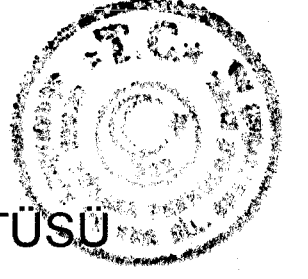


T.C.

GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



134383

ALTERNATİF SİSMİK İZOLASYON CİHAZI
(FPS) SÜRTÜNMELİ SARKAÇ TİPİ DEPREM
İZOLATÖRLERİNİN BOLU VİYADÜĞÜ'NDE
UYGULANABİLİRLİĞİNİN VE
PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI

Serdar ALTIN

YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI BİLİMLERİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

Yrd.Doç.Dr. M. Eren UÇKAN

GEBZE

2003

134383
T.C. YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Sedat Altın'ın tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 20/02/2003..... tarih ve 2003/1/6..... sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Deprem ve Yapı Bilimleri..... Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.



JÜRI

ÜYE :
(Tez Danışmanı)

Yrd. Doç. Dr. M. ERKAN UŞKAN

[Signature]

ÜYE :

Yrd. Doç. Dr. Balıntı AKBAŞ

[Signature]

ÜYE :

Yrd. Doç. Dr. Dursun AKIN

[Signature]

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 22.05.2003..... tarih ve 2003/1/15..... sayılı kararı.



ÖZET

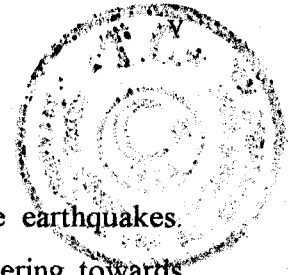


Köprü ve viyadükler şiddetli depremlere karşı hassas yapılardır. Günümüzde hatırı sayılır bir ilerleme olmasına rağmen, büyük şiddetli depremler sonucu yıkımlara sahne olmuş birçok örnek karşımıza gelmektedir. Viyadük yapılarında öncelikli hasar, kolonlarda (pilon) oluşabilen dönmeler sonucu köprü açıklıklarındaki çökmelerdir. Mühendislik uygulamalarında yapıların sismik dizaynı için düktil dizayn kavramı çok geniş kabullere dayanmakla beraber, köprü ve viyadükler için bu kabuller uygun olmayabilir. Ayrıca köprü ve viyadük yapılarının ayaklarında (pilon) sıklıkla görülen kesme dayanımı yetersizliği, bu yapı türünün görüldüğü gibi esnek çalışmadığının bir göstergesidir. Bu sebeple bu tür yapıların depremlere karşı korunum çabalarının asıl odağı, taşıyıcı ayakların makul kesme değerlerinde kalabilmesi için taşınan yüklerin minimum seviyelere düşürülmesidir. Sismik izolasyon, mühendislik olarak mümkün olan alternatifler içinde en akla yatkın olan yöntemlerden biridir. Elastomerik kauçuk mesnetler (rubber bearing) ve sürtünme esaslı kayar bilyeli enerji sönümleyici izolatörler (friction pendulum system) temel olarak sismik izolasyon sistemlerinin tipik örnekleridir.

Sismik izolatörler, yapının frekansını azaltmaktadırlar. Dolayısıyla, üst yapı rölatif olarak rijit kalabilmektedir. Şekil değiştirmeler daha çok izolatörlerde meydana gelmektedir. Frekansın küçülmesi ile ivme spektrumunun azalan bölgesine ulaşılmaktadır. Böylece yapıya etkiyen ivmeler küçülmekte ve tepkileri de buna bağlı olarak azalmaktadır.

Bu çalışmada Bolu Viyadüğü'nün depreme karşı güçlendirilmesinde alternatif bir izolasyon cihazı olan Sürtünmeli Sarkaç Tipi Sismik İzolatörü'nün (Friction Pendulum System) uygulanabilirliği ve performansı, viyadük yapısının doğrusal olmayan dinamik analizi yapılarak incelenecektir. Elde edilen bulgular yorumlanıp, değerlendirmeler göz önüne alınacaktır.

SUMMARY



Bridges and viaducts are vulnerable when subjected to severe earthquakes. Although considerable progress has been made in earthquake engineering towards the end of the century, catastrophic bridge failure examples are found wherever large-scale earthquakes attack. Damage of the bridge structures occur primarily in the piers, which may in turn result in collapse of the bridge spans. Although the ductility design concept has been widely accepted for seismic design of structures in engineering practice, this may not appropriate for bridges since they are short of structural redundancy in nature. Besides, ultimate strength design does not seem to work for bridge structures as often the piers are found to fail in shear rather than flexure. The effort on protection of bridges against earthquakes should therefore be focused on minimizing the forces to be carried by the piers, in particular the shears. Seismic isolation is conceivably one of the most promising alternatives in this regards. Isolation systems are basically typified into rubber bearings and sliding bearings. This type of systems rarely posses re-centering capability, except the Friction Pendulum Bearings (FPB) which, with curved sliding surfaces, can provide the isolated structures with restoring forces by gravity.

The seismic isolators reduce frequency value of structures. Consequently, super-structure can remain relatively as a rigid building. Deformations will rather occur in isolators. Reduced zone of the acceleration spectrum is reached by means of frequency reduction. Thus, accelerations acting upon the structure and the related reactions decrease.

In this study, the applicability and performance of displacement of the Friction Pendulum System which consists of alternative bearings for retrofit of the Bolu viaduct will be examined by non-linear dynamic analysis of viaduct structure. The results obtained will be commented on the output data.

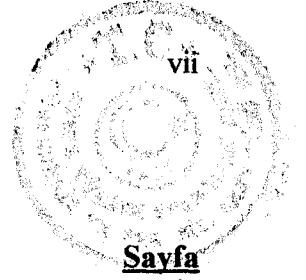
TEŞEKKÜR



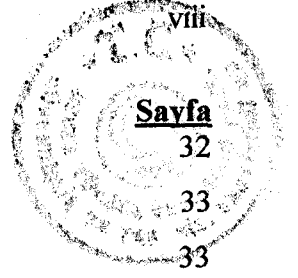
Bu tez çalışması sırasında destek ve yardımlarını esirgemeyen danışmanım, Bölümümüzün Dekan Yardımcısı Sayın Yrd. Doç. Dr. M. Eren Uçkan Beyefendi'ye, bölümümüzün diğer hocaları Ana Bilim Dalı Bölüm Başkanı Sayın Yrd. Doç. Dr. V. Atilla Öven Beyefendi'ye, Sayın Yrd. Doç. Dr. Bülent Akbaş Beyefendi'ye, Araştırma Görevlisi arkadaşlarım Sayın Asistan Hakan Temiz Beyefendi'ye ve Sayın Asistan Yusuf Yücekaya Beyefendi'ye, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü hocalarından Sayın Dr. Kemal Beyen Beyefendiye ve muhterem arkadaşlarına, İstanbul Kültür Üniversitesi Araştırma Görevlisi Sayın Asistan Gökhan Yazıcı Beyefendi'ye ve bu tezi hazırlamamda bana kıymetli yardımlarını esirgemeyen ülkemizin çok kıymetli bilim adamlarından Sayın Prof. Dr. Ahmet Ercan Beyefendi'ye, Sayın Prof. Dr. Zekai Celep Beyefendi'ye, Sayın Prof. Dr. Hasan Karataş Beyefendi'ye, Sayın Yüksek Mimar Metin Köksal Beyefendi'ye, Sayın Dr. Mete Gerçek Beyefendi'ye, Sayın Dr. Nader Heyat Beyefendi'ye, Sayın Prof. Dr. Mehmet Yücel Beyefendi'ye, Sayın Bülent Gençer Beyefendi'ye, kıymetli mesai arkadaşlarıma ve bana her an maddi ve manevi desteğini esirgemeyen biricik aileme sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

En içten saygılarımla,

İÇİNDEKİLER DİZİNİ



ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xv
1. BOLU VİYADÜĞÜ ve KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ	1
1.1. Giriş	1
1.2. Viyadük	2
1.3. Alternatif Sismik İzolasyon Sistemi	5
1.3.1. Cihazın Gerilim Kapasitesi	11
1.3.2. Performans ve Kalite Testi	12
1.3.3. Cihazın Burulma Davranışı	13
1.3.3.1 Cihazın Sıkıştırma Dayanımı	14
1.3.3.2 Basınç Dayanım Rijitliği	15
1.3.4. Termal Etkiler	16
1.3.5. Malzeme Ömrü ve Eskimesi	17
1.3.6. Yangın Dayanımı	19
2. VİYADÜĞÜN TASARIMI	20
3. VİYADÜĞÜN ANALİZİ	23
3.1 Bolu Viyadüğü'nün 1999 Düzce Depremi'ndeki Performansı	23
3.2 Modelin Geliştirilmesi	24
3.3 (FPS)'lerin Program Üzerinde Tanımlanması	25
3.3.1 Viyadük Modelinde Kullanılan (FPS) Türlerinin tanıtılması	25
3.3.1.1 Cihaz-A (BRG-A)	27
3.3.1.2 Cihaz-B (BRG-B)	30
3.3.1.3 Cihaz-C (BRG-C)	30
3.3.1.4 Cihaz-D (BRG-D)	31
3.3.1.5 Cihaz-E (BRG-E)	31
3.3.1.6 Cihaz-F (BRG-F)	31
3.3.1.7 Cihaz-G (BRG-G)	32



3.3.1.8 Cihaz-H (BRG-H)

4. DİNAMİK ANALİZLER

4.1 Modal Analiz

4.2 Spektral Analiz

4.3 Doğrusal Olmayan Zaman Geçmiş Analizi

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

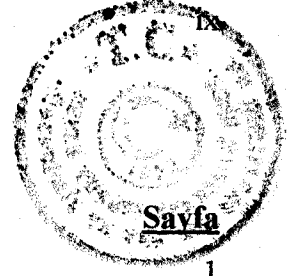
EKLER

EK – 1 Bolu Viyadüğü'nde Uygulanabilir Alternatif Sismik İzolasyon Cihazının Tipleri Ve Teknik Çizimleri

EK – 2 Bolu Viyadüğü'nde Uygulanabilir Alternatif Sismik İzolasyon Cihazlarının Analiz Özet Sonuçları ve Dinamik Modeli

EK – 3 (FPS) Alternatif Sismik İzolasyon Cihazının Viyadüklerde Uygulanma Detayları

ŞEKİLLER DİZİNİ



Sekil

1.1. Bolu Viyadüğü'nden bir görünüm	1
1.2. Viyadüğün Genleşme Derzini ve Ara Pilon'larını Gösteren Plan	2
1.3. Bolu Dağı Projesi Bileşenleri ve Fay Çatlağının Görünümü	3
1.4. Pilon'ların Boyutları	4
1.5. Üst Görünüş, Plan Detayı	4
1.6. Alternatif Deprem İzolatörünün Kesit Planı	5
1.7. Sismik Cihazın Kolon Tepesine Yerleştirilmesi	5
1.8. Sismik İzolatörün Kolon Tepesine Yerleştirilmesi	6
1.9. Cihazın Hareketinin Modellenmesi	6
1.10. Sismik İzolatörün Sürtünme ve Hız İlişkisi	8
1.12. Gerilime Dayanımlı Sismik Cihazın Detayı ve Gerilme-Yanal Deplasman Davranış Diyagramı	12
1.13. Sismik İzolasyonlu ve İzole Edilmemiş Yapıdaki Farklı Geometrik Eksantriteler	13
1.14. U.S. Court of Appeals, San Francisco (256 FPS Isolators) Binasının Basınç Dayanımı Test Sonuçları	14
1.15. (FPS) Sismik Cihazının Dinamik Sürtünme ve Isı İlişkisi	17
1.16. Cihazın Eskime Etkisi'ne Karşı Dinamik Sürtünme Katsayısındaki Değişim İlişkisi	19
2.1. SAP2000'de Tanımlanan Elastik Yayların Dataları	22
3.1. Sismik İzolasyon Sistem Analizinin Şematik Gösterimi	25
3.2. Mevcut Yapıda Oluşabilecek 2 m'lik Bir Fay Hattının Sismik İzolasyon Cihazıyla Karşılanması	26
3.3. (NLLink Element) Doğrusal Olmayan Bağlantı Elemanı (FPS) BRG-A Cihazının Parametrelerinin Sap 2000'deki Görünümü ve Modelin Perspektif Görünüşü	28
3.4. Sismik İzolatör Cihazının Histeretik Davranış, Çalışma Modeli ve Parametrik Özelliklerinin Tanımları	29
4.1. Sonlu Elemanlar Modelinin Şematik Görünümü	33
4.2. Mod 1 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	34



Sekil

4.3. Mod 2 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	
4.4. Mod 3 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	36
4.5. Mod 4 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	37
4.6. Mod 5 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	38
4.7. Mod 6 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	39
4.8. Mod 7 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	40
4.9. Mod 8 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	41
4.10. Mod 9 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	42
4.11. Mod 10 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	42
4.12. Mod 11 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	43
4.13. Mod 12 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	43
4.14. Mod 13 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	44
4.15. Mod 14 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	44
4.16. Mod 15 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	45
4.17. Mod 16 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	45
4.18. Mod 17 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	46



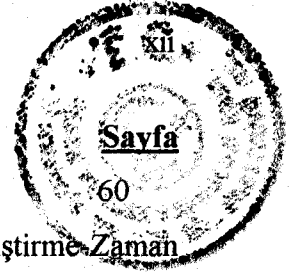
Sekil

4.19. Mod 18 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	46
4.20. Mod 19 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	47
4.21. Mod 20 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri	47
4.22. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin F_x Diyagramı	48
4.23. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin M_y Diyagramı	49
4.24. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin F_y Diyagramı	49
4.25. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin M_x Diyagramı	49
4.26. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin Δ Diyagramı	50
4.27. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-B İçin Δ Diyagramı	50
4.28. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-C İçin Δ Diyagramı	51
4.29. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-D İçin Δ Diyagramı	51
4.30. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-E İçin Δ Diyagramı	52
4.31. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-F İçin Δ Diyagramı	52
4.32. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-G İçin Δ Diyagramı	53
4.33. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-H İçin Δ Diyagramı	53
4.34. Programa Girilen Simule Deprem Datasının 20 Saniyelik Bölümü	55
4.35. BRG-A Cihazı İçin Pilon 8'in Sismik Yalıtıcı(NLLink 8), Kolon Üst kotu (16) ve Tabliye Alt Kotundaki (35) Boyuna Deplasmanları	55
4.36. BRG-A Cihazı İçin Pilon 1'in Sismik Yalıtıcı(NLLink 1), Kolon Üst kotu (2) ve Tabliye Alt Kotundaki (28) Enine Deplasmanları	56
4.37. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-A Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme- Zaman Grafikleri	56
4.38. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-A Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	57
4.39. BRG-A Cihazının 8 Nolu Elemanının Deplasman İzi	57
4.40. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-B Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	58
4.41. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-B Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	58
4.42. BRG-B Cihazı 1 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	59



Sekil

- 4.19. Mod 18 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri 46
- 4.20. Mod 19 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri 47
- 4.21. Mod 20 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri 47
- 4.22. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin F_x Diyagramı 48
- 4.23. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin M_y Diyagramı 49
- 4.24. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin F_y Diyagramı 49
- 4.25. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin M_x Diyagramı 49
- 4.26. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin Δ Diyagramı 50
- 4.27. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-B İçin Δ Diyagramı 50
- 4.28. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-C İçin Δ Diyagramı 51
- 4.29. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-D İçin Δ Diyagramı 51
- 4.30. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-E İçin Δ Diyagramı 52
- 4.31. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-F İçin Δ Diyagramı 52
- 4.32. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-G İçin Δ Diyagramı 53
- 4.33. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-H İçin Δ Diyagramı 53
- 4.34. Programa Girilen Simule Deprem Datasının 20 Saniyelik Bölümü 55
- 4.35. BRG-A Cihazı İçin Pilon 8'in Sismik Yalıtıcı(NLLink 8), Kolon Üst kotu (16) ve Tabliye Alt Kotundaki (35) Boyuna Deplasmanları 55
- 4.36. BRG-A Cihazı İçin Pilon 1'in Sismik Yalıtıcı(NLLink 1), Kolon Üst kotu (2) ve Tabliye Alt Kotundaki (28) Enine Deplasmanları 56
- 4.37. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-A Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme- Zaman Grafikleri 56
- 4.38. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-A Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri 57
- 4.39. BRG-A Cihazının 8 Nolu Elemanının Deplasman İzi 57
- 4.40. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-B Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri 58
- 4.41. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-B Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri 58
- 4.42. BRG-B Cihazı 1 Nolu İzolatörün Deplasman İzi 59



Sekil

4.43. BRG-C Cihazı 7 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	
4.44. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-C Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman	
Grafikleri	60
4.45. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-D Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman	
Grafikleri	61
4.46. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-D Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman	
Grafikleri	61
4.47. BRG-D Cihazı 7 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	62
4.48. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-E Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman	
Grafikleri	62
4.49. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-E Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman	
Grafikleri	63
4.50. BRG-E Cihazı 7 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	63
4.51. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-F Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman	
Grafikleri	64
4.52. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-F Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman	
Grafikleri	64
4.53. BRG-F Cihazı 9 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	65
4.54. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-G Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman	
Grafikleri	65
4.55. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-G Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman	
Grafikleri	66
4.56. BRG-G Cihazı 7 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	66
4.57. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-H Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman	
Grafikleri	67
4.58. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-H Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman	
Grafikleri	67
4.59. BRG-H Cihazı 9 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	68
4.60. SAP 2000 Programında Kullanılan Bolu Kaydı	69
4.61. BRG-A Cihazı İçin Pilon 5'in Sismik Yalıtıcı(NLLink 5), Kolon Üst kotu (10)	
ve Tabliye Alt Kotundaki (32) Boyuna Deplasmanları	70
4.62. BRG-A Cihazı İçin Pilon 9'un Sismik Yalıtıcı(NLLink 9), Kolon Üst kotu (18)	
ve Tabliye Alt Kotundaki (36) Enine Deplasmanları	71

Sekil

4.63. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-A Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	71
4.64. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-A Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	72
4.65. BRG-A Cihazının 5 Nolu Elemanının Deplasman İzi	72
4.66. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-B Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	73
4.67. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-B Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	74
4.68. BRG-B Cihazı 5 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	74
4.69. BRG-C Cihazı 5 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	75
4.70. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-C Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	76
4.71. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-C Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	76
4.72. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-D Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	77
4.73. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-D Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	77
4.74. BRG-D Cihazı 5 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	78
4.75. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-E Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	78
4.76. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-E Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	79
4.77. BRG-E Cihazı 5 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	79
4.78. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-F Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	80
4.79. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-F Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	80
4.80. BRG-F Cihazı 5 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	81
4.81. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-G Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	81

Sekil

4.82. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-G Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	82
4.83. BRG-G Cihazı 5 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	82
4.84. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-H Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	83
4.85. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-H Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri	83
4.86. BRG-H Cihazı 9 Nolu İzolatörün Deplasman İzi	84



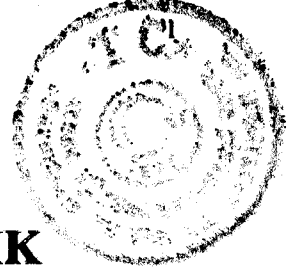
TABLÖLAR DİZİNİ



Tablo

Sayfa

2.1. Viyadük Tasarımında Kullanılan Malzeme ve Geometrik Özellikler Yapımcı Firmanın Kabullerine Dayanmaktadır (Astaldi S.p.A., 2000)	21
2.2. Pilon Yükseklikleri ve Elastik Yayların Rijitliklerini Gösteren	22
3.1. BRG –A Cihazının Parametrik Değerleri	29
3.2. BRG –B Cihazının Parametrik Değerleri	30
3.3. BRG –C Cihazının Parametrik Değerleri	31
3.4. BRG –D Cihazının Parametrik Değerleri	31
3.5. BRG –E Cihazının Parametrik Değerleri	31
3.6. BRG –F Cihazının Parametrik Değerleri	32
3.7. BRG –G Cihazının Parametrik Değerleri	32
3.8. BRG –G Cihazının Parametrik Değerleri	32
4.1. BRG-A İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları	34
4.2. BRG-B İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları	35
4.3. BRG-C İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları	36
4.4. BRG-D İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları	37
4.5. BRG-E İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları	38
4.6. BRG-F İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları	39
4.7. BRG-G İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları	40
4.8. BRG-H İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları	41
4.9. Tüm Cihazlar İçin Spektral Analiz Sonucu Maksimum Değerleri	54
4.10. Düzce Kaydı İçin Cihazların Deplasman Performansları	68
4.11. Bolu Kaydı İçin Cihazların Deplasman Performansları	69



1. BOLU VİYADÜĞÜ VE KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

1.1.Giriş

Son dört yıl içerisinde ülkemizde iki büyük deprem yaşadık. İlki, 17 Ağustos 1999 Kocaeli ve diğeri 12 Kasım 1999 Düzce depremiydi.

Bolu Dağı Projesi'nin bir parçası olan Bolu Viyadüğü, ulaşım ve taşımacılığı geliştirmek maksadıyla Bolu'nun batısından geçen ve takriben 114 km. uzunluğundaki, İstanbul-Ankara arasındaki Anadolu otoyolunun bir hattı olarak İtalyan Astaldi firmasının müteahhitliğiyle inşa edilmiştir.



Şekil 1.1. Bolu Viyadüğü'nden bir görünüm.

Bolu Dağı Projesi, iki adet viyadük ve iki adet de 3.2 km uzunluğundaki tünellerden oluşmaktadır. Her bir tünel 16 m. genişliğinde ve üçer şeritlidir.

Düzce depremi, yapımı devam etmekte olan, sismik olarak yalıtılmış Bolu Viyadüğü'nde hasara yol açmıştır. Bu viyadük, TEM Anadolu otoyolunun son 24 km.'lik bölümünün bir parçasını oluşturmaktadır. Deprem sonrası yapılan incelemeler göstermektedir ki, Bolu Viyadüğü'nün üst yapısında meydana gelen hasarın sebebi yakın-fay etkisidir [Ghasemi et al., 2000]. Yanal atımlı fayların



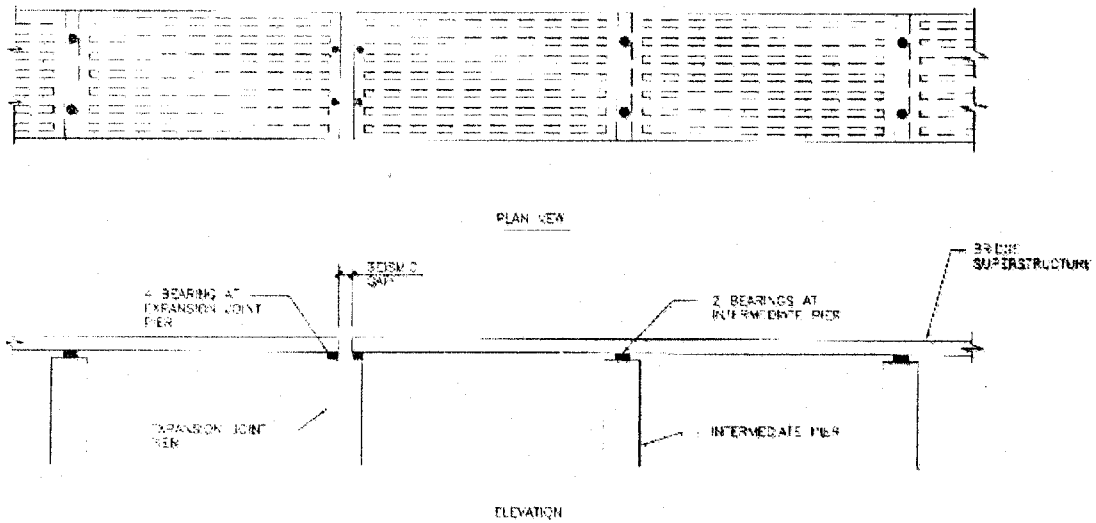
yırılması sonucu oluşması normal olan yüksek-hızlı itmelerin etkisinin yüksek yapılar ve otoyol yapıları üzerinde özel problemler oluşturmasının yakın-saha etkisinden kaynaklandığı yönünde deliller gözlemlenmektedir. Çok büyük deplasmanlar, devrilme momentleri, zemin sıvılaşması olasılığı ve enerjiye duyarlı diğer yapısal etkiler, bu tip özel problemleri doğurmaktadır.

Bu çalışmada Bolu Viyadüğü'nün depreme karşı güçlendirilmesinde alternatif bir izolasyon cihazı olan Sürtünmeli Sarkaç Tipi Sismik İzolatörü'nün uygulanabilirliği ve performansı incelenecektir.

1.2. Viyadük

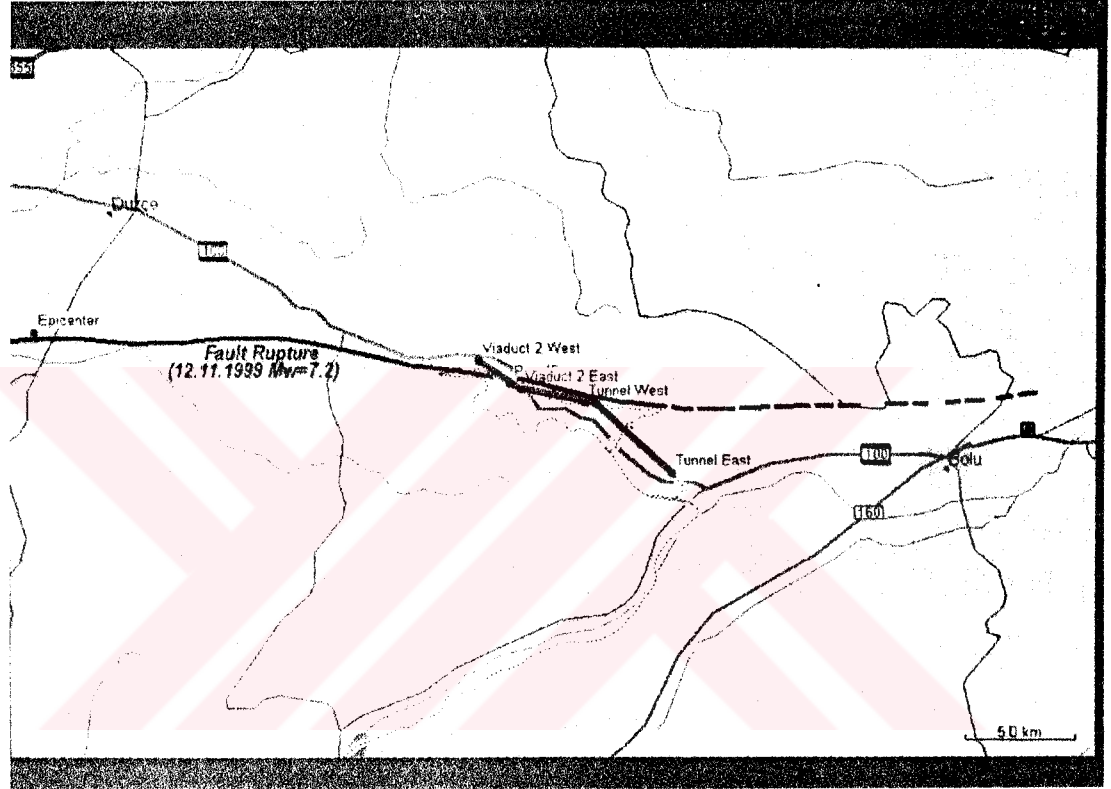
Bolu viyadüğü 2.3 km. uzunluğunda, çeşitli yüksekliklere sahip, kuvvetli ayaklardan (pilon) oluşup, en büyük pilon yüksekliği 49 m. ve en büyük açıklığı ise 39.6 m.'dir. Pilon'ların oturduğu her bir temelde 12 kazık grubu bulunmaktadır. Bu kazıkların çapları 1.8 m.'dir.

Tabliye genleşme birleşimleri arasındaki açıklıklarda sürekli davranmaktadır. Viyadüğün ayakları tek, sekizgen yerinde dökme, içi boş, donatılı betonarme kolonlardan oluşmakta ve kesit ölçüleri 4.5'e 8.0 m. olup, bu ayaklar, deprem esasında düktil davranmaları için dizayn edilmiş ve detaylandırılmışlardır.



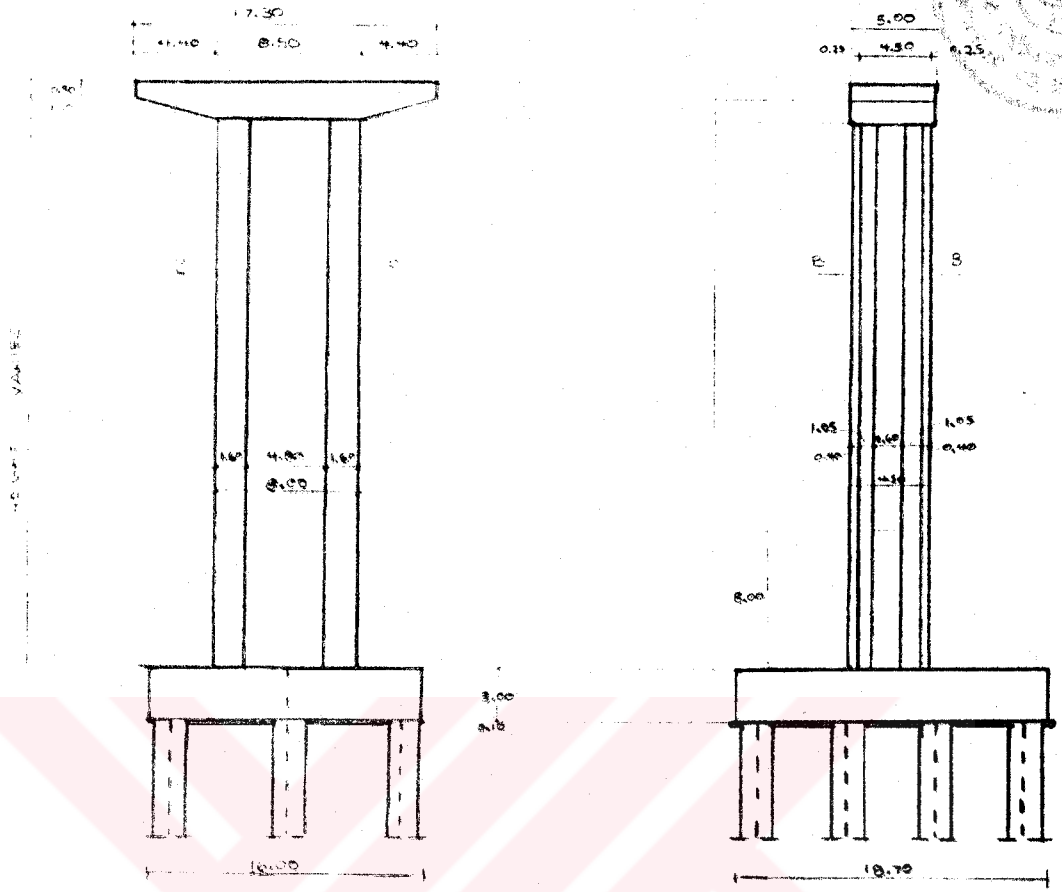
Şekil 1.2. Viyadüğün Genleşme Derzini ve Ara Pilon'larını Gösteren Plan.

Bolu Viyadüğü, her ayağının başlık kısmında sismik kuvvetleri azaltan ve uzunlamasına termal hareketlerde bulunmasına imkan veren bir Enerji-Dağıtım-Ünitesi (EDU) sistemini barındırmakta olup, bu çalışmada (EDU) sistemi yerine Sürtünmeli Sarkaç Tipi Sismik İzolatör Cihazı uygulanabilirliği araştırılacaktır.

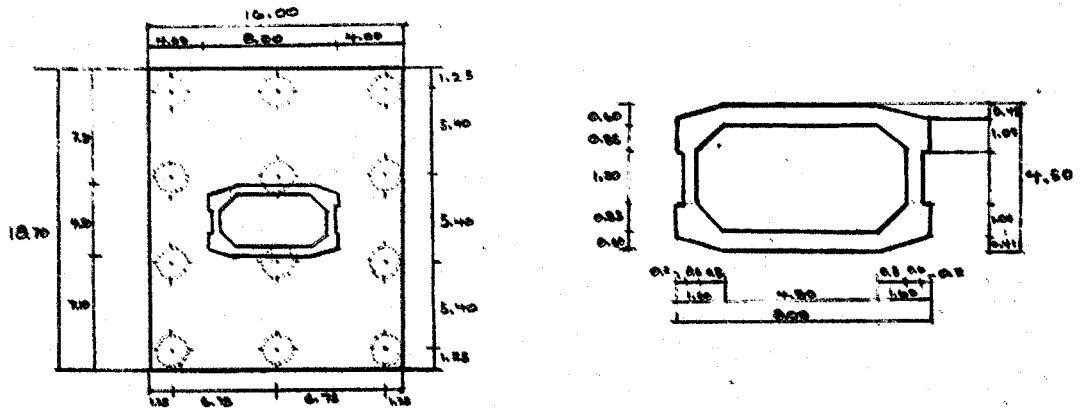


Şekil 1.3. Bolu Dağı Projesi Bileşenleri ve Fay Çatlağının Görünümü.

1999, Düzce Depremi, o sırada yapımı devam etmekte olan, sismik izole edilmiş Bolu Viyadüğü'nde hasara yol açmıştır. Şekil 1.3'te görülen Düzce fayına yakınlığı ve değişken jeolojik koşullar sebebiyle Bolu Viyadüğü, Bolu Dağı Projesi'nin belki de dizaynı ve yapımı en zor olan bileşenini teşkil etmektedir.



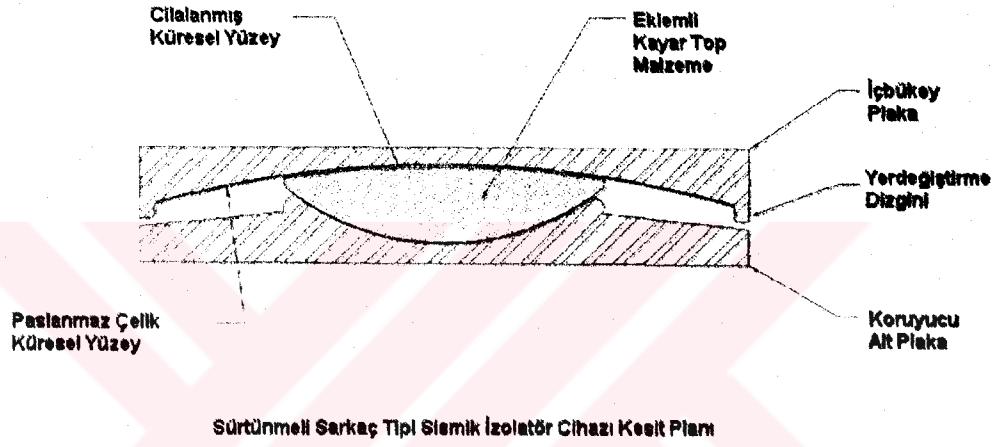
Şekil 1.4. Pilon'ların Boyutları.



Şekil 1.5. Üst Görünüş, Plan Detayı.

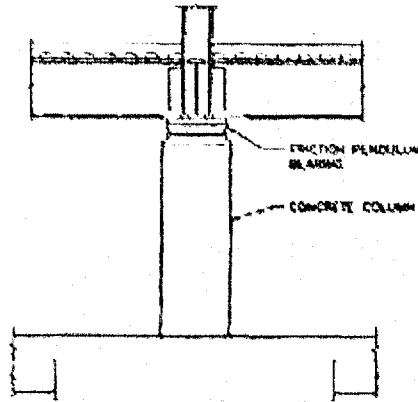
1.3. Alternatif Sismik İzolasyon Sistemi

Viyadük yapıların yeni dizaynı ve depreme karşı güçlendirilmesinde Sürtünmeli Sarkaç Tipi Sismik İzolatörlerin uygulanması düşünülmüştür. Deprem sırasında güvenilir ve yüksek kaliteli performans gösteren bu cihazın bakımı, firma tarafından karşılanmaktadır. Ayrıca basitleştirilmiş güçlendirme ve yenileme tasarımı ile birlikte diğer izolatör cihazlarına nazaran maliyette önemli ölçüde ekonomi sağlamaktadır.



Şekil 1.6. Alternatif Deprem İzolatörünün Kesit Planı.

Sismik olarak izolasyon yapılmış bir viyadük, öncelikle üst yapı (Tabliye), izolatör cihazlar ve alt yapı (burada Pilonlar) diye tanımlanabilecek üç temel bileşenden oluşmaktadır.



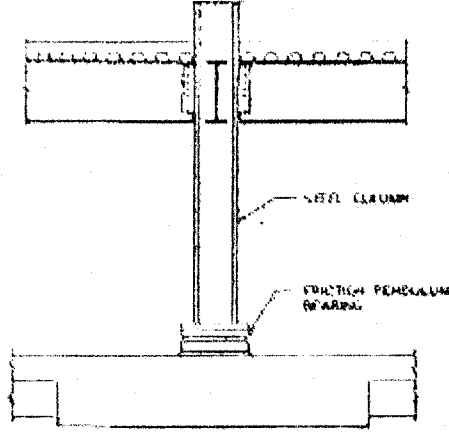
Şekil 1.7 Sismik Cihazın Kolon Tepesine Yerleştirilmesi

Bu çalışmada, göz önüne alınacak olan sismik izolatörler, "Friction Pendulum Bearing"s (FPBs) yani "Sürtünmeli Sarkaç Tipi Sismik İzolatör Aygıtları"dır. Şekil 1.6'da cihazın kesit planı, Şekil 1.7 ve Şekil 1.8'de ise taşıyıcı sisteme montaj biçimleri sunulmaktadır. Bu tip sismik izolatörler, paslanmaz çelik malzemeden üretilmiş ve kendinden yağlı, cilalanmış küresel bir yüzey üzerine

eklemlerle birleştirilmiş kayar bir top elemandan oluşur. Her bir izolatörün üst

parçası tabliyenin alt kısmına bağlanırken; sismik izolatörlerin alt parçası da her bir pilonun tepesine montajlanmıştır. Böylece viyadüğün üst yapısını oluşturan tabliye,

herhangi bir deprem hareketi ve benzeri oluşumlarda izolatörlerin kayarak çalışması aracılığıyla yanal deplasmanlara karşı yalıtılmış olur.

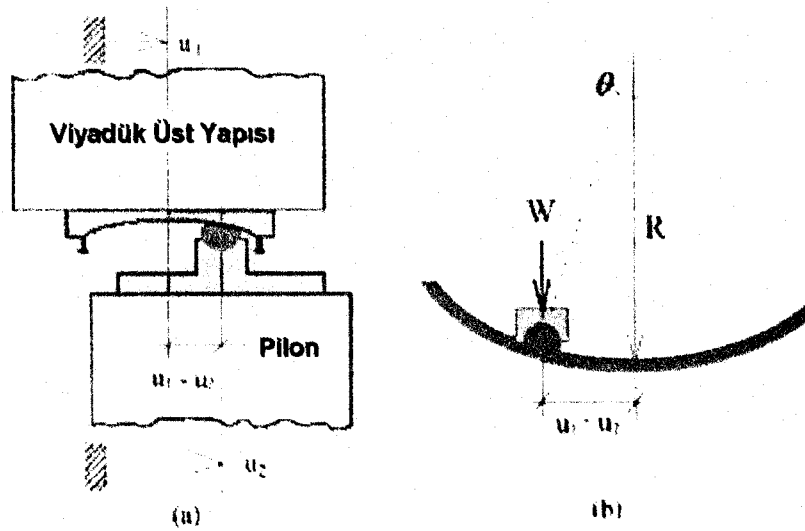


Şekil 1.8 Sismik İzolatörün Kolon Tabanına Yerleştirilmesi

Kayma başladığı zaman Tabliye, aynı zamanda sismik izolatör cihazının eğrilik yüzeyi boyunca yükselir. Şekil 1.9 (a)'da görüldüğü gibi, kayma ara yüzeyi arasındaki göreceli yer değiştirmesi ($u_1 - u_2$)'dir ve yerçekimine karşı yükselme ile oluşan V_g Potansiyel Enerji,

$$V_g = WR(1 - \cos \theta) = WR \left[1 - \sqrt{\left(\frac{u_1 - u_2}{R} \right)^2} \right] \quad (1.1)$$

cihazın taşıyabileceği W servis yüküne, sismik izolatör cihazının R Eğrilik Yüzeyi Yarıçapına, θ Kayma Açısına doğrudan bağlıdır (Şekil 1.9 (b)'de gösterilmektedir).



Şekil 1.9. Cihazın Hareketinin Modellenmesi.

Bu kayma devinimi boyunca Rijit Gövde Yüzeyinde herhangi bir Gerilme Enerjisi oluşmaz.



Pratikte cihazın Kayma Deplasman Miktarı, R Eğrilik Yarıçapı değerinden çok az olduğundan, Potansiyel Enerji Denklemi aşağıdaki yaklaşık formülle hesaplanabilir.

$$V_s \approx \frac{WR}{2} \left(\frac{u_1 - u_2}{R} \right)^2 \quad (1.2)$$

Potansiyel Enerji (1.2) denkleminin bir varyasyonu alınarak, virtual iş prensibine dayalı Sonlu Elemanlar Metoduna göre sismik cihazın K_{FPB} yay sabiti matris formu aşağıda çıkarılmıştır. Bu aynı zamanda sismik izolatörün Karakteristik Rijitlik Sabiti olarak üretici firma tarafından bildirilmiş basit bir formüldür.

$$K_{FPB} = \begin{bmatrix} \frac{W}{R} & -\frac{W}{R} \\ -\frac{W}{R} & \frac{W}{R} \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Bu denkleme göre sürtünmeli sarkaa tip i sismik cihaz, daha büyük eğrilik yarıaa larında daha küçük yanal pekişmeler meydana getirir. Eğrilik sonsuz olduğundaysa, cihazın yay sabiti matrisi boş yani, yerine geri gelme kapasitesi sıfır olur ki, bu durum da tamamen düz kayar mesnet hali gibidir.

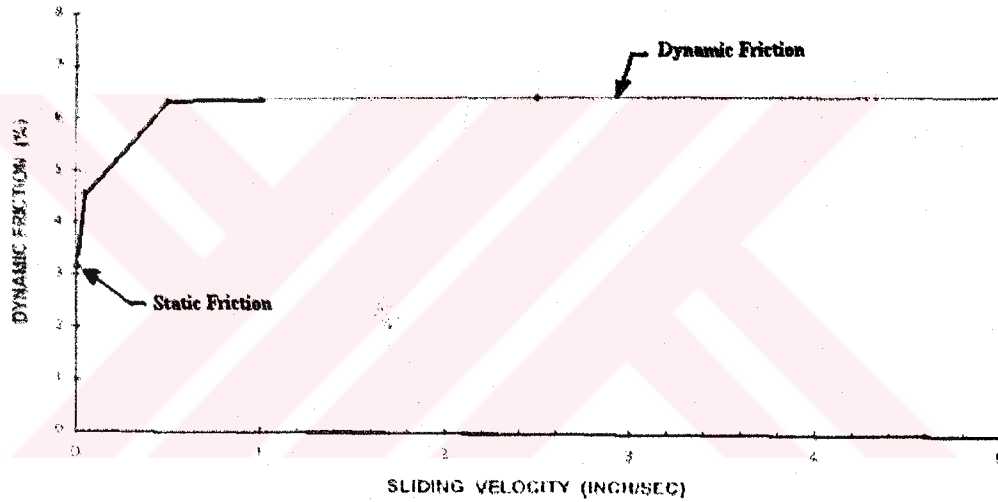
Diğer bir ifade ile, kayma yüzeyleri arasındaki sürtünme kuvveti, kayma hareketi boyunca enerji dağıtımı rolü oynar. Cihazların bu sürtünme hareketi aşağıda sözü edilen modlarla çözülebilir:

a) Sabit Mod: Yer hareketinin neden olduğu kesme kuvveti yükleri, cihazın kayma yüzeyindeki maksimum sürtünme kuvveti yükünü aşacak yeterlilikte değilse, bu tür oluşumda kayma yüzeyindeki rölatif hız sıfır olacak ve bu modda (SABİT MOD) bir davranış sergilenecektir.

b) **Kayma Modu:**Yer hareketinin neden olduğu kesme yükleri cihazın kayma yüzeyindeki en yüksek sürtünme yüküne ulaştığında, daha fazla yük karşılamayacak ve izolatör cihazın kayma yüzeyi boyunca hareket meydana gelecektir.

Sıfıra çok yakın deplasmanlar altında, kayma yüzeyi boyunca sürtünme kuvvetini, μ sürtünme katsayısı yönetir.

$$|f| \leq \mu W \quad (1.4)$$



Şekil 1.10. Sismik İzolatörün Sürtünme ve Hız İlişkisi.

Bu katsayı, **Coulomb Modeline** göre sabit, veya Teflon-Çelik yüzeyler için **Mokha** [Technical Report NCEER-90-0020 October 11, 1990] ve **Constantinou** [Technical Report NCEER-94-0007 March 17, 1994] tarafından önerilmiş modele göre de, kayma hızına ve cihaza uygulanan basınca bağlı olarak değişken olabilir(Şekil 1.10). Formül (1.5)'te $\mu_{\max}$ ve $\mu_{\min}$ en yüksek ve en düşük sürtünme katsayısı ile cihaza gelen basınca göre karar verilen a katsayısı görülmektedir.

$$\mu = \mu_{\max} - (\mu_{\max} - \mu_{\min}) \exp \left(-a \left| u_1 - u_2 \right| \right) \quad (1.5)$$

Kayma hareketi olmadığı koşullarda Yanal Yük

$$|f| \leq \mu W \quad \text{ve} \quad u_1 - u_2 = 0 \quad (1.6)$$

Kayma durumunda ise,

$$f = \mu W \operatorname{sgn}(u_1 - u_2) \quad (1.7)$$

Sgn signum fonksiyonu göstermektedir.

Ayrıca sismik izolatör cihazının periyodu, formül 1.8'de görüleceği üzere (FPS)'nin tasarımında seçilmiş olan **R Eğrilik Yüzeyi Yarıçapının** kontrolü altındadır, ve üst yapıdan gelen yükün değişimi cihazın bu periyodunu etkilememektedir. Burada g yerçekimi ivmesini ifade eder.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (1.8)$$

Deprem Yükleri, Sürtünme Yüklerinin altındaki değerlerdeyken geleneksel taşıyıcı sistemin yani, pilonların ve tabliyenin salınımlarına bir etki yapmayıp; sismik izole edilmemiş gibi kendi Doğal Titreşim Frekanslarında salınmalarına izin verirken, Sürtünme Yükleri aşıldığı sıradaysa yapı, artık doğal titreşiminde salınmayacak ve Sürtünmeli Sarkaç Tipi Sismik İzolatör Cihazının (FPS) parametrik özellikleri olan efektif sönüm katsayısına, efektif titreşim periyoduna ve efektif rijitlik katsayısına bağlı bir peryotta salım yapmaya başlayacaktır.

Bu salınım esnasında seçilen izolatörün konkav yüzeyinin alt ya da üst parçada olmasının salınım hareketinde bir farklılık yapması söz konusu değildir.

(FPS) cihazı elastik davranış sergilemek için, yapının salınımını 2 saniyeden 3 saniyeye değiştirmede, taban kesme kuvvetlerini azaltmada ve yapının deplasmanlarını arttırmada büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Mesela; Sürtünme Katsayısının %10 dan %5'e değiştirilmesi; yapının taban kesme değerinin daha fazla azaltılmasını sağlarken, deplasmanlarını da arttıracaktır.

Artikül kayar parçanın yarı küresel yüzey tasarımı sayesinde bu parçanın altında görelî üniform basınç elde edilir. Bu görelî düzenli (tek biçimli) basınç dağılımı cihazın sabit ve hareketli mod özelliğiyle azaltılır ve izolatör üzerinde oluşacak yerel yüksek basınç miktarları da önlenmiş olur.

Sismik izolatörün yanal geri dönüşüm rijitliği ise,

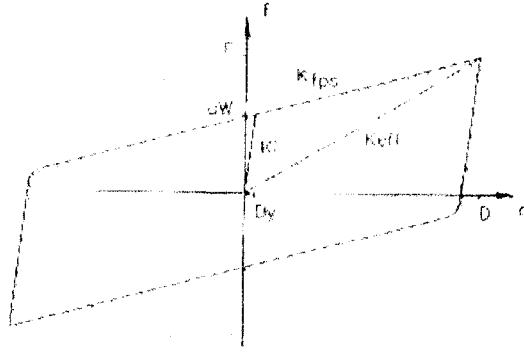
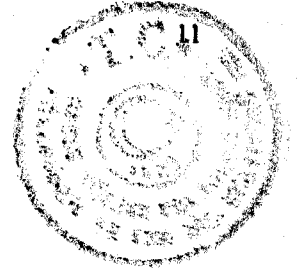
$$K_{FPS} = \frac{W}{R} \quad (1.9)$$

dir. Burada **W** cihazın taşıyabileceği servis yükünü, **R** sismik izolatör cihazının Eğrilik Yüzeyi Yarıçapı'nı ifade etmektedir.

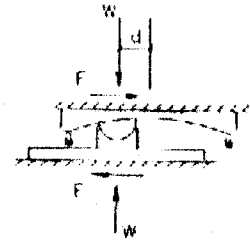
w (t) deprem yüklerine karşı sismik izole edilmiş köprü ve viyadüklerinin hareket denklemi,

$$M \ddot{u}(t) + C \dot{u}(t) + Ku(t) = BF(t) + Ew(t) \quad (1.10)$$

biçiminde yazılabilir. Burada **u(t)** **n x 1** yer değiştirme vektörü, **M**, **C**, **K** sırasıyla **n x n** kütle, sönüm ve yay sabiti matrisleri, **E** tahrik yüklerinin konum matrisi **n x 1**, **B** sürtünme yüklerinin konum matrisi **n x q**, ve denklem (1.6) veya (1.7) 'den hesaplanan **F(t)** sürtünme vektörü **q x 1** şeklinde ifade edilebilir.



HYSTERETIC LOOP



BEARING

Definitions

u = Dynamic Friction

W = Vertical Load

R = Surface Curvature

K = Initial Stiffness = $\frac{uW}{D_y}$

K_{eps} = Stiffness of EP Bearing = $\frac{W}{R}$

D = Design Displacement

$F = uW + \left[\frac{W}{R} \right] D$

T = Bearing Period = $2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$

K_{eff} = Effective Stiffness = $\frac{F}{D}$

T_{eff} = Effective Period = $2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff} \cdot g}}$

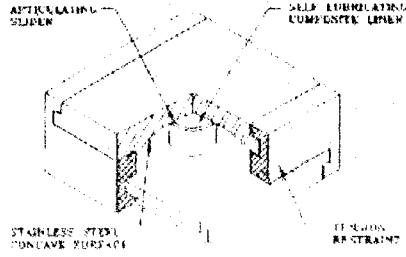
B = Effective Damping = $\frac{2}{\pi} \left[\frac{u}{1 + D/R} \right]$

$D_y = 0.10$ in.

