

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEPREM YER HAREKETLERİNİN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ VE UYGULANIŞI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mustafa ERGÜN

HAZİRAN 2013

TRABZON

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DEPREM YER HAREKETLERİNİN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ VE UYGULANIŞI

İnş. Müh. Mustafa ERGÜN

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16.05.2013
Tezin Savunma Tarihi : 14.06.2013**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Şevket ATEŞ

Trabzon 2013

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında
Mustafa ERGÜN tarafından hazırlanan

DEPREM YER HAREKETLERİNİN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ VE UYGULANIŞI

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21.05.2013 tarih ve 1506 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Şevket ATEŞ

Üye : Doç. Dr. Mehmet AKKÖSE

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakan ÇINAR

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

"Deprem Yer Hareketlerinin Ölçeklendirilmesi ve Uygulanışı" konusunu içeren bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Zaman tanım alanında analizler için gerekli olan uygun yer hareket kayıtlarının seçilmesi ve bu kayıtların yönetmelik tasarım ivme spektrumlarına hızlı bir şekilde ölçeklendirilmesinin dikkate alındığı bu çalışmanın, önümüzdeki yıllarda bu konuda çalışan araştırmacılara yararlı olması arzusundayım.

Değerli hocam, danışmanım, Sayın Doç. Dr. Şevket ATEŞ, tez çalışmasının gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlamış, çalışmanın sonuca ulaştırılmasında ve karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yol gösterici olmuştur. Kendisine sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her konuda yardımlarını esirgemeyen, görüş ve önerilerinden yararlandığım meslektaşlarım, Arş. Gör. Barbaros ATMACA'ya, Arş. Gör. Hasan SESLİ'ye, Arş. Gör. Gökhan ADIYAMAN'a, Arş. Gör. Muhittin TURAN'a ve Arş. Gör. Zeliha KUYUMCU'ya içten teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca bana emeği geçen, beni bilgilendiren ve yönlendiren bütün hocalarımı saygıyla anar, kendilerine ömür boyu minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Hayatım boyunca, benden desteklerini hiç esirgemeyen babama, anneme, kardeşlerime ve arkadaşlarıma teşekkür eder, bu çalışmanın, yeni çalışmalara ışık tutmasını ve ülkemize faydalı olmasını temenni ederim.

Mustafa ERGÜN
Trabzon 2013

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "Deprem Yer Hareketlerinin Ölçeklendirilmesi ve Uygulanışı" başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Şevket ATEŞ'in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri kendim topladığımı, analizleri ilgili programda yaptığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 17/06/2013

Mustafa ERGÜN

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ BEYANNAMESİ	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XV
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Deprem Kayıt Kaynakları	2
1.2.1. Yapay Deprem Kayıtları	2
1.2.2. Benzeştirilmiş Deprem Kayıtları	3
1.2.3. Gerçek Deprem Kayıtları	3
1.2.3.1 Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi	3
1.2.3.1.1 Eurocode 8'e Göre Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilme Koşulları	4
1.2.3.1.1.1. Bina Türü Yapılar İçin Koşullar	4
1.2.3.1.1.2. Köprü Türü Yapılar İçin Koşullar	5
1.3. Yer Hareketini Ölçeklendirme Yöntemleri.....	5
1.3.1. Frekans Tanım Alanında Ölçeklendirme	6
1.3.2. Zaman Tanım Alanında Ölçeklendirme.....	7
1.4. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	10
1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	27
2. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ YÖNTEMİ	29
2.1. Zaman Tanım Alanında Dinamik Hareket Denklemleri.....	29
2.1.1. Doğal Frekans ve Modların Hesabı	29
2.1.2. Mod Süperpozisyon Yöntemi.....	33
3. YAPILAN ÇALIŞMALAR	38

3.1.	SESCAP Programının Tanıtımı.....	40
3.1.1.	SESCAP Programının Binalar Kısımına Ait Bölümünün Tanıtımı	41
3.1.2.	SESCAP Programının Köprüler Kısımına Ait Bölümünün Tanıtımı	46
3.2.	Köprünün Analitik Modeli	55
3.2.1.	Üstyapı Tanıtımı	55
3.2.2.	Sismik İzolatörün Tanıtımı	57
4.	BULGULAR VE İRDELEMELER	68
5.	SONUÇLAR	134
6.	KAYNAKLAR.....	137
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

DEPREM YER HAREKETLERİNİN ÖLÇEKLENDİRİLMESİ VE UYGULANIŞI

Mustafa ERGÜN

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Şevket ATEŞ
2013, 141 Sayfa

Bu tez çalışmasında uygun gerçek deprem kayıtları seçilerek yönetmelik tasarım ivme spektrumlarına ölçeklendirilmektedir. Çalışma kapsamında, onar adet yakın fay ve uzak fay yer hareketi tasarım spektrumuna uygun olacak şekilde seçilmişler ve zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi kullanılarak Eurocode 8 yönetmelik tasarım ivme spektrumuna ölçeklendirilmişlerdir.

Birinci bölümde, yapıların tasarımında ve analizinde yaygın olarak kullanılan zaman tanım alanında analiz yöntemi ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Bu analizlerin gerçekleştirilmesinde kullanılması gereken deprem kayıtlarının elde edilebileceği kaynaklardan ve bu kayıtların seçilmesinde dikkate alınacak parametrelerden bahsedilmiştir. Elde edilen deprem kayıtlarının yönetmelik tasarım ivme spektrumuna ölçeklendirilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemler hesap adımları ile birlikte sunulmuştur. İkinci bölümde, zaman tanım alanında dinamik analizlere ait matematiksel hesaplar ortaya konulmuştur. Üçüncü bölümde, zaman tanım alanında ölçekleme yöntemine ait hesap adımları MATLAB GUI ara yüz program dili ile kodlanmıştır. Programdan elde edilen sonuçlar, SAP2000 programında oluşturulan köprü modelinin zaman tanım alanında dinamik analizinde kullanılmışlardır. Dördüncü bölümde, köprü tabliyesi kesit etkileri değerleri ile köprü ayağı eğilme momenti değerleri her bir yer hareketinin ölçekli ya da ölçeksiz olma durumlarına göre çizilmiş ve karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde ise elde edilen tüm veriler değerlendirilerek, yakın fay yer hareketlerinin yapısal davranışa olan etkileri ile uzak fay yer hareketlerinin yapısal davranış üzerindeki etkileri karşılaştırılarak sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Zaman tanım alanında analiz, Deprem kayıtlarının seçilmesi, Deprem kayıtlarının ölçeklendirilmesi, Zaman tanım alanında ölçeklendirme

Master Thesis

SUMMARY

SCALING AND APPLICATION OF EARTHQUAKE GROUND MOTIONS

Mustafa ERGUN

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Civil Engineering Graduate Program
Supervisor: Assoc. Prof. Sevket ATES
2013, 141 Pages

In this paper, actual earthquake records are selected and scaled to code design acceleration spectrums. Seven near fault and seven far fault ground motions are selected from PEER strong motion database. The time domain scaling procedure is utilized to scale the available actual records to match the proposed target spectrum given in the Eurocode 8 (1998-1: 2004).

In the first chapter, general information is given about time history analyses which have been used commonly for design and consideration of structures. Sources of earthquake records which must be used to be able to carry out such analysis are mentioned. Also, two methods; time domain method and frequency domain method used for scaling actual earthquake records are specified together with their calculation guidelines. In the second chapter, mathematical formulation of the steps of linear time history analysis is presented. In the third chapter, calculation steps of the time domain scaling procedure are programmed by Graphical User Interface (GUI), MATLAB and a new scaling program are developed; SESCAP. Results obtained from this new model are used for time history analysis of a screw bridge modeled with SAP2000 as both isolated bridge and non-isolated bridge. In the fourth chapter, values of internal forces of the deck and values of bending moments of the abutment are presented with graphics and compared with each other considering either scaled cases or unscaled cases of the earthquake records. In the fifth chapter, firstly all of the obtained data about bridges are evaluated and then the effects of near fault ground motions on the structural response are compared with ones of far fault ground motions.

Key Words: Time history analysis, Selection of earthquake records, Scaling of earthquake records, Time domain scaling procedure

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi hesap adımlarının akış diyagramı yardımıyla gösterimi	9
Şekil 2.1.	Mod süperpozisyon yöntemi	33
Şekil 2.2.	Mod süperpozisyon yönteminde modal koordinatlar ve çözüm	37
Şekil 3.1.	SESCAP programının giriş ekran görüntüsü	40
Şekil 3.2.	SESCAP programının binalar kısmına ait bölümünün ana penceresi ekran görüntüsü	41
Şekil 3.3.	SESCAP programının Akselogramlar bölümü ekran görüntüsü.....	41
Şekil 3.4.	SESCAP programının Spektrumlar bölümü ekran görüntüsü.....	42
Şekil 3.5.	SESCAP programının Hedef Spektrumlar bölümü ekran görüntüsü	42
Şekil 3.6.	SESCAP programında ölçeklendirme işlemi ekran görüntüsü	43
Şekil 3.7.	SESCAP programında spektral ivme için ölçeklendirme katsayısı ekran görüntüsü	44
Şekil 3.8.	SESCAP programında Yönetmelik Şartları bölümü ekran görüntüsü	45
Şekil 3.9.	SESCAP programının köprüler kısmına ait bölümünün ana penceresi ekran görüntüsü	46
Şekil 3.10.	SESCAP programının Akselogramlar bölümü ekran görüntüsü.....	46
Şekil 3.11.	SESCAP programının Spektrumlar bölümü ekran görüntüsü.....	47
Şekil 3.12.	SESCAP programının Hedef Spektrumlar bölümü ekran görüntüsü	48
Şekil 3.13.	SESCAP programında ölçeklendirme işlemi ekran görüntüsü	48
Şekil 3.14.	SESCAP programında Yönetmelik Şartları bölümü ekran görüntüsü	50
Şekil 3.15.	Parkfield Depreminin, Cholame#5 İstasyon kaydı yatay bileşenlerine ait doğal ve ölçeklenmiş ivme kayıtları	52
Şekil 3.16.	Imperial Valley Depreminin, Bonds Comer İstasyon kaydı yatay bileşenlerine ait doğal ve ölçeklenmiş ivme kayıtları	52
Şekil 3.17.	Imperial Valley Depreminin, El Centro Array#8 İstasyon kaydı yatay bileşenlerine ait doğal ve ölçeklenmiş ivme kayıtları	53
Şekil 3.18.	Imperial Valley Depreminin, Delta İstasyon kaydı yatay bileşenlerine ait doğal ve ölçeklenmiş ivme kayıtları	53
Şekil 3.19.	Westmorland Depreminin, Westmorland Fire Station İstasyon kaydı yatay bileşenlerine ait doğal ve ölçeklenmiş ivme kayıtları	54

Şekil 3.20. Superstin Hills(B) Depreminin, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yatay bileşenlerine ait doğal ve ölçeklenmiş ivme kayıtları	54
Şekil 3.21. Köprü planı ve boy kesiti	55
Şekil 3.22. Köprü ara aks kesiti	56
Şekil 3.23. Köprü kenar ayak kesitleri	57
Şekil 3.24. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnet modeli	58
Şekil 3.25. Verev köprünün analitik modeli	60
Şekil 3.26. İzolasyonsuz verev köprünün sonlu elamanlar modeli	61
Şekil 3.27. İzolasyonlu verev köprünün sonlu elamanlar modeli	61
Şekil 3.28. İzolasyonsuz verev köprünün üç boyutlu sonlu elamanlar modeli	63
Şekil 3.29. İzolasyonlu verev köprünün üç boyutlu sonlu elamanlar modeli	63
Şekil 3.30. İzolasyonsuz verev köprü modeline ait mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar	65
Şekil 3.31. İzolasyonlu verev köprü modeline ait mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar	67
Şekil 4.1. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta istasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi	70
Şekil 4.2. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta istasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	71
Şekil 4.3. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta istasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	72
Şekil 4.4. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi	73
Şekil 4.5. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	74
Şekil 4.6. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	75
Şekil 4.7. 1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi	76
Şekil 4.8. 1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	77

Şekil 4.9.	1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	78
Şekil 4.10.	1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi	79
Şekil 4.11.	1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	80
Şekil 4.12.	1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	81
Şekil 4.13.	1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi	82
Şekil 4.14.	1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	83
Şekil 4.15.	1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	84
Şekil 4.16.	1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi	85
Şekil 4.17.	1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	86
Şekil 4.18.	1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	87
Şekil 4.19.	1979 Imperial Valley Depremi, Delta istasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi	88
Şekil 4.20.	1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi	89
Şekil 4.21.	1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi	90
Şekil 4.22.	1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi	91

Şekil 4.23. 1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi	92
Şekil 4.24. 1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi	93
Şekil 4.25. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta istasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi	94
Şekil 4.26. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta istasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	95
Şekil 4.27. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta istasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	96
Şekil 4.28. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi	97
Şekil 4.29. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	98
Şekil 4.30. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	99
Şekil 4.31. 1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi	100
Şekil 4.32. 1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	101
Şekil 4.33. 1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	102
Şekil 4.34. 1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi	103
Şekil 4.35. 1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	104
Şekil 4.36. 1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	105

Şekil 4.37. 1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi	106
Şekil 4.38. 1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	107
Şekil 4.39. 1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	108
Şekil 4.40. 1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi	109
Şekil 4.41. 1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	110
Şekil 4.42. 1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi	111
Şekil 4.43. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta istasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi	112
Şekil 4.44. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi	113
Şekil 4.45. 1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi.....	114
Şekil 4.46. 1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi	115
Şekil 4.47. 1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi	116
Şekil 4.48. 1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi	117
Şekil 4.49. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi	118
Şekil 4.50. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi	119

Şekil 4.51. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi	120
Şekil 4.52. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi	121
Şekil 4.53. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi	122
Şekil 4.54. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi	123
Şekil 4.55. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin ayak boyunca değişimi	124
Şekil 4.56. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin ayak boyunca değişimi	125
Şekil 4.57. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi	126
Şekil 4.58. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi	127
Şekil 4.59. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi	128
Şekil 4.60. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi	129
Şekil 4.61. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi	130
Şekil 4.62. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi	131
Şekil 4.63. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin ayak boyunca değişimi	132
Şekil 4.64. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin ayak boyunca değişimi	133

TABLULAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 3.1. Ölçeklendirme işleminde kullanılmak üzere seçilen yakın fay yer hareketleri	39
Tablo 3.2. Ölçeklendirme işleminde kullanılmak üzere seçilen uzak fay yer hareketleri.....	39
Tablo 3.3. Yakın fay yer hareketlerine ait ölçeklendirme sonuçları	51
Tablo 3.4. Uzak fay yer hareketlerine ait ölçeklendirme sonuçları	51
Tablo 3.5. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin efektif özellikleri	59
Tablo 3.6. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin geometrik ve mekanik özellikleri.....	59
Tablo 3.7. Köprüde kullanılan elamanların kesit özellikleri ve ağırlıkları.....	62
Tablo 3.8. Köprü malzeme özellikleri	62
Tablo 3.9. Köprü temeli yay sabitleri.....	62
Tablo 3.10. İzolasyonsuz ve izolasyonlu köprüye ait periyot değerleri	64

SEMBOLLER DİZİNİ

A_0	: Etkin yer ivmesi katsayısı
g	: Yer çekimi ivmesi
T_1	: Birinci (hakim) periyot
T_{eff}	: İzolasyon sistemli köprüler için etkin periyot
T_v	: Köprünün en düşük modundaki periyot
$S_a^{hedef}(T)$: Hedef ivme davranış spektrumu
$S_a^{gerçek}(T)$: Gerçek deprem kaydının ivme spektrumu
$SPR(T)$: Tasarım spektrumu ile gerçek kaydın davranış spektrumu arasındaki oran
T_A	: Ölçeklenmenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı
T_B	: Ölçeklenmenin yapılacağı periyot aralığının üst sınırı
$FILT(\omega)$: Zamana bağlı oran fonksiyonu
ω	: Açısal frekans
ω_{min}	: Minimum ölçekleme açısal frekansı
ω_{mak}	: Maksimum ölçekleme açısal frekansı
$F^{gerçek}(\omega)$: Gerçek deprem kaydının fourier spektrum genliği
$\theta^{gerçek}(\omega)$: Gerçek deprem kaydının fourier spektrum fazı
$F^{filtrelenmiş}(\omega)$: Filtrelenmiş fourier spektrum genliği
a_{ST}	: Doğrusal ölçekleme katsayısı
ΔT	: Periyot adım miktarı
$ TGH $: Toplam göreceli hata
$ OGH $: Oransal göreceli hata
PGV	: Yer hareketinin maksimum hızı
PGA	: Yer hareketinin maksimum ivmesi
PGD	: Yer hareketinin maksimum yer değiştirmesi
E_i	: Yer hareketinin enerjisi
M_w	: Deprem büyüklüğü
R	: Kaynak-bölge mesafesi
EL	: Eşdeğer lineer analiz
IM	: Yer hareketi şiddet ölççeği
PSA	: Zahiri mutlak ivme spektrumu

GMSM	: Yer hareketini seçme ve düzenleme metodu
ε	: Epsilon
GA	: Genetik algoritma yöntemi
[M]	: Sistemin kütle matrisi
[C]	: Sistemin sönüm matrisi
[K]	: Sistemin rijitlik matrisi
{U}	: Sistemin yer değiştirme vektörü
{ \dot{U} }	: Sistemin hız vektörü
{ \ddot{U} }	: Sistemin ivme vektörü
{P}	: Dış yük vektörü
A	: Başlangıç şartlarından elde edilen bir katsayı
B	: Başlangıç şartlarından elde edilen bir katsayı
α	: Faz açısı
ω	: Doğal frekans
ω_n	: Doğal açısal frekans
ω_r	: r. titreşim moduna karşılık gelen açısal frekans
{ ϕ }	: Hareketin genlik vektörü
n	: Yapısal sistemin serbestlik derecesi
λ	: Öz değer vektör
[Φ]	: Normalleştirilmiş modal matris
Φ_r	: Normalleştirilmiş mod
[I]	: Birim matris
{q}	: Modal koordinatlar
M_r	: r. genelleştirilmiş kütle
C_r	: r. genelleştirilmiş sönüm
K_r	: r. genelleştirilmiş rijitlik
P_r	: r. genelleştirilmiş kuvvet
$q_r(t)$: r. titreşim moduna ait modal koordinatlar

TSD	: Tek serbestlik dereceli sistem
S(T)	: Spektrum katsayısı
A(T)	: Spektral ivme katsayısı
D_M	: İzolatörün maksimum yer değiştirmesi
K_{eff}	: İzolatörün efektif rijitliği
K_x	: Düşey rijitlik yay sabiti
K_y	: Enine rijitlik yay sabiti
K_z	: Boyuna rijitlik yay sabiti
K_{rx}	: Burulma rijitliği yay sabiti
K_{ry}	: y ekseninde salınım rijitliği
K_{rz}	: z ekseninde salınım rijitliği
s	: Saniye
Hz	: Frekans birimi (Hertz)

Not: Bu listede verilmeyen bazı semboller metin içerisinde ilgili oldukları yerlerde tanımlanmışlardır.

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Geçmişten günümüze kadar tüm dünyada çok sayıda deprem meydana gelmiştir. Bu depremler büyük can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Bu kayıpları önlemek ve en aza indirmek amacıyla mühendislik alanında ve teknolojiye birçok gelişmeler kaydedilmiştir. Mühendislik alanında yapılan gelişmelerden biri de yapıların olmuş ve olabilecek depremlere karşı deprem analizlerinin yapılmasıdır. Geleneksel olarak, yapılara etkiyen deprem yüklerinin hesabı; eşdeğer statik deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi ile yapılmaktadır. Son yıllarda yapısal analizde ve teknolojiye sağlanan gelişmelerle birlikte, zaman tanım alanında hesap yöntemi yapıların tasarım ve analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapıların sismik analizinde, zaman tanım alanında hesap yöntemi; zaman tanım alanında doğrusal elastik veya zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan analiz şeklinde iki türlü kullanılabilir.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yönteminde, yapının lineer davranış gösterdiği bir başka deyişle yapının kalıcı şekil değiştirmeler yapmadığı ve malzemenin elastik kaldığı kabulü yapılır. Oysaki depreme karşı yapılan tüm dayanıklılık tasarım çalışmaları bir yapının güçlü bir yer hareketine elastik olmayan şekil değiştirmeler yaparak karşı koyabileceğini göstermektedir. Bu nedenle elastik olmayan bu şekil değiştirmeleri tahmin edebilmek için yapının lineer olmayan özelliklerini dikkate alan bir analize ihtiyaç vardır.

Lineer olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemi, binaların dinamik yüklere karşı hareketlerini inceleyen ve en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Yapılar deprem yükleri altında lineer davranmadıkları için yapılan analizlerde bu hesap yönteminin kullanılması daha uygun olmaktadır. Fakat bu yöntemin kullanımında bir takım zorluklar vardır. Bu zorluklar hesap yönteminin karmaşıklığı ve pratik tasarım uygulamalarına uygun olmaması ile ilgilidir. Buna rağmen birçok araştırmacı tarafından bu yöntem uygulamalarda tercih edilmektedir.

Zaman tanım alanında doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan analizlerin gerçekleştirilmesindeki en önemli konu, uygun sismik kayıtların seçilmesi ve bu kayıtların ölçeklendirilmesidir. Deprem kayıtlarının elde edilebileceği üç farklı kaynaktan bahsetmek

mümkündür; yapay yollar kullanılarak oluşturulan tasarım ivme spektrumu uyumlu kayıtlar, kaynak ve dalga özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş kayıtlar ve gerçek depremlerden elde edilen kayıtlar (Fahjan, 2008). Deprem esnasında alınan kayıtların sayısının gün geçtikçe artması ve bunlara erişimin gelişen veri transfer teknolojisi ile birlikte kolaylaşması zaman tanım alanında yapılacak hesaplarda, gerçek kayıtları en çok tercih edilen seçenek haline getirmektedir.

1.2. Deprem Kayıt Kaynakları

Zaman tanım alanında yapılacak analizler için gerekli olan yer hareket kayıtlarının elde edilebileceği üç farklı kaynaktan bahsetmek mümkündür; Yapay kayıtlar, benzeştirilmiş kayıtlar ve gerçek depremlerden elde edilen kayıtlar.

1.2.1. Yapay Deprem Kayıtları

Geniş bir periyot aralığında, tepki spektrumu elastik tasarım spektrumuna aynen benzeyen yapay kayıtlar üretilebilir. Sadeleştirilmiş tepki spektrumundan güç spektral yoğunluk fonksiyonu bulunur ve bu fonksiyon ile rastgele faz açıları birleştirilerek sinüzoidal sinyaller türetilir. Bu sinüzoidal hareketler toplanarak yapay kayıt elde edilir. Tasarım spektrumuyla eşleşmeyi iyileştirmek için iteratif bir yöntem kullanılır. Bu yöntemde, seçilen frekanslarda gerçek tepki spektrumu ve hedef tasarım spektrumu ordinatları arasında ölçeklendirme katsayısı hesaplanır ve güç spektral yoğunluk fonksiyonu bu ölçeklendirme katsayısının karesi ile ayarlanarak kayıt düzeltilir. Bu işlemler sonucunda yeni hareket elde edilmiş olur.

Tasarım spektrumuna uyumlu yapay kayıtların diğer özelliklerini öğrenmek için, beklenen depremle ilgili tepki spektrumunun yanında hareketin süresi gibi başka tamamlayıcı bilgilere de ihtiyaç vardır. Yapay kayıtları kullanmaktaki en büyük zorluk, çok sayıda kaydedilmiş hareketin ortalamasını simgeleyen tasarım spektrumuna uygun tek bir kayıt elde etmeye çalışmaktır. Tasarım spektrumu, genellikle pek çok sismik kaynağın etkisini eş zamanlı olarak göz önüne alan istatistiksel bir analizin sonucu olduğundan, farklı periyotlara karşı gelen spektrum ivme değerleri de değişik kaynaklarda oluşan depremlerden elde edilmiş olabilir. Ayrıca, yapay kayıtlardaki temel problem, kuvvetli yer

hareketindeki çevrim sayısının artması sonucunda, gerçeğe aykırı olacak kadar büyük miktarda enerjinin açığa çıkmasıdır (Fahjan, 2008).

1.2.2. Benzeştirilmiş Deprem Kayıtları

Bu tür kayıtlar, yayılım ortamı ve zemin özelliklerini dikkate alan sismolojik kaynak modellerinden elde edilir. Burada ki en büyük zorluk uygun kaynak, yayılım ortamı ve zemin özelliklerinin tanımlanmasıdır. Kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş kayıtları elde etmekte kullanılan analizlerde, inceleme yapılacak alan için, senaryo depreminin büyüklük ve mesafeye bağlı olarak tanımlanmış olması gerekir. Özellikle sismik tasarım yönetmelikleri kullanıldığı durumlarda, bu bilgilerin çoğu genellikle mevcut değildir (Fahjan, 2008).

1.2.3. Gerçek Deprem Kayıtları

Gerçek deprem kayıtları, yer sarsıntısının doğası ve belli başlı özellikleri (genliği, süresi, faz özellikleri ve frekans muhteviyatı) hakkında sağlıklı bilgiler içerir. Ayrıca, kayıtları etkileyen kaynak, yayılım ortamı ve zemin gibi bütün faktörleri de yansıtır. Bu yüzden sahanın sismolojik parametrelerini de göz önünde bulundurarak bu tür kayıtların seçilmesi diğer alternatiflere göre büyük üstünlük sağlar. Mevcut olan kuvvetli yer hareketi kayıtlarının artması sebebiyle, depremlerde kaydedilmiş ivme kayıtlarının kullanılması ve ölçeklendirilmesi bu alandaki en güncel araştırma konularından biri haline gelmektedir. Sürekli artan kuvvetli yer hareketi veri tabanlarına rağmen, büyüklük, yırtılma mekanizması, kaynakla saha arasındaki mesafe ve zemin sınıfı gibi deprem parametrelerine bağlı pek çok kombinasyon oluşturulabileceğinden, bazı hallerde duruma uygun kayıt bulmada zorlukla karşılaşılabilir (Fahjan, 2008).

1.2.3.1. Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi

Zaman tanım alanında doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan analizlerin gerçekleştirilmesinde en önemli konu, uygun sismik kayıtların seçilmesidir. Kullanılması gereken yer hareket kayıtlarının karakteristikleri, bölgenin yerel zemin koşulları ve

bölgenin deprem özelliği gibi bir takım unsurlarla uyumlu olması gerekmektedir.

Bölgenin depremsel özellikleri ve yerel zemin koşulları açısından dikkate alınacak hususlar aşağıda verilmiştir;

- Tektonik oluşum
- Deprem büyüklüğü
- Faylanma tipi
- Kaynak-Bölge mesafesi
- Yerel zemin koşulları
- Güçlü yer hareketi süresi
- Spektral şekil
- Yakın fay özellikleri

ASCE 07-05 ve Eurocode 8 gibi deprem yönetmeliklerinde dikkate alınan periyot aralığında, bölgesel tasarım ivme spektrumları ile uyumlu olacak şekilde ivme kayıtlarının seçilmesi ile ilgili tanımlamalar yer almaktadır. Ancak ivme kaydı seçimi ile kriterler genel olarak verilmekte, özel ve ayrıntılı tanımlamalar yapılmamaktadır. Zaman tanım alanında analiz ve kullanılacak ivme kaydı seçimi ile ilgili çalışmalar nispeten yenidir ve bu konuda çalışan uzmanlar arasında ivme kaydı seçimine ilişkin herkesin hem fikir olduğu bir yaklaşım henüz yoktur. Modern yönetmeliklerde ise genel yaklaşım sentetik, yapay ya da gerçek ivme kayıtlarının, yönetmeliklerde yer alan tasarım spektrumları ile uyumlu olacak şekilde seçilmesi şeklindedir. Ek olarak yönetmelikten yönetmeliğe değişen birkaç koşul da yer almaktadır. Hemen hemen tüm yönetmeliklerde, analizlerde en az üç adet ivme kaydının kullanılması, yediden daha az ivme kaydının kullanılması durumunda analiz sonuçlarının maksimumunun, daha fazla ivme kaydı kullanılması durumunda ise analiz sonuçlarının ortalamasının dikkate alınması koşulları yer almaktadır.

1.2.3.1.1. Eurocode 8'e Göre Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilme Koşulları

1.2.3.1.1.1. Bina Türü Yapılar İçin Koşullar

- En az üç adet yer hareket kaydı kullanılmalıdır.
- Kullanılacak deprem yer hareket kaydının sıfır periyoda karşılık gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmayacaktır.

- %5 sönüm oranı için yeniden elde edilecek spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci periyot T_1 'e göre $0,2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için, yönetmelikte tanımlanan elastik spektral ivme değerlerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

1.2.3.1.1.2. Köprü Türü Yapılar İçin Koşullar

- Deprem yatay hareketlerinin her iki bileşenine ait %5 sönümlü spektral ivme değerlerinin karelerinin toplamının karekökü (SRSS) alınarak yeni bir spektrum oluşturulacaktır.

- Ele alınan her bir yer hareketine ait ilk adımda hesaplanan spektral ivme değerlerinin ortalaması alınarak yeni bir spektrum elde edilecektir.

- İkinci adımda elde edilecek spektral ivme değerleri, $0,2T_1$ ile $1,5T_1$ periyot aralığında, burada T_1 köprünün hakim periyodudur, izolasyon sistemli köprüler için ise etkin periyot T_{eff} , %5 sönüm oranlı tasarım spektrumunun spektral ivme değerlerinin 1,3 ünden daha az olmayacaktır.

- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için, yer hareketinin üç bileşeninde kullanılması durumunda yatay bileşenler düşey bileşenden bağımsız olarak ölçeklendirilir. Ele alınan her bir yer hareketine ait düşey bileşenlerin spektral değerlerinin ortalaması $0,2T_v$ ile $1,5T_v$ periyot aralığında %5 sönüm oranlı tasarım spektrumunun 0,9 undan daha az olmayacaktır. Burada, T_v köprünün en düşük modundaki periyottur.

1.3. Yer Hareketini Ölçeklendirme Yöntemleri

Herhangi bir ivme kaydından elde edilen tepki spektrumunun, yönetmeliklerde tanımlanan tasarım ivme spektrumları ile uyumlu olması çok zordur. Bu sebeple birden fazla ivme kaydı seçmek ve bu ivme kayıtlarına ait ivme spektrumlarının ortalamasının yönetmelik ivme spektrumu ile uyumlu olmasına çalışmak yoluna gidilmektedir. Bu işlem yapılırken uyumun artırılması ya da sağlanması amacıyla ivme kayıtlarının çeşitli yöntemlerle ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Gerçek deprem kayıtlarının tasarım ivme spektrumuna uygun olacak şekilde ölçeklendirilmesi için pek çok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler, zaman tanım alanındaki yöntemler ve frekans tanım alanındaki yöntemler

olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir.

1.3.1. Frekans Tanım Alanında Ölçeklendirme

Bu yöntem, deprem esnasında kaydedilmiş ivme kayıtları kullanılarak tasarım ivme spektrumuyla neredeyse mükemmel şekilde uyuşan başlangıçtaki kayda benzer bir hareketin türetilmesi esasına dayanır. Frekans tanım alanında ölçeklendirme yönteminde, seçilen gerçek deprem kaydı, tasarım ivme spektrumunun bu kayda ait davranış spektrumuna oranı ile frekans tanım alanında filtrelendirir. Bütün yöntem boyunca hareketin Fourier fazları değişmeden aynen kalır. Elde edilen frekans tanım alanındaki hareket, zaman tanım alanına çevrilerek davranış spektrumu alınır. İstenilen periyot aralığında, bu davranış spektrumunun tasarım ivme spektrumu ile yeterli düzeyde eşleşip eşleşmediği kontrol edilir. Eğer eşleşme yeterli bulunmazsa istenilen eşleşme sağlanıncaya kadar adımlar tekrar edilir. Frekans tanım alanında yapılan ölçekleme işleminin adımları aşağıda özetlenmiştir (Özdemir ve Fahjan, 2007):

- a) İlgili tasarım spektrumuna $S_a^{hedef}(T)$ uygun olarak ölçeklenmek üzere tek bir deprem kaydı seçilir $TH^{gerçek}(t)$,
- b) Sönüm oranı tasarım spektrumu ile aynı olacak şekilde seçilen kaydın davranış spektrumu $S_a^{gerçek}(T)$ elde edilir,
- c) Ölçeklendirmenin yapılacağı periyot sınırları içinde tasarım spektrumu ve gerçek kaydın davranış spektrumu arasındaki oran hesaplanır,

$$SPR(T) = \frac{S_a^{hedef}(T)}{S_a^{gerçek}(T)} \quad T_A \leq T \leq T_B \quad (1.1)$$

- d) Zaman bağılı olan oran fonksiyonu $SPR(T)$, açısal frekans, ω cinsinden yazılır,

$$FILT(\omega) = SPR(\omega) \quad \omega_{min} \leq \omega \leq \omega_{maks} \quad (1.2)$$

burada, ω_{min} ve ω_{maks} sırasıyla maksimum ve minimum ölçekleme açısal frekanslarıdır.

- e) Hızlı Fourier algoritması kullanılarak gerçek deprem kaydının, $TH^{gerçek}(t)$, Fourier spektrum genliği $F^{gerçek}(\omega)$ ve Fourier spektrum fazı $\theta^{gerçek}(\omega)$ hesaplanır. Fourier spektrum genliği $FILT(\omega)$ fonksiyonu ile çarpılarak $F^{filtrelenmiş}(\omega)$ fonksiyonu elde edilir.

$$F^{\text{filtrelenmiş}}(\omega) = \text{FILT}(\omega) F^{\text{gerçek}}(\omega) \quad (1.3)$$

f) Filtrelenmiş Fourier spektrum genliği $F^{\text{filtrelenmiş}}(\omega)$ ve orijinal kaydın Fourier spektrum fazından, $\theta^{\text{gerçek}}(\omega)$, ters Fourier algoritması kullanılarak bir kayıt, $TH(t)$ oluşturulur.

g) Bir önceki adımda elde edilen kaydın davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasında yönetmeliklerde belirtilen eşleşme sağlanıncaya kadar (c)'den (f)'e kadar olan adımlar tekrar edilir.

Frekans tanım alanında ölçekleme yönteminde tasarım ivme spektrumu ile oldukça iyi eşleşen kayıtlar elde edilir. Fakat yer hareketi kaydının frekans içeriği değiştirildiği için yer hareketinin doğal özellikleri kaybolur.

1.3.2. Zaman Tanım Alanında Ölçeklendirme

Bu yöntemde, yer hareketi kaydı aynı miktarda yukarı veya aşağı yönde ölçeklenerek (1 'den büyük veya 1 'den küçük ve sabit bir katsayı ile çarpılarak) istenilen periyot aralığında, hedef tasarım ivme spektrumuna en uygun eşleştirme yapılır. Bu işlem kaydın frekans içeriğini değiştirmez. Birden fazla deprem kaydı kullanılmak istendiğinde ise, her bir kayıt için ayrı ayrı ölçeklendirme işlemi yapılabileceği gibi hedef tasarım ivme spektrumuna en iyi uyan kayıtların ortalaması da kullanılabilir. Bu yöntem, en küçük kareler tekniği kullanılarak, ölçeklendirilmiş hareketin davranış spektrumu ile tasarım ivme spektrumu arasındaki farkın küçültülmesi esasına dayanır. Bu çalışmada kullanılan yöntemde, "Fark" ölçeklendirilmiş ve hedef tasarım spektrumu genlikleri arasındaki farkın karesinin entegrasyonu olarak tanımlanmış ve aşağıda verilen eşitlikle hesaplanmıştır (Fahjan, 2008);

$$|\text{Fark}| = \int_{T_A}^{T_B} \left[a_{ST} S_a^{\text{gerçek}}(T) - S_a^{\text{hedef}}(T) \right]^2 dT \quad (1.4)$$

burada; S_a^{hedef} : hedef ivme davranış spektrumu, $S_a^{\text{gerçek}}$: kullanılacak gerçek deprem kaydının ivme spektrumu, a_{ST} : doğrusal ölçeklendirme katsayısı, T : salınım periyodu, T_A : ölçeklendirmenin yapılacağı periyot aralığının alt sınırı, T_B : ölçeklendirmenin yapılacağı

periyot aralığının üst sınırındır.

Fark miktarının küçülmesi için Fark fonksiyonunun doğrusal ölçeklendirme katsayısına göre türevi sıfır olmalıdır;

$$\min |\text{Fark}| \Rightarrow \frac{d|\text{Fark}|}{da} = 0 \quad (1.5)$$

Denklem (1.4)'deki Fark fonksiyonunun da 'ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlenir ve integraller ayrık forma çevrilerek T_A 'dan ΔT artımlarla T_B 'ye kadar devam eden toplam haline dönüştürülür. Buradaki ΔT periyot adım miktarıdır. Böylece denklem (1.6) elde edilir;

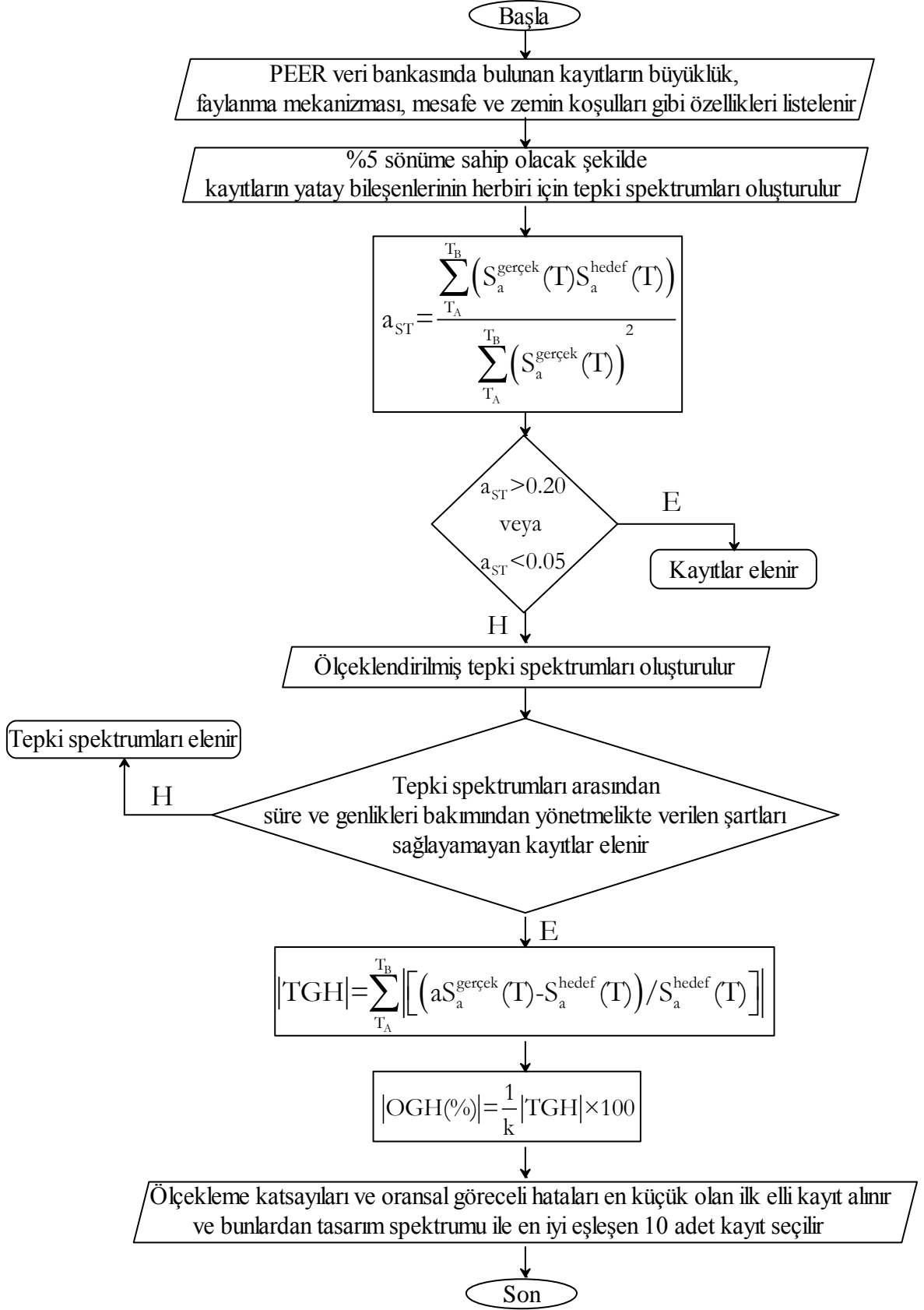
$$a_{ST} = \frac{\sum_{T_A}^{T_B} (S_a^{\text{gerçek}}(T) S_a^{\text{hedef}}(T))}{\sum_{T_A}^{T_B} (S_a^{\text{gerçek}}(T))^2} \quad (1.6)$$

Birden fazla deprem kaydı kullanılarak ölçeklendirme yapılmak istenmesi durumunda uygulanabilecek yöntemler aşağıda özetlenmiştir:

a) Bütün kayıtlar için tek bir ölçeklendirme katsayısı kullanılarak (N) adet deprem kaydının ortalaması tasarım spektrumuna eşleştirilmeye çalışılır. Üretilen ortalama spektrum, tasarım spektrumu ile oldukça iyi eşleşse de, bütün kayıtlar aynı katsayı ile ölçeklendirilmiş olur.

b) Tek bir kayıt için kullanılan yöntem, (N) adet kaydın her biri için tek tek uygulanır ve ölçeklendirilmiş kayıtların ortalamaları alınır. Her bir hareket tek başına en iyi şekilde ölçeklendirilmiş olmasına rağmen sonuçta alınan ortalama tasarım spektrumu ile mükemmel şekilde eşleşmez.

c) (N) adet kaydın spektrumunun ortalaması tasarım spektrumuna eşleştirilmeye çalışılır. (N) defa türev alınarak Fark fonksiyonu minimize edilir. Elde edilen (N) adet doğrusal cebirsel denklem çözülerek (N) adet optimum ölçeklendirme katsayısı bulunur. Bu yöntemde kayıtlar en optimum şekilde ölçeklendirilmiş olmasına rağmen çıkan ölçeklendirme katsayıları çok küçük veya çok büyük hatta negatif olabilirler.



Şekil 1.1. Zaman tanım alanında ölçekleme yöntemi hesap adımlarının akış diyagramı yardımıyla gösterimi

1.4. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Deprem yükleri etkisi altında bulunan mevcut yapıların performanslarının değerlendirilmesinde, ya da yeni bir yapının tasarımı için kullanılacak analizler arasında, en kapsamlı ve gerçeğe en yakın sonuçları veren analiz yöntemi zaman tanım alanında analiz yöntemidir. Zaman tanım alanında doğrusal elastik veya doğrusal elastik olmayan analizlerin gerçekleştirilmesindeki en önemli konu, uygun sismik kayıtların seçilmesi ve ölçeklendirilmesidir. Bu kapsamda ivme kayıtları ya tasarım spektrumları ile uyumlu olacak şekilde yapay olarak ya sismik kaynak ve dalga yayılım özellikleri dikkate alınarak benzetim yolu ile ya da gerçek depremlerden elde edilmektedir (Abrahamson, 1993; Boore, 2003; Bommer ve Acevedo, 2004). Herhangi bir ivme kaydına ait tepki spektrumunun, yönetmeliklerde yer alan tasarım spektrumları ile uyumlu olması oldukça zordur. Bu sebeple çeşitli yöntemler kullanılarak ivme kayıtlarına ait spektrumların tasarım spektrumu ile uyumlarını artırma yoluna gidilir. Bu işlem yapılırken uyumun artırılması ya da sağlanması amacıyla bazı ivme kayıtlarının frekans tanım alanında (Bolt ve Gregor, 1993) veya zaman tanım alanında (Fahjan, 2008; Iervolino vd., 2009; Kayhan vd., 2011) ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Son yıllarda hem teknolojiye meydana gelen gelişmeler hem de bu kayıtların elde edilebileceği veri bankalarının yaygınlaşması, bu konuyla ilgili yapılan çalışmalara büyük hız kazandırmıştır. Fakat nispeten yeni olan bu konu üzerinde çalışan uzmanlar arasında, ivme kaydı seçimine ilişkin herkesin hem fikir olduğu bir yaklaşım henüz geliştirilememiştir.

Nau ve Hall (1984), çalışmalarında maksimum yer değiştirme, maksimum hız ve maksimum ivme değerleri kullanılarak yapılan normalleştirmeden daha az kayıttan kayıta var olan dağılımı sağlayacak, farklı parametrelerin belirlenebilmesi için alternatif normalleştirme faktörlerini araştırmışlardır. On iki adet yer hareket kaydı kullanılarak elde edilen elastik ve elastik olmayan sistemlerin davranışları, istatistiksel değerlendirme amacıyla kullanılmıştır. Ele alınan alternatif normalleştirme faktörleri iki ana gruba ayrılmıştır. Birinci grup yer hareketi verilerine, ikinci grup ise davranışla alakalı niceliklere bağlıdır. Analizler sonucunda, tüm elastik ve elastik olmayan spektrumlar için yer hareketlerine dayalı alternatif ölçeklendirme faktörlerinden hiç birinin, pik yer hareketleri ile yapılan normalleştirme ile karşılaştırıldığında kayıttan kayıta var olan farklılıklar konusunda kayda değer bir azalmayı sağlayamadıkları görülmüştür. Davranışla alakalı olası alternatif ölçeklendirme faktörlerini oluşturan spektrum şiddeti ve ortalama fourier genlikleri

değerlendirildiğinde; spektrum şiddeti, düşük ve orta süreklilik seviyelerinde elastik ve elastik olmayan spektrumlar için daha az dağılım sağladığından dolayı tercih edilmesi gereken bir parametre olduğu belirtilmiştir.

Lilhanand ve Tseng (1988), çalışmalarında çoklu-sönümlü tasarım spektrumları ile uyumlu, gerçekçi sentetik yer hareket kayıtlarının üretilmesi için kullanılan yeni bir metodun geliştirilmesinden ve uygulama alanlarından bahsetmişlerdir. Uygulanabilirliğini göstermek amacıyla, yöntem gerçek bir nükleer santral bölgesi için kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu yeni metodun sentetik kayıtların üretiminde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Kayıtların davranış spektrumlarının, çoklu-sönümlü hedef spektrumlarla iyi bir uyum gösterdikleri görülmüştür. Ayrıca elde edilen sentetik kayıtların özellikleri ile gerçek kayıtların karakteristikleri benzerlik göstermiştir. Bu önemli özelliğin nedeninin yöntemin bünyesinde zaman tanım alanında benzeştirme yöntemini kullanmasından kaynaklandığı ifade edilmiştir.

Lee vd. (2000), yüksek binalar için deprem yer hareket kayıtlarının seçilme yöntemlerini incelemişlerdir. Çalışmalarında; hem planda hem de düşeyde büyük düzensizlikleri olan uzun periyotlu yüksek binaların deprem analizlerinde, seçilmiş gerçek deprem kayıtlarının kullanımı ile yapılan zaman tanım alanında analizleri, lineer elastik tasarım tepki spektrumlarının kullanılması ile yapılan analizlere tercih etmişlerdir. Çünkü elastik tasarım tepki spektrumlarının, deprem süresi ve bölgeye özgü özellikler gibi önemli sismik parametreleri içermediği belirtilmiştir. Lineer elastik tasarım tepki spektrumları belirlenmiş ve elde edilen bu spektrumlara, seçilen gerçek yer hareket kayıtlarının tepki spektrumları benzeştirilmeye çalışılmıştır. Çalışma kapsamında, sırasıyla 22, 14 ve 8 adet deprem yer hareket kayıtları S_1 , S_2 ve S_3 zemin sınıfları için seçilmiştir. Ölçeklendirme işlemi sonucunda elde edilen kayıtlar, özellikle orta ve düşük deprem riskli bölgelerde sismik analizler için zaman tanım alanında analiz girdisi olarak kullanılmıştır.

Alavi ve Krawinkler (2000), çalışmalarında yakın fay yer hareketlerinin yapı davranışı üzerindeki çarpıcı etkilerini değerlendirme eğiliminde olan bir araştırmanın sonuçlarını özetlemişlerdir. Makalede özetlenen çalışma, yakın fay yer hareketlerine maruz tek ve çok serbestlik dereceli sistemlerin elastik ve elastik olmayan davranışları ile ilgilidir. Çalışmanın asıl amacının yakın fay yer hareketleri etkileri üzerinde sayısal bilgiler edinmek ve yakın fay bölgelerinde yer alan yapıların emniyetini sağlayacak tasarım yönetmelikleri geliştirmek olduğu belirtilmiştir. Çalışmalar sonucunda, yakın fayın büyük bir problem olduğu ve tüm unsurlarını belirleyebilmek amacıyla daha fazla çabaya ihtiyaç

duyulduğu ifade edilmiştir. Bu çalışmada, gelecekte bu konuyla ilgili yapılacak incelemelere ve tasarım yönetmeliklerinin geliştirilmesi için yapılacak çalışmalara temel oluşturmak amacıyla sadece birkaç önemli konu incelenmiştir.

Gupta (2002), deprem risk analizleri için hem deterministlik hem de ihtimalci yaklaşımların detaylı açıklamalarını yapmış ve bu iki yöntemi karşılaştırmıştır. Her iki yöntemin kullanımını göstermek amacıyla, çok sayıda örnek sonuçlarıyla birlikte vermiştir. İhtimalci yaklaşımın sonuçları, tüm kontrol faktörlerinin etkilerini açıklayabildiği için, bu yöntemin daha güvenilebilir bir yöntem olduğunu savunmuştur. Deterministlik yaklaşımın avantajlarının ise ihtimalci risk analizlerinin, deprem büyüklüğü ve kaynak-bölge mesafesi çiftine ayrıştırılması yolu ile anlaşılacağını vurgulamıştır. Sonuç olarak, her iki yöntemin de amacının gerçek deprem ve yer hareketlerinin tahminini yapmak olmadığı, sadece mühendislik tasarımları ve kararlarını kolaylaştırmak olduğu belirtmiştir.

Mukherjee ve Gupta (2002), çalışmalarında yapısal sistemlerin lineer ve lineer olmayan analizleri için spektrum-uyumlu sentetik kayıtların üretimi konusunda bir takım problemler üzerinde durmuşlardır. Çalışma kapsamında, kayıtlı bir akselogramı sınırlı sayıda ve frekans içerikleri örtüşmeyen kayıtlara dönüştürmek için dalga analizleri kullanılmıştır. Her bir kayda ait davranış spektrumlarını belirli bir tasarım spektrumu ile uyumlu hale getirmek amacıyla, kayıtlar uygun bir şekilde ölçeklendirilmiştir. Bu tekrarlı prosedürün altında yatan ana fikrin, kayıtlı bir akselogram üzerinde değişiklikler yaparak, frekans içeriğinde var olan geçici varyasyonların sentezlenmiş akselogramlara aktarılması olduğu ifade edilmiştir. Prosedür, farklı özelliklere sahip beş ayrı kayıt üzerinde uygulanarak örneklendirilmiştir. Sonuç olarak, bu tekrarlı metodun kayıtlı bir akselogramın faz karakteristiklerini kullanan diğer yöntemlere göre daha direkt ve daha gerçekçi olduğu görülmüştür.

Agrawal ve He (2002), çalışmalarında yakın fay yer hareketlerine ait hız darbelerini, azalan sinüzoidal fonksiyonlar ile modellemişlerdir. Bu fonksiyonların yakın fay yer hareketi darbelerinin kinematik özelliklerini diğer mevcut darbe modellerine göre daha iyi yansıttıkları görülmüştür. Sayısal simülasyonlar, burada sunulan modelin deprem boyunca ölçülen yer hareketleri darbeleri ile benzerlik gösterdiğini ortaya koymuştur. Ayrıca, azalan sinüzoidal fonksiyonlara maruz kalan tek serbestlik dereceli bir osilatörün davranışı, bu osilatörün yer hareketleri etkisi altında gösterdiği davranışla iyi derecede uyum göstermiştir. Sonuç olarak, tanıtılan modelin geçerliliği ve kullanılabilirliği Norhridge (1994) ve Landers (1992) depremleri boyunca ölçülen yakın fay hareketleri kullanılarak da ispat

edilmiştir.

Kurama ve Farrow (2003), çalışmalarında farklı zemin koşulları ve farklı yapısal karakteristikleri açısından, yer hareketlerini ölçeklendirme yöntemlerini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında, farklı zemin koşulları (zemin sınıfı ve merkez üssü uzaklık) ve farklı yapısal özelliklere (akma dayanımı, periyot ve histeretik davranış) sahip lineer olmayan tek serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli sistemler incelenmiştir. Sonuç olarak, sert zeminler ve uzak alan durumları açısından çok iyi sonuçlar veren ölçeklendirme yöntemlerinin, yumuşak zeminler ve yakın alan karakteristikleri bakımından aynı sonuçları vermedikleri görülmüştür.

Sextos vd. (2003), çalışmalarında zemin-temel-üst yapı etkileşimini, zemin etkilerini ve yer hareketinin mekânsal değişkenliklerini dikkate alarak betonarme köprülerin elastik olmayan dinamik analizlerini hem metodolojik hem de analitik olarak incelemişlerdir. Çalışma kapsamında; yukarıda bahsedilen parametreler etkisi altında betonarme köprülerin elastik olmayan dinamik analizleri için kapsamlı bir yöntem hazırlanmış ve bu yöntem bir bilgisayar programı haline dönüştürülmüştür. Programın amacının, tasarımcılara kullanabilecekleri şekilde dönüştürülmüş yer hareket kayıtlarını sunmanın yanında, her hangi bir paket programı ile kullanılabilir ve zemin yapı etkileşimlerini simgeleyen yay katsayılarının sağlanması olduğu açıklanmıştır. Programın doğruluğunu ispatlamak amacıyla programın her bir adımı kayıtlı veriler, sonlu eleman analizleri, alternatif bilgisayar programları ve daha önce yapılmış benzer çalışmalarla kontrol edilmiştir. Elde edilen sonuçların, bu programın daha parametrik analizlerde ve sismik tasarımlarda kullanabileceği garantisini verdiği belirtilmiştir.

Sextos vd. (2003), çalışmalarında zemin-yapı etkileşiminin, bölge etkilerinin ve yer hareketlerinin mekânsal değişkenliklerinin köprülerin elastik olmayan dinamik analizleri açısından etkilerini, parametrik analizler yardımıyla ifade etmişlerdir. Farklı yapısal tiplere (temel periyot, simetri, düzensizlik, mesnet koşulları ve ayak-tabliye bağlantıları), boyutlara (açıklık ve toplam boy) ve yer hareketi özelliklerine (deprem frekans içeriği ve deprem uyarım yönü) sahip toplam yirmi adet köprü tipi için yapı davranışları incelenmiştir. Elde edilen yapı davranış sonuçları, zemine tam bağlı, düzgün uyarılmış ve elastik yapı tipleri sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak; betonarme köprülerin dinamik davranışlarının yer hareketlerinin mekânsal çeşitliliğinden, bölge etkilerinden ve zemin-yapı etkileşimlerinden önemli derecede etkilendiği ifade edilmiştir. Ayrıca, yukarıda bahsedilen faktörlere karşı daha hassas olan köprü tiplerinin daha detaylı analizlerinin

yapılması gerekliliği ifade edilmiştir.

Naeim vd. (2003), çalışmalarında herhangi bir bölgeye özgü tasarım spektrumlarına, minimum değişiklikler yapılarak eşleştirilebilen kombinasyon halindeki bir takım yer hareket kayıtlarının seçilmesi konusunda, yeni bir yöntem olan Genetik Algoritma (GA) yöntemini tanıtmışlardır. Mevcut yer hareket kayıtlarının içinden belirli bir miktar kaydın seçilip daha sonra tasarım spektrumuna ölçeklendirildiği klasik ölçeklendirme metotlarının aksine Genetik Algoritma yöntemi binlerce yer hareket kayıtlarından oluşan takımları araştırarak, bu kayıtlar arasından tasarım spektrumu ile en iyi uyumu sağlayan kayıtları vermektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bu metodun çok hızlı ve güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca bu yöntem ile seçilen kayıtlar ile tasarım spektrumu arasında uyumun arttırabilmesi için kayıtlar üzerinde çok az değişiklikler yapılmasının yeterli olduğu ifade edilmiştir.

Liao vd. (2004), çalışmalarında uzak fay ya da yakın fay yer hareketlerine maruz izolasyonlu ve izolasyonsuz sürekli kirişli köprülerin dinamik davranışlarını karşılaştırmışlardır. Yakın fay yer hareketi verileri 1999 Tayvan Chi-Chi depreminden alınmıştır. Aynı bölgede diğer depremlerden elde edilen kayıtlar da uzak fay yer hareket verileri olarak dikkate alınmışlardır. Yapılan çalışmanın ilk amacı; yakın fay ya da uzak fay yer hareketlerine maruz izolasyonlu ve izolasyonsuz köprülerin sismik davranışlarının karşılaştırılmasıdır. Diğer amacı ise; izolasyonlu köprülerin dinamik davranış karakteristikleri ile yakın fay yer hareketi parametreleri arasındaki ilişkileri açığa çıkartmak olmuştur. Sonuç olarak; uzak fay yer hareket kayıtlarının sismik izolasyonlu köprülerin taban kesme kuvvetinin azaltılmasında, yakın fay yer hareketlerine oranla daha etkili oldukları görülmüştür. Hem orta büyüklükte hem de küçük periyotlara sahip izolasyonlu köprüler için yer değiştirme ve taban kesme davranışları, önemli derecede PGV/PGA oranına ve yer hareketinin Enerjisine (E_i) bağlı olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca PGV/PGA oranının, yakın fay yer hareketleri etkisinde yer alan köprülerin davranış karakteristiklerini kontrol eden bir parametre olduğu belirtilmiştir.

Iervolino ve Cornell (2005), deprem büyüklüğü ve kaynak-bölge mesafesi gibi yer hareketlerinin seçilmesinde yaygın olarak kullanılan deprem parametrelerinin, yapı davranışı üzerindeki etkinliklerini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında, gerçek deprem kayıtları iki ana gruba ayrılmıştır. İlk grup nispeten manyitüdü büyük ve kaynak-bölge mesafesi küçük olan, her grupta on adet akselogramın yer aldığı toplam altı adet takımdan oluşmaktadır. İkinci grup ise, her bir takımda herhangi bir kısıtlamaya tabi tutulmayan

geniş bir katalogdan rastgele seçilmiş, içinde on adet akselogramın yer aldığı toplam on adet takımdan oluşmaktadır. Tek serbestlik dereceli ve çok serbestlik dereceli sistemler üzerinde yapılan analiz sonuçları; deprem büyüklüğü ve kaynak-bölge mesafesi (M,R) çifti dikkate alınarak seçilen deprem kayıtlarının yapının davranışları üzerinde, ikinci grup kayıtlara göre bariz bir üstünlüğünün olduğuna dair her hangi bir sonuç elde edilemediğini göstermiştir.

Iervolino vd. (2005), çalışmalarında yer hareketi süresinin, lineer olmayan yapı davranışı üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma kapsamında; kısa, orta ve uzun süreli her bir takımda yirmi adet kayıtların yer aldığı toplam üç adet takım seçilmiş ve bu kayıtlar farklı yapısal özelliklere sahip tek serbestlik dereceli sistemlere uygulanmışlardır. Çalışma sonucunda, yer hareketi süresinin histeretik süneklilik ve eşdeğer döngü sayısı gibi enerji tabanlı modelleri etkilemesine rağmen, yer değiştirme tabanlı modellerde etkisiz kaldığı belirtilmiştir.

Bazzurro ve Luco (2005), çalışmalarında farklı dayanımlara ve titreşim periyotlarına sahip tek serbestlik dereceli lineer olmayan sistemlerin elastik ötesi davranışlarının tahmini konusunda, ölçeklenmemiş gerçek deprem kayıtlarının kullanılması durumu ile spektrum uyumlu ve genlik ölçeklendirilmesi ile elde edilen kayıtların kullanılması durumlarını karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında; orta büyüklükte, yakın fay özellikli ve ileri doğrultulu deprem senaryosunu temsil eden otuz bir adet gerçek deprem kaydı kullanılmıştır. Deprem kayıtları, dört farklı dayanım seviyesine ve titreşim periyoduna sahip tek serbestlik dereceli sistemlerin zaman tanım alanında analizlerinde kullanılmışlardır. Sonuç olarak; spektrum uyumlu deprem kayıtlarının kullanılmasının, yapısal davranış çeşitliliğini önemli derecede (%60-%80) azalttığı gözlemlenmiştir. Bu durum, aynı doğruluk seviyesinde ortalama yapısal davranış tahmini için daha az deprem kaydına ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Genlik ölçeklenmesi sonucunda elde edilen kayıtlarında, kayıttan kayıta var olan değişkenliğin azalmasında (%20-%75) etkili olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, bu konuda spektrum uyumlu deprem kayıtları daha etkin bir rol oynamaktadır. Her iki yöntem sonucunda elde edilen kayıtların kullanılması durumunda yapısal davranışta meydana gelen sapmalar ve değişkenliklerdeki azalmanın lineer olmayan yapısal davranışa ve yapının periyoduna bağlı olduğu ifade edilmiştir. Mühendislerin, bu tekniklerce elde edilen yapısal davranışlarda olabilecek muhtemel sapmaların farkında olmalarının gerekliliği ve eğer uygunsa bu düzensizlikleri gidermeleri önerilmiştir.

Galal ve Ghobarah (2006), yakın fay yer hareketlerinin Kuzey Amerika Yönetmeliğine göre tasarlanan nükleer santral yapıları üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Çalışma kapsamında elli dört adet fay normal yönlü ileri doğrultulu yakın fay yer hareketi seçilmiştir. Seçilmiş kayıtların spektral karşılaştırılmaları Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada yönetmelikleri tasarım spektrumları kullanılarak yapılmıştır. Araştırma sonucunda, yürürlükte olan nükleer tasarım spektrumu üzerinde, yakın fay yer hareketlerini daha iyi yansıtabilmesi için bir takım değişikliklerin yapılması gerekliliği görülmüştür.

Fahjan vd. (2007), çalışmalarında güçlü yer hareket kayıtlarının seçilmeleri konusunda, temel metotlar ve kriterler özetlenmiş ve bu kriterlerin İran tasarım yönetmeliğine uygun olup olmadıkları tartışılmıştır. Belirli bir miktar gerçek yer hareket kayıtlarının İran tasarım spektrumu ile olan uyumunu arttırmak amacıyla, zaman tanım alanında ölçeklendirme ve frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemleri kullanılmıştır. Her iki yönteminde kullanılması sonucunda elde edilen ölçeklenmiş kayıtlar incelenmiş ve inşaat mühendisliği yapılarının zaman tanım alanında analizleri için birer girdi olarak kullanılabilirlikleri tartışılmıştır. Çalışma sonucunda zaman tanım alanında ölçeklendirme yönteminin, hem basit hem de kayıtların frekans içeriklerini değiştirmeden dolayı, frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemine göre daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. Tasarım spektrumuna uyumlu gerçek kayıtların az olması durumunda frekans tanım alanında ölçeklendirme yönteminin kullanılabileceği ifade edilmiştir. Fakat frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanıldığında, kayıtların hem frekans içeriklerinde hem de spektral yer değiştirme davranışlarında önemli derecede değişimler olmaktadır. Hem frekans içeriğindeki hem de spektral yer değiştirme davranışlarındaki bu değişimlerin, ölçeklendirme prosedüründe kullanılacak yer hareket kayıtlarının, spektrum uyumlu olacak şekilde seçilmeleri ile azaltılabileceği öne sürülmüştür.

