



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

SAKARYA VİYADÜĞÜ'NÜN SİSMİK
PERFORMANSININ ARAŞTIRILMASI

121 328
T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Yusuf YÜCEKAYA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
DEPREM VE YAPI BİLİMLERİ
ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
Yrd.Doç.Dr. Eren UÇKAN

GEBZE
2002

121328



Yusuf Yücekaya' nın tez çalışması, G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03/09/2002 tarih ve 2002/28 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından Deprem ve Yapı Bilimleri Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRI

ÜYE (Tez Danışmanı)

: Yrd. Doç. Dr. Eren Uçkan

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Bülent Akbaş

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr Atilla Öven

ONAY

GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03/09/2002 tarih ve 2002/28 sayılı kararı.



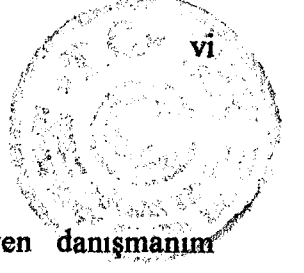
ÖZET

17 Ağustos 1999 depreminde bir çok bina, sanayi tesisi, köprü, viyadük kalıcı hasar görmüş veya yıkıldı. Depremden sonra; özellikle deprem bölgesindeki yapıların deprem davranışlarının incelenmesi, mevcut yapıların güçlendirilerek güvenli hale getirilmesi gündeme gelmiştir. Yapıların deprem davranışlarının incelenmesi ve elde edilen sonuçlara göre tedbir alınması depremde meydana gelebilecek yıkım veya hasarlara karşı, insan hayatı ve ülke ekonomisi açısından önem arz etmektedir. Bu çalışmada Sakarya Viyadüğü LUSAS Sonlu Elemanlar Yöntemi ile analiz edilerek sismik davranışı incelenmiştir. Sakarya Viyadüğü, her biri 40 m olan 10 adet açıklıktan ve bunları destekleyen 10 m boyundaki kolonlardan oluşmaktadır. Kolonlar ile üst yapı birbirlerine elastomerlerle bağlanmıştır. Analizde ilk olarak modal analizi yapılarak yapının mod şekilleri ve mod frekansları bulunmuştur. Daha sonra 92 ASSHTO spektrumu tatbik edilerek spektral analizi yapılmıştır. Spektral analiz sonucunda yapının izolasyon sisteminin 92 ASSHTO yönetmeliğine göre deplasman gereksinimleri bulunmuştur. Daha sonrada Sakarya'da kaydedilen deprem kayıtları kullanılarak yapının doğrusal zaman geçmişi analizi yapılmıştır. Zaman geçmişi analizi sonucunda bulunan maksimum deplasman değerleri ile spektral analizi sonunda bulunan deplasman değerleri kıyaslanarak yapıda meydana gelebilecek muhtemel hasarlar araştırılmıştır.

SUMMARY

Because of the earthquake on 17th August 1999 many buildings, industrial plants, bridges, viaducts either achieved permanent damage or collapsed. After the earthquake especially in the earthquake region investigation of constructions for earthquake behaviors and strengthening the existing constructions to improve their safety have been the major point. Investigation of constructions for earthquake behaviors and building precautions for possible collapses and damages in an earthquake due to the obtained data has great importance for human life and economy of the country. Throughout this work, Sakarya Viaduct has been analyzed via LUSAS finite element method for investigation of its seismic behavior. Sakarya Viaduct is of 10 apertures each 40 meters and columns (10 meters each) supporting them. Columns and the upper construction brought together by elastomers. In the analyses, firstly modal analyses has been done and mode shapes and frequencies of the construction have been found. Then 92 ASSHTO spectrum was applied to realize spectral analyses. Due to the results of spectral analyses the isolation system of the construction is found to be requiring displacement according to 92 ASSHTO regulations. Later on linear time history analyses has been done using the earthquake records recorded in Sakarya. The maximum displacement values obtained by this analyses and displacement values obtained by spectral analyses have been compared and the possible damages in the construction have been investigated.

TEŞEKKÜR



Tez çalışması süresince benden yardımlarını esirgemeyen danışmanım
Yrd.Doç.Dr.Eren Uçkan'a teşekkürlerimi sunarım.

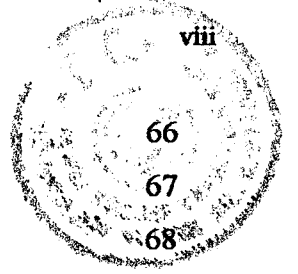
Saygılarımla



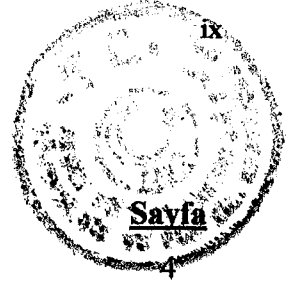
ÖZET**SUMMARY****TEŞEKKÜR****İÇİNDEKİLER DİZİNİ****ŞEKİLLER DİZİNİ****TABLolar DİZİNİ**

1. DEPREM HAREKETİ	1
1.1. Deprem Oluşumu	2
2. 17 AĞUSTOS KOCAELİ DEPREMİ	4
2.1. Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin Özellikleri	5
2.2. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin Yerbilimleri Açısından Değerlendirilmesi	6
3. KOCAELİ DEPREMİNİN SAKARYA'DAKİ ETKİSİ	8
3.1. Zemin Koşulları	8
3.2. Sakarya'daki Deprem Kaydı	10
4. OTOYOL HASARLARINA GENEL BAKIŞ	12
4.1. Sakarya Viyadüğü Hakkında Genel Bilgi	15
4.1.1. Viyadüğün İzolasyon Sisteminin Tanıtılması	15
5. MODAL SPEKTRAL ÇÖZÜMLEME YÖNTEMİ	18
6. ZEMİN DURUMUNUN DEPREM HAREKETİNE ETKİSİ	29
6.1. Maksimum İvme	29
6.2. Maksimum Hız	30
6.3. Spektrum	30
7. ZAMAN TANIM ALANINDA HESAP YÖNTEMİ	32
7.1. Deprem Enlemesine Yönde Etkitilmesi İle Elde Edilen Deplasman Grafikleri	33
7.2. Deprem Boyuna (Longitudinal) Yönde Etkitilmesi İle Elde Edilen Deplasman Grafikleri	46
7.3. Enlemesine ve Boylamasına Yönlerde Elde Edilen Bileşke Deplasman Grafikleri	60

8. SONUÇ ve ÖNERİLER
KAYNAKLAR
ÖZGEÇMİŞ

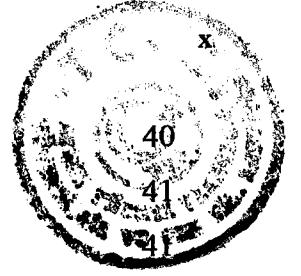


ŞEKİLLER DİZİNİ



Sekil

2.1. Kocaeli Depremi Merkez Üssü	
2.2. Depremden En Çok Etkilenen İl Merkezleri	5
2.3. Kırılan Fay Hattı	7
2.4. Yol Yapılarındaki Genel Hasar Dağılımı	8
3.1. Adapazarı Zemin Profilinin Genel Görünüşü	9
3.2. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin Sakarya Kaydı	11
4.1. Deprem’ de E80 Karayolu Üzerinde Yıkılan Viyadük	12
4.2. Sakarya Viyadüğü	13
4.3. Elastomerlerde Meydana Gelen Hasar Örnekleri	14
4.4. Viyadüğün Dilatasyon Derzinin Kayması	14
4.5. Sakarya Viyadüğü	16
4.6. Sakarya Viyadüğü Üst Yapısının En Kesiti	16
4.7. Viyadük Ayağının Planı	16
4.8. Üst Yapı ve Alt Yapı Yarı Enkesiti	17
6.1. z Yönündeki Deplasman Vektörleri(m)	31
6.2. x Yönündeki Deplasman	31
7.1. 1 No’lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman-Deplasman Grafiği	33
7.2. 1 No’lu İzolatörün Zaman-Deplasman Grafiği	33
7.3. 2 No ‘ lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	34
7.4. 2 No’lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	34
7.5. 3 No’ lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	35
7.6. 3 No’lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	35
7.7. 4.No’lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	36
7.8. 4 No’ lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	36
7.9. 5 No’lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	37
7.10. 5 No ‘lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	37
7.11. 6 No’ lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	38
7.12. 6 No’lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	38
7.13. 7 No’ lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	39
7.14. 7 No’ lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	39
7.15. 8 No ‘lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	40



7.16. 8 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	
7.17. 9 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	
7.18. 9 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	
7.19. 10 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	42
7.20. 10 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	42
7.21. 11 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	43
7.22. 11 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Eğrisi	43
7.23. 12 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	44
7.24. 12 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	44
7.25. 13 No'lu İzolatörlerin Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	45
7.26. 13 No'lu İzolatörlerin Zaman Deplasman Grafiği	45
7.27. 1 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	47
7. 28. 1 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	47
7.29. 2 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	48
7.30. 2 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	48
7.31. 3 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	49
7.32. 3 No' lu İzolatörün Uç Noktalarının Deplasman Grafiği	49
7.33. 4 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Deplasman Grafiği	50
7.34. 4 No 'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	50
7.35. 5 No 'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	51
7.36. 5 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	51
7.37. 6 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	52
7.38. 6 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	52
7.39. 7 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	53
7.40. 7 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	53
7.41. 8 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	54
7.42. 8 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	54
7. 43. 9 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	55
7.44. No 'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	55
7.45. 10 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	56
7.46. 10 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	56
7.47. 11 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	57
7.48. 11 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	57

7.49. 12 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	58
7.50. 12 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği	58
7.51. 13 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği	59
7.52. 13 No'lu İzolatörün Deplasman Grafiği	59
7.53. 1.No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği	61
7.54. 2.No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği	61
7.55. 3.No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği	62
7.56. 4 No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği	62
7.57. 5 No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği	63
7.58. 6 No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği	63
7.59. 7 No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği	64



TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo

4.1. Viyadük Kesit ve Malzeme Özellikleri

7.1. Transverse Yönde İzolatör Deplasmanları

7.2. Boylamasına (Longitudinal) Yöndeki İzolatör Deplasmanları

Sayfa

17

46

60



1. DEPREM HAREKETİ

Önceden bir uyarı olmadan meydana gelmesi yönünden deprem, doğal afetler arasında kendine has bir özelliğe sahiptir. Deprem meydana gelmeden önce bazı ön işaretler görünebilirse de , günümüzde depremin önceden tahmin edilmesi konusunda güvenilir sonuçlar henüz mevcut değildir. Bu konuda 1975 Çin depreminden bir kaç saat önce yapılan ön uyarı sonucu iki önemli şehirde binlerce hayat kurtarılmıştır. Ancak, daha sonra pek çok deprem önceden beklenmeden meydana gelmiş veya yapılan deprem tahminleri doğru çıkmamıştır. Güvenilir bir uyarı sisteminin henüz mevcut olmaması, yapıların depreme karşı dayanıklı düzenlenerek, depremin etkilerinden korunmanın sağlanması gereğini ortaya çıkarmıştır.

Doğal afetlerin en önemlilerinden biri olan deprem, yer kabuğunun bir titreşimi olduğu için, yapıların mesnetlerinde zamana bağlı bir yer değiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki oluşturur. Özellikle depremin sık ve şiddetli olduğu ülkeler için bu titreşim hareketinin incelenmesi yapı dinamiği'nin ana problemlerinden biridir.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının önemli iki adımından biri yapının iyi tasarlanması ve kullanılan malzemelerin yeterli kalitede olması, diğeri ise , bu yapıda depremin oluşturması beklenen kesit zorlarının yeterli yaklaşıklıkta belirlenerek karşılanmasıdır. Deprem etkisi, yapıları alışılmış yüklerin üzerinde zorlayarak, yapı tasarımında ve uygulanmasında yapılmış hataları ortaya çıkarır.

Dünyanın, deprem kuşağı denen bölgeleri içinde bulunan ülkemizde, her gün aletlerin kaydettiği ve insanlar tarafından farkına varılmayan çok sayıda yer hareketi meydana gelmektedir. Yer hareketini inceleyen sismoloji bilimi açısından bu kayıtlar önemli olmakla beraber, deprem mühendisliği bakımından, kuvvetli yer hareketi meydana getiren şiddetli depremler önem taşır. Bir başka deyişle sismoloji, depremin yerküresindeki etkisinin bir bütün olarak ele alıp , uzun dönemdeki etkisi ile ilgilenir. Deprem mühendisliği ise yapılarda hasar meydana getirebilecek kuvvetli yer hareketleri ile ilgilenir. Her ne kadar deprem mühendisliği ve sismoloji biliminin amaçları ayrı ise de sismolojinin pek çok konusu deprem mühendisliği ile yakından ilgilidir.

Depremın meydana gelmesi dünyanın yapısı ile ilgilidir. Dünyamız yaklaşık olarak 6400 km yarıçapında, küresel bir şekle sahip olup, ortalama yoğunluğu 5500 kg/m^3 civarında bulunmaktadır. Ancak, merkeze doğru basıncın artması nedeniyle yoğunluk büyür. Depremler yerkabuğunun titreşimi olduğu için , bunların yayılması dünyanın içindeki yapısal durumla yakından ilgilidir. Deprem titreşimlerinin yayılma hız ve doğrultularının incelenmesi dünyanın iç yapısı hakkında bilgi toplanmasına yardımcı olur.

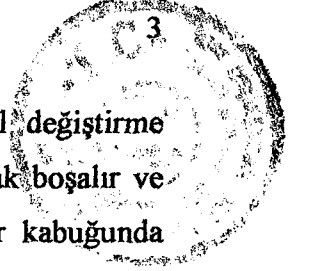
1.1. Depremın Oluşumu

Depremlerin çok büyük bir bölümü yer kabuğunda soğuma veya çeşitli etkilerden meydana gelen şekil değiştirme enerjisinin ani olarak açığa çıkmasından meydana gelir. Böyle bir olay sırasında yer kabuğunu oluşturan plakalar kendisini sınırlayan çizgiler faylar boyunca ani olarak kayar. Bu tür tektonik depremde ortaya çıkan yer değiştirme dalgaları sönümlenerek uzaklara yayılır. Deprem yer ve şiddetine göre yer kabuğunda yeni fayları da oluşturabilir. Deprem hareketinin bu tür açıklanması elastik geri sekme teorisi olarak isimlendirilir.

Bazı depremler, volkanik hareketlere, yer altı mağaralarının çökmesine ve hatta yer altına basılarak uzaklaştırılan kullanılmış suların ortaya çıkardığı gerilmelere bağlı olarak da oluşabilmektedir. Ancak tektonik olmayan bu depremlerin sayı ve şiddeti azdır.

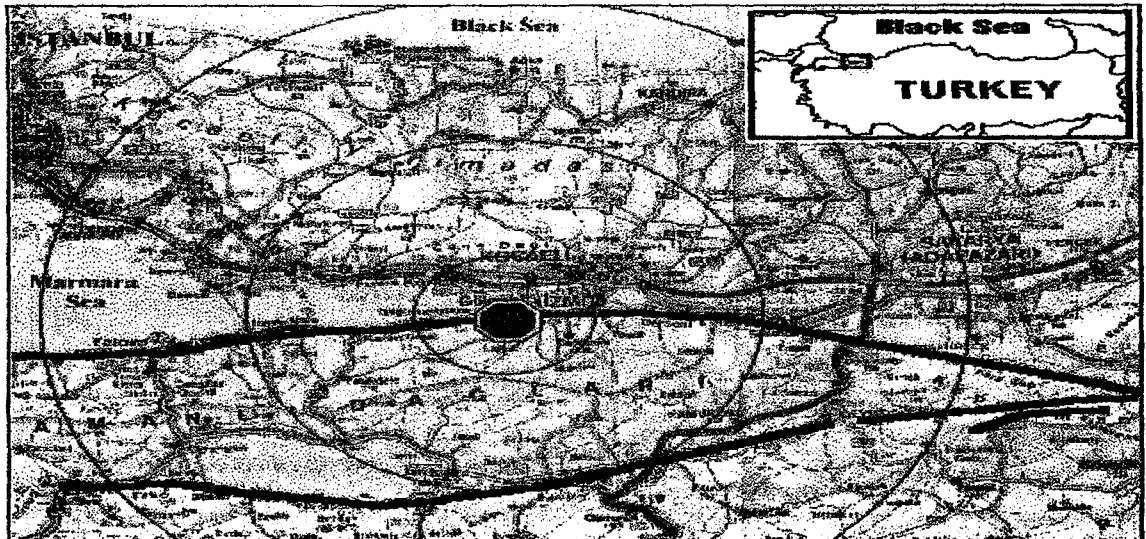
Plaka tektoniği olarak bilinen bilim dalı, yerkabuğunun birkaç parçadan oluştuğunu , bu plakaların birbirine göre hareket ettiklerini kabul etmekte ve birçok tektonik olayı bu esasa göre açıklamaktadır. Bu plaka parçaları sınırlarda birbirlerine göre kaymakta veya biri diğerinin üzerine çıkabilmektedir. Bu hareketlerin ve yer kabuğu altında sıvı halde bulunan magmanın basıncında soğuma veya benzeri nedenlerle meydana gelen basınç değişimlerinin, yer kabuğunda gerilmeler oluşturacağı açıktır. Diğer taraftan kabuğun birçok yerde faylarla kesişmiş olduğu bilinmektedir. Yer kabuğunda artan gerilmeler zayıf olan bu çizgiler üzerinde veya belirli zayıf bölgelerde yer kabuğunun taşıma gücünü aşarak ani bir yırtılma olmasına neden olur. Bu durumda harekete karşı koyan sürtünme kuvveti yenilmiş olur. Kayma hareketi depremin odak bölgesinden başlayarak fay boyunca dışarı

doğru yayılır. Böylece uzun zamanda uzun zamanda toplanan şekil değiştirme enerjisi yırtılma ile deprem hareketi ve ısı enerjisi olarak ortaya çıkarak boşalır ve yer kabuğunun taşıyabileceği seviyeye iner. Sözü edilen boşalma yer kabuğunda gevşeme meydana getirir. Bu tür bölgelerde gevşeme, yani depremlerin meydana gelme zaman aralığı açıldıkça, kabukta zamanla toplanan enerji artar. Bu ise meydana gelecek yer hareketinin daha şiddetli olması sonucunu doğurur. Yer kabuğunda meydana gelen kaymanın bir dalga hareketi olarak yayılması sonucu oluşan yüzey titreşimleri deprem olarak algılanır.

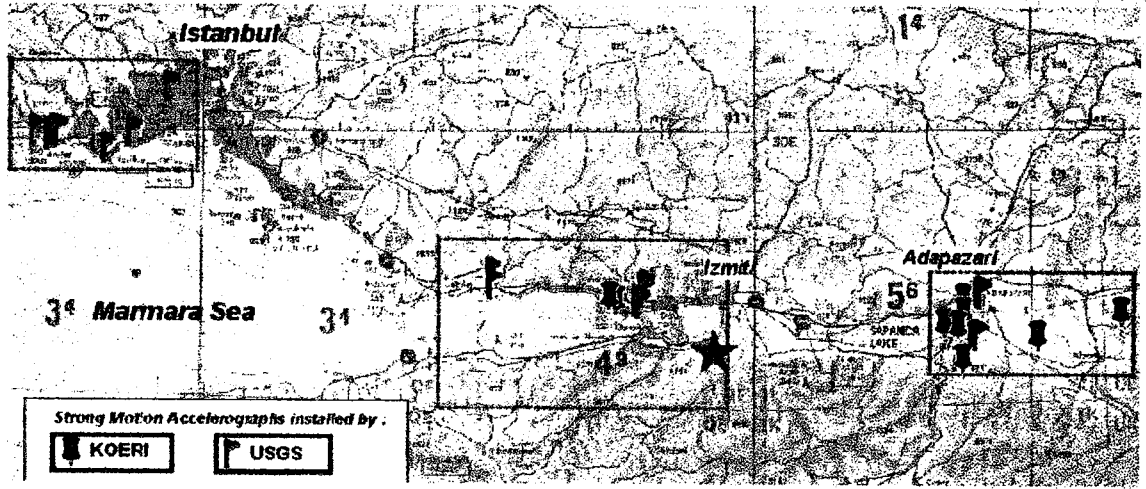


2. 17 AĞUSTOS KOCAELİ DEPREMİ

17 Ağustos 1999 tarihinde saat 3.02'de, Kuzey Anadolu fay hattının Adapazarı, Kocaeli, Gölcük segmenti üzerinde, Richter ölçeğine göre $M_s=7.4$ magnitudünde ve yaklaşık 45-50 saniye süren bir deprem meydana gelmiştir (Şekil 2.1). Deprem, Marmara Bölgesinin tamamı ile Kuzey Anadolu Fay hattının doğu yönündeki uzantısında yer alan Sakarya, Düzce ve Bolu gibi şehirleri etkilemiştir (Şekil 2.2). 17 Ağustos depreminin ülkemizde endüstrinin ve şehirleşmenin en yoğun olduğu Marmara Bölgesinde meydana gelmiş olması, can kaybının ve hasarın da çok büyük olmasına sebep olmuştur. 1967 Adapazarı depreminden sonra bölgeyi etkileyen en büyük deprem olan 17 Ağustos 1999 depremi, İstanbul'un Avcılar, Küçükçekmece, Tuzla ilçeleri ile İzmit, Adapazarı, Gölcük, Yalova, Düzce ve Bolu şehirlerinde 20000 dolayında can kaybına ve maddi hasara yol açmıştır. İzmit Körfezinin iki tarafında ve İzmit-Adapazarı arasında yer alan sanayi tesislerinde çeşitli boyutlarda hasarlar meydana gelmiş, Tüpraş Rafinerisinde bir bacanın tanklardan birisi üzerine yıkılması nedeniyle başlayan yangın daha sonra yedi tankı etkilemiş ve güçlkle söndürülmüştür. Deprem nedeniyle bölgede bulunan kamuya ve özel sektöre ait endüstri tesislerinde yaklaşık bir hafta süre ile üretime ara verilmiştir. Anadolu Otoyolunun Sapanca-Adapazarı arasındaki kesiminde meydana gelen oturmalılar, çekme çatlakları ve bir üst geçitte meydana gelen göçme nedeniyle Otoyol üç gün süreyle ulaşımına kapanmış, bu ise deprem bölgelerine ulaşılmasında önemli bir engel oluşturmıştır.



Şekil 2.1. Kocaeli Depremi Merkez Üssü



Şekil 2.2. Depremden En Çok Etkilenen İl Merkezleri

2.1. Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin Özellikleri

Deprem 17.08.1999 de saat 3.02 de 40.70 kuzey enlemi ile 29.91 doğu boylamının tarif ettiği bölgede, İzmit'in 11 km güney-doğusunda meydana gelmiştir. Depremin büyüklüğü çeşitli kuruluşlar tarafından değişik değerlerde bildirilmiş ise de, moment büyüklüğü $M_w = 7.4$ ve yüzey dalgası büyüklüğü $M_s = 7.8$ değerleri civarında değişmektedir. Depremin odak derinliğinin 10-15 km olduğu ve sağ atımlı 120 km civarında bir fay hareketi ortaya çıktığı yapılan incelemelerle belirlenmiştir. Ana deprem dalgasının ardından büyüklüğü 4.0- 5.0 değerlerinde olan çok sayıda artçı depremler meydana gelmiştir.

Deprem merkez üssüne en yakın ivme kaydı, İzmit Meteoroloji İstasyonu'ndan alınmıştır. Buna göre, maksimum ivme kuzey-güney doğrultusunda 163 mG, doğu-bati doğrultusunda 220 mG ve düşey doğrultuda 123 mG dir. Görüldüğü gibi, üç bileşende birbirleri ile kıyaslanabilir büyüklüktedir.

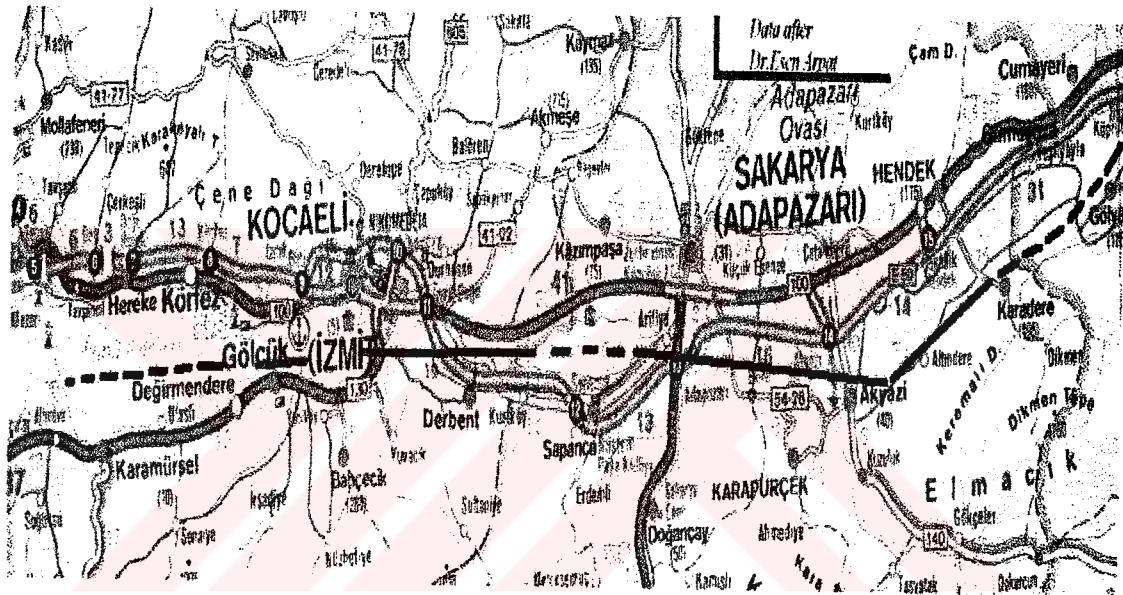
2.2. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin Yerbilimleri Açısından Değerlendirilmesi

17 Ağustos sabah saat 3.02 de meydana gelen deprem, karada İzmit körfezi ile Düzce güneybatısı arasında yaklaşık 120 km uzunluğunda bir yüzey kırığı meydana getirmiş olup bu kırık üzerinde 4.2 m' ye varan sağ-yanal yer değiştirmeler meydana gelmiştir. Yapılan arazi gözlemlerine göre, faylanma genelde 4 segmentten oluşmaktadır ve İzmit körfezi ile Akyazı arasında kalan segmenti ana kırığı oluşturmaktadır (Şekil 2.3). Kırığın üzerinde yer alan TEM otoyolu en az üç yerde kırık tarafından kesilerek yolun yer yer 200 m uzunluğundaki bölümünü deforme etmiş olup üst geçitlerin yıkılmasına veya kullanılamaz hale gelmesine sebep olmuştur. İzmit-Arifiye tren yolu Arifiye batısında ve özellikle Tepetarla köyü yakınlarında 2.7 metreye varan sağ-yanal ötelenmelerle deforme olmuştur. Tren yolunun Arifiye batısındaki deformasyonda 1 m' lik yükselmelerde gözlenmiştir. Yüzey kırığı üzerinde yer alan siteler ve köylerde de yoğun hasar ve yıkım gözlenmiştir.

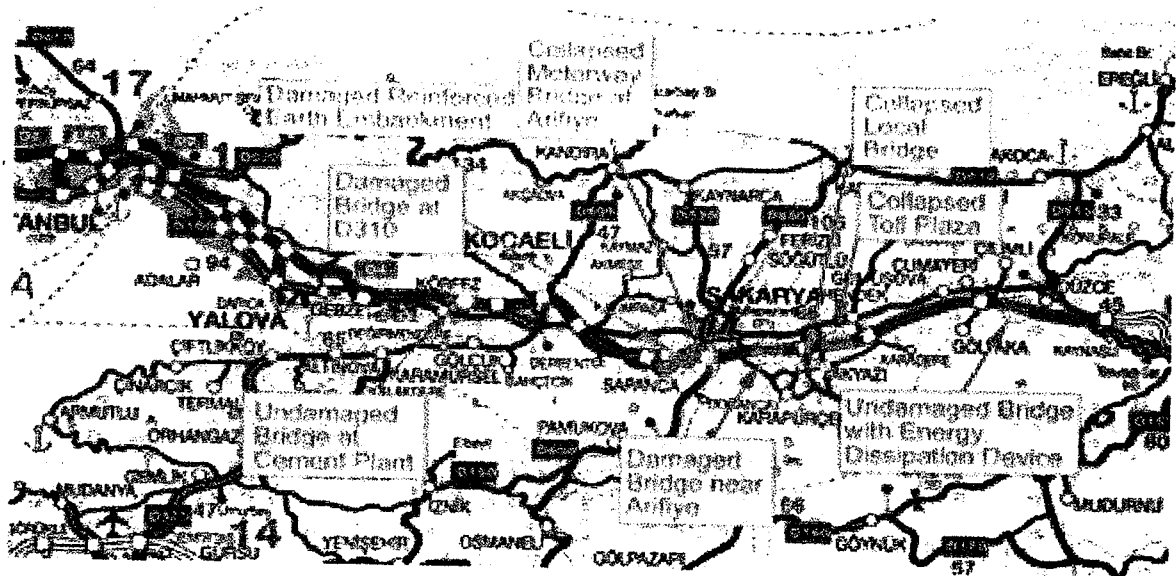
Bu deprem sırasında bu kırığın yakınında yer alan ve özellikle suya doygun alüvyon zeminlerde basta Adapazarı, İzmit, Gölcük, Yalova ve Akyazı olmak üzere bir çok yerleşim biriminde aşırı yıkımlara sebep olmuştur. faylanma dışında Adapazarı içinde sokaklarda meydana gelen deformasyonlar ile Gölcük ve Sapanca gölü kıyılarında meydana gelen göçmeler kuvvetli yer sarsıntısı ile ilgili olup hasarların yoğunlaşmasına sebep olmuştur. İstanbul'da Avcılar basta olmak üzere Bağcılar ve Sefaköy de önemli hasarlar meydana gelmiştir. Depremin hemen sonrasında Harvard Sismoloji Laboratuvarı ve US Geological Survey, depremin merkez üssünün yaklaşık olarak Sapanca Gölü ve İzmit körfezi arasında olduğu, mekanizmasının yaklaşık D-B yönünde sağ-yanal doğrultu atımlı bir mekanizmaya sahip olduğu ve derinliğinin 10-15km olduğunu uzak deprem istasyon verilerinden hesaplamışlardır.

