



T.C.
BAYINDIRLIK ve İSKÂN BAKANLIĞI
AFET İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
DEPREM ARAŞTIRMA DAİRESİ

DEPREM ARAŞTIRMA BÜLTENİ

47



Deprem Araştırma Bülteni (DAB)

*Bulletin of Earthquake Research
(Bull. Earthq. Res.)*



Ekim [October] / 1984
Cilt [Volume]: 11

Sayı [Issue]: 47

İÇİNDEKİLER [INDEX]

Sayfa [Page]

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Deprem Bölgelerinde Çerçeve Kirişleri ve Perde Bağ Kirişlerinin Donatı Miktarı ve Yerleştirilmesi [Reinforcement Amount and Placement of Frame Beams and Shear Tie Beams in Seismic Zones]

Melike ALTAN 5-17

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Yer altı Boru Hatlarının Dinamik Analizi [Dynamic Analysis of Underground Pipelines]

Fatih İMER, Nuri AKKAŞ 18-63

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Ege Denizinde Rayleigh Dalgalarının Faz Hızları ve Girişimin Etkisi [Phase Velocities of Rayleigh Waves and the Effect of Interference in the Aegean Sea]

Ülben EZEN 64-94

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Değişen Dalgalar İçeren Yakın Depremleri Kullanarak Kabuk Yapısının Tayini [Determination of Crustal Structure Using Near Earthquakes with Alternating Waves]

Nusret SANCAKLI 95-134

**DEPREM
ARAŞTIRMA
BÜLTENİ**

47

**DEPREM
ARAŞTIRMA
BÜLTENİ**

47

DEPREM ARASTIRMA
BÜLTENİ



Üç Ayda Bir Yayınlanır
Bilim ve Meslek Dergisi



Sahibi
Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Adına
Oktay Ergünay
Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğü
Deprem Araştırma Dairesi Başkanı



Yazı İşleri Müdürü
Erol Aytac
(Jeomorfoloj)

Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğü
Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı



Yazışma Adresi
Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğü
Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı
İrtibat Bürosu Yüksel Cad. No. 7/F



Yenişehir - ANKARA



Telefon : 17 69 55 - 23 72 65



Teknik Araştırma ve Uygulama
Genel Müdürlüğü Matbaası

DEPREM ARAŞTIRMA BÜLTENİ

YIL : 11

SAYI : 47

EKİM 1984

BU SAYIDA

Deprem Bölgelerinde Çerçeve
Kirişleri ve Perde Bağ Kiriş-
lerinin Donatı Miktarı ve
Yerleştirilmesi Melike ALTAN

Yeraltı Boru Hatlarının
Dinamik Analizi Fatih İMER
Nuri AKKAŞ

Ege Denizinde Rayleigh
Dalgalarının Faz Hızları
ve Girişimin Etkisi Olben EZEN

Değişen Dalgalar İçeren
Yakın Depremleri Kullanıla-
rak Kabuk Yapısının Tayini Nusret SANCAKLI

DEPREM BÖLGELERİNDE ÇERÇEVE KİRİŞLERİ ve PERDE BAĞ KİRİŞLERİNİN DONATI MİKTARI ve YERLEŞTİRİLMESİ

Yar.Doç.Dr. Melike ALTAN*

ZUSAMMENFASSUNG

Während eines Erdbebens schwanken die Schnittgrößen eines Tragwerkes zwischen einem Maximum- und Minimum-Wert. In manchen Fällen können diese Werte mit einem entgegengesetzter Vorzeichen gegenseitig gleich sein.

Die Untersuchungen vieler Bauten nach einem Erdbeben haben gezeigt, dass die Bemessung und Bewehrung solcher Querschnitte nach diesem positiven und negativen Wert mangelhaft sind.

Bei den erdbebensicheren Bauten müssen die Energie - absorpsition- und Energiedampfungskapazitäten der Gewichtseinheit des Tragwerkes sehr hoch sein. Aber man weiss, dass sowohl der unbewehrte Beton und als auch der bewehrte Beton diese Eigenschaften nicht besitzt. Aus diesem Grunde versucht man, durch seismische Versuche über die Stahlbetontragwerke, dessen Elemente und Verbundstellen, die Grundlagen der Bemessung und Bewehrung eines Tragwerkes festzustellen,

**i.T.Ü. İnşaat Fakültesi
Yapı Anabilim Dalı
AYAZAĞA*

die die oben genannte Eigenschaften besitzt.

Die grundlegenden Arbeiten bis zum Jahre 1970 sind in unserem Lande gültigen Erdbeben-Norm in Betracht genommen. Die anschliessenden Arbeiten ab 1970 haben gezeigt, dass in dieser Norm einige Änderungen und Ergänzungen notwendig sind. Besonders sind die Grundlagen, die die Hysteresen der plastischen Bereiche unter grosser Querkraftbeanspruchung stabilisieren, von grosser Bedeutung. In dieser Arbeit wird versucht, einige Grundlagen für die Bemessung und Bewehrung der Rahmenbalken, der Verbindungsbalken zwischen den Scheiben und Rahmen, oder zwischen zwei Scheiben, zu geben.

1. GRI

Deprem etkisinin taıyıcı sistem kesitlerinde meydana getirdiği ($+IF_d$, $-IF_d$) eklindeki tekrarlı, yn değitiren i kuvvetler nedeniyle taıyıcı sistemin iç kuvvetleri deprem süresince bir minimum değerle bir maksimum değer arasında salınım yapmakta ve bazen minimum değer, maksimum değere ters işaretle eşit olabilmektedir. Salınım sayısı depremin süresine göre değişmektedir.

Bu durumda ilk düşünülen husus aynı bir kesitin, kendisine etkiyen pozitif ve negatif tesirlere göre hesap ve donatılmasıdır.

Ancak bu esasa göre inşa edilmiş taşıyıcı sistemlerde depremden sonra yapılan incelemeler, yapının bazı elemanla-

rında ve bazı birleşim noktalarında yeterli taşıma gücü ve rijitliğin sağlanamadığını göstermektedir.

Bir yapının deprem esnasında gösterdiği lineer olmayan davranışının (iç kuvvet, şekil değiştirme ve yer değiştirme alanlarının tümü), temel zemini hareketinin dinamik karakteristiklerine ve taşıyıcı olan ve olmayan elemanlarının mekanik karakteristiklerine bağlı olduğu kolayca söylenebilir.

Ancak betonarme sistemlerin şiddetli depremlerde ki davranışları, sistemin bir elemanının herhangi bir kritik bölgesinin performansının, yukarıda sıralanan faktörlerden başka, bu bölgede mevcut esas ve tali donatıların miktar ve yerleştirilmesine de bağlı olduğunu göstermektedir. Bu durum kısaca şu şekilde açıklanabilir: Depreme dayanıklı yapılar da taşıyıcı sistem malzemesinin birim ağırlığının enerji absorbe etme ve enerji yoketme kapasitelerinin çok yüksek olması gerektiği fizikten bilinen esaslarla kolayca söylenebilir. Malzemenin bu iki özelliğe sahip olması ise ancak onun birim ağırlık için, a) çekmede ve basınçta yüksek bir şekilde değiştirme kabiliyetine, b) yüksek rijitliğe, c) yüksek içsel sürtünmeye, d) frekansı küçük şekilde değiştirme salınımlarında yüksek bir yorulma direncine, e) yine böyle salınımlarda stabil bir histerezis eğrisine sahip olması ile mümkündür. Böyle bir malzemedan yapılmış taşıyıcı sistemde deprem sırasında şekilde değiştirmeler kırılma olmadan elastik limitin ötesinde büyük değerler alabilmekte (düktil malzeme-enerji absorbe edilmesi) ve bu özellik bu tip salınımlarda kaybolmamakta, histeresizli içsel sürtünme nedeniyle enerji yok edilebilmektedir.

Donatısız betonun böyle bir malzeme olmadığı açıktır. Normal donatılı betonun yeter derecede düktil olmadığı bilinmektedir.

Bu nedenle betonarme bir taşıyıcı sistemin elemanları, birleşim yerleri ve bir bütün olarak sistemin kendisi, tekrarlı, yön değiştiren kuvvetler altında deneye tabi tutularak yukarda sıralanan özelliklere sahip bir malzeme ve sistem elde etmenin ve bu suretle deprem bölgelerinde istenilen mertebede emniyetli boyutlandırma ve donatı yerleştirilmesi esaslarının tespitine çalışılmaktadır.

İşe giren faktörlerin çokluğu kısa sürede bu konuda yeterli sonuç alınmasını güçleştirmektedir. 1970 yılına kadar yapılan araştırmaların bazı sonuçları "Yapı Yönetmelikleri"ne aksetmiş bulunmaktadır. Ülkemizde 1975 yılında yürürlüğe giren "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"te [1] , deprem bölgelerindeki betonarme taşıyıcı sistemlerin hesap ve donatı yerleştirilmesi hakkında birçok faydalı kural yer almıştır. Ancak araştırılması gerekli birçok nokta da geride kalmış bulunmaktadır.

1970 den sonraki araştırmalar henüz her alanda yeterli bir sonuca varmamış olmakta beraber [1] deki sonuçlara ilaveler ve değişiklikler getirebilmiştir. Bilhassa büyük kesme kuvvetlerine maruz plastik mafsal durumundaki bölgelerin histerezislerini stabil bir duruma getirebilme esasları belirtilmeye değer.

Bu çalışmada betonarme çerçeve kirişleri ile çerçeve-perde ve boşluklu perde bağ kirişlerinin ve kolon-kiriş birleşim yerlerinin hesap ve donatı yerleştirme esasları özet olarak verilmiştir. Kolon ve perdeler için elde edilmiş sonuçlar ayrı yazıda belirtilecektir.

2. ÇERÇEVE KİRİŞLERİ [2]

a) Çerçeve kirişlerinde [1] de müsaade edilen çekme donatısı yüzdesi ρ daha da azaltılmalıdır ve herhalde $0,75 \rho_b$ (ρ_b = dengeli durum donatı yüzdesi) den ve $0,025$ den küçük olmalıdır.

b) Kirişlerin kolonlarla birleşim bölgelerinde pozitif moment için konan donatı yüzdesi ρ' , 1.ci ve 2.ci derece deprem bölgelerinde negatif moment donatısı yüzdesi olan ρ nun $0,75$ katından az olmamalıdır.

c) Bilhassa plastikleşme bölgelerinde kiriş boyuna dantuların flambajına mani olmak için etriye aralığı boyuna donatı çapının 6 katından fazla olmamalıdır.

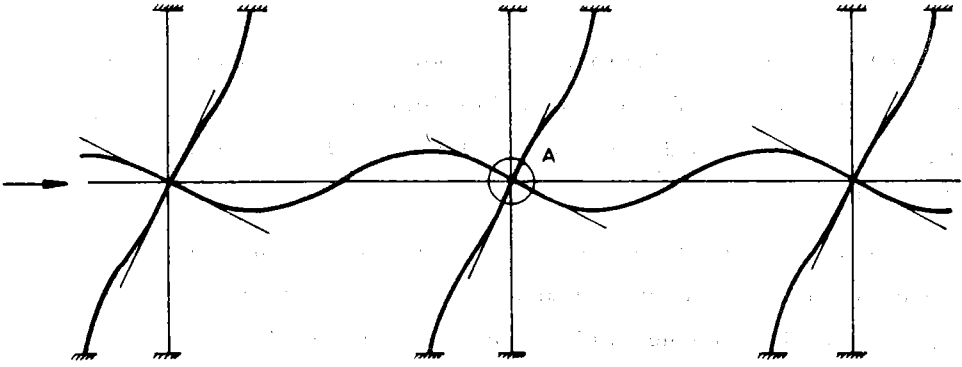
d) Normal kayma gerilmelerinin maksimum değeri τ_{maks} , $0,79 \sqrt{f_c}$ (kg/cm^2) den küçük olduğu yerlerde [1] deki şartların sağlanması halinde yeterli derecede stabil histerezis sağlanabilmektedir.

e) Normal kayma gerilmelerinin maksimum değeri $1,59 \sqrt{f_c}$ (kg/cm^2) değerini geçmemelidir.

f) τ_{maks} değerinin $0,79 \sqrt{f_c}$ ile $1,59 \sqrt{f_c}$ (kg/cm^2) arasında olduğu durumlarda plastik bölgelerde büyük kesme

kuvveti etkileri var demektir. Böyle büyük bir kesme kuvvetinin varoluşunun sonuçları bir kiriş-kolon birleşim yerinde incelenebilir.

Depremin soldan etkidiği kabul edilerek Şekil 1 deki A düğüm noktası gözönüne alınsın. Bu düğüm noktasının

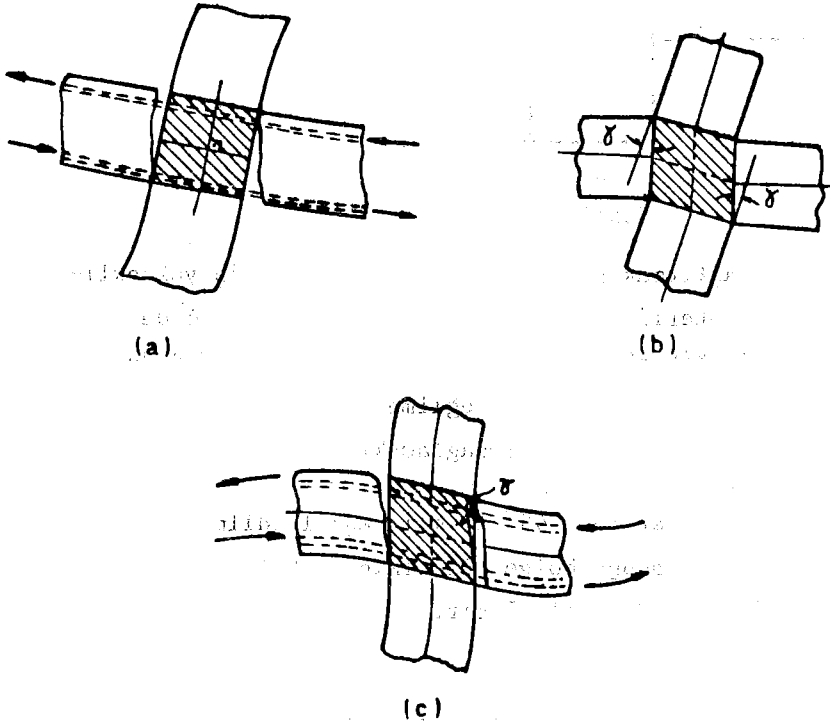


Şekil 1

şekil değiştirme durumu, Şekil 2.a daki yalnız eğilmeden oluşan şekil değiştirme ile Şekil 2.b deki kesme kuvvetinden oluşan şekil değiştirmelerin toplamı olarak Şekil 2.c de gösterilmiştir.

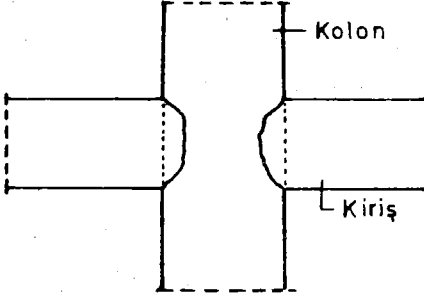
Şekil 2.c deki kesitin taşıyabileceği kesme kuvvetinin çok küçük olacağı açıktır. Ayrıca hareketin yön değiştirmesi halinde çatlama ters yönde olacak ve kirişin kolonla birleşim kesitinde kiriş kesiti tamamen kesilmiş gibi olacaktır. Bu halde kesitte kesme kuvveti, temas eden yüzlerdeki sürtünme kuvveti, kiriş eğilme donatılarının kayma deformasyonu sebebiyle (dowel) gibi çalışması ve varsa eğik gövde

donatısı tarafından taşınacaktır. Bunlardan ilk ikisinin taşıdığı kesme kuvveti miktarı azdır ve eğilme donatılarının gerilmesinin akma limitine erişmesi ile çatlak genişledikçe iyice azalacaktır. Beton bölgesi iyice küçülecek ve hem büyük basınç ve hem de büyük kayma gerilmeleri sebebiyle beton basınç bölgesi ezilecektir. Eğer eğik gövde donatısı yoksa kırılmanın yükün daha küçük değerlerinde meydana geleceği açıktır. Buna göre eğik gövde donatısı kullanmak gereklidir.



Şekil 2

Bu bölgede ortaya çıkan diğer bir olay da plastik mafsal kiriş uçlarında meydana gelirken Şekil 3 de görüldüğü gibi kolon kesitinin zayıflamasıdır. Bu zayıflamanın önlenmesi gerekir. Bunun için plastik mafsal noktasını kolon

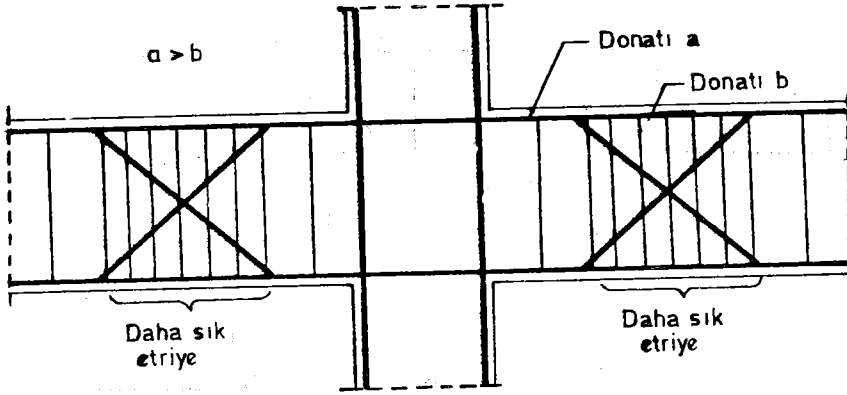


Şekil 3

yüzünden uzaklaştırmak gerekir. Bu uzaklaşma kiriş yüksekliği kadar olsa yeterlidir [3] Uzaklaştırma Şekil 4 de görüldüğü gibi eğik gövde donatılarını tam kolon yüzünde eğilme donatısı gibi kullanmak, eğilme donatısında akmanın kolon yüzünden uzakta olmasını sağlamakla temin edilebilir.

Eğik gövde donatıları 45° eğimli teşkil edilmelidir. Bu donatıların bulunduğu bölge plastikleşme bölgesi olduğu için sık etriye ile donatılmalıdır.

Diğer bir çare olarak taşıyıcı sistem teşkil edilirken kirişler uzun olacak şekilde sistemi belirtmektir. Bu halde eğilme etkisi yanında kesme kuvvetinin etkisi azalmış olacaktır.



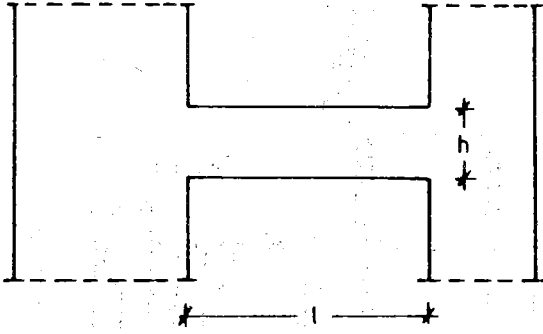
Şekil 4

3. PERDELERİN ve BOŞLUKLU PERDELERİN BAĞ KIRIŞLARI

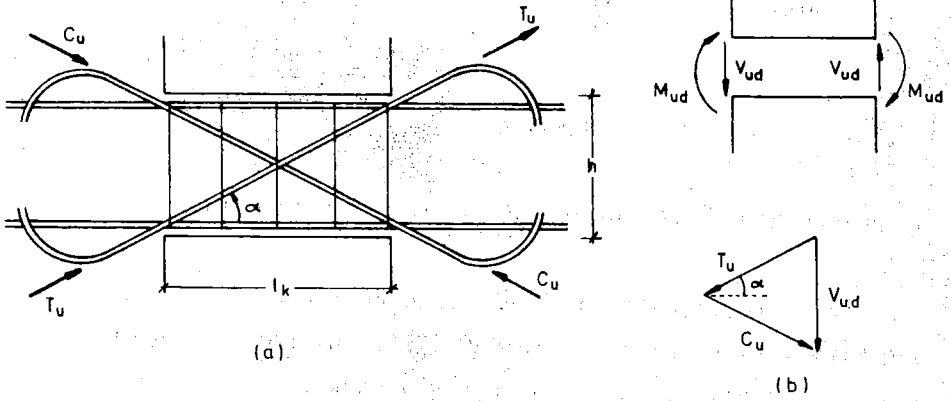
İki perdeyi bağlayan kirişlerle boşluklu perdelerin bağ kirişleri bu sistemlerin düktilitesini temin eden elemanlardır Şekil 5. Ancak h kiriş yüksekliğinin l net kiriş açıklığı yanında çok küçük olmadığı durumlarda, kirişin düktilite ve taşıma gücünün kesme kuvveti nedeniyle azalmaya uğramaması için, bu kirişlerin donatıları Şekil 6 da görülen tarzda diyagonal olarak konmalıdır. Diyagonal donatının konması için sınır olarak kiriş mesnet kesitinde τ kayma gerilmesinin

$$\tau_u = 0,318 \frac{l}{h} \sqrt{f_c} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

değerinden büyük olması verilebilir.



Şekil 5



Şekil 6

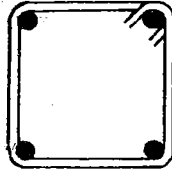
V_{ud} Kesme kuvveti M_{ud} hesap taşıma gücü momentinden

$$V_{ud} = \frac{2M_{ud}}{\ell}$$

olarak bulunur. V_{ud} kesme kuvveti (T_u , C_u) bileşenlerine

ayrılır. Donatı A_s , T_u ya göre hesaplanır.

Ancak bu donatılar basınca da maruz olabildiklerine göre donatı yerleştirilirken her iki diyagonal de en az 4 tane çubuktan teşkil edilmeli ve bunların etrafı ya adımı küçük helis şeklinde veya sık etriye ile sarılmalıdır Şekil 7. Etriye aralığı veya adım olarak diyagonal çubuk çapının 12 katı alınabilir.



Şekil 7

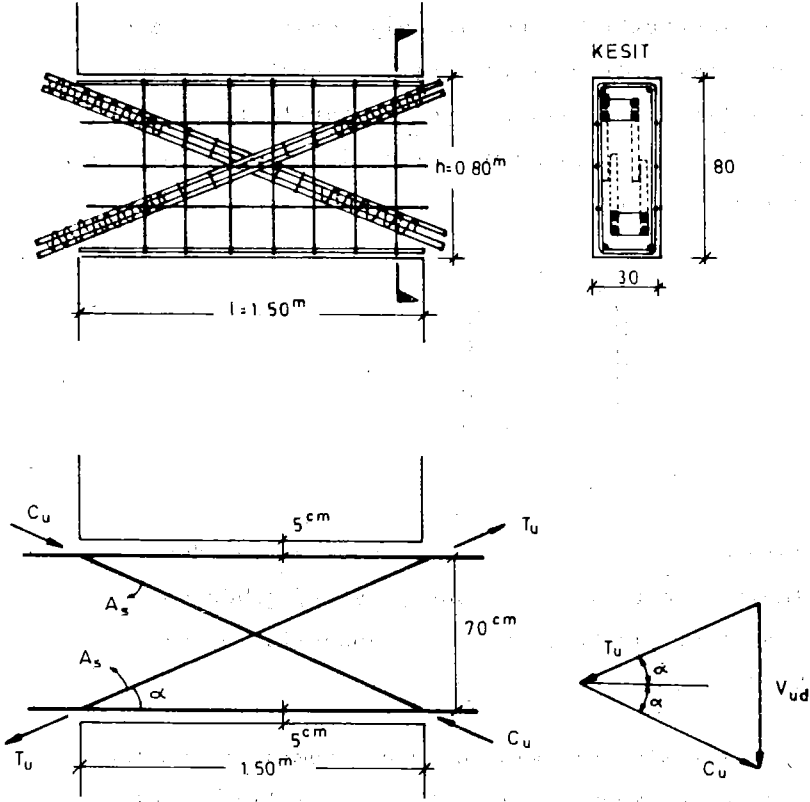
Açıklığın üst ve altında $\frac{1}{4} A_s$ kadar normal donatı yerleştirilmeli ve her iki yüzde düşey, yatay gövde donatıları teşkil edilmelidir Şekil 6.a. Bu donatıların ankrajı bilinen şekilde yapılır.

Perde bağ kirişlerinin kısa olduğu durumlarda temelde ortaya çıkacak çekme kuvvetlerinin temel teşkilinde güçlükler oluşturduğu ve perde yerlerinin iyi seçilmesi gerektiği de unutulmamalıdır.

4. SAYISAL ÇÖZÜM

Şekil 8 de boyutları ve kesiti verilen perde bağ kirişinde iç kuvvetler taşıma gücü yöntemi ile hesaplanarak $V_{ud} = 20$ ton, $M_{ud} = 15$ tm. olarak bulunmuştur. Kiriş mal-

zemesi BS16/BÇIII dür.



Şekil 8

Kirişte diyagonal donatının gerekli olup olmadığının kontrolü :

$$\tau_u = 0,318 \frac{1,5}{0,8} \sqrt{110} = 6,25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = \frac{20 \cdot 10^3}{30 \cdot 80} = 8,33 \text{ kg/cm}^2$$

$\tau_{\max} > \tau_u$ olduğu için diyagonal donatı gerekir. Diyagonal donatının hesabı için gerekli kuvvet Şekil 8 e göre

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,4667 \quad \alpha = 25,02^\circ \quad \sin \alpha = 0,422$$

$$T_u = C_u \frac{20}{2 \cdot 0,422} = 23,70^t$$

$$A_s = \frac{23,70 \cdot 10^3}{3650} = 6,49 \text{ cm}^2 \quad \text{Seçilen donatı } 4\phi 16$$

KAYNAKLAR

- [1] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik 1975.
- [2] BERTERO, V.V. "Seismic Behaviour of Structural Concrete Linear Elements (Beams, Columns) and their Connections," Bulten C.E.B. No.131, 1979.
- [3] POULAY, T. "Earthquake, Resisting Shearwalls" ACI Journal, May-June, 1980.
- [4] ROBERT, P., PAULAY, T. "Reinforced Concrete Structures" John Wiley and Sohn, New York, 1975.

YERALTI BORU HATLARININ DİNAMİK ANALİZİ

Fatih İmer¹ ve Nuri Akkaş²

Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi

ODTÜ, Ankara

ÖZET

Bu çalışmada, uzun, parçalı yeraltı boru hatlarının eksenel yönde dinamik davranışı, boru ve zemin arasında oluşabilecek kaymalar da gözönünde tutularak incelenmiştir. Bu amaca yönelik olarak bir analitik model geliştirilmiştir. Model kurulurken; boru parçaları sonsuz rijit olarak kabul edilmiş, boru parçalarının birleşme noktalarının fiziksel özellikleri birer yay ve sönüm cihazı kullanılarak modellenmiştir. Boru parçası ve zemin arasındaki etkileşim ise seri halde bağlanmış bir yay ve sürtünme cihazı ile modellenmiştir.

Modelin davranışını belirleyen denklemler doğrusal ivme yöntemi ile sayısal olarak çözülmüştür. Yapılan teorik çalışmanın bilgisayar uygulaması olarak PIPE adında bir program geliştirilmiştir. Boru ve zemin arasında oluşan kaymanın yeraltı boru hatlarının eksenel davranışı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kayma halinde, diğer sistem parametrelerinin davranış üzerindeki etkileri de incelenmiştir.

¹ Araştırma Görevlisi, Y.Müh.

² Doç.Dr.

1. GİRİŞ

1.1. Genel

Yeraltında veya üstünde uzanan, aksenal boyutu diğer boyutlarına oranla çok uzun ve toplumun etkinliklerinin aksaksız olarak sürdürülmesi için gerekli yapısal sistemler yaşam hatları (lifelines) olarak adlandırılırlar.

Yaşam hatları genel olarak iki ana grupta ele alınabilir. i) Yerüstü yaşam hatları, ii) Yeraltı yaşam hatları. Yaşam hatlarının önemli bir yüzdesini ikinci grup oluşturur. Yapılan çalışmada bu grup ele alınacaktır.

Geçmiş depremlerden edinilen deneyimler ve yapılan gözlemler yeraltı yaşam hatlarının tasarımında sismik etkilerin gözönünde bulundurulmasının gerekliliğini vurgulamaktadır. Depremlerde su, enerji ve haberleşme hatları gibi yaşam hatlarında oluşan kesintiler özellikle yerleşim bölgelerinde yaşamı büyük ölçüde aksatmakta, deprem hasarına ek fazladan hasarlara yol açmaktadır (1). Örneğin; 1906 San Fernando depreminde hasarın yüzde seksenine su hatlarındaki kesintiden dolayı kontrol edilemeyen yangının neden olduğu saptanmıştır. Benzer olarak, 1923 Kanto, 1948 Fukui, 1964 Alaska, 1971 San Fernando, 1976 Tangshan, 1978 Miyagi-Ken-Okı ve diğer depremlerde yaşam hatlarındaki kesintilerden kaynaklanan yangın, sel, ilk yardımın aksaması gibi nedenlerden dolayı ek hasar ve kayıplar gözlenmiştir. Sözü edilen nedenlerden dolayı, yaşam hatlarının deprem sırasındaki davranışları özellikle 1970'lerden itibaren araştırmacıların ilgisini çeken bir konu olmuştur.

Yeraltı boru hatlarının, daha genel olarak yaşam hatlarının, sismik davranışı alışıl gelmiş türdeki yapılardan oldukça farklıdır. Atalet kuvvetleri normal türdeki yapıların sismik davranışını birincil derecede etkilerken, yeraltı boru hatlarının sismik davranışı, fay oluşumu, bağlı yer hareketleri, zemin sıvılaşması, dalga yayılımı, boru hattı boyunca zemin özelliklerinin farklılaşması faktörlerinden birincil derecede etkilenirler.

Geçmiş depremlerde yapılan gözlemler, yeraltı boru hatlarındaki ana kırılma modlarının boru birleşme noktalarında oluşan çekme kırılmaları ve boru burkulması olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, araştırmacılar yaptıkları çalışmalarında genellikle yeraltı boru hatlarının aksenal yöndeki davranışını incelemişlerdir. Aşağıda, bu konuda yapılmış çalışmaların bir özeti sunulmaktadır.

1.2. Yapılmış çalışmalar

Weidlinger ve Nelson (21) uzun, parçalı yeraltı boru hatlarının farklılaşan yer hareketi (yapının değişik bölgelerinin aynı anda farklı yer hareketine maruz kalması) altında analizi için bir model geliştirdiler. Modelde; boru parçaları sonsuz rijit olarak alınırken, bağlantı özellikleri bir doğrusal elastik yay ve sönüm cihazı ile sembolize edilmiştir. Boru-zemin etkileşimi de benzer şekilde modellenmiştir. Modelin hareket denklemleri mod ayrışımı tekniği kullanılarak çözülmüş ve doğal frekanslar ve modlar için kapalı formda denklemler elde edilmiştir. Komşu iki boru parçasının davranışlarındaki maksimum farklılaşmalardan yola çıkılarak elde edilen ve Etkileşimli Davranış Spektrumunun (Interference Response Spectrum) kullanımını önerilmiştir.