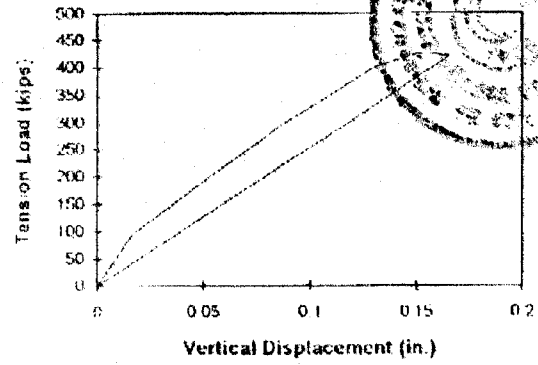
Şekil 1.11. Sismik İzolatör Cihazının Histeretik Davranış, Çalışma Modeli ve Parametrik Özellikleri [Earthquake Protection Systems, Inc.(EPS), 2000].

1.3.1. Cihazın Gerilim Kapasitesi

Sürtülmeli sarkaç tipi sismik izolatörler gerilim tutucu levhalarla çevrilerek, bu yüklere karşı dayanıklı bir şekilde donatılmış olup Şekil 1.12'de detay görünümü ve deneysel test diyagramı gösterilmiştir. Gerilimi tutan bu plakalar, ana konkav yüzey ile kayıcı artikül parçayı koruyan çerçeveyi birbirine bağlar. Gerilim tutucular her doğrultuda serbest kesme hareketine gerilme oluşmaksızın izin verir. Bu sayede cihazın gerilim kapasitesi yapısal ilişki ve bütünlüğü tümüyle sağlamaktadır.



Tension Capable Bearing



Bearing Tension Test at Lateral Displacement of 12 inches

Şekil 1.12. Gerilime Dayanımlı Sismik Cihazın Detayı ve Gerilme-Yanal Deplasman Davranış Diyagramı.

1.3.2. Performans ve Kalite Testi

(FPS) sismik izolatör cihazın performans ve karakteristik davranışları, Buffalo'daki New York Eyalet Üniversitesi'nin [The National Center for Earthquake Engineering Research Center (NCEER), State University of New York at Buffalo] ve Kaliforniya Üniversitesi'nin [Earthquake Engineering Research Center (EERC), University of California, Berkeley] deprem araştırma merkezlerinde kapsamlı testler sonucunda elde edilmiştir.

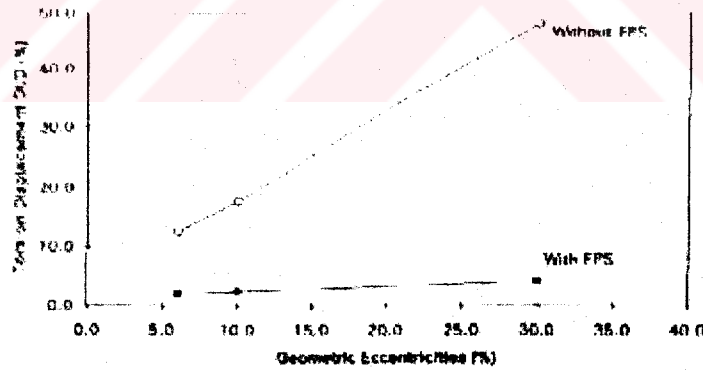
DeneySEL sonuçlar göstermektedir ki; tekrarlı periyodik yükler altında alçaltma etkileri dikkate alınmadığı zaman cihaz bilineer histeretik davranış yapmaktadır. Amerika'daki Yargıtay Binası [U.S. Court of Appeals, San Francisco (256 FPS Isolators)] için uygulanan sürtünmeli sarkaç izolatörlerin test sonuçlarında deplasmanlar boyunca cihazların dayanıklılığını ve stabilitesini yitirmediği görülmüştür.

Yüzlerce test sonucu göstermiştir ki; sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatörler, karakteristik özelliklerini sağlamaktadırlar. Bu tip sismik izolatörler sürtünme katsayıları %3'ten %20'ye kadar ve kayma periyotları da 1-5 sn arasında elde edilebilirler.

Ayrılma sürtünmesi, yapılmış olan testlerdeki ilk hareket esnasında ölçülmüştür. 1:1 ölçekli izolatör testlerinin dinamik sürtünme değerleri özgül değerinin %20'si içindedir. Ayrılma sürtünmesi dinamik sürtünme değerine eşittir veya bu değerden daha küçüktür (Bkz. Şekil 1.10).

1.3.3. Cihazın Burulma Davranışı

Bu tür izolatörün sarkaç özelliğinden dolayı tesadüfi oluşabilecek kütsel eksantriteleri sonucu oluşabilecek tersinir burulma hareketleri önemsenmeyecek derecededir. Cihazın yanal rijitlik merkezi, her zaman üstyapının kütsel yük merkezi ile çakışık ve uyumlu olmasından dolayı izolatör cihazın dinamik rijitliği, düşey yük miktarıyla doğru orantılıdır (Bkz. Denklem 1.9). Bu nedenle rijitlik ve yanal sürtünme kuvvetleri de tesadüfen oluşabilecek kütsel eksantriteler ile uyum halinde olacaktır. Sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatörün bu burulma özelliği



Torsion Response With and Without FPS Isolators for Different Geometric Eccentricities (2 x El Centro with 2 sec. FPS)

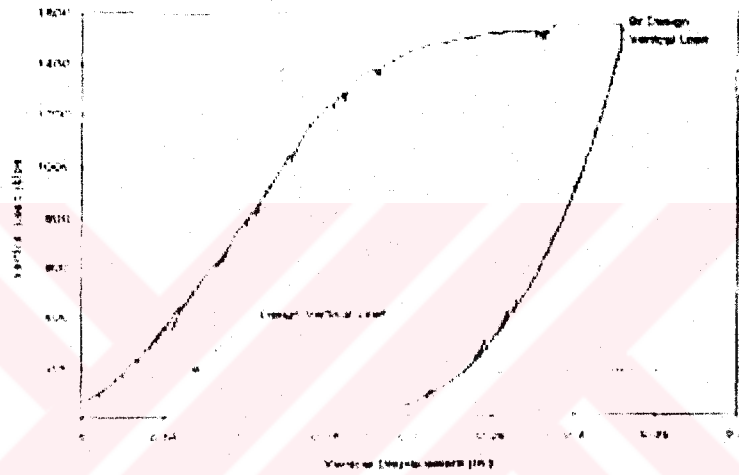
Şekil 1.13. Sismik İzolasyonlu ve İzole Edilmemiş Yapıdaki Farklı Geometrik Eksantriteler.

sayesinde basınçla oluşabilecek bükülmelerde azalma ve izolatörün burulma hareketinden dolayı oluşabilecek deplasmanlarında azalma ile yapı güvenliğinin

artması gibi faktörlerde önemli ölçüde avantajlar sağladığını söylemek mümkündür[22, 26, 31, 33 ,34].

1.3.3.1 Cihazın Sıkıştırma Dayanımı

Yine Amerika'daki Yargıtay Binası [U.S. Court of Appeals, San Francisco (256 FPS Isolators)]'nda kullanılan (FPS) izolatörlerin basınç yükleme testlerinde tasarım düşey yükünün 9 katı yükleme yapılarak cihazın nörtr ve yanal tasarım deplasmanlarında gözlemlenen Düşey Doğrultudaki Yer değiştirme test sonuçları Şekil 1.14'de gösterilmiştir.



Compression Load Test at Lateral Displacement of 11 inches

Şekil 1.14. U.S. Court of Appeals, San Francisco (256 FPS Isolators) Binasının Basınç Dayanımı Test Sonuçları.

Şekilden de görüldüğü gibi, 11 inch (27.94 cm.) yanal tasarım deplasman durumundaki cihaza uygulanan düşey yük miktarları ve düşey deplasmanlar sonucunda cihazın yanal rijitlik, sönüm ve düşey yük dayanım kapasitesinin yeterli olduğu gözlemlenmiştir.

Özel yapım (FPS) izolatörler 30 milyon pound (13 bin tondan fazla) servis yükünü karşılayabilirler. Üstelik bu izolatörler cihaz servis yüklerinin çok üzerinde güvenli bir şekilde yüksek dayanma gücüne sahiptirler [Earthquake Protection Systems, Inc.(EPS), 2000]. Yanal deprem hareketleri ve sismik devrilme momentleri, cihazın yanal yük katsayısı faktörünü yaşamsal kriterlerin çok üzerinde bir

güvenlikle göz önüne alma zorunluluğunu meydana getirmektedir. İzolatör cihazlar maksimum yatay yer değiştirme değerlerinde yani, analitik ve deneysel olarak hesaplanmış tasarım deplasmanlarında sismik devrilme momentlerine karşı koyabilmektedir. Yanal deplasman oluşması sırasında maksimum düşey yük miktarları, ilave oluşan düşey yükler ile düşey doğrultuda gelen deprem yüklerini karşılayabilmelidir. Bundan başka, izolasyon cihazında azalan düşey rijitlik, yanal deplasmanları oluştururken, düşey doğrultulu deprem hareketinin dinamik büyütme miktarı da artmaktadır. Buradan da anlaşılabacağı üzere düşey doğrultulu deprem hareketleri, cihazın düşey servis yükü değerini 2 ve daha fazla katları olarak arttırabilmektedir. Mesela, 17 Ocak, 1994 Northridge depremi sırasında, elastomerik izolasyon yapılmış yapılarda düşey sismik hareketler için dinamik büyütmenin 2'yi aştığı gözlemlenmiştir.

Sismik izolasyon meselesinin can alıcı ana noktası olan düşey doğrultulu deprem hareketlerini karşılayabilecek olan sismik izolatör düşey yükleri, UBC ve AASHTO'da, çoğunlukla açık bir şekilde ifade edilmemiştir. Düşey deprem hareketleri ile belirsizlik içeren diğer yüklere karşı elverişli ve uygun bir öneri; maksimum yanal deplasmanlar sırasında sismik izolasyon cihazlarının basınç dayanım yükleri için güvenlik dayanım katsayısının en azından 2.0 alınmasıdır ve EPS firması tarafından tavsiye edilmiştir. UBC ve AASHTO'da sismik izolasyon şartnamesinde ve tipik elastomerik sismik izolasyon cihazları için yanal deplasmanın maksimum değerinde gerekli düşey yük güvenlik faktörü sadece 1.0 olarak belirtilmiştir. Düşey ve yatay deprem hareketlerinin birlikteliğinde düşük bir güvenlik dayanım katsayısının kullanılması durumunda da yapının sismik dizayn tasarımı sonucu yıkım ve devrilme oluşabilir. Daha önemlisi, yanal yer değiştirmiş konumda sismik izolasyon cihazının yatay yük kararlılığı hayati önem taşır. Sismik cihaz, bu konumda iken tasarım fonksiyonunun ve yapının maksimum değerdeki yüklerinin karşılanmasında rol oynamaktadır.

1.3.3.2 Basınç Dayanım Rijitliği

Sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatörlerde basınç dayanım rijitliği, elastomerik izolatörlerinkinden 7 ile 10 kat daha fazladır. Hepsinden önemlisi, bu tip izolatörlerde düşey rijitlik, cihazın yanal tasarım deplasmanını tutucu özellikte olmasıdır. Tipik elastomerik sismik yalıtıcılarda yaklaşık olarak düşey rijitliğin yarısı

cihazın deformasyon yapmamış durumuna karşılık gelir. Bu nedenle, sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatörlerdeki devrilme moment yüklerine karşı koyan düşey rijitlik değeri, elastomerik sismik yalıtıcılardan 14 – 20 kat daha büyük olmaktadır. Bu daha yüksek düşey rijitlik sebebiyle sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatörler, temel titreşimleri sonucu oluşan perde duvarlardaki yapısal rijitlik kayıplarını en aza indirmekte, sismik cihazın yükselme (zıplama) deplasman talebini, devrilme momentinin sebep olacağı yükleri dağıtıcı-yayıcı makaslar ya da alt yapıdaki perde duvar ve çaprazlamalar gibi yük yayıcı eleman ihtiyaçlarını azaltmaktadır. Bu faktörler sismik izolasyon maliyetlerini hatırı sayılır derecede azaltabilir.

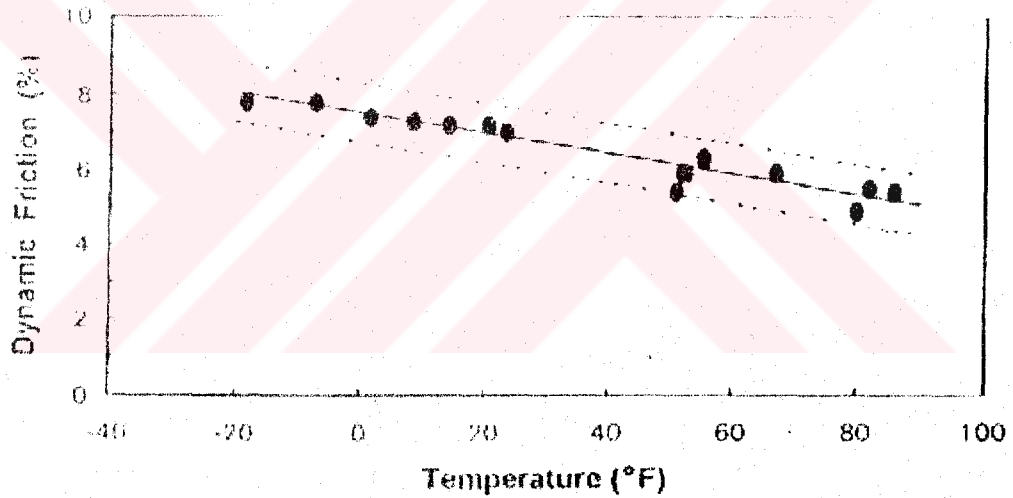
Sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatörlerin sahip olduğu bu yüksek düşey rijitlik; düşey hareketlerin neden olduğu dinamik büyütme etkisine karşı daha az etkilenecek, düşey doğrultuda daha küçük bir periyotta salınım yapmasına sebep olmaktadır. Bu tip izolatörlerdeki düşey salınım periyodu yaklaşık 0.03 sn. civarındadır. UBC’de spektrum dinamik büyütme faktörü 1.3’tür. Tipik elastomerik izolasyon cihazındaki yanal tasarım deplasman durumunda düşey periyot yaklaşık 0.1 sn. ve UBC’de dinamik büyütme faktörü 2 olarak belirtilmiştir. Daha düşük olan dinamik büyütme faktörü ile, (FPS)sismik cihazın düşey deprem hareketlerine karşı koyan yükleri azalabilir ve elastomerik tasarımla düşey yük stabilitesi ve güvenliği daha açık karşılaştırılabilir.

1.3.4. Termal Etkiler

Sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatörlerde düşük ısılar rijitiği artırırken, ısı artımı ise rijitliği azaltıcı faktörde rol oynamaktadır. Termal etkiler elastomerik ve kayar tip sismik cihazların her birini aynı şekilde etkilemektedir. Bu nedenle yapının kesme yük tasarımları yapılırken malzemenin kullanılacağı yapı alanındaki soğuk hava koşulu özellikleri göz önüne alınmalıdır. Çünkü numune malzemeler üzerinde yapılan testler ile bire bir ölçekli cihaz ile yapılan testler sonucunda termal etkilerin önemli derecede farklı sonuçlar doğurduğu görülmüştür. Bu nedenle test malzemeleri de tasarım boyutları ile birebir ölçekli yapılması tavsiye edilmektedir [Earthquake Protection Systems, Inc.(EPS), 2000].

(FPS)'lerde termal faktörlerin basınca ve kesme yüklerine etkisini ölçmek için birebir boyuttaki sismik yalıtım cihazları hedeflenen ısı derecelerine kadar soğutulmuş ya da ısıtılmıştır. Tam boyut 2.75 sn.'lik cihaz, -20°F (-28.9°C)'e kadar soğutulmuş, sonra ısı azar azar yükseltilerek test yapılmıştır. Diğer bir sismik yalıtım cihazı da 90°F (32.22°C)'e kadar ısıtılmış, ardından ısı yavaş yavaş düşürülerek teste başlanmıştır. Uzay mekiği kaplama malzemelerinin çalışma sırasındaki ısısal değişimleri sırasıyla -320°F 'dan $+400^{\circ}\text{F}$ 'a kadardır (-195.6°C 'den $+204.4^{\circ}\text{C}$ 'e)

Isıl testler göstermiştir ki; cihazın ısı artınca sürtünme katsayısı azalırken tersinde yani, ısı azalırken sürtünme katsayısı değişimi artmaktadır. 40°F 'lık bir aralıkta sürtünme katsayısında %1'lik bir değişim oluşmaktadır. Deneysel diyagram Şekil 1.15'te gösterilmiştir.

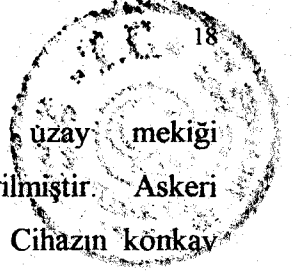


Şekil 1.15. (FPS) Sismik Cihazının Dinamik Sürtünme ve Isı İlişkisi.

Sismik cihazın dinamik rijitliği ve periyodu üzerinde ısıнын etkisi yoktur. ısıнын etkisiyle sürtünme katsayısını değiştirmesinden dolayı; dolaylı olarak efektif rijitlik katsayısına ve periyoda küçük bir etkisi vardır.

1.3.5. Malzeme Ömrü ve Eskimesi

Sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatör (FPS) cihazının ara yüz parçaları, uzun ömürlülüğü kanıtlanmış, çevresel şartların kötülüğüne ve eskimeye karşı dirençli malzemelerden imal edilmiştir[10,15,16,27]. Cihazın kaplaması yüksek dayanımlı,



kendinden yağlı kompozit malzemelerden mevcut olup, uzay mekiği uygulamalarında kritik parçalarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Askeri uygulamalarda ise uyulması zorunlu koşulları karşılamaktadır[16]. Cihazın konkav kayma yüzeyi istisnai aşınmalara ve çevresel durumlara karşı yüksek derecede dayanımlı paslanmaz çelikten yapılmıştır. Sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatörün uzun dönem malzeme güvenliği ve dayanıklılığının sayesinde, ömrünün 100 yılı aşması beklenebilmektedir.

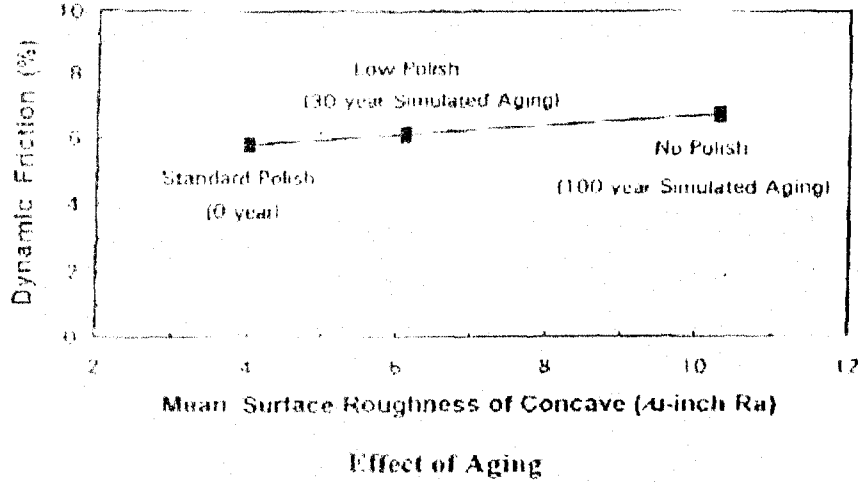
(FPS) cihazının performansına tesir eden başlıca karakteristik özellikler rijitlik, salınım periyodu ve sönümdür. Bu tip sismik yalıtım cihazları için rijitlik ve periyot , konkav kayma yüzeyinin eğrilik yarı çapı tarafından kontrol edilmektedir. Bu eğrilik yarıçapı da zamanla değişmemektedir. Dinamik rijitlik ve periyodun (FPS) cihazının eskimesi üzerindeki etkileri bu nedenle önemsiz kalmaktadır.

Bu cihazların kaplama malzemeleri, Birleşik Devletler Uzay Endüstrisinde 35 yılın üzerinde bir zamandır yüksek yükleme ve dönme momenti değerlerine sahip ürünler için kullanılmaktadır. Bu malzemeler, tipik köprü ve yapısal ürünlerde kullanılan paslanmaz çelik / Poli Tetra Floro Ethilen (PTFE) malzemeden daha çok yüksek dayanıklılık ve yıpranma dayanımına sahiptirler.

Diğer bir kayma yüzeyi parçası olan konkav yüzey, ASTM A240 paslanmaz çeliğinden imal edilmiş, 300 seri sınıfıyla cilalanarak sertleştirilmiştir. Bu paslanmaz çelik, deniz seviyesinden 250 metre atmosfer koşullarında 15 yıl süreyle korunmasız olarak bırakılmış ve 15 yıl sonunda tip 316 paslanmaz çeliğin yüzeyinde %15 dolaylarında pas lekeleri görülmüştür[7]. Contalanmış bir sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatörde bu benzer paslanmalar ancak 50 yıldan sonra gelişebilir.

Şekil 1.16'da 100 yıllık eskimenin yüzey pürüzlülüğüne ve dinamik sürtünmeye etkisi simule edilerek grafikleştirilmiştir. Bu grafik göstermektedir ki; dinamik sürtünme miktarı yüz yıl sonunda %1 civarlarında artacaktır. Bu sürtünme artışı, sadece ilk çevrimsel yüklemde gözlenmiştir. Sürtünme sonuçları diğer çevrim yüklerindeyse tekrar cilalanmış yüzeyli malzemedeki gibidir. Bu sismik yalıtım cihazı yıpranma ömrünü otuzuncu temel deprem yüklerinde aşmaktadır. Cihazın sürtünme katsayıları tekil testlerde 30'dan fazla çevrim yüklemesinde ve 50'den

fazla ardışık deprem yüklerinde tasarım şartnamesine uyumlu olarak değişmeden kalmıştır.



Şekil 1.16. Cihazın Eskime Etkisi'ne Karşı Dinamik Sürtünme Katsayısındaki Değişim İlişkisi.

Test sonuçları, (FPS) sismik yalıtım cihazının kaplama malzemesi ve PTFE malzemeleri için farklı olduğunu göstermektedir. Daha yumuşak malzemeler eş plakalar üzerindeki sürünme ve emdirmelerinden dolayı ayrılma sürtünme değerleri dinamik sürtünme değerlerini aşmaktadır[20]. Buna karşılık sürtünmeli sarkaç tipi sismik yalıtıcı cihazlarda ise statik ayrılma sürtünme katsayısı, sürekli olarak dinamik sürtünme katsayısından daha az ya da eşit kalmaktadır[2,22,26, 27,30,31,33].

1.3.6. Yangın Dayanımı

Bu tip sismik yalıtıcılar diğer çelik yapı elemanlarında uygulanan standart yangın korunma metodları ile yalıtılabilirler. Dış yüzeyler spreylenecek dayanıklı hale getirilebilirler.

2. VİYADÜĞÜN TASARIMI

Ülkemizde, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 1998 yılında yürürlüğe giren yeni deprem yönetmeliğinde sismik izolasyona yeşil ışık yakılmakta ve AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) Amerikan Deprem Yönetmeliği'ne uyulmasının yeterli olduğu belirtilmektedir. Etkili yer kaya ivme değeri 0,1g değerinden büyük olarak gözlenen ya da kabul edilen bölgelerde inşa edilecek köprü ve viyadüklerin kullanım amacı ve önemine, açıklık sayısına ve diğer bazı koşullara bağlı olarak daha detaylı dinamik hesapların yapılması gerekebilir. [Multimode Spectral Method – AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), 1996, Division I-A, 1999 Interim Revisions; AASHTO Guide Specifications for Seismic Isolation Design , Interim 2000]. Bu hesap metoduna göre, deprem izolatörlerinin kullanılması; depreme dayanıklı bir yapının yapılabilmesi ve yapıyı etkileyebilecek büyük deprem yüklerinin taşınabilmesi, ayrıca inşaat yapım maliyetinde ekonomi sağlanması açısından önemli avantajlar sağlayacaktır. Kaldı ki; Bolu Viyadüğü bir fay hattı riski üzerinde inşa edilmiştir.

Bununla birlikte müteahhit firma, Bolu Viyadüğü'nün tasarımında 1991 AASHTO ve İtalyan yönetmeliklerini kullanan bir kriterin uygulamasını yapmıştır. Bu tez çalışmasında tasarım sismik kuvvet ve deplasmanları, yer ivmesi katsayısı $A=0,54$ ve zemin sınıfı ise 2 alınarak (AASHTO, 1999) uyan yapay akselerometrelerle oluşturulmuş, doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi SAP 2000 non-lineer programı [SAP2000 Nonlinear Version 7.11 Copyright (C) 1978-1999] kullanılarak elde edilmiştir.

Viyadük, mevcut kütleleri malzeme özellikleri ve çatlaksız yani, kırılmamış durumdaki rijitlikleri dikkate alınarak sonlu elemanlar metoduyla modellenmiştir. Üç boyutlu tasarlanan bu modelde ana özellikler aşağıda tanımlanacaktır. Pilonlar ve tabliyeler üç boyutlu çerçeve eleman (FRAME SECTION) olarak alt parçalara bölünmeden programa girilmiştir. Programın özelliği dolayısıyla malzeme özellikleri ise ayrıca (MATERIAL) olarak girilmektedir.

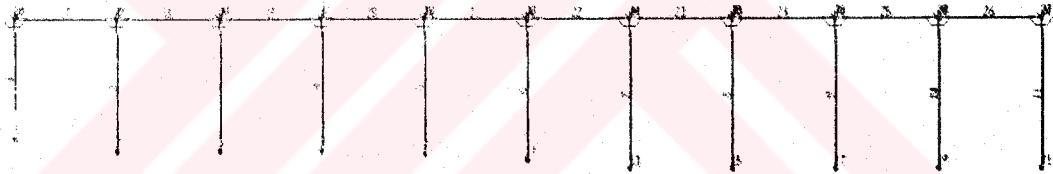
Tablo 2.1. Viyadük Tasarımında Kullanılan Malzeme ve Geometrik Özellikler
Yapımcı Firmanın Kabullerine Dayanmaktadır (Astaldi S.p.A., 2000).

Parametrik Özellikler	Pilonlar	Tabliye
Kesit alanı (A)	14.3 m ²	12.88 m ²
y eksenine göre atalet momenti (I _{yy})	106.3 m ⁴	314 m ⁴
z eksenine göre atalet momenti (I _{zz})	38.3 m ⁴	0.58 m ⁴
Burulma sabiti (J)	80	2.33
z doğrultusundaki kesme alanı (A _{sz})	14.3 m ²	12.88 m ²
z doğrultusundaki etkili kesit alanı (A _{sy})	14.3 m ²	12.88 m ²
Eksantriklik (e _z)	-	-
Elastisite katsayısı (kN/m ²)	2.36E+07	3.12E+07
Poisson katsayısı	0.17	0.17
Kütle yoğunluğu (kN/m ³)	25.02	28.67

Bolu Viyadüğü'nün bulunduğu zemin, saha test sonuçlarına uygun rijitliklerde, üç doğrultulu çalışan elastik yaylar aracılığıyla ve hem dönme hem de öteleme verilerine göre (JOINT SPRING DATA) tanımlanmıştır. Kolon başları ve tabliye arasındaki sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatörler (FPS), her bir cihaz modelinin kendine ait olan ve test sonuçlarına uyumlu, doğrusal olmayan malzeme özellikleriyle (NLLINK ELEMENT) elemanlar kullanılarak modellenip "Viyadüğün Analizi" başlığında detaylı bilgi verilecektir.

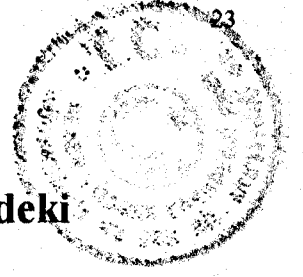
Tablo 2.2. Pilon Yükseklikleri ve Elastik Yayların Rijitliklerini Gösteren Tablo.

Pilon no	Pilon Yüksekliği (m)	Öteleme rijitliği (kN/m)	Dönme rijitliği (kNm)
P10	37	2.80E+06	3.40E+08
P11	41	2.80E+06	3.40E+08
P12	41	2.80E+06	3.40E+08
P13	41	3.90E+06	3.80E+08
P14	42	3.90E+06	3.80E+08
P15	44	3.90E+06	3.80E+08
P16	47	3.90E+06	3.80E+08
P17	47	3.50E+06	3.50E+08
P18	47	3.10E+06	3.20E+08
P19	47	2.60E+06	2.90E+08
P20	47	2.20E+06	2.60E+08



JOINT SPRING DATA						
POINT	K-U1	K-U2	K-U3	K-R1	K-R2	K-R3
1	2800000.000	2800000.000	2800000.000	340000000.000	340000000.000	340000000.000
3	2800000.000	2800000.000	2800000.000	340000000.000	340000000.000	340000000.000
5	2800000.000	2800000.000	2800000.000	340000000.000	340000000.000	340000000.000
7	3900000.000	3900000.000	3900000.000	380000000.000	380000000.000	380000000.000
9	3900000.000	3900000.000	3900000.000	380000000.000	380000000.000	380000000.000
11	3900000.000	3900000.000	3900000.000	380000000.000	380000000.000	380000000.000
13	3900000.000	3900000.000	3900000.000	380000000.000	380000000.000	380000000.000
15	3500000.000	3500000.000	3500000.000	350000000.000	350000000.000	350000000.000
17	3100000.000	3100000.000	3100000.000	320000000.000	320000000.000	320000000.000
19	2600000.000	2600000.000	2600000.000	290000000.000	290000000.000	290000000.000
21	2200000.000	2200000.000	2200000.000	260000000.000	260000000.000	260000000.000

Şekil 2.1. SAP2000'de Tanımlanan Elastik Yayların Dataları.



3. VİYADÜĞÜN ANALİZİ

3.1 Bolu Viyadüğü'nün 1999 Düzce Depremi'ndeki Performansı

Düzce depremi sırasında viyadük yapısının kolonlarında meydana gelmiş olan hasarlar önemsenecek derecede olmamasına rağmen, viyadük üst yapısında ve özellikle tüm sismik yalıtıcı-sönümleyici cihazlarda şiddetli hasarlar meydana gelmiştir. Özellikle tabliye yapısındaki genleşme derzlerinin bağlantıları arasındaki çarpışmalar nedeniyle betonarme malzemenin hasarlara uğradığı gözlenilmiştir. Yine ön gerilmeli kiriş taşıyıcıların sona erdiği yerlerin bazılarında hasarlar oluşmuştur.

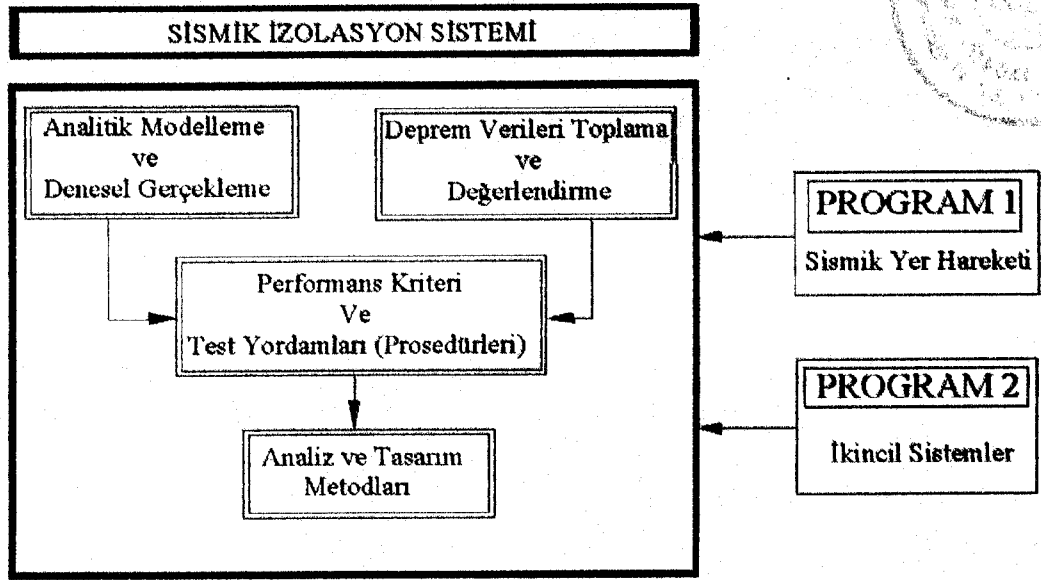
Viyadük yapısında kullanılmış olan sismik yalıtıcı cihazlar, 1991 AASHTO şartlarına uymamaktadır. Bu şartnamede viyadüklerde kullanılmış olan sismik yalıtıcı cihazlar için (0.4g AASHTO Soil Type II Spectra) tavsiye edilen tasarım deplasman kapasitesi yaklaşık olarak 90 cm.'dir. Fakat yapımcı firmanın uygulamış olduğu sismik yalıtıcı cihazların çalışma alan ölçümleri 23 cm.'lik bir yanal deplasmana sahip olduklarını göstermektedir ki, bu değer gerekli şart koşulan tasarım deplasmanının ancak %25'ini karşılayabilmektedir.

Yeterli geri dönüşüm yüklerinden yoksun olan ve yetersiz deplasman kapasitelerine sahip olan Enerji Dağıtım Üniteleri (EDU), 1999 Düzce depremi esnasında şiddetli hasara uğramışlardır. Bunun yanında kabaca 15000 ton'luk viyadük üst yapısı doğal konumundan boyuna 1 metre ve enine yarım metrelik yer değiştirme hareketi yapmıştır. Üstelik bu viyadük üst yapısı yükseklikleri 37m. ile 50 m. arasında değişmekte olan kolonların üzerinde bulunmaktadır. Bu yapının tamir ve güçlendirme işine kalkışmak, sismik izolasyon cihazlarının tamamını değiştirmekle bitmeyip, ayrıca mevcut viyadük üst yapısının eski konumuna getirilmesi, taşıyıcı sistemin depreme dayanımının iyileştirilmesi gibi özel çalışma ve işçilikleri de göz önüne almayı gerektirmektedir. Şayet 1991 AASHTO'da bildirilen yanal geri dönüşüm yüklerinin karşılanması düşünülerek ya da tasarım deplasman kapasitesine uygun bir tasarım yapılsaydı belki de mevcut sistem herhangi bir hasara uğramadan 1999 Düzce depremini başarıyla atlattığı olabilecekti. Bununla beraber

mevcut sismik izolasyon sistemi, görevi icabı deplasmanları kendi bünyesinde toplayarak, kolonlarda ve üst yapıda çözülmesi olanaksız hasarların meydana gelmesini önleyebilmiştir. Fakat Bolu Viyadüğü, TEM otoyolunda önemli bir bağlantı yolunu teşkil etmesi bakımından depremden sonra da işlevini yerine getirecek kapasitede alternatif çözümlere ihtiyaç duymaktadır.

3.2 Modelin Geliştirilmesi

Bolu Viyadüğü'nde uygulanması muhtemel sürtünmeli sarkaç tipi sismik izolatör (FPS) cihazlarının tipleri ve karakteristik özellikleri, 1999 AASHTO şartnamesine uygunluğu, tasarım spektrum [Multimode Spectral Method – AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) ve tasarım depremleri [Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından simule edilmiş deprem kaydı ile 1999 Düzce Depremi'nin Bolu kaydı], (FPS) sismik izolasyon cihazının analiz sonucu elde edilen yanal yük, deplasman ve pilon temel moment maksimum değerleri, cihazların viyadük yapısına applike edilmiş detaylarının dallandırılması, (FPS) cihazının kullanılacağı miktar, tahmini maliyetleri EK-2 Tablo 1'de ve doğrusal olmayan zaman geçmişi dinamik analizi sonucunda elde edilmiş Cihaz Yanal Kuvvetleri, yapılan analiz sonucu her bir cihaz tipinde oluşan Maksimum Deplasman Değerleri, Pilon Taban Momentleri EK-2 Tablo 2 ile özetlenmiş ayrıca, düşünceler de bildirilmiştir. SAP2000 [Structural Analysis Programs Nonlinear Version 7.11 Copyright (C) 1978-1999 COMPUTERS AND STRUCTURES, INC.] programı ile üç boyutlu viyadük modeli EK-2 Şekil 1'de gösterilmiştir. Viyadüğün tüm yapısal parametreleri yapımcı firmanın kabullerine dayanmakta olup[Astaldi S.p.A., 2000], viyadük üst yapısı SAP 2000'de doğrusal elastik lineer sistem olarak tanımlanmıştır. Pilonlar Tablo 1 ve Tablo 2'de belirtilen özelliklerde mevcut kütleleri ve çatlaksız durumdaki rijitlikleri göze alınarak EIGEN VECTORS analiz tipi seçilerek programa hesaplattırılmıştır. Görelî Tolerans 1.000 E-05 alınmıştır.



Şekil 3.1. Sismik İzolasyon Sistem Analizinin Şematik Gösterimi.

Bir yapının dinamik davranış modeli; yapı ile zemin etkileşimi, köprü kirişleri ile başlık kirişi ve kenar ayak bağlantıları, titreşimli makine ile oturduğu temel vb. projelendirmelerinde, en basit olarak; “yapı kütleline” (mass) etkiyen deprem kuvvetleri ile sabit ve doğru orantılı bir hareketi (yatay deplasmanı) ve “elastisiteyi” ifade eden sabit katsayılı yay (spring) ve zamana bağlı olarak bu hareketin değiştiğini gösteren ve “sürtünmeyi” ifade eden sönüm kutusu (dashpot, damping) modellerinin çeşitli şekillerde yerleştirilmeleri ve birlikte kullanılmaları ile kurulabilir.

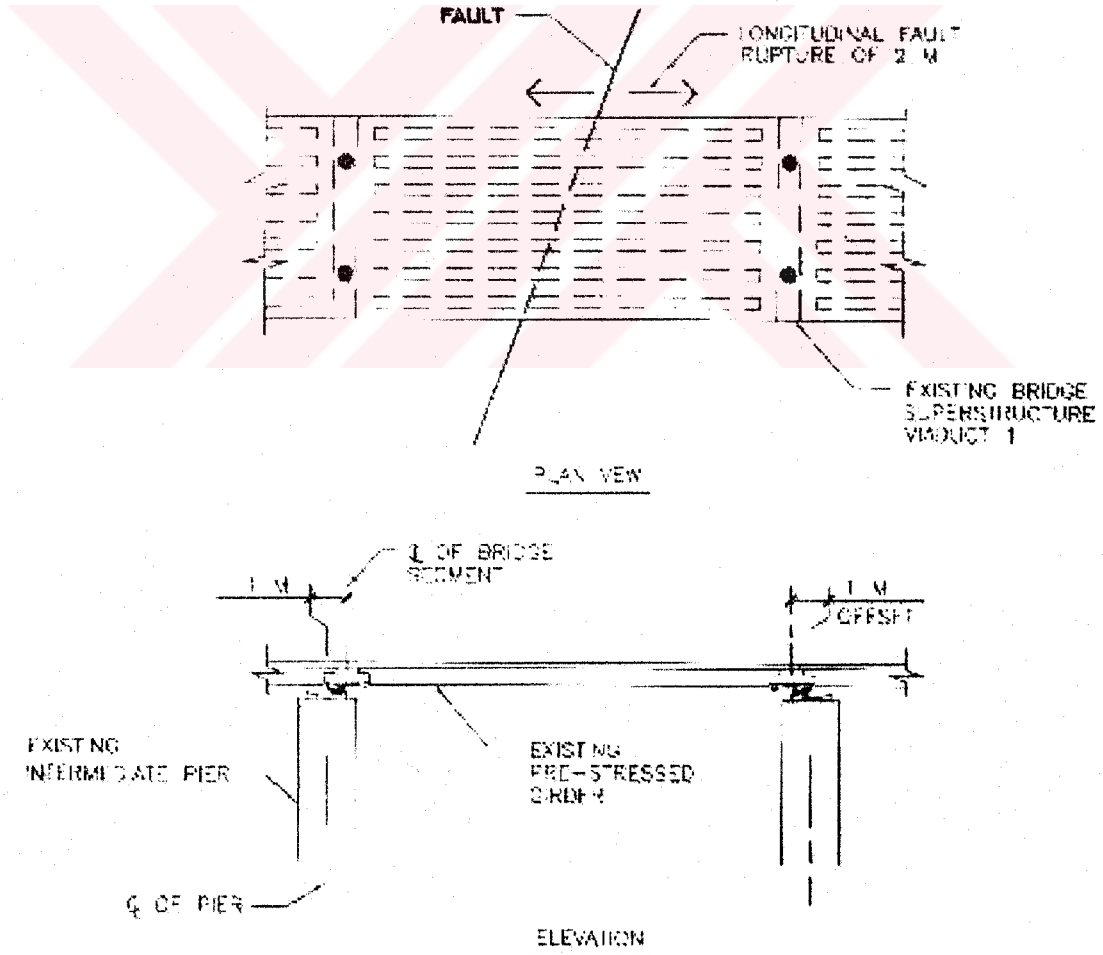
3.3 (FPS)’lerin Program Üzerinde Tanımlanması

3.3.1 Viyadük Modelinde Kullanılan (FPS) Türlerinin Tanıtılması

Bu tez çalışmasında, EPS [Earthquake Protection Systems, Inc.(EPS), 2000] üretmiş olduğu sekiz tür Sürtünmeli Sarkaç Sismik İzolatör deprem izolatörlerinin tasarımı yapılan modeldeki performansları incelenecektir.

Sismik yapı yalıtımı yapıların deprem etkilerinden korunması amacıyla geliştirilmiş bir sistemdir. Sistemin amacı bir yapıya etkiyen deprem yüklerinin azaltılmasıdır.

Bu cihazların özel tasarımları sayesinde deprem hareketi sırasında üstyapıya etkiyen deprem yükleri, konvansiyonel (temele ankastre bağlı) yapılara oranla önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Bu tip sismik aygıtların en önemli özelliği, özel metaller kullanılarak, eğrisel içbükey bir düzende yapılan bu mesnetler binalarda ve köprülerde geniş bir uygulama alanına sahip olduğu gibi özellikle don tehlikesi olan soğuk bölgelerde başarı ile kullanılmaktadır. İçbükey küresel yüzey üzerinde kayabilen mesnet elemanı bu yatay hareket sırasında binayı yükselten durumda olduğu için enerjiyi sönmölemekte ve deprem etkisini %80'e varan değerlerde azaltmaktadır. Bu cihazlar 8 büyüklüğünde depreme ve 45'den 150 cm.'ye kadar



Şekil 3.2. Mevcut Yapıda Oluşabilecek 2m'lik Bir Fay Hattının Sismik İzolasyon Cihazıyla Karşılanması.

tasarım deplasman seçeneği sunan bu cihazlar maksimum ± 2 m.'lik fay kırıklarına karşı da mevcut yapıyı güvenli bir şekilde koruyabilmektedir.

Ayrıca, EPS [Earthquake Protection Systems, Inc.(EPS), 2000] üretmiş olduğu sekiz tür Sürtünmeli Sarkaç Sismik İzolatör deprem izolatörlerinin teknik tasarım çizimleri EK-1'de sırasıyla sunulmuştur.

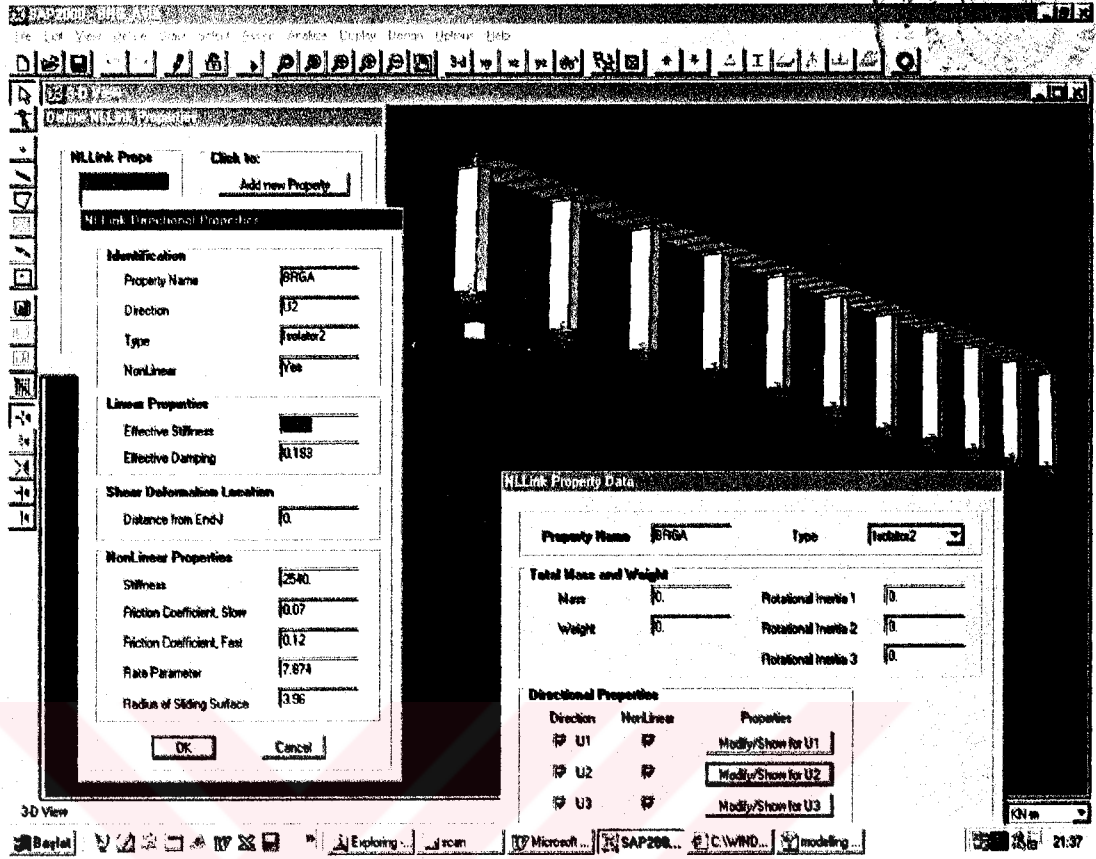
3.3.1.1 Cihaz-A (BRG-A)

Bu cihaz, iki tip BRG-A1 ve BRG-A2 olarak üretilmiş olup, BRG-A1 400 metrelik her bir viyadük modülünün iç kolonlarının tepesinde uygulanmak üzere tasarlanmıştır. BRG-A2 tipi ise genişleme derzlerindeki kolon tepelerine mesnetlenecektir. Teknik tasarım çizimleri EK-1 Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterilmektedir.

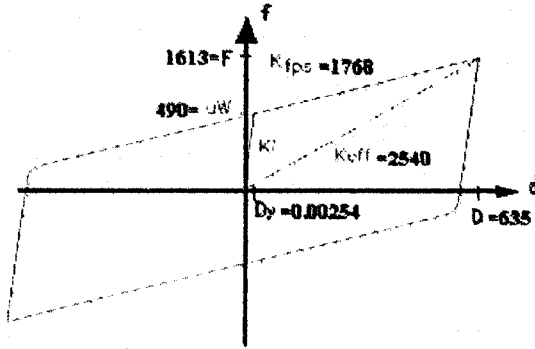
SAP 2000 non-lineer programında [SAP2000 Nonlinear Version 7.11 Copyright (C) 1978-1999] viyadük modelde kullanılacak Cihaz-A'nın karakteristik parametrelerin ve farz olunan histeretik davranışının tanımlanması gerekmektedir. SAP 2000 programı (FPS) sismik yalıtıcı cihazlarının tanımlanması ve hesabının yapılması için (ISOLATOR 2) seçeneğini sunmaktadır.

(ISOLATOR 2) seçeneği altında sırasıyla:

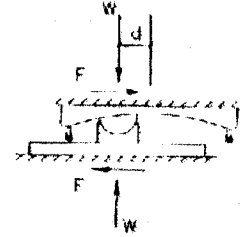
1. Doğrusal olmayan bağlantı elemanı sismik cihaz (NLLink ELEMENT) z-ekseni doğrultusunda yani, düşey doğrultuda doğrusal olarak tanımlanmaktadır. Düşey yönde efektif rijitlik, tüm sismik yalıtıcı (FPS)'lerde Şekil 1.14'deki Basınç Dayanımı Test Sonuçları göz önüne alınarak 1.000.000 kN/m olarak alınmıştır.
2. Enine ve boyuna doğrultularda ise sismik cihaz doğrusal olmayan davranış gösterdiğinden, sırasıyla Cihaz-A'nın efektif rijitlik katsayısı, efektif sönüm değeri, (FPS) sismik cihazının rijitlik katsayısı, yavaş ve hızlı sürtünme katsayıları, konkav kayma yüzeyinin eğrilik yarıçapı değerleri Şekil 1.11'de ve Şekil 3.4'te gösterilen formüller vasıtasıyla hesap edilerek, programa girilmiştir.
3. Ayrıca cihazın statik ve dinamik sürtünme sırasındaki hız oranı katsayısı değeri de Şekil 1.10'dan tespit edilip yerine (sn/m.) biriminde yazılmıştır.



Şekil 3.3. (NLLink Element) Doğrusal Olmayan Bağlantı Elemanı (FPS) BRG-A Cihazının Parametrelerinin Sap 2000'deki Görünümü Ve Modelin Perspektif Görünüşü.



BRG-A Cihazının
Hayali Histeretik Davranışı



Cihaz-A
Çalışma Planı

Parametrik Özelliklerin Tanımlamaları

u = Cihazın Sürtünme Katsayısı

W = Cihazın Tasarım Yüklü (kN)

R = Cihazın Konkav Kayma
Yüzeyinin Eğrilik Yarıçapı (m)

K_i = İlk Rijitlik = uW/D_y (kN/m)

K_{fps} = Cihazın Rijitlik Katsayısı = uW/D_y (kN/m) $D_y = 2.54 \text{ E-03 (m)}$

B = Efektif Sönüm Katsayısı = $\frac{2}{\pi} \left[\frac{u}{1 + u/R} \right]$

D = Tasarım Deplasmanı (m)

F = Yanal Yük (kN) = $uW + \left[\frac{W}{R} \right] D$

T = Cihazın Periyodu (sn.) = $2\pi \sqrt{\frac{M}{K}}$

K_{eff} = Efektif Rijitlik (kN/m) = $\frac{F}{D}$

T_{eff} = Efektif Periyod (sn.) = $2\pi \sqrt{\frac{W}{K_{eff}}}$

Şekil 3.4. Sismik İzolatör Cihazının Histeretik Davranış, Çalışma Modeli ve Parametrik Özelliklerinin Tanımları [Earthquake Protection Systems, Inc.(EPS), 2000].