Bu deprem öncesinde İzmit körfezi ve çevresinde deprem potansiyelinin yüksek olduğu yalnız tarihsel deprem kayıtlarına dayanılarak değil, GPS ölçümleri sonuçlarının değerlendirilmesi ile de farklı grupların yaptığı çalışmalarda ileri

sürülmüştür. Bu verilere göre bu alanda en son depremlerin 1719 ve 1754 yıllarında meydana geldiği ve buradaki hızların 10-15 mm/yıl olduğu göz önüne alınırsa, bu faylar üzerinde bu deprem sırasında meydana gelen yer değiştirmelerle çok uyumlu olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra Kuzey Anadolu fayı üzerinde 1939 yılında başlayan 6 büyük depremin batıya doğru göçü sonucunda Kuzey Anadolu Fay Zonunun toplam 900 km'lik bir kısmı kırılmış ve kırıklarda 7.5 m ye varan yer değiştirmeler gözlenmiştir. Bu depremlerin yakın geçmişte modellenmesi İzmit körfezi çevresinde bu depremler sebebiyle gerilmenin yükseldiğini ortaya koymuştur.



Şekil 2.3. Kırılan Fay Hattı



Şekil 2.4. Yol Yapılarındaki Genel Hasar Dağılımı

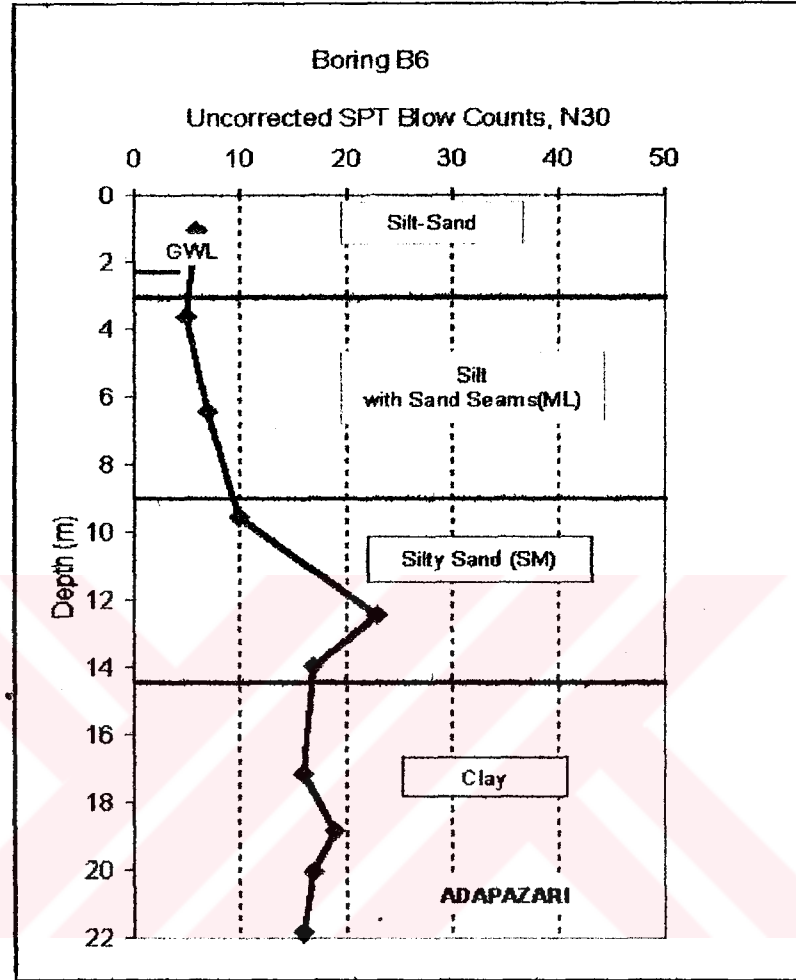
3. KÖCAELİ DEPREMİNİN SAKARYA'DAKİ ETKİSİ

3.1. Zemin Koşulları

Kocaeli depremi, farklı şekillerde büyük geoteknik hasarlara sebep olmuştur; sıvılaşma, taşıyıcı kapasitesi azalması, çökme ve yanal açılmalar gibi. Yüzey şekillerindeki bu direk bozulmalara ilaveten, yer hareketinin artması, genç alüvyon toprak katmanlarında meydana gelen hasarın büyük ölçüde artmasına sebep olmuştur.

Deprem fayı Adapazarı'nın dört km güneyinden ve Arifiye'nin güneyinde bulunan TEM otoyolunun tam kuzey kenarına paralel şekilde geçmektedir. Burada en büyük sağ yanal yırtılma meydana gelmiştir. 3.45 m'lik sağ yanal ötelenme depremin magnitüdünün 7.4 olduğunu destekleyen bir veridir. Bu sağ yanal yırtılma kırığın tam üstüne rastlayan Arifiye üst geçit köprüsünün tabliyelerinin mesnetlerinden kaymasıyla sonuçlanmıştır.

Sakarya'nın kuzey kısımlarındaki olağanüstü zemin deformasyonlarının sebebi, nehrin tortularından oluşan güçsüz topraktaki sıvılaşma etkisidir. Bölgede yapılan inceleme ve araştırmalar, yüzeyden 3-4 metre derinliğe kadar; zemindeki su miktarının mevsimsel olarak değiştiğini, ayrıca 15 metre derinliğe kadar değişik miktarlarda kil, alüvyon ve çakıldan oluşan gevşek ve orta sertlikte kumlu katmanların olduğunu göstermiştir (Şekil 3.1). Geoteknik veriler ve metodlar Sakarya zemininin sıvılaşma potansiyeli bakımından sürekli olarak yüksek hassasiyette olduğunu göstermiştir. İzmit depreminden bu zemin türünde bulunan yığma temelli 2 bina ile, 1-2 tarihi bina bina zemin sıvılaşmasından etkilenmemiştir. Bununla beraber, sıg ve radye temelli 3-6 tarihi binada düz bloklar halinde önemli temel kaymaları ve dönmeleri görülmüştür. Bu binalarda yapısal hasar meydana gelmediği gibi pencere camları bile kırılmamıştır. Buradan açıkça görülüyor ki, sıvılaşmış tabakalar binaları zemin titreşiminden izole etmektedirler. Bununla beraber, ağır bina blokları altındaki zeminin taşıma kapasitesi sıvılaşmadan dolayı yetersiz duruma gelebilmektedir.



Şekil 3.1. Adapazarı Zemin Profilinin Genel Görünüşü

İzmit körfezi ve sapanca gölü boyunca zemin yetersizliğinin sebep olduğu sıvılaşma sonucu yapıların hafif bir eğim ile toprağa gömüldüğü görülür. Kıyı şeridinde bitişik olan normal veya dolgu zemin üzerindeki pek çok bina denize doğru kaymıştır. Bu kayma ve dibe çökme sonucu oluşan deniz dalgaları da sahil şeridini basmıştır.

Düzce ve Yarımca'da yumuşak zemin üzerindeki yüzey hareketleri, İzmit ve Sakarya istasyonlarında izlenen kaya zemin hareketlerine göre çok şiddetli olduğu gözlenmiştir. Sakarya istasyonu hasarın az olduğu bir tepe üzerinde iken, alüvyon

nehir tortusu üzerine kurulu şehir merkezinde, özellikle de sıvılaşmış zeminin olduğu alanlarda hasar oldukça büyüktür.



3.2. Sakarya'daki Deprem Kaydı

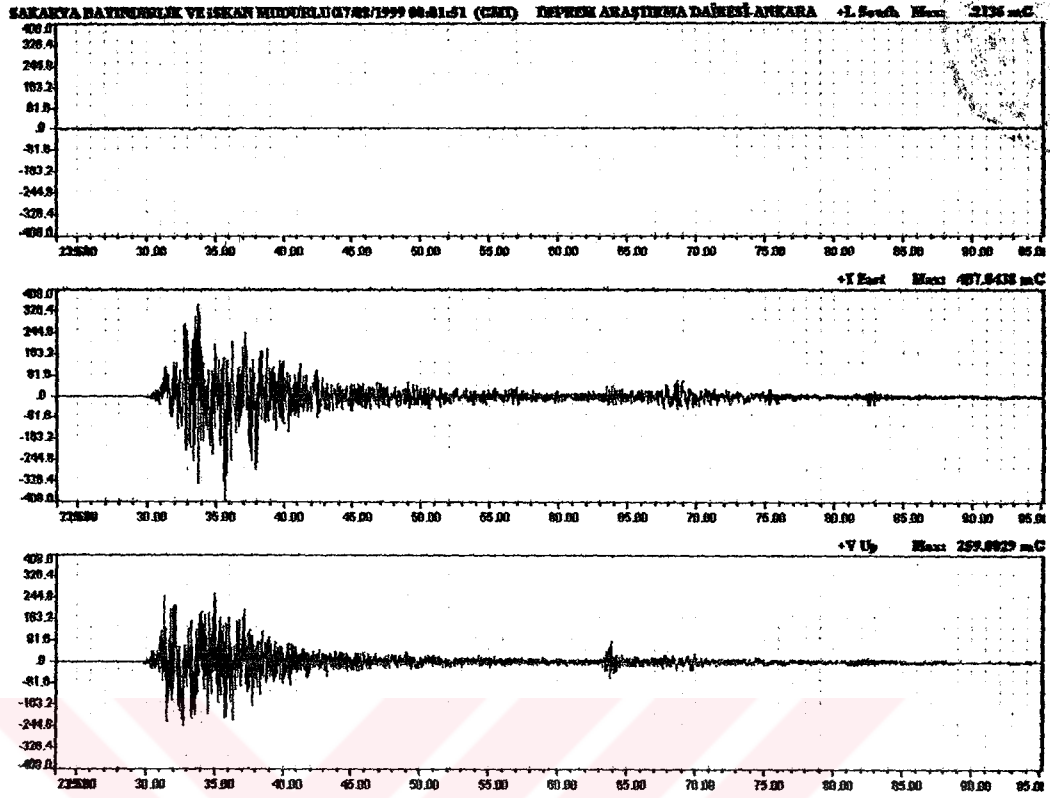
Cihazın Adı : GSR-16

Cihazın Koordinatları : 40.737N - 30.384E

Şehir tamamen nehir çökelleri üzerindedir. İzmit Körfezi'nden itibaren Adapazarı'na ve buradan da Hendek' e kadar uzanan bir çöküntü havzası içinde bulunmaktadır. Bu ova derelerin getirip biriktirdiği kalın alüvyondan ibarettir. Şehrin güneyinde Kretase yaşlı flişler yer almaktadır. Batıda ise bu formasyonlar üzerine Eosen yaşlı kireçtaşlarının geldiği görülmektedir. Ovanın kuzeyindeki tepeler Devoniyen yaşlı, kırmızı renkli, killi şist ve kumtaşlarından oluşmaktadır. Daha yukarılarda bu tabakalar üst Kretase yaşlı kireçtaşları ile örtülmektedir. Yeraltı suyu alüvyon içinde çok yüksek seviyede, bazı kısımlarda ise bataklık durumundadır (Tabban,1980).

Deprem Durumu : Birinci derecede tehlikeli deprem bölgesindedir.

20.06.1943 M=6.3, 20.06.1943 M=5.5, 22.07.1967 M=7.2, 24.06.1925 M=4.8,
16.12.1926 M=5.6



Şekil 3.2. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminin Sakarya Kaydı

4. OTOYOL HASARLARINA GENEL BAKIŞ

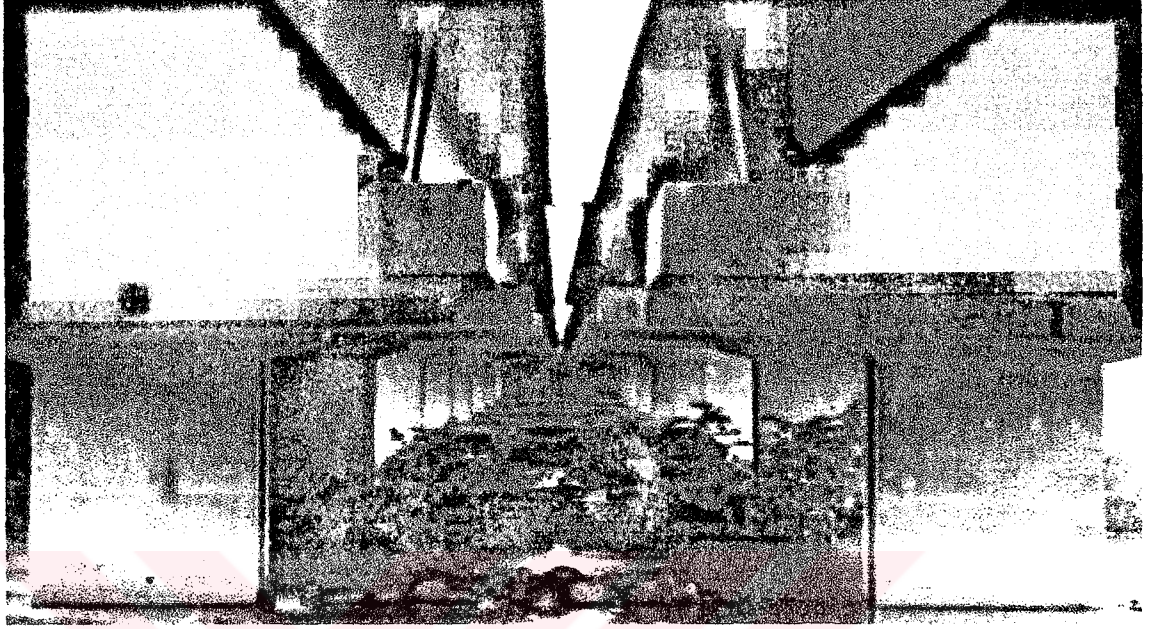
Hem ivme hem de hız açısından fay hattındaki yırtılma hareketi ve topraktaki şiddetli titreşim göz önüne alındığında, otoyollardaki mühendislik yapıları depremde iyi bir sınav vermişlerdir. Köprülerdeki hasar güney ve güney-doğu Adapazarı bölgesiyle sınırlı kalmıştır. Bu bölgede iki otoyol (İstanbul-Ankara) doğu-batı hattında, faya paralel olarak uzanır. E80 veya diğer adıyla TEM (Trans European Motorway) 4 şeritli bir yoldur, E100 ise iki şeritli eski anayoldur. E80 yolu üzerindeki üstgeçitlerin bazıları , köprü desteğinin yana yatması sonucu, üst yapı hareket noktalarındaki parçalanmalar ve çökme sonucu ufak hasarlar oluşmuştur. Bu hasarlar üst geçidin kullanılmasını engellemiştir. E80’ deki bir üst geçit çökmüştür (Şekil 4.1). Fay hattı köprünün altından geçtiği için bu çökme sürpriz olmamıştır. Fay hareketi, mevcut oturma genişliğini aştığı için kiriş yere düşmüştür. Bunun sonucu diğer 3 kirişte ilk düşen kiriş tarafından çekilerek düşmüşlerdir.



Şekil 4.1. Deprem’ de E80 Karayolu Üzerinde Yıkılan Viyadük

Aynı zamanda Sakarya nehri üzerindeki 4 otoyol köprüsünde de problemler olmuştur. En ciddi sorun E80 otoyolunun batıya giden hattında olmuştur. Bu köprü lamine esnek taşıyıcıların(elastomer) üzerine öngerilmeli betonarme kutu kesitlerin

yerleřtirilmesi ile oluřturulmuřtur. Her kolonun tepesine enlemesine hareketi engellemek için bir elastomer yerleştirilmiştir(şekil 4.2).



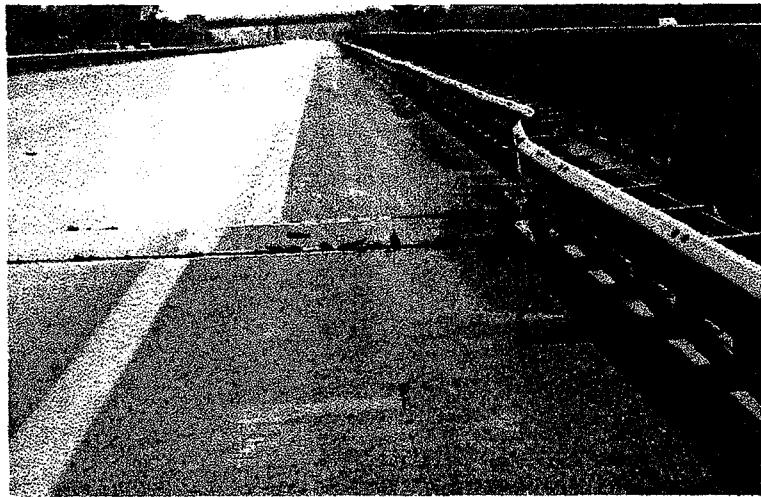
şekil 4.2. Sakarya Viyadüğü

Büyük yer hareketi ve titreşimi yüksek düşey ivmelerle birleşerek bazı kirişlerin elastomerlerinde sorunlara ve bazı taşıyıcıların yerlerinden düşmelerine sebep olmuştur (şekil.4.3). Bu köprü depremden sonra bir süre kapatıldıktan sonra tamir edilerek trafiğe açılmıştır.



Şekil 4.3. Elastomerlerde Meydana Gelen Hasar Örnekleri

E80 Otoyolunda bulunan köprü ve viyadüklerdeki hasarlar Adapazarı bölgesinin 10 km doğusu ve batısı arasında kalmıştır. Çökmeler 100 mm ile 500 mm arasında olmuştur. Bu yol üzerindeki tek kirişli köprü ve tünellerin çoğunda hasarlar birbirine çarpmalar sonunda oluşmuştur (şekil 4.4). Bu tür hasarların onarımı kısa sürmüştür.



Şekil 4.4. Viyadüğün Dilatasyon Derzinin Kayması

Depremin ardından birkaç gün içerisinde ilk iş, asfalt rampalarının oluşturulması ve 50 km/saat hız sınırlaması olmuştur. 10 gün içerisinde ise gerçek tamiratlar yapılmıştır. Yolun yüzeyine geniş esnek tabakaların döşenmesi sonucu hız kısıtlaması kalkmış ve otoyol 120 km/saat olan normal hız limitinde çalışmaya devam etmiştir.

4.1. Sakarya Viyadüğü Hakkında Genel Bilgi

Sakarya Viyadüğü uzunluğu 40 metre olan 10 adet açıklıktan oluşmaktadır (Şekil 4.5). Üst yapı 4 adet ön gerilmeli kutu kesitten oluşmaktadır (Şekil 4.6). Üst yapı boyu 10 metre olan 11 adet kolonun üzerinde durmaktadır. Kolonlar ile üst yapı arasında elastomerler yerleştirilmiştir.

4.1.1. Viyadüğün İzolasyon Sisteminin Tanıtılması

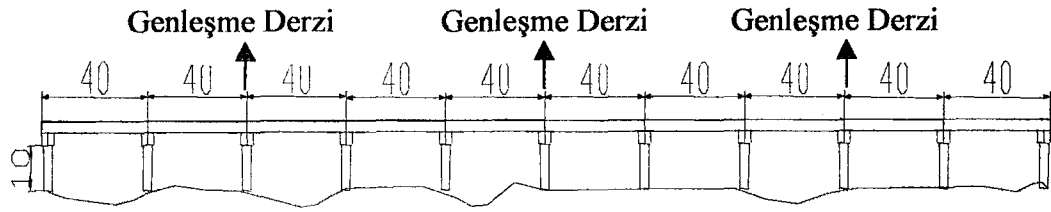
Özel bir yapıya sahip yüksek titreşimli doğal kauçuk (HDNR), Scougal Rubber tarafından depremlerin sebep olduğu şiddetli yer hareketlerine karşı ek koruma sağlamak amacıyla geliştirilmiştir.

Elastomerler yüksek taşıyıcılar olup, standart esnek taşıyıcı ile bir sismik izolasyon sistemini tek üniteye birleştirir. Bu sistemler, eş zamanlı yük desteği, bükülgenlik ve artırılmış titreşim seviyesini sağlarlar. Esnek taşıyıcılar, 30 yılı aşkın bir süredir dünyanın bir çok yerinde yapılarda kullanılmakta ve basit olarak güç ve esnekliği artırılmış kauçuk ve çelik tabakalarının birlikte, tek bir katı üniteye birleştirilmesiyle oluşur.

Elastomerik sismik izolasyon taşıyıcıları aşağıdaki fonksiyonlara sahiptir. Esneme özelliğinden dolayı yeteri kadar uzar. Yapı içerisinde ilave titreşimlerle oluşan enerjinin büyük bir kısmı dağıtır. Sismik devrilme momentinin yapının düşey elemanlarında yapabileceği etki için ek dayanım sağlar.

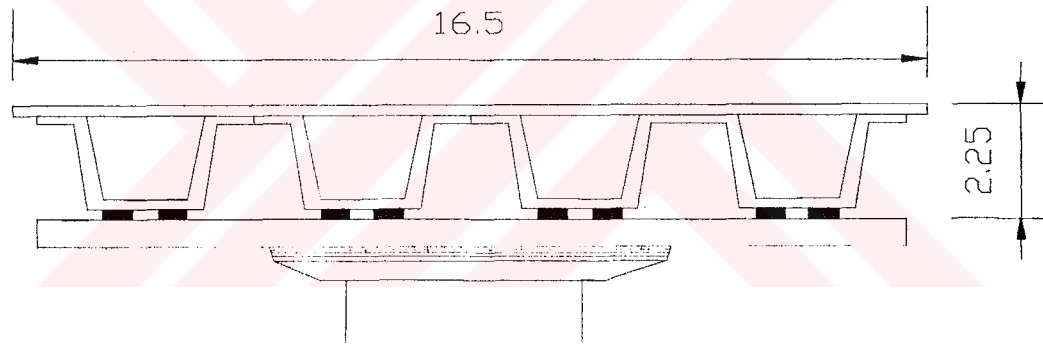
Sismik etkinlik sonrası yapıyı eski orijinal konumuna getirir. Rüzgara karşı koyabilir, fren ve diğer servis yüklerini kontrol edebilir ve normal olarak genlik

hareketleri küçüktür. Sıcaklık değişimlerine ve yer değiştirmelere imkan verir. Elastomerik sismik izolasyon taşıyıcılarının başka avantajları düşük maliyetli olmaları, bakım masraflarının az olması ve kolayca denetlenebilmeleridir. Dayanıklı ve uzun ömürlüdürler. Sismik bir aktiviteden sonra yenilenmelerine gerek yoktur. Sakarya viyadüğünün Lusas yazılımı ile modellenmesi sırasında elastomer rijitliği 6260 KN/m^2 olarak kabul edilmiştir.

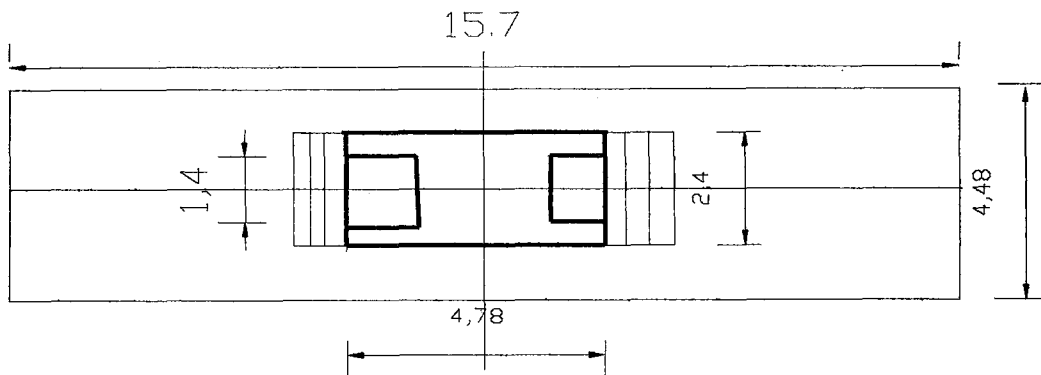


Şekil 4.5. Sakarya Viyadüğü

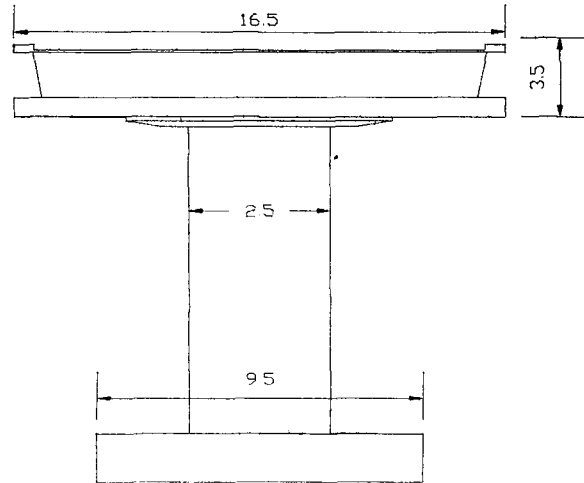
Viyadük ayağının planı



Şekil 4.6. Sakarya Viyadüğü Üst Yapısının En Kesiti



Şekil.4.7. Viyadük Ayağının Planı



Şekil.4.8. Üst Yapı ve Alt Yapı Yarı Enkesiti

Tablo 4.1. Viyadük Kesit ve Malzeme Özellikleri

Özellikler	Pilonlar	Tabliye
Kesit alanı (A)	3.75 m ²	7.5 m ²
y eksenine göre atalet momenti (I _{yy})	1.95313 m ⁴	88.75 m ⁴
z eksenine göre atalet momenti (I _{zz})	0.70315 m ⁴	4.916 m ⁴
Burulma sabiti (J)	1.76086	1.663
z doğrultusundaki kesme alanı (A _{sz})	3.125 m ²	7.5m ⁴
z doğrultusundaki etkili kesit alanı (A _{sy})	3.125 m ²	7.5m ⁴
Eksantriklik (e _z)	0	0
Elastisite katsayısı (kN / m ²)	2.36E7	3.12E7
Poisson katsayısı	0.2	0.2
Kütle yoğunluğu (t / m ³)	2.502	2.867

5. MODAL SPEKTRAL ÇÖZÜMLEME YÖNTEMİ

Zaman tanım alanında sayısal çözümleme, yer değiştirme veya kesit tesiri gibi bir sistem parametresinin zamana bağlı olarak değişimini verir. Ancak, taşıyıcı sistemin boyutlandırılmasında bu parametrelerin en büyük değeri etkili olur. Bu nedenle, uzun ve yorucu olan sayısal çözümlemeye ihtiyaç kalmadan, deprem hareketinin spektrumu kullanılarak, boyutlamaya esas olan değerlerin elde edilmesi önemli ölçüde kolaylık sağlar. Yer hareketinin spektrumunun elde edilmesi tek serbestlik dereceli bir sistem için kolayca yapılabilir. Benzer bir işlem çok serbestlik dereceli sistem için de belirli bir yaklaşıklıkla gerçekleştirilebilir.

Çok serbestlik dereceli sistemde oluşan herhangi bir büyüklük $r(t)$,

$$r(t) = \sum_{j=1}^N r_j(t) = r^{st}_1 A_1(t) + \dots + r^{st}_n A_n(t) + \dots + r^{st}_N A_N(t) \text{ olarak ifade edilebilir. Burada}$$

sistemin yer hareketi altında n . modda titreşimi sırasında $r_n(t)$ büyüklüğünün en büyük değeri, $A_n(t)$ Parametresinin bu modun periyoduna ve sönümüne bağlı olacak $A_n(T_n, \xi_n)$ spektral değerinden hesaplanabilir. Bu hesaplama şekli bu modda titreşimde bütün büyüklükler için geçerli olup, bunların hepsi (belirli bir katın yer değiştirmesi veya belirli bir kolonun momenti gibi) aynı anda bu en büyük değerine erişir. Ancak bu ifadedeki diğer terimlerin katkısının bulunmasında, benzer şekilde $A_j(t)$ terimlerinin spektral değerlerinin kullanılması, bunların aynı anda meydana gelmemeleri nedeniyle doğru olmaz. Spektral eğriler sadece en büyük değeri verecek şekilde hazırlandıkları belirli bir andaki çeşitli modların katkılarının bulunmasında yeterli olmadığı için, matematiksel bir yaklaşıklığın yapılması gereklidir.

Birleştirme yöntemlerinin kullanılmasıyla, sistemin zaman alanında dinamik bir çözümünün yapılmasına ihtiyaç kalmaz. Ancak, model spektral çözümleme yönteminde de sistemin, periyot sönüm ve mod şekilleri gibi dinamik özellikleri yanında, depremin dinamik özelliklerini içeren spektrum eğrileri kullanıldığı için, bu yöntemde dinamik bir yöntemdir. Daha önce deprem kayıtları değerlendirilerek spektrum eğrilerinin hazırlanması ile modal spektral çözümleme yöntemi'nin başlangıcını teşkil etmekte ve böylece zaman alanında adım adım sayısal çözüme göre büyük bir kolaylık sağlanmaktadır.

Önerilen modelde modal analiz yapılarak mod şekilleri ve mod frekansları elde edildikten sonra spektral analiz yönteminde 92 ASSHTO spektrumu kullanılarak lokal x(boyuna) ve lokal z(enine) doğrultularında deplasman değerleri hesap edilmiştir.



