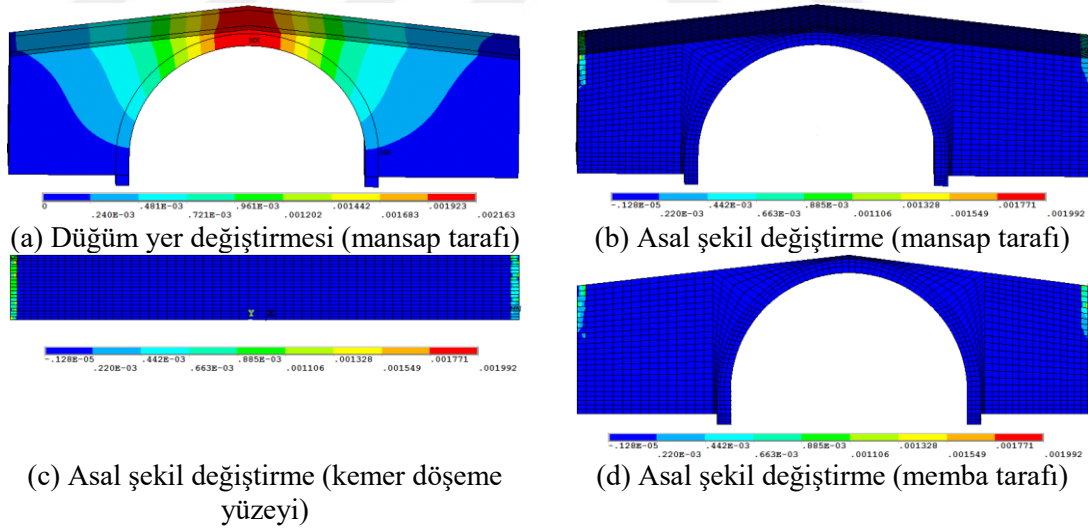
2,91’inci saniye incelendiğinde kemer eğrisinin her iki ucundan başlayarak öncelikli olarak düz sonrasında ise çapraz olarak destek bölgesine uzanan çatlak yayılımı oluşmaktadır. Zaman tanım alanında gerçekleştiren analiz 20’nci saniyede sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.269’da incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin 2,91’inci saniyede oluştuğu görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.269. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin 20'nci saniyesinde 0,23 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 148,4 kN'dur. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.270'de yer almaktadır.

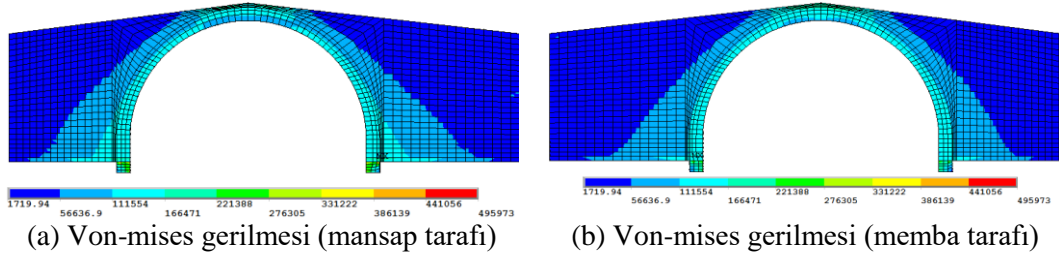


Şekil 4.270. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir. Taşıyıcı elemanlarda herhangi bir kalıcı hasar oluşmamıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

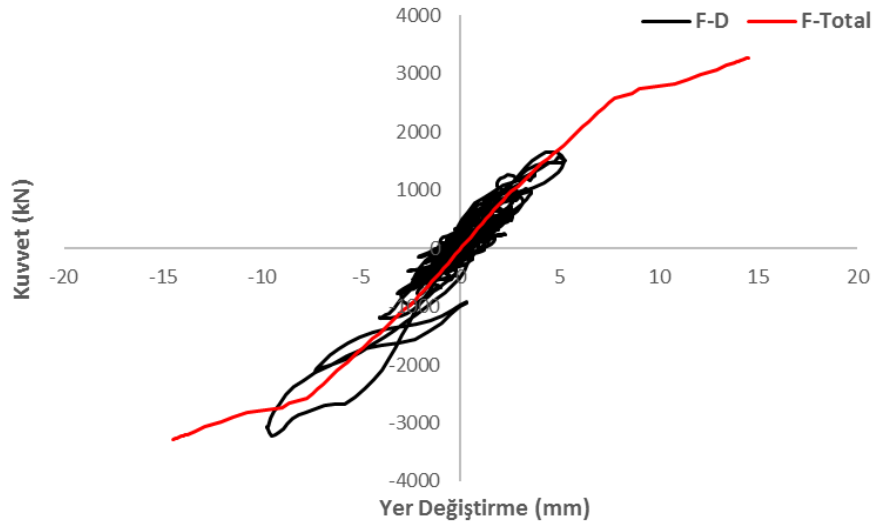
En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer döşeme yüzeyinde yer alan 4864 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,199 kPa olarak belirlenmiştir. 20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.271'de verilmiştir.



Şekil 4.271. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilme grafiğinde, gerilmelerin kemer eğrisinin tepe kısmından başlayarak kemer eğrisi boyunca yayıldığı ve sonrasında ise destek bölgesine doğru yayıldığı görülmektedir.

Şekil 4.272'de köprü'nün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprü'nün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir.

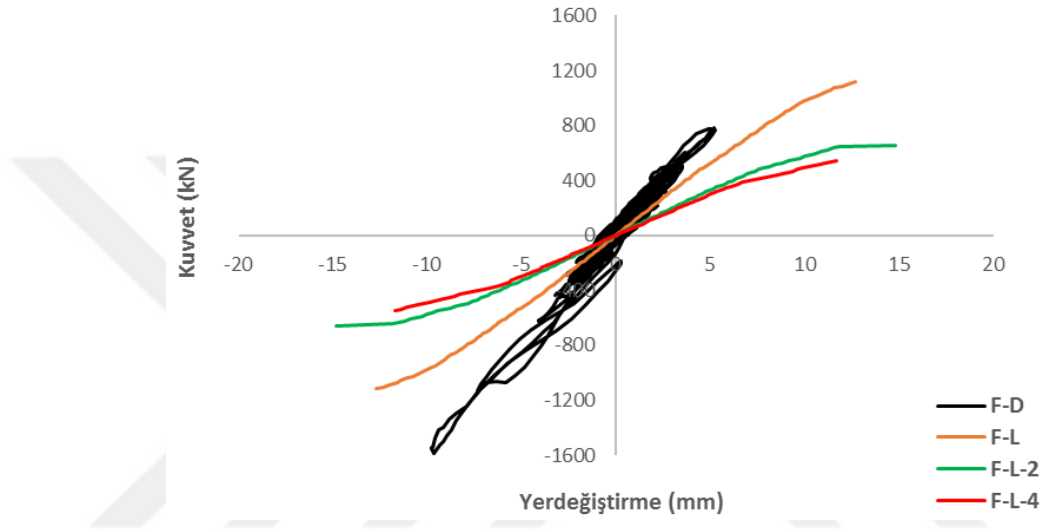


Şekil 4.272. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değıştirme 14,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değıştirme 9,73 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3280 kN iken dinamik analizde 3204 kN'dur.

Şekil 4.273'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.273. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.58'de verilmiştir.

Çizelge 4.58. Şinik köprüsü için Erzincan deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değıştirme

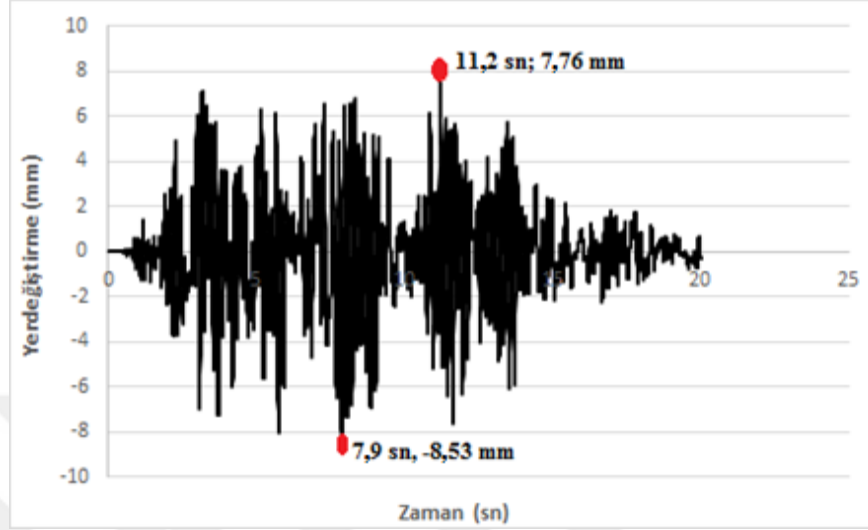
Analiz adı	Maksimum yer değıştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	11,8	1525
PY1 (L+2t)	12,7	1118
PY2 ((L+2t)/2)	14,8	658
PY3 ((L+2t)/4)	11,7	545

4.6.5.3. Şinik köprüsü İzmit depremine ait dinamik analiz

Kemer köprüde ilk olarak gerilmeler destek bölgesinde oluşmuştur. Zaman tanım alanında gerçekleştirilen analizin yer değıştirme-zaman grafiğİ Şekil 4.274'de

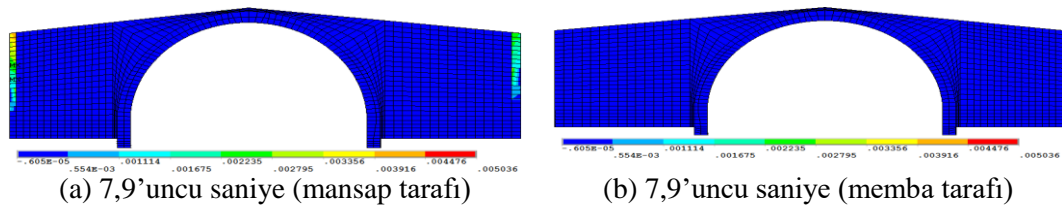
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

incelendiğinde en büyük yer değiştirme süreleri verilmektedir. Bunların ilki 7,9'uncu saniyede, ikincisi ise 11,2'nci saniyede meydana gelmiştir.



Şekil 4.274. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

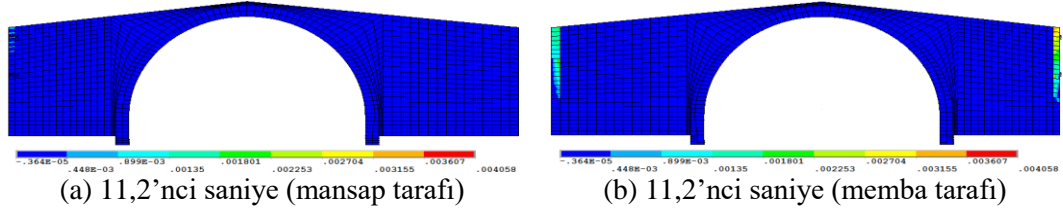
7,9'uncu saniyede 8,49 mm yer değiştirmeye karşılık 1882 kN'luk bir kuvvet elde edilmiştir. Depremin ilerleyen 11,2'nci saniyesinde ise 4,76 mm yer değiştirmeye karşılık 1536 kN'luk bir kuvvet elde edilmiştir. 7,9'uncu saniyeye ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.275'de yer almaktadır.



Şekil 4.275. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında 7,9'uncu saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

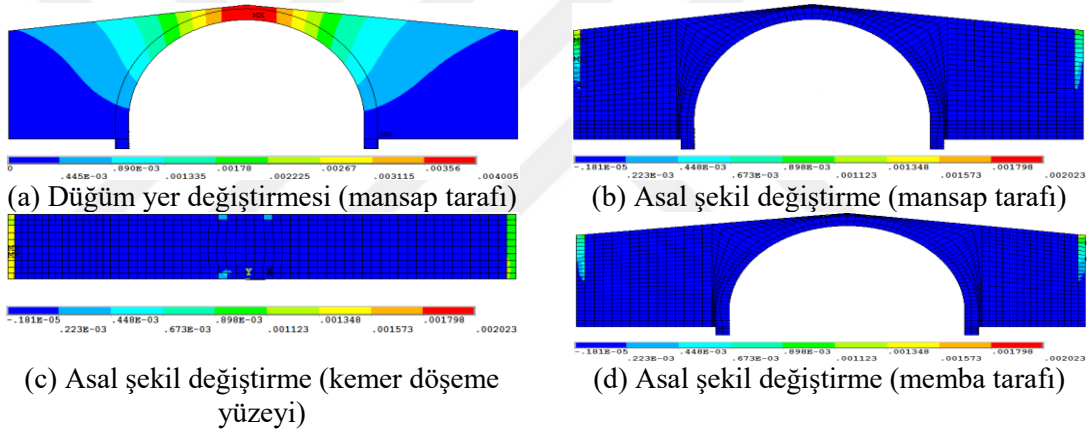
Sadece gerilmeler destek bölgesinde oluşmuştur. Depremin ilerleyen 11,2'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.276'da yer almaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.276. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında 11,2'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Analizin 11,2'nci saniyede gerilmeler destek bölgesinde yoğunlaşmıştır. Zaman tanım alanında gerçekleştiren analiz 20'nci saniyede sonlandırılmıştır. Analizin 20'nci saniyesinde 0,33 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 59,4 kN'dur. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.277'de yer almaktadır.

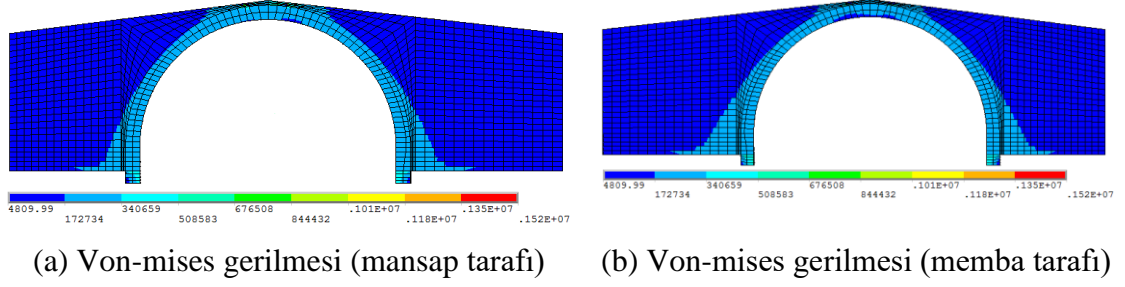


Şekil 4.277. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir. Taşıyıcı elemanlarda herhangi bir kalıcı hasar oluşmamıştır.

En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer döşeme yüzeyinde yer alan 2480 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,202 kPa olarak belirlenmiştir. 20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.278'de verilmiştir.

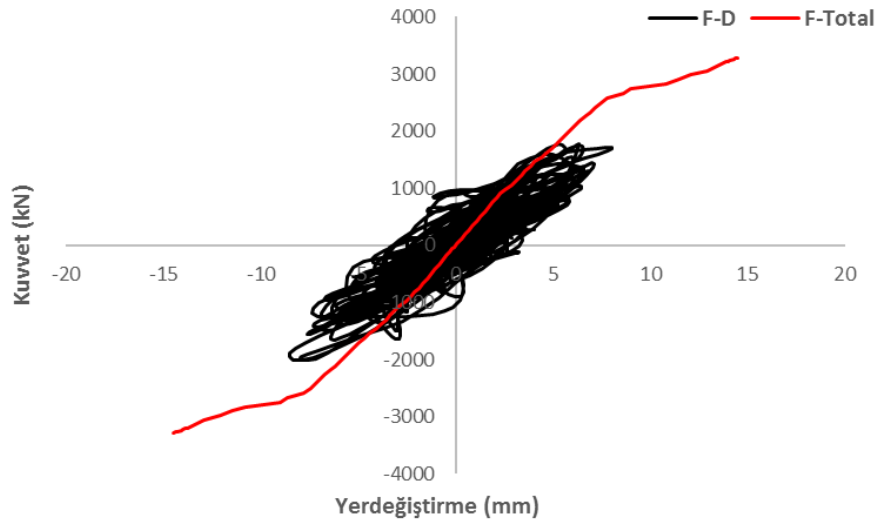
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.278. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilme grafiğinde, gerilmelerin kemer eğrisinin tepe kısmından başlayarak kemer eğrisi boyunca yayıldığı ve sonrasında ise destek bölgesine doğru yayıldığı görülmektedir.

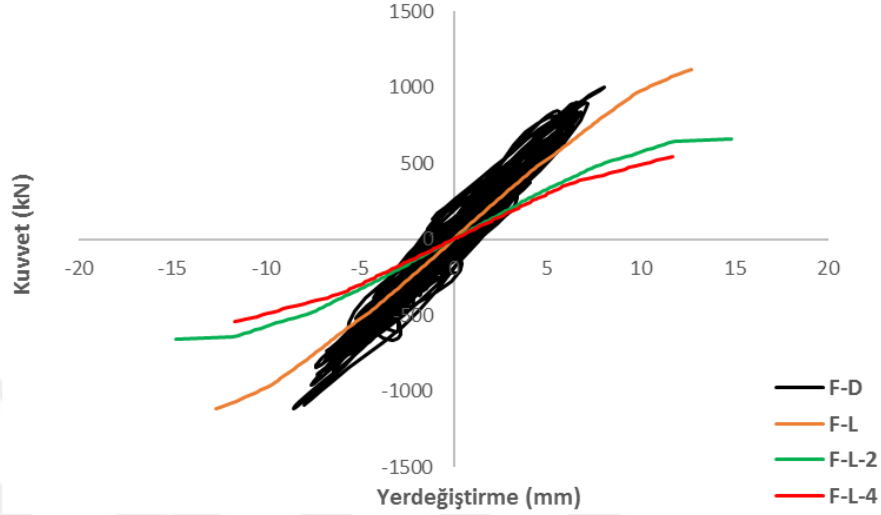
Şekil 4.279'de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 14,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 8,49 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3280 kN iken dinamik analizde 2012,6 kN'dur.



Şekil 4.279. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.280’de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.280. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.59’da verilmiştir.

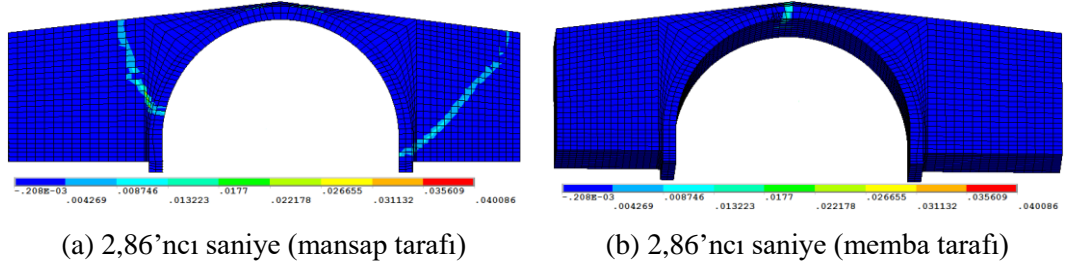
Çizelge 4.59. Şinik köprüsü için İzmit deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	8,53	1090
PY1 (L+2t)	12,7	1118
PY2 ((L+2t)/2)	14,8	658
PY3 ((L+2t)/4)	11,7	545

4.6.5.4. Şinik köprüsü Loma-Prieta depremine ait dinamik analiz

En büyük yer değiştirme depremin 2,86’ncı saniyesinde gerçekleşmiştir. 2,86’ncı saniyede basınç gerilmelerinin yoğunlaşarak mansap tarafındaki kemer eğrisine doğru yayıldığı ve çatlakların oluştuğu görülmektedir. Bu saniyede 16,1 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 1184,4 kN’dur. 2,86’ncı saniyede analize ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.281’de yer almaktadır.

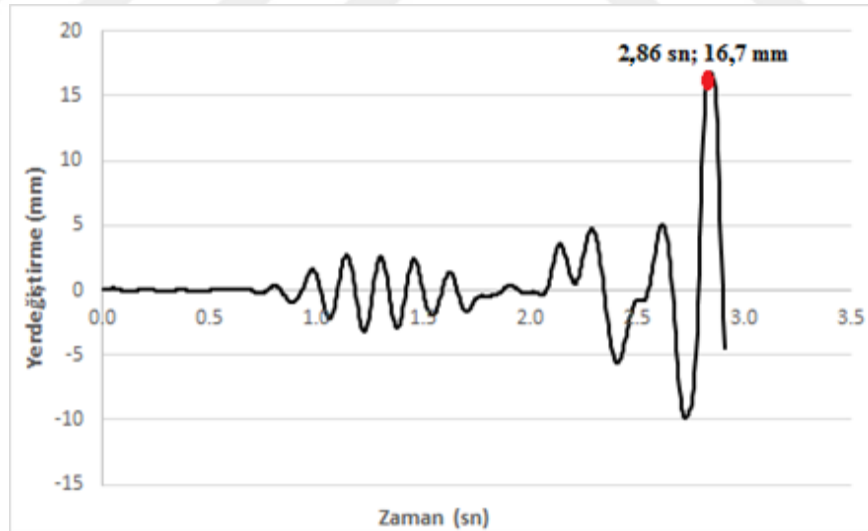
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.281. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 2,86'nci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

2,86'nci saniye incelendiğinde kemer eğrisinden başlayarak çapraz olarak destek bölgesine uzanan çatlak yayılımı oluşmaktadır.