Zemin-boru etkileşiminin modelinde sönüm cihazının kullanılmasının dışında yukarıdaki modele benzer bir model Wang ve Cheng (14) tarafından incelenmiştir. Dinamik terimleri ihmal ederek denklemler basite indirgenmiş ve yeraltı boru hatlarının aksenal davranışı yarı-statik (Quasi-static) diye adlandırılan bu yöntemle ele alınmıştır. Yapılan parametrik çalışmalarda zemin-boru etkileşim parametrelerinin, yayılan sismik dalgaların gecikme zamanının, boru hattı boyunca zemin özelliklerinin farklılaşmasının, sismik dalgaların yayılım süresince uğradığı farklılaşmaların davranış üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuç olarak, sismik dalgaların gecikme zamanının ve zemin özelliklerindeki farklılaşmaların diğer faktörlere oranla yeraltı Boru hatlarının sismik davranışını çok daha fazla etkilediği belirtilmiştir.

Kuribayashi, Wang ve Hadate (10) ögüne değin yeraltı boru hatlarının statik ve yarı-statik analizi ile ilgili çalışmalarını içeren bir rapor yayınlamışlardır. Raporda, yapılan çalışmalar dört grupta ele alınmaktadır. Üst sınır analizleri olarak adlandırılan ilk grup, basitleştirilmiş üst sınır yaklaşımını ve yarı-statik üst sınır yaklaşımını içermektedir. İkinci kısım elastik zeminde giriş ve elasto-plastik zeminde giriş modellerinden yola çıkılarak yapılan statik analizleri anlatmaktadır. Son iki grup ise yarı-statik elastik analiz ve yarı-statik elasto-plastik analizdir. Çalışmada, üstsınır analizleri hariç tüm yöntemlerin, zemin ile boru arasında oluşabilecek kaymalar zeminin akma sınırına ulaştığı anda ele alındığı için, oluşabilecek en düşük deplasmanları bulacağı vurgulanmaktadır. Basitleştirilmiş yaklaşım, bir üst sınır analizi olarak zeminle boru arasında bir bağıl deplasmanın olmayacağını, dolayısıyla sismik yer birim deplasmanının doğrudan boru birim deplasmanı

olarak alınabileceğini varsaymaktadır. Yarı-statik üst sınır yaklaşımına örnek olarak yukarıdaki paragrafta açıklanan Wang ve Cheng'in (14) araştırmasını gösterebiliriz. Statik analizlerde, boru malzemesinin elastikliği, birleşim noktalarının rijitliği ve zeminin direnci gerçekçi bir şekilde ele alınırken yer birim deplasmanı sabit varsayılmış ve problem herhangi bir zaman-deplasman verisinden bağımsız olarak ele alınmak zorunda kalmıştır. Yarı-statik elastik analiz Wang ve Cheng'in (14) modeli geliştirilerek elde edilmiştir. Bu kez, sonsuz rijit boru varsayımı yerine boru rijitliğinin etkisinde hesaba katılmıştır. Statik denge denklemleri zemin-boru etkileşim sisteminin toplam birim deformasyon enerji değişimi prensibinden elde edilmiştir. Elasto-plastik yarı-statik analiz tartışılan raporda bahsedilen en gelişmiş yöntemdir. Bu yöntemde birleşim noktalarının ve zeminin davranışını elasto-plastik olarak modellemek olasıdır. Rapor, bu analiz yöntemlerinden yararlanarak yapılan parametrik çalışmaları ve bunlardan elde edilen genel sonuçları da içermektedir.

Wang ve Olabimtan (19) bir yarı-statik yaklaşım kullanarak kapsamlı bir parametrik çalışma yapmışlardır. Çalışmada, değişik parametrelerin parçacı, düz yeraltı boru hatlarının sismik davranışı üzerindeki etkileri araştırıldı. Bağlantı noktalarının ve/veya zeminin plastisitesi, zemin rijitliği, dalga yayılım hızı, sismolojik şartlar incelenen parametrelerden bazılarıdır.

Daha sonraki çalışmalarında (16, 17, 18) Wang bu konudaki fiziksel, deneysel ve gözlemsel veri noksanlıklarını ve bunlar olmaksızın analitik çalışmaların yetersiz kalacağını vurguladı. Kaynak (18)'de, değişik parametrelerin etkilerinin analitik yöntemle incelenmesinin yanısıra, o ana değin elde edilen bu parametrelere ilişkin fiziksel veriler yayınlanmıştır. Ayrıca, raporda zemin parametrelerinin belirlenmesi için değişik deneysel yöntemlere yer verildi. Kaynak (16, 17)'de benzer çalışmalar içermektedir.

Yeraltı boru hatlarının sismik davranışı, dinamik zemin-boru etkileşimi de gözönünde bulundurularak teorik olarak Hindy ve Novak (5) tarafından incelendi. Sürekli ortamdaki statik ve dinamik teorilerden yola çıkılarak zeminin etkisinin hesaba katıldığı bir "toplanmış kütle" modeli elde edildi. Zeminin homojen yada fiziksel özelliği düşey bir sınırla farklılaşan iki ortamdan oluştuğu varsayıldı. Yapılan parametrik çalışmalar sonunda eksenel deformasyonların eğilme deformasyonlarına oranla çok daha fazla olduğu yargısına varıldı. Ayrıca, homojen bir ortamda zemin-boru etkileşiminin borularda oluşacak birim deformasyonları azaltacağı, buna karşın, değişik özelliklere sahip iki ortamdan oluşan zeminin özellikle sınıra yakın kısımlarında zemin-boru etkileşiminin boru birim deformasyonunun artmasına neden olacağı belirtilmiştir.

Hindy ve Novak (6,12) daha sonraki çalışmalarında boru yalıtımının etkisi üzerinde araştırmalar yaptılar. Bu amaçla zemin direncinin boru hareketine etkisi daha rijit bir dış tabaka ve bu tabaka ve boru arasında kalan daha yumuşak bir kısımdan oluşan visko-elastik bir ortam modellemesiyle ele alındı. Yapılan parametrik çalışmaların sonunda, boru yalıtımının yeraltı boru hatlarının sismik davranışını azaltıcı yönde etkisi olduğu fakat bu azalma etkisinin genellikle düşünülenenden çok daha az olduğu vurgulanmıştır.

O'Rourke ve Castro (13), sismik dalga yayılım hızının yeraltı boru hatları üzerindeki etkisini incelediler. Çalışmada, birçok analitik çalışmanın temel varsayımlarından biri olan sismik dalgaların ilerleme süresince değişikliğe uğramayan bir dalga formu varsayımının geçerliliği tüm detayları ile tartışılmıştır. Sonuç olarak bu varsayımın her zaman geçerli olmayacağı belirtilmiştir. Ek olarak, dalga yayılım hızının tahmin edilmesi ile ilgili yöntemler de tartışmalı olarak ele alınmıştır.

Wright ve Takada (23) yaptıkları çalışmada homojen ve lineer elastik ortamdaki parçalı silindirik yapıların zorlanmış harmonik titreşimlerini incelediler ve deplasman-frekans ilişkisini ortaya koyan dinamik davranış eğrileri elde ettiler. Sonuçta, genellikle kullanılan boru boyutları ve olası deprem frekansları gözönüne alındığında dinamik etkilerin ihmal edilebilir boyutlarda olduğunu vurguladılar.

Chen, Arıman ve Lee (2) yeraltı boru hatlarının burkulma analizi için bir yöntem geliştirdiler. Yapılan parametrik çalışmalarda zemin rijitliğinin etkisinin yanısıra boru boyutlarının etkisi de araştırıldı. Zemin rijitliğindeki artmanın, dalga boyunu kısaltması sonucu, eksenel kritik yükü artıracığı sonucuna varıldı.

Weidlinger ve Nelson (22) sismik etkileri de hesaba katan bir boru hattı tasarım yöntemi önerdiler. Yöntemde, aşağıda belirtilen 4 ana kriter temel alınarak sismik tasarımın esasları oluşturulmuştur.

- o Boru hattı elemanlarının gerilme analizi
- o Boru hattı elemanlarının mekanik ve dayanım özellikleri
- o Sismik ortamda hareket
- o Boru hattının sismik etkiler altındaki davranışı.

Yaptığı bir çalışmada Wang (15) boru hatlarının sismik etkilerle uğradıkları hasarları ele aldı ve sismik tasarım konusunda önerilerde bulundu. Gerçekçi bir sismik tasarım yönteminin belli kırılma kriterleri ve bir risk düzeyi içermesinin gerekliliğini vurguladı.

Wang (20) bir kritik sismik etki yaklaşımı ile yaşam hatlarının sismik davranışının açıklanması konusunda çalışmalar yaptı. Yaklaşım özellikle yaşam hatlarında etkili olan sismik dalga yayılması üzerinde yoğunlaşmaktadır. Yapılan araştırmaların sonucu olarak dalga yayılımının yaşam hatlarının sismik davranışını önemli derecede etkilediği vurgulanmaktadır.

Hakuno (4) ve Muhammadi ve Ang (11), deprem olgusu karşısında yaşam hatlarının emniyeti ve güvenilebilirliği ile ilgili olasılık teorisinden yola çıkarak çalışmalar yaptılar. Hakuno benzeşim tekniği ile değişik yaşam hatlarının basit modelleri için sismik güvenilebilirlik analizleri yaptı. Çalışmada yaşam hatlarının fonksiyonunu yerine getirememesinin önemli bir tasarım parametresi olduğu belirtildi. Muhammadi ve Ang olasılık teorisine dayandırılan çalışmalarında iki ana sismik tehlikeyi esas aldılar. Bunlar; depremde oluşan faylar nedeni ile hasar ve boru parçalarının taşıma gücünün üstünde zorlanması ile oluşacak hasarlardır.

Arıman ve Muleski (1) yaptıkları kapsamlı bir çalışmada yaşam hattı deprem mühendisliği ile ilgili ogüne değin yapılmış çalışmaların etraflı bir özetini verdiler. Yayınladıkları çalışmada geliştirilen modellerin yanısıra yapılan niteliksel ve niceliksel analizlere de yer verdiler.

1.3. Yapılan çalışmanın içeriği

Bu çalışmanın konusu, düz, parçalı yeraltı boru hatlarının aksel sismik davranışının zeminle boru arasında oluşabilecek kaymaları da hesaba katarak analizidir. Kayma olmaması halinde zemin direnci doğrusal elastik olan bir yay ile sembolize edilmiştir.

Sistem değişkenlerine referans şartları tanımlanarak zemin ve boru arasında sürtünmenin azalmasını sağlayan boru yalıtımının yeraltı boru hatlarının aksel sismik davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Ek olarak, zemin ile boru arasında kayma olması halinde zemin, birleşim rijitlikleri, sınır koşulları, dalga yayılma hızı gibi diğer sistem parametrelerinin sistemin davranışına olan etkileri incelenmiştir.

Bu kısımda, zemin-boru etkileşimini içererek yeraltı boru hatlarının sismik davranışını incelememizi sağlayacak bir analitik modelin kurulması ve bu modelin matematiksel formülasyonu sunulacaktır.

Şimdiye değin yayınlanan çalışmalarda zemin-boru etkileşimi zeminin elastik ya da elasto-plastik direnimi şeklinde hesaba katılmıştır. Önemi birtakım çalışmalarda belirtilmesine karşın, boru-zemin arasında oluşacak kaymaların yeraltı boru hatlarının sismik davranışı üzerindeki etkisi bugüne kadar yeterince incelenmemiştir.

Sistem parametrelerinin değişik birleşimleri için (dış yüzey kaplama malzemesinin karakteristikleri, boru hattının gömülme derinliği gibi) kayma olgusu yeraltı boru hatlarının sismik davranışını umulandan çok daha fazla etkilemektedir. Bu çalışmada, sözü edilen gerçek gözönünde tutularak, oluştuğu anda kaymayı da hesaba katabilecek bir zemin-boru etkileşim modeli geliştirilmiştir.

2.1. Temel varsayımlar

Problemin bir analitik modelinin kurulabilmesi için aşağıdaki temel varsayımlar yapılmıştır.

1. Boru hattı sadece eksenel yönde sismik yüklemelere maruz kalmaktadır. Sismik davranış da sadece bu yönde oluşmaktadır. Başka bir deyişle problem tek boyutludur.
2. Boru parçaları sonsuz rijittir.
3. Bağlantı noktalarının ve iki uçtaki sınır şartlarının fiziksel özellikleri, bir sönüm cihazı ve doğrusal elastik yay yardımıyla modellenenbilirler.
4. Bir boru parçası boyunca zemin özellikleri sabittir. Buna karşın borudan boruya bu özellikler değişebilir.
5. Zemin-boru etkileşimi her bir boru için seri halde bağlı bir doğrusal elastik yay ve bir sürtünme cihazı kullanılarak gösterilebilir. Yay-sürtünme cihazı sistemi bir ucundan borunun ortasına, diğer ucundan ise başlangıçta borunun merkezi ile aynı izdüşümde olan zemin noktasına bağlıdır.
6. Yer hareketi boru hattı boyunca yayılan bir sismik dalga formu tanımlanarak modellenenbilir.

7. Sismik dalga formu yayılırken değişme göstermez.
8. Aynı anda yapının değişik noktalarında değişik yer hareketlerine sahip olma özelliği dalga yayılma hızının ve boru boyunun bir fonksiyonu olan "gecikme zamanı" tanımlanarak modele uygulanacaktır.

Analitik model Şekil 2.1'de görülmektedir. Şekildeki sembollerin açıklamaları aşağıda verilmektedir.

- m_i i. boru parçasının kütlesi
- k_i i. birleşimin rijitliği
- c_i i. birleşimin sönüm faktörü
- x_{a_0} Sol sınır mutlak deplasmanı
- x_{a_i} i. boru parçası mutlak deplasmanı
- $x_{a_{n+1}}$ sağ sınır mutlak deplasmanı
- x_{g_0} sol sınır yer deplasmanı
- x_{g_i} i. boru parçası hizasındaki yer deplasmanı
- $x_{g_{n+1}}$ sağ sınır yer deplasmanı
- x_{rs_i} i. boru parçası için kayma limiti
- k_{s_i} i. boru parçası hizasındaki zemin rijitliği

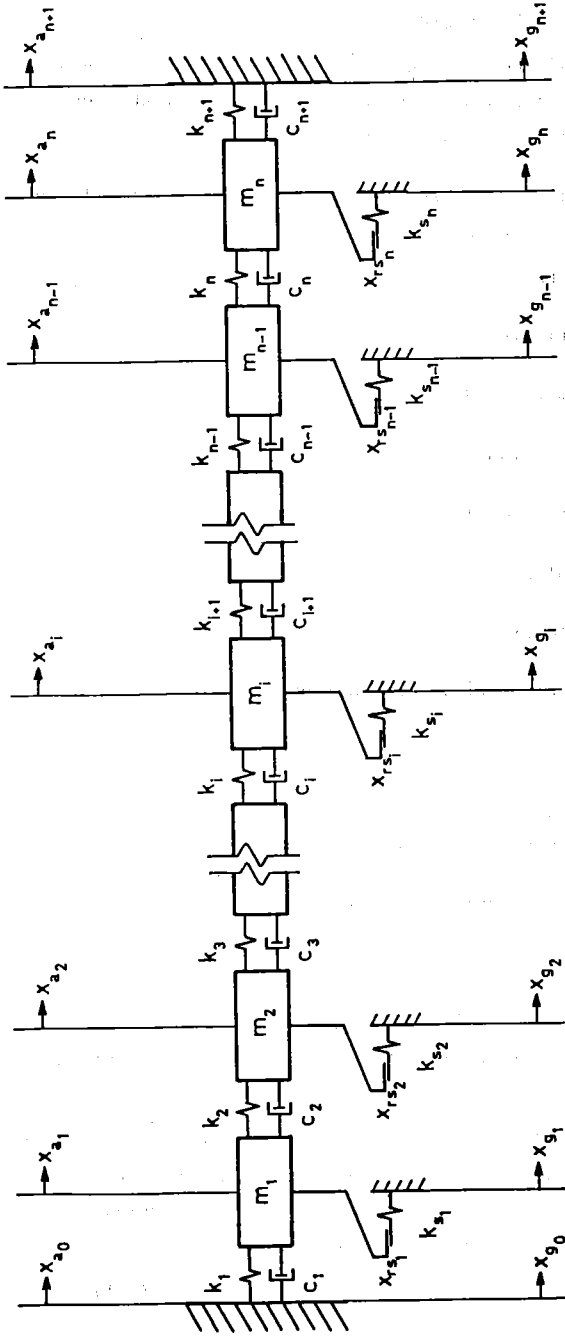
2.2. Zemin-boru etkileşim modelinin açıklanması

Şekil 2.2'de i. boru parçası için tipik bir zemin yay kuvveti-bağlı zemin boru deplasmanı ilişkisi gösterilmektedir.

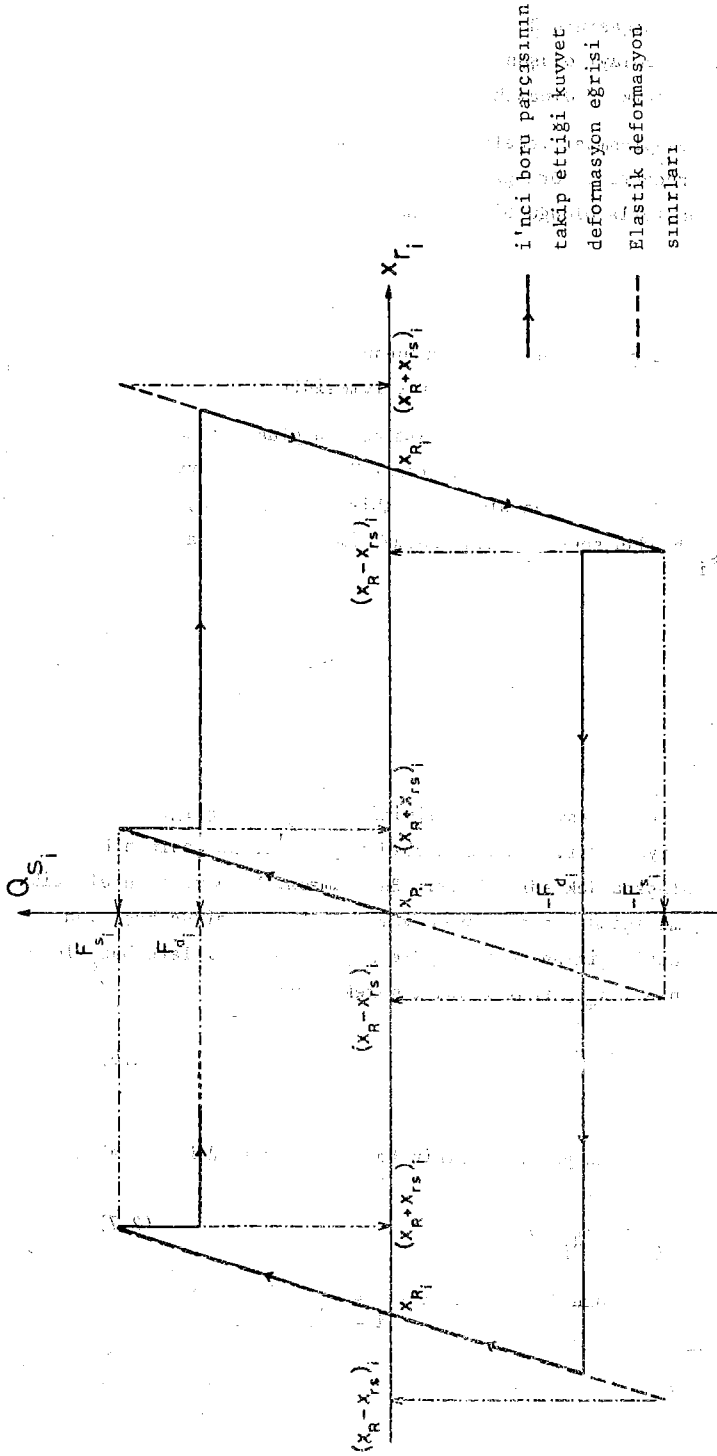
F_{s_i} kayma oluşmadan önce yer alabilecek maksimum zemin yay kuvveti olarak tanımlanmaktadır. F_{d_i} kayma esnasında zemin tarafından i. boru parçasına uygulanan toplam sürtünme kuvvetini göstermektedir. Bu tanımlar aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilirler.

$$F_{s_i} = \mu_{s_i} F_{n_i} \quad (2.1)$$

$$F_{d_i} = \mu_{d_i} F_{n_i} \quad (2.2)$$



Şekil 2.1 Analitik model



Şekil 2.2 i'nci boru parçası için zemin yay kuvveti-bağıl zemin boru deplasmanı ilişkisi

Burada, F_{n_i} i. boru parçasının üstündeki toprağın ağırlığı ve/veya diğer dış statik etkilerden dolayı oluşan normal kuvvetlerin toplamıdır. μ_{s_i} ve μ_{d_i} i. borunun statik ve dinamik sürtünme katsayılarını göstermektedir.

F_{n_i} değerinin hesaplanması incelenilen boru hattının özelliklerine göre değişiklikler gösterecektir. Örneğin, düşey toprak basıncının yanal basınçlara oranla çok daha fazla olduğu bir sistemde F_{n_i} aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$F_{n_i} = \bar{m}_i g \quad (2.3)$$

Burada, \bar{m}_i i. boru parçasının üzerinde bulunan toprağın toplam kütesidir. g ise uygun birimlerle kullanılan yer çekimi ivmesidir.

Bu tanımlardan yola çıkarak, kayma olmaksızın oluşacak maksimum bağıl zemin-boru deplasmanını, x_{rs_i} , ve kayma sırasında sürtünme kuvvetlerinin etkisiyle zemini modelleyen yayda oluşacak sabit deformasyonu, x_{rd_i} , tanımlayabiliriz. x_{rs_i} bundan sonra kısaca "kayma limiti" olarak adlandırılacaktır.

$$x_{rs_i} = \frac{F_{s_i}}{k_{s_i}} \quad (2.4)$$

$$x_{rd_i} = \frac{F_{d_i}}{k_{s_i}} \quad (2.5)$$

Bağıl zemin-boru deplasmanı kayma limitine, x_{rs_i} , ulaştığında boru parçası kaymaya başlayacaktır. Bu kayma sözü geçen boru parçasının bağıl hızı, \dot{x}_{r_i} , sıfıra ulaşana dek sürecektir. Bu aşamada, boru yeniden elastik zemin-boru etkileşimi içinde hareketine devam edecek ve yeniden başlayan elastik zemin boru etkileşimine ve buna göre saptanacak limitlere baz oluşturacak bir değişkenin, x_{R_i} , tanımlanması gerekecektir.

$$x_{R_i} = x_{r_i} \Big|_{\dot{x}_{r_i} = 0} - x_{rd_i} \quad (2.6)$$

Böylece, bu aşamadaki zemin yay kuvvetinin hesaplanması mümkün olacaktır.

$$Q_{s_i} = k_{s_i} (x_{r_i} - x_{R_i}) \quad (2.7)$$

veya etkili bağıl zemin-boru deplasmanını $\bar{x}_{r_i} = x_{r_i} - x_{R_i}$ olarak tanımlarsak

$$Q_{s_i} = k_{s_i} \bar{x}_{r_i} \quad (2.8)$$

Bu formülasyonla, zemin yayı için elastik deformasyon limitleri de en genel şekliyle tanımlanabilecektir.

$$x_{R_i} - x_{rs_i} \leq x_{r_i} \leq x_{R_i} + x_{rs_i} \quad (2.9)$$

Hareketin başlangıcında x_{R_i} sıfır olarak tanımlanırsa (2.7), (2.8), ve (2.9) denklemleri i. boru parçasının elastik zemin etkileşimi gösterdiği tüm zaman aralıklarında geçerli olacaktır.

2.3. Hareket denklemleri

Sismik bir zorlama karşısında yerin ve boru parçalarının hareketlerini tanımlayacak koordinat sistemi Şekil 2.1'de görülmektedir. Burada $x_{a_1}, \dots, x_{a_i}, \dots, x_{a_n}$ boru parçalarının orta kesitlerinin mutlak deplasmanını; $x_{g_1}, \dots, x_{g_i}, \dots, x_{g_n}$ boru hattı eksenini yöündeki her bir boru parçasının altında bulunan zeminin deplasmanını; $x_{r_1}, \dots, x_{r_i}, \dots, x_{r_n}$ ise boru parçaları ile hareketten önce borunun altında bulunan zemin arasındaki bağıl deplasmanı göstermektedir.

Denklem (2.10a, b, c) koordinat sistemleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir.

$$x_{a_i} = x_{g_i} + x_{r_i} \quad (2.10.a)$$

$$\dot{x}_{a_i} = \dot{x}_{g_i} + \dot{x}_{r_i} \quad (2.10.b)$$

$$\ddot{x}_{a_i} = \ddot{x}_{g_i} + \ddot{x}_{r_i} \quad (2.10.c)$$

Sınırlarda bağıl koordinat terimleri sıfır olacaktır. Böylece, sınırlardaki koordinat sistemleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibi olacaktır.

$$x_{a_0} = x_{g_0}, \quad \dot{x}_{a_0} = \dot{x}_{g_0}, \quad \ddot{x}_{a_0} = \ddot{x}_{g_0} \quad (2.11)$$

$$x_{a_{n+1}} = x_{g_{n+1}}, \quad \dot{x}_{a_{n+1}} = \dot{x}_{g_{n+1}}, \quad \ddot{x}_{a_{n+1}} = \ddot{x}_{g_{n+1}} \quad (2.12)$$

Dinamik denge diagramı Şekil 2.3'de görülen i. boru parçasının hareket denklemleri, $x_{a_i} > x_{g_i}$ ve $x_{a_{i-1}} < x_{a_i} < x_{a_{i+1}}$ varsayımları yapıldığında aşağıdaki gibi olacaktır.

$$m_i \ddot{x}_{a_i} - Q_{i+1} - D_{i+1} + Q_i + D_i + Q_{s_i} = 0 \quad (2.13)$$

burada,

$$Q_{s_i} = \begin{cases} k_{s_i} \bar{x}_{r_i} & \bar{x}_{r_i} \leq x_{rs_i} \\ (\text{sgn } \dot{x}_{r_i}) & \bar{x}_{r_i} > x_{rs_i} \end{cases} \quad (2.14)$$

ve D_i ve Q_i i'nci birleşimin sönüm ve yay kuvvetlerini göstermektedir. $(\text{sgn } \dot{x}_{r_i})$ ise i'nci boru parçasının bağıl hızının işaretini sembolize etmektedir. Denklem (2.13) en açık şekliyle aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} m_i \ddot{x}_{a_i} - k_{i+1} (x_{a_{i+1}} - x_{a_i}) + k_i (x_{a_i} - x_{a_{i-1}}) \\ - c_{i+1} (\dot{x}_{a_{i+1}} - \dot{x}_{a_i}) + c_i (\dot{x}_{a_i} - \dot{x}_{a_{i-1}}) \\ + k_{s_i} (x_{a_i} - x_{R_i} - x_{g_i}) = 0. \end{aligned} \quad (2.15)$$

Bilinen terimler eşitliğin sağ tarafına alınıp, denklem (2.15) deplasmanlara göre düzenlendiğinde aşağıdaki şekli alacaktır.

$$\begin{aligned} m_i \ddot{x}_{a_i} - k_{i+1} x_{a_{i+1}} + (k_{i+1} + k_i + k_{s_i}) x_{a_i} - k_i x_{a_{i-1}} \\ - c_{i+1} \dot{x}_{a_{i+1}} + (c_{i+1} + c_i) \dot{x}_{a_i} - c_i \dot{x}_{a_{i-1}} \\ = k_{s_i} (x_{g_i} + x_{R_i}) \end{aligned} \quad (2.16)$$

Kayma halinde, zemin yay kuvveti ile ilişkili terimler kalkacak yerine kayma sırasında zemin tarafından boru parçasına uygulanan sabit kuvveti gösteren F_{d_i} terimi denkleme girecektir.

$$\begin{aligned} m_i \ddot{x}_{a_i} - k_{i+1} x_{a_{i+1}} + (k_{i+1} + k_i) x_{a_i} - k_i x_{a_{i-1}} \\ - c_{i+1} \dot{x}_{a_{i+1}} + (c_{i+1} + c_i) \dot{x}_{a_i} - c_i \dot{x}_{a_{i-1}} \\ = -(\text{sgn } \dot{x}_{r_i}) F_{d_i} \end{aligned} \quad (2.17)$$

Denklem (2.16) ve (2.17) hareketin farklı iki aşamasını göstermektedir. Aşağıdaki tanımlamaların yardımı ile bu iki denklemi tek bir denklemle ifade etmek mümkün olacaktır.

$$a_i = \begin{cases} 1 & \bar{x}_{r_i} \leq x_{rs_i} \\ 0 & \bar{x}_{r_i} > x_{rs_i} \end{cases} \quad (2.18.a)$$

$$b_i = \begin{cases} 0 & \bar{x}_{r_i} \leq x_{rs_i} \\ 1 & \bar{x}_{r_i} > x_{rs_i} \end{cases} \quad (2.18.b)$$

Böylece, i'inci boru parçası için hareket denklemi en genel şekli ile aşağıdaki gibi olacaktır.

$$\begin{aligned} m_i \ddot{x}_{a_i} - k_{i+1} x_{a_{i+1}} + (k_{i+1} + k_i + a_i k_{s_i}) x_{a_i} - k_i x_{a_{i-1}} \\ - c_{i+1} \dot{x}_{a_{i+1}} + (c_{i+1} + c_i) \dot{x}_{a_i} - c_i \dot{x}_{a_{i-1}} \\ = a_i k_{s_i} (x_{g_i} + x_{R_i}) - b_i (\operatorname{sgn} \dot{x}_{r_i}) F_{d_i} \end{aligned} \quad (2.19)$$

1. ve n. boru parçalarının hareket denklemlerinde, sınırla komşu olmaları nedeni ile, bağıl koordinat sistemine ilişkin bazı terimler ortadan kalkacak, bilinen bazı yeni terimler ise denklemin sağ kısmında yer alacaktır.