Şekil 3.4'de ifade edilen parametrik değerler Tablo 3.1'de listelenmiş ve SAP 2000 programında BRG-A cihazının özellikleri olarak girilerek hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 3.1. BRG –A Cihazının Parametrik Değerleri.

u	W (kN)	R (m)	K_{fps} (kN/m)	D (mm)	F (kN)	T (sn)	K_{eff} (kN/m)	T_{eff} (sn)	B
%7	7000	3.96	1768	635	1613	4	2540	3.330	0.193

3.3.1.2 Cihaz-B (BRG-B)

Bu cihazın çalışma prensipleri de aynen BRG-A cihazı gibi olup, tek tip olarak üretilmiştir. Tasarım sismik kuvvet ve deplasmanları BRG-A'dan farklı olarak, yer ivmesi katsayısı $A=0,40g$ ve zemin sınıfı ise 2 alınarak (AASHTO, 1999) uyumlu, doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi SAP 2000 non-lineer programı [SAP2000 Nonlinear Version 7.11 Copyright (C) 1978-1999] kullanılarak elde edilmiştir. Tasarım deplasmanı 457 mm. yani BRG-A cihazının tasarım deplasmanından daha küçük olması, karşılması gerekli yanal yük değerini de arttırdığından; eğrilik yarı çapı da daha küçük düşünülerek yanal rijitlik artırılmıştır. Fakat tasarım deplasman değerinin küçük olması; 0.54g için 1991 AASHTO şartnamesindeki deplasman şartını yerine getirememesine neden olduğundan, yer ivmesi katsayısı $A=0.4 g$ $A=0,40g$ ve zemin sınıfı ise 2 alınarak çözüm yapılmıştır [The Lateral Restoring Force Requirement of The 1991 AASHT Guide Specifications For Seismic Isolation Design (Astaldi's letter of August 10, 2000)]. Teknik tasarım çizimleri EK-1 Şekil 3'te gösterilmiştir.

Tablo 3.2. BRG -B Cihazının Parametrik Değerleri.

u	W (kN)	R (m)	K_{fps} (kN/m)	D (mm)	F (kN)	T (sn)	K_{eff} (kN/m)	T_{eff} (sn)	B
%7	7000	2.23	3139	457	1925	3	4212	2.586	0.162

3.3.1.3 Cihaz-C (BRG-C)

Tasarım sismik kuvvet ve deplasmanları BRG-A gibi, yer ivmesi katsayısı $A=0,54g$ ve zemin sınıfı ise 2 alınarak (AASHTO, 1999) uyumlu, doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi SAP 2000 non-lineer programı [SAP2000 Nonlinear Version 7.11 Copyright (C) 1978-1999] kullanılarak elde edilmiştir. Teknik tasarım çizimleri EK-1 Şekil 4'te gösterilmiştir.

Tablo 3.3. BRG –C Cihazının Parametrik Değerleri.

u	W (kN)	R (m)	K _{fps} (kN/m)	D (mm)	F (kN)	T (sn)	K _{eff} (kN/m)	T _{eff} (sn)	B
%7	7000	1.55	4516	508	2784	2.5	5480	2.267	0.112

3.3.1.4 Cihaz–D (BRG-D)

Tasarım sismik kuvvet ve deplasmanları BRG-A, BRG-C gibi, yer ivmesi katsayısı $A=0,54g$ ve zemin sınıfı ise 2 alınarak (AASHTO, 1999) uyumlu, doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi SAP 2000 non-lineer programı [SAP2000 Nonlinear Version 7.11 Copyright (C) 1978-1999] kullanılarak elde edilmiştir. Teknik tasarım çizimleri EK-1 Şekil 5'te gösterilmiştir.

Tablo 3.4. BRG –D Cihazının Parametrik Değerleri.

u	W (kN)	R (m)	K _{fps} (kN/m)	D (mm)	F (kN)	T (sn)	K _{eff} (kN/m)	T _{eff} (sn)	B
%10	7000	6.2	1129	1092	1933	5	1770	3.989	0.231

3.3.1.5 Cihaz–E (BRG-E)

Tasarım sismik kuvvet ve deplasmanları BRG-A, BRG-C, BRG-D gibi, yer ivmesi katsayısı $A=0,54g$ ve zemin sınıfı ise 2 alınarak (AASHTO, 1999) uyumlu, doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi SAP 2000 non-lineer programı [SAP2000 Nonlinear Version 7.11 Copyright (C) 1978-1999] kullanılarak elde edilmiştir. Teknik tasarım çizimleri EK-1 Şekil 6'da gösterilmiştir.

Tablo 3.5. BRG –E Cihazının Parametrik Değerleri.

u	W (kN)	R (m)	K _{fps} (kN/m)	D (mm)	F (kN)	T (sn)	K _{eff} (kN/m)	T _{eff} (sn)	B
%30	7000	1.55	4667	584	4825	2.5	8262	1.8465	0.277

3.3.1.6 Cihaz–F (BRG-F)

Tasarım sismik kuvvet ve deplasmanları BRG-A, BRG-C, BRG-D, BRG-E, gibi, yer ivmesi katsayısı $A=0,54g$ ve zemin sınıfı ise 2 alınarak (AASHTO, 1999)

uyumlu, doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi SAP 2000 non-lineer programı [SAP2000 Nonlinear Version 7.11 Copyright (C) 1978-1999] kullanılarak elde edilmiştir. Teknik tasarım çizimleri EK-1 Şekil 7'de gösterilmiştir.

Tablo 3.6. BRG –F Cihazının Parametrik Değerleri.

u	W (kN)	R (m)	K _{fps} (kN/m)	D (mm)	F (kN)	T (sn)	K _{eff} (kN/m)	T _{eff} (sn)	B
%5	7000	6.2	1129	1574	2127	5	1351	4.566	0.105

3.3.1.7 Cihaz–G (BRG-G)

Tasarım sismik kuvvet ve deplasmanları BRG-A, BRG-C, BRG-D, BRG-E, BRG-F gibi, yer ivmesi katsayısı $A=0,54g$ ve zemin sınıfı ise 2 alınarak (AASHTO, 1999) uyumlu, doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi SAP 2000 non-lineer programı [SAP2000 Nonlinear Version 7.11 Copyright (C) 1978-1999] kullanılarak elde edilmiştir. Teknik tasarım çizimleri EK-1 Şekil 8'de gösterilmiştir.

Tablo 3.7. BRG –G Cihazının Parametrik Değerleri.

u	W (kN)	R (m)	K _{fps} (kN/m)	D (mm)	F (kN)	T (sn)	K _{eff} (kN/m)	T _{eff} (sn)	B
%5	7000	3.96	1768	1270	2595	5.6	2043	3.713	0.086

3.3.1.8 Cihaz–H (BRG-H)

Tasarım sismik kuvvet ve deplasmanları BRG-A, BRG-C, BRG-D, BRG-E, BRG-F, BRG-G gibi, yer ivmesi katsayısı $A=0,54g$ ve zemin sınıfı ise 2 alınarak, doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi SAP 2000 non-lineer programı [SAP2000 Nonlinear Version 7.11 Copyright (C) 1978-1999] kullanılarak elde edilmiştir. Teknik tasarım çizimleri EK-1 Şekil 9'da gösterilmiştir. Bu sismik cihaz (AASHTO, 1999) koşullarını sağlamamaktadır.

Tablo 3.8. BRG –G Cihazının Parametrik Değerleri.

u	W (kN)	R (m)	K _{fps} (kN/m)	D (mm)	F (kN)	T (sn)	K _{eff} (kN/m)	T _{eff} (sn)	B
%10	7000	15.9	440.25	1300	1272	8	978.46	5.37	0.35



4. DİNAMİK ANALİZLER

4.1 Modal Analiz

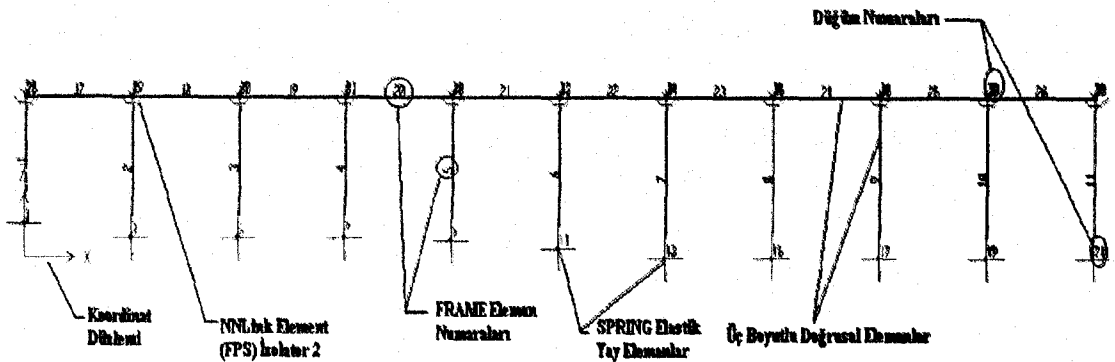
Gerekli tüm veriler tanımlandıktan ve yapısal parametrik özellikler girildikten sonra, SAP 2000 programında her bir (FPS) sismik yalıtıcı cihaz için ayrı ayrı modal analizler gerçekleştirilmiştir.

Modal analiz teknikleri, n sayıda bilinmeyen deplasman için n sayıda bir takım denklemin çözümü yerine yapının azaltılmış sayıda bilinmeyen kullanılmasıyla global davranışını belirlemesi açısından alternatif olarak geliştirilmişlerdir.

Aşağıda sırasıyla, Bolu Viyadüğü'nün 10 açıklıklı bir modülünün BRG-A, BRG-B, BRG-C, BRG-D, BRG-E, BRG-F, BRG-G ve BRG-H sismik izolasyon cihazları kullanılarak, ayrı ayrı davranış modları belirlenmiştir. Modal analizde EIGEN ANALİZ yöntemi kullanılarak 13 iterasyon sonucunda ilk 20 modu hesaplanmıştır.

Yapının dinamik davranışını anlamak için ilk olarak modal analiz yapılır. Ölçülen doğal frekans ve mod şekilleri bu modlar esnasında yapının nasıl tepki vereceğini anlama konusunda yardımcı olmaktadır.

Her bir sismik cihaz tipi için hesaplanan ilk 20 mod için periyotlar ve frekanslar aşağıda tablolar halinde sunulmuştur.

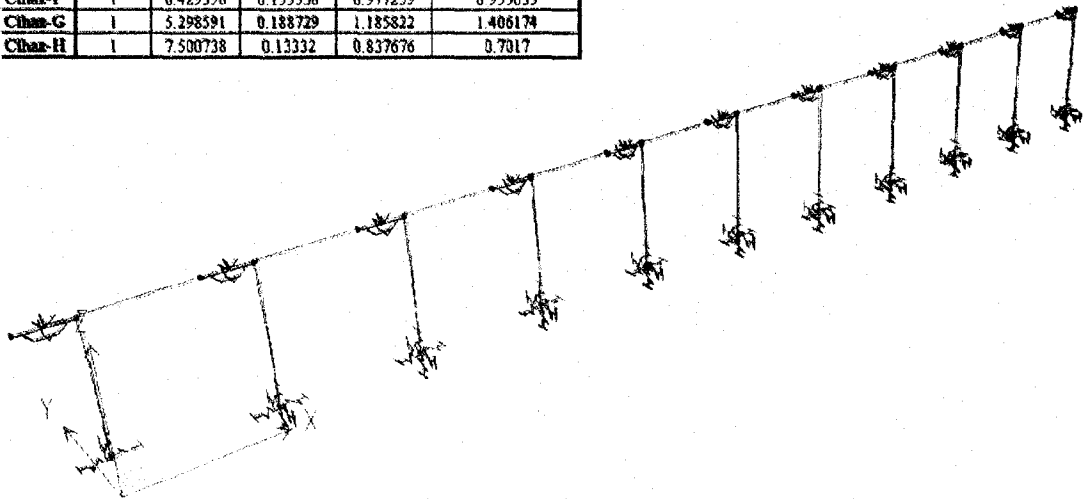


Şekil 4.1. Sonlu Elemanlar Modelinin Şematik Görünümü.

Tablo 4.1. BRG-A İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları

Mod	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
1	4.797703	0.208433	1.309624	1.715114
2	4.614337	0.216716	1.361666	1.854134
3	4.23871	0.235921	1.482334	2.197315
4	2.338268	0.427667	2.68711	7.220562
5	1.185446	0.843564	5.30027	28.092864
6	1.174814	0.851198	5.348236	28.603632
7	1.16601	0.857625	5.388618	29.037205
8	1.158805	0.862958	5.422127	29.399457
9	1.152685	0.867539	5.450911	29.712431
10	1.027929	0.97283	6.11247	37.36229
11	1.025036	0.975576	6.129723	37.573508
12	0.942994	1.060452	6.663016	44.395781
13	0.911619	1.09695	6.892338	47.504318
14	0.911394	1.097221	6.894041	47.527807
15	0.90296	1.107469	6.95843	48.419754
16	0.758063	1.319152	8.288478	68.698864
17	0.551964	1.811711	11.383319	129.579941
18	0.37505	2.666312	16.75293	280.660648
19	0.371341	2.692942	16.920251	286.294887
20	0.368108	2.716593	17.068855	291.345811

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn) ²
Cihaz-A	1	4.797703	0.208433	1.309624	1.715114
Cihaz-B	1	3.846697	0.259963	1.633397	2.667987
Cihaz-C	1	3.453935	0.289525	1.819138	3.309264
Cihaz-D	1	5.662681	0.176595	1.109578	1.231163
Cihaz-E	1	2.959684	0.337874	2.122924	4.506808
Cihaz-F	1	6.429396	0.155536	0.977259	0.955035
Cihaz-G	1	5.298591	0.188729	1.185822	1.406174
Cihaz-H	1	7.500738	0.13332	0.837676	0.7017

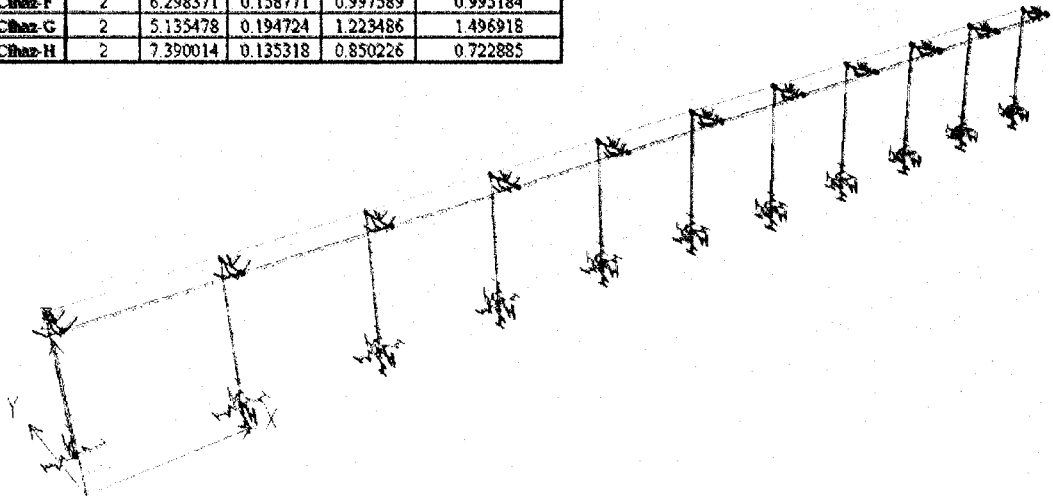


Şekil 4.2 Mod 1 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri

Tablo 4.2. BRG-B İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları.

Mod	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
1	3.846697	0.259963	1.633397	2.667987
2	3.604866	0.277403	1.742973	3.037956
3	3.305312	0.302543	1.900936	3.613557
4	2.122199	0.471209	2.960696	8.765719
5	1.144539	0.873715	5.489711	30.136924
6	1.13491	0.881127	5.536287	30.650471
7	1.126916	0.887378	5.575557	31.08684
8	1.120323	0.8926	5.608369	31.453805
9	1.114528	0.897241	5.637528	31.781727
10	1.008043	0.992021	6.233051	38.850929
11	0.996402	1.003611	6.305872	39.764022
12	0.919561	1.087475	6.832809	46.687285
13	0.890097	1.123473	7.058991	49.82936
14	0.889542	1.124173	7.06339	49.891478
15	0.881822	1.134015	7.125229	50.768887
16	0.744149	1.343818	8.443456	71.291941
17	0.548981	1.821556	11.445173	130.991978
18	0.373745	2.675624	16.811439	282.624494
19	0.370074	2.702164	16.978194	288.259076
20	0.366875	2.725724	17.126227	293.307657

Cihaz Tipi	Mod No	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
Cihaz-A	2	4.614337	0.216716	1.361666	1.854134
Cihaz-B	2	3.604866	0.277403	1.742973	3.037956
Cihaz-C	2	3.174007	0.315059	1.979575	3.918718
Cihaz-D	2	5.511571	0.181436	1.139999	1.299598
Cihaz-E	2	2.607736	0.383474	2.409441	5.805406
Cihaz-F	2	6.298371	0.158771	0.997589	0.995184
Cihaz-G	2	5.135478	0.194724	1.223486	1.496918
Cihaz-H	2	7.390014	0.135318	0.850226	0.722885

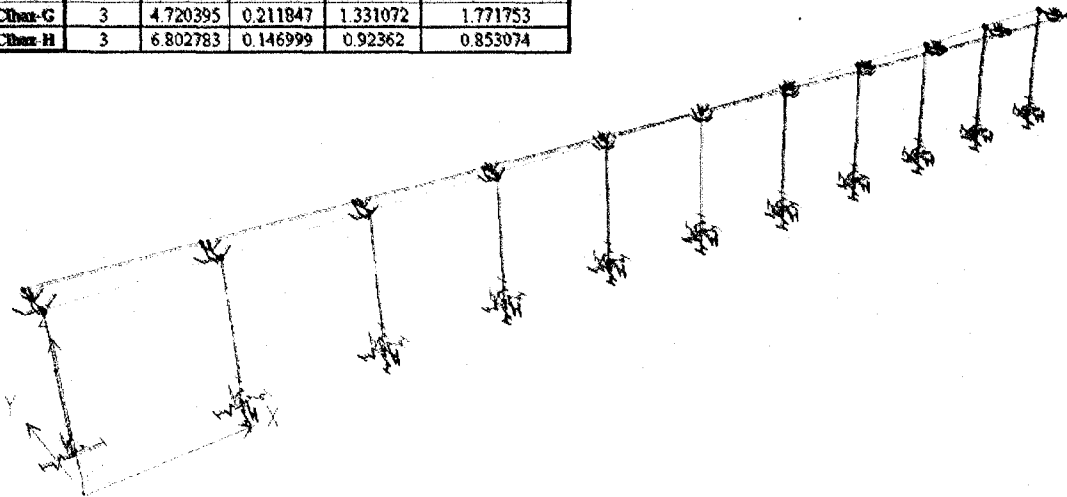


Şekil 4.3. Mod 2 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Tablo 4.3. BRG-C İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları.

Mod	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
1	3.453935	0.289525	1.819138	3.309264
2	3.174007	0.315059	1.979575	3.918718
3	2.906913	0.344008	2.161463	4.671923
4	1.993768	0.501563	3.151412	9.931396
5	1.116192	0.895903	5.629125	31.687052
6	1.107204	0.903176	5.674819	32.203576
7	1.099727	0.909317	5.713407	32.643021
8	1.093498	0.914497	5.745952	33.015961
9	1.08753	0.919515	5.777484	33.379323
10	0.993817	1.006222	6.322279	39.97121
11	0.976131	1.024453	6.436825	41.432722
12	0.902857	1.107596	6.959229	48.430868
13	0.874757	1.143175	7.182781	51.592349
14	0.873898	1.144299	7.189841	51.693814
15	0.866666	1.153847	7.249835	52.560106
16	0.734076	1.362257	8.559311	73.261801
17	0.546784	1.828876	11.49117	132.04698
18	0.372764	2.682666	16.855685	284.114119
19	0.369122	2.709134	17.021988	289.748091
20	0.365951	2.732604	17.169457	294.79024

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn) ²
Cihaz-A	3	4.23871	0.235921	1.482334	2.197315
Cihaz-B	3	3.305312	0.302543	1.900936	3.613557
Cihaz-C	3	2.906913	0.344008	2.161463	4.671923
Cihaz-D	3	5.067924	0.197319	1.239795	1.537091
Cihaz-E	3	2.38377	0.419504	2.635818	6.947538
Cihaz-F	3	5.79475	0.17257	1.084289	1.175683
Cihaz-G	3	4.720395	0.211847	1.331072	1.771753
Cihaz-H	3	6.802783	0.146999	0.92362	0.853074

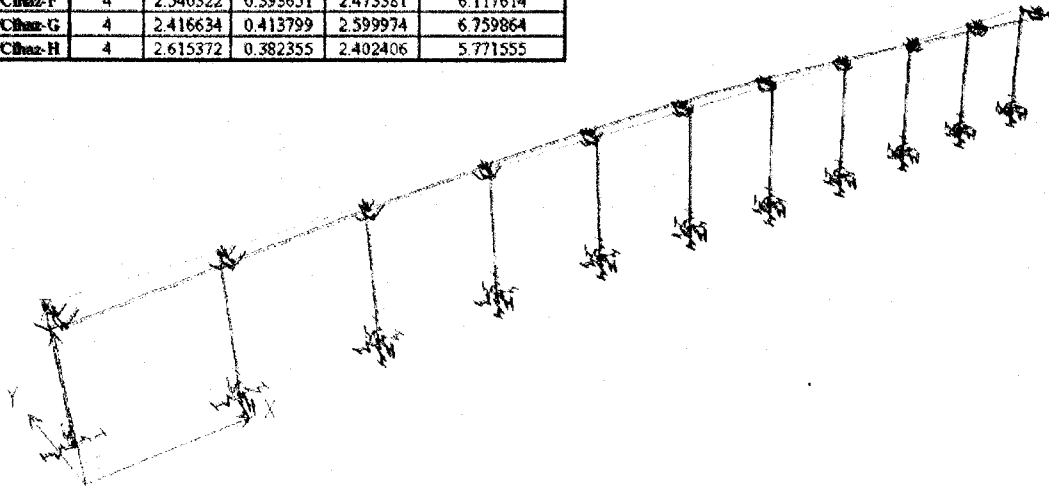


Şekil 4.4. Mod 3 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Tablo 4.4. BRG-D İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları.

Mod	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
1	5.662681	0.176595	1.109578	1.231163
2	5.511571	0.181436	1.139999	1.299598
3	5.067924	0.197319	1.239795	1.537091
4	2.46322	0.405973	2.550802	6.50659
5	1.205783	0.829337	5.210876	27.153232
6	1.194614	0.837091	5.259595	27.663343
7	1.185374	0.843616	5.300595	28.096311
8	1.177822	0.849025	5.334581	28.457751
9	1.17143	0.853657	5.363687	28.769143
10	1.039022	0.962443	6.047209	36.568732
11	1.037553	0.963806	6.055775	36.672407
12	0.954369	1.047812	6.583599	43.343777
13	0.922071	1.084515	6.814208	46.433437
14	0.921956	1.08465	6.815058	46.445022
15	0.91318	1.095074	6.880553	47.342012
16	0.764728	1.307654	8.21623	67.50644
17	0.553372	1.807104	11.35437	128.92171
18	0.375655	2.662017	16.725945	279.757251
19	0.37193	2.688681	16.893478	285.389614
20	0.368682	2.712367	17.042304	290.440126

Cihaz Tipl	Mod No	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
Cihaz-A	4	2.338268	0.427667	2.68711	7.220562
Cihaz-B	4	2.122199	0.471209	2.960696	8.765719
Cihaz-C	4	1.993768	0.501563	3.151412	9.931396
Cihaz-D	4	2.46322	0.405973	2.550802	6.50659
Cihaz-E	4	1.779623	0.561917	3.530627	12.465324
Cihaz-F	4	2.540322	0.393651	2.473381	6.117614
Cihaz-G	4	2.416634	0.413799	2.599974	6.759864
Cihaz-H	4	2.615372	0.382355	2.402406	5.771555

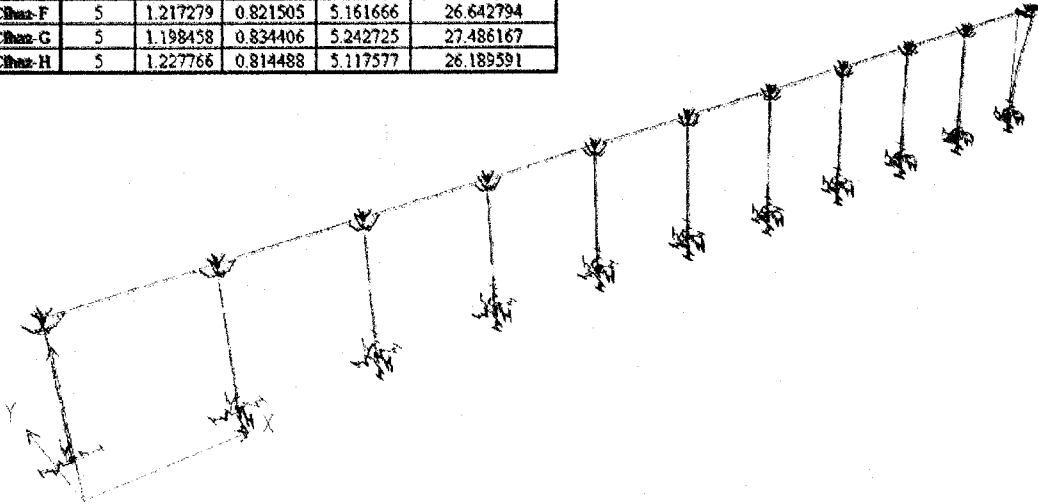


Şekil 4.5. Mod 4 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Tablo 4.5. BRG-E İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları.

Mod	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
1	2.959684	0.337874	2.122924	4.506808
2	2.607736	0.383474	2.409441	5.805406
3	2.38377	0.419504	2.635818	6.947538
4	1.779623	0.561917	3.530627	12.465324
5	1.060845	0.942645	5.922811	35.079688
6	1.053032	0.949638	5.966754	35.602155
7	1.046514	0.955553	6.003918	36.047028
8	1.041001	0.960614	6.035718	36.429887
9	1.03295	0.968101	6.082758	36.999945
10	0.964904	1.036373	6.511724	42.402546
11	0.935455	1.068999	6.716719	45.114315
12	0.869067	1.15066	7.229809	52.270144
13	0.843707	1.185245	7.447114	55.459506
14	0.842134	1.18746	7.461029	55.666948
15	0.835671	1.196644	7.518734	56.531367
16	0.713292	1.40195	8.808709	77.593357
17	0.542149	1.844511	11.589404	134.314283
18	0.370651	2.697956	16.951757	287.362049
19	0.36706	2.724353	17.117617	293.012821
20	0.363965	2.74752	17.263177	298.017289

Cihaz Tipi	Mod No	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
Cihaz-A	5	1.185446	0.843564	5.30027	28.092864
Cihaz-B	5	1.144539	0.873715	5.489711	30.136924
Cihaz-C	5	1.116192	0.895903	5.629125	31.687052
Cihaz-D	5	1.205783	0.829337	5.210876	27.153232
Cihaz-E	5	1.060845	0.942645	5.922811	35.079688
Cihaz-F	5	1.217279	0.821505	5.161666	26.642794
Cihaz-G	5	1.198458	0.834406	5.242725	27.486167
Cihaz-H	5	1.227766	0.814488	5.117577	26.189591

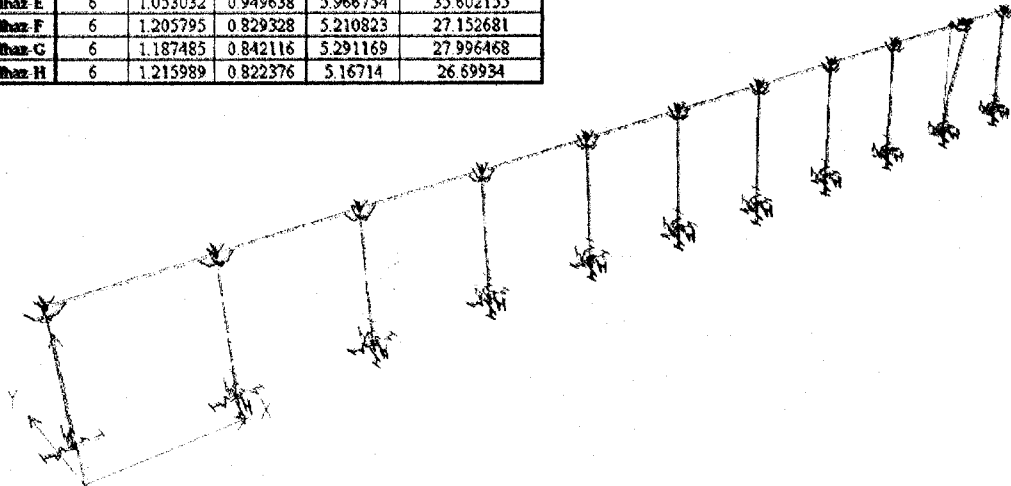


Şekil 4.6. Mod 5 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Tablo 4.6. BRG-F İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları.

Mod	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
1	6.429396	0.155536	0.977259	0.955035
2	6.298371	0.158771	0.997589	0.995184
3	5.79475	0.17257	1.084289	1.175683
4	2.540322	0.393651	2.473381	6.117614
5	1.217279	0.821505	5.161666	26.642794
6	1.205795	0.829328	5.210823	27.152681
7	1.196299	0.835911	5.252185	27.585449
8	1.188543	0.841366	5.286461	27.946674
9	1.181983	0.846036	5.3158	28.25773
10	1.046862	0.955236	6.001924	36.023089
11	1.042921	0.958846	6.024605	36.295868
12	0.960724	1.040881	6.540051	42.772264
13	0.927912	1.077688	6.771313	45.850676
14	0.927844	1.077768	6.771815	45.857479
15	0.91888	1.088282	6.837875	46.756535
16	0.768428	1.301359	8.176679	66.858084
17	0.554146	1.804577	11.338492	128.56141
18	0.375986	2.659675	16.711233	279.265301
19	0.37225	2.686365	16.878927	284.898163
20	0.368994	2.710071	17.02788	289.948707

Cihaz Tipi	Mod No	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
Cihaz A	6	1.174814	0.851198	5.348236	28.603632
Cihaz B	6	1.13491	0.881127	5.536287	30.650471
Cihaz C	6	1.107204	0.903176	5.674819	32.203576
Cihaz D	6	1.194614	0.837091	5.259595	27.663343
Cihaz E	6	1.053032	0.949638	5.966754	35.602155
Cihaz F	6	1.205795	0.829328	5.210823	27.152681
Cihaz G	6	1.187485	0.842116	5.291169	27.996468
Cihaz H	6	1.215989	0.822376	5.16714	26.69934

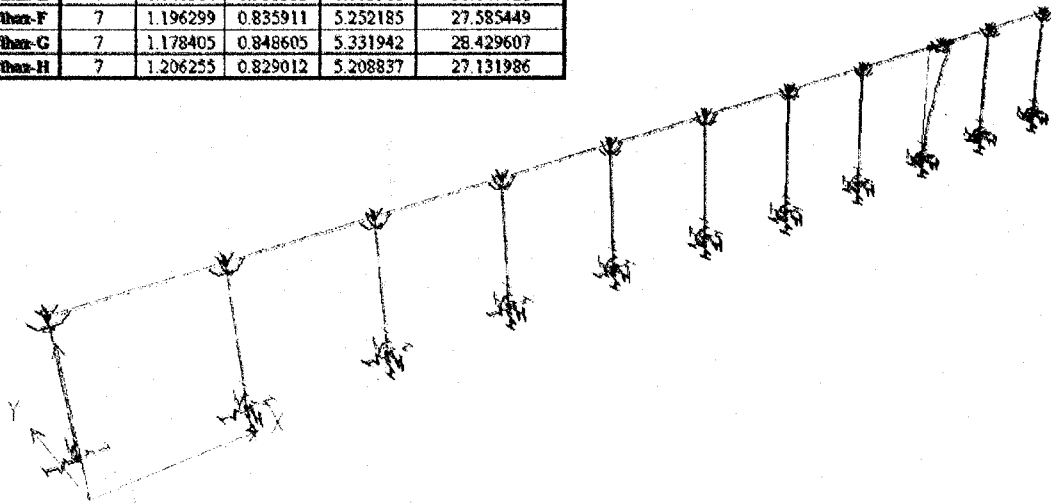


Şekil 4.7. Mod 6 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Tablo 4.7. BRG-G İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları.

Mod	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
1	5.298591	0.188729	1.185822	1.406174
2	5.135478	0.194724	1.223486	1.496918
3	4.720395	0.211847	1.331072	1.771753
4	2.416634	0.413799	2.599974	6.759864
5	1.198458	0.834406	5.242725	27.486167
6	1.187485	0.842116	5.291169	27.996468
7	1.178405	0.848605	5.331942	28.429607
8	1.17098	0.853985	5.365749	28.791264
9	1.164691	0.858597	5.394723	29.103034
10	1.034105	0.967019	6.075962	36.917312
11	1.034002	0.967116	6.076567	36.924671
12	0.950292	1.052308	6.611846	43.71651
13	0.918324	1.08894	6.842012	46.813123
14	0.918174	1.089118	6.843133	46.828473
15	0.90952	1.099481	6.908245	47.723849
16	0.762346	1.311741	8.24191	67.929082
17	0.55287	1.808743	11.364669	129.155697
18	0.375441	2.663536	16.735489	280.076579
19	0.371719	2.690201	16.903033	285.712525
20	0.368478	2.713868	17.051735	290.761664

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn) ²
Cihaz-A	7	1.16601	0.857625	5.388618	29.037205
Cihaz-B	7	1.126916	0.887378	5.575557	31.08684
Cihaz-C	7	1.099727	0.909317	5.713407	32.643021
Cihaz-D	7	1.185374	0.843616	5.300595	28.096311
Cihaz-E	7	1.046514	0.955553	6.003918	36.047028
Cihaz-F	7	1.196299	0.835911	5.252185	27.585449
Cihaz-G	7	1.178405	0.848605	5.331942	28.429607
Cihaz-H	7	1.206255	0.829012	5.208837	27.131986

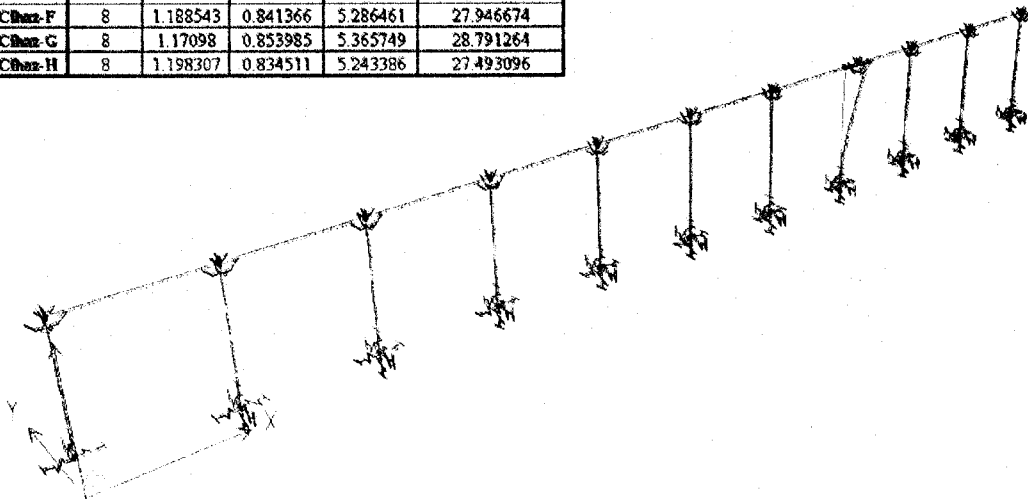


Şekil 4.8. Mod 7 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Tablo 4.8. BRG-H İçin Yapının İlk 20 Doğal Titreşim Periyotları ve Frekansları.

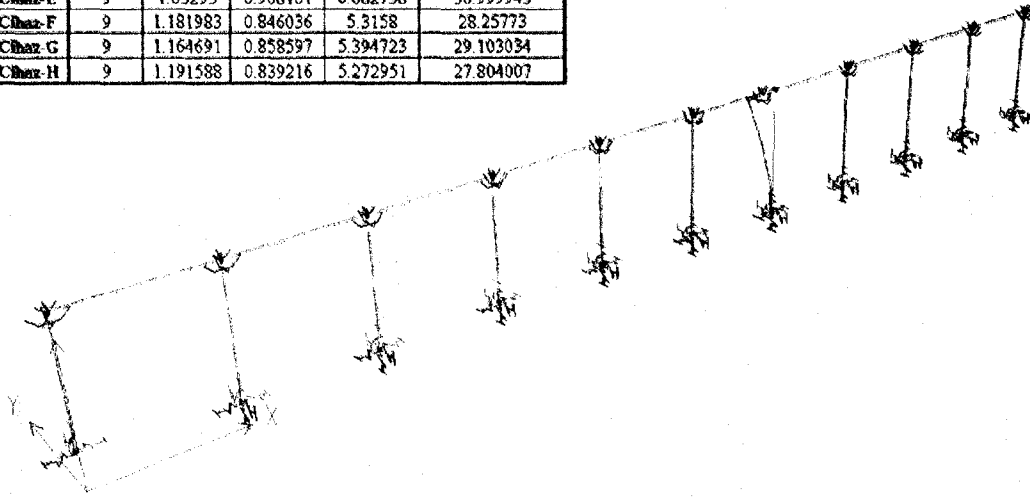
Mod	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
1	7.500738	0.13332	0.837676	0.7017
2	7.390014	0.135318	0.850226	0.722885
3	6.802783	0.146999	0.92362	0.853074
4	2.615372	0.382355	2.402406	5.771555
5	1.227766	0.814488	5.117577	26.189591
6	1.215989	0.822376	5.16714	26.69934
7	1.206255	0.829012	5.208837	27.131986
8	1.198307	0.834511	5.243386	27.493096
9	1.191588	0.839216	5.272951	27.804007
10	1.053973	0.948791	5.961428	35.538625
11	1.047774	0.954404	5.9967	35.96041
12	0.966476	1.034687	6.501131	42.264699
13	0.933201	1.071581	6.732942	45.332512
14	0.933164	1.071623	6.733209	45.336103
15	0.924032	1.082213	6.799746	46.236544
16	0.77176	1.295739	8.141367	66.281864
17	0.554841	1.802318	11.324301	128.239795
18	0.376281	2.657589	16.698122	278.827292
19	0.372537	2.684296	16.865929	284.459565
20	0.369275	2.708008	17.014917	289.507388

Cihaz Tipl	Mod No	PERİYOT (Sn)	FREKANS (Devir/Sn)	FREKANS (Rad/Sn)	EIGEN DEĞERİ (Rad/Sn) ²
Cihaz-A	8	1.158805	0.862958	5.422127	29.399457
Cihaz-B	8	1.120323	0.8926	5.608369	31.453805
Cihaz-C	8	1.093498	0.914497	5.745952	33.015961
Cihaz-D	8	1.177822	0.849025	5.334581	28.457751
Cihaz-E	8	1.041001	0.960614	6.035718	36.429887
Cihaz-F	8	1.188543	0.841366	5.286461	27.946674
Cihaz-G	8	1.17098	0.853985	5.365749	28.791264
Cihaz-H	8	1.198307	0.834511	5.243386	27.493096



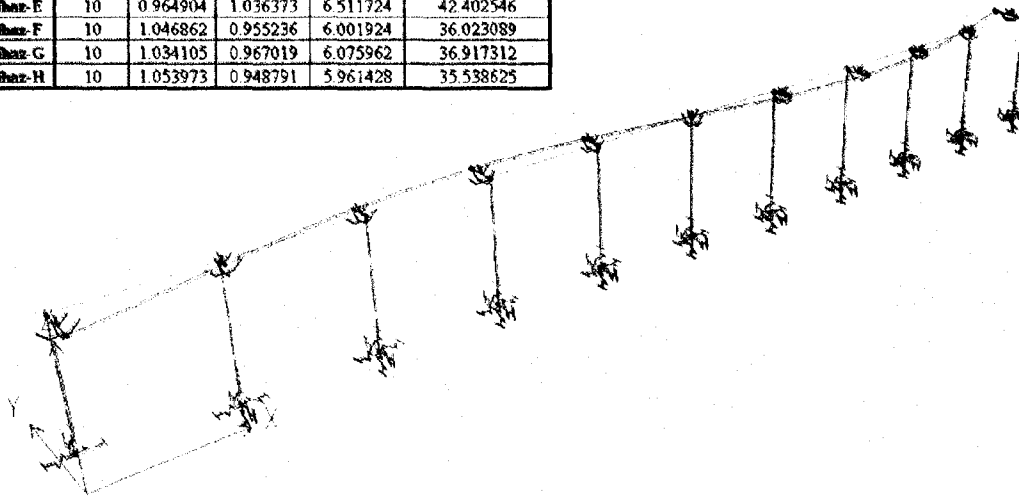
Şekil 4.9. Mod 8 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EİGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn)**2
Cihaz-A	9	1.152685	0.867539	5.450911	29.712431
Cihaz-B	9	1.114528	0.897241	5.637528	31.781727
Cihaz-C	9	1.08753	0.919515	5.777484	33.379323
Cihaz-D	9	1.17143	0.853657	5.363687	28.769143
Cihaz-E	9	1.03295	0.968101	6.082758	36.999945
Cihaz-F	9	1.181983	0.846036	5.3158	28.25773
Cihaz-G	9	1.164691	0.858597	5.394723	29.103034
Cihaz-H	9	1.191588	0.839216	5.272951	27.804007



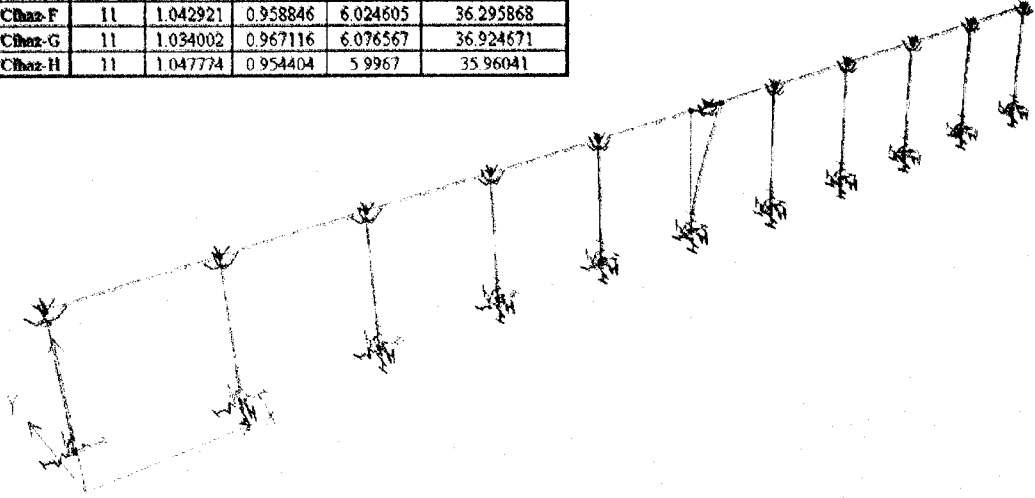
Şekil 4.10. Mod 9 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EİGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn)**2
Cihaz-A	10	1.027929	0.97283	6.11247	37.36229
Cihaz-B	10	1.008043	0.992021	6.233051	38.850929
Cihaz-C	10	0.993817	1.006222	6.322279	39.97121
Cihaz-D	10	1.039022	0.962443	6.047209	36.568732
Cihaz-E	10	0.964904	1.036373	6.511724	42.402546
Cihaz-F	10	1.046862	0.955236	6.001924	36.023089
Cihaz-G	10	1.034105	0.967019	6.075962	36.917312
Cihaz-H	10	1.053973	0.948791	5.961428	35.538625



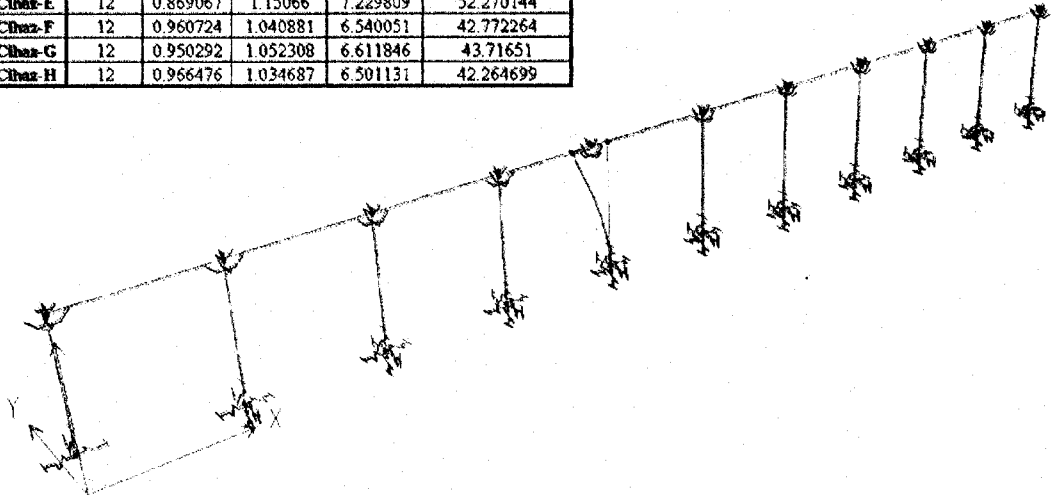
Şekil 4.11. Mod 10 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn)**2
Cihaz-A	11	1.025036	0.975576	6.129723	37.573508
Cihaz-B	11	0.996402	1.003611	6.305872	39.764022
Cihaz-C	11	0.976131	1.024453	6.436825	41.432722
Cihaz-D	11	1.037553	0.963806	6.055775	36.672407
Cihaz-E	11	0.935455	1.068999	6.716719	45.114315
Cihaz-F	11	1.042921	0.958846	6.024605	36.295868
Cihaz-G	11	1.034002	0.967116	6.076567	36.924671
Cihaz-H	11	1.047774	0.954404	5.9967	35.96041



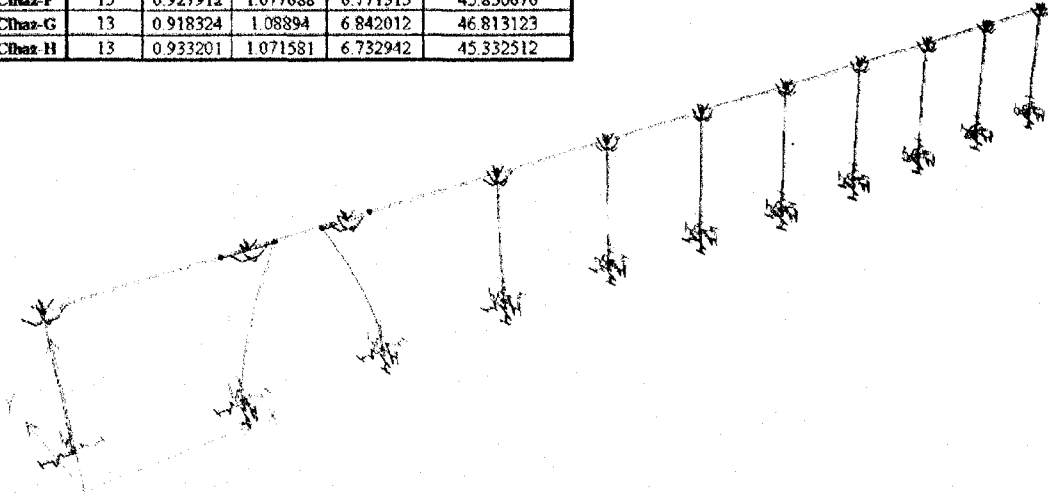
Şekil 4.12. Mod 11 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn)**2
Cihaz-A	12	0.942994	1.060452	6.663016	44.395781
Cihaz-B	12	0.919561	1.087475	6.832809	46.687285
Cihaz-C	12	0.902857	1.107596	6.959229	48.430868
Cihaz-D	12	0.954369	1.047812	6.583599	43.343777
Cihaz-E	12	0.869067	1.15066	7.229809	52.270144
Cihaz-F	12	0.960724	1.040881	6.540051	42.772264
Cihaz-G	12	0.950292	1.052308	6.611846	43.71651
Cihaz-H	12	0.966476	1.034687	6.501131	42.264699



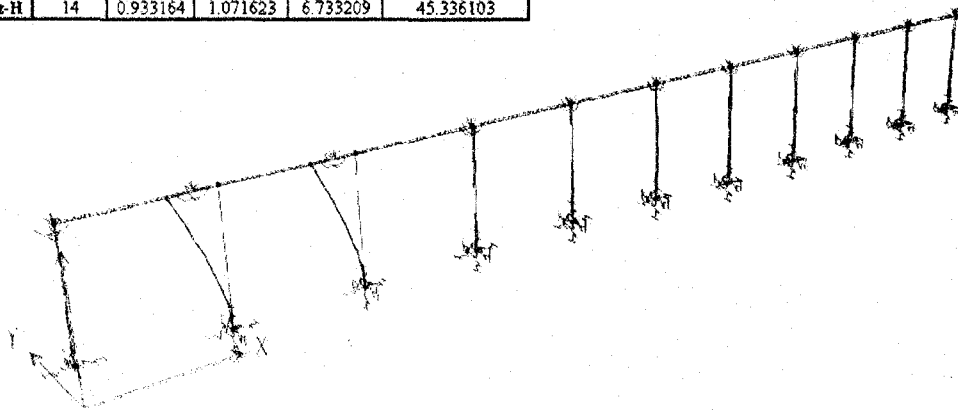
Şekil 4.13. Mod 12 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn)**2
Cihaz-A	13	0.911619	1.09695	6.892338	47.504318
Cihaz-B	13	0.890097	1.123473	7.058991	49.82936
Cihaz-C	13	0.874757	1.143175	7.182781	51.592349
Cihaz-D	13	0.922071	1.084515	6.814208	46.433437
Cihaz-E	13	0.843707	1.185245	7.447114	55.459506
Cihaz-F	13	0.927912	1.077688	6.771313	45.850676
Cihaz-G	13	0.918324	1.08894	6.842012	46.813123
Cihaz-H	13	0.933201	1.071581	6.732942	45.332512