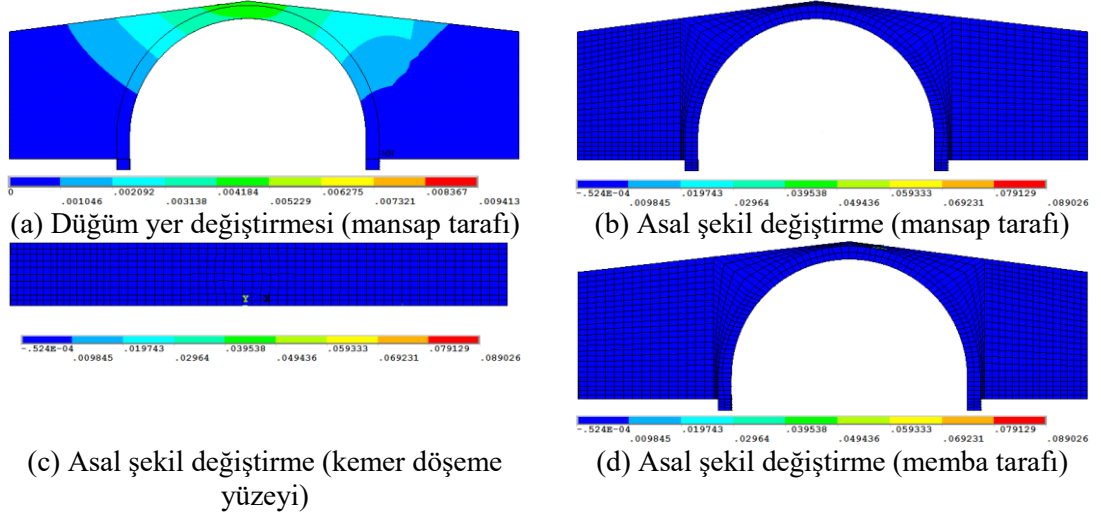
Zaman tanım alanında gerçekleştiren analiz yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için 2,91'inci saniyede sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.282'de incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin 2,86'nci saniyede meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.282. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin 2,91'inci saniyesinde 4,44 mm yer değiştirmeye karşılık 343,8 kN kuvvet elde edilmiştir. Asal şekil değiştirmeler Şekil 4.283'de yer almaktadır.

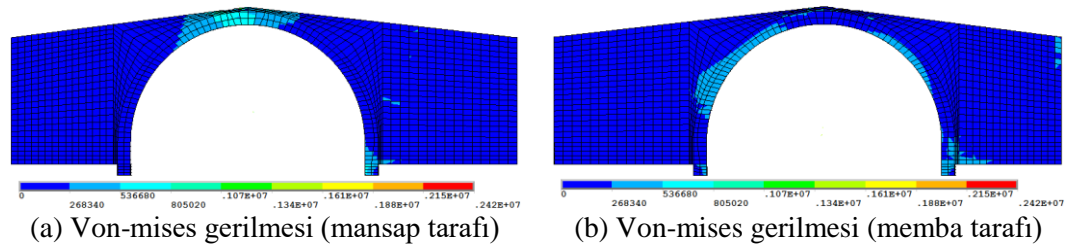
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.283. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizin 2,91'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir.

En çok zorlanan düğüm noktalarından biri kemer döşeme yüzeyinde yer alan 4699 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 8,902 kPa olarak belirlenmiştir. 2,91'inci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.284'de verilmiştir.



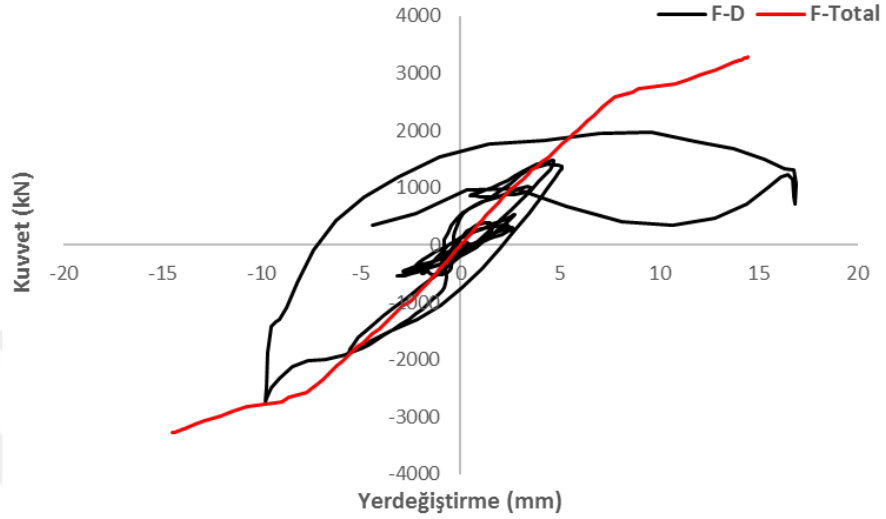
Şekil 4.284. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında 2,91'inci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilme grafiğinde, gerilmelerin kemer eğrisinin tepe kısmından başlayarak kemer eğrisi boyunca yayıldığı görülmektedir.

Şekil 4.285'de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri

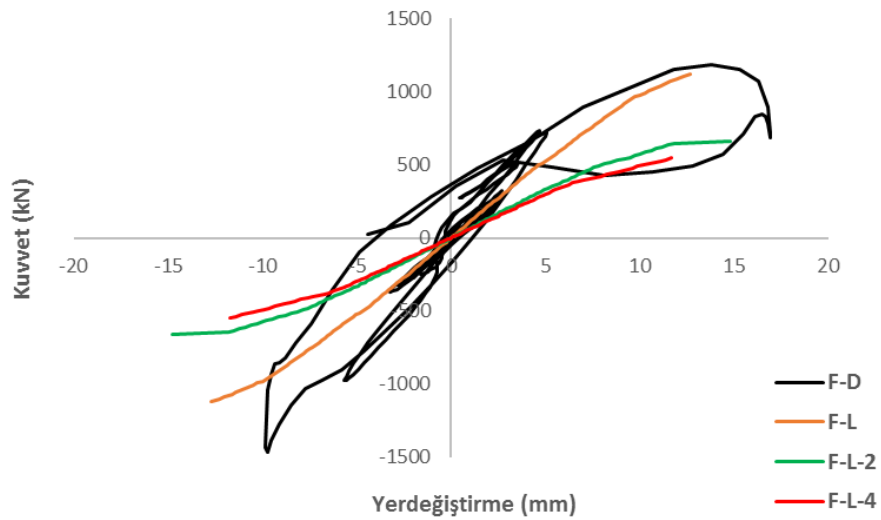
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 14,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 8,49 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3280 kN iken dinamik analizde 2012,6 kN'dur.



Şekil 4.285. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.286'da sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.286. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

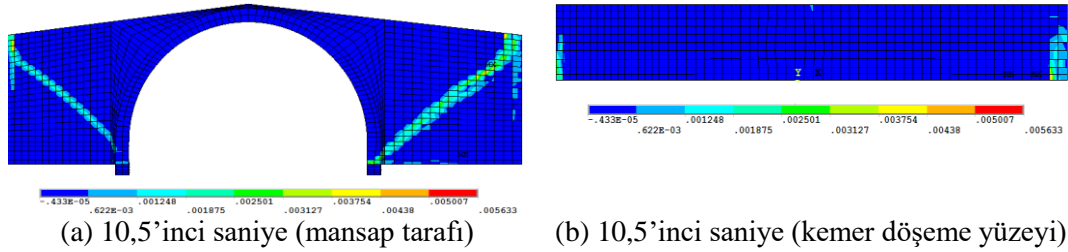
Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.60’da verilmiştir.

Çizelge 4.60. Şinik köprüsü için Loma-Prieta deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	16,9	1439
PY1 (L+2t)	12,7	1118
PY2 ((L+2t)/2)	14,8	658
PY3 ((L+2t)/4)	11,7	545

4.6.5.5. Şinik köprüsü Kobe depremine ait dinamik analiz

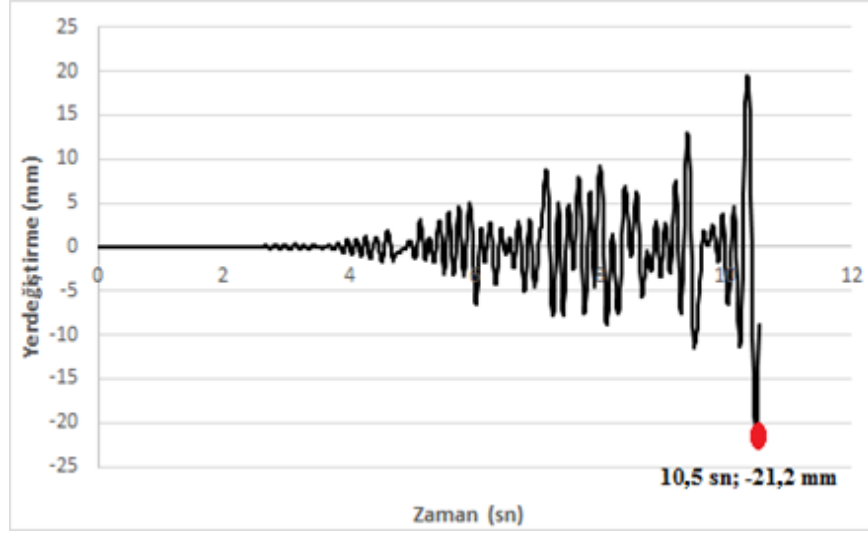
En büyük yer değiştirme depremin 10,5’inci saniyesinde gerçekleşmiştir. 10,5’inci saniyede basınç gerilmelerinin yoğunlaşarak mansap tarafındaki kemer eğrisine doğru yayıldığı ve çatlakların oluştuğu görülmektedir. Bu saniyede 19,5 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 1008,4 kN’dur. 10,5’inci saniyede analize ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.287’de yer almaktadır.



Şekil 4.287. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydında 10,5’inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

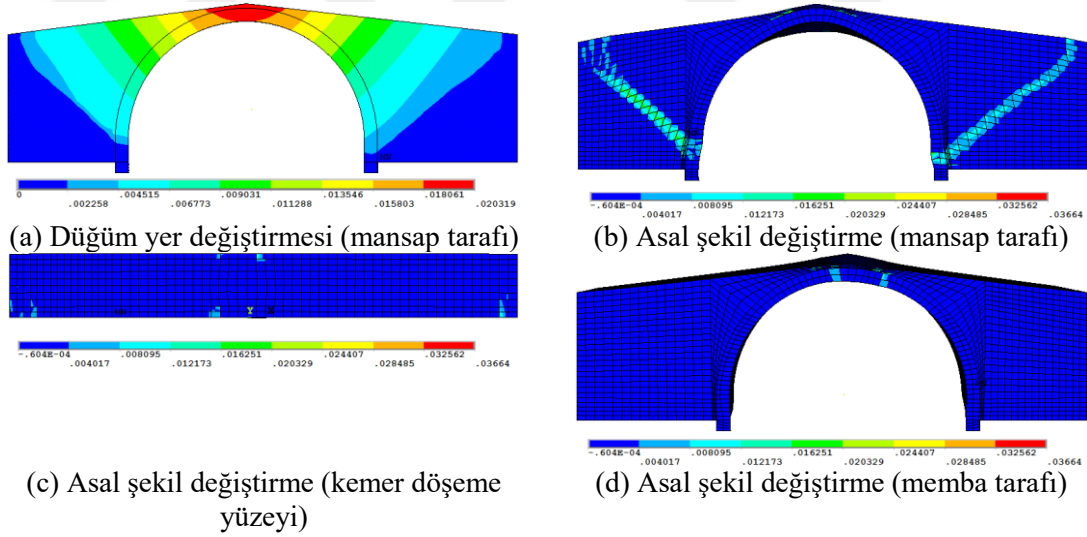
Zaman tanım alanında gerçekleştiren analiz yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için 10,53’üncü saniyede sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.288’de incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin 10,5’inci saniyede oluştuğu görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.288. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin 10,53'üncü saniyesinde 8,75 mm yer değiştirmeye karşılık 774,8 kN kuvvet elde edilmiştir. Asal şekil değiştirmeler Şekil 4.289'da yer almaktadır.

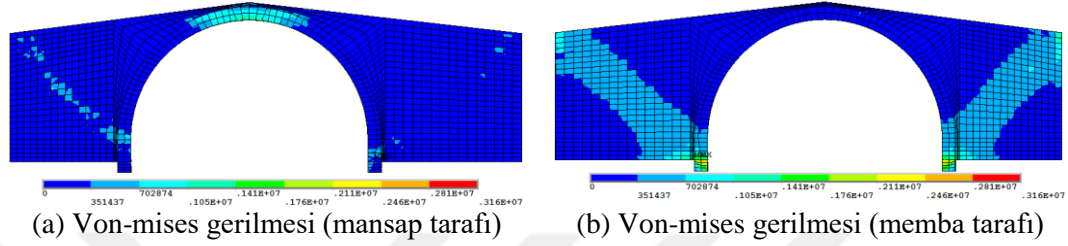


Şekil 4.289. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydında 10,53'üncü saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir. Mansap tarafında kemer eğrisinin her iki ucunda genişleyerek destek bölgesine doğru uzanan çatlak dizini oluşmuştur. Memba tarafında ise kemer üst bölgesinde ezilmeler oluşmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

10,53'üncü saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmelerinin, taşın çekme dayanımını aştığı belirlenmiştir. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri temel kayasında yer alan 2730 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 3,664 kPa olarak belirlenmiştir. 10,53'üncü saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.290'de verilmiştir.

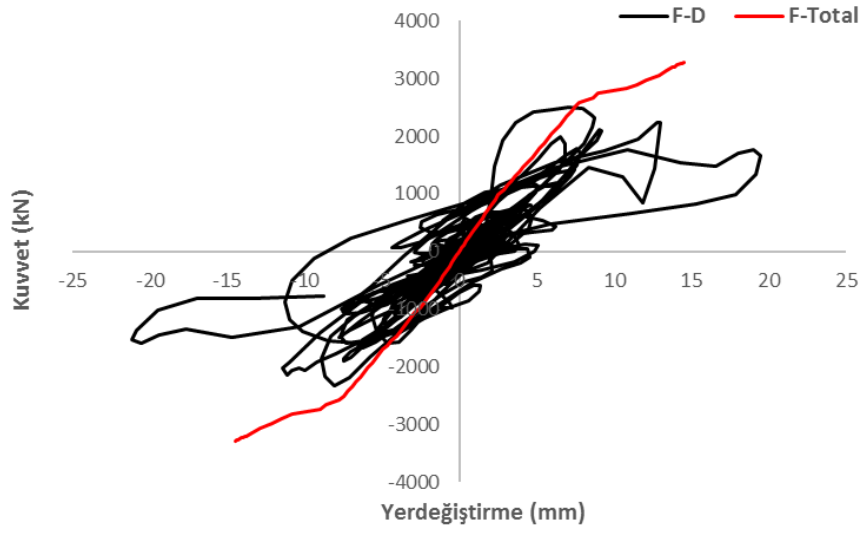


Şekil 4.290. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydında 10,53'üncü saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilmesinde köprüün mansap tarafında gerilmelerin kemer eğrisinin üst bölgesinde ve batı tarafında kemer ucundan başlayarak destek bölgesine kadar yayılan gerilme dizini olduğu görülmektedir. Memba tarafında ise kemer eğrisinin her iki ucundan başlayarak destek bölgesine doğru çapraz şekilde yayılan gerilme dizininin olduğu görülmektedir.

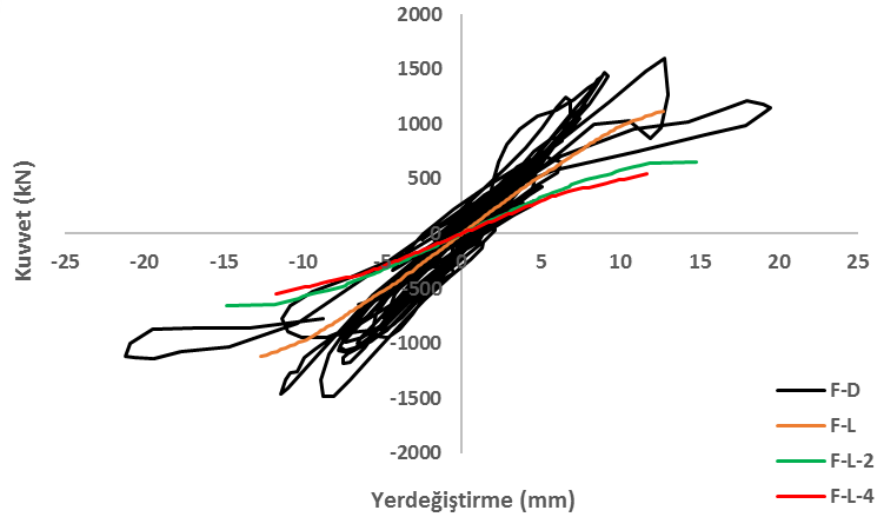
Şekil 4.291'de köprüün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprüün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 14,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 21,2 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3280 kN iken dinamik analizde 2500 kN'dur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.291. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.292'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.292. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.61'de verilmiştir.

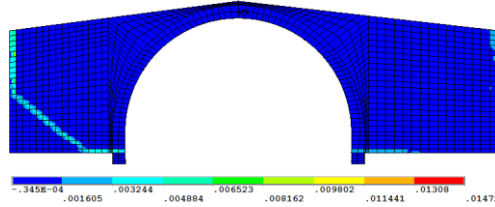
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.61. Şinik köprüsü için Kobe deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	21,2	1570
PY1 (L+2t)	12,7	1118
PY2 ((L+2t)/2)	14,8	658
PY3 ((L+2t)/4)	11,7	545

4.6.5.6. Şinik köprüsü Rudbar-İran depremine ait dinamik analiz

Analizin 5,9'uncu saniyesinde köprünün mansap tarafının batı bölümünde kemer eğrisinin uç tarafından başlayarak destek bölgesine doğru çapraz doğrultuda yayılan çatlak dizini oluşmuştur. Doğu tarafında ise kemer eğrisinin uç bölümünde başlayarak destek bölgesine doğru uzanan çatlak dizini oluşmuştur. 10 mm yer değiştirmeye karşılık 1669,3 kN kuvvet elde edilmiştir. 5,9'uncu saniyeye ait asal şekil değiştirme Şekil 4.293'de verilmiştir.

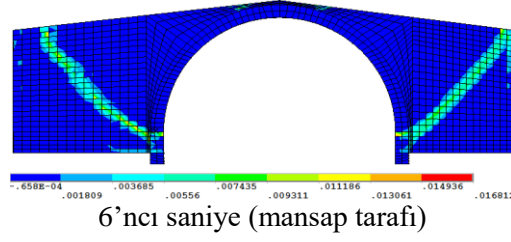


5,9'uncu saniye (mansap tarafı)

Şekil 4.293. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 5,9'uncu saniyeye ait asal şekil değiştirme

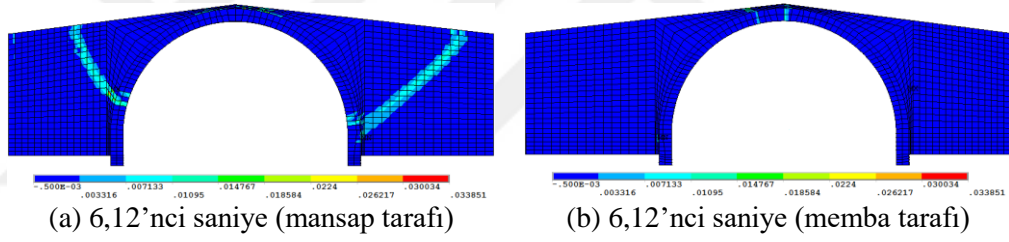
Analizin ilerlemesiyle 6'ncı saniyede mansap tarafında kemer eğrisinin ucundan başlayarak çapraz doğrultuda genişleyerek yayılan çatlak dizini oluşmuştur. 17,5 mm yer değiştirmeye karşılık 1009,4 kN kuvvet elde edilmiştir. 6'ncı saniyeye ait asal şekil değiştirme Şekil 4.294'de verilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.294. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 6'ncı saniyeye ait asal şekil değiştirme

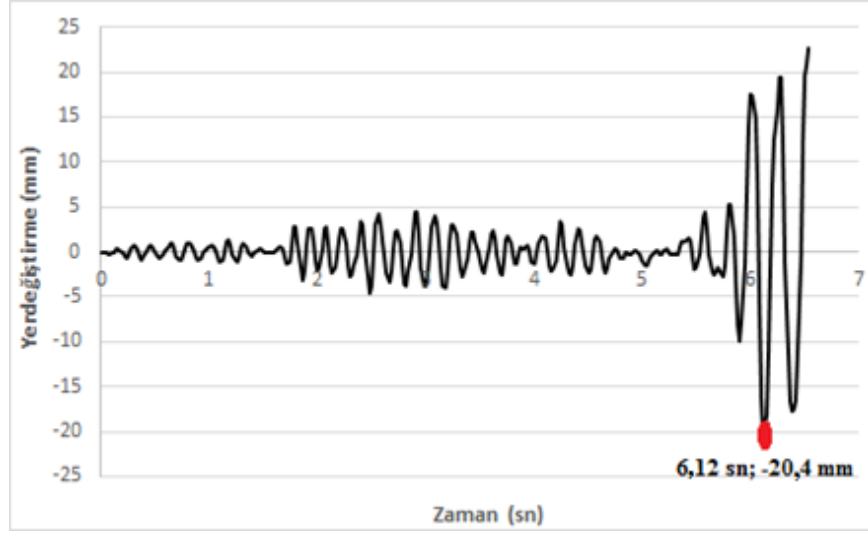
En büyük yer değiştirme depremin 6,12'nci saniyesinde gerçekleşmiştir. 6,12'nci saniyede basınç gerilmelerinin yoğunlaşarak mansap tarafındaki kemer eğrisine doğru yayıldığı ve çatlakların oluştuğu görülmektedir. Bu saniyede 20,4 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 233,7 kN'dur. 6,12'nci saniyede analize ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.295'de yer almaktadır.