Özdemir ve Fahjan (2007), çalışmalarında gerçek deprem kayıtlarının tasarım spektrumlarına uygun olarak ölçeklendirilmelerini sağlayan zaman ve frekans tanım alanlarında ölçeklendirme yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında, Türkiye Deprem Şartnamesinde tanımlanan esaslara uygun olarak seçilen gerçek deprem kayıtları zaman ve frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemleri kullanılarak hesaba katılan tasarım ivme spektrumlarıyla eşleştirilmiştir. İki metottan elde edilen ölçeklendirilmiş kayıtlar kullanılarak tek serbestlik dereceli sistemin doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan davranışlar karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, frekans tanım alanında ölçeklendirme

yöntemi kullanılarak elde edilen kayıtların zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi uygulananlara nazaran tasarım spektrumu ile daha iyi uyum gösterdiği görülmüştür. Fakat frekans tanım alanında yapılan ölçeklendirme işleminde frekans içeriği değiştiği için kaydın doğal özelliklerini kaybettiğinin göz önünde bulundurulması gerektiği belirtilmiştir. Ayrıca, zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi uygulanarak elde edilen kayıtların yer değiştirmeye hassas bölgede eşit yer değiştirme kuralını sağlamalarına rağmen, frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen kayıtların eşit yer değiştirme kuralını sağlamadıkları görülmüştür. Bu yüzden frekans tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılarak elde edilen kayıtların yapıların lineer olmayan deprem analizlerinde kullanılmalarının uygun olmadığı ifade edilmiştir.

Providakis (2007), çalışmasında kurşun çekirdekli kauçuk mesnetlerin ve ilave viskoz sönümleyicilerin yakın fay ve uzak fay yer hareketlerine maruz izolasyonlu binalar üzerindeki etkilerini incelemiştir. Çalışma kapsamında, izolasyon sisteminin temel ve üst yapı ötelenmeleri üzerindeki etkilerini görmek amacıyla, bir paket programı kullanılarak lineer olmayan zaman tanım alanında analizler gerçekleştirilmiştir. İki adet gerçek betonarme binaların depreme dayanıklı yapı tasarımı için çeşitli kurşun çekirdekli mesnetler sistematik olarak karşılaştırılmış ve tartışılmışlardır. Uygun tasarım parametrelerini seçmek amacıyla, izolasyon aygıtları ile donatılmış binaların parametrik analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, üst yapı kuvvetlerini makul bir değerde tutarken izolatör yer değiştirmelerini azaltan ilave viskoz sönümleyiciler incelenmiştir. Çalışma sonucunda, yakın fay yer hareketlerinin taban izolasyonlu sistem ve üst yapı davranışı üzerinde istenmeyen etkiler oluşturduğu görülmüştür. Bu etkileri azaltmak için ilave viskoz sönümleyiciler mevcut taban izolasyonlu sistem üzerine yerleştirilmiş ve bu yer hareketleri altında olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Fakat uzak fay bölgelerinden alınan güçlü veya orta seviyeli yer hareketleri etkisi altında yapıya ilave sönümleyicilerin uygulanması yapısal davranışta olumlu sonuçlar göstermemiştir. Uzak fay yer hareketlerine maruz kurşun çekirdekli kauçuk mesnetli binalarda viskoz sönümleyicilerin ilave edilmesi üst yapı ötelenmelerini arttırmıştır. Bu ötelenme değerlerinin yakın fay etkisi altındaki binalara oranla daha büyük olduğu görülmüştür. Bu makaleden elde edilen sonuçları doğrulamak amacıyla daha kapsamlı ve geniş çapta çalışmaların yapılması gerekliliği belirtilmiştir. Ayrıca, çalışmanın yakın fay ve uzak fay etkileri altında olan farklı özelliklere sahip yapılar ve izolasyon sistemleri için genişletilmesinin yararlı olacağı belirtilmiştir.

Choi vd. (2007), çalışmalarında yakın fay yer hareketlerine maruz CANDU nükleer reaktörünün sismik güvenliğinin araştırılması amacıyla lineer olmayan zaman tanım alanında analizlere dayanan sismik risk analizleri yapmışlardır. Çalışma kapsamında, analizler için depolama yapısının toplu kütleli modeli kullanılmıştır. Lineer olmayan sismik analizler için otuz takım gerçek yakın fay yer hareketi, analiz girdisi olarak seçilmiştir. Yakın fay yer hareketleri için yapının sismik narinliği ve sismik riski, geleneksel metotlara dayalı elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları, lineer olmayan sismik analizler yardımıyla elde edilen yapının sismik narinliğinin geleneksel metotlardan elde edilen sonuçlardan daha düşük olduğunu göstermiştir. Bu durumun, oldukça rijit olan bu tür depolama yapılar üzerinde yakın fay yer hareketlerinin zarar verici etkilerinin olmamasından kaynaklandığı ifade edilmiştir. Fakat PGA değeri arttıkça yapının lineer olmayan davranışından dolayı göçme ihtimali hızlı bir şekilde artmakta olduğu belirtilmiştir. Ayrıca, gerilme davranışı ile bir yapının sismik güvenliğinin tahmin edilmesinin yeterli olmadığı görülmüştür. Bir yapının sismik güvenliği için yer değiştirme davranışın da çok önemli bir faktör olduğu ifade edilmiştir. Bu nedenle lineer olmayan yapısal davranış göz önüne alındığında, bir depolama yapısının sismik sınırlarının tahmininde yer değiştirmeye dayalı sismik narinlik analizlerinin de gerekli olduğu ifade edilmiştir.

Dicleli ve Buddaram (2007), çalışmalarında ileri kırılma doğrultulu yakın fay yer hareketlerine maruz sismik izolasyonlu köprülerin tasarımları için Eşdeğer Lineer (EL) analiz metodundan bahsetmişlerdir. Çalışma kapsamında, EL analizlerinden elde edilen yapısal davranış nicelikleri ile lineer olmayan zaman tanım alanındaki analizlerden elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. EL analiz sonuçlarının doğruluğu yakın fay yer hareketlerinin manyitüdülerine, yapının faya olan uzaklığına ve izolatörün karakteristiklerine bağlı olduğu görülmüştür. EL analiz sonuçlarından elde edilen yapısal davranış tahminlerinin doğruluğunun artması için izolasyonlu köprülerin tasarımında kullanılan etkin sönüm denkleminin yukarıda verilen parametreleri bir araya getirmesi gerektiği ifade edilmiştir. Bu nedenle, yeni bir etkin sönüm denklemi formüle edilmiş ve EL analizlerinin doğruluğunu arttırdığı görülmüştür. Sonuç olarak, yakın fay bölgelerinde El analizlerinin köprülerin ön tasarımında kullanılabileceği, esas tasarımda ise lineer olmayan zaman tanım alanındaki analizlerin tercih edilmesinin daha doğru olacağı belirtilmiştir.

Fahjan (2008), çalışmasında Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) tasarım ivme spektrumuna uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi konusundaki temel yöntemler ve kriterleri ortaya koymuştur. Türkiye Deprem Yönetmeliği temel alınarak seçilen gerçek kayıtların, zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılarak uygun tasarım spektrumuna ölçeklendirilmeleri yapılmış ve farklı zemin tipleri için en iyi uyum sağlayan gerçek kayıtlar seçilmiştir. Çalışma kapsamında, Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezinden elde edilen kayıtlar 0.01s ile 5s periyot aralığında zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılarak yönetmelik tasarım spektrumlarına ölçeklendirilmeleri yapılmıştır. Her bir zemin tipi için tanımlanan tasarım ivme spektrumuna en iyi uyum sağlayan onar adet gerçek kayıt seçilmiştir. Zemin sınıfı, deprem bölgesi ve bina önem katsayısı verilen iki örnek üzerinde kayıtların ölçeklendirilmesi detaylı olarak açıklanmıştır.

Baker ve Cornell (2008), darbe tipi yer hareketlerinin yapılar üzerinde oluşturdukları etkilerin tahmini konusunda çalışmalar yapmışlardır. Yer hareketi etkisi altında oluşan katlar arası maksimum ötelenme oranlarının incelenmesi sonucunda, darbe tipi yer hareketlerinin yapılar üzerinde oluşturdukları davranışların tahmininde vektör-değerli şiddet ölçeklerinin (IM), yapının birinci periyoduna karşılık gelen ve yaygın olarak kullanılan spektral ivme değeri $S_a(T_1)$ gibi şiddet ölçeklerinden daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmada vektör-değerli şiddet ölçekleri (IM) sadece katlar arası maksimum ötelenme oranlarının tahmini için kullanılmıştır. Bu ölçeğin güvenilirliğinin tespit edilebilmesi amacıyla daha birçok yapı davranış niteliklerinin tahmininde kullanılması gerekliliği belirtilmiştir.

Boore ve Atkinson (2008), çalışmalarında deprem büyüklüğünün, kaynak-bölge arası mesafenin, ortalama kayma-dalgı hızının ve fay tipinin bir fonksiyonu olarak yer hareketinin yatay bileşenlerinin ortalaması için yer hareketi tahmin denklemlerini ortaya koymuşlardır. Sunulan denklemler; en büyük yer hareketi ivmesi (PGA), en büyük yer hareketi hızı (PGV) ve 0.01s ile 10s periyot aralığında %5 sönümlü zahiri mutlak ivme spektrumu (PSA) için ifade edilmiştir. Çalışma kapsamında denklemler, Pasifik Deprem Mühendislik Araştırma Merkezi Veri bankasında depolanmış yer hareket kayıtlarının deneysel regresyon analizlerinden elde edilmiştir. Bu kapsamda, periyodu bir saniyeden daha küçük ve deprem merkez üssüne olan en yakın mesafesi 0 ile 400km arasında olan 58 adet ana depremden elde edilen 1574 adet yer hareket kaydı kullanılmıştır. Değerlendirmeler sonucunda elde edilen denklemlerin; deprem büyüklüğü 5 ile 8 arasında

olan, deprem merkez üssüne olan en yakın mesafelerinin 200km'den daha küçük olduğu ve kayma dalga hızı 180 ile 1300m/s arasında olan yer hareketleri için uygun olduğu belirtilmiştir.

Luca vd. (2009), çalışmalarında yapıların lineer olmayan analizleri için gerekli olan farklı yöntemlerle ölçeklendirilmiş kayıt takımlarının yapıların plastik davranışlarının tahmini açısından etkinliklerini karşılaştırmışlardır. Çalışma kapsamında kayıtlar altı farklı nitelik hesaba katılarak seçilmişlerdir: gerçek kayıtlar, nispeten lineer olarak ölçeklendirilmiş gerçek kayıtlar, gerçek anlamda lineer olarak ölçeklendirilmiş kayıtlar, dalgalarla düzeltilmiş gerçek kayıtlar ve iki farklı yöntem kullanılarak elde edilen yapay kayıtlar. Farklı lineer olmayan seviyelerde kayıtların karşılaştırılması için tek serbestlik dereceli sistemler kullanılmıştır. Analiz sonuçları değerlendirildiğinde; yapay ve dalgalarla düzeltilmiş kayıtların bu çalışmada kıstas olarak alınmış gerçek kayıtlarla karşılaştırıldıklarında, yüksek lineer olmayan seviyelerde yer değiştirme ve süneklilik taleplerinin tahmini konusunda yetersiz kaldıkları belirtilmiştir. Buna karşılık, döngüsel davranış dikkate alındığında yapay kayıtların, gerçek kayıtlar ve dalga ayarlı kayıtlara oranla daha güçlü tahminlerde bulunduğu ifade edilmiştir.

Iervolino vd. (2009), Eurocode 8 açısından sismik verilerin seçilmesi konusunda mevcut olan karanlık noktaların aydınlatılmasına çalışmışlardır. Eurocode 8, gerçek deprem kayıtlarının dinamik analizlerde bir girdi olarak kullanımına izin vermektedir. Fakat gerçek kayıtlar yerine spektral-eşleşmesi yapılmış çok sayıda farklı tipteki kayıtların seçilmesi gibi kriterler uzmanların işini zorlaştırmaktadır. Bu çalışmada; yukarıda bahsedilen problemin üstesinden gelebilmek amacıyla REXEL adında özel bir yazılım geliştirilmiştir. Program Eurocode 8 yönetmeliğini referans alarak her hangi bir elastik spektruma uyumlu uygun kayıtların araştırılmasını sağlamaktadır. REXEL programı ile elde edilen kayıt kombinasyonlarının, konu hakkında daha önce yapılan çalışmaların önemini vurguladıkları çeşitli seçme yöntemlerine göre daha uygun olduğu belirtilmiştir. Çalışma kapsamında ilk olarak Eurocode 8 açısından kayıt seçim kriterleri kısaca gözden geçirilmiştir. Daha sonra basit örneklerle, yapısal sismik analizler için gerçek kayıtların seçilmesi konusyla alakalı karşılaşılabilecek birçok problemin program tarafından nasıl çözülebileceği gösterilmiştir.

Wang (2010), çalışmasında tasarım depreminin rastgele değişkenliğini ve karakteristik özelliklerini koruyan yer hareket kayıtlarının elde edilmesini sağlayan yeni bir seçme ve düzenleme yöntemini (GMSM) tanıtmıştır. Yöntemin kullanılması sonucunda

elde edilen yer hareket takımlarının; deprem büyüklüğü, mesafe ve bölge koşulları gibi yer hareket karakteristiklerinin yanında, tepki spektrumunun korelasyonu ve istatistiksel dağılımını (ortalama, standart sapma) gerçekçi bir şekilde yansıttığı belirtilmiştir. Çalışma kapsamında, elde edilen yer hareket kayıtlarından oluşturulan farklı büyüklükteki takımlar kullanılarak yirmi katlı betonarme bir çerçevenin dinamik analizi yapılmıştır. Sonuç olarak; GSMM metodu ile elde edilen tasarım yer hareketine uyumlu kayıtlar yapıda oluşan mühendislik talep parametrelerinin tüm dağılışını doğru bir şekilde tahmin etmişlerdir. Böylece, lineer olmayan sistemlerin performansa dayalı sismik tasarımları konusunda bu yöntemin önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür. Metodun, deprem etkisi altında sınılaşma ve deformasyon etkisi altında kalabilecek yer altı yapıları için daha uygun olduğu belirtilmiştir. Bu tür sistemlerin lineer olmayan analizleri için GSMM metodunun uygulanabilirliği çalışmaları devam etmektedir.

Hachem vd. (2010), çalışmalarında Amerika Birleşik Devletleri, Çin, Avrupa Birliği Ülkeleri, Yeni Zelanda ve Tayvan gibi ülkelerde deprem yer hareket kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi konusunda kullanılan yöntemler ve yönetmelik şartlarını inceleyerek aralarındaki farklılıklar ve benzerlikleri ortaya koymuşlardır. Araştırma sonucunda; tasarım yüklerinin ve davranış spektrumlarının belirlenmesinde yönetmelikler arasında çok bariz farklar olmasına rağmen, yer hareketlerinin seçilmesi ve kullanılması konusunda nispeten daha küçük farklar olduğu belirtilmiştir. Her beş farklı bölgeye ait yönetmelikte de minimum üç adet yer hareket kaydının kullanılması gerekliliğinden bahsedilmiş, benzer ölçeklendirme ve seçme şartları öne sürülmüştür. Fakat yer hareketlerinin çift yönlü etkisi yönetmeliklerin tümünde eşit oranda yer bulamamıştır. Ayrıca, Amerika Birleşik Devletleri ve Yeni Zelanda yönetmelikleri dışında yakın fay etkilerinden genel olarak bahsedilmemiştir. Bu farklılıkların yanında, yönetmelikler arasında var olan birçok ortak nokta araştırmacıları yer hareketlerinin seçilmesi ve ölçeklendirilmesi konusunda tüm bu yönetmelikler arasında bir harmonizasyon yapma konusunda teşvik etmektedir.

Katsanos vd. (2010), çalışmalarında performansa dayalı tasarım kapsamında, yapıların sismik analizlerinde kullanılabilecek uygun yer hareket kayıtlarının seçilmesi konusunda son yıllarda geliştirilmiş metotları yönetmelik şartlarını referans alarak incelemişlerdir. Mevcut bir takım alternatif yöntemlerin karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmeleri sonucunda, günümüzdeki deprem yönetmeliklerinin bu konuyu olması gerekenden çok daha basit bir şekilde ele aldıkları görülmüştür. Çalışma sonucunda; günümüzdeki deprem yönetmeliklerinin, sıradan yapıların dinamik analizleri için yeterli

oldukları fakat sismik girdilerin belirlenmesi, uygun bir yapısal modelin kurulması ve güçlü mühendislik hükümlerinin gerekli olduğu kompleks yapıların sismik analizleri için yetersiz kaldıkları belirtilmiştir.

Kayhan (2011), çalışmasında armoni araştırması optimizasyon tekniğini kullanarak yönetmeliklerde tanımlanmış farklı zemin sınıflarına ait tasarım spektrumları ile uyumlu ivme kaydı setleri elde etmiştir. İvme kaydı setleri, her bir takımında yedi adet ölçeklenmemiş gerçek yer hareket kayıtları bulunacak şekilde oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, Eurocode 8' de tanımlanmış olan hedef tasarım ivme spektrumları ile uyumlu ivme kaydı setlerinin oluşturulmasında, armoni araştırması optimizasyon tekniğinin etkili bir yöntem olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Heo vd. (2011), çalışmalarında yer hareket kayıtlarının seçilmesi konusunda var olan belirsizlikler ve farklılıkları temel alarak, spektrum eşleştirilmesi ve büyüklük eşleştirilmesi (yer hareket kayıtları lineer bir şekilde ölçeklendirilir ve sonuç olarak elde edilen spektrum, tasarım spektrumu genlikleri ile uyumluluk gösterir) adında iki yöntemi incelemiştir. Yer hareketi düzenleme metotlarının değerlendirilmesi konusunda iki adet betonarme moment çerçevelerinin lineer olmayan zaman tanım alanındaki analizleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Betonarme moment çerçevelerinin lineer olmayan zaman tanım alanındaki analiz sonuçları, her iki ölçeklendirme yöntemi sonucunda tahmin edilen maksimum katlar arası ötelenme taleplerinin hem yapısal parametrelerinin hem de yer hareketi karakteristiklerinin birer fonksiyonu olduğunu göstermiştir. Spektrum eşleştirilmesi yapılmış kayıtlar ile yapılan analizlerin katlar arası maksimum ötelenme değerlerinin tahmini konusunda genlik ölçeklendirilmesi yapılmış kayıtlar ile yapılan analizlere göre daha doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Daha da önemlisi, spektrumları eşlenmiş kayıtlar için hesaplanan maksimum katlar arası ötelenme değerlerindeki dağılımlar ölçeklenmiş kayıtlara nazaran daha küçük çıkmıştır. Ayrıca, yüksek modların etkilerine, elastik olmayan etkilere ve yer hareketi parametrelerine karşı hassas olan yüksek binaların zaman tanım alanındaki analizleri için yedi adet yer hareketi kaydının kullanılmasının uygun olmadığı belirtilmiştir. Bu tür yapılar için daha kapsamlı yer hareket takımları gereklidir.

Grant (2011), çalışmasında deprem mühendisliği analizlerinde kullanılacak çift yönlü yer hareket kayıtlarının nasıl nitelendirilecekleri ve bu niteliklere uygun yer ivmesinin her iki yatay bileşeninin nasıl değerlendirileceğinden bahsetmiştir. Çalışma kapsamında yer hareketinin her iki yatay bileşenini eş zamanlı olarak birbirinden bağımsız iki adet hedef

spektruma ölçeklendirebilen RspMatchBi programı oluşturulmuştur. Program Hancock ve çalışma arkadaşları tarafından yer hareketinin yatay bileşenlerinden sadece bir tanesi için yazılmış RspMatch2005 yazılımını temel almaktadır. RspMatchBi programının, kaydın hem büyük eksen spektrumunu hem de küçük eksen spektrumunu birbirinden bağımsız iki adet hedef spektruma etkin bir şekilde eşleştirebildiği bir uygulama ile ifade edilmiştir. Burada ifade edilen hedef spektrumlar, büyük spektrumların ve küçük spektrumların ya da ortalama talebin temsilcisidir (Hong ve Goda, 2007).

Huang vd. (2011), çalışmalarında yer hareketi ölçeklendirme yöntemlerinin, yapısal sistemlerin yer değiştirme davranışlarının dağılımı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışmanın amacı; farklı yer hareketleri etkisi altında yapısal davranışta meydana gelen dağılımın korunması ve hem uzak fay hem de yakın fay etkileri için uygun olan en optimum ölçeklendirme metodunun elde edilmesidir. Çalışma kapsamında dört adet ölçeklendirme yöntemi kullanılmıştır; yer hareketi bileşenlerinin geometrik ortalamalarının ölçeklendirilmesi, yer hareketlerinin spektrumlarının eşleştirilmesi, yapının temel periyoduna karşılık gelen spektral ivme $S_a(T_1)$ değerlerinin ölçeklendirilmesi ve spektral taleplerin her biri için yer hareketlerinin ölçeklendirilmesi. Yöntemlerin değerlendirilmesinde, zemine tam bağlı ve izolasyonlu yapıları temsil eden çok sayıda tek serbestlik dereceli sistemlerin lineer olmayan davranışları kullanılmıştır. Sonuç olarak; her bir ölçeklendirme yönteminin avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. Spektral şekil ve yer hareketi rastlantısallık parametresi arasındaki ilişki tartışılmıştır. Spektral şekli açık bir şekilde dikkate alan bir ölçeklendirme yöntemi tanıtılmıştır.

Hines vd. (2011), Kuzey-Doğu Amerika Bölgesi için en uygun yer hareketi kayıt takımlarının seçilmesi konusunda çalışmışlardır. Bu bölge için seçilen uygun yer hareket kayıt takımları, deprem şiddeti, spektral şekil ve düşük sünekliliğe sahip yapılarda oluşan geniş periyot aralığı ile alakalı belirsizlikler nedeniyle yüksek deprem riskli bölgeler için seçilen kayıtlardan ayrılmaktadır. Çalışma kapsamında, ihtimalci sismik risk analizlerinde kullanılması gereken ve Kuzey Doğu Amerika Bölgesi için seçilen yer hareket kayıtlarındaki belirsizlikler ile deprem riskinin büyüklük ve mesafe gibi sismik unsurlarla ifade edilmesi tartışılmıştır. Ayrıca bu belirsizlikleri irdelemek amacıyla içinde genlik ölçeklendirilmesi bulunmayan uygun bir yer hareketi seçme prosedürü tavsiye edilmiştir. Son olarak, belirli bir yer hareket takımının etkinliği güvenilirlik-tabanlı performans değerlendirmesi bağlamında ele alınmıştır.

Masi vd. (2011), çalışmalarında betonarme çerçeve sistemler üzerinde yapılan sismik güvenlik çalışmaları için doğal ve sentetik kayıtların seçilmesi konusunda yer alan mevcut yöntemleri incelemişlerdir. Yer hareket kayıtlarının seçilmeleri veya üretilmeleri bakımından farklı yöntemleri karşılaştırmanın yanı sıra en uygun sismik girdilerin seçilmesi için hangi sismik şiddet ölçeklerinin kullanılması gerektiğini belirlemek iki temel amaçları olmuştur. Çalışma kapsamında, yapısal ve yapısal olmayan hataları daha iyi yansıttığı için katlar arası maksimum ötelenme değerleri yapının dikkate alınması gereken davranış parametreleri olarak tercih edilmiştir. Spektrum uyumlu akselogramların üretilmesi için bu kayıtları bir yönetmelik tasarım spektrumu ile uyumlu hale getirmeye çalışmanın doğru bir yöntem olmadığı belirtilmiştir. Bu tür suni kayıtların üretiminde bilgisayar programlarının kullanılması durumunda elde edilen sonuçların gerçek kayıt sonuçlarıyla benzerlik gösterdikleri ifade edilmiştir. Ayrıca housner şiddet ölçeğinin çalışmada belirtilen tipteki tüm binalardan elde edilen sonuçlara göre en etkin şiddet ölçeği olduğu kanıtlanmıştır. Sonuç olarak, İtalyan ve Avrupalı yapı çevrelerini temsil eden betonarme bina türü yapılar üzerinde yapılmış lineer olmayan çok sayıdaki analiz sonuçları raporlar halinde sunulmuştur.

Cimellaro vd. (2011), çalışmalarında yer hareket kayıtlarının ölçeklendirilmesinin yapıların gevreklik fonksiyonlarının gelişimi üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Çalışma kapsamında; genlik-ölçeklendirilmesi ve spektrum-eşleştirilmesi teknikleri ile elde edilen ölçeklenmiş kayıtlar, çok serbestlik dereceli sistemler için hazırlanmış gevrek modeller üzerinde denenmiştir. Ayrıca, lineer analizlerde benzer sonuçlar veren ve bu iki farklı tip ölçeklendirme yönteminde kullanılan yer hareket kaydı takımlarında bulunması gereken en optimum kayıt sayısını araştırmışlardır. Farklı tip hasar ölçümlerinin ortalaması ve dağılımı her bir katta incelenmiştir ve farklı seviyelerdeki lineer olmama durumları araştırılmıştır. Seçilmiş yer hareketlerinin yapıda oluşturduğu davranıştan yola çıkarak, maksimum ihtimal metodunun kullanılması ile yapısal ve yapısal olmayan yapı elemanları için gevreklik fonksiyonları oluşturulmuştur. Sonuç olarak, farklı tip ölçeklendirme yöntemleri karşılaştırılmış, artıları ve eksileri açıklanmıştır. Bunun yanında, çalışmada belirtilen gevreklik fonksiyonlarının değerlendirilmesi ve davranış parametrelerinin etkin bir şekilde tahmini için yeterli miktarda yer hareket kaydının kullanılması gerekliliği ifade edilmiştir.

Honda ve Ahmed (2011), yapılar ve depremler arasında birçok açıdan geçmişten bugüne deyin var olan bir takım belirsizliklerin üstesinden gelmek amacıyla basit bir taslak

öne sürmüşlerdir. Çalışmalarında, mümkün olan çok sayıda yer hareketini temsil edebilen ve lineer olmayan zaman tanım alanındaki analizlerde tasarım yer hareketi olarak kullanılabilir bir yer hareket kaydı elde etmeyi amaçlamışlardır. Çok sayıda yer hareketini temsil edebilen bu tür bir tasarım yer hareketinin kullanılmasının hem mevcut olan belirsizliklerin azalmasını hem de yapılması gereken çok sayıdaki lineer olmayan analizlerin sayısının azalmasını sağlayacağı ifade edilmiştir. Sunulan taslakta yer hareket kayıt takımları ve yapılar, yapıların lineer olmayan davranışları üzerinde baskın olan unsurlar ile ilişkili olan olgu indeksleri ile tanımlanmaktadır. Çalışma kapsamında, bir köprü ayağı için tasarım yer hareketi taslakta belirtilen sentezleme işlemi ile elde edilmiştir. Köprü ayağı üzerinde farklı sayıda indeksler alınarak yapılan incelemeler sonucunda, sentezlenmiş yer hareketinin bir tasarım yer hareketi olarak iyi bir performans gösterdiği belirtilmiş ve tanıtılan taslağın kullanılabilirliği kanıtlanmıştır. Ancak, sunulan taslağa dayanarak bir yöntemin geliştirilmesi için daha büyük belirsizlikler altında taslağın gerçekçiliği gibi bir takım unsurlar üzerinde kapsamlı araştırmaların yapılması gerekliliği ifade edilmiştir. Ayrıca, elde edilen yöntemin gerçek sismik tasarımlar için uygulanabilirliği de tartışılmalıdır.

Haselton vd. (2011), çalışmalarında yapıların göçme performanslarının değerlendirilmesi için gerekli olan yer hareket kayıtlarının seçilmesi konusunda alternatif bir yöntemi öne sürmüşlerdir. Çalışma kapsamında kullanılan göçme simülasyonları için kapsamlı bir uzak fay yer hareket takımı kullanılmıştır. İlk olarak spektral şekil ve epsilon (ϵ) arasındaki ilişki açıklanmıştır. Daha sonra ise spektral şekil etkilerinin yapının hesaplanan göçme kapasitesini nasıl etkilediğini göstermişlerdir. Kapsamlı bir yer hareket takımı kullanılarak elde edilen ortalama göçme kapasitelerine bir düzeltme katsayısı uygulanarak, spektral şeklin göçme üzerindeki etkilerini açıklayan bir regresyon metodu ortaya koymuşlardır. Daha sonra bu regresyon metodu 111 adet bina üzerinde uygulanarak bir ϵ düzeltme katsayısı ile göçme kapasitelerini düzenlemek amacıyla basit bir metot geliştirilmiştir. Sonuç olarak, elde edilen metot kayıt seçiminde kullanılan diğer yöntemlerle karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumluluk gösterdikleri görülmüştür.

Buratti vd. (2011), çalışmalarında yapısal davranışın tüm dağılımının güvenilir bir şekilde tahminin yapılabilmesi için kullanılabilir uygun kayıtları bir araya getiren bir yöntemi öne sürmüşlerdir. Bunun yanı sıra, doğru tahminin elde edilebilmesi için gerekli olan kayıt sayısının kaç adet olması gerekliliği tartışılmıştır. Yapısal davranış parametreleri

olarak katlar arası ötelenme ve çatı ötelenmesi dikkate alınmıştır. Geliştirilen yöntem ile elde edilen davranış dağılımı referans bir dağılım ile karşılaştırılmıştır. Referans dağılımı bir regresyon analizi vasıtasıyla elde edilmiştir. Çalışma kapsamında, 1666 adet ölçeklenmemiş doğal akselogramlara maruz kalan altı katlı betonarme bir çerçevenin tek bir sismik senaryo altında zaman tanım alanındaki analiz sonuçları kullanılmıştır. Sonuç olarak, tek bir deprem senaryosu ve tek bir yapı için doğru sonuçlar veren bu yöntemin farklı deprem senaryoları ve farklı yapılar için nasıl bir performans göstereceği konusunda daha fazla incelemelerin yapılmasının gerekli olduğu ifade edilmiştir. Fakat elde edilen sonuçların, az sayıdaki deprem kayıtlarının kullanılması ile yapısal davranışların doğru tahminlerinin elde edilebileceği konusunda mühendislere yol gösterebileceği belirtilmiştir.

Kalkan ve Chopra (2011), çalışmalarında binaların lineer olmayan dinamik davranış analizlerinde kullanılacak yer hareketlerinin ölçeklendirilmesi için modal itmeye dayalı bir yöntemden bahsetmişlerdir. Bu yöntemde, yer hareketleri özellikleri ilk mod itme analizleri ile belirlenen tek serbestlik dereceli elastik olmayan sistemlerin ilk modlarının elastik olmayan deformasyonlarını hedef alarak ölçeklendirilmişlerdir. İlk modları baskın olan yapılar için uygun olduğundan, bu yaklaşımın yüksek modların katkılarının önemli olduğu yapılar için daha da genişletilebileceği belirtilmiştir. Bunu yaparken ölçeklendirilmiş yer hareketlerinin seçiminde tek serbestlik dereceli sistemlerin ikinci mod elastik deformasyonlarının dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir. 4, 6 ve 13 katlı binalar üzerinde yapılan analiz sonuçları bu yöntemin doğruluğunu ve etkinliğini kanıtlamıştır. Bununla birlikte, yöntemin ASCE/SEI 7-05 ölçeklendirme prosedürü üzerindeki üstünlüğü gösterilmiştir.

O'Donnell vd. (2011), çalışmalarında; küçük ölçekli çok katlı çerçeve türü modellerinin sarsma tablası deneyine tabi tutulması sonucunda, lineer olmayan zaman tanım alanında analizler için gerekli olan yer hareketi kayıtlarının ölçeklendirilmesi ve seçilmesi metotlarını deneysel olarak değerlendirmişlerdir. Deneyler sonucunda, yer hareket kayıtlarının ölçeklendirme yöntemlerinin değerlendirilmesi için ihtiyaç duyulan deneysel verilerin yanında farklı zemin parametreleri ve yapısal özelliklerin ölçeklendirme yöntemlerinin doğruluğunu ve etkinliğini nasıl etkilediğini görmemiz hedeflenmiştir. Elde edilen deney sonuçları temel alınarak, lineer olmayan dinamik davranış üzerinde gelecekte yapılacak çalışmalarla; gerçek deprem kayıtlarının kullanılması, yanal dayanımın dikkate alınması ve geniş kapsamda bina özelliklerinin hesaba katılması ile yapı mühendislik uygulamaları için yer hareketlerinin doğru bir şekilde seçilme ve ölçeklendirilmesini

sağlayacak metotlar ve yönetmelikleri ortaya koymayı hedeflemişlerdir.

Morales-Esteban vd. (2012), dinamik analizler için gerekli olan gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi için kullanılan ihtimalci bir yöntemi tartışmışlardır. İlk olarak ihtimalci risk denklemi çözülmüştür. Elde edilen risk eğrilerine dayanarak zemin sınıfı ve deprem risk seviyelerine göre bölge için üniform deprem risk ivme tepki spektrumları oluşturulmuştur. Bu metot İberya yarımadasında yer alan herhangi bir bölge için tasarlanan genel bir yöntemdir. İberya yarımadasında bulunan mevcut akselogram miktarı ile uyumlu tasarım akselogramlarını seçebilmek için visko-elastik tepki spektrumu kullanılmıştır. Deprem riskini belirlemek için sismotektonik bölge özelliklerine dayalı ihtimalci bir yöntem kullanılmıştır. Sonuç olarak makalede tartışılan bu yöntemin diğer yöntemlerin kullanımına da olanak sağladığı ifade edilmiştir.

Shama (2012), çalışmasında deprem yer hareket kayıtlarını tasarım spektrumu ile uyumlu hale getirebilecek, zaman tanım alanında bir spektral eşleştirme yönteminden bahsetmiştir. Çalışma kapsamında, sürekli bir dalga dönüşüm algoritması vasıtasıyla deprem yer hareket kaydı farklı frekanslarda dalga bileşenlerine ayrılmıştır. Sonuç olarak elde edilen kaydın, yönetmelik tasarım spektrumu ile uyumlu olabilmesi için yer hareket kaydı tekrarlı olarak ölçeklendirilmiştir. Bahsedilen yöntem kullanılarak, bir dizi deprem kaydı farklı bölgelere ait ASCE-7 yönetmeliği tasarım spektrumlarına uyumlu hale getirilmiştir.

Yenidoğan vd. (2012), çalışmalarında temel periyotları uzun periyotlar arlığında yer alan sismik izolasyonlu yapılar için yer hareketlerinin seçilmesi ve ölçeklendirilmesi ile ilgili konuları gözden geçirmişler ve tartışmışlardır. Uzun periyotlu yapılar için yer hareketlerini seçerken bölgenin deprenselliğine, deprem risk değerlendirilmesine ve yapının özelliklerine dikkat edilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Bunun yanında kaba tahminlere neden olan tek yönlü analizler yerine analitik modeller için çift yönlü analizlerin kullanılması gerektiği ifade edilmiştir. Çalışma kapsamında, altı adet yakın fay yer hareket takımı kullanılmıştır. Ayrıca, dinamik analizler için üç açıklıklı, yerinde dökme kutu kesitli ve 30° açılı verev sürekli kirişli bir köprü tercih edilmiştir.

1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu tez çalışmasında gerçek yer hareket kayıtları seçilerek, zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılarak yönetmeliklerde verilen tasarım ivme spektrumlarına

ölçeklendirilmektedir. Son yıllarda hem yapısal analizde hem de bilgisayar teknolojisinde meydana gelen gelişmeler ile birlikte zaman tanım alanında analizlerin yaygın bir şekilde kullanılması bu konuyu deprem mühendisliği açısından günümüzün en popüler araştırma alanlarından birisi haline getirmiştir. Daha önce bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarda görüldüğü gibi genel olarak, deprem kayıtlarının seçilmesinde ve ölçeklendirilmesinde kullanılabilecek uygun yöntemlerin geliştirilmesi üzerinde durulmuştur. Elde edilen bu metotlar incelendiğinde, bu metotların hem matematiksel olarak karmaşık olduğu hem de istenilen sonuçlara ulaşılmasında büyük zaman kayıplarına neden oldukları görülmektedir. Fakat yapıların deprem yüklerine karşı tasarımlarının yapılmasında veya mevcut yapıların güvenilirlik analizlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan zaman tanım alanında analizler için gerekli olan parametrelere hızlı bir şekilde ulaşabilmek araştırmacıların en çok istediği unsurlardan birisidir. Bu amaçla, zaman tanım alanında analizlerde kullanılmak üzere, on adet yakın fay yer hareketi ve on adet uzak fay yer hareketi; büyüklük, faya olan mesafe ve zemin özellikleri dikkate alınarak PEER deprem kaydı veri bankasından tasarım ivme spektrumuna uygun olacak şekilde seçilmişlerdir. Zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi dikkate alınarak oluşturulan SESCOAP programı ile seçilen bu kayıtlar Eurocode 8 yönetmelik tasarım ivme spektrumlarına ölçeklendirilmişlerdir.

Birinci bölümde, yapıların tasarımında ve analizinde yaygın olarak kullanılan zaman tanım alanında analiz yöntemi ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. Bu analizlerin gerçekleştirilmesinde kullanılması gereken deprem kayıtlarının elde edilebileceği kaynaklardan ve bu kayıtların seçilmesinde dikkate alınacak sismolojik ve jeolojik parametrelerden bahsedilmiştir. Elde edilen deprem kayıtlarının yönetmelik tasarım ivme spektrumuna ölçeklendirilmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemler hesap adımları ile birlikte sunulmuştur. İkinci bölümde, zaman tanım alanında dinamik analizlere ait matematiksel hesaplar ortaya konulmuştur. Üçüncü bölümde, zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemine ait hesap adımları MATLAB GUI ara yüz program dili ile kodlanmıştır. Böylece zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için gerekli olan ölçeklendirme katsayısı değerlerine hızlı bir şekilde ulaşılmaktadır. Programdan elde edilen sonuçlar, SAP2000 programında oluşturulan köprü modelinin zaman tanım alanında dinamik analizlerinde kullanılmıştır. Dördüncü bölümde, hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprü tabliye eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri ile köprü ayağı eğilme momenti değerleri her bir yer hareketinin ölçekli ya da ölçeksiz olma durumlarına göre çizilmiş ve karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde ise

elde edilen tüm veriler değerlendirilerek, yakın fay yer hareketlerinin yapısal davranışa olan etkileri ile uzak fay yer hareketlerinin yapısal davranış üzerindeki etkileri karşılaştırılarak sunulmuştur.

2. ZAMAN TANIM ALANINDA ANALİZ YÖNTEMİ

2.1. Zaman Tanım Alanında Dinamik Hareket Denklemleri

Bir sistemin dinamik hareket denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{P\} \quad (2.1)$$

Bu denklemde;

$[M]$; sistemin kütle matrisi,

$[C]$; sistemin sönüm matrisi,

$[K]$; sistemin rijitlik matrisi,

$\{U\}$; sistemin yer değiştirme vektörü,

$\{\dot{U}\}$; sistemin hız vektörü,

$\{\ddot{U}\}$; sistemin ivme vektörü,

$\{P\}$; dış yük vektörüdür.

2.1.1. Doğal Frekans ve Modların Hesabı

Sönümsüz bir sistemin serbest titreşimi için (2.1) hareket denklemi

$$[M]\{\ddot{U}\} + [K]\{U\} = \{0\} \quad (2.2)$$

biçiminde yazılabilir. Bu denklemin çözümü

$$\{U\} = A \cos(\omega_n t) + B \sin(\omega_n t) \quad (2.3)$$

şeklindedir. Burada A ve B başlangıç şartlarından elde edilir. Bununla birlikte, α faz açısı; ω_n doğal açısal frekans ve $\{\phi\}$ hareketin genlik vektörü olmak üzere sönümsüz bir sistemin serbest titreşimi için çözüm

$$\{U\} = \{\phi\} \cos(\omega_n t - \alpha) \quad (2.4)$$

şeklinde yazılabilir. (2.2) denkleminde

$$\{\ddot{U}\} = -\omega_n^2 \{\phi\} \cos(\omega_n t - \alpha) \quad (2.5)$$

elde edilir. (2.4) ve (2.5) denklemleri (2.2) denkleminde yerine konursa

$$-\omega_n^2 [M] \{\phi\} \cos(\omega_n t - \alpha) + [K] \{\phi\} \cos(\omega_n t - \alpha) = \{0\} \quad (2.6)$$

elde edilir. Bu denklem düzenlenirse

$$([K] - \omega_n^2 [M]) \{\phi\} = \{0\} \quad (2.7)$$

Karakteristik özdeğer denklemi elde edilir. Bu denklemden titreşim elde edilebilmesi için $\{\phi\}$ 'nin sıfırdan farklı olması gerekir. Sıfırdan farklı bir matris ile bir vektörün çarpımlarının sıfır olmasının tek yolu, matrisin tersinin bulunamaması, yani bunun tekil bir matris olmasıdır. Bir matrisin tekil olabilmesi için ise, determinantının sıfır olması gerekmektedir. Buna göre;

$$|[K] - \omega_n^2 [M]| = 0 \quad (2.8)$$

elde edilir. Burada $\omega_n^2 = \lambda$ alınırsa (2.8) denklemi

Maxwell-Betti teoremi ile kolayca elde edilebilen bu bağıntı titreşim modlarının ortogonalitesi olarak adlandırılmaktadır. (2.12) denklemi rijitlik ve sönüm matrisi içinde geçerlidir.

$$\{\phi\}_i^T [K] \{\phi\}_j = 0 \quad i \neq j \quad (2.13)$$

$$\{\phi\}_i^T [C] \{\phi\}_j = 0 \quad i \neq j \quad (2.14)$$

Mod vektörlerinin hesabında, elemanların oranı sabit kalmak üzere, değişik çözümler elde edilebilir. Mod şekilleri aynı olduğu halde farklı genlikler elde edilebilir. Bu keyfilik bir normalleştirme işlemi ile ortadan kaldırılabilir. Hesap kolaylığı bakımında genellikle bütün genlikler en büyük genlik esas alınarak normalize edilir. Bununla birlikte, diğer bir normalleştirme işleminde ise, kütle matrisinin aynı mod vektörü ile sağ ve soldan çarpılarak sonucun birim olması sağlanır. Yani;

$$\{\phi\}_i^T [M] \{\phi\}_i = 1 \quad (2.15)$$

şeklinde dir. Normalleştirilmiş modlar;

$$\Phi_{ij} = \frac{\phi_{ij}}{\sqrt{\{\phi\}_j^T [M] \{\phi\}_j}} \quad (2.16)$$

şeklinde elde edilir. Böylece modlar normalleştirilir.

$$\{\phi\}_j = \begin{Bmatrix} \phi_{1j} \\ \phi_{2j} \\ \vdots \\ \phi_{ij} \\ \vdots \\ \phi_{nj} \end{Bmatrix} \Rightarrow \{\Phi\}_j = \begin{Bmatrix} \Phi_{1j} \\ \Phi_{2j} \\ \vdots \\ \Phi_{ij} \\ \vdots \\ \Phi_{nj} \end{Bmatrix}$$

j. mod vektörü j. normalleştirilmiş mod vektörü

Mod vektörlerinden oluşan matrise modal matris, normalleştirilmiş mod vektörlerinden oluşan matrise de normalleştirilmiş modal matris adı verilir. n serbestlik dereceli bir sistem için modal matrisler aşağıdaki gibidir.

$$[\Phi] = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \cdots & \phi_{1i} & \cdots & \phi_{1n} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \cdots & \phi_{2i} & \cdots & \phi_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \phi_{i1} & \phi_{i2} & \cdots & \phi_{ii} & \cdots & \phi_{in} \\ \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \phi_{n1} & \phi_{n2} & \cdots & \phi_{ni} & \cdots & \phi_{nn} \end{bmatrix} \quad P_r$$

$$[\Phi]^T [M] [\Phi] = [I] \quad (2.17)$$

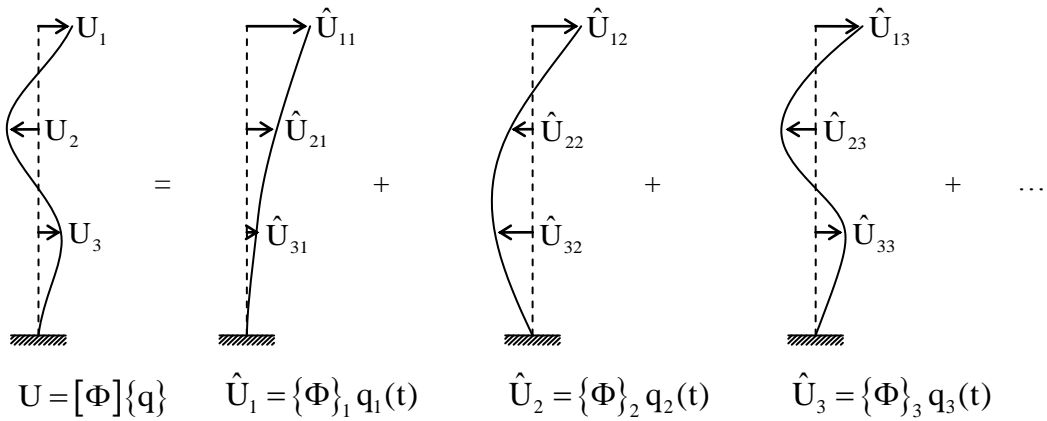
bağıntısıyla kontrol edilebilir. Burada $[I]$ birim matrisidir.

2.1.2. Mod Süperpozisyon Yöntemi

(2.1) denklemi ile verilen dinamik hareket denkleminin çözümü;

$$\{U\} = [\Phi] \{q\} \quad (2.18)$$

Burada; $[\Phi]$ normalleştirilmiş modal matris, $\{q\}$ modal koordinatlarıdır. (2.18) denklemi ile verilen çözüm, Şekil 2.1'deki gibi düşünülebilir.



Şekil 2.1. Mod süperpozisyon yöntemi

(2.18) denklemi açık olarak yazılırsa aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\{U\} = \{\Phi\}_1 q_1(t) + \{\Phi\}_2 q_2(t) + \{\Phi\}_3 q_3(t) + \dots + \{\Phi\}_n q_n(t) = \sum_{r=1}^n \{\Phi\}_r q_r(t) \quad (2.19a)$$

veya;

$$\begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \vdots \\ U_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \Phi_{11} \\ \Phi_{21} \\ \Phi_{31} \\ \vdots \\ \Phi_{n1} \end{Bmatrix} q_1(t) + \begin{Bmatrix} \Phi_{12} \\ \Phi_{22} \\ \Phi_{32} \\ \vdots \\ \Phi_{n2} \end{Bmatrix} q_2(t) + \begin{Bmatrix} \Phi_{13} \\ \Phi_{23} \\ \Phi_{33} \\ \vdots \\ \Phi_{n3} \end{Bmatrix} q_3(t) + \dots + \begin{Bmatrix} \Phi_{1n} \\ \Phi_{2n} \\ \Phi_{3n} \\ \vdots \\ \Phi_{nn} \end{Bmatrix} q_n(t) \quad (2.19b)$$

veya matris formda

$$\begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ \vdots \\ U_n \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & \Phi_{13} & \dots & \Phi_{1r} & \dots & \Phi_{1n} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} & \Phi_{23} & \dots & \Phi_{2r} & \dots & \Phi_{2n} \\ \Phi_{31} & \Phi_{32} & \Phi_{33} & \dots & \Phi_{3r} & \dots & \Phi_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \Phi_{n1} & \Phi_{n2} & \Phi_{n3} & \dots & \Phi_{nr} & \dots & \Phi_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ \vdots \\ q_n \end{Bmatrix} \quad (2.19c)$$

(2.18) nolu denklem ve onun birinci ve ikinci türevleri (2.1) nolu denklemde yerine yazılırsa;

$$[M][\Phi]\{\ddot{q}\} + [C][\Phi]\{\dot{q}\} + [K][\Phi]\{q\} = \{P\} \quad (2.20)$$

elde edilir. (2.20) denkleminin her iki tarafı $\{\Phi\}_r^T$ ile çarpılırsa;

$$\{\Phi\}_r^T [M][\Phi]\{\ddot{q}\} + \{\Phi\}_r^T [C][\Phi]\{\dot{q}\} + \{\Phi\}_r^T [K][\Phi]\{q\} = \{\Phi\}_r^T \{P\} \quad (2.21)$$

elde edilir. (2.12), (2.13) ve (2.14) denklemleriyle verilen titreşim modlarının ortogonalite şartı dikkate alınır (2.21) denklemi şu hale gelir;

$$\{\Phi\}_r^T [M]\{\Phi\}_r \ddot{q}_r(t) + \{\Phi\}_r^T [C]\{\Phi\}_r \dot{q}_r(t) + \{\Phi\}_r^T [K]\{\Phi\}_r q_r(t) = \{\Phi\}_r^T \{P\} \quad (2.22)$$

veya

$$M_r \ddot{q}_r(t) + C_r \dot{q}_r(t) + K_r q_r(t) = P_r \quad (2.23)$$

burada;

$$M_r = \{\Phi\}_r^T [M] \{\Phi\}_r \quad ; r. \text{ genelleştirilmiş kütle,}$$

$$C_r = \{\Phi\}_r^T [C] \{\Phi\}_r \quad ; r. \text{ genelleştirilmiş sönüm,}$$

$$K_r = \{\Phi\}_r^T [K] \{\Phi\}_r \quad ; r. \text{ genelleştirilmiş rijitlik,}$$

$$P_r = \{\Phi\}_r^T \{P\} \quad ; r. \text{ genelleştirilmiş kuvvet olarak adlandırılmaktadır.}$$

(2.23) denklemi, açısal frekansı $\omega_r = \sqrt{\frac{K_r}{M_r}}$ olan tek serbestlik dereceli bir sistemin hareket

denklemini haline getirir. (2.23) denkleminin her iki tarafı M_r 'ye bölünecek olursa

$$\ddot{q}_r(t) + 2\xi_r \omega_r \dot{q}_r(t) + \omega_r^2 q_r(t) = \frac{P_r}{M_r} \quad (2.24)$$

elde edilir. $\{\Phi\}_r$ normalleştirilmiş mod olduğuna göre $\{\Phi\}_r^T [M] \{\Phi\}_r = 1$ demektir. Yani

$M_r = 1$ olur. Buna göre (2.23) denklemi

$$\ddot{q}_r(t) + 2\xi_r \omega_r \dot{q}_r(t) + \omega_r^2 q_r(t) = P_r \quad (2.25)$$

haline gelir. Burada, ω_r r. titreşim moduna karşılık gelen açısal frekans ve $q_r(t)$ r. titreşim moduna ait modal koordinatlarıdır.

Özetlenecek olursa, n serbestlik dereceli bir sistemin n tane açısal frekansı (ω_n) mevcuttur. Her bir açısal frekans için (2.25) denklemi çözülerek $q(t)$ modal koordinatlar elde edilir. Daha sonra (2.18) denklemi yardımıyla genel çözüm elde edilir.

Yani;

- ω_1 için $\{\Phi\}_1$ elde edilir. Buna göre $\ddot{q}_1(t) + 2\xi_1\omega_1\dot{q}_1(t) + \omega_1^2q_1(t) = P_1$ denkleminin çözümünden $q_1(t)$ elde edilir.
- ω_2 için $\{\Phi\}_2$ elde edilir. Buna göre $\ddot{q}_2(t) + 2\xi_2\omega_2\dot{q}_2(t) + \omega_2^2q_2(t) = P_2$ denkleminin çözümünden $q_2(t)$ elde edilir.
- ω_3 için $\{\Phi\}_3$ elde edilir. Buna göre $\ddot{q}_3(t) + 2\xi_3\omega_3\dot{q}_3(t) + \omega_3^2q_3(t) = P_3$ denkleminin çözümünden $q_3(t)$ elde edilir.
- ω_n için $\{\Phi\}_n$ elde edilir. Buna göre $\ddot{q}_n(t) + 2\xi_n\omega_n\dot{q}_n(t) + \omega_n^2q_n(t) = P_n$ denkleminin çözümünden $q_n(t)$ elde edilir.

Modal koordinatlar bulunduktan sonra;

$$U_1(t) = \Phi_{11}q_1(t) + \Phi_{12}q_2(t) + \Phi_{13}q_3(t) + \cdots + \Phi_{1n}q_n(t)$$

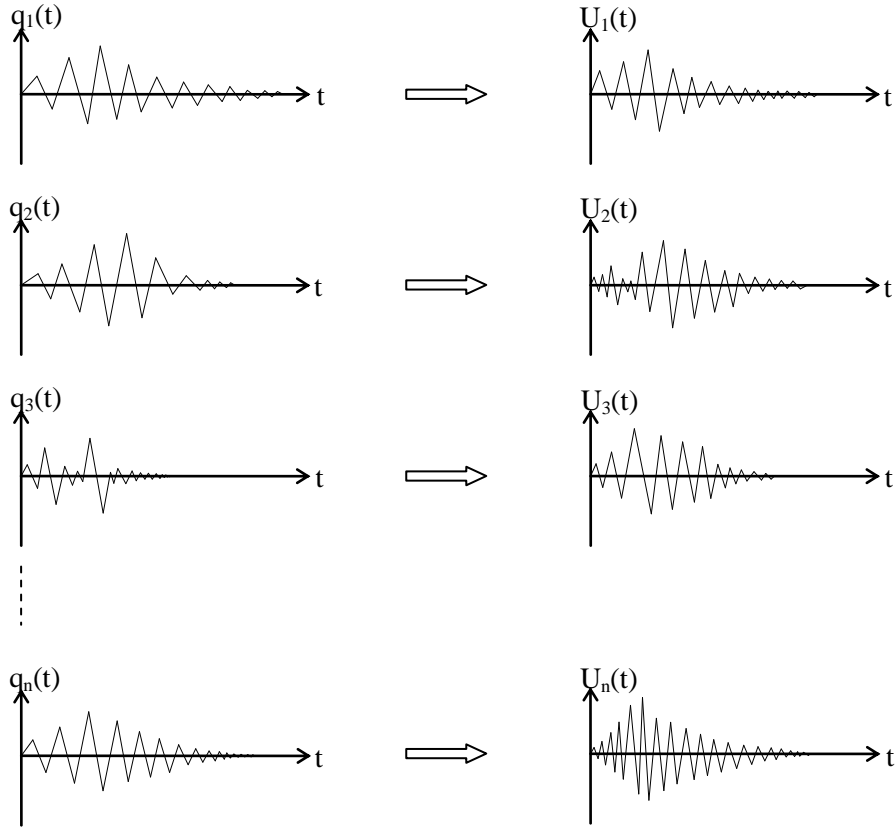
$$U_2(t) = \Phi_{21}q_1(t) + \Phi_{22}q_2(t) + \Phi_{23}q_3(t) + \cdots + \Phi_{2n}q_n(t)$$

$$U_3(t) = \Phi_{31}q_1(t) + \Phi_{32}q_2(t) + \Phi_{33}q_3(t) + \cdots + \Phi_{3n}q_n(t)$$

⋮

$$U_n(t) = \Phi_{n1}q_1(t) + \Phi_{n2}q_2(t) + \Phi_{n3}q_3(t) + \cdots + \Phi_{nn}q_n(t)$$

veya kısaca (2.18) denklemiyle, yani $\{U\} = [\Phi]\{q\}$, genel çözüm elde edilir. Bu çözüm şematik olarak Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Mod süperpozisyon yönteminde modal koordinatlar ve çözüm

3. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu çalışmanın konusu, uygun gerçek deprem kayıtlarının seçilmesi ve bu kayıtların yönetmelik tasarım ivme spektrumlarına ölçeklendirilmesidir. Bu amaçla, on adet yakın fay yer hareketi ve on adet uzak fay yer hareketi; büyüklük, faya olan mesafe ve zemin özellikleri dikkate alınarak PEER veri bankasından tasarım ivme spektrumuna uygun olacak şekilde seçilmişler ve zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılarak Eurocode 8 yönetmelik tasarım ivme spektrumuna ölçeklendirilmişlerdir. Analizlerde kullanılan yakın fay ve uzak fay özelliklerine sahip kayıtlar, seçilmelerinde dikkate alınan bir takım kriterlerle birlikte sırasıyla Tablo 3.1 ve Tablo 3.2'de verilmişlerdir. Tezin ilk aşamasında, zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemine ait hesap adımları MATLAB GUI ara yüz program dili ile kodlanmıştır. Böylece zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için gerekli olan ölçeklendirme katsayısı değerlerine hızlı bir şekilde ulaşılmaktadır. Ayrıca program sayesinde, elde edilen sonuçlar grafikler yardımıyla görsel olarak sunulmaktadır. Yer hareket kayıtlarının ölçeklendirilmiş spektral ivme değerlerinin yönetmeliklerde verilen bir takım şartları sağlamaları gerekmektedir. Hazırlanan SESCAP programında, elde edilen sonuçların belli bir periyot aralığında Eurocode 8'de belirtilen kriterlere olan uyumluluğu denetlenerek görsel olarak sunulmaktadır. Ölçeklendirme işlemlerinin tamamlanmasından sonra, en küçük ölçeklendirme katsayıları ve en küçük oransal göreceli hata değerleri dikkate alınarak tasarım ivme spektrumu ile en iyi uyumu sağlayan üçer adet uzak fay ve yakın fay yer hareket kayıtları tasarım için kullanılmak amacıyla elde edilmiştir. Tezin ikinci aşamasında programdan elde edilen sonuçlar, SAP2000 programında oluşturulan köprü modelinin zaman tanım alanında dinamik analizlerinde kullanılmıştır. Hem uzak fay hem de yakın fay yer hareketleri, köprünün her iki yatay doğrultusuna uygulanmış ve analizler sonucunda elde edilen veriler grafiklere dönüştürülerek sunulmuştur. İlk olarak köprü tabliye eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvveti değerleri ile köprü ayağı eğilme momenti değerleri her bir yer hareketinin ölçeklendirilmiş ya da gerçek olma durumlarına göre çizilmiş ve karşılaştırılmışlardır. İkinci aşamada ise, yediden daha az yer hareketi kullanılması durumunda tasarım için analizler sonucunda elde edilen yapısal davranışların maksimum değerleri alınmalıdır, Eurocode 8 yönetmelik şartının geçerliliğini göstermek amacıyla her bir kayıt için elde edilen değerler tek bir grafikte sunulmuştur. Son aşamada ise, elde edilen tüm veriler

değerlendirilerek yakın fay yer hareketlerinin yapısal davranışa olan etkileri ile uzak fay yer hareketlerinin yapısal davranış üzerindeki etkileri karşılaştırılarak sunulmuştur.

Tablo 3.1. Ölçeklendirme işleminde kullanılmak üzere seçilen yakın fay yer hareketleri

Kayıt No	Deprem Adı	Tarih	Kayıt İstasyonu	Mw ¹	r ² (km)	Zemin ³
P0006	Imperial Valley	19.05.1940	El Centro Array #9	7.0	8.3	C
P0031	Parkfield	28.06.1966	Cholame #5	6.1	5.3	C
P0032	Parkfield	28.06.1966	Cholame #8	6.1	9.2	C
P0099	Hollister	28.11.1974	Hollister City Hall	5.2	10.0	C
P0148	Coyote Lake	06.08.1979	Gilroy Array #2	5.7	7.5	C
P0150	Coyote Lake	06.08.1979	Gilroy Array #4	5.7	4.5	C
P0161	Imperial Valley	15.10.1979	Bonds Comer	6.5	2.1	C
P0180	Imperial Valley	15.10.1979	El Centro Array #8	6.5	3.8	C
P0224	Livermore	27.01.1980	Livermore-Fagundas Ranch	5.4	3.6	C
P0454	Morgan Hill	24.04.1984	Halls Valley	6.2	3.4	C

Tablo 3.2. Ölçeklendirme işleminde kullanılmak üzere seçilen uzak fay yer hareketleri

Kayıt No	Deprem Adı	Tarih	Kayıt İstasyonu	Mw ¹	r ² (km)	Zemin ³
P0037	Borrego Mtn	09.04.1968	El Centro Array #9	6.8	46	C
P0039	Borrego Mtn	09.04.1968	Terminal Island	6.8	195	C
P0170	Imperial Valley	15.10.1979	Delta	6.5	43.6	C
P0215	Livermore	24.01.1980	San Ramon Fire Station	5.8	21.7	C
P0267	Victoria, Mexico	09.06.1980	Chihuahua	-	-	C
P0319	Westmorland	26.04.1981	Westmorland Fire Station	5.8	-	C
P0447	Morgan Hill	24.04.1984	Hollister City Hall	6.2	32.5	C
P0725	Superstin Hills(B)	24.11.1987	El Centro Imp. Co. Cent	6.7	13.9	C
P0813	Landers	28.06.1992	Hemet Fire Station	7.3	69.5	C
P0870	Landers	28.06.1992	LA-E Vemon AV	7.3	157.7	C

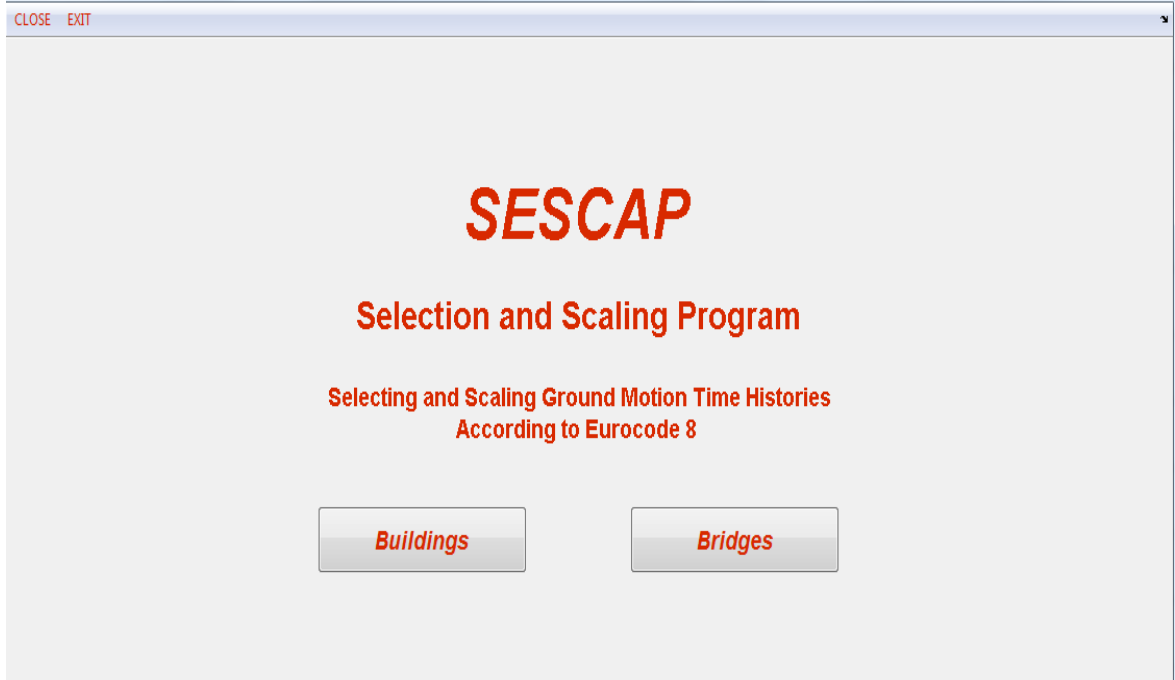
¹Deprem büyüklüğü

²Faya en yakın mesafe

³Zemin sınıfı

3.1. SESCAP Programının Tanıtımı

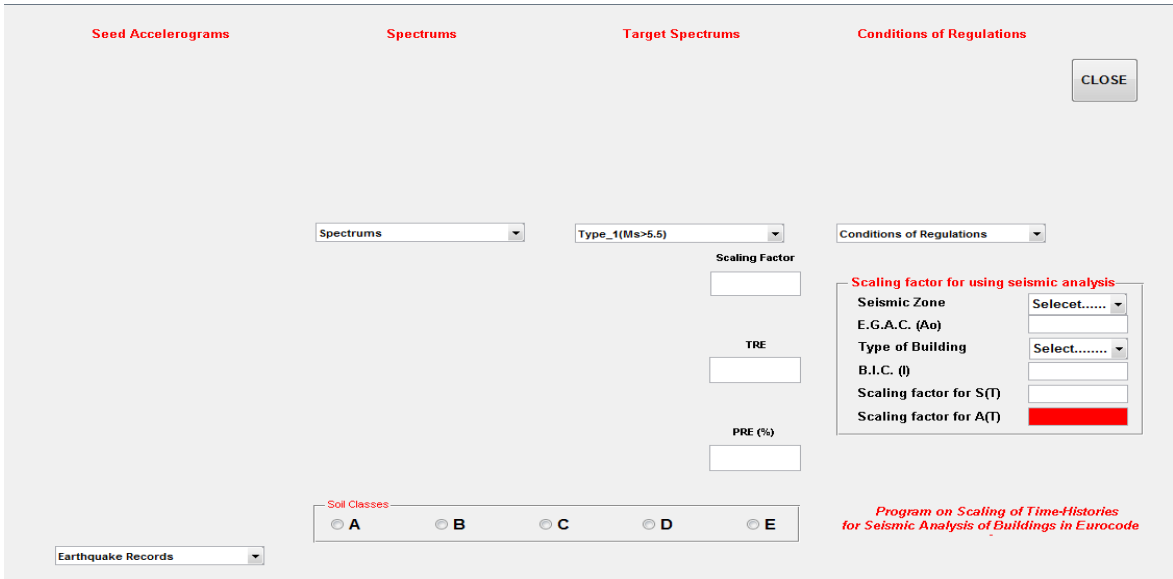
Yapıların deprem yüklerine karşı tasarımlarının yapılmasında veya mevcut yapıların güvenilirlik analizlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan zaman tanım alanında analizler için gerekli olan parametrelere hızlı bir şekilde ulaşabilmek, araştırmacıların en çok istediği unsurlardan birisidir. Bu çalışmada, bu parametrelere hızlı bir şekilde ulaşabilmek için zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemini esas alan SESCAP adında bir ölçeklendirme programı geliştirilmiştir. Zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılarak, matlab gui ara yüz program dili ile yazılmış olan SESCAP bilgisayar programının kullanım adımları, binalar için 1992 Cape Mendocino, köprüler için ise 1979 Imperial Valley depremleri örnek gösterilerek aşağıda anlatılmaktadır;



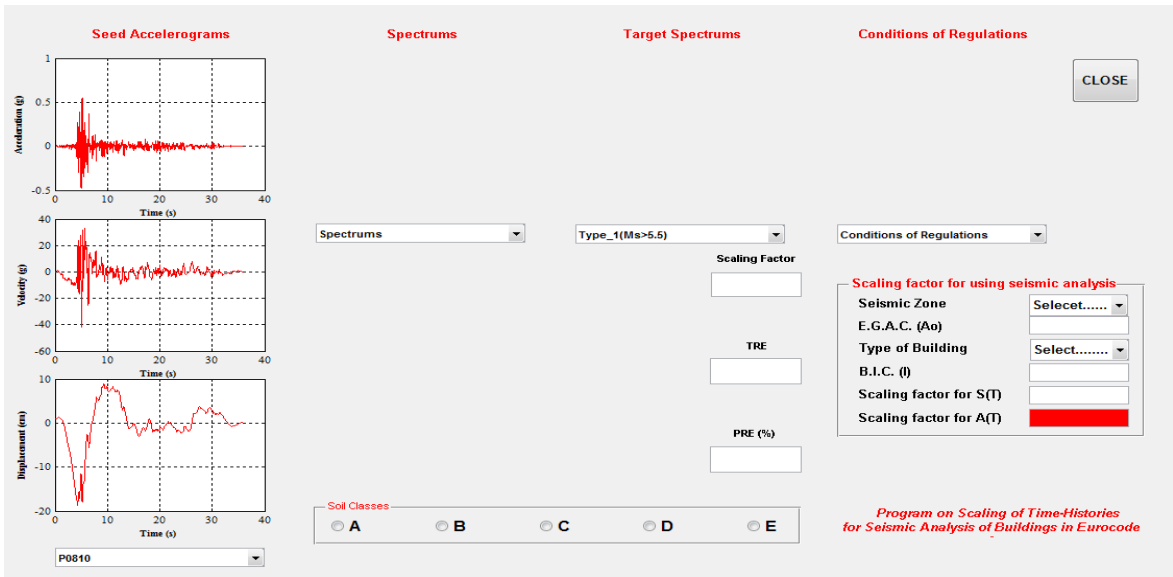
Şekil 3.1. SESCAP programının giriş ekran görüntüsü

Programın giriş ekranında yer alan Buildings ve Bridges menüleri vasıtasıyla, binaların ve köprülerin zaman tanım alanında doğrusal ve doğrusal olmayan analizleri için gerekli olan ölçeklendirme işlemlerinin gerçekleştirildiği alt pencerelere ulaşılmaktadır.