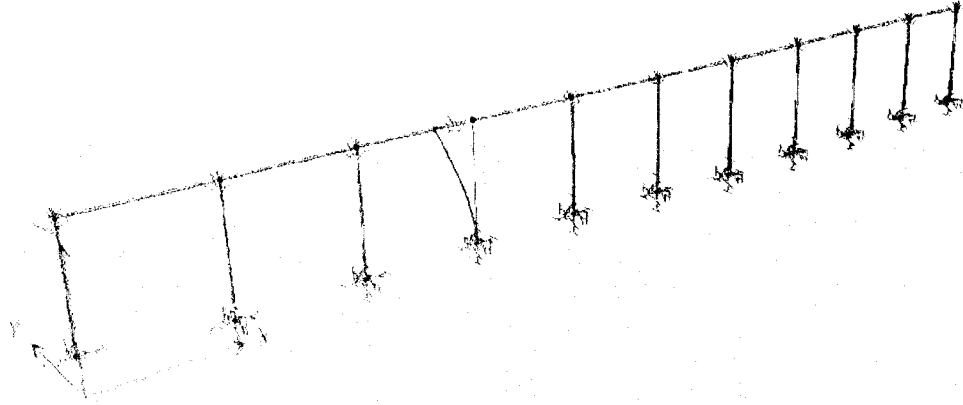
Şekil 4.14. Mod 13 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn)**2
Cihaz-A	14	0.911394	1.097221	6.894041	47.527807
Cihaz-B	14	0.889542	1.124173	7.06339	49.891478
Cihaz-C	14	0.873898	1.144299	7.189841	51.693814
Cihaz-D	14	0.921956	1.08465	6.815058	46.445022
Cihaz-E	14	0.842134	1.18746	7.461029	55.666948
Cihaz-F	14	0.927844	1.077768	6.771815	45.857479
Cihaz-G	14	0.918174	1.089118	6.843133	46.828473
Cihaz-H	14	0.933164	1.071623	6.733209	45.336103



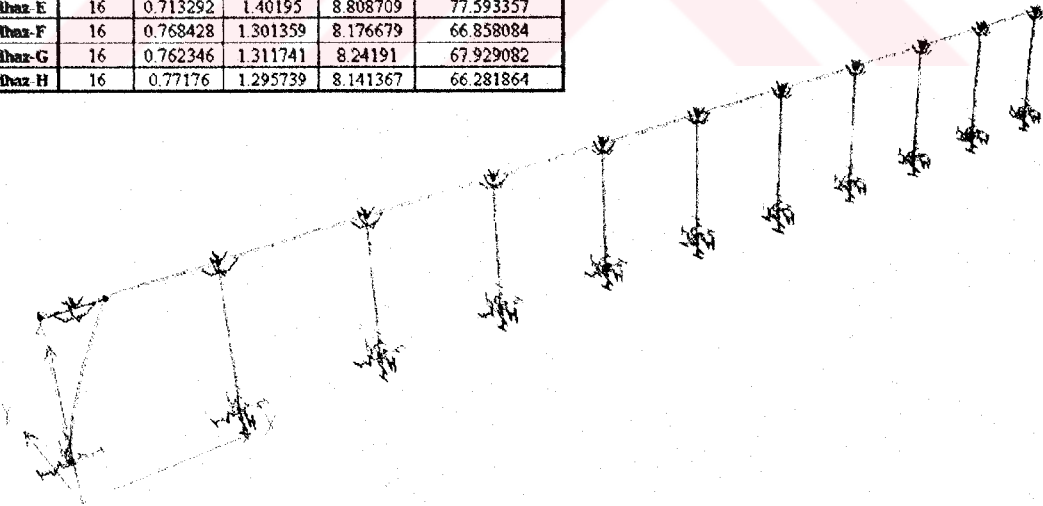
Şekil 4.15. Mod 14 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn)**2
Cihaz-A	15	0.90296	1.107469	6.95843	48.419754
Cihaz-B	15	0.881822	1.134015	7.125229	50.768887
Cihaz-C	15	0.866666	1.153847	7.249835	52.560106
Cihaz-D	15	0.91318	1.095074	6.880553	47.342012
Cihaz-E	15	0.835671	1.196644	7.518734	56.531367
Cihaz-F	15	0.91888	1.088282	6.837875	46.756535
Cihaz-G	15	0.90952	1.099481	6.908245	47.723849
Cihaz-H	15	0.924032	1.082213	6.799746	46.236544



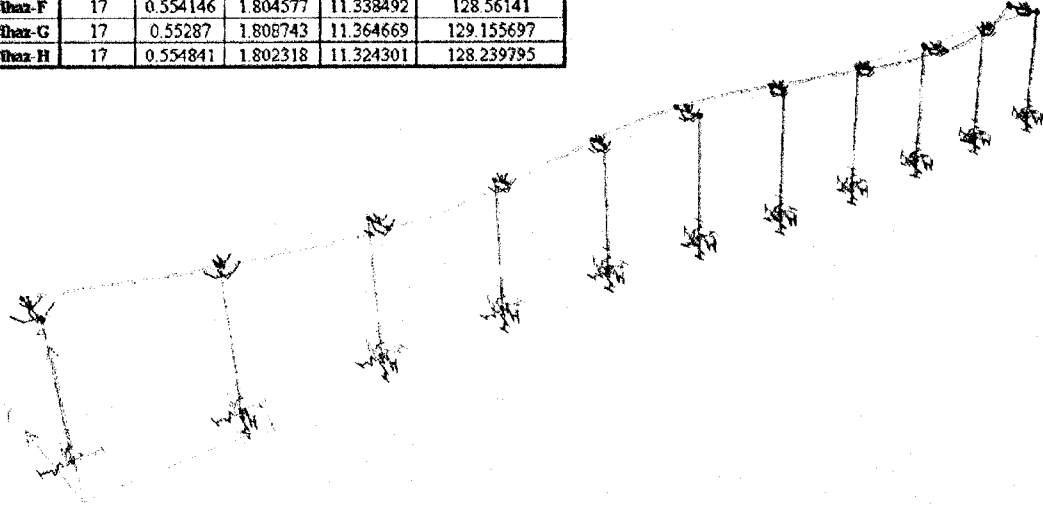
Şekil 4.16. Mod 15 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn)**2
Cihaz-A	16	0.758063	1.319152	8.288478	68.698864
Cihaz-B	16	0.744149	1.343818	8.443456	71.291941
Cihaz-C	16	0.734076	1.362257	8.559311	73.261801
Cihaz-D	16	0.764728	1.307654	8.21623	67.50644
Cihaz-E	16	0.713292	1.40195	8.808709	77.593357
Cihaz-F	16	0.768428	1.301359	8.176679	66.858084
Cihaz-G	16	0.762346	1.311741	8.24191	67.929082
Cihaz-H	16	0.77176	1.295739	8.141367	66.281864



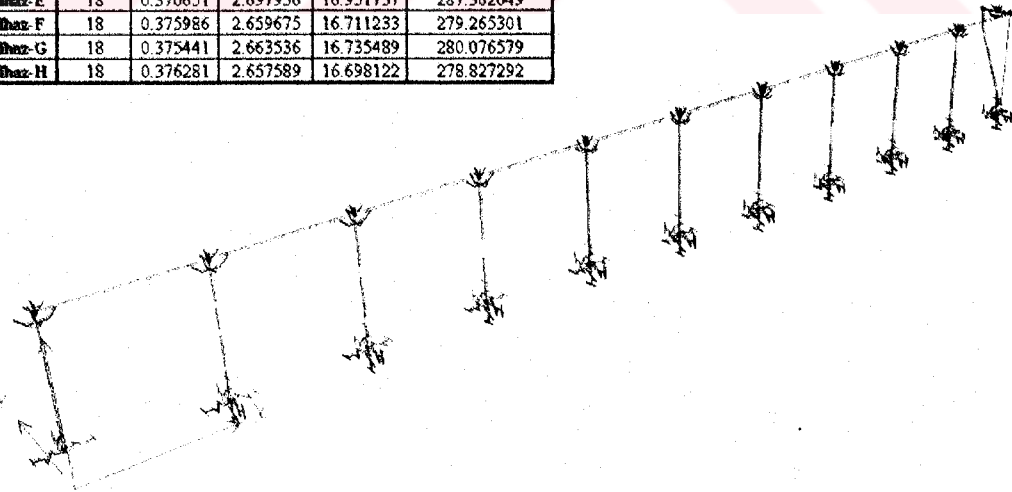
Şekil 4.17. Mod 16 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn)**2
Cihaz-A	17	0.551964	1.811711	11.383319	129.579941
Cihaz-B	17	0.548981	1.821556	11.445173	130.991978
Cihaz-C	17	0.546784	1.828876	11.49117	132.04698
Cihaz-D	17	0.553372	1.807104	11.35437	128.92171
Cihaz-E	17	0.542149	1.844511	11.589404	134.314283
Cihaz-F	17	0.554146	1.804577	11.338492	128.56141
Cihaz-G	17	0.55287	1.808743	11.364669	129.155697
Cihaz-H	17	0.554841	1.802318	11.324301	128.239795



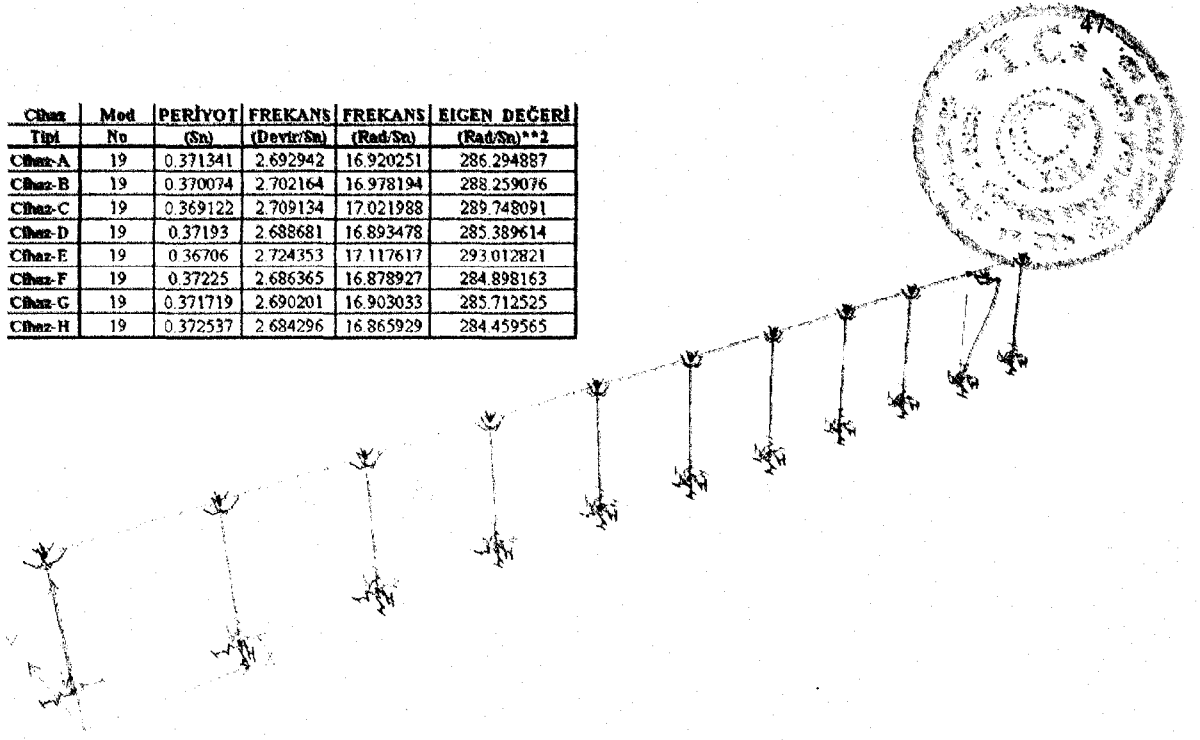
Şekil 4.18. Mod 17 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn)**2
Cihaz-A	18	0.37505	2.666312	16.75293	280.660648
Cihaz-B	18	0.373745	2.675624	16.811439	282.624494
Cihaz-C	18	0.372764	2.682666	16.855685	284.114119
Cihaz-D	18	0.375655	2.662017	16.725945	279.757251
Cihaz-E	18	0.370651	2.697956	16.951757	287.362049
Cihaz-F	18	0.375986	2.659675	16.711233	279.265301
Cihaz-G	18	0.375441	2.663536	16.735489	280.076579
Cihaz-H	18	0.376281	2.657589	16.698122	278.827292



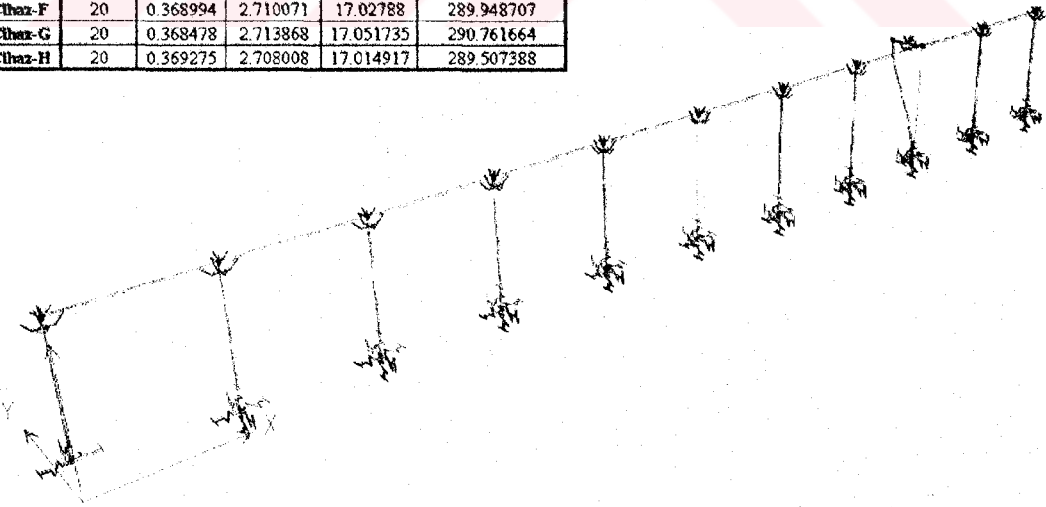
Şekil 4.19. Mod 18 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn)**2
Cihaz-A	19	0.371341	2.692942	16.920251	286.294887
Cihaz-B	19	0.370074	2.702164	16.978194	288.259076
Cihaz-C	19	0.369122	2.709134	17.021988	289.748091
Cihaz-D	19	0.37193	2.688681	16.893478	285.389614
Cihaz-E	19	0.36706	2.724353	17.117617	293.012821
Cihaz-F	19	0.37225	2.686365	16.878927	284.898163
Cihaz-G	19	0.371719	2.690201	16.903033	285.712525
Cihaz-H	19	0.372537	2.684296	16.865929	284.459565



Şekil 4.20. Mod 19 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

Cihaz	Mod	PERİYOT	FREKANS	FREKANS	EIGEN DEĞERİ
Tipi	No	(Sn)	(Devir/Sn)	(Rad/Sn)	(Rad/Sn)**2
Cihaz-A	20	0.368108	2.716593	17.068855	291.345811
Cihaz-B	20	0.366875	2.725724	17.126227	293.307657
Cihaz-C	20	0.365951	2.732604	17.169457	294.79024
Cihaz-D	20	0.368682	2.712367	17.042304	290.440126
Cihaz-E	20	0.363965	2.74752	17.263177	298.017289
Cihaz-F	20	0.368994	2.710071	17.02788	289.948707
Cihaz-G	20	0.368478	2.713868	17.051735	290.761664
Cihaz-H	20	0.369275	2.708008	17.014917	289.507388



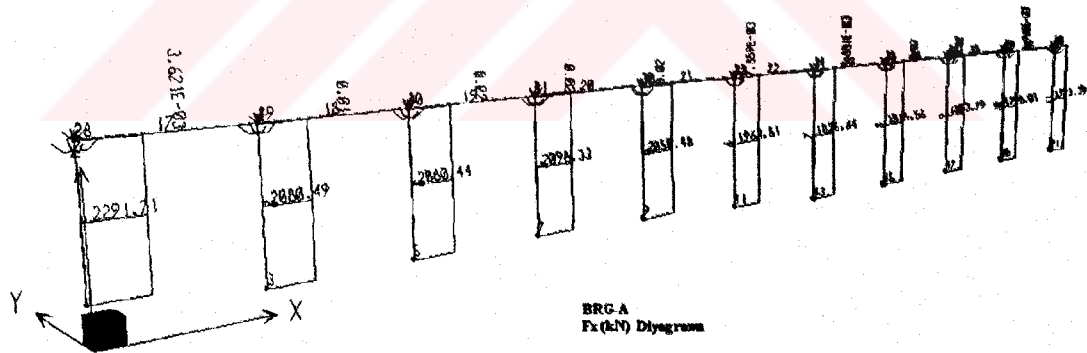
Şekil 4.21. Mod 20 için Tüm (FPS) Sismik İzolasyon Cihazlarının Titreşim Periyot ve Frekansları ile Yer Değiştirmeleri.

4.2 Spektral Analiz

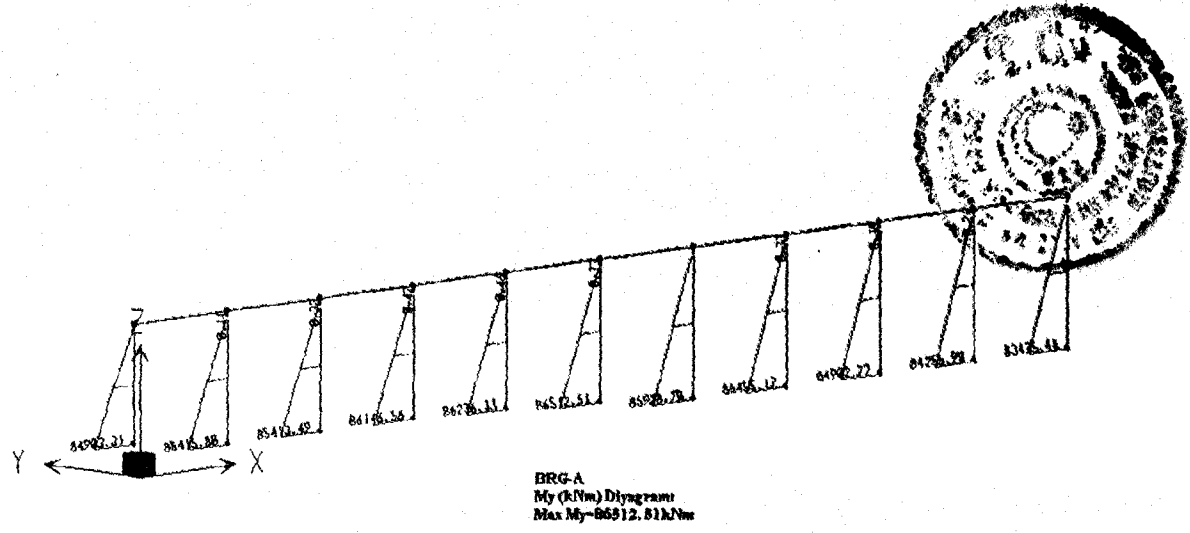
Modal analizin yapılmasından sonra SAP 2000 [SAP2000 Nonlinear Version 7.11 Copyright (C) 1978-1999] sonlu elemanlar programında modelin Spektral Analizi yapılmıştır. Analiz yapılırken, BRG-B cihazı için AASHTO'nun yer ivmesi 0.4g, zemin sınıfı 2, %5 sönümlü tasarım spektrumu (UBC94S2) kullanılmıştır. Diğer sismik izolasyon cihazlarında ise yer ivmesi 0.54g, zemin sınıfı 2, %5 sönümlü tasarım spektrumu kullanılmıştır. Tasarım spektrumları, UBC'de bildirilen dinamik büyütme faktörü 1.3 etkilerek üç doğrultuda da uygulanmıştır.

Analiz sonucu her bir cihaz için elde edilen kesme kuvvetleri (F_x), eğilme momentleri (M_x) ve deplasmanlar (Δ) viyadük yapısının enine ve boyuna her iki yönünde elde edilmiş; aşağıda şematik olarak sırasıyla sunulmuştur.

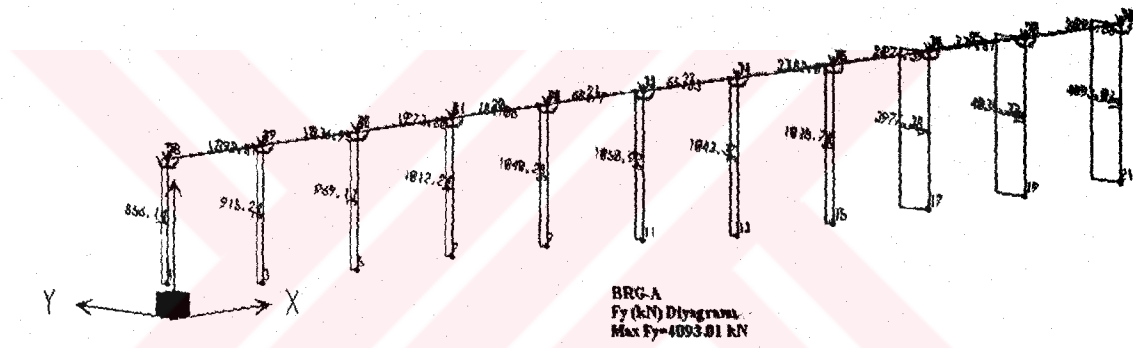
Cihaz	F_x	M_y	F_y	M_x	Deplasman	Deplasman	Deplasman	manlar
Tipi	(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)	Boyuna (m)	Enine (m)	Düsey (m)	y (m)
Cihaz-A	2291.71	86512.51	4093.01	96185.73	0.4298	0.41526	4.07E-06	E-06
Cihaz-B	1705.64	64038.91	3012	70782.02	0.23368	0.21756	3.42E-06	E-06
Cihaz-C	2310.77	86405.18	4061.96	95455.95	0.26881	0.24316	4.22E-06	E-06
Cihaz-D	2279.88	86186.17	4093.83	96205.03	0.52871	0.51932	3.65E-06	E-06
Cihaz-E	2338.07	86769.28	4044.91	95055.42	0.21431	0.19998	4.54E-06	E-06
Cihaz-F	2266.46	85636.53	4083.3	95957.59	0.60561	0.6002	2.15E-06	E-06
Cihaz-G	2285.47	86375.74	4094.85	96228.87	0.48821	0.47676	4.95E-06	E-06
Cihaz-H	2246.42	84723.94	4088.92	96089.6	0.68468	0.68434	3.71E-06	E-06



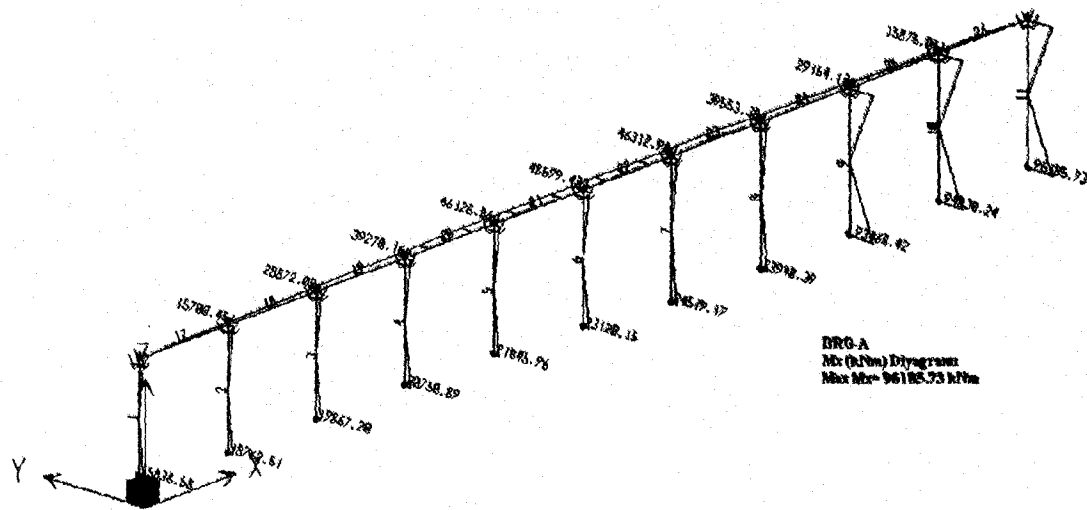
Şekil 4.22. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin F_x Diyagramı.



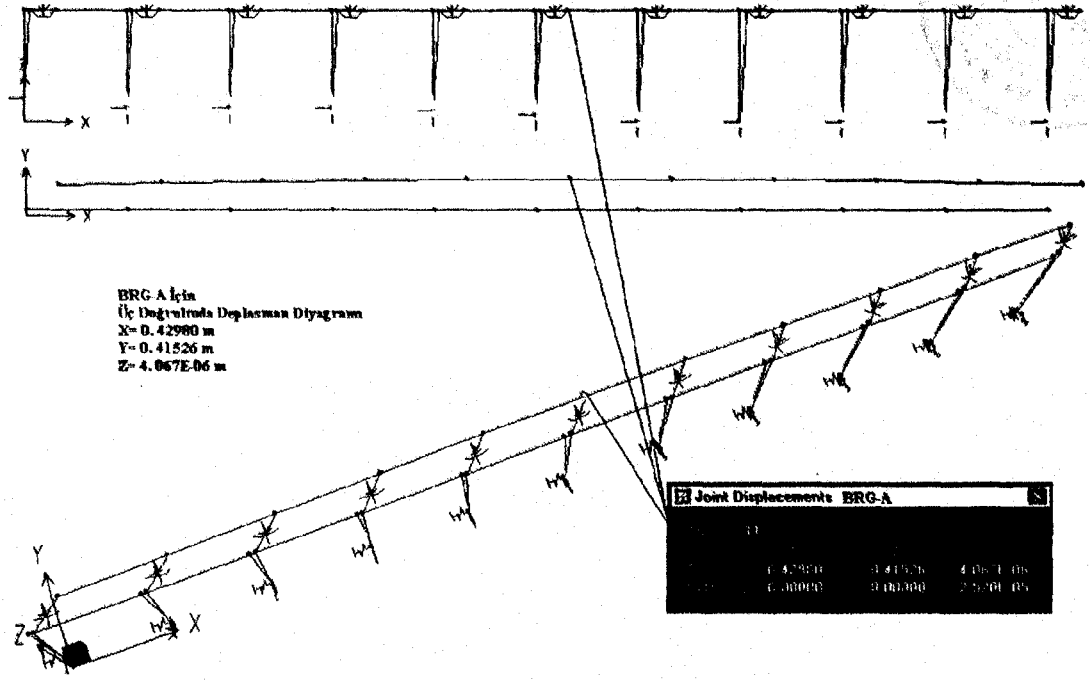
Şekil 4.23. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin M_y Diyagramı.



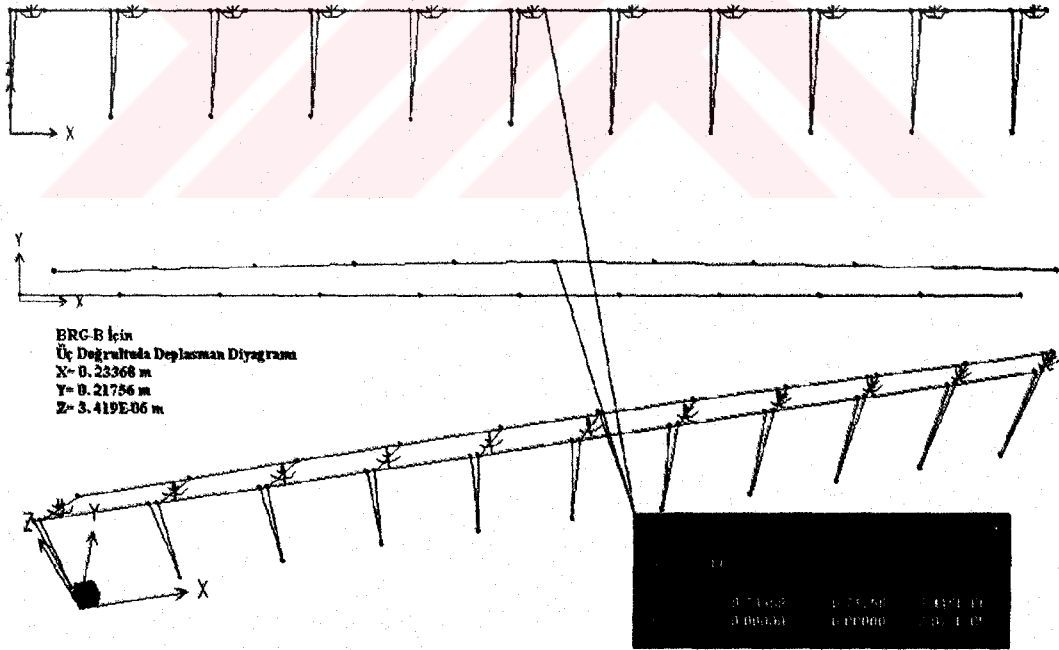
Şekil 4.24. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin F_y Diyagramı.



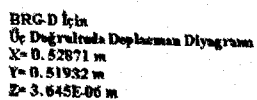
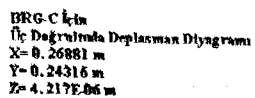
Şekil 4.25. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A İçin M_x Diyagramı.



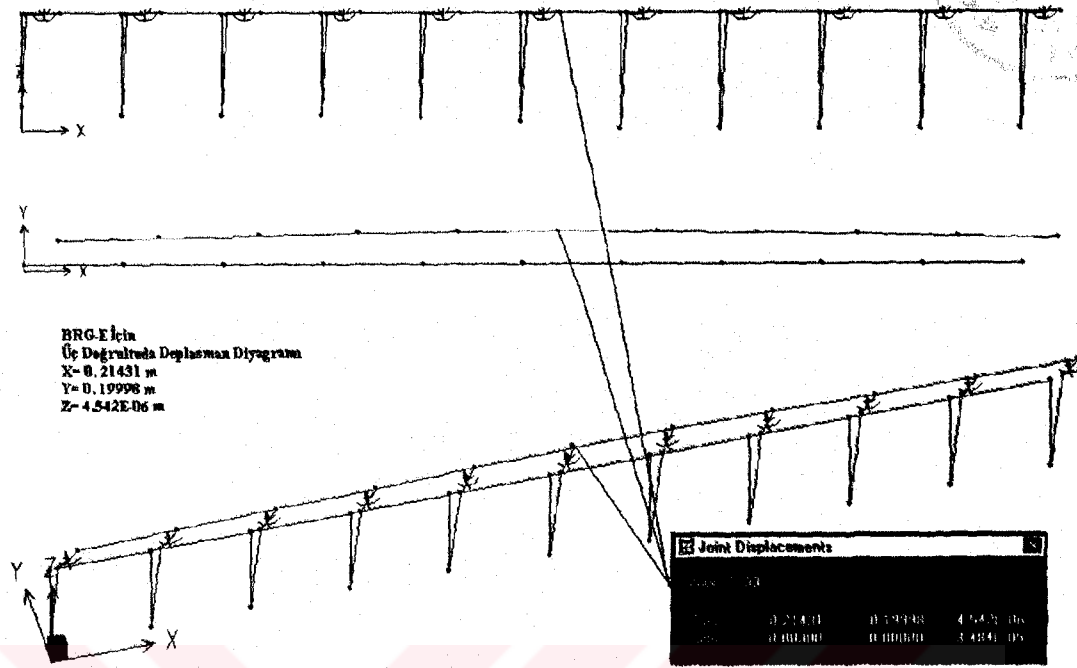
Şekil 4.26. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-A için Δ Diyagramı.



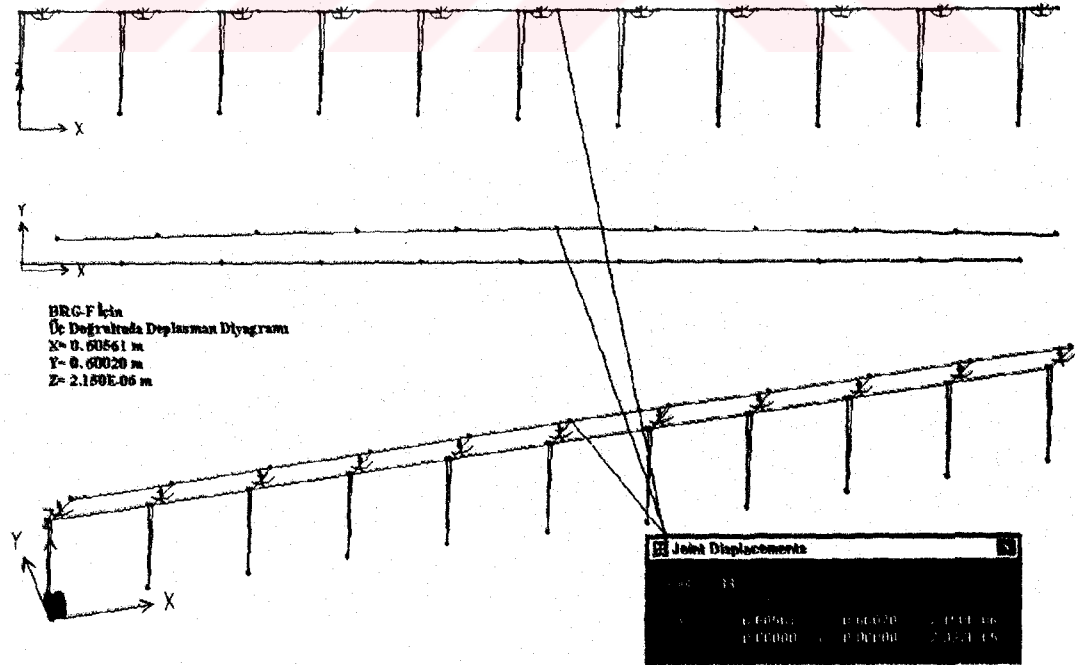
Şekil 4.27. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-B için Δ Diyagramı.



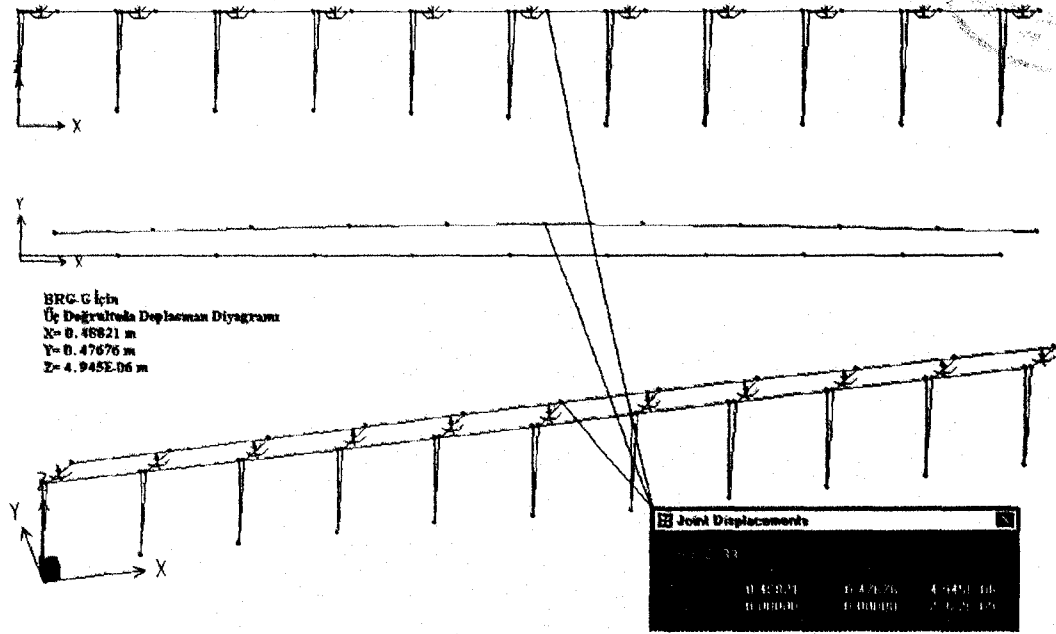
Şekil 4.29. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-D İçin Δ Diyagramı.



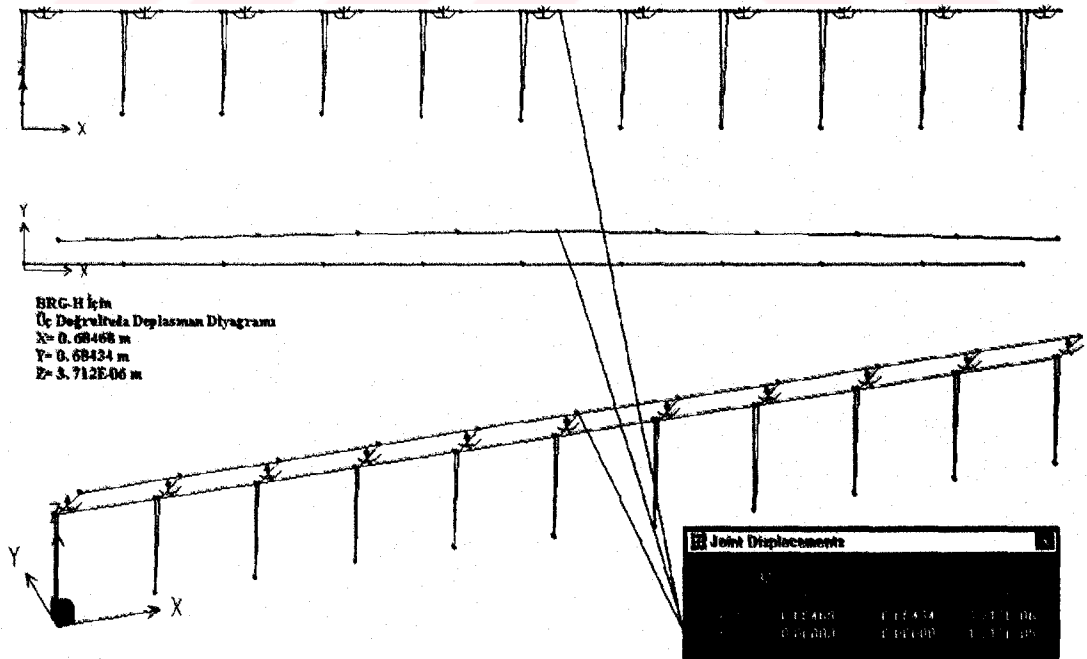
Şekil 4.30. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-E İçin Δ Diyagramı.



Şekil 4.31. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-F İçin Δ Diyagramı.



Şekil 4.32. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-G için Δ Diyagramı.



Şekil 4.33. Üç Doğrultuda Spektral Analiz Sonucu BRG-H için Δ Diyagramı.

Spektral analiz sonucu her bir sismik yalıtım cihazları için, kesme kuvvetlerinin (F_x , F_y), eğilme momentlerinin (M_y , M_x) ve deplasmanlarının (Δ) maksimum değerleri aşağıda, Tablo 4.9'da özetlenmiştir.

Tablo 4.9. Tüm Cihazlar İçin Spektral Analiz Sonucu Maksimum Değerleri.

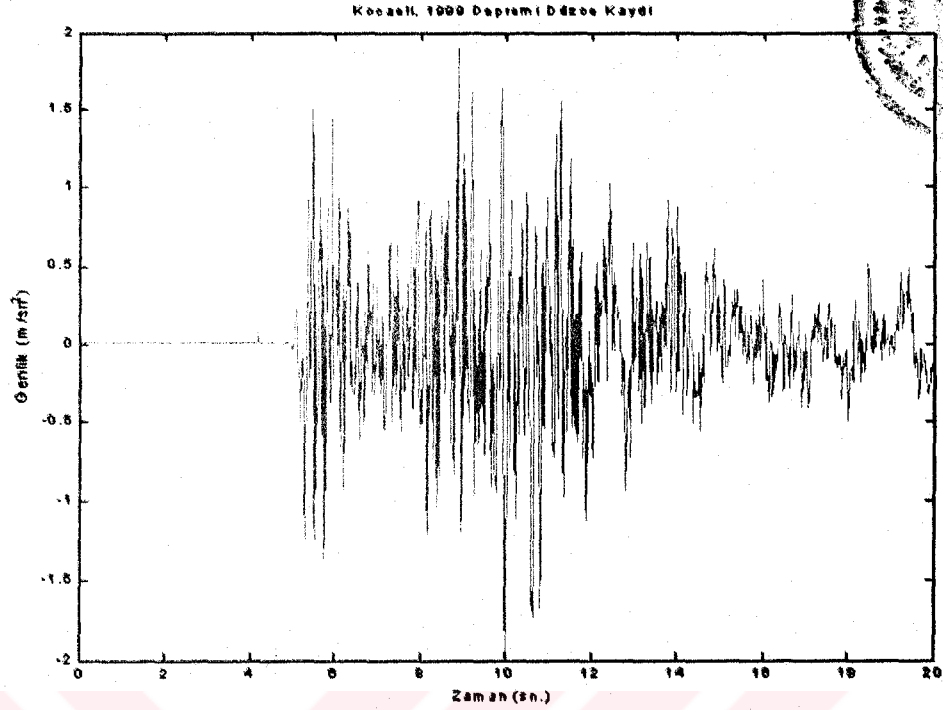
Cihaz	F_x	M_y	F_y	M_x	Deplasman	Deplasman	Deplasman
Tipi	(kN)	(kNm)	(kN)	(kNm)	Boyuna (m)	Enine (m)	Düşey (m)
Cihaz-A	2291.71	86512.51	4093.01	96185.73	0.4298	0.41526	4.07E-06
Cihaz-B	1705.64	64038.91	3012	70782.02	0.23368	0.21756	3.42E-06
Cihaz-C	2310.77	86405.18	4061.96	95455.95	0.26881	0.24316	4.22E-06
Cihaz-D	2279.88	86186.17	4093.83	96205.03	0.52871	0.51932	3.65E-06
Cihaz-E	2338.07	86769.28	4044.91	95055.42	0.21431	0.19998	4.54E-06
Cihaz-F	2266.46	85636.53	4083.3	95957.59	0.60561	0.6002	2.15E-06
Cihaz-G	2285.47	86375.74	4094.85	96228.87	0.48821	0.47676	4.95E-06
Cihaz-H	2246.42	84723.94	4088.92	96089.6	0.68468	0.68434	3.71E-06

4.3 Doğrusal Olmayan Zaman Geçmiş Analizi

Bu yöntemde yönetmelikteki ana kuralların ötesine geçilerek, deprem mühendisliği bilgileri ile gerçek veya üretilmiş bir deprem kaydı kullanılmaktadır. Boyutlama sırasında gerçek deprem kaydının esas alınmasının ana maksadı, ilgili depremin büyüklüğü, merkez üssü ve odak uzaklığı, kaynak mekanizması ve zemin koşullarının gerçek durumla en iyi şekilde uyuşturulmasıdır. Bu sayede pek çok belirsizlik önlenmiş olmaktadır.

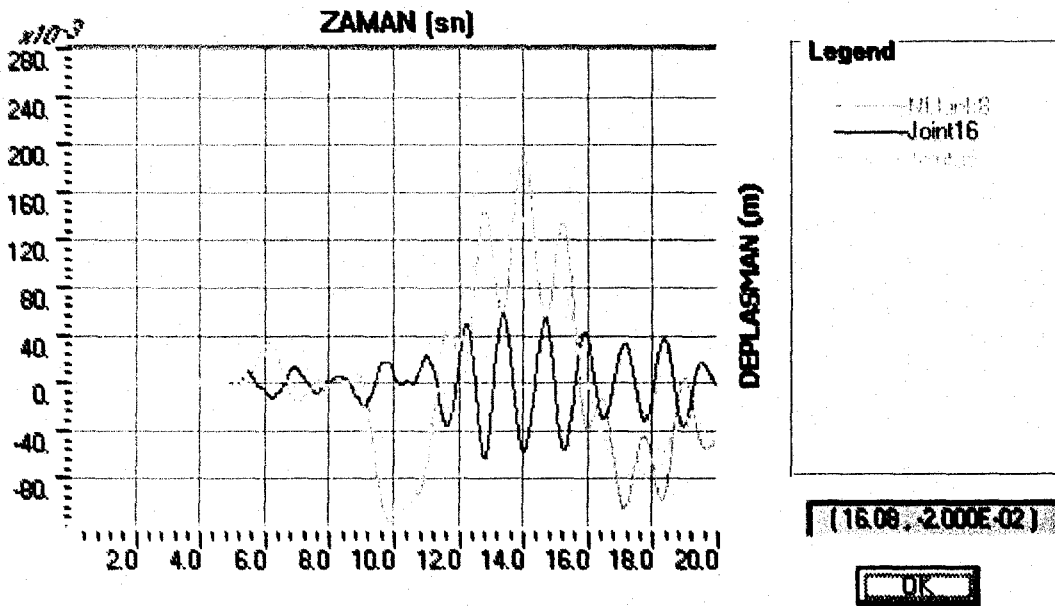
Bu analizde ilk olarak Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından simule edilmiş Kocaeli, 1999 depremi Düzce kaydı esas alınmıştır. Bu deprem kaydı datasının ilk 20 saniyelik yüksek genlikteki kısmı 2000 data ile 0.01 saniyelik aralıklarla programa iki doğrultuda da girilmiştir (Şekil 4.34).

Sismik izolatörler, doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinde (NLLink ELEMENT) elemanlar kullanılarak modellenmiştir. SAP 2000 sonlu elemanlar analiz programında tanımlanan izolatörler ile ilgili açıklamalar ve parametrik özellikler, başlık 3.3'te "(FPS)'lerin Program Üzerinde Tanımlanması" adı altında açıklanmıştır.



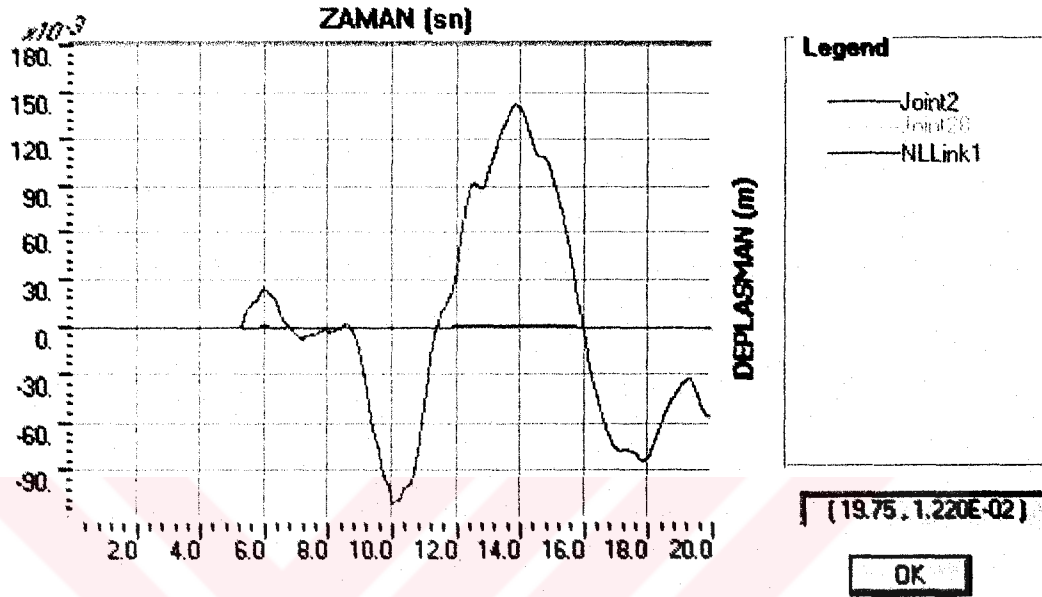
Şekil 4.34. Programa Girilen Simule Deprem Datasının 20 Saniyelik Bölümü.

BRG-A cihazı için yapılan zaman geçmişi analizi sonucunda izolatörlerdeki deplasmanlar hesaplanarak, boyuna doğrultuda maksimum deplasman miktarı 35. düğüm noktası olan viyadüğün 8. Pilonunda tespit edildi. Şekil 4.35'te 8. Pilon a ait düğüm noktaları olan 35(tabliye alt kotu), 16(kolon üst kotu) ve NLLink 8 (8. BRG-A sismik cihazı)'in zamana göre yer değiştirme grafiği görülmektedir.

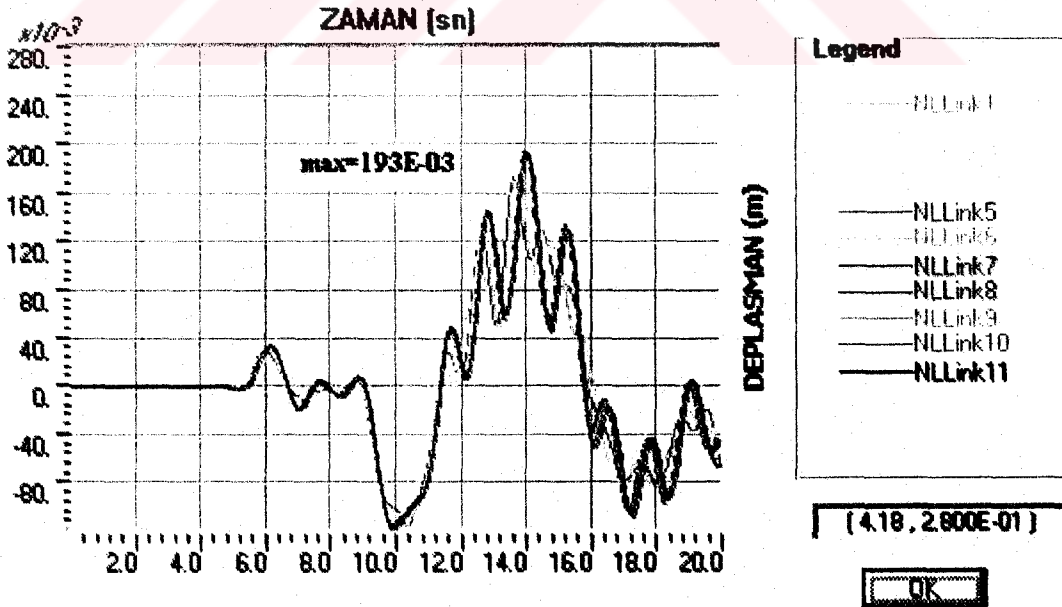


Şekil 4.35. BRG-A Cihazı İçin Pilon 8'in Sismik Yalıtıcı(NLLink 8), Kolon Üst kotu (16) ve Tabliye Alt Kotundaki (35) Boyuna Deplasmanları.

Enine doğrultudaki maksimum deplasman ise 1. Pilon'da tespit edilmiştir. Şekil 4.36'da 1. Pilon'a ait düğüm noktaları olan 28(tabliye alt kotu), 2(kolon üst kotu) ve NLLink 1 (1. BRG-A sismik cihazı)'in zamana göre yer değiştirme grafiği görülmektedir.