Şekil 4.295. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 6,12'nci saniyeye ait asal şekil değiştirme

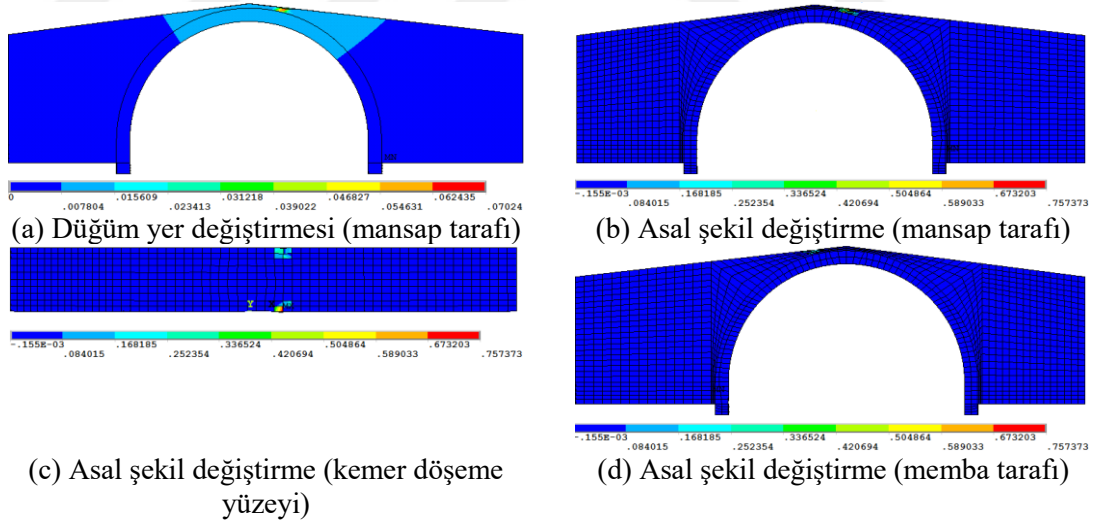
Zaman tanım alanında gerçekleştiren analiz yakınsama işlemi gerçekleştirilemediği için 6,54'üncü saniyede sonlandırılmıştır. Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.296'da incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin 6,12'inci saniyede meydana geldiği görülmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.296. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Analizin 6,54'üncü saniyesinde 22,6 mm yer değiştirmeye karşılık 975 kN kuvvet elde edilmiştir. Asal şekil değiştirmeler Şekil 4.297'de yer almaktadır.

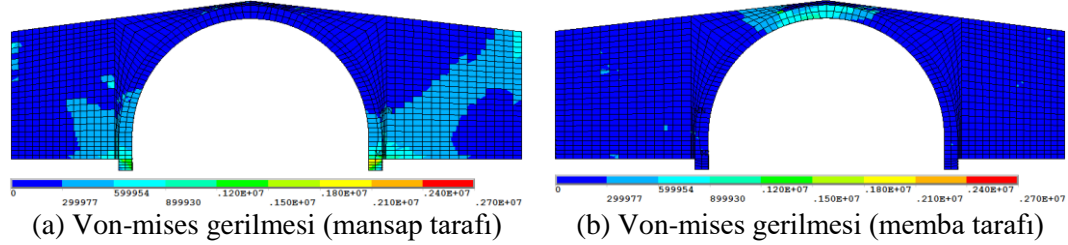


Şekil 4.297. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizin 6,54'üncü saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Köprü döşeme yüzeyinde ezilme ve ayrışmalar oluşmuştur. 6,54'üncü saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmelerinin, taşın çekme dayanımını aştığı belirlenmiştir. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri köprü döşeme yüzeyinde yer alan 76 nolu düğüm

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

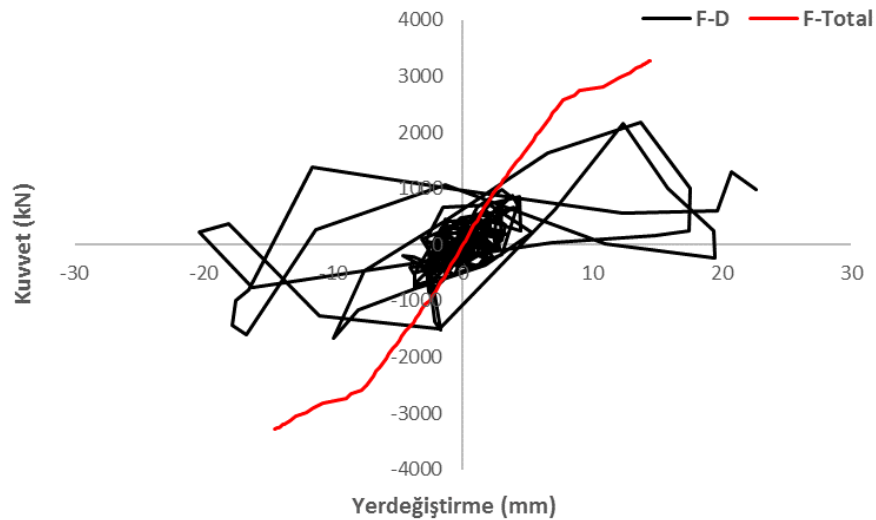
noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 25,737 kPa olarak belirlenmiştir. 6,54'üncü saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.298'de verilmiştir.



Şekil 4.298. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında 6,54'üncü saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilmesinde köprüün mansap tarafında gerilmelerin kemer eğrisinin üst bölgesinde ve batı tarafında kemer ucundan başlayarak destek bölgesine kadar yayılan gerilme dizini oluştuğu görülmektedir.

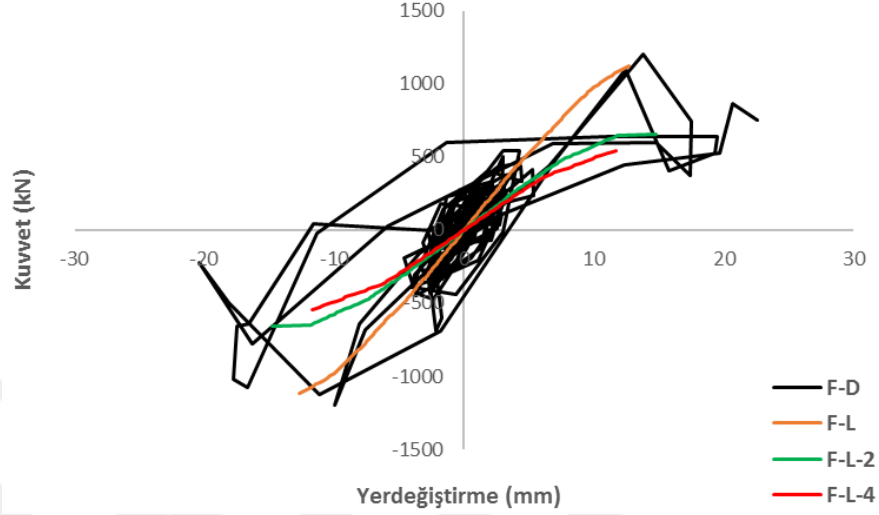
Şekil 4.299'da köprüün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprüün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 14,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 22,6 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3280 kN iken dinamik analizde 2185 kN'dur.



Şekil 4.299. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yükleme ve deprem yükünün uygulanması

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Şekil 4.300'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.300. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.62'de verilmiştir.

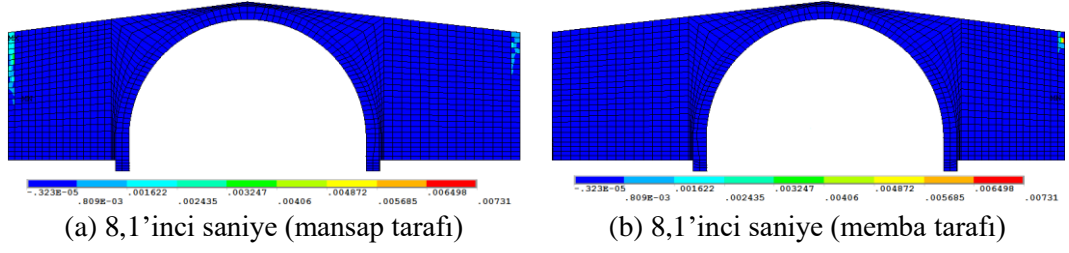
Çizelge 4.62. Şinik köprüsü için Rudbar-İran deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	22,6	1182
PY1 (L+2t)	12,7	1118
PY2 ((L+2t)/2)	14,8	658
PY3 ((L+2t)/4)	11,7	545

4.6.5.7. Şinik köprüsü Hector-Mine depremine ait dinamik analiz

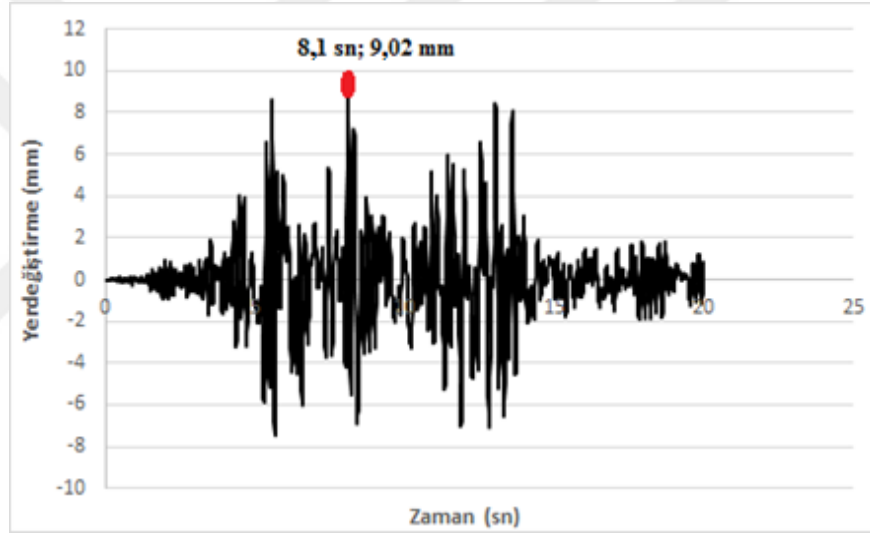
En büyük yer değiştirme depremin 8,1'inci saniyesinde gerçekleşmiştir. 8,1'inci saniyede basınç gerilmelerinin yoğunlaşarak mansap tarafındaki kemer eğrisine doğru yayıldığı ve çatlakların oluştuğu görülmektedir. Bu saniyede 9,02 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 1656,6 kN'dur. 8,1'inci saniyede analize ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.301'de yer almaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.301. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 8,1'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

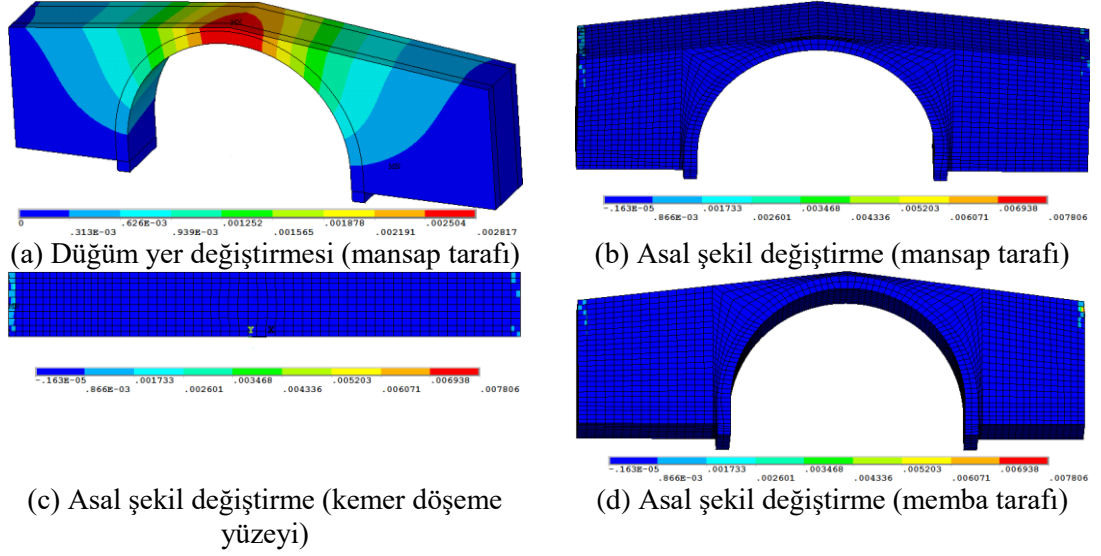
Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.302'de incelendiğinde en büyük yer değiştirme 8,1'inci saniyede gerçekleşmiştir.



Şekil 4.302. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Zaman tanım alanında gerçekleştiren analiz 20'nci saniyede sonlandırılmıştır. Analizin 20'nci saniyesinde 0,87 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 117,4 kN'dur. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.303'de yer almaktadır.

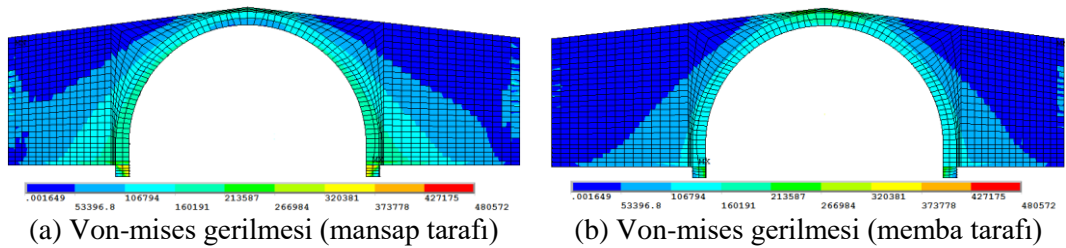
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.303. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizinin 20'nci saniyesine ait asal şekil değiştirmeler

Düğüm yer değiştirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir. Köprünün taşıyıcı elemanları hasar görmemiştir.

20'nci saniyede çoğu düğüm noktasında çekme gerilmelerinin, taşın çekme dayanımını aştığı belirlenmiştir. En çok zorlanan düğüm noktalarından biri köprü döşeme yüzeyinde yer alan 6206 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,780 kPa olarak belirlenmiştir. 20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.304'de verilmiştir.



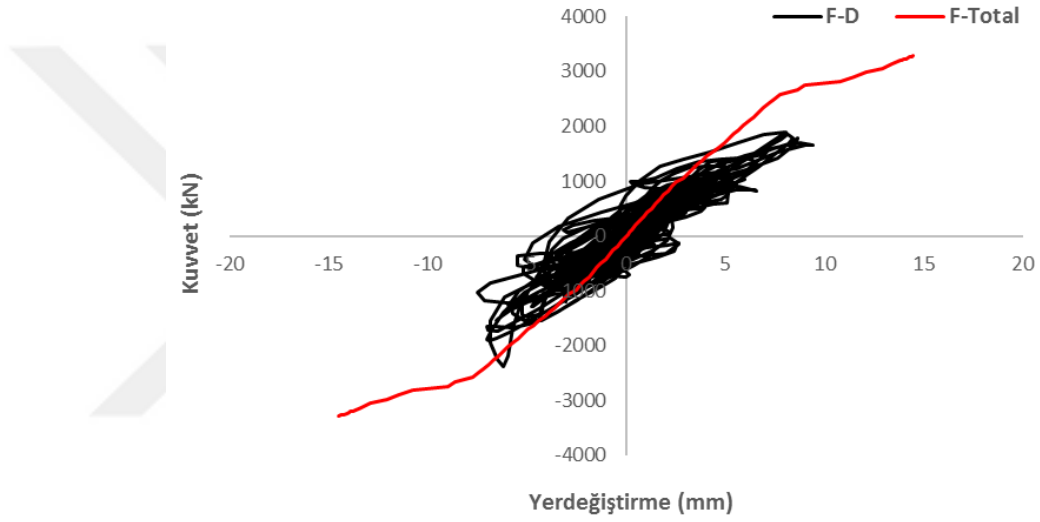
Şekil 4.304. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilmesinde köprünün hem mansap hem de memba tarafında gerilmelerin kemer eğrisinin üst bölgesinde başlayarak kemer eğrisinin uçlarına doğru yayılan ve

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

sonrasında ise destek bölgesine doğru genişleyerek yayılan gerilme dizini oluşturduğu görülmektedir.

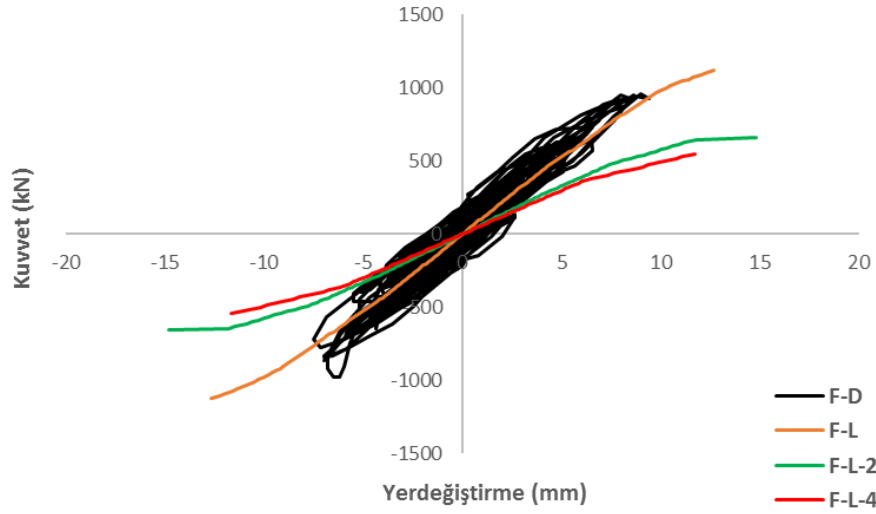
Şekil 4.305’de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 14,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 9,02 mm’dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3280 kN iken dinamik analizde 2260 kN’dur.



Şekil 4.305. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Şekil 4.306’da sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.306. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.63’de verilmiştir.

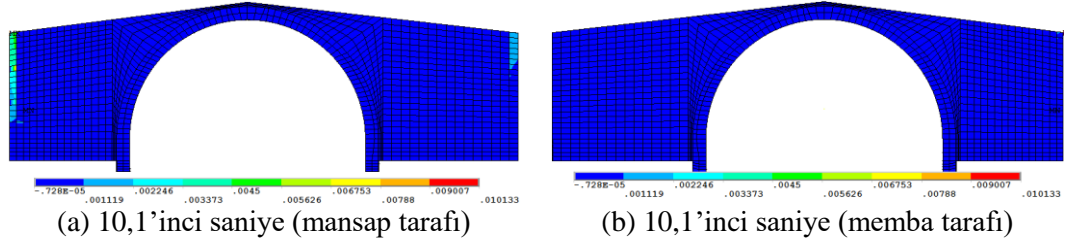
Çizelge 4.63. Şinik köprüsü için Hector-Mine deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	9,21	960
PY1 (L+2t)	12,7	1118
PY2 ((L+2t)/2)	14,8	658
PY3 ((L+2t)/4)	11,7	545

4.6.5.8. Şinik köprüsü Yarımcı depremine ait dinamik analiz

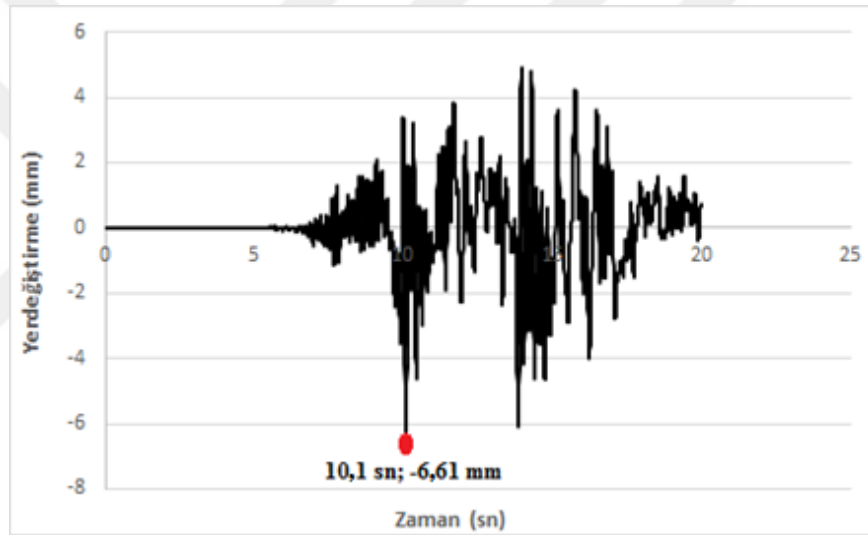
En büyük yer değiştirme depremin 10,1’inci saniyesinde gerçekleşmiştir. 10,1’inci saniyede basınç gerilmelerinin yoğunlaşarak mansap tarafındaki kemer eğrisine doğru yayıldığı ve çatlakların oluştuğu görülmektedir. Bu saniyede 6,54 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 1510 kN’dur. 10,1’inci saniyede analize ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.307’de yer almaktadır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.307. Şinik köprüsü için Yarımcı deprem kaydında 10,1'inci saniyeye ait asal şekil değiştirmeler

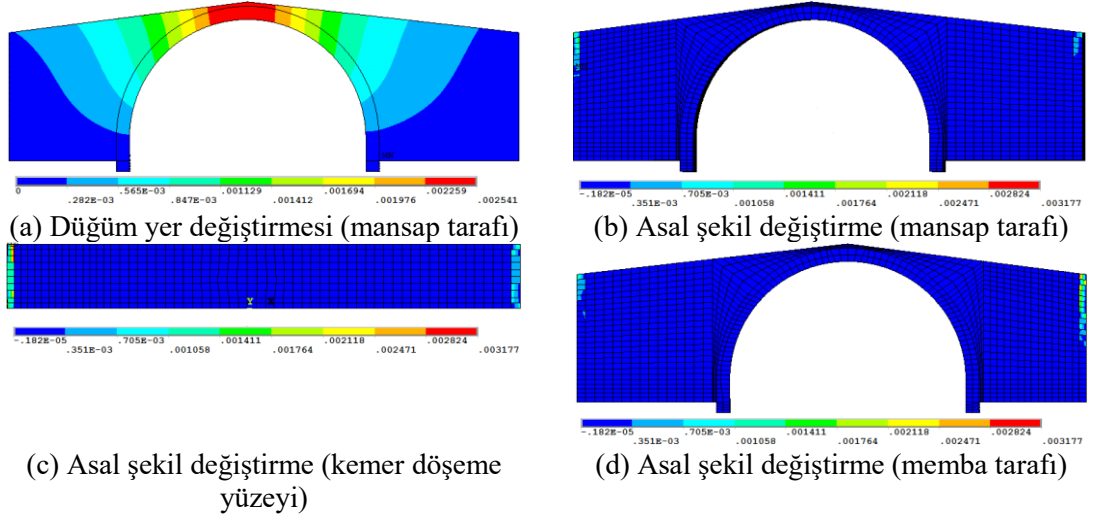
Analizin yer değiştirme-zaman grafiği Şekil 4.308'de incelendiğinde en büyük yer değiştirmenin 10,1'inci saniyede olduğu görülmektedir.