3.1.1. SESCAP Programının Binalar Kısımına Ait Bölümünün Tanıtımı



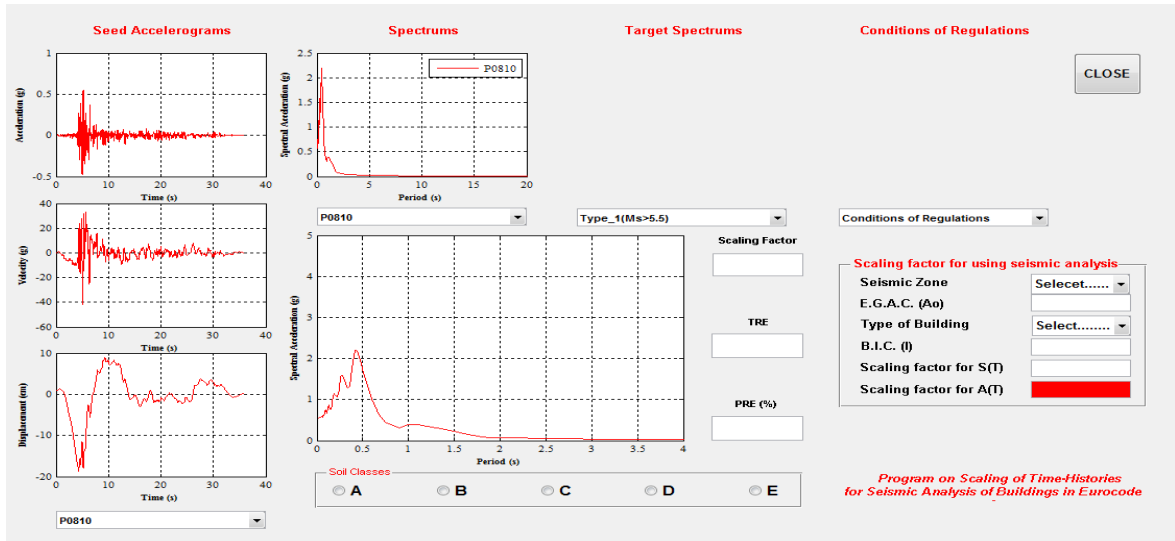
Şekil 3.2. SESCAP programının binalar kısmına ait bölümünün ana penceresi ekran görüntüsü



Şekil 3.3. SESCAP programının Akselogramlar bölümü ekran görüntüsü

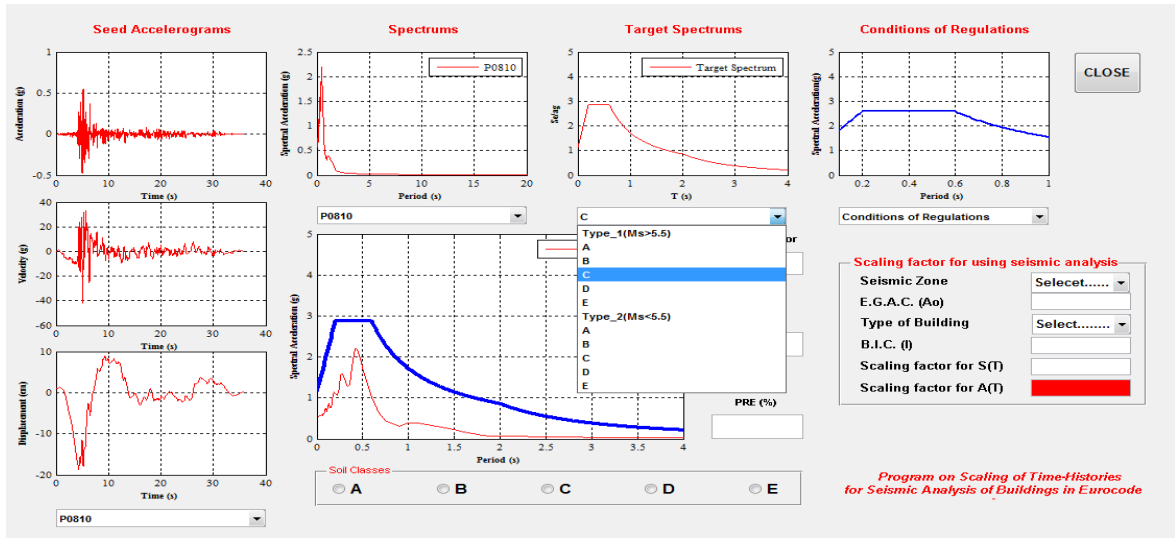
Akselogramlar bölümü kullanıcılara, ölçeklendirme için seçmiş olduğumuz deprem kayıtlarının; ivme, hız ve yer değiştirme değerlerinin zamanla değişimini gösteren grafiklerini çizdirerek, yer hareket kayıtlarının yapılar üzerinde oluşturabileceği etkilerinin tahminin yanında PGA, PGV ve PGD gibi sismolojik parametreler konusunda da bilgi

vermektedir.



Şekil 3.4. SESCAP programının Spektrumlar bölümü ekran görüntüsü

Tasarım ivme spektrumu ile uyumlu kayıtların seçilmesi ve bu kayıtlara ait akselogramların elde edilmesinden sonraki aşama tepki spektrumlarının oluşturulmasıdır. Çünkü elde edilen bu spektrumlar ölçeklendirme yöntemiyle tasarım ivme spektrumuna eşleştirilmeye çalışılacaktır. PEER veri bankasından %5 sönüme sahip olan kayıtlar alınarak Spektrumlar bölümü sayesinde Şekil 3.4'de görüldüğü gibi kullanıcılara sunulmaktadır.

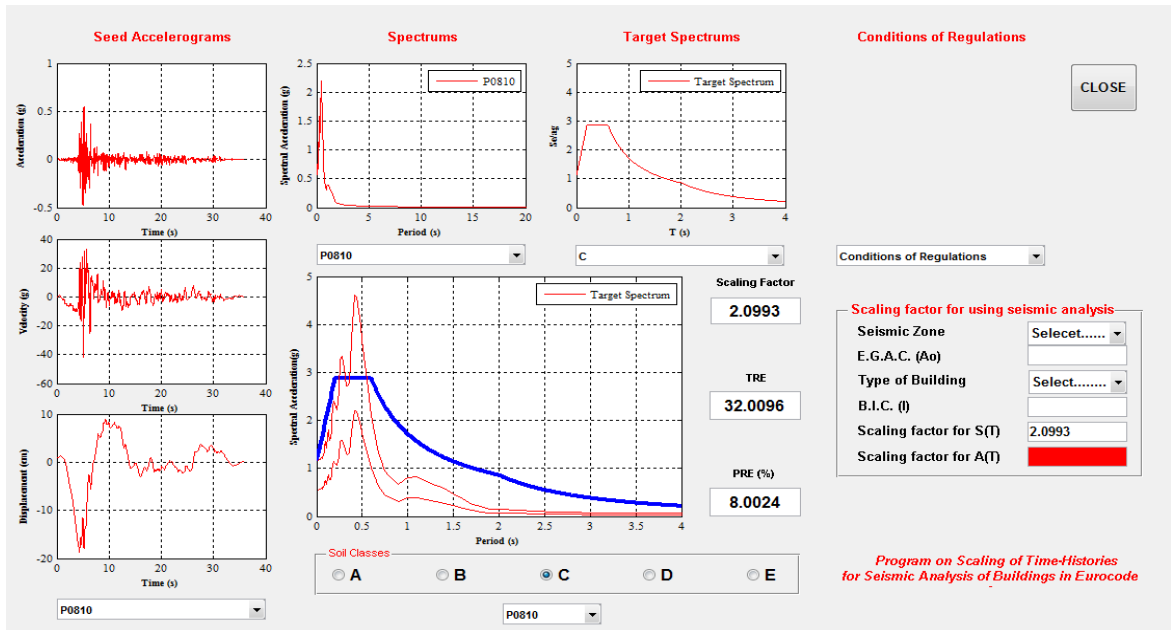


Şekil 3.5. SESCAP programının Hedef Spektrumlar bölümü ekran görüntüsü

Ölçeklendirme yöntemlerinde yer hareketlerine ait ivme tepki spektrumlarının eşleştirilmeye çalışıldığı hedef spektrumlar, yönetmeliklerde yer alan tasarım ivme spektrumlarıdır.

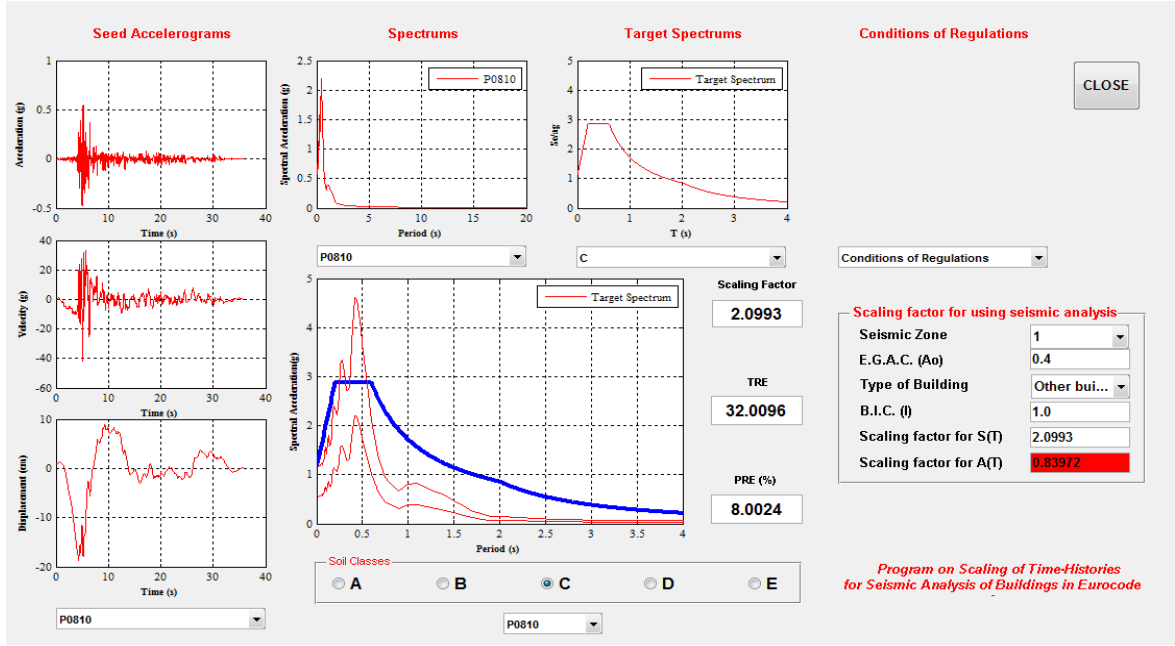
Tepki spektrumları, belirli bir yer hareketi etkisinde sabit bir sönüm oranı için TSD sistemlerin o yer hareketine verdiği tepkinin (ivme, hız, yer değiştirme) en büyük değerini gösterirler. Tasarım spektrumları ise, yeni yapıların tasarımında kullanılacak deprem yükünü belirlemede kullanılırlar. Başka bir deyişle, tasarım spektrumu kaydedilmiş bir deprem için değil gelecekte ortaya çıkması muhtemel depremler için belirlenir. Tasarım spektrumları, genelde o bölgede kaydedilmiş çok sayıda deprem için çizilmiş spektrumların istatistiksel yöntemlerle değerlendirilmesi sonucunda elde edilirler. Bazen her periyot değeri için farklı spektrumlarda elde edilen değerlerin ortalaması alınarak, bazen de ortalamaya standart sapmanın eklenmesiyle elde edilen spektrum, tasarım spektrumu olarak kabul edilir. Bazen de eldeki bütün spektrumları içine alan zarf spektrumu tasarım spektrumu olarak kullanılabilir.

SESCAP programında yönetmelik olarak Eurocode 8 referans alındığı için bu yönetmelikte yer alan tasarım ivme spektrumları, Şekil 3.5'de görüldüğü gibi zemin sınıflarına bağlı olarak Hedef Spektrumlar bölümü vasıtasıyla kullanıcılara sunulmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus; Eurocode 8' de deprem yüzey dalgası manyitüdüne bağlı olarak iki tip tasarım ivme spektrumunun olduğudur.



Şekil 3.6. SESCAP programında ölçeklendirme işlemi ekran görüntüsü

1992 Cape Mendocino deprem kaydına ait ivme davranış spektrumu, Eurocode 8'de yer alan, C türü zemine bağlı olarak elde edilen tasarım ivme spektrumuna eşleştirilerek deprem analizleri için gerekli olan; ölçeklendirme katsayısı, toplam göreceli hata ve oransal göreceli hata değerleri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler ile söz konusu yer hareketinin spektral ivme değerlerinin ölçeklenmiş ve ölçeklenmemiş halleri ile tasarım ivme spektrumuna olan uyumları Şekil 3.6'da kolaylıkla görülmektedir.



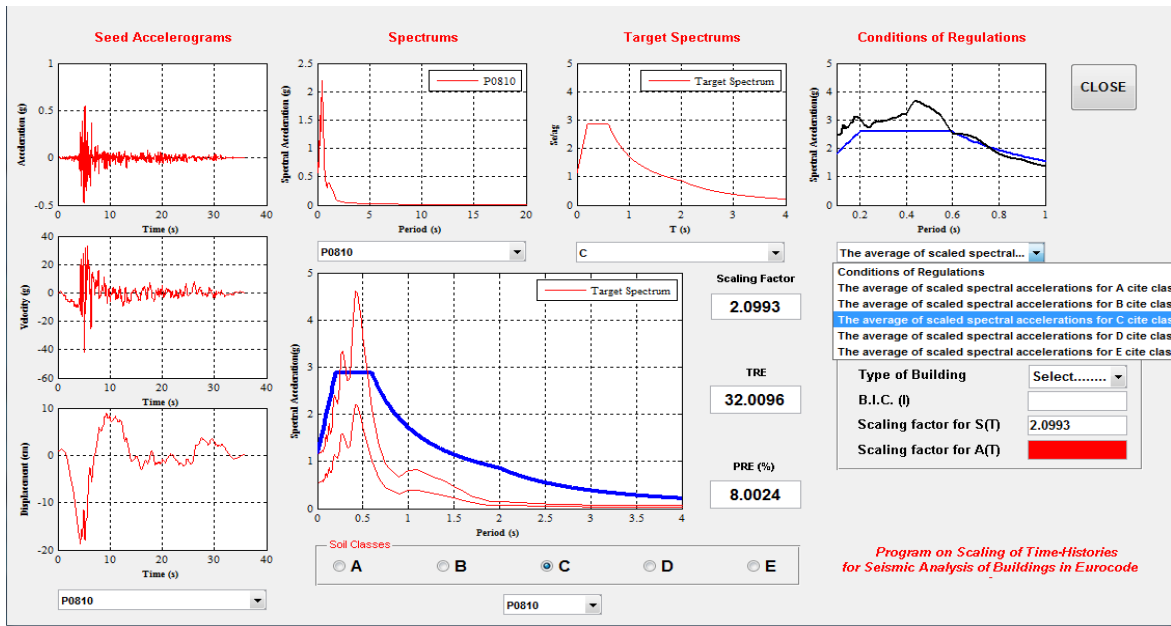
Şekil 3.7. SESCAP programında spektral ivme için ölçeklendirme katsayısı ekran görüntüsü

Ölçeklendirme sonucunda elde ettiğimiz ölçeklendirme katsayısı, spektrum katsayısına (S(T)) ait ölçeklendirme katsayısıdır. Ancak analizlerde spektral ivme katsayısına (A(T)) ait ölçeklendirme katsayısı kullanılacak ise, tepki spektrumları spektral ivme katsayısına ait ölçeklendirme katsayısı ile ölçeklendirilecektir. Deprem analizleri için ölçeklendirme katsayısı menüsünde bulunan etkin yer ivme katsayısı ve bina tipine göre belirlenecek bina önem katsayısı yardımıyla kullanıcı rahatlıkla spektral ivme katsayısına ait ölçekleme katsayısına Şekil 3.7'de görüldüğü gibi rahatlıkla ulaşabilir.

Eurocode 8' e göre, seçilecek yer hareket kayıtlarının, bina türü yapıların zaman tanım alanında hesap analizinde kullanılabilmesi için bir takım şartları sağlamaları gerekir. Sağlamaları gereken kriter; %5 sönüm oranı için yeniden elde edilecek spektral ivme değerlerinin ortalaması, göz önüne alınan deprem doğrultusundaki birinci periyot T_1 'e

göre $0,2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyotlar için tasarım ivme ivme spektrum değerlerinin %90'ından daha az olmayacaktır.

SESCAP programında yer alan Yönetmelik şartları bölümü, ele alınan ölçeklendirilmiş kayıtların yönetmelik şartını sağlayıp sağlamadıkları konusunda bize görsel olarak bilgi vermektedir. Elimizdeki uygulamaya bakıldığında, kayıtların spektral ivme değerlerinin ortalamasının belirli bir periyot aralığında Eurocode 8 yönetmelik şartını sağladığı Şekil 3.8'de görülmektedir.

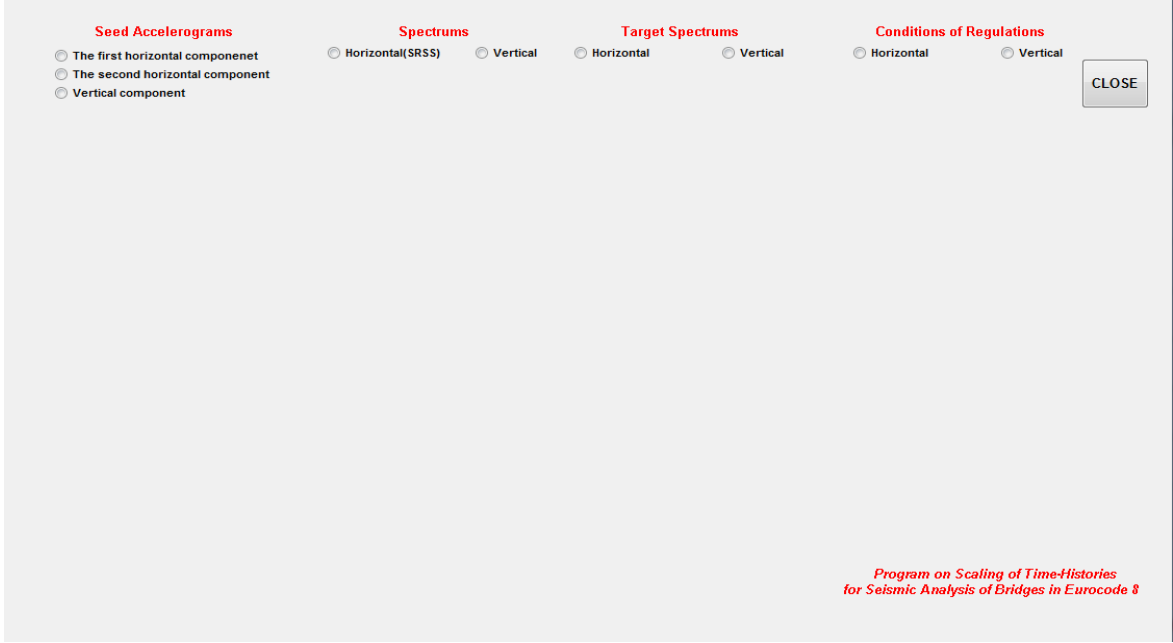


Şekil 3.8. SESCAP programında yönetmelik şartları bölümü ekran görüntüsü

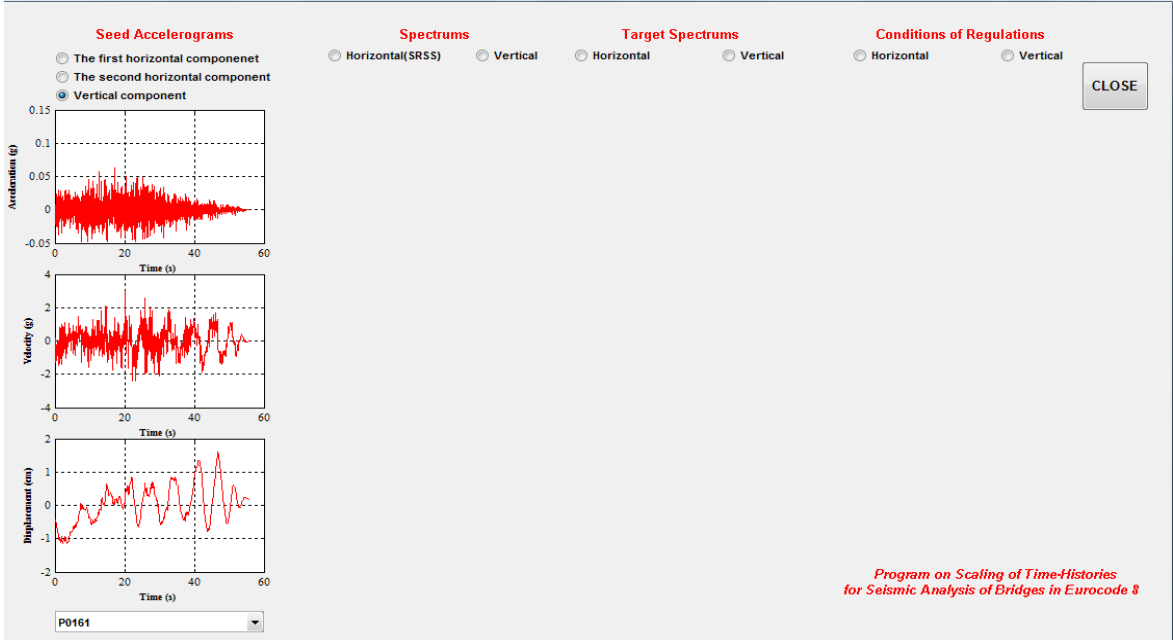
Kayıtlar seçilirken her bir kayda ait tek bir yatay bileşenin seçilmiş olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir. Fakat tasarım ivme spektrumu ile iyi uyum sağlayan kayıtların bulunamadığı durumlarda her iki yatay bileşende kullanılmaktadır.

Zaman tanım alanında analizler binaların depreme karşı tasarımlarında veya yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesinde kullanılırken, deprem yer hareket kayıtlarının sadece iki yatay bileşenleri dikkate alınmaktadır. Çünkü yer hareketinin düşey bileşeni binalar üzerinde büyük risk tehdidi oluşturmamaktadır. Bu nedenle de SESCAP programının binalar bölümüne ait kısmında sadece deprem yer hareketinin yatay bileşenlerine yer verilmiştir.

3.1.2. SESCAP Programının Köprüler Kısımına Ait Bölümünün Tanıtımı



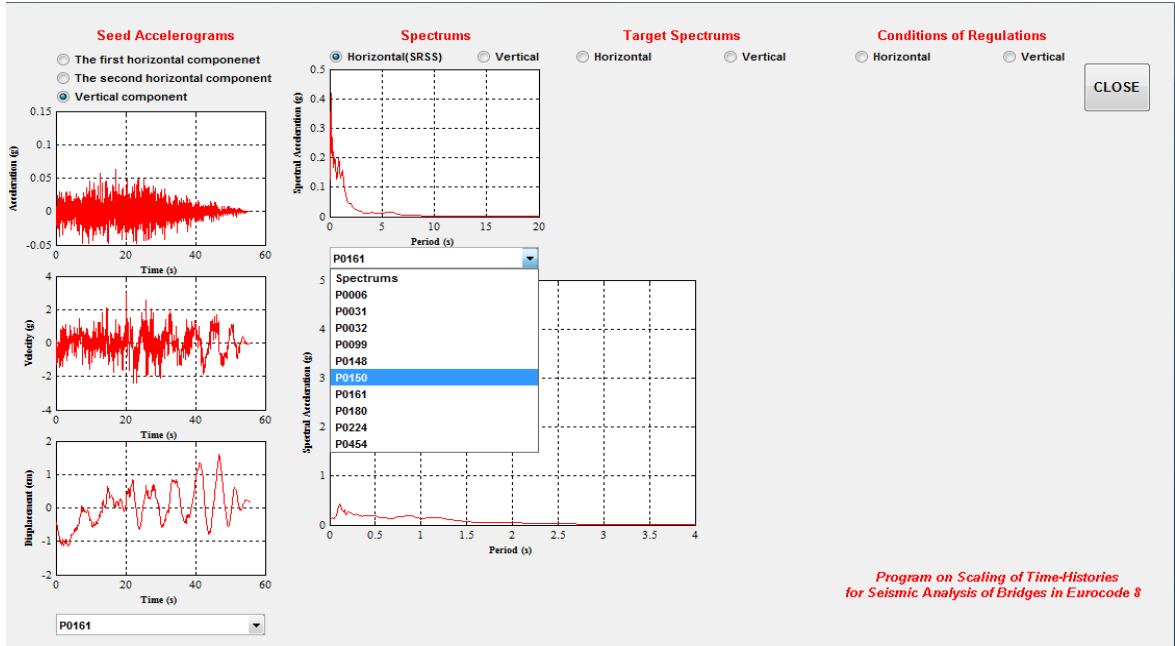
Şekil 3.9. SESCAP programının köprüler kısmına ait bölümünün ana penceresi ekran görüntüsü



Şekil 3.10. SESCAP programının Akselogramlar bölümü ekran görüntüsü

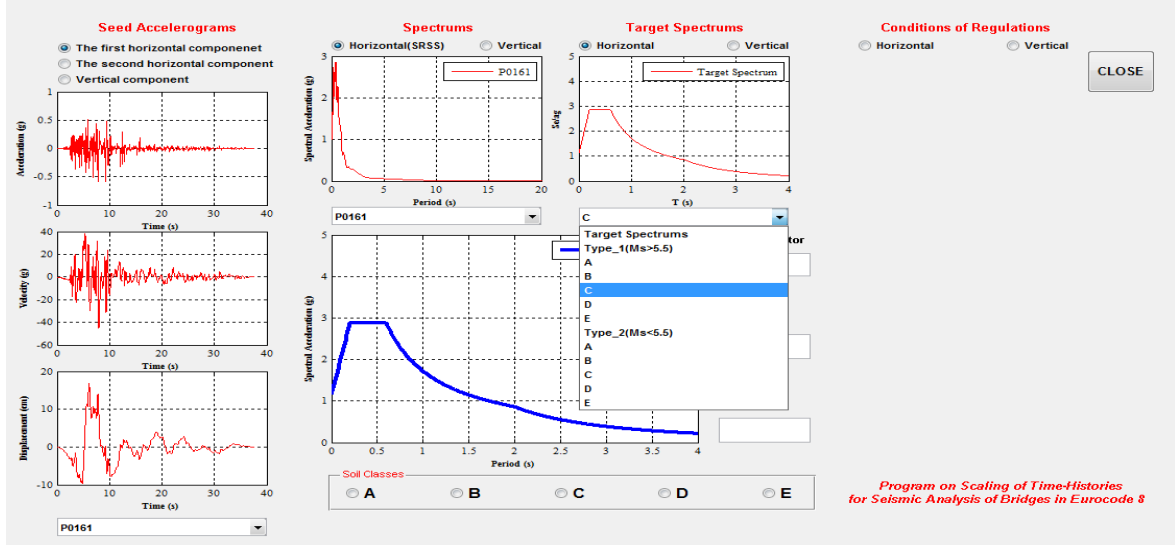
Akselogramlar bölümü kullanıcılara, ölçeklendirme için seçmiş olduğumuz deprem kayıtlarının her üç bileşenlerine ait; ivme, hız ve yer değiştirme değerlerinin zamanla

değişimini gösteren grafiklerini çizdirerek, yer hareket kayıtlarının yapılar üzerinde oluşturabileceği etkilerinin tahminin yanında PGA, PGV ve PGD gibi sismolojik parametreler konusunda da bilgi sağlar. Köprüler üzerinde yer hareket kayıtlarına ait düşey bileşenin etkisi, binalara oranla daha etkin olduğu için programın köprüler kısmına ait bölümünde düşey hareket dikkate alınmaktadır.



Şekil 3.11. SESCAP programının Spektrumlar bölümü ekran görüntüsü

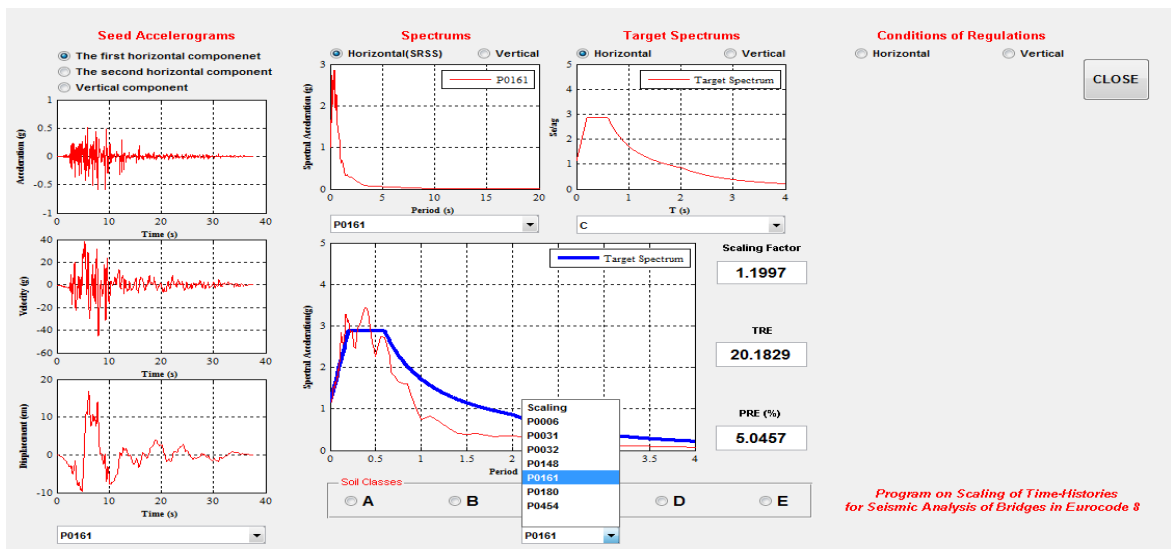
Spektrumlar bölümü sayesinde, yer hareket kayıtlarının yatay bileşenlerinin spektral ivme değerlerinin karelerinin toplamının karekökü alınarak oluşturulan yatay bileşenlere ait tepki spektrumları ve düşey bileşenlere ait spektrumlar %5 sönüme sahip olacak şekilde PEER veri bankasından alınarak Şekil 3.11'de görüldüğü gibi kullanıcılara sunulmaktadır.



Şekil 3.12. SESCAPP programının Hedef Spektrumlar bölümü ekran görüntüsü

Ölçeklendirme yöntemlerinde yer hareketlerine ait ivme tepki spektrumlarının eşleştirilmeye çalışıldığı hedef spektrumlar, yönetmeliklerde yer alan tasarım ivme spektrumlarıdır.

SESCAPP programında yönetmelik olarak Eurocode 8 referans alındığı için bu yönetmelikte yer alan tasarım spektrumları, Şekil 3.12'de görüldüğü gibi zemin sınıflarına bağlı olarak Hedef Spektrumlar bölümü vasıtasıyla kullanıcılara sunulmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus; Eurocode 8'de deprem yüzey manyitüdüne bağlı olarak iki tip tasarım spektrumunun olduğudur.



Şekil 3.13. SESCAPP programında ölçeklendirme işlemi ekran görüntüsü

1979 Imperial Valley depremine ait davranış spektrumu, Eurocode 8'de yer alan, C türü zemine bağlı olarak elde edilen tasarım ivme spektrumuna eşleştirilerek deprem analizleri için gerekli olan; ölçeklendirme katsayısı, toplam göreceli hata ve oransal göreceli hata değerleri Şekil 3.13'de görüldüğü gibi elde edilmiştir. Yer hareket kaydına ait düşey ve yatay bileşenlere ait spektral ivme değerleri ayrı ayrı yönetmelik hedef spektrumlarına eşleştirilmektedir.

Eurocode 8' e göre, yer hareket kayıtlarının, köprü türü yapıların zaman tanım alanında analizlerinde kullanılabilmesi için bir takım şartları sağlamaları gerekmektedir.

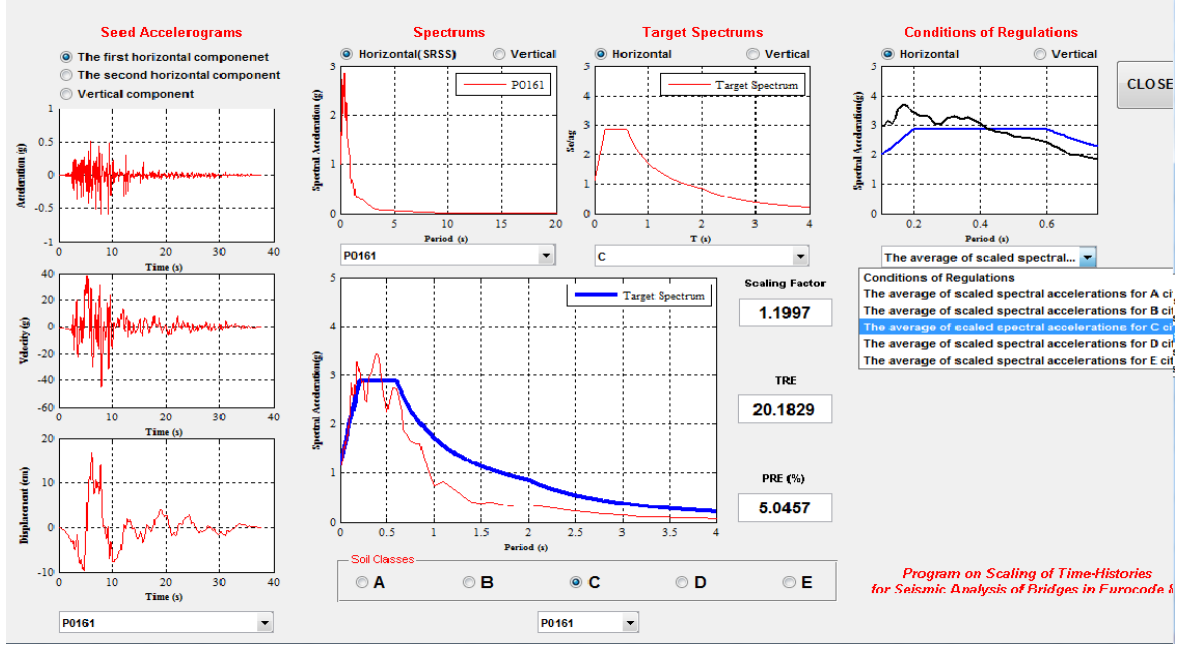
Sağlamaları gereken kriterler;

- Deprem yatay hareketlerinin her iki bileşenine ait %5 sönümlü spektral ivme değerlerinin karelerinin toplamının karekökü (SRSS) alınarak yeni bir spektrum oluşturulacaktır.

- Ele alınan her bir yer hareketine ait ilk adımda hesaplanan spektral ivme değerlerinin ortalaması alınarak yeni bir spektrum elde edilecektir.

- İkinci adımda elde edilecek spektral ivme değerleri, $0,2T_1$ ile $1,5T_1$ periyot aralığında, burada T_1 köprünün hakim periyodudur, izolasyon sistemli köprüler için ise etkin periyot T_{eff} , %5 sönüm oranlı tasarım spektrumunun spektral ivme değerlerinin 1,3 ünden daha az olmayacaktır.

- Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için, yer hareketinin üç bileşeninde kullanılması durumunda yatay bileşenler düşey bileşenden bağımsız olarak ölçeklendirilir. Ele alınan her bir yer hareketine ait düşey bileşenlerin spektral değerlerinin ortalaması $0,2T_v$ ile $1,5T_v$ periyot aralığında %5 sönüm oranlı tasarım spektrumunun 0,9 undan daha az olmayacaktır. Burada, T_v köprünün en düşük modundaki periyottur.



Şekil 3.14. SESCAP programında yönetmelik şartları bölümü ekran görüntüsü

SESCAP programında yer alan Yönetmelik Şartları bölümü, Şekil 3.14'de görüldüğü gibi ele alınan ölçeklendirilmiş kayıtların yönetmelik şartını sağlayıp sağlamadıkları konusunda bize görsel olarak bilgi vermektedir. Yaptığımız uygulamada küçük periyotlarda bu şartın sağlandığı ancak büyük periyotlarda, ölçeklendirilmiş kayıtların ortalama spektral ivme değerlerinin tasarım spektrumuna ait spektral ivme değerlerinden daha küçük olduğu görülmektedir.

Ölçeklendirme işlemlerinin tamamlanmasından sonra, en küçük ölçeklendirme katsayıları ve en küçük oransal göreceli hata değerleri dikkate alınarak tasarım ivme spektrumu ile en iyi uyumu sağlayan üçer adet uzak fay ve yakın fay yer hareket kayıtları tasarım için kullanılmak amacıyla seçilmiştir. Yakın fay ve uzak fay yer hareketleri için elde edilen ölçeklendirme verileri sırasıyla Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'de görülmektedir.

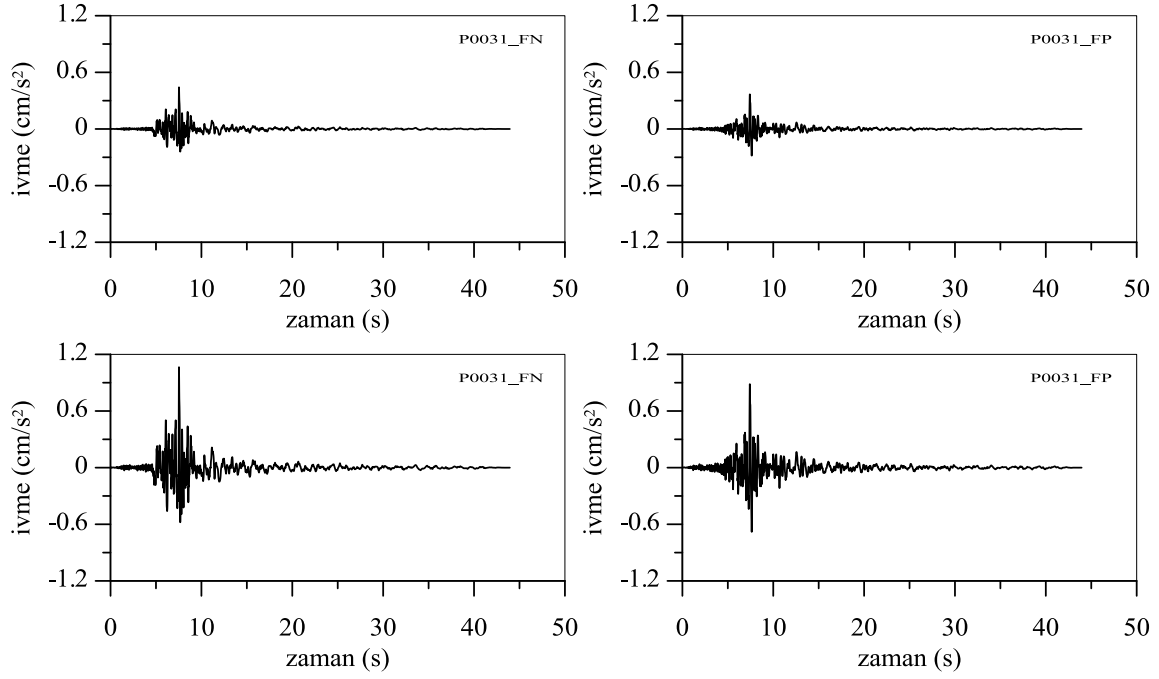
Tablo 3.3. Yakın fay yer hareketlerine ait ölçeklendirme sonuçları

Kayıt No	Deprem Adı	Tarih	Kayıt İstasyonu	Ölçeklendirme Katsayısı	Hata(%)
P0006	Imperial Valley	19.05.1940	El Centro Array #9	3,1172	2,5615
P0031	Parkfield	28.06.1966	Cholame #5	2,4110	6,2523
P0032	Parkfield	28.06.1966	Cholame #8	3,4573	8,3269
P0099	Hollister	28.11.1974	Hollister City Hall	5,6545	7,9313
P0148	Coyote Lake	06.08.1979	Gilroy Array #2	3,0626	6,3826
P0150	Coyote Lake	06.08.1979	Gilroy Array #4	3,5655	4,5214
P0161	Imperial Valley	15.10.1979	Bonds Comer	1,1997	5,0457
P0180	Imperial Valley	15.10.1979	El Centro Array #8	1,8208	6,0399
P0224	Livermore	27.01.1980	Livermore-Fagundas Ranch	3,8146	8,0282
P0454	Morgan Hill	24.04.1984	Halls Valley	3,5644	4,2277

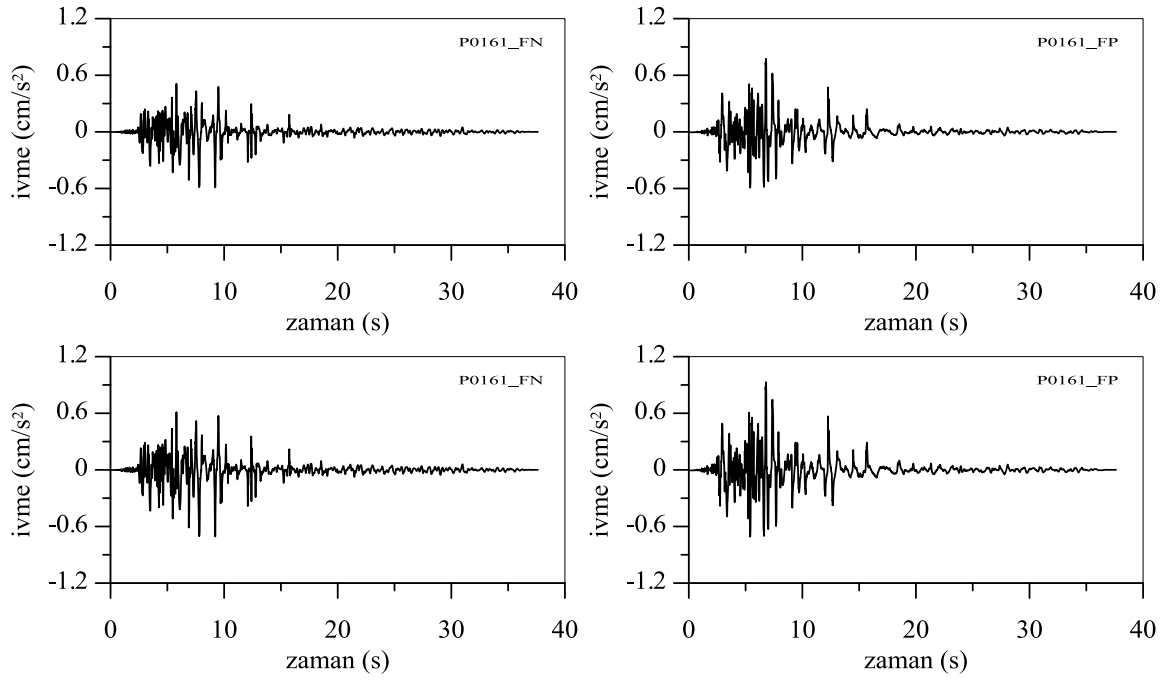
Tablo 3.4. Uzak fay yer hareketlerine ait ölçeklendirme sonuçları

Kayıt No	Deprem Adı	Tarih	Kayıt İstasyonu	Ölçeklendirme Katsayısı	Hata(%)
P0037	Borrego Mtn	09.04.1968	El Centro Array #9	9,6096	8,7993
P0039	Borrego Mtn	09.04.1968	Terminal Island	78,0157	11,6855
P0170	Imperial Valley	15.10.1979	Delta	2,7728	3,7100
P0215	Livermore	24.01.1980	San Ramon Fire Station	17,4948	2,5065
P0267	Victoria, Mexico	09.06.1980	Chihuahua	6,3547	5,6676
P0319	Westmorland	26.04.1981	Westmorland Fire Station	2,0744	3,5725
P0447	Morgan Hill	24.04.1984	Hollister City Hall	10,6457	5,9189
P0725	Superstin Hills(B)	24.11.1987	El Centro Imp. Co. Cent	3,1427	3,7881
P0813	Landers	28.06.1992	Hemet Fire Station	9,9571	6,4432
P0870	Landers	28.06.1992	LA-E Vemon AV	19,9424	12,7182

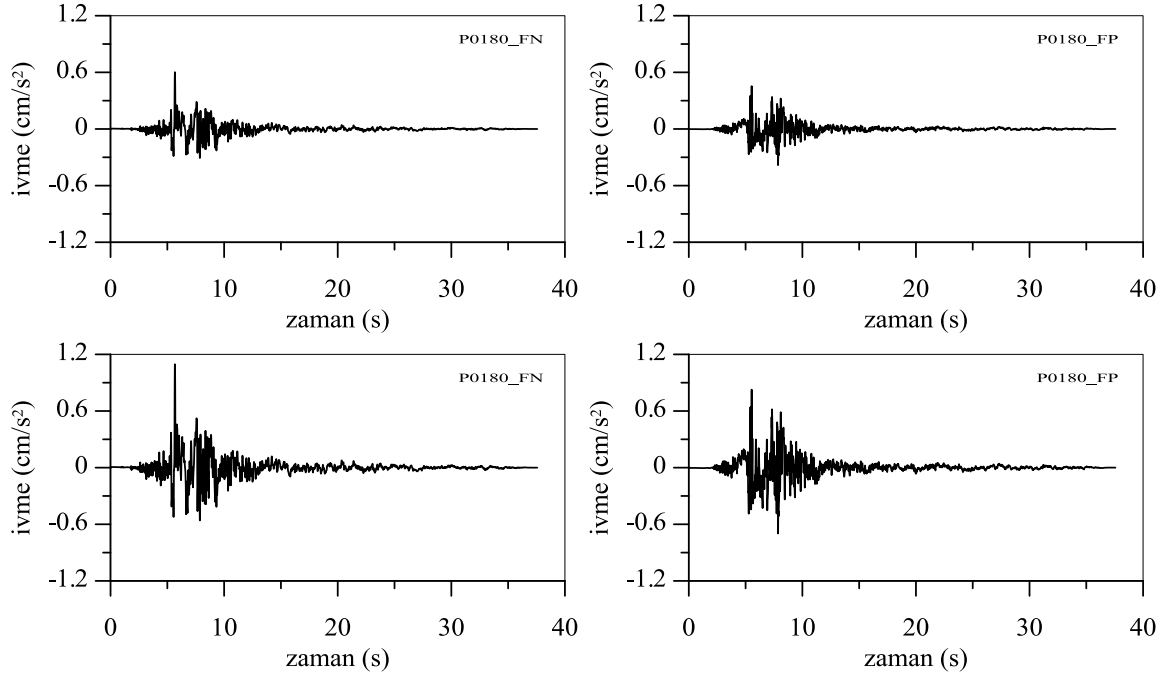
Verev köprüünün dinamik analizlerinde kullanılmak amacıyla seçilen yakın fay ve uzak fay yer hareketlerinin yatay bileşenlerine ait gerçek ve ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtları Şekil 3.15-3.20'de verilmiştir. Burada, yatay bileşenler fay normal yön (FN) ve fay paralel yön (FP) şeklinde tanımlanmışlardır.



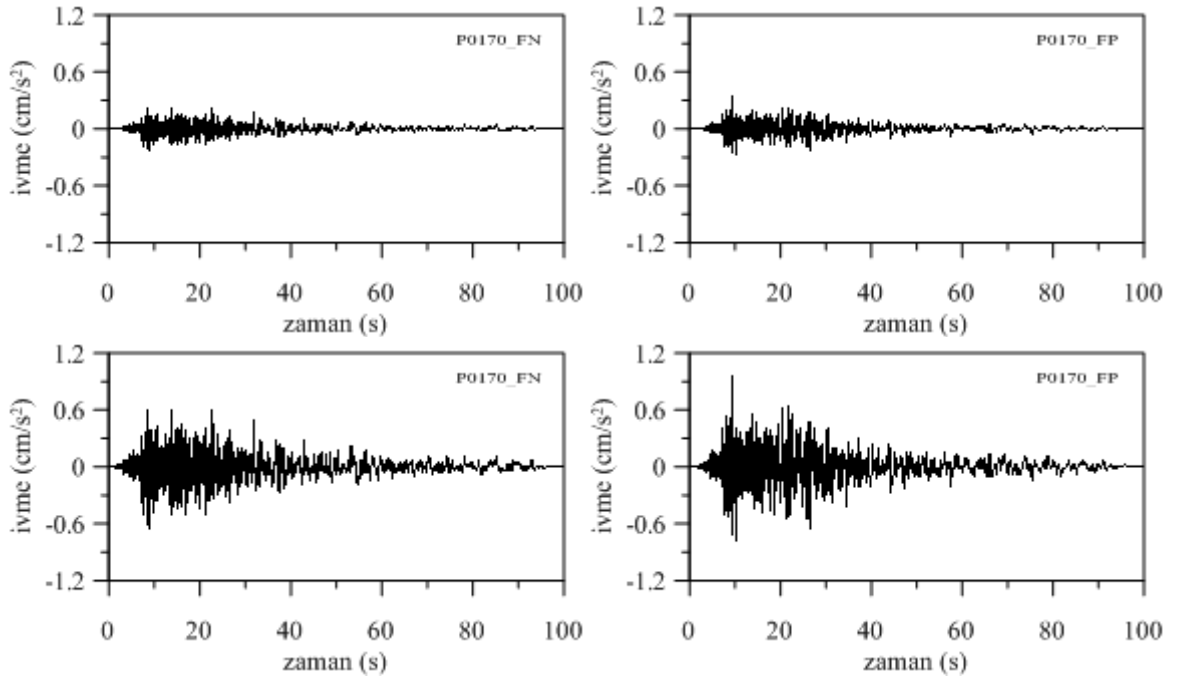
Şekil 3.15. Parkfield Depreminin, Cholame#5 İstasyon kaydı yatay bileşenlerine ait doğal ve ölçeklenmiş ivme kayıtları



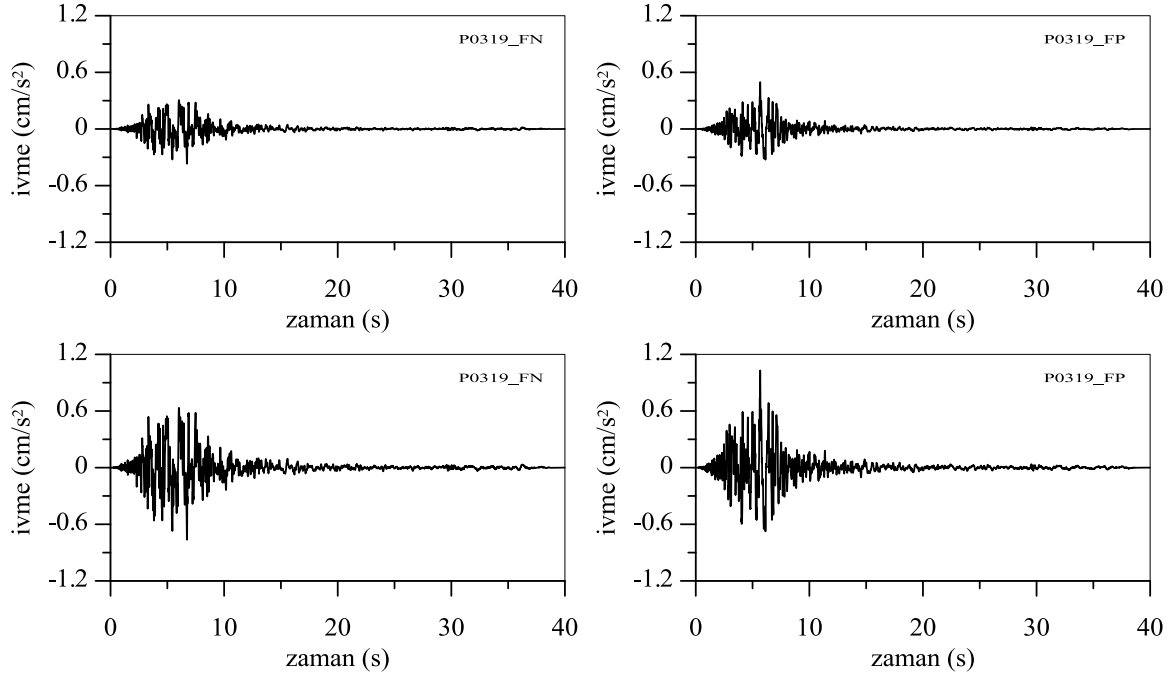
Şekil 3.16. Imperial Valley Depreminin, Bonds Comer İstasyon kaydı yatay bileşenlerine ait doğal ve ölçeklenmiş ivme kayıtları



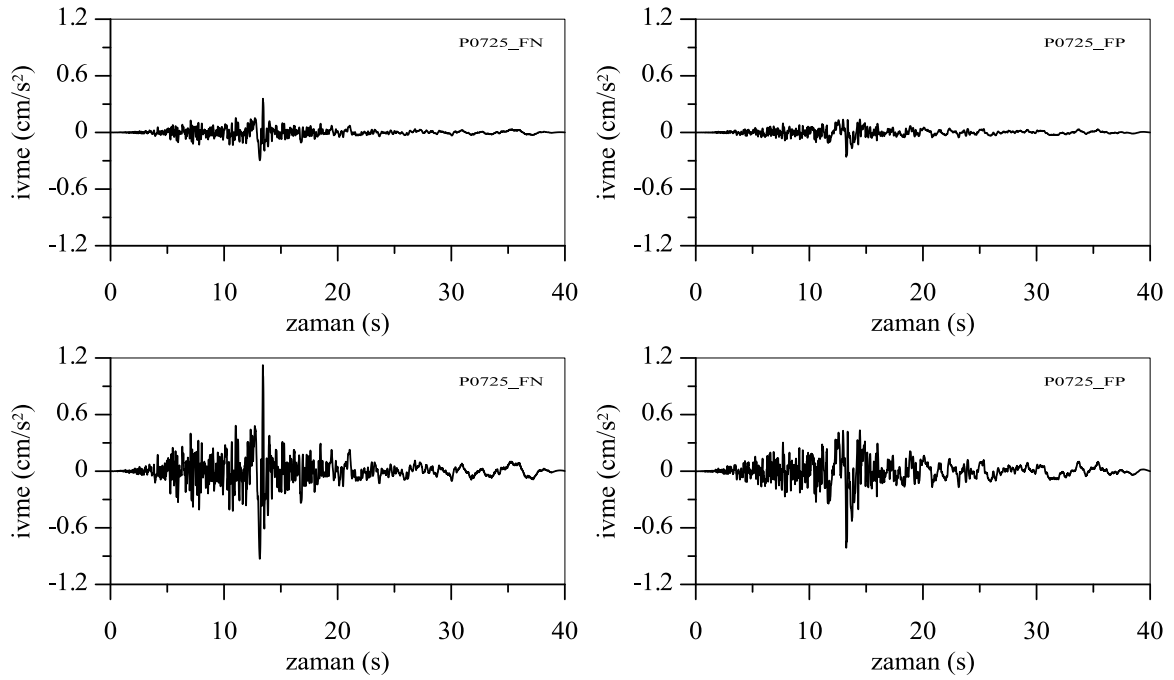
Şekil 3.17. Imperial Valley Depreminin, El Centro Array#8 İstasyon kaydı yatay bileşenlerine ait doğal ve ölçeklenmiş ivme kayıtları



Şekil 3.18. Imperial Valley Depreminin, Delta İstasyon kaydı yatay bileşenlerine ait doğal ve ölçeklenmiş ivme kayıtları



Şekil 3.19. Westmorland Depreminin, Westmorland Fire Station İstasyon kaydı yatay bileşenlerine ait doğal ve ölçeklenmiş ivme kayıtları

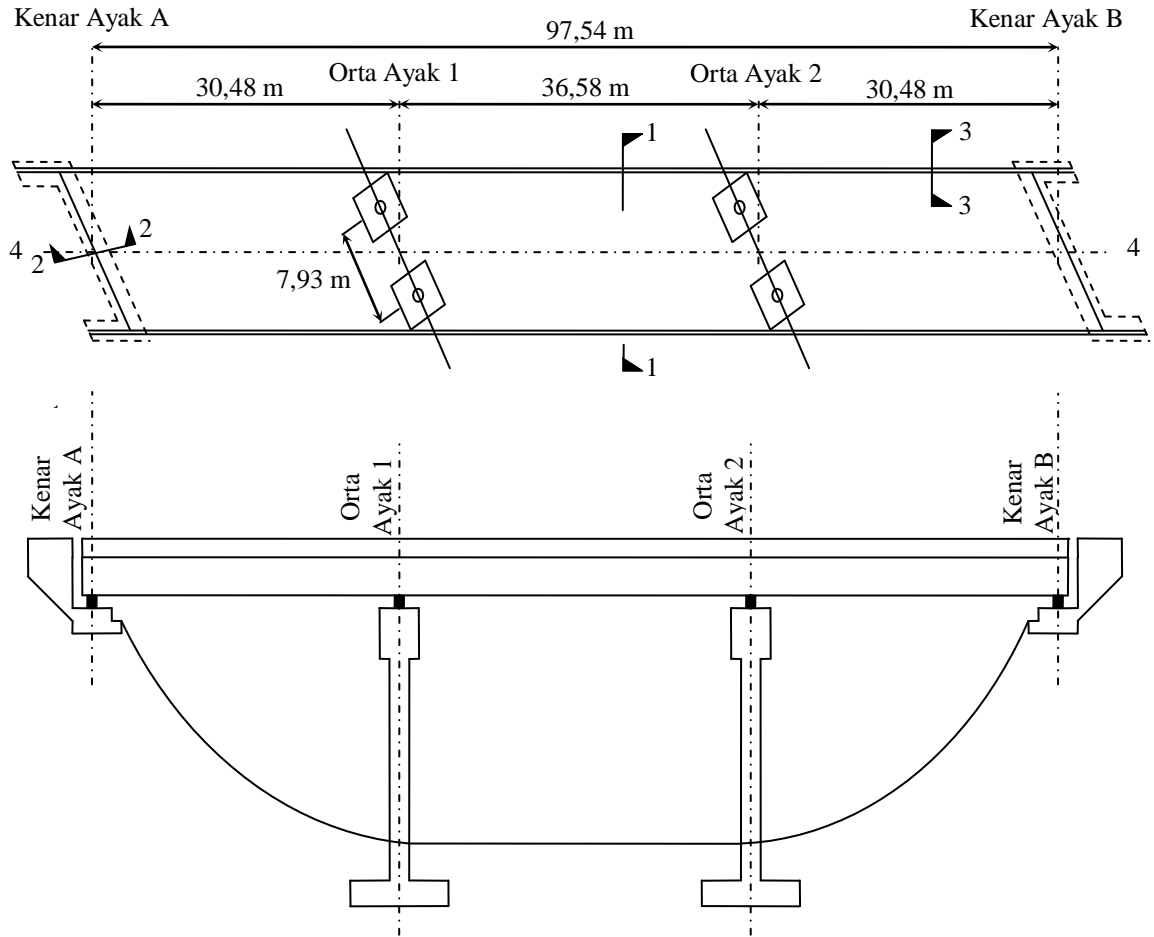


Şekil 3.20. Superstin Hills(B) Depreminin, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yatay bileşenlerine ait doğal ve ölçeklenmiş ivme kayıtları

3.2. Köprünün Analitik Modeli

3.2.1. Üstyapı Tanıtımı

Bu çalışmada, SESCAP programından elde edilen ölçeklendirilmiş deprem kayıtları verev bir köprünün zaman tanım alanında dinamik analizlerinde kullanılmıştır. Berger/Abam mühendislik firması tarafından hazırlanan köprü, Amerika Birleşik Devletleri Federal Karayolu İdaresi Sismik Tasarım Kursunda tasarım örneği olarak kullanılmıştır (Berger/Abam mühendislik firması, 1996). Köprünün planı ve boy kesiti Şekil 3.21'de görülmektedir.