SCALE 1/0.1819

EYE X=-0.5774 Y=0.5774 Z=0.5774

EIGENVALUE ANALYSIS

LOAD DUMP ID = 1

EIGENVECTOR = 1

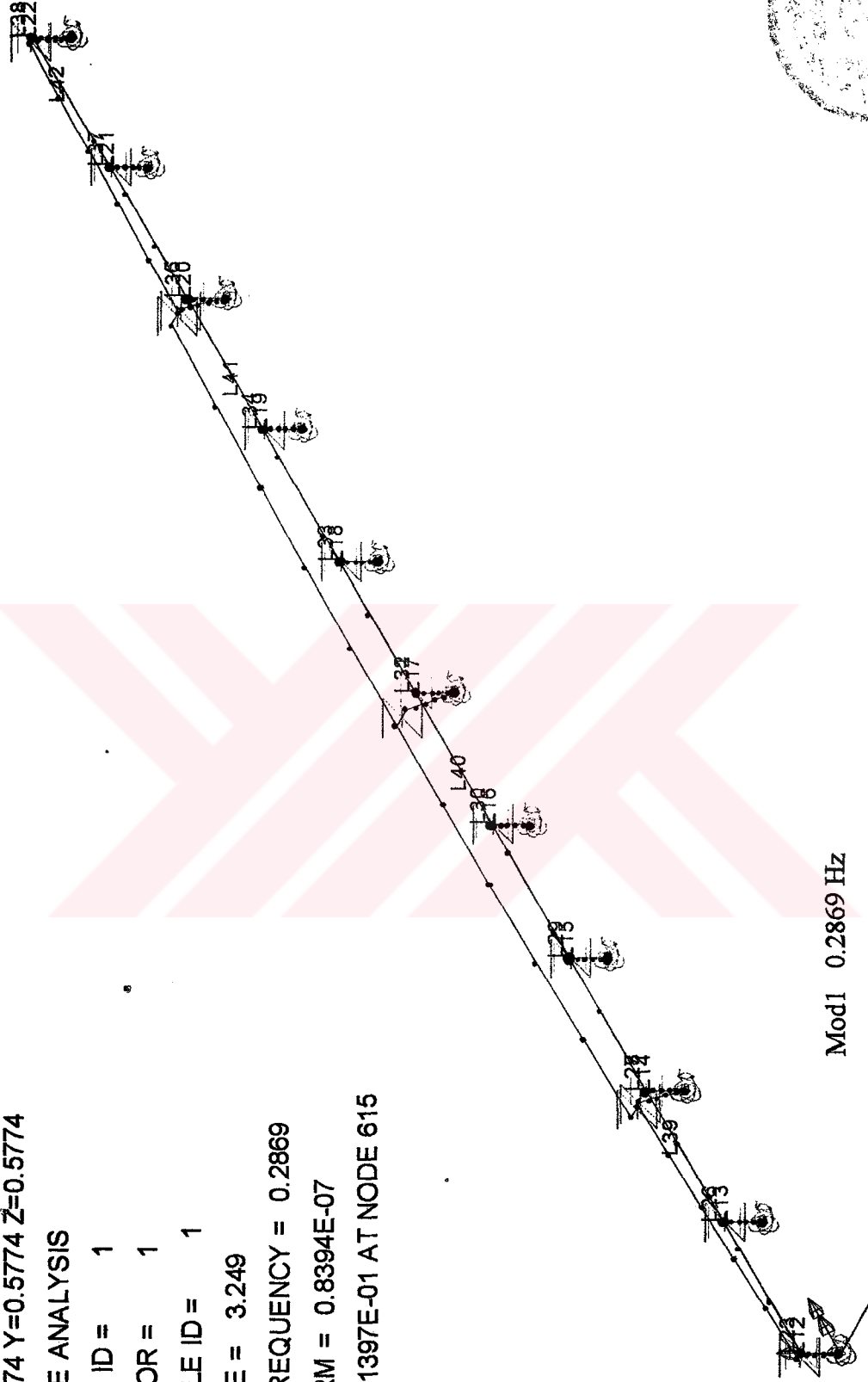
RESULTS FILE ID = 1

EIGENVALUE = 3.249

NATURAL FREQUENCY = 0.2869

ERROR NORM = 0.8394E-07

MAX DISP 0.1397E-01 AT NODE 615



Mod1 0.2869 Hz



SCALE 1/0.1692

EYE X=-0.5774 Y=0.5774 Z=0.5774

EIGENVALUE ANALYSIS

LOAD DUMP ID = 1

EIGENVECTOR = 2

RESULTS FILE ID = 1

EIGENVALUE = 3.281

NATURAL FREQUENCY = 0.2883

ERROR NORM = 0.1506E-06

MAX DISP 0.1331E-01 AT NODE 717



Mod 2 0.2883 Hz



SCALE 1/0.1753

EYE X=-0.5774 Y=0.5774 Z=0.5774

EIGENVALUE ANALYSIS

LOAD DUMP ID = 1

EIGENVECTOR = 3

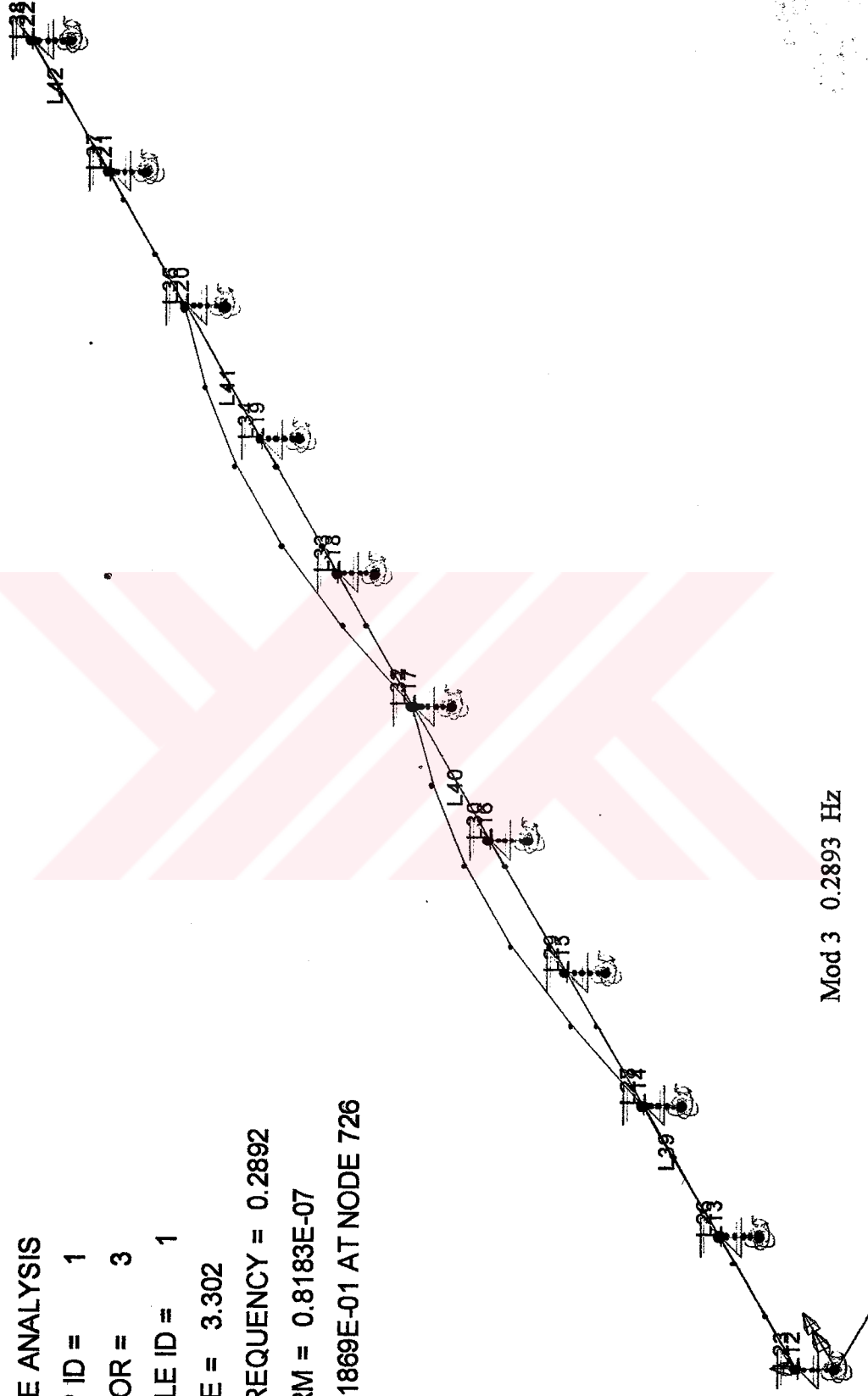
RESULTS FILE ID = 1

EIGENVALUE = 3.302

NATURAL FREQUENCY = 0.2892

ERROR NORM = 0.8183E-07

MAX DISP 0.1869E-01 AT NODE 726



Mod 3 0.2893 Hz

SCALE 1/0.1802

EYE X=-0.5774 Y=0.5774 Z=0.5774

EIGENVALUE ANALYSIS

LOAD DUMP ID = 1

EIGENVECTOR = 4

RESULTS FILE ID = 1

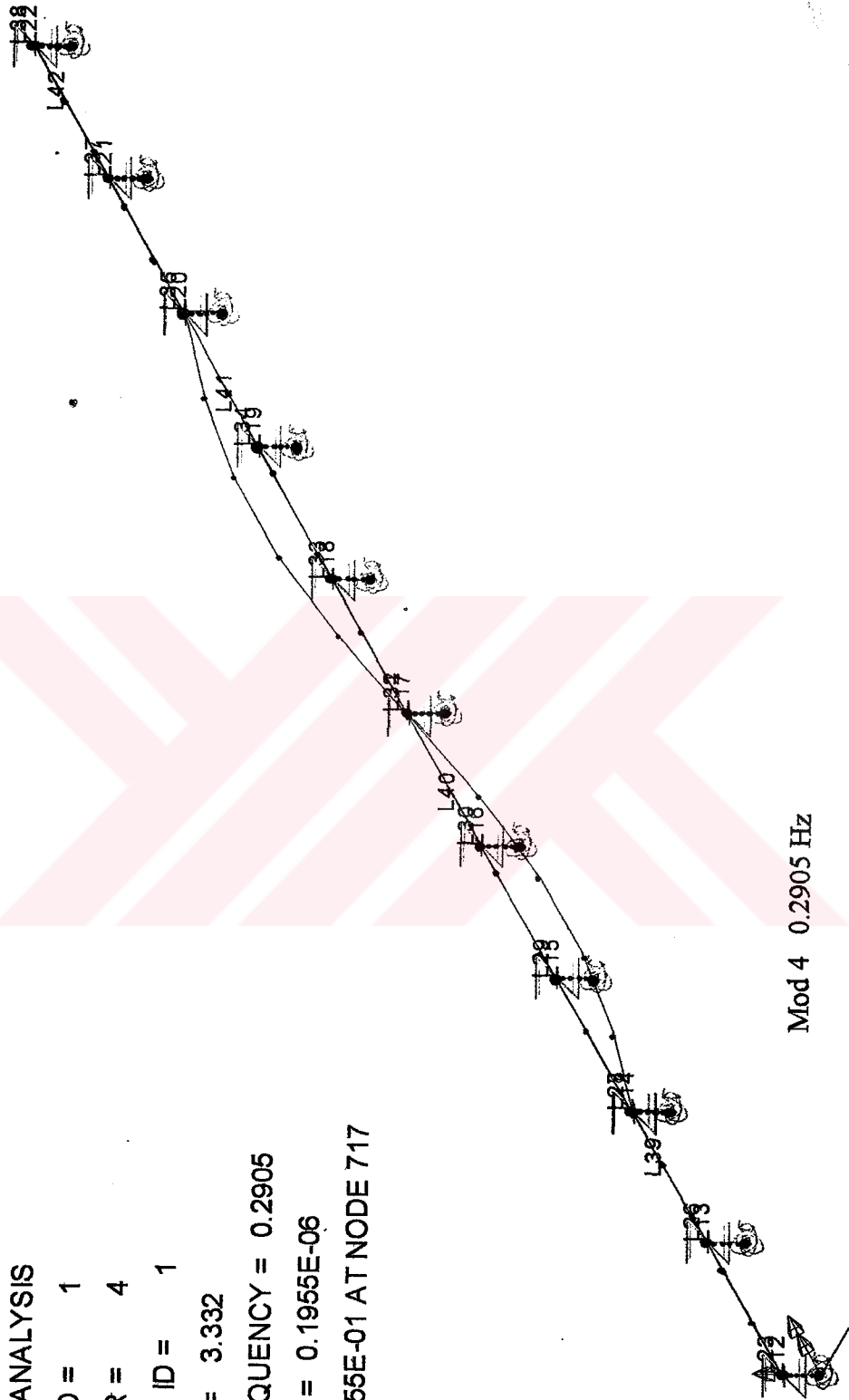
EIGENVALUE = 3.332

NATURAL FREQUENCY = 0.2905

ERROR NORM = 0.1955E-06

MAX DISP 0.1855E-01 AT NODE 717

Mod 4 0.2905 Hz



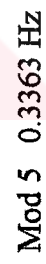
EYE X=-0.5774 Y=0.5774 Z=0.5774

LOAD DUMP ID = 1

RESULTS FILE ID = 1

NATURAL FREQUENCY = 0.3363

MAX DISP 0.1373E-01 AT NODE 607



SCALE 1/0.1708

EYE X=-0.5774 Y=0.5774 Z=0.5774

EIGENVALUE ANALYSIS

LOAD DUMP ID = 1

EIGENVECTOR = 6

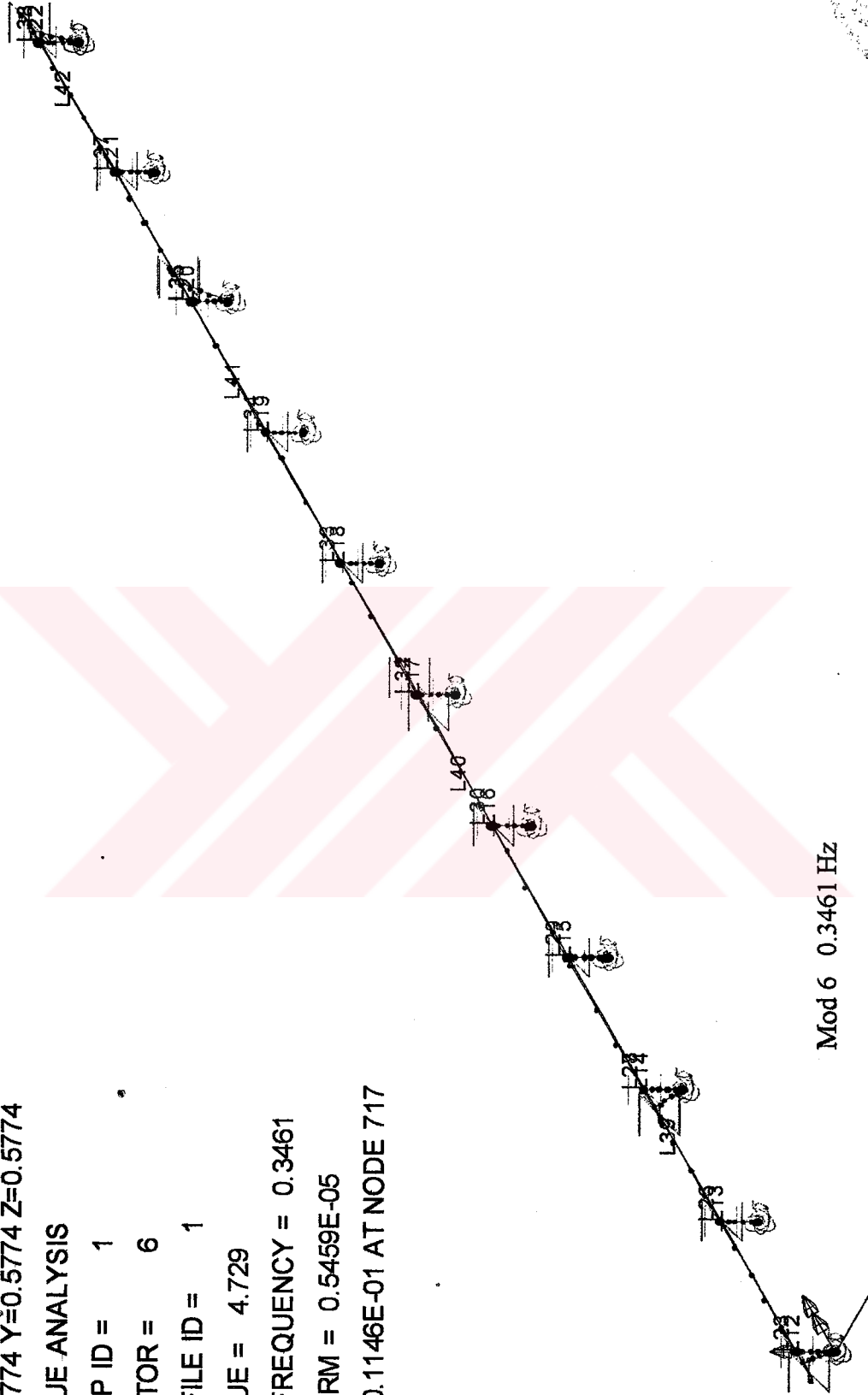
RESULTS FILE ID = 1

EIGENVALUE = 4.729

NATURAL FREQUENCY = 0.3461

ERROR NORM = 0.5459E-05

MAX DISP 0.1146E-01 AT NODE 717



Mod 6 0.3461 Hz

SCALE 1/0.1687

EYE X=-0.5774 Y=0.5774 Z=0.5774

EIGENVALUE ANALYSIS

LOAD DUMP ID = 1

EIGENVECTOR = 8

RESULTS FILE ID = 1

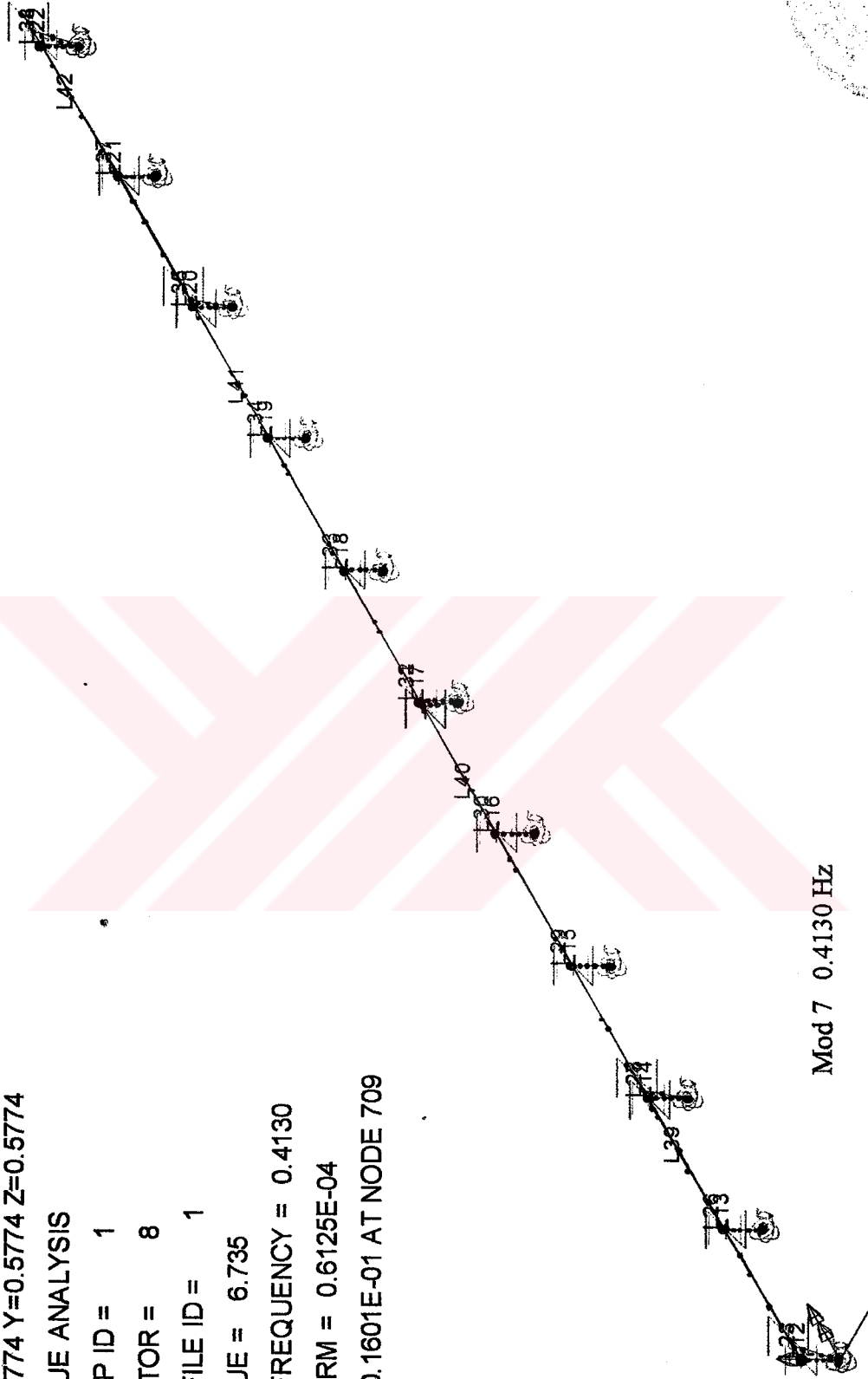
EIGENVALUE = 6.735

NATURAL FREQUENCY = 0.4130

ERROR NORM = 0.6125E-04

MAX DISP 0.1601E-01 AT NODE 709

Mod 7 0.4130 Hz



SCALE 1/0.1716

EYE X=-0.5774 Y=0.5774 Z=0.5774

EIGENVALUE ANALYSIS

LOAD DUMP ID = 1

EIGENVECTOR = 9

RESULTS FILE ID = 1

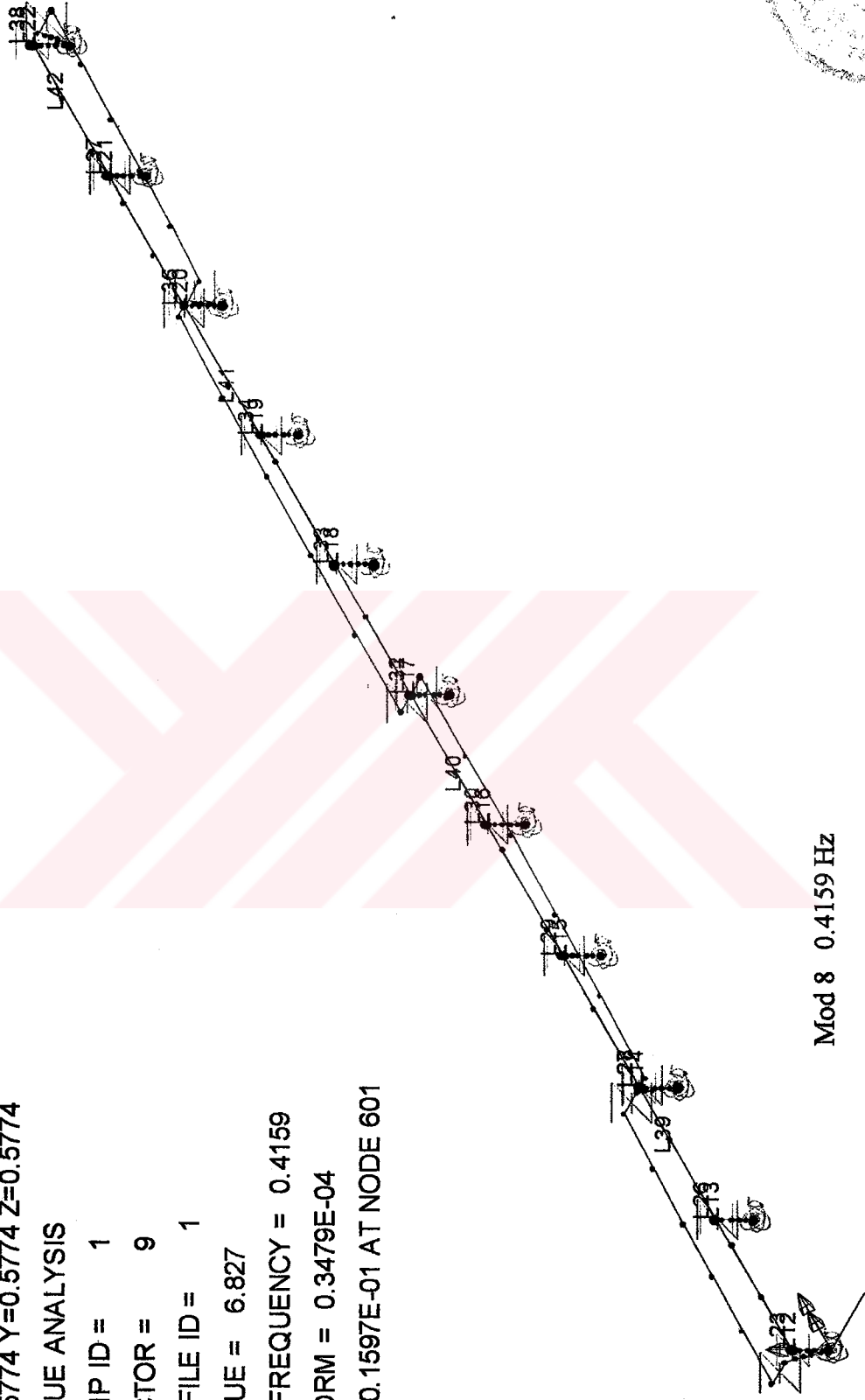
EIGENVALUE = 6.827

NATURAL FREQUENCY = 0.4159

ERROR NORM = 0.3479E-04

MAX DISP 0.1597E-01 AT NODE 601

Mod 8 0.4159 Hz



SCALE 1/0.1709

EYE X=-0.5774 Y=0.5774 Z=0.5774

EIGENVALUE ANALYSIS

LOAD DUMP ID = 1

EIGENVECTOR # 10

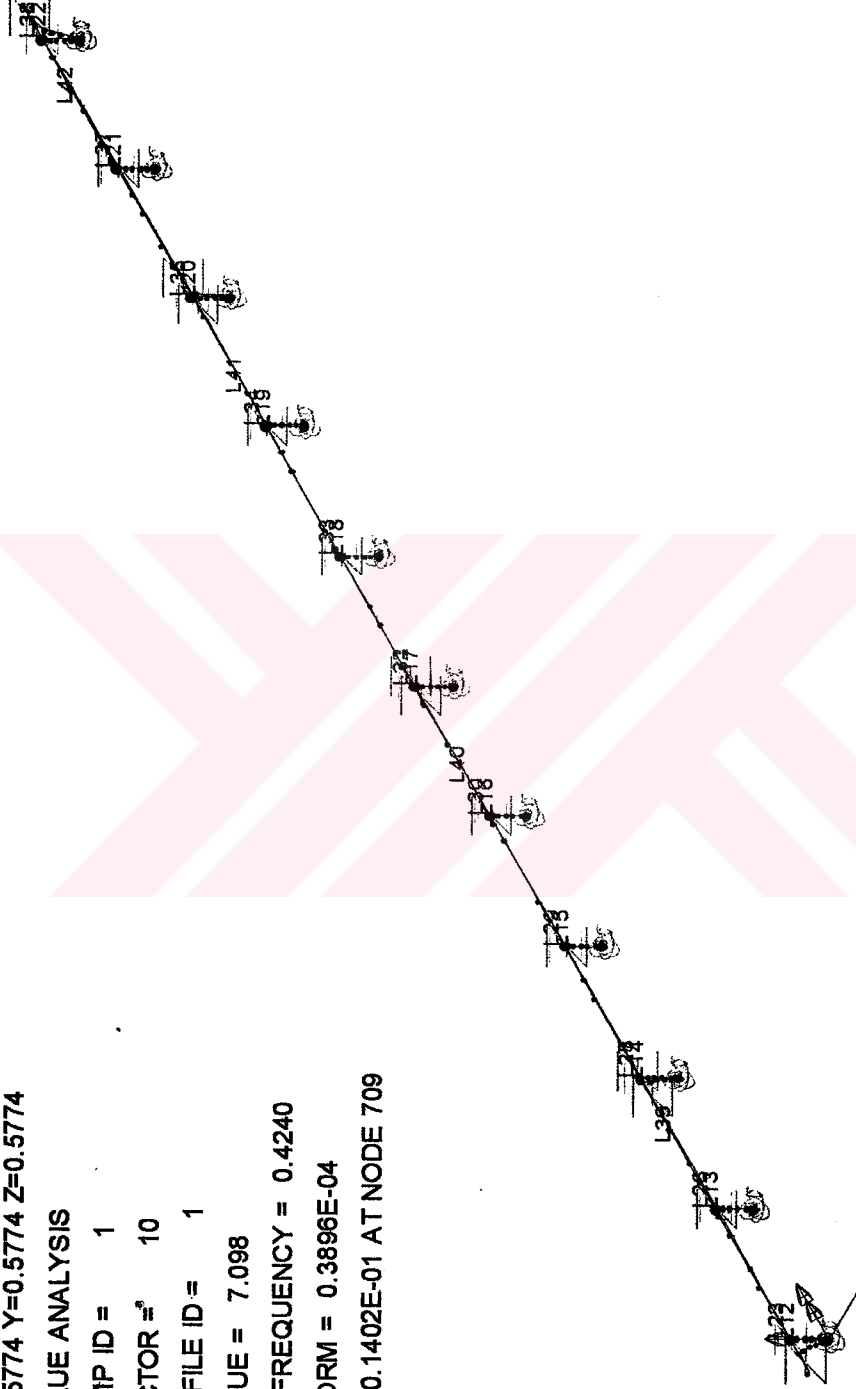
RESULTS FILE ID = 1

EIGENVALUE = 7.098

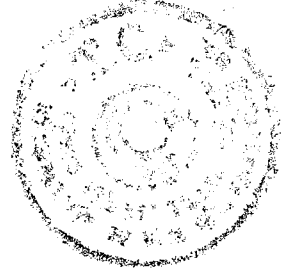
NATURAL FREQUENCY = 0.4240

ERROR NORM = 0.3896E-04

MAX DISP 0.1402E-01 AT NODE 709



Mod 9 0.4240 Hz



6.ZEMİN DURUMUNUN DEPREM HAREKETİNE ETKİSİ

Depremi yer altındaki bir kaynaktan yayılan titreşim hareketi olduğu bilindiğine göre, yer yüzündeki bir bölgede meydana getirdiği etkinin bağlı olduğu belli başlı parametreler;

- a) Depremi büyüklüğü
- b) Gözönüne alınan bölgenin enerjinin açığa çıktığı kaynağa olan uzaklığı
- c) Kaynaktan yayılan deprem dalgasının göz önüne alınan yere gelinceye kadar geçtiği ara bölgenin jeolojik durumu
- d) Deprem enerjisinin kaynakta açığa çıkma türü
- e) Ara bölgede bulunan faylarda veya serbest yüzeylerde deprem dalgasının kırılması ve yansıması
- f) Göz önüne alınan bölgedeki zemin durumu; olarak sıralanabilir.