Şekil 4.308. Şinik köprüsü için Yarımcı deprem kaydı kullanılarak elde edilen kemer ortasındaki yatay yönde yer değiştirme-zaman grafiği

Zaman tanım alanında gerçekleştiren analiz 20'nci saniyede sonlandırılmıştır. Analizin 20'nci saniyesinde 0,87 mm yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvet 117,4 kN'dur. Yapıya ait asal şekil değiştirmeler Şekil 4.309'da yer almaktadır.

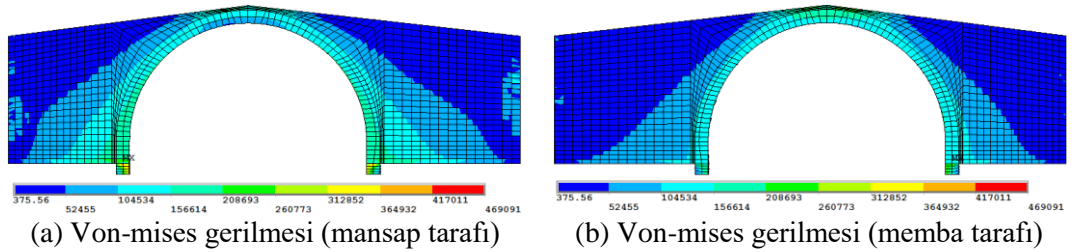
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.309. Şinik köprüsü için Yarımcı deprem kaydında analizin 20'nci saniyesine ait asal şekil değişirmeler

Düğüm yer değişirme grafiği incelendiği zaman en çok zorlanan bölgenin kemer üst bölgesi olduğu görülmektedir. Köprünün taşıyıcı elemanları hasar görmemiştir.

En çok zorlanan düğüm noktalarından biri köprü üzengi taşında yer alan 4162 nolu düğüm noktasıdır. En büyük çekme gerilmesi 0,317 kPa olarak belirlenmiştir. 20'nci saniyede köprüde meydana gelen Von-mises gerilmeleri Şekil 4.310'da verilmiştir.

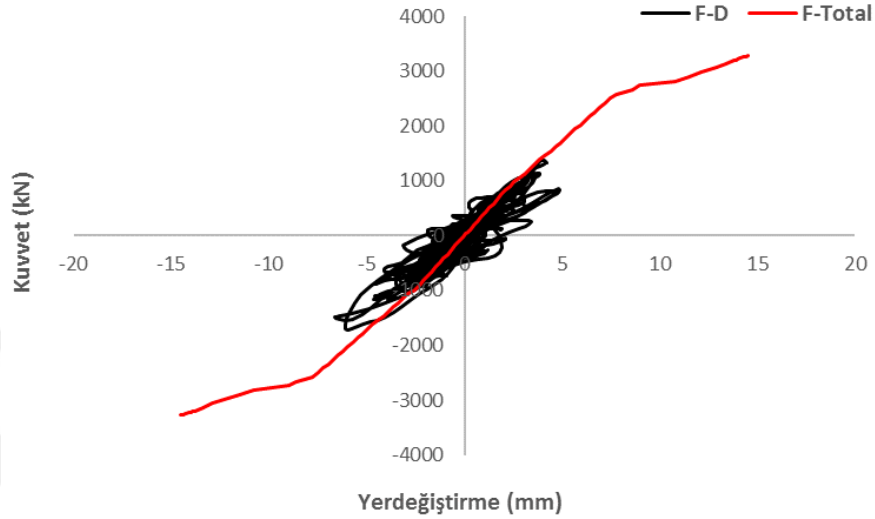


Şekil 4.310. Şinik köprüsü için Yarımcı deprem kaydında 20'nci saniyeye ait Von-mises gerilme durumu

Von-mises gerilmesinde köprünün hem mansap hem de memba tarafında gerilmelerin kemer eğrisinin üst bölgesinde başlayarak kemer eğrisinin uçlarına doğru yayılan ve sonrasında ise destek bölgesine doğru genişleyerek yayılan gerilme dizini olduğu görülmektedir. Şekil 4.311'de köprünün toplam uzunluğu boyunca yükleme yapılmış olup köprünün yatay yönde kapasite eğrisi ve deprem kuvvetlerinden elde edilen

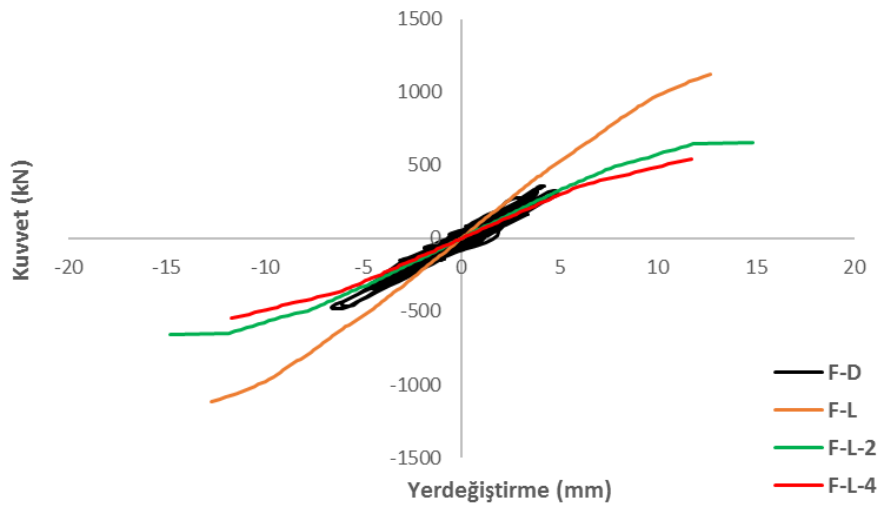
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

histeretik eğri verilmiştir. İtme analizinden elde edilen en büyük yatay yer değiştirme 14,5 mm iken dinamik analizden elde edilen yer değiştirme 6,61 mm'dir. Maksimum kuvvetler ise itme analizinde 3280 kN iken dinamik analizde 1382 kN'dur.



Şekil 4.311. Şinik köprüsü için Yarımca deprem kaydında toplam kemer uzunluğu boyunca yatay yüklemeye ve deprem yükünün uygulanması

Şekil 4.312'de sadece kemer ana gövdesi ele alınarak elde edilen dinamik analiz eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 4.312. Şinik köprüsü için Yarımca deprem kaydında kemer ana gövdesinde, L, L/2 ve L/4 açıklıklarına ait itme analiz eğrileri ve dinamik analiz eğrisi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Analizlerden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.64’de verilmiştir.

Çizelge 4.64. Şinik köprüsü için Yarımcı deprem kaydında analizden elde edilen en büyük kuvvet ve yer değiştirme

Analiz adı	Maksimum yer değiştirme (mm)	Maksimum kuvvet (kN)
F-D (Dinamik analiz)	6,46	475
PY1 (L+2t)	12,7	1118
PY2 ((L+2t)/2)	14,8	658
PY3 ((L+2t)/4)	11,7	545

4.6.6. Dinamik analiz sonuçlarının değerlendirilmesi

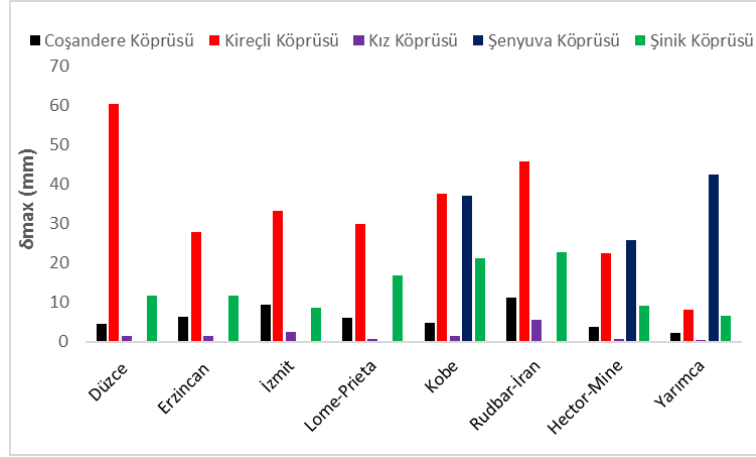
Makro modelleme yaklaşımı ile köprülerin üç boyutlu sonlu elemanlar modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerin sismik tepkileri için doğrusal olmayan dinamik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem, köprüde meydana gelebilecek ilk hasarın potansiyel yerlerini belirlemek için bir seçenek olarak görülebilir.

Dinamik analizlerden elde edilen sonuçlara göre köprülerde oluşacak hasar mekanizmaları, yapılacak olan güçlendirme projelerine ön bilgi sağlayabilir.

Köprülerin dinamik analizlerinden elde edilen en büyük yer değiştirme değerleri ve Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak elde edilen en büyük yer değiştirme değerleri karşılaştırıldığında yöntemin köprülerin geometrik özelliklerine bağlı olarak farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Genel olarak performans noktaları eksenin üst bölgesinde toplanmıştır. Rudbar-İran ve İzmit depremlerinde performans noktaları ekseninde uzaklaşmaktadır.

Genel olarak ise itme analizlerinden elde edilen yer değiştirme miktarı, dinamik analizlerden elde edilen yer değiştirme miktarlarından büyük çıkmıştır. Dinamik analizlerden elde edilen en büyük yer değiştirme miktarları, Kireçli köprüsünde ve Şinik köprüsünde bazı ivme kayıtları için, aynı köprülere uygulanan itme analizlerinden elde edilen en büyük yer değiştirme miktarından büyük çıkmıştır (Şekil 4.313). Bunun nedeni ise köprülerin geometrik özelliklerine bağlı olarak, deprem yüklerinin köprünün toplam uzunluğu boyunca yüklenmesi, yatay itme analizinde ise yatay yüklerin köprünün ana gövde uzunluğu boyunca yüklenmesidir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.313. Dinamik analizlerden elde edilen en büyük yer değiştirmelerin karşılaştırılması

Dinamik analizlerden elde edilen en büyük yer değiştirme Kireçli ve Şenyuva köprülerinde meydana gelmiştir.

Dinamik analizlerden elde edilen hasar mekanizmalarında köprülerin geometrik özelliklerine bağlı olarak farklıklar gözlemlenmiştir. Coşandere köprüsünde genel olarak çatlak ve ezilmelerin destek bölgesinden başlayarak kemerin üzengi taşına doğru yayıldığı gözlemlenmiştir. Kız köprüsünde kırılma mekanizması Coşandere köprüsüyle benzerlik göstermiş olup, çatlak dizini destek bölgesinden başlayıp kemer üzengi taşına kadar yayılmıştır.

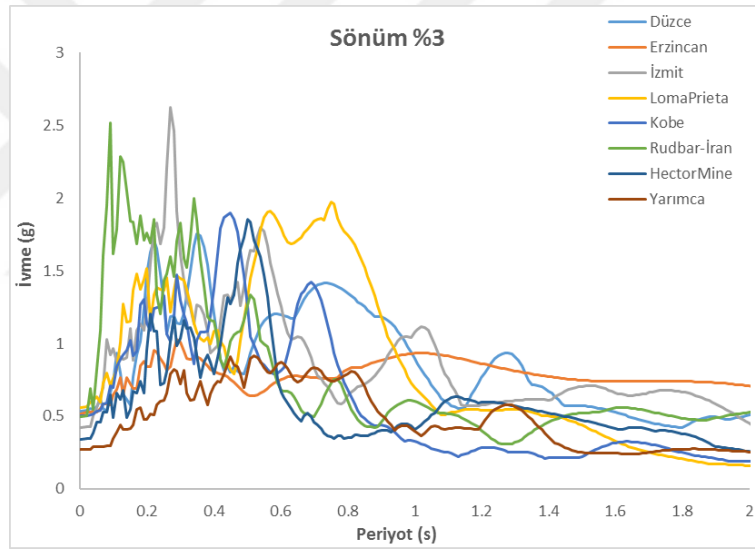
Kireçli köprüsünde ise çatlak ve ezilmelerin döşeme üst yüzeyinde yoğunlaştığı ve destek bölgelerden başlayıp kemer yayına doğru her iki taraftan başlayıp ilerleyen çatlak dizinin oluştuğu gözlemlenmiştir. Şinik köprüsünde deprem yükleri altında göstermiş olduğu hasar mekanizması Kireçli köprüsüyle benzer özellik göstermektedir. Şenyuva köprüsünde ise kemer üst bölgesinin deprem yükleri altında zayıf kaldığı, hasar mekanizmasının ise diğer köprülerle benzer şekilde destek bölgesinden başlayarak kemer yayına doğru ilerleyen çatlak dizininden meydana geldiği söylenebilir.

4.7. Performans Noktasının Belirlenmesi

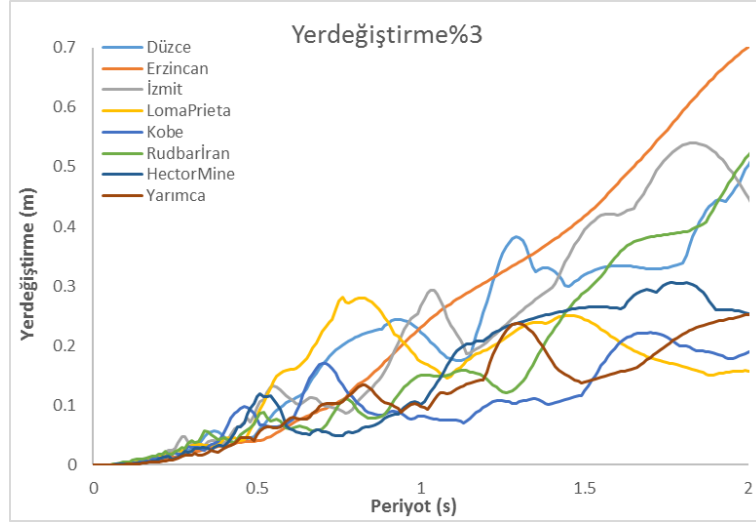
Yapı performanslarının belirlenebilmesi için performansa bağlı analiz yöntemlerinin deprem yaşanmadan önce yapılması, olası bir depremin yaşanması halinde meydana gelecek zararı minimize etmede yararlı olacaktır. Geçmişte meydana gelen depremlerin

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

sonucu bu durumun ne kadar önemli olduğu bizlere göstermektedir. Performansa bağlı analiz yöntemlerinden biri olan ve yaygın olarak kullanılan Kapasite Spektrum Yöntemidir. Kapasite Spektrum Yönteminin detayları ATC 40’da verilmiştir. Yöntem ilk olarak doğrusal olmayan itme analizlerini içerir. İtme analizleri yapının yatay kuvvet dayanımını belirleyebilmek için gereklidir. Yatay kuvvet dayanımı da temel olarak kuvvet-yer değiştirme ilişkisine bağlıdır. Buradan elde edilen kapasite eğrileri kapasite spektrumlarına dönüştürülmektedir. Sonrasında ise Kapasite spektrumları ve talep spektrumları karşılaştırılarak performans noktası tahmini yapılabilmektedir (Kumbasar ve Celep 2004). Yöntemde kullanılan deprem yer hareketlerinin, %3 sönüm oranı ve ATC63 ‘te yer alan ölçeklendirme katsayıları kullanılarak elde edilen ivme-periyot ve yer değiştirme-periyot eğrileri Şekil 4.314 ve Şekil 4.315’de yer almaktadır.



Şekil 4.314. Deprem yer hareketlerinin %3 sönüm oranı ile ölçeklendirilmiş ivme-periyot eğrisi

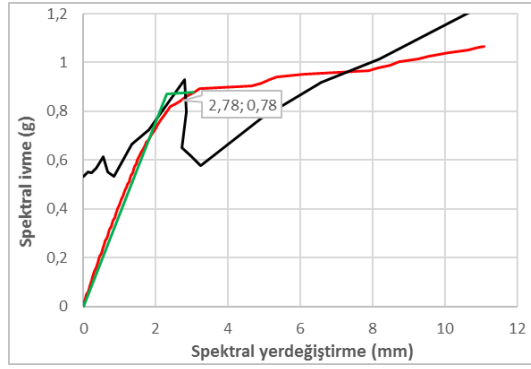


Şekil 4.315. Deprem yer hareketlerinin %3 sönüm oranı ile ölçeklendirilmiş yer değiştirme-periyot eğrisi

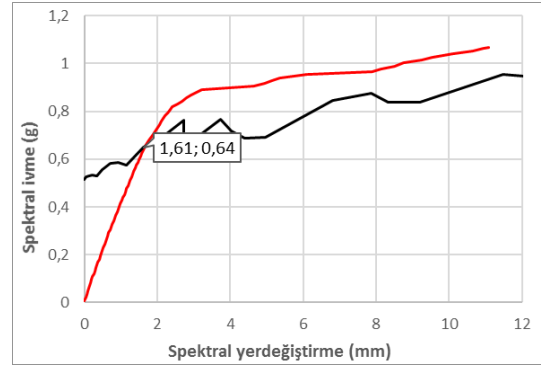
4.7.1. Coşandere köprüsünün performans noktasının belirlenmesi

Coşandere köprüsü için 8 adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak Coşandere köprüsünün farklı deprem kuvvetleri altında performans noktaları belirlenmiştir. Performans noktası belirlenirken yapılan yakınsama işlemi sonucunda en ideal noktalar tespit edilmiştir. Genel olarak efektif sönüm oranı düşürülürken yer değiştirmede azalmalar gözlenmiştir. Artırılırken ise paralel olarak yer değiştirme de artma gözlenmiştir. Efektif periyotun artırılması ile yer değiştirmede artmaların, azalmasıyla da yer değiştirmede azalmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca buna bağlı olarak ta performans noktasında artırma veya azaltma işlemine bağlı olarak kaymalar meydana gelmiştir. En ideal performans noktaları belirlenirken süneklik, rijitlik, efektif sönüm ve efektif periyot katsayıları dikkate alınarak belirlenmiştir. Coşandere köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları Şekil 4.316'da, performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler ise Çizelge 4.65'de gösterilmiştir.