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_{a_1} - k_2 x_{a_2} + (k_2 + k_1 + a_1 k_{s_1}) x_{a_1} \\ - c_2 \dot{x}_{a_2} + (c_2 + c_1) \dot{x}_{a_1} \\ = a_1 k_{s_1} (x_{g_1} + x_{R_1}) + k_1 x_{g_0} - b_1 (\operatorname{sgn} \dot{x}_{r_1}) F_{d_1} + c_1 \dot{x}_{g_0} \end{aligned} \quad (2.20)$$

$$\begin{aligned} m_n \ddot{x}_{a_n} + (k_{n+1} + k_n + a_n k_{s_n}) x_{a_n} - k_n x_{a_{n-1}} \\ + (c_{n+1} + c_n) \dot{x}_{a_n} - c_n \dot{x}_{a_{n-1}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= a_n k_{s_n} (x_{g_n} + x_{R_n}) + k_{n+1} x_{g_{n+1}} - b_n (\text{sgn } \dot{x}_{r_n}) F_{d_n} \\
&+ c_{n+1} \dot{x}_{g_{n+1}} \quad (2.21)
\end{aligned}$$

Sistemin hareket denklemleri matris formunda aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\begin{aligned}
\underline{M} \ddot{\underline{X}}_a + \underline{C} \dot{\underline{X}}_a + \underline{K} \underline{X}_a &= \underline{K}_1 (\underline{X}_g + \underline{X}_R) + \underline{K}_B \underline{X}_{gb} \\
&- \underline{C}_1 \underline{F}_d + \underline{C}_B \dot{\underline{X}}_{gb} \quad (2.22)
\end{aligned}$$

Burada, \underline{M} , \underline{C} ve \underline{K} matrisleri eşitliğin sol tarafında yer alan $n \times n$ boyutlu kütle, sönüm ve rijitlik matrisleridir. \underline{K}_1 ve \underline{C}_1 denkleminin sağ tarafında yer alan $n \times n$ boyutlu rijitlik ve sönüm matrisleridir. \underline{K}_B ve \underline{C}_B sınır şartlarını denklemin (2.22)'ye sokan $n \times n$ boyutlu rijitlik ve sönüm matrisleridir. \underline{X}_a ve \underline{X}_g boru parçalarının mutlak deplasmanını ve ilişkili yer hareketlerini gösteren $n \times 1$ boyutlu deplasman vektörleridir. Yer deplasman matrisi olan \underline{X}_{gb} ise sadece sınır değerlerini içermektedir. \underline{X}_R ve \underline{F}_d ise her bir borunun bağıl baz deplasmanını ve sabit sürtünme kuvvetini içeren $n \times 1$ boyutlu vektörlerdir. Problemin tanımı, uygun sınır ve başlangıç şartlarının da açıklanmasıyla son haline gelecektir.

2.4. Yer hareketi

Yeraltı boru hatlarının sismik davranışının bu yaklaşım ile incelenmesi için yer hareketinin zamana göre değişiminin her bir boru parçası için bilinmesi gerekmektedir. Daha önce belirtildiği gibi dalga formunun inceleme süresince hiçbir değişikliğe uğramadığı varsayılmaktadır. Böylece, yer hareketi değişkenleri olan \underline{X}_g , $\dot{\underline{X}}_g$ ve $\ddot{\underline{X}}_g$, dalga formunun sözkonusu olan boru parçasına ulaşması için gereken zamanın gecikme zamanı olarak tanımlanması ve hesaba katılması ile belirlenecektir.

Birinci sınırdan başlayarak konum ve zamana göre değişen yer hareketi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_{g_0}(t) &= \ddot{x}_G(t) \\ \dot{x}_{g_0}(t) &= \dot{x}_G(t) \\ x_{g_0}(t) &= x_G(t) \end{aligned} \right\} t \geq 0 \quad (2.23)$$

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_{g_1}(t) &= 0 \\ \dot{x}_{g_1}(t) &= 0 \\ x_{g_1}(t) &= 0 \end{aligned} \right\} t < t_{d_1} = \Delta T_1 / 2 \quad (2.24)$$

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_{g_1}(t) &= \ddot{x}_G(t - t_{d_1}) \\ \dot{x}_{g_1}(t) &= \dot{x}_G(t - t_{d_1}) \\ x_{g_1}(t) &= x_G(t - t_{d_1}) \end{aligned} \right\} t \geq t_{d_1} \quad (2.25)$$

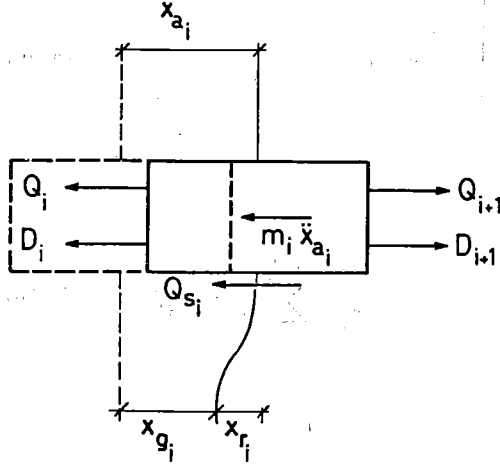
$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_{g_i}(t) &= 0 \\ \dot{x}_{g_i}(t) &= 0 \\ x_{g_i}(t) &= 0 \end{aligned} \right\} t < t_{d_i} = \sum_{j=1}^{i-1} t_{d_j} + \Delta T_i / 2 \quad (2.26)$$

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_{g_i}(t) &= \ddot{x}_G(t - t_{d_i}) \\ \dot{x}_{g_i}(t) &= \dot{x}_G(t - t_{d_i}) \\ x_{g_i}(t) &= x_G(t - t_{d_i}) \end{aligned} \right\} t \geq t_{d_i} \quad (2.27)$$

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_{g_{n+1}}(t) &= 0 \\ \dot{x}_{g_{n+1}}(t) &= 0 \\ x_{g_{n+1}}(t) &= 0 \end{aligned} \right\} t < t_{d_{n+1}} = \sum_{j=1}^n \Delta T_j \quad (2.28)$$

$$\left. \begin{aligned} \ddot{x}_{g_{n+1}}(t) &= \ddot{x}_G(t-t_{d_{n+1}}) \\ \dot{x}_{g_{n+1}}(t) &= \dot{x}_G(t-t_{d_{n+1}}) \\ x_{g_{n+1}}(t) &= x_G(t-t_{d_{n+1}}) \end{aligned} \right\} t \geq t_{d_{n+1}} \quad (2.29)$$

Burada, $x_G(t)$, $\dot{x}_G(t)$ ve $\ddot{x}_G(t)$ tanımlanmış yer hareketi, $\Delta T_i = L_i / V_i$ ise i.nci borunun uzunluğu olan L_i mesafesini geçmesi için gerekli olan zamanı göstermektedir. V_i i.nci boru parçası altındaki zemindeki dalga yayılma hızını göstermektedir.



Şekil 2.3 i'nci boru parçasının dinamik denge durumu

3. SAYISAL ÇÖZÜM

Problemın doğrusal olmayan yapısı sayısal bir çözüm yöntemi kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Çözümde doğrusal ivme yöntemi (3) kullanılacaktır. Yöntemin bu probleme uygulanışı ve karşılaşılabilecek güçlükler bu bölümde verilecektir.

3.1. Hareket denklemlerinin sayısal çözümü

Bir t zamanında denklem (2.22) aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} \underline{M} \ddot{\underline{X}}_a(t) + \underline{C} \dot{\underline{X}}_a(t) + \underline{K}(t) \underline{X}_a(t) &= \underline{Kl}(t) (\underline{X}_g(t) + \underline{X}_R(t)) \\ &+ \underline{KB} \underline{X}_{gb}(t) - \underline{Cl}(t) \underline{F}_d \\ &+ \underline{CB} \underline{X}_{gb}(t) \end{aligned} \quad (3.1)$$

$t = t + \Delta t$ zamanında denklem (3.1) aşağıdaki şekli alacaktır.

$$\begin{aligned} \underline{M} \ddot{\underline{X}}_a(t + \Delta t) + \underline{C} \dot{\underline{X}}_a(t + \Delta t) + \underline{K}(t + \Delta t) \underline{X}_a(t + \Delta t) \\ = \underline{Kl}(t + \Delta t) (\underline{X}_g(t + \Delta t) + \underline{X}_R(t + \Delta t)) + \underline{KB} \underline{X}_{gb}(t + \Delta t) \\ - \underline{Cl}(t + \Delta t) \underline{F}_d + \underline{CB} \underline{X}_{gb}(t + \Delta t) \end{aligned} \quad (3.2)$$

Bilindiği gibi, doğrusal ivme yönteminin uygulanabilmesi için katsayı matrisleri olan \underline{M} , \underline{C} ve \underline{K} matrislerinin denklem (3.1) ve (3.2)'de aynı olması gerekmektedir. Bu problemdeki rijitlik matrisi, \underline{K} , zamana bağımlıdır. Bu zamana bağımlılık her zaman adımında $\underline{K}(t)$ ve $\underline{K}(t + \Delta t)$ matrislerini karşılaştırarak kontrol edilmelidir. Rijitlik matrislerinin farklılık gösterdiği zaman dilimlerinde eşitliğin sol tarafında aynı matrislere sahip olmak için denklem (3.1) aşağıdaki gibi düzenlenecektir.

$$\begin{aligned} \underline{M} \ddot{\underline{X}}_a(t) + \underline{C} \dot{\underline{X}}_a(t) + \underline{K}(t + \Delta t) \underline{X}_a(t) \\ = \underline{Kl}(t) (\underline{X}_g(t) + \underline{X}_R(t)) + \underline{KB} \underline{X}_{gb}(t) - \underline{Cl}(t) \underline{F}_d \\ + \underline{CB} \underline{X}_{gb}(t) + (\underline{K}(t + \Delta t) - \underline{K}(t)) \underline{X}_a(t) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Böylece, denklemler çözüm yönteminin uygulanabileceği şekle girmiş bulunmaktadır.

Aşağıdaki denklemler doğrusal ivme yönteminin hareket denklemlerine uygulanmasıyla elde edilmiştir

$$\bar{K} = \underline{K} + \frac{6}{\Delta t} \underline{M} + \frac{3}{\Delta t} \underline{C} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \Delta \bar{P}(t) = \Delta \underline{P}(t) + \underline{M} \left(\frac{6}{\Delta t} \dot{\underline{X}}_a(t) + 3 \ddot{\underline{X}}_a(t) \right) \\ + \underline{C} \left(3 \dot{\underline{X}}_a(t) + \frac{\Delta t}{2} \ddot{\underline{X}}_a(t) \right) \end{aligned} \quad (3.5)$$

burada,

$$\Delta \underline{P}(t) = \underline{P}(t + \Delta t) - \underline{P}(t) \quad (3.6)$$

ve, $\underline{P}(t)$ ve $\underline{P}(t + \Delta t)$ denklem (3.3) ve (3.2) nin sağ tarafında yer alan terimlerin toplamını sembolize eden yük vektörleridir.

Peşpeşe gelen iki zaman arasında, mutlak boru deplasmanlarında oluşacak değişiklik denklem (3.7)'deki ilişki yoluyla hesaplanacaktır.

$$\bar{K} \Delta \underline{X}_a(t) = \Delta \bar{P}(t) \quad (3.7)$$

Böylece, $t = t + \Delta t$ zamanı için mutlak boru deplasmanları hesaplanabilmektedir.

$$\underline{X}_a(t + \Delta t) = \underline{X}_a(t) + \Delta \underline{X}_a(t) \quad (3.8)$$

Denklem (3.9) mutlak boru hızlarının artım denklemdir.

$$\Delta \dot{\underline{X}}_a(t) = \frac{3}{\Delta t} \Delta \underline{X}_a(t) - 3 \dot{\underline{X}}_a(t) - \frac{\Delta t}{2} \ddot{\underline{X}}_a(t) \quad (3.9)$$

Denklem (3.9) ve (3.10) kullanılarak $t = t + \Delta t$ anındaki mutlak boru hızları elde edilecektir.

$$\dot{\underline{X}}_a(t + \Delta t) = \dot{\underline{X}}_a(t) + \Delta \dot{\underline{X}}_a(t) \quad (3.10)$$

Sistemin dinamik dengede olduğu gerçeği gözönünde tutularak $t = t + \Delta t$ 'de mutlak boru ivmeleri hareket denklemi kullanılarak elde edilecektir.

$$\begin{aligned} \ddot{\underline{X}}_a(t + \Delta t) = \underline{M}^{-1} \{ \underline{P}(t + \Delta t) - \underline{C} \underline{X}_a(t + \Delta t) \\ - \underline{K}(t + \Delta t) \underline{X}_a(t + \Delta t) \} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Bu aşamada, koordinat sistemleri arasındaki ilişkinin belirtildiği denklem (2.10 a,b,c) kullanılarak bağıl deplasman, hız ve ivmeleri hesaplamak olası olacaktır.

3.2. Sayısal çözüm yönteminin uygulanmasına ilişkin notlar

Bu çözüm yönteminin uygulanmasında yöntemden kaynaklanacak sayısal hatalara düşmemek için kullanılacak zaman dilimi özenle seçilmelidir. Sistemin en küçük doğal periyodunun $1/10$ 'una eşit veya daha küçük olarak seçilecek zaman diliminin sayısal kararlılığın sağlanması için yeterli olduğu bilinmektedir. Buna karşın, kayma olması halinde sistemin doğal periyodlarını bulmak imkansızdır. Zaman diliminin seçimi için önerilecek yöntem, ilkin kayma olmadığı varsayımı ile sistemin en küçük doğal periyodunun bulunması daha sonra olası kaymaların da etkisi gözönünde bulundurularak bir zaman diliminin saptanması olacaktır. Tüm bunlara karşın elde edilen sonuçlar kontrol edilmeli ve sonuçlardan şüphe edildiği durumlarda daha küçük zaman dilimi kullanılarak sonuçlar yeniden incelenmelidir.

Şekil 2.2'den de görülebileceği gibi, bu çalışmada kabul edilen zemin yay kuvveti-bağıl zemin-boru deplasmanı ilişkisi kaymanın olduğu anlarda ani değişiklikler göstermektedir. Bu ani değişiklikler, sayısal çözüme bir takım etk güçlükler getirecektir.

Bir analizin başlangıcında zemin-boru etkileşimi tüm boru parçaları için doğrusal elastiktir. Bu aşamada hesaplamalar saptanmış olan standart zaman dilimi kullanılarak sürdürülür. Her zaman adımından sonra her bir boru parçasının bağıl zemin-boru deplasmanının kayma limitini aşıp aşmadığı kontrol edilmelidir. Herhangi bir boru parçası kayma limitini aştığında son iki zaman adımındaki değerler ve doğrusal enterpolasyon tekniği kullanılarak bağıl zemin-boru deplasmanının kayma limitine ulaştığı an tesbit edilmeye çalışılmalıdır. Bu işlemler istenen doğruluk derecesine erişene kadar sürdürülmelidir. Kayma limitine ulaştığı kabul edilen an saptandıktan sonra peşisıra gelecek zaman dilimi boru veya boruların ani davranış değişikliğinden kaynaklanacak sayısal hatalara düşmemek için standart olan- dan çok daha küçük olarak seçilmelidir. Benzeri dikkat boru veya boruların yeniden elastik zemin-boru etkileşimine bağlıacağı zamanda da gösterilmelidir.

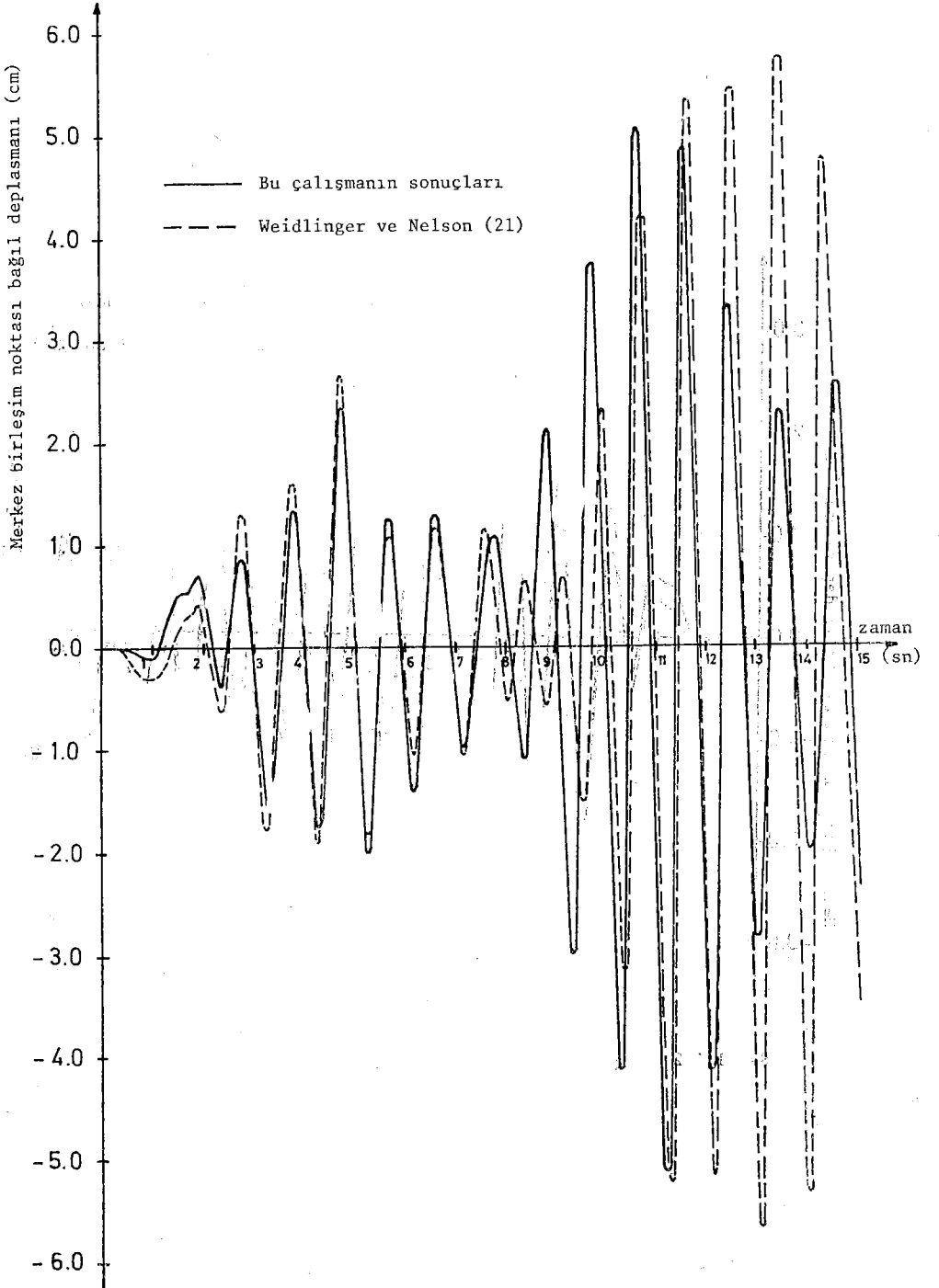
4. SAYISAL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu kısımda, yeraltı boru hatlarının sismik davranışını etkileyen parametreler üzerinde yapılan çalışmaların sonuçları sunulacaktır. Sayısal çalışmaların yapılabilmesi için önceki kısımlarda sunulan model ve sayısal çözüm yöntemi kullanılarak PIPE adında özel amaçlı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

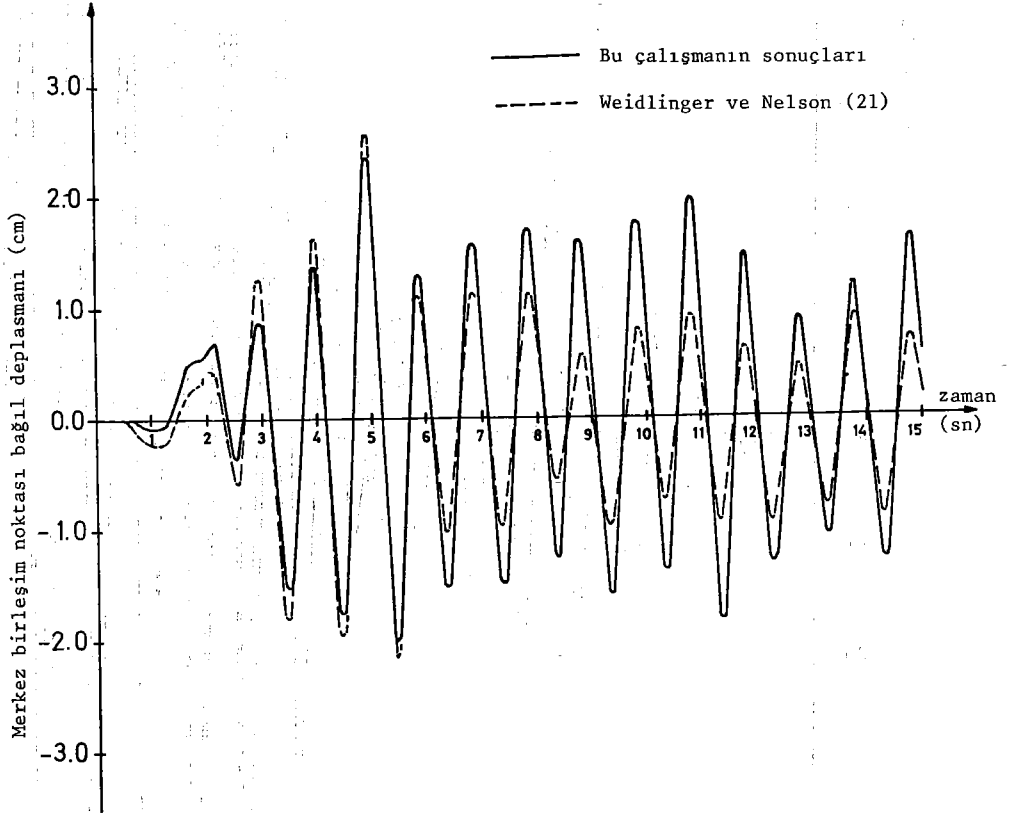
4.1. Program PIPE'in incelenmesi

Geliştirilen programın sağlaması için aşağıda anlatılan yöntem kullanılmıştır. Başka çalışmaların sonuçlarıyla bir karşılaştırmanın yapılabilmesi için program öncelikle doğrusal zemin-boru etkileşiminin geçerli olduğu hal için kontrol edilmiştir. Bulunan diğer çalışmalarla bu durumda gösterdiği uyum gözlemlendikten sonra programın doğrusal olmayan hallerdeki sonuçları, zemin davranışındaki doğrusal olmayan durumun azalmasıyla sonuçların doğrusal haldeki sonuçlara yaklaşması gerektiği gerçeği gözönüne alınarak, kontrol edilmiştir.

Yukarıda açıklanan yöntemin ilk kısmı Weidlinger ve Nelson'un (21) bir çalışması kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kurduğumuz modelde bulunmadığından dolayı PIPE programının da kapsamadığı zemin sönüm faktörü hariç aynı fiziksel veriler ve yer hareketi kullanılarak elde edilen sonuçlar yukarıda belirtilen çalışmanın sonuçlarıyla başarılı bir niteliksel uyum içindedir. 20 ve 40 boru parçalı sistemler için program PIPE yoluyla elde edilen sonuçlarla Weidlinger ve Nelson'un sonuçları Şekil 4.1 ve 4.2'de merkez birleşim noktasının bağıl deplasmanının zamana göre değişimi cinsinden karşılaştırılmalı olarak çizilmiştir. Şekillerden gözlenebileceği gibi 40 boru parçalı halde iki çalışmanın sonuçları çok iyi bir uyum göstermektedir. Bu uyum 20 boru parçalı sistem için elde edilen sonuçlarda azalmaktadır. Genel davranış benzerliğine karşın büyüklüklerde ortaya çıkan bu farklılık tümüyle program PIPE'da zemin sönüm faktörünün katılamamasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmalar program PIPE'in doğrusal elastik zemin-boru etkileşimi halinde geçerli olduğunun yeterli kanıtı olarak kabul edilmiştir. Doğrusal olmayan halde programın irdelenmesi Şekil 4.5 ve 4.7 ele alındığında yapılacaktır.



Şekil 4.1 20 parçalı boru için sonuçların karşılaştırılması



Şekil 4.2 40 parçalı boru için sonuçların karşılaştırılması

Şekil 4.3 yapılan bir parametrik çalışma sırasında 7. boru parçasının zemin yay kuvveti -bağıl zemin-boru deplasmanı ilişkisini göstermektedir. Şeklin teori kısmında bahsedilen Şekil 2.2 ile benzerliği program PIPE'a modelde planlanan zemin-boru ilişkisinin tümüyle doğru olarak aktarıldığını göstermektedir. Bu ise programın istendiği gibi çalıştığına ek bir kanıt olarak gösterilebilir.

4.2. Parametrik çalışmalar

4.2.1 Referans değerleri

Parametrik çalışmaların ilk aşamasında sistemin bazı değişkenlerine referans değerleri olarak adlandırılan sayısal değerler verilmiştir. Parametrik çalışmalar süresince aksi belirtilmediği sürece aşağıda belirtilen referans değerleri kullanılmıştır.

Boru hattı parametreleri

boru parçası adedi	$n = 10$
boru parçası uzunluğu	$L_i = 600 \text{ cm}$
sınır koşulları	Serbest-serbest
birleşimlerin sönüm faktörü	$C_i = 0 \text{ kg/sec}$

Zemin parametreleri

dalga yayılım hızı	$V_i = 30000 \text{ cm/sec}$
zemin rijitliği	$k_s = 2500 \text{ N/cm/cm}$
kayma limiti	$x_{rs_i} = 0.03 \text{ cm}$
μ_d/μ_s oranı	0.7

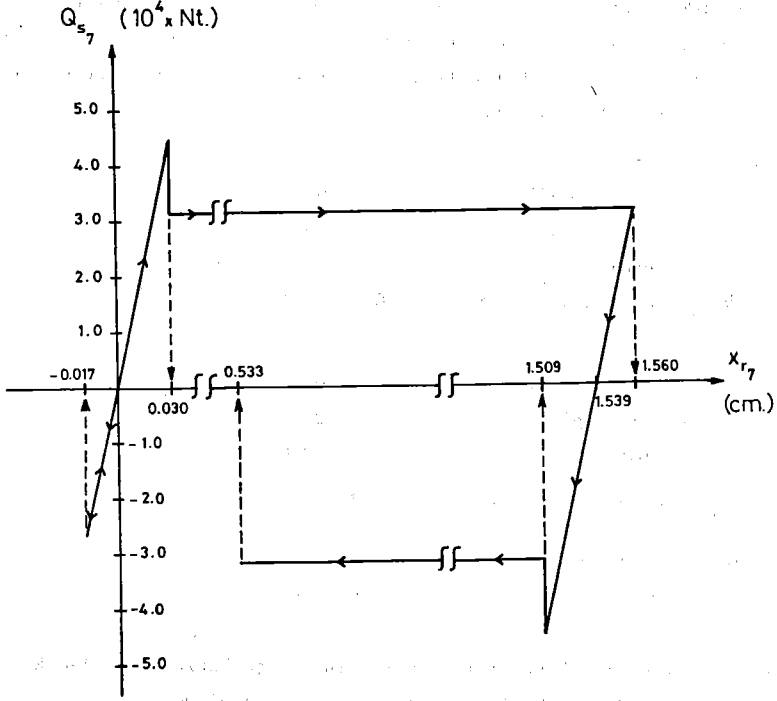
Sismik parametreler

Yer hareketi	bak. Şekil 4.4.
--------------	-----------------

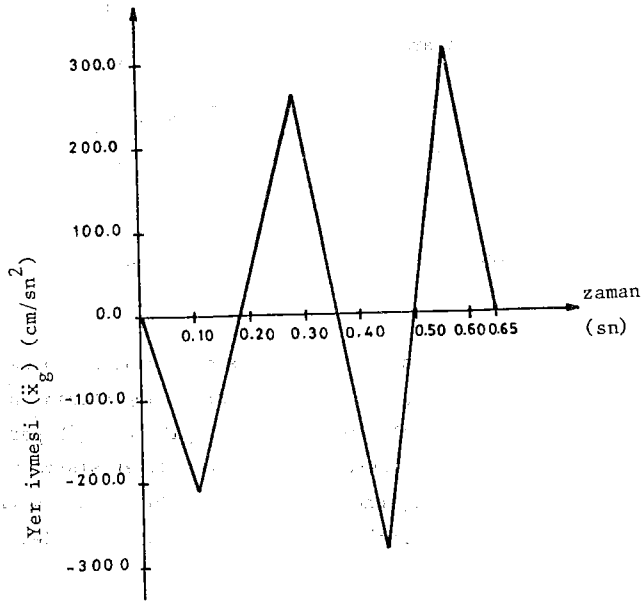
Burada, serbest-serbest sınır deyimi sınır koşullarını modellemek için kullanılan yayların çok ufak bir rijitliğe sahip olduğunu göstermek için kullanılmaktadır. Bu rijitlik teorik olarak sınıra yaklaşacaktır. Anlaşılabileceği üzere, sınır koşulları boru hattının sismik davranışı üzerinde herhangi bir direnç gösteren etkiye sahip olamayacaklardır. Uçlarında bulunan özel cihazlarla sınırlardaki yapılardan iyi bir şekilde titreşime karşı izole edilmiş bir boru hattı bu fiziksel durum için güzel bir örnektir. Diğer taraftan sınırdaki bulunan sonsuz rijit bir yay ise sabit sınır koşulunu oluşturacaktır. Bu kez sınır koşulu sistemin sismik davranışı üzerinde diğer sistem parametreleri kadar etkili olacaktır.

$$k_{\text{bağlantı}} = 5 \times 10^6 \text{ N/cm}$$

$$x_{rs} = 0.03 \text{ cm}$$



Şekil 4.3 7'nci boru parçası için zemin yay kuvveti-bağıl zemin boru deplasman ilişkisi (Serbest-ankastre)



Şekil 4.4 Yer hareketi

Boru hattının bir ucunda mevcut bir yapıya yapılacak yüksek rijitlikte bir bağlantı bu hal için geçerli bir örnektir.

Parametrik çalışmalarda kullanılan yer hareketi rastgele seçilmiştir. Uzun süreli, gerçek bir yer hareketinin çalışmalarda kullanılması kuşkusuz daha gerçekçi sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Fakat problemin doğrusal olmayan doğasından kaynaklanan çok sayıda iterasyon yapma gereği ve yapılan çok sayıda parametrik çalışma araştırmacıları daha kısa süreli herhangi bir yer hareketini kullanmaya itmiştir.

4.2.2 Araştırma parametreleri

Bu çalışmada aşağıda belirtilen parametrelerin boru hatlarının sismik davranışı üzerindeki etkileri araştırılacaktır.

- Kayma limiti
- Sınır koşulları
- Zemin rijitliği
- Dalga yayılma hızı

4.3. Sonuçların tartışılması

4.3.1 Genel

Bu çalışmada kayma limiti zemin ve boru parçası arasında oluşan bağlı deplasman cinsinden ifade edilmiştir. Öte yandan; bu değişkenin boru parçasının gömülme derinliği, boru yalıtımı, boru çapı gibi değişik parametrelerin bir fonksiyonu olduğu bilinmektedir. Böylece, diğer sistem parametrelerini sabit tutup birimi değiştirmek yoluyla verilen bir kayma limitinde yukarıda belirtilen parametrelerin sistemin davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak mümkün olacaktır.