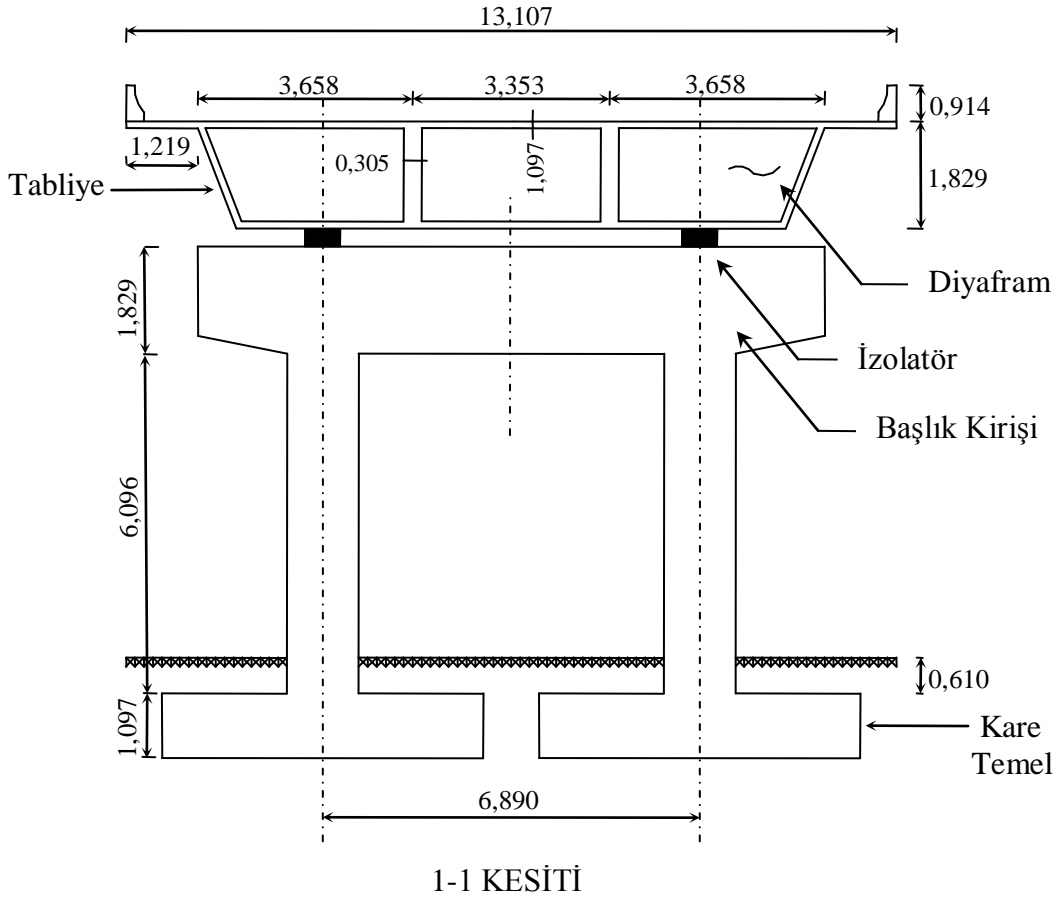


Şekil 3.21. Köprü planı ve boy kesiti (4-4 kesiti)

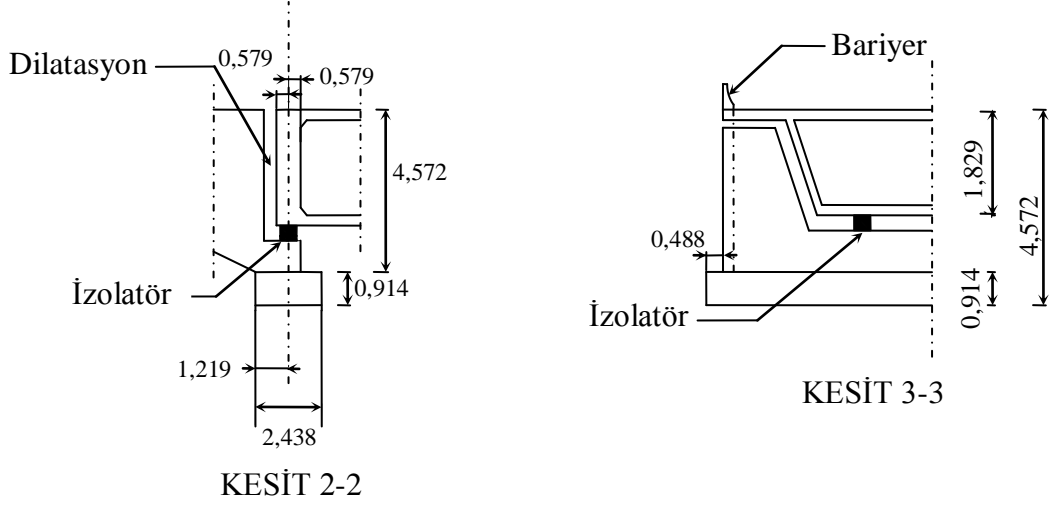
Tablisesi yerinde dökme öngermeli, kutu kesitli ve 30° eğrilikli kirişlerden oluşan köprü; 36,58 m uzunluğunda bir adet orta açıklık ve 30,48 m uzunluğunda iki adet kenar açıklıktan oluşmakta olup toplamda 97,54 m uzunluğundadır. Dairesel kesitlerden oluşan

orta ayaklar her bir ara aksta ikişer adet olmak üzere toplam dört adettir. Ayrıca, her bir ara aksta orta ayaklar başlık kirişleri ile birbirlerine bağlanmıştır. Köprünün geometrisi, kesit ve temel özellikleri Amerika Birleşik Devletleri Federal Karayolu İdaresi tarafından sunulan tasarım örneği ile tamamen aynıdır. Sadece, köprünün sismik izolasyonunu kolaylaştırmak amacıyla köprünün geometrisinde çok küçük değişiklikler yapılmıştır (Daha geniş genleşme derzlerinin kullanımı ve köprü kirişleri ile yekpare olacak şekilde değil her bir ara aksta bağımsız çalışan başlık kirişlerinin kullanımı gibi).

Şekil 3.22'de ve Şekil 3.23'de sırasıyla köprü ara aks kesiti ve kenar ayak kesitleri verilmiştir. Şekil 3.22'de tabliye kiriş kesitleri boy ekseninde dik olmalarına rağmen, çerçeve 30° lik eğrilik açısıyla görülmektedir. Köprü orta ayak eksenleri arasındaki gerçek mesafe Şekil 3.21'de görüldüğü gibi 7,93 m'dir.



Şekil 3.22. Köprü ara aks kesiti (Birimler metredir.)



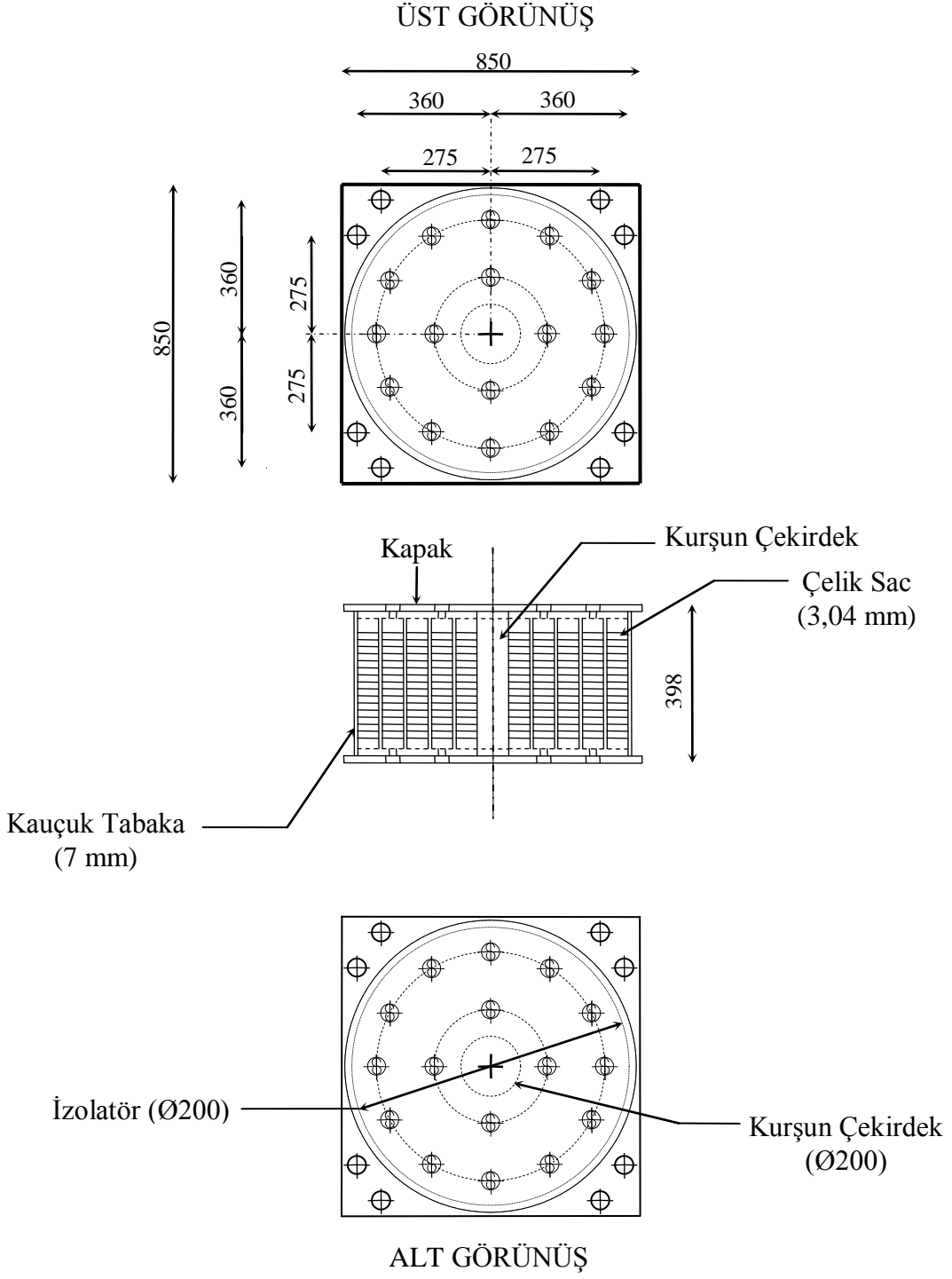
Şekil 3.23. Köprü kenar ayak kesitleri (Birimler metredir.)

3.2.2. Sismik İzolatörün Tanıtımı

Köprü, her bir kenar ayak ve orta ayak bölgelerinde ikişer adet olmak üzere toplam sekiz adet izolatörün kullanılması ile izole edilmiştir. İzolatörler doğrudan doğruya dairesel kolonların üzerine yerleştirilmiştir. Daha fazla izolatör yerine, her bir bölgede ikişer adet izolatörün tercih edilme nedenleri aşağıda verilmiştir;

- Elastomer mesnetlerle daha büyük izolasyon periyotları elde etmek mümkündür.
- Her bir bölgede ikiden fazla izolatörün kullanımı, sürtünmeli sarkaç mesnetleri gibi rijit elastomer mesnetlere düşey olarak etki eden eksenel yüklerin hesaplanmasında belirsizliklere neden olabilmektedir.
- Daha az izolatörün kullanımı köprü maliyetini azaltmaktadır.

Verev köprüünün sismik izolasyonunda kullanılmak üzere Şekil 3.24'de görülen kurşun çekirdekli kauçuk mesnet tipi tercih edilmiştir. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler, bilinen elastomer mesnetler ile içine bir kurşun silindirin yerleştirilmesinin bir kombinasyonudur. Elastomer mesnet destekleme ve yeniden-merkezleme fonksiyonunu üstlenirken, kurşun çekirdek etkili enerji dağılımını sağlar. Servis durumunda bu mesnetler köprüye gereken rijitliği sağlarken deprem durumunda ise sönümleyici olarak çalışmaktadır. Kurşun çekirdekli elastomer mesnetler diğer mesnet çeşitlerine göre daha basit mekanizmaya sahip ve daha az test gerektiren bir mesnet tipidir. Öngerilmeden ve rötreden dolayı oluşacak yer değiştirmeleri karşılamak için kauçuk mesnetleri ön yüklemeye tabi tutmaya gerek duyulmamaktadır.



Şekil 3.24. Kuruşun çekirdekli kauçuk mesnet modeli (Birimler milimetredir.)

Mesnedin, servis yükleri için yer değiştirme kapasitesi 7,62 cm, deprem yükleri için ise 45,72 cm'dir. Bu kapasiteler, tasarım depremi ve servis yükleri nedeniyle oluşacak maksimum toplam yer değiştirmeyi karşılama konusunda yeterlidir.

Tablo 3.5'de çok modlu analizler için gerekli olan kuruşun çekirdekli kauçuk mesnede

ait efektif özellikler verilmiştir.

Tablo 3.5. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin efektif özellikleri

Parametre	Üst Sınır Değerleri	Alt Sınır Değerleri
Maksimum yer değiştirme D_M (cm)	26,92	39,62
Her bir kenar ayak mesnetlerine ait efektif rijitlik K_{eff} (kN/m)	3.707,44	1.607,66
Her bir orta ayak mesnetlerine ait efektif rijitlik K_{eff} (kN/m)	3.707,44	1.805,56

Şekil 3.25'de zaman tanım alanında analizlerde kullanılan verev köprünün analitik modeli görülmektedir. Her bir izolatör düşey yönde her iki ucundan rijit olarak bağlanmış kirişler ile modellenmektedir. Bu elamanın boyu h , alanı A , her iki eğilme eksenine göre atalet momenti I ve burulma sabiti J 'dir. Elaman boyu, izolatörün yüksekliğine eşittir ve değeri $h=398$ mm'dir. Elamanın her iki ucu rijit bağlantılı olarak modellenmiştir. Böylece, $P\Delta$ etkileri düzgün bir şekilde kauçuk mesnedin üst ve alt bölümlerine dağıtılmıştır.

Kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin modellenmesinde burulma sabiti sıfır veya sıfıra yakın bir değer olarak dikkate alınmaktadır. Bunun yanında, elamandaki kesme deformasyonları devre dışı bırakılmıştır. Kauçuk mesnede ait geometrik ve malzeme özellikleri Tablo 3.6'da verilmektedir.

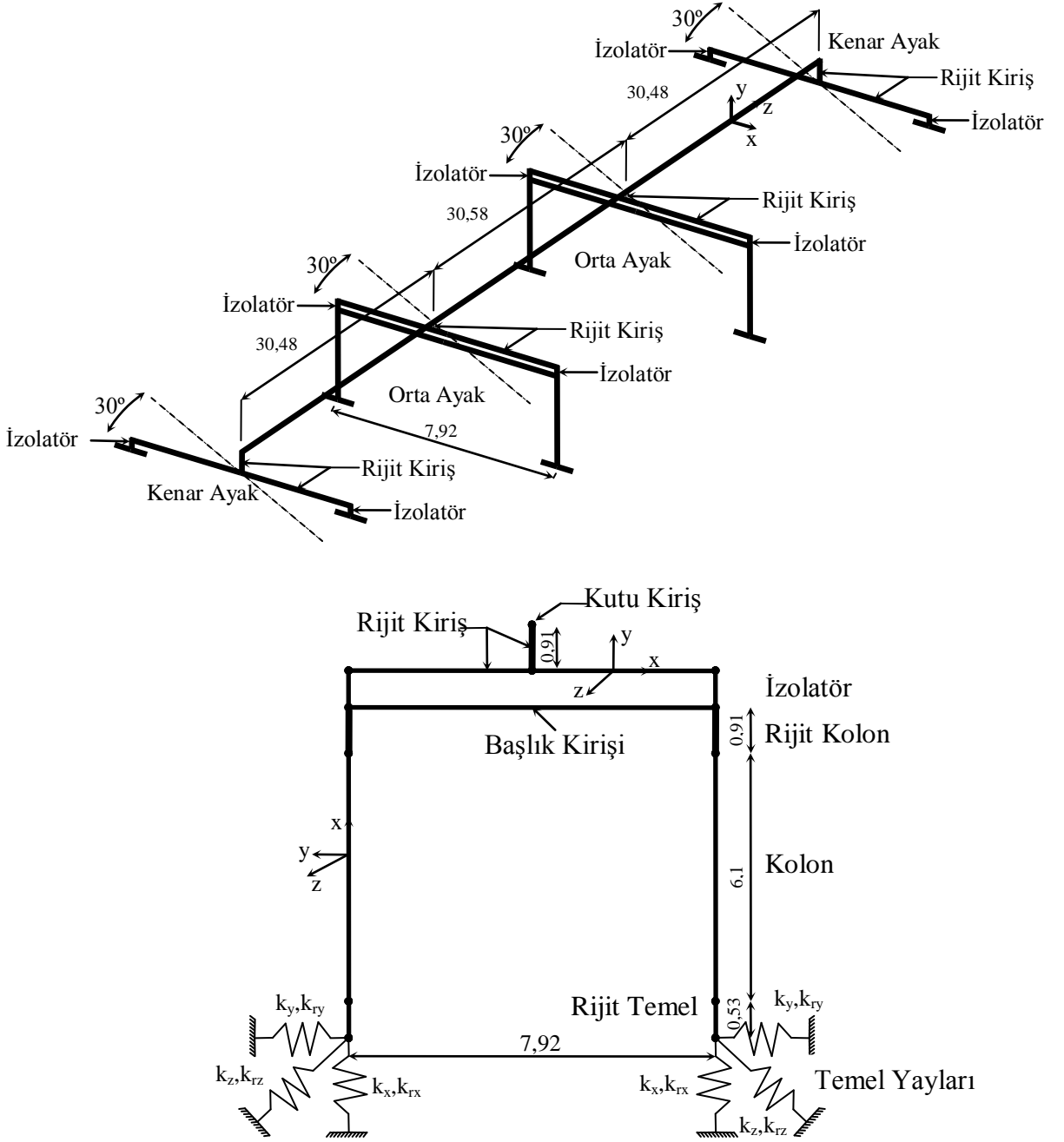
Tablo 3.6. Kurşun çekirdekli kauçuk mesnedin geometrik ve malzeme özellikleri

Mesnet Bölgesi	Parametre	Üst Sınır Değerleri	Alt Sınır Değerleri
Kenar Ayak	Efektif rijitlik K_{eff} (kN/m)	3.707,44	1.607,66
	Yükseklik (cm)	39,88	39,88
	Elastisite modülü (kN/m ²)	99.974	99.974
	Alan (m ²)	27,51	27,51
	Atalet momenti (m ⁴)	$1,96 \times 10^{-4}$	$1,96 \times 10^{-4}$
Orta Ayak	Efektif rijitlik K_{eff} (kN/m)	3.707,44	1.805,56
	Yükseklik (cm)	39,88	39,88
	Elastisite modülü (kN/m ²)	99.974	99.974
	Alan (m ²)	27,51	27,51
	Atalet momenti (m ⁴)	$1,96 \times 10^{-4}$	$9,55 \times 10^{-5}$

Her bir elamanın atalet momenti aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır;

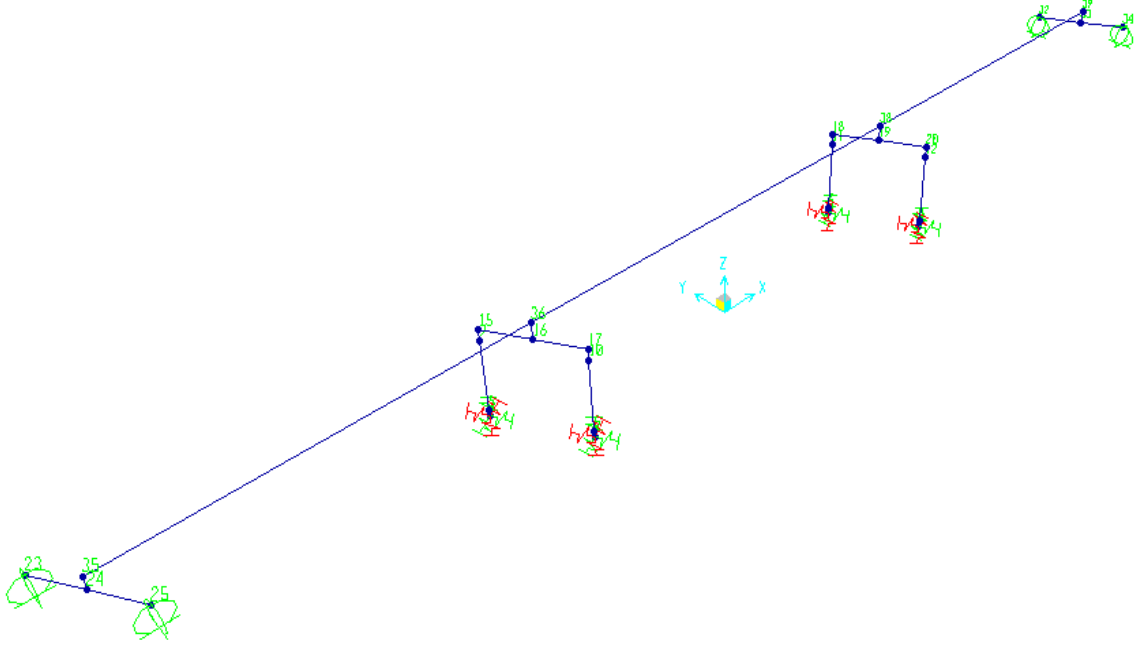
$$I = \frac{K_{\text{eff}} h^3}{12E} \quad (3.1)$$

burada K_{eff} izolatörün efektif rijitliği; h izolatör yüksekliği ve E izolatörün elastisite modülüdür.

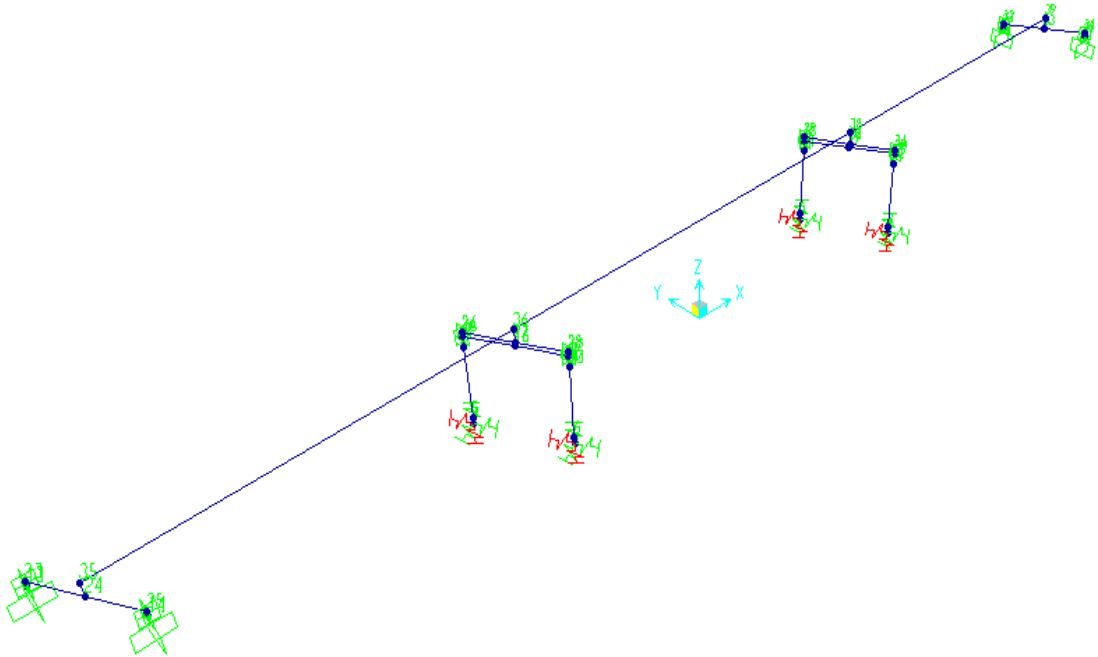


Şekil 3.25. Verev köprüünün analitik modeli (Birimler metredir.)

Verev köprüünün, deprem ivmeleri altındaki davranışı gelişmiş bir sonlu elamanlar yazılımı olan SAP2000 paket programı kullanılarak incelenmiştir. Şekil 3.26'da ve Şekil 3.27'de görüldüğü gibi verev köprü modeli izolasyonsuz ve izolasyonlu olarak iki farklı şekilde modellenmiştir. Sonlu elamanlar modeli hazırlanırken, üst yapı ve ayaklar çubuk elamanlardan oluşturulmuştur.



Şekil 3.26. İzolasyonsuz verev köprüünün sonlu elamanlar modeli



Şekil 3.27. İzolasyonlu verev köprüünün sonlu elamanlar modeli

Verev köprüünün hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu sonlu elaman modellerinin oluşturulmasında kullanılan yapı elamanlarının kesit özellikleri, malzeme özellikleri ve zemin yay sabitleri Tablo 3.7-3.9'da sırasıyla verilmiştir.

Tablo 3.7. Köprüde kullanılan elamanların kesit özellikleri ve ağırlıkları

Yapı Elaman Özellikleri	Tabliye Kirişi	Başlık Kirişi	Kolon	Rijit Kiriş	Rijit Kolon	Rijit Temel
Alan $A_x (m^2)$	22,17	7,32	3,83	60,96	60,96	60,96
Kesme Alanı $A_y (m^2)$	7,38	7,32	3,83	60,96	60,96	60,96
Kesme Alanı $A_z (m^2)$	17,37	7,32	3,83	60,96	60,96	60,96
Atalet Momenti $I_y (m^4)$	2,96	9,75	2,68	30,48	30,48	30,48
Atalet Momenti $I_z (m^4)$	122,22	21,95	2,68	30,48	30,48	30,48
Burulma Sabiti $I_x (m^4)$	0,54	22,94	7,66	30,48	30,48	30,48
Ağırlık (kN/m)	207,82	76,76	27,58	0	0	858,12

Tablo 3.8. Köprü malzeme özellikleri

Yapı Elamanları	Elastisite Modülü (kN/m^2)	Poisson Oranı	Birim Hacim Ağırlığı (kN/m^3)
Tabliye	24.821.128	0,2	23,56
Kolon	24.821.128	0,2	23,56
Rijit Kiriş	24.821.128	0,2	23,56
Rijit Kolon	24.821.128	0,2	23,56
Başlık Kirişi	24.821.128	0,2	23,56

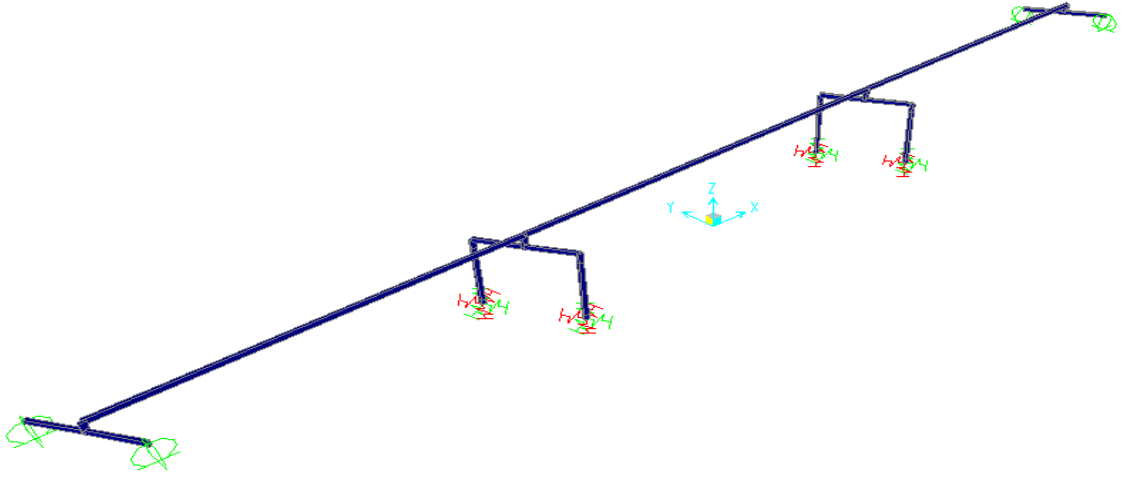
Tablo 3.9. Köprü temeli yay sabitleri

Sabitler	K_x (kN/m)	K_y (kN/m)	K_z (kN/m)	K_{rx} (kNm/rad)	K_{ry} (kNm/rad)	K_{rz} (kNm/rad)
Rijitlik Değerleri	1.377,66	1.503,17	1.503,17	1.678×10^5	10.391×10^4	10.391×10^4

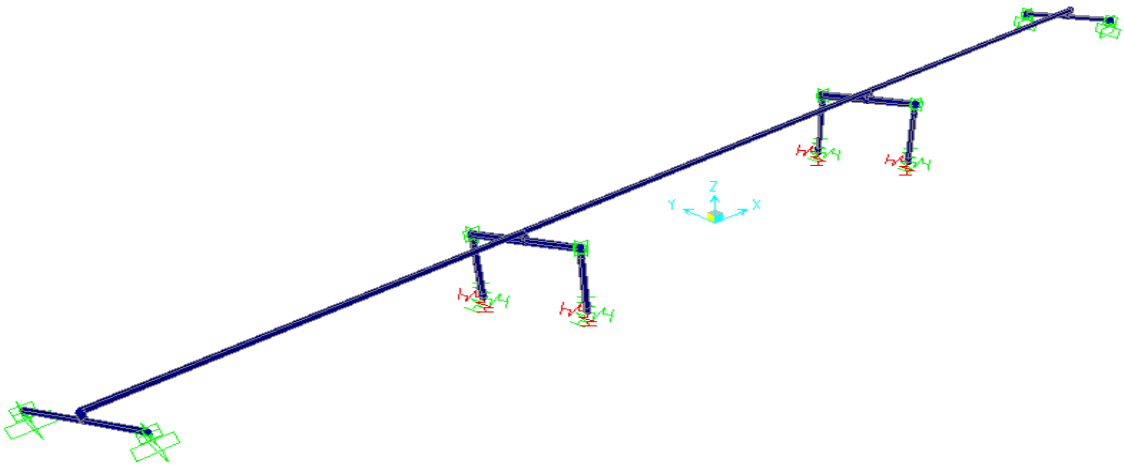
Sismik izolasyonlu köprüünün ağırlığı 22.650 kN'dur. Bu ağırlık Amerika Birleşik Devletleri Federal Karayolu İdaresi Sismik Tasarım Kursunda Berger/Abam mühendislik firması tarafından hazırlanan örnek köprüünün ağırlığından daha fazla elde edilmiştir. Bu

fark, elastomer mesnetlere yüklerin aktarılması için kenar ayak ve orta ayak bölgelerinde oluşturulan diyaframlardan kaynaklanmaktadır. Bu diyaframlar uygulandıkları her bölgede sisteme 596 kN büyüklüğünde ilave bir yüke neden olmaktadır.

Köprü üç şeritli araç trafiğine hizmet etmektedir. Köprüye etki eden yükler, Amerika Devlet Karayolu ve Ulaştırma İdareleri Birliği Köprü Tasarım Şartnamesi (AASHTO, 2004) temel alınarak belirlenmiştir. Köprüye etki eden hareketli yükler; kamyon, şerit ve rüzgâr yüklerinden oluşmaktadır. Ancak bu çalışmada, sadece ölçeklendirme işlemi sonucunda seçilen yer hareketleri kullanılarak Şekil 3.28'de ve Şekil 3.29'da sırasıyla izolasyonsuz ve izolasyonlu olarak üç boyutlu sonlu elamanlar modeli verilen verev köprüünün dinamik davranışları incelenmiştir.



Şekil 3.28. İzolasyonsuz verev köprüünün üç boyutlu sonlu elamanlar modeli



Şekil 3.29. İzolasyonlu verev köprüünün üç boyutlu sonlu elamanlar modeli

Analizler sonucunda elde edilen periyot değerleri ve mod şekilleri Tablo 3.10'da ve Şekil 3.30-3.31'de görülmektedir. Tablo 3.10 incelendiğinde, izolasyonlu köprüye ait ilk titreşim modunda, yapı yalıtımı şekil değiştirmesi etkili olduğu için bu mod yalıtım modu ve ikinci modda üst yapının şekil değiştirmesi etkili olduğu için bu moda yapısal mod adı verilmektedir.

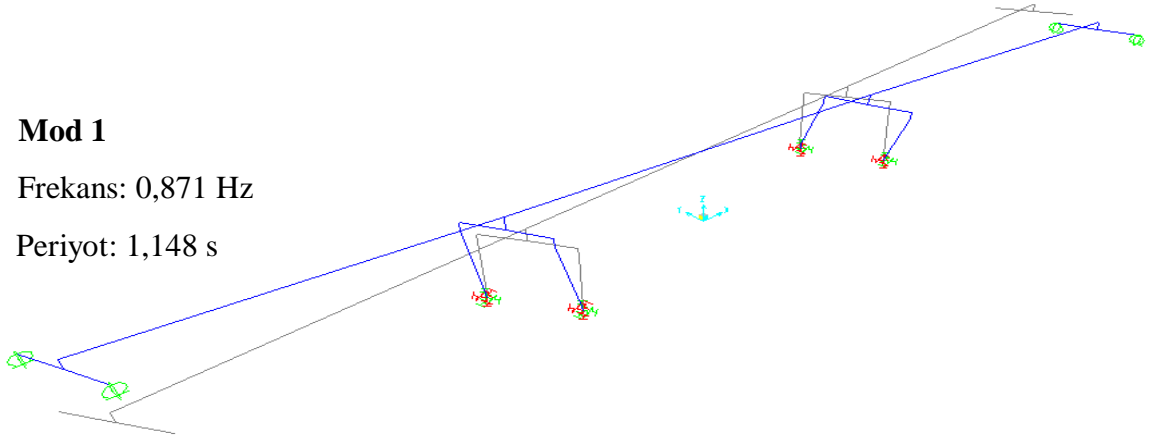
Tablo 3.10. İzolasyonsuz ve izolasyonlu köprüye ait periyot değerleri

Mod Sayısı	Periyot (s)	
	İzolasyonsuz Köprü	İzolasyonlu Köprü
0	----	2,666
1	1,148	2,662
2	0,831	2,293
3	0,658	0,363
4	0,338	0,298
5	0,187	0,297

Mod 1

Frekans: 0,871 Hz

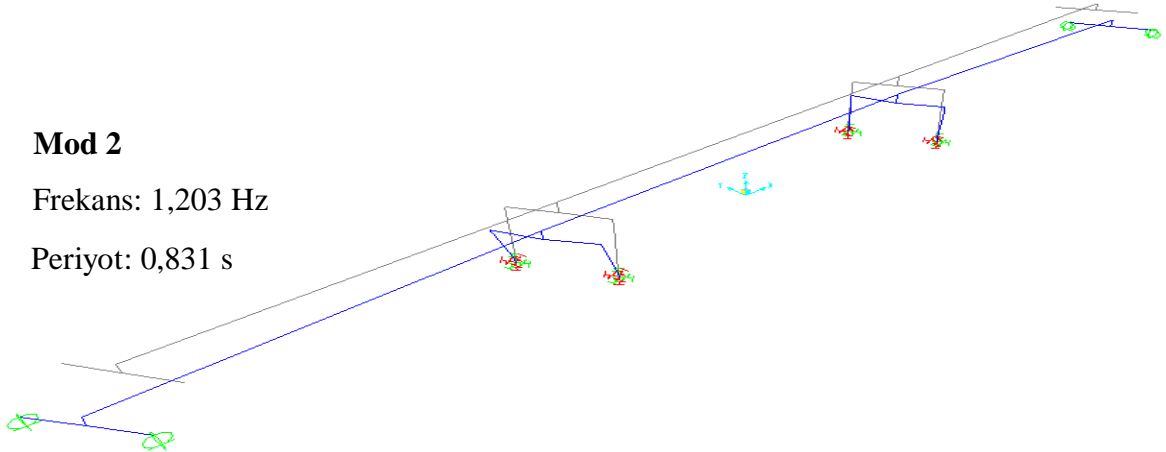
Periyot: 1,148 s

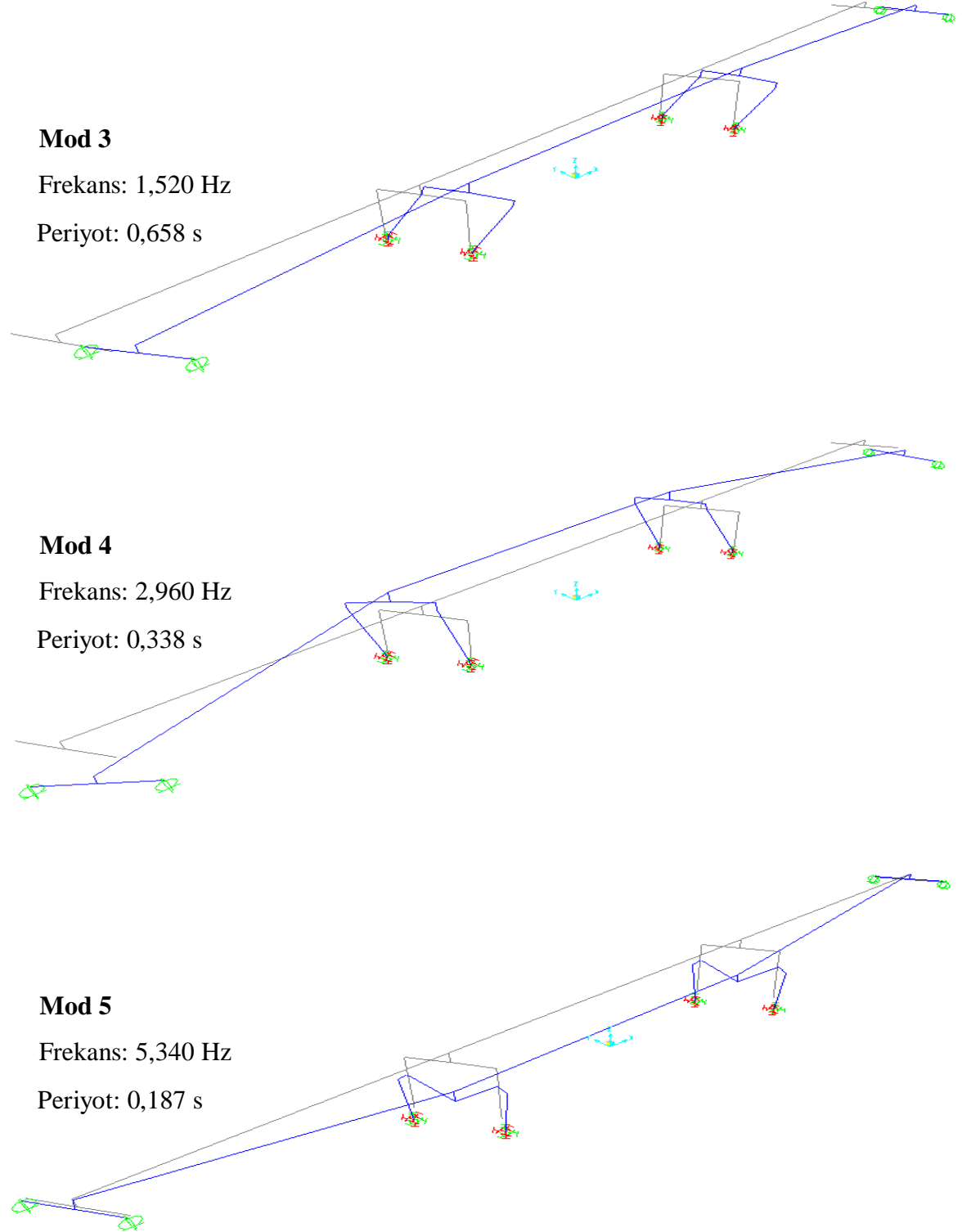


Mod 2

Frekans: 1,203 Hz

Periyot: 0,831 s



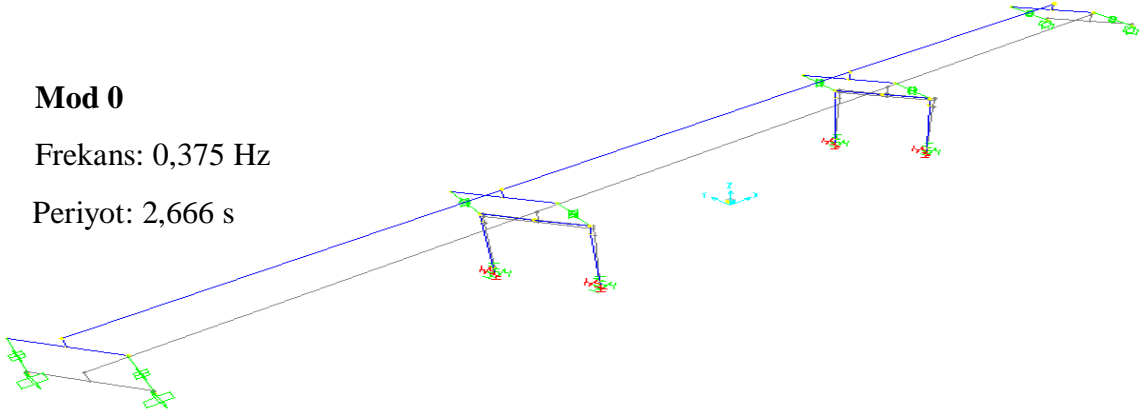


Şekil 3.30. İzolasyonsuz verev köprü modeline ait mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar

Mod 0

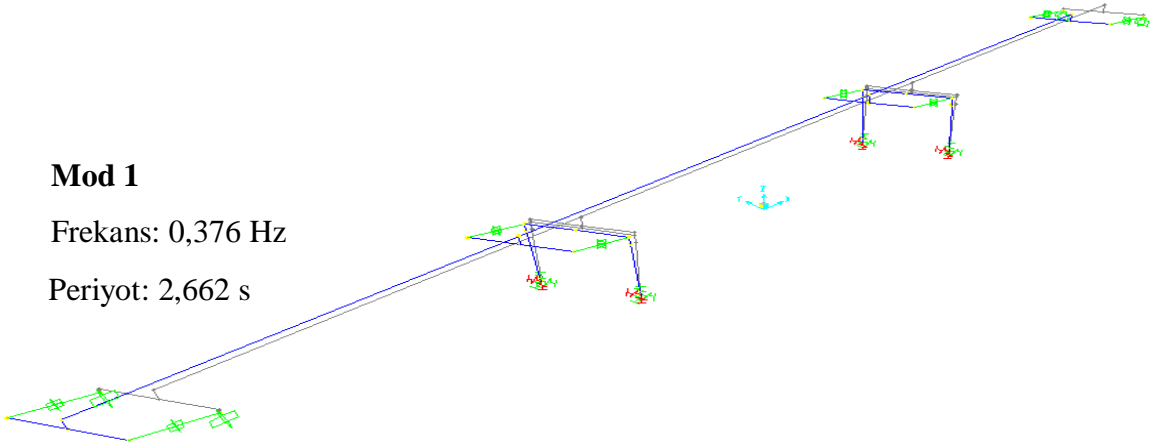
Frekans: 0,375 Hz

Periyot: 2,666 s

**Mod 1**

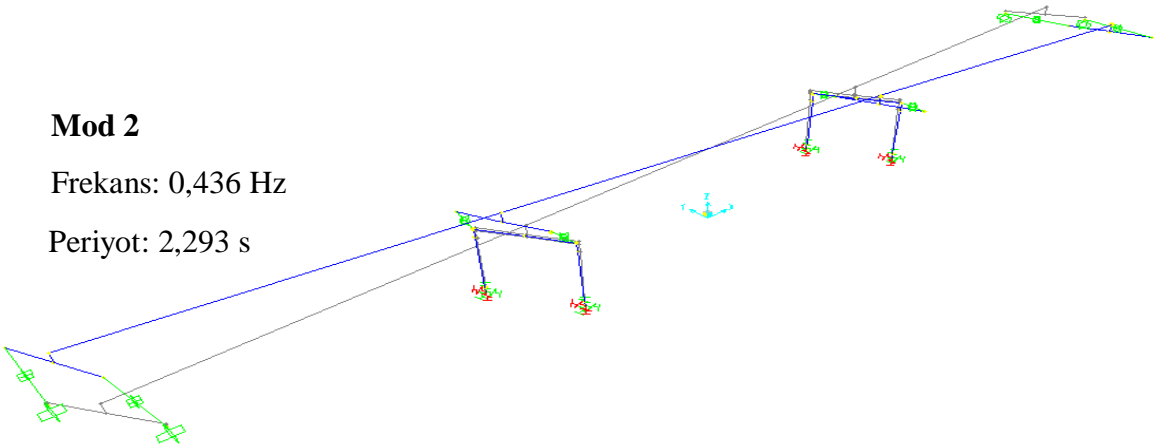
Frekans: 0,376 Hz

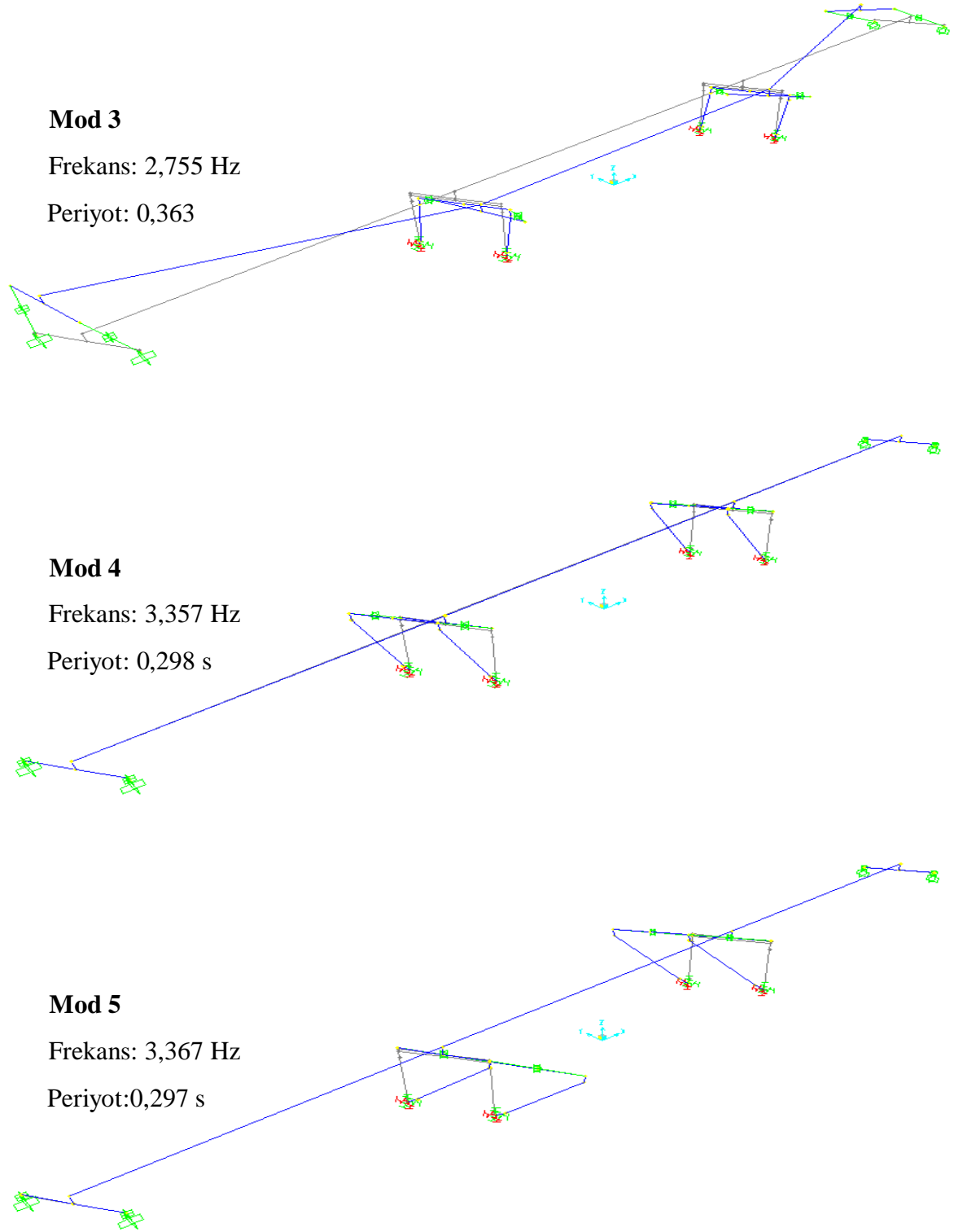
Periyot: 2,662 s

**Mod 2**

Frekans: 0,436 Hz

Periyot: 2,293 s





Şekil 3.31. İzolasyonlu vev köprü modeline ait mod şekilleri, frekanslar ve periyotlar

4. BULGULAR VE İRDELEMELER

Bu çalışmada, on adet yakın fay yer hareketi ve on adet uzak fay yer hareketi; büyüklük, faya olan mesafe ve zemin özellikleri dikkate alınarak PEER veri bankasından tasarım ivme spektrumuna uygun olacak şekilde seçilmişlerdir. Daha sonra, zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi dikkate alınarak oluşturulan SESCAP programı vasıtasıyla Eurocode 8 yönetmelik tasarım ivme spektrumuna ölçeklendirilmişlerdir. Ölçeklendirme işlemlerinin tamamlanmasından sonra, en küçük ölçeklendirme katsayıları ve en küçük oransal göreceli hata değerleri dikkate alınarak tasarım ivme spektrumu ile en iyi uyumu sağlayan üçer adet uzak fay ve yakın fay yer hareket kayıtları tasarım için kullanılmak üzere elde edilmiştir. Elde edilen bu kayıtlar, SAP2000 programında hem izolasyonlu hem de izolasyonsuz olarak oluşturulan verev köprünün dinamik analizlerinde kullanılmışlardır.

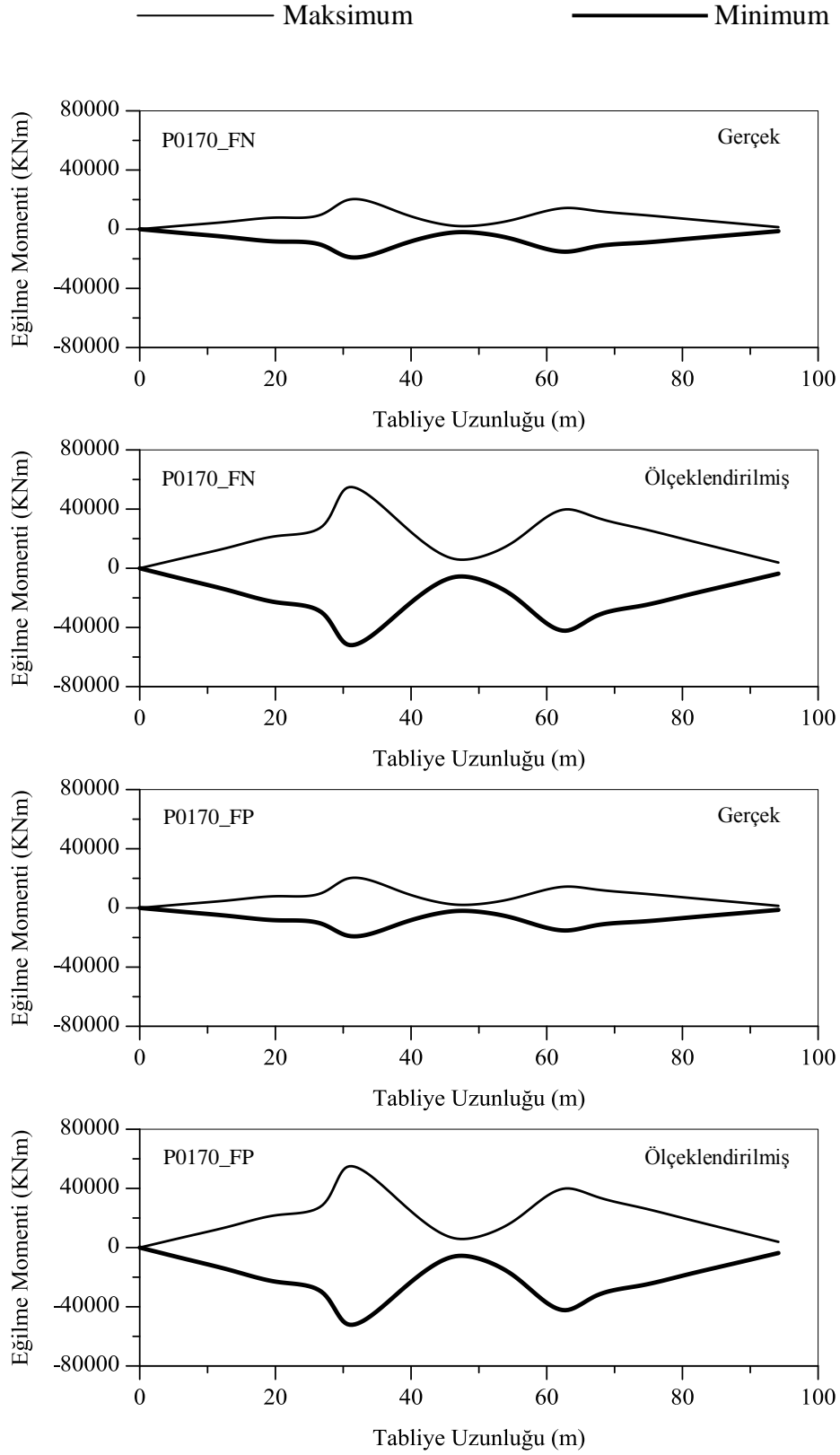
Dinamik analizler sonucunda izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesi boyunca meydana gelen eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri yer hareketlerinin ölçeklendirilmiş ya da gerçek olması durumlarına göre çizilmiş, sırasıyla Şekil 4.1-4.18'de ve Şekil 4.25-4.42'de gösterilmiştir. Tabliye boyunca değişen kesit etkilerinin maksimum ve minimum değerleri, yer hareketinin her iki yatay bileşeninin hem ölçeklendirilmiş hem de gerçek kayıt olması durumlarına göre karşılaştırılmalı bir şekilde grafikler yardımıyla sunulmuştur. Tabliye boyunca eğilme momenti değerleri, mesnetlerde en büyük değerlerine ulaşmıştır. Kesme kuvveti değerleri ise tabliye orta açıklığında en büyük değerleri alırken, normal kuvvet değerleri orta açıklıkta minimum kenar açıklıklarda ise maksimum değerlere ulaşmıştır. İzolasyonlu köprü tabliyesine ait kesit etkisi değerlerinin, izolasyonsuz köprüye kıyasla daha küçük değerlerde olması, yapıya yerleştirilen izolatörlerin yapıya etkiyen deprem yüklerinin azaltılmasında etkili olduğunu göstermektedir.

Dinamik analizler sonucunda köprü ayağı boyunca oluşan eğilme momenti değerleri, köprünün izolasyonsuz ve izolasyonlu olması durumlarına göre sırasıyla Şekil 4.19-4.24'de ve Şekil 4.43-4.48'de verilmiştir. Ayak boyunca değişen eğilme momenti değerlerinin maksimum ve minimum değerleri yer hareketinin her iki yatay bileşenlerinin hem ölçeklendirilmiş hem de gerçek olması durumlarına göre karşılaştırılmalı olarak grafikler ile sunulmuştur. Köprü ayağı boyunca oluşan eğilme momenti değerleri, hem izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprüler için incelendiğinde, moment değerleri köprü ayağının en alt

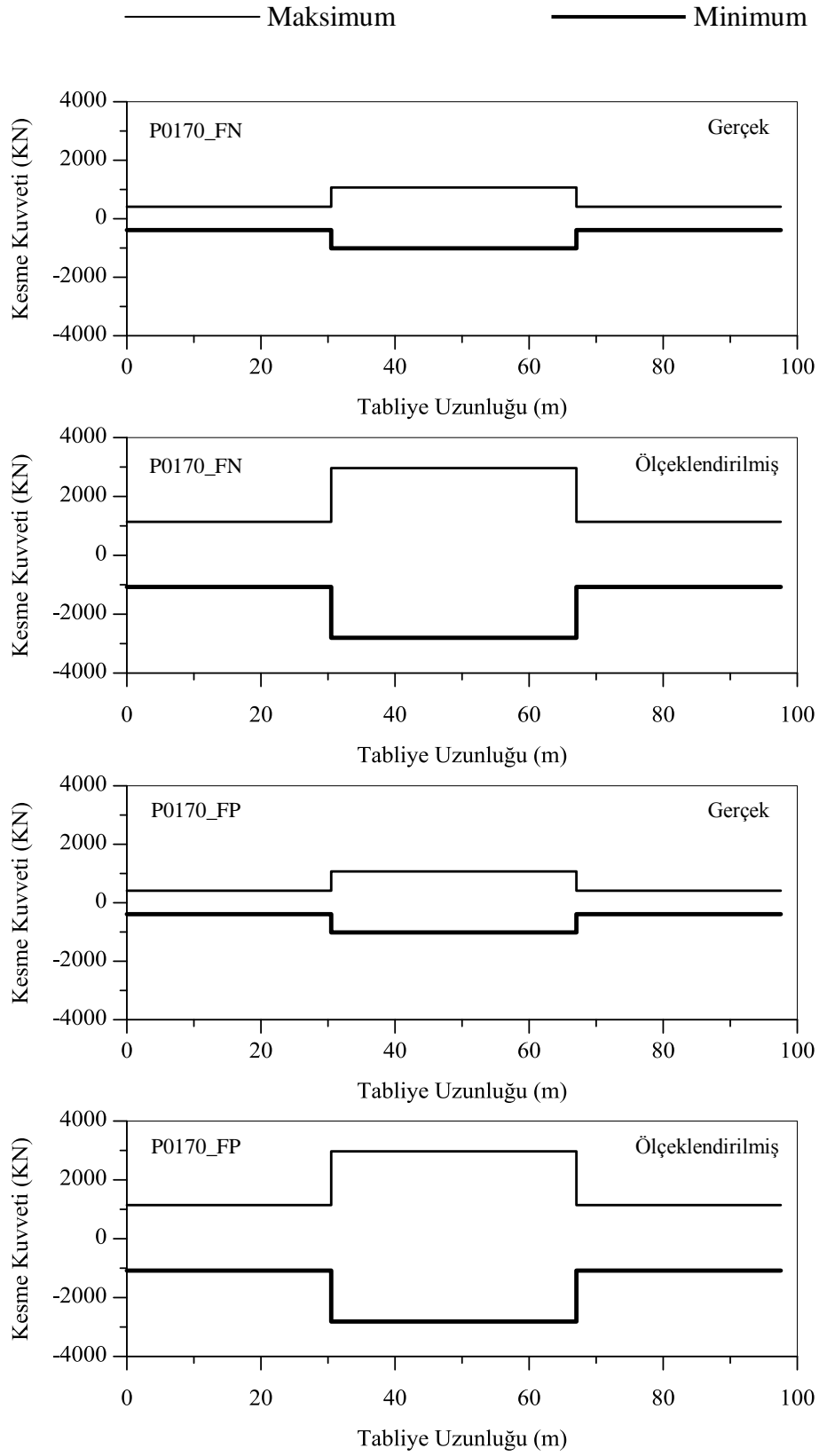
kısımında en büyük değerlerine ulaşırken, köprü ayağı orta kısmında en küçük değerlerini almıştır. Köprü ayağı uç kısmında ise bu değerlerde tekrar bir artış gözlemlenmiştir. Köprü tabliyesinde de görüldüğü gibi, izolasyonlu köprü ayağında meydana gelen eğilme momenti değerlerinin küçük olmasının nedeni, yapıya yerleştirilen sismik izolatörlerin yapıya gelen sismik enerjiyi yapının periyodunu arttırarak azaltması esasına dayanmaktadır.

Literatürde, deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi konusunda genellikle yönetmelik şartları dikkate alınmaktadır. Hemen hemen tüm yönetmeliklerde yer alan, "Analizlerde en az üç adet ivme kaydı kullanılmalıdır. Yediden daha az ivme kaydının kullanılması durumunda analiz sonuçlarının maksimumu, daha fazla ivme kaydı kullanılması durumunda ise analiz sonuçlarının ortalaması dikkate alınmalıdır." maddesinin geçerliliğini göstermek amacıyla, dinamik analizler sonucunda izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesi boyunca meydana gelen eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri yer hareketlerinin ölçekli ya da ölçeksiz olma durumlarına göre tek bir grafikte çizilmiş, sırasıyla Şekil 4.49-4.54'de ve Şekil 4.57-4.62'de gösterilmiştir. Böylece köprü tabliyesinin sismik tasarımında dikkate alınması gereken kesit etkisi değerleri kolaylıkla görülmektedir.