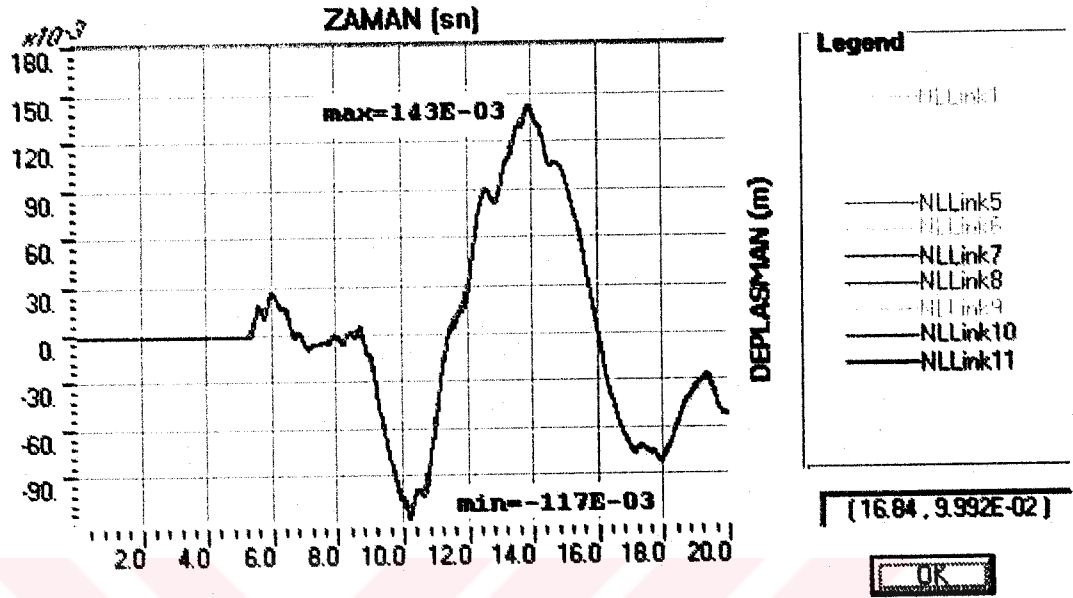


Şekil 4.36. BRG-A Cihazı İçin Pilon 1'in Sismik Yalıtıcı(NLLink 1), Kolon Üst kotu (2) ve Tabliye Alt Kotundaki (28) Enine Deplasmanları.

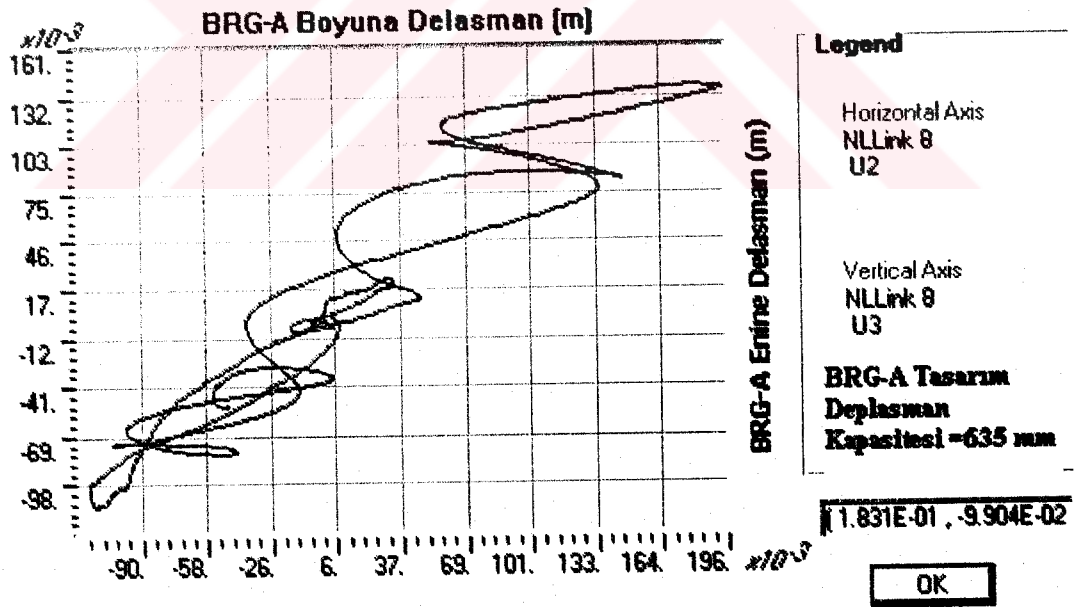


Şekil 4.37. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-A Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

Tüm pilonlardaki BRG-A cihazlarının boyuna doğrultudaki deplasmanları Şekil 4.37'de tanımlanmıştır.



Şekil 4.38. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-A Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

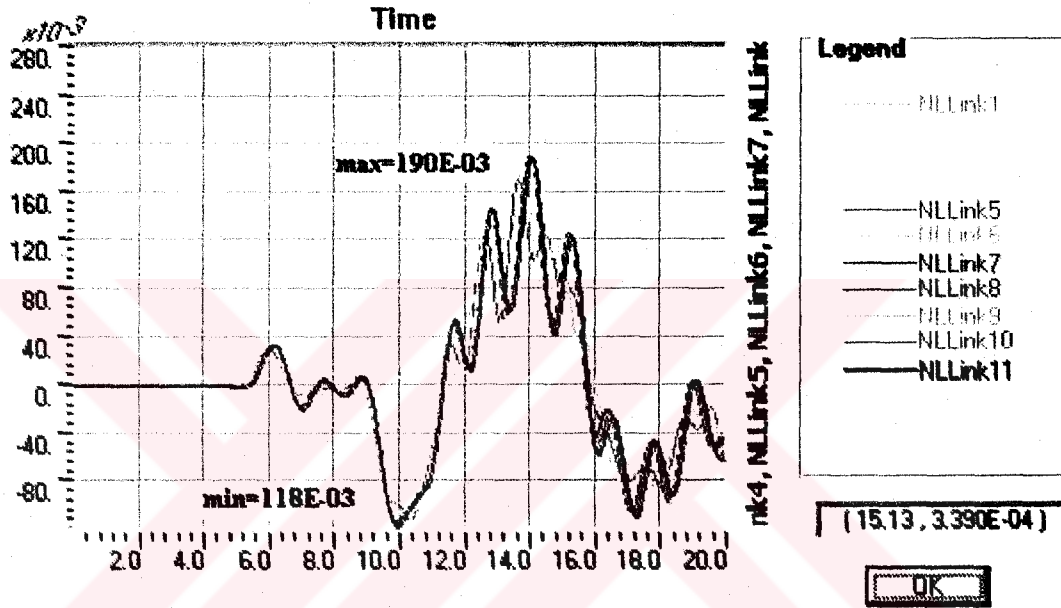


Şekil 4.39. BRG-A Cihazının 8 Nolu Elemanının Deplasman İzi.

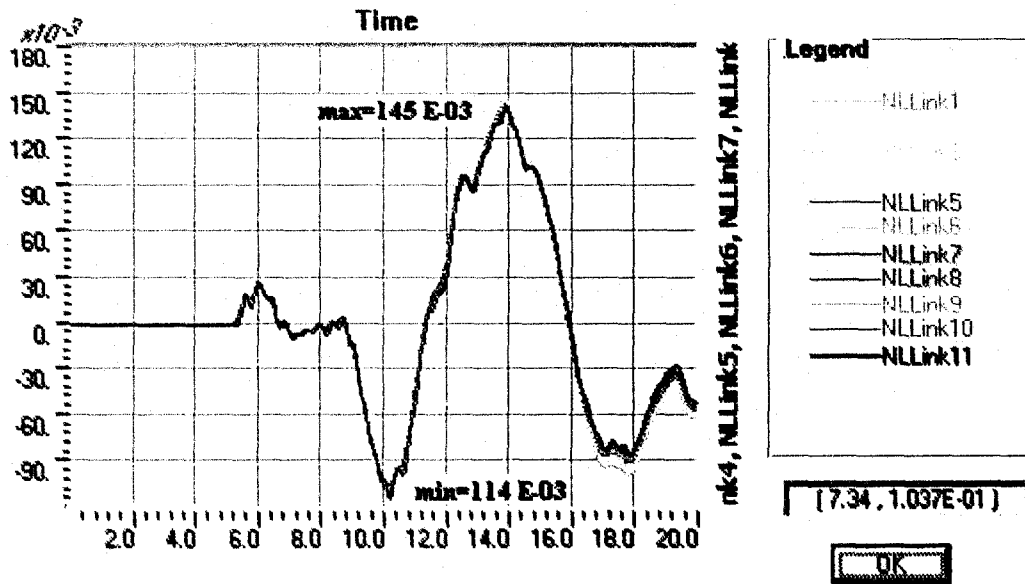
Yukarıdaki grafiklerden de görüldüğü üzere Düzce kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-A cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda maksimum 193 mm. ve minimum 116mm. olurken; enine doğrultudaysa, maksimum 143 mm. ve minimum 117 mm. yer değiştirme

yapmaktadır. BRG-A sismik yalıtıcı cihazının 635 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini göstermektedir.

BRG-B cihazı için yapılan zaman geçmişi analizi sonucunda izolatörlerdeki deplasmanlar hesaplanarak, boyuna doğrultuda maksimum deplasman miktarı 34. düğüm noktası olan viyadüğün 7. Pilonunda tespit edildi.

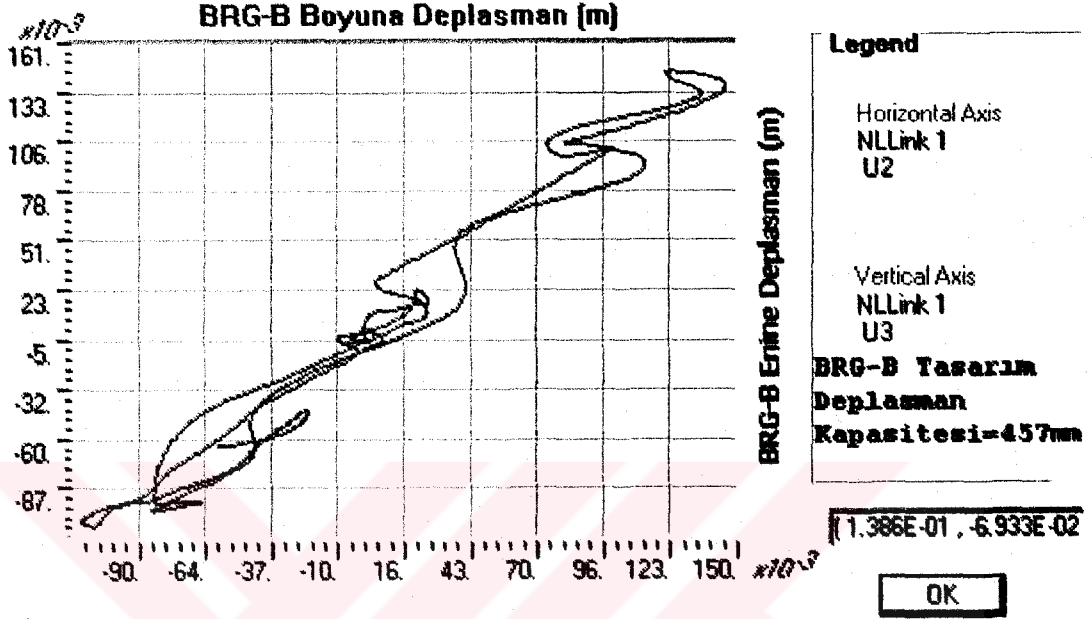


Şekil 4.40. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-B Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



Şekil 4.41. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-B Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

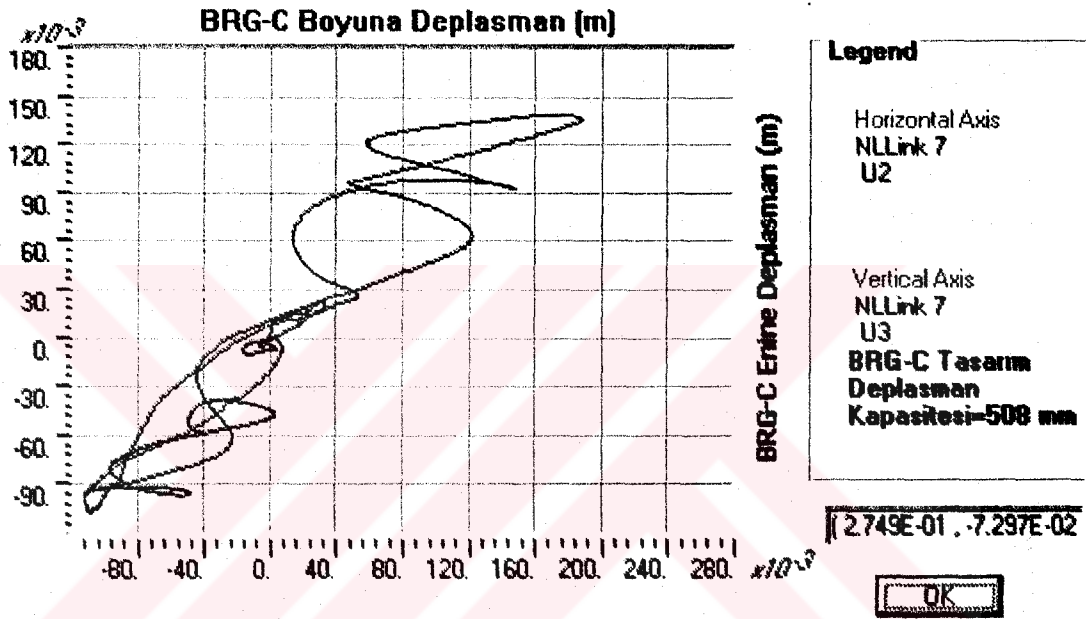
Enine doğrultudaki maksimum deplasman ise 1. Pilon'da (NLLink 1) tespit edilmiştir. Maksimum enine deplasmanların gözlemlendiği 1 nolu sismik cihaz için deplasman izleri grafiği Şekil 4.42'de görülmektedir.



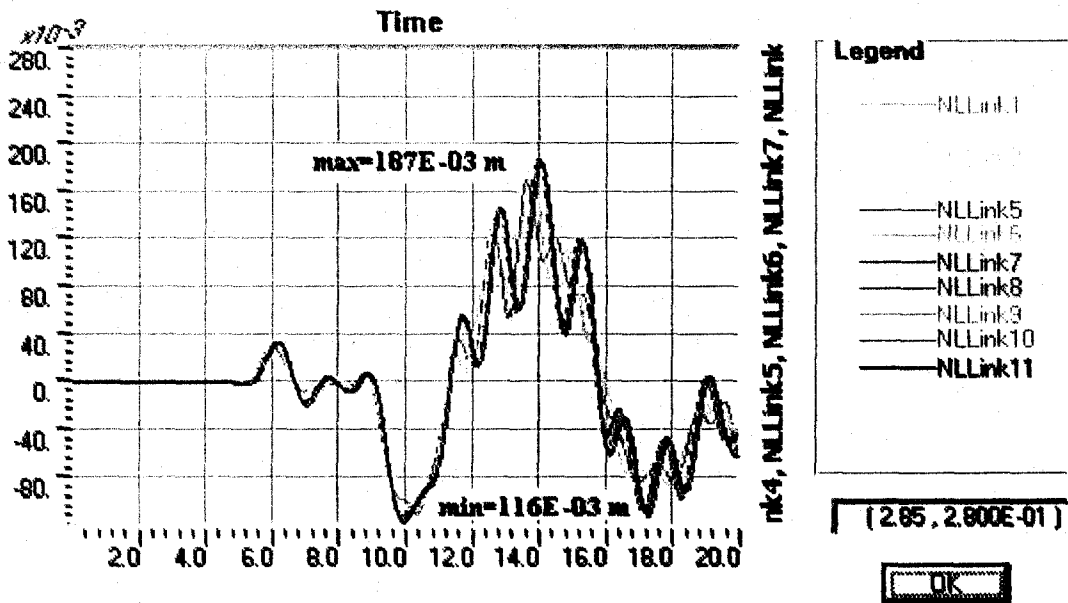
Şekil 4.42. BRG-B Cihazı 1 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

Yukarıdaki grafiklerden de görüldüğü üzere Düzce kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-B cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda maksimum 190 mm. ve minimum 118 mm. olurken; enine doğrultudaysa, maksimum 145 mm. ve minimum 114 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-B sismik yalıtıcı cihazının 457 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini göstermektedir.

Düzce kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-C cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda maksimum 187 mm. ve minimum 116 mm. olurken; enine doğrultuda, maksimum 148 mm. ve minimum 115 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-C sismik yalıtıcı cihazının 508 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini göstermektedir. Aşağıda 7 nolu izolatörün deplasman izi ve tüm izolatörlerin boyuna yer değiştirmeleri gösterilmiştir.

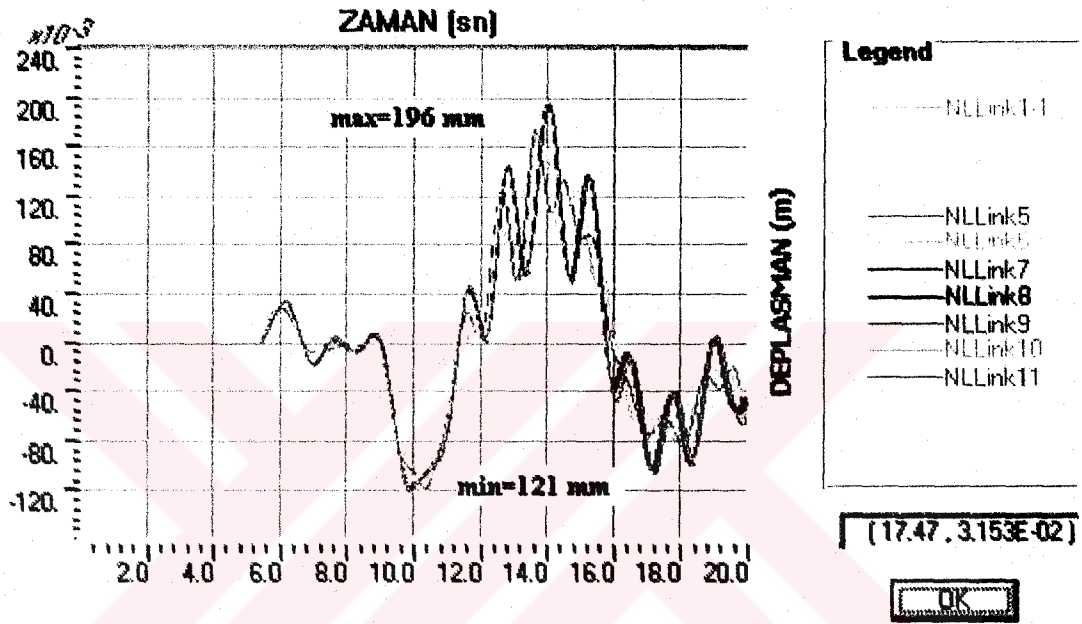


Şekil 4.43. BRG-C Cihazı 7 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

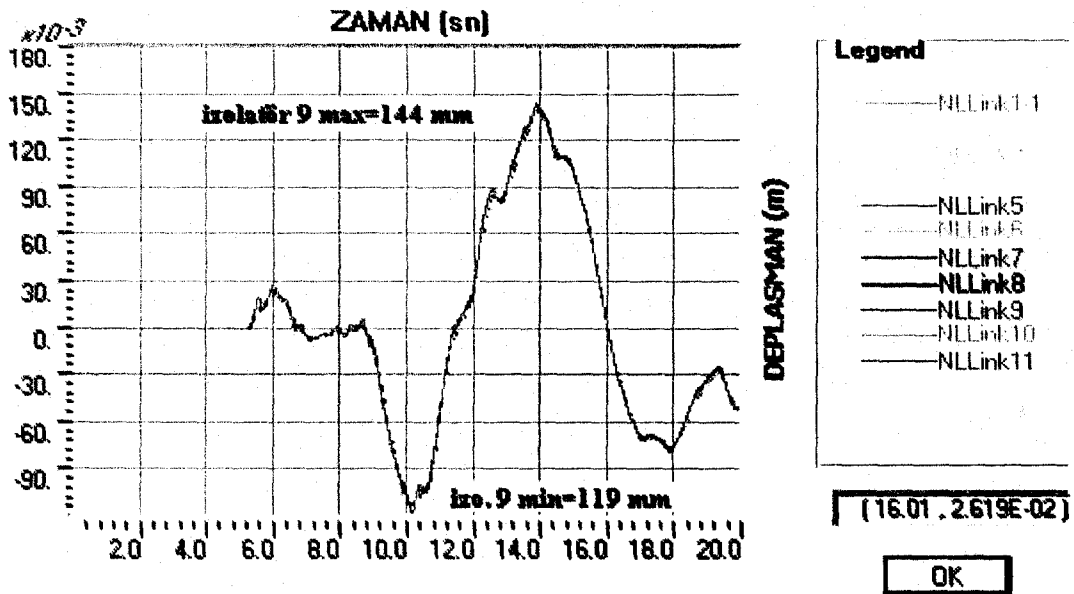


Şekil 4.44. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-C Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

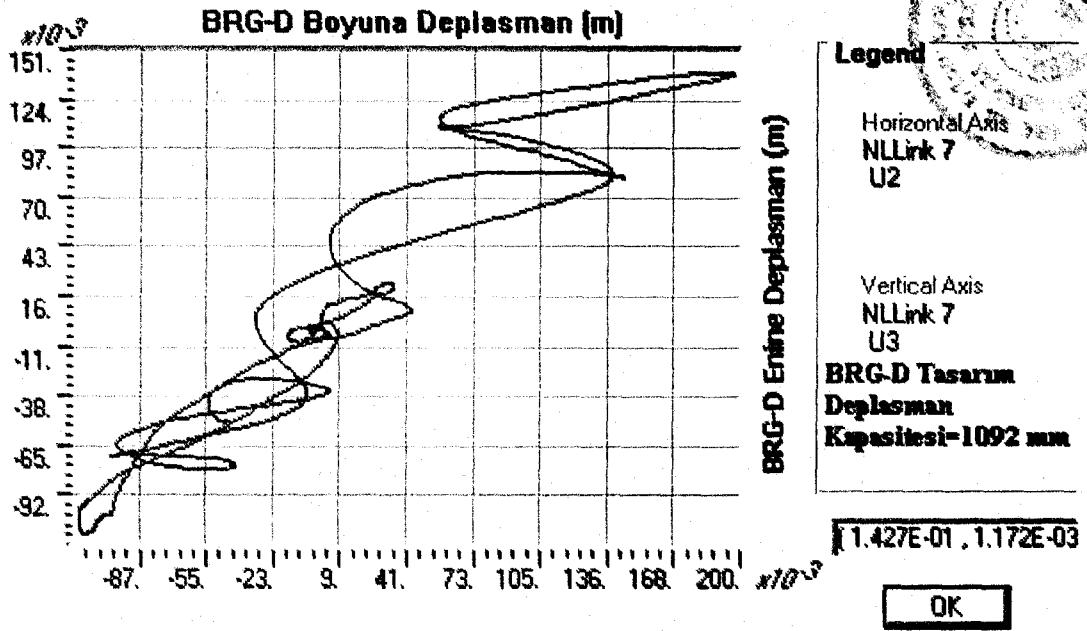
Düzce kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-D cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda (7 nolu izolatör) maksimum 196 mm. ve minimum 121 mm. olurken; enine doğrultuda, maksimum 144 mm. ve minimum 119 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-D sismik yalıtıcı cihazının 1092 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.45. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-D Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

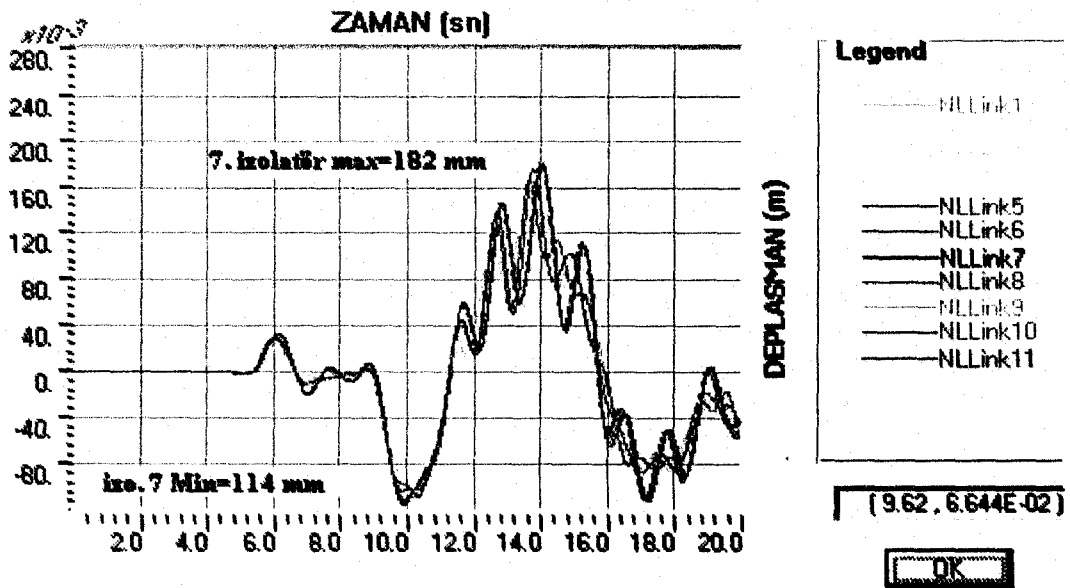


Şekil 4.46. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-D Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

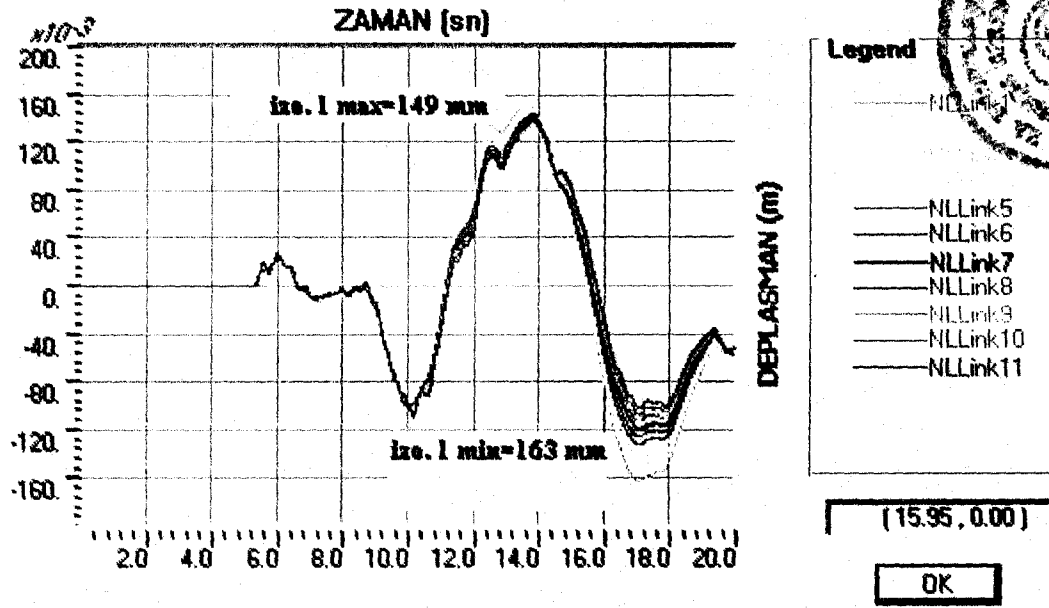


Şekil 4.47. BRG-D Cihazı 7 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

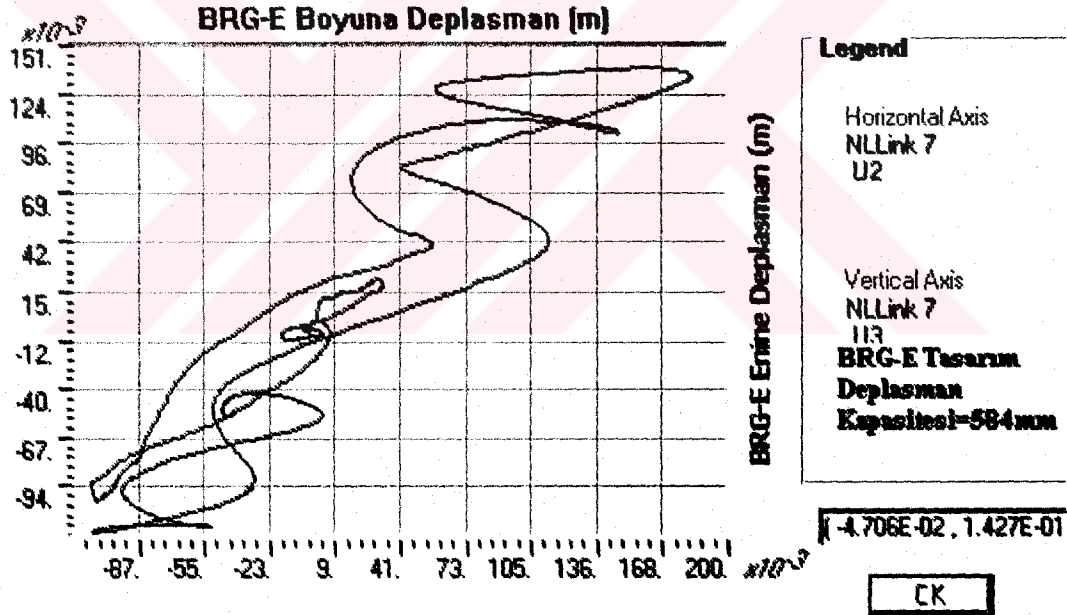
Düzce kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-E cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda (7 nolu izolatör) maksimum 182 mm. ve minimum 114 mm. olurken; enine doğrultudaysa, maksimum 149 mm. ve minimum 163 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-E sismik yalıtıcı cihazının 584 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.48. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-E Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



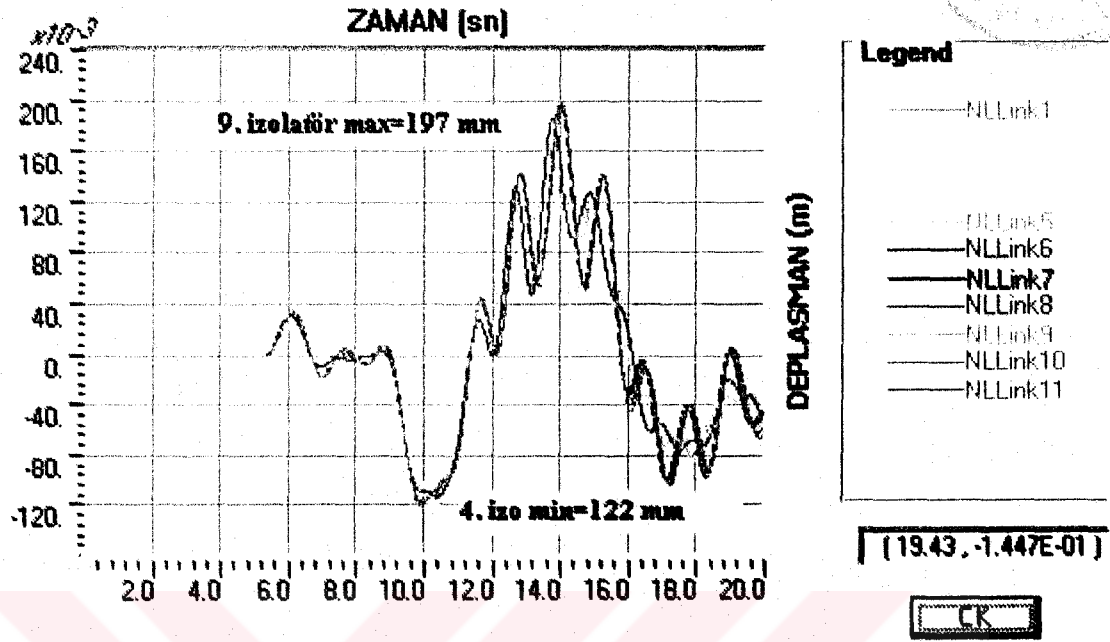
Şekil 4.49. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-E Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



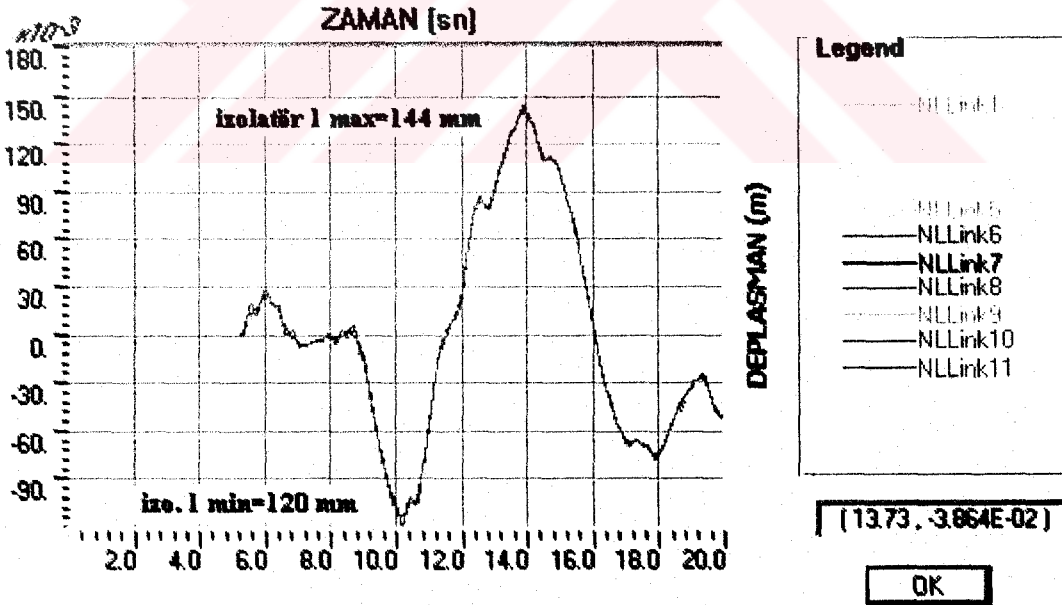
Şekil 4.50. BRG-E Cihazı 7 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

Düzce kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-F cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda (9 nolu izolatör) maksimum 197 mm. ve (4 nolu izolatör) minimum 122 mm. olurken; enine doğrultudaysa, maksimum 144 mm. ve minimum 120 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-F sismik yalıtıcı cihazının 1587 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını

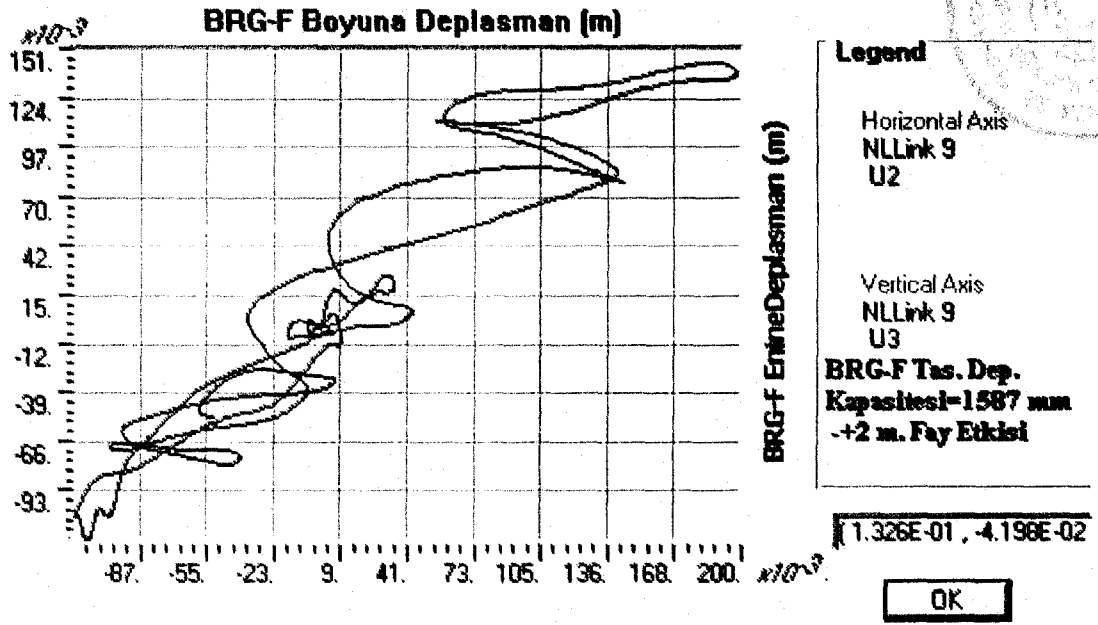
karşılayabileceğini ayrıca, -+2 m. fay etkisinde de bir zarar olmayacağını göstermektedir.



Şekil 4.51. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-F Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

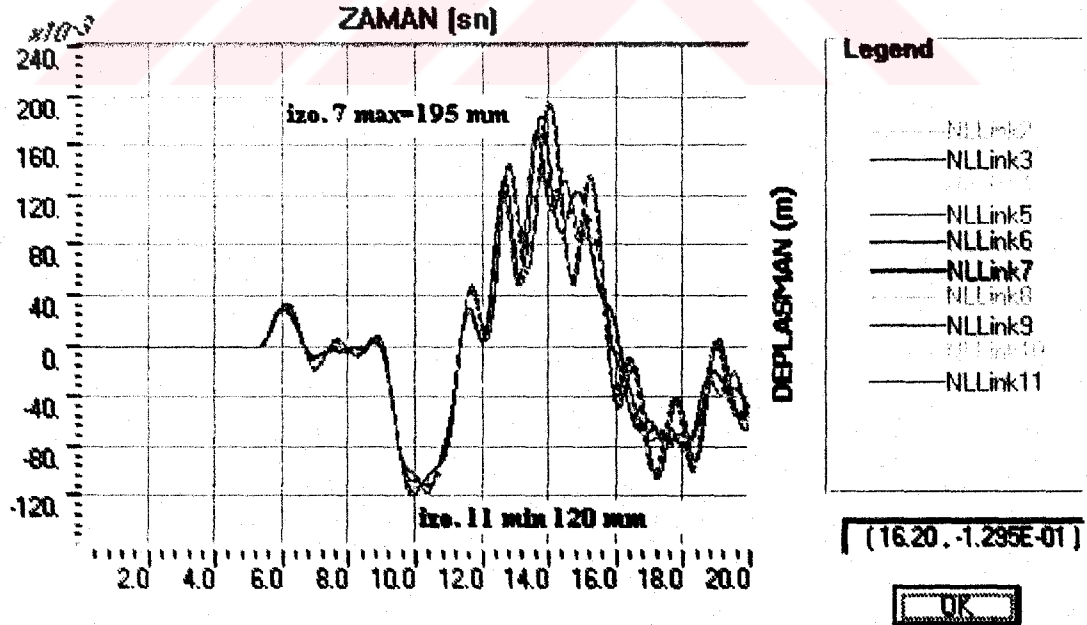


Şekil 4.52. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-F Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



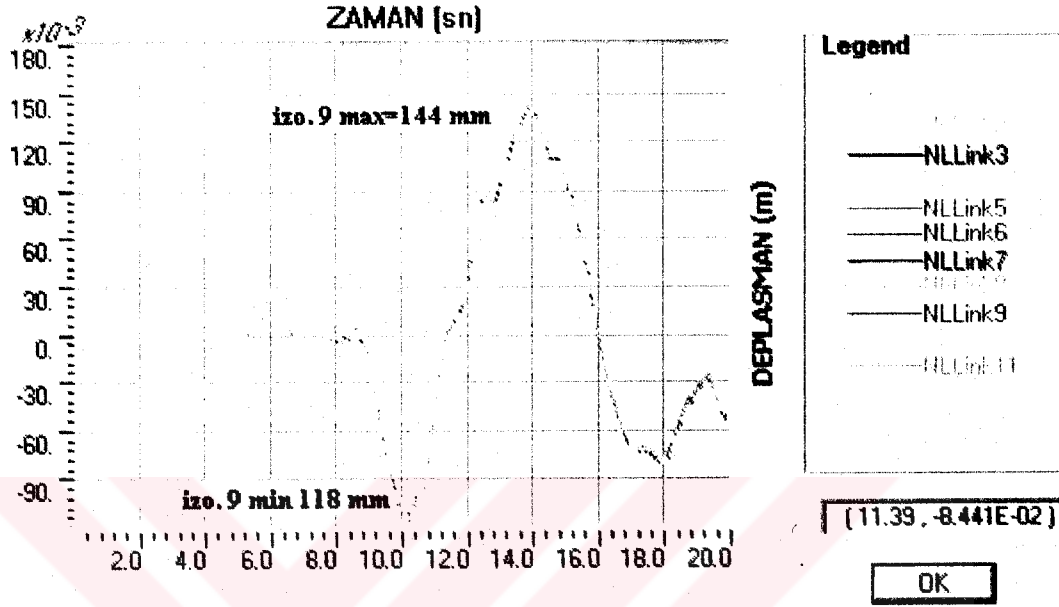
Şekil 4.53. BRG-F Cihazı 9 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

Düzce kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-G cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda (7 nolu izolatör) maksimum 195 mm. ve (11 nolu izolatör) minimum 120 mm. olurken; enine doğrultudaysa, maksimum 144 mm. ve minimum 118 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-G

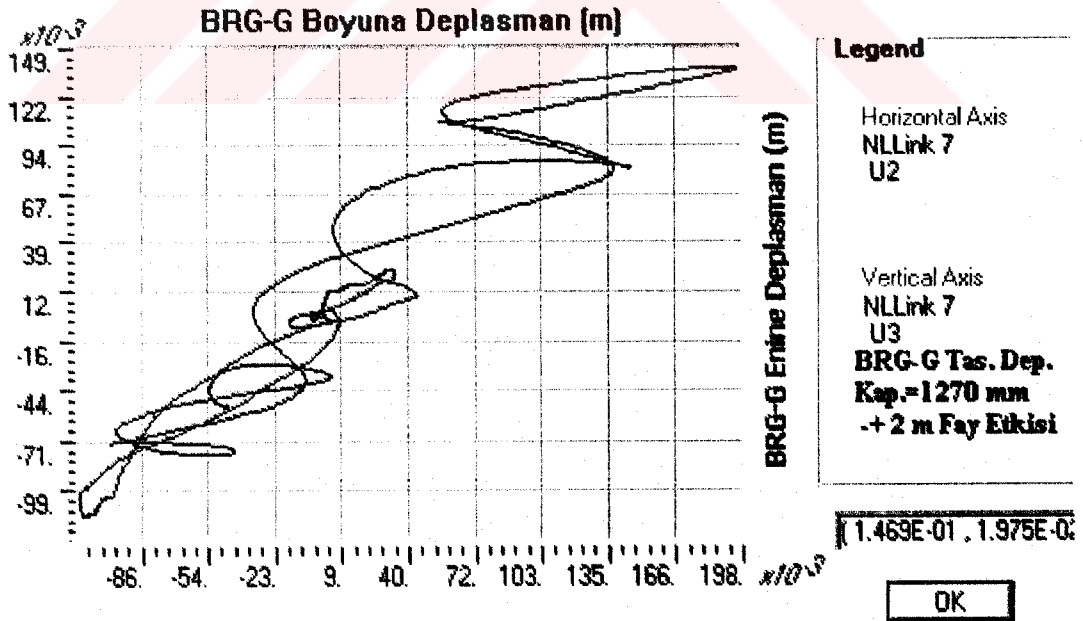


Şekil 4.54. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-G Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

sismik yalıtıcı cihazının 1270 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini ayrıca, +2 m. fay etkisinde de bir zarar olmayacağını göstermektedir.

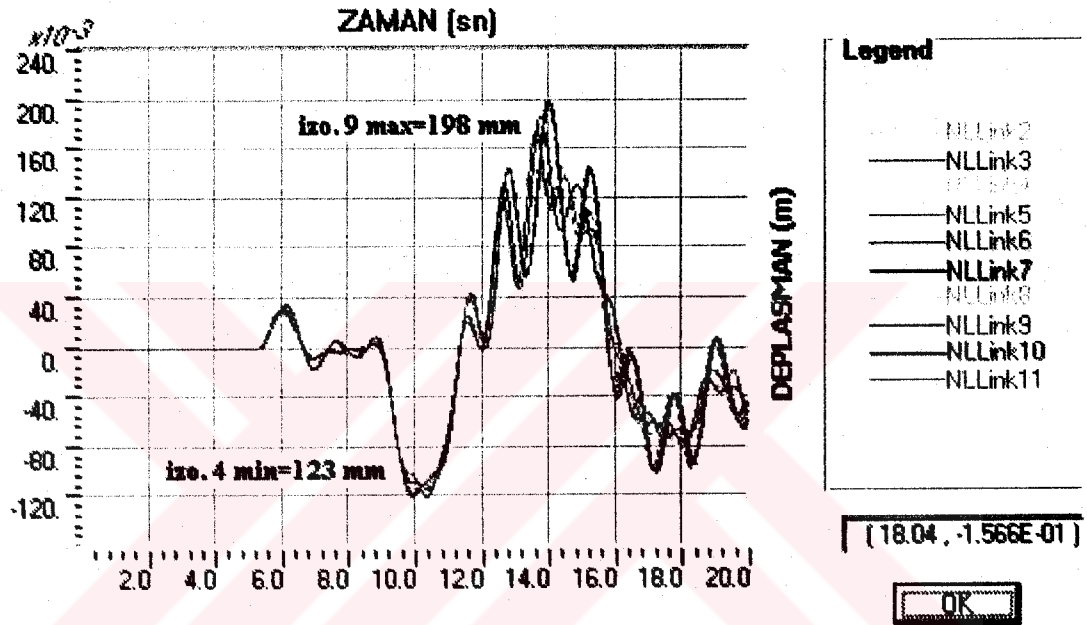


Şekil 4.55. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-G Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

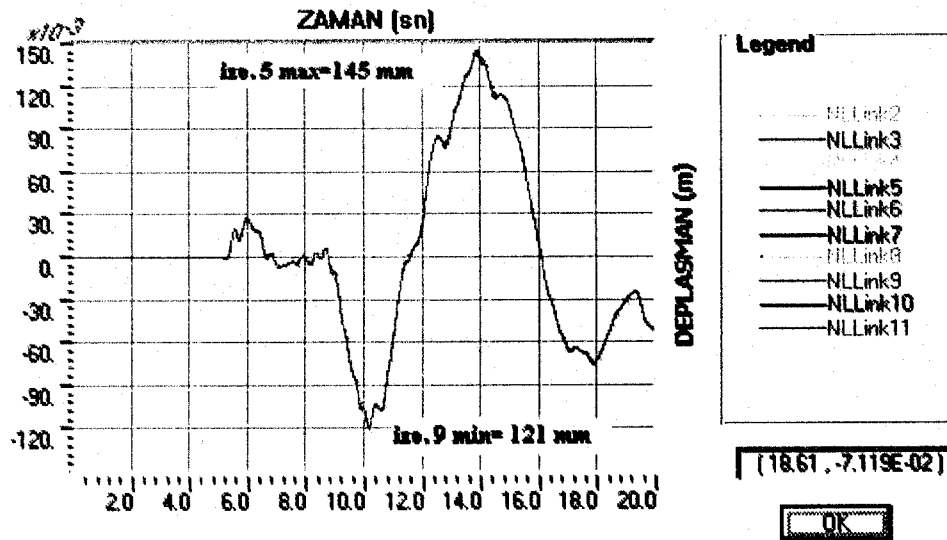


Şekil 4.56. BRG-G Cihazı 7 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

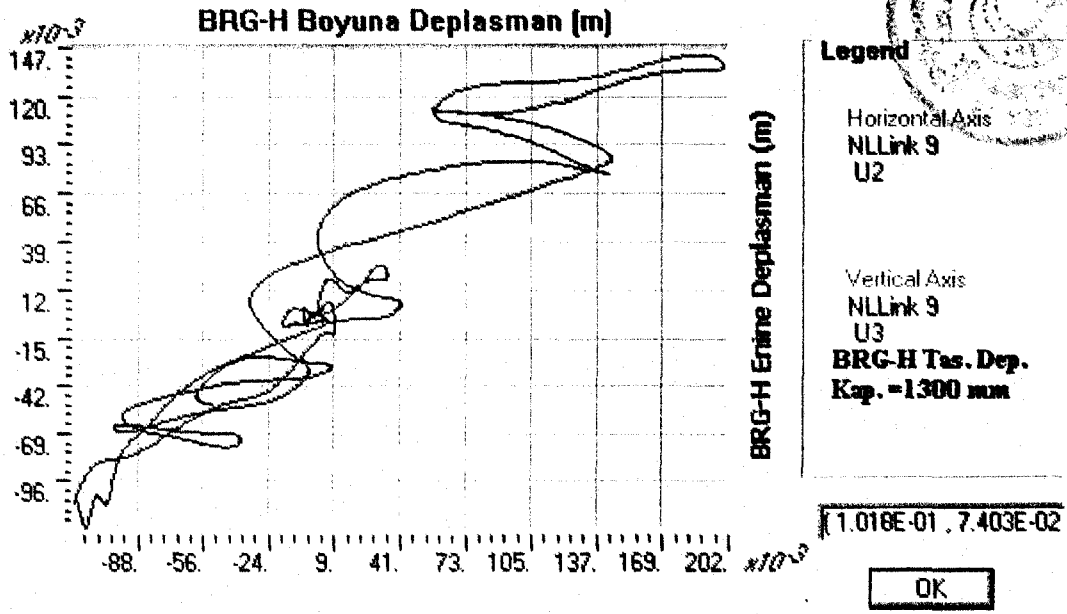
Düzce kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-H cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda (9 nolu izolatör) maksimum 198 mm. ve minimum 123 mm. olurken; enine doğrultudaysa, maksimum 145 mm. ve minimum 121 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-H sismik yalıtıcı cihazının 1300 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.57. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-H Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



Şekil 4.58. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-H Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



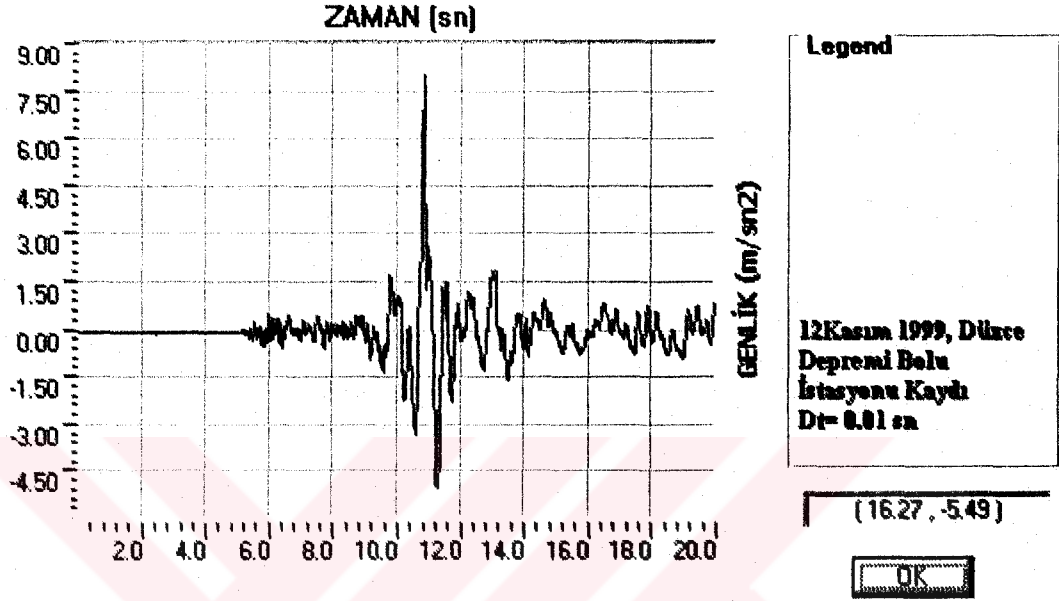
Şekil 4.59. BRG-H Cihazı 9 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

Düzce kaydı için yapılan doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda tüm sismik yalıtıcı cihazların hesaplanan deplasman performansları Tablo 4.10'da özetlenmiştir.