Bu sayılan parametrelerden zemin durumu le ilgili olanların depremin karakterine olan etkisi açıklanacaktır.

6.1. Maksimum İvme

Zemin durumunun maksimum yer ivmesi üzerinde doğrudan etkisi vardır. Buna göre kayada ölçülen ivme, derin dolguya sahip zeminde ölçülenden daha fazladır. Ancak, daha ayrıntılı yapılan araştırmalardan bu durumun maksimum ivmenin 0.1 g den büyük olması halinde ortaya çıktığını göstermiştir.[ref. no3] Eğer maksimum ivme 0.1 g den küçük ise durum tersine dönmekte ve maksimum ivme derin dolguda kayadakinden daha fazla ortaya çıkmaktadır. Aradaki fark, yumuşak ve orta derinlikteki kil ve kumlar için oldukça belirgindir. Diğer zemin çeşitleri için ise, zemin durumunun maksimum ivme değerine önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir.



6.2. Maksimum Hız

Zemin durumunun maksimum hıza olan etkisi de çalışmalarda kanıtlanmıştır.[ref. no 3] Bu durumda yerel zeminin meydana gelecek maksimum hıza önemli etkisi olduğu görülmektedir. Dolgu zeminde meydana gelen hız yaklaşık olarak kayadaki hızın iki katı civarındadır.

6.3. Spektrum

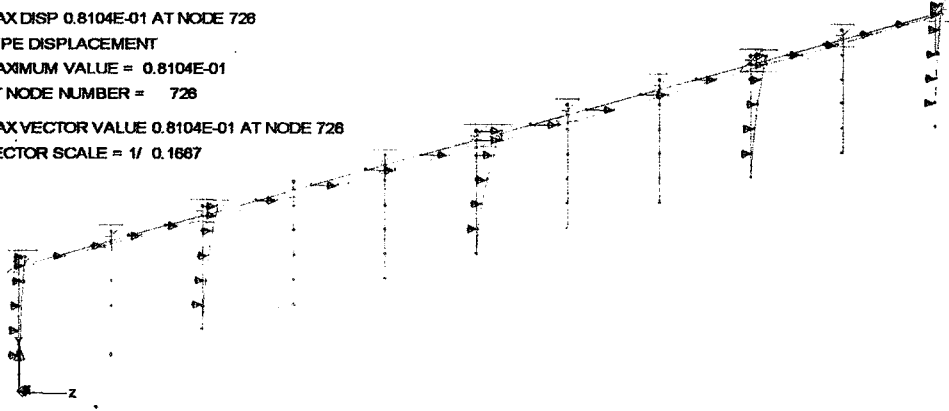
Deprem hareketinin spektrumu zemin durumundan önemli derecede etkilenir. Farklı zemin durumlarına ait spektrum eğrilerinin birbirleriyle kıyaslanması amacıyla, önce spektrum eğrilerinin normalize edilmesi gerekir.

- a) Kaya
- b) 70m den daha az kalınlıkta sert zemin
- c) 80 m den fazla kalınlıkta kohezyonsuz zemin
- d) Yumuşak ve orta sertlikte kil ve kum dolgusunun bulunduğu yerel zemin.

Eğrilerin incelenmesinden özellikle 0.5s den büyük periyot için önemli farklılıkların bulunduğu görülür. Kohezyonsuz zeminde ve yumuşak orta sertlikteki kil dolgusunda spektral değerlerin 0.5s lik periyodun üzerinde, sert zemin ve kayaya göre daha büyük olduğu görülmektedir. Bu ise, söz konusu zeminlerin uzun periyoda ait titreşim bileşenlerinin daha büyük oranlarda yer hareketi ile etkileşime girdiğini gösterir.[Celep ve Kumbasar., 2000]

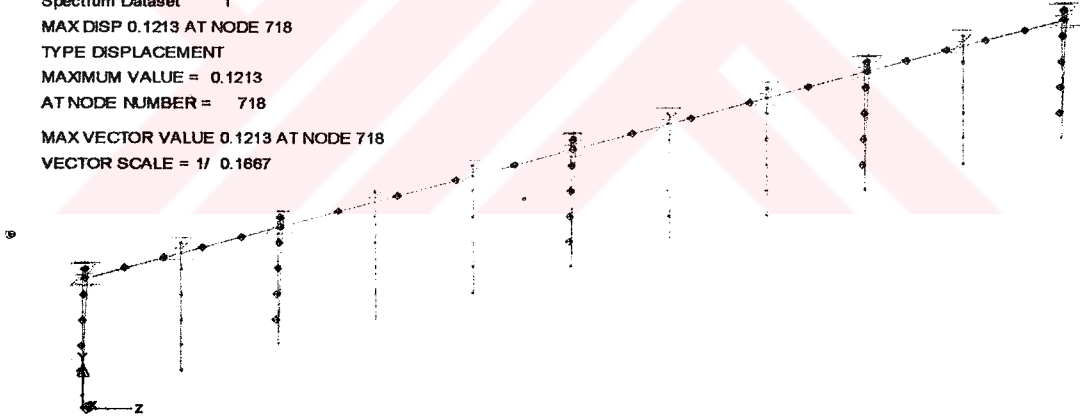
Zemin tabakalarının dinamik davranışını temsil eden en basit model, sadece yatay yer değiştirme ve bu yönde kayma gerilmesinin göz önüne alınmasıyla elde edilir. Özellikle yer hareketindeki kayma dalgalarının düşey doğrultuda yayılması için geçerli bir modeldir. Derin odaklı depremler için ortaya çıkan bu durumun, kaynağı sığ olan depremlerde ve deprem kaynağına yakın zemin tabakalarında doğru olmadığı görülür.[Celep ve Kumbasar., 2000]

SCALE 1/0.3829E-01
 EYE X=-0.4689E-10 Y=0.2495E-11 Z=0.8268E-11
 SPECTRAL RESPONSE ANALYSIS
 SRSS Combination
 Spectrum Dataset 1
 MAX DISP 0.8104E-01 AT NODE 728
 TYPE DISPLACEMENT
 MAXIMUM VALUE = 0.8104E-01
 AT NODE NUMBER = 728
 MAX VECTOR VALUE 0.8104E-01 AT NODE 728
 VECTOR SCALE = 1/ 0.1687



Şekil 6.1. z Yönündeki Deplasman Vektörleri(m)

SCALE 1/0.3539E-01
 EYE X=-0.6687E-01 Y=0.3532E-02 Z=0.1170E-01
 SPECTRAL RESPONSE ANALYSIS
 SRSS Combination
 Spectrum Dataset 1
 MAX DISP 0.1213 AT NODE 718
 TYPE DISPLACEMENT
 MAXIMUM VALUE = 0.1213
 AT NODE NUMBER = 718
 MAX VECTOR VALUE 0.1213 AT NODE 718
 VECTOR SCALE = 1/ 0.1687



Şekil 6.2. x Yönündeki Deplasman

Modelin spektral analizi yapılırken, lineer malzeme özellikleri kullanıldı. Sönüm oranı 0.05, $A = 0.4$ ve zemin sınıfı 3 için 92 AASTHO spektrumu lokal x ve lokal z yönlerinde etki ettirilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Modelin spektral analizi yapıldıktan sonra enine ve boyuna doğrultularda deplasman vektörleri çizdirilmiştir. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 deplasman vektör grafiklerinden de görüleceği üzere enine doğrultuda deplasman 0.081 m , boyuna doğrultuda deplasman ise 0.1213 m olarak bulunmuştur.

7.ZAMAN TANIM ALANINDA HESAP YÖNTEMİ

Zaman tanım alanında hesap yöntemi ile yapılan analizlerde depremde kaydedilen deprem kaydı kullanılmaktadır. Geçmiş depremlerin ivme kayıtlarının bu konuda önemli yeri vardır. Boyutlama sırasında gerçek deprem kaydının esas alınması, hesaba esas olan deprem büyüklüğü, depremin merkez üssüne uzaklığı, kaynak mekanizması ve zemin koşullarının gerçek durumla en iyi şekilde uyuşturulması bakımından tercih edilir. Böylece pek çok belirsizlik önlenmiş olur. Deprem kaydının bulunmaması durumunda, deprem hareketini rasgele bir titreşim kabul ederek yapay deprem kayıtları elde edilebilir. Genellikle deprem hareketinin, başlangıç ve son devreleri dışındaki orta bölümü kararlı rasgele titreşim olarak alınır. Ancak, bu durumda yapay depremin büyüklüğü ve frekans içeriği hakkında kabuller yapmak gerekir.

Yönetmelikte ivme kayıtlarının $\mu 0.05g$ dışında kalan kısmının yapının birinci doğal periyodunun 5 katından ve 15sn den az olması öngörülmüştür. Ayrıca, kaydedilmiş veya üretilmiş deprem kaydının % 5 sönümle bulunacak $A(T)/g$ boyutsuz spektral ivme değerleri bütün periyodlar için, yönetmelikte değişim verilen $S(T)$ spektrum katsayısı değişiminin %90'ından az olmamalıdır. Taşıyıcı sistem davranışının doğrusal elastik kabul edilmesi durumunda, spektral ivme değerleri R_a deprem yükü azaltma katsayısı ile azaltılabilir.

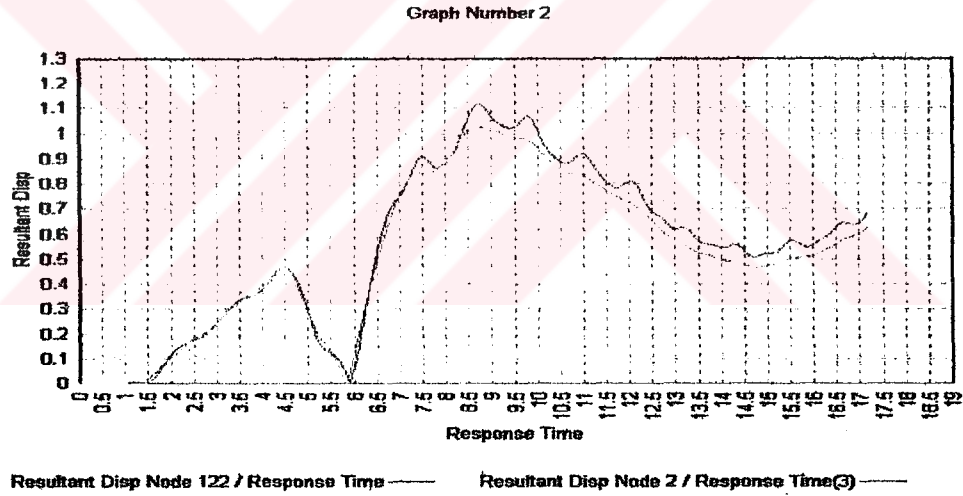
Sakarya Viyadüğü LUSAS sonlu elemanlar analiz programı ile modellenerek zaman geçmişi analizi yapılmıştır. Sakarya'da kaydedilen depremin 20 sn'lik kısmı kullanılmıştır. Elde edilen mukabeleler aşağıda sunulmuştur.

Lusas sonlu elemanlar yöntemi ile modellenen Sakarya viyadüğüne 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Sakarya'daki kayıt cihazlarında elde edilen 0.01 sn aralıklı , maksimum genliği 0.376 g, ERD 0.90 kaydının en yüksek genliğe sahip 20 sn' lik bölümü interpolate edilerek 0.05 sn aralıklı hale getirildikten sonra transverse (enlemesine) ve longitudinal (boylamasına) etki ettirilerek doğrusal olmayan zaman geçmişi analizi yapılmıştır. Analiz sonunda viyadüğün izolatorlerinin hareketi incelenerek, izolatorlerin deplasman grafikleri elde edilmiştir. Analizde izolatorlerin üst ve alt noktalarının deplasman değerleri elde

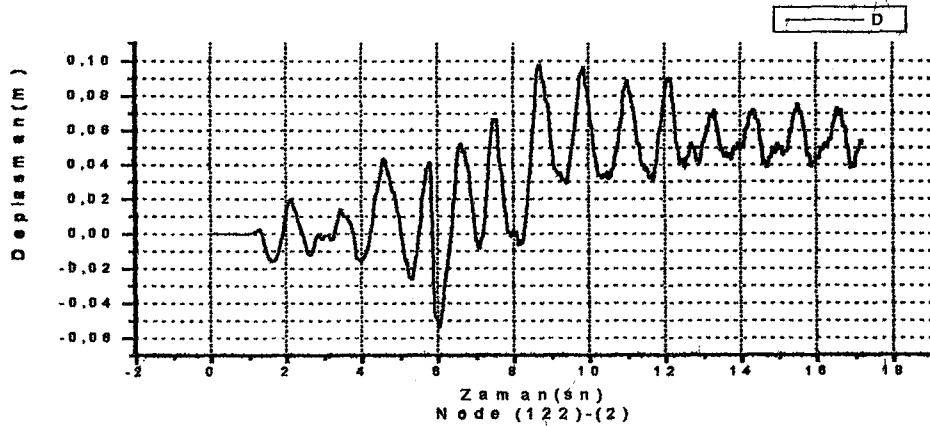
edildikten sonra, üst ve alt noktaların birbirlerine göre rölatif deplasmanları bulunmuştur.

7.1. Depremın Enlemesine Yönde Etkitilmesi İle Elde Edilen Deplasman Grafikleri

Deprem hareketi enlemesine (transverse) yönde etki ettirilerek izolatörlerin uç noktalarının zaman deplasman grafikleri ve uç noktalarda elde edilen deplasmanların arasındaki farkları gösteren grafikler elde edilmiştir. Deplasman grafiklerinden ve izolatörlerin uç noktaları arasındaki deplasman farklarını gösteren grafiklerden anlaşıldığı gibi rölatif fark sadece viyadüğün genişleme derzlerinde görülmektedir. Aşağıdaki şekillerde izolatörlerin tranverse(enlemesine) yönde elde edilen uç noktalarındaki deplasmanları ve bu deplasmanlar arasındaki farklar gösterilmiştir.

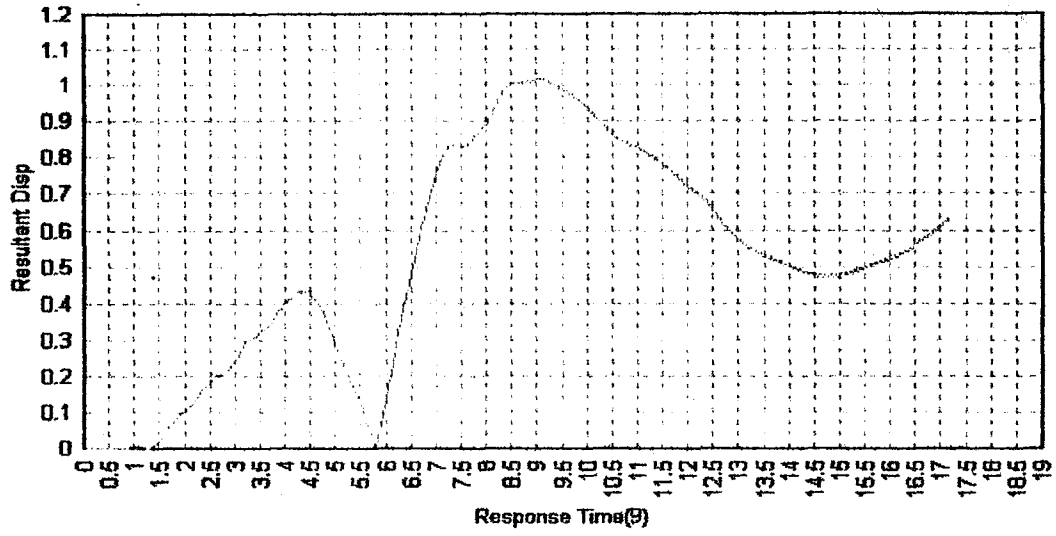


Şekil 7.1. 1 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman-Deplasman Grafiği



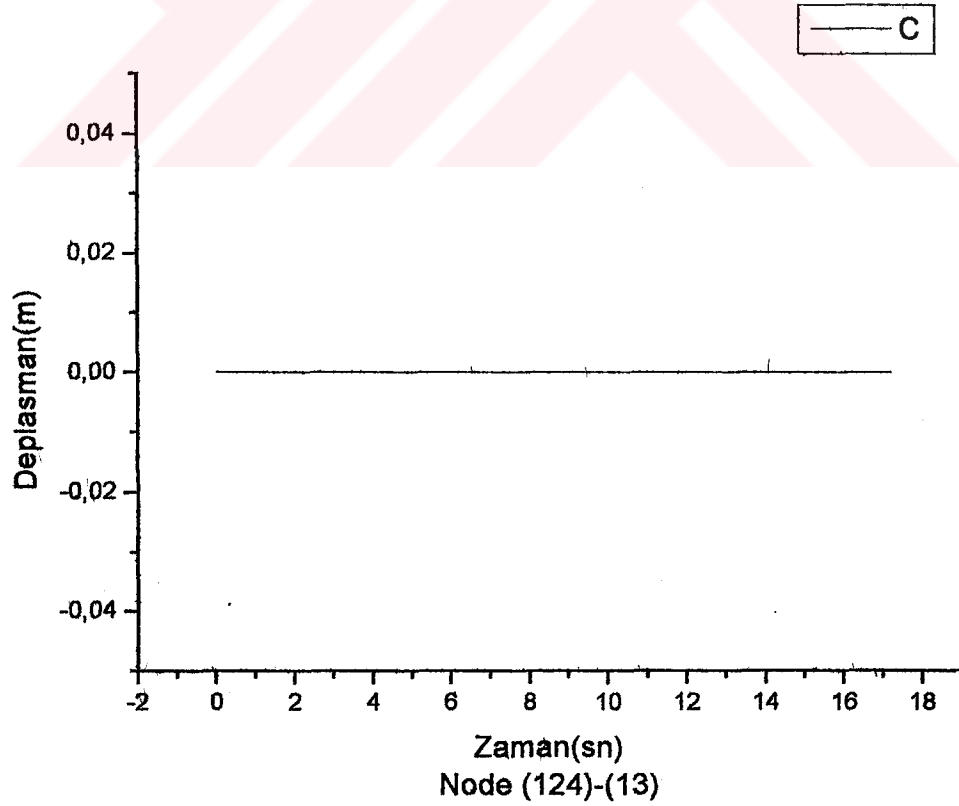
Şekil 7.2. 1 No'lu İzolatörün Zaman-Deplasman Grafiği

Graph Number 1



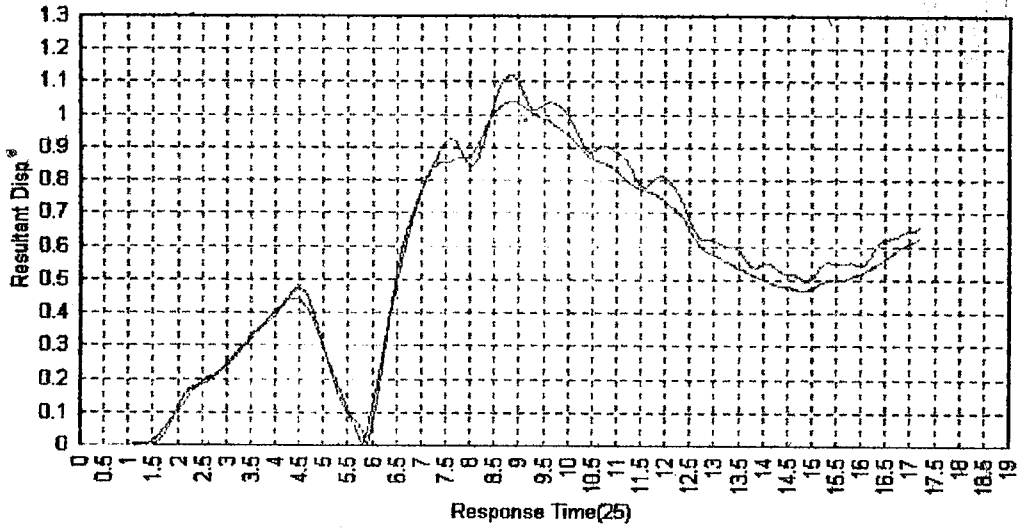
Resultant Disp Node 124 / Response Time(s) — Resultant Disp Node 13 / Response Time(11) —