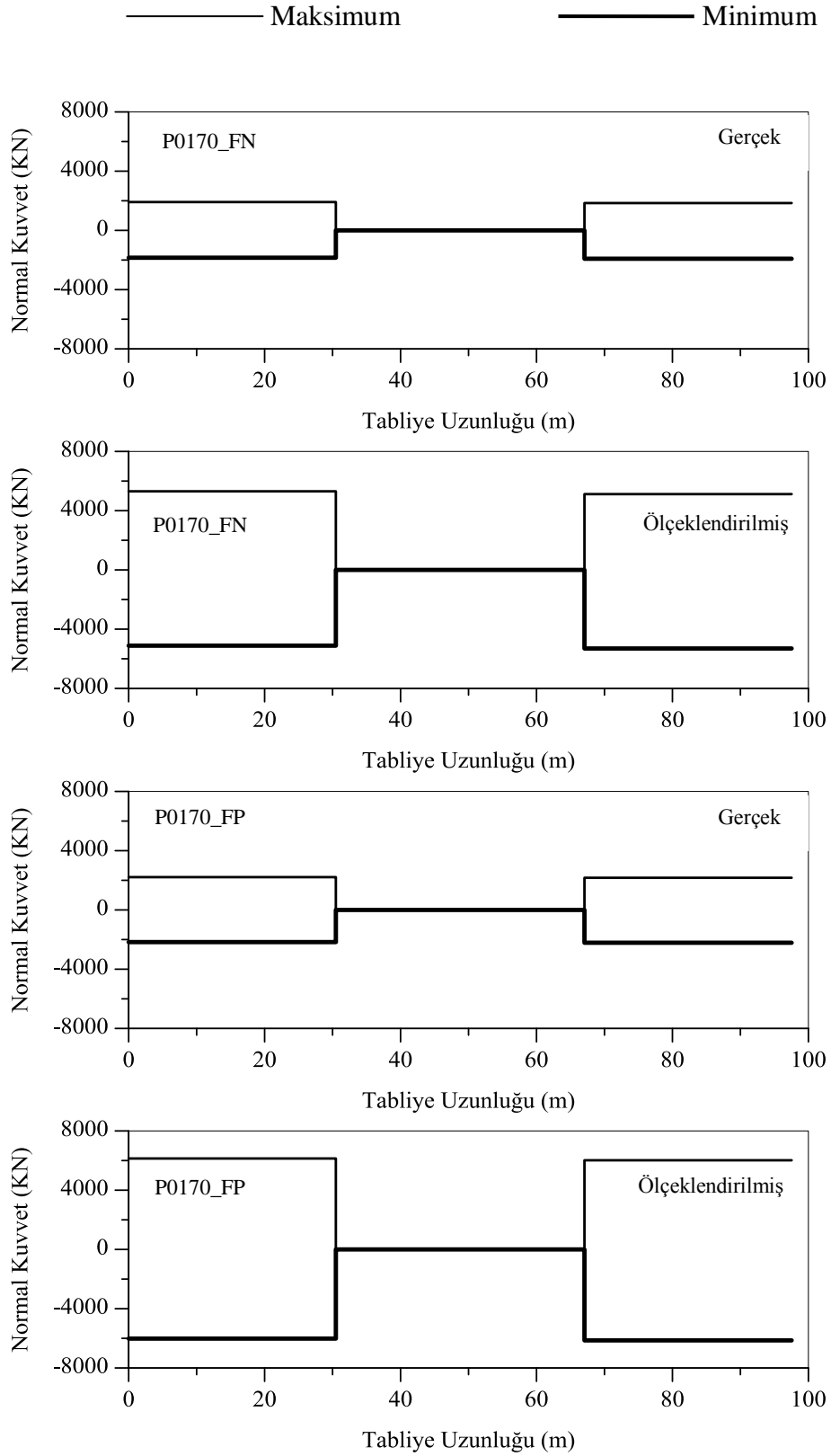
Dinamik analizler sonucunda köprü ayağı boyunca oluşan eğilme momenti değerleri her bir yer hareket kaydı için tek bir grafikte çizilmiş, köprünün izolasyonsuz ve izolasyonlu olması durumlarına göre sırasıyla Şekil 4.55-4.56'da ve Şekil 4.63-4.64'de verilmiştir. Aynen köprü tabliyesinde olduğu gibi, köprü ayağının dinamik tasarımında kullanılması gereken en büyük kesit etkisi değerleri kolaylıkla görülmektedir.



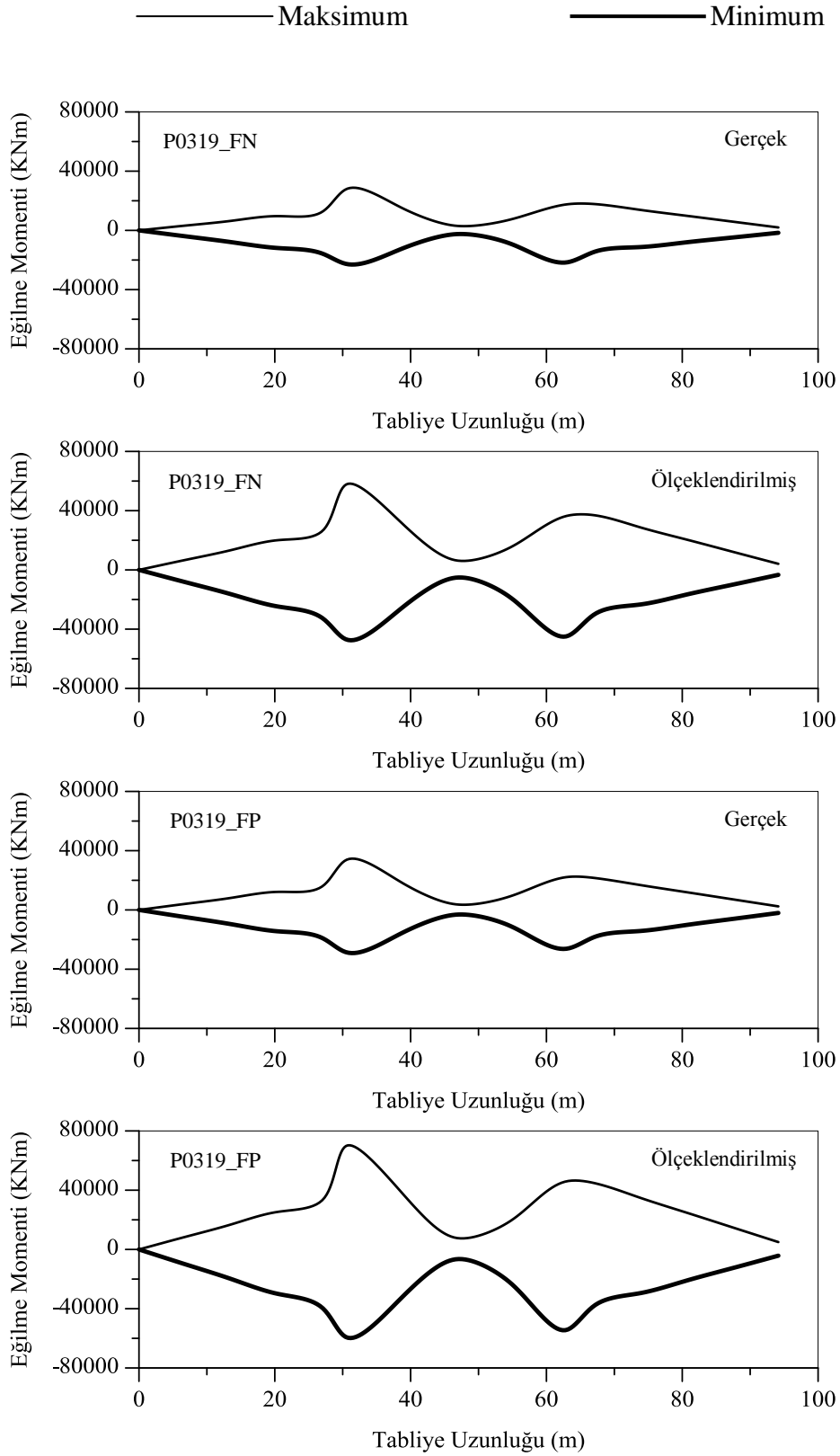
Şekil 4.1. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi



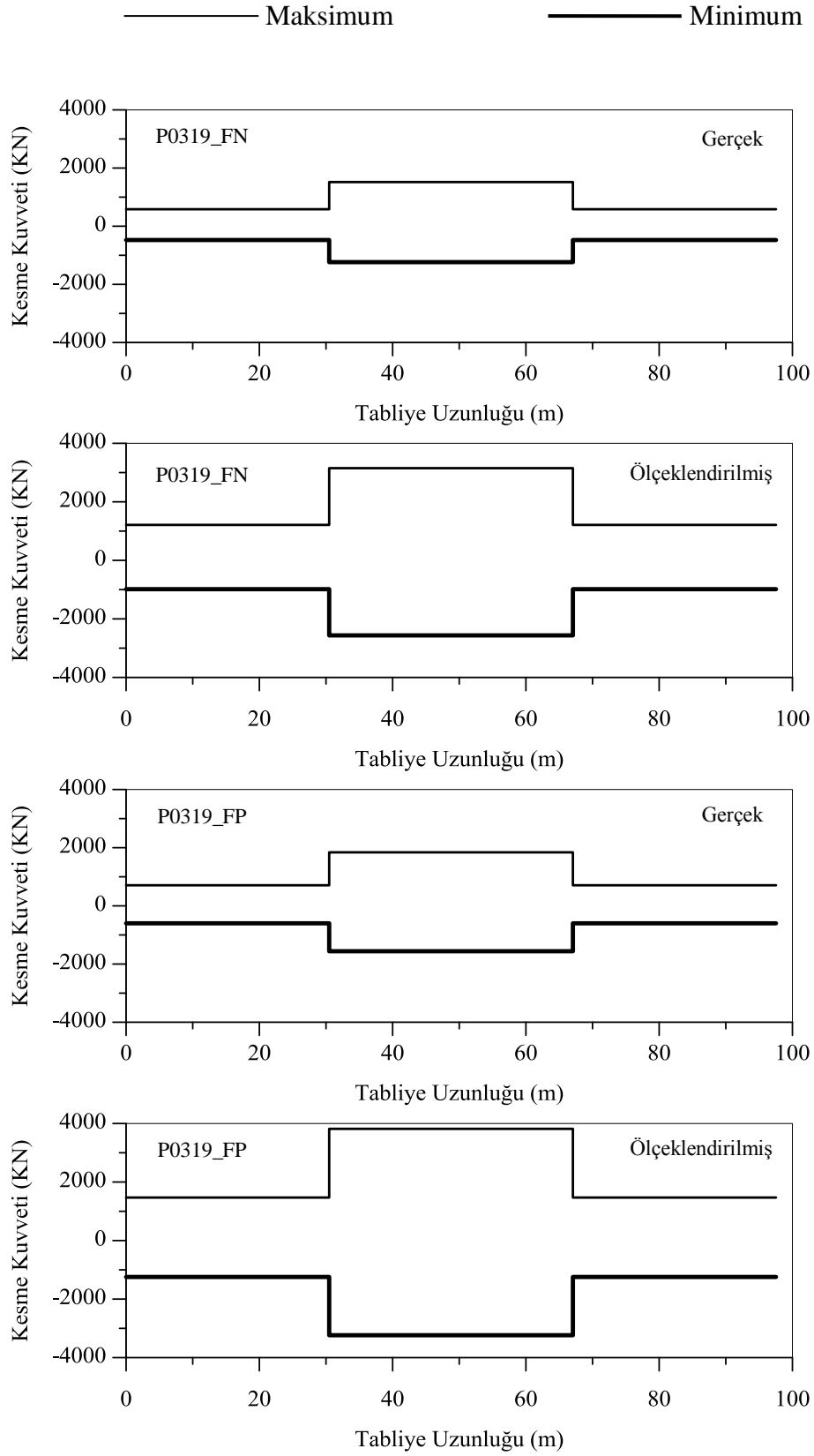
Şekil 4.2. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



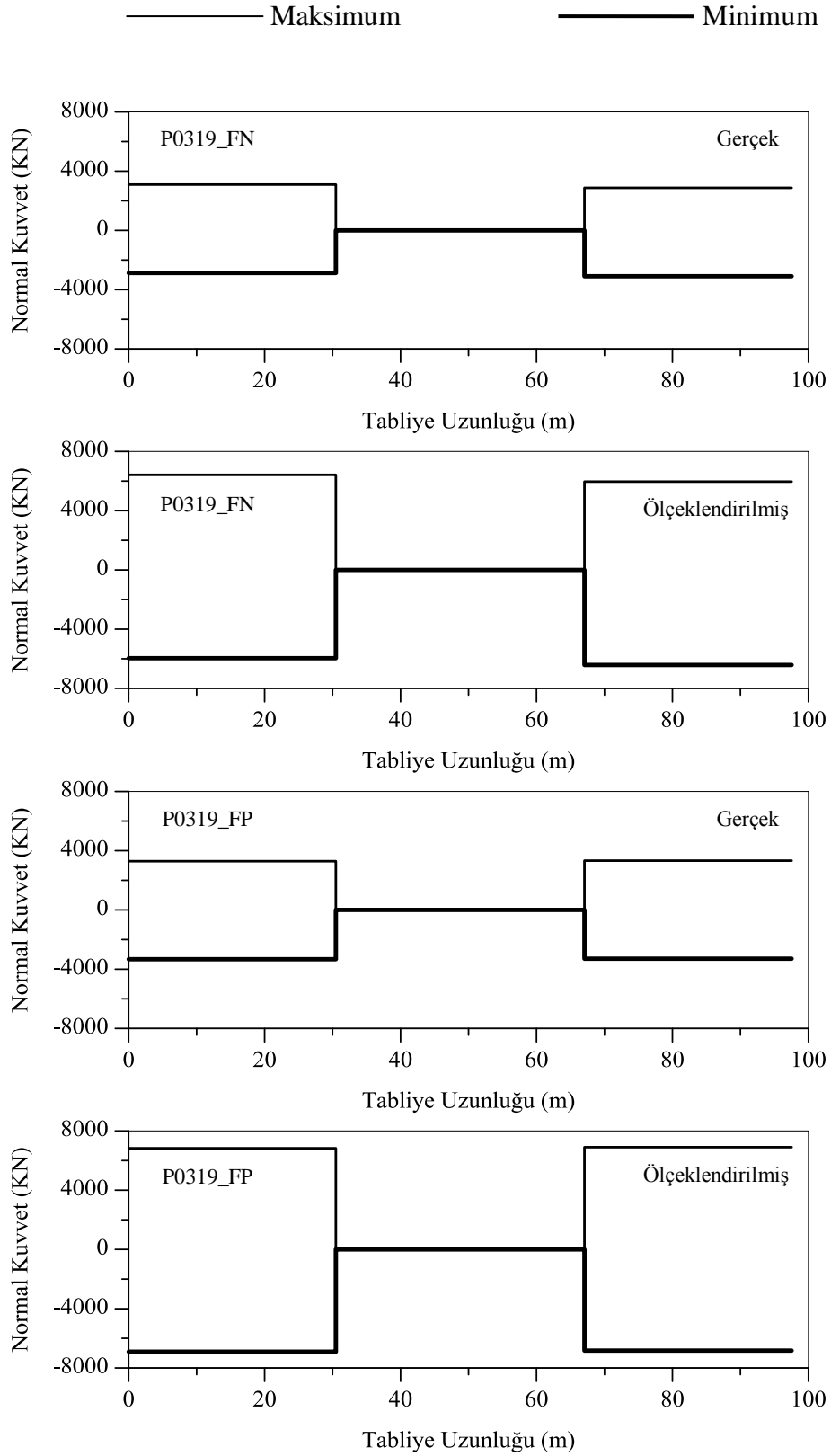
Şekil 4.3. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



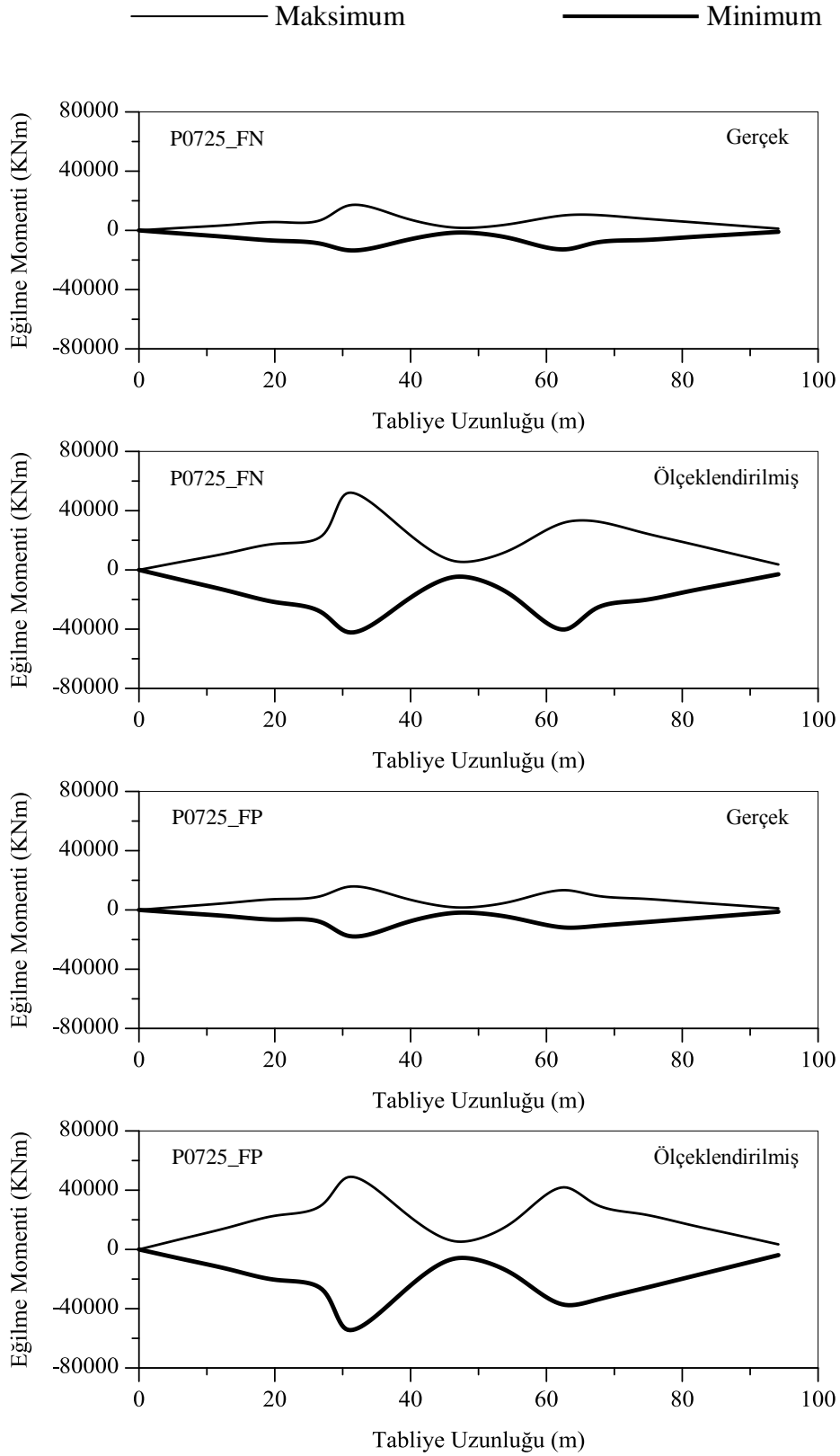
Şekil 4.4. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi



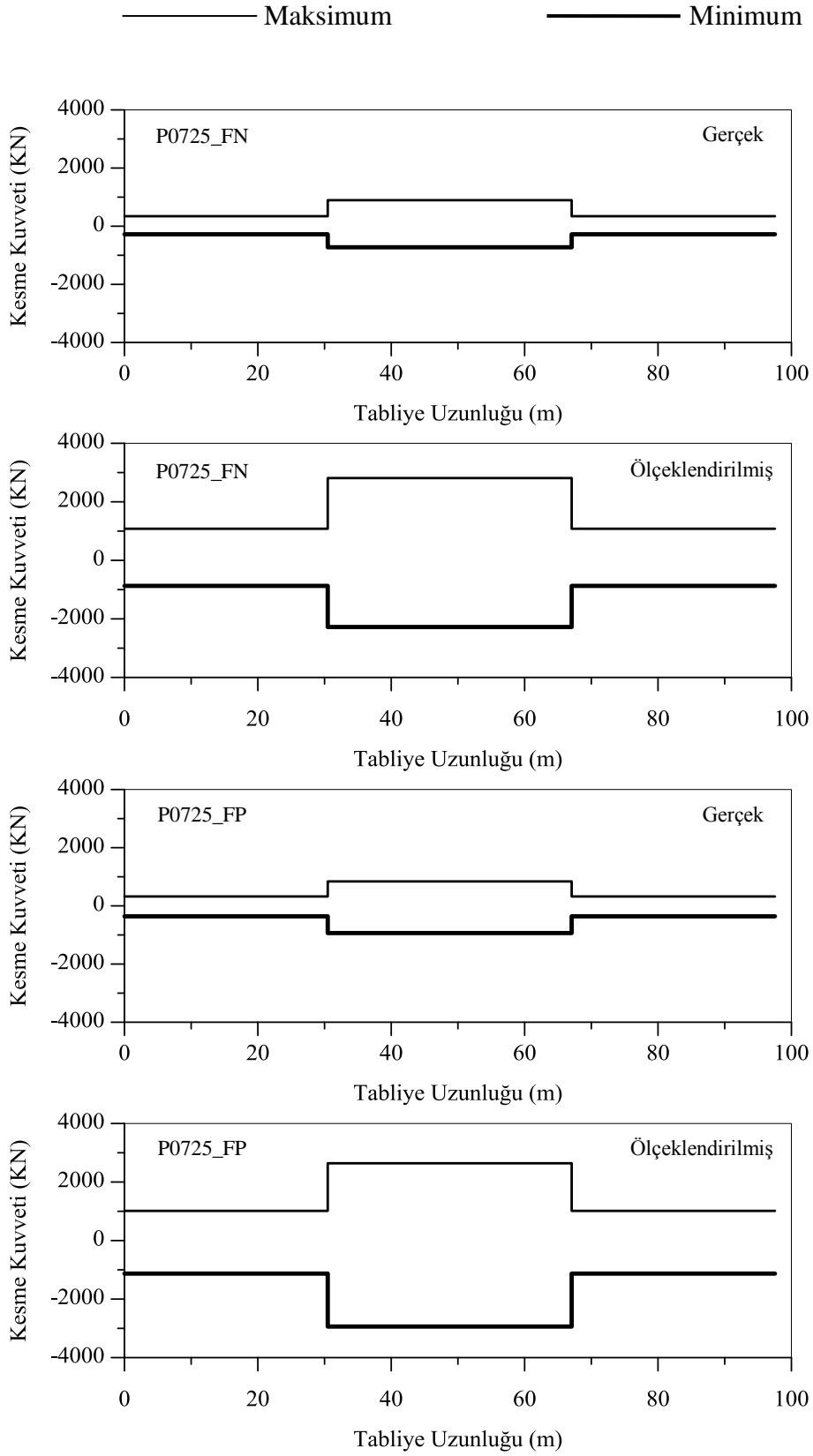
Şekil 4.5. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



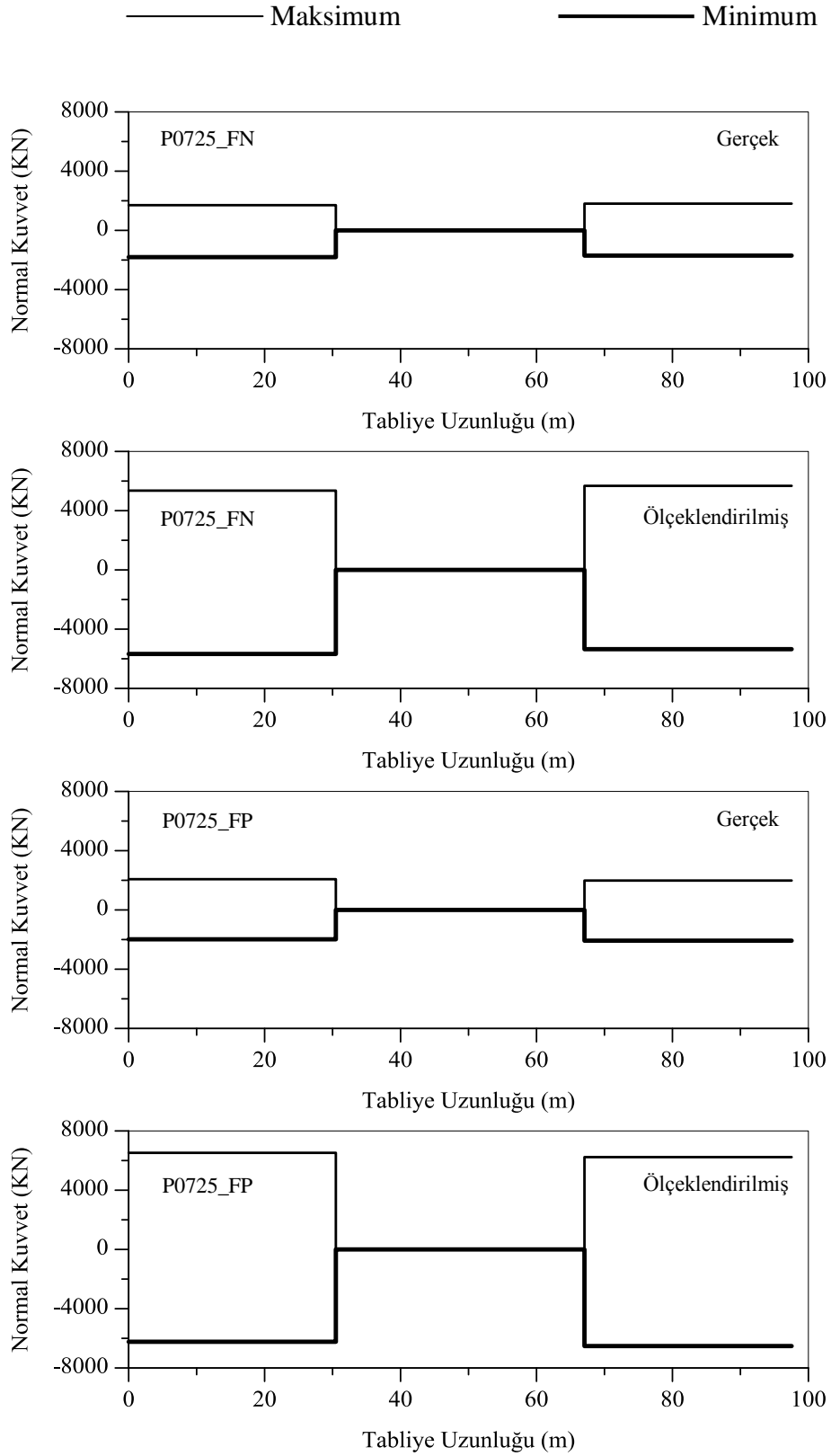
Şekil 4.6. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



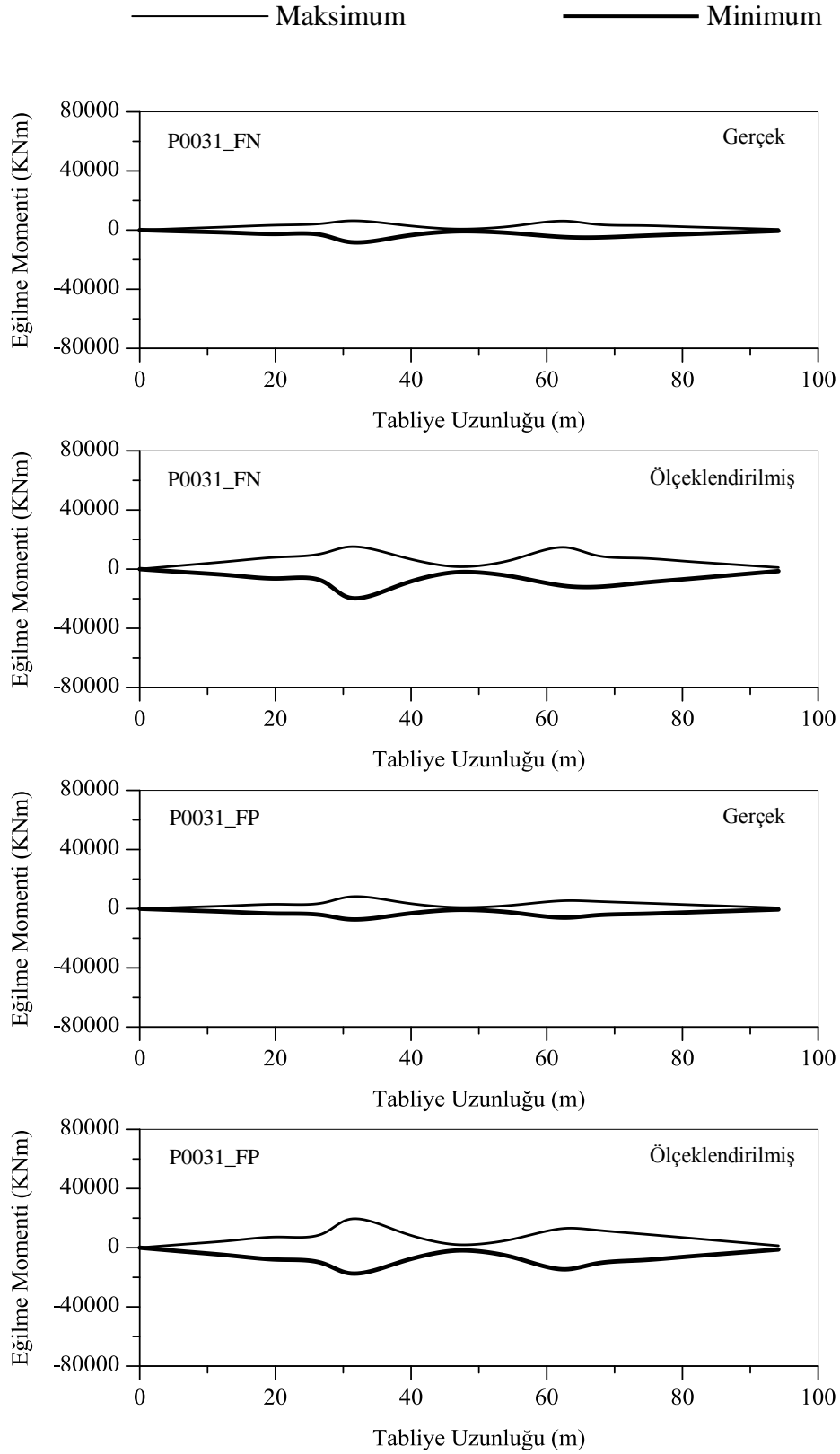
Şekil 4.7. 1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi



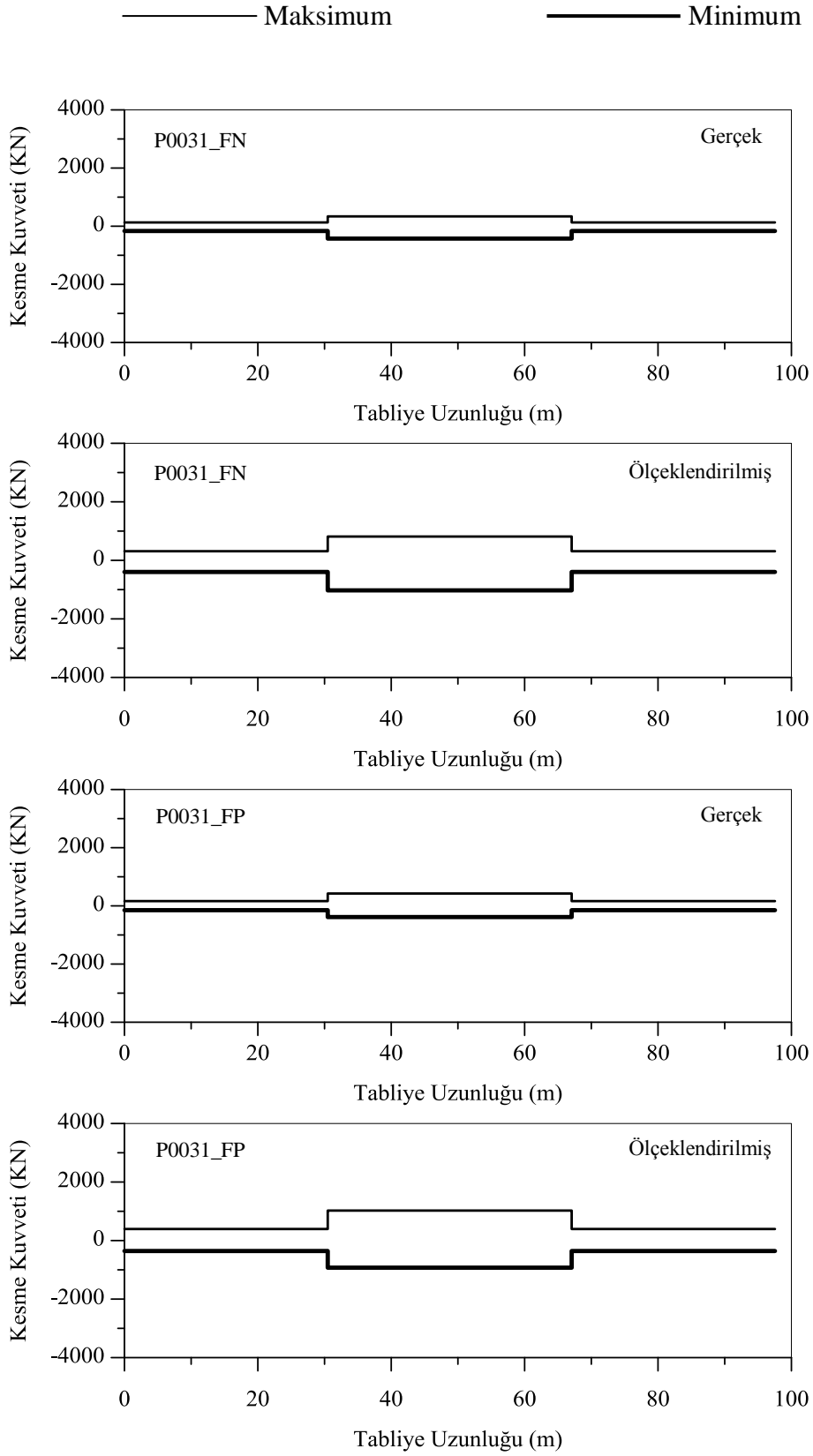
Şekil 4.8. 1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



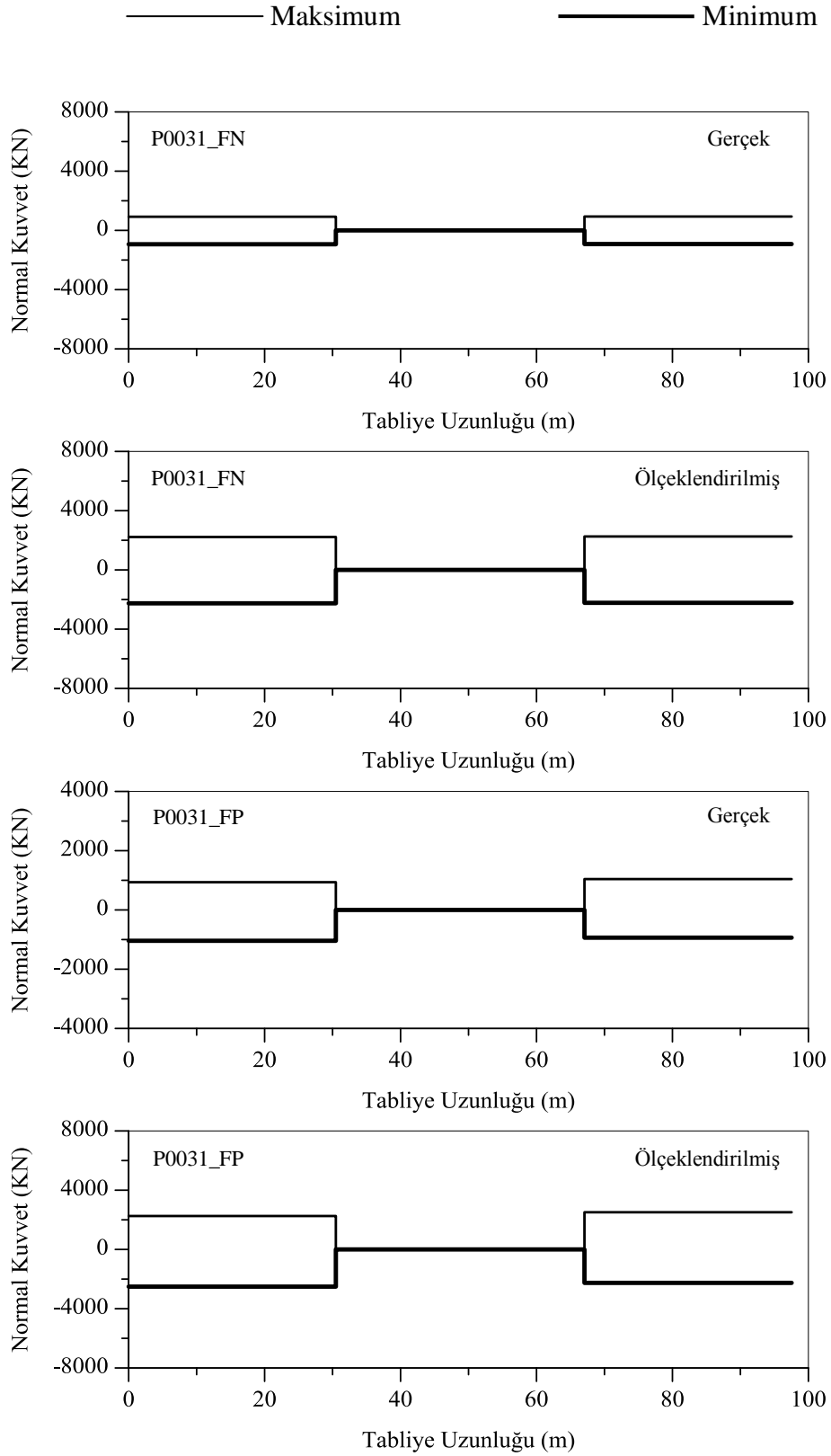
Şekil 4.9. 1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



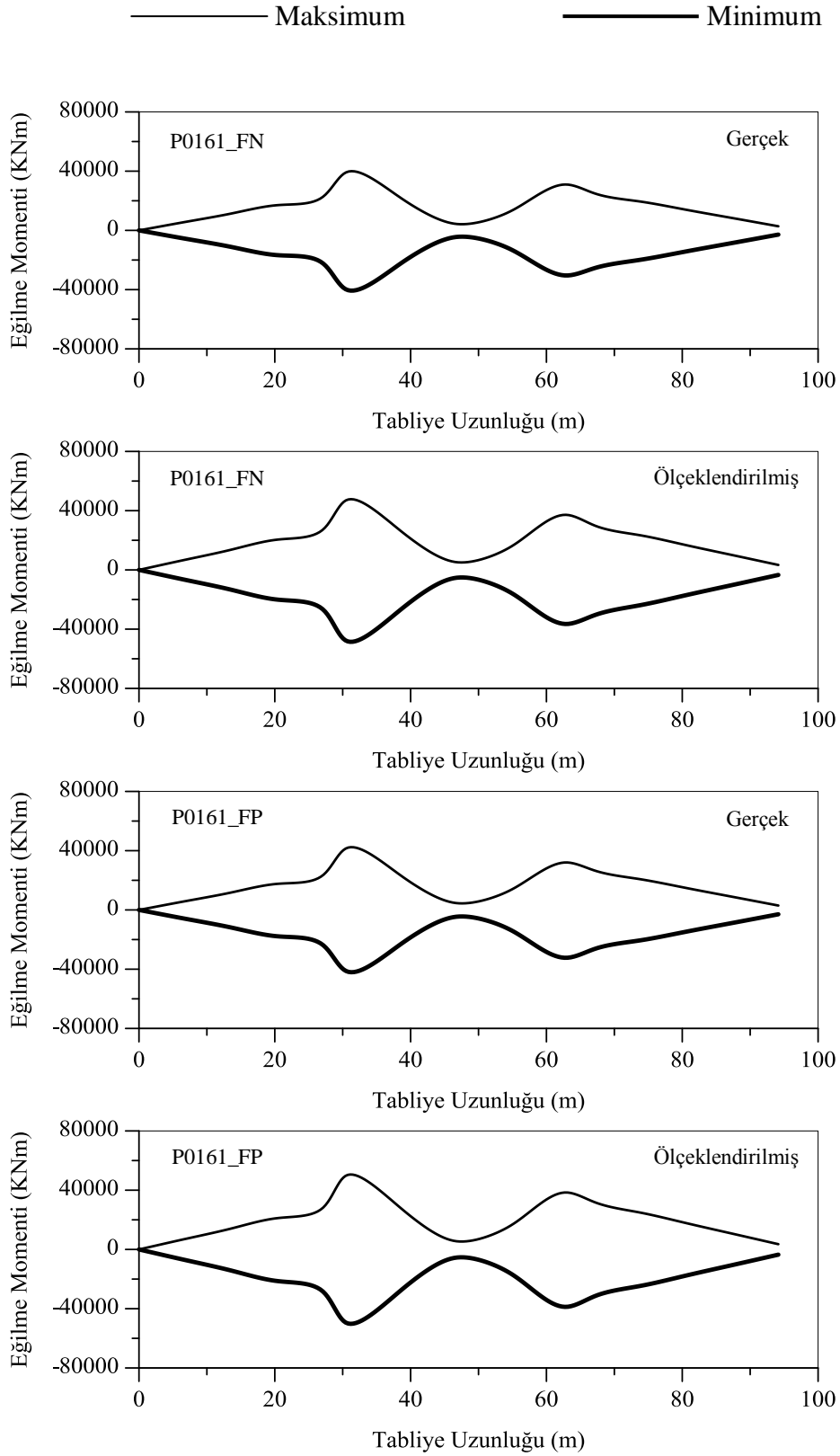
Şekil 4.10. 1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi



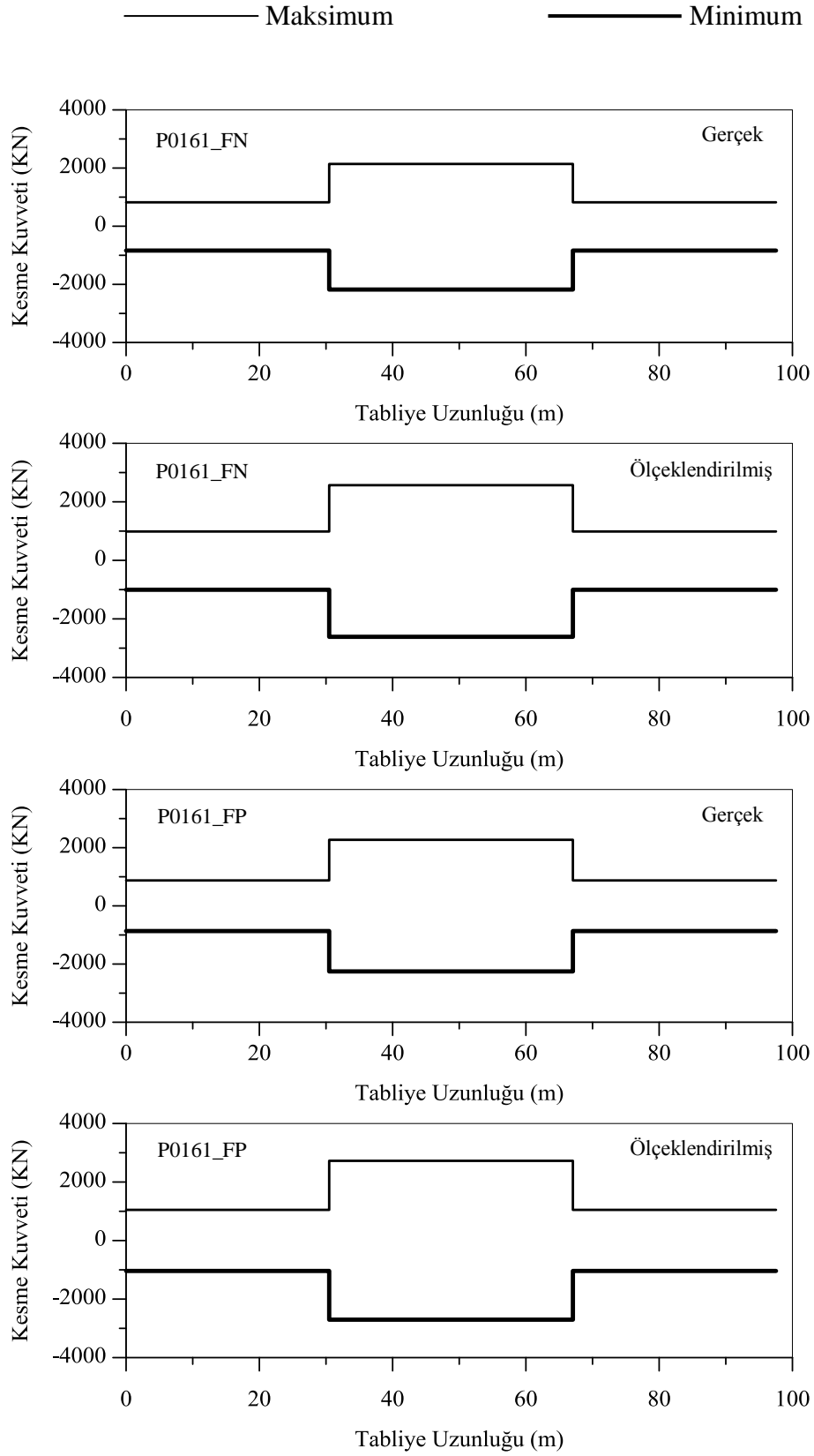
Şekil 4.11. 1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



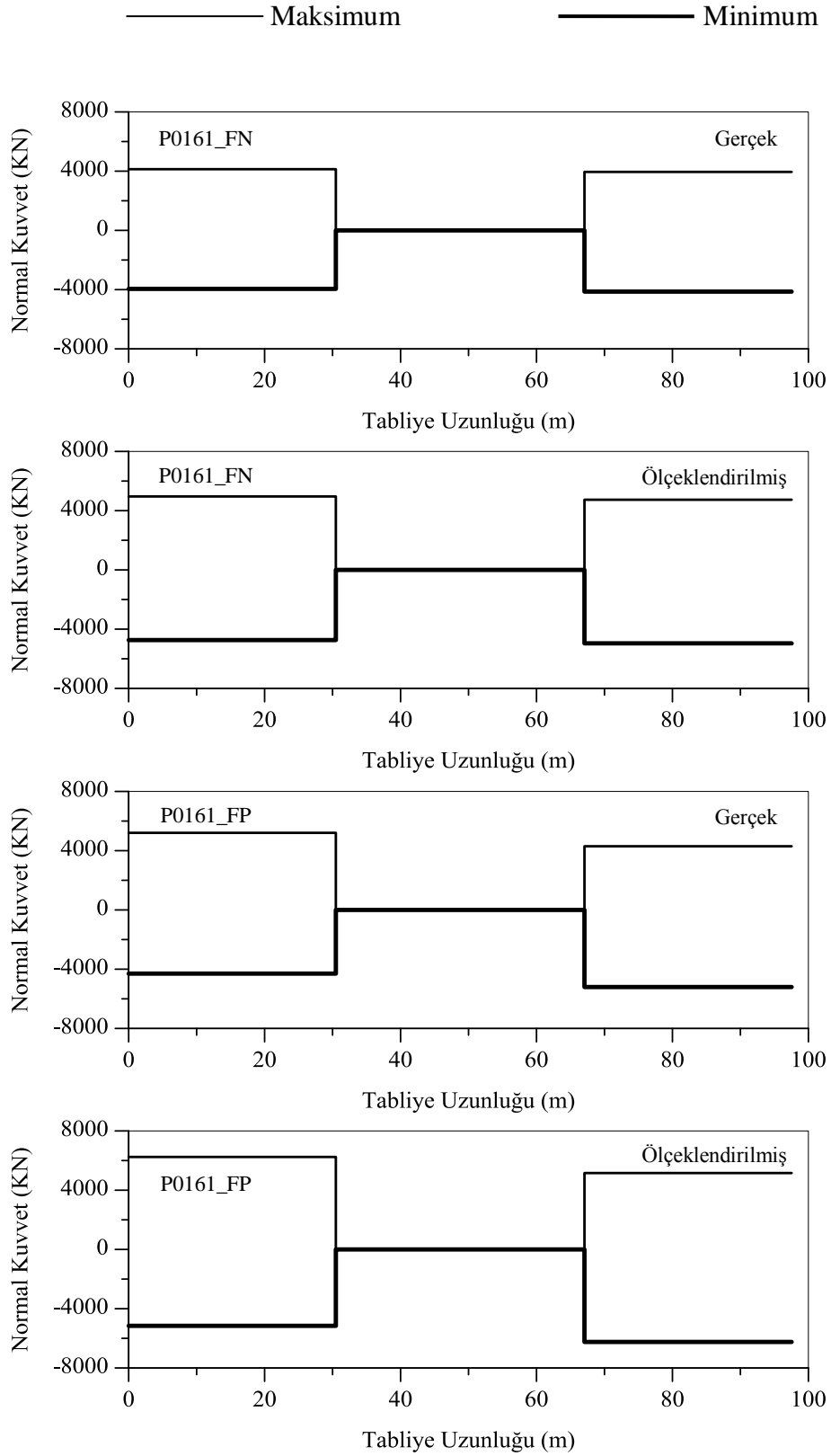
Şekil 4.12. 1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



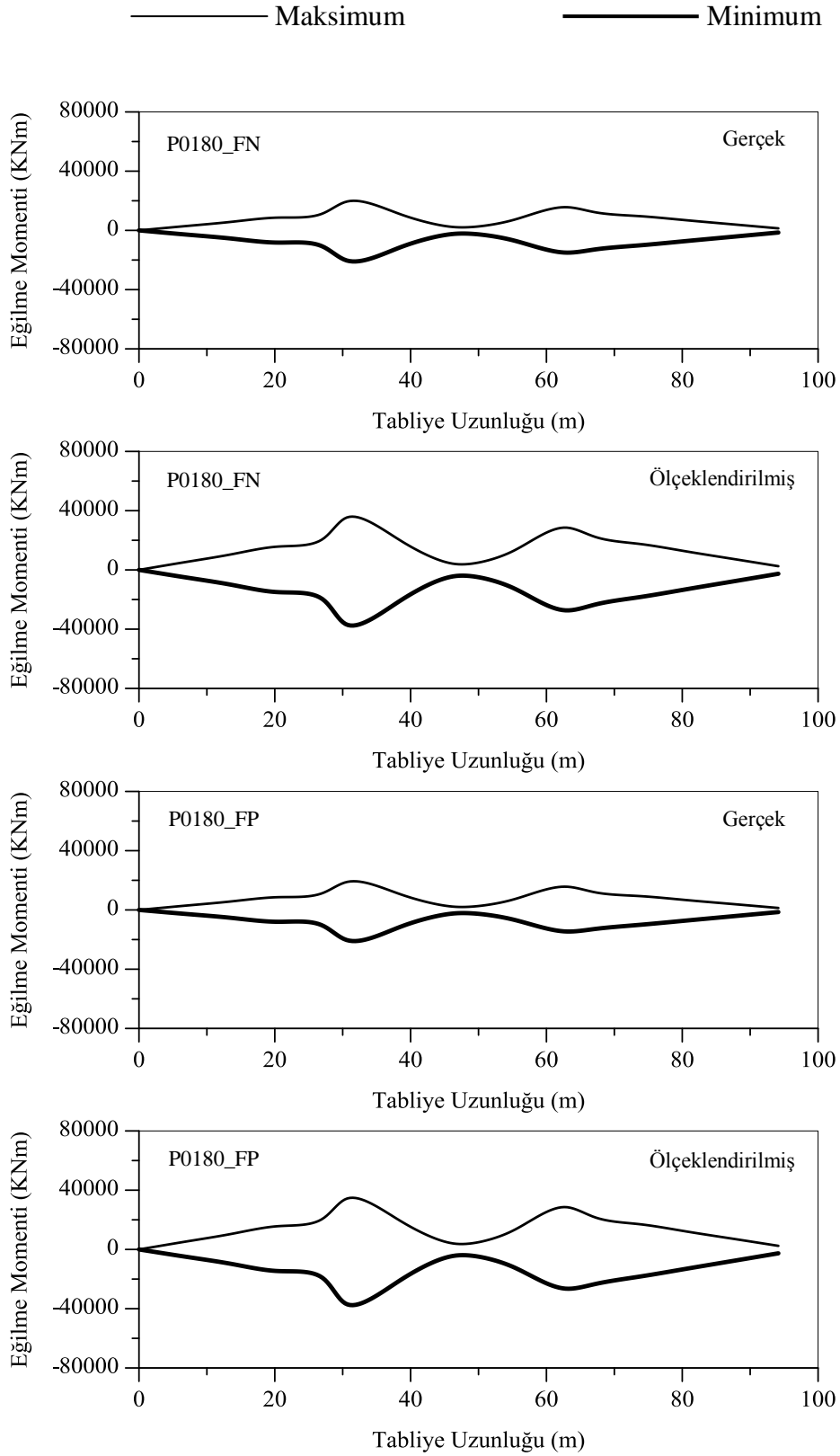
Şekil 4.13. 1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi



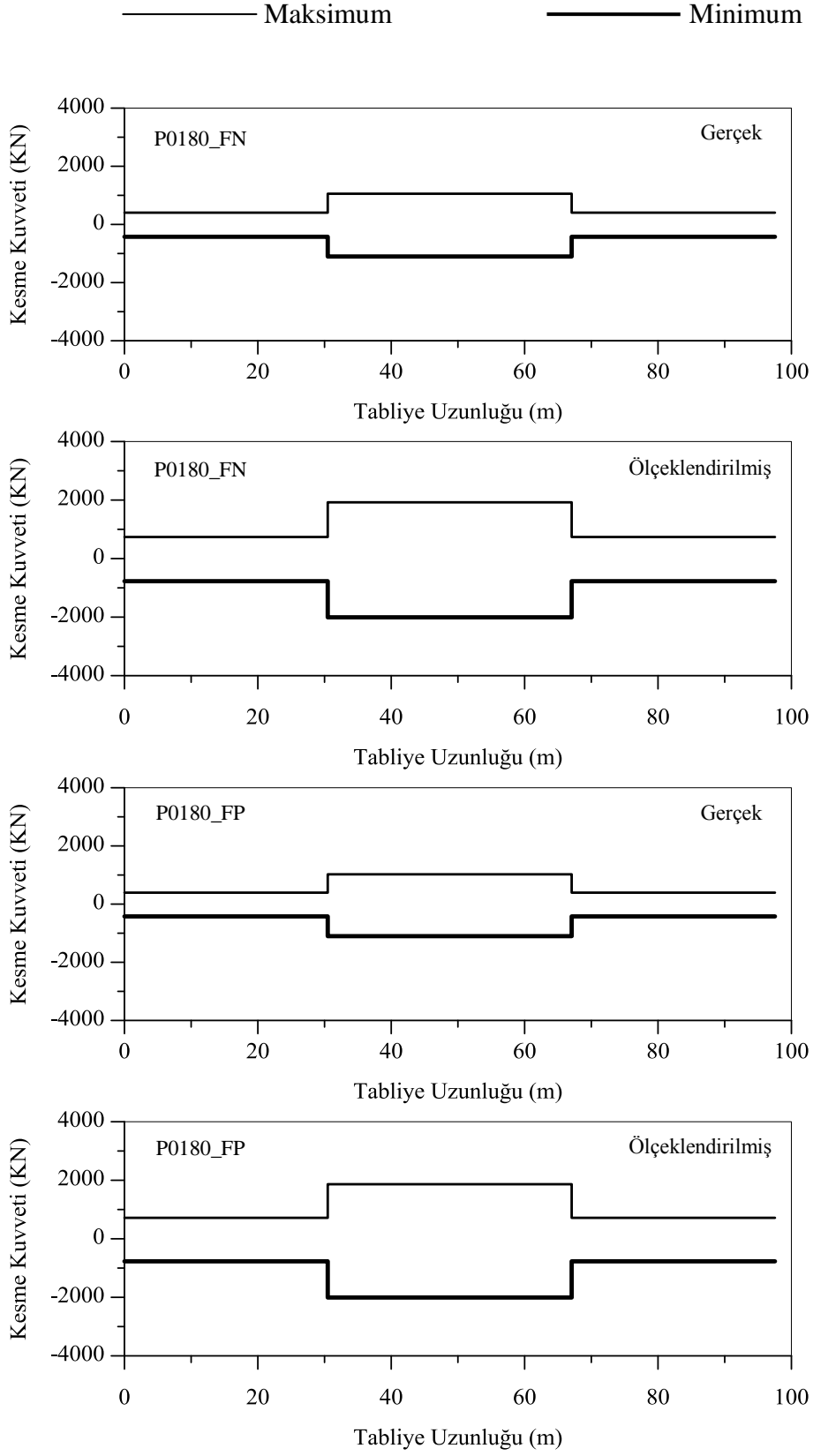
Şekil 4.14. 1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



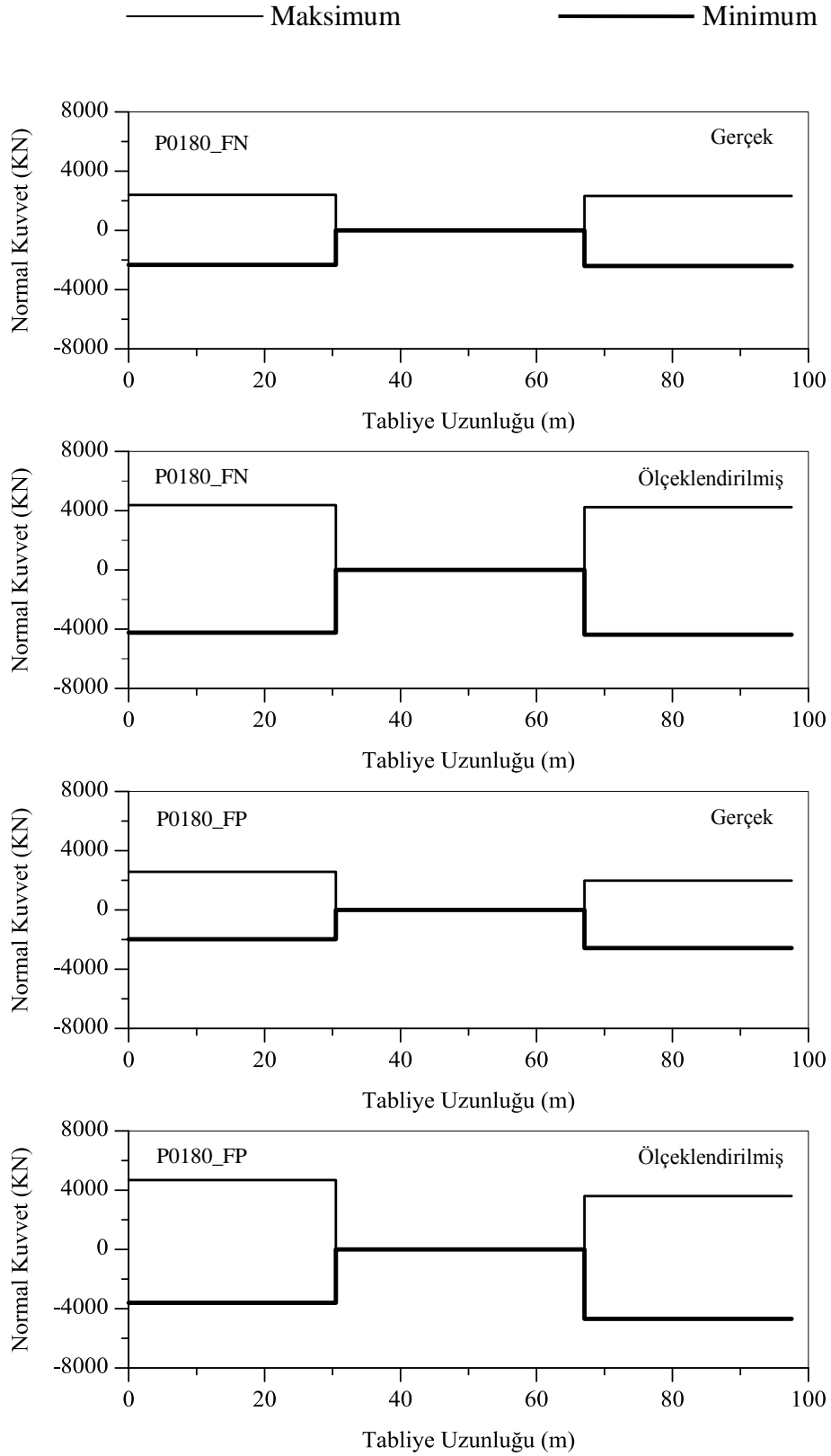
Şekil 4.15. 1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



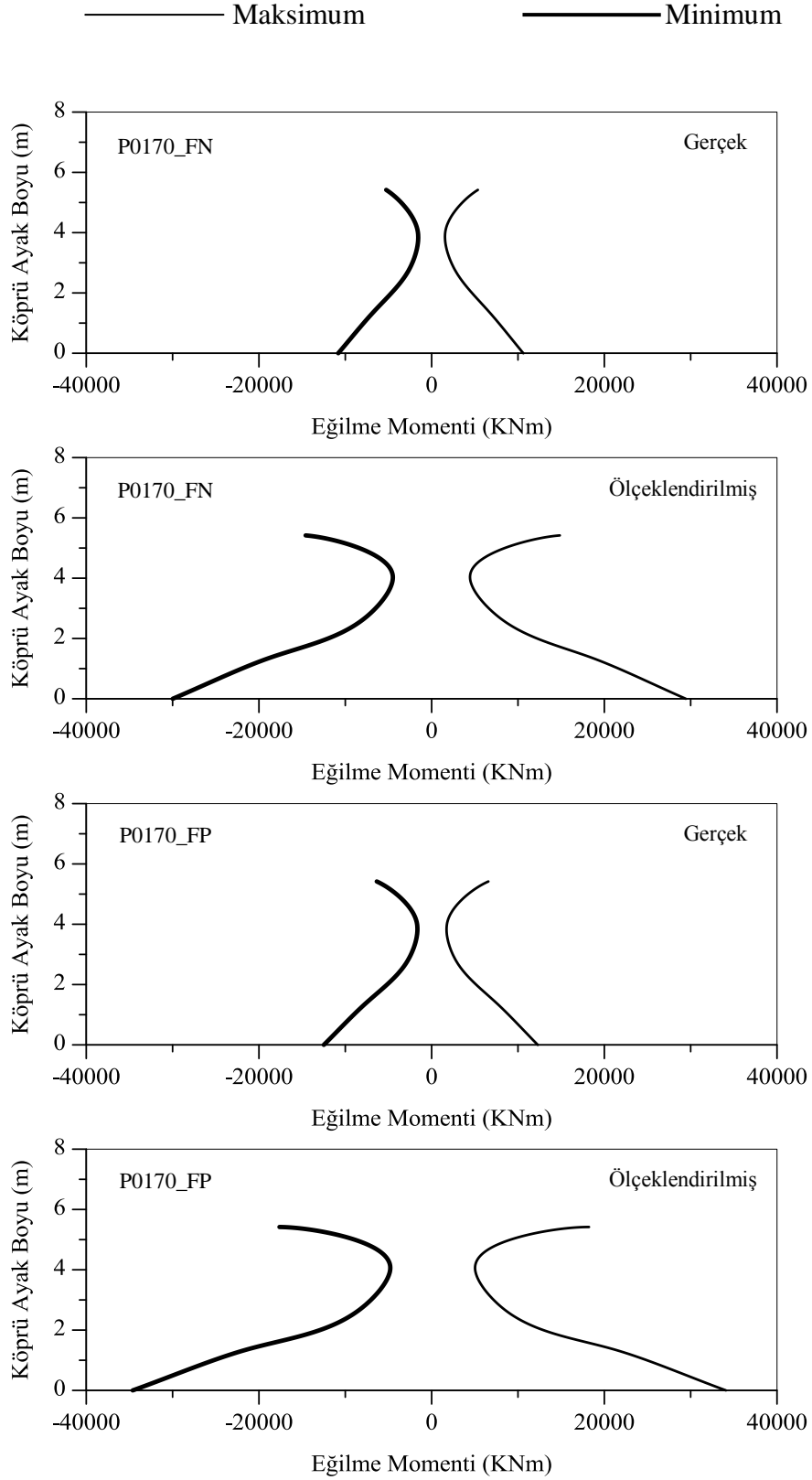
Şekil 4.16. 1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi



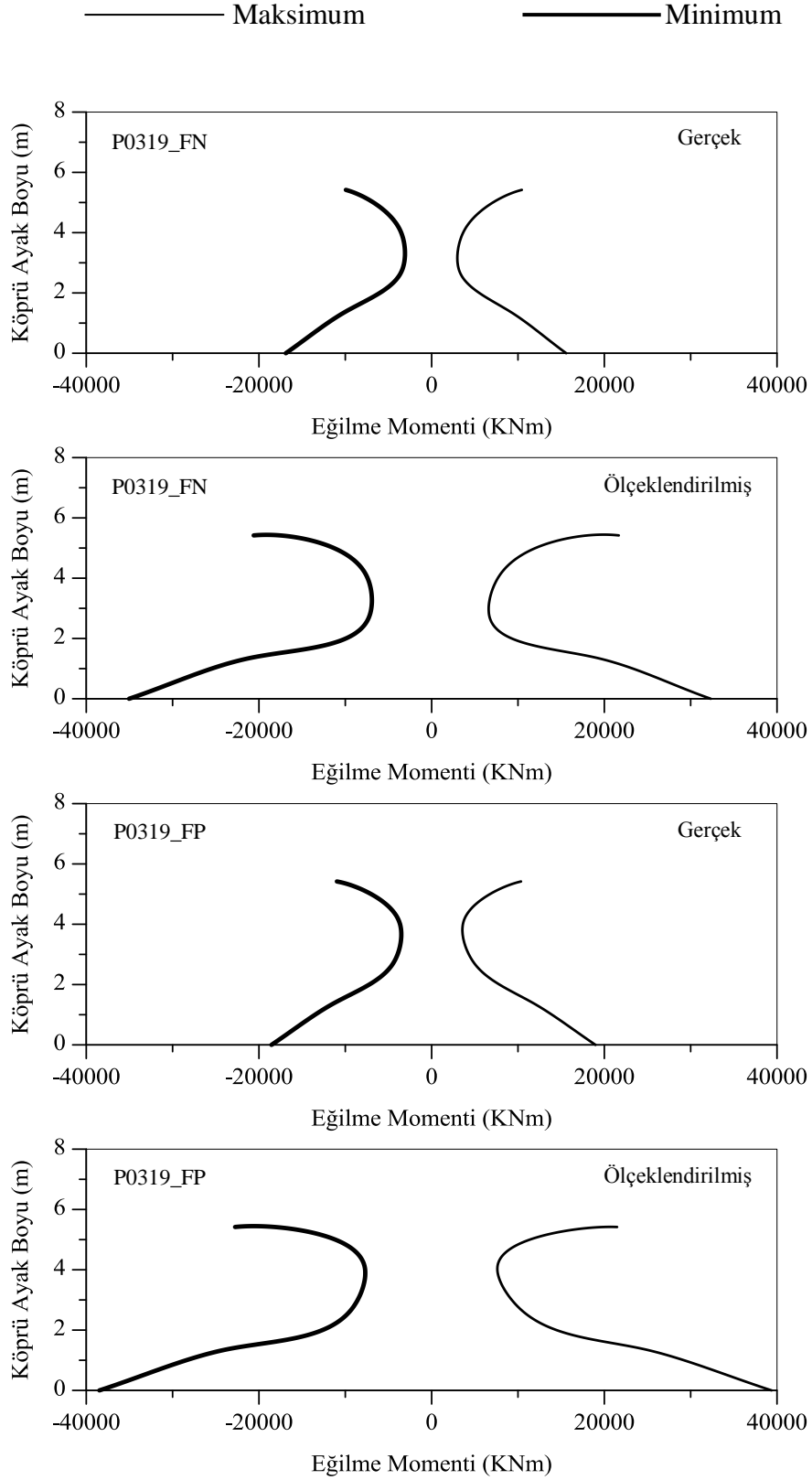
Şekil 4.17. 1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



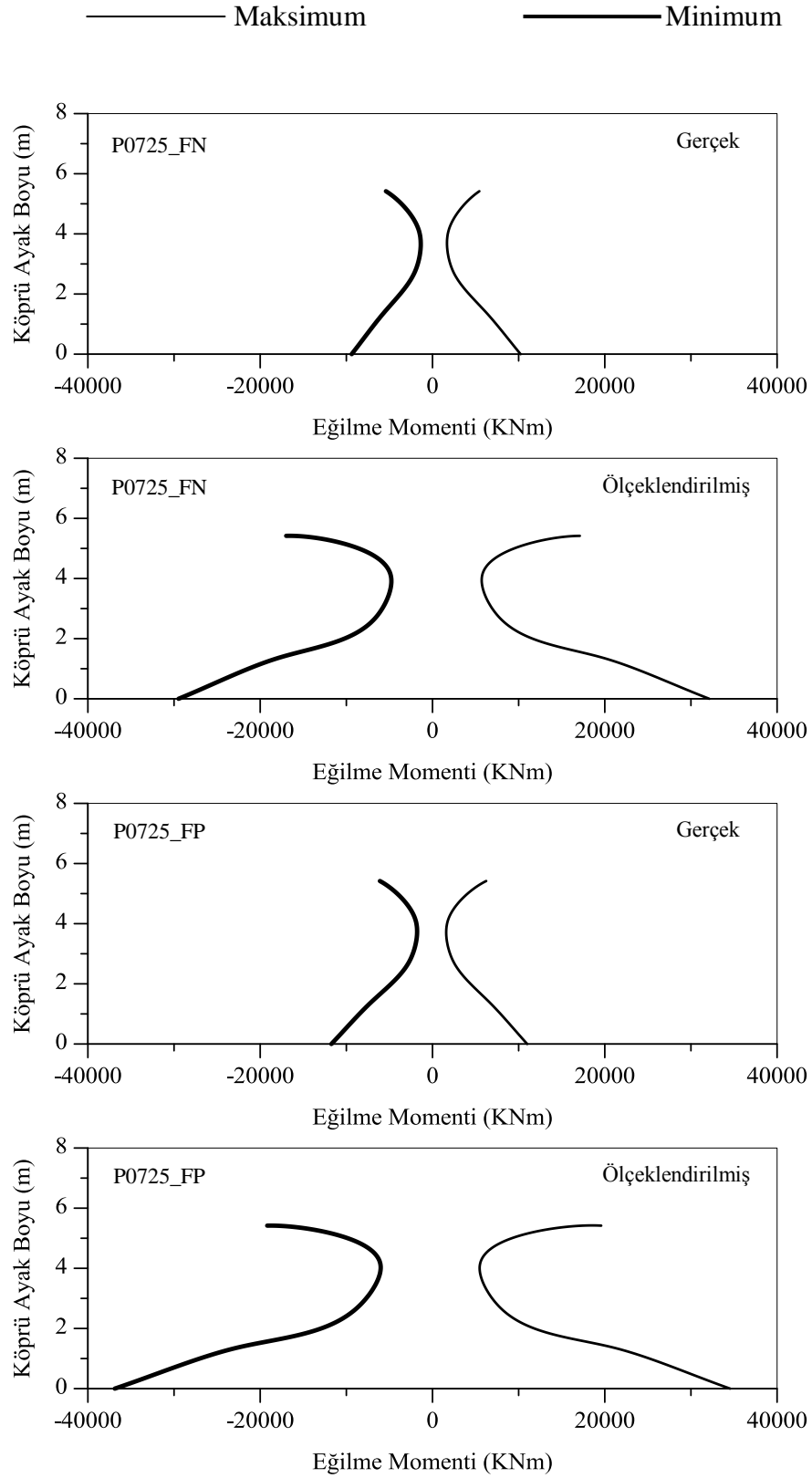
Şekil 4.18. 1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



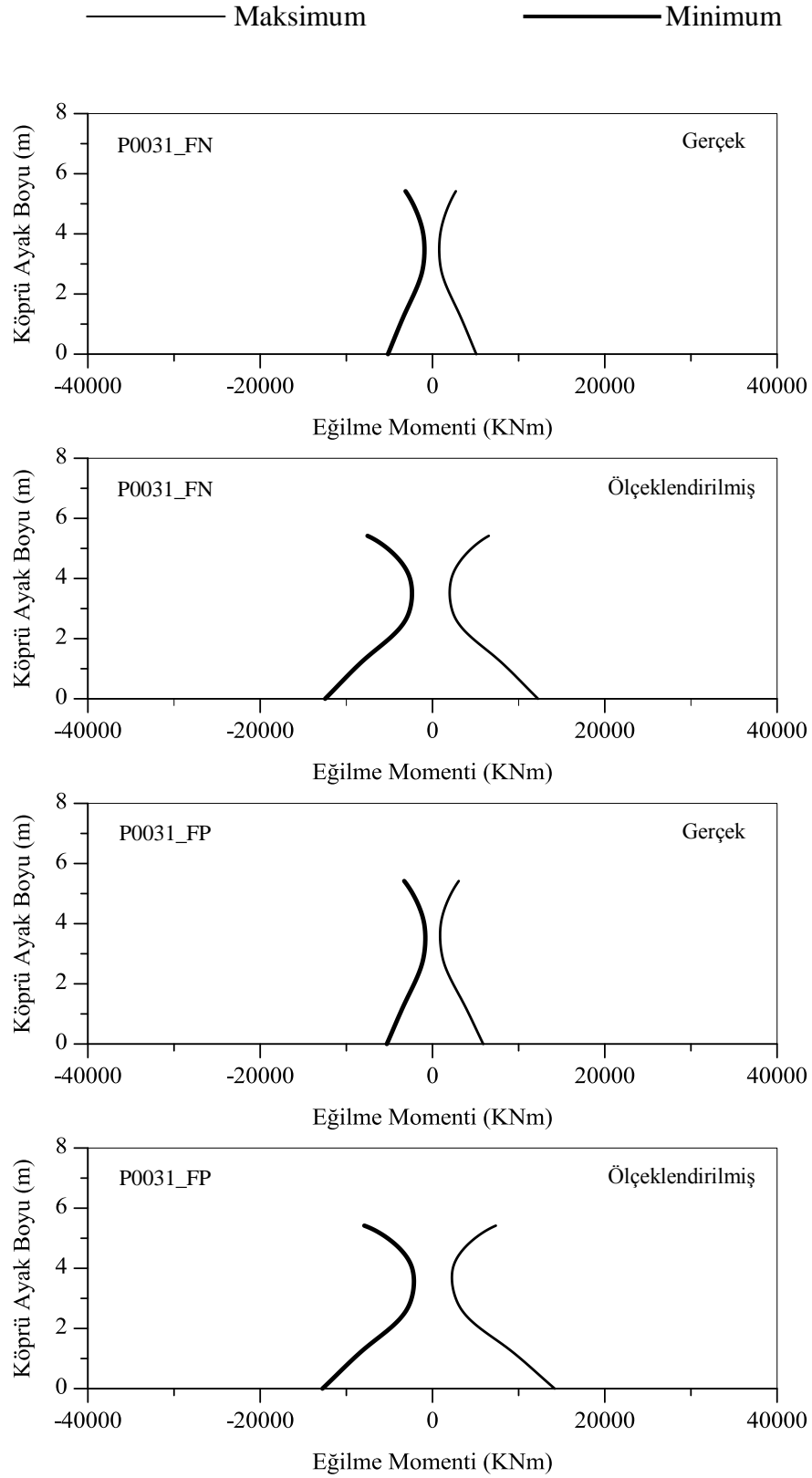
Şekil 4.19. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi



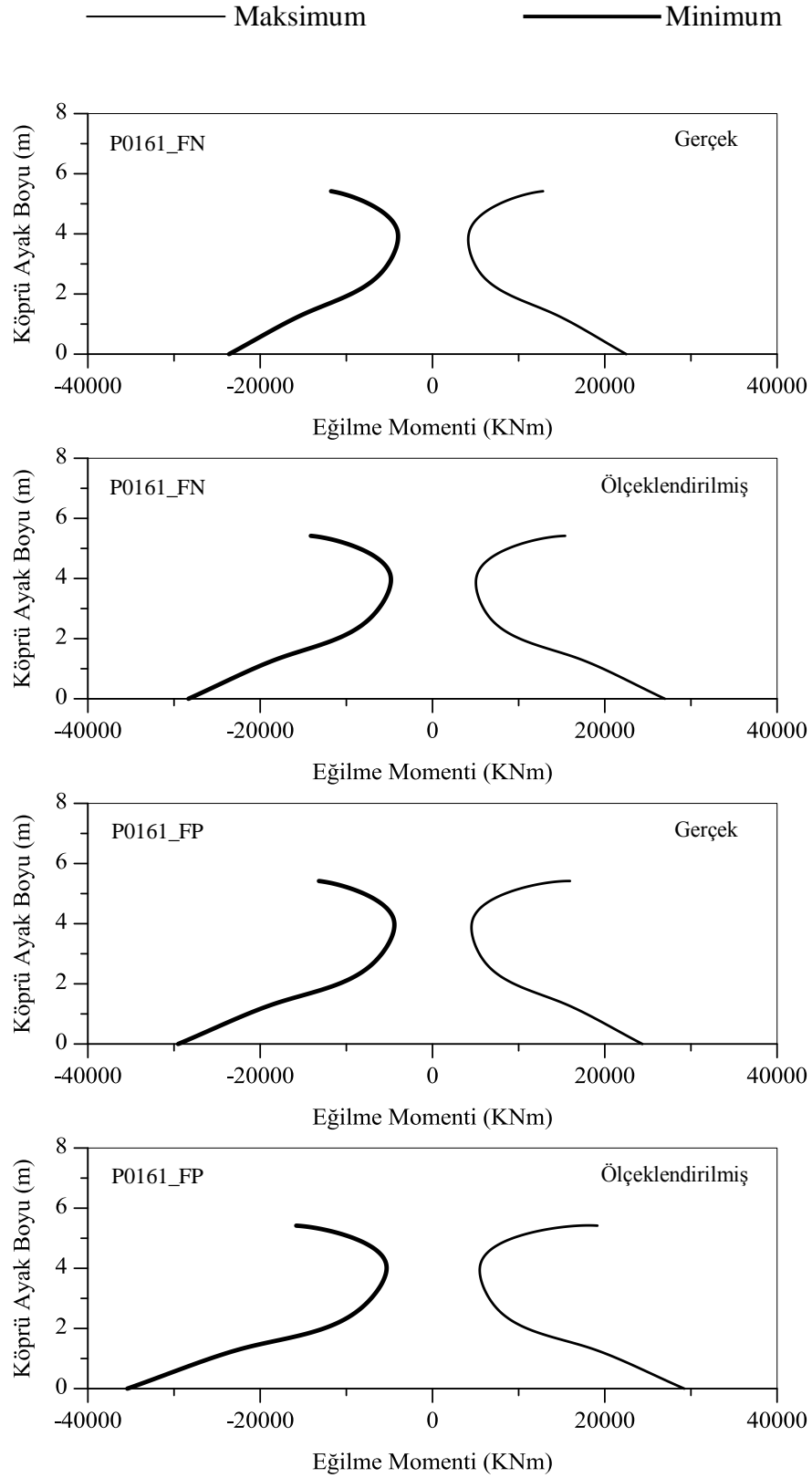
Şekil 4.20. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi



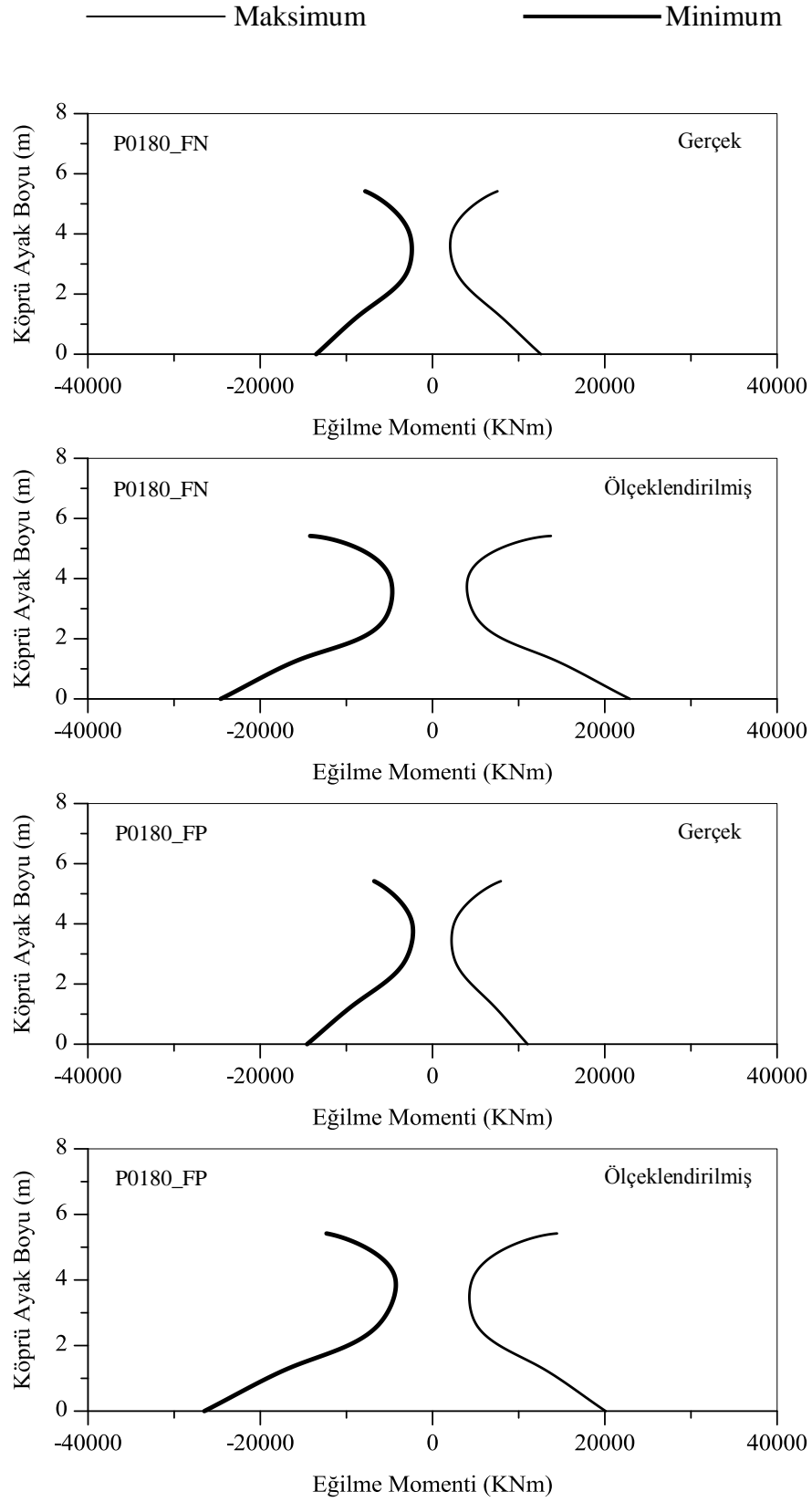
Şekil 4.21. 1987 Superstın Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi



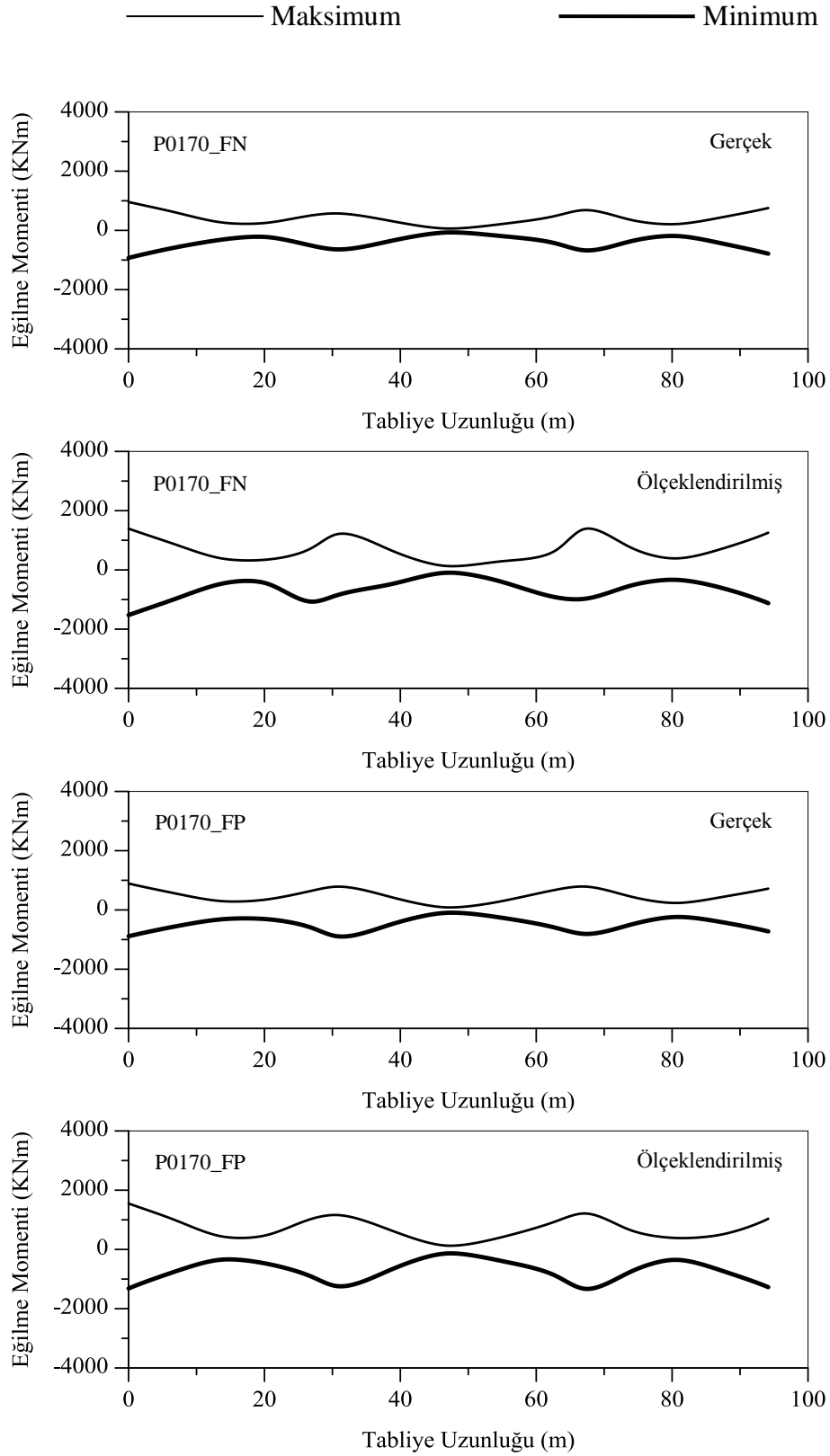
Şekil 4.22. 1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi



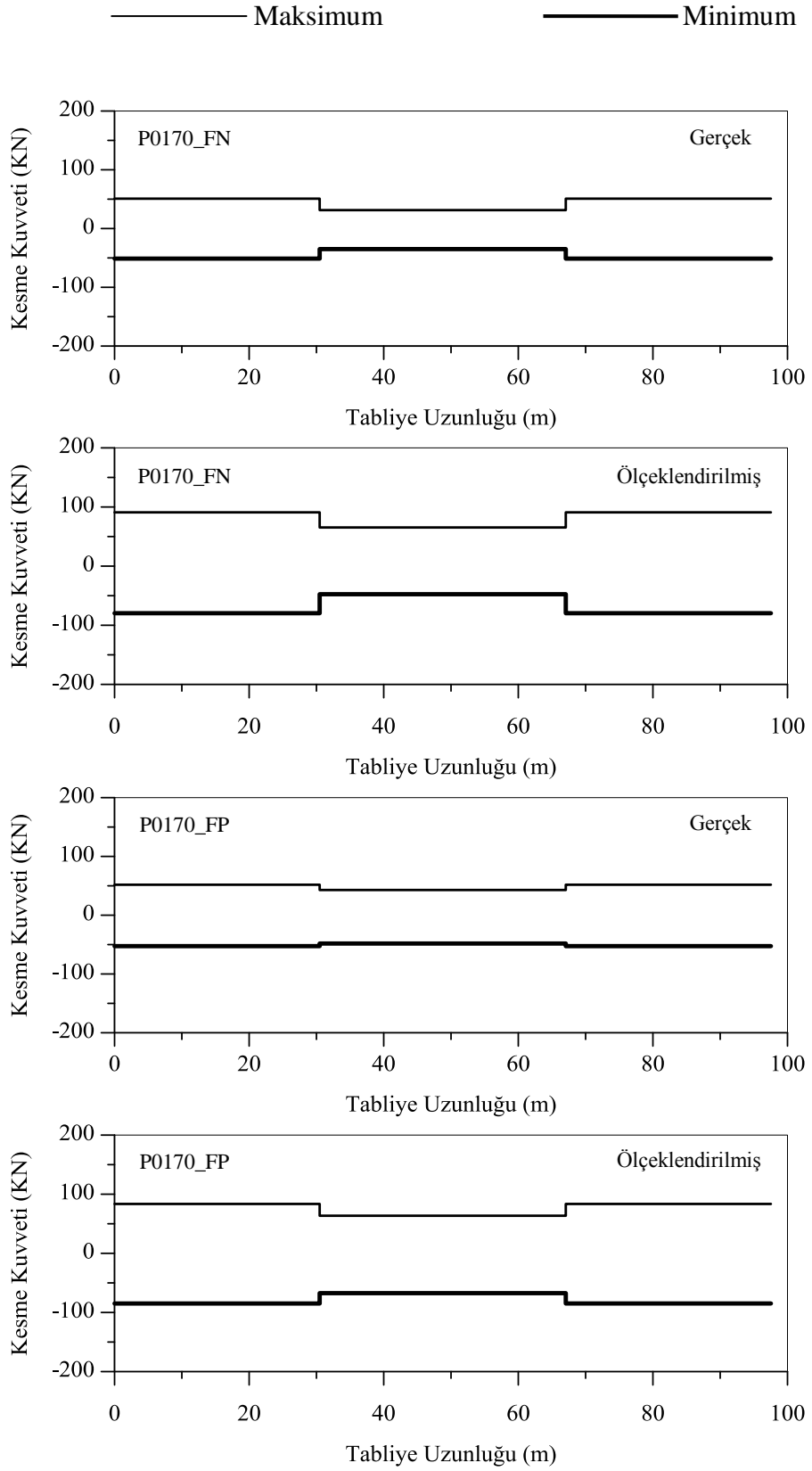
Şekil 4.23. 1979 Imperial Valley, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi



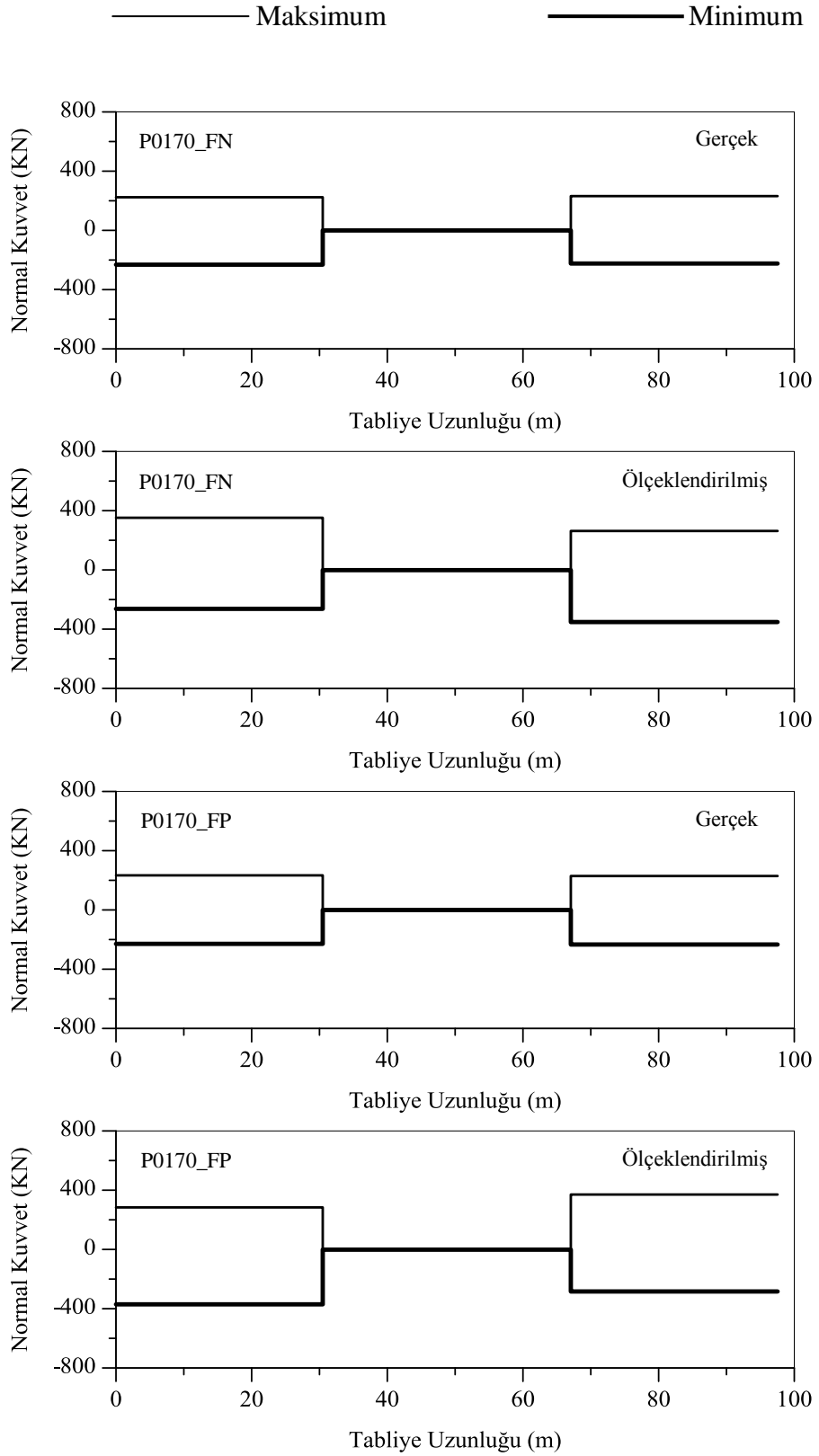
Şekil 4.24. 1979 Imperial Valley, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi



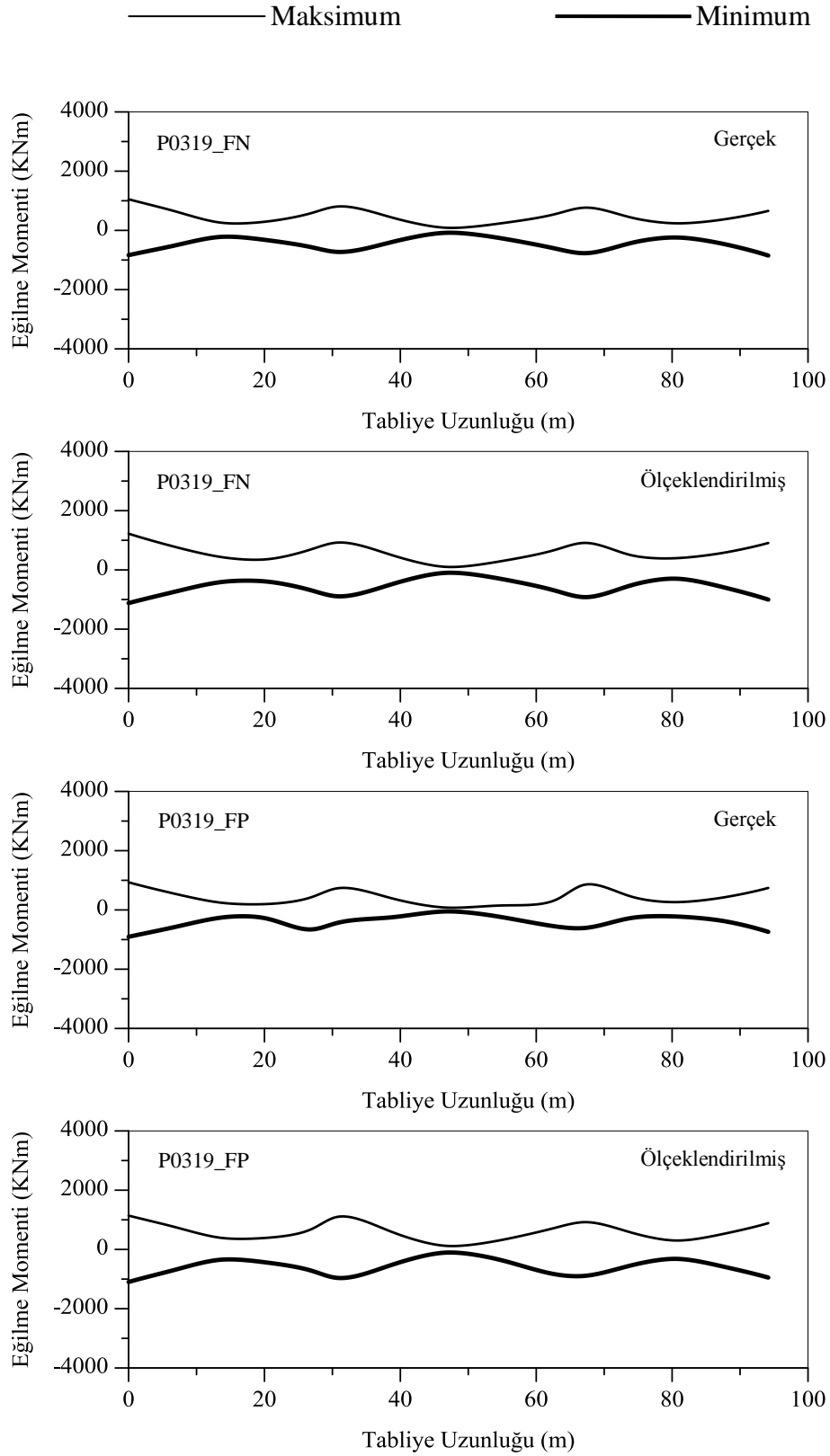
Şekil 4.25. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi



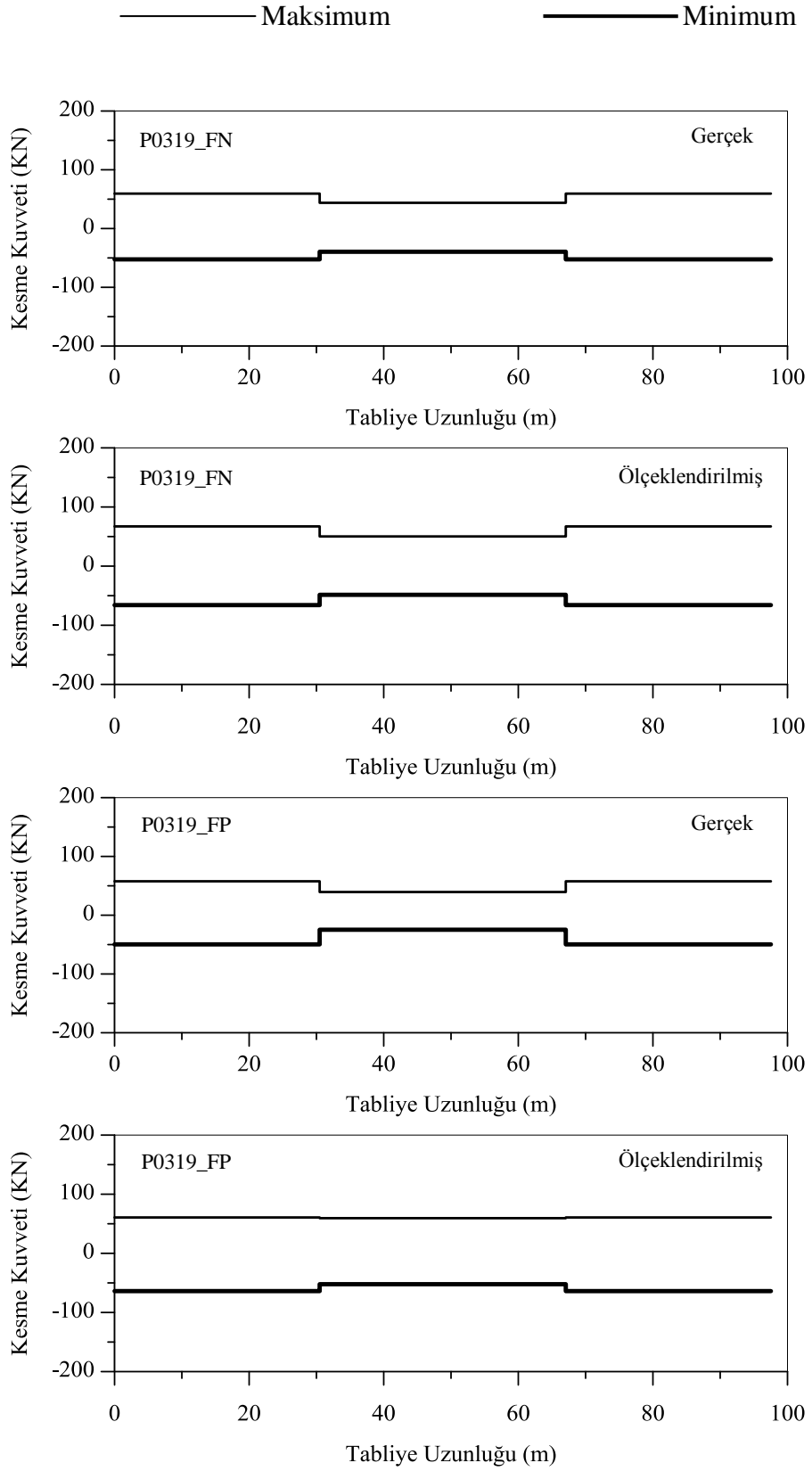
Şekil 4.26. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



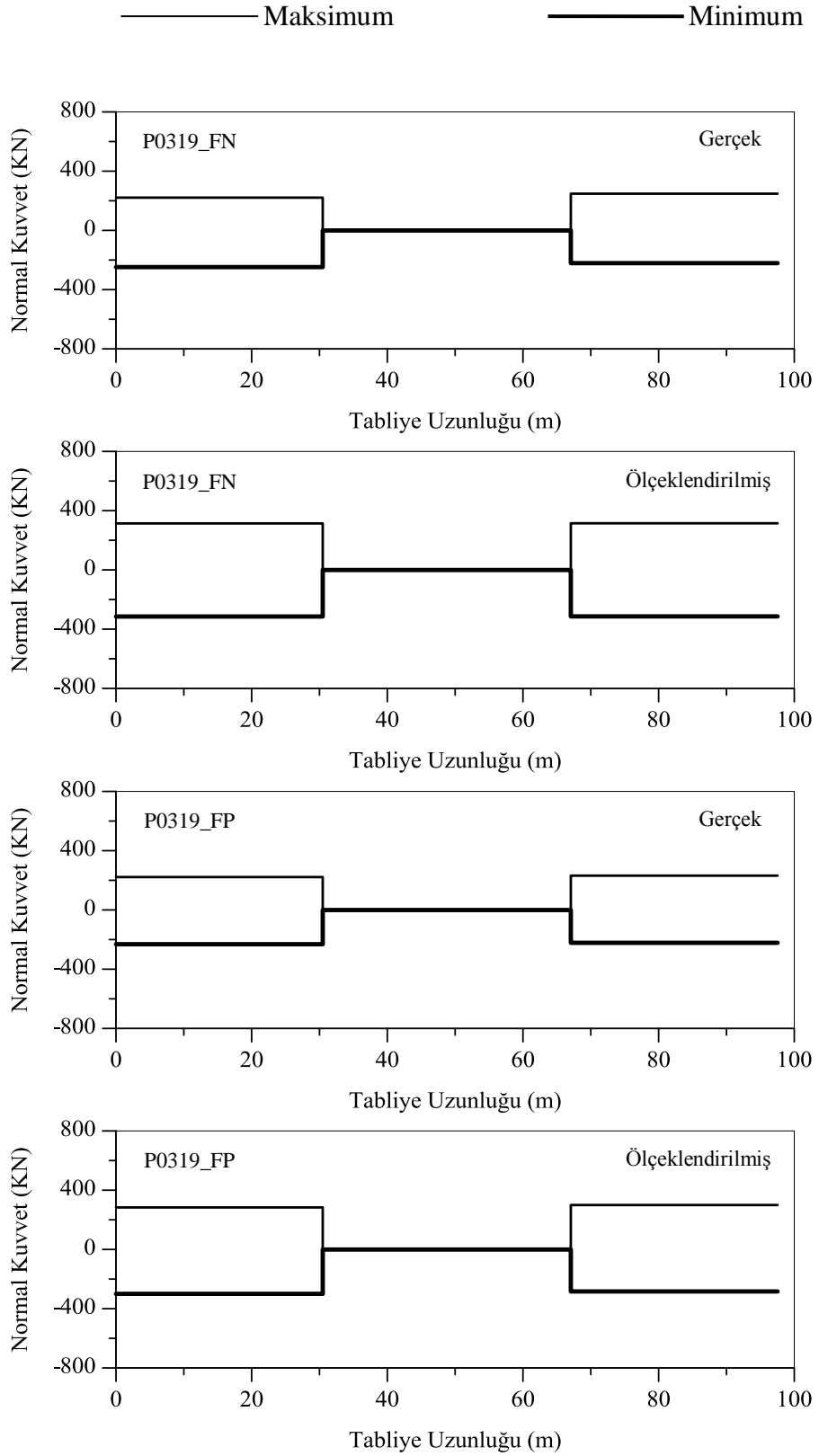
Şekil 4.27. 1979 Imperial Valley Depremi, Delta İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



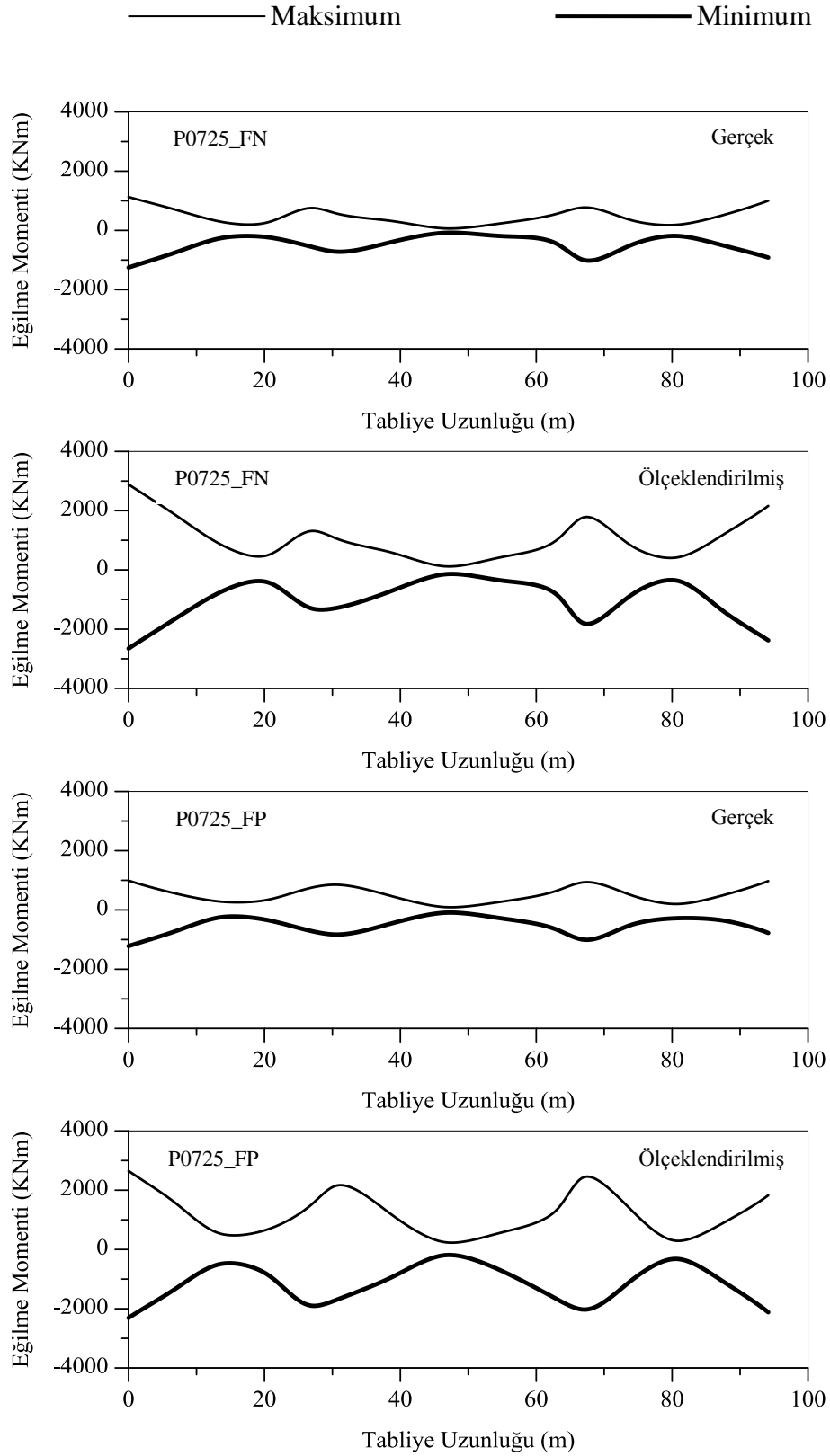
Şekil 4.28. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi



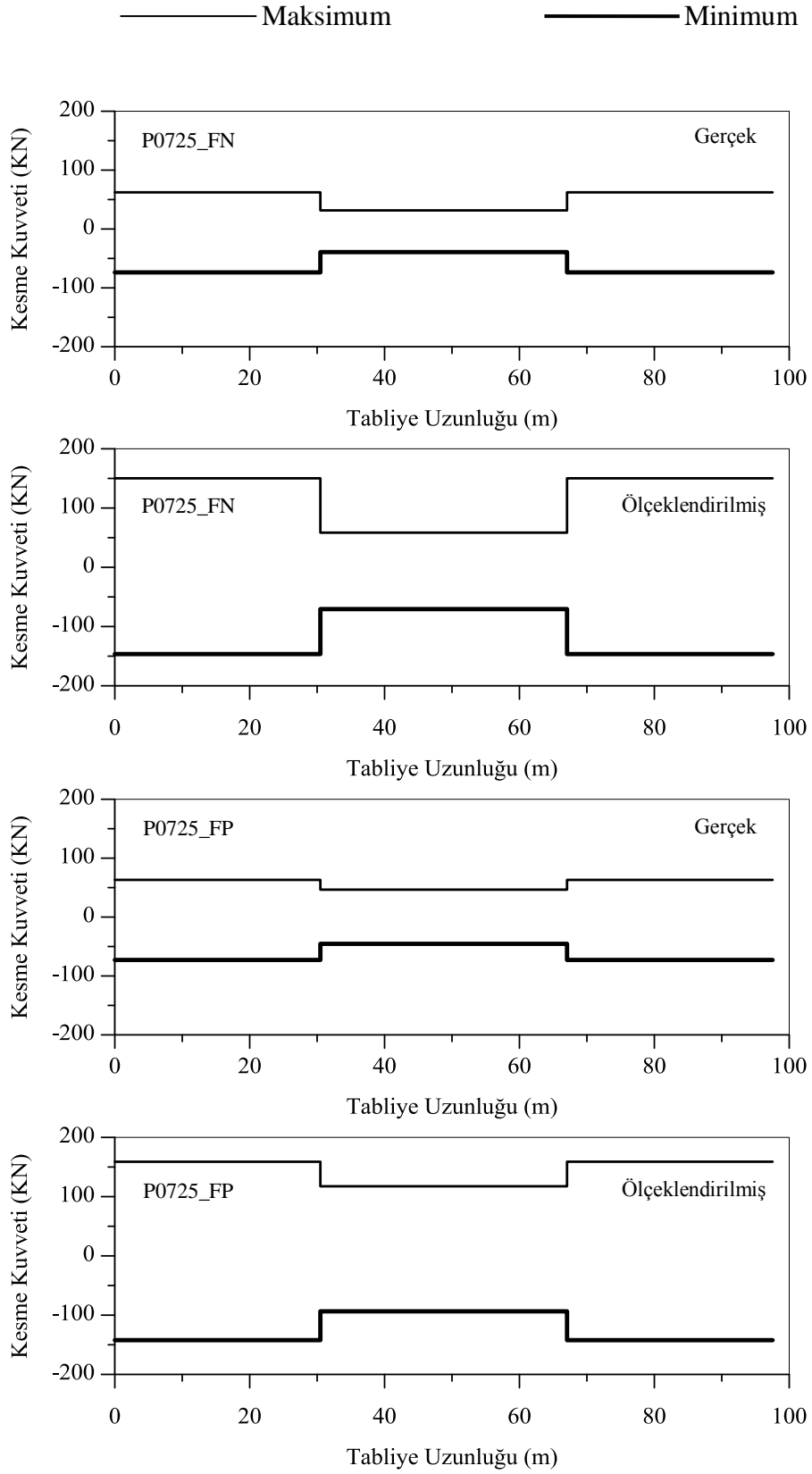
Şekil 4.29. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



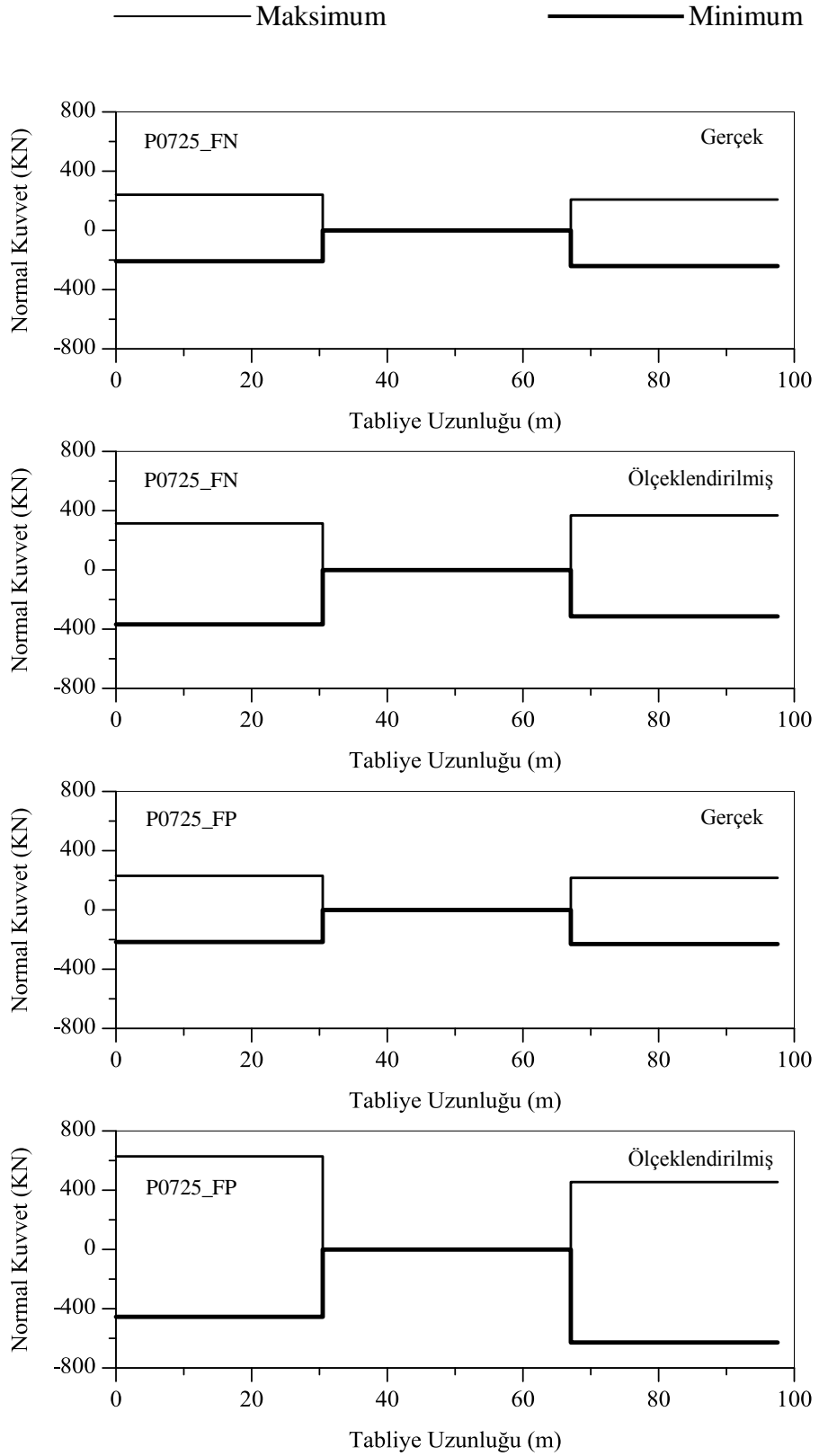
Şekil 4.30. 1981 Westmorland Depremi, Westmorland Fire İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



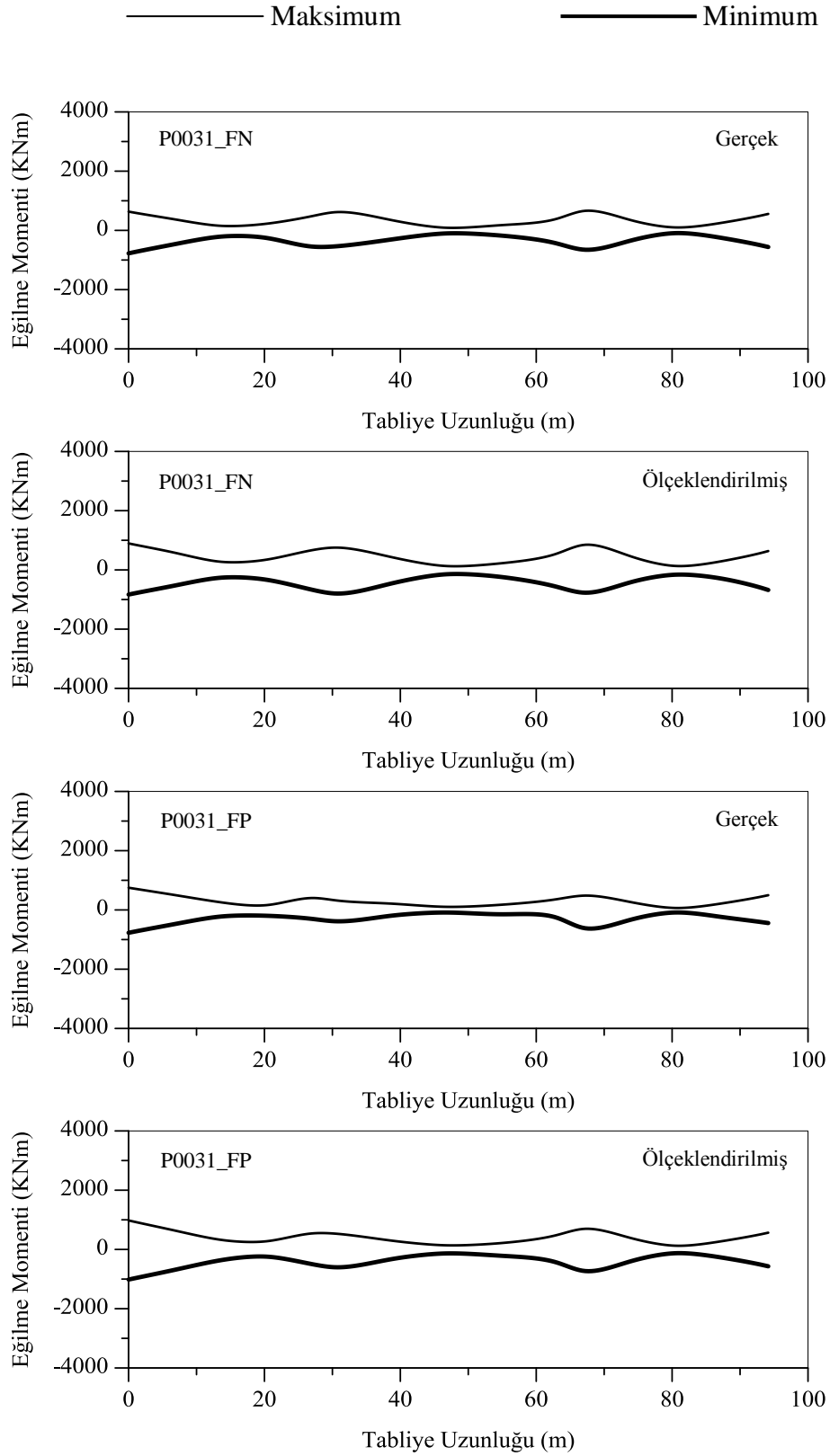
Şekil 4.31. 1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi



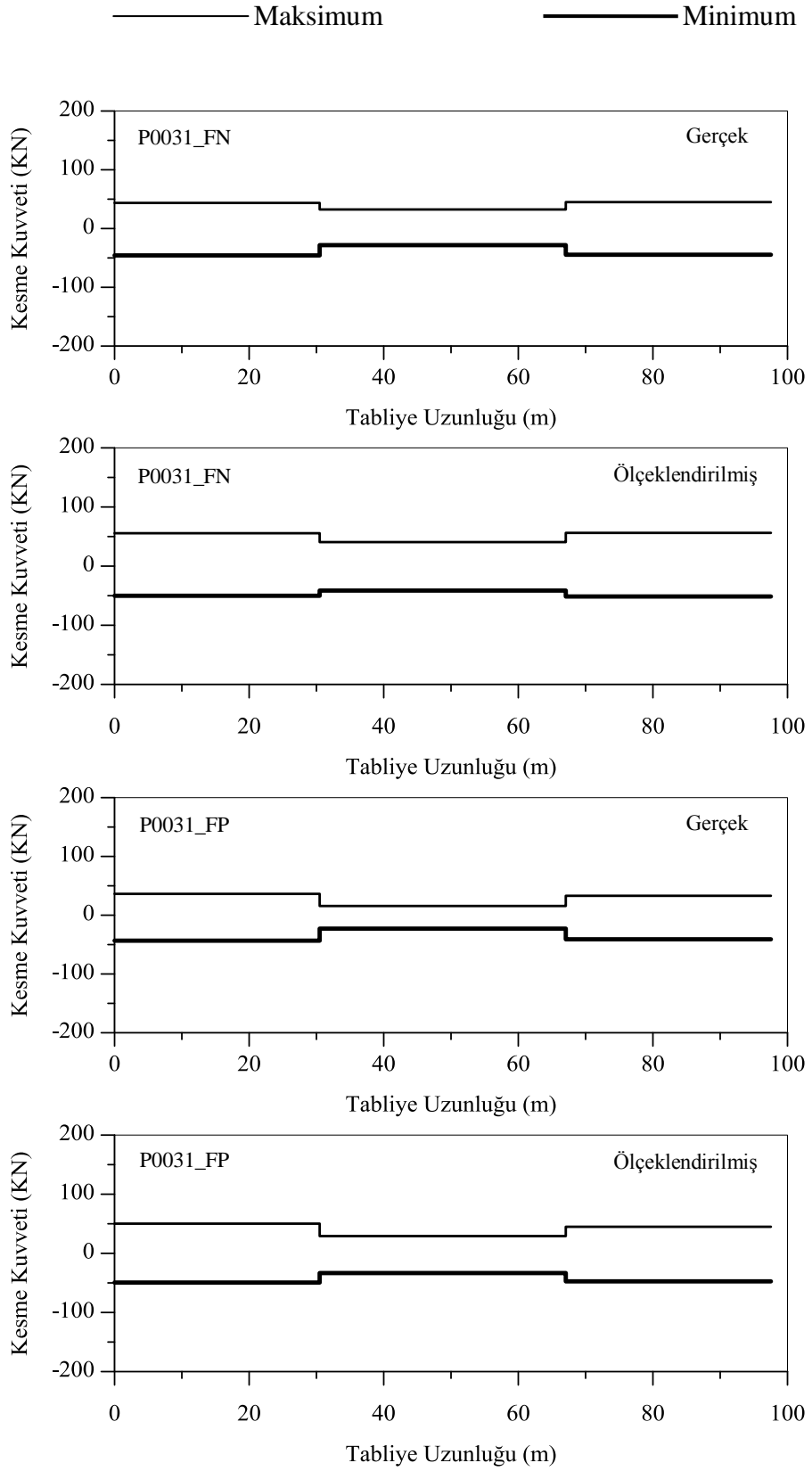
Şekil 4.32. 1987 Superstın Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



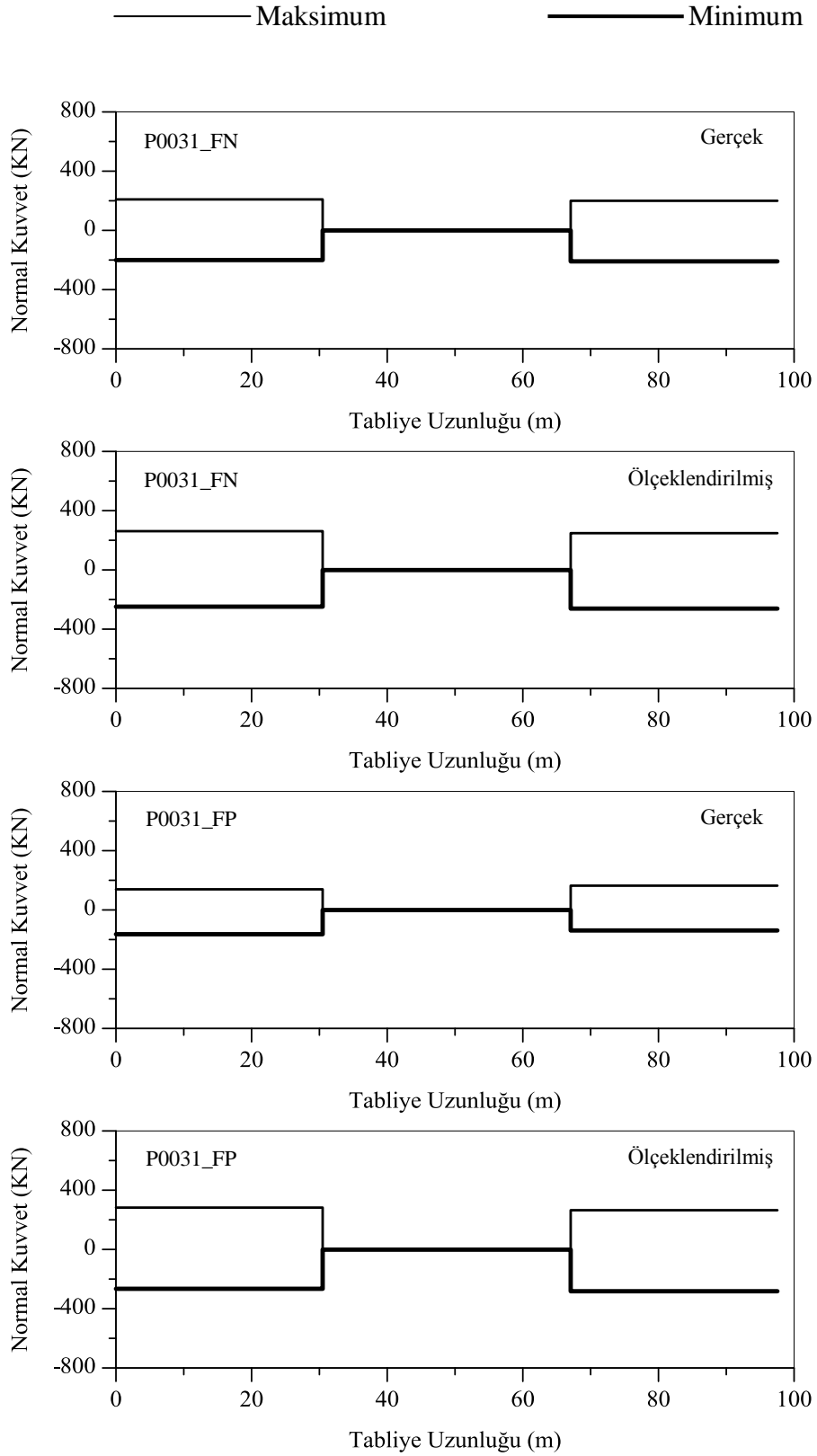
Şekil 4.33. 1987 Superstin Hills(B) Depremi, El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