Bugüne değin yapılan çalışmalar genellikle yarı-statik yaklaşımlarla gerçekleştirilmiştir. Bilindiği üzere bu yöntem sistemin sismik davranışında dinamik terimlerin ihmal edilebilir boyutlarda olduğu varsayımına dayanmaktadır. Bu yaklaşım bazı haller için yeterli doğruluk derecesini taşıırken bazı hallerde boru sayısı, boru kütlesi, gömü derinliği gibi faktörlere bağlı olarak dinamik terimlerin önem kazanması ile yetersiz bir hale gelecektir. Ayrıca, kayma olayının ele alınması ile dinamik etkiler ek bir önem kazanacaktır. Boru parçası sayısı dışında tüm özellikleri aynı olan iki sistemin maksimum deplasmanlarındaki farklılık Şekil 4.1 ve 4.2'de

izlenmektedir. Bu farklılık boru sayısının davranış üzerindeki etkisini dolayısıyla dinamik analizin önemini gösteren çarpıcı bir örnektir.

Herbir parametrik çalışma ele alınan parametrenin değişik değerleri için elde edilmiş iki değişik tip eğri grubunun elde edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Birinci tip eğriler maksimum bağıl birleşim noktası deplasmanının bağlantı rijitliğine karşı çizilmesi ile elde edilirken, maksimum bağıl zemin boru deplasmanının bağlantı rijitliği ile değişimi ikinci tip eğri grubunu oluşturmuştur.

Çalışmalarda bu iki tip eğrinin ters bir ilişki içinde olduğu görülmüştür. Örneğin, maksimum bağıl birleşim noktası deplasmanında oluşan bir düşüş, maksimum bağıl zemin-boru deplasmanında bir artış olarak gözlenmektedir. Bu ters ilişki yapılan tüm parametrik çalışmalarda izlenmiştir.

Değişik parametrik çalışmalarla elde ettiğimiz eğriler bazı ortak yönlerle sahiptir. Bu benzerlikler aşağıda kısaca açıklanacaktır.

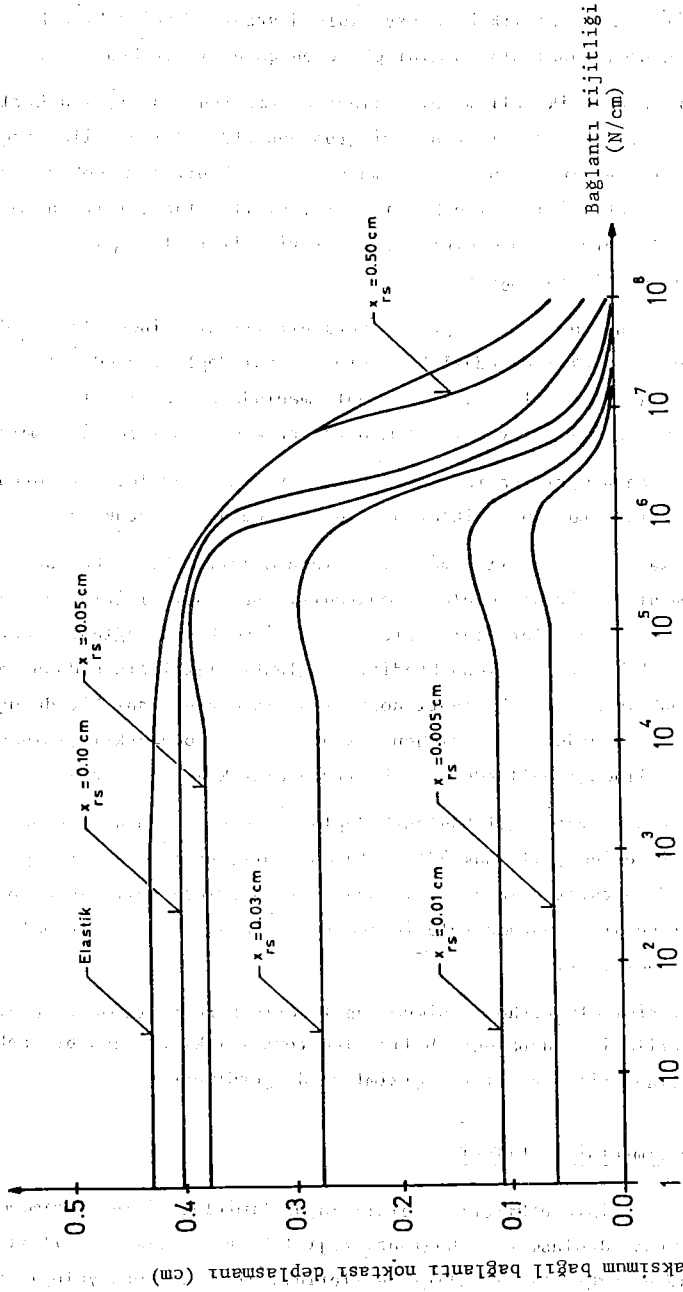
Düşük bağlantı rijitliği değerleri için maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanları bir plato oluşturmaktadır. Bağlantı rijitliğinin zemin rijitliğine yakın değerler aldığı kısımda maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanında bir artış gözlenmektedir. Bağlantı rijitliğinin daha fazla artmasıyla maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanında ani bir düşüş izlenecektir. Eğrilerde artış izlenen kısımlar, zemin-boru etkileşiminde kaymanın ele alındığı hallerde daha belirgin olarak gözlenmektedir.

Eğriler maksimum bağıl bağlantı deplasmanının ani düşüş gösterdiği kısımda birbirlerine yaklaşmaktadır. Bu davranış; bağlantı rijitliğinin artması ile bu parametrenin sistemin davranışı üzerinde belirleyici bir hal aldığını ve diğer parametrelerin göreceli olarak etkisiz bir hale geldiğini göstermektedir.

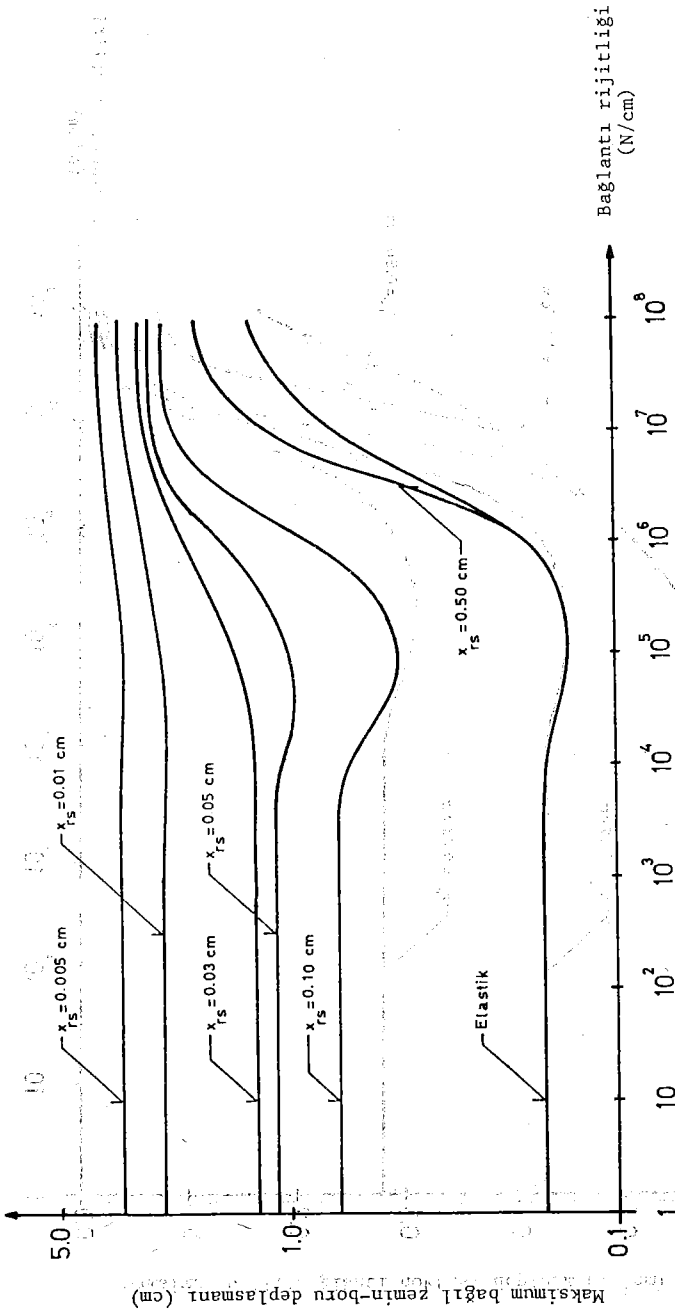
İkinci tipi oluşturan maksimum bağıl zemin-boru deplasmanı - bağlantı rijitliği eğrilerinin daha önce belirtilen ters ilişkiye uygun bir şekilde oldukları elde edilen verilerin çizimlerinde görülmektedir.

4.3.2 Kayma limitinin etkileri

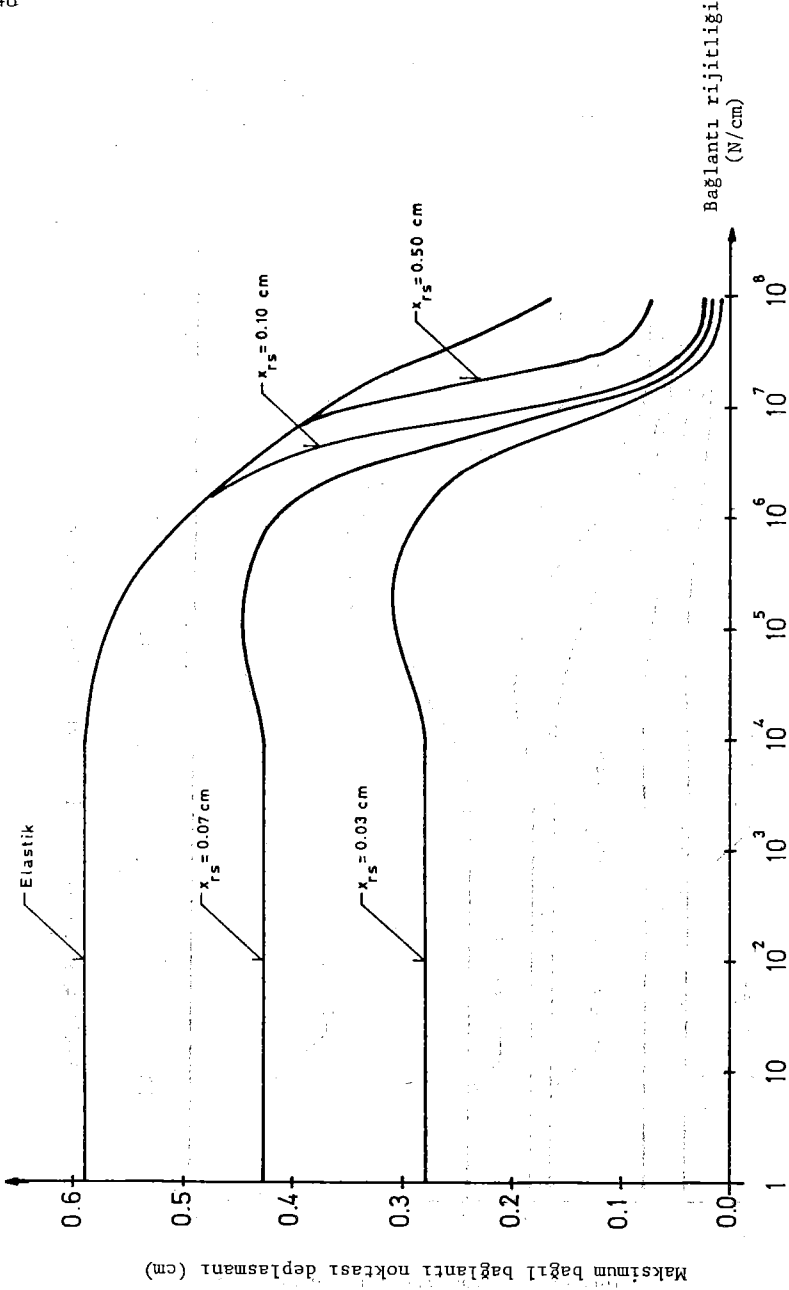
Kayma limitinin etkileri, değişik kayma limitleri için maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanı - bağlantı rijitliği ve maksimum bağıl zemin-boru deplasmanı - bağlantı rijitliği eğrilerinin elde edilmesi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen eğriler şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'de



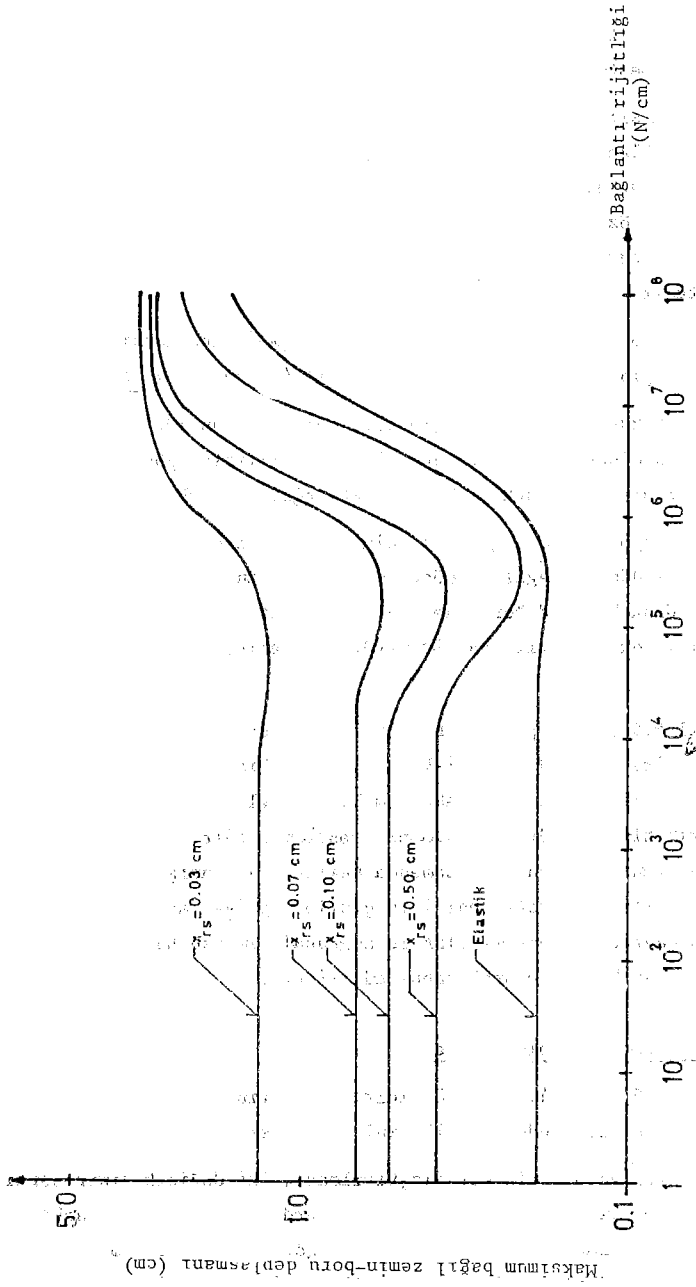
Şekil 4.5 Kayma limitinin etkisi (serbest-serbest)



Şekil 4.6 Kayma limitinin etkisi (Serbest-serbest)



Şekil 4.7 Kayma limitinin etkisi (Serbest-ankastre)



Şekil 4.8 Kayma limitinin etkisi (serbest-ankastre)

görülmektedir. Bunlardan ilk ikisi serbest-serbest sınır şartları diğer ikisi ise serbest-ankastre sınır koşulları halinde elde edilmiştir.

Değişik sınır koşulları için maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanının bağlantı rijitliğine ve kayma limitine göre değişimini gösteren Şekil 4.5 ve 4.7 üzerinde yapılan incelemeler kayma limitinde oluşan bir azalmanın, özellikle düşük bağlantı rijitlikleri halinde maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanlarında önemli azalmalara yol açacağını göstermektedir.

Öte yandan kayma limitinde oluşacak düşmelerin, maksimum bağıl zemin-boru deplasmanlarını artıracığı Şekil 4.6 ve 4.8'de görülmektedir.

Değişik kayma limitleri için elde edilmiş olan eğriler bağlantı rijitliğinin düşük olduğu hallerde daha büyük farklılıklar göstermekte, bağlantı rijitliği arttıkça farklılık azalmakta eğriler birbirine yaklaşmaktadır.

Düşük kayma limit değerleri için maksimum bağıl zemin-boru deplasmanı eğrileri düzelve eğilimi göstermektedir. Bu ise belli bir kayma limitinden daha küçük değerlerde bağlantı rijitliğinin bağıl zemin-boru deplasmanını çok az etkileyen bir parametre haline geleceğini göstermektedir.

Şekil 4.5 ve 4.7 program PIPE'in ek bir sağlamasını yapmak için de kullanılabilir. Bilindiği gibi bu şekiller değişik sınır koşullarında, değişik kayma limitleri için maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanının bağlantı rijitliğine göre değişimini göstermektedir. Eğri gruplarında gözlenen davranış, ki bu aynı zamanda beklenen davranıştır, kayma limiti büyüdükçe eğrilerin elastik hal için çizilen eğriye yaklaşmaları şeklindedir. Bu davranış programı PIPE'in doğrusal olmayan haller için de geçerli olduğunun kanıtı olarak kabul edilmiştir.

4.3.3 Sınır koşullarının etkileri

Şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8 sınır koşullarının yeraltı boru hatlarının sismik davranışı üzerindeki etkilerini incelemek için de kullanılabilirler.

Şekil 4.5 ve 4.7'nin karşılaştırılması, iki değişik sınır şartında eğrilerin genel olarak aynı davranışı gösterdiğini ve serbest-ankastre sınır koşulu halinde serbest-serbest hale göre daha yüksek maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanları elde edildiğini göstermektedir.

Daha önce bahsedilen ters ilişki fikrine uygun olarak, Şekil 4.6 ve 4.8'den maksimum bağıl zemin-boru deplasmanlarının serbest-ankastre

hal için serbest-serbest sınır koşullarına göre daha küçük değerler alacağı gözlenebilir.

Şekil 4.9 belirli bir zamanda 10 parçası olan boru hattının mutlak boru deplasmanlarının, bağıl zemin-boru deplasmanlarının, ve bağıl bağlantı noktası deplasmanlarının boru hattı boyunca dağılımını göstermektedir. Sonuçlar iki değişik sınır koşulu için de çizilmiştir. Diğer tüm sistem parametreleri aynı olduğundan Şekil 4.9 sınır koşullarının dinamik davranış üzerindeki etkisini araştırmak açısından yararlı olacaktır.

Şekil 4.9 öncelikle, belirli bir anda sınır koşulları dışında tüm sistem parametrelerinin ve yer hareketinin aynı olduğu iki boru hattının davranışlarındaki farklılıkları göstermektedir. Öte yandan, mutlak deplasmanların serbest ankastre halinde serbest-serbest hale göre daha yüksek olduğu gözlenmektedir. Maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanı serbest-ankastre halde sınıra yakın bağlantılarda oluşmaktadır. Serbest-serbest halde ise bu değer orta bağlantılarda gözlenmektedir.

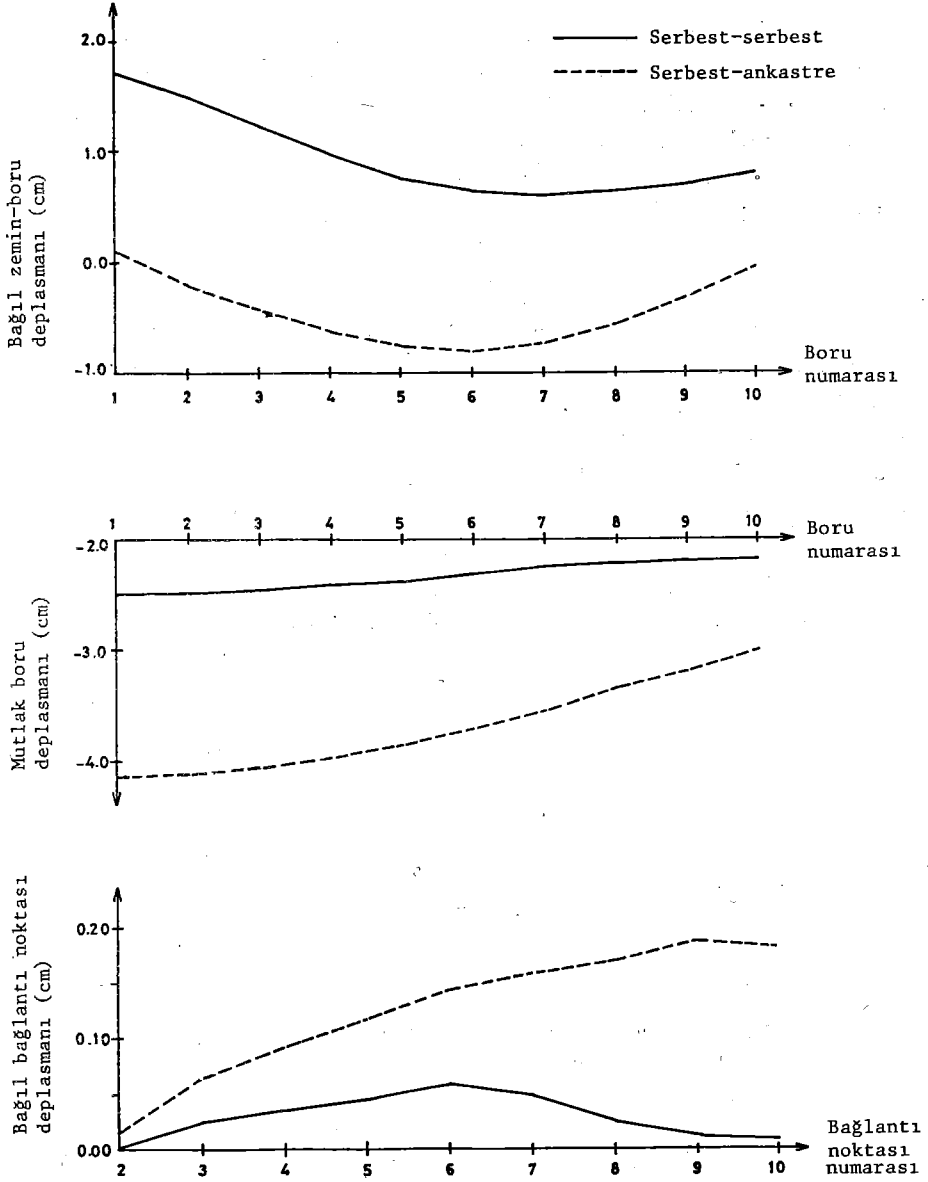
Şekil 4.10'da mutlak boru deplasmanlarının zamana göre değişimi 1., 5. ve 10. boru parçaları için ve iki değişik sınır koşulu için sunulmaktadır. Şekilden aynı sınır koşulu için değişik boru parçalarının benzer davranışlar gösterdiği, bir boru parçasının değişik sınır koşullarında farklı davranışlar gösterdiği gözlenmektedir.

Bu özel halde, serbest-ankastre sınır koşulları halinde serbest-serbest sınır koşullarına göre daha büyük mutlak boru deplasmanları gözlenmiştir. Şekil 4.10 yayılan yer hareketinin etkisini göstermesi açısından da ilginçtir. Mutlak boru deplasmanları dalga yayılım hızından kaynaklanan bir zaman gecikmesi ile srasıyla 1., 5. ve 10. boru parçasında sıfırdan farklı değerler almıştır.

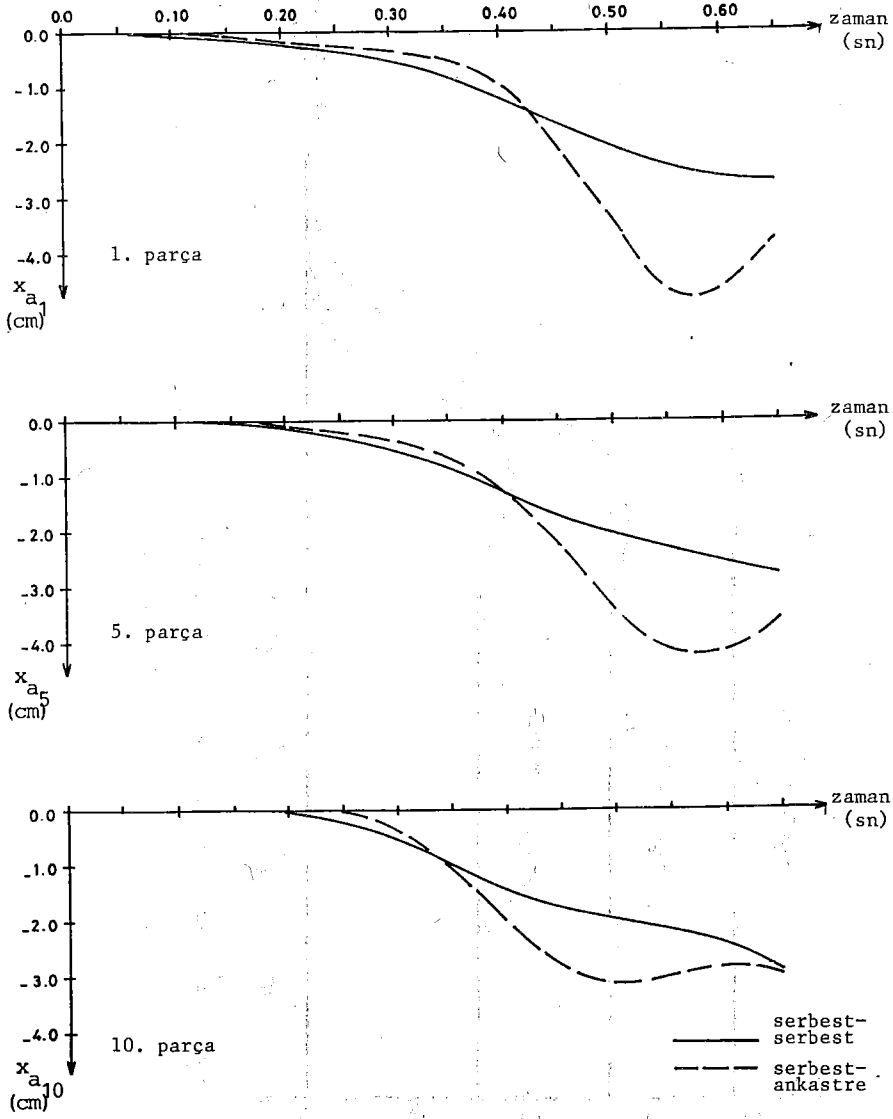
4.3.4 Zemin rijitliğinin etkisi

Zemin rijitliğinin etkisini araştırmak için referans değerleri kullanılarak elde edilen eğriye ek olarak referans zemin rijitliğinden daha büyük ve daha küçük zemin rijitliği kullanılarak iki ek eğri elde edilmiştir.

Şekil 4.11'deki eğrilerin karşılaştırılması daha rijit zemin koşullarında daha büyük bağıl bağlantı noktası deplasmanlarının elde edildiğini ortaya çıkarmaktadır. Maksimum bağıl zemin-boru deplasmanlarının bağlantı rijitliğine göre değişiminin çizildiği Şekil 4.12 daha önce bahsedilen

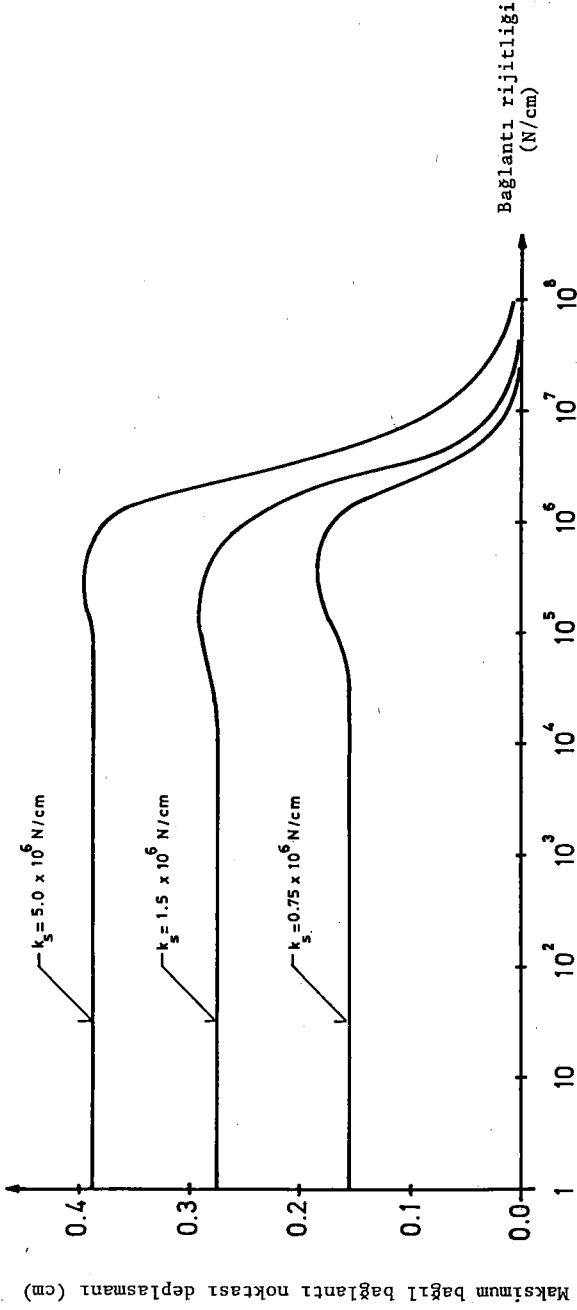


Şekil 4.9 $t=0.55$ sn'de çeşitli deplasmanların boru boyunca değişimi ($k_{\text{bağlantı}} = 5 \times 10^6$ N/cm)

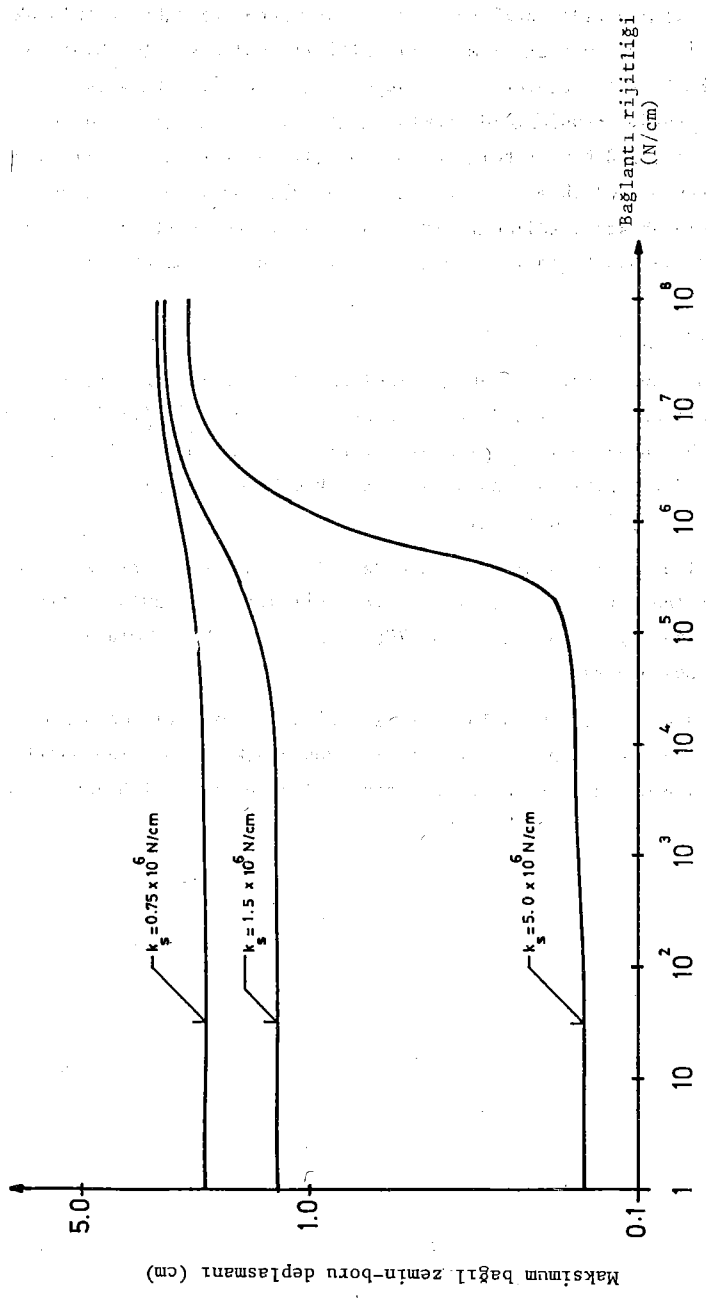


Şekil 4.10 Mutlak deplasmanların zamanla değişimi

($k_{bağlantı} = 5 \times 10^6$ N/cm)



Şekil 4.11 Zemin rijitliğinin etkisi (serbest-serbest)



Sekil 4.12 Zemin rijitliğinin etkisi (serbest-serbest)

ters ilişkiye uygun sonuçları içermektedir.