Şekil 7.3. 2 No 'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği

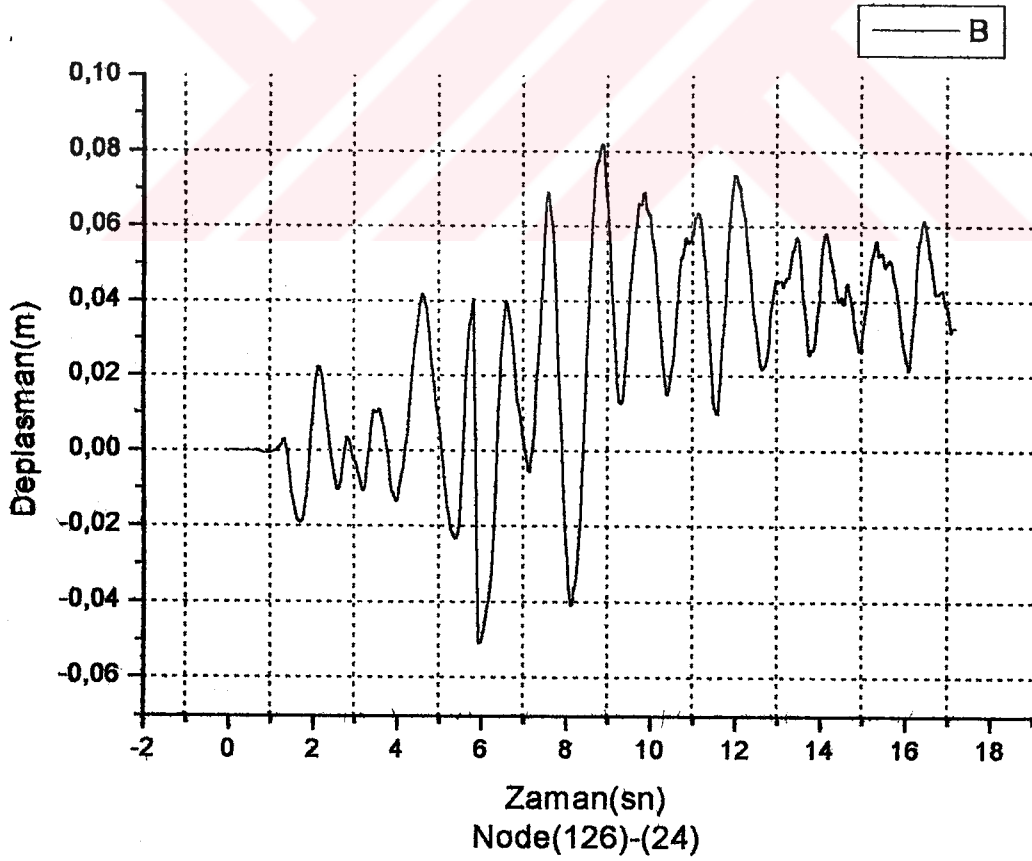


Şekil 7.4. 2 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

Graph Number 2

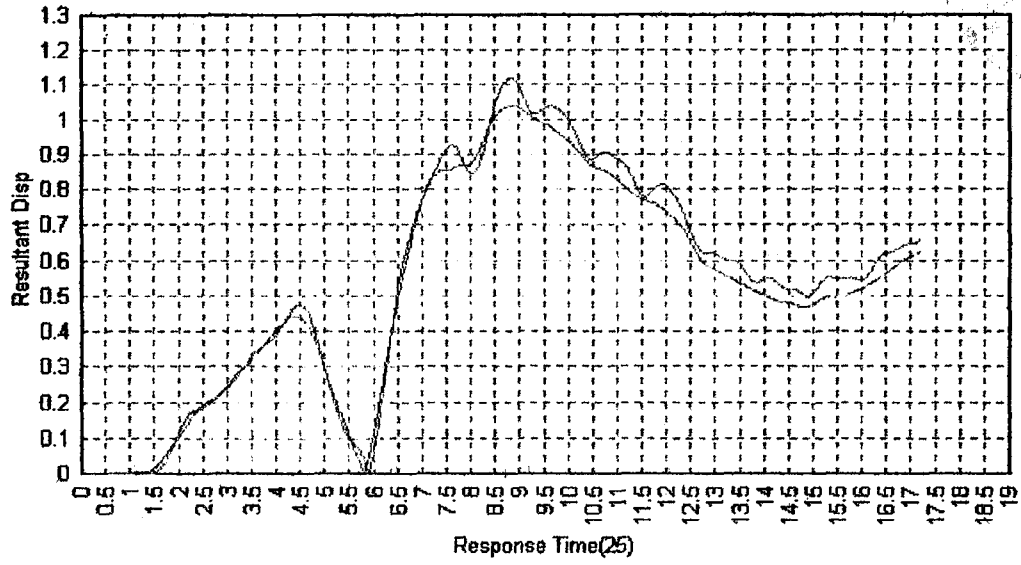


Şekil 7.5. 3 No' lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği

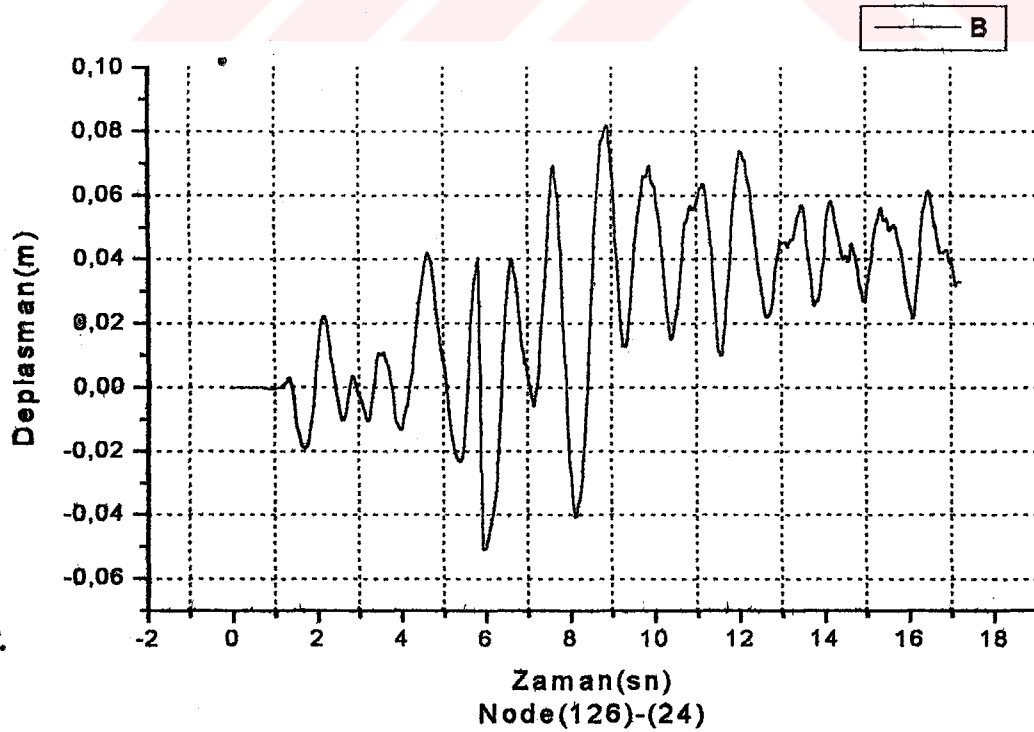


Şekil 7.6. 3 No' lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

Graph Number 2

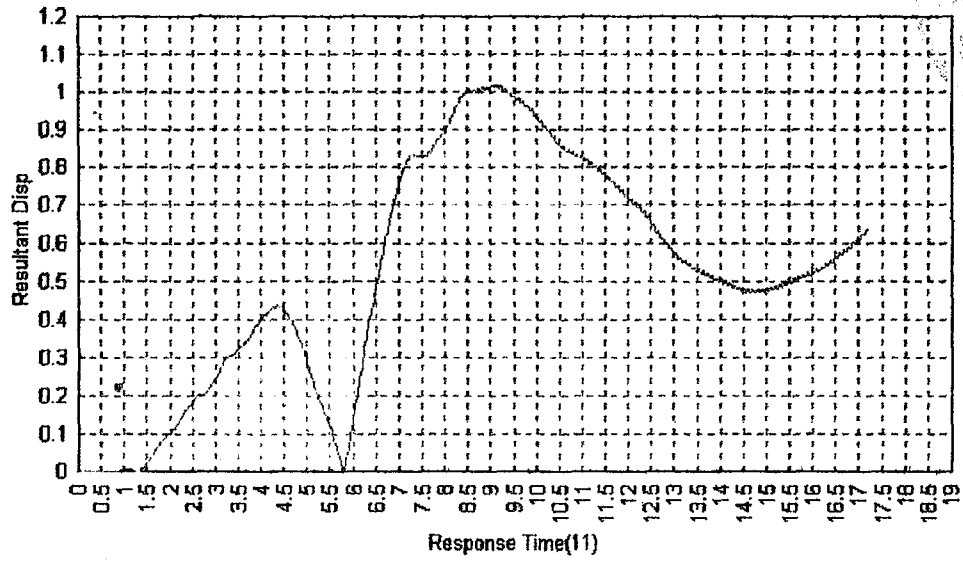


Şekil 7.7. 4.No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği

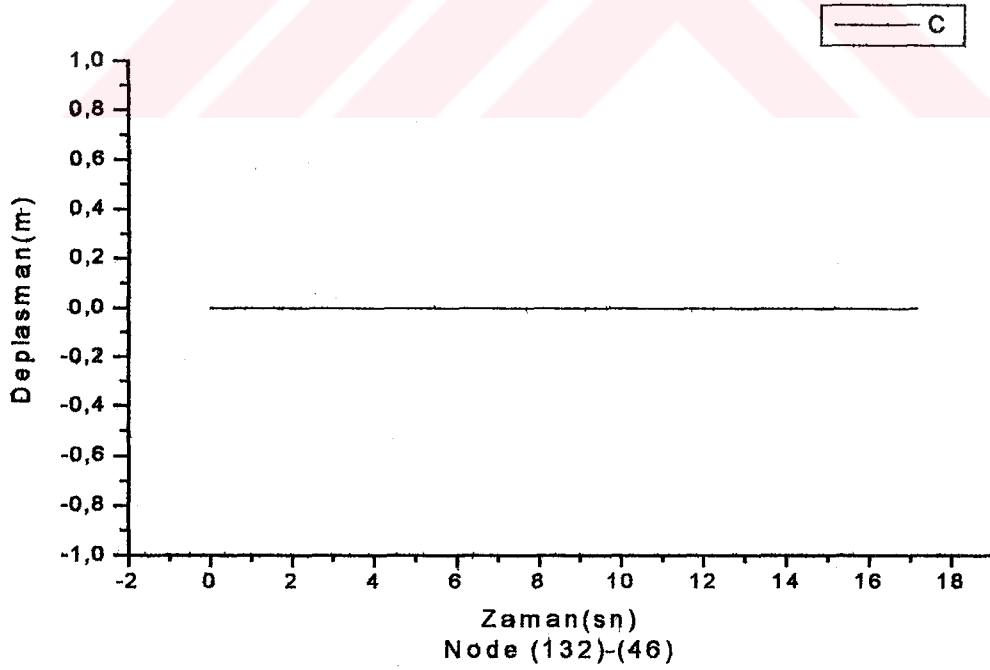


Şekil 7.8. 4 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

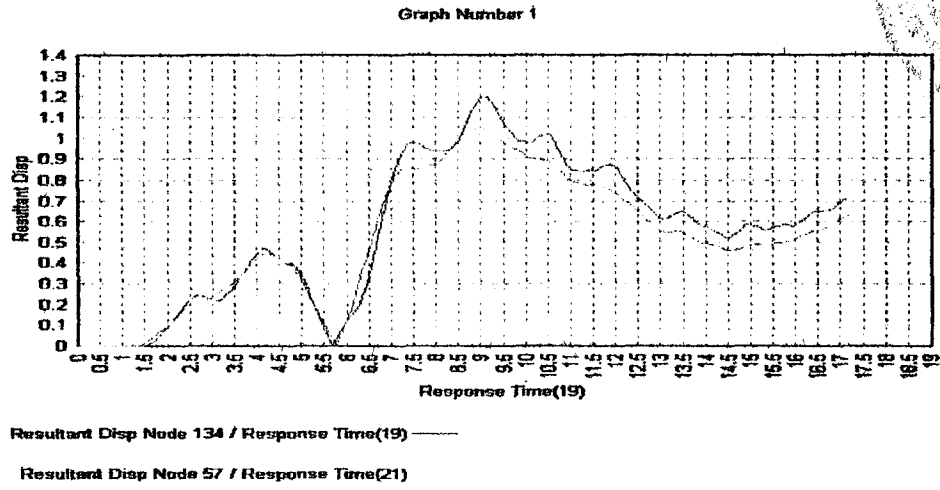
Graph Number 1



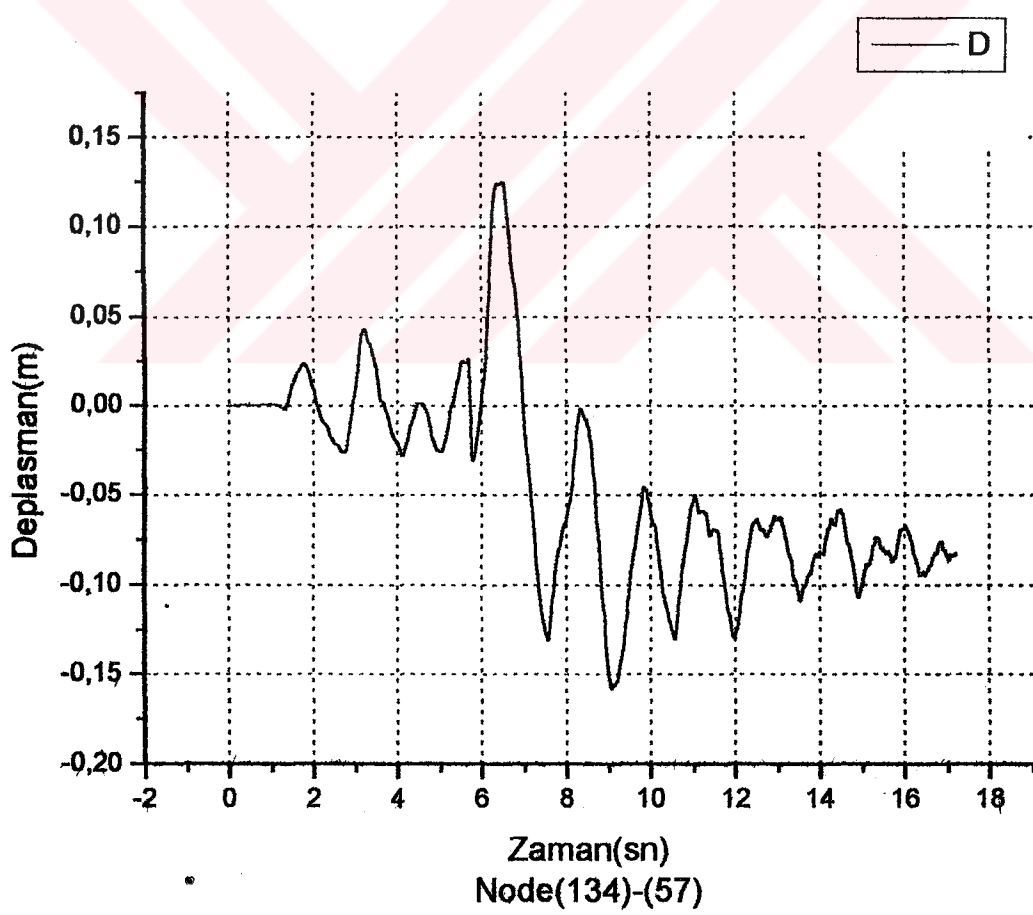
Şekil 7.9. 5 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.10. 5 No 'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

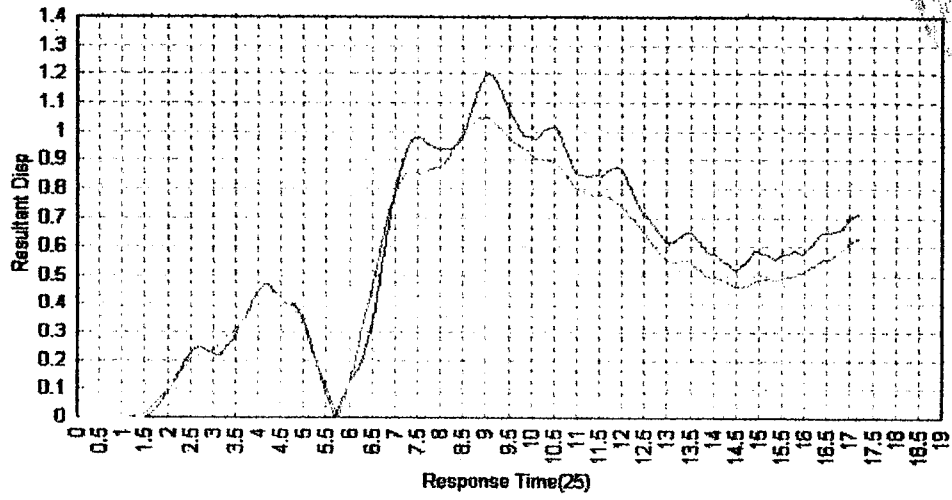


Şekil 7.11. 6 No' lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.12. 6 No' lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

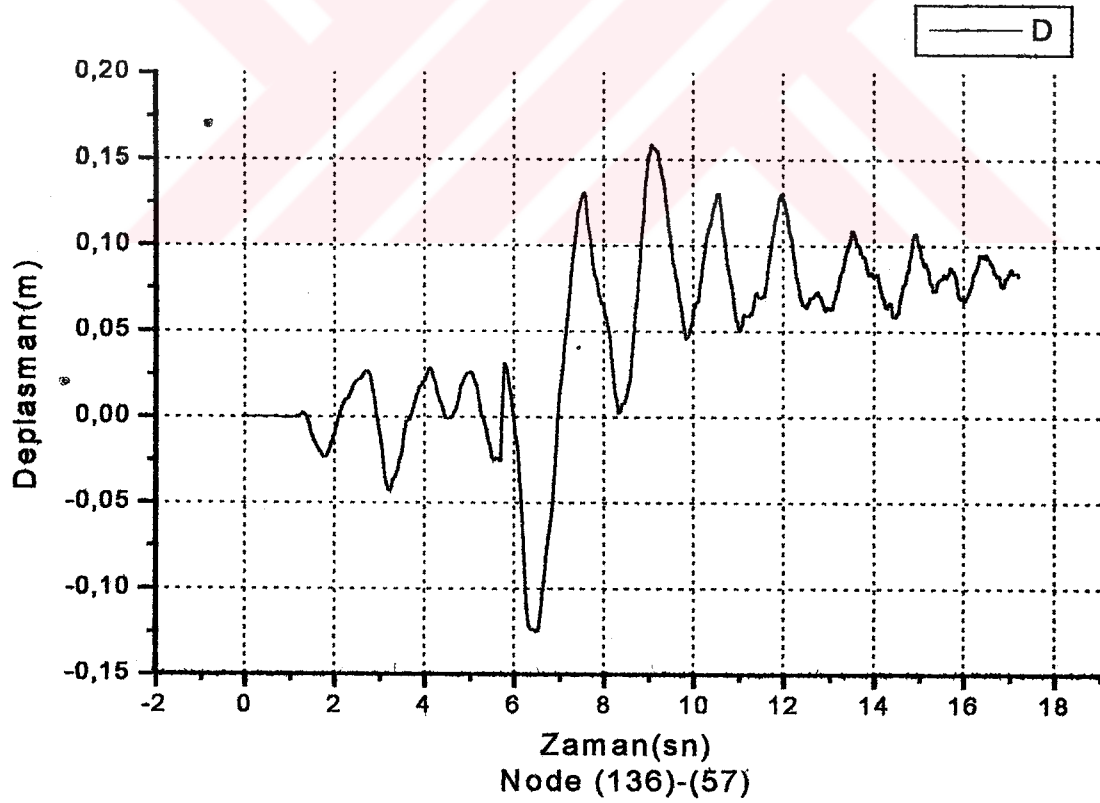
Graph Number 1



Resultant Disp Node 136 / Response Time(25) —

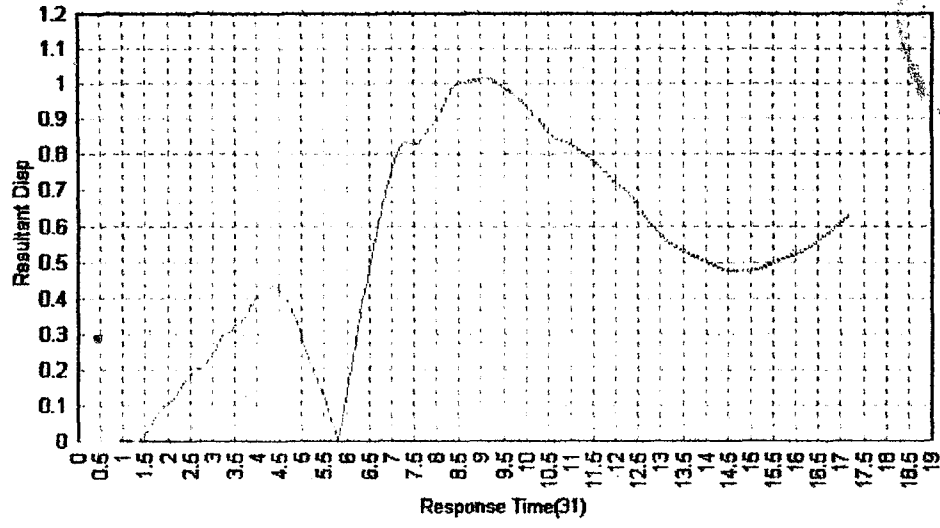
Resultant Disp Node 57(26) / Response Time(27) - -

Şekil 7.13. 7 No' lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği

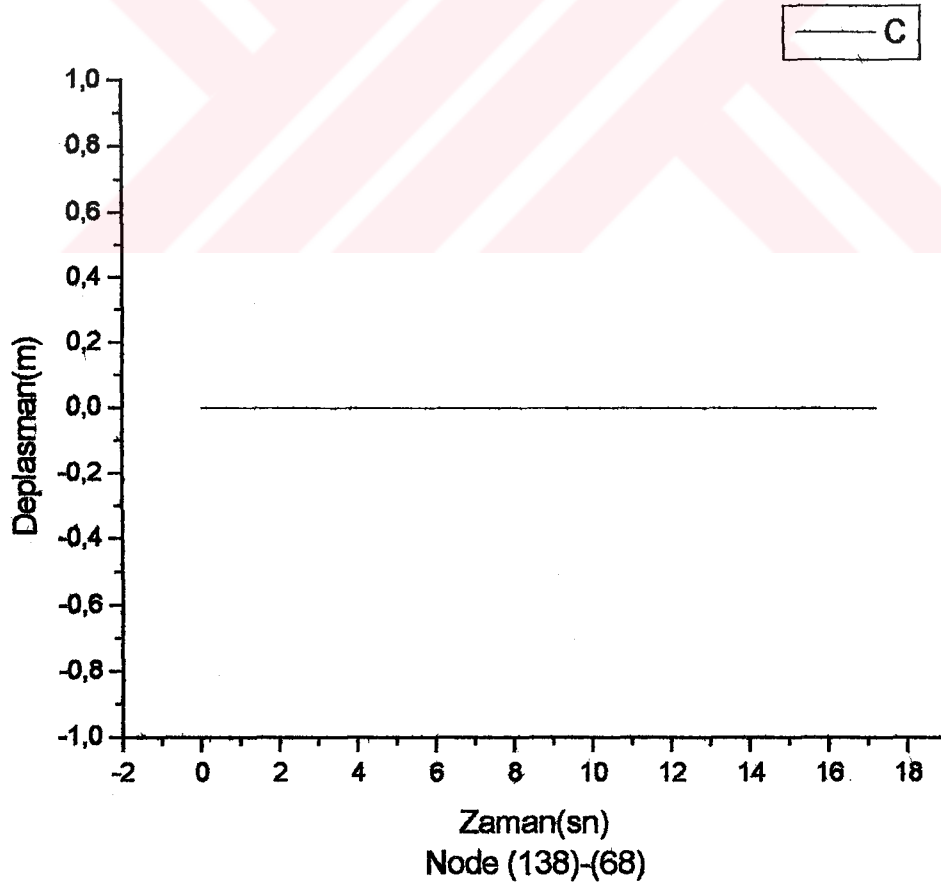


Şekil 7.14. 7 No' lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

Graph Number 1

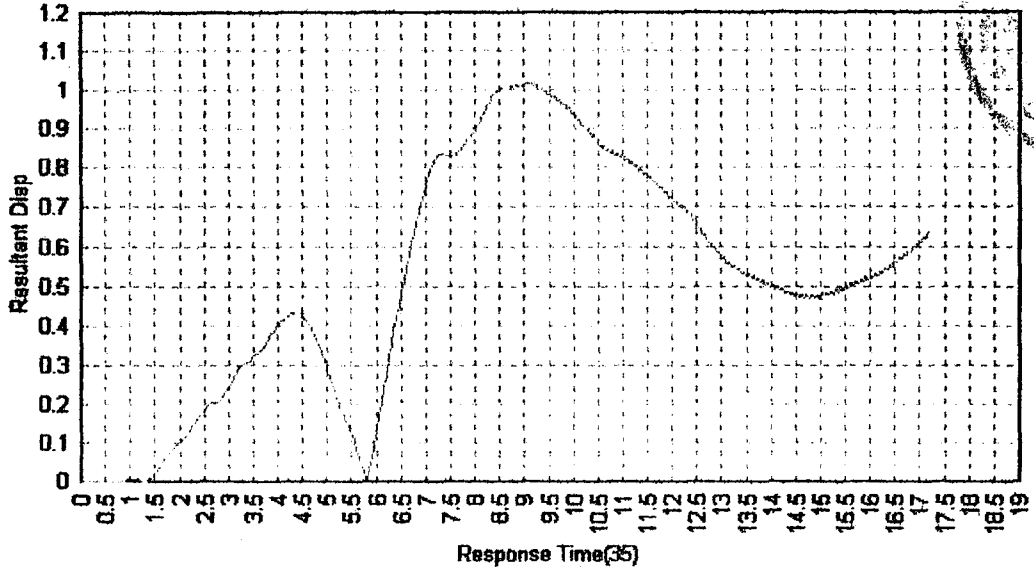


Şekil 7.15. 8 No 'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.16. 8 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

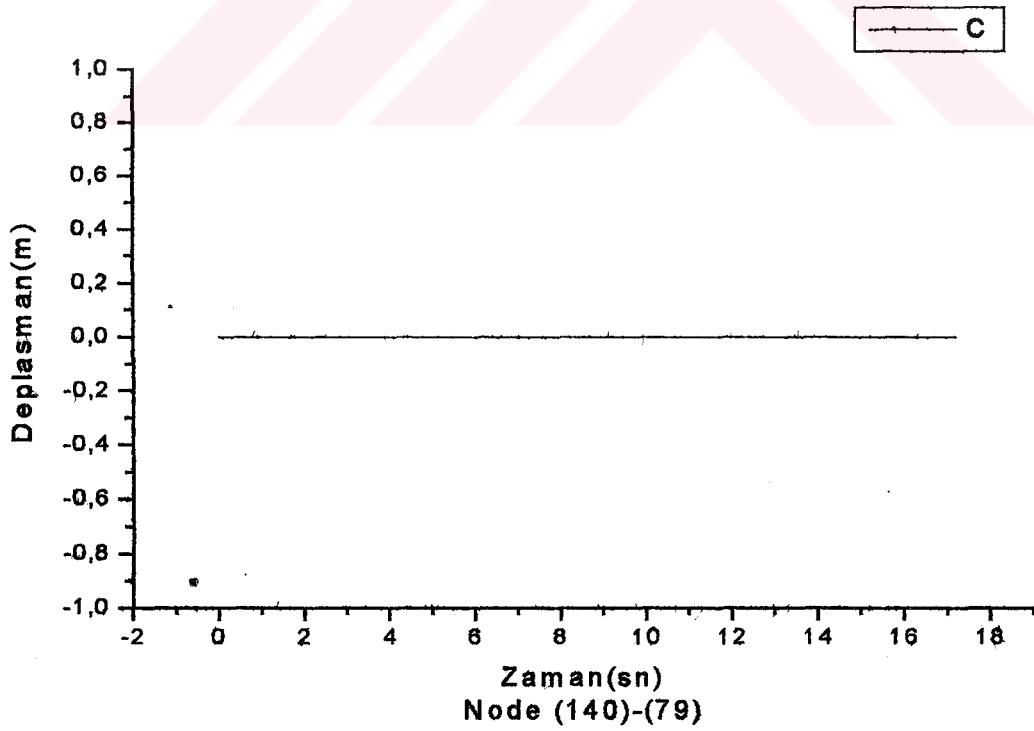
Graph Number 1



Resultant Disp Node 140 / Response Time(35) —

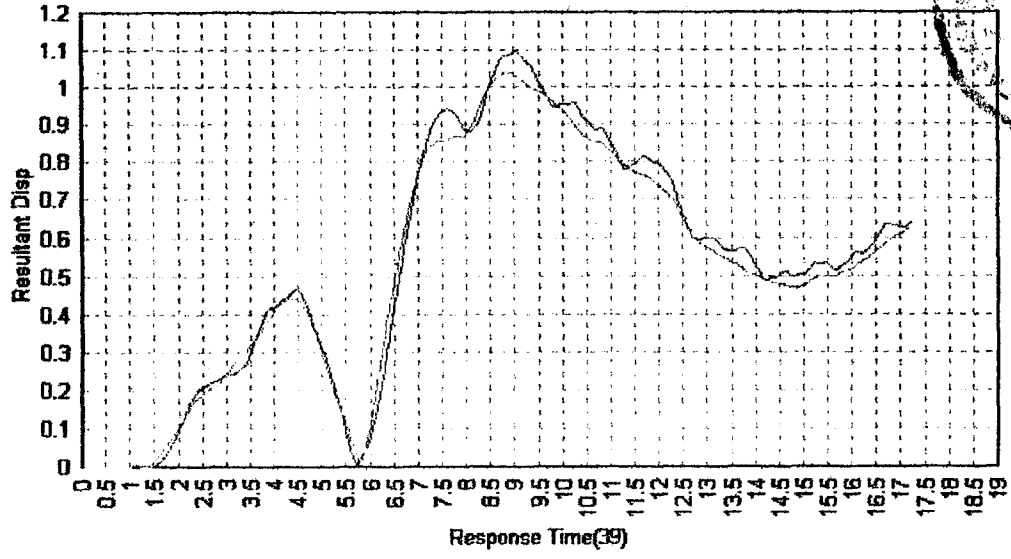
Resultant Disp Node 79 / Response Time(37) - - -

Şekil 7.17. 9 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.18. 9 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

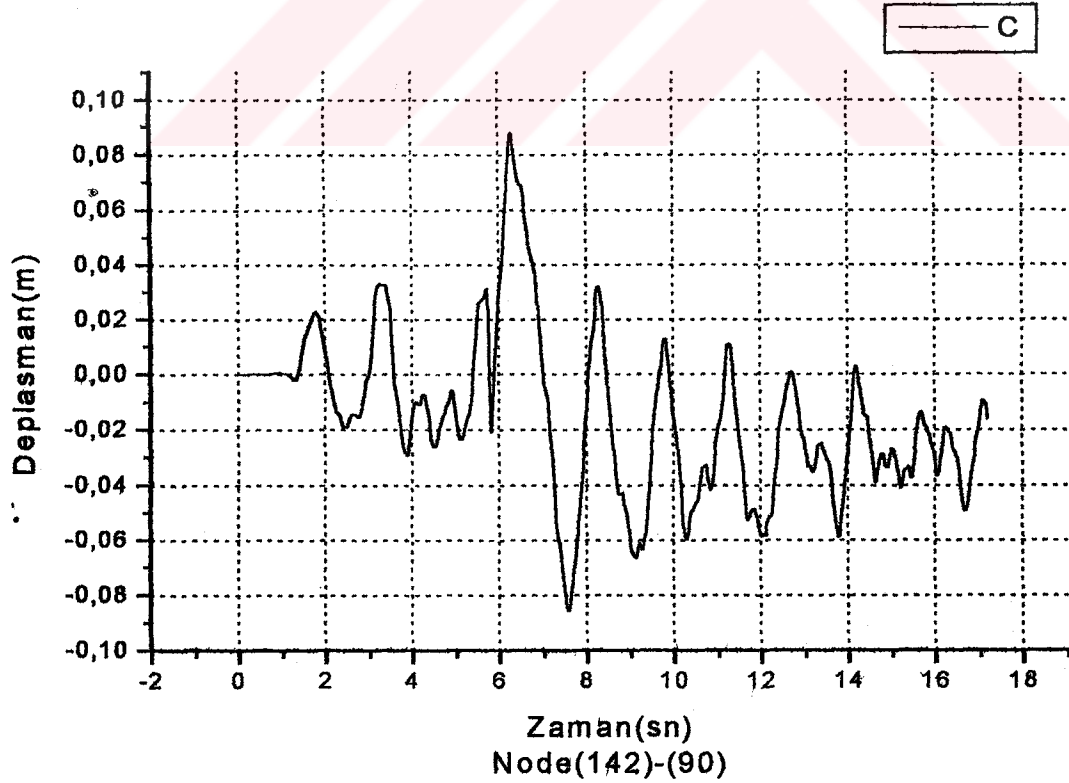
Graph Number 1



Resultant Disp Node 142 / Response Time(39) —

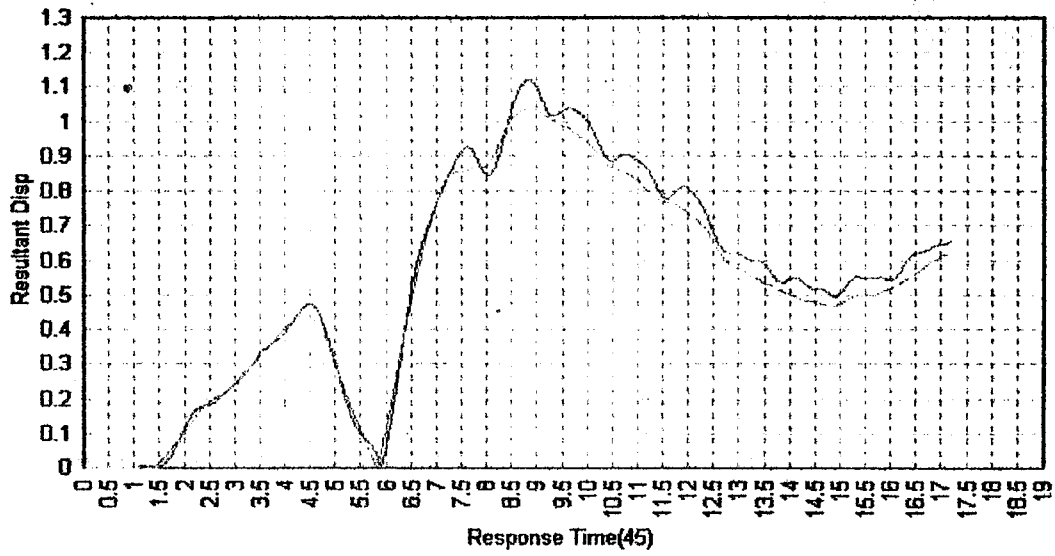
Resultant Disp Node 90 / Response Time(41) —

Şekil 7.19. 10 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği

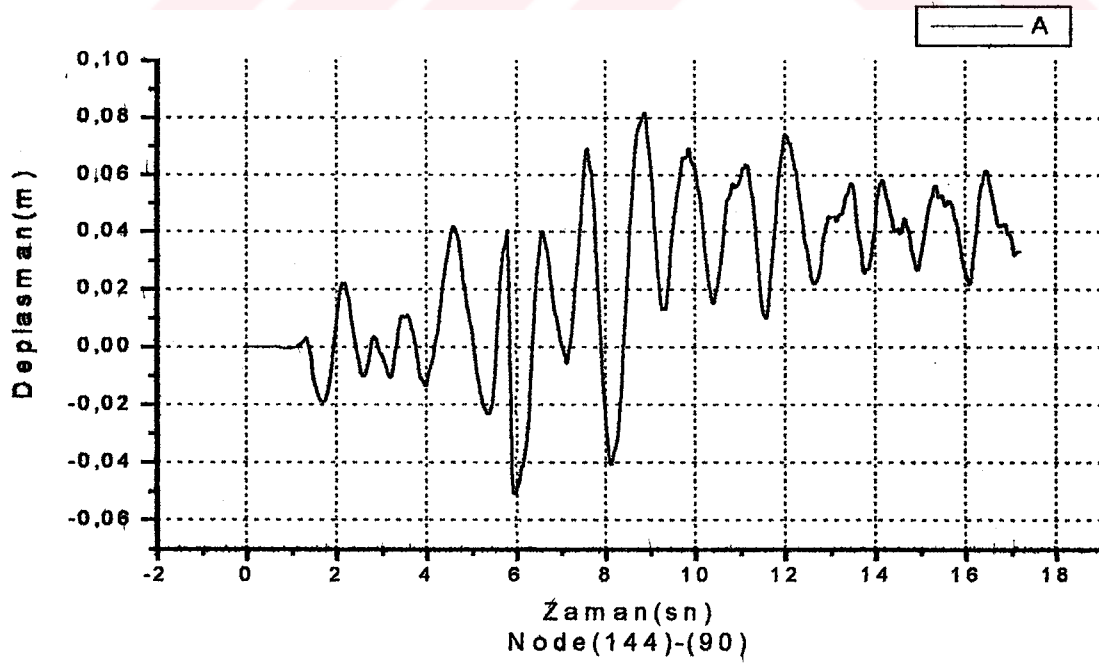


Şekil 7.20. 10 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

Graph Number 1

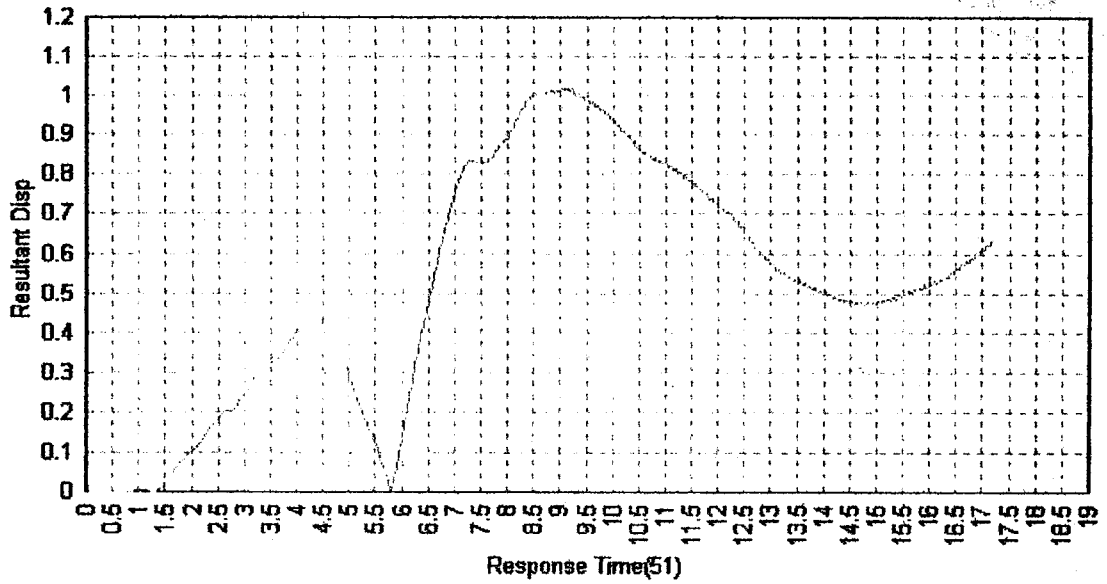


Şekil 7.21. 11 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.22. 11 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Eğrisi