Tablo 4.10. Düzce Kaydı İçin Cihazların Deplasman Performansları.

Cihaz	Max.Deplasman	Min. Deplasman	Max.Deplasman	Min. Deplasman
Tipi	Boyuna (mm)	Boyuna (mm)	Enine (mm)	Enine (mm)
Cihaz-A	193	116	143	117
Cihaz-B	190	118	145	114
Cihaz-C	187	116	148	115
Cihaz-D	196	121	144	119
Cihaz-E	182	114	149	163
Cihaz-F	197	122	144	120
Cihaz-G	195	120	144	118
Cihaz-H	198	123	145	121

Aynı yöntemle tüm cihazlar için ikinci bir analiz de Düzce 1999 Depremi Bolu kaydı göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu deprem kaydı datasının ilk 20 saniyelik yüksek genlikteki kısmı 2000 data ile 0.01 saniyelik aralıklarla programa iki doğrultuda da girilmiştir (Şekil 4.60).



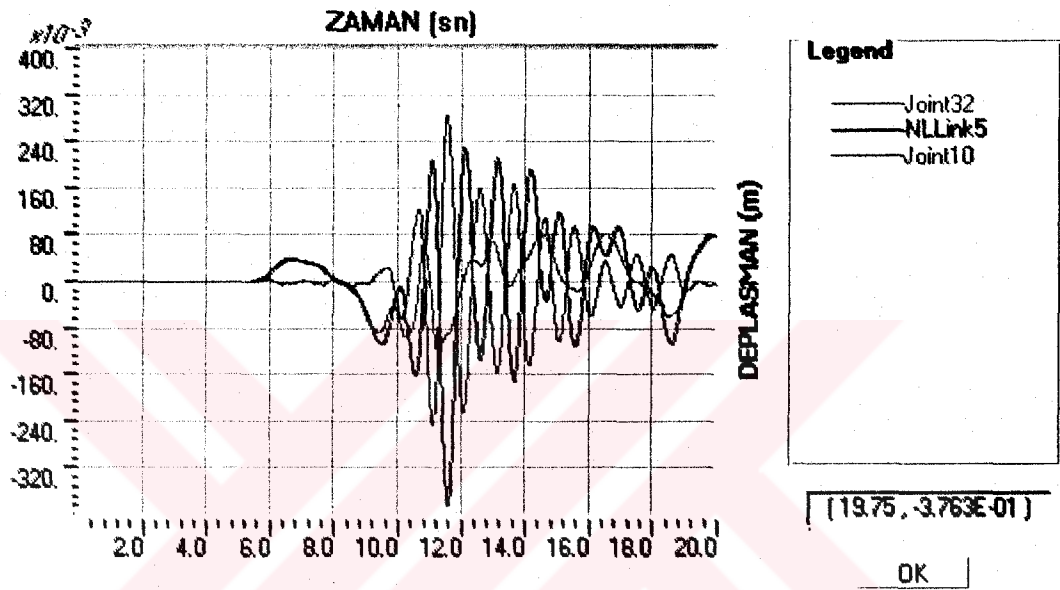
Şekil 4.60. SAP 2000 Programında Kullanılan Bolu Kaydı.

Bolu kaydı için yapılan doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda tüm sismik yalıtıcı cihazların hesaplanan deplasman performansları Tablo 4.11'de özetlenmiştir.

Tablo 4.11. Bolu Kaydı İçin Cihazların Deplasman Performansları.

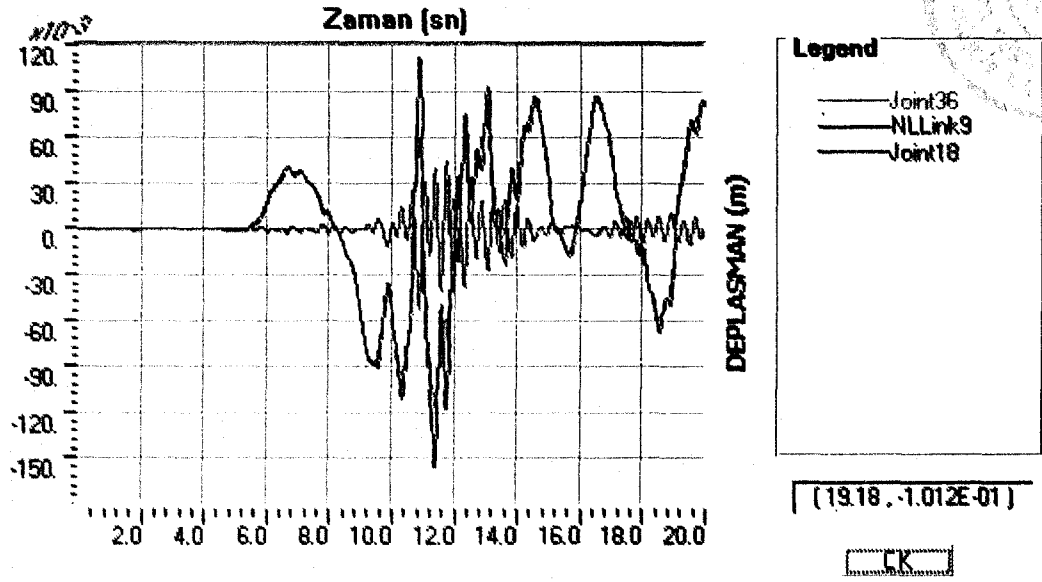
Cihaz	Max.Deplasman	Min. Deplasman	Max.Deplasman	Min. Deplasman
Tipi	Boyuna (mm)	Boyuna (mm)	Enine (mm)	Enine (mm)
Cihaz-A	286	380	114	155
Cihaz-B	287	374	117	150
Cihaz-C	286	371	118	148
Cihaz-D	288	383	113	157
Cihaz-E	285	364	122	141
Cihaz-F	284	385	112	158
Cihaz-G	286	381	114	156
Cihaz-H	283	387	111	159

BRG-A cihazı için yapılan zaman geçmişi analizi sonucunda izolatörlerdeki deplasmanlar hesaplanarak, boyuna doğrultuda maksimum deplasman miktarı (eksi yönde, ters istikamet) 32. düğüm noktası olan viyadüğün 5. Pilonunda tespit edildi. Şekil 4.61'de 5. Pilon'a ait düğüm noktaları olan 32(tabliye alt kotu), 10(kolon üst kotu) ve NLLink 5 (5. BRG-A sismik cihazı)'ın zamana göre yer değiştirme grafiği görülmektedir.



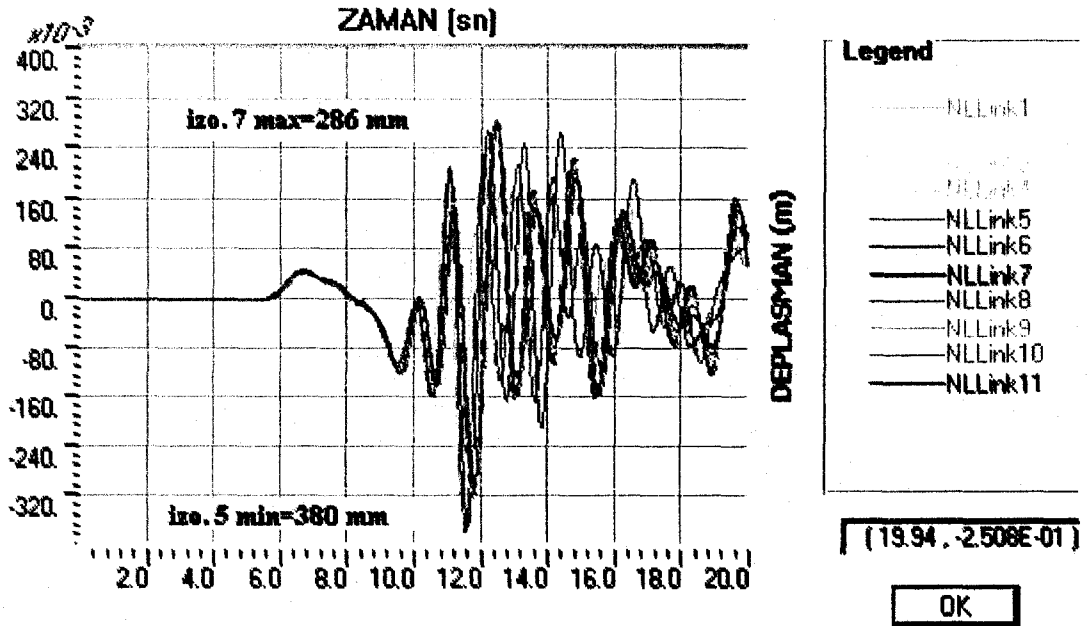
Şekil 4.61. BRG-A Cihazı İçin Pilon 5'in Sismik Yalıtıcı(NLLink 5), Kolon Üst kotu (10) ve Tabliye Alt Kotundaki (32) Boyuna Deplasmanları.

Enine doğrultudaki maksimum deplasman ise 9. Pilon'da tespit edilmiştir. Şekil 4.62'de 9. Pilon'a ait düğüm noktaları olan 36(tabliye alt kotu), 18(kolon üst kotu) ve NLLink 9 (9. BRG-A sismik cihazı)'un zamana göre yer değiştirme grafiği görülmektedir.

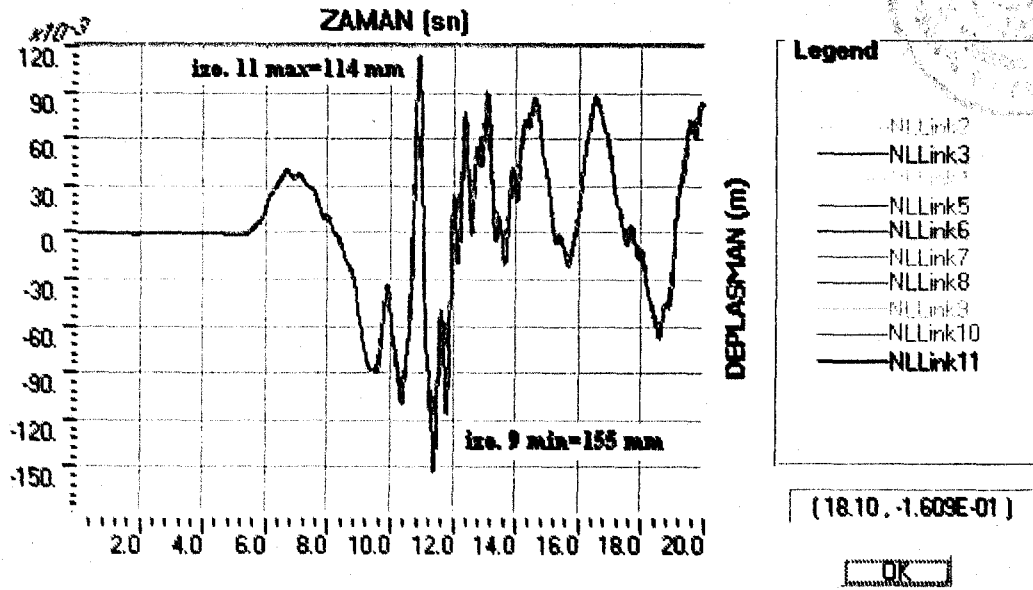


Şekil 4.62. BRG-A Cihazı İçin Pilon 9'un Sismik Yalıtıcı(NLLink 9), Kolon Üst kotu (18) ve Tabliye Alt Kotundaki (36) Enine Deplasmanları.

Tüm pylonlardaki BRG-A cihazlarının boyuna doğrultudaki deplasmanları Şekil 4.63'te tanımlanmıştır.

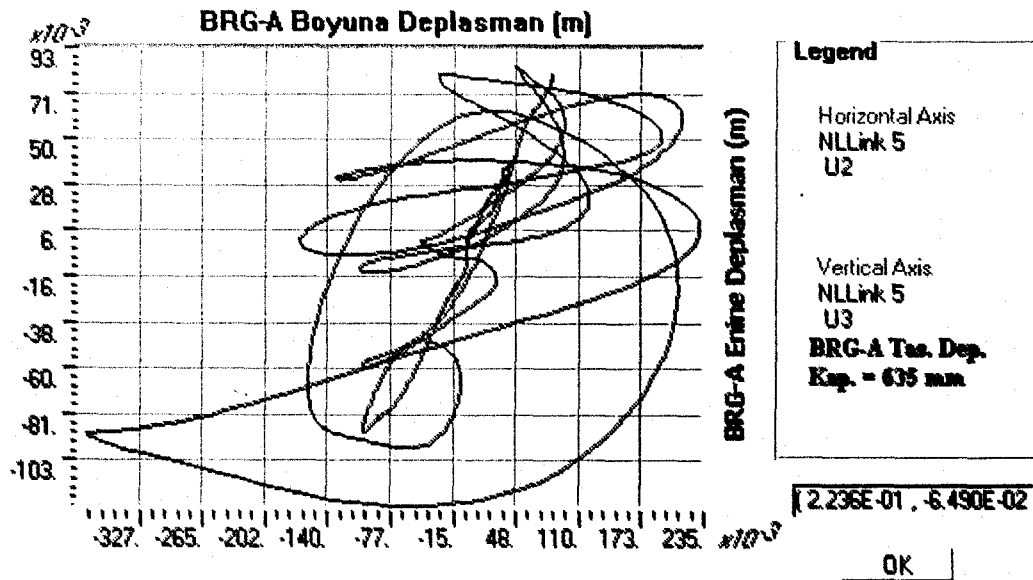


Şekil 4.63. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-A Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



Şekil 4.64. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-A Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

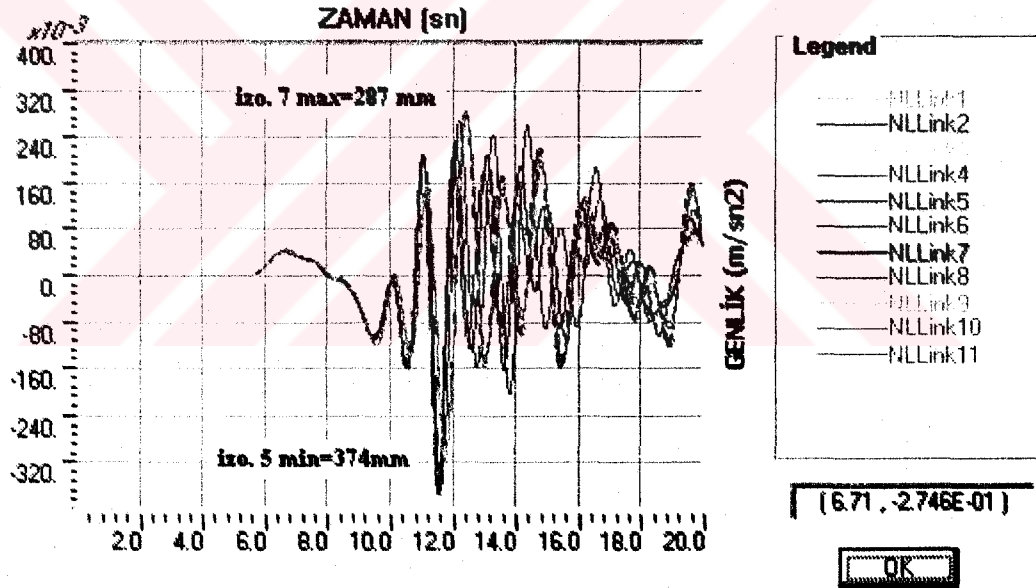
Tüm pylonlardaki BRG-A cihazlarının enine doğrultudaki deplasmanları Şekil 4.64'te ve maksimum yer değiştirmenin gözlemlendiği 5. Pilonu ait sismik cihazın deplasman izi Şekil 4.65'te gösterilmiştir.



Şekil 4.65. BRG-A Cihazının 5 Nolu Elemanının Deplasman İzi.

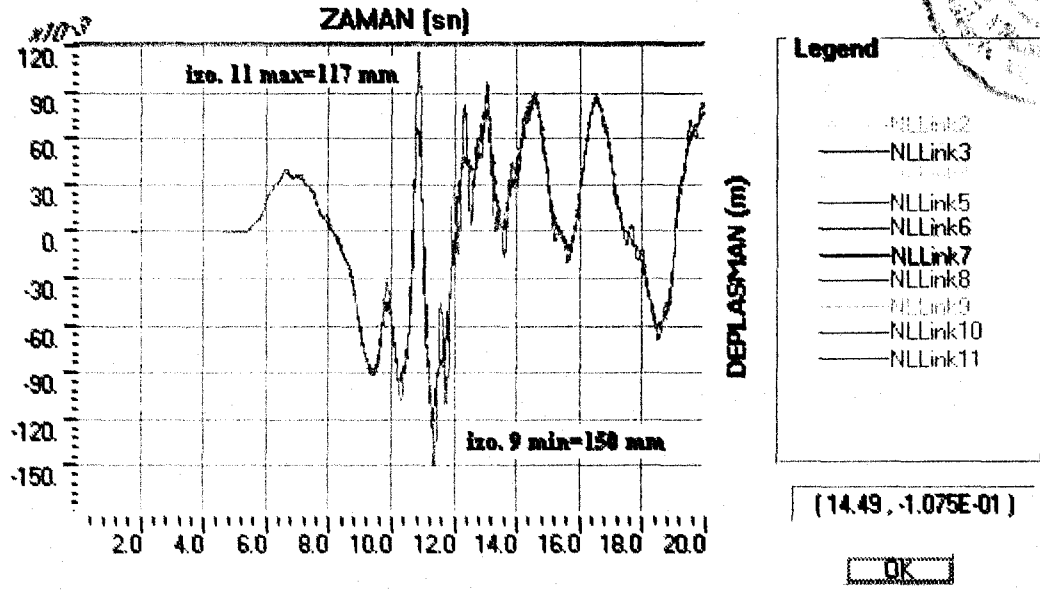
Yukarıdaki grafiklerden de görüldüğü üzere Bolu kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-A cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda maksimum 286 mm. ve minimum 380 mm.(eksi yönde olduğundan) olurken; enine doğrultudaysa, maksimum 114 mm. ve minimum 155 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-A sismik yalıtıcı cihazının 635 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini göstermektedir.

BRG-B cihazı için yapılan zaman geçmişi analizi sonucunda izolatörlerdeki deplasmanlar hesaplanarak, boyuna doğrultuda maksimum deplasman miktarı 32. düğüm noktası olan viyadüğün 5. Pilonunda tespit edildi.

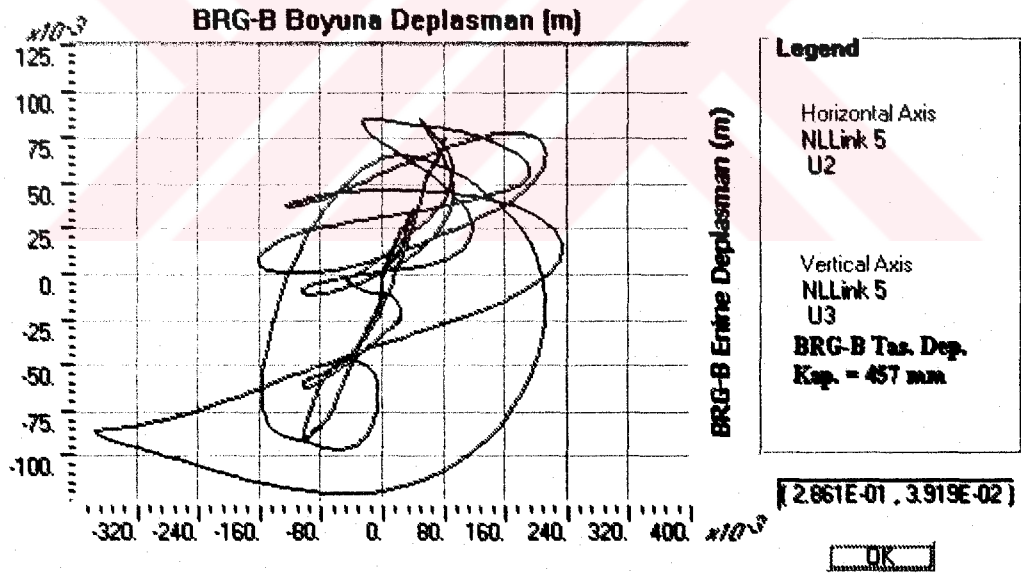


Şekil 4.66. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-B Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

Boyuna doğrultudaki maksimum deplasman ise 5. Pilon'da (NLLink 5) tespit edilmiştir (Şekil 4.67). Maksimum enine deplasmanların gözleendiği 5 nolu sismik cihaz için deplasman izleri grafiği Şekil 4.68'de görülmektedir.



Şekil 4.67. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-B Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



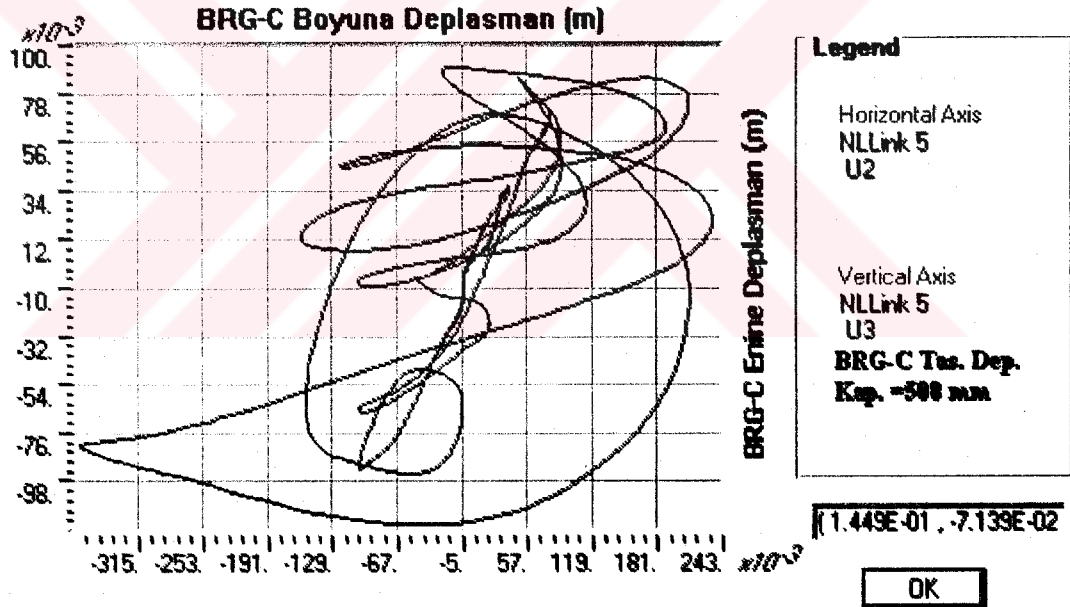
Şekil 4.68. BRG-B Cihazı 5 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

Yukarıdaki grafiklerden de görüldüğü üzere Bolu kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-B cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda maksimum 287 mm. ve minimum 374 mm.(ters istikamet) olurken; enine doğrultudaysa, maksimum 117 mm. ve minimum 150 mm. yer değiştirme

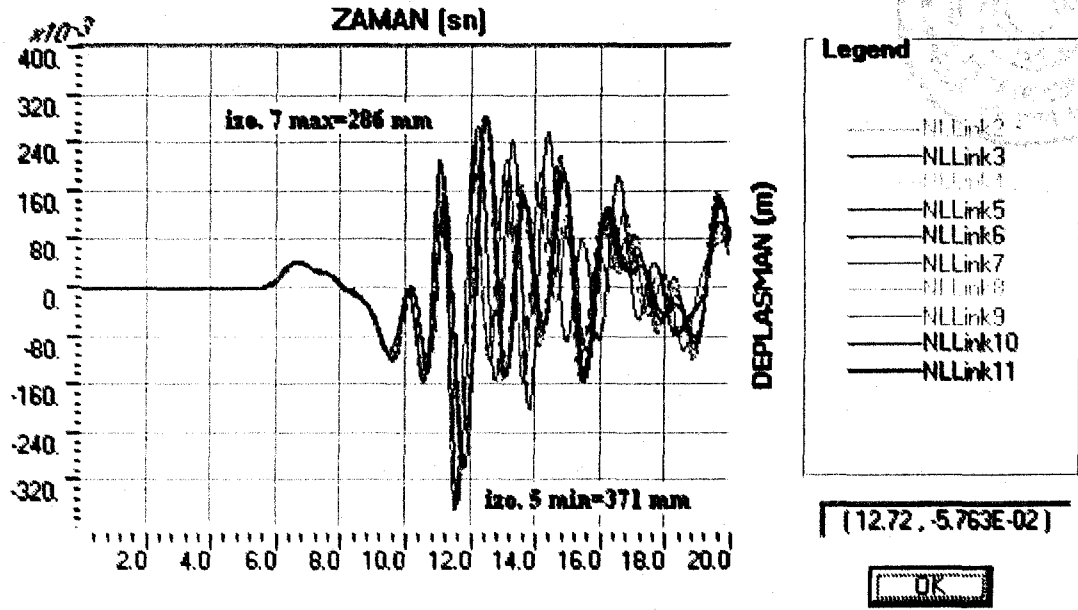
yapmaktadır. BRG-B sismik yalıtıcı cihazının 457 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini göstermektedir.



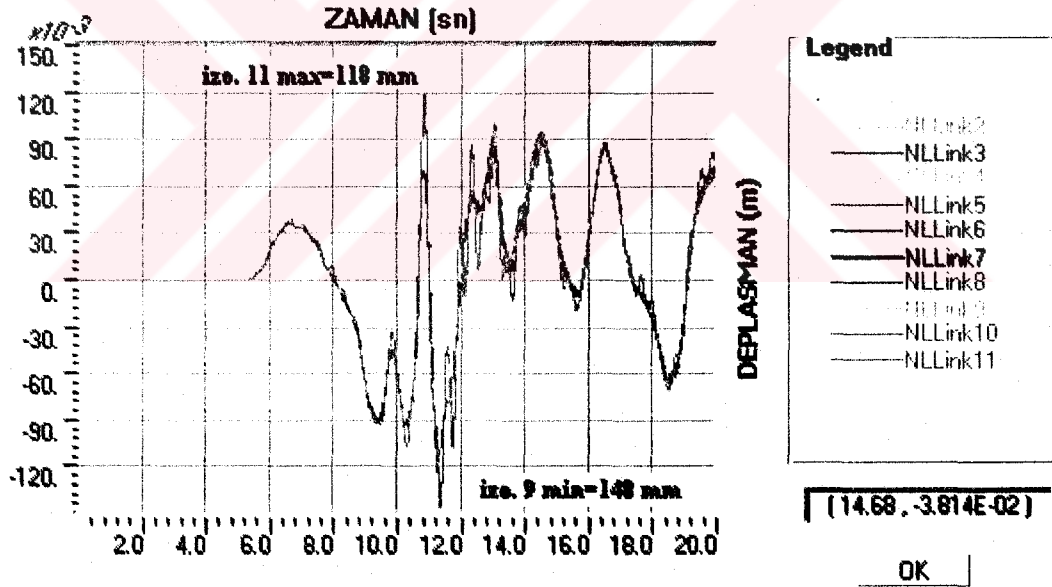
Bolu kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-C cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda maksimum 286 mm. ve (ters istikamet) minimum 371 mm. olurken; enine doğrultudaysa, maksimum 118 mm. ve minimum 148 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-C sismik yalıtıcı cihazının 508 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini göstermektedir. Aşağıda 5 nolu izolatörün deplasman izi gösterilmiştir.



Şekil 4.69. BRG-C Cihazı 5 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.



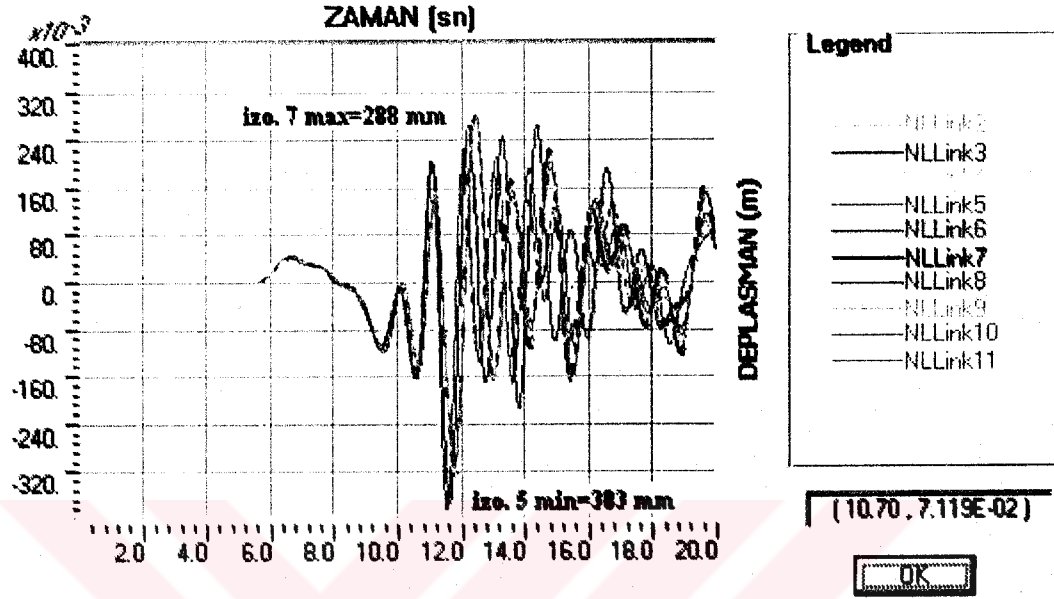
Şekil 4.70. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-C Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



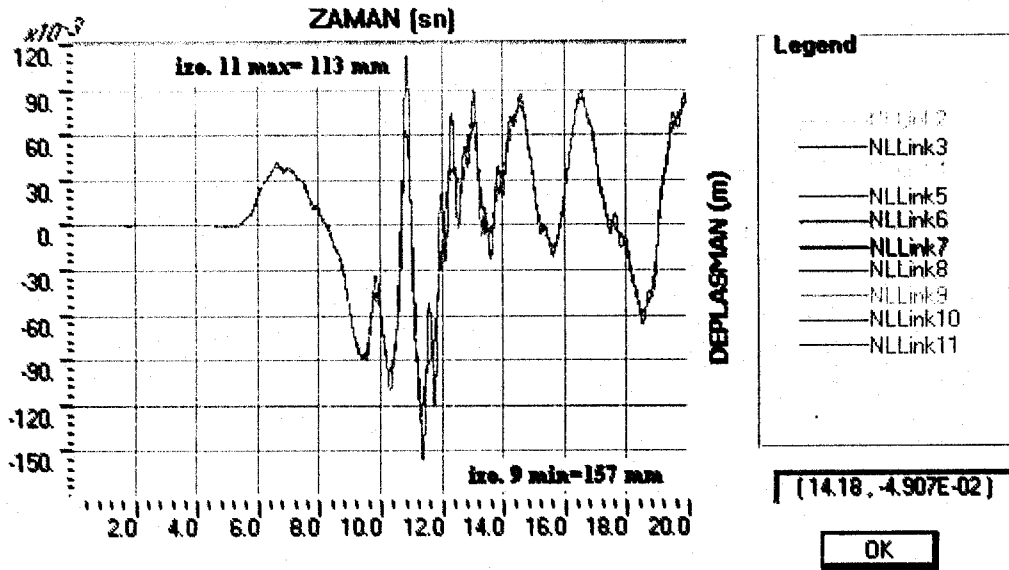
Şekil 4.71. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-C Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

Bolu kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-D cihazının deplasmanları, boyuna doğrultuda (7 nolu izolatör) maksimum 288 mm. ve (5 nolu izolatör eksi yönde) minimum 383 mm. olurken; enine doğrultudaysa, (11 nolu izolatör) maksimum 113 mm. ve (9 nolu izolatör) minimum

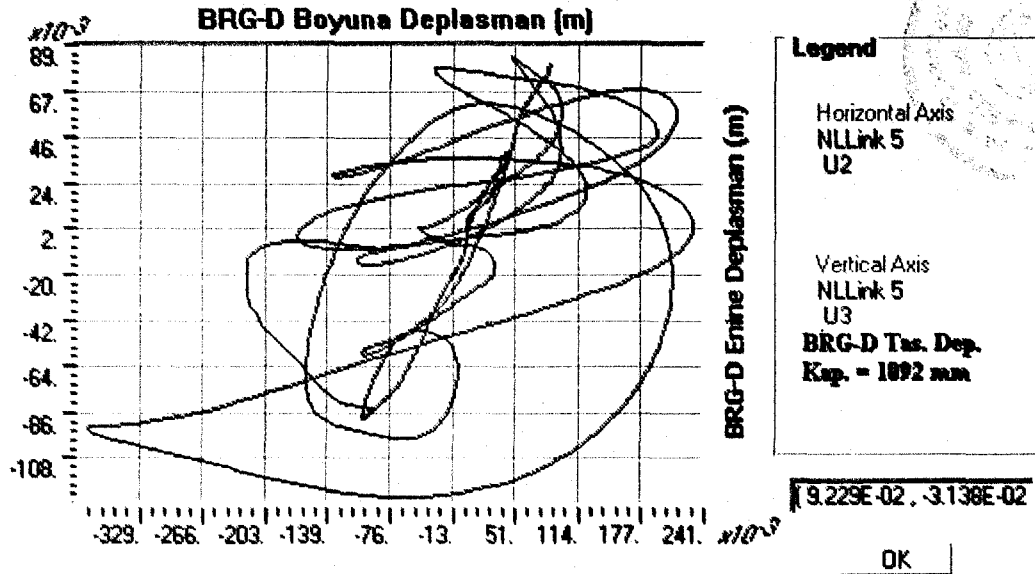
157 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-D sismik yalıtıcı cihazının 1092 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini göstermektedir.



şekil 4.72. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-D Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

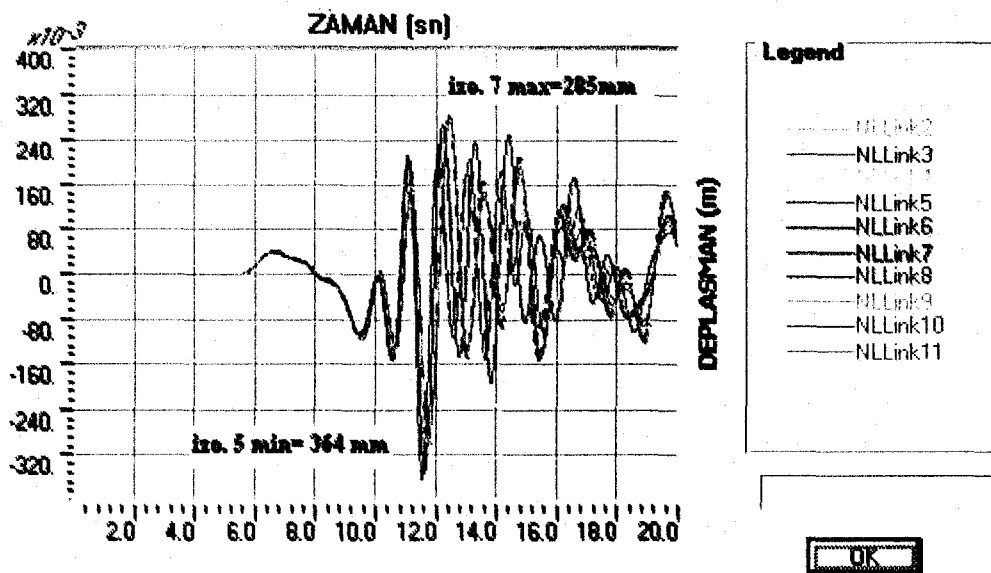


şekil 4.73. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-D Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

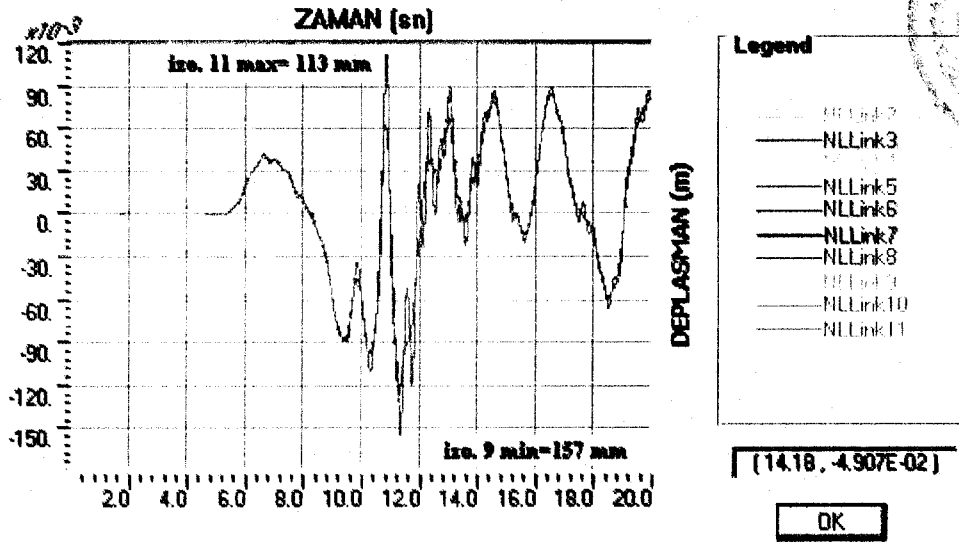


Şekil 4.74. BRG-D Cihazı 5 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

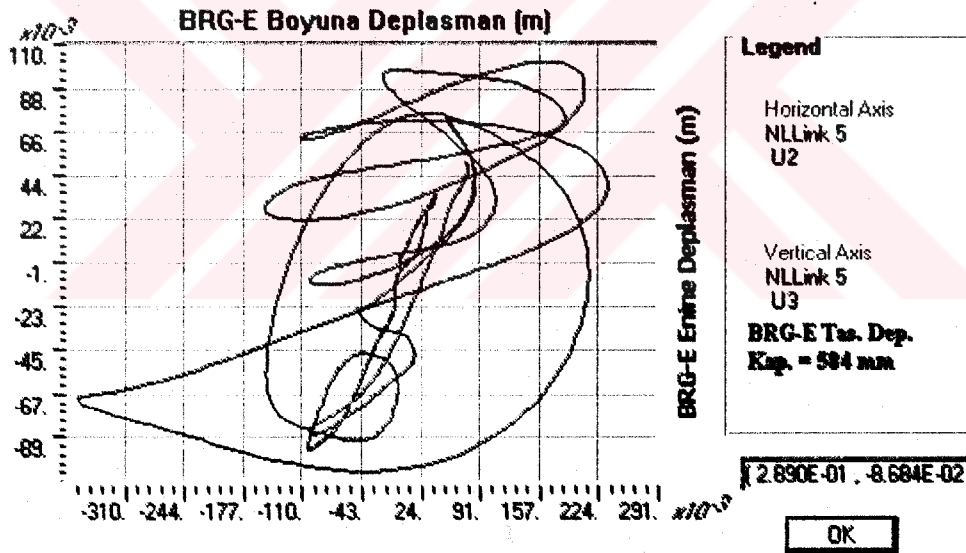
Bolu kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-E cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda (7 nolu izolatör) maksimum 285 mm. ve (5 nolu izolatör eksi yönde) minimum 364 mm. olurken; enine doğrultudaysa, maksimum (11 nolu izolatör) 122 mm. ve (9 nolu izolatör eksi yönde) minimum 141 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-E sismik yalıtıcı cihazının 584 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.75. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-E Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



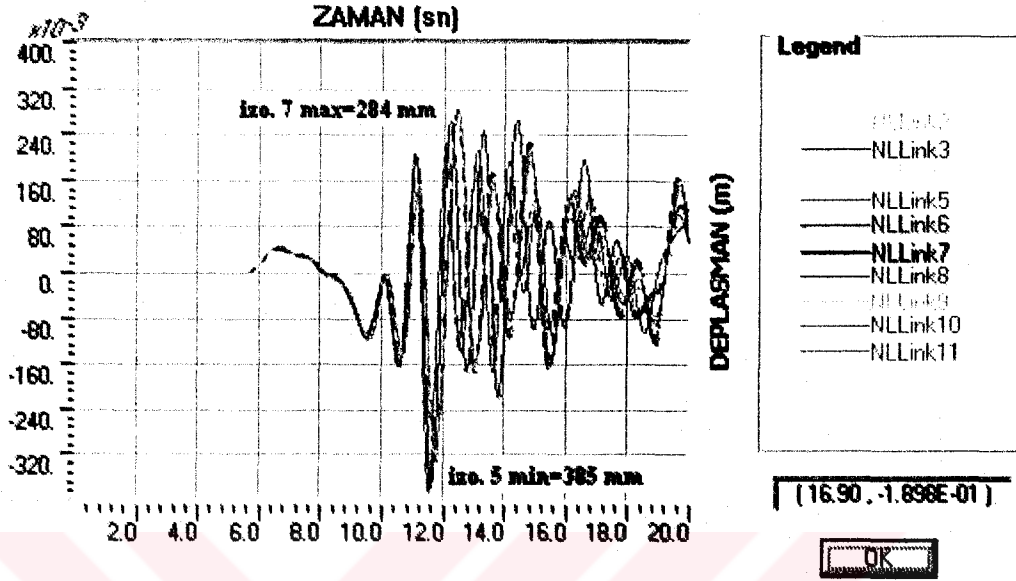
Şekil 4.76. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-E Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



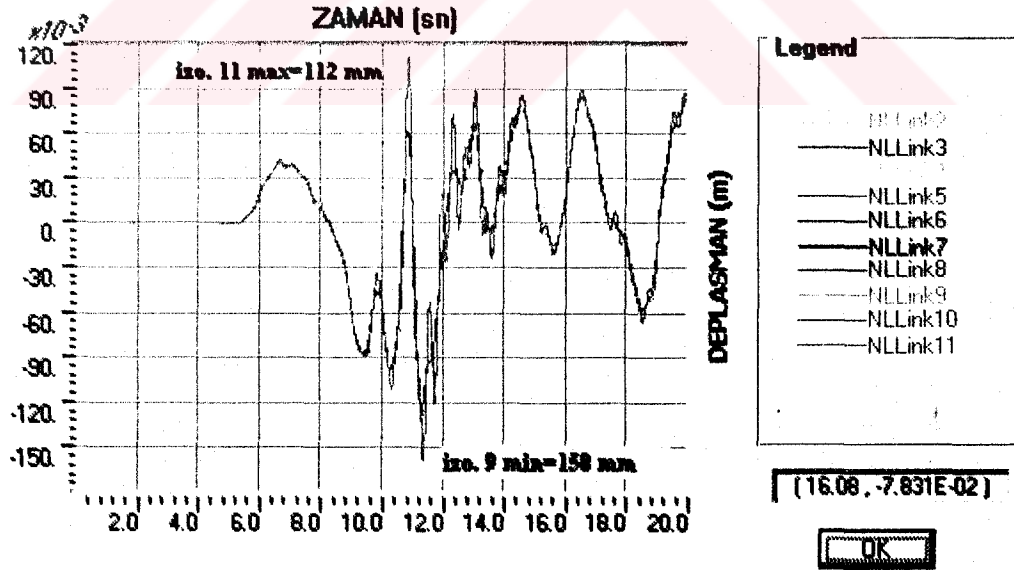
Şekil 4.77. BRG-E Cihazı 5 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

Bolu kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-F cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda (7 nolu izolator) maksimum 284 mm. ve (5 nolu izolator eksi yönde) minimum 385 mm. olurken; enine doğrultudaysa, (11 nolu izolator) maksimum 112 mm. ve (9 nolu izolator eksi yönde) minimum 158 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-F sismik yalıtıcı cihazının 1587 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının

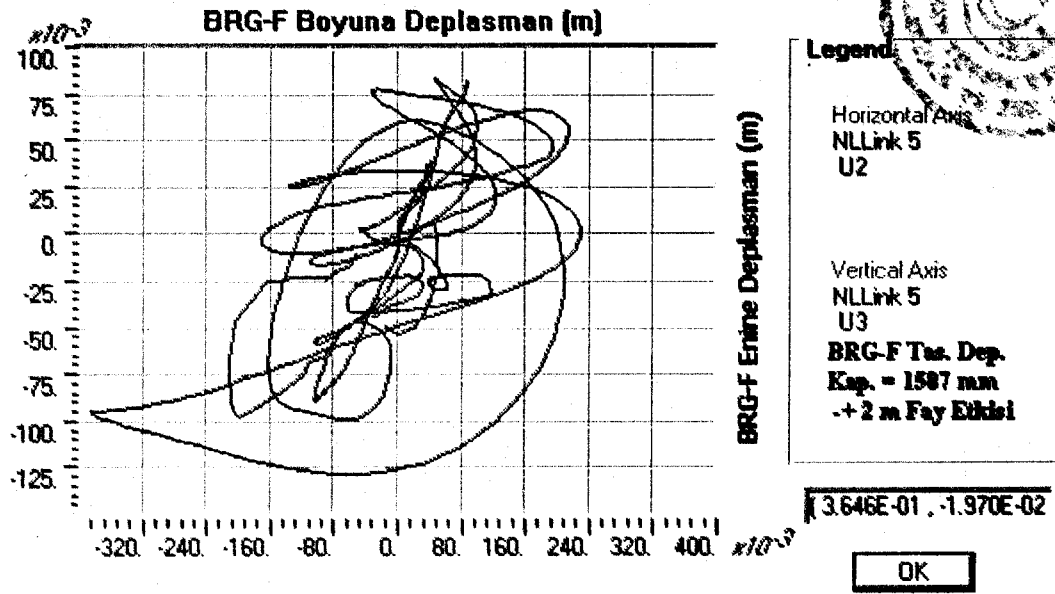
herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini ayrıca, -2 m. fay etkisinde de bir zarar olmayacağını göstermektedir (Bkz. Şekil 3.2).



Şekil 4.78. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-F Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

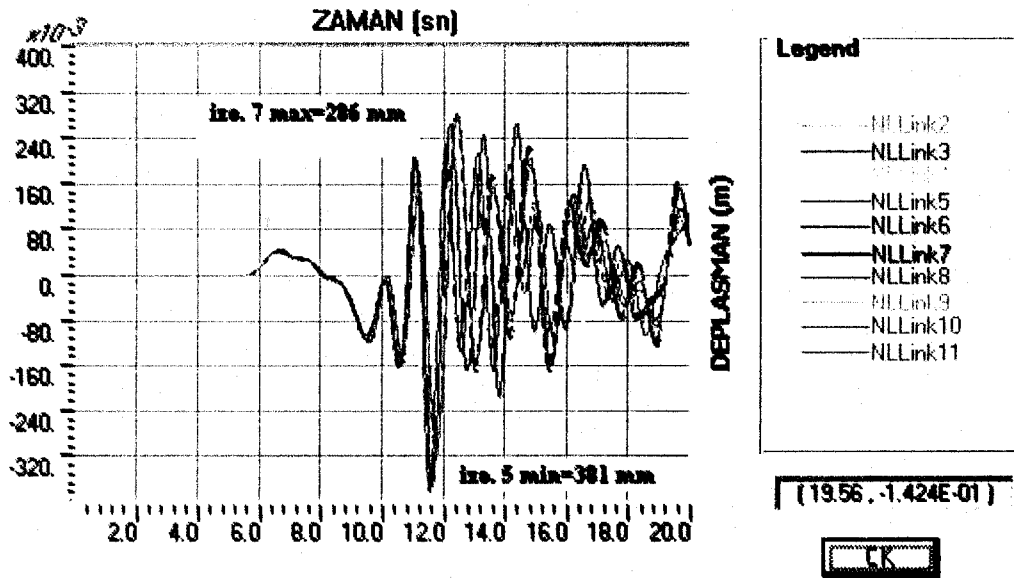


Şekil 4.79. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-F Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

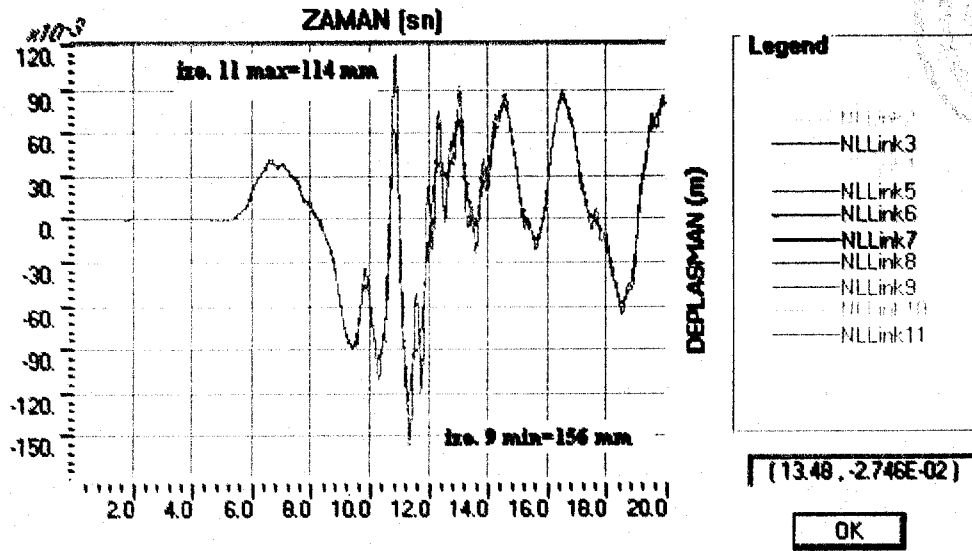


Şekil 4.80. BRG-F Cihazı 5 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

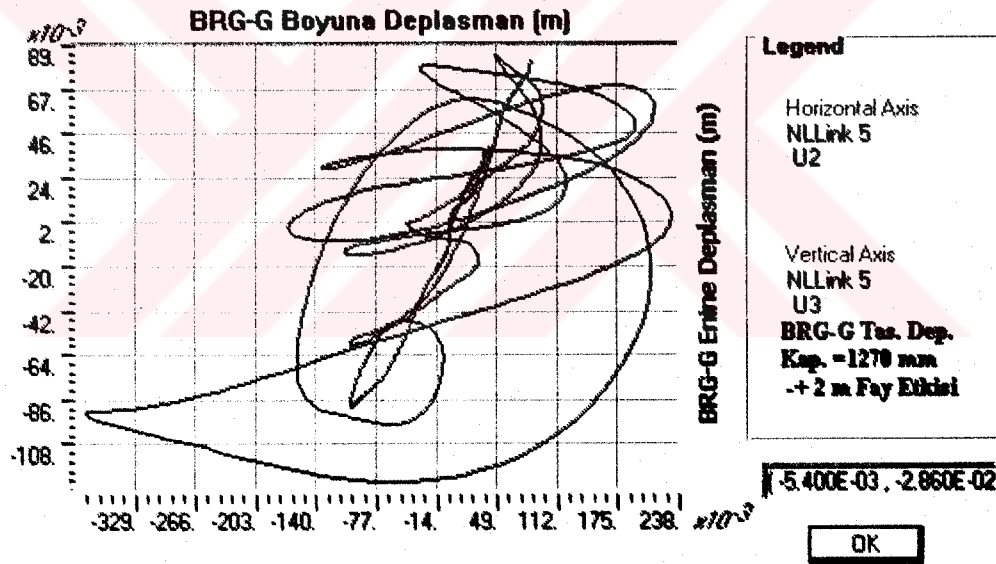
Bolu kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-G cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda (7 nolu izolatör) maksimum 286 mm. ve (5 nolu izolatör ters yönde olduğundan) minimum 381 mm. olurken; enine doğrultudaysa, (11 nolu izolatör) maksimum 114 mm. ve (9 nolu izolatör) minimum 156 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-G sismik yalıtıcı cihazının 1270 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini ayrıca, +2 m. fay etkisinde de bir zarar olmayacağını göstermektedir (Bkz. Şekil 3.2).