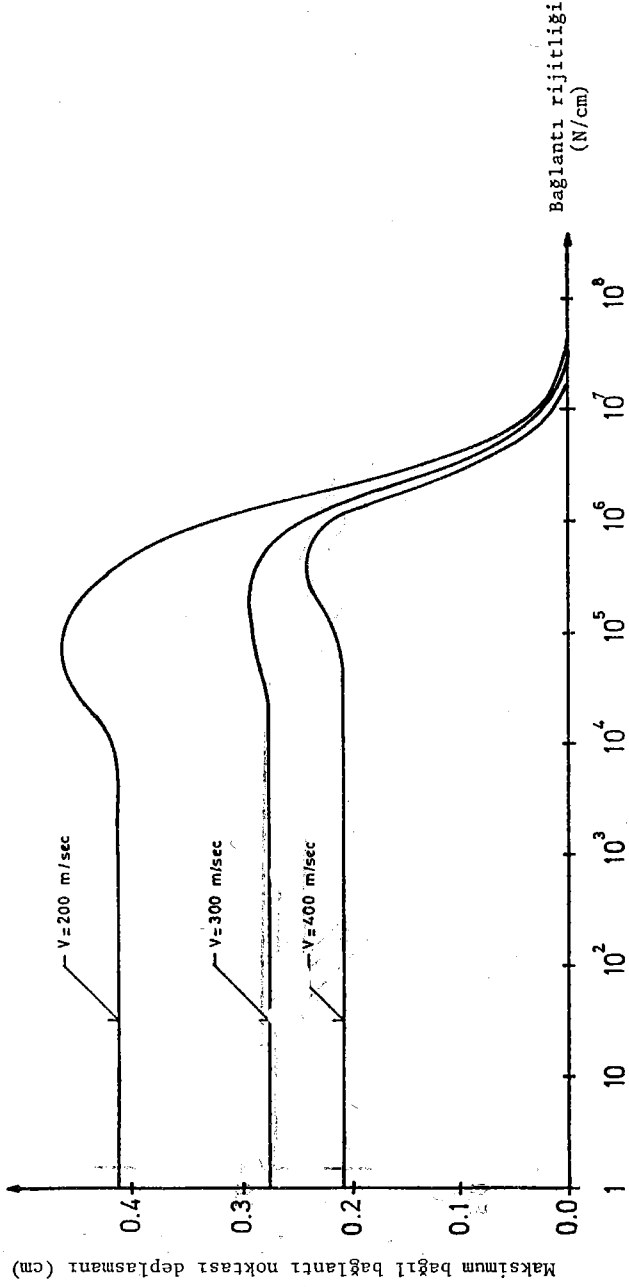
Şekil 4.11 ve 4.12'de verilen sonuçlar zemin rijitliği değiştirilirken, dalga yayılma hızıda dahil tüm sistem parametreleri sabit tutularak elde edilmiştir. Öte yandan, zemin rijitliği ile dalga yayılma hızının birbiri ile bağlantılı parametreler olduğu bilinmektedir. Buna karşın ele aldığımız türden problemlerde zemin rijitliği boru hattının yakın çevresinde önem taşıdığından bölgesel bir özellik olarak kabul edilirken jeolojik çevrenin özellikleri ile ilgili olan dalga yayılma hızı global bir özellik olarak kabul edilmektedir. Bu varsayım zemin rijitliği ile dalga yayılma hızının bağımsız olarak ele alınmasını sağlamaktadır.

4.3.5 Dalga yayılma hızının etkileri

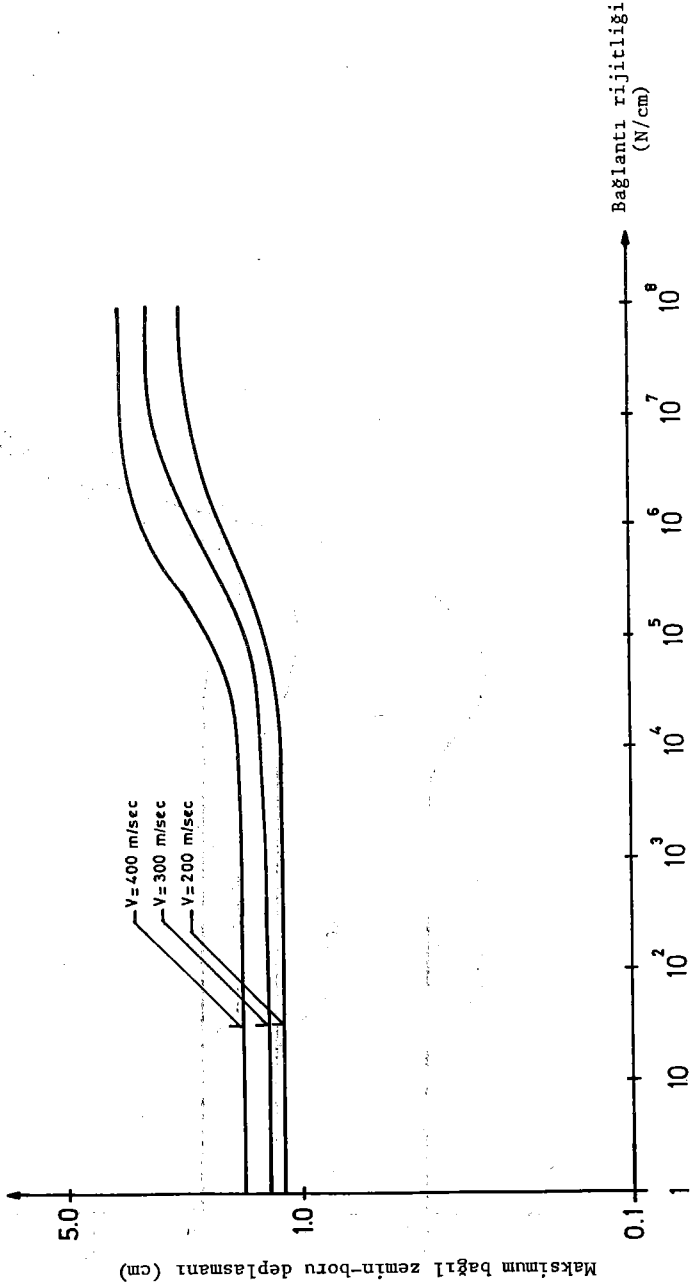
Maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanlarının bağlantı rijitliğine göre değişimleri üç farklı dalga yayılma hızı için Şekil 4.13'de verilmektedir. Daha büyük geçikme zamanını gerektiren daha düşük dalga yayılma hızlarında diğer hızlara nazaran daha büyük maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanları elde edilmiştir.

Aynı dalga yayılma hızları için elde edilen maksimum bağıl zemin-boru deplasman- bağlantı rijitliği eğrileri ise Şekil 4.14'de görülmektedir. Daha küçük dalga yayılma hızları daha küçük maksimum bağıl zemin-boru deplasmanlarına neden olmaktadır.

Diğer taraftan, büyük bağlantı rijitliği değerleri için maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanları sifıra yaklaşmakta, maksimum bağıl zemin-boru deplasmanları ise sıfırdan farklı olan, bu sayısal örnekte 4 cm.ye varan, bir üst sınıra yaklaşmaktadır.



Şekil 4.13 Dalga yayılma hızının etkisi (serbest-serbest)



Şekil 4.14 Dalga yayılma hızının etkisi (serbest-serbest)

5. ÖZET ve ÖNERİLER

Bu çalışmada; uzun, parçalı yeraltı boru hatlarının sismik davranışı zemin-boru arasında oluşabilecek kaymalar da gözönünde tutularak araştırılmıştır.

Bu amaca yönelik olarak problemin bir analitik modeli geliştirilmiştir. Problem, kayma olgusunun da ele alınması nedeniyle doğrusal olmayan bir şekil almış, bu nedenle hareket denklemlerinin çözümü için sayısal çözüm yöntemleri kullanılmıştır.

Kurulan model ve kullanılan çözüm yöntemleri ışığında PIPE adında bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Program PIPE kullanılarak, öncelikle kayma etkisi ve sınır koşulları, zemin rijitliği, dalga yayılma hızı gibi diğer sistem parametrelerinin davranış üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Bu analitik-sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

Özellikle dinamik terimlerinsistemin fiziksel özelliklerinden dolayı etkili olduğu hallerde, kaymanın yeraltı boru hatlarının sismik davranışı üzerindeki etkisi çok belirli bir hal almaktadır. Boru parçalarının ağır olması, iyi bir boru yalıtımı (sürtünmeye karşı), boru üzerindeki toprak basıncının az olması kaymanın davranış üzerindeki etkisini artıran faktörlere örnek olarak gösterilebilirler.

Parçalı boru hatlarının tasarımında belkide en önemli parametre olan maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanları kayma limitinin küçülmesiyle azalma gösterecektir.

Serbest-ankastre sınır koşulları, serbest-serbest sınır koşullarına oranla daha büyük maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanlarına neden olmaktadır.

Zemin rijitliğindeki artma daha büyük maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanları yaratacaktır. Yüksek dalga yayılma hızları maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanlarının azalmasına neden olacaktır. Bu parametrik çalışmalar yapılırken zemin rijitliği ile dalga yayılma hızının bağımsız parametreler olarak değerlendirildiği unutulmamalıdır.

Yapılan tüm parametrik çalışmalarda maksimum bağıl zemin-boru deplasmanları ile maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanlarının ters bir ilişki içinde oldukları gözlenmiştir.

Kayma olgusunun maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanları üzerinde azaltıcı bir etkisi bulunmaktadır. Kayma etkisinin daha net bir sunuluşu, değişik frekans aralıklarını içeren gerçekçi yer hareketlerinin kullanıldığı ve de esasta kayma etkisinin vurgulandığı bir çalışmayla mümkün olacaktır. Bu tür çalışmalar sonucunda kayma etkisinin etkili olduğu bazı limitleri tanımlamak mümkün olacaktır. Böylece, kayma limitinin maksimum bağıl bağlantı noktası deplasmanları üzerindeki azaltıcı etkisini tasarım aşamasında hesaba katan tasarım kriterleri geliştirmek mümkün olacaktır.

Kurulan analitik model ve bağlantılı olarak geliştirilen program, eksenel yönde dinamik etkilere maruz olan ve bu yönde davranış gösteren birçok sistemin analizi için geçerlidir. Şahmerdan yükü gibi düşey yönde dinamik yüklere maruz bir sürtünme kazığının dinamik analizi, geliştirilen teori ve programla yapılabilecek uygulamaların ilginç bir örneğidir.

KAYNAKLAR

1. Arıman, T. and Muleski, G.E. "A review of the response of buried pipelines under seismic excitations", Earthq. Engng. and Str. Dyn. 1981, Vol.9, pp.133-151.
2. Chen, C.C., et al. "Buckling analysis of buried pipelines under seismic loads", Proc. 7th Wld. Conf. Earthq. Engng., 1980, Vol.8, pp.249-256, Istanbul.
3. Clough, R.W. and Penzien, J. "Dynamics of Structures", McGraw-Hill, 1975.
4. Hakuno, M. "Characteristics of network reliability of various types of life-line systems", Proc. 7th Wld. Conf. Earthq. Engng. 1980, Vol.8, pp.273-280, Istanbul.
5. Hindy, A. and Novak, M. "Earthquake response of underground pipelines", Earthq. Engng and Str. Dyn. 1979, Vol.7, pp.451-476.
6. Hindy, A. and Novak, M. "Earthquake response of buried insulated pipes", ASCE Jour. of Engng. Mech. Div., 1980, Vol.106, pp.1135-1149.
7. Katayama, T., et al. "Restoration of lifelines in Sendai after the damage caused by the 1978 Miyagi Ken-Oki earthquake", Proc. 7th Wld. Conf. Earthq. Engng. 1980, Vol.8, pp.233-240, Istanbul.
8. Keizaburo, K. and Isoyama, R. "Damage to buried utility pipes in the 1978 Miyagi Ken-Oki earthquake", Proc. 7th Wld. Conf. Earthq. Engng. 1980, Vol.8, pp.225-232, Istanbul.
9. Kuribayashi, E. et al. "Functional damage and rehabilitation of life-lines in earthquakes", Proc. 7th Wld. Conf. Earthq. Engng. 1980, Vol.8, pp.185-192, Istanbul.

10. Kuribayashi, E., et al. "Static and quasi-static seismic response analyses of buried pipelines", Published by Public Works Research Institute, Ministry of Construction, 1981, Tsukuba, Japan.
11. Muhammadi, J. and Ang A.H. "Seismic hazard and safety evaluation of lifeline systems", Proc. 7th Wld. Conf. Earthq. Engng. 1980, Vol.8, pp.177-184, Istanbul.
12. Novak, M. and Hindy, A. "Seismic analysis of underground tubular structures", Proc. 7th Wld. Conf. Earthq. Engng. 1980, Vol.8, pp.287-294, Istanbul.
13. O'Rourke, M. and Castro, G. "Effects of wave propagation upon buried pipelines", Earthq. Engng. and Str. Dyn., 1980, Vol.8, pp.455-467.
14. Wang, L.R. and Cheng, K.-M. "Seismic response behavior of buried pipelines", ASME publ., 1978, Paper No.78-WA/PVP-5.
15. Wang, L.R. "Seismic vulnerability, behavior and design of buried pipelines", Proc. 7th Wld. Conf. Earthq. Engng. 1980, Vol.8, pp.295-302, Istanbul.
16. Wang, L.R. "Field investigation and analysis of buried pipeline under various seismic environments", NSF Grant No. CEE-8209241, 1982, Fears Str. Eng. Lab., Univ. of Oklahoma.
17. Wang, L.R. and Yeh, Y. "Seismic performance evaluation of lifelines", NSF Grant No. CEE-8025172, 1982, Fears Str. Eng. Lab., Univ. of Oklahoma.
18. Wang, L.R. "Role and development of soil parameters for seismic responses of buried lifelines", ASME Publ., 1983, Paper No. PVP-77, New York, USA.

19. Wang, L.R. and Olabimtan, A. "General quasi-static seismic analysis of buried straight piping systems", NSF Grant No. CEE-8209241, 1983, Fears Str. Eng. Lab., Univ. of Oklahoma.
20. Wang, P.C., et al. "Critical seismic assesment of lifeline structures", Proc. 7th Wld. Conf. Earthq. Engng., 1980. Vol.8, pp.257-264. Istanbul.
21. Weidlinger, P. and Nelson, I. "Dynamic seismic analysis of long segment-ed lifelines", ASME publ., 1978, Paper No. 78-WA/PVP-4.
22. Weidlinger, P. and Nelson, I. "Seismic design of underground lifelines", ASCE Journ. of Tech. Counc., 1980, Vol.106, pp.185-200.
23. Wright, P.J. and Takada, S. "Earthquake response characteristics of jointed and continuous buried lifelines", Proc. 7th Wld. Conf. Earthq. Engng. 1980, Vol.8, pp.281-286, Istanbul
24. Yaoxian, Y. "Damage to lifeline systems and other urban vital facilities from the Tangshan China earthquake of July 28, 1976", Proc. 7th Wld. Conf. Earthq. Engng. 1980, Vol.8, pp.169-176, Istanbul.

EGE DENİZİNDE
RAYLEIGH DALGALARININ FAZ
HIZLARI VE GİRİŞİMİN ETKİSİ

1
Doç.Dr.Müh.Ülben Ezen

ABSTRACT.

In this study, single-station measurements of phase velocity were computed by studying Rayleigh waves recorded at Istanbul(I.T.Ü) earthquake station associated with twelve earthquakes which are located on the Aegean sea. The epicenters of five earthquakes are located on the south of Greete island and seven of them are located on the mid-northern Aegean sea.

Also, effects of interference phenomenon on the computed phase velocities were investigated. It was also found that, interference effects on the phase velocity curves are very strong although this effect is very weak on the group velocity curves.

Finally, the comparison of computed phase velocities for northern and southern Aegean sea region showed that upper crustal structure beneath the northern and southern Aegean sea region is very different.

ÖZET.

Bu çalışmada, Ege denizinde yer alan 12 depremin İstanbul(I.T.Ü) deprem istasyonunda kaydedilmiş Rayleigh dalgalarının tek istasyonda faz hızları hesaplanmıştır. Depremlerden beşinin episentrları Girit adası güneyinde yedisinin ise orta-kuzey Ege denizinde bulunmaktadır.

Keza, girişim(enterferans) olayının hesaplanan faz hızı eğrileri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Buna göre girişimin grup hızı eğrileri üzerindeki zayıf etkinliğine karşılık faz hızı eğrileri üzerinde çok şiddetli geliştiği saptanmıştır.

Kuzey ve güney Ege denizi bölgesi için hesaplanan faz hızlarının mukayesesinden de, her iki bölgede üst-kabuk yapısının oldukça farklı olduğu gözükmektedir.

GİRİŞ.

Sismik yüzey dalgalarının dispersiyon özelliklerini inceleyerek doğrudan doğruya yer kabuğunun tabakalı yapısının geometrik(kalınlık) ve elâstik parametrelerini(dalga hızları ve yoğunluk) saptamak mümkündür. Kaynakla-istasyon arasında izlenen yörüngede, homojen ve elâstik-katı ve hızın sürekli arttığı bir ortamda yüzey dalgalarının dispersiyon özelliğini yansıtan gözlemsel grup ve faz hızı eğrileri belli bir form gösterirler. Bu bir yerde kaynak ve ortamın zaman ve mekân içinde tekil davranmasına bağlıdır. Zira tekil bir kaynaktan çıkan ve tekil(homojen) davranan bir ortamdan geçen yüzey dalgası grupları mümkün olduğunca temiz bir şekilde(başka dalga modları ile karışmadan) istasyona varacaktır.

1) İ.T.Ü. Maden Fakültesi Jeofizik Müh.Bölümü

Ve pek tabiidir ki, bu türden yüzey dalgalarının gözlemsel dispersiyon eğrileride aynı temizliği ve homojeniteyi sürdürerek düzgün ve sürekli biçimde gelişeceklerdir. Ancak kaynağın zaman ve mekân içinde çoğul davranması veya ilerlenen yörünge boyunca ortamın yapısal bozuklukları, yüzey dalgası varışlarının istasyona varmadaki düzenini bozabilir. Örneğin ilerlenen yörüngede geçilen yapı diliminin kalınlığındaki ani ve etkin değişimler dalgaların orijinal enerji içeriklerini değiştireceğinden gelişen yeni enerji grupları ya da yapıda mevcut düşük hız tabakasından kaynaklanan negatif hız değişimlerinin doğurduğu farklı varışlar girişime neden olabilecektir. Sonuçta girişimin bozucu etkisiyle grup ve faz hızı eğrilerinde de bükülmeler, kırılmalar hatta parçalanmalar meydana gelecek eş deyişle eğrilerin düzgün ve sürekli oluşları bozulacaktır.

Yüzey dalgası grupları arasında ister kaynaktan ister ortandan gelişen girişim olayının dispersiyon eğrileri üzerindeki etkinliği, grup hızından ziyade faz hızı üzerine olmak durumundadır. Zira faz hızı dalga hareketini oluşturan partiküllerin hızı olduğundan girişimin tesirinden hayli etkilenmektedir. Halbuki grup hızı dar bir frekans bandındaki bir dalga grubunun hızı olduğundan girişim -belli bir şiddette olmadığı sürece- pek etkisini gösterememektedir.

Özellikle zayıf girişim gösteren yüzey dalgalarına ilişkin grup hızı eğrilerinde girişimin etkisini seçebilmek - eğer başka deliller yoksa - hayli zorlaşmaktadır. Aynı bölgede Ezen (1979) tarafından yapılan bir çalışmada grup hızları için gözlenen bu yetersizliğin, faz hızı eğrileri üzerinde ne düzeyde olup olmadığı bu çalışmada araştırılmak istenmiştir.

I. Yüzey Dalgalarının Gözlemsel Faz Hızının Saptanması

Sismoğramdaki yüzey dalgası dizilerinden faz hızını saptama konusunda ilk kez Sato (1955, 1956 ve 1960) Fourier Dönüşümünden elde ettiği faz spektrumunu kullanarak faz hızı hesaplamaları yapmıştır. Kaydedilmiş bir yüzey dalgasının faz spektrumu $\theta(w)$, kompleks spektrumun $R(w)$ gerçel ve $I(w)$ sanal kısımları cinsinden

$$\theta(w) = \arctg \frac{I(w)}{R(w)} \quad (1)$$

ise, Sato (1955, 1956 ve 1960) faz hızına bağlı faz spektrumunu kaynaktan X uzaklıkta tek istasyon için $\arg f(w, x) = \theta$ yı göstermek üzere,

$$\arg f(w, x) = \theta = \arctg \frac{I(w)}{R(w)} \quad (2)$$

den yararlanarak $C(w)$ faz hızını, $B(w)$ kaynağa ait faz bileşenini

göstermek üzere ,

$$\text{argf}(w,x) = -B(w) - w \frac{x}{C(w)} \quad (3)$$

şeklinde vermektedir. Görüldüğü gibi kaynağa ait faz bilgisi bilinmediği takdirde bu bağıntı ile tek istasyonda faz hızını bulmak olanaksızdır.

Eğer kaynaktan X_a ve X_b uzaklıkta A ve B istasyonlarında kaydedilen yüzey dalgalarının $\text{argf}(w,x_a)$ ve $\text{argf}(w,x_b)$ faz spektrumları ise, aynı araştırmacı İki istasyon ölçümlerinden faz hızını

$$C(w) = \frac{w |x_a - x_b|}{[-\text{argf}(w,x_a) + \text{argf}(w,x_b)]} \quad (4)$$

şeklinde vermektedir. Benzer biçimde Brune ve diğ(1960) tarafından, episantr ile büyük daire üzerinde aynı azimutta bulunan iki istasyonda kaydedilen yüzey dalgalarının faz spektrumlarından yararlanarak faz hızı hesaplamaları yapılmıştır. Kaynağa uzaklıkları X_a ve X_b olan, A ve B istasyonunda kaydedilen yüzey dalgalarının verilen bir T periyodu için faz bileşenleri ϕ_a ve ϕ_b ise ve bu periyottaki dalgaların istasyona varışları t_a ve t_b ise periyoda bağlı C(T) faz hızı Brune ve diğ(1960) tarafından

$$C(T) = \frac{|x_a - x_b|}{[|t_a - t_b| - \left[\frac{\phi_b - \phi_a}{2\pi} + N \right] \times T]} \quad (5)$$

biçiminde verilmektedir. Burada N saptanması gereken tam sayı bir sabittir. Eğer istasyonlardan biri kaynak (deprem odağı) olarak düşünülürse ve odaktaki hareket bilindiği takdirde TEK istasyon ile de faz hızını bu bağıntıdan saptamak mümkündür.

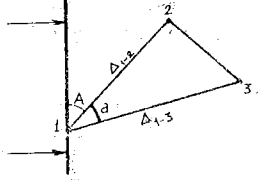
Odaktaki hareketin fazına $-\phi_0(w)$ ilişkin bilgiler bilindiği takdirde Brune ve diğ(1961) (5) bağıntısına benzer biçimde C(T) faz hızını tek istasyon için

$$C(T) = \frac{x}{t - \left(N - \frac{\phi_0}{2\pi} \right) T} \quad (6)$$

şeklinde vermektedir. Burada x episantr uzaklığı, t ise, T periyodundaki dalganın seyahat zamanı yani, depremin oluş zamanı (t_0) - t_x (varış zamanı) dır.

Öte yandan Press(1956) üç istasyonu kullanmayı gereksinen bir

yöntemi geliştirdi. Bu yöntemin esası, aralarındaki uzaklık dalga boyu mertebesinde olan ve belli bir geometride kurulmuş üç istasyonda kaydedilmiş dalgaların aynı fazlarının - örneğin pozitif ve negatif doruklarının - işaretlenerek, bunların varış zamanları arasındaki farklardan yararlanarak faz hızının hesaplanmasına dayanıyordu.



Şekil 1. Üç istasyon yöntemiyle faz hızı tayini (Press 1956).

Şekil 1 de birbirlerine göre konumları gösterilen üç istasyonda, dalga dizilerinin aynı fazdaki pozitif ve negatif doruklarının varış zamanları okunarak,

$$C = \frac{\Delta_{1-2} \cdot \sin a}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta_{1-3} \cdot \sin(a+a)}{t_3 - t_1} \quad (7)$$

bağıntısından C faz hızı hesaplanabilir. Burada a açısı dalga cephesi ile birinci ve ikinci istasyonları birleştiren doğrultu arasındaki açıdır. Δ uzaklığı simgelemektedir.

Bir dizi T periyodu (her değişik faz) için (7) bağıntısı kullanılarak C(T) faz hızı eğrisi hesaplanabilir. Bloch ve Hales (1968) tarafından ise yine iki istasyonu gereksinen iki değişik yöntem geliştirildi. Bunlar sırası ile

- a) Toplamlar ve Farklar (Sum and Differences)
- b) Çapraz-Çarpım (Cross-Multiplication)

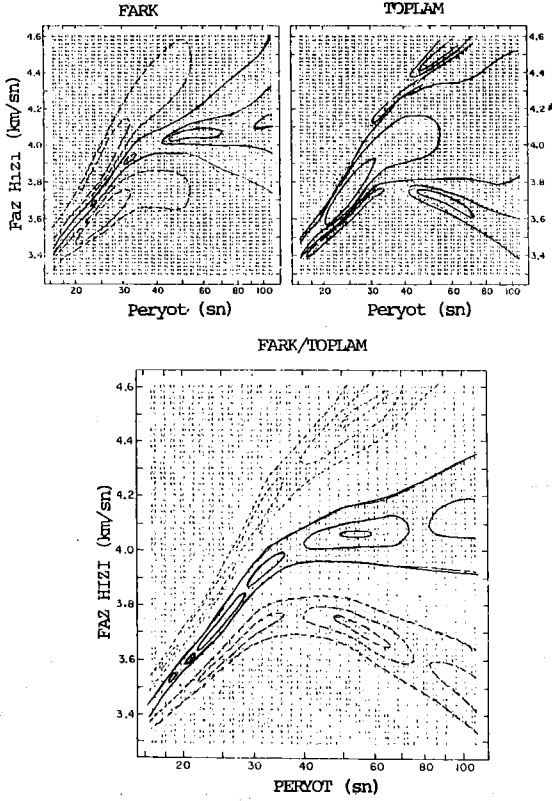
Toplamlar ve Farklar yönteminde, verilen bir frekansta toplamaları maksimum farkları minimum olacak iki faz fonksiyonunun yarlığı prensibine dayanılır. Hesaplama tekniği için, iki istasyondaki kayıt $f_1(t)$ ve $f_2(t)$ olmak üzere

$$H(\tau, \omega)_{\max} = \int_{-\infty}^{\infty} [f_1(t+\tau) + f_2(t)] e^{-i\omega t} dt$$

$$H(\tau, \omega)_{\min} = \int_{-\infty}^{\infty} [f_1(t+\tau) - f_2(t)] e^{-i\omega t} dt \quad (8)$$

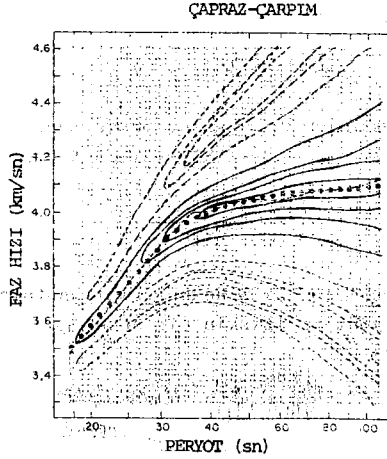
bağıntılarından yararlanılır.

Bu bağıntılar yardımı ile bir τ faz gecikme zamanına karşı gelen değerler için, belli bir merkez frekansı dolayında dar-bant geçişli süzgeçle süzgeçlenmiş genlik değerleri dB cinsinden hesaplanarak $H(\tau, w)$, Toplamlar ve $H(\tau, w)$ Farklar genlik matrisleri oluşturulur. Arzulanan dB aralığı ile çizilecek genlik konturları faz hızı eğrisinin saptanmasına yarayacaktır. Nevar ki bu saptamada, istasyonlar arası uzaklık X , τ faz gecikmelerine bölünerek (X/τ =faz hızı), τ değerleri yerine bir seri faz hızı değerleri için genlik matrisleri hesaplanır. Konturların maksimumlarının birleştirilmesiyle gözlemsel faz hızı eğrisi ortaya çıkarılır. Şekil 2 de bu yönteme ilişkin bir örnek görülmektedir.



Şekil 2. Toplamlar ve Farklar yöntemi ile faz hızı tayini (Bloch ve Hales 1968).