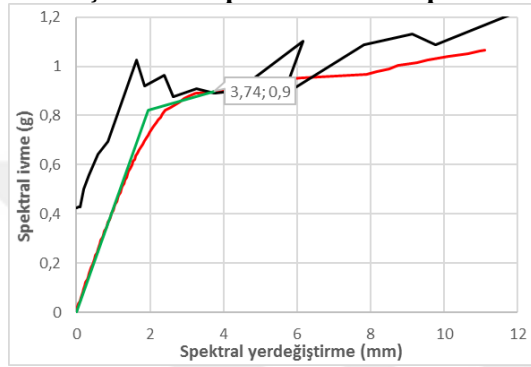
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



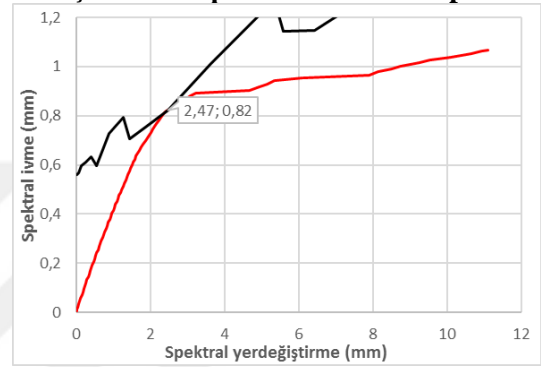
Coşandere köprüsü-Düzce Depremi



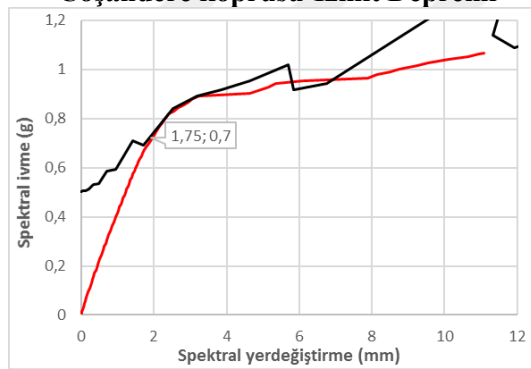
Coşandere köprüsü-Erzincan Depremi



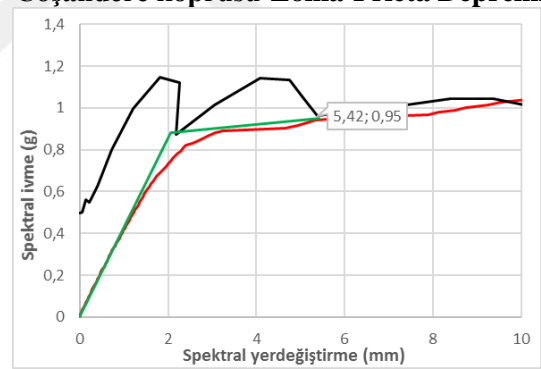
Coşandere köprüsü-İzmit Depremi



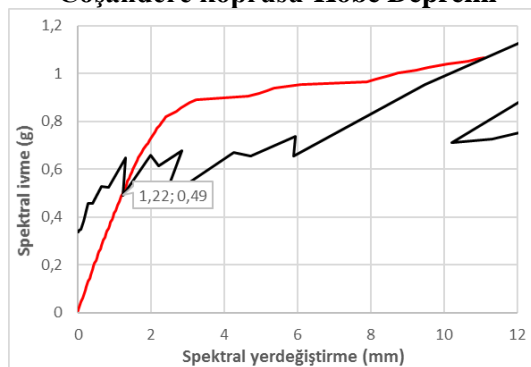
Coşandere köprüsü-Loma-Prieta Depremi



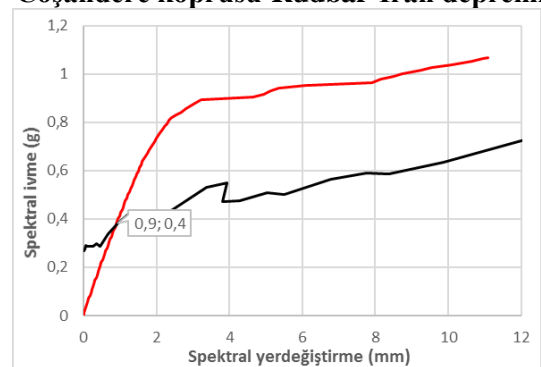
Coşandere köprüsü-Kobe Depremi



Coşandere köprüsü-Rudbar-İran depremi



Coşandere köprüsü-HectorMine Depremi



Coşandere köprüsü-Yarımca Depremi

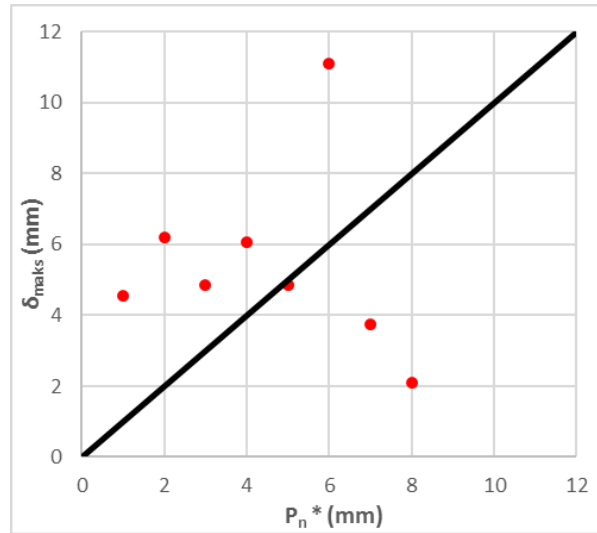
Şekil 4.316. Coşandere köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.65. Coşandere köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler

Deprem adı	Düzce	Erzincan	İzmit	Loma-Prieta	Kobe	Rudbar-İran	Hector-Mine	Yarımca
PFansys	639,66	639,66	639,66	639,66	639,66	639,66	639,66	639,66
ϕ_{tepe}	0,00313	0,00313	0,00313	0,00313	0,00313	0,00313	0,00313	0,00313
α_1	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343
M	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194	1194
B_o	3	3	3	3	3	3	3	3
T_o	0,103	0,094	0,098	0,094	0,094	0,097	0,094	0,094
μ	1,33	-	1,92	-	-	2,64	-	-
B_{eff1}	3,52	3,00	3,00	3,00	3,00	12,36	3,00	3,00
T_{eff1}	0,118	0,101	0,129	0,110	0,100	0,152	0,010	0,095
α	0,00	-	11,00	-	-	5,00	-	-
Alan	1,522	-	2,339	-	-	3,986	-	-
Δ_{maks}	2,78	1,61	3,74	2,47	1,75	5,42	1,22	0,90
P_n	2,78	1,61	3,74	2,47	1,75	5,42	1,22	0,90
δ_{maks}	4,55	6,20	4,85	6,07	4,85	11,10	3,74	2,10
(PFansys * ϕ_{tepe} * P_n) = P_n^*	5,56	3,20	7,48	4,95	3,50	10,85	2,44	1,80
a_y	0,88	-	0,82	-	-	0,88	-	-
a_{pi}	0,90	-	0,90	-	-	0,95	-	-
d_y	2,30	-	1,95	-	-	2,05	-	-
d_{pi}	3,05	-	3,74	-	-	5,42	-	-

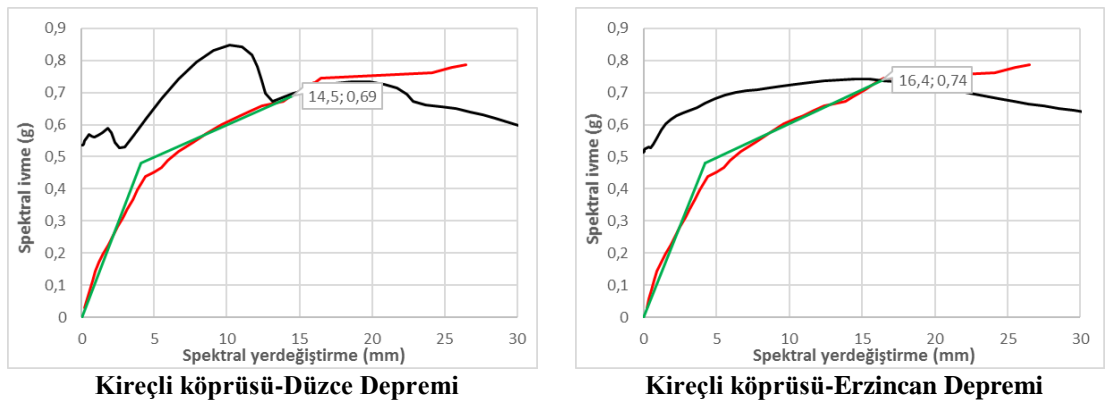
Dinamik analizlerden ve Kapasite spektrum analizlerinden elde edilen en büyük yer değiştirme miktarları Şekil 4.317'de verilmiştir.



Şekil 4.317. Coşandere köprüsü için elde edilen en büyük yer değiştirmelerin karşılaştırılması

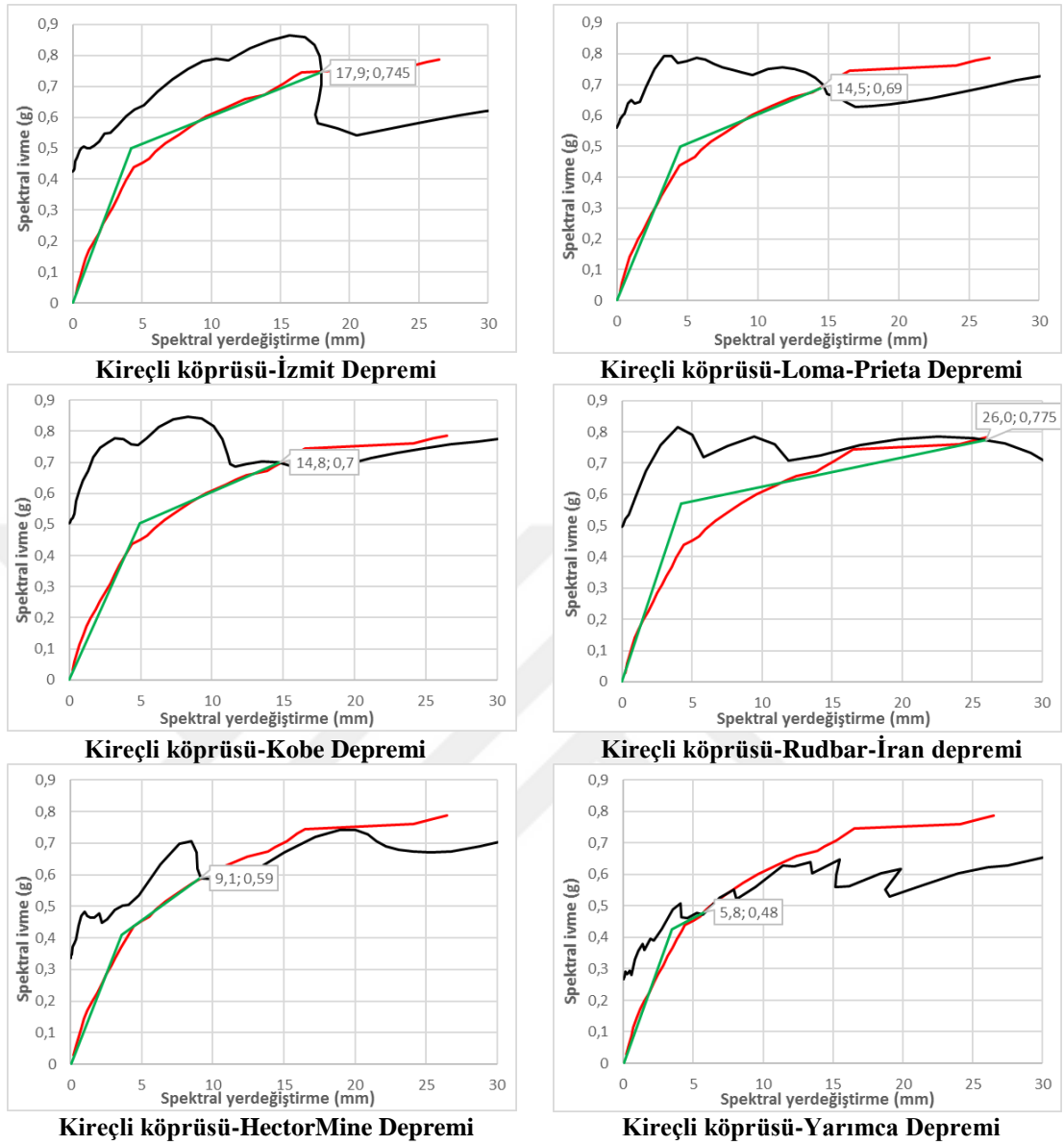
4.7.2. Kireçli köprüsünün performans noktasının belirlenmesi

Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak kireçli köprüsünün farklı deprem kuvvetleri altında kapasite ve talebin eşit olduğu performans noktaları belirlenmeye çalışılmıştır. İki eksenin deneme yöntemiyle karşılaştırılmasındaki dikkat edilmesi gereken hususlardan birincisi başlangıç eksenin mümkün olduğunca doğrusal kısımda olması, ikinci ise kapasite eğrisi üzerinde oluşturulan iki eksenin altında ve üstünde kalan alanların eşit olmasıdır. Kapasite spektrum yönteminde FEMA-356 prosedürleri dikkate alınmıştır. Performans noktasını belirlerken yaptığımız yakınsama işlemi sonucunda en ideal noktalar tespit edilmiştir. Genel olarak efektif sönüm oranı düşürülürken yer değiştirme de azalmalar gözlenmiştir. Artırılırken ise paralel olarak yer değiştirme de artma gözlenmiştir. Efektif periyodun artırılması ile yer değiştirme de artmaların, azalmasıyla da yer değiştirme de azalmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca buna bağlı olarak ta performans noktasında artırma veya azaltma işlemine bağlı olarak kaymalar meydana gelmiştir. En ideal performans noktaları belirlenirken süneklik, rijitlik, efektif sönüm ve efektif periyot katsayıları dikkate alınarak belirlenmiştir. Bu yapıda genel olarak μ 1,5-4 arasında değerler aldığı görülmüştür. Sönüm oranı yaklaşık olarak 10-20 arasında değişiklik göstermektedir. Bu da kullandığımız yöntemin yığma yapılar için uygun olduğunu göstermektedir. Kireçli köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları Şekil 4.318'de, performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler ise Çizelge 4.66'da gösterilmiştir.



Şekil 4.318. Kireçli köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



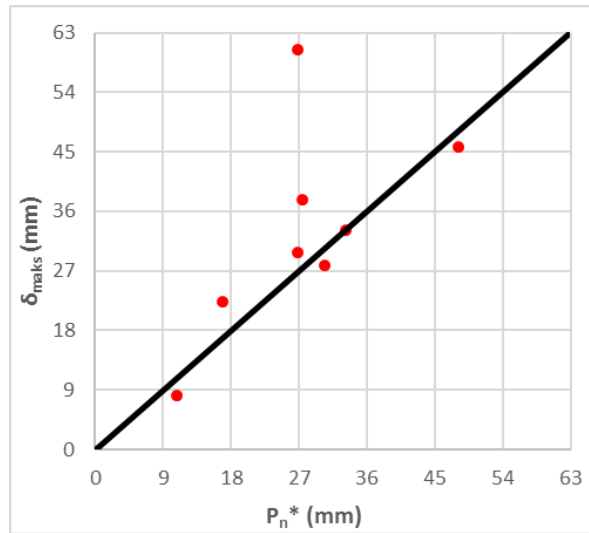
Şekil 4.318. Kireçli köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları (devam)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.66. Kireçli köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler

Deprem adı	Düzce	Erzincan	İzmit	Loma-Prieta	Kobe	Rudbar-İran	Hector-Mine	Yarımca
PFansys	759,85	759,85	759,85	759,85	759,85	759,85	759,85	759,85
ϕ_{tepe}	0,00244	0,00244	0,00244	0,00244	0,00244	0,00244	0,00244	0,00244
α_1	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143	0,143
M	4038	4038	4038	4038	4038	4038	4038	4038
B_o	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
T_0	0,185	0,188	0,183	0,190	0,198	0,172	0,187	0,182
μ	3,54	3,90	4,28	3,22	3,02	6,19	2,56	1,66
B_{eff1}	17,56	17,66	17,65	15,25	13,77	22,16	10,42	4,70
T_{eff1}	0,291	0,299	0,311	0,291	0,292	0,367	0,249	0,221
α	17,00	19,00	15,00	17,00	19,00	7,00	28,00	20,00
Alan	7,068	8,450	9,586	7,075	7,202	15,858	3,503	1,785
Δ_{maks}	14,50	16,40	17,90	14,50	14,80	26,00	9,10	5,80
P_n	14,50	16,40	17,90	14,50	14,80	26,00	9,10	5,80
δ_{maks}	60,5	27,9	33,2	29,8	37,7	45,7	22,4	8,09
$(PFansys * \phi_{tepe} * P_n) = P_n^*$	26,9	30,4	33,2	26,9	27,4	48,2	16,9	10,8
a_y	0,480	0,480	0,500	0,500	0,505	0,570	0,410	0,425
a_{pi}	0,690	0,740	0,745	0,690	0,700	0,775	0,590	0,480
d_y	4,10	4,20	4,18	4,50	4,90	4,20	3,55	3,50
d_{pi}	14,50	16,40	17,90	14,50	14,80	26,00	9,10	5,80

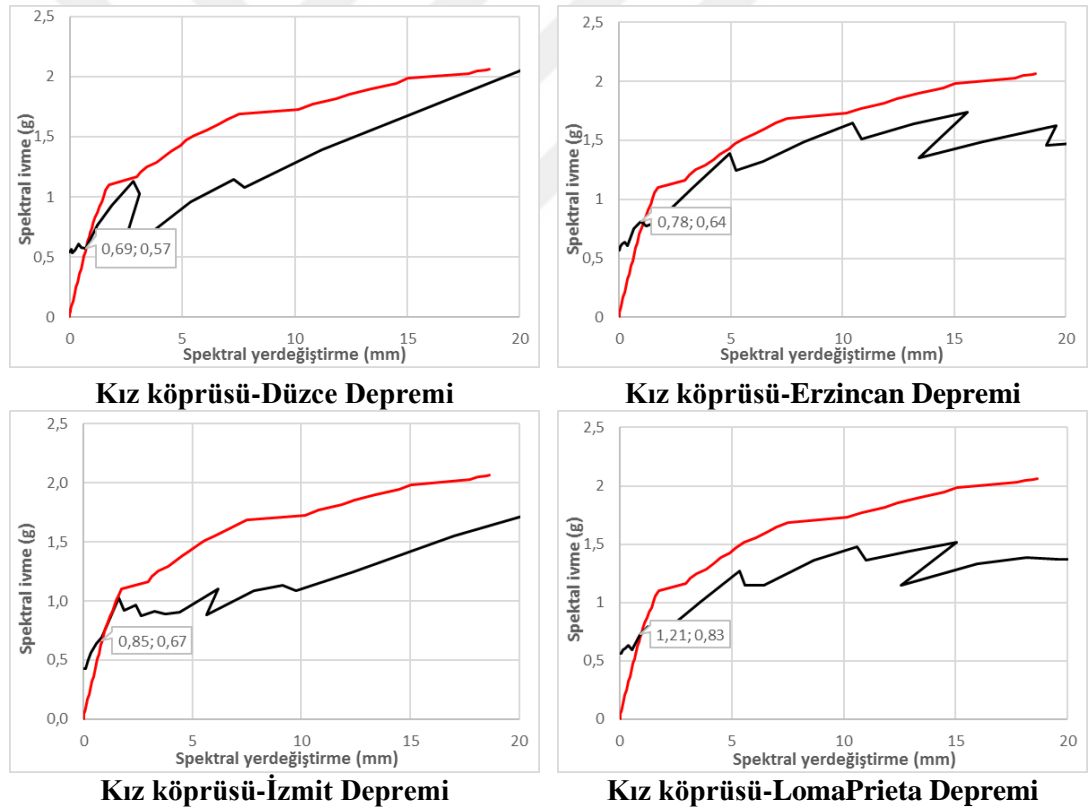
Dinamik analizlerden ve Kapasite spektrum analizlerinden elde edilen en büyük yer değiştirme miktarları Şekil 4.319’da verilmiştir.



Şekil 4.319. Kireçli köprüsü için elde edilen en büyük yer değiştirmelerin karşılaştırılması

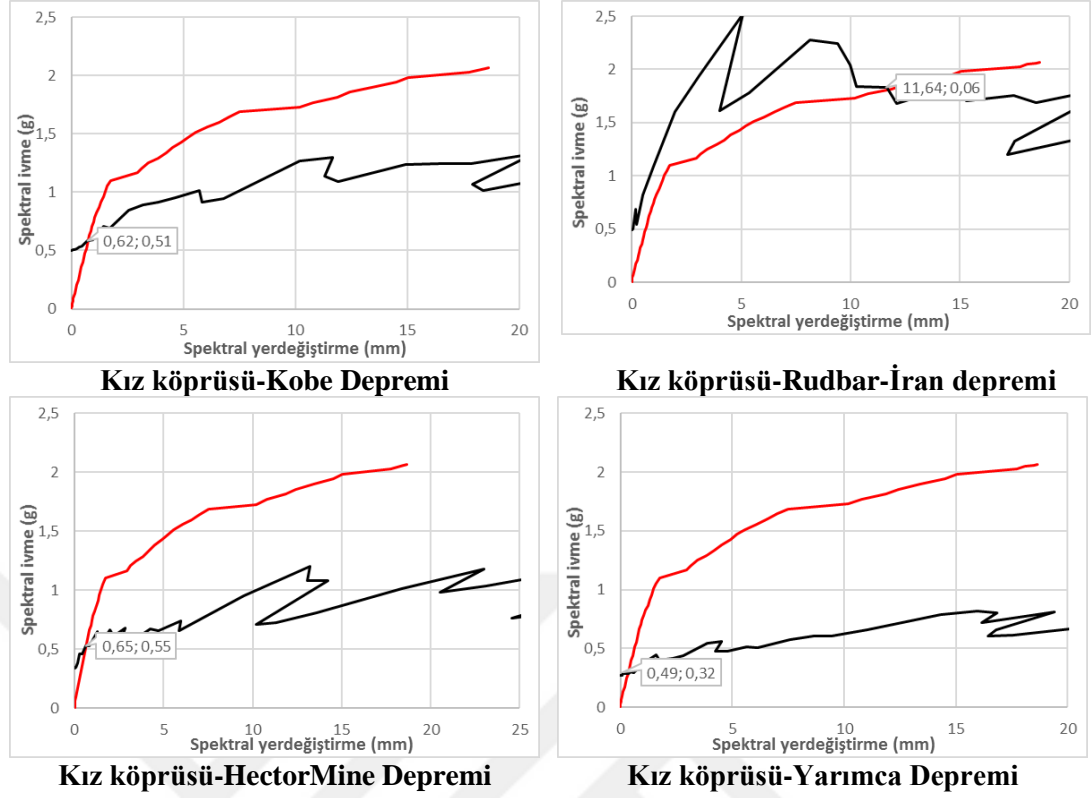
4.7.3. Kız köprüsünün performans noktasının belirlenmesi

Kız köprüsü için 8 adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak Kız köprüsünün farklı deprem kuvvetleri altında performans noktaları belirlenmiştir. Performans noktasını belirlenirken yapılan yakınsama işlemi sonucunda en ideal noktalar tespit edilmiştir. Köprünün dinamik analizleri incelendiğinde, köprünün deprem kuvvetleri altında sadece doğrusal elastik bölgede davranış gösterdiği görülmüştür. Bu da yapının rijit olduğunu göstermektedir. Kız köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları Şekil 4.314’de ve Kız köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler Çizelge 4.67’de gösterilmiştir.