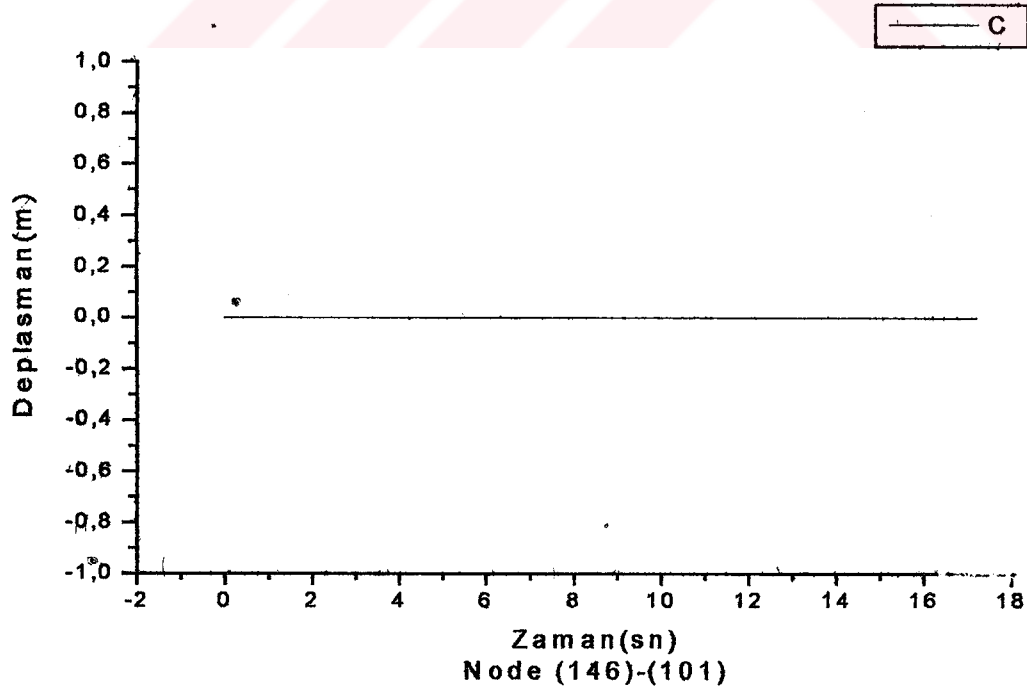
Graph Number 1



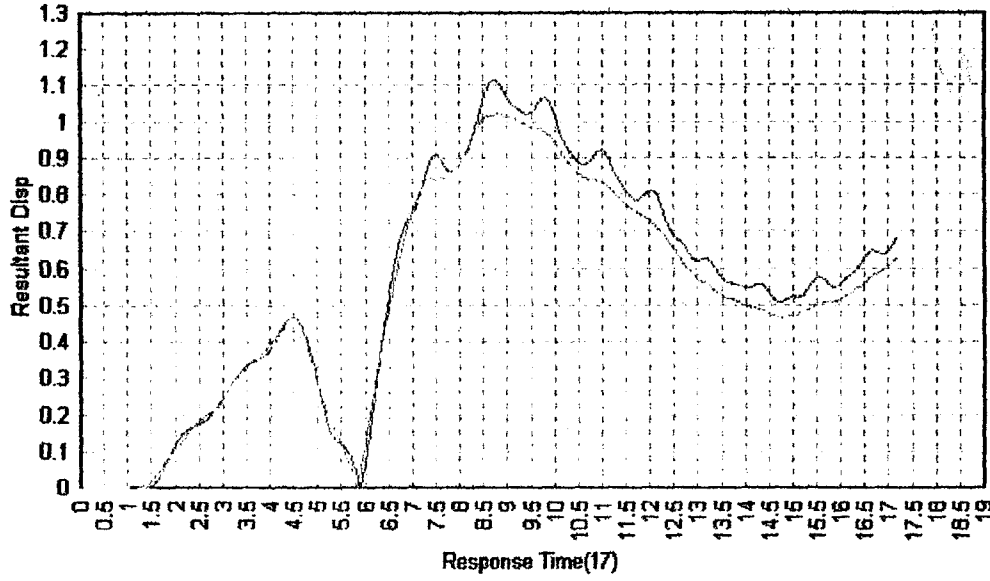
Resultant Disp Node 146 / Response Time(51) —

Resultant Disp Node 101 / Response Time(53) - -

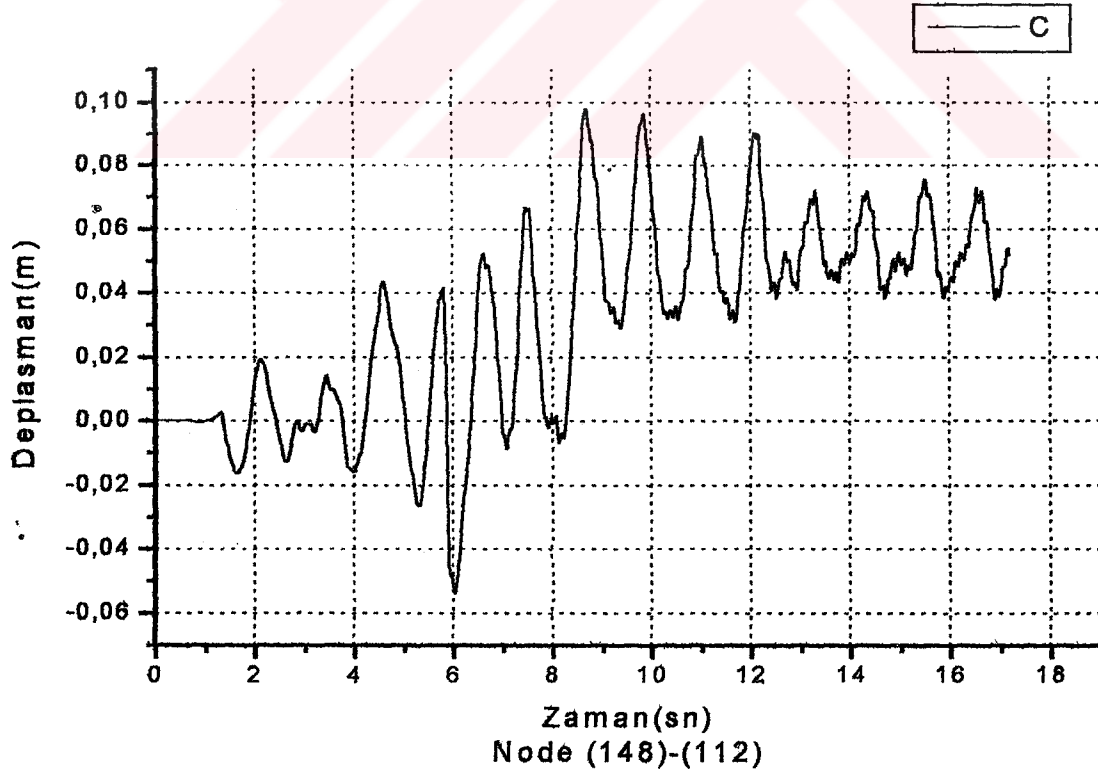
Şekil 7.23. 12 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.24. 12 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.25. 13 No'lu İzolatörlerin Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.26. 13 No'lu İzolatörlerin Zaman Deplasman Grafiği

Tablo 7.1. Transverse Yönde İzolatör Deplasmanları

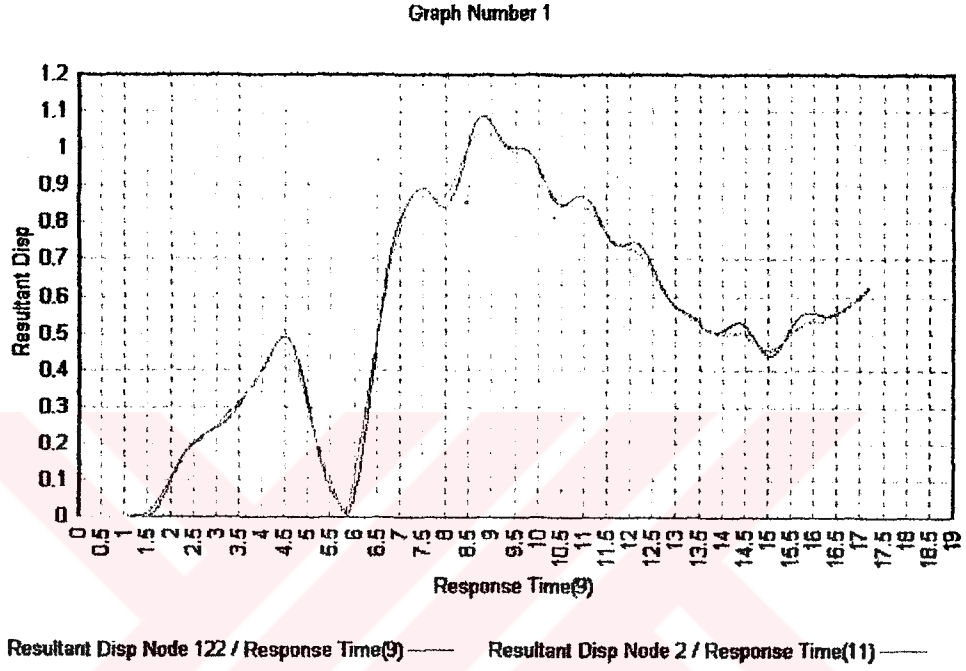
İzolatör No	+ z yönünde deplasman, (m)	- z yönünde deplasman, (m)
1	0,0514	0,062
2	0	0
3	0,5814	0,0401
4	0,1729	0,1613
5	0	0
6	0	0
7	0,1332	0,1259
8	0,1435	0,1292
9	0	0
10	0	0
11	0,1534	0,1517
12	0,0573	0,0391
13	0	0
14	0,0476	0,0632

Doğrusal olmayan zaman geçmiş analizi yapıldıktan sonra elde edilen izolatör deplasmanlarının mutlak değerleri bulunarak, tablo halinde sunulmuştur (Tablo 7.1). Tablodan anlaşıldığı gibi, Enlemesine yönde elde edilen maksimum deplasman 4 no'lu izolatörde 0,1729 m olarak bulunmaktadır.

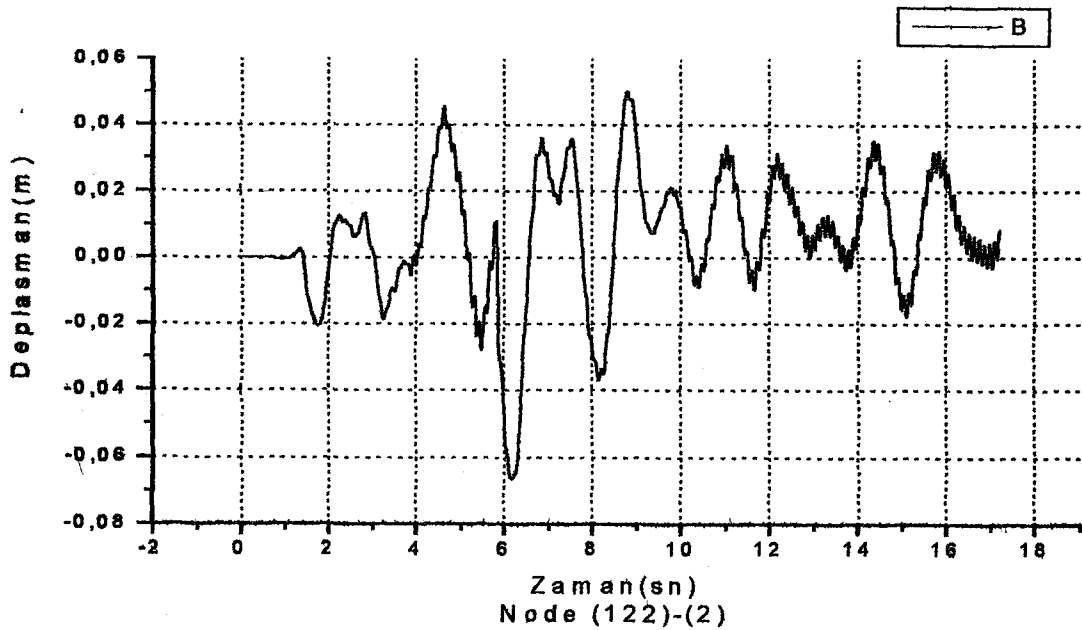
7.2. Deprem Boyuna (Longitudinal) Yönde Etkitilmesi ile Elde Edilen Deplasman Grafikleri

Deprem hareketi longitudinal yönde etki ettirilerek izolatörlerin uç noktalarının zaman deplasman grafikleri ve uç noktalarda elde edilen deplasmanların arasındaki farkları gösteren grafikler elde edilmiştir. Longitudinal yönde elde edilen sonuçların transverse yönde elde edilen sonuçlar ile uyum içinde oldukları anlaşılmaktadır. Transverse yönde elde edilen sonuçlar ile benzer olarak;

longitudinal yönde de elde edilen deplasman grafiklerinden ve izolatörlerin uç noktaları arasındaki farkları gösteren grafiklerden anlaşıldığı gibi rölatif fark sadece viyadüğün genişleme derzlerinde görülmektedir. Aşağıdaki şekillerde izolatörlerin boylamasına (longitudinal) yönde elde edilen uç noktalarındaki deplasmanları ve bu deplasmanlar arasındaki farklar gösterilmiştir.

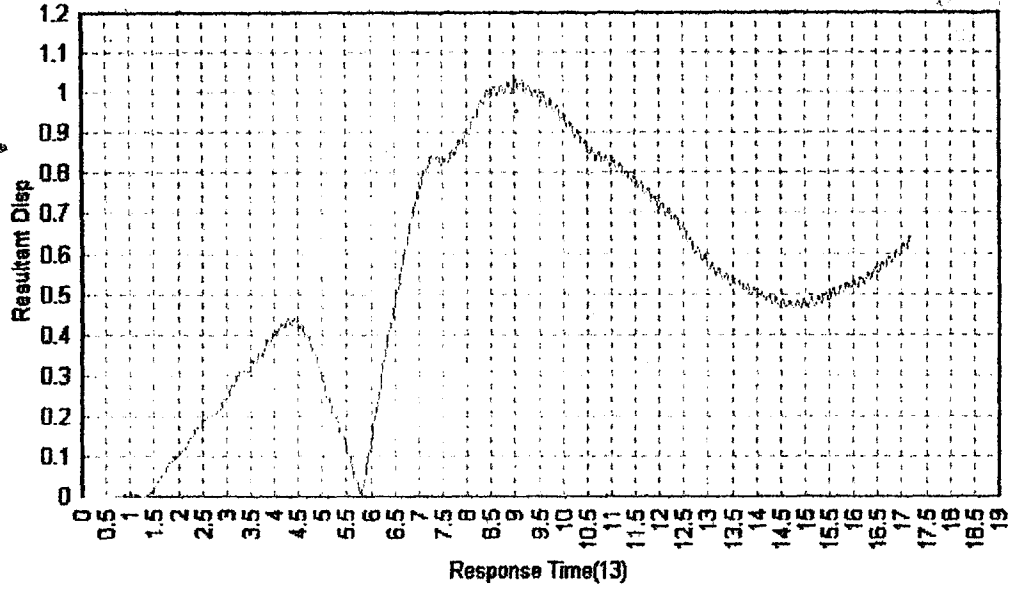


Şekil 7.27. 1 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7. 28. 1 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

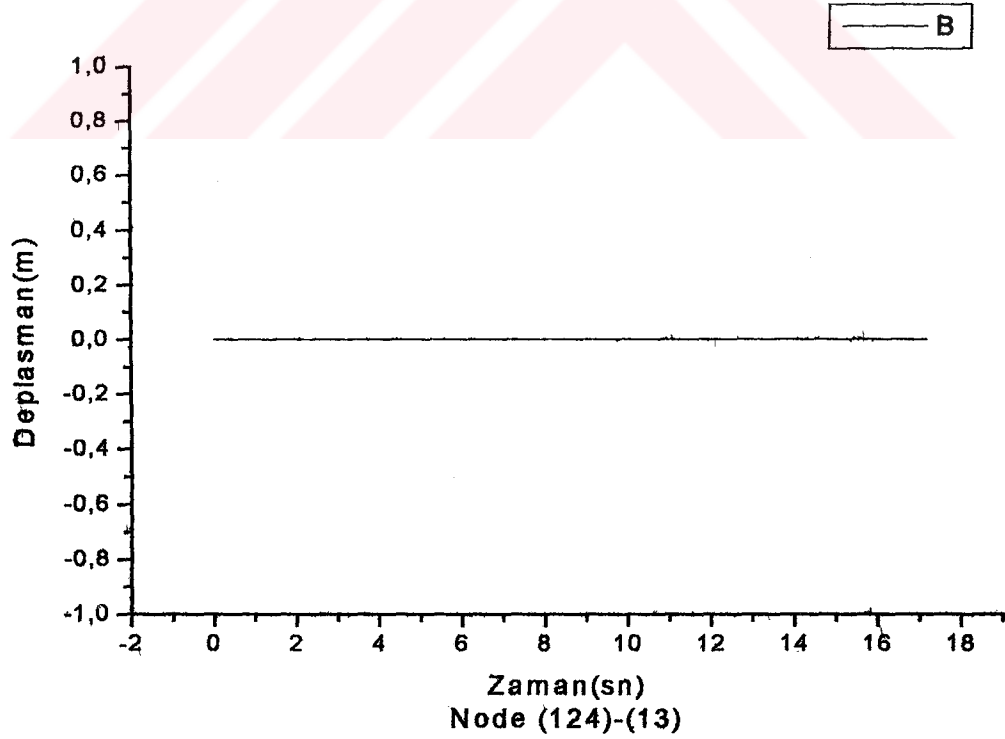
Graph Number 1



Resultant Disp Node 124(14) / Response Time(13) —

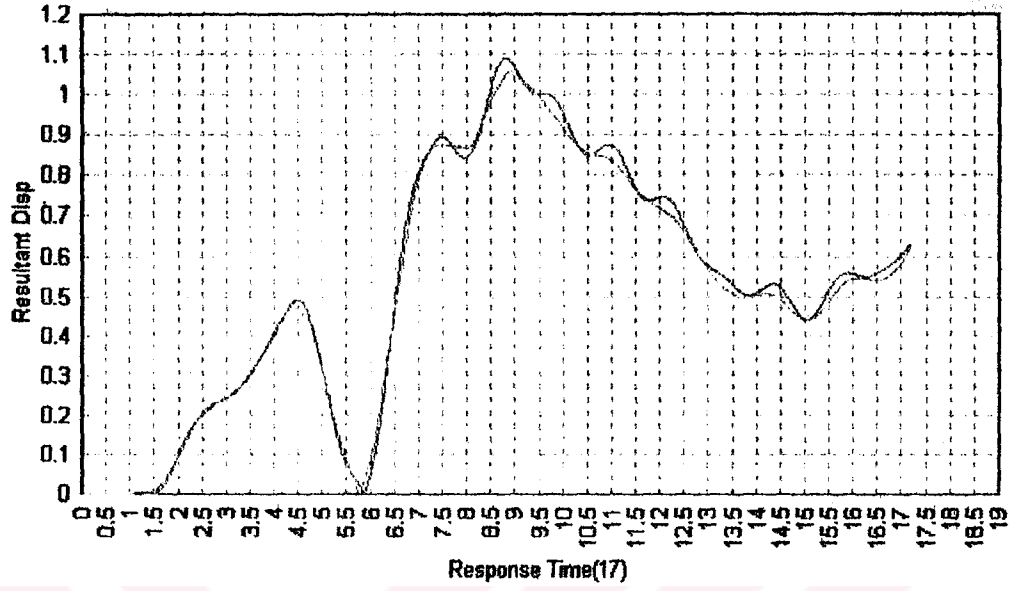
Resultant Disp Node 13(16) / Response Time(15)

Şekil 7.29. 2 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.30. 2 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

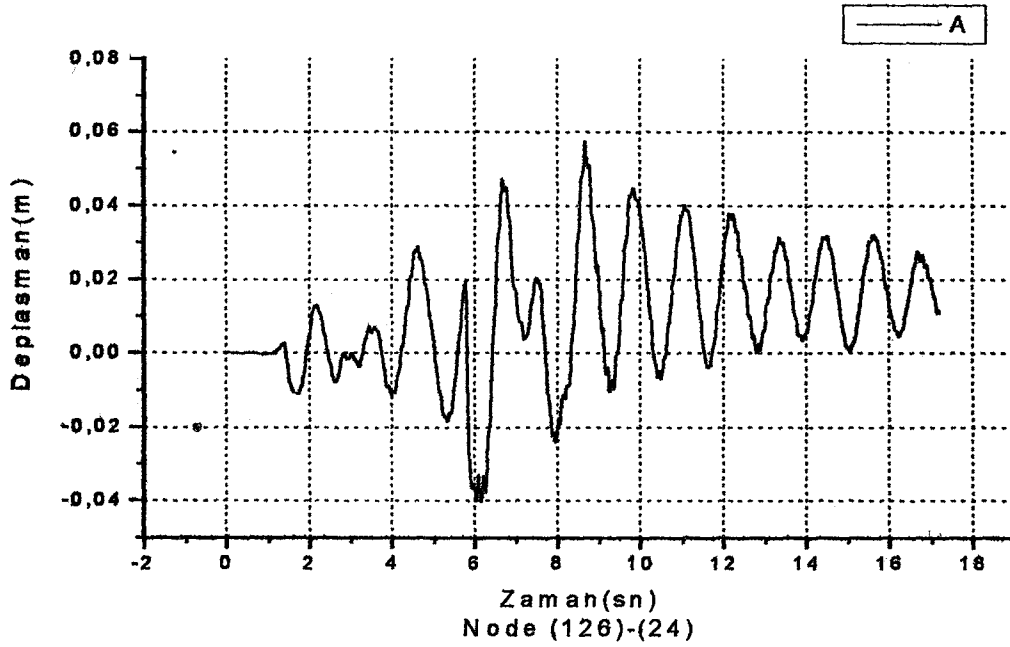
Graph Number 1



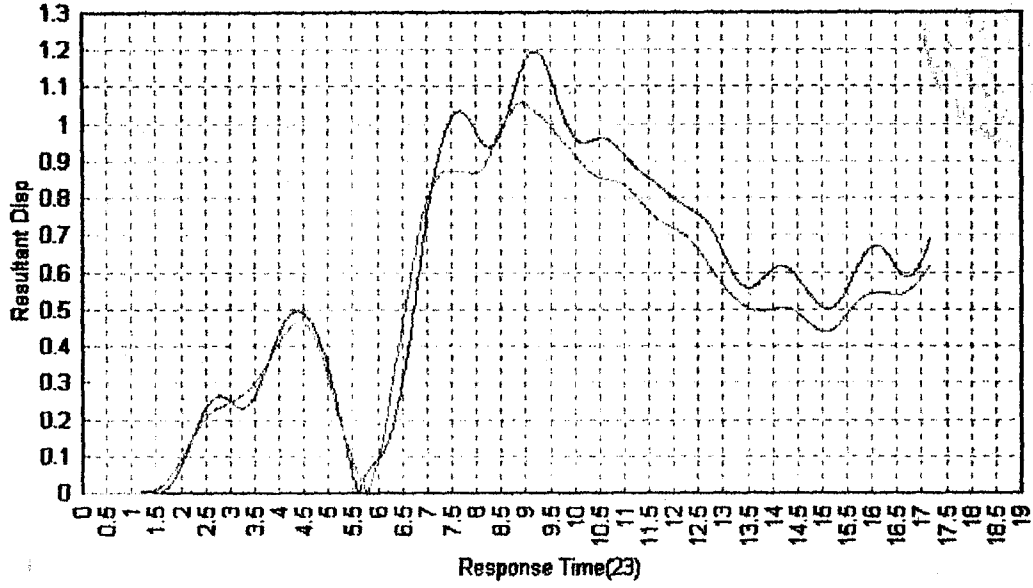
Resultant Disp Node 126 / Response Time(17) —

Resultant Disp Node 24 / Response Time(19)

Şekil 7.31. 3 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



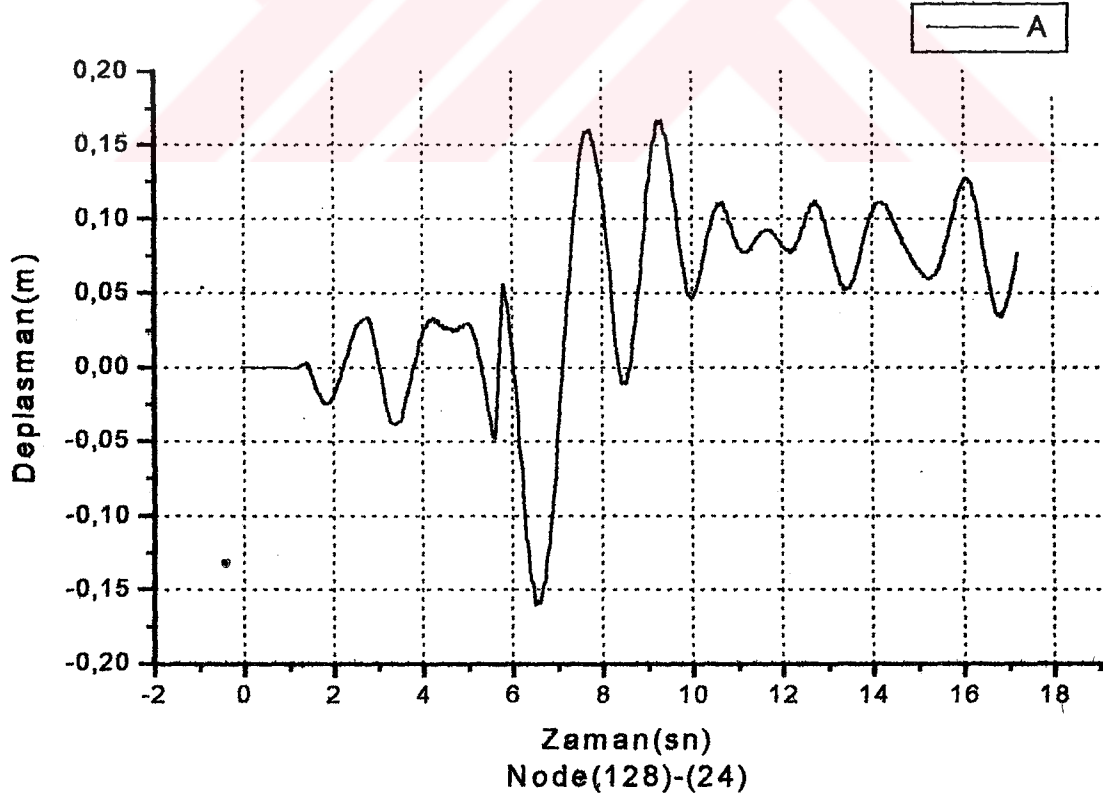
Şekil 7.32. 3 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Deplasman Grafiği



Resultant Disp Node 128 / Response Time(23) —

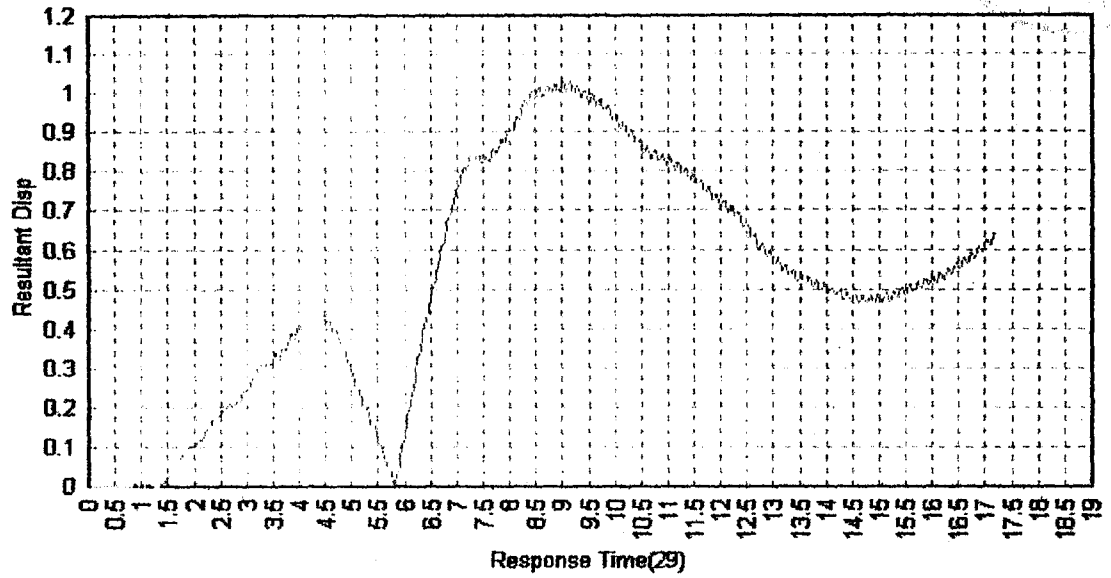
Resultant Disp Node 24(26) / Response Time(25) - -

Şekil 7.33. 4 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Deplasman Grafiği