Çapraz-Çarpım yönteminde ise, bir seri faz gecikmesi zamanlarına karşı gelen faz hızı değerleri için yine belli bir merkez frekans dolayında dar-bant geçişli bir süzgeçle süzgeçlenmiş iki istasyon kayıtlarının genliklerinin çapraz çarpımı öngörülmektedir. Çapraz çarpım fonksiyonunun maksimum olduğu yerde faz gecikme zamanına karşı gelen faz hızı, süzgeçlenen merkez frekansı dolayında faz hızını temsil etmektedir. Bu yöntemle ilişkin örnek ise Şekil 3 te görülmektedir.



Şekil 3. Çapraz-Çarpım yöntemi ile faz hızı tayini (Bloch ve Hales 1968).

Öte yandan Landisman ve diğ. (1969) yine iki istasyon kaydını gerektiren çapraz-korelasyon (Cross-correlation) adını verdikleri bir yöntemle faz hızını hesapladılar. Önerilen bu yöntemde $f_1(t)$ ve $f_2(t)$ iki istasyondaki zaman kayıtlarını, $F_1(\omega)$ ve $F_2(\omega)$ bunların kompleks spektrumlarını simgelemek üzere, hesaplanacak çapraz kompleks spektrum $F_{21}(\omega)$

$$F_{21}(\omega) = F_2(\omega) / F_1(\omega) \quad (9)$$

veya genlik ve faz terimleri türünden

$$F_{21}(\omega) = \frac{A_2(\omega)}{A_1(\omega)} \cdot e^{i(\phi_2(\omega) - \phi_1(\omega))} \quad (10)$$

şeklinde tanımlanabilecektir. $F_{21}(\omega)$ çapraz spektrumunun ters Fourier dönüşümü ise ÇAPRAZ-KORRELOGRAMI $f_{21}(t)$ yi,

$$f_{21}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{A_2(\omega)}{A_1(\omega)} \cdot e^{i(\phi_2(\omega) - \phi_1(\omega))} \cdot e^{i\omega t} \cdot d\omega \quad (11)$$

verecektir. Elde olunan f_{21} korrelogramının belli faz gecikme zamanlarına karşı gelen faz hızları için periyodu fonksiyonu olarak hesaplanmış değerleri faz hızı eğrisini verecektir. Eş bir deyişle bütün işlemler iki kayıt yerine bunların ortak özelliğini yansıtan çapraz-korrelogram üzerinde yapılmaktadır.

Öte yandan (10) bağıntısından görüldüğü gibi $F_{21}(\omega)$ çapraz kompleks spektrumunda ,

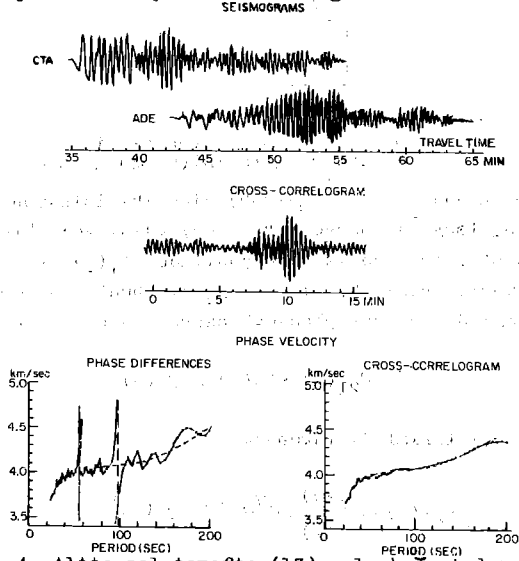
$$\Phi(\omega) = \phi_2(\omega) - \phi_1(\omega) \quad (12)$$

terimiyle faza ilişkin ortak bilgiler mevcuttur. Dolayısıyla r_2 ve r_1 istasyonların kaynağa olan uzaklıklarını göstermek üzere,

$$c(\omega) = \frac{\omega(r_2 - r_1)}{\Phi(\omega)} \quad (13)$$

bağıntısından bir seri faz hızı değerlerini saptamak yine mümkündür.

Şekil 4 te bu yöntemle ilişkin bir örnek görülmektedir.



Şekil 4. Altta sol tarafta (13) nolu bağıntıdan bulunan, sağ tarafta ise direkt çapraz korrelogramdan bulunan faz hızı eğrisi. (Dziewonski ve diğ 1968 den)

Yine iki istasyonu gerektiren ve Dziejwonski ve Hales(1972) tarafından önerilen yöntemle göre, aynı kayıt sistemi ile donatılmış ve aynı azimutta iki istasyondaki kayıtların faz spektrumunu $\phi_2(w)$ ve $\phi_1(w)$ ise, r_2 ve r_1 episantr uzaklıklarını göstermek üzere

$$C(w) = \frac{w(r_2 - r_1)}{\phi_2(w) - \phi_1(w) + 2L\pi} \quad (14)$$

bağıntısından faz hızı bulunabilir. Burada L saptanması gereken bir sabit olup faz fonksiyonunun çok değerli olmasından ötürü eklenen faz terimlerinin sayısıdır.

Bath(1974) ise, ayrıntılı faz kavramlarını kullanarak yine iki istasyonda faz ilişkilerini düzenliyerek faz hızını vermeye çalışmıştır. Buna göre bir istasyonda kaydedilen yüzey dalgalarının toplam faz bileşkesi ϕ_x olmak üzere zaman ortamında

$$\phi_x = \phi_s + \phi_p + \phi_I + 2n\pi \quad (15)$$

şeklinde düşünülebilir. Burada ϕ_s kaynağa ilişkin faz bileşeni olup, ϕ_I kaynaktaki başlangıç fazını ve $\pi/4$ faz kaymasını göstermek üzere

$$\phi_s = \phi_I + \pi/4 \quad (16)$$

şeklinde (Aki 1962). Öte yandan izlenen yörünge boyunca ortamın faz bileşenini simgeleyen ϕ_p ise

$$\phi_p = wt - \frac{wr}{c} + m\frac{\pi}{2} \quad (17)$$

şeklinde. Burada $m\frac{\pi}{2}$ kutupsal faz kaymasıdır ve genellikle $m=1$ alınıp $\pi/2$ ye eşittir (Brune ve diğ. 1961). ϕ_I terimi ise aletsel faz kayması olup bir gecikmeyi (-) vurgulamaktadır.

Bu tanımlamalara göre (15) bağıntısını yeniden yazacak olursak

$$\phi_x = \phi_I + \pi/4 + wt - wr/c + m\frac{\pi}{2} - \phi_I + 2n\pi \quad (18)$$

şeklini alır. Zaman ortamındaki bu ifadeyi

$$wt = wt_0 + \phi(w) \quad (19)$$

şeklinde düşünerek yeniden yazabiliriz. Burada t_0 Fourier analizi

ile spektrumu bulunacak dalga dizisinin incelenen kısmının başlangıcını, $\phi(w)$ ise t_0 dan itibaren olan fazı simgelemektedir. (19) eşitliğini kullanarak (18) bağıntısı, episantra uzaklıkları r_1 ve r_2 olan birinci ve ikinci istasyonlar için

$$\begin{aligned}\phi_{x_1} &= \phi_{i_1} + \pi/4 + wt_{o_1} + \phi_1(w) - wr_1/c + m_1\pi/2 - \phi_{I_1} + 2n_1\pi \\ \phi_{x_2} &= \phi_{i_2} - \pi/4 + wt_{o_2} + \phi_2(w) - wr_2/c + m_2\pi/2 - \phi_{I_2} + 2n_2\pi\end{aligned}\quad (20)$$

yazılabilir. İstasyonların aynı kayıt sistemine sahip ($\phi_{I_1} = \phi_{I_2}$) ve aynı azimutta ($\phi_{i_1} = \phi_{i_2}$) olduğu düşünülürse ve $m = m_2 - m_1$ alınırsa, faz hızı

$$C(w) = \frac{w(r_2 - r_1)}{w(t_{o_2} - t_{o_1}) + (\phi_2(w) - \phi_1(w)) + m\pi/2 + 2n\pi}\quad (21)$$

bağıntısından hesaplanabilir.

Benzer biçimde ayrıntılı faz bileşenlerini dikkate alarak Yoshida(1977) tek istasyonda faz hızını

$$C(w) = wr / \phi + \phi_I + (m\pi/2) - \phi' + 2n\pi\quad (22)$$

şeklinde vermektedir. Burada yine ϕ_I aletsel faz kaymasını ve ϕ' incelenen kaydın spektrumunun faz açısını $m\pi/2$ kutupsal faz kaymasını ve ϕ toplam başlangıç fazını göstermektedir. ϕ toplam başlangıç fazı ise

$$\phi = \phi_s + \phi_t + \phi_p\quad (23)$$

bağıntısı ile tanımlanmakta (Ben-Menahem ve Toksöz 1963) ve burada,

ϕ_s = Fazın uzaydaki (mekândaki) bileşeni olup kaynaktaki etkili kuvvetin türüne bağlıdır (Saito 1967, Takeuchi ve Saito 1972, Harkrider 1970)

ϕ_t = Fazın zamandaki bileşeni olup, kaynak-zaman fonksiyonunun spektrumunun faz bileşenidir.

ϕ_p = İzlenen yörünge boyunca ortama ilişkin faz bileşenidir (Ben-Menahem 1961).

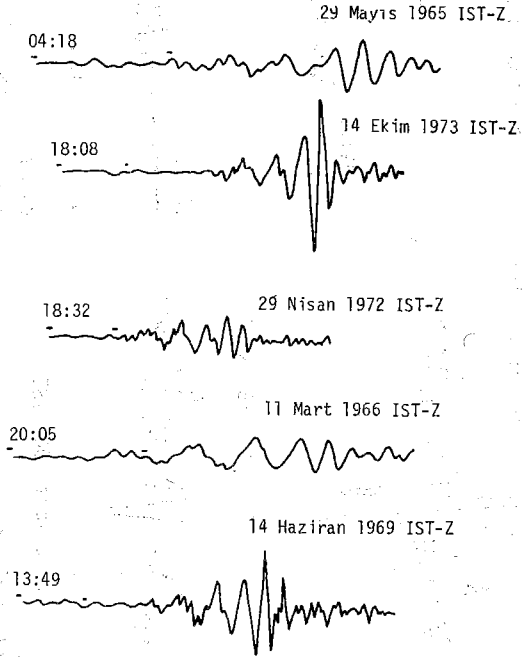
Aletsel sabitler bilindiğinde ϕ_I aletsel faz kaymasının hesaplanabileceği, Mitchel ve Landisman(1969) tarafından belirtilmiştir. Sonuçta (22) bağıntısından tek istasyonda faz hızını bulmak mümkündür.

2. İnceleme Alanı İle İlgili Verilerin Toplanması ve Gözlemsel Faz Hızı Eğrilerinin Hesaplanması

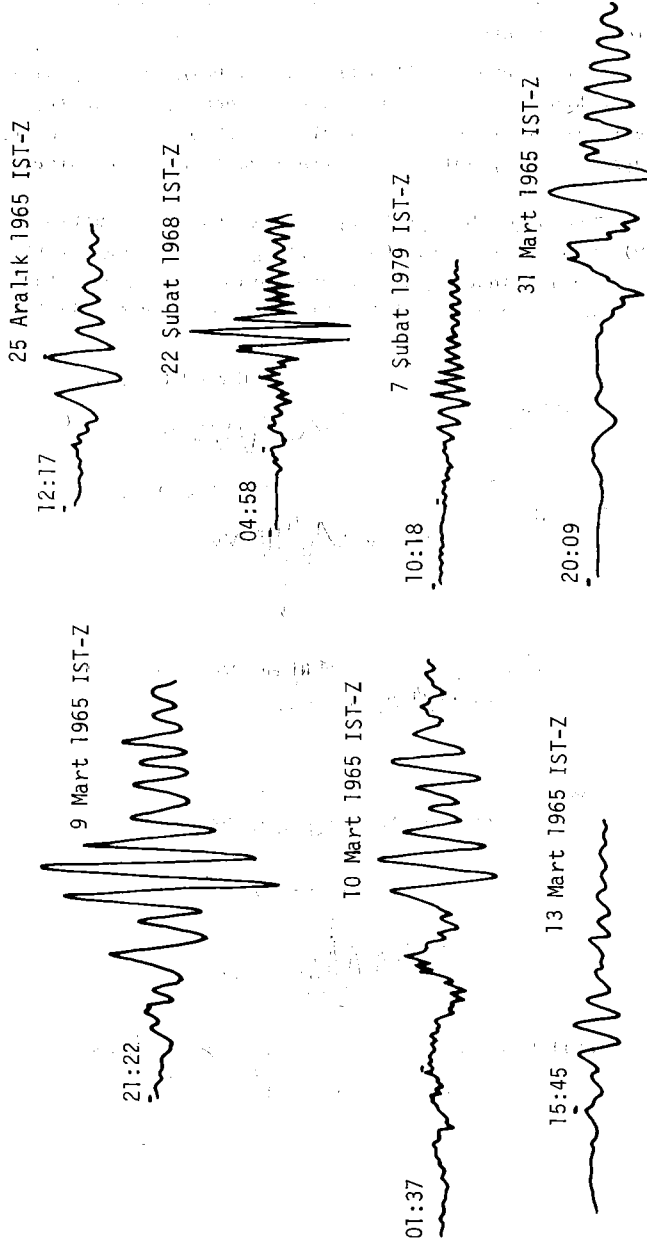
a) Verilerin Seçilmesi

İnceleme alanı olarak seçilen Ege Denizi bölgesinde, yedi tanesinin episantrı orta-kuzey Ege denizinde ve beş tanesinin episantrı Girit adası güneyinde yer alan, ortalama magnitüdüleri 4.5-5.1 aralığında olan oniki depremin Rayleigh yüzey dalgası kayıtları gözlemsel veri olarak kullanılmıştır.

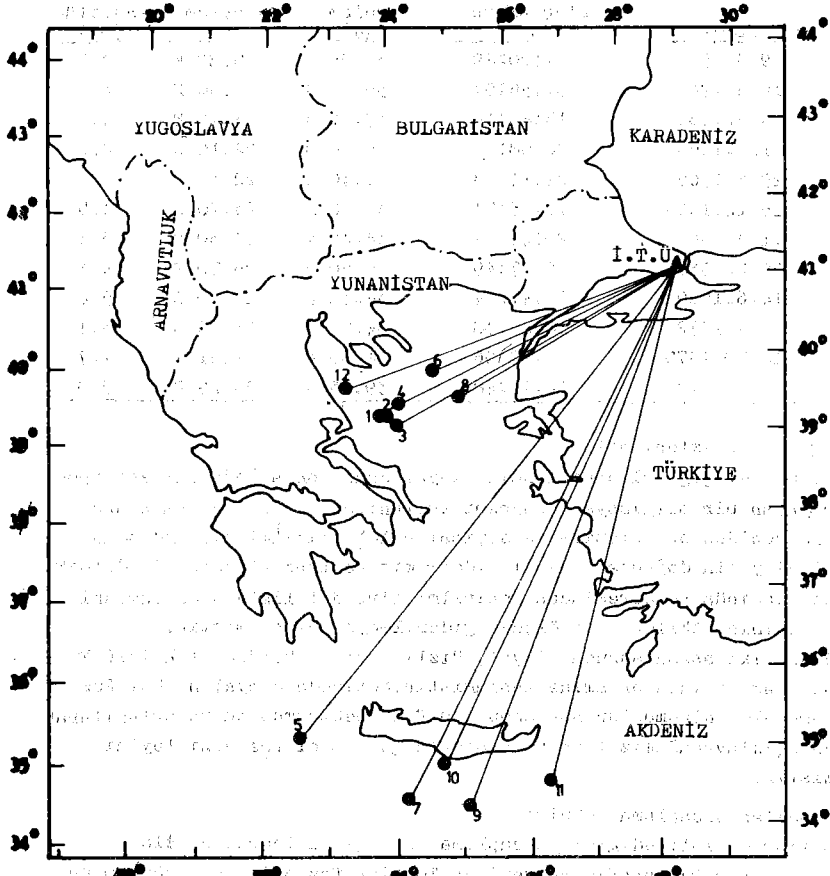
Şekil 5 a ve b de bu oniki depremin İstanbul-İ.T.Ü.(WSSN) uzun peryotlu(LP) düşey bileşeninin(Z), Rayleigh dalgası kayıtları görülmektedir. Tablo 1 de ise incelenen bu depremlerin listesi ve Şekil 6 da da İ.T.Ü deprem istasyonuna göre izledikleri yörüngeler görülmektedir.



Şekil 5 a. Tablo 1 de listesi sunulu depremlerin(güney Ege yörüngeli) İst(İ.T.Ü) Rayleigh dalgası kayıtları.



Şekil 5 b. Tablo 1 de listesi sunulu depremlerin(kuzey Ege yörengeli) Ist(i.T.Ü) Rayleigh dalgası kayıtları.



Şekil 6. Tablo 1 de listesi sunulu depremlerin İst(İ.T.Ü) istasyonuna göre izledikleri yörüngeler.

b) Verilerin Analizi

Verilerin analizinde yani tek istasyon kayıtları kullanılarak gözlemsel faz hızlarının tayininde aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

1) Önce sismoğramda seçilen yüzey dalgası dizilerinin incelenen kısımlarının başlangıç ve bitimi saptanarak büyüteç yardımı ile sinyal

Tablo 1. İncelenen Depremlerin Listesi.

No	Tarih	Oluş Zamanı G.M.T	Enlem Ø°	Boylam λ°	Magnitüd (m _b)
1	9.3.1965	21:20:49	39.20 N	23.80 E	4.7
2	10.3.1965	01:36:07	39.20 N	23.90 E	4.7
3	13.3.1965	15:42:16	39.10 N	24.10 E	4.5
4	31.3.1965	20:08:25	39.40 N	24.10 E	4.6
5	29.5.1965	04:14:58	35.40 N	22.57 E	4.6
6	25.12.1965	12:15:34	39.90 N	24.70 E	4.5
7	11.3.1966	20:01:44	34.40 N	24.30 E	5.1
8	22.2.1968	05:57:49	39.50 N	25.10 E	4.6
9	14.6.1969	13:47:24	34.30 N	25.10 E	5.0
10	29.4.1972	18:29:38	34.80 N	24.66 E	5.1
11	14.10.1973	18:07:06	34.68 N	26.31 E	4.7
12	7.2.1979	10:16:48	39.55 N	23.29 E	5.0

gelişigüzel örneklenmiştir.

2) Bu gelişigüzel örneklenmiş sinyal daha sonra doğrusal enterpolasyon yapan bir bilgisayar programı kullanılarak 0.5 sn zaman aralığı ile yeniden örneklenmiş ve sayısal hale getirilmiştir. Ardından sayısal sinyalin doğrusal trendi giderilmiş ve taper (traşlama) edilmek için bir kosinüs penceresinden geçirilmiştir. Böylelikle spektrumdaki Gibbs olayının etkileri bir ölçüde giderilmeye çalışılmıştır.

3) Bu iki aşama sonucu sinyal, Hızlı Fourier Dönüşüm Tekniği (FFT) kullanılarak frekans ortamına taşınmıştır. Neticede sinyalin Ham Faz spektrumu elde olunmuştur. Saptanan ham faz spektrumundan yararlanılarak aşağıda açıklayacağımız teorik esaslarla gözlemsel faz hızı tayini yapılmıştır.

c) Kullanılan Hesaplama Tekniği

Çalışmada kullandığımız hesaplama tekniğinin teorik esasları Brune ve diğ (1960) tarafından verilen Fourier faz spektrumu yöntemine dayanmaktadır. Bilindiği gibi kaynaktan X uzaklıkta tek istasyonda kaydedilen bir yerdeğiştirme hareketinin alel faz kaymaları giderilmiş $\phi_0(\omega)$ faz spektrumu

$$\phi_0(\omega) + \omega T = \omega x / c(\omega) + \phi_B(\omega) \mp n \quad (24)$$

şeklinde yazılabilir (Patton 1982). Burada T dalganın Fourier analizine

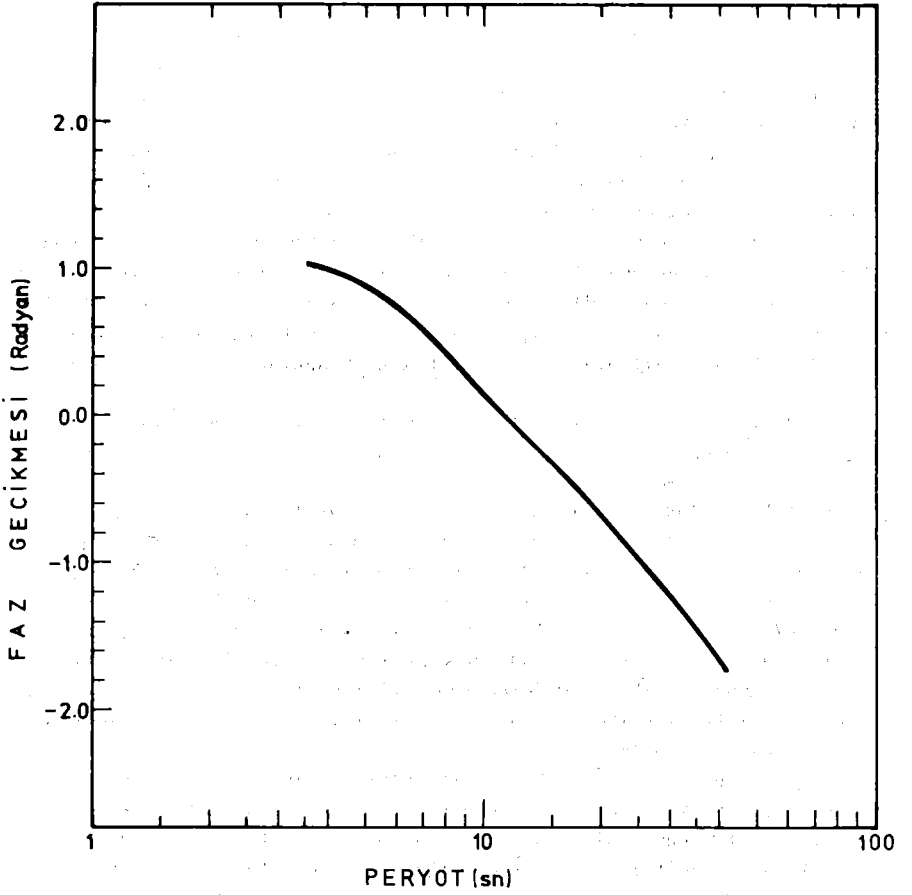
tabii tutulan zaman penceresinin başlangıcını simgeleyen noktanın varış zamanının depremin oluş zamanından farkı, $\phi_s(w)$ kaynağa ilişkin faz bileşeni, $wx/c(w)$ dalganın ilerlemesine (propagasyonuna) ilişkin faz terimi ve n bilinmesi gerekli tamsayı sabittir.

(24) bağıntısından görüleceği gibi, eğer kaynağa ait faz bileşeni $\phi_s(w)$ biliniyorsa uygun n değerleri atamak suretiyle tek istasyonda $G(w)$ faz hızını bulmak mümkündür. Saito (1967) nin metodunu kullanarak tabakalı yer modelinde kullanılan değişik kaynaklar için, $\phi_s(w)$ kaynağa ait faz fonksiyonunu hesaplamak mümkündür. n sabit katsayısı Brune ve diğ. (1960) tarafından önerildiği gibi sınıma-yanılma (Trial-Error) yöntemi ile saptanabilir. Patton (1982), yeraltı nükleer patlatmalarının Rayleigh yüzey dalgalarının tek istasyonda faz hızını hesaplarken, küresel simetride nokta-kaynak modelini düşünmüştür.

Düşünülen bu modelde patlatmanın kaynağını simgeleyen noktanın, üç tane birbirine eşit ve dik doğrultularda merkezden dışa doğru yönelen bir kuvvet geometrisinin kontrolündeki elastodinamik bir küresel alanın merkezi olduğu belirtilmiştir. Bu tür kuvvet geometrisine sahip kaynak-zaman fonksiyonunun, çoğu çalışmalarda alınan kısa süreli impuls fonksiyonundan ziyade adım (Step) fonksiyonu olacağı savunulmuştur. Kaynak-zaman fonksiyonu olarak seçilen adım (step) fonksiyonu kullanılarak Saito (1967) yönteminden yararlanarak, Rayleigh dalgaları için kaynağın yayılım örüntü fonksiyonunun izotropik ve faz bileşeninin 0.05-0.20 Hz frekans bandında 0.375 birim daire (tam devir) gibi sabit bir değer aldığı hesaplanmıştır (Patton 1982). Ve aynı tür bilgi 4.2 magnitüdü bir deprem verisi içinde kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmada da kullanılan Rayleigh dalgası kayıtlarının yaklaşık aynı frekans bandında oluşu ve 4.7 gibi magnitüdü (ortalama) depremlere ait oluşu bizi de nokta-kaynak modeli kullanmaya itmiştir. Zira Aki ve Patton (1978) e göre magnitüdü $M_s < 6$ olan depremlerde 10-50 sn periyot aralığındaki yüzey dalgaları için nokta-kaynak modeli kullanmak makûldür. Dolayısıyla bu kaynak modelini ve aynı kaynak-zaman fonksiyonunu kullanacağımızdan (24) bağıntısından yapacağımız hesaplamalarda $\phi_s(w)$ in değerini 0.375 birim daire (devir) alacağız.

Öte yandan (24) bağıntısında aletsel etkileri giderilmiş $\phi_0(w)$ faz spektrumunun kullanılabilmesi için, hem faz spektrumu üzerindeki, kayıt sisteminin, faz etkisinin giderilmesi gerekmektedir. Kayıtlarına kullandığımız I.T.Ü. (WWSSN) Sprengnether, (LP) kayıtcısının düşey bileşeni (Z) için Mitchel ve Landisman (1969) dan yararlanarak hesaplanan aletsel faz gecikme fonksiyonu şekil 7 de görülmektedir.



Şekil 7. İstanbul (İ.T.Ü) WSSN kayıtçısının LP lu düzey bileşeninin (Z) faz gecikme fonksiyonu (faz tepki spektrumu).

Şekil 7 de görülen aletsel faz fonksiyonunun 0.001 Hz frekans adımı ile yapılan lineer enterpolasyon sonucu ham faz spektrumunu hesapladığımız ilgili frekanslardaki değerleri bulunup aletsel faz etkileri giderilmiştir. Ancak bu giderme işlemine geçmeden önce, $(-\pi, -\pi)$ aralığında hesaplanmış daha sonra $(0-2\pi)$ aralığına çevrilmiş ham faz spektrum değerleri, başlangıç

fazı sıfır alınarak birbirlerine göre sarılmış (unwrapped) yani sürekli kılınmıştır. Bu aşamadan sonradır ki aletsel faz düzeltmeleri yapılmıştır. Ve son adımda faz etkileri giderilmiş ham faz spektrum değerlerine 0.250 birim dairesel faz gecikmeleri eklenerek (24) bağıntısında kullanılacak $\phi_0(w)$ hesaplanmıştır. Sklenen bu faz gecikmesi, kaynak-zaman fonksiyonu olarak seçilen ADIM (Step) fonksiyonunun spektral fazının; impulsif kaynak-zaman fonksiyonuna göre gösterdiği faz gecikmesidir (Patton 1982).

Neticede (24) bağıntısından $C(w)$ faz hızı çekilerek ve uygun n atamaları yapılarak,

$$C(w) = \frac{wX}{\phi_0(w) + wT - \phi_s(w) - n} \quad (25)$$

bağıntısından faz hızı hesaplamalarına geçilmiştir. Tablo 2 de, kullandığımız kayıtlardan 14.10.1973 depremine ilişkin, buraya değin anlattığımız akış içinde (25) bağıntısını kullanarak periyodun fonksiyonu olarak hesapladığımız faz hızı değerleri bir örnek olarak sunulmuştur.

3. Hesaplanan Faz Hızı Eğrilerinin Yorumu

Şekil 8 de, Episantrları Girit adası güneyinde sıralanmış 5 depremin Kayleigh yüzey dalgası dizilerine ait, bir örneği Tablo 2 de sunulu akış türünde hesaplanmış, gözlemsel faz hızlarının periyota göre çizilmiş eğrileri görülmektedir. Sismoğramdaki örneklenen kısım içindeki enerji içerikleri dikkate alınarak ilgilenilen periyot aralığı 10-25 sn seçilmiştir. Şekil 8 den görüleceği, 29. Mayıs. 1965 depreminin diğer dört eğriye olan farklılığı (10-15 sn aralığındaki) dışında genel bir özellik göze çarpmaktadır.

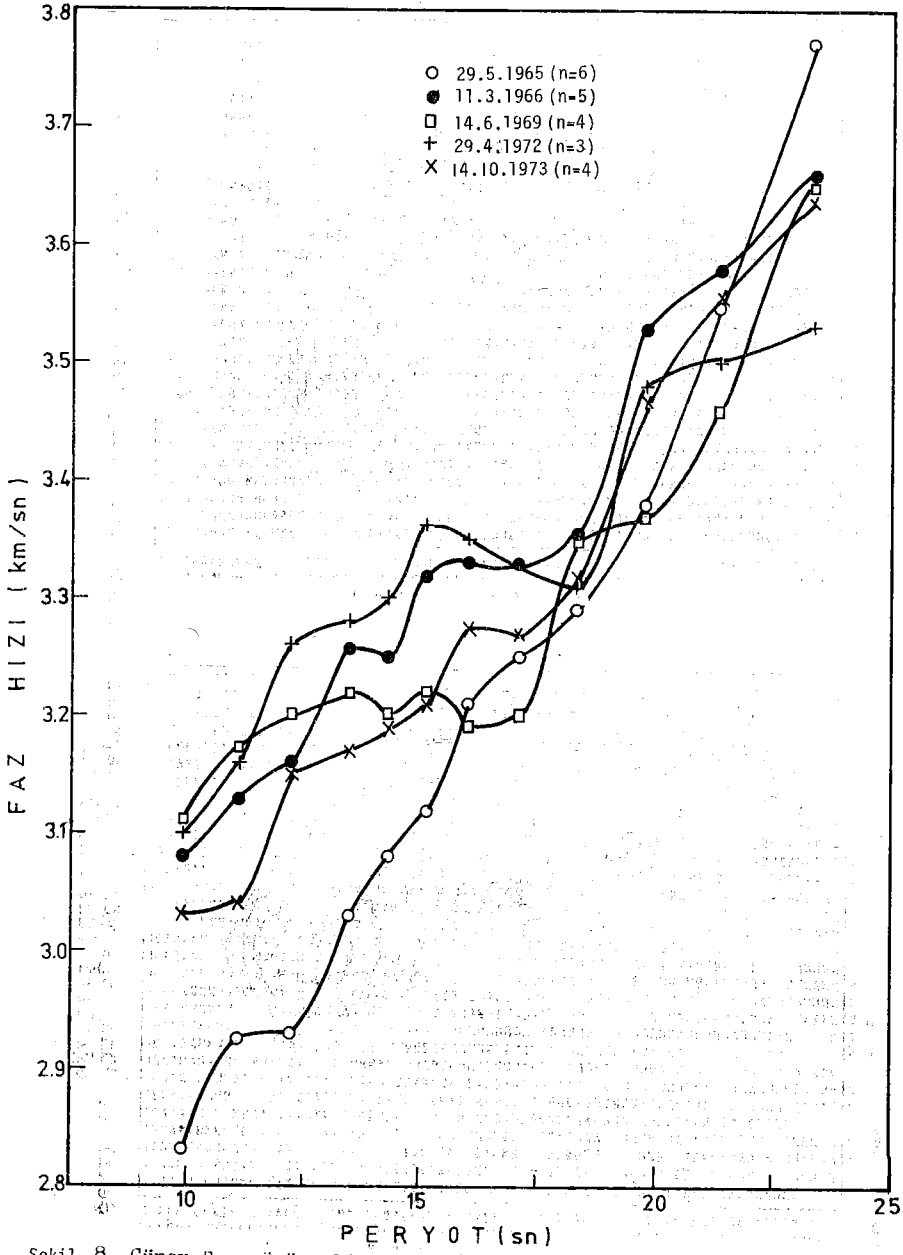
Bu özellik yaklaşık 10-18 sn periyotları arasında eğrilerde gözlenen parçalanmalar, bükülmeler ve kırılmalarıdır. Diğer bir deyişle eğrileri inişlere çıkışlara meydan vermeden monoton yükselen biçimde çizmek mümkün olamamıştır. Çünkü değerlerde şiddetli bir saçılma etkendir. Gözlemsel faz hızı eğrilerinde gözlenen bu süreksizlikler girişim (enterferans) olayının tipik bir belirtisidir. Kullanılan bu veriler ilk kez Ezen (1979) ve daha sonra Ezen (1983) tarafından; doruk numarası-varış zamanı, genlik spektrumu ve grup hızı eğrilerindeki süreksizliklere bakılarak, yüzey dalgaları değişik düzeyde (zayıf, orta, şiddetli) girişim gösteren depremler olarak belirlenmiştir.