Şekil 4.320. Kız köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



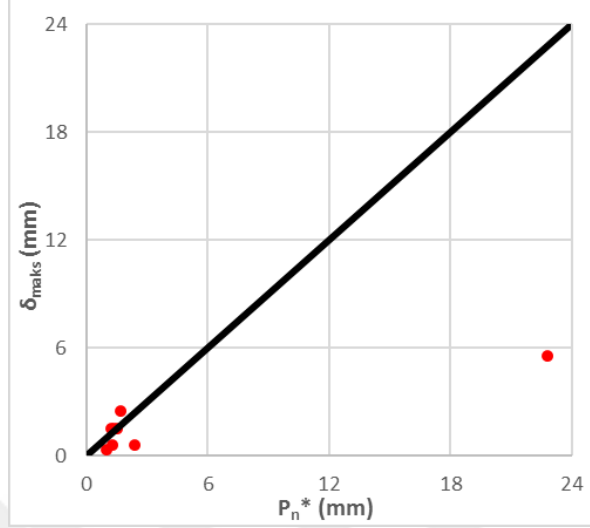
Şekil 4.320. Kız köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları (devam)

Çizelge 4.67. Kız köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler

Deprem adı	Düzce	Erzincan	İzmit	Loma-Prieta	Kobe	Rudbar-İran	Hector-Mine	Yarımcı
PFansys	454,58	454,58	454,58	454,58	454,58	454,58	454,58	454,58
ϕ_{tepe}	0,00431	0,00431	0,00431	0,00431	0,00431	0,00431	0,00431	0,00431
α_1	0,341	0,341	0,341	0,341	0,341	0,341	0,341	0,341
M	6064	6064	6064	6064	6064	6064	6064	6064
B_0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
T_0	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073	0,073
μ	-	-	-	-	-	-	-	-
B_{eff1}	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
T_{eff1}	0,070	0,071	0,078	0,077	0,070	0,884	0,069	0,078
α	-	-	-	-	-	-	-	-
Alan	-	-	-	-	-	-	-	-
Δ_{maks}	0,69	0,78	0,85	1,21	0,62	11,64	0,65	0,49
P_n	0,69	0,78	0,85	1,21	0,62	11,64	0,65	0,49
δ_{maks}	1,51	1,55	2,50	0,63	1,50	5,57	0,63	0,33
(PFansys * ϕ_{tepe} * P_n) = P_n^*	1,35	1,53	1,67	2,37	1,22	22,80	1,27	0,96

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Dinamik analizlerden ve Kapasite spektrum analizlerinden elde edilen en büyük yer değiştirme miktarları Şekil 4.321’de verilmiştir.

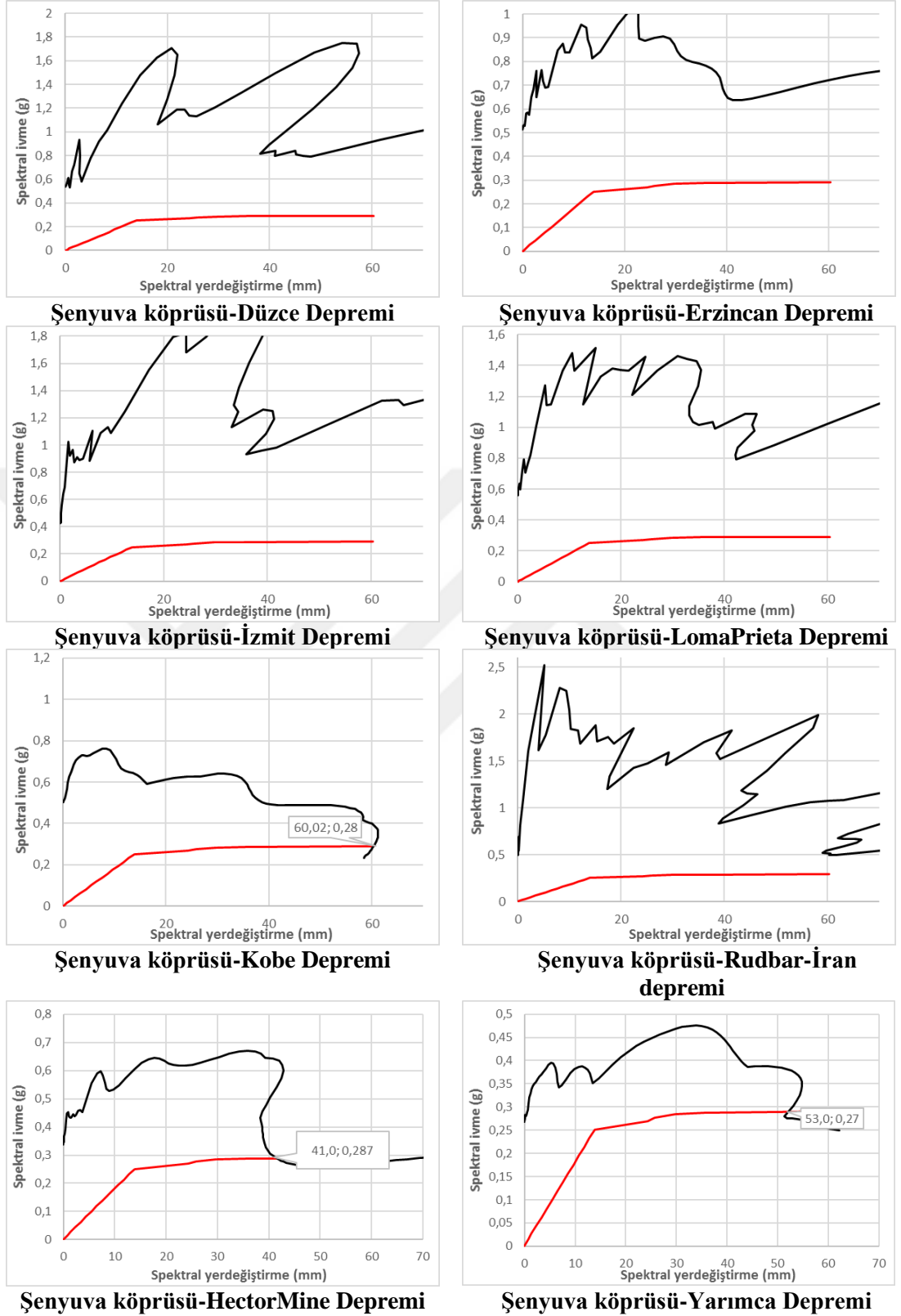


Şekil 4.321. Kız köprüsü için elde edilen en büyük yer değiştirmelerin karşılaştırılması

4.7.4. Şenyuva köprüsünün performans noktasının belirlenmesi

Şenyuva köprüsü için 8 adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak Şenyuva köprüsünün farklı deprem kuvvetleri altında performans noktaları belirlenmiştir. Performans noktasını belirlenirken yapılan yakınsama işlemi sonucunda en ideal noktalar tespit edilmiştir. Düzce, Erzincan, Loma-Prieta, Kobe, İzmit depremlerinde köprünün yatay dayanımı zayıf kalmıştır. Bu deprem kuvvetleri ile köprü uyarılınca performans noktasına ulaşmadan göçme yaşanmıştır. Genel olarak efektif sönüm oranı düşürülürken yer değiştirme de azalmalar gözlenmiştir. Artırılırken ise paralel olarak yer değiştirmede artma gözlenmiştir. Efektif periyotun artırılması ile yer değiştirmede artmaların, azalmasıyla da yer değiştirmede azalmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca buna bağlı olarak ta performans noktasında artırma veya azaltma işlemine bağlı olarak kaymalar meydana gelmiştir. En ideal performans noktaları belirlenirken süneklik, rijitlik, efektif sönüm ve efektif periyot katsayıları dikkate alınarak belirlenmiştir. Şenyuva köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları Şekil 4.322’de ve Şenyuva köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler Çizelge 4.68’de gösterilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



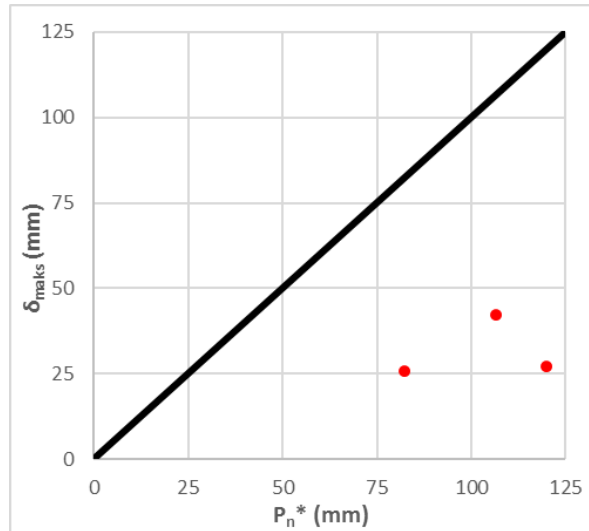
Şekil 4.322. Şenyuva köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.68. Şenyuva köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler

Deprem adı	Düzce	Erzincan	İzmit	Loma-Prieta	Kobe	Rudbar-İran	Hector-Mine	Yarımca	
PFansys	625,96	625,96	625,96	625,96	625,96	625,96	625,96	625,96	
ϕ_{tepe}	0,00321	0,00321	0,00321	0,00321	0,00321	0,00321	0,00321	0,00321	
α_1	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	
M	1501	1501	1501	1501	1501	1501	1501	1501	
B_o	3	3	3	3	3,0	3	3,0	3,0	
T_0	Olası Göçme Durumu				0,464	Olası Göçme Durumu		0,466	0,459
μ					4,25			2,93	3,13
B_{eff1}					18,85			14,50	15,67
T_{eff1}					0,905			0,758	0,784
α					4,00			5,00	4,00
Alan					14,212			9,205	9,985
Δ_{maks}					59,00			41,00	53,00
P_n					60,02			41,00	53,00
δ_{maks}					27,20			25,90	42,40
$(PFansys * \phi_{tepe} * P_n) = P_n^*$					120,06			82,38	106,50
a_y					0,260			0,260	0,265
a_{pi}					0,290			0,287	0,285
d_y					13,88			14,00	13,88
d_{pi}					59,00			41,00	43,50

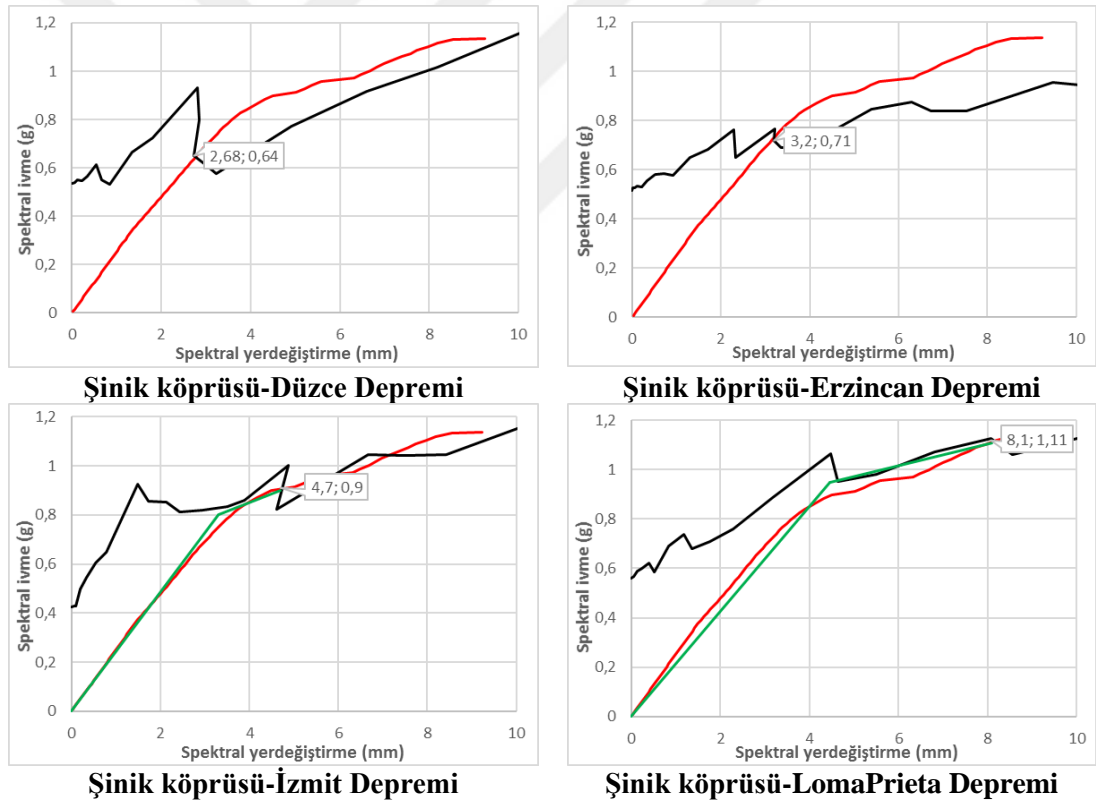
Dinamik analizlerden ve Kapasite spektrum analizlerinden elde edilen en büyük yer değiştirme miktarları Şekil 4.323’de verilmiştir.



Şekil 4.323. Şenyuva köprüsü için elde edilen en büyük yer değiştirmelerin karşılaştırılması

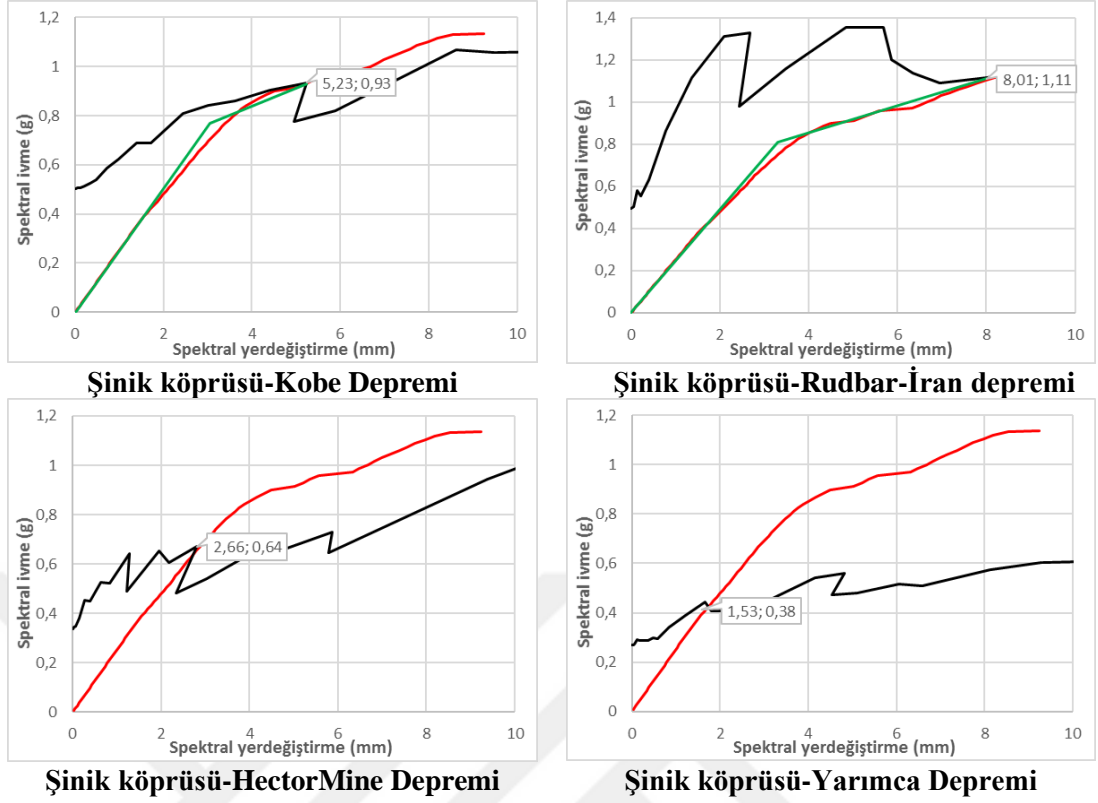
4.7.5. Şinik köprüsünün performans noktasının belirlenmesi

Şinik köprüsü için 8 adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak Şinik köprüsünün farklı deprem kuvvetleri altında performans noktaları belirlenmiştir. Performans noktasını belirlenirken yapılan yakınsama işlemi sonucunda en ideal noktalar tespit edilmiştir. Köprünün dinamik analizleri incelendiğinde, köprünün deprem kuvvetleri altında sadece doğrusal elastik bölgede davranış gösterdiği görülmüştür. Bu da yapının rijit olduğunu göstermektedir. Şinik köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları Şekil 4.324’de ve Şinik köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler Çizelge 4.69’da gösterilmiştir.



Şekil 4.324. Şinik köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.324. Şinik köprüsüne uygulanan depremlere ait belirlenen performans noktaları (devam)

Çizelge 4.69. Şinik köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler

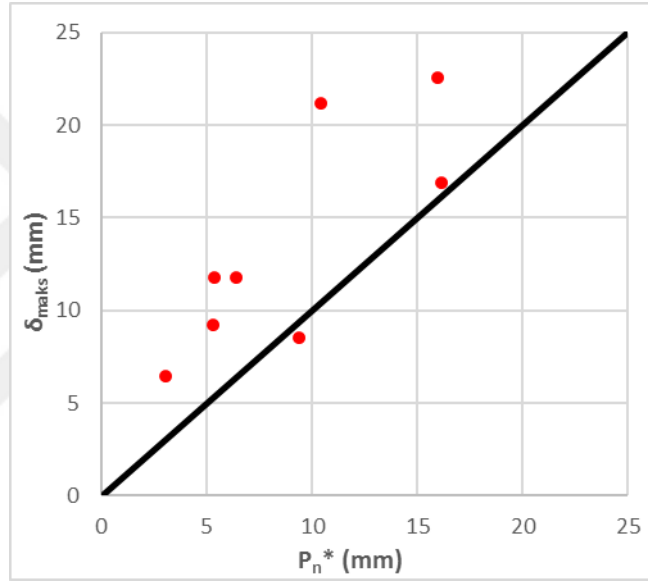
Deprem adı	Düzce	Erzincan	İzmit	Loma-Prieta	Kobe	Rudbar-İran	Hector-Mine	Yarımca
PFansys	429,17	429,17	429,17	429,17	429,17	429,17	429,17	429,17
ϕ_{tepe}	0,00464	0,00464	0,00464	0,00464	0,00464	0,00464	0,00464	0,00464
α_1	0,345	0,345	0,345	0,345	0,345	0,345	0,345	0,345
M	5324	5324	5324	5324	5324	5324	5324	5324
B_o	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
T_o	0,151	0,151	0,129	0,137	0,126	0,128	0,151	0,151
μ	-	-	1,42	1,82	1,71	2,43	-	-
B_{eff1}	-	-	3,75	5,54	4,98	9,46	-	-
T_{eff1}	0,130	0,135	0,145	0,171	0,150	0,170	0,129	0,127
α	-	-	29,00	21,00	29,00	26,00	-	-
Alan	-	-	2,510	5,873	3,027	5,858	-	-
Δ_{maks}	2,68	3,20	4,70	8,10	5,23	8,01	2,66	1,53
P_n	2,68	3,20	4,70	8,10	5,23	8,01	2,66	1,53
δ_{maks}	11,80	11,80	8,53	16,90	21,20	22,60	9,21	6,46
(PFansys * ϕ_{tepe} * P_n)= P_n^*	5,34	6,37	9,36	16,13	10,41	15,95	5,30	3,05

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Çizelge 4.69. Şinik köprüsüne uygulanan depremlere ait performans noktalarının belirlenmesinde kullanılan parametreler (devam)

Deprem adı	Düzce	Erzincan	İzmit	Loma-Prieta	Kobe	Rudbar-İran	Hector-Mine	Yarımca
a_y	-	-	0,80	0,95	0,77	0,81	-	-
a_{pi}	-	-	0,90	1,11	0,93	1,11	-	-
d_y	-	-	3,30	4,45	3,05	3,30	-	-
d_{pi}	-	-	4,70	8,10	5,23	8,01	-	-

Dinamik analizlerden ve Kapasite spektrum analizlerinden elde edilen en büyük yer değiştirme miktarları Şekil 4.325’de verilmiştir.