Şekil 7.34. 4 No 'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

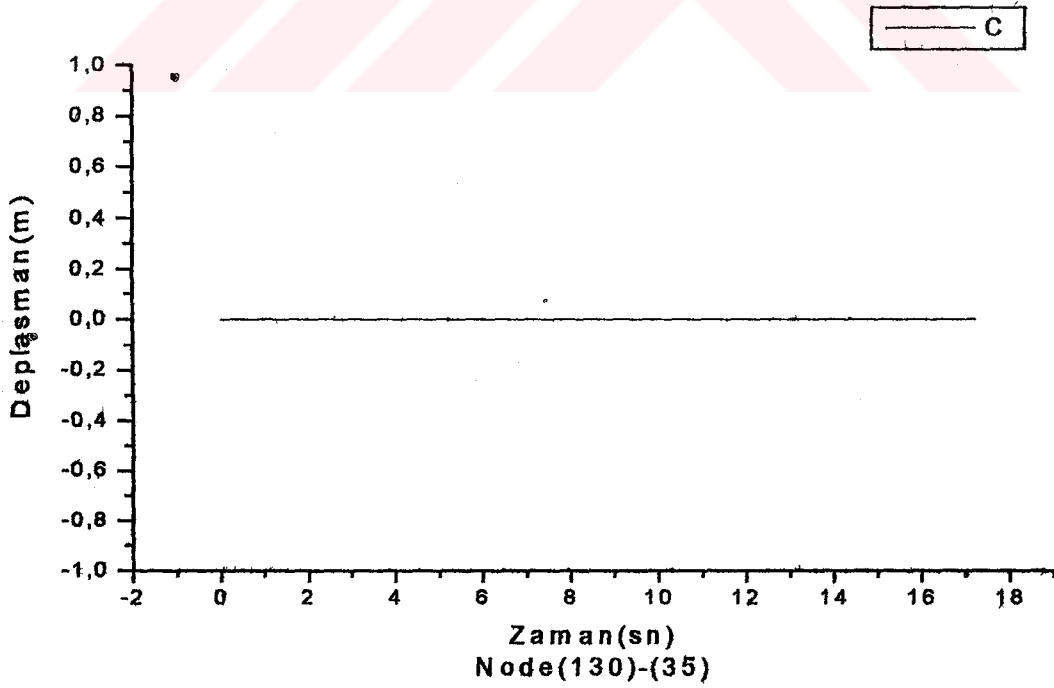
Graph Number 2



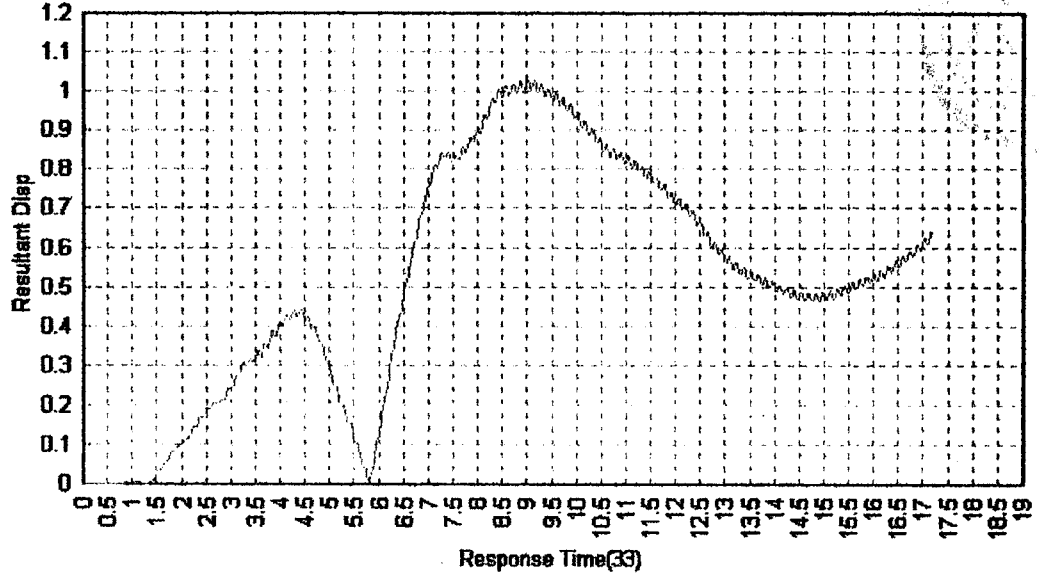
Resultant Disp Node 130 / Response Time(29) —

Resultant Disp Node 35 / Response Time(31) ---

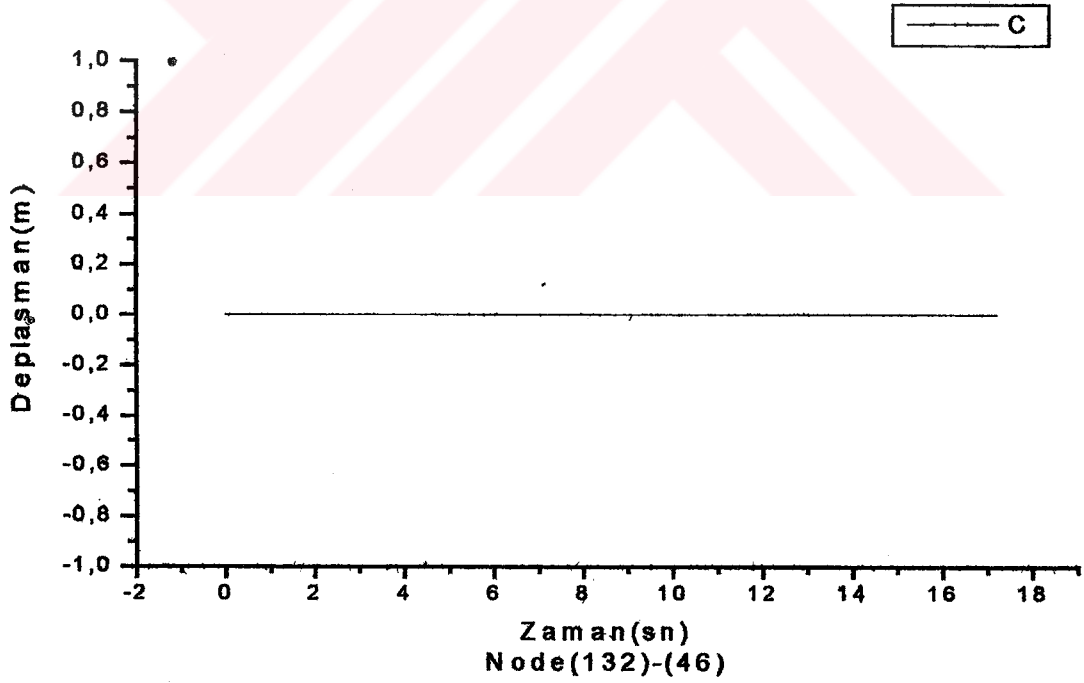
Şekil 7.35. 5 No 'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.36. 5 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

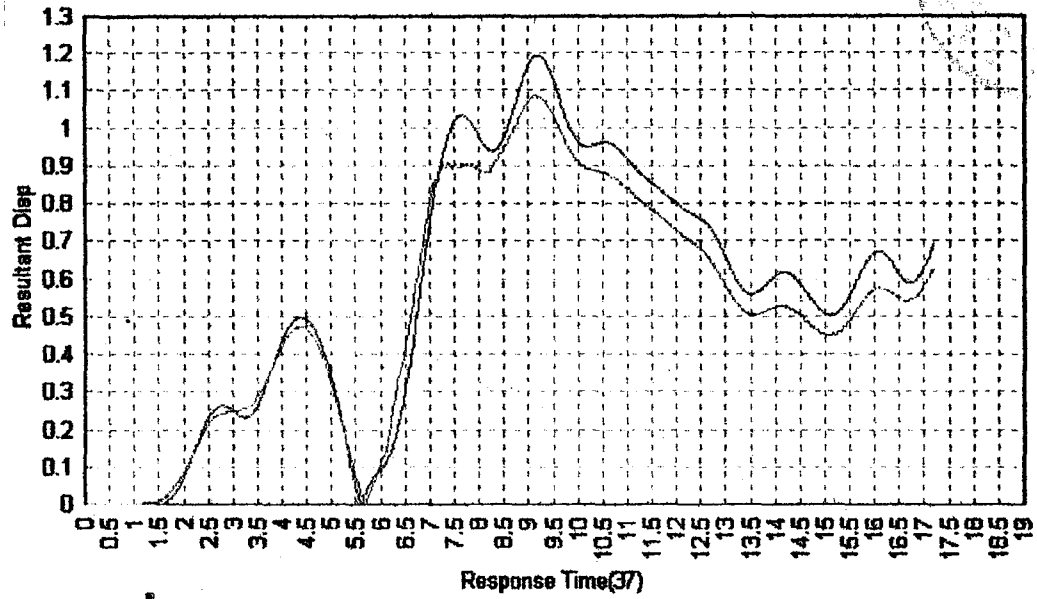


Şekil 7.37. 6 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.38. 6 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

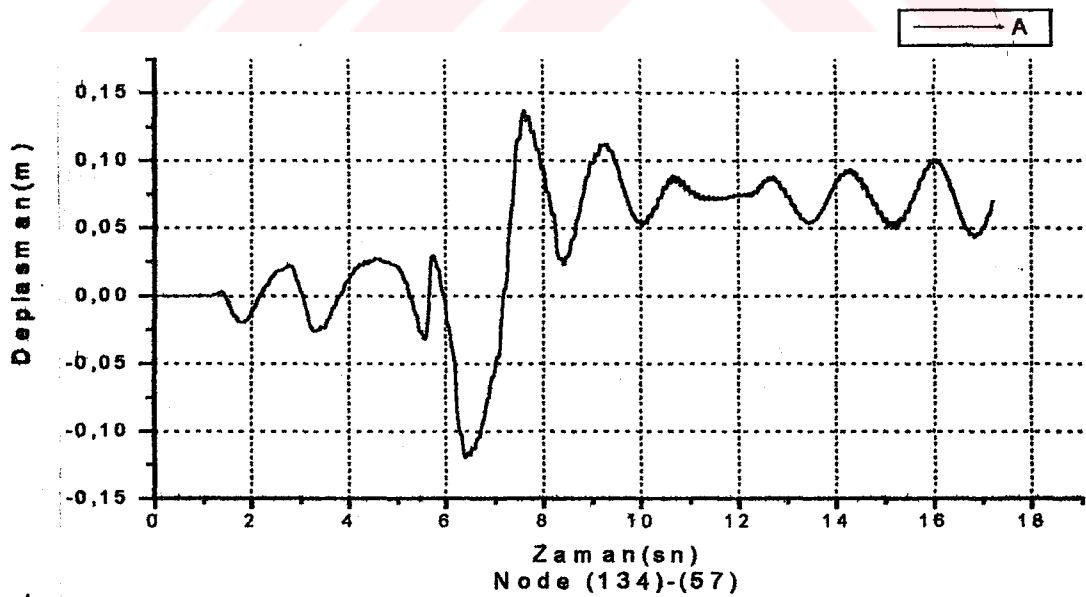
Graph Number 2



Resultant Disp Node 134 / Response Time(37) —

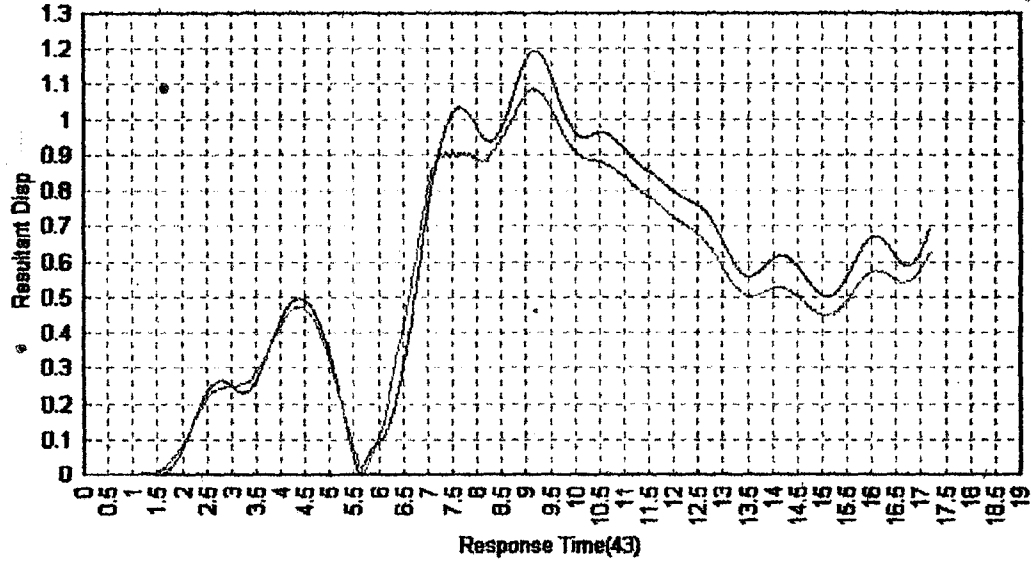
Resultant Disp Node 57 / Response Time(39) - -

Şekil 7.39. 7 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.40. 7 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

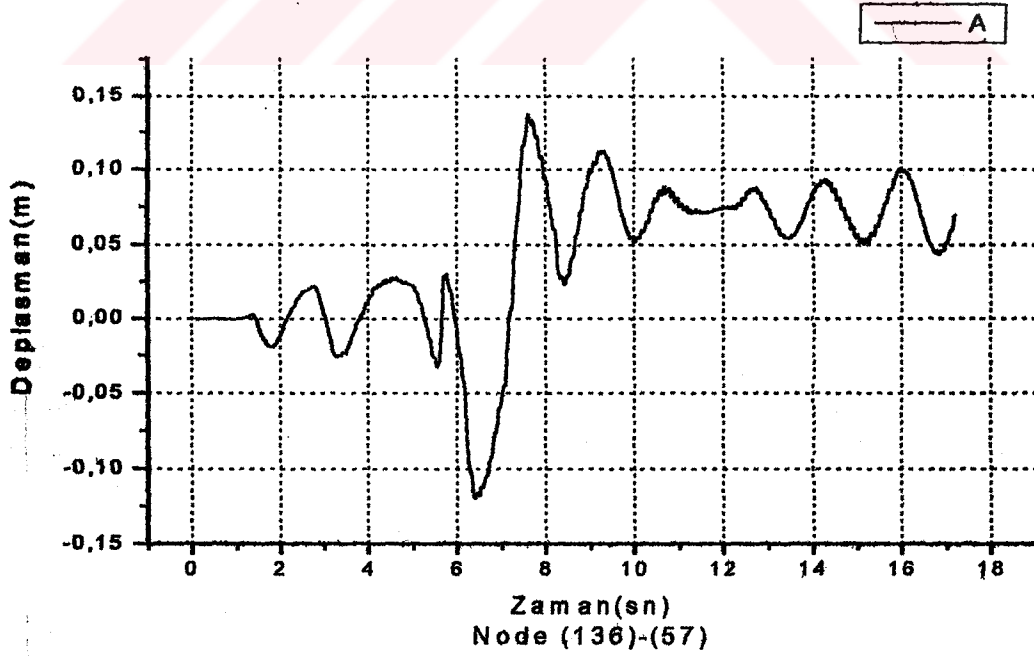
Graph Number 2



Resultant Disp Node 136 / Response Time(43) —

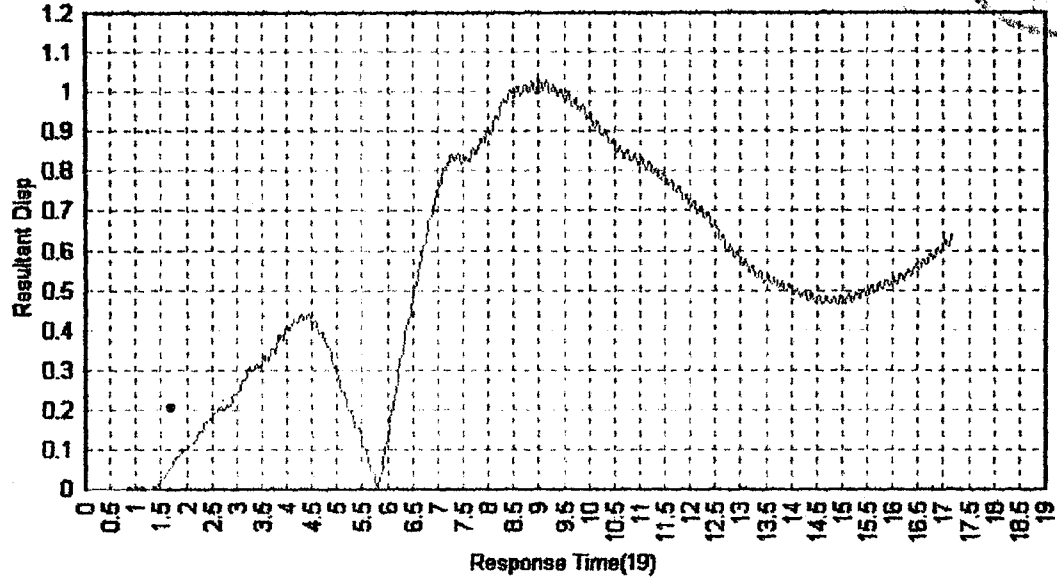
Resultant Disp Node 57(46) / Response Time(45) —

Şekil 7.41. 8 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği

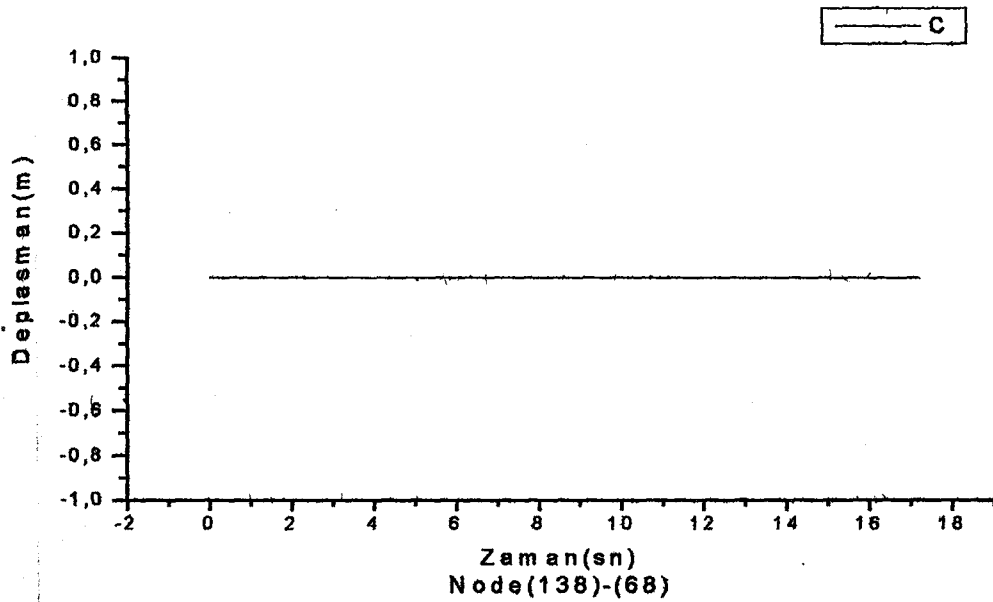


Şekil 7.42. 8 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

Graph Number 1

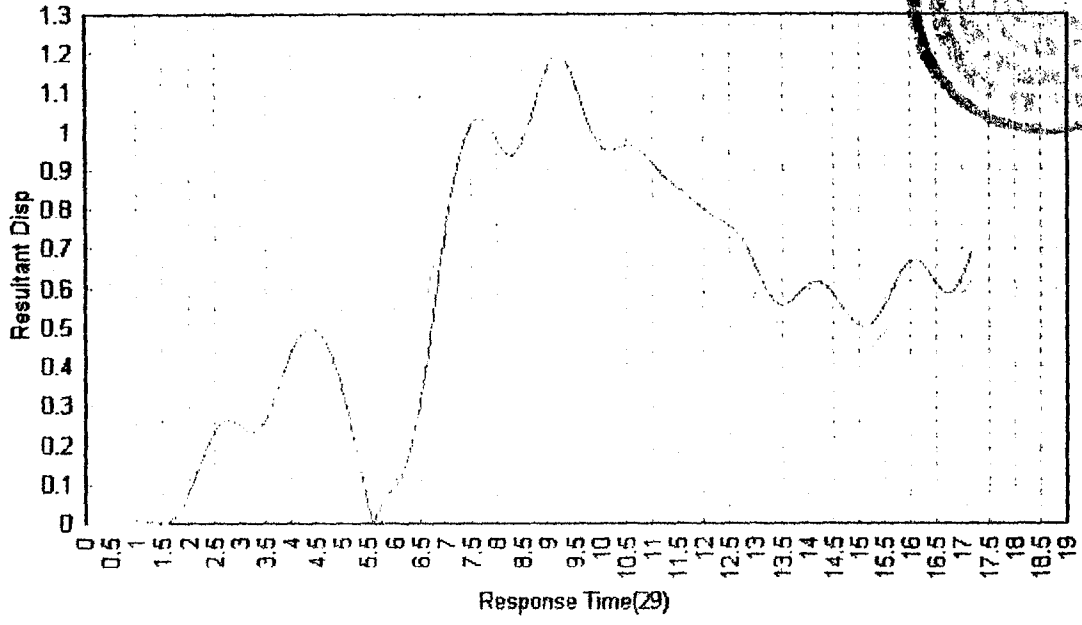


Şekil 7. 43. 9 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.44. No 'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

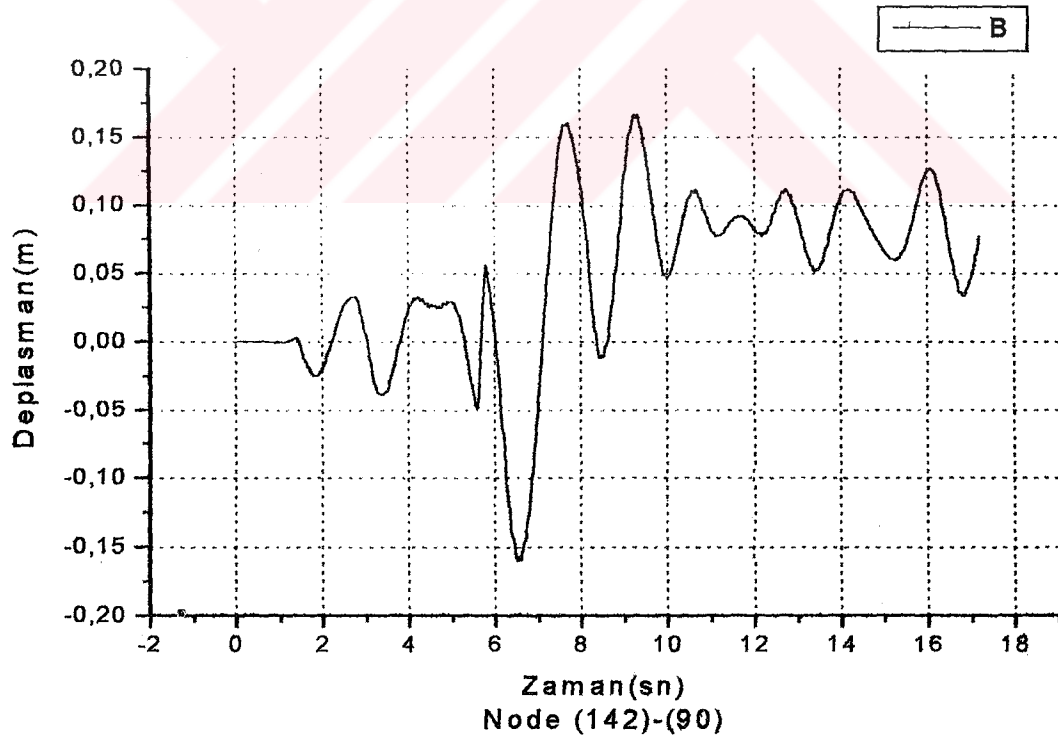
Graph Number 1



Resultant Disp Node 142 / Response Time(29)

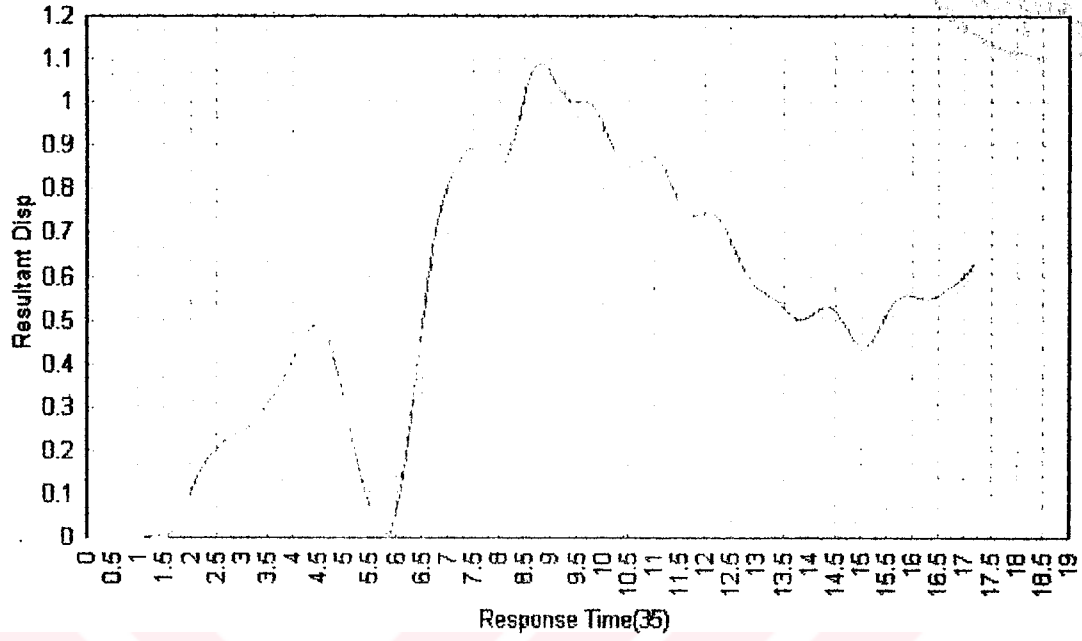
Resultant Disp Node 90 / Response Time(31)

Şekil 7.45. 10 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.46. 10 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

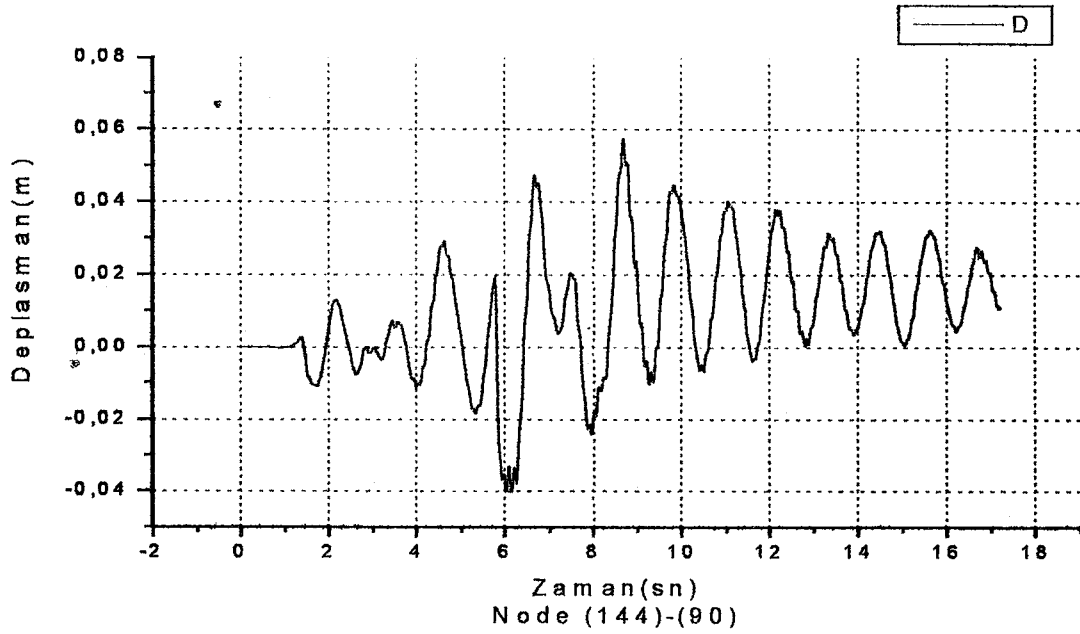
Graph Number 1



Resultant Disp Node 144 / Response Time(35)

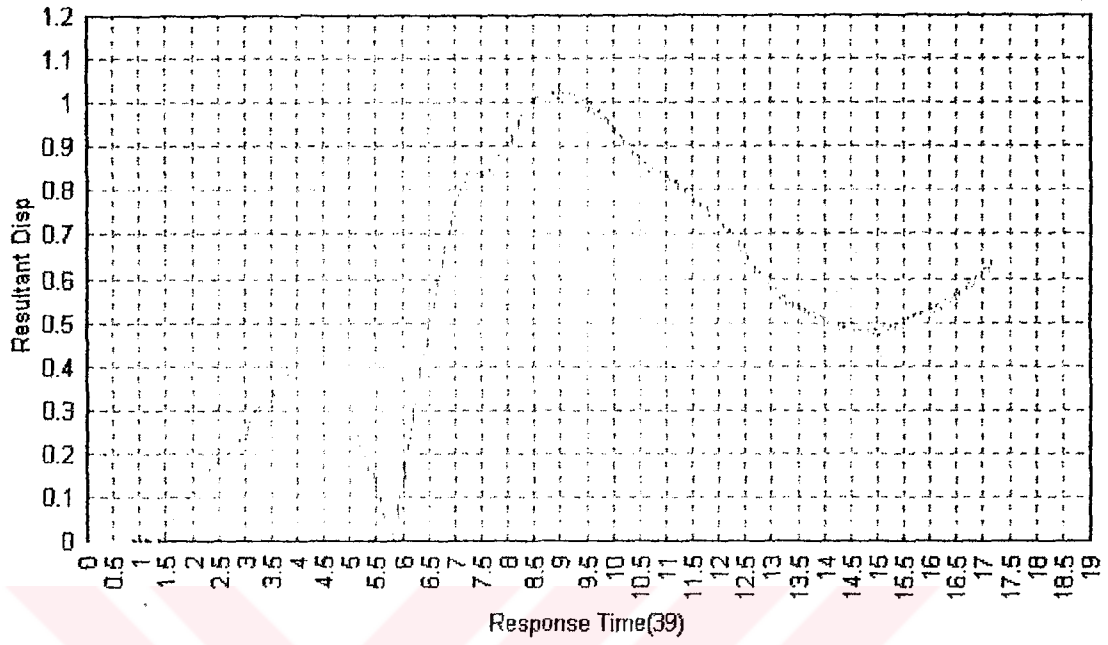
Resultant Disp Node 90(36) / Response Time(37)