Bu depremlere ilişkin ardışık süzgeçleme yöntemiyle hesaplanmış Ezen (1979) den alınmış grup hızı eğrileri sırasıyla Şekil 9, Şekil 10 ve Şekil 11 de görülmektedir. Şekil 9, 10 ve 11 den görülen odur ki,

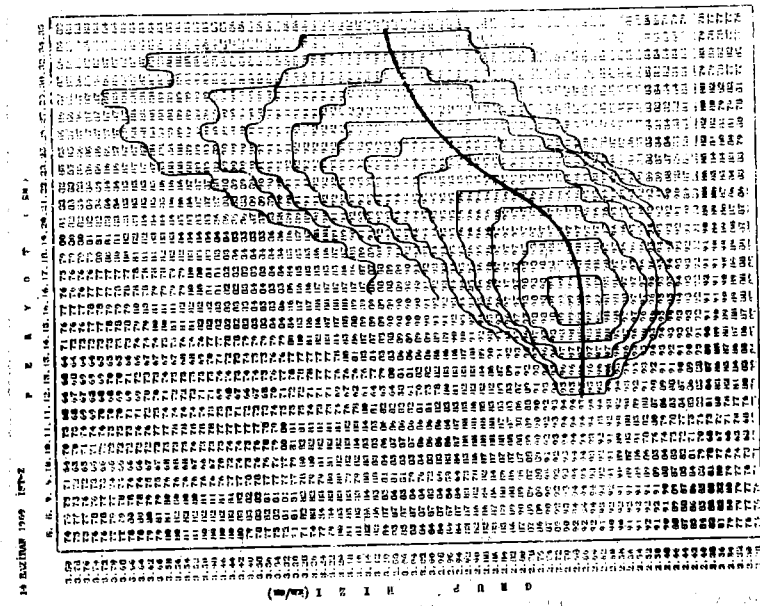
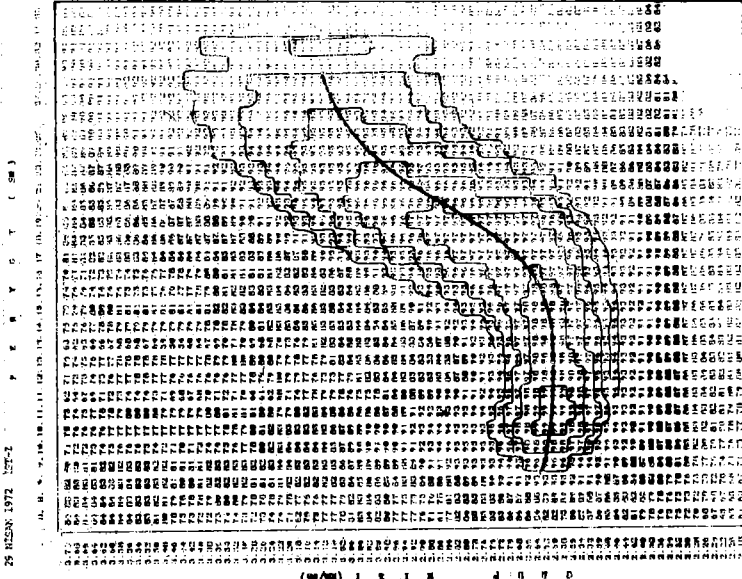
Tablo 2 Q5) nolu bağlantıya göre 14.10.1973 depremine ilişkin hesaplanmış faz hızı değerleri

T (sn)	ω (Devir/sn)	ϕ_{FFT} (Radyan)	ϕ_{FFT}^* (Radyan)	ϕ_{FC} (Devir)	ϕ_{INS} (Devir)	$\phi_0(\omega)$ (Devir)	ωT	$\phi_s(\omega)$ (Devir)	$\phi(\omega)$ (Devir)	$\omega \lambda$	$\Gamma=4$ $c(\omega)$
9.15	0.1092	+1.809	1.809	10.263	0.0313	10.48	21.18	0.375	27.28	81.13	2.97
9.89	0.1014	-2.128	4.155	9.288	0.0174	9.52	19.67	0.375	24.81	75.34	3.03
11.14	0.0897	2.178	2.178	8.525	-0.0036	8.77	17.40	0.375	21.79	66.64	3.06
12.22	0.0819	-2.125	4.158	7.520	-0.0183	7.78	15.88	0.375	19.28	60.85	3.15
13.49	0.0741	1.123	1.123	7.047	-0.033	7.33	14.37	0.375	17.33	55.05	3.17
14.24	0.0702	2.716	2.716	6.794	-0.0403	7.08	13.61	0.375	16.31	52.15	3.19
15.08	0.0663	1.296	1.296	6.568	-0.047	6.86	12.86	0.375	15.34	49.26	3.21
16.02	0.0624	-2.210	4.073	6.127	-0.061	6.43	12.10	0.375	14.15	46.36	3.276
17.09	0.0585	-2.885	3.390	6.019	-0.076	6.32	11.34	0.375	13.28	43.46	3.272
18.31	0.0546	1.738	1.738	5.670	-0.091	6.01	10.59	0.375	12.22	40.56	3.319
19.72	0.0507	-0.701	5.580	5.059	-0.104	5.41	9.83	0.375	10.86	37.67	3.46
21.36	0.0468	-2.635	3.640	4.750	-0.122	5.12	9.07	0.375	9.81	34.77	3.54
23.31	0.0429	1.667	1.667	4.437	-0.141	4.82	8.32	0.375	8.76	31.87	3.63
25.64	0.0390	-0.237	6.040	3.741	-0.161	4.15	7.56	0.375	7.33	28.97	3.95
28.49	0.0351	-2.046	4.230	3.454	-0.184	3.88	6.81	0.375	6.31	26.07	4.13

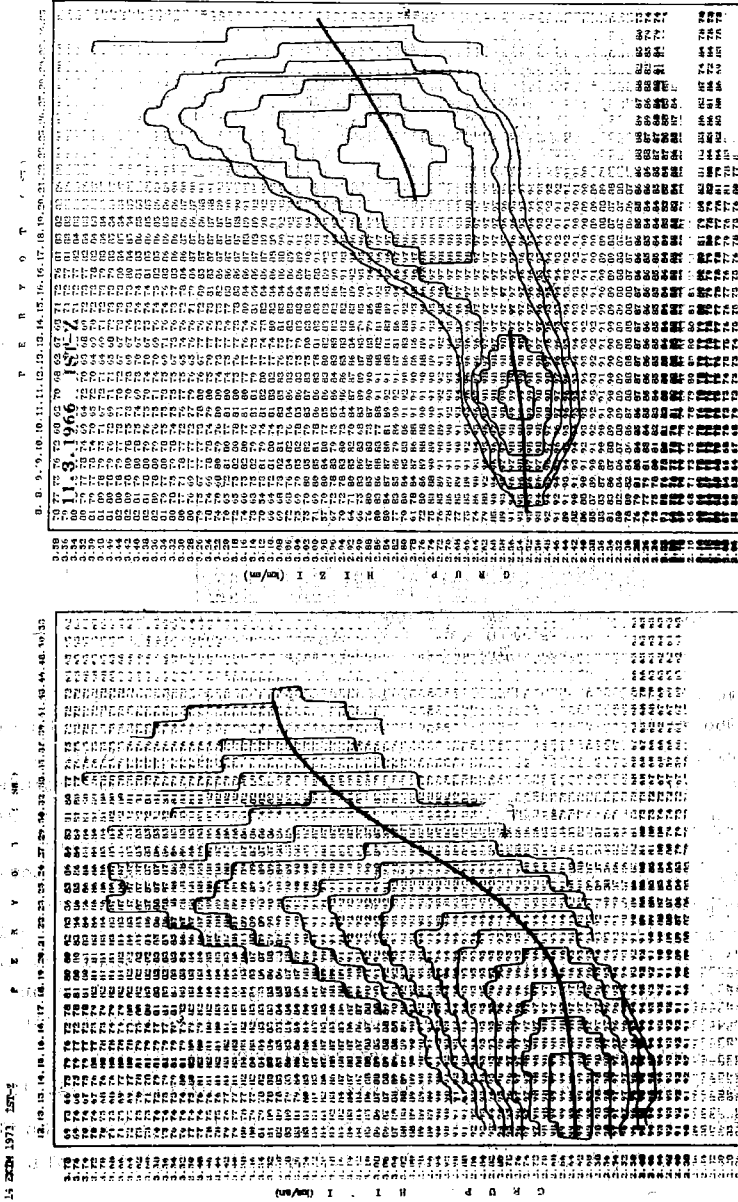
Birim Daire: 1 Devir= 2π x Radyan (Saykıl) ϕ_{FFT} : Ham Faz Spektrumu ($-\pi$ to π arası) ϕ_{FFT}^* : Ham Faz Spektrumu (0 to 2π arası) ϕ_{FC} : Sarılmış Ham Faz Spektrumu ϕ_{INS} : Aletsel Faz Gecikmesi $\phi_0 = \phi_{FC} - \phi_{INS} + 0.250$ $\phi_s =$ Kaynağa ait faz kayması $\phi(\omega) = \phi_0(\omega) + \omega T - \phi_s$ $c(\omega) = \omega \lambda / \phi(\omega)$ $X = 743$ km (Episantr uzaklığı) $T = 194$ sn (24 nolu bağlantıya bakınız)

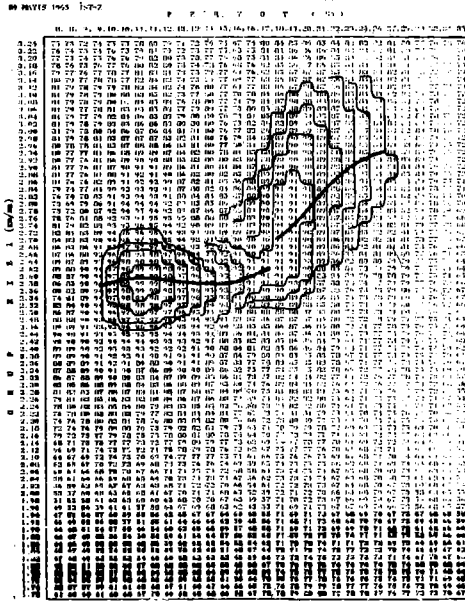


Şekil 8. Güney Ege yörengeli depremlere ait Rayleigh dalgalarının gözlemsel faz hızı eğrileri.



Şekil 9. Güney Ege yörengeli depremlerin Rayleigh dalgalarına ait Grup hızı eğrileri (Ezen 1979 dan)



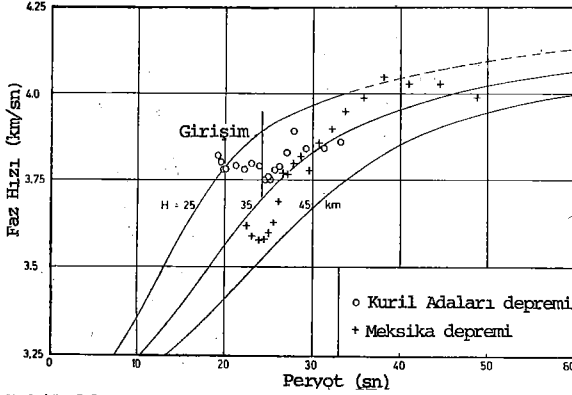


Şekil 11. Güney Ege yörengeli 29.5.1965 tarihli depremin Rayleigh dalgalarına ait Grup hızı eğrisi(Ezen 1979 dan).

Ezen (1979) ve Ezen(1983) tarafında belirtildiği üzere iki depremin dışında(11.3.1966 ve 29.5.1965) bu eğrilerde girişimin etkisi zayıftır.Bu etki grup hızı eğrilerini parçalamak yerine onları büken ve yaklaşık 8-10 sn başlangıcından 16-18 sn dolayına kadar yatay kalmalarını sağlayan biçimde (sanki hızların yükselmesini önlercesine) etkisini göstermektedir(Ezen 1979). Halbuki diğer iki depremde (11.3.1966 ve 29.5.1965) ise bu etki eğrileri sürekli çizmeyi önler biçimde parçalanmalar şeklinde kendini göstermektedir. Yani bu iki depremde girişim daha şiddetlice gözükmektedir(Ezen 1979).

Grup hızı eğrileri üzerinde girişimin etkisinin zayıf kaldığı 14.6.1969 29.4.1972 ve 14.10.1973 tarihli depremlerin Şekil 8 deki gözlemsel faz hızı eğrilerine tekrar bakıldığında, girişimin etkisinin grup hızlarına oranla çok daha berrak,seçilebilir ve etkin düzeyde olduğu açıkça görülmektedir.

Yüzey dalgalarının girişiminin dispersiyona yansıyan etkisi Tryggvason(1961) tarafından gözlemsel faz hızı eğrileri üzerinde Şekil 12 de görüldüğü üzere vurgulanmaya çalışılmıştır.Şekil 12 de Meksika ve Kuril adaları depremine ait İskandinav yarımadasında kaydedilen Rayleigh dalgala-



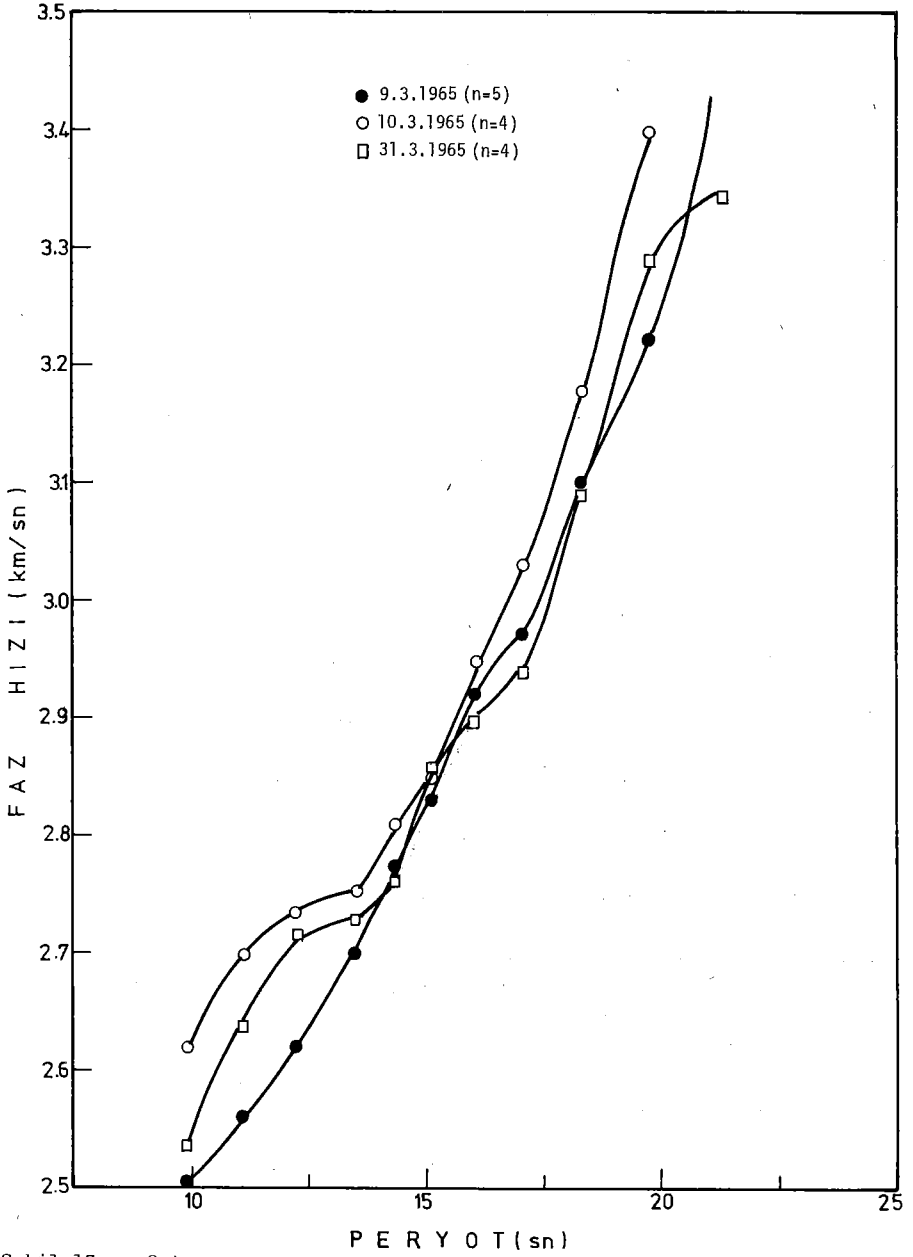
Şekil 12. Gözlemsel faz hızı eğrileri üzerinde girişimin etkisi (Tryggvason 1961 den).

rının gözlemsel faz hızı değerleri görülmektedir. Kuril depremine ilişkin faz hızı değerleri içindeki saçılmaların, bükülmelerin girişim simgelediği belirtilmekte ve bu girişime farklı azimutta ilerleyen dalga gruplarının istasyona farklı varmalarının neden olduğu belirtilmektedir (Tryggvason 1961).

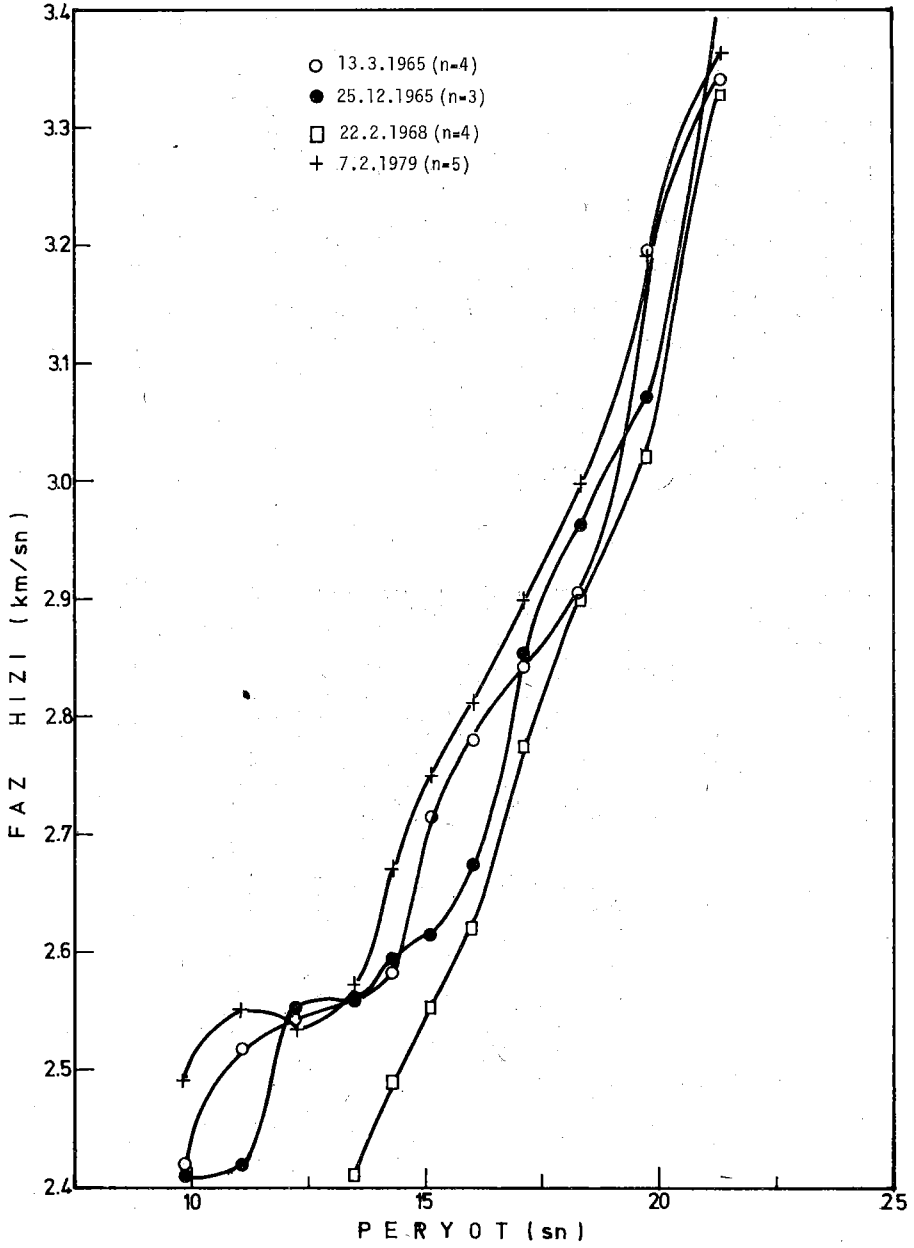
Öte yandan Şekil 13(a) ve (b) de, episantrları orta-kuzey Ege denizinde yer alan yedi depremin Rayleigh dalgalarının yine Tablo 2 de örneği sunulu akışla hesaplanmış gözlemsel faz hızlarının, periyotun fonksiyonu olarak değişimini veren eğriler görülmektedir. Şekil 13 (a) ve (b) de verilen gözlemsel faz hızlarının ait olduğu depremler, şekil 6 dan görüleceği gibi yaklaşık aynı doğrultudan gelen depremlerdir. Aralarında gösterdikleri niceliksel uyum yüzünden iki ayrı grup halinde çizilmişlerdir.

Nevar ki Şekil 13 (a) ve (b) den görülen ortak niteliksel özellik eğrilerin pek parçalanmadan, saçılmalara uğramadan, monoton, düzgün ve sürekli çizilebilmiş olmalarıdır. Diğer bir deyişle bu eğriler üzerinde, girişimin bozucu-yıkıcı etkisinin varlığı, Şekil 8 dekilere oranla yok denecek kadar azdır. Dolayısıyla sadece bu görüntüye bakıp bir girişimden söz etmek mümkün değildir. Zaten bu depremlerden bazıları (25.12.1965 ve 7.2.1979) Ezen (1979) ve Ezen (1983) tarafından yine, Doruk numarası-varış zamanı, spektrum ve grup hızı bulgularına göre, girişim göstermeyen yüzey dalgaları olarak yorumlanmıştı.

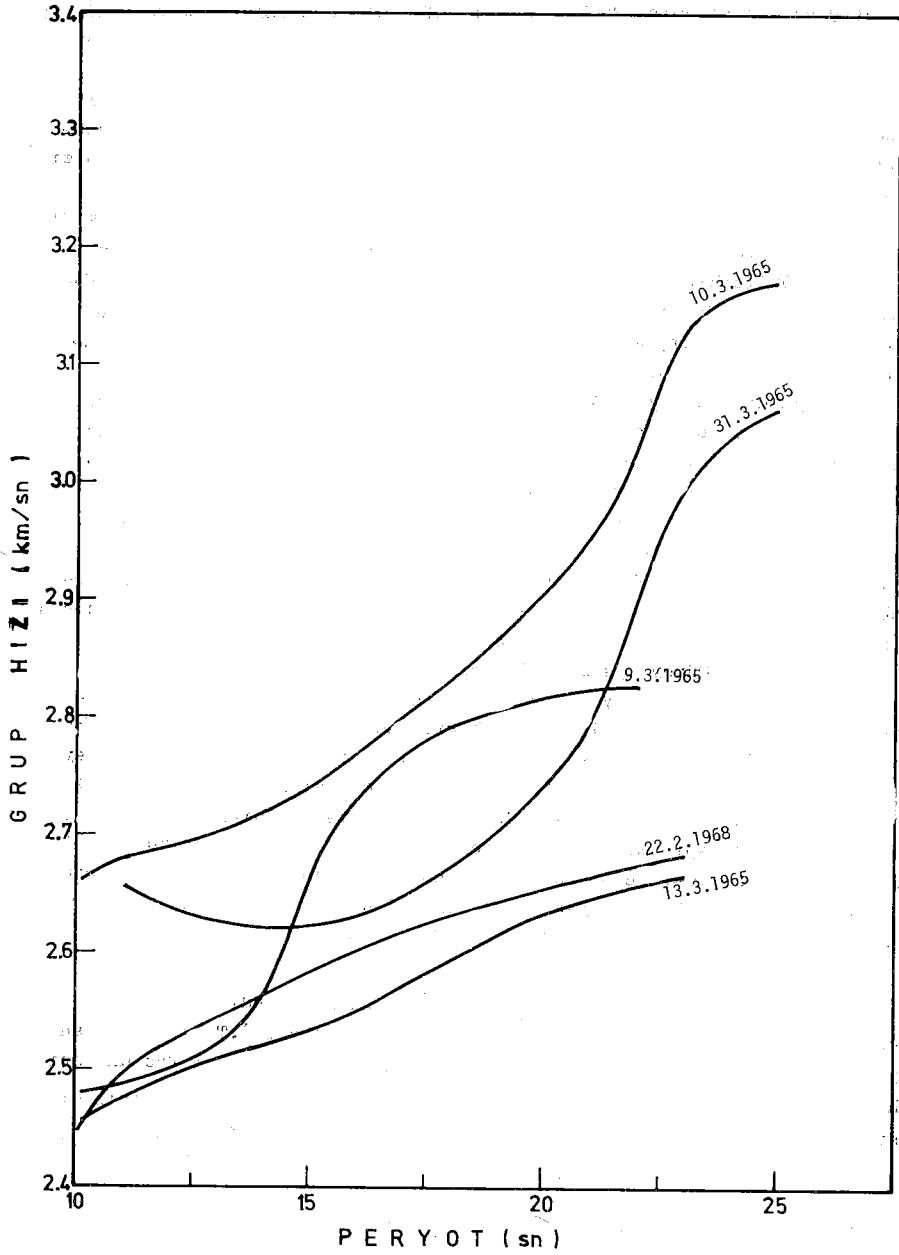
Bu yorumlamada gözlemsel grup hızı eğrilerinin monoton düzgün ve sürekli oluşları önemli bir bulgu olarak kabul edilmişti. İşte Şekil 14 te



Şekil 13 a. Orta-Kuzey Ege yörengeli depremlere ait Rayleigh dalgalarının gözlemsel faz hızı eğrileri.



Şekil 13 b. Orta-kuzey Ege yörengeli depremlere ait Rayleigh dalgalarının gözlemsel faz hızı eğrileri.



Şekil 15. Orta-Kuzey Ege yörengeli depremlerin Rayleigh dalgalarına ait grup hızı eğrileri.

Ezen(1979) dan alınmış (25.12.1965 ve 7.2.1979) depremlerinin ve Şekil 15 te ise diğer orta-kuzey Ege yörengeli depremlerin, ardışık süzgeçleme yöntemi ile bulunmuş grup hızı eğrileri görülmektedir.Şekil 14 te ki gösterimler direkt bilgisayar çizicisinden alınmış çıkışlardır.Şekil 15 dekilere ise, geçmişe oranla hayli zayıflamış bilgisayar çizici olanaklarımızdan ötürü, satır-yazıcı dan alınmış çıkışların ayrı bir Grup hızı periyot ölçeğinde çizilmiş şekilleridir.