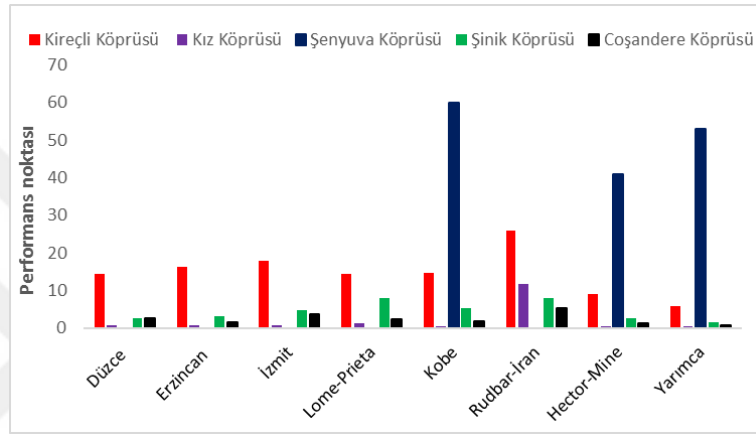
Şekil 4.325. Şinik köprüsü için elde edilen en büyük yer değiştirmelerin karşılaştırılması

4.7.6. Kapasite spektrum metodu yöntemiyle gerçekleştirilen analizlerin değerlendirilmesi

Tez çalışmasında kullanılan her bir köprü için 8 adet deprem ivme kaydı kullanılmıştır. Kapasite spektrum yöntemi kullanılarak köprülerin farklı deprem kuvvetleri altında performans noktaları belirlenmiştir. Performans noktası belirlenirken yaptığımız yakınsama işlemi sonucunda en ideal noktalar tespit edilmiştir. Genel olarak efektif sönüm oranı düşürülürken yer değiştirmede azalmalar gözlenmiştir. Arttırılırken ise paralel olarak yer değiştirme de artma gözlenmiştir. Efektif periyotun artırılması ile yer değiştirmede artmaların, azalmasıyla da yer değiştirmede azalmaların meydana geldiği

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

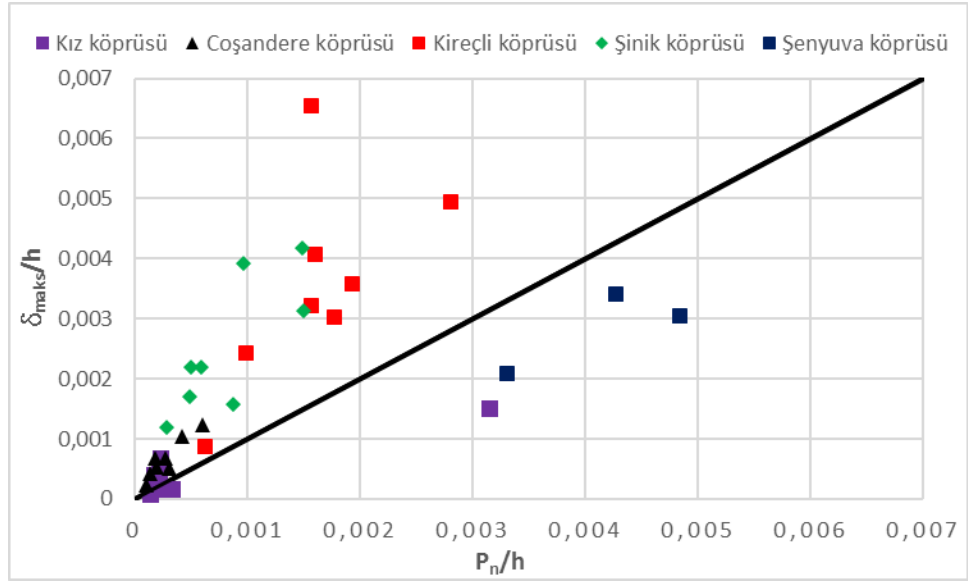
gözlemlenmiştir. En ideal performans noktaları belirlenirken süneklik, rijitlik, efektif sönüm ve efektif periyot katsayıları dikkate alınarak belirlenmiştir. Performans noktaları köprülerin deprem yükleri altında vermiş olduğu tepkilere bağlı olarak farklılıklar göstermiştir. Coşandere, Şinik ve Kız köprülerinin performans noktaları 0,49 ile 11,64 arasında değişkenlik göstermektedir. Kireçli köprüsünün performans noktaları 5,8 ile 26,0 arasında değişkenlik gösterirken Şenyuva köprüsünün performans noktaları 41 ile 60,02 arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 4.326).



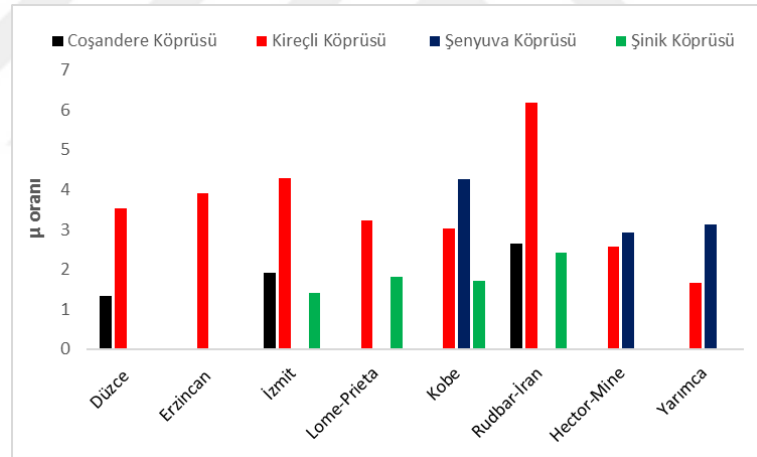
Şekil 4.326. Köprülerin performans noktalarının karşılaştırılması

Kemer yüksekliğine bağlı dinamik analiz ve performans analizlerinden elde edilen ötelenme oranları Şekil 4.327’de verilmiştir. En büyük ötelenme oranları narin köprü olan Şenyuva köprüsündedir. Ötelenme oranı Coşandere köprüsü hariç yüksekliğe bağlı olarak artma göstermiştir. Bu farklılığın ortaya çıkmasında geometrik özelliklerinin farklılığı ve kullanılan malzeme özelliklerinin diğer köprülerden yüksek olmasının etkili olduğu söylenebilir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



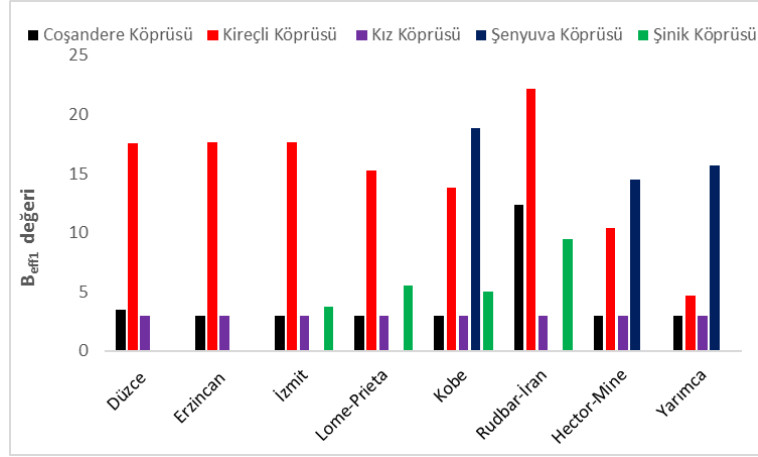
Şekil 4.327. Kemer yüksekliğine bağlı ötelenme oranları



Şekil 4.328. Süneklik oranının karşılaştırılması

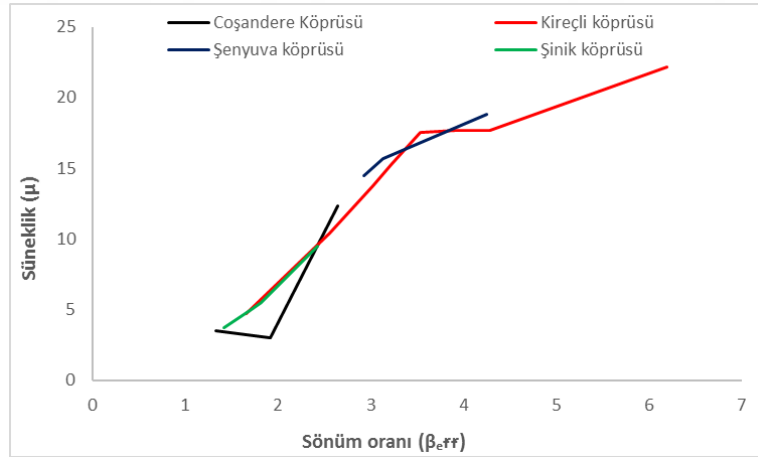
Süneklik oranı ve efektif sönüm oranı dayanım parametresi olarak değerlendirilebilir. Çünkü narin olan Şenyuva köprüsünde ve Kireçli köprüsünde bu iki değer diğerlerine göre yüksek çıkmıştır (Şekil 4.328 ve Şekil 4.329).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA



Şekil 4.329. Efektif sönüm oranı parametresinin karşılaştırılması

Yanal rijitliğin düşük olduğu Şenyuva ve Kireçli köprülerinde sönüm oranı yüksek çıkmıştır. Yanal rijitliğin yüksek olduğu Coşandere, Kız ve Şinik köprülerinde ise sönüm oranının düşük çıkmıştır. Ayrıca efektif sönüm oranı ile süneklik oranı arasında artımsal olarak bir ilişki belirlenmiştir. Süneklik arttıkça sönüm oranında da artmalar meydana gelmiştir (Şekil 4.330).



Şekil 4.330. Efektif sönüm oranı ile süneklik oranının karşılaştırılması

Coşandere, Şinik ve Kız köprülerinin hem geometrik özelliklerinin hem de malzeme özelliklerinin farklı olmasına rağmen 3 köprüde Kapasite Spektrum yöntemine göre gerçekleştirilen analizlerde elastik bölgede çalışmaktadır. Köprülerin bu davranışı,

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

köprülerin rijit olduğunu göstermektedir. Diğer bir deđiŐle deprem yükleri altında köprüler yalnızca doğrusal-elastik davranış göstermiştir.

Performans noktaları genel olarak eksenin üst bölgesinde yoğunlaşmıştır. Köprüler için elverişsiz yükleme durumlarına göre performans noktaları eksenenden uzaklaşmaktadır. Kapasite Spektrum yönteminin ele alınan köprüler için uygun olmadığı belirlenmiştir.



5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Gerçekleştirilen modal analizlere göre köprü modelleri farklı periyotlara sahiptir. Yapının periyodu deprem yükü altında yapının dinamik davranışını etkilemektedir. Yapıların 1'inci mod frekansları ve performans analizlerinden elde edilen sönüm oranları karşılaştırıldığında ters ilişkili bir bağıntı olduğu belirlenmiştir.

Dinamik analizlerden elde edilen en büyük yer değiştirme noktalarında, yer değiştirmeye karşılık gelen kuvvetin aynı yer değiştirme de yatay itme analizinden elde edilen kuvvetten farklı çıkmıştır. Bunun farklılığın sebebi sırasıyla dört madde halinde değerlendirilmiştir;

- Yapılan bu çalışmada yer değiştirmelerin referans alındığı kontrol noktası taç noktası alınmıştır. Referans noktasının nereden okunmasıyla ilgili yapılan çalışmalarda kütle ağırlık merkezinde seçilen bir kontrol noktasının da alındığı ve farklılıkların ortaya çıktığı belirtilmiştir. Kontrol noktasının yerinin etkili olduğu düşünülmektedir.
- Yatay statik analizlerde yükleme tek bir doğrultuda uygulanmıştır. Dinamik analizlerde ise deprem yükleri 3 doğrultuda yapıya uygulanmaktadır. Bununda yapı davranışında etkili olduğu düşünülmektedir.
- Dinamik analizlerde deprem yüklerinin köprünün toplam uzunluğu boyunca uygulanması, yatay itme analizlerinde ise yüklemenin sadece köprünün L, L/2 ve L/4 uzunlukları boyunca uygulanması, ötelenme miktarlarının farklı hesaplanmasında etkili olduğu görülmektedir.
- İtme analizinde birinci modun baskın olduğu, doğrusal olmayan dinamik analizlerde ise bütün modların dahil olması durumu incelendiğinde farklılıkların ortaya çıkacağı belirlenmiştir.

Doğrusal olmayan statik analiz ile ilgili genel yargılar maddeler halinde sıralanmıştır. Bunlar;

- Az katlı, yüksek frekanslı, temel modda çok titreten yapılar için (kemer köprü vb. yapılar için) uygundur;

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

- Şiddetli deprem yükleri altında yapıda oluşabilecek önemli deformasyon modları, tespit edilemeyebilir;
- Elastik olmayan dinamik tepki, statik yük modellerinden elde edilen sonuçlara göre farklılık gösterebilir.

Tek açıklıklı yığma bir köprünün sismik değerlendirmesi için doğrusal olmayan statik prosedürler ve performansla ilgili analiz yöntemlerinden biri olan kapasite spektrumu yöntemi kullanılmıştır. 8 farklı deprem verisi kullanılarak SeismoSignal programı ile sönüm oranına bağlı olarak spektrumlar elde edilmiştir. ATC 40'da verilen Kapasite Yöntemi prosedürleri tek açıklıklı yığma kemer köprüler için uygulanmıştır. Kapasite spektrumları ile FEMA440'da verilmiş olan iteratif prosedürü kullanılarak kesiştirilmiş ve performans noktaları depremler altında tek açıklıklı yığma kemer köprüler için elde edilmiştir.

Kapasite Spektrum Metod yönteminde kullanılan kapasite eğrileri, her bir köprü için yanal yönde gerçekleştirilen PY1 itme analizlerinden elde edilen kapasite eğrileridir.

Şinik ve Kız köprüsü için gerçekleştirilen itme analizleri, dinamik analizler, kapasite spektrum analizleri incelendiğinde, bu köprülerin gerek malzeme özellikleri, gerekse geometrik yapılarından dolayı bu köprülerinin rijit oldukları belirlenmiştir. Şenyuva köprüsünün ise narin bir köprü olduğu belirlenmiştir.

Yanal rijitliğin düşük olduğu Şenyuva köprüsünde sönüm oranı yüksek çıkmıştır. Yanal rijitliğin yüksek olduğu Kız köprüsünde ise sönüm oranının düşük çıkmıştır. Yanal rijitliğin artmasıyla sönüm oranının azalacağı, yanal rijitliğin azalması ile ise sönüm oranının artacağı söylenebilir.

Ayrıca efektif sönüm oranı ile süneklik değeri arasında artımsal olarak bir ilişki belirlenmiştir. Süneklik arttıkça sönüm oranında da artmalar meydana gelmiştir.

Köprülerin geometrik özellikleriyle yatay statik itme analizlerinden elde edilen ötelenme miktarları arasında bir ilişki kurulabilmesi için korelasyon analizi yapılmıştır. Köprü

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

geometrik özellikleri ve yatay öteleme ile yapılan korelasyon analizi sonucunda; yatay öteleme ile köprü genişliği arasında negatif yönlü orta (-0,52), kemer kalınlığı arasında pozitif zayıf (0,32), diğer özellikler arasında ise pozitif güçlü bir ilişki saptanmıştır. B_{eff} ile yatay öteleme arasında pozitif güçlü ilişki, köprü genişliği arasında negatif güçlü ilişki, toplam yükseklik ve kemer açıklığı arasında pozitif zayıf bir ilişki, köprü toplam uzunluğu, kemer kalınlığı arasında pozitif orta büyüklükte ilişki saptanmıştır. T_{eff} ile köprü toplam uzunluğu, yatay öteleme, B_{eff} ve kemer açıklığı arasında pozitif güçlü ilişki, köprü genişliği arasında negatif orta ilişki, toplam yükseklik arasında pozitif orta ilişki saptanmıştır.

Çoklu regrasyon analizi ise yapılamamıştır. Çünkü çoklu regresyon analizlerinde gözlem sayısının tahmin edilen parametre sayısından küçük olmaması gerekir. Çalışmanın özü gereği gözlem sayısı azken; tahmin edilmesi gereken parametre sayısı fazladır.

Gerçekleştirilen analizlerde sonlu eleman modellerinde malzeme özellikleri literatürde önerilen metod vasıtasıyla belirlenmiştir. Bu ayrıntı dikkate alınmalıdır. Bu durumda, ele alınan yığma kemer köprülerin muhtemel yerlerinde oluşabilecek malzeme bozulmalarının ya da taşıyıcı elemanlarında meydana gelebilecek olası malzeme kayıplarının yapıların davranışına etki edebileceği söylenebilir. Elde edilen yer değiştirme ve gerilmelerin kabul edilebilir sınırlar içinde olması, depreme karşı yapıların dayanımı ile ilgili herhangi bir yanlışlığa düşülmeyeceği gözlemlenmiştir.

Köprüler ülkenin kuzeydoğu ve doğu bölgelerinde yer almaktadır. Sismik kırılma doğru bir şekilde ele alabilmek için, bu bölgelere özgü yapay zemin hareketleri ve karakteristik zemin profili geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. 1997. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 85, Ankara.
- Agcakoca, E. ve Elmas, M. 2004. Binalarda düşey deprem etkisinin zaman tanım alanında hesap yöntemi ile incelenmesi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü dergisi, 8(1), 1-9.
- Akoz, F. 2005. Yığma Kagir Yapılarda Hasar Tespiti. Yığma Yapılarda Deprem Güvenliğinin Arttırılması Çalıştayı-2005, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Alıcı, F.S., Kaatsız, K. ve Sucuoğlu, H. 2015. Bina Yapılarının Çok Modlu İtme Analizi İçin Genel Yük Vektörlerinin Pratik Uygulaması. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 14-16 Ekim 2015, İzmir.
- Anonim 1. Web Sitesi: <https://www.nationalparktripsmedia.com/parks/arches-national-park>, Erişim Tarihi: 25.12.2018.
- Anonim 2. Web Sitesi: <https://www.ancient.eu/uploads/images/125.jpg?v=1538061659>, Erişim Tarihi: 25.12.2018.
- Anonim 3. Web Sitesi: <http://www.thecompletepilgrim.com/wp-content/uploads/2014/06/Milvian-Bridge.jpg>, Erişim Tarihi: 25.12.2018.
- Anonim 4. Web Sitesi: <https://www.trtavaz.com.tr/fotogaleri/mimar-sinanin-saheseri-tarihi-kanuni-sultan-sulayman-koprusu/58d23eef01a30a0ff8218ff6>, Erişim Tarihi: 25.12.2018.
- Antoniou, S. 2002. Advanced Inelastic Static Analysis for Seismic Assessment of Structures. PhD Thesis, Engineering Seismology and Earthquake Engineering Section, Imperial College, London, UK.
- Antoniou, S. and Pinho, R. 2004. Development and verification of a displacement-based adaptive pushover procedure. Journal of Earthquake Engineering, 8:5, 643-661.
- Apay, A. 1992. Yapı Bilgisi. İTÜ yayınları, 98, Sakarya.
- Armstrong, D. M., Sibbald, A., Fairfield, C. A. and Forde, M. C. 1995. Modal analysis for masonry arch bridge spandrell wall separation identification. NDT & E International, 28(6), 377-386.
- ATC-40 (Applied Technology Council). 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Reinforced Concrete Buildings, Report ATC 40 / SSC 96-01, Palo Alto.
- ATC-63 (Applied Technology Council). 2007. Recommended Methodology for Quantification of Building System Performance and Response Parameters - 75% Interim Draft Report, Applied Technology Council, Redwood City, CA.

- Aydınoglu, M.N. 2003. An incremental response spectrum analysis procedure based on inelastic spectral displacements for multi-mode seismic performance evaluation. *Bull Earthquake Eng*, 1 (1): 3-36.
- Aydınoglu, M.N. 2003a. Yapıların Deprem Performansının Değerlendirilmesi İçin Artımsal Spektrum Analizi (ARSA) Yöntemi, Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Davetli Konuşma, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul.
- Barlow, W.H. 2015. On the existence of the line of equal horizontal thrust in arches, and the mode of determining it by geometrical construction. *Minutes of Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 5(1846), 162-172.
- Bathe, K.J. 2006. *Finite Element Procedures*. Prentice Hall, Pearson Education, 1065, Watertown, MA.
- Bento, R., Falcao, S. and Rodrigues, F. 2004. Nonlinear static procedures in performance based seismic design. *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Paper No 2522, Canada.
- Bernardeschi, K., Padovani, C. and Pasquinelli G. 2004. Numerical modeling of the structural behavior of Buti's bell tower, *J. Cultural Heritage*, 5, 371–378.
- Betti, M., Orlando, M. and Vignoli, A. 2011. Static behaviour of an Italian Medieval Castle: Damage assessment by numerical modelling, *Computers and Structures*, 89, 1956-1970.
- Block, P., Dejong, M. and Ochsendorf J. 2006. As Hangs the Flexible Line: Equilibrium of Masonry Arches. *Nexus Network Journal*, 8(2),13-24.
- Boke, H., Akkurt, S. ve İpekoglu, B. 2004. Tarihi Yapılarda Kullanılan Horasan Harcı ve Sıvalarının Özellikleri. *Yapı Dergisi*, 269, 90-95.
- Bracci, J. M, Kunnath, S. K. and Reinhorn, A. M. 1997. Seismic performance and retrofit evaluation of reinforced concrete structures. *ASCE, ST Division* 123(1), 3-10.
- Cavus, M. 2013. Tarihi Niksar Kulak Kümbetinin deprem altındaki sismik davranışının değerlendirilmesi. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, 7, 80-90.
- Celep, Z. ve Kumbasar, N. 2004. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı (Bölüm 11: Performans kavramına dayalı tasarım). Beta Yayıncılık, İstanbul.
- Chopra, A.K. and Goel, R.K. 2000. Evaluation of NSP to estimate seismic deformation: SDF systems. *Journal of Structural Engineering*, 126(4), 482-490.
- Chopra, A.K. and Goel, R.K. 2001. A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings: Theory and preliminary evaluation. *PEER Report 2001/2003*, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley.