Şekil 4.81. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-G Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

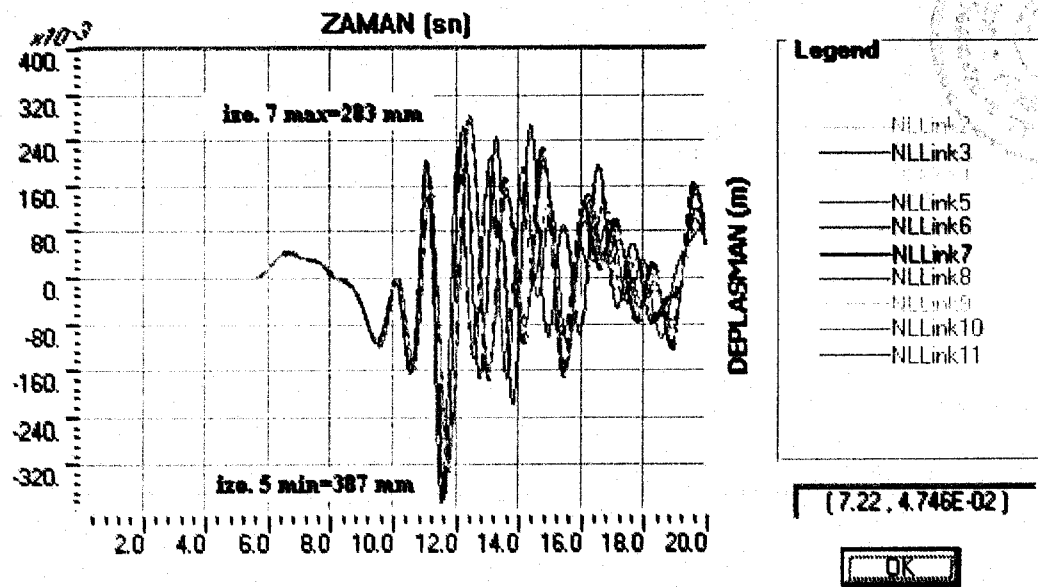


Şekil 4.82. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-G Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.

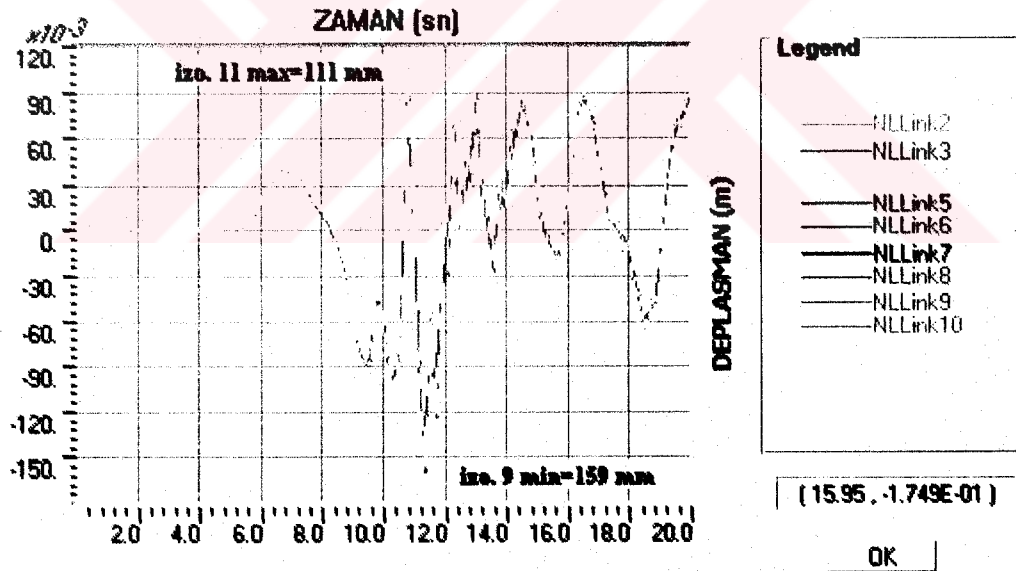


Şekil 4.83. BRG-G Cihazı 5 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

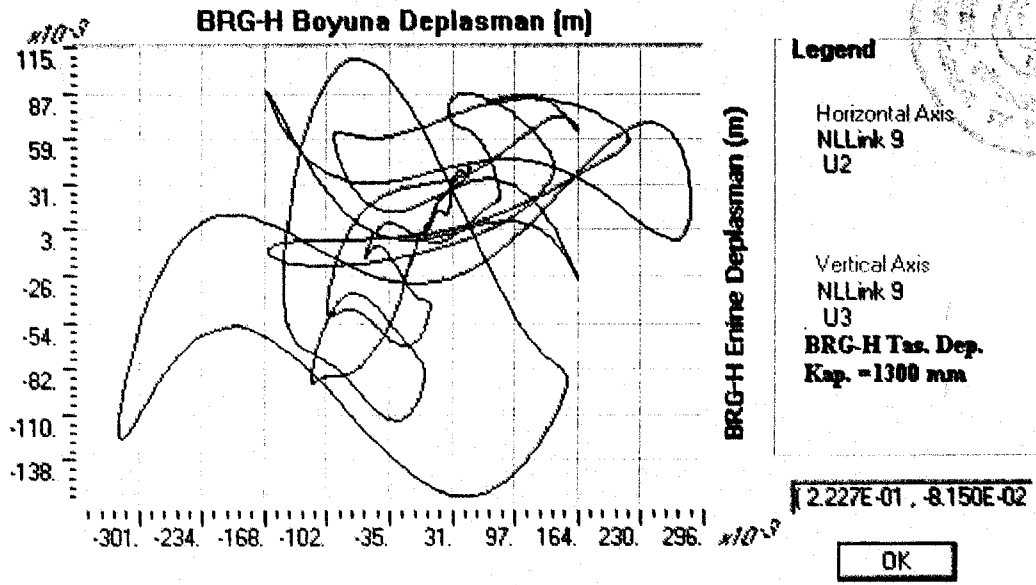
Bolu kaydı için doğrusal olmayan zaman geçmişi analizinin sonucunda BRG-H cihazının deplasmanları boyuna doğrultuda maksimum 283 mm. ve minimum 387 mm. olurken; enine doğrultudaysa, maksimum 111 mm. ve minimum 159 mm. yer değiştirme yapmaktadır. BRG-H sismik yalıtıcı cihazının 1300 mm. tasarım deplasman kapasitesine sahip olması, viyadük üst yapısının herhangi bir zarar görmeden bu deprem koşullarını karşılayabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.84. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-H Cihazlarının Boyuna Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



Şekil 4.85. Bolu Viyadüğü'nde tüm BRG-H Cihazlarının Enine Yer Değiştirme-Zaman Grafikleri.



Şekil 4.86. BRG-H Cihazı 9 Nolu İzolatörün Deplasman İzi.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Deprem Mühendisliği'nin amacı; mühendislik yapılarını, karayolu ve demiryolu güzergahlarındaki köprü ve viyadük gibi önemli büyük sanat yapılarını depreme dayanıklı olarak projelendirmektir. Bu amaca ulaşmanın tek başına yeterli olamayacağı; dünyada ve yurdumuzda son yıllarda yaşanan şiddetli depremlerin meydana getirdiği can kayıpları, ulaşımın aksaması ve çoğu yerlerde tamamen engellenmesi, yapılarda kalıcı hasarlarla meydana gelen önemli işgücü ve üretimdeki gecikmelerin neden olduğu ekonomik kayıplar ile daha iyi anlaşılmıştır. Deprem Mühendisliği'nde ve yürürlükteki şartnamelerde amaçlanan, öncelikle deprem etkisine maruz kalabilecek yapılardaki ve çevresindeki canlıların hayatlarını kurtarmak ve en az ekonomik zarar ve hasar ile depremi karşılamaktır. İleri Deprem Mühendisliği'nde son 25 senede kat edilen gelişmeler, bilgisayar sistemleri ve programları ile hesap metotlarındaki ilerlemeler, buna paralel olarak malzeme ve imalat teknolojilerindeki yenilikler ve deprem etkilerinin deneyimlerle daha iyi anlaşılması sayesinde; deprem dinamik yüklerinin mühendislik yapılarına, köprü ve viyadüklere verebileceği zararların önlenmesi, can ve mal kayıplarının en aza indirilebilmesi ve ulaşımın devamının sağlanabilmesi amacıyla "Deprem Dinamik İzolatörleri" adı verilen bazı yeni sistemler ve ekipmanlar geliştirilmiştir.

Deprem Dinamik İzolatörlerinin amacı; aktif fay hareketlerinin meydana getirdiği etkili yer kaya yatay ivmesinin (oluşturduğu deprem yatay yüklerinin) -genellikle yukarı doğru yayıldıkça- büyüyerek mühendislik yapılarına, köprü ve viyadüklerde rijit giriş ve tabliyelere ulaşmalarını, girişlerin kenar ayak ve başlık giriş mesnetlerinden kurtularak aşağı doğru düşmelerini önlemek şeklinde özetlenebilir. Ancak bu şekilde, yapılara etkiyen deprem kuvvetlerinin deprem izolatörleri yardımıyla yapıda yerleştirildikleri kotlarda söndürülerek etkileri azaltılabilir ve üst yapının yatay hareketleri zarar vermeyecek mertebelerde tutulabilir. Örneğin, bir viyadükte giriş altlarındaki mesnet bölgelerinde kullanılan deprem izolatörleri sayesinde, başlık ve giriş arası rölatif yatay deplasmanlar çok azalır, bütün viyadük üst yapısı boyunca salınım esnasında mafsallar oluşmaz ve tamamen elastik davranış görülür. Giriş-tabliye kotunda yatay ivmeler azalır ve dolayısıyla kolon-orta ayak (pilon) uçlarına gelen yatay yükler önemli ölçüde küçülür.

Bu tez çalışmasında viyadük yapıların yeni dizaynı ve depreme karşı güçlendirilmesinde Sürtünmeli Sarkaç Tipi Sismik İzolatörlerin şiddetli depremlerin etkisi altındaki davranışları ve performans deneyimleri, referansları, projelendirmede AASHTO şartnamesine uygunluğu, taşıyıcı sistemlere uygulanabilirliği, satın alma maliyetleri, bakım gereksinimi olup olmadığı, dış etkenler de dikkate alındığında izolatörün ömrü gibi faktörler ile birlikte viyadüğün dinamik analizleri yapılmış ve Bolu Viyadüğü'nde uygulanabilirliği sorgulanmıştır. Her bir izolatör tipi için ayrı ayrı yapılan spektral analiz ve doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi sonucu elde edilen veriler göstermektedir ki; tüm sismik izolatör cihazlarının mevcut tasarım deplasman kapasiteleri ihtiyaç duyulan deplasman şartlarını sağlamaktadır. Mesela; 635 mm tasarım deplasman kapasitesine sahip olan BRG-A (FPS) sismik izolatörü, spektral analiz sonucunda sadece 430 mm'lik bir deplasman yapmaktadır. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizlerindeyse, Düzce kaydının etkiltilmesinde cihaz 193 mm deplasman yaparken, Düzce 1999, Depremi Bolu kaydı etkisindeyse maksimum 380 mm'lik bir deplasman yapmaktadır. Tüm dinamik analiz sonuçları tez içerisinde sırasıyla Tablo 4.9'da, Tablo 4.10'da ve Tablo 4.11'de gösterilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, (FPS) sismik izolasyon cihazının analizi sonucu elde edilen yanal yük, deplasman ve pylon taban momenti maksimum değerleri, cihazların viyadük yapısına applike ediliş detaylarının dallandırılması, (FPS) cihazının kullanılacağı miktar, tahmini maliyetleri EK-2 Tablo 1'de ve doğrusal olmayan zaman geçmişi dinamik analizi sonucunda elde edilmiş Cihaz Yanal Kuvvetleri, yapılan analiz sonucu her bir cihaz tipinde oluşan Maksimum Deplasman Değerleri, Pylon Taban Momentleri EK-2 Tablo 2 de özetlenmiştir. Tüm bu incelemeler neticesinde (FPS) sismik izolatör cihazlarının viyadüklerde uygulanabilir ve meydana gelebilecek depremlerden sonra mevcut işlevselliğini yerine getirebilir performanslar sergilediği görülmektedir.

Kayda değer önemli bir başka noktaysa; (FPS) sismik izolatör cihazlarının doğrusal olmayan zaman geçmişi analizlerinde göstermiş olduğu deplasman değerlerinin birbirine yakın olmasıdır. Bundan dolayı her bir mevcut veya yeni yapılacak mühendislik yapısının özelliklerine göre deprem izolatör gereksinimi ve tipleri çok detaylı bir şekilde incelenmeli ve uzmanlarca projelendirilmelidir. Projelendirme çalışmalarında kullanılacak malzemeler seçilmeli, geoteknik ve deprem mühendisleri tam bir koordinasyon içinde ve ilgili yönetmelikler dikkate

alınarak projelendirme çalışmaları yapılmalıdır. Uluslararası sarname ve yönetmelikler bazı özel durumlarda yetersiz kalabilir. Bu durumda yapının inşa edileceği bölgenin deprem mühendisliği açısından çok iyi incelenmesi gerekebilir, hatta bu incelemeler uzun zaman alabilir. En önemli konu bölgenin etkili yer kaya ivmesinin (yapı ömrü ve belirli zaman dilimleri dikkate alındığında farklı değerler elde edilebilir) tayin edilmesidir. Deprem mühendisliği açısından en önemli veri olan bu değer, mühendislik jeolojisi, jeofizik ve geoteknik etütler, arazi ve laboratuvar deneyleri gibi bir seri çalışmanın sonucunda elde edilebilir. Ayrıca bölgede aktif fay hatları ve bu hatlara uzaklıklar çok iyi araştırılmalıdır. Bu çalışmaların sonucunda ulaşılması istenen amaç, deprem esnasında oluşabilecek etkili yer kaya ivmelerinin, yerçekimi ivmesinin (örneğin: 0.2g veya 0.4g) bir yüzdesi olarak elde edilmesidir. Aktif fay hatlarının oluşturabileceği zemin kırılmaları ve bununla beraber toprak kaymaları sonucu mevcut yapının taşıyıcı ayaklarının hesap harici ilave dönme ve öteleme hareketleri de yapması söz konusu olabilmektedir. Yapılan bu tez çalışması sonucunda (FPS) sismik izolatör cihazlarının bu tür problemleri de karşılayabilecek performanslara sahip olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

1. Ahmet Ercan, Yapı İnceleme Yöntemleri, İstanbul: Birsen Yayınevi, Şubat, 2003.
2. Al-Hussaini, T.M., Zayas, V.A., Constantinou, M.C., "Seismic isolation of Multi-Story Frame Structures with Friction Pendulum isolators", Technical Report 94-007, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, 1994.
3. Al-Hussaini, T.M., Zayas, V.A., Constantinou, M.C., "Seismic Upgrade of Multi-Story Buildings Using the Friction Pendulum isolation System, Proc., Tali Buildings in Developing Countries, international Conference on Tali Buildings, Dhaka, Bangladesh, June, 1993.
4. A. Marioni (2000), Behaviour of large base isolated prestressed concrete bridges during the recent exceptional earthquakes in Turkey, GLIS, ENEA, News Issue No. 1-2000, Bologna, Italy.
5. American Association of State Highway and Transportation Officials (1992), Guide Specifications for Seismic isolation Design, Washington, D.C.
6. Amin, N., Mokha, A. and Fatehi, H., "Rehabilitation of the U.S. Court of Appeals Building Using Sliding isolation System", Proc., ATC-17-1 Seminar on Seismic isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control, Applied Technology Council, San Francisco, March 1993.
7. ASM international (1987). Metals Handbook, Vol. 13 on Corrosion, Metals Park, Ohio.
8. Astaldi S.p.A. (Contractors) (2000), Miscellaneous documents and diagrams related to the Bolu Viaduct.
9. Bolu, simule deprem datası, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü- <http://www.koeri.boun.edu.tr/default.html>
Bolu Viyadüğü Raporu
<http://bridge.cen.purdue.edu/~anatolia/viaduct/research/report.html>
10. Bowden, F.P. and Tabor, D. (1964). The Friction and Lubrication of Solids. Part II, Oxford University 1 Press.
11. Constantinou, M.C., Kartoum, A., "Shake Table Testing of Bridge Deck on Friction Pendulum Bearings", (in preparation).

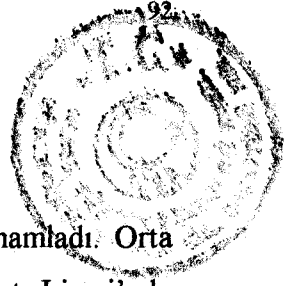
12. Constantinou, M.C., Mokha, A.S., and Reinhom, A.M., "Teflon Bearings in Base isolation II: Modeling" *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, Structural Division, Vol. 116, No. 2, 1990.
13. Constantinou, M.C. "Research on Longevity and Reliability of Sliding Seismic isolation Systems, NCEER Highway Project Technical Report, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, 1996.
14. Constantinou, M.C., Tsopelas, P., Kim, Y-S. and Okamoto, S., "NCEER-Taisei Corporation Research Program on Sliding isolation Systems for Bridges: Experimental and Analytical Study of Friction Pendulum System", Report No. 93-XXXX, National Center for Earthquake Engineering, State University of New York at Buffalo, Submitted May 1993.
15. Derjaguin, B.V. and Toporov, Y.P. (1982). "influence of Adhesion on the Sliding and Rolling Friction," in *Microscopic Aspects of Adhesion and Lubrication*, edited by J.M. Georges, Tribology Series 7, Elsevier Scientific Publishing Co.
16. Gardos, M.N. (1982). Self-lubricating Composites for Extreme Environmental Applications, "Tribology international, October, 273-283.
17. Hamid Ghasemi et al., The November 1999 Düzce Earthquake: Post - Earthquake Investigation of the Structures on the TEM, Publication No. FHWA - KD - 00 - 146, www.fhrc.gov/structure/00-00-146.pdf
18. International Nickel Company (1963). "Corrosion Resistance of Austenitic Chromium-Nickel Stainless Steels in Atmospheric Environments.
19. Lambrou V. and Constantinou, M.C. "Study of Seismic isolation Systems for Computer Floors." Technical Report NCEER-94-0020, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, July 1994.
20. Mokha, A., Constantinou, M.C. and Reinhom, A.M. (1991). "Further Results on the Frictional Properties Bearings," *J. Struct. Engng.*, ASCE, 117(2), 622-626.
21. Mokha, A.S., Constantinou, M.C., Reinhom, A.M. and Zayas, V.A., "Experimental Study of Friction Pendulum isolation System." *Journal of Structural Engineering*, American Society of Civil Engineers, Structural Division, Vol. 117, No. 4, April, 1991.

22. Mokha, A.S., Constantinou, M.C., and Reinhorn, A.M. "Experimental Study and Analytical Prediction of Earthquake Response of a Sliding isolation System with a Spherical Surface" Report No. NCEER 90-0020, National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, October 1990.
23. Mustafa Erdik, Report on 1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) Earthquakes, Boğaziçi University, Dept. Of Earthquake Engineering, 81220 Çengelköy, İstanbul, Turkey. <http://www.koceri.boun.edu.tr/earthqk/Kocaelireport.pdf>
24. Naeim, Farzad and M.Kelly, James. Design of Seismic isolated Structures From Theory to Practice. (Canada ; John Wiley & Sons, 1999).
25. November,12 1999 Düzce earthquake data Bolu record, <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>,
26. Piepenbrock, T.F., Zayas, V.A., Mahin, S.A., "Earthquake Simulation Tests of Unreinforced Masonry Structures Using the Friction Pendulum Seismic isolation System", Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1993 (in preparation).
27. Soong, T.T. and Constantinou, M.C. (1994). Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering, Springer-Verlag, Wien-New York.
28. Hakan Temiz, Bolu Viyadüğü'nün Deprem Performansının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gebze, 2002.
29. Y. Xiao, T. T. Yaprak. University of Southern California, Department of Civil Engineering, Los Angeles, CA 90089-2531 USA ve Faik Tokgozoglu, Deputy Project Manager, Yüksel & Rendel Joint Venture, Bolu, Turkey, Observations of the November 12, 1999, Düzce Earthquake.
30. Zayas, V.A., and Low, S.S., "Earthquake Resistant Design. Using Friction Pendulum Connections." Seismic Engineering: Research and Practice, The American Society of Civil Engineers, Structures Congress, San Francisco, May 1989.
31. Zayas, V.A., Low, S.S., and Mahin S.A. "The FPS Earthquake Resisting System, Experimental Report." Report No. UCB/EERC 87/01, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, June 1987.
32. Zayas, V.A., and Low, S.S., "Seismic isolation Retrofit of an Historic Building", 1993 National Earthquake Conference, Memphis, Tennessee, May 1993.

33. Zayas, V., Low, S., Bozzo, L. and Mahin S., "Feasibility and Performance Studies on improving the Earthquake Resistance of New and Existing Buildings using the Friction Pendulum System", UCB/EERC-89/09, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1989.
34. Zayas, V., Piepenbrock, T. and Al-Hussaini, T., "Summary of Testing of the Friction Pendulum Seismic isolation System: 1986-1993", Proc., ATC-17-1 Seminar on Seismic isolation, Passive Energy Dissipation and Active Control, Applied Technology Council, San Francisco, March 1993.
35. Zayas, V.A., Low, S.S., Mahin, S.A., "Seismic isolation Using the Friction Pendulum System." The 10th international Conference On Structural Mechanics in Reactor Technology, Anaheim, California, August 1989.
36. Zekai Celep ve Nahit Kumbasar, Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul: Beta Dağıtım, 2000.

Teşekkür: Ayrıca, bu tezin hesaplamalarında kullanılmış olan SAP 2000 Programının Üreticileri ve tüm çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ



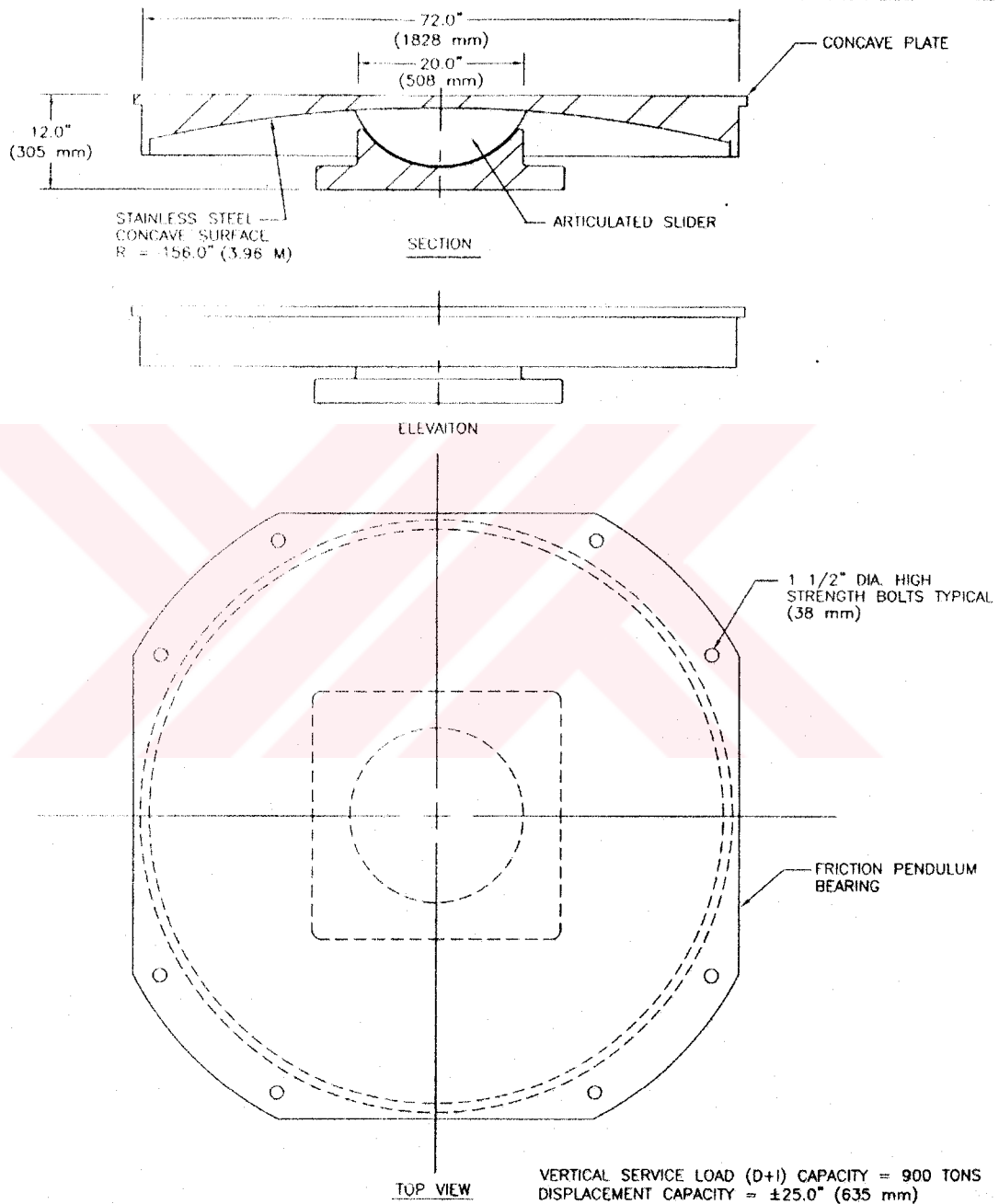
1977'de Bursa'da doğdu. İlkokul'u Altıparmak İlkokulu'nda tamamladı. Orta öğrenimini Bursa Atatürk Lisesi'nde ve liseyi ise Bursa Cumhuriyet Lisesi'nde okudu. 1995 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 1999 yılında derece ile mezun olduktan sonra bir taraftan iş hayatına atılırken, diğer taraftan Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Bilimleri Ana Bilim Dalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Temel dersleri, başta Gebze olmak üzere İstanbul Teknik Üniversitesi'nden takip ederken, tez çalışması hazırlığında Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi'nin değerli öğretim üyelerinin derslerinden de istifade etti.





EK – 1

Bolu Viyadüğü'nde Uygulanabilir Alternatif Sismik İzolasyon
Cihazının Tipleri Ve Teknik Çizimleri



FRICTION PENDULUM BEARING

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS
RICHMOND CALIFORNIA (510) 232-5993

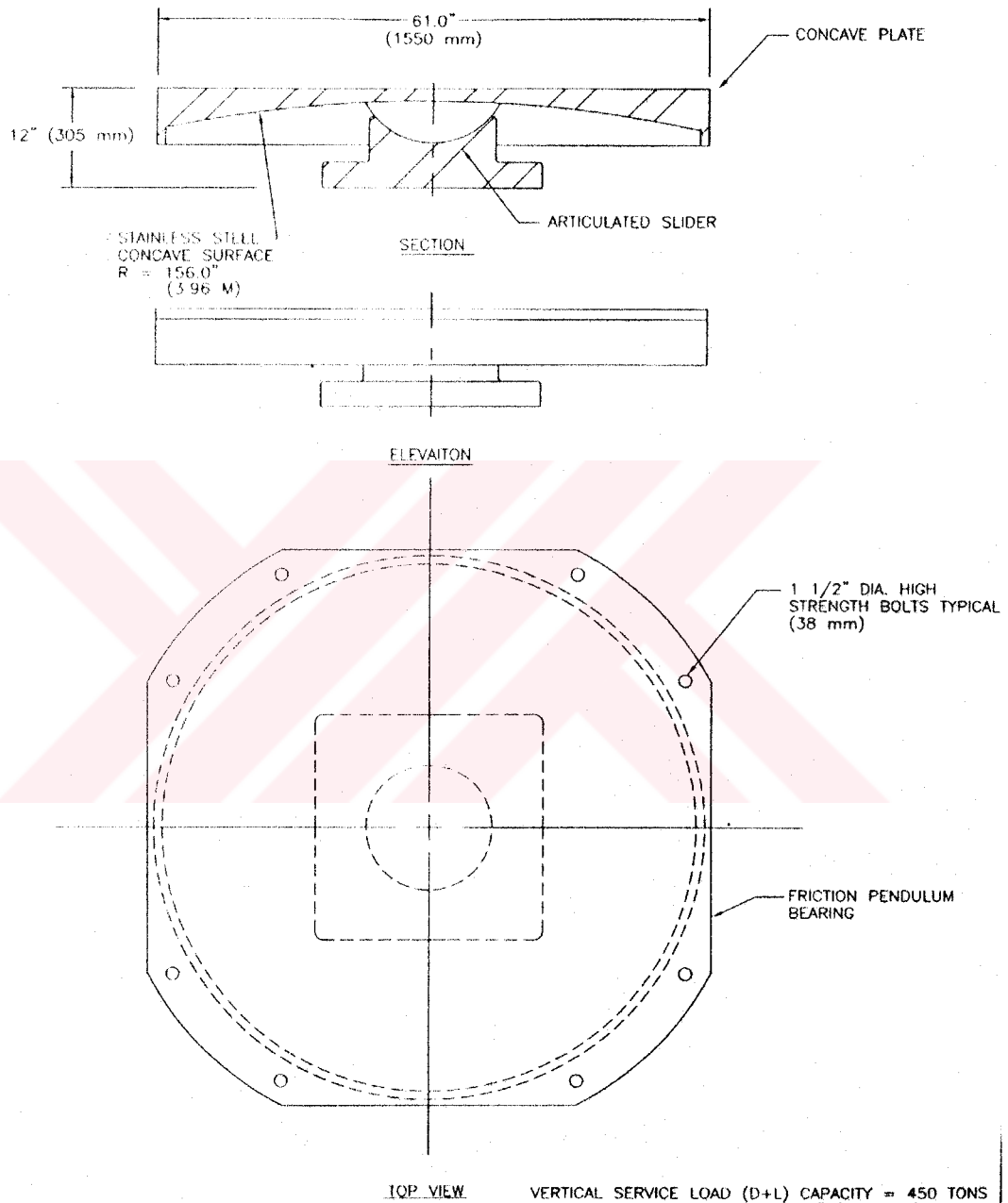
BEARING FOR INTERIOR PIER LOCATIONS

DATE

DRAWING

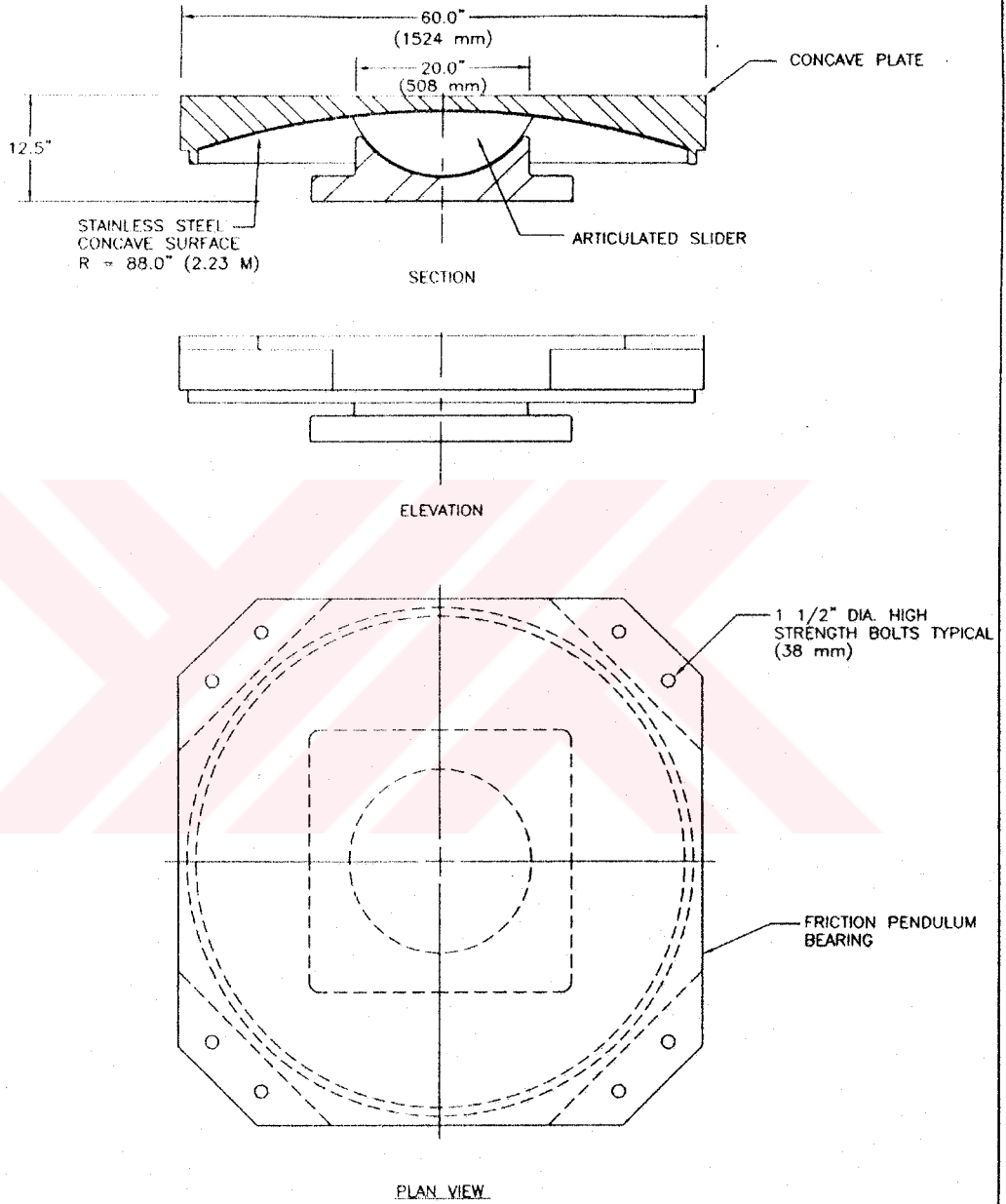
BRG-A1

Şekil 1. BRG-A1 Cihazının Teknik Resmi.



FRICION PENDULUM BEARING		EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS	
		RICHMOND CALIFORNIA (510) 232-5993	
BEARING FOR EXPANSION JOINT PIER LOCATIONS		DATE	DRAWING
			BRG-A2

Şekil 2. BRG-A2 Cihazının Teknik Resmi.



VERTICAL SERVICE LOAD (D+L) CAPACITY = 900 TONS
 DISPLACEMENT CAPACITY = $\pm 18.0"$ (457 mm)

FRICION PENDULUM BEARING

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS
 RICHMOND CALIFORNIA (510) 232-5993

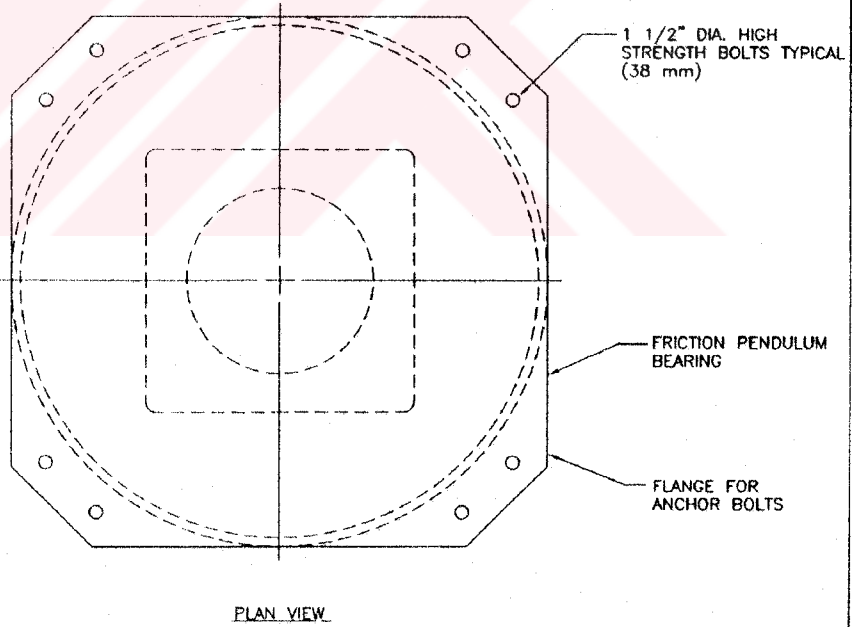
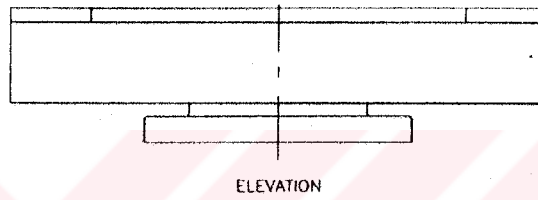
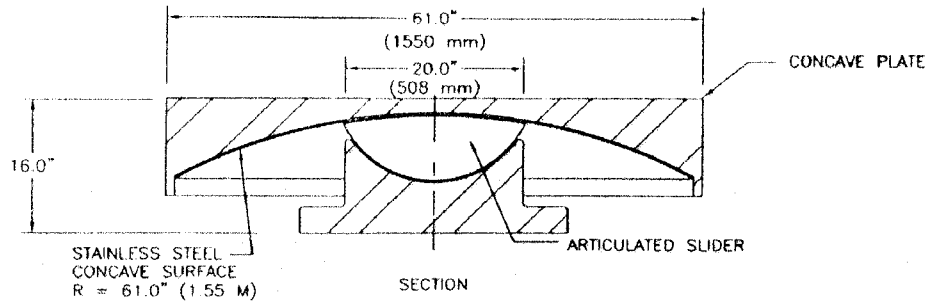
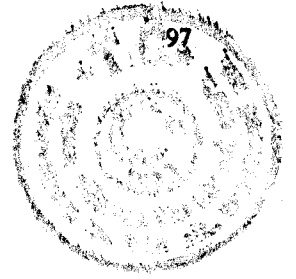
DATE

DRAWING

SCALE

BRG-B

Şekil 3. BRG-B Cihazının Teknik Resmi.



VERTICAL SERVICE LOAD (D+L) CAPACITY = 900 TONS
DISPLACEMENT CAPACITY = $\pm 20.0"$ (508 mm)

FRICTION PENDULUM BEARING

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS
RICHMOND CALIFORNIA (510) 232-5993

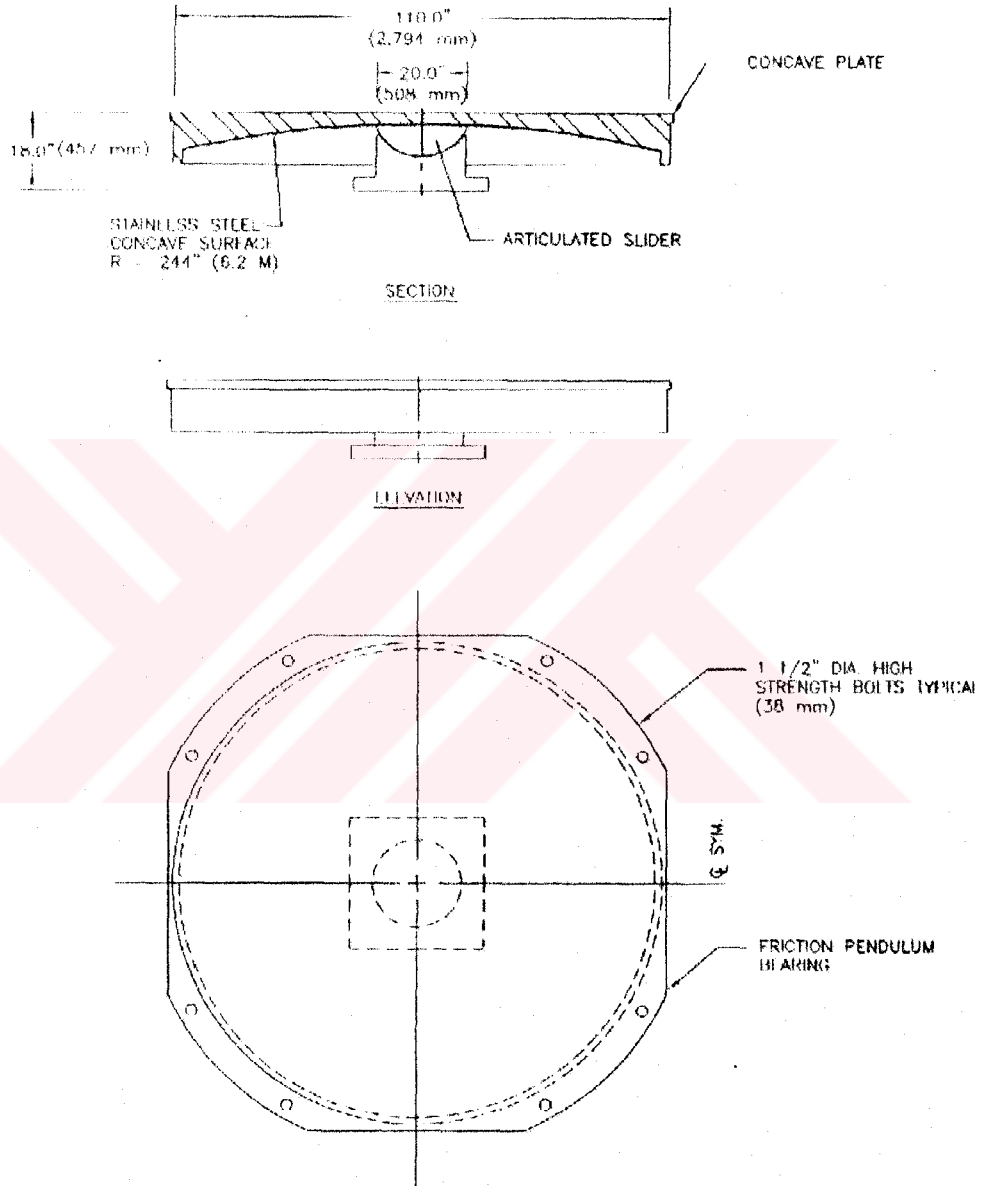
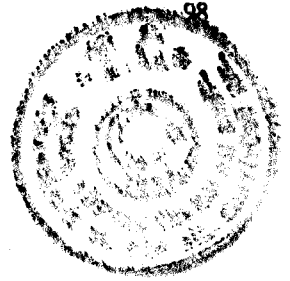
DATE

DRAWING

SCALE

BRG-C

Şekil 4. BRG-C Cihazının Teknik Resmi.



VERTICAL SERVICE LOAD CAPACITY (D.L.) = 900 TONS
DISPLACEMENT CAPACITY = ±143.0" (1092 mm)

FRICTION PENDULUM BEARING

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS
RICHMOND CALIFORNIA (510) 232-5993

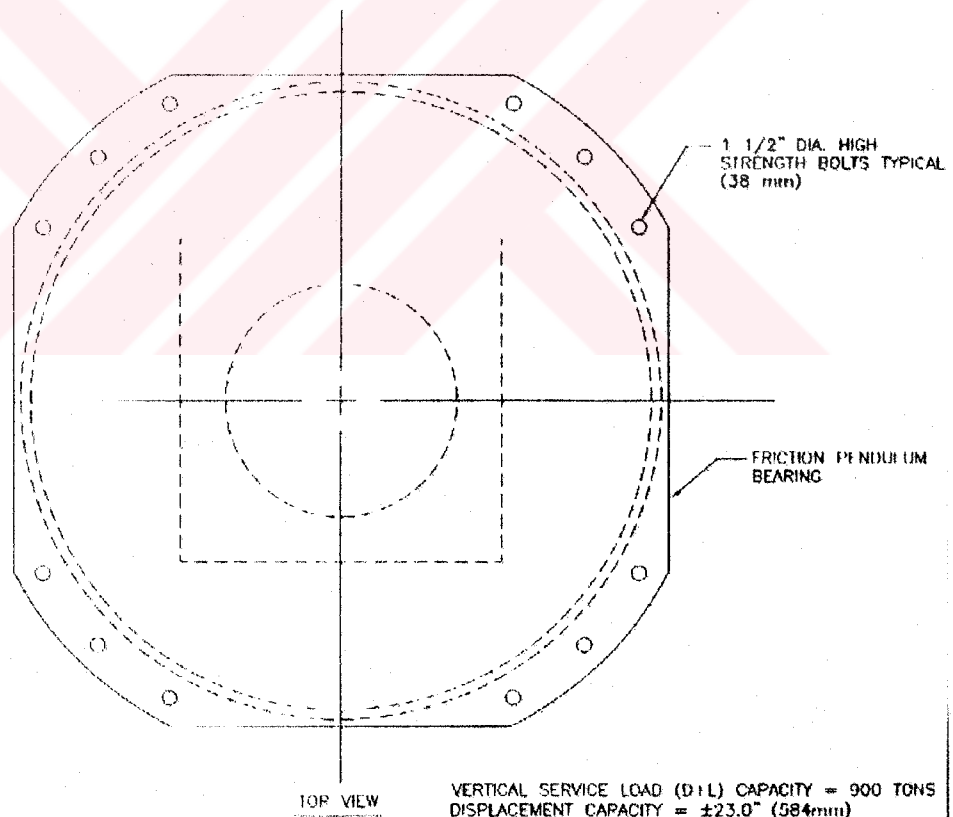
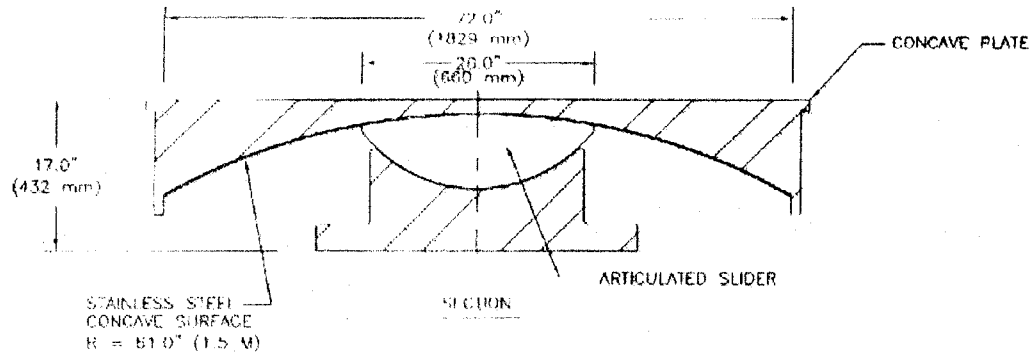
DATE

DRAWING

SCALE

BRG-D

Şekil 5. BRG-D Cihazının Teknik Resmi.