Şekil 7.47. 11 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği

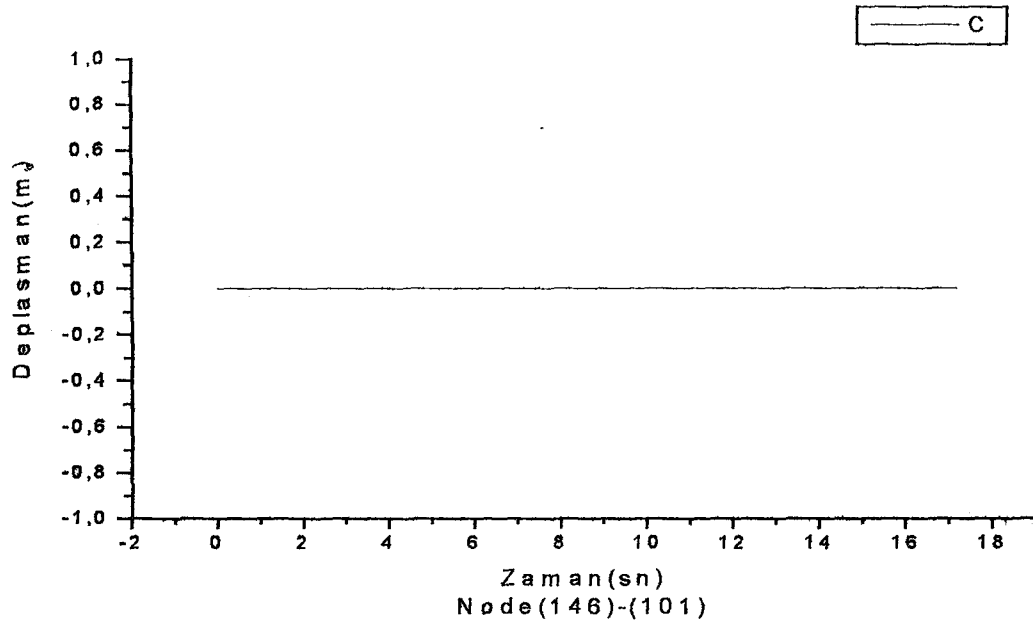


Şekil 7.48. 11 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

Graph Number 1

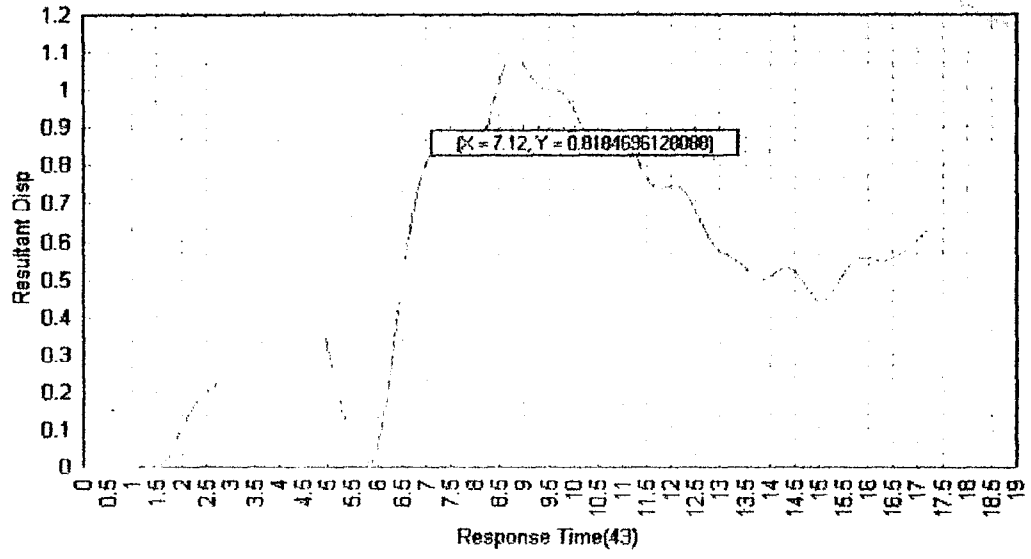


Şekil 7.49. 12 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.50. 12 No'lu İzolatörün Zaman Deplasman Grafiği

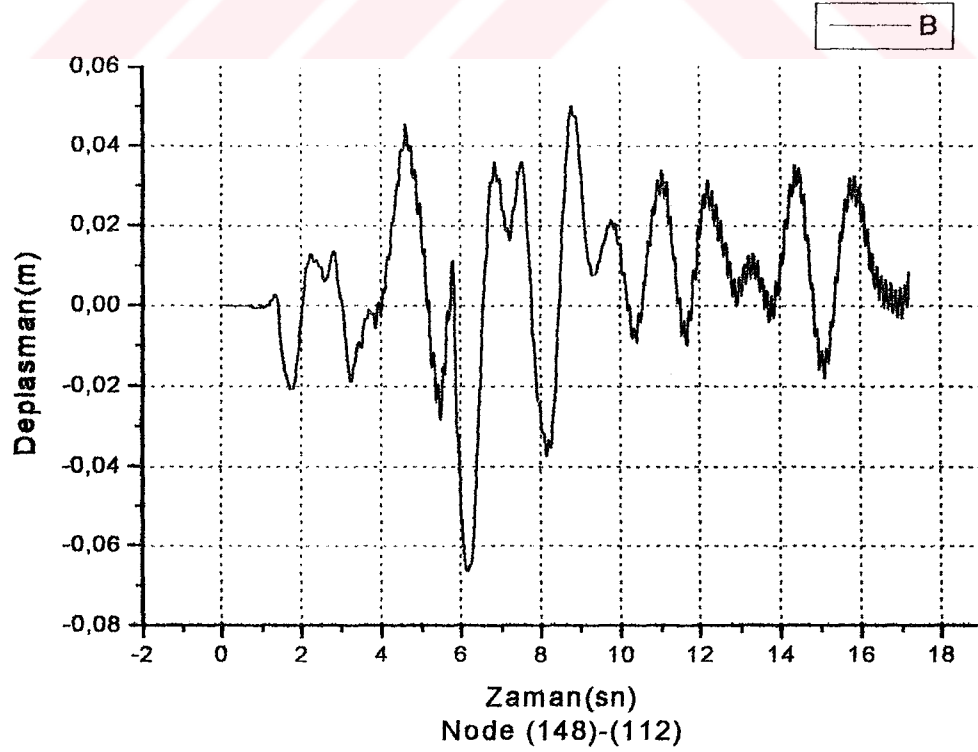
Graph Number 1



Resultant Disp Node 148 / Response Time(43)

Resultant Disp Node 112 / Response Time(45)

Şekil 7.51. 13 No'lu İzolatörün Uç Noktalarının Zaman Deplasman Grafiği



Şekil 7.52. 13 No'lu İzolatörün Deplasman Grafiği

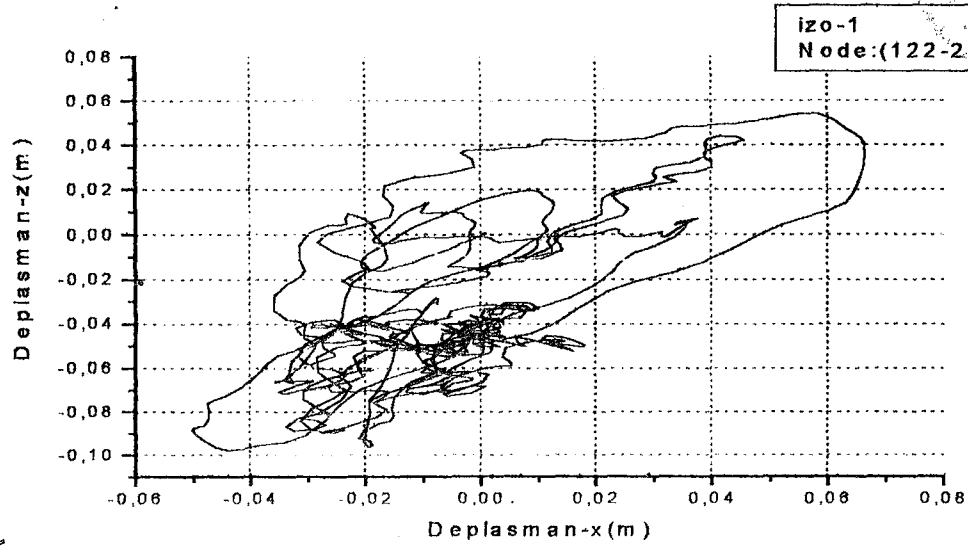
Tablo 7.2. Boylamasına (Longitudinal) Yöndeki İzolatör Deplasmanları

İzolatör No	+ x yönünde deplasman, (m)	- x yönünde deplasman, (m)
1	0,09712	0,0541
2	0	0
3	0,082	0,045
4	0,1124	0,1213
5	0	0
6	0	0
7	0,139232	0,1672
8	0,1472	0,1026
9	0	0
10	0	0
11	0,0986	0,1142
12	0,0763	0,0583
13	0	0
14	0,098	0,058

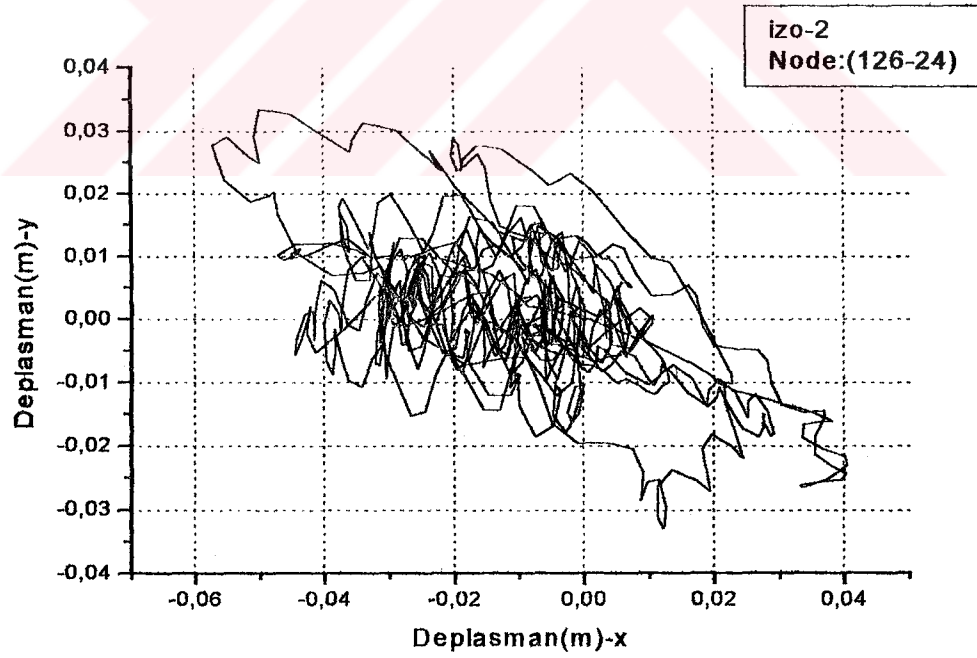
Boylamasına (Longitudinal) yönde doğrusal olmayan zaman geçmiş analizi yapıldıktan sonra elde edilen izolatör deplasmanlarının mutlak değerleri bulunarak, tablo halinde sunulmuştur (Tablo 7.2.). Tablodan anlaşıldığı gibi boylamasına yönde elde edilen maksimum deplasman 7 no'lu izolatörde 0,1672 m olarak bulunmuştur.

7.3. Enlemesine ve Boylamasına Yönlerde Elde Edilen Bileşke Deplasman Grafikleri

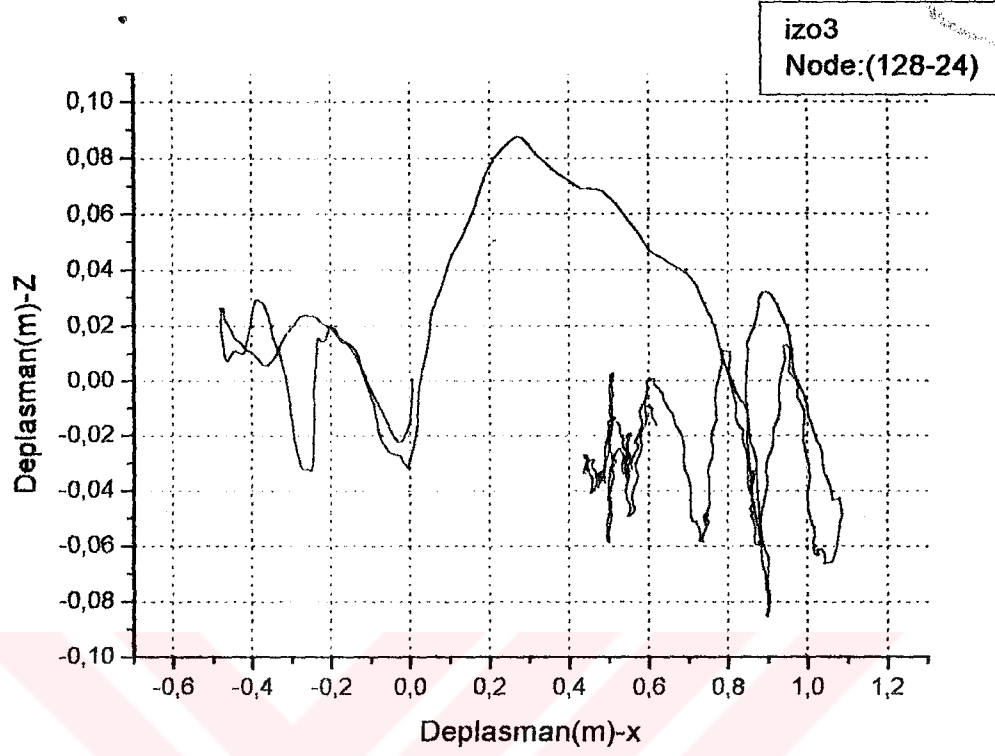
Enlemesine ve boylamasına yönlerde deprem uygulanması ile elde edilen izolatör deplasmanları, birleştirilerek izolatörlerin bileşke deplasman grafikleri elde edilmiştir.



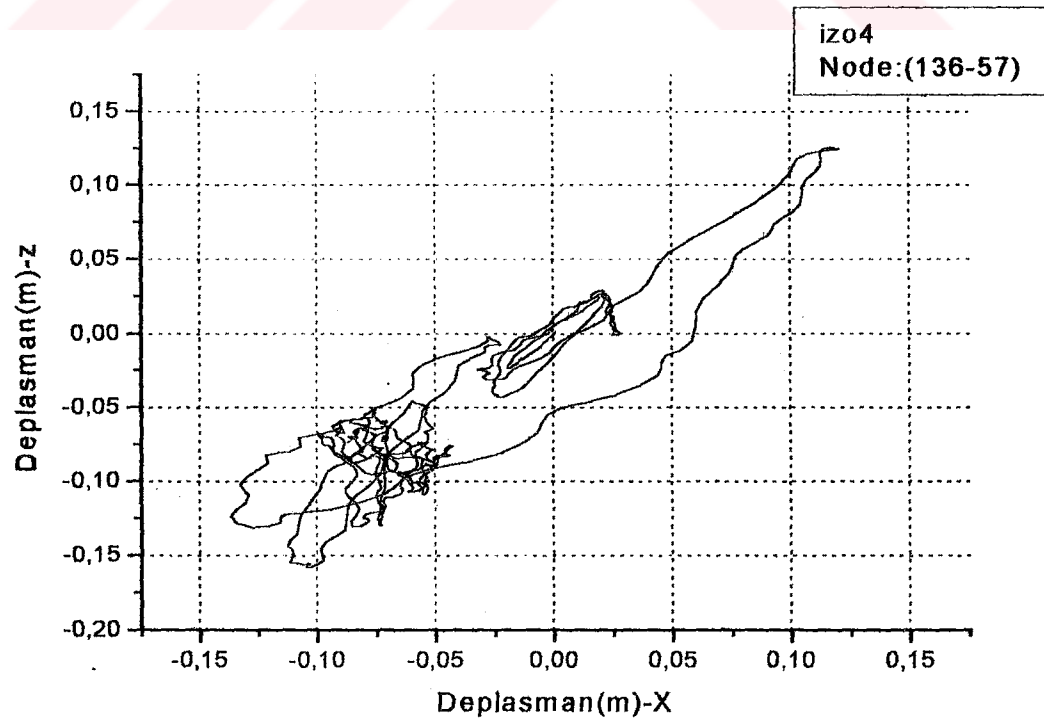
Şekil 7.53. 1.No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği



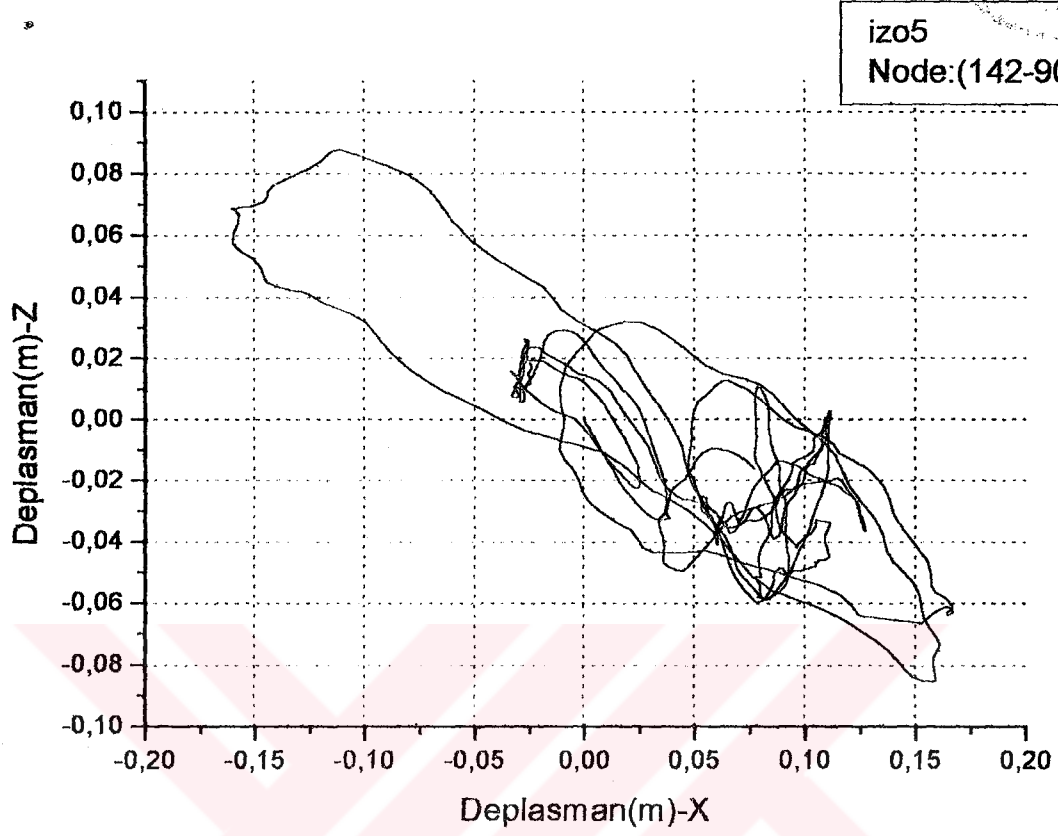
Şekil 7.54. 2.No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği



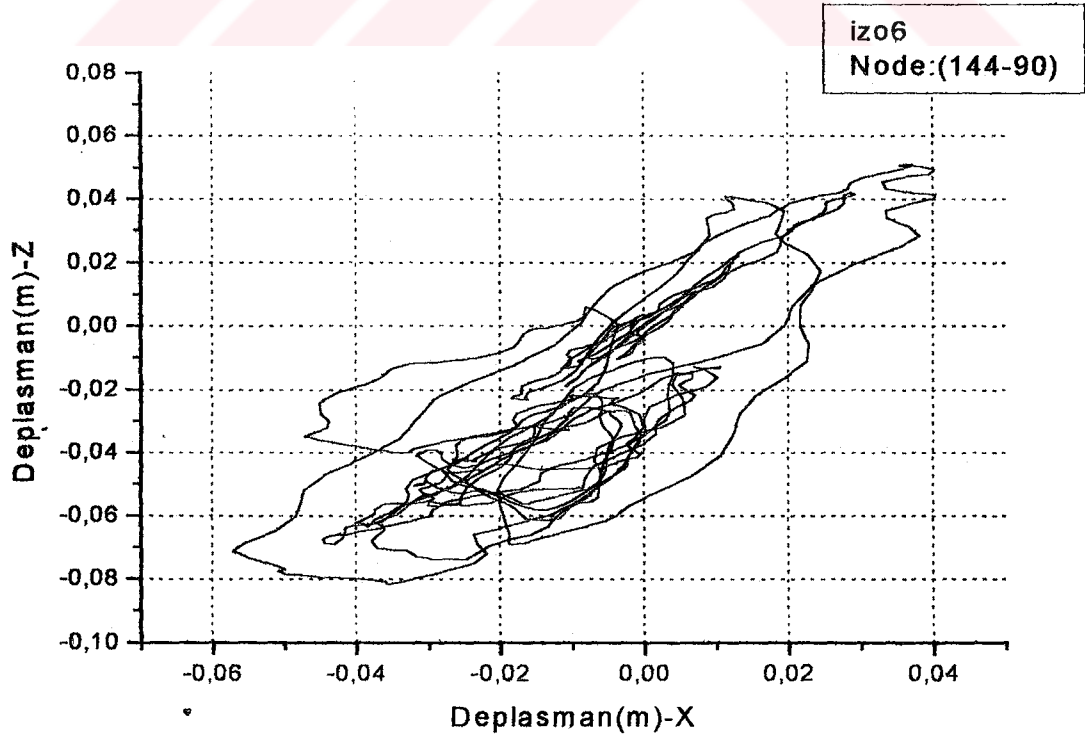
Şekil 7.55. 3.No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği



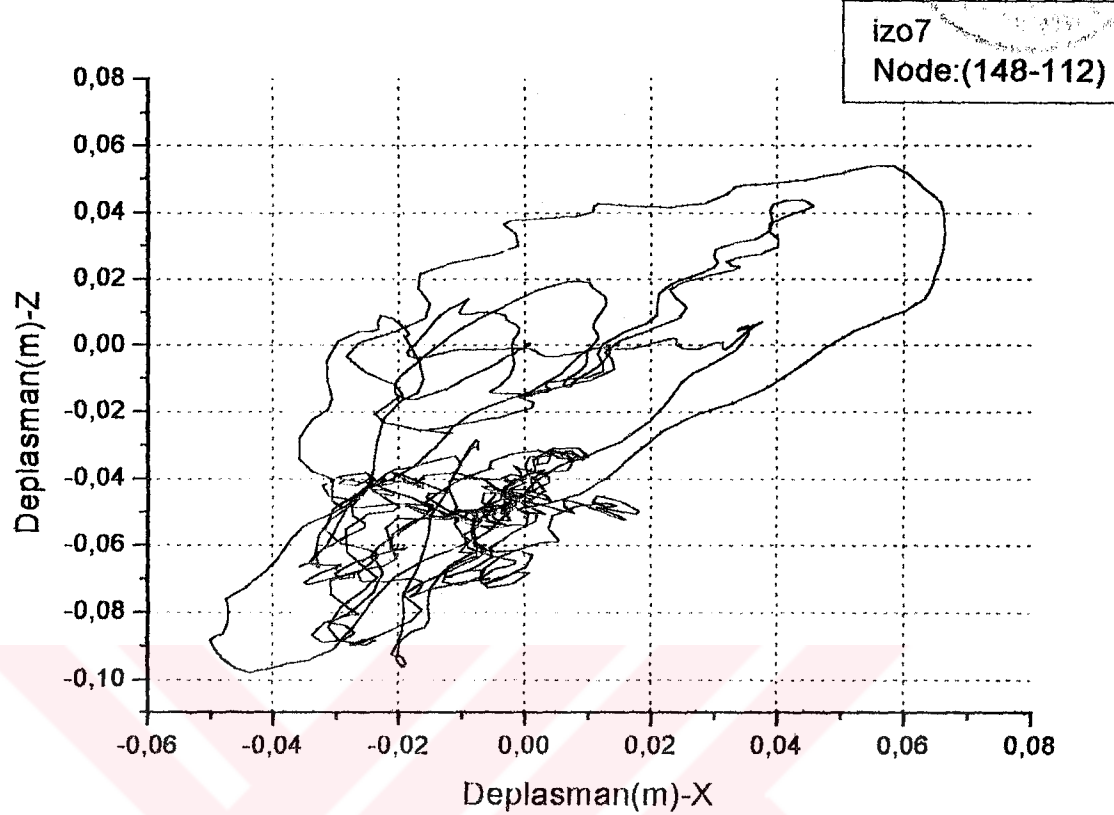
Şekil 7.56. 4 No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği



Şekil 7.57. 5 No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği



Şekil 7.58. 6 No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği



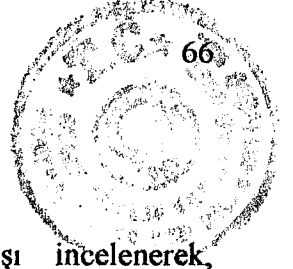
Şekil 7.59. 7 No'lu İzolatörün Bileşke Deplasman Grafiği

Sakarya'da kaydedilen deprem kayıtları modifiye edildikten sonra, Boylamasına (lokal x), Enlemesine (lokal z) doğrultularında modele uygulanmış ve izolatörlerin longitudinal ve transverse yönlerde yapmış oldukları deplasmanları gösteren deplasman-zaman grafikleri ile bu doğrultularda yapılan deplasmanların bileşkesini gösteren deplasman-zaman grafikleri elde edilerek izolatörlerin yapmış oldukları maksimum deplasman değerleri bulunmuştur.

Modal spektral analizde 92 ASSTHO spektrumu kullanılarak izolasyon sisteminin lokal x doğrultusunda maksimum deplasmanı 0,1213 m; lokal z doğrultusunda maksimum deplasman ise 0,081 m değerleri elde edilmiştir. Doğrusal zaman geçmişi analizinde Sakarya'da kaydedilen deprem kayıtları kullanılarak izolasyon sisteminin lokal x doğrultusunda maksimum deplasmanı 0,1672 m, lokal z doğrultusunda maksimum deplasman ise 0,1729 m olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında 92 ASSHTO spektrumu kullanılması sonucu elde edilen

deplasman değerlerinin, Sakarya deprem kaydı kullanılarak zaman tanım alanında yapılan analiz sonucu elde edilen deplasman değerlerinden küçük oldukları görölmektedir.





8. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Sakarya Viyadüğünün deprem davranışı incelenerek, Viyadüğün depremin etkisine karşı gösterdiği tepkiyi belirleyen analizler yapılmış, Viyadükte meydana gelebilecek muhtemel hasarlar araştırılmış ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Sakarya Viyadüğü yapısal olarak rijit bir üst yapı (tabliye), üst yapıyı destekleyen pylonlar(pier) ve üst yapı ile kolonlar arasında bulunan elastomerlerden oluşmuştur.Üst yapı üç yerden genleşme derzleri ile bölünmüştür(expansion joint). Sakarya Viyadüğü LUSAS ile modellenerek ilk olarak spektral analizi yapılmıştır. Spektral analizde zemin sınıfı 3 için 92 ASSHTO spektrumu kullanılarak Viyadüğün izolasyon sisteminin enine doğrultuda maksimum deplasman gereksinimi 0,081m, boyuna doğrultuda maksimum deplasman gereksinimi 0,1213m olarak bulunmuştur. 17 Ağustos 1999 depreminin Sakarya da kaydedilen deprem dataları kullanılarak yapının doğrusal zaman geçmişi analizi yapılmıştır.Doğrusal zaman geçmişi analizi sonucunda Viyadüğün izolasyon sisteminin genleşme derzlerinin bulunduğu kısımlarında Transverse(enine) doğrultuda yapmış olduğu deplasman 0,1729m, longitudinal(boyuna) doğruldu da ise yapmış olduğu deplasman 0.1672 m olarak bulunmuştur.

Her iki analiz sonucunda bulunan deplasmanlar kıyaslanmıştır. Kıyaslamadan görüleceği gibi genleşme derzlerinin kullanıldığı bölümlerde bulunan elastomerlerde meydana gelen deplasmanlar 92 ASSHTO şartnamesine cevap verebilecek düzeyde değildir. Termal etkiler sonucu oluşabilecek deplasmanlara cevap vermesi amacıyla tasarlanmış olan bu elastomerlerin sismik etkilerde yeterli performansı gösteremedikleri anlaşılmaktadır. İzolasyon sisteminin tekrar tasarlanarak amaca uygun hale getirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR



1. American Association of State Highway and Transportation Officials, 1996, Washington, D.C.
2. Anıl K. Chopra. Dynamics of Structures Theory and Application to Earthquake engineering, USA, 1995
3. August, 17 1999 Kocaeli Earthquake Sakarya Record
<http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>.
4. Farzad Naeim and Jame M. Kelly Design of Seismic Isolated Structures From Theory to Practice, USA, 1999
5. Lusas Finite Element Analysis Program, Version 13.4
6. Miscellaneous documents about soil profiles of Sakarya region,
http://www.boun.edu.tr/deprem_tur.html.
7. Uçkan E., Öven V.A., and Erdik M. A Study of The Response of The Mustafa İnan Viaduct to The Kocaeli Earthquake. Bulletin of the seismological society of America, 92, 1, pp. 483-498, February 2002L
8. Zekai Celep ve Nahit Kumbasar. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul, 2000

ÖZGEÇMİŞ

1974'da K.Marařta doğdu. İlkokulu Evcihüyük İlkokulunda tamamladıktan sonra orta ve lise öğrenimini Mükrimin Halil Lisesinde tamamladı. 1995 yılında girdiği Ö.S.Y.S sınavında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. İnşaat Mühendisliği Bölümünü 1998 yılında bitirdikten sonra özel sektörde 1 yıl uygulama mühendisi olarak çalıştı. 1999 Yılında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Deprem ve Yapı Anabilim Dalı'nda yüksek lisans öğretime başladı. Aynı yıl bölüme Araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Deprem ve Yapı Mühendisliği bölümünü 2002 güz döneminde bitirdi.