- Chopra, A.K. and Goel, R.K. 2002. A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31(3), 561 -582.
- Conference on Earthquake Engineering, Vol. 2, 863-72.
- Cook, R.D. 1981. *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*. 2:nd edition, John Wiley & Sons, New York.
- Çakır F., Özkal F.M. ve Uysal H. 2015. Sonlu elemanlar yöntemi ile farklı yükleme durumları altındaki yığma kemerlerin yapısal başarımlarının incelenmesi. 5. Tarihi eserlerin güçlendirilmesi ve geleceğe güvenle devredilmesi sempozyumu, 215-226.
- Çoruhlu B., Türker T., Yanık Y. ve Bayraktar A. 2017. Tarihi taş kemer köprülerin modal davranışlarının köprü boyutlarına bağlı olarak tahmin edilmesi. Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 381-389.
- Çöğürçü, M. T. ve Karamanlı, M. (2007). Yığma Yapıların Dinamik Ve Mühendislik Davranışının Düzlem Dışı Kuvvetler Altında Deneysel Olarak İncelenmesi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 6(2), 83-108.
- Dautaj, A., Kabashi, N. and Sadiku, H. 2015. Method N2—according to fajfar. In *Second International Conference on Advances in Civil, Structural And Construction Engineering-CSCE*, Vol 1, 83-88, Italy.
- De Santis, S. and Felice, G. 2012. Seismic analysis of masonry arches. In *Proceedings of the fifteenth world conference on earthquake engineering*, vol 5, 4002, Portugal.
- Deierlein, G. and Hsieh, S.H. 1990. Seismic response of steel frames with semi-rigid connections using the capacity spectrum method. *Proceedings 4th US National*.
- Dikiciaşık, Y. 2011. Uzak ve yakın bölge depremleri altında düzensiz yığma bir bina davranışının incelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 92, Isparta.
- EC-8. 2003. "European Committee for Standardization, prEN-1998-1, Eurocode No. 8, Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. Brussels.
- Ekiz, İ. 1995. *Yapı Statiği 1*. Seç Yayın Dağıtım, 528, İstanbul.
- Eksi A, D. and Aköz, F. A 2014. System Approach for Examination and Determination in Historical Buildings. *International Seminar on Structural Analysis of Historical Construction Possibilities of Numerical and Experimental Techniques*, 1, 95-103.

- Elmenschaw¹, A., Sorour, M., Mufti, A., Jaeger, L. G. and Shrive, N. 2010. Damping mechanisms and damping ratios in vibrating unreinforced stone masonry. *Engineering Structures*, 32(10), 3269-3278.
- Fajfar, P and Fischinger, M. 1987. M, Non-Linear Seismic Analysis Of RC Buildings. Implications Of A Case Study, *European Earthquake Engineering*, 1(1), 31-43.
- Fajfar, P. 2000. A nonlinear analysis method for performance-based seismic design. *Earthquake spectra*, 16(3), 573-592.
- Fajfar, P. and Fischinger, M. 1989. N2- A Method For Non-Linear Seismic Analysis Of Regular Buildings. *Proceedings of the 9th World Conference on Earthquake Engineering*, Vol.5, 111-116, Tokyo, Kyoto.
- Fanning, P.J. and Boothby, T.E. 2001. Three-dimensional modelling and fullscale testing of stone arch bridges, *Computers and Structures*, 79, 2645-2662.
- FEMA-273 (Federal Emergency Management Agency). 1997. NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273; and NEHRP Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA-274, Washington, D.C.
- FEMA-356 (Federal Emergency Management Agency). 2000. FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings. ASCE for the Federal Emergency Management Agency, November 2000, Washington, D.C.
- FEMA-440 (Federal Emergency Management Agency). 2005. Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures. Department of Homeland Security Federal Emergency Management Agency, June 2005, Washington, D.C.
- Freeman, S. A., Nicoletti, J. P., and Tyrell, J.V. Evaluations of Existing Buildings for Seismic Risk: A case study of Puget Sound Naval Shipyard, Bremerton. *Proceedings of First U.S. NCEE, EERI, Berkeley, Washington*, 1975, 113-122.
- Galasco, A., Lagomarsino, S., Penna, A. and Resemini, S. 2004. Non-linear seismic analysis of masonry structures. 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, Paper No. 843, Canada.
- Genç, M. 2007. Farklı yapısal özelliklere sahip betonarme yapıların çeşitli çözüm yöntemleriyle performans dayalı analizi. Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Gupta, B. 1998. Enhanced pushover procedure and inelastic demand estimation for performance-based seismic evaluation of buildings. Ph.D. Dissertation, Florida, University of Central Florida, Orlando.
- Gupta, B. and Kunnath, S.K. 1999. Pushover analysis of isolated flexural reinforced concrete walls. *Structural Engineering in the 21st Century, Proc. Structures Congress*, New Orleans.

- Gupta, B. and Kunnath, S.K. 2000. Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures. *Earthquake Spectra* 16 (2): 367-391.
- Harrison, D. 2004 *The Bridges in Medieval England – Transport and Society*. Clarendon Press, 1400–1800, Oxford.
- Hasol, D. 1988. *Mimarlık Sözlüğü*. Yapı-Endüstri Merkezi Yayınları, 574, İstanbul.
- Heinrich, B. 1983. *Brücken–Vom Balken zum Bogen*. Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, Hamburg.
- Heyman, J. 1999. *The science of structural engineering*. Imperial College Press, 120, London.
- Inel, M., Tjhin, T. and Aschheim, A. 2003. The significance of lateral load pattern in pushover analysis. Fifth National Conference on Earthquake Engineering, May 6-30, Istanbul, Turkey, Paper AE-009.
- İlki, A. 2000. Betonarme elemanların yön değiştiren tekrarlı yükler altında doğrusal olmayan davranışı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Jingjiang, S., Ono, T., Yangang, Z. and Wei, W. 2003. Lateral load pattern in pushover analysis. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, Vol. 2(1), 99-107.
- Karaşin, İ. B. ve Işık, E. 2017. Farklı yapı davranış katsayıları için zemin koşullarının yapı performansına etkisi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 8(4), 661-673.
- Karaton, M., Aksoy, H. S., Sayın, E. ve Calayır, Y. 2017. Nonlinear seismic performance of a 12th century historical masonry bridge under different earthquake levels. *Engineering Failure Analysis*, 79, 408-421.
- Kaya, Ç. 2010. *Yığma Duvarların Elastik-Plastik Hesabı*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fen Bilimleri Enstitüsü, 68, İstanbul.
- Kazaz İ. ve Kocaman İ. 2017. Statik itme yönteminin tarihi yığma yapılarda uygulanması. Uluslararası Katılımlı 6. Tarihi Yapıların Korunması ve Güçlendirilmesi Sempozyumu, 299-307.
- Kesim, B. 2005. Statik İtme Analizi Yöntemiyle Mevcut Bir Betonarme Yapının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kocaman, İ., Okuyucu, D. ve Kazaz, İ. 201). Tarihi Yapı Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Yeni Bir Yöntem Önerisi: Lala Paşa Camii Örneği. *Teknik Dergi*, 9125(9146), 537.

- Krawinkler, H. and Seneviratna, G. 1998. Pros and Cons of a Pushover Analysis of Seismic Performance Evaluation. *Engineering structures journal*, 20(4-6), 452-464.
- Kunnath, S.K. 2004. Identification of modal combinations for nonlinear static analysis of building structures. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 19, 282-295.
- Kurrer, K.E. 2002. *Geschichte der Baustatik*. Ernst und Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH, Berlin.
- Lagomarsino, S. and Cattari, S. 2015. PERPETUATE guidelines for seismic performance-based assessment of cultural heritage masonry structures. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 13(1), 13-47.
- Lande, P.S. and Yawale, A.D. 2015. A Modal Pushover Analysis on Multi-Span Bridge to Estimate Inelastic Seismic Responses. *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 12(1), 11-16.
- Lawson, R.S., Vance, V. and Krawinkler, H. 1994. Nonlinear Static Pushover Analysis – Why, When and How?. *Proc. 5th US Conf. on Earthquake Engineering*, Vol. 1, 283-292, Chicago.
- Lew, H.S. and Kunnath, S.K. 2001. Evaluation of Nonlinear Static Procedures for Seismic Design of Buildings. Presented at the 33rd Joint Meeting of the UJNR Panel on Wind and Seismic Effects, 1-17.
- Lin, E. and Pankaj, P. 2004. Nonlinear static and dynamic analysis - the influence of material modelling in reinforced concrete frame structures. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No 430, Vancouver, Canada.
- Livingstone, R.A. 1993. Materials analysis of the masonry of the Hagia Sophia Basilica, Istanbul. *Structural Repair and Maintenance of Historical Buildings*, 11, 15-31.
- Lourenco, P.B. 1996. *Computational Strategies for Masonry Structures*. Thesis Delft university of Technology, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 220, Porto.
- Mahaney, J.A., Paret, T.F., Kehoe, B.E. and Freeman, S.A. 1993. The Capacity Spectrum Method for Evaluating Structural Response during the Loma Prieta Earthquake in Earthquake Hazard Reduction in the Central and Eastern United States: A Time for 227 Examination and Action. *Proceedings of 1993 National Earthquake Conference*, Earthquake Engineering Research Institute, 501-510, Oakland, CA, U.S.A.
- McClellan, G.H. and Eades, J.L. 1970. The textural evolution of Limestone Calcines' in the reaction parameters of lime. *ASTM STP*, 472, 209-227.

- Modena, C., Valluzzi, MR., Tongini, FR. and Binda, L. 2002. Design choices and intervention techniques for repairing and strengthening of the Monza cathedral bell-tower, *Construction and Building Material*, 16, 385–395.
- Moghadam, A.S. and Tso, W.K. 2000. 3-D Pushover analysis for Damage Assessment of Buildings. *JSEE*, 2(3).
- Moropoulou, A., Cakmak, A., Biscontin, G., Bakolas, A. and Zendri, E. 2002. Advanced Byzantine Cement Based Composites Resisting Earthquake Stresses : The Crushed Brick-Lime Mortars of Justinians’s Hagia Sophia, *Construction and Building Materials*, 16, 543-552.
- Mwafy, A.M. and Elnashai, A.S. 2000. Static Pushover versus Dynamic Collapse Analysis of RC Buildings. *Journal of Engineering Structures*, 23, 407-424.
- Naeim, F. and Lobo, R.M. 1998. Common Pitfalls in Pushover Analysis. SEAOC Convention, T1-T13.
- Newland, D. E. 1989. *Mechanical Vibrations Analysis and Computation*. Longman Scientific & Technical, 583.
- Nil, Dilek. 2017. Antik dönemde kemer ve tonoz. *Tarih Okul Dergisi (TOD)*, 10(32), 815-846.
- Norton, M.P. and Karczub, D.G. 2003. *Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers*. Cambridge University Press, 652, England.
- Oguz, S. 2005. Evaluation of pushover analysis procedures for frame structures. Master of Science Thesis, Middle East Technical University, Department of Civil Engineering, 168, Ankara.
- Ozmen, A. ve Sayın, E. 2018. Seismic assessment of a historical masonry arch bridge. *Journal of Structural Engineering*, 1(2), 95-104.
- Pakyürek, E.K. 2006. 1994 Northridge Depreminde Hasar Görmüş Van Nuys Binasının Doğrusal Olmayan Dinamik Analizi. Yüksek Lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Parducci A., Comodini F., Lucarelli M., Mezzi M. and Tomassoli, E. 2006. Energy-Based Non Linear Static Analysis. 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Paper 1178, Geneva, Switzerland.
- Pelà, L., Aprile, A. and Benedetti, A. 2009. Seismic assessment of masonry arch bridges. *Engineering Structures*, 31(8), 1777-1788.
- Pelà, L., Aprile, A. and Benedetti, A. 2013. Comparison of seismic assessment procedures for masonry arch bridges. *Construction and Building Materials*, 38, 381-394.
- Potter, R.A. 1975. General theory for modal analysis for linear systems. *Shock Vib Dig*, 11(2), 3-11.

- Prasad, B.K., Ramaiah, S. and Singh, A.K. 2004. Capacity spectrum for structures asymmetric in plan. 13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, Paper No. 2653, Canada.
- Priestley, M.J.N. 2000. Performance based seismic design. Bulletin of the New Zealand society for earthquake engineering, 33(3), 325-346.
- Proske, D. and Gelder, P. 2009. Safety of Historical Stone Arch Bridges. Springer heidelberg dordrecht, 379, London.
- Reddy, J. 1993. An Introduction to the Finite Element Method. McGraw Hill International Editions, 684, New York.
- Reinhorn, A. 1997. Inelastic analysis techniques in seismic evaluations. International workshop, Seismic design methodologies for the next generation of codes, 277-288, Slovenia.
- Resemini, S. and Lagomarsino, S. 2007. Displacement-based methods for theseismic assessment of masonry arch bridges. ARCH'07 – 5th International Conference on Arch Bridges, DICAT, Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, University of Genoa, 441-450, Italy.
- Saiidi, M. and Sozen, M.A. 1981. Simple Nonlinear Seismic Analysis Of R/C Structures. Journal of Structural Division, ASCE, 107, 937-952.
- Saraç, M. 2003. Tarihi Yiğma Kargir Yapıların Güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, 169, İstanbul.
- Sayın, E. 2009. Yiğma Yapıların Doğrusal Olmayan Statik ve Dinamik Analizi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Sayın, E., Calayır, Y ve Karaton, M. (2011) Tarihi Uzunok Köprüsünün Lineer Olmayan Sismik Analizi, Yedinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 301-311.
- Schueremans, L. 2001. Probabilistic evaluation of structural unreinforced masonry. Doctoral Thesis, Katholieke Universiteit, Faculteit Toegepaste Wetenschappen, 329, Belgium.
- SeismoSignal, (2016). Software applications for analysis of structures subjected to seismic actions, SeismoSoft.
- Shakeri, K., Shayanfar, M.A. and Asbmarz, M.M. 2008. A spectra-based multi modal adaptive pushover procedure for seismic assessment of buildings. In Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- Thavalingam, A., Bicanic, N., Robinson, JI. and Ponniah, D.A. 2001. Computational framework for discontinuous modelling of masonry arch bridges. Comput Struct, 79(18), 21-30.

- Themelis, S. 2008. Pushover analysis for seismic assessment and design of structures. Doctoral dissertation, Heriot-Watt University, School of the Built Environment, 287, Dubai.
- Toker, S. ve Ünay, A.İ. 2004. Kemerli Taş Köprülerin Matematiksel Modellenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi. G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi, 17(2):129-139.
- Tomazevic, M. 1999. Earthquake Resistant Design of Masonry Buildings, Singapore. Imperial College Press, 268.
- Tsoutrelis, C.E. and Exadaktylos, G.E. 1993. Effect of Rock Discontinuities on Certain Rock Strength and Fracture Energy Parameters Under Uniaxial Compression. Geotech Geol Eng, 11(2), 81-105.
- Unay, A.İ. 2002. Tarihi Yapıların Depreme Dayanımı. ODTÜ Mimarlık Fakültesi basım işliğı, 172, İstanbul.
- Usta, G.K., Usta, A. ve Tuluk, O. İ. 2001. Anadolu Türk Mimarlığı için Görsel Sözlük. Sonhaber Matbaacılık, 253, Trabzon.
- Wakabayashi, M. 1986. Design of earthquake-resistant buildings. McGraw-Hill Book Company, 308.
- Wallsgrove, J. 1995. The Aesthetics of Loadbearing Masonry. Arch Bridges: Proceedings of the First International Conference on Arch Bridges, UK on 3-6 September 1995, Held at Bolton
- Weber, W.K. 1999. Die gewölbte Eisenbahnbrücke mit einer Öffnung. Begriffserklärungen, analytische Fassung der Umrisslinien und ein erweitertes Hybridverfahren zur Berechnung der oberen Schranke ihrer Grenztragfähigkeit, validiert durch einen Großversuch. Dissertation, Lehrstuhl für Massivbau der Technischen Universität München.
- White, R.G. and Walker, J.G. 1982. Noise and Vibration. Ellis Horwood publishers, Halsted press, 866.
- Wight, J.K., Burak, B., Canbolat, B.A. and Liang, X. 1997. Modelling and Software Issues for Pushover Analysis of RC Structures. Seismic design methodologies for the next generation of codes. Proc. of the International Workshop, Bled, Slovenia.
- Willam, K. and Warnke, E. 1975. Constitutive model for the triaxial behavior of concrete, International Association for Bridge, 1-30.
- Yazdani, M. and Marefat, M.S. 2013. Seismic Assessment of Six-Meter Spans Plain Concrete Arch Bridge. Journal of Seismology and Earthquake Engineering, 15(1), 81-90.
- Yılmaz, P. 2006. Tarihi yapıların modellenmesi ve deprem güvenliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 71, Sakarya.

EKLER

EK 1.

Deprem hareketinin ismi	NGA1605 DuzceTurkey Duzce-270	NGA821 Erzican- Turkey Erzincan-NS	NGA1165 Kocaeli- Turkey Izmit-18	NGA753 Loma-Prieta Corralitos-90	NGA1111 Kobe-Japan NishiAkashi-90	NGA1633 Manjil- Rudbar-T	NGA1787 Hector- Mine Hector-90	NGA1176 Kocaeli- Turkey Yarimca_60
En büyük ivme (g)	0,54	0,52	0,15	0,48	0,50	0,50	0,37	0,27
En büyük ivme zamanı (sn)	3,43	2,90	3,42	4,06	7,10	12,38	8,44	13,84
En büyük hız (cm/sn)	83,50	83,95	22,61	44,99	36,64	53,21	41,76	65,75
En büyük hızın zamanı (sn)	7,16	3,35	6,02	3,98	8,05	10,38	6,13	13,57
En büyük yer değiştirme (m)	0,52	0,28	0,10	0,12	0,11	0,48	0,14	0,57
En büyük yer değiştirme zamanı (m)	6,44	4,00	4,74	2,21	13,15	45,96	6,49	14,75
Vmax/Amax (sn)	0,16	0,17	0,15	0,10	0,07	0,11	0,13	0,25
İvme RMS (g)	0,09	0,07	0,03	0,06	0,06	0,10	0,05	0,05
Hız RMS (cm/sn)	22,91	17,69	5,45	7,25	6,72	10,98	6,74	20,20
Yer değiştirme RMS (m)	0,17	0,07	0,04	0,04	0,03	0,28	0,04	0,19
Alan şiddeti (m/sn)	2,93	1,51	0,56	2,53	2,27	7,59	1,87	1,33
Karakteristik şiddet (Ic)	0,13	0,08	0,04	0,10	0,09	0,23	0,08	0,07
Özgül Enerji Yoğunluğu	13586,46	6665,46	891,46	2099,09	1849,69	5540,17	2060,74	14278,67
Birikimli mutlak hız	1355,81	770,94	676,03	1167,66	1196,08	3221,85	1178,62	1047,00
İvme spektrum şiddeti	0,40	0,32	0,16	0,35	0,43	0,50	0,34	0,22
Hız spektrum şiddeti	255,79	296,98	92,65	191,87	158,66	216,94	169,43	150,02
Sönümsüz en büyük ivme	0,35	0,24	0,15	0,34	0,30	0,4	0,28	0,20
Sönümsüz en büyük hız	54,16	51,11	18,81	36,00	32,36	36,74	27,47	62,81
Etkili tasarım ivmesi	0,54	0,51	0,15	0,47	0,51	0,51	0,34	0,27
Baskın periyot(sn)	0,22	0,30	0,28	0,58	0,44	0,12	0,50	0,52
Ortalama periyot (sn)	0,82	1,38	0,62	0,62	0,53	0,32	0,63	1,24

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı-Soyadı : Suat Gökhan Özkaya
Uyruğu : T.C.
Doğum Tarihi ve Yeri : 05.05.1983/ERZURUM
Medeni Hali : Evli
Telefon : +905069190312
e-mail : suatgokhanozkaya@ardahan.edu.tr

Eğitim

Derece	Üniversite	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Erzurum Atatürk Üniversitesi	2013
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Erzurum Anadolu Lisesi	2001

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Erzurum İl Özel İdaresi 2009-2011

Ardahan Üniversitesi 2011-...



Bu çalışmada maddi imkan sağlayan Erzurum Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) birimine katkılarından dolayı teşekkür ederim.