VERTICAL SERVICE LOAD (D+L) CAPACITY = 900 TONS
DISPLACEMENT CAPACITY = $\pm 23.0"$ (584mm)

FRICTION PENDULUM BEARING

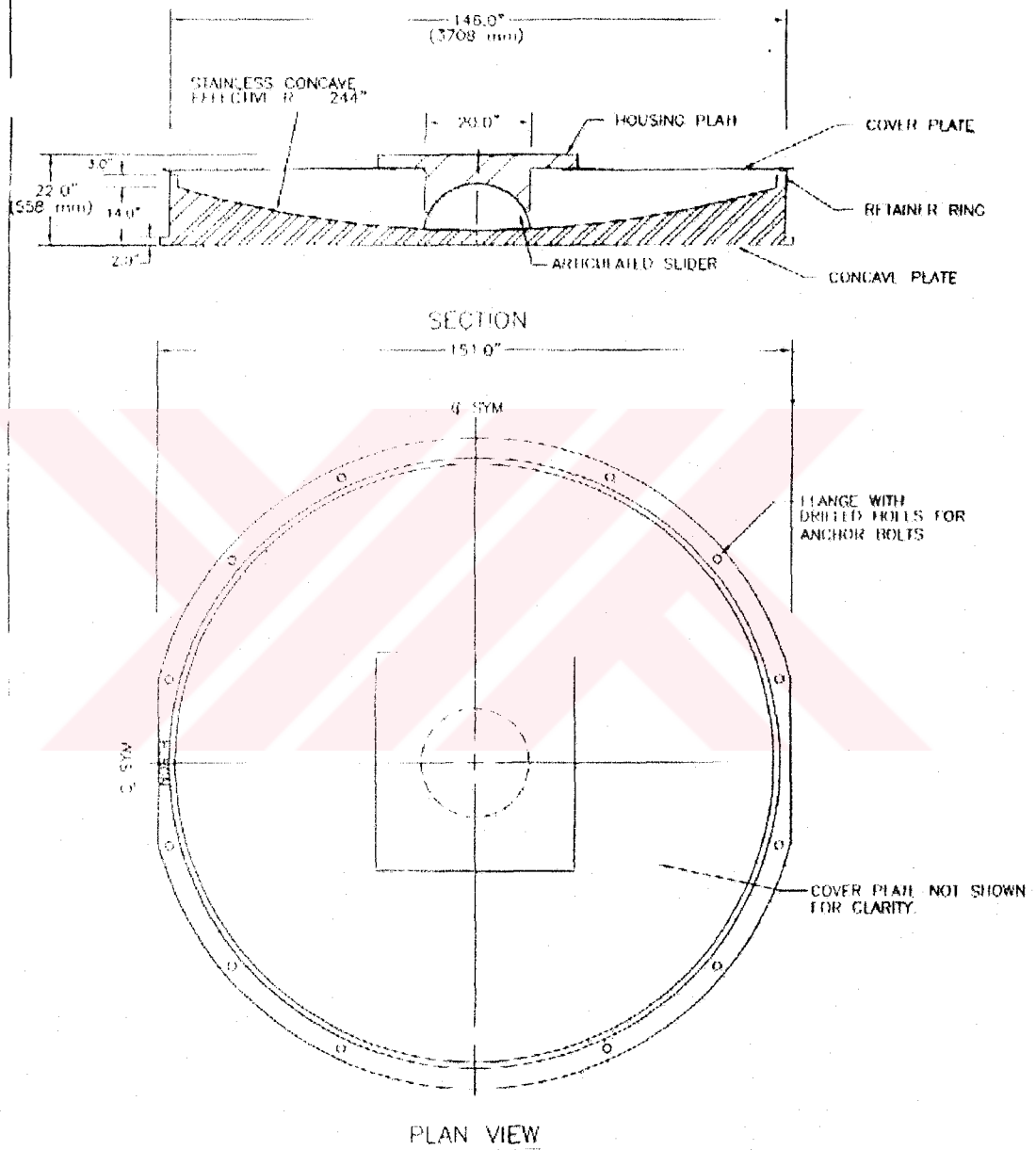
LARSEN QUAKL PROTECTION SYSTEMS
RICHMOND CALIFORNIA (510) 232-5993

DATE

DRAWING

BRG-E

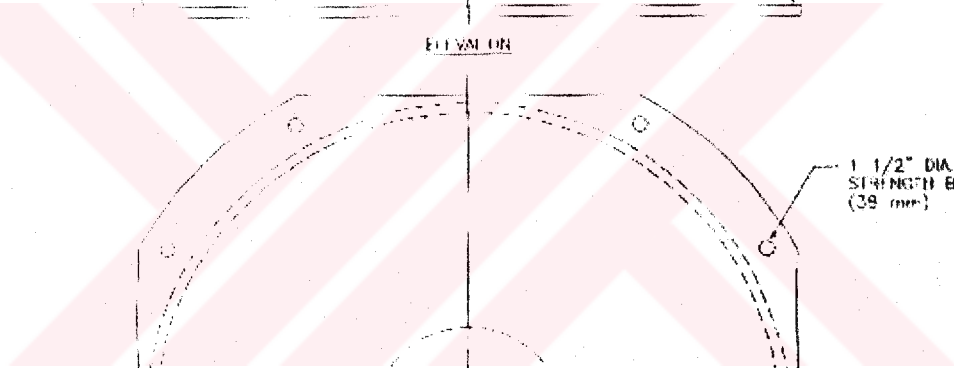
Şekil 6. BRG-E Cihazının Teknik Resmi.

DISPLACEMENT CAPACITY = $\pm 62.0"$ (1574 mm)

FRICTION PENDULUM BEARING

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS
RICHMOND CALIFORNIA (510) 232-5993DATE
SCALEDRAWING
BRG-F

Şekil 7. BRG-F Cihazının Teknik Resmi.

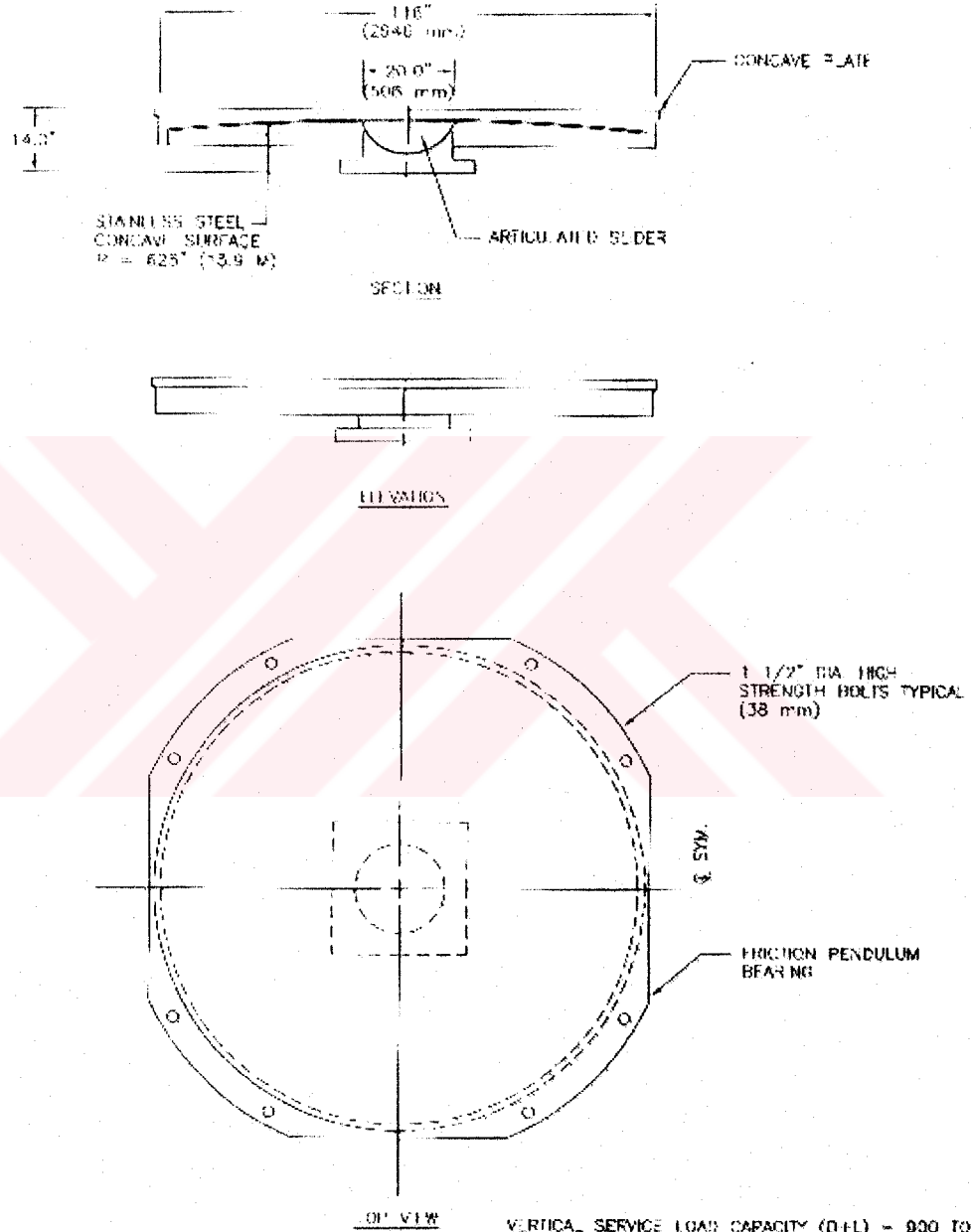


VERTICAL SERVICE LOAD (D+L) CAPACITY = 900 TONS
DISPLACEMENT CAPACITY = 150.0" (1270 mm)

RELEVANT CALIFORNIA (510) 232-5993

BRG-0

Şekil 8. BRG-G Cihazının Teknik Resmi.



FRICION PENDULUM BEARING

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS
 RICHMOND, CALIFORNIA (510) 212-5993

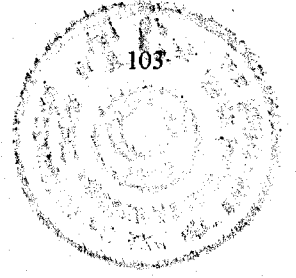
DATE

DRAWING

SCALE

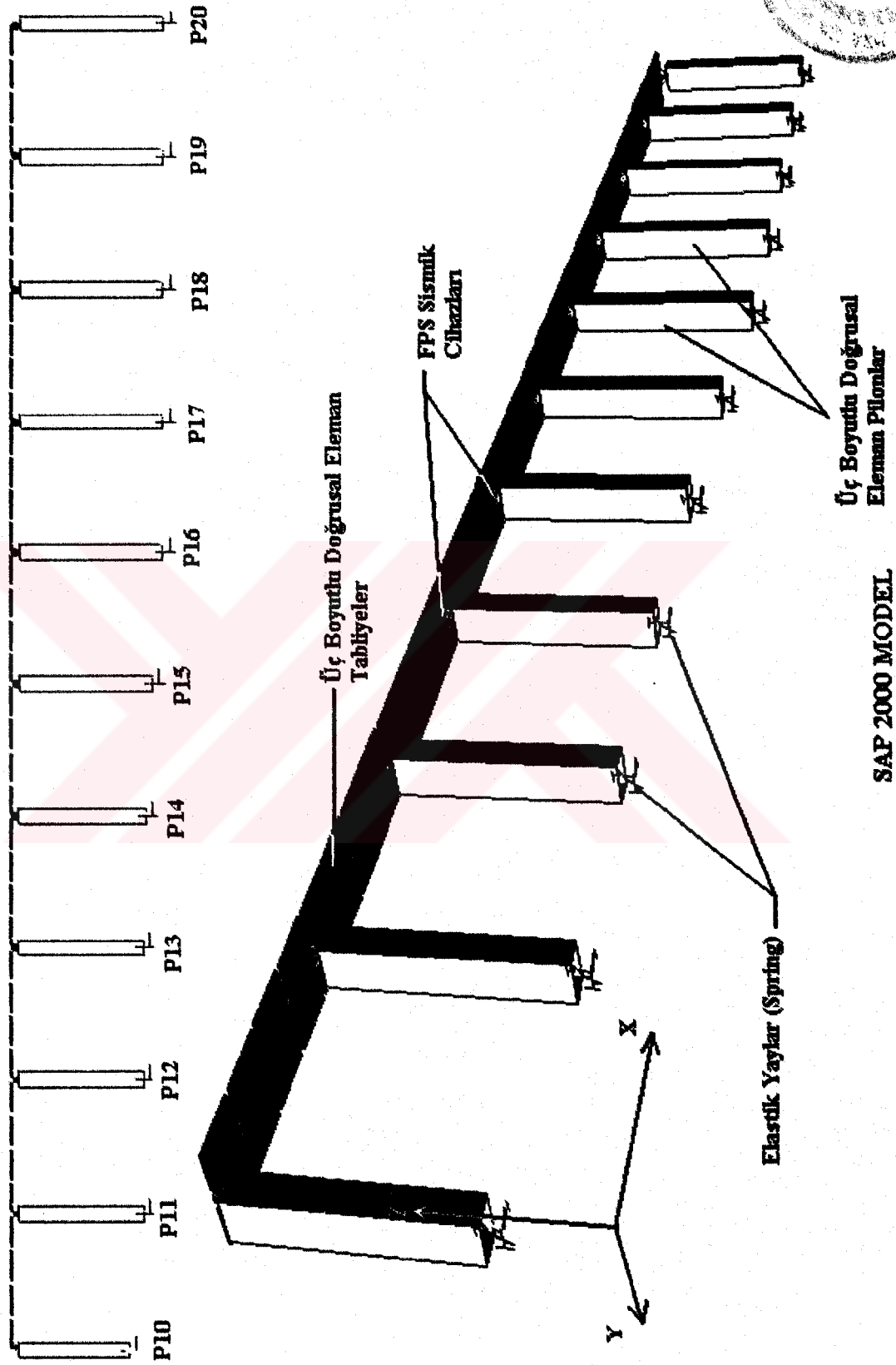
BRG-H

Şekil 9. BRG-H Cihazının Teknik Resmi.



EK – 2

**Bolu Viyadüğü'nde Uygulanabilir Alternatif Sismik İzolasyon
Cihazlarının Analiz Özet Sonuçları ve Dinamik Modeli**



SAP 2000 MODEL

Şekil 1. Üç Boyutlu Dinamik Model.



(FPS) Sismik Cihazların Spektral Analiz Sonuçları Özeti ve Maliyetler.

Cihaz Tipi	Cihaz Özellikleri	1999 AASHTO Uyumlu	Tasarım Depremleri	Spektral Analiz Sonuçları			10 Açıklıklı Bir Viyadük Modülü İçin Tahmini Güçlendirme ve İnşaat Maliyetleri				
				Cihazın Yanal Yüğü (kN)	Cihazın Sonuç Deplasmanı (mm)	Pilon Taban Momenti (kNm)	Uygulama Detayları	Kullanılacak Cihaz Miktarı	Toplam Cihaz Maliyeti (US \$)	İnşaat Maliyetleri (US \$)	Toplam İnşaat Maliyetleri (US \$)
Cihaz-A	T=4 sn. U=%7 D=635 mm P=7000kN	EVET	0.54g AASHTO Zemin 2	1250.24	430	96185.73	EK-3 FP-3'ten FP-7'ye	BRG-A1 18 BRG-A2 4	528.000	648.700	1.176.700
Cihaz-B	T=3 sn. U=%7 D=457 mm P=7000kN	EVET	0.40g AASHTO Zemin 2	1224.53	234	70782.02	EK-3 FP-3'ten FP-6'ya	22	400.000	648.700	1.048.700
Cihaz-C	T=2.5 sn. U=%7 D=508 mm P=7000kN	EVET	0.54g AASHTO Zemin 2	1704.8	269	95455.95	EK-3 FP-3'ten FP-6'ya	22	550.000	1.648.700	2.198.700
Cihaz-D	T=5 sn. U=%10 D=1092 mm P=7000kN	EVET	0.54g AASHTO Zemin 2	1297.24	529	96205.03	EK-3 FP-3'ten FP-6'ya	22	1.100.000	1.648.700	2.748.700
Cihaz-E	T=2.5 sn. U=%30 D=584 mm P=7000kN	EVET	0.54g AASHTO Zemin 2	3098.74	214	95055.42	EK-3 FP-3'ten FP-6'ya	22	660.000	1.648.700	2.308.700
Cihaz-F	T=5 sn. U=%5 D=1587 mm P=7000kN	EVET	0.54g AASHTO Zemin 2 +2m Fay etkisi	1034.17	606	95957.59	EK-3 FP-3'ten FP-6'ya	22	2.200.000	848.700	3.048.700
Cihaz-G	T=5.6 sn. U=%5 D=1270 mm P=7000kN	EVET	0.54g AASHTO Zemin 2 +2m Fay etkisi	1212.78	488	96228.87	EK-3 FP-3'ten FP-6'ya	22	880.000	748.700	1.628.700
Cihaz-H	T=8 sn. U=%10 D=1300 mm P=7000kN	HAYIR	0.54g AASHTO Zemin 2	1001.57	685	96089.6	EK-3 FP-3'ten FP-6'ya	22	880.000	1.648.700	2.528.700

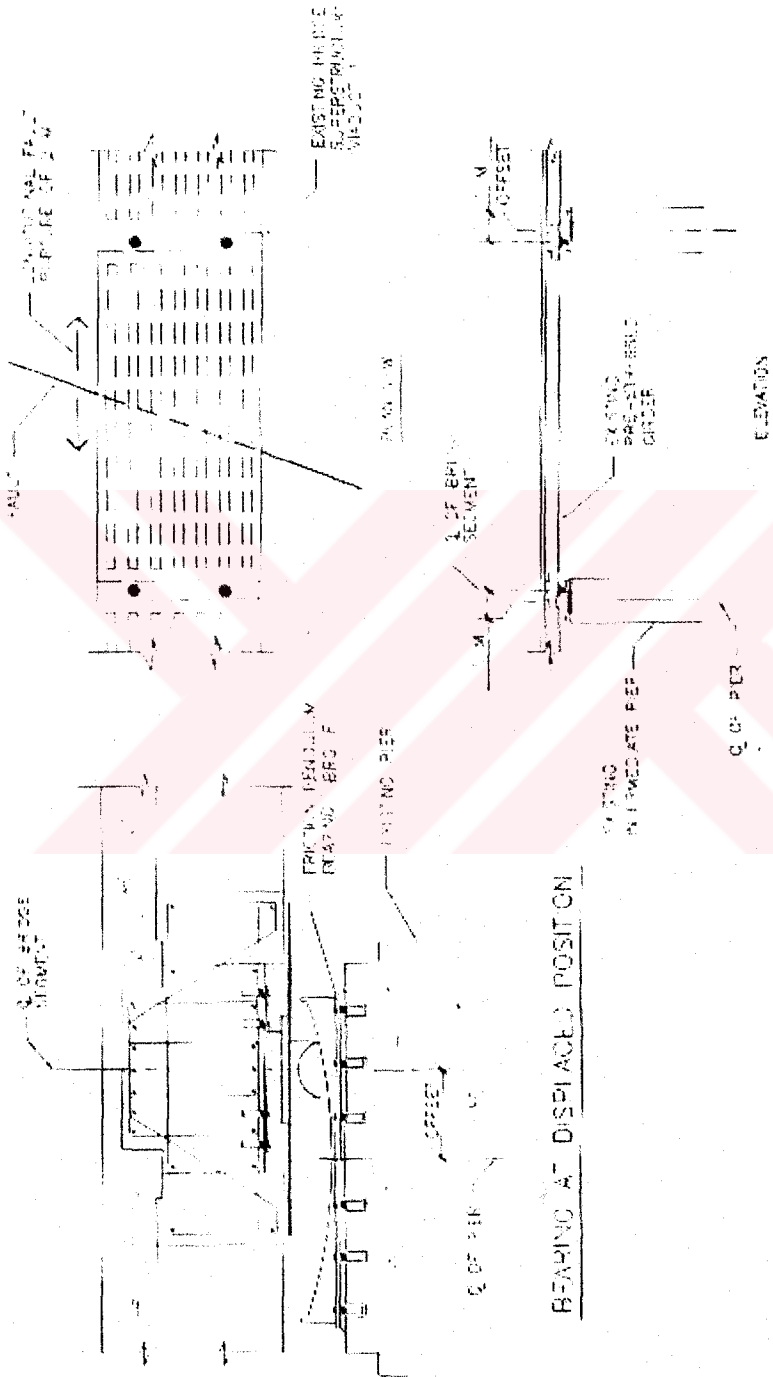
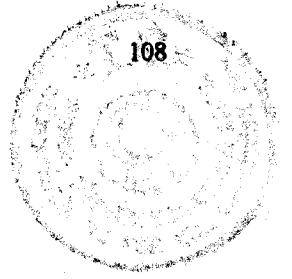
Not:Cihazların yanal yükleri ve pilon taban momentleri, viyadüğün enine ve boyuna doğrultudaki maksimum değerlerdir.

Cihaz Tipi	Cihaz Özellikleri	1999 AASHTO Uyumlu	Tasarım Kriteri	Depremler	Dinamik Analiz Sonuçları			
					Cihazın Yanal Yüğü (kN)	Cihazın Sonuç Deplasmanı (mm)	Pilon Taban Momenti (kNm)	Düşünceler
Cihaz-A	T=4 sn. U=%7 D=635 mm P=7000kN	EVET	0.54g AASHTO Zemin 2	Düzce Simule Kaydı ——— 1999 Düzce Dep. Bolu Kaydı ———	831.22 1161.84	193 380	65991.39 379560.19	Depremlerin Deplasman Talepleri karşılanmaktadır.
Cihaz-B	T=3 sn. U=%7 D=457 mm P=7000kN	EVET	0.40g AASHTO Zemin 2	Düzce Simule Kaydı ——— 1999 Düzce Dep. Bolu Kaydı ———	1086.41 1664	190 374	65381.21 372794.66	Depremlerin Deplasman Talepleri karşılanmaktadır.
Cihaz-C	T=2.5 sn. U=%7 D=508 mm P=7000kN	EVET	0.54g AASHTO Zemin 2	Düzce Simule Kaydı ——— 1999 Düzce Dep. Bolu Kaydı ———	1334.5 2165.44	187 371	64995.93 375441.78	Depremlerin Deplasman Talepleri karşılanmaktadır.
Cihaz-D	T=5 sn. U=%10 D=1092 mm P=7000kN	EVET	0.54g AASHTO Zemin 2	Düzce Simule Kaydı ——— 1999 Düzce Dep. Bolu Kaydı ———	921.28 1132.41	196 383	66285.45 380663.13	Depremlerin Deplasman Talepleri karşılanmaktadır.
Cihaz-E	T=2.5 sn. U=%30 D=584 mm P=7000kN	EVET	0.54g AASHTO Zemin 2	Düzce Simule Kaydı ——— 1999 Düzce Dep. Bolu Kaydı ———	2949.39 3798.79	182 364	64114.39 371383.78	Depremlerin Deplasman Talepleri karşılanmaktadır.
Cihaz-F	T=5 sn. U=%5 D=1587 mm P=7000kN	EVET	0.54g AASHTO Zemin 2 +2m Fay etkisi	Düzce Simule Kaydı ——— 1999 Düzce Dep. Bolu Kaydı ———	572.41 784.66	197 385	66458.55 381244.75	Depremlerin Deplasman Talepleri karşılanmaktadır.
Cihaz-G	T=5.6 sn. U=%5 D=1270 mm P=7000kN	EVET	0.54g AASHTO Zemin 2 +2m Fay etkisi	Düzce Simule Kaydı ——— 1999 Düzce Dep. Bolu Kaydı ———	694.76 1023.60	195 381	66175.55 380200.41	Depremlerin Deplasman Talepleri karşılanmaktadır.
Cihaz-H	T=8 sn. U=%10 D=1300 mm P=7000kN	HAYIR	0.54g AASHTO Zemin 2	Düzce Simule Kaydı ——— 1999 Düzce Dep. Bolu Kaydı ———	787.17 870.38	198 387	66613.02 381826.69	Depremlerin Deplasman Talepleri karşılanmaktadır.

Not: Cihazların yanal yükleri ve pilon taban momentleri, viyadüğün enine ve boyuna doğrultudaki maksimum değerlerdir.

EK – 3

(FPS) Alternatif Sismik İzolasyon Cihazının Viyadüklerde
Uygulanma Detayları

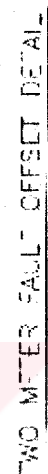


IWO METER FAULT OFFSET DETAIL

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS
S. CHAND, CALIFORNIA (504) 213-5982

DATE: _____
SCALE: _____
DRAWING: _____
BY: _____

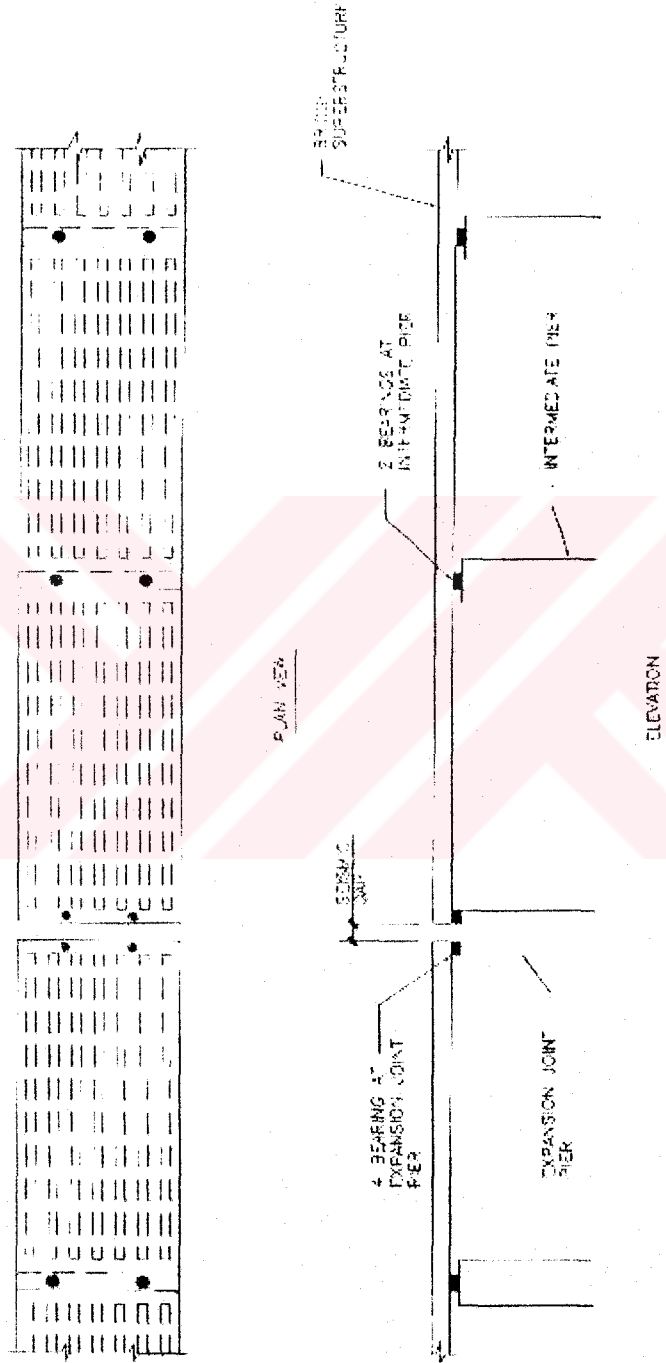
Şekil 1. 2m'lik Fay Etkisindeki Cihazların ve Mevcut Yapının Davranışı.



EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS
RICHMOND, CALIFORNIA (510) 232-5993

DATE	GRADING
	FD-2

Şekil 2. 2m'lik Fay Etkisindeki Cihazların ve Mevcut Yapının Davranışı.



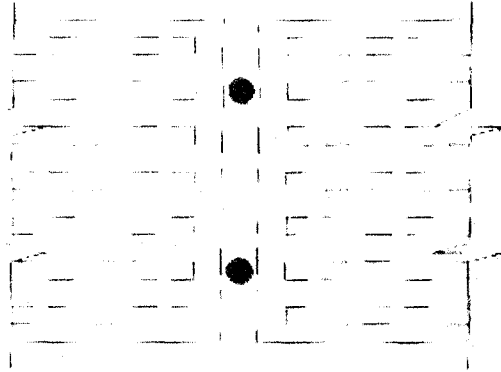
BEARING LOCATION PLAN

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS
RICHMOND, CALIFORNIA (510) 232-9993

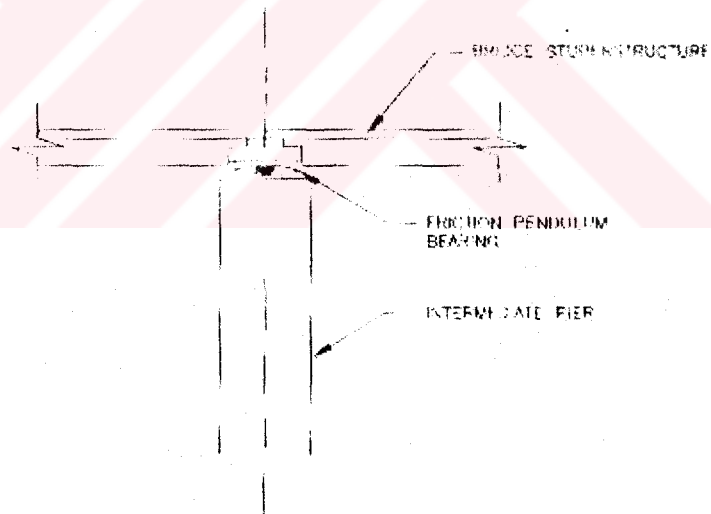
DRAWING
DATE
SCALE

FP-3

Şekil 3. Viyadük Orta Kolonlar ile Yan Kolonlardaki (FPS) Cihazların Konumları.



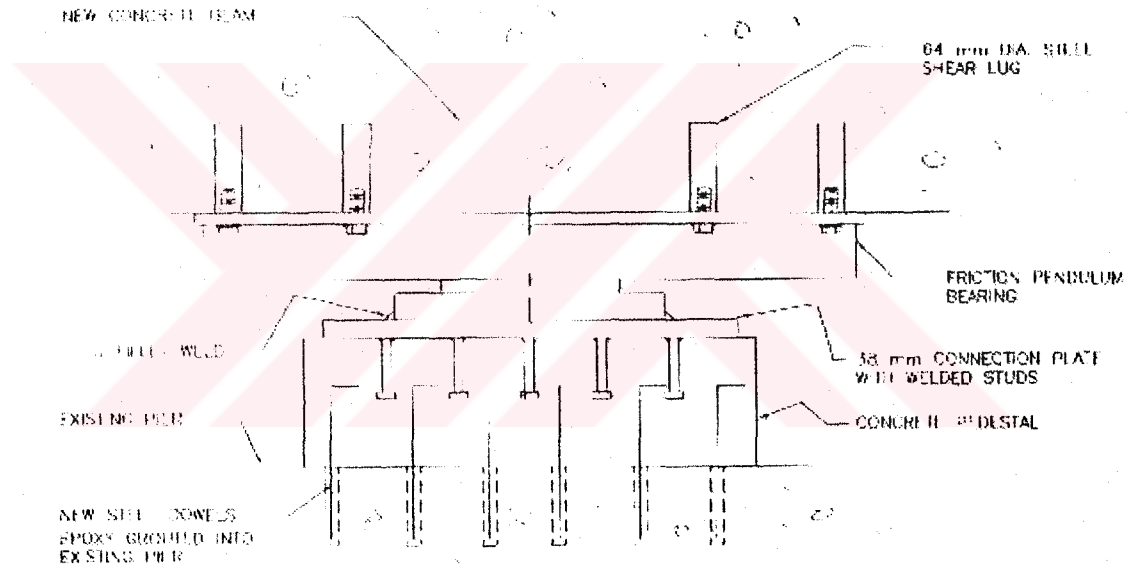
PLAN VIEW



ELEVATION

FRICTION PENDULUM BEARING	EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS		
	RUMELIYENİ ÇALIŞTIRMA (010) 232 5941		
	DATE	DRAWING	
		FP-4	

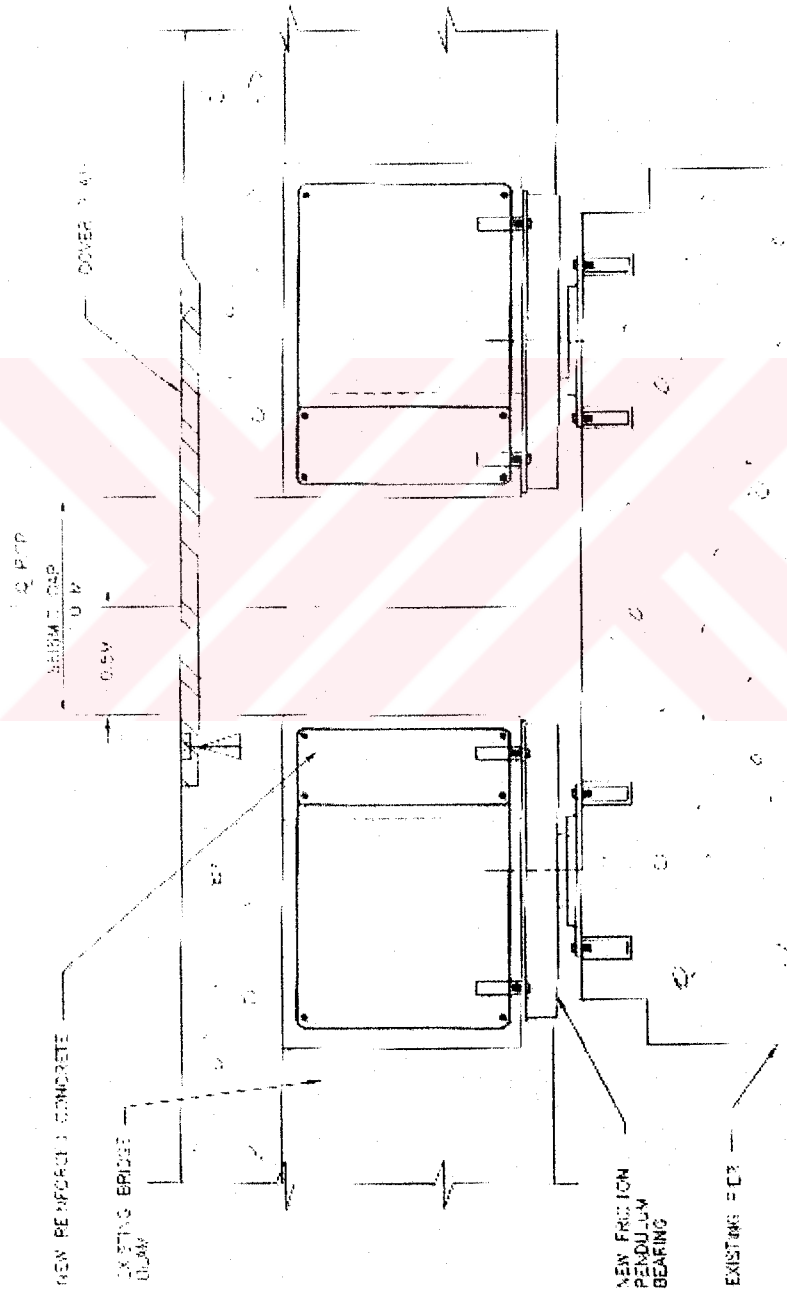
Şekil 4. Viyadük Yan Görünüşü ve (FPS) Cihazın Konumu.



TYPICAL INSTALLATION DETAIL

FRICTION PENDULUM BEARING	EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS		
	RICHMOND CALIFORNIA (510) 232-5993		
	DATE	DRAWING	
		F12-6	

Şekil 5. Cihazların Tipik Montaj Detayı.

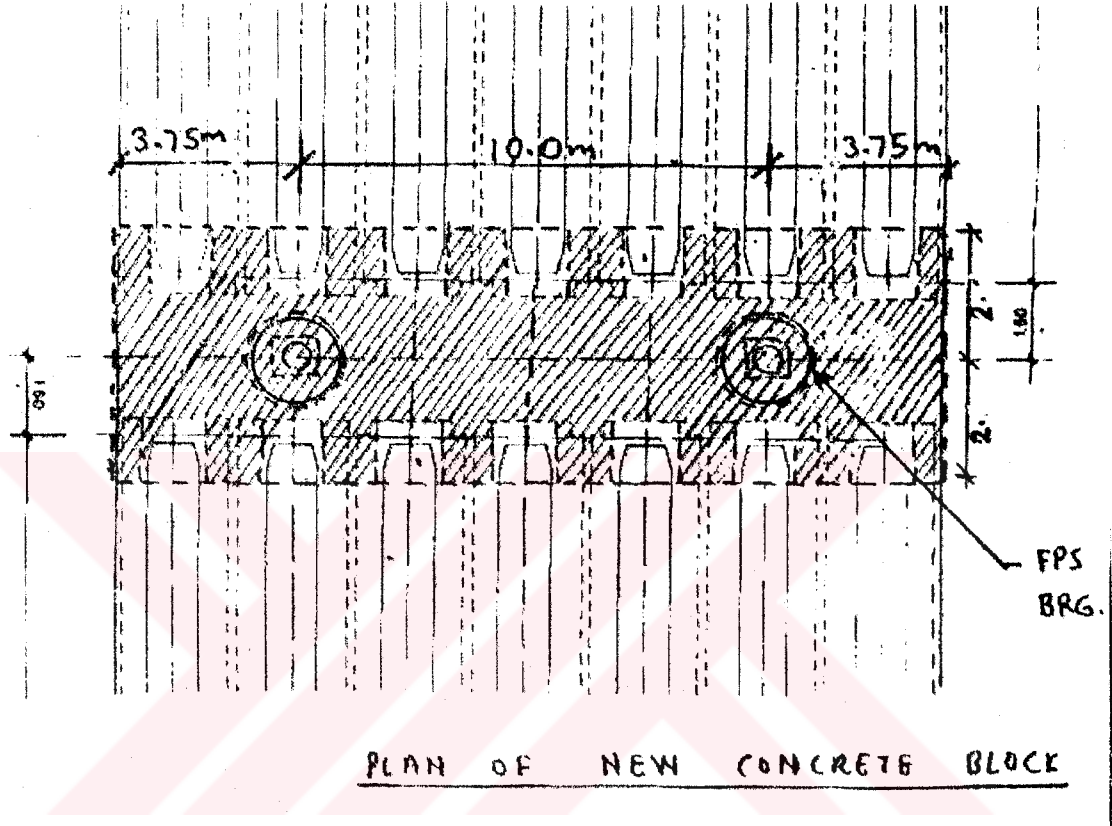


INSTALLATION DETAIL FOR BEARING BRG-A2

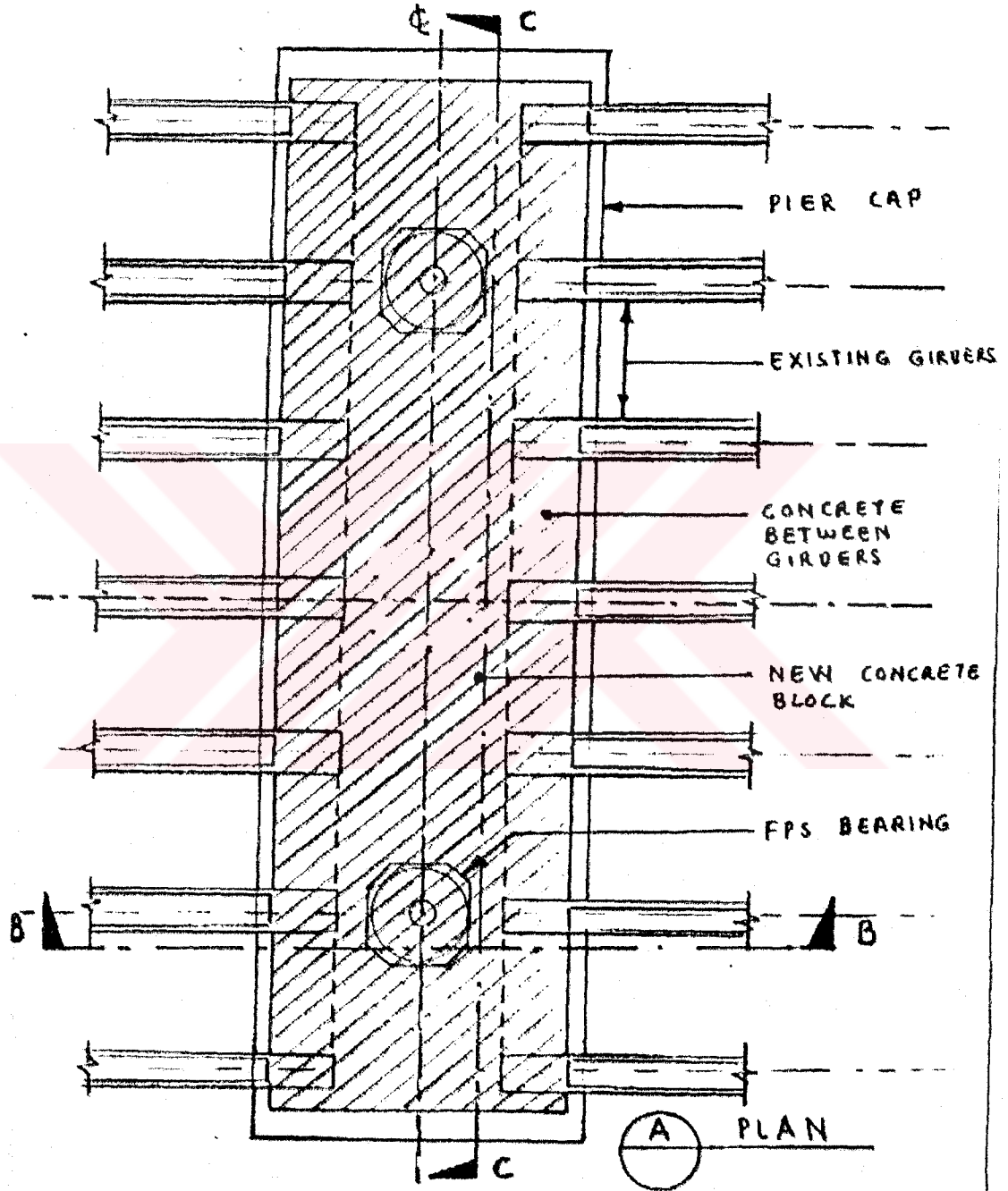
EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS
RICHMOND, CALIFORNIA (510) 232-5693

DATE _____ DRAWING
EP-7

Şekil 6. BRG-A2'nin Genleşme Derzine Uygulanış Detayı.

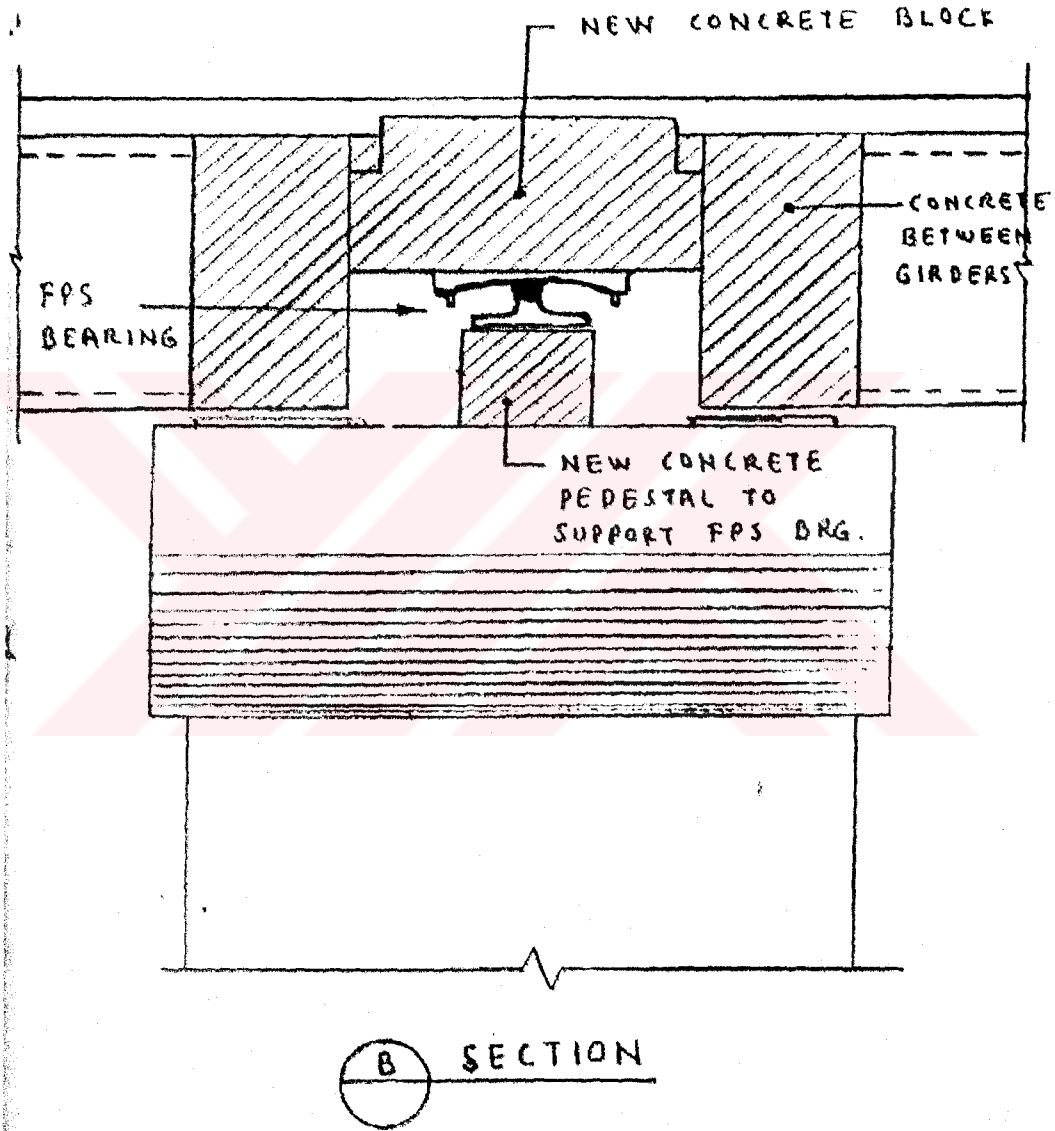


Şekil 7. (FPS) Sismik Yalıtım Cihazlarının Her Bir Kolon Tepesindeki Konumları ve Mesnetlenecek Olunan Yeni Beton Kaide Detayı.



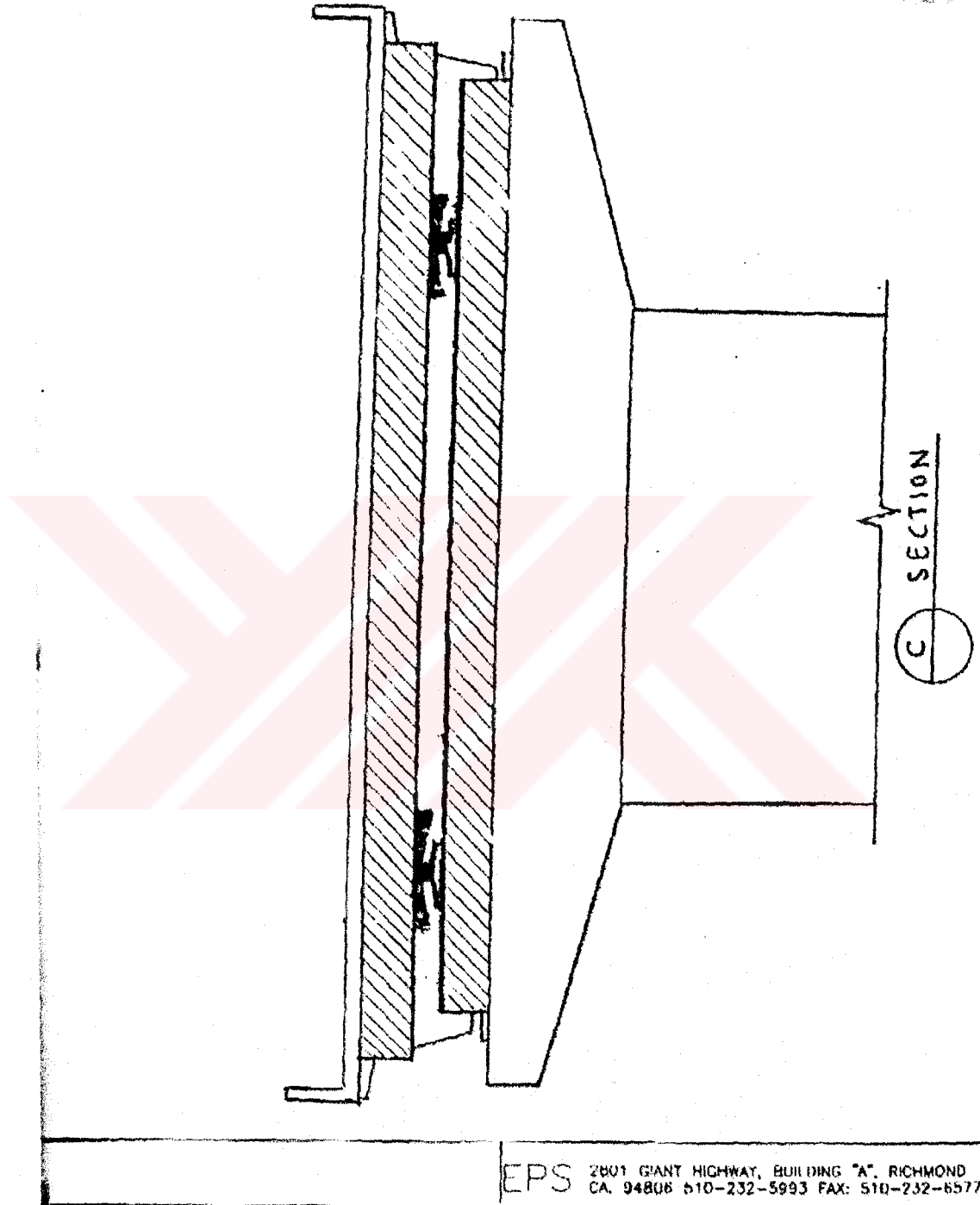
EPS 2801 GIANT HIGHWAY, BUILDING "A", RICHMOND
CA. 94806 510-232-5993 FAX: 510-232-6577

Şekil 8. Viyadüğün A Kesiti Detay Planı.

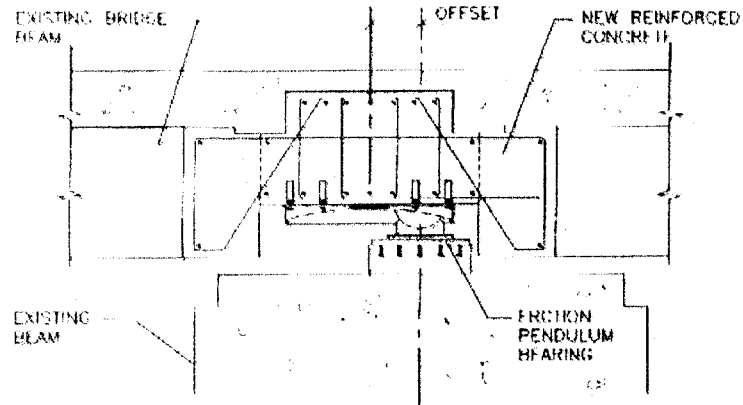


CPS 2801 GIANT HIGHWAY, BUILDING "A", RICHMOND
CA. 94806 510-232-5993 FAX: 510-232-6577

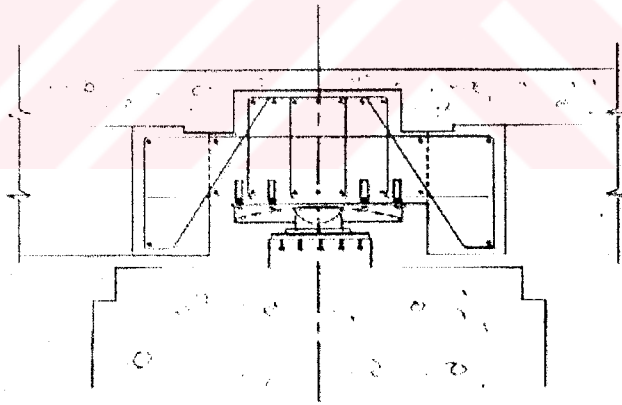
Şekil 9. Viyadüğün Boyuna Kesit Detayı.



Şekil 10. Viyadüğün Enine Kesit Detayı.



① INITIAL POSITION



② FINAL POSITION

RELOCATING OF EXISTING STRUCTURE

EARTHQUAKE PROTECTION SYSTEMS
RICHMOND, CALIFORNIA (510) 232-5993

Şekil 11. Viyadük Üst Yapısında Oluşan Kalıcı Yer Değiştirmelerin Önceki Konumuna Getirilmesi.