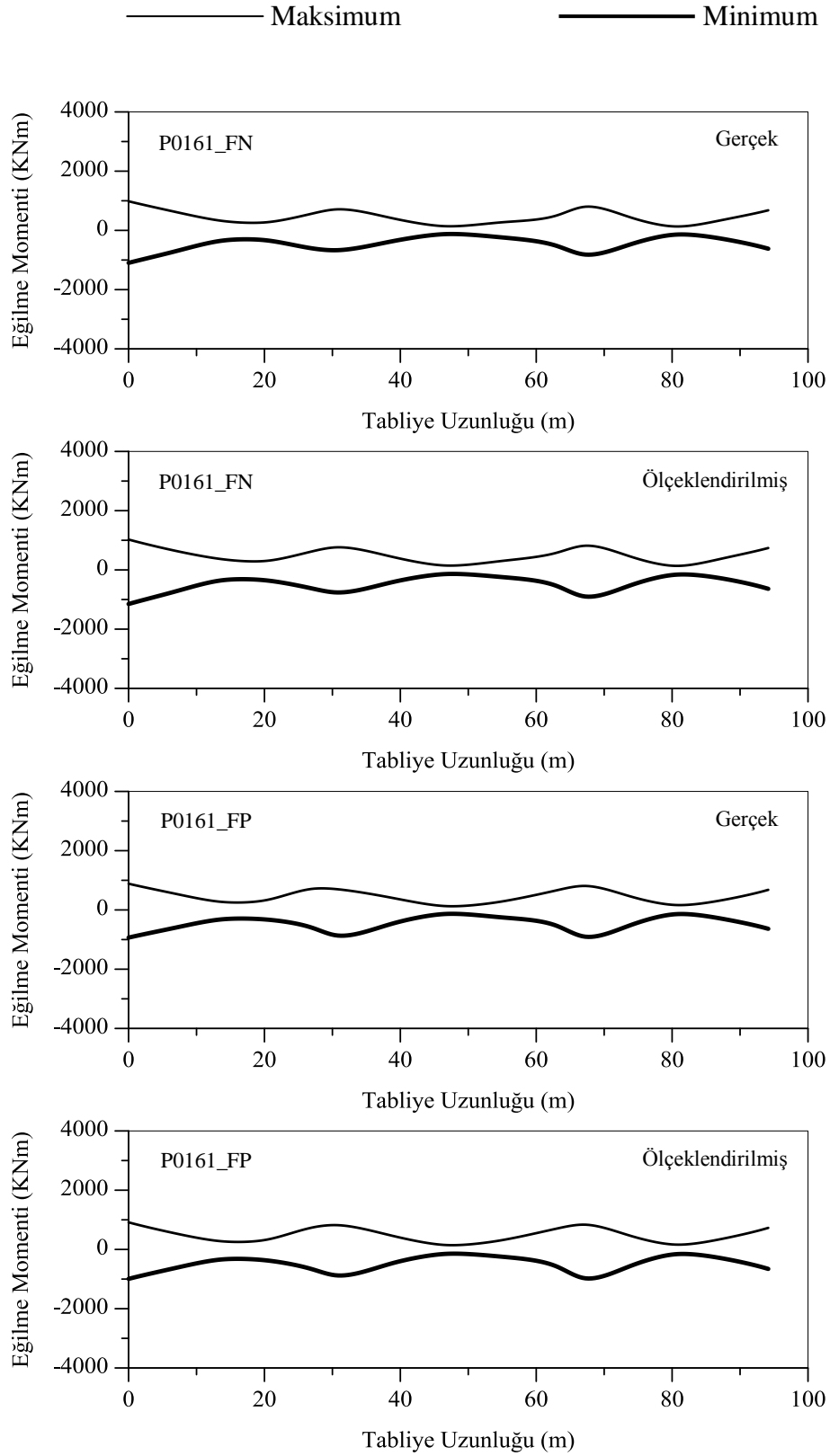
Şekil 4.34. 1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi



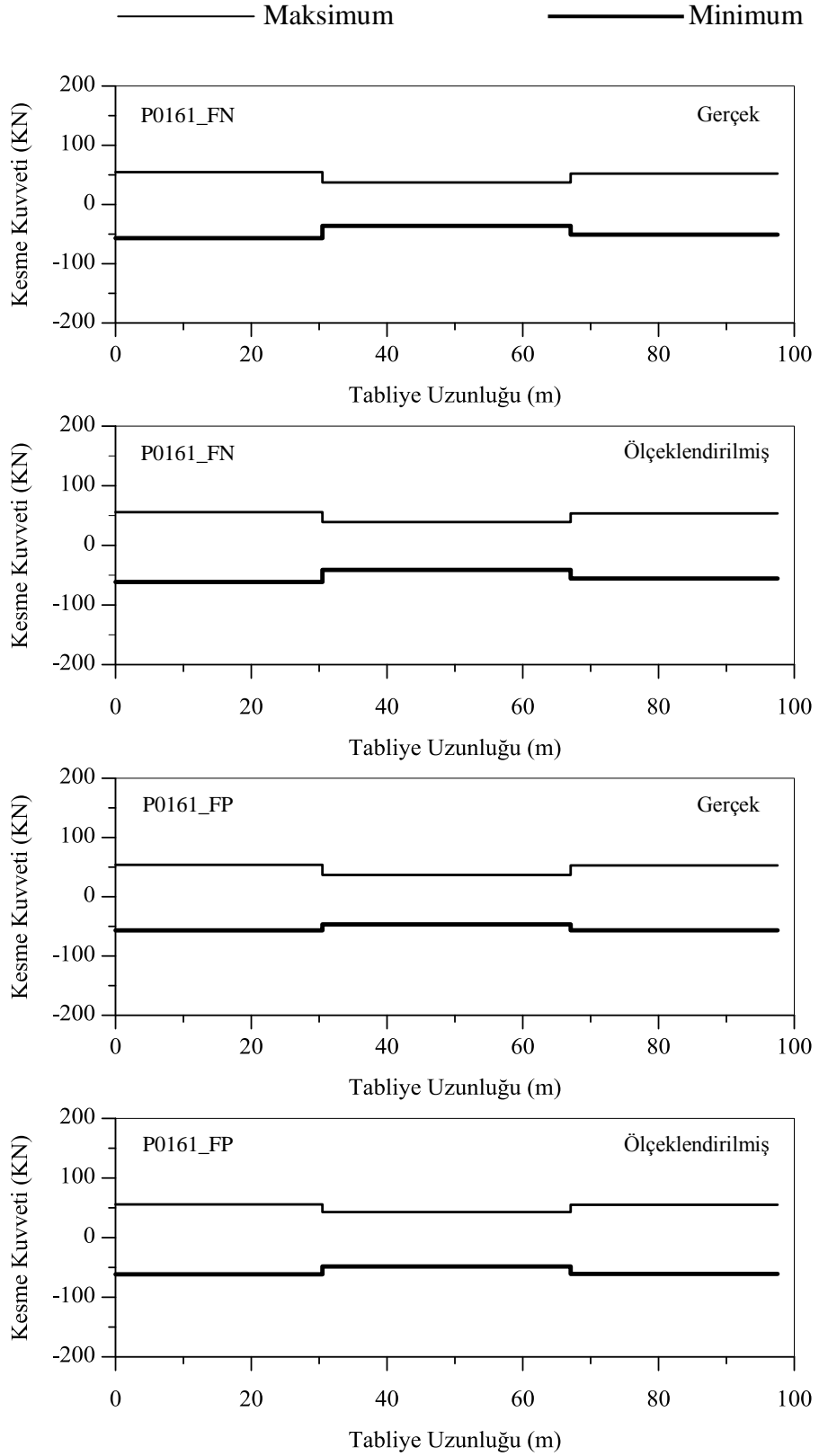
Şekil 4.35. 1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



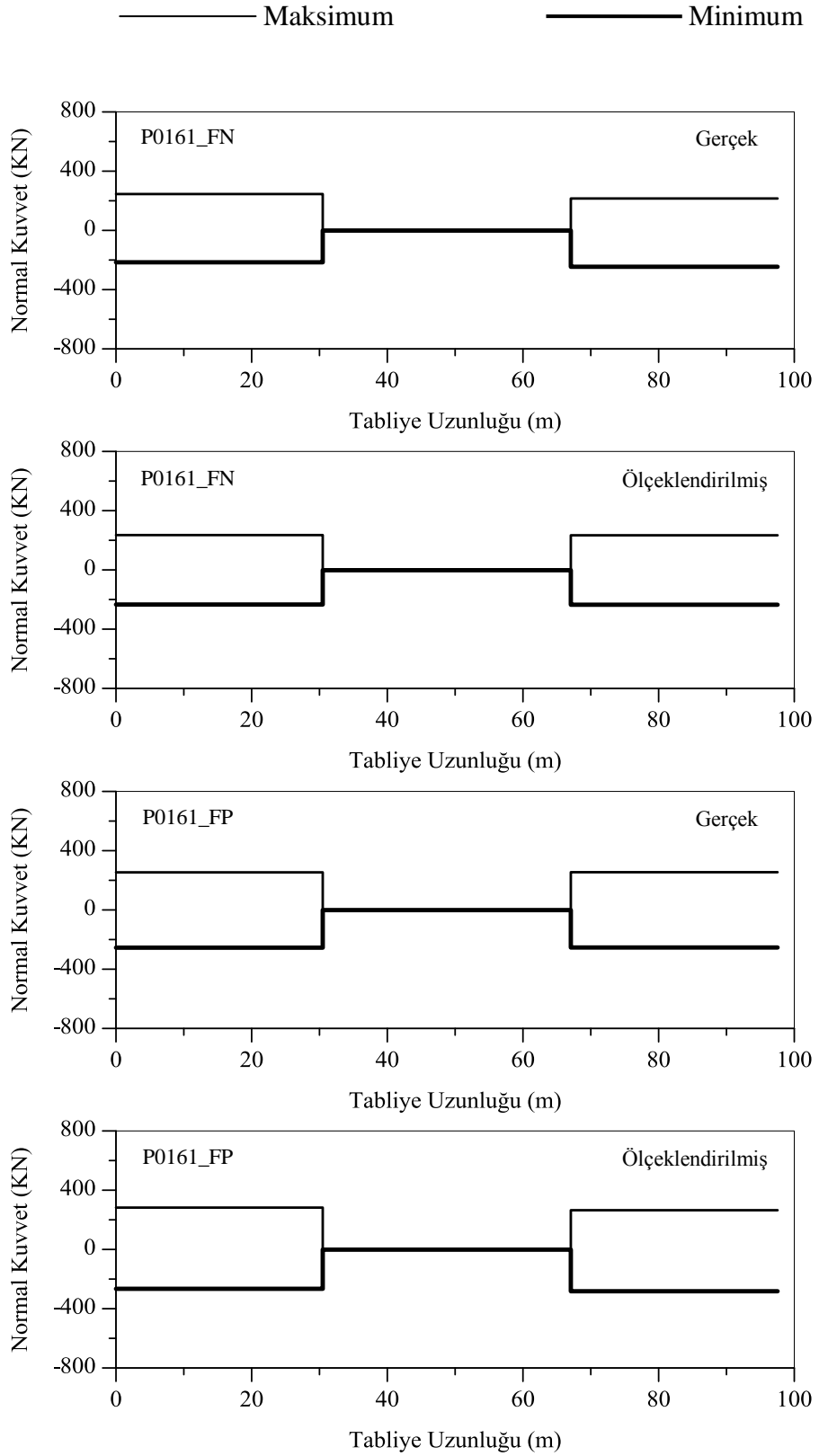
Şekil 4.36. 1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



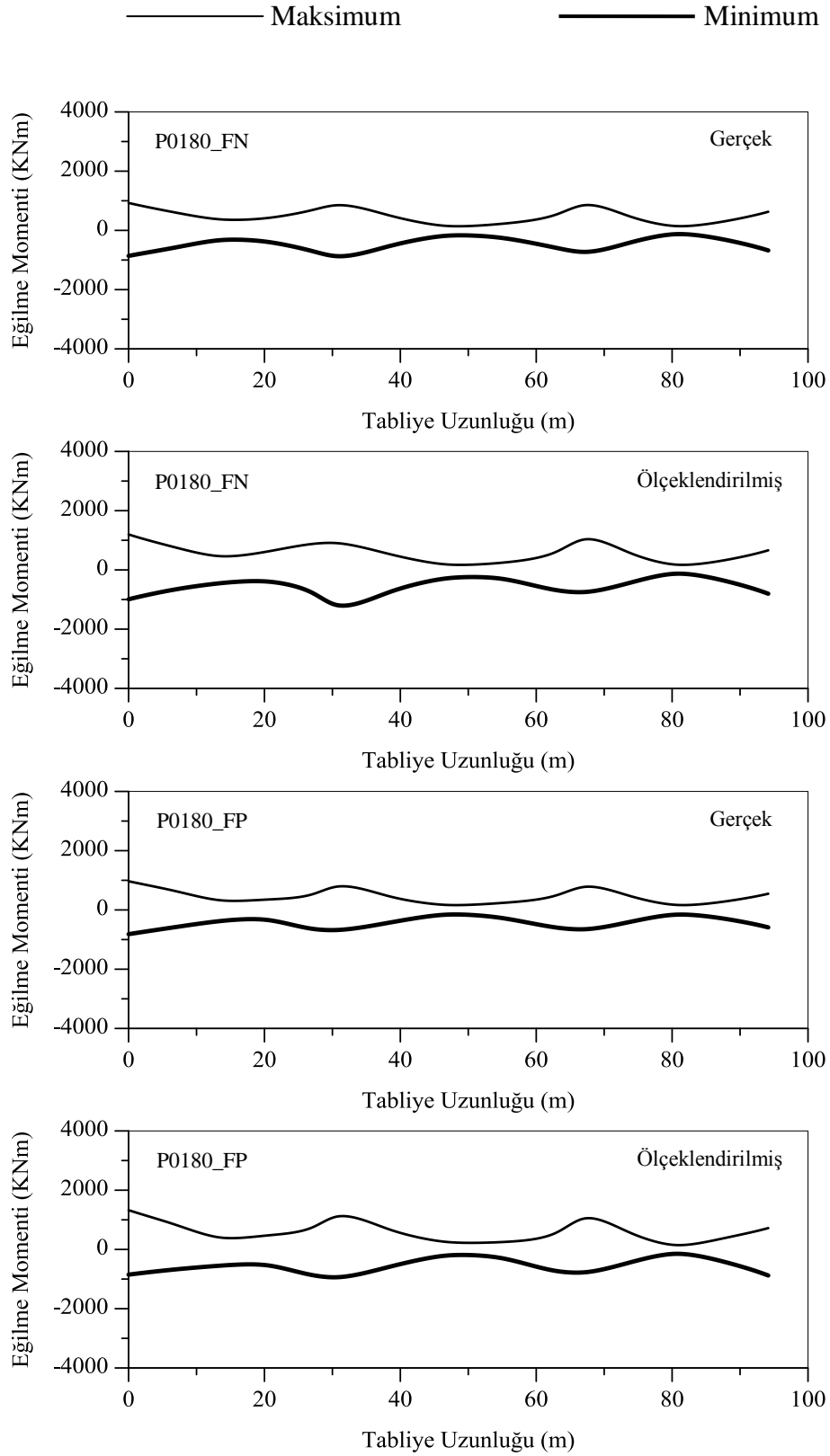
Şekil 4.37. 1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi



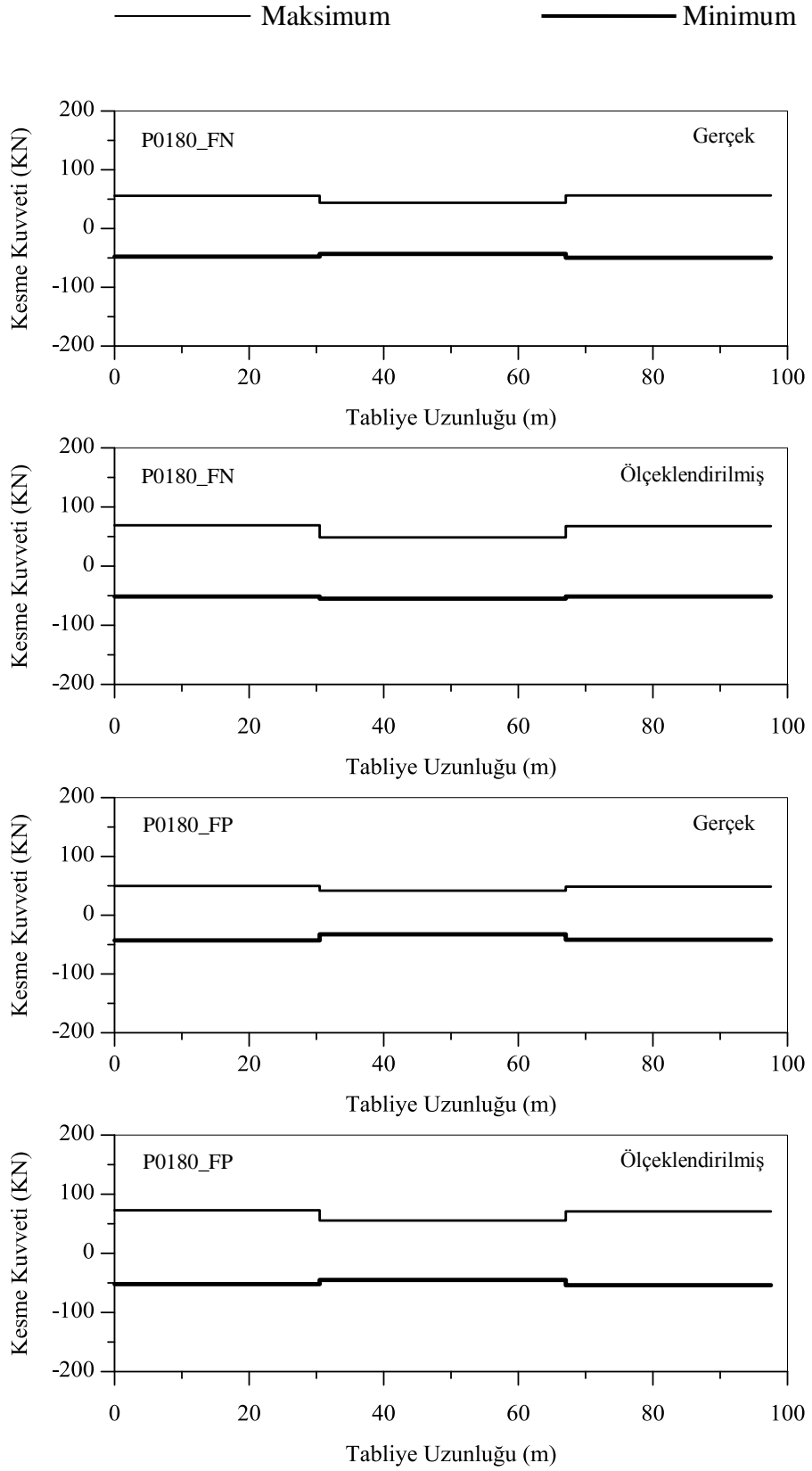
Şekil 4.38. 1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



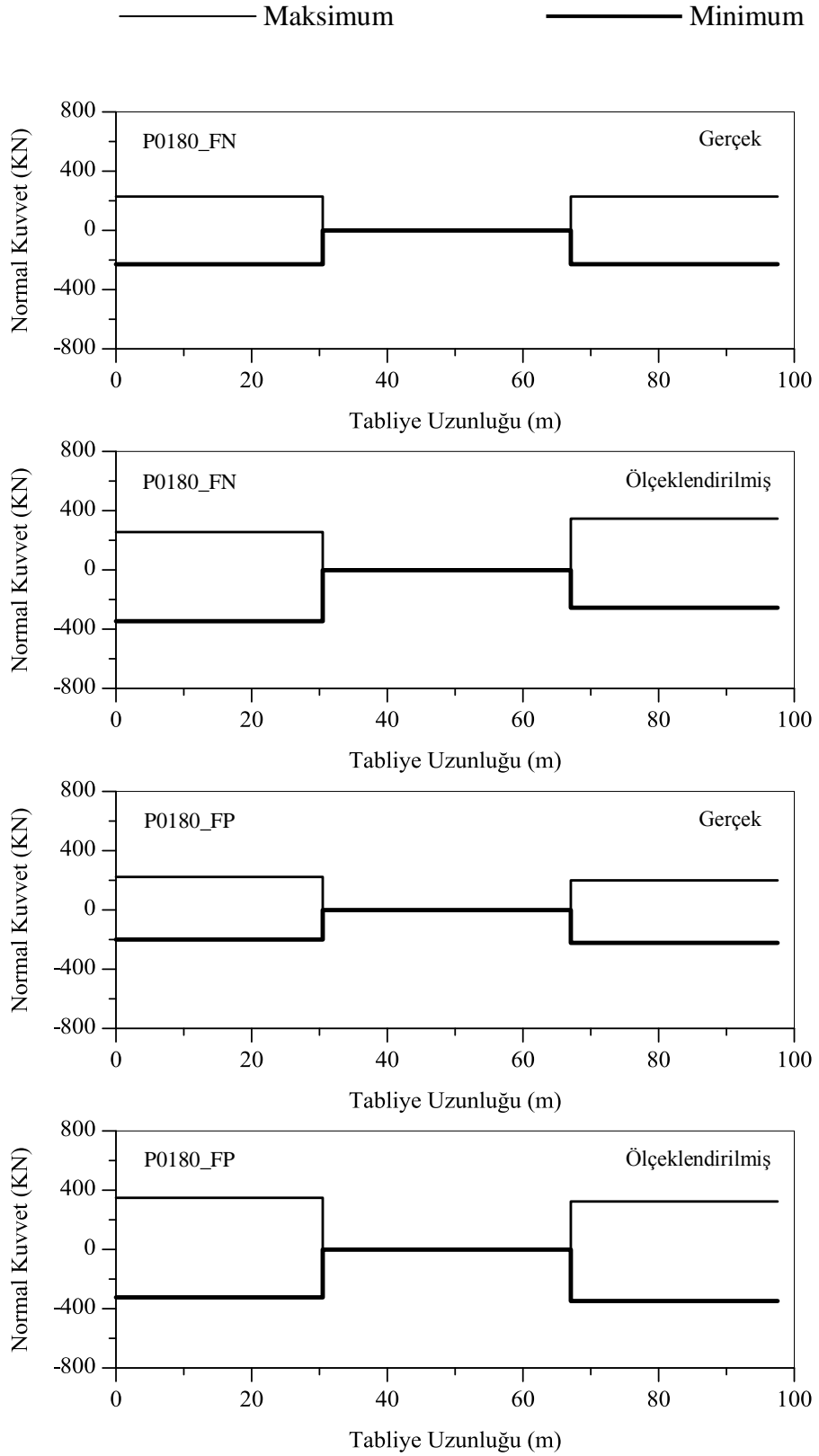
Şekil 4.39. 1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



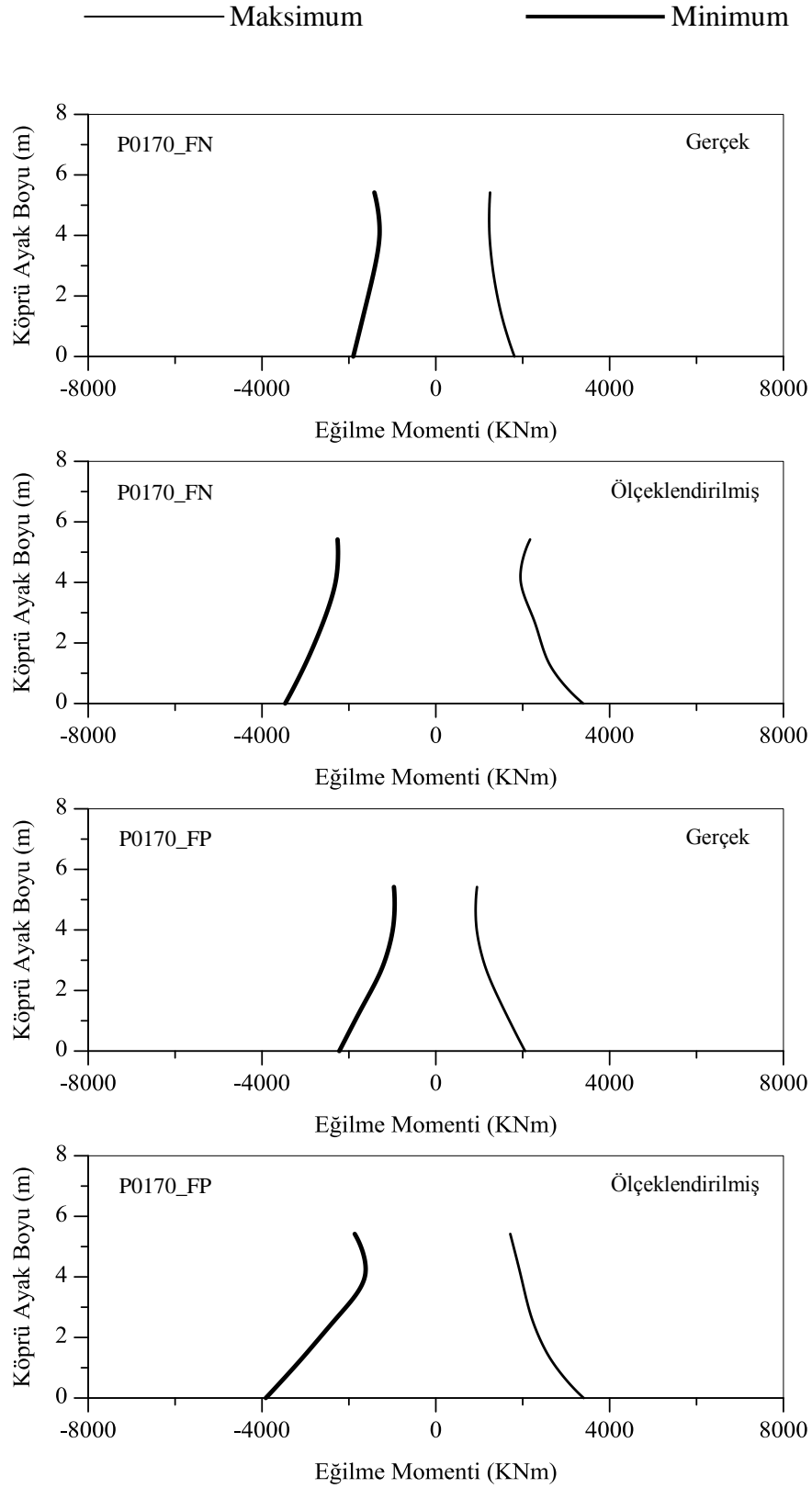
Şekil 4.40. 1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin tabliye boyunca değişimi



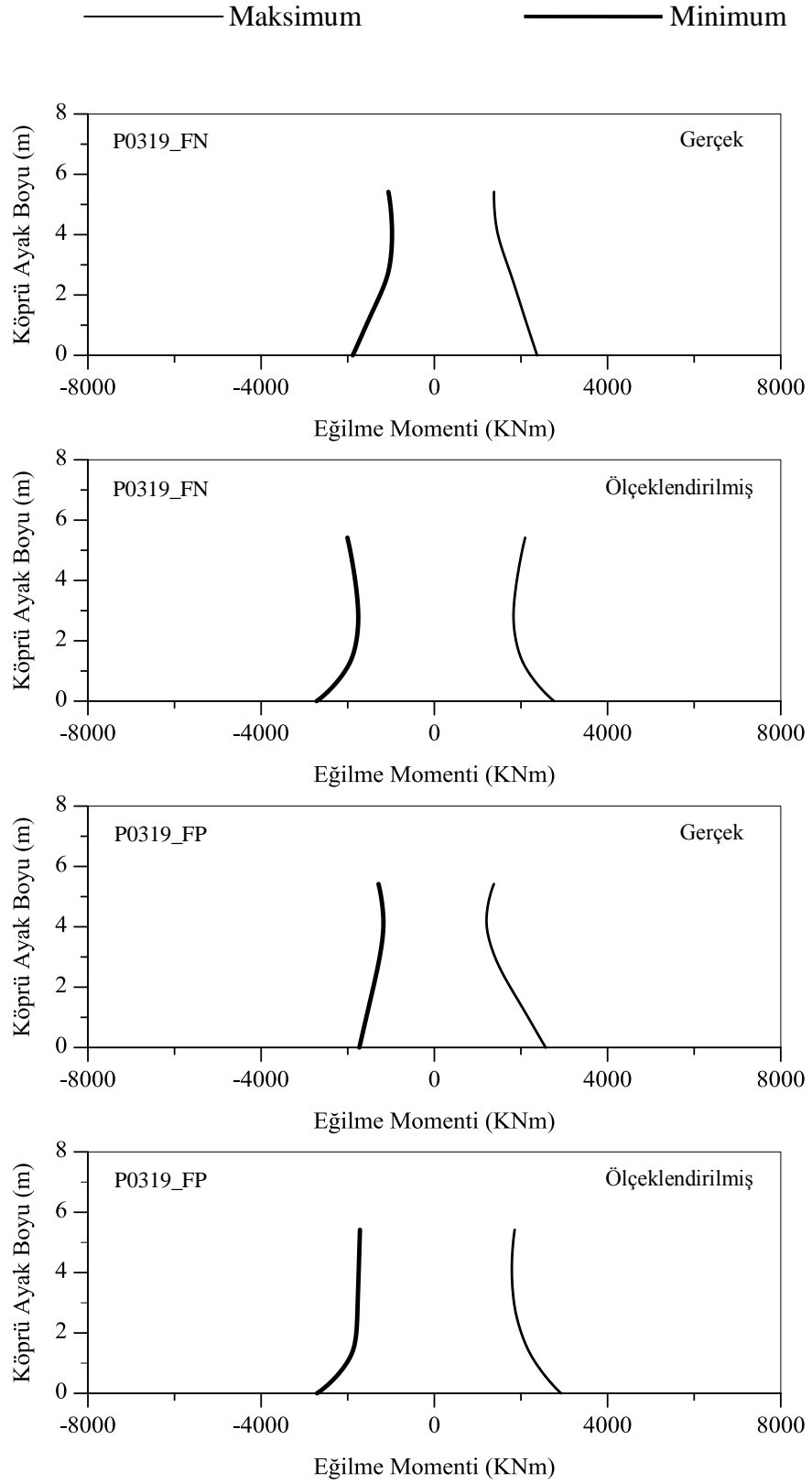
Şekil 4.41. 1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



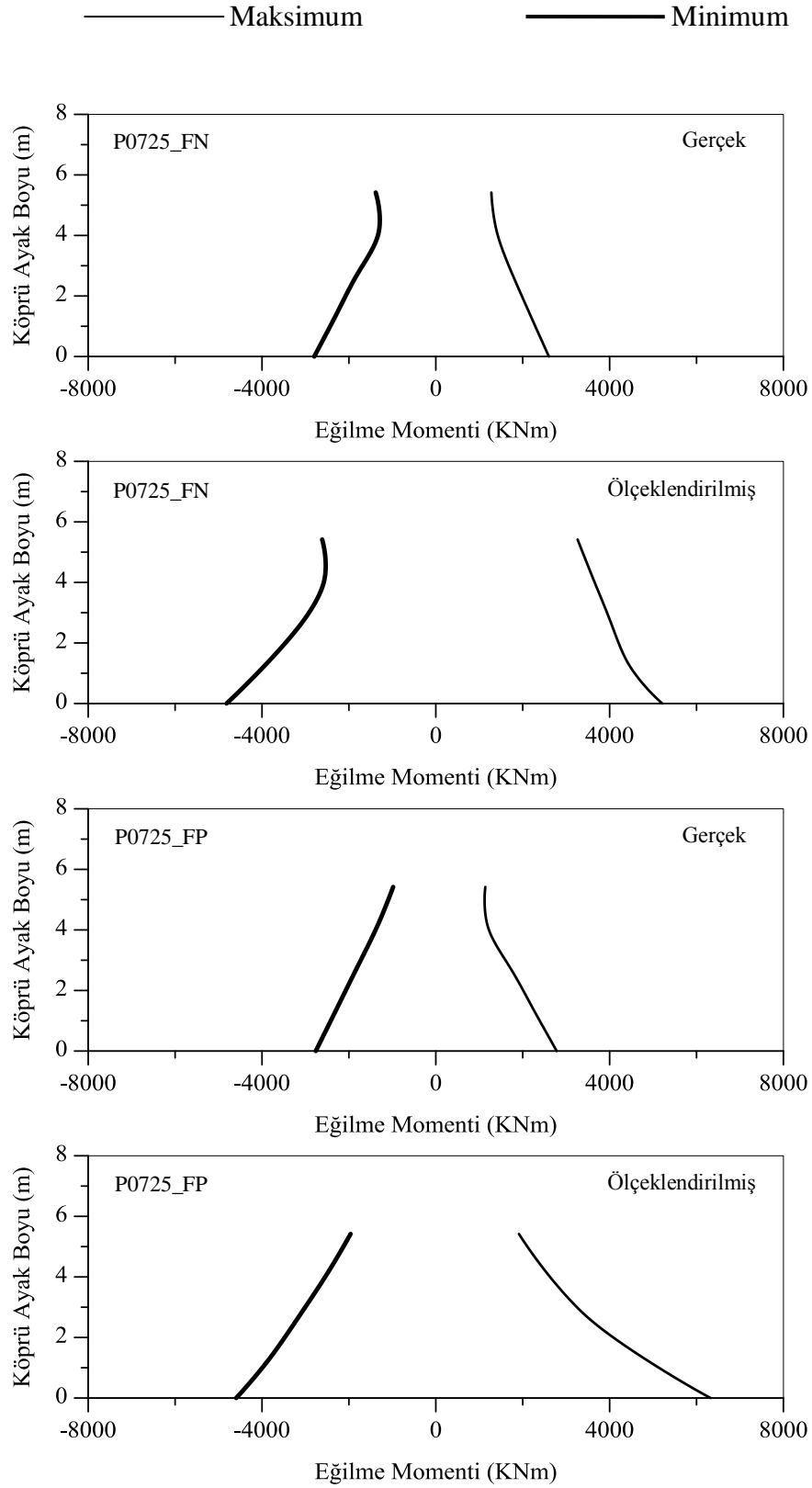
Şekil 4.42. 1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetlerinin tabliye boyunca değişimi



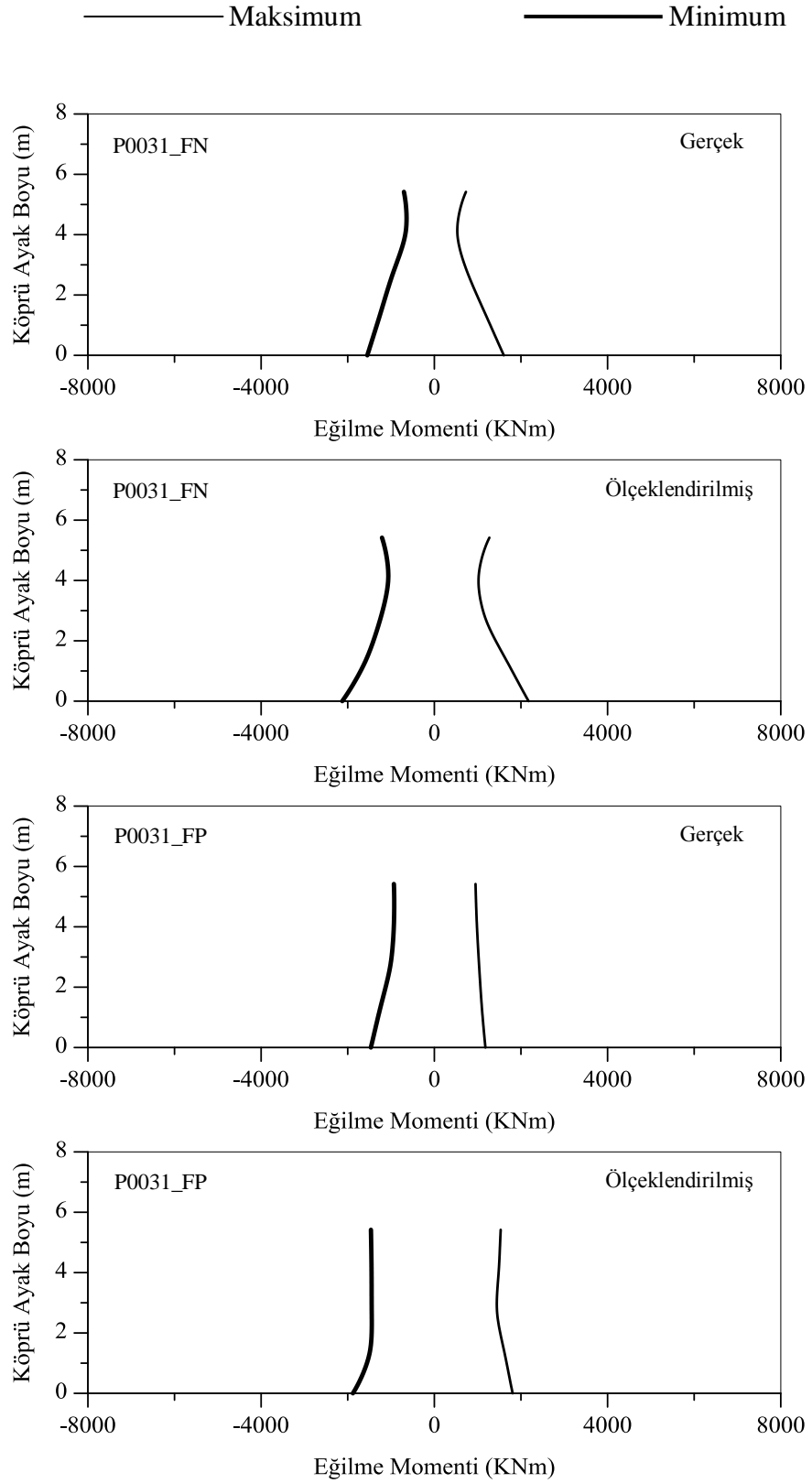
Şekil 4.43. 1979 Imperial Valley, Delta İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi



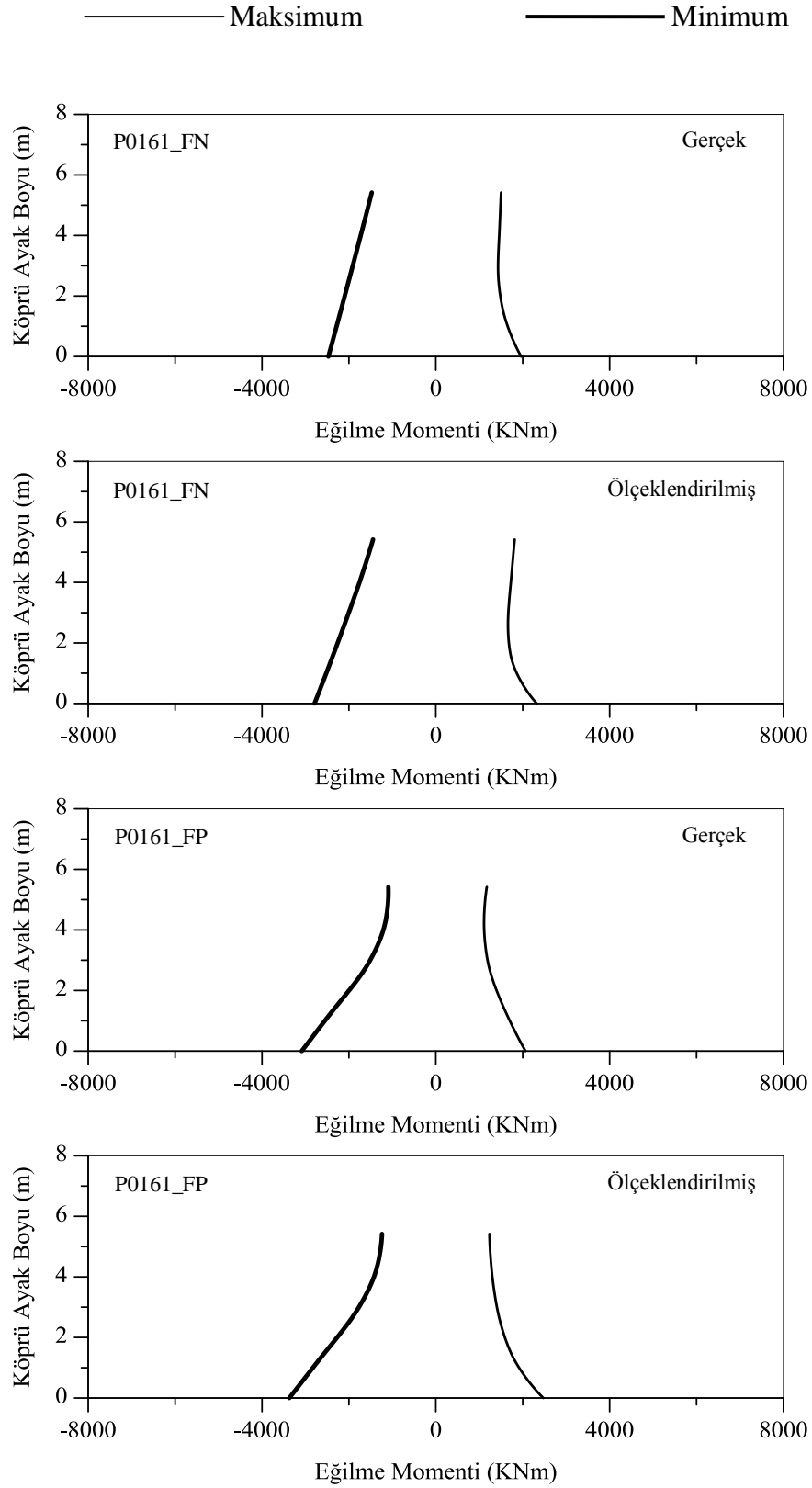
Şekil 4.44. 1981 Westmorland, Westmorland Fire Station İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi



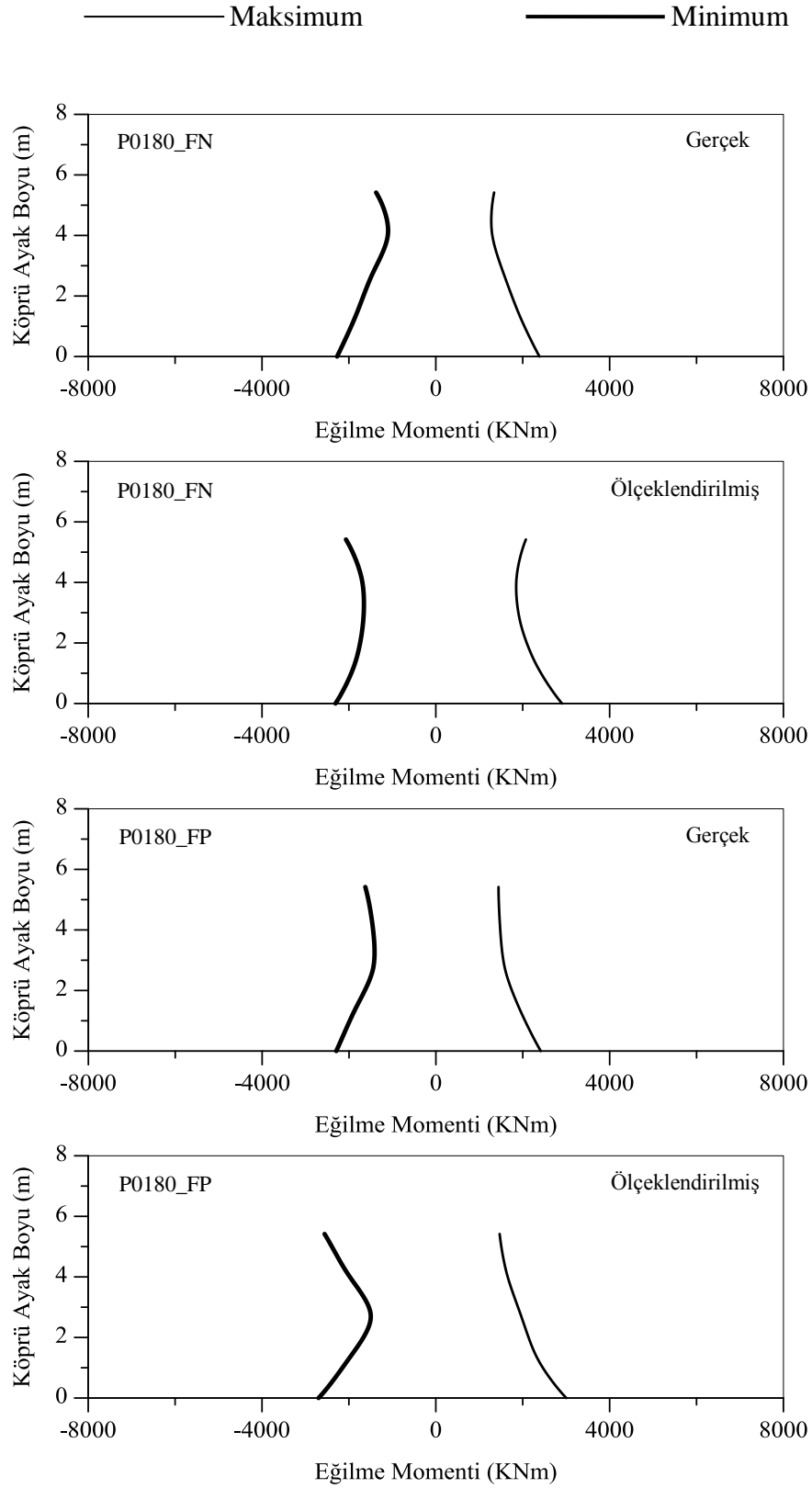
Şekil 4.45. 1987 Superstın Hills(B), El Centro Imp. Co. Cent İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi



Şekil 4.46. 1966 Parkfield Depremi, Cholame #5 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi

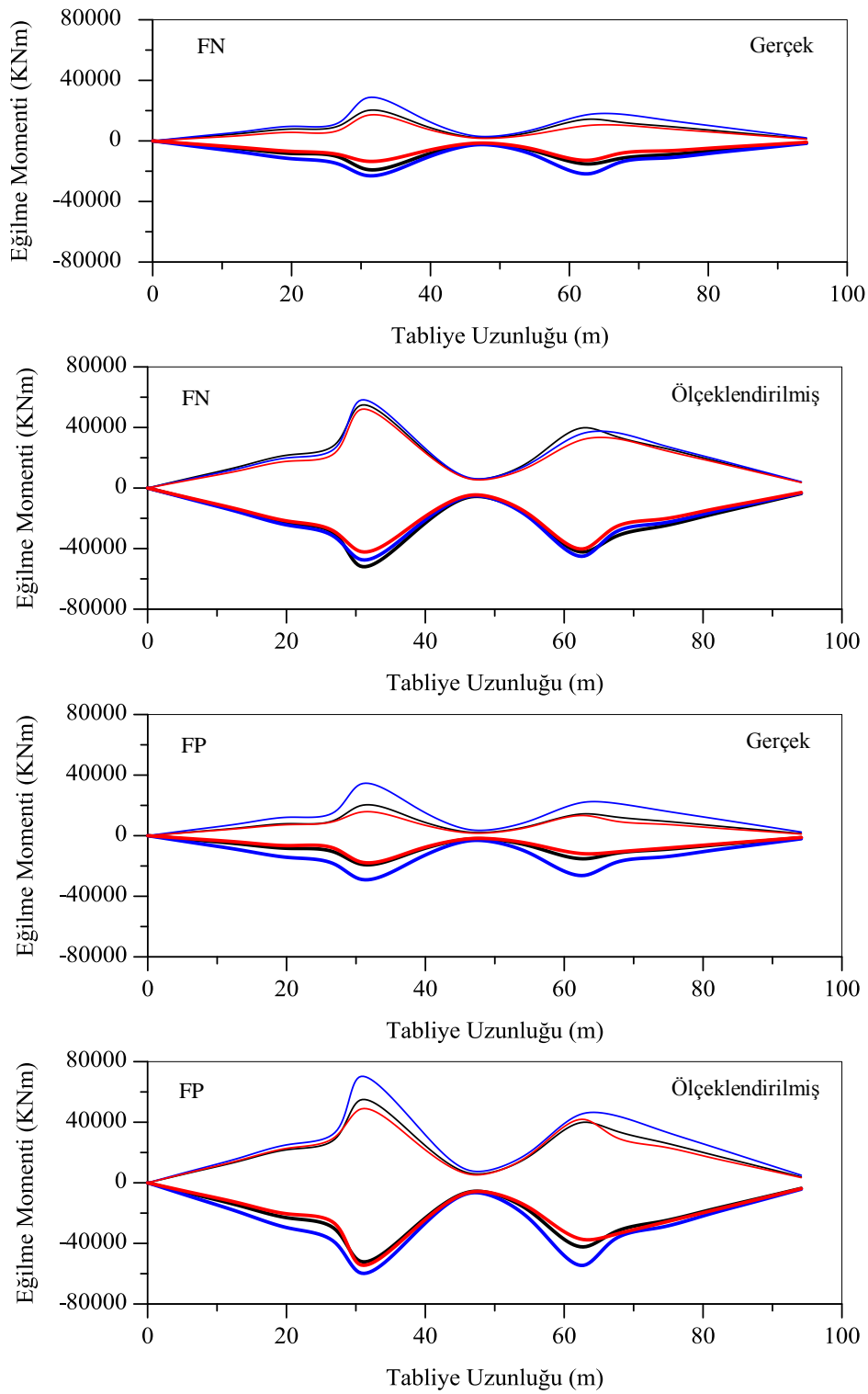


Şekil 4.47. 1979 Imperial Valley Depremi, Bonds Comer İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi



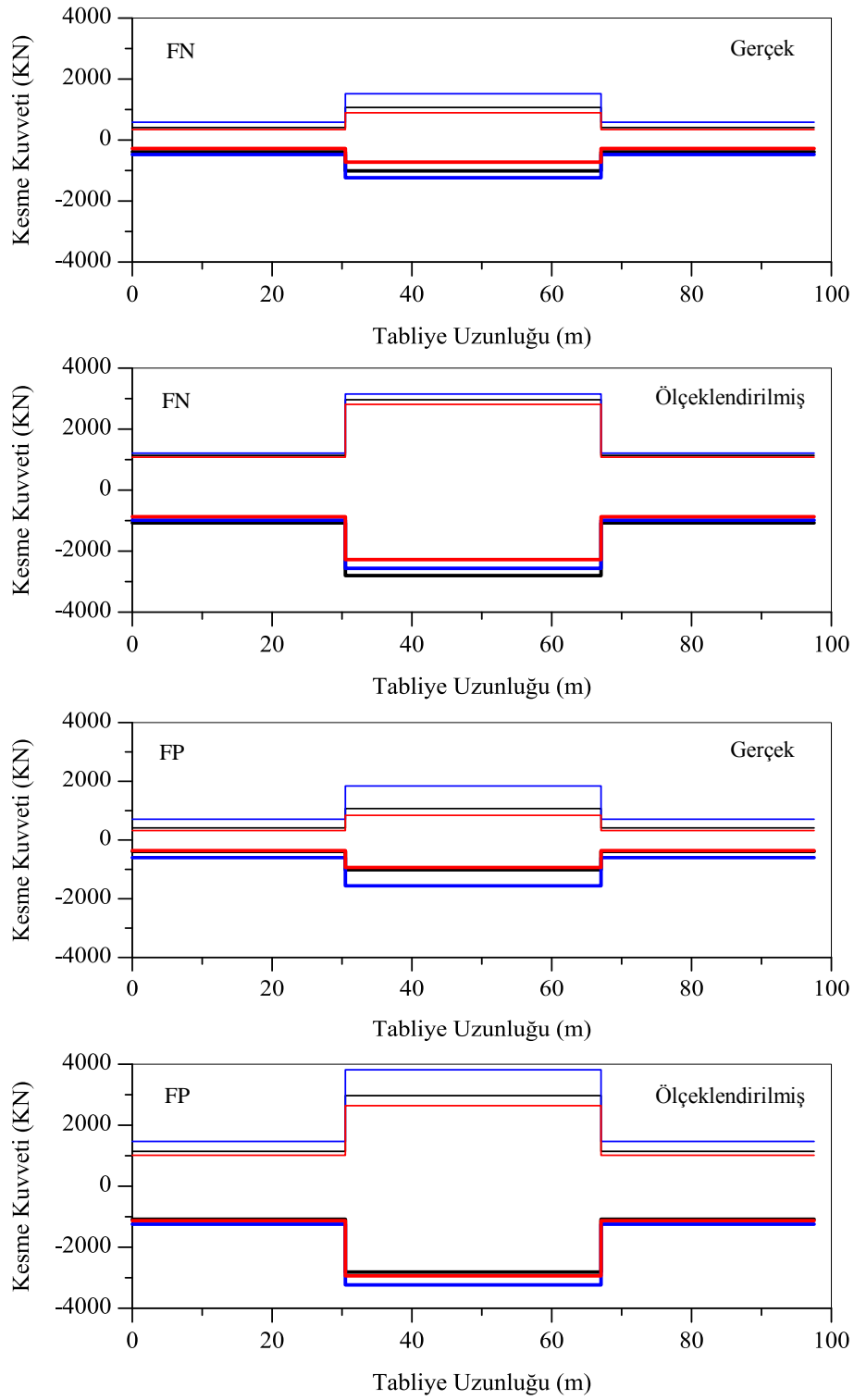
Şekil 4.48. 1979 Imperial Valley Depremi, El Centro Array #8 İstasyon kaydı yer hareketinin iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentlerinin ayak boyunca değişimi

Maksimum → ————— P0170 ————— P0319 ————— P0725
 Minimum → ————— P0170 ————— P0319 ————— P0725



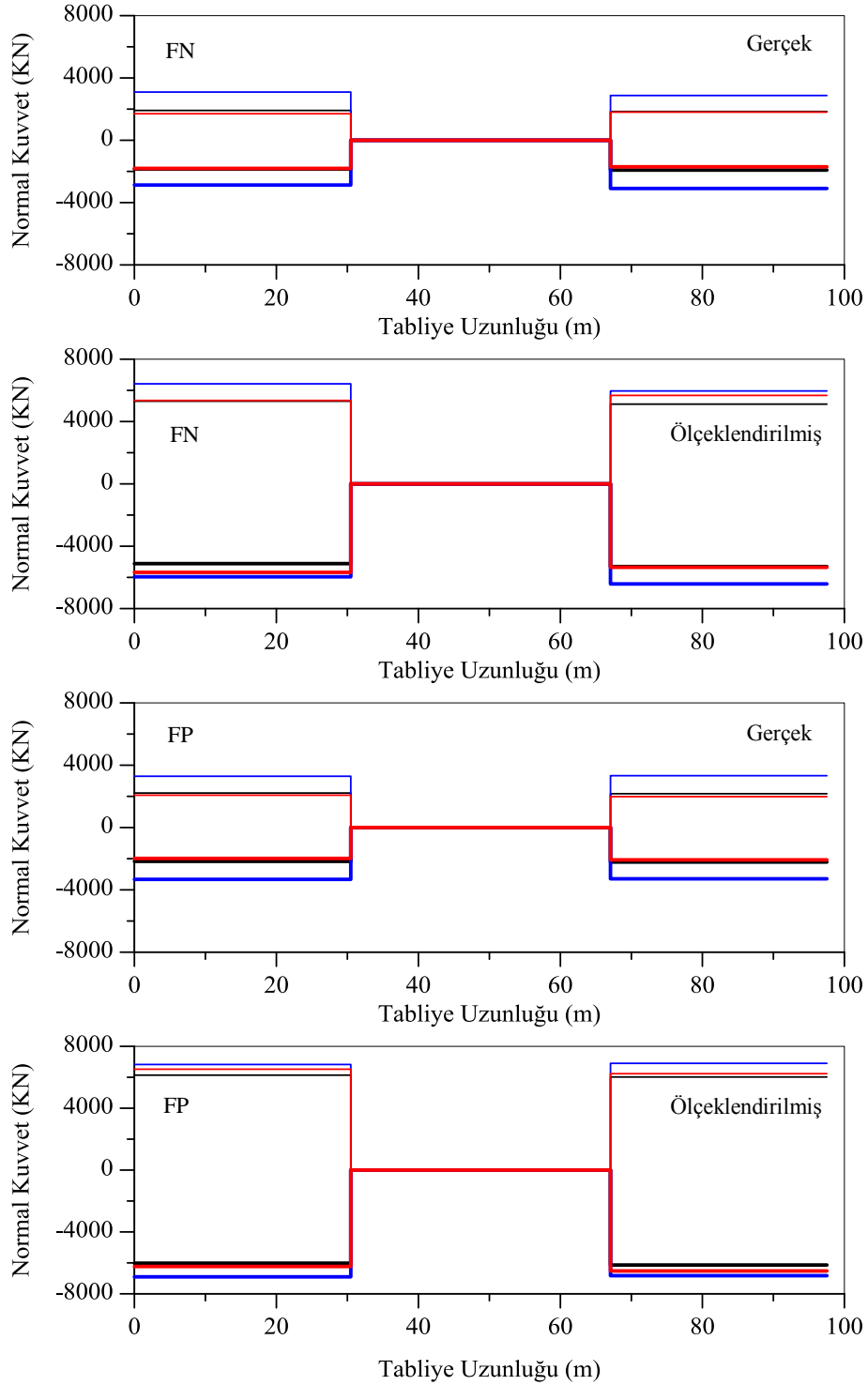
Şekil 4.49. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi

Maksimum → ————— P0170 ————— P0319 ————— P0725
 Minimum → —————



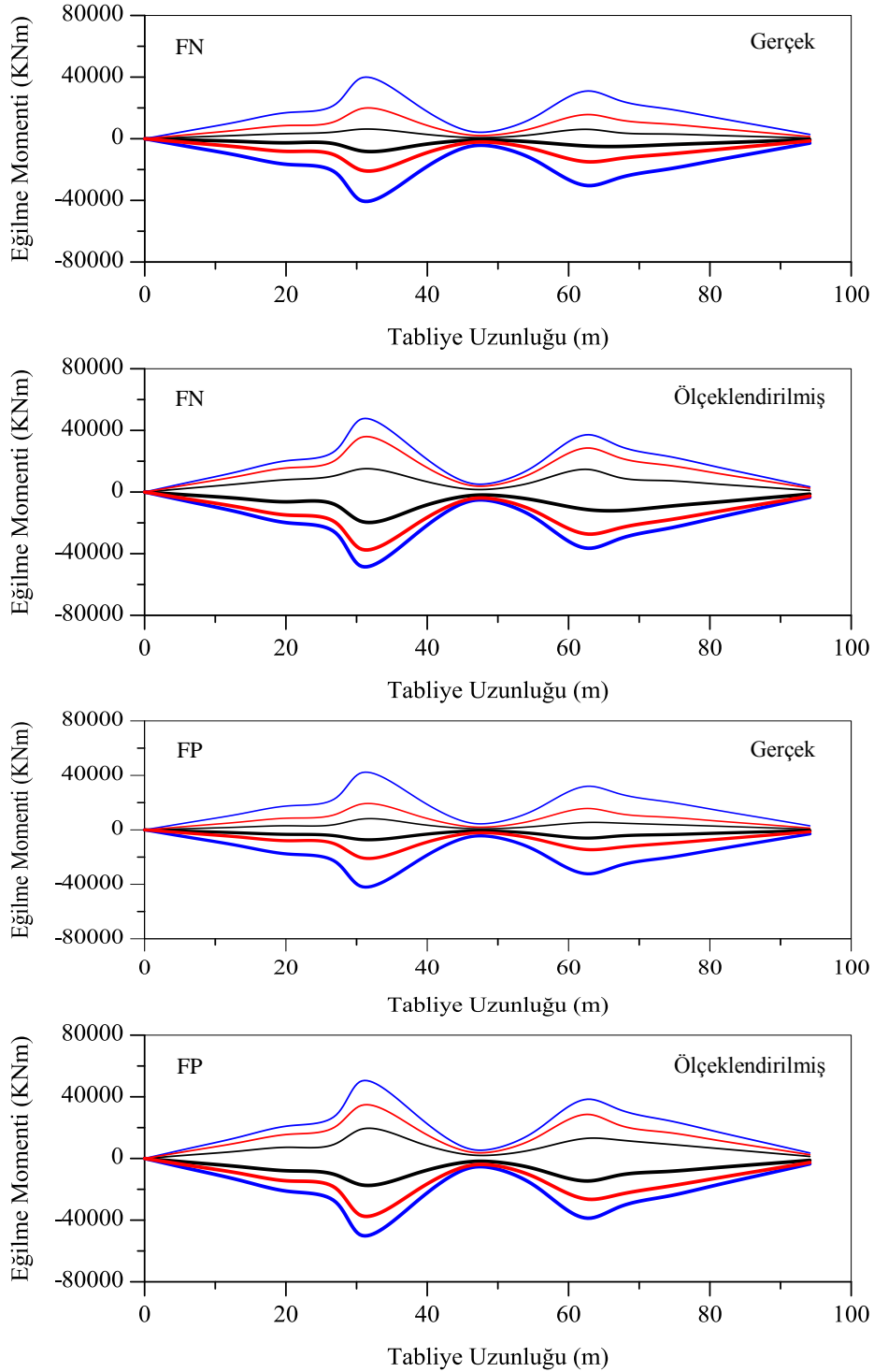
Şekil 4.50. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi

Maksimum → ————— P0170 ————— P0319 ————— P0725
 Minimum → —————



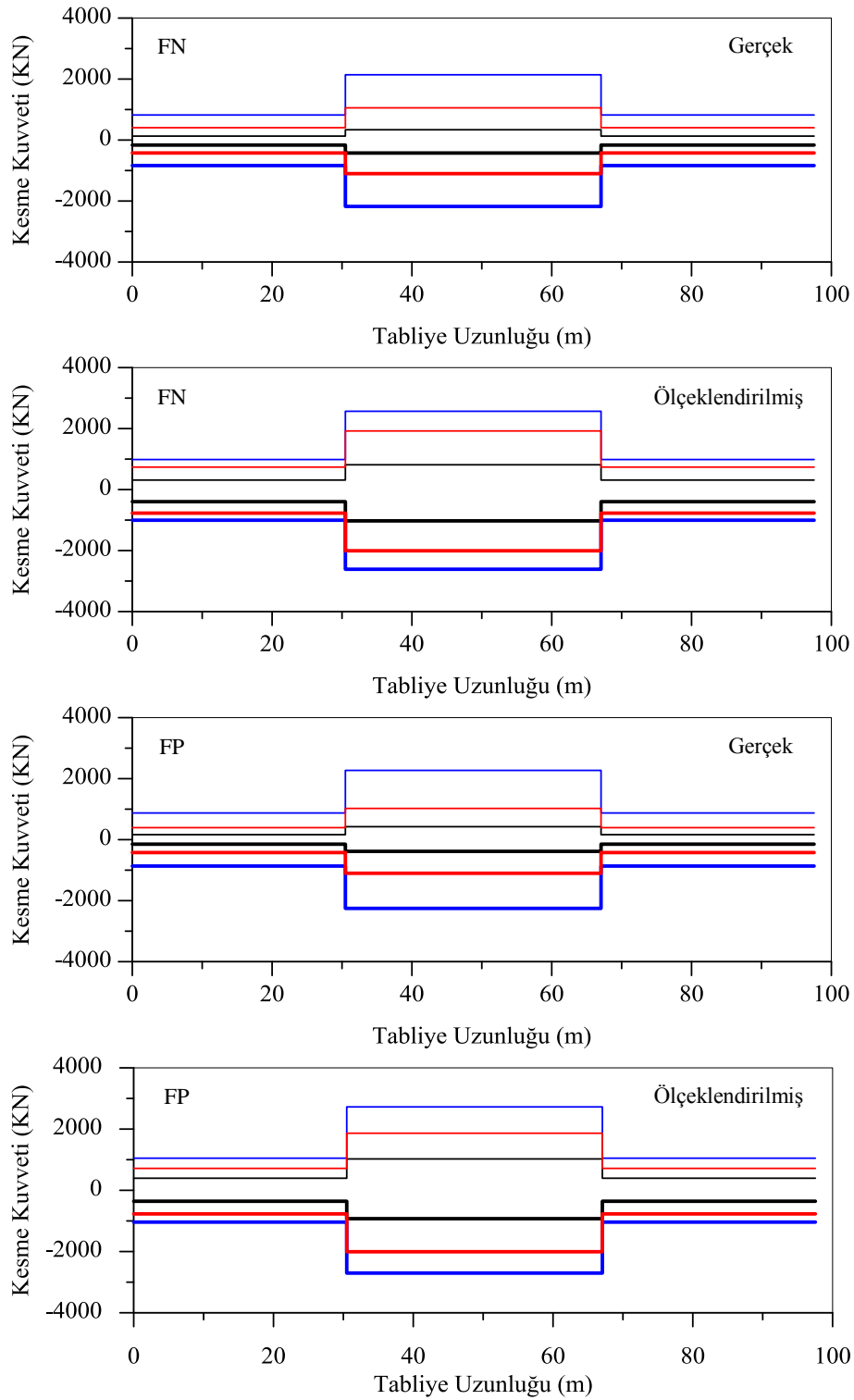
Şekil 4.51. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi

Maksimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180
 Minimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180



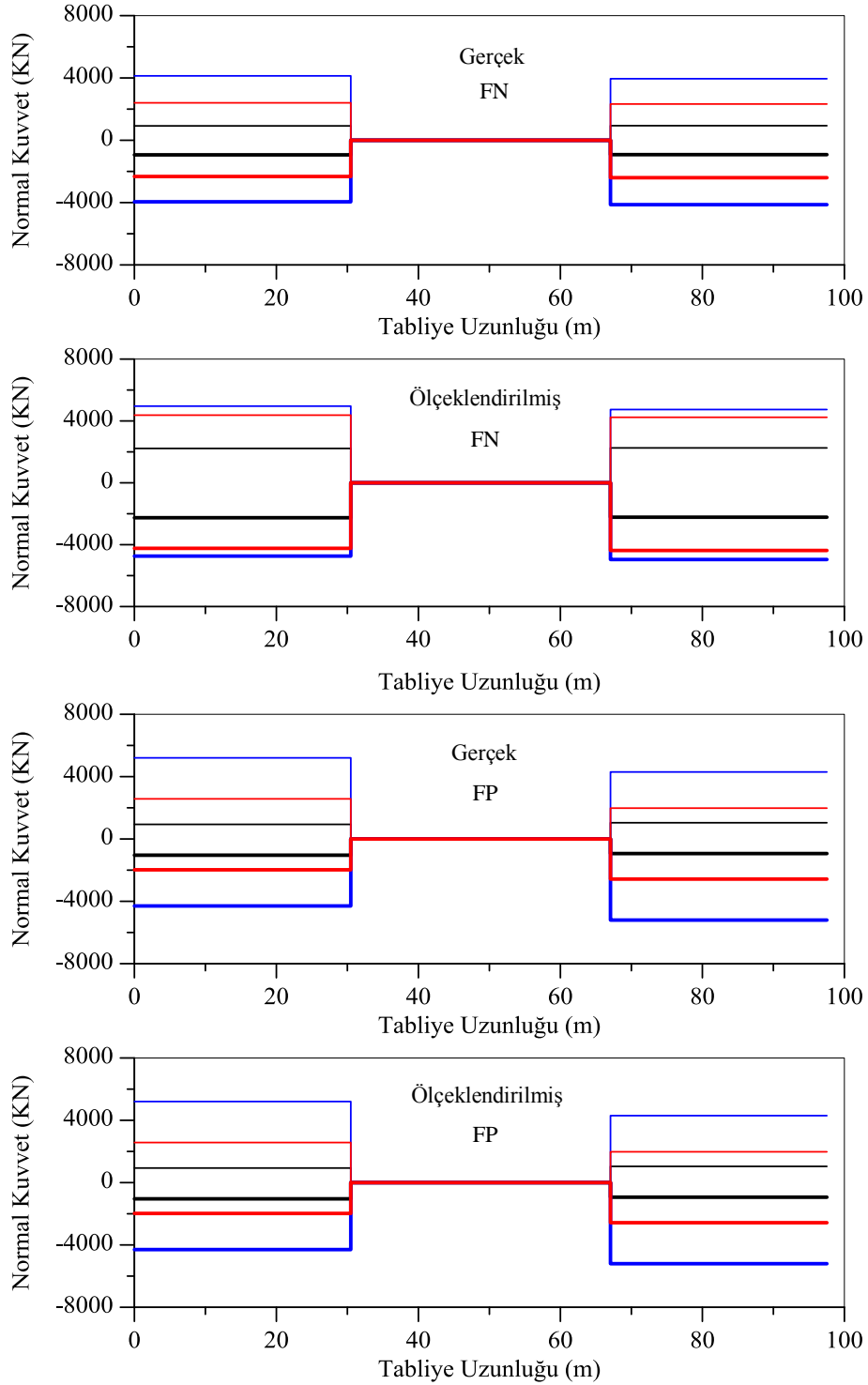
Şekil 4.52. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi

Maksimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180
 Minimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180



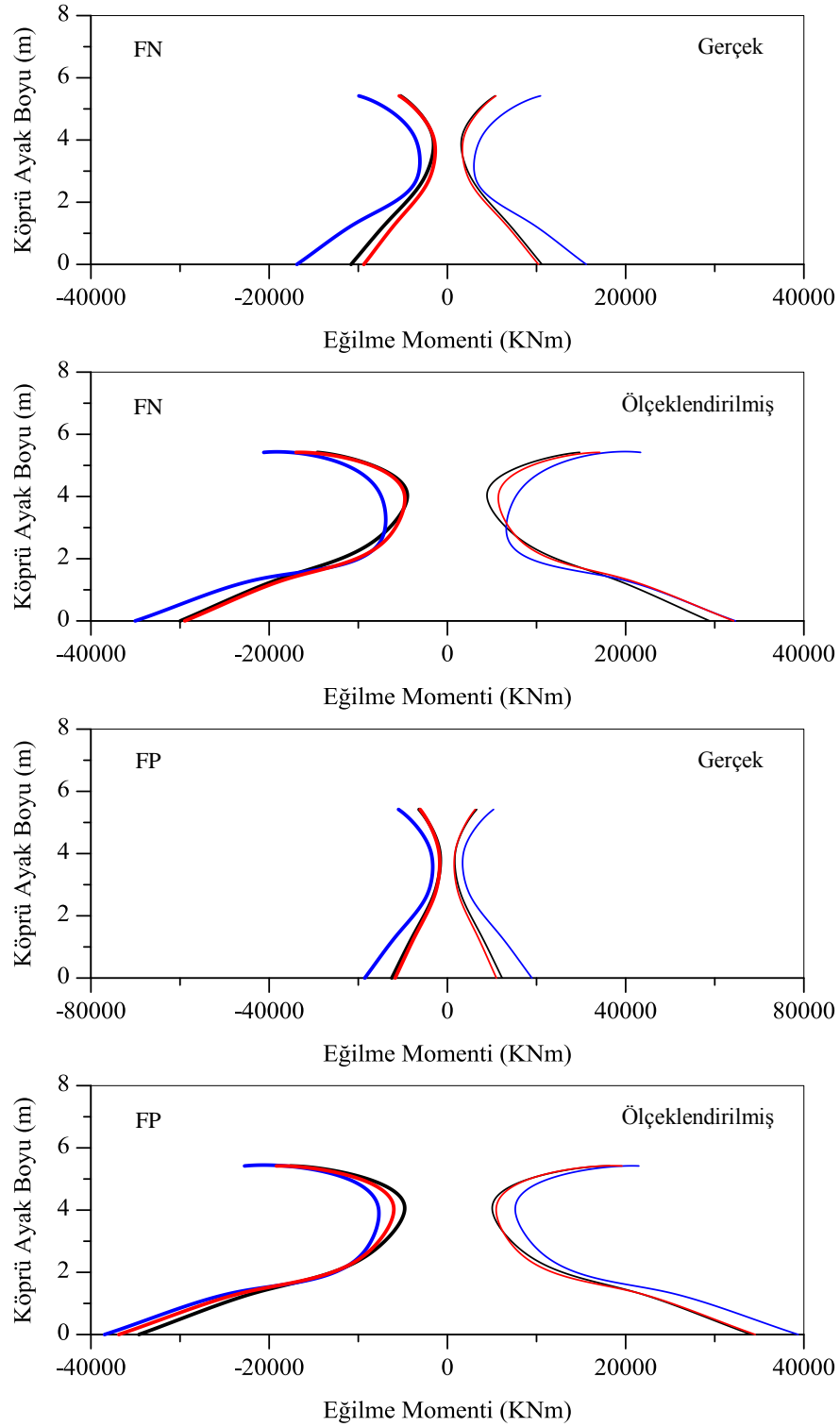
Şekil 4.53. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü kesme kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi

Maksimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180
 Minimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180



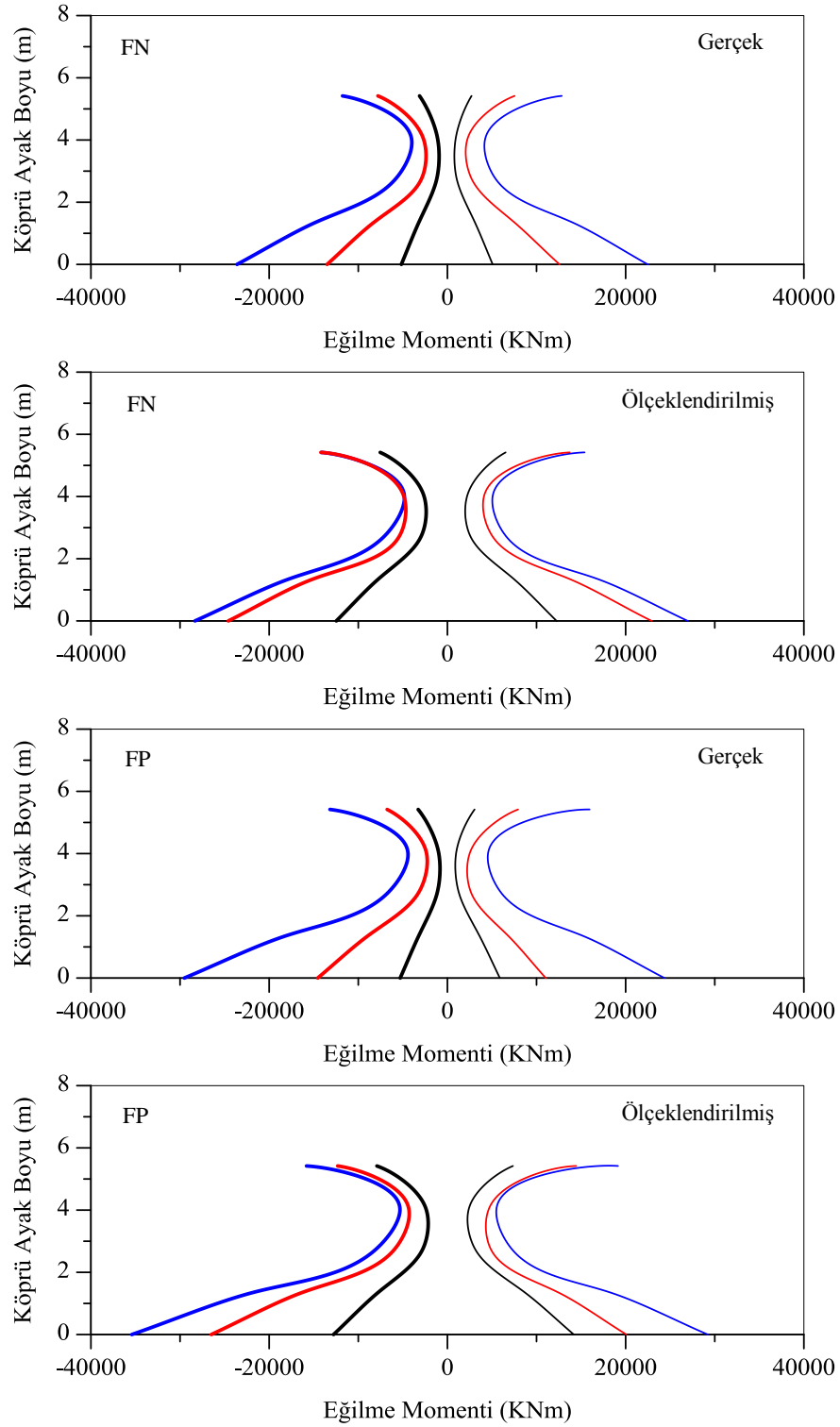
Şekil 4.54. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü normal kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi

Maksimum → ——— P0170 ——— P0319 ——— P0725
 Minimum → ———



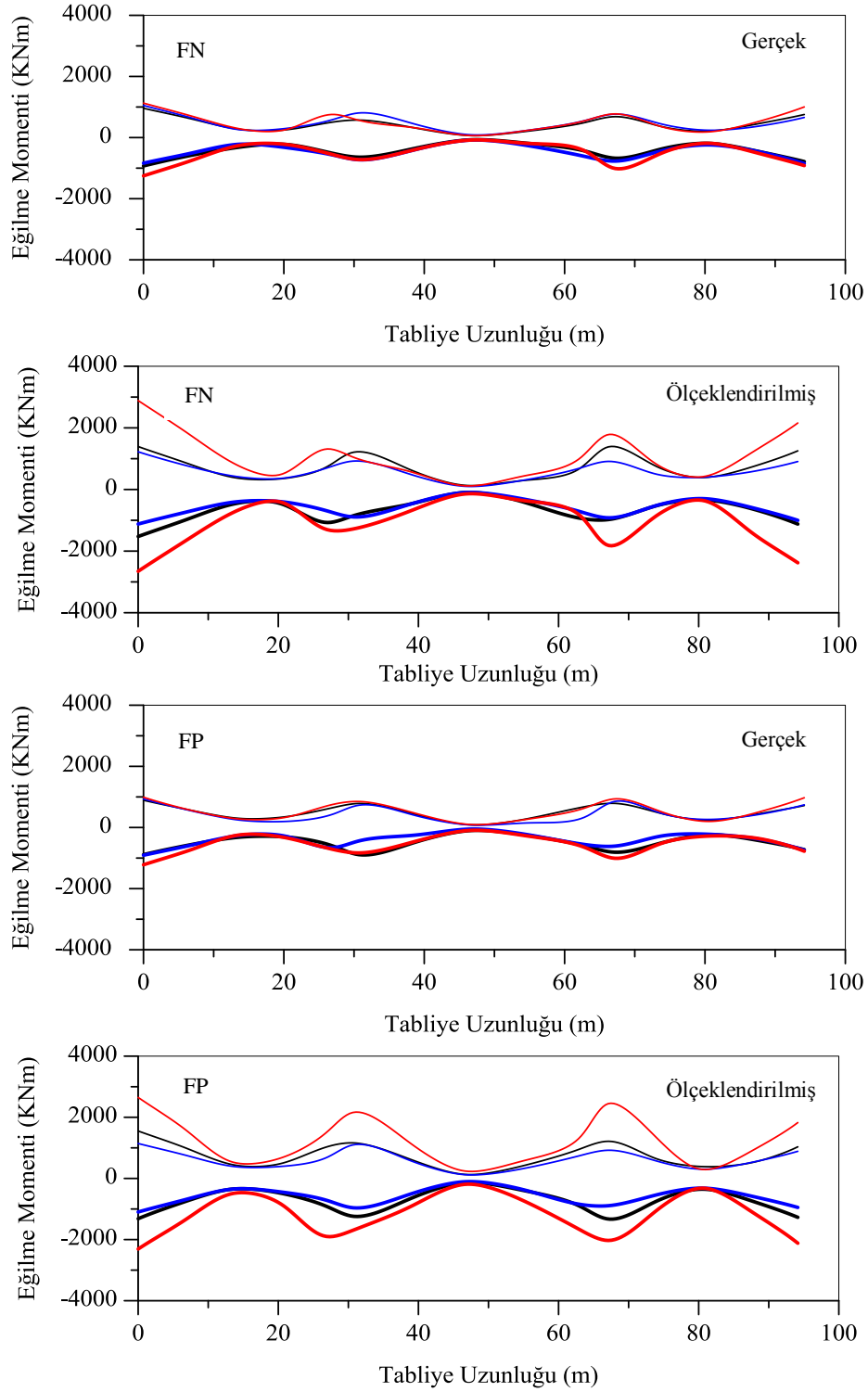
Şekil 4.55. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin ayak boyunca değişimi

Maksimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180
 Minimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180



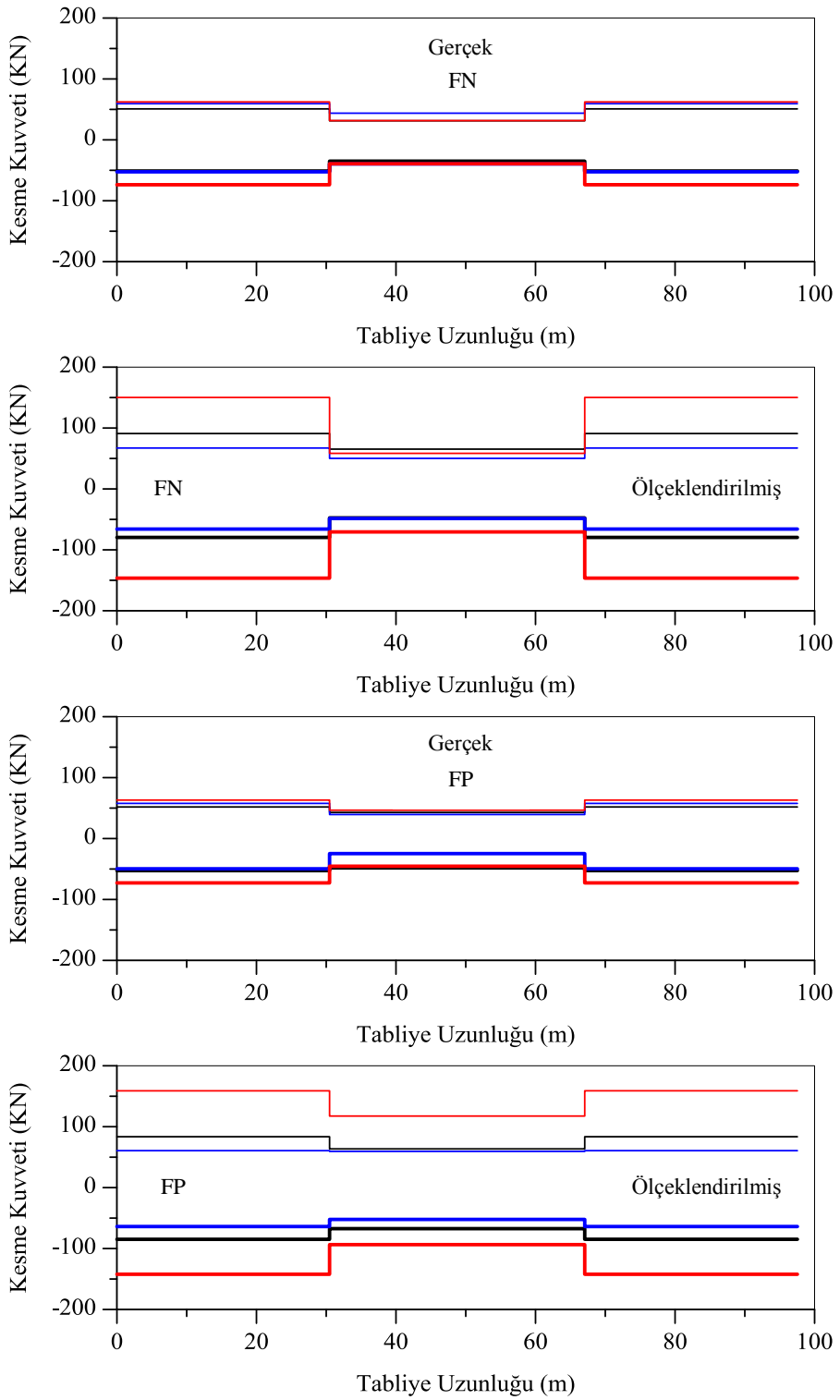
Şekil 4.56. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonsuz köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin ayak boyunca değişimi

Maksimum → ————— P0170 ————— P0319 ————— P0725
 Minimum → ————— P0170 ————— P0319 ————— P0725



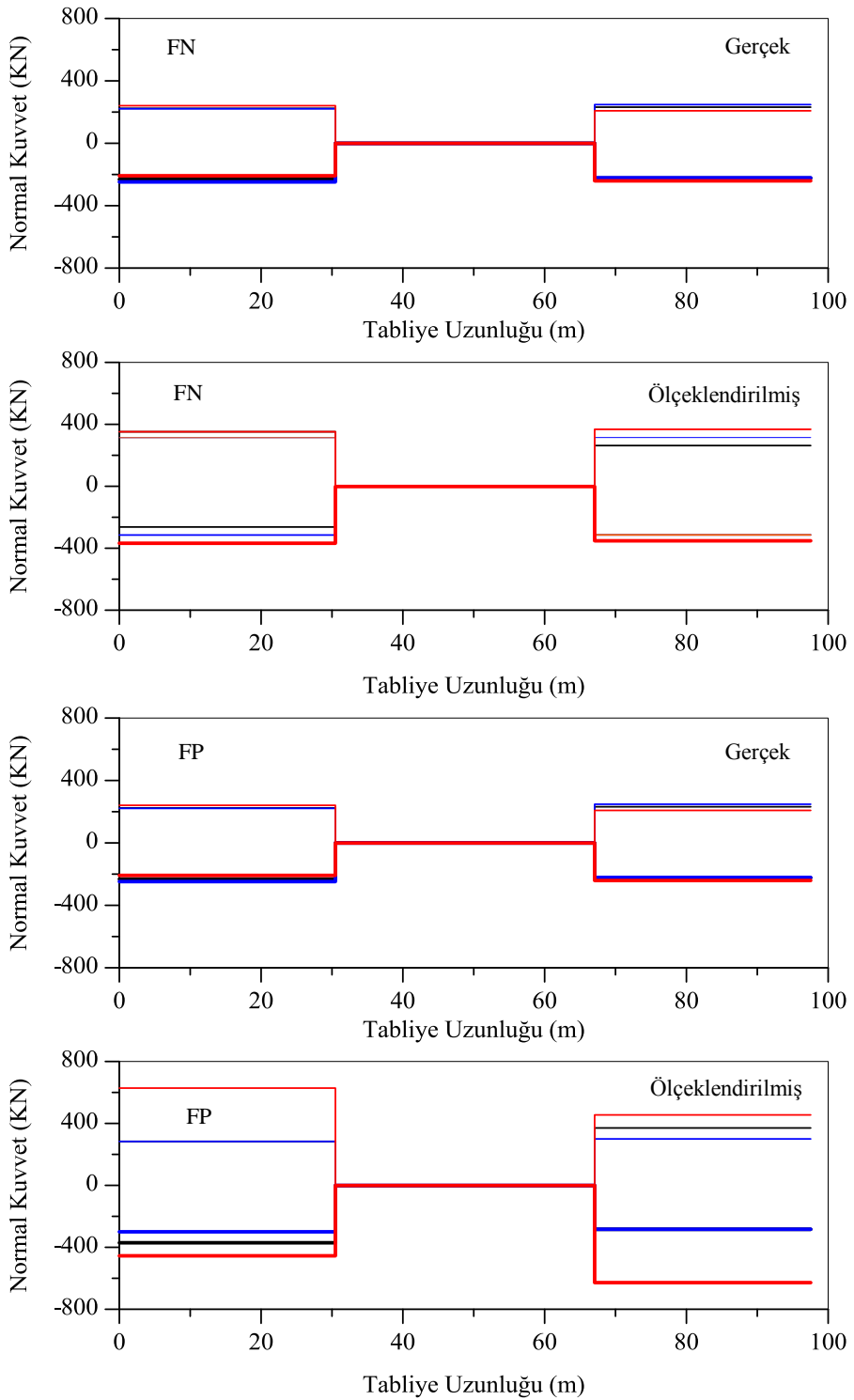
Şekil 4.57. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi

Maksimum → ——— P0170 ——— P0319 ——— P0725
 Minimum → ———



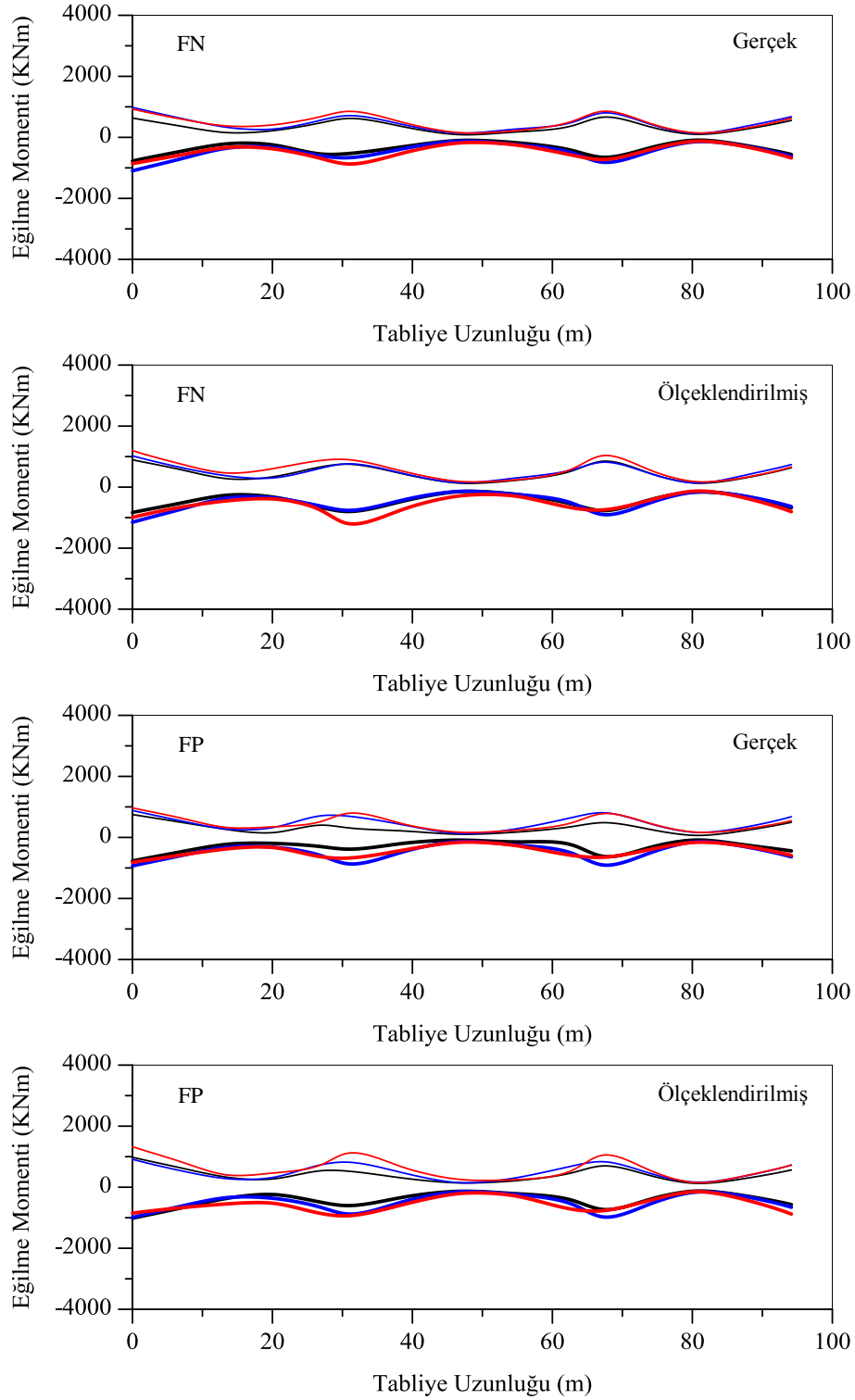
Şekil 4.58. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi

Maksimum → ————— P0170 ————— P0319 ————— P0725
 Minimum → —————



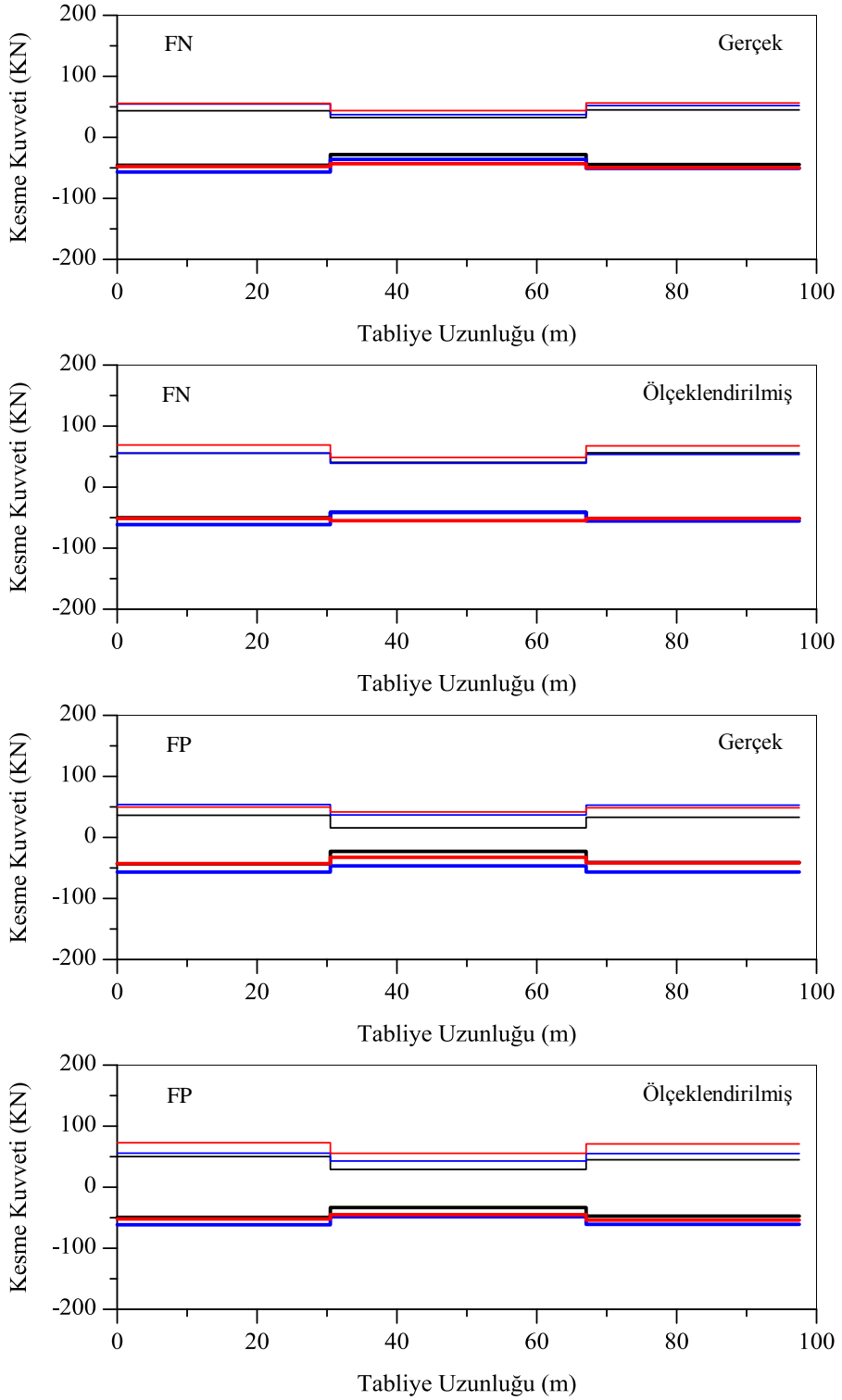
Şekil 4.59. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi

Maksimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180
 Minimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180



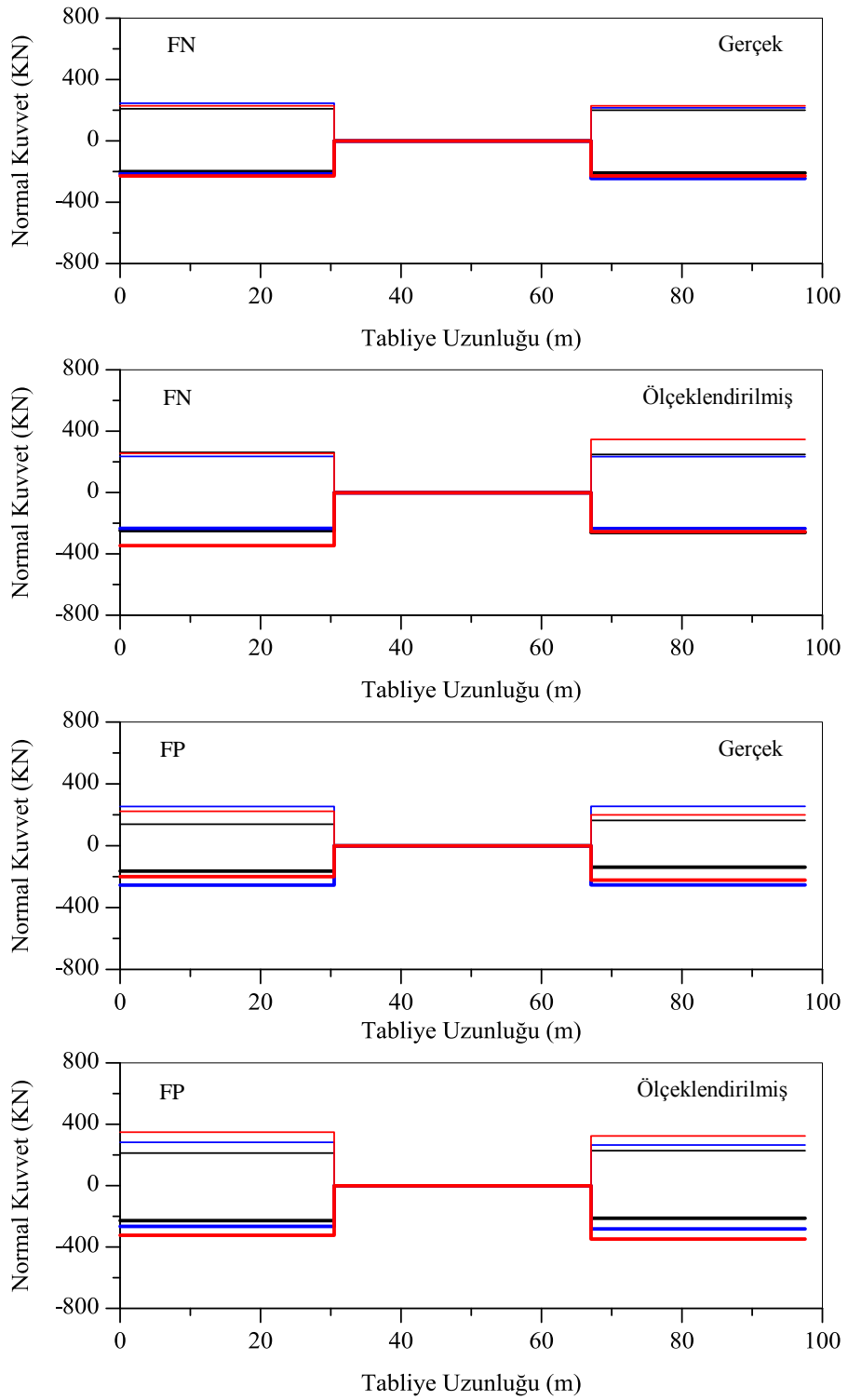
Şekil 4.60. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi

Maksimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180
 Minimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180



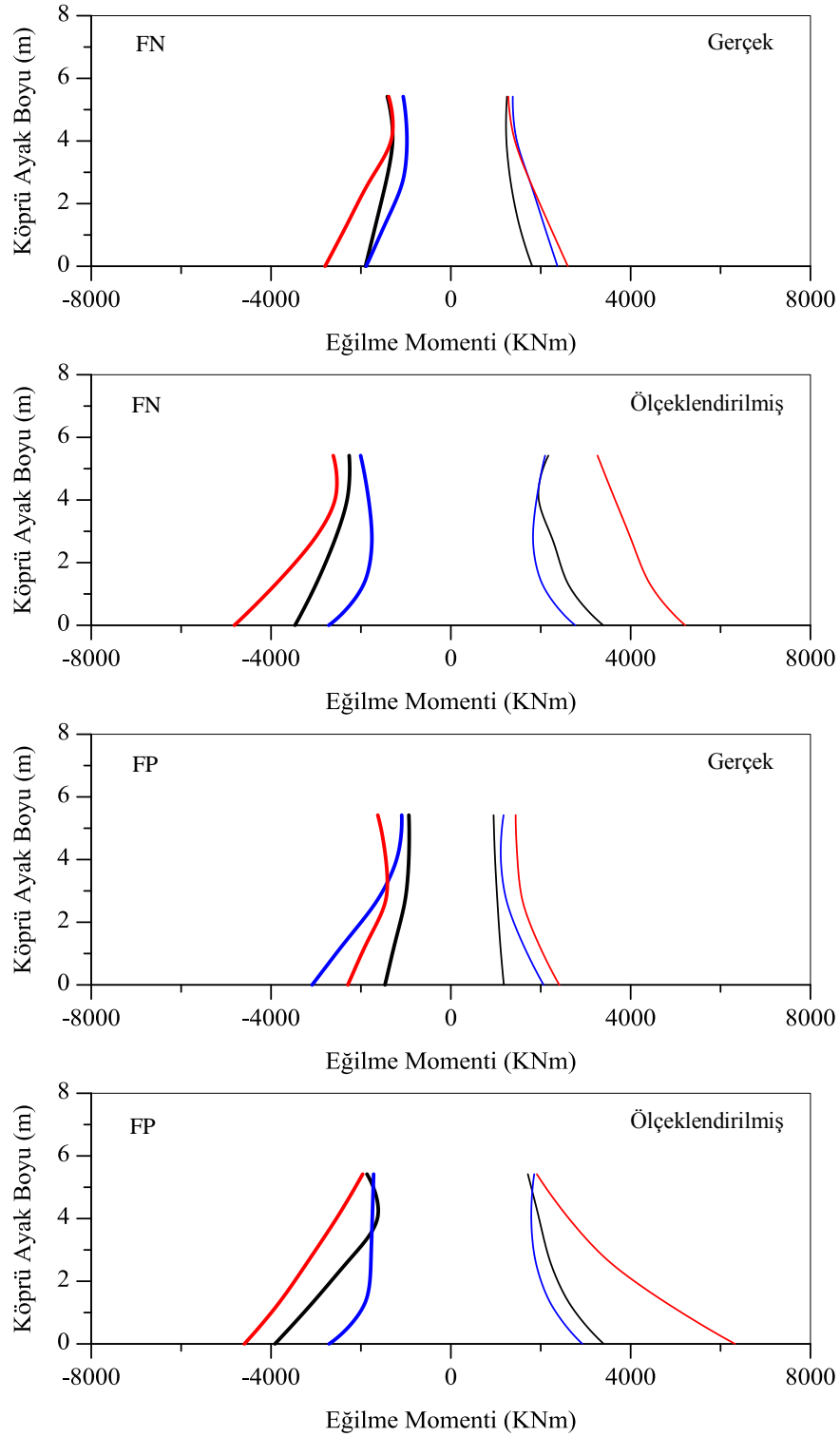
Şekil 4.61. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü kesme kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi

Maksimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180
 Minimum → ——— P0031 ——— P0161 ——— P0180



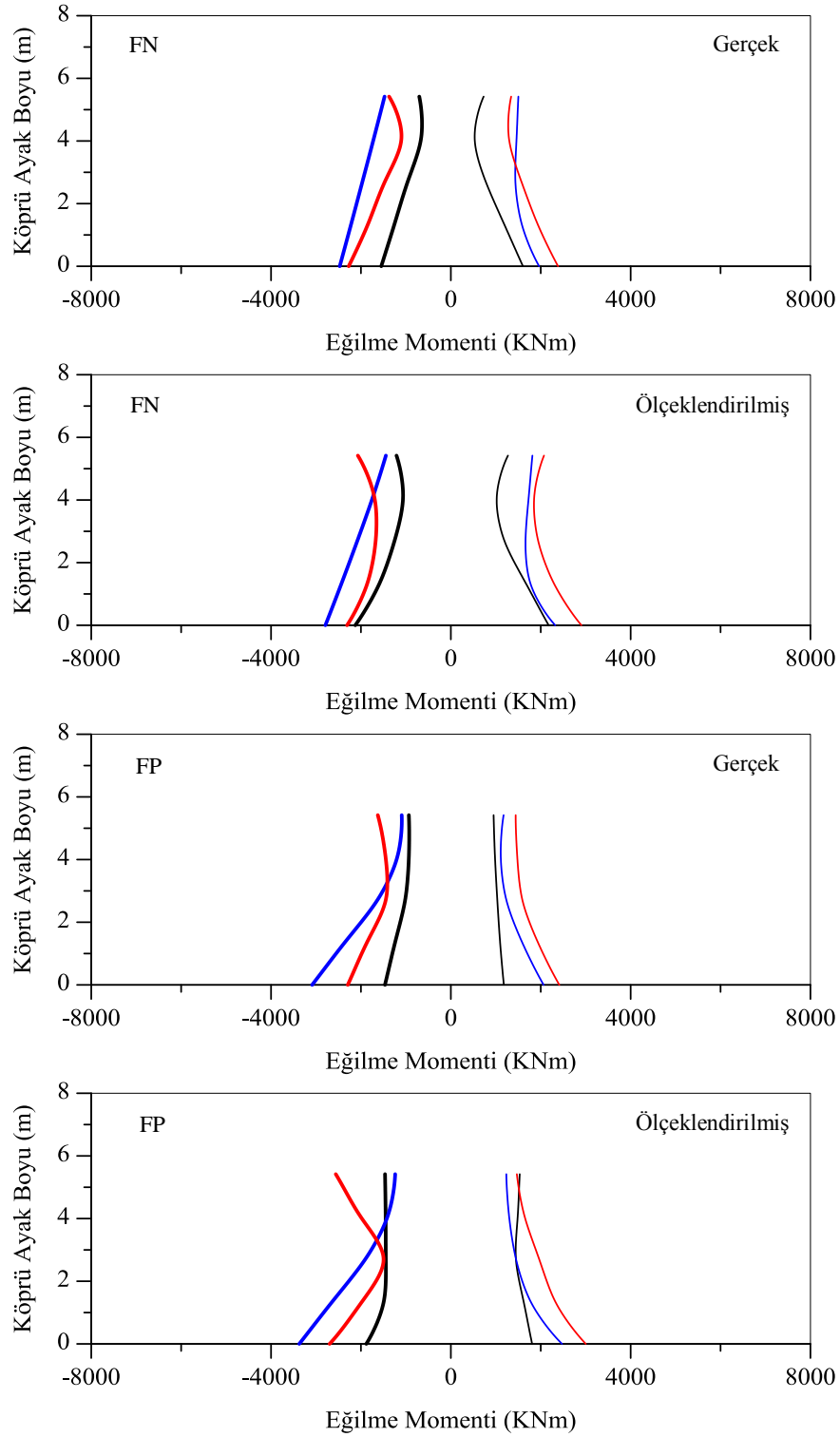
Şekil 4.62. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü normal kuvvetleri sınır değerlerinin tabliye boyunca değişimi

Maksimum → ————— P0170 ————— P0319 ————— P0725
 Minimum → ————— P0170 ————— P0319 ————— P0725



Şekil 4.63. P0170, P0319 ve P0725 Kayıt numaralı uzak fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin ayak boyunca değişimi

Maksimum → ————— P0031 ————— P0161 ————— P0180
 Minimum → —————



Şekil 4.64. P0031, P0161 ve P0180 Kayıt numaralı yakın fay yer hareketlerinin her iki yatay bileşenine maruz izolasyonlu köprü eğilme momentleri sınır değerlerinin ayak boyunca değişimi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tasarım ivme spektrumu ile uyumlu olacak şekilde onar adet uzak fay ve yakın fay yer hareketi kayıtları; büyüklük, faya olan mesafe ve zemin özellikleri dikkate alınarak PEER (Pacific Earthquake Engineering Research Center) veri bankasından seçilmişlerdir. Zaman tanım alanında ölçeklendirme metodu temel alınarak oluşturulan SESCAP programı yardımıyla, seçilen bu gerçek kayıtlar Eurocode 8 yönetmelik tasarım ivme spektrumlarına ölçeklendirilmişlerdir. Ölçeklendirme işlemi sonucunda programdan elde edilen veriler SAP2000 paket programında hem izolasyonlu hem de izolasyonsuz olarak oluşturulan verev köprüünün dinamik analizlerinde kullanılmıştır. Yapılan bu çalışmalar ile aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

Tezin ilk aşamasında, on adet yakın fay yer hareketi ve on adet uzak fay yer hareketi zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi kullanılarak Eurocode 8 yönetmelik tasarım ivme spektrumuna ölçeklendirilmişlerdir. Eurocode 8 yönetmeliğinde yer alan dinamik analizlerde en az üç adet ivme kaydının kullanılması gerekliliği şartının sağlanması için en küçük ölçeklendirme katsayısı ve en küçük oransal göreceli hata değerleri dikkate alınarak üçer adet yakın fay ve uzak fay yer hareket kayıtları analizlerde kullanılmak üzere seçilmişlerdir. Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'de SESCAP programından elde edilen ölçeklendirme parametreleri incelendiklerinde, tasarım ivme spektrumu ile en iyi uyumu gösteren yakın fay yer hareketlerinin; Parkfield, Cholame#5 istasyon kaydı, Imperial Valley, Bons Comer istasyon kaydı ve Imperial Valley, El Centro Array#8 istasyon kaydı depremlerinin, uzak fay yer hareketlerinin ise; Imperial Valley, Delta istasyon kaydı, Westmorland, Westmorland Fire istasyon kaydı ve Superstin Hills(B), El Centro Imp. Co. Cent istasyon kaydı depremlerinin olduğu görülmektedir. Bu kayıtlara ait ölçeklendirme katsayısı ve oransal göreceli hata gibi ölçeklendirme parametrelerinin diğer kayıtlara göre daha küçük olma nedeni, bu kayıtlara ait ivme davranış spektrumları ile tasarım ivme spektrumu arasındaki genlik farkının küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Bu farkın küçük olması, bu kayıtların tasarım ivme spektrumu ile iyi bir uyum içinde olduklarını ve analizlerde kullanılmaları gerekliliğini göstermektedir.

Tezin ikinci aşamasında, ölçeklendirme programından elde edilen uygun kayıtlar SAP2000 programında hem izolasyonlu hem de izolasyonsuz olarak modellenen verev köprüünün dinamik analizlerinde kullanılmıştır. Dinamik analizler sonucunda hem

izolasyonsuz hem de izolasyonlu köprü tabliyesi boyunca oluşan eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri yer hareketinin ölçeklendirilmiş ya da gerçek olması durumlarına göre karşılaştırmalı bir şekilde grafikler yardımıyla sunulmuştur. Tabliye boyunca oluşan eğilme momenti değerleri mesnetlerde en büyük değerlerine ulaşmıştır. Kesme kuvveti değerleri ise tabliye orta açıklığında en büyük değerlerini alırken, normal kuvvet değerleri orta açıklıkta minimum kenar açıklıklarda ise maksimum değerlere ulaşmıştır. Aynı şekilde köprü ayağı boyunca oluşan eğilme momenti değerleri yer hareketinin hem ölçeklendirilmiş hem de gerçek olması durumlarına göre karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir. Moment değerleri köprü ayağının en alt kısmında en büyük değerlerine ulaşırken, köprü ayağı orta kısmında en küçük değerlerine ulaşmıştır. Köprü ayağı uç kısmında ise bu değerlerde tekrar bir artış gözlemlenmiştir.

Sismik yapı yalıtımı, yapıların deprem etkilerinden korunması amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir. Sistemin amacı, bir yapıyı etkileyen deprem yüklerinin azaltılmasıdır. Sismik yalıtım yapının depreme dayanma kapasitesini arttırmak yerine, binaya gelen sismik enerjiyi binaların periyodunu uzatarak azaltma esasına dayanan depreme dayanıklı bir yaklaşımdır. Bu çalışmada izolasyonlu köprü tabliyesi ve ayağına ait kesit etkisi değerlerinin izolasyonsuz köprüye kıyasla daha küçük değerde olması, yapıya yerleştirilen izolatörlerin yapıya etkileyen deprem yüklerinin azaltılmasında etkili olduğunu göstermektedir.

Eurocode 8 yönetmeliğinde yer alan, dinamik analizlerde yediden daha az yer hareketinin kullanılması durumunda tasarımda analiz sonuçlarının maksimum değerleri dikkate alınmalıdır, şartının geçerliliğini göstermek amacıyla dinamik analizler sonucunda izolasyonsuz ve izolasyonlu köprü tabliyesi ve köprü ayağı boyunca meydana gelen kesit etkileri yer hareketinin ölçeklendirilmiş ya da gerçek olma durumlarına göre tek bir grafikte gösterilmiştir. Böylece köprü tabliyesinin ve köprü ayağının deprem tasarımlarında dikkate alınması gereken maksimum kesit etkileri kolaylıkla elde edilebilmektedir.

Yakın fay yer hareketleri, yüksek hızlı darbe içeren büyük kinetik enerji girişi ile yapıyı karşı karşıya bırakan hareket olarak, yapılar üzerinde uzak fay yer hareketlerine göre çok daha büyük yapısal davranışlara ve taleplere neden olmaktadır. Dinamik analizler sonucunda elde edilen grafikler incelendiğinde, yakın fay yer hareketleri köprü tabliyesi ve ayağı boyunca uzak fay yer hareketlerine göre daha büyük kesit etkileri oluşturmaktadır. Ancak, deprem mühendisliği açısından bu kadar önemli olmasına rağmen, yakın fay yer

hareketleri ile alakalı yönetmeliklerde yeterince bilgi yoktur. Oysaki yakın fay etkisinin yönetmeliklerde yer alması, faya yakın bölgelerde büyük can ve mal kayıplarını önleyeceği gibi deprem sonrasında çıkabilecek büyük sorunları da azaltacaktır.

Herhangi bir yapının dinamik analizini gerçekleştirirken tek bir deprem kaydının kullanılması durumunda yapısal davranışın, o bölgenin deprem karakteristiğini değil sadece tek bir yer hareketinin etkilerini yansıtmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, daha gerçekçi ve daha doğru sonuçların elde edilebilmesi için en az üç adet deprem kaydının dinamik analizlerde kullanılması gerekliliğini ifade etmektedir. Bununla birlikte, yer hareketi etkisi altında elde edilen sonuçların birbirleriyle karşılaştırılabilmesi, yönetmelik tasarım ivme spektrumu ile karşılaştırılabilmesi ve dinamik analizlerde yol gösterici olabilmeleri için ölçeklendirilmeleri gerekliliği görülmektedir. Bu şekilde yer hareketleri arasındaki genlik farklılıklarının azaltılmasıyla yapısal davranış üzerinde oluşturdukları etki farklılıkları minimize edilebilmektedir.

Hem gerçek yer hareketlerini kullanması hem de yapıların lineer olmayan davranışlarını dikkate alması nedeniyle, zaman tanım alanında analiz yöntemi en kesin ve gerçeğe en yakın sonuçları veren analiz yöntemidir. Bu analizlerin gerçekleştirilmesinde çok önemli bir yeri olan deprem kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirilmesi konusu malasef yönetmeliklerde yeterli oranda yer almamaktadır. Bu konu hakkında deprem yönetmeliklerinde yeterli miktarda bilgi ve öneri olması, araştırmacılara yol gösterici olacağından bu konu hakkında daha çok gelişmenin kaydedilmesine neden olacaktır. Bu konu ile ilgili bilinmeyenlerin açığa çıkmasıyla deprem mühendisliğinde gelişmelerin önü açılacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Agrawal, A.K. ve He, W.-L., 2002. A Closed-Form Approximation of Near-Fault Ground Motion Pulses for Flexible Structures, 15th ASCE Engineering Mechanics Conference, June, Columbia University, New York, NY.
- Alavi, B. ve Krawinkler, H., 2000. Consideration of Near-Fault Ground Motion Effects in Seismic Design, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.
- American Association of State Highway and Transportation Officials, 2002. Standard Specifications for Highway Bridges, 17th Edition, Washington, D.C.
- ASCE/SEI 7-05, 2006. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, American Society of Civil Engineers, USA.
- Baker, J.W. ve Cornell, C.A., 2008. Vector-Valued Intensity Measures for Pulse-Like Near-Fault Ground Motions, Engineering Structures, 30, 4, 1048-1057.
- Bazzurro, P. ve Luco, N., 2005. Do Scaled and Spectrum-Matched Near-Source Records Produce Biased Nonlinear Structural Responses?, Proceedings of 8th National Conference on Earthquake Engineering, San Francisco, CA.
- Berger/Abam Engineers, Inc., 1996. Federal Highway Administration Seismic Design Course, Design Example No.4, (document available through NTIS, document no. PB97-142111).
- Boore, D.M. ve Atkinson, G.M., 2008. Ground-Motion Prediction Equations for the Average Horizontal Component of PGA, PGV and 5%-Damped PSA at Spectral Periods between 0.01s and 10.0s, Earthquake Spectra, 24, 1, 99-138.
- Buratti, N., Stafford, P.J. ve Bommer, J.J., 2011. Earthquake Accelerogram Selection and Scaling Procedures for Estimating the Distribution of Drift Response, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 345-357.
- CEN. Eurocode 8, 2003. Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Buildings. Final Draft prEN 1998, European Committee for Standardization, Brussels.
- CEN. Eurocode 8, 2003. Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 2: Bridges. Final Draft prEN 1998, European Committee for Standardization, Brussels.
- Choi, I-K., Choun, Y-S., Ahn, S-M. ve Seo, J-M., 2007. Probabilistic Seismic Risk Analysis of CANDU Containment Structure for Near-Fault Earthquakes, Nuclear Engineering and Design, 238, 6, 1382-1391.

- Cimellaro, G.P., Reinhorn, A.M., D'Ambrisi, A. ve De Stefano, M., 2011. Fragility Analysis and Seismic Record Selection, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 379-390.
- Constantinou, M.C., Whittaker, A.S., Fenz, D.M. ve Apostolakis, G., 2007. Seismic Isolation of Bridges, Version 2, June, report submitted to the State of California Department of Transportation.
- De Luca, F., Iervolino, I. ve Cosenza, E., 2010. Compared Seismic Response of Degrading Systems to Artificial and Real Records, Proceedings of 14th European Conference on Earthquake Engineering, Ohrid, Republic of Macedonia.
- Dicleli, M. ve Buddaram, S., 2007. Equivalent Linear Analysis of Seismic-Isolated Bridges Subjected to Near-Fault Ground Motions with Forward Rupture Directivity Effect, Engineering Structures, 29, 1, 21-32.
- Fahjan, Y.M., 2008. Türkiye Deprem Yönetmeliği (DBYBHY, 2007) Tasarım İvme Spektrumuna Uygun Gerçek Deprem Kayıtlarının Seçilmesi ve Ölçeklenmesi, İMO Teknik Dergi, 4423-4444, Yazı 292.
- Fahjan, Y.M., Ozdemir, Z. ve Keypour, H., 2007. Procedures for Real Earthquake Time Histories Scaling and Application to Fit Iranian Design Spectra, 5th International Conference on Seismology and Earthquake Engineering (SEE5), May, Tehran, Iran.
- FEMA 355C, 2000. State of the Art Report on Systems Performance of Steel Moment Frames Subjected to Earthquake Ground Shaking, SAC Joint Venture, Sacramento, CA.
- FEMA, 2001. NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures, 2000 Edition, Part 1. FEMA 368, Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.
- Galal, K. ve Ghobarah, A., 2006. Effect of Near-Fault Earthquakes on North American Nuclear Design Spectra, Nuclear Engineering and Design, 236, 18, 1928-1936.
- Grant, D.N., 2011. Response Spectral Matching of Two Horizontal Ground-Motion Components, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 289-297.
- Gupta, I.D., 2002. The State of The Art in Seismic Hazard Analysis, ISET Journal of Earthquake Technology, 39, 4, 311-346.
- Hachem, M.M., Mathias, N.J., Wang, Y.Y., Fajfar, P., Tsai, K-C., Ingham, J.M., Oyarzo-Vera, C.A. ve Lee, S., 2010. An International Comparison of Ground Motion Selection Criteria for Seismic Design, Joint IABSE–fib Conference, May, Dubrovnik, Croatia.

- Haselton, C.B., Baker, J.W., Liel, A.B. ve Deierlein, G.G., 2011. Accounting for Ground-Motion Spectral Shape Characteristics in Structural Collapse Assessment through an Adjustment for Epsilon, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 332-344.
- Heo, Y., Kunnath, S.K. ve Abrahamson, N., 2011. Amplitude-Scaled Versus Spectrum-Matched Ground Motions for Seismic Performance Assessment, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 278-288.
- Hines, E.M., Baise, L.G. ve Swift, S.S., 2011. Ground-Motion Suite Selection for Eastern North America, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 358-366.
- Honda, R. ve Ahmed, T., 2011. Design Input Motion Synthesis Considering the Effect of Uncertainty in Structural and Seismic Parameters by Feature Indexes, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 391-400.
- Huang, Y-N., Whittaker, A.S., Luco, N. ve Hamburger, R.O., 2011. Scaling Earthquake Ground Motions for Performance-Based Assessment of Buildings, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 311-321.
- Iervolino, I. ve Cornell, C.A., 2005. Record Selection for Nonlinear Seismic Analysis of Structures, Earthquake Spectra, 21, 3, 685-713.
- Iervolino, I., Cosenza, E. ve Galasso, C., 2009. Shedding Some Light on Seismic Input Selection in Eurocode 8, Eurocode 8 Perspectives from the Italian Standpoint Workshop, Doppiavoce, Napoli, Italy.
- Iervolino, I., Manfredi, G. ve Cosenza E., 2005. Ground Motion Duration Effects on Nonlinear Seismic Response, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35, 1, 21-38.
- Kalkan E. ve Chopra, A.K., 2011. Modal-Pushover-Based Ground-Motion Scaling Procedure, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 298-310.
- Katsanos, E.I., Sextos, A.G. ve Manolis, G.D, 2010. Selection of Earthquake Ground Motion Records: A State-of-the-Art Review from a Structural Engineering Perspective, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 30, 4, 157-169.
- Kayhan, A.H., 2011. Eurocode-8 ile Uyumlu Ölçeklendirilmemiş İvme Kaydı Setlerinin Armoni Araştırması Tekniği ile Elde Edilmesi, Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ekim, ODTÜ, Ankara.
- Kayhan, A.H., Korkmaz, K.A. ve Irfanoglu, A., 2011. Selecting and scaling real ground motion records using harmony search algorithm, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31, 941-953.
- Kurama, Y.C. ve Farrow, K.T., 2003. Ground Motion Scaling Methods for Different Site Conditions and Structure Characteristics, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 15, 2425-2450.

- Lee, L.H., Lee, H.H. ve Han, S.W., 2000. Method of Selecting Design Earthquake Ground Motions for Tall Buildings, The Structural Design of Tall Buildings, 9, 201-213.
- Liao, W-I., Loh, C-H. ve Lee, B-H., 2004. Comparison of Dynamic Response of Isolated and Non-Isolated Continuous Girder Bridges Subjected to Near-Fault Ground Motions, Engineering Structures, 26, 14, 2173-2183.
- Lilhanand, K. ve Tseng, W.S., 1988. Development and Application of Realistic Earthquake Time Histories Compatible with Multiple-Damping Design Spectra, Proceedings of 9th World Conference on Earthquake Engineering, August, Tokyo-Kyoto, Japan, II:819-824.
- Masi, A., Vona, M. ve Mucciarelli, M., 2011. Selection of Natural and Synthetic Accelerograms for Seismic Vulnerability Studies on Reinforced Concrete Frames, Journal of Structural Engineering, 137, 3, 367-378.
- MathWorks, 2010. MATLAB, The Language of Technical Computing, Version 7.10.0.499 (R2010a).
- Morales-Esteban, A., Luis de Justo, J., Martinez-Alvarez, F. ve Azanon, J.M., 2012. Probabilistic Method to Select Calculation Accelerograms Based on Uniform Seismic Hazard Acceleration Response Spectra, Soil Dynamic and Earthquake Engineering, 43, 174-185.
- Mukherjee, S. ve Gupta V.K., 2002. Wavelet-Based Generation of Spectrum-Compatible Time-Histories, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 22, 9, 799-804.
- Naeim, F., Alimoradi, A. ve Pezeshk, S., 2004. Selection and Scaling of Ground Motion Time Histories for Structural Design Using Genetic Algorithms, Earthquake Spectra, 20, 2, 413-426.
- Nau, M. ve Hall, W.J., 1984. Scaling Methods for Earthquake Response Spectra, Journal of Structural Engineering, 110, 7, 1533-1548.
- O'Donnell, A.P., Beltsar, O.A., Kurama, Y.C., Kalkan, E. ve Taflanidis, A.A., 2011. Evaluation of Ground Motion Scaling Methods for Analysis of Structural Systems, Proceedings of NSF Engineering Research and Innovation Conference, Atlanta, Georgia.
- Özdemir, Z. ve Fahjan, Y.M., 2007. Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması, Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Ekim, İstanbul, Türkiye.
- Providakis, C.P., 2007. Effect of LRB Isolators and Supplemental Viscous Dampers on Seismic Isolated Buildings under Near-Fault Excitations, Engineering Structures, 30, 5, 1187-1198.

- SAP2000, 2008. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures Inc, Berkeley, California, USA.
- Sextos, A.G., Kappos, A.J. ve Pitilakis, K.D., 2003. Inelastic Dynamic Analysis of RC Bridges Accounting for Spatial Variability of Ground Motion, Site Effects and Soil-Structure Interaction Phenomena. Part 2: Parametric study, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 4, 629-652.
- Sextos, A.G., Pitilakis, K.D. ve Kappos, A.J., 2003. Inelastic Dynamic Analysis of RC Bridges Accounting for Spatial Variability of Ground Motion, Site Effects and Soil-Structure Interaction Phenomena. Part 1: Methodology and Analytical Tools, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 32, 4, 607-627.
- Shama, A., 2012. Spectrum Compatible Earthquake Ground Motions by Morlet Wavelet, 20th Analysis and Computation Specialty Conference, ASCE.
- URL-1, <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html> Pacific Earthquake Engineering Research Center (PEER). 21 Kasım 2012.
- URL-2, http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm. European Strong-Motion Database (ESD). 21 Kasım 2012.
- Wang, G., 2010. A Ground Motion Selection and Modification Method Preserving Characteristics and Aleatory Variability of Scenario Earthquakes, 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering, July.
- Yenidogan, C., Erdik, M. ve Constantinou, M., 2012. Effects of Near-Field Earthquakes on Seismically Isolated Bridges under Bi-Directional Loading, 15th World Conference on Earthquake Engineering, September, Lisbon, Portugal.
- Yurdakul, M., 2011. Üç Eğrilikli Sürtünmeli Sarkaç Mesnetli Yapıların Dinamik Davranışına Zemin Eğilebilirliğinin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ERGÜN, 1987 yılında İstanbul'da doğdu. İlk öğrenimini Haşim ve Zehra Tarı İlköğretim Okulu'nda, orta öğrenimini ise Gerze Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2009 yılında bu bölümden mezun oldu. 2010 yılında Bayburt Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı'na Araştırma Görevlisi olarak atandı. 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalı'na ÖYP kapsamında görevlendirilen Ergün, İngilizce bilmekte olup halen görevine devam etmektedir.