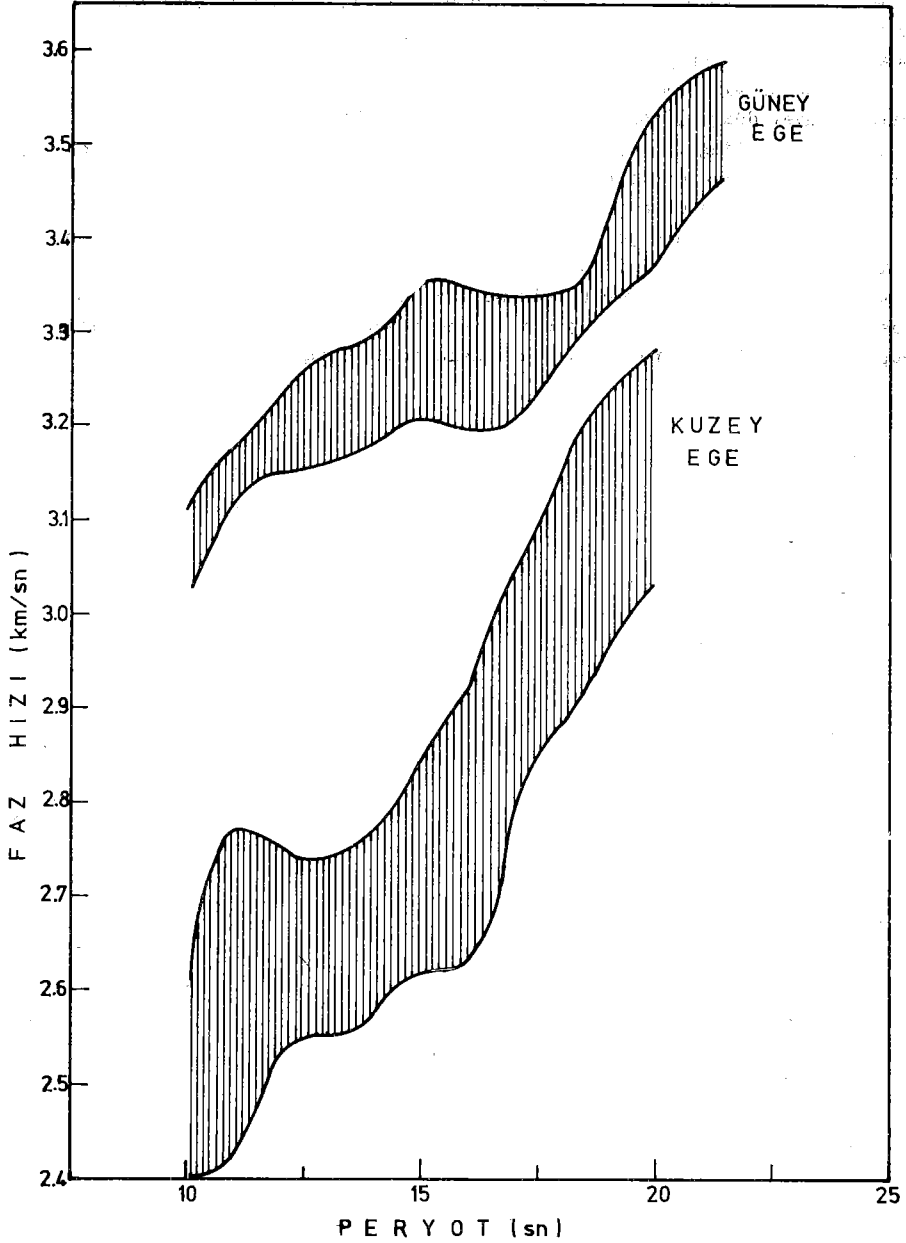
Gerek Şekil 14 gerekse Şekil 15 den görüleceği gibi, Grup hızı eğrileri Şekil 9,10 ve 11 dekilere oranla monoton artan, düzgün ve sürekli çizilmiş eğrilerdir.Genelde buraya kadar yaptığımız yorumlamalardan şunu çıkarmak mümkündür ki girişim olayının yüzey dalgası dizileri içinde varlığının belirtisi, grup hızı eğrilerine oranla faz hızı eğrilerinde daha etkin ve seçilebilir düzeydedir.

Öte yandan, Güney ve Kuzey Ege denizi için hesaplanan Şekil 8 ve Şekil 13 (a) ve (b) deki faz hızı eğrilerinin alt ve üst sınırlarından geçirilerek elde olunmuş ZARF eğriler Şekil 16 da kıyaslanmalı biçimde bir arada görülmektedir.Şekil 16 dan izleneceği gibi 10-18 sn periyot aralığında Güney Ege Denizine ait ZARF eğri, Kuzeye oranla oldukça farklı (yüksek) değerler göstermektedir.Bu görüntüye bakıp sadece niteliksel açıdan; geçilen yörengelerde Kuzey Ege ve Güney Ege Denizi altında yer-kabuğunun orta-derin(üst kabuk) sayılabilecek kısımlarına kadar yapısının birbirinden hayli farklı olduğunu söylemek mümkündür.

Şekil 16 da Güney Ege Denizi lehine gözüken hız avantajına bakıp çok acele niceliksel bir yorum yapmak gerekirse, sözü edilen derinliklerde kabuk malzemesi ya ince kalınlıkta yada yüksek hızlı bir malzemeden oluşmaktadır(Kuzey Egeye oranla).Bu iki olasılığı ayrıntılı inceleyip niceliksel net bir yoruma gidebilmek için, temiz(girişimsiz) yüzey dalgası dizilerine ait hesaplanmış gözlemsel grup ve faz hızlarını birlikte sağlayan teorik yapı modellerinin geliştirilmesi gerekir.Ayrıca bu teorik yapı modelleri için üretilmiş yapay yüzey dalgası sismoğramlarının gözlemsel sismoğramlarla kıyaslanarak en iyi uyumu veren teorik yapı modelinin sınanması gereği vardır.

SONUÇLAR.

Episantrları Ege Denizinde yer alan küçük magnitüdü oniki depreme ilişkin Rayleigh yüzey dalgalarının Tek istasyon(I.T.Ü) kaydından yararlanarak belli ön kabüllere(kaynağa ait) göre gözlemsel faz hızları hesaplanmıştır.Hesaplanan eğriler göstermiştir ki, girişim olayının etkisi grup hızlarına oranla faz hızları üzerinde oldukça şiddetlidir.



Şekil 16. Güney ve Kuzey Ege yöreli depremlerin Rayleigh dalgalarına ait gözlemlenmiş faz hızlarının alt ve üst sınırlarını simgeleyen ZARF eğrilerin mukayesesi.

Bu etki; değerlerin saılması , eğrinin bükülmesi, kırılması şeklinde kendini belli etmektedir.Bu tür özellikler episantrları Güney Ege Denizinde Girit adası güneyinde sıralanmış depremlerde gözükmektedir.

Öte yandan girişim göstermeyen yüzey dalgası dizilerinin faz hızı eğrileri gayet düzgün, monoton artan ve sürekli biçimde (aynen grup hızı eğrilerinde de olduğu gibi) çizilebilmektedir.Bu tür özellikler episantrları Orta-Kuzey Ege denizinde yer alan depremlerde gözükmektedir.

Ayrıca Kuzey ve Güney Ege ye ait gözlemsel faz hızı eğrilerinin alt ve üst sınırlarından geçirilen ortalama ZARF eğrilerin mukayesesinden üst kabuk yapısının her iki bölge için farklı olduğu göze çarpmaktadır. Bu farklılığın, daha çok veri (girişime uğramamış) sayısı ve birden fazla istasyon kullanarak, daha geniş bir tabana oturtulmuş dispersiyon analizi (grup ve faz hızları beraberce) ile irdelenmesi gereği vardır.

K. A. Y. N. A. K. L. A. R

- Aki, K. 1962., Accuracy of the Rayleigh wave method for studying the earthquake mechanism. Bull. Earthq. Res. Inst. 40, 91-105.
- Aki, K., and H. Ratton, 1978., Determination of seismic moment tensor using surface waves. Tectonophysics. 49, 213-222.
- Bath, M. 1974., Spectral analysis in Geophysics. Elsevier. Publ. Company, Amsterdam
- Ben-Menahem, A. 1961., Radiation of seismic surface-waves from finite moving sources. Bull. Seism. Soc. Am. 51, 401-435.
- Ben-Menahem, A., and M. N. Toksöz., 1963., Source mechanism from spectrums of long-period surface waves, 2. The Kamchatka earthquake of Nov. 4, 1952. Journ. Geophy. Res. 68, 5207-5222.
- Bloch, S., and A. L. Hales., 1968., New techniques for the determination of surface wave phase velocities. Bull. Seism. Soc. Am. 58, 1021-1034.
- Brune, J. N., J. E. Nafe, and E. Oliver., 1960., A simplified method for the analysis and synthesis of dispersed wave trains. Jour. Geoph. Res. 65, 287-303.
- Brune, J. N., J. E. Nafe, and L. E. Alsop., 1961., The polar phase shift of surface waves on a sphere. Bull. Seism. Soc. Am. 51, 247-257.
- Dziewonski, A., M. Landisman, S. Bloch, Y. Sato., and S. Asano., 1968., Progress report on recent improvements in the analysis of surface wave observations. Jour. Physics. of. the. Earth, 16 special issue.
- Dziewonski, A. M. and A. L. Hales., 1972., Numerical analysis of dispersed seismic waves. Methods in Computational Physics, 11, 39-84.
- Ezen, Ü. 1979., İstanbul (İ.T.Ü) Deprem İstasyonunda kaydedilen Sismik Yüzeysel dalgalarında girişim olaylarının incelenmesi. Doktora tezi. Maden Fak. yayını No. 121.
- Ezen, Ü. 1983., An interference phenomenon in Rayleigh wave trains associated with the earthquakes in and around the Aegean sea. Bull. of. Int. Inst. Seism. Earth. Eng. 20, 33-62 (Tokyo).
- Harkrider, D. G. 1970., Surface waves in a multilayered elastic media part 2. Higher mode spectra and spectral ratios from point sources in a plane layered earth models. Bull. Seism. Soc. Am. 60, 1937-1987.
- Landisman, M., A. Dziewonski, and Y. Sato., 1969., Recent improvements in the analysis of surface wave observations. Geophy. Jour. Roy. Ast. Soc. 17, 369-403.
- Mitchel, B. J., and M. Landisman., 1969., Electromagnetic seismograph constants by least-squares inversion. Bull. Seism. Soc. Am. 59, 1325-1348.

- Patton, H.J. 1982., Measurements of Rayleigh wave phase velocities in Nevada. Implications for explosion sources and the Massachusetts mountain earthquake. Bull. Seism. Soc. Am. 72, 1329-1549.
- Press, F. 1956., Determination of crustal structure from phase velocity of Rayleigh waves. Part I. Southern California. Bull. Seism. Soc. Am. 67, 1647-1658.
- Sato, Y. 1955., Analysis of dispersed surface waves I. Bull. Earthq. Res. Inst. (Tokyo) 33, 33-47.
- Sato, Y. 1956., Analysis of dispersed surface waves II. Bull. Earth. Res. Inst. (Tokyo) 34, 9-18. III. Bull. Earthq. Res. Inst. 131-138.
- Sato, Y. 1960., Synthesis of dispersed surface waves by means of Fourier Transform. Bull. Seism. Soc. Am. 50, 417-426.
- Saito, M. 1967., Excitation of free oscillations and surface waves by a point source in a vertically heterogeneous earth. Jour. Geoph. Res. 72, 3689-3699.
- Takeuchi, H., and M. Saito., 1972., Seismic surface waves. Computational Physics. 11, 217-235.
- Tryggvason, E. 1961., Crustal thickness in Fennoscandia from phase velocities of Rayleigh waves. Annali di Geofisica. vol. XIV, no. 3, 267-293.
- Yoshida, M. 1977., Initial Phase and phase velocity of surface waves. Bull. Earth. Res. Inst. (Tokyo). 52, 343-355.

DEĞİŞEN DALGALAR İÇEREN YAKIN DEPREMLERİ KULLANARAK KABUK YAPISININ TAYINI

Nusret SANCAKLI ^x

ÖZET

Bu çalışmada Moho ve Conrad süreksizliklerinde değişime uğrayıp yüzeye varan yakın depremlerdeki dalgalar kullanılarak derin kabuk yapısı açıklanmaya çalışılmıştır. Kullanılan deprem kayıtları Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nün radyo bağlantılı (radio-link) mikro-deprem şebekesi istasyonlarına aittir. 1.10.1980 - 31.03.1982 tarihleri arasında 1.5 yıllık deprem kayıtları incelenmiş, P ile S arasında karakteristik fazlar içeren deprem kayıtları ayıklanmıştır. Derinlikleri 35 - 110 km. arasında değişen bu depremlerin episantrlarının beş ayrı bölgede kümeleştikleri görülmüştür. Bu bölgeler : Chiba (grup A), Güney-Batı Ibaraki (grup B), Tochigi-Ibaraki sınırı (grup C), Kuzey-Doğu Ibaraki sahili (grup D) ve Ibaraki'nin doğusu (grup E).

Bütün bu gruplar içinde C grubu deprem kayıtlarında P ile S arasında karakteristik fazlar en açık bir şekilde görülmüş ve bu grup üzerinde çalışılmıştır. 49 - 64 km. arasında derinliği olan bu depremlerin Δ , episantr uzaklıkları 48 - 65 km. ve S - P zaman aralıkları 7 ile 9 saniye arasındadır.

Yapılan çalışma sonucunda C grubu ile Nikko (NIK) istasyonu arasındaki bölgede kabuk kalınlığı (Moho süreksizliği) 27 - 29 km. arasında, Conrad süreksizliği 15.1 km. ve yüzeydeki sedimanter tabaka kalınlığı da 4.5 km. olarak saptanmıştır.

ABSTRACT

The deep crustal structure is studied by using the waves converted at the Mohorovicic and Conrad discontinuities. The earthquake data were obtained by radio-link network's stations at Earthquake Research Institute of the Tokyo University.

The earthquakes which include the converted phases between P and S are located around Chiba city (group A), South-Western Ibaraki (group B), near the Tochigi-Ibaraki border (group C), on the coast of North-East Ibaraki (group D) and East of Ibaraki in the sea (group E).

In this study the group C data is studied. The S - P time intervals are about 7 to 9 seconds. The focal depth are about 49 - 64 km.

x : Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi
Sismoloji Bölümü.

Crustal thickness is estimated to be about 27 to 29 km. The conrad discontinuity is also 15.1 km. and the thickness of sedimentary structure is 4.5 km.. It is shown the converted waves are a very usefull tool for determining the deep crustal structure.

GİRİŞ

Son yıllarda yer kabuğu içindeki tabakalardan kırılıp değişen dalga olarak yüzeye gelen sismik dalgalar üzerinde bir çok çalışmalar yapılmıştır. Rusyada ANDREEV (1957), BULIN ve TRYUFIL'KINA (1966) lokal ve uzak depremlere ait PS ve SP tipi değişen dalgaları aşağıdaki bir şekilde kayıtları etmiş ve kabuk yapısı üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Japonya'da MIZOUE (1971) Wakayama bölgesindeki Moho ve Conrad süreksizliklerinin derinliğini kırılan ve yansıyan sismik dalgalarını kullanarak bulmuştur. Ayrıca Kanto bölgesi için çeşitli kabuk yapısı çalışmaları yapmıştır. TSUKUDA (1967) Tottari bölgesinde oluşan mikro-depremlerdeki değişen dalgaları kullanarak üst kabuk yapısını araştırmıştır. TAKANO (1978) Tsukuba çevresinde 1978 yılında oluşmuş, bu çalışmadaki A,B,C ve D gruplarındaki deprem verilerini kullanarak kabuk yapısı modelini araştırmıştır.

Bu çalışmada Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nün deprem istasyonları şebekesi tarafından kaydedilen lokal depremlerde bu tip değişen dalgalar görülmesi üzerine bunların değerlendirilmesine gidilmiştir. Özellikle C grubu depremlerinin Nikko (NIK) istasyonu kayıtlarında verdiği değişen dalgalar açık bir şekilde görülmüş ve bu deprem kayıtları üzerinde çalışılarak C grubu ile Nikko istasyonu arasındaki bölgede kabuk yapısı açıklanmaya çalışılmıştır.

DEPREM İSTASYONLARI AĞI ve MERKEZ DEPREM LABORATUVARI

Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsü Kanto bölgesinde, bu bölgenin sismik etkinliğini gözlemek amacı ile kısa periyotlu 17 deprem istasyonu kurmuştur. Bu istasyonlarda üç bileşenli alet çalıştırılmaktadır. İstasyonlardan üçü merkez deprem laboratuvarına telefonla, diğerleri ise radyo ile bağlantılıdır. Şekil 1'de Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsüne ait deprem istasyonları ağı, Tablo 1'de ise bu istasyonlara ait enlem, boylam, yükseklik ve büyüme değerleri verilmiştir.

Merkez deprem laboratuvarı otomatik sismik veri işlem sistemi (Auto seismic data processing system, ADPS) ile buna bağlı 256 Kb. hafızalı mini kompüterden oluşmuştur. ADPS kendi içinde üç sistem içermektedir:

- 1- Gerçek zaman işlem sistemi (Real time processing system, RTPS).
- 2- Doğrudan bağlantılı tekrar işlem sistemi (the on-line reprocesing system, OLRS).
- 3- Görevli uzmanların müdahale ettikleri işlem sistemi (Man-machine processing system, MMPS).

Şekil 2'de otomatik veri işlem sisteminin şeması verilmiştir.

RTPS, P ile S dalgalarının varış zamanlarını okur ve maksimum genliği ölçer. Bölgede oluşan bir deprem en az üç istasyon tarafından kaydedilmiş ise RTPS bu depremin hiposantr ve magnitüd çözümünü otomatik olarak yapar. RTPS tarafından algılanan sismik sinyaller ait olduğu istasyonun gürültü seviyesine göre kıyaslanırlar. Bu gürültü seviyesinin üstünde olan genlikler P varış zamanı olarak okunur. Ayrıca sistem P dalgalarının ortalama frekansını ölçerek depremleri lokal, yakın ve uzak olmak üzere üç gruba ayırır. RTPS tarafından yapılan çözümler OLPS tarafından hataları düzeltilerek tekrar çözülür. En son olarak sistem tarafından yapılan okumalar MMPS sistemi ile bir uzman tarafından kontrol edilir, gerekli değişiklikler yapılarak kesin çözüme varılır. Kesin çözüm ve MMPS okumaları ile depremlere ait sismik dalga kayıtları disklere yüklenerek muhafaza edilirler.

Deprem, kağıt ve manyetik teypler üzerine kaydedilir. 25 kanal ihtiva eden kağıt kayıtçı sistemine deprem istasyonlarının düşey bileşeni ile ihtiyaca göre diğer bileşenler kaydedilir. Zaman işareti birinci kanal üzerine yıl, ay, gün, saat, dakika ve saniye olmak üzere kaydedilir. Ayrıca saniye pikleri istasyon kanallarına da işlenir. Deprem başlanması ile bu pikler otomatik olarak devre dışı kalır. Sismik sinyalin genliği gürültü seviyesine düşüncü tekrar başlar. Deprem olmadığı zaman 1 dak/cm, hızı ile hareket eden kağıt kayıtçı sistemi deprem olunca otomatik olarak hızlanır ve hızı 1 sn/cm olur. Deprem gürültü seviyesine düşüncü tekrar eski hızına döner. Şekil 3'te kağıt üzerine birkaç istasyon tarafından kaydedilen bir deprem örneği verilmiştir. Şekildeki TSK istasyonuna ait kayıt traslamaya uğramıştır.

Manyetik bantlara ise, sismik dalga sinyalleri zaman sinyalleri ile birlikte vede tüm istasyonların üç bileşenleri kaydedilmektedir. Manyetik bantlar daha çok araştırmalarda kullanılmaktadır. Bu bantlar bilgi sayar tarafından okunmakta istenildiğinde deprem dalgaları sayısal değere dönüştürülmektedir. Ayrıca bu bantlardan isteğe bağlı olarak kağıt üzerine kayıt alınmaktadır. Şekil 4'te verilen bir programa göre manyetik banttan grafik çizici aleti vasıtası ile elde edilen NIK istasyonuna ait bir deprem kayıt örneği verilmiştir.

GÖZLEMSSEL VERİLER

Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsü'nün deprem istasyonu kayıtlarında P ile S arasında karakteristik dalga fazlarını içeren depremler tek tek gözden geçirilerek ayıklanmışlardır. 1.09.1980 - 31.03.1982 tarihleri arasındaki bu depremlerin Merkez laboratuvarında yapılmış olan çözümlerinden episantr dağılımı haritası çizilmiştir. Ayıklanmış depremlere ait episantr haritasında depremlerin kümelendiği bölgeler gruplandırılmış ve bu gruplar üzerinde çalışılmıştır. Bu gruplara ait olan depremler kayıtlardan tekrar okunmuş ve yeni okumalara göre çözümleri yapılarak episantr dağılım haritaları yeniden çizilmiştir. Şekil 5'te Kanto bölgesinin deprem etkinliğini (yukarıda sözü edilen tarihler ara-

sında) gösteren episantr dağılım haritası verilmiştir. Şekil 6'da P ile S arasında karakteristik özellik taşıyan fazları içeren depremlerin gruplara göre episantr dağılım haritası verilmiştir. Tablo 2'de ise Şekil 6'daki depremlerin gruplara göre tarih, oluş zamanı, enlem, boylam ve derinlikleri verilmiştir.

Deprem kayıtları içinde karakteristik dalga fazları : A ve B grupları için Tsukuba (TSK), C grubu için Nikko (NIK), D grubu için Inebo (INB) ve E grubu için Hitachi (HIT) istasyonlarında gözlenmiştir. Şekil 7 (a), (b), (c), (d) ve (e)'de gruplara göre karakteristik dalga fazlarını içeren istasyonlara ait deprem kayıt örnekleri verilmiştir. Tablo 3'te gruplara göre bu tip depremlerin S - P süreleri ve derinlikleri verilmiştir.

Kabuk içindeki tabakalarda kırılıp değişen dalgalar olarak yüzeye gelen bu fazlar en iyi şekilde C grubu depremlerinin Nikko (NIK) istasyonu kayıtlarında görülmüştür. Bu çalışmada C grubuna ait depremlerin NIK istasyonu kayıtları kullanılmıştır. Şekil 8'de NIK istasyonuna ait manyetik bantlardan elde edilen C grubuna ait deprem kayıt örnekleri verilmiştir. Şekildeki 09:39, 15:11 ve 18:43 depremlerine ait kayıt örnekleri bu çalışmanın yapıldığı tarihlerden sonra elde edilmiştir. Şekil 9'da ise NIK istasyonuna ait deplasman ve hız eğrileri verilmiştir.

Depremlerin P ile S arasındaki özellik taşıyan tüm fazlar (X_j) tek tek işaretlenmiş ve bu fazların varış zamanları ile P varış zamanı arasındaki sürenin ($X_j - P$) deprem sayısına göre grafiği çizilmiştir, (Şekil 10). Şekil 10'da görüleceği gibi karakteristik değişen dalga fazları P varışından sonra 0.5-1, 1.5-2.5, 3.5-4.5, 5.5-6 saniyeleri arasında yoğunlaşmıştır. Bunların kabuk içindeki çeşitli tabakalardan kırılıp değişen dalga olarak yüzeye gelen fazlar oldukları düşünülmüştür.

KABUK YAPISI MODELİ

C grubu depremlerinde görülen karakteristik değişen dalga fazlarının ne gibi bir kabuk modelinden gelebilecekleri düşünülmüş ve bu konuda daha önce yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yapay patlatma sismoloji araştırma grubunun (Research group for explosion seismology, 1977) ve Dr. MIZOUE'nin Kanto bölgesi için yaptıkları çalışmalar bu bölgenin kabuk yapısı hakkında fikir vermiştir. Buna göre deprem kayıtlarında P varışından sonra görülen 0.5-1 sn. arasındaki fazlar yüzeydeki sedimanter tabakasından, 1.5-2.5 sn. ve 5.5-6 sn. arasındaki fazlar Conrad süreksizliğinden, 3.5-4.5 sn. arasındaki fazlar da Moho süreksizliğinden geldikleri varsayılmıştır.

Deprem Araştırma Enstitüsü'nün Merkez laboratuvarındaki deprem çözümlerinde de benzer bir kabuk yapısı modeli kullanılmaktadır. Şekil 11'de Merkez laboratuvarında kullanılan kabuk yapısı modeline ait tabaka kalınlıkları ve bu tabakalardaki sismik dalga hızları verilmiştir.

Düşünülen kabuk yapısı modeline göre kabuk altında oluşan depremler için deprem odağından boyuna dalga olarak çıkan bir

deprem dalgası Moho süreksizliğinde enine dalga olarak kırılıp değişir ve yüzeye varır (PSSS). Enine dalga olarak çıkan bir deprem dalgası ile Moho süreksizliğinde boyuna dalga olarak kırılıp değişir ve yüzeye varır (SPPP). Conrad süreksizliğinde kırılıp değişen dalgalar PPSS ve SSPP olarak yüzeye varırlar. Sedimanter tabakada kırılıp değişen dalgalarda PPPS ve SSSP olarak yüzeye varırlar, (şekil 12). Diğer değişen dalga tipleri olan PSPS, PSSP SPSP gibi dalgalar kaydedilebilir enerjilerini yüzeye ulaştırılmaktadırlar.

UYGULANAN YÖNTEM

Düşünülen kabuk yapısı modelinin gerçek kabuk yapısına uyum sağlaması için deprem kayıtlarında gözlenen P, S ve X_1 fazlarının yol-alış zamanları ile tahmini kabuk yapısından geçerek yüzeye varan P, S ve X_1 fazlarının teorik yol-alış zamanları birbirine eşit veya çok yakın olmalıdır. Bunun için çeşitli kabuk yapısı modellerine göre yol-alış zamanlarını veren bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. (Bilgisayar programı makalenin sonunda verilmiştir). Bu program verilen bir kabuk yapısı modeli ile üst mantoda oluşan ve derinliği bilinen bir depremin çeşitli episantr uzaklıklarına göre direkt P, S ve tabakalardan kırılarak değişen dalgaların yol-alış zamanlarını vermektedir.

Bölgede daha önce yapılmış bu konudaki çalışmalarda üç tabakalı bir kabuk yapısı modelinin varlığı üzerinde durulmuştur. Bu düşünceden hareket edilerek tabaka derinlikleri saptanmaya çalışılmıştır. İlk önce Merkez laboratuvarında Kanto bölgesi için kullanılan kabuk yapısı modeli ve sismik dalga hızları denenmiştir. Depremlerin derinliklerine göre bu kabuk yapısı ve sismik hızlar kullanılarak bilgisayar programından elde edilen sonuçlara göre yol-zaman eğrileri çizilmiş ve gözlenen değerlerle mukayese edilmiştir. Ancak gözlemsel verilerle uyum sağlanamamıştır. Bunun üzerine önce sismik dalga hızlarının değiştirilmesi yoluna gidilmiştir. Hızları 1/15 oranında azaltıp çoğaltmak sureti ile kabuk modeline göre gözlenen değerlere eşit teorik değerler elde edilmiştir. Kısa mesafe aralığında aynı yönden gelen depremler farklı sonuçlar verdiklerinden hız değişimi denemesinin faydasız olduğu görülmüştür. Bunun üzerine hızlar sabit tutularak kabuk yapısı modelinin değiştirilmesi denenmiştir. Sedimanter tabaka kalınlığı $H_1=4.5$ km. ve bu tabaka ile Conrad arası $H_2=10.6$ km. olarak alınmış olup daha önce bu bölge için yapılan araştırmalarda bu değerlere yakın sonuçlar elde edildiğinden bu değerler sabit tutularak Conrad ile Moho arasındaki H_3 kalınlığı değiştirilmiştir. Depremler H_3 5, 10, 11, 13, 15, 16.9, 19, 21, 23 km. değerleri için tekrar çözümlenmiştir. Elde edilen A ve h değerlerine göre her çözüm için bilgisayar programı ile teorik yol-alış zamanları hesaplanmıştır. Elde edilen $X_1 - P$ ve S - X_1 değerleri gözlemsel değerler ile karşılaştırılmıştır. Tablo 4'te 22: 49. depremi için gözlemsel ve teorik değerler verilmiştir.

Elde edilen $X_1 - P$ ve S - X_1 değerleri arasındaki fark ile bu farkların ait olduğu H_3 değerlerine göre grafikler çizilerek her deprem için bu farkı sıfır yapan H_3 değerleri bulunmuştur. Şekil

13'de üzerinde çalışılan bazı depremler için gözlemsel ve teorik değerler arasındaki farkları sıfır yapan H_3 değerlerinin bulunması gösterilmiştir. Elde edilen H_3 değerlerine göre deprem çözümleri yeniden yapılmış ve bu çözümlerdeki Δ ve h değerlerine göre diğer tabakalardan geçerek gelen dalgaların yol-alış zamanları hesaplanmıştır. Tüm değişen dalgalar için elde edilen teorik değerler ile gözlemsel değerler genelde uyum sağlamışlardır. Tablo 5'te 16:56 depreminin gözlemsel ve teorik $X_j - P$ varış zamanlarının arasındaki farkların değerleri ile değişen dalga fazlarının (X_j) belirgin olduğu bileşenler verilmiştir.

Bütün depremler Moho'dan gelen SPPP değerleri için tam, PSSS değerleri için ise çoğunlukta uyum sağlamışlardır. Conrad'dan gelen PPSS ve SSPP fazları kayıtlarda açık bir şekilde belirgin olmamalarına rağmen, uyum sağlayan fazlara rastlandığından verilen H_2 değerinin değiştirilmesine lüzüm görülmemiştir. Sedimanter tabakasından gelen PPPS ve SSSP fazları çoğunlukta uyum sağlamışlar, H_3 değeride değiştirilmemiştir. Şekil 14'te 16:56 depreminin kaydı üzerinde hesaplanan teorik değişen dalga fazlarının varış zamanları gösterilmiştir.

Gözlemsel ve teorik değerlerin uyum sağlaması üzerine depremlerin hiposantrları ile NIK istasyonu arasındaki kabuk yapısı uzanımı sismik dalgaların yayılma yolları çizilerek bulunmuştur.

şekil 15'te görüleceği gibi :

$$\frac{\sin i_1}{V_4} = \frac{\sin i_2}{V_3} = \frac{\sin i_3}{V_2} = \frac{\sin i_4}{V_1}$$

$i = f(e),$
 $\Delta_x = f(tgi, h, H_x),$
 $\Delta = f(\Delta_x),$

$x = 1, 2, 3, 4$ dir.

H değerleri ile h odak derinliği değeri bilindiğinden verilen herhangi bir e açısı değerinden önce i açısı, sonra Δ_x ve en son Δ bulunur. Bu durumda tahmini olarak verilen e açısı değerlerinden Δ mesafesini sağlayan e açısı değeri ışının gerçek çıkış açısı olur. Bulunan bu açığa göre Snell kanunundan yararlanarak dalga yayılım yolları çizilmiş ve kabuk yapısının uzanımı ortaya çıkmıştır. Şekil 16'da 19:00 depremi için, şekil 17'de ise saptanan kabuk yapısı modeli ile uyum sağlamış diğer depremler için dalga yayılım yolları verilmiştir.

SONUÇ

Yapılan çalışmada Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsü mikrodeprem istasyonları şebekesine ait kısa peryotlu sismometre kayıtlarında P ile S fazları arasında bazı kesin vuruşlar ve farklı genlikler gözlenmiştir. NIK istasyonu kayıtları üzerinde yapılan çalışmada, yol-zaman analizine tabi tutulan bu fazla-

rın kabuk içindeki tabakalardan gelen değişen dalga fazları olduğu anlaşılmıştır.

Değişen dalga fazları, genelde tüm Kanto bölgesinde oluşan orta derinlikteki depremlerde gözlenmekle beraber, en açık bir şekilde bu çalışmadaki A, B, C, D ve E gruplarının ait olduğu bölgelerde oluşan deprem kayıtlarında görülmüşlerdir.

4.5 km. derinliğinde bir sedimanter tabakası ile 15.1 km. derinliğindeki Conrad süreksizliği bulguları uygulanan yöntemde sabit veri olarak kabul edilmiş, Moho derinliği 27-29 km. olarak saptanmıştır.

Yapılan çalışmada Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsü merkez laboratuvarındaki deprem çözümlerinde kullanılan sismik dalga hızlarının bu bölge için geçerli olduğu görülmüştür.

Deprem kayıtlarında P ile S arasında gözlenen belirgin fazların kabuk yapısı çalışmaları için en uygun veriyi oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmamda beni yönlendiren Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsü Mikrodeprem Merkez laboratuvarı başkanı ve kurucusu Dr. MEGUMI MIZOUE ve bana her türlü yardımı gösteren laboratuvardaki diğer çalışanlara teşekkürü borç bilirim.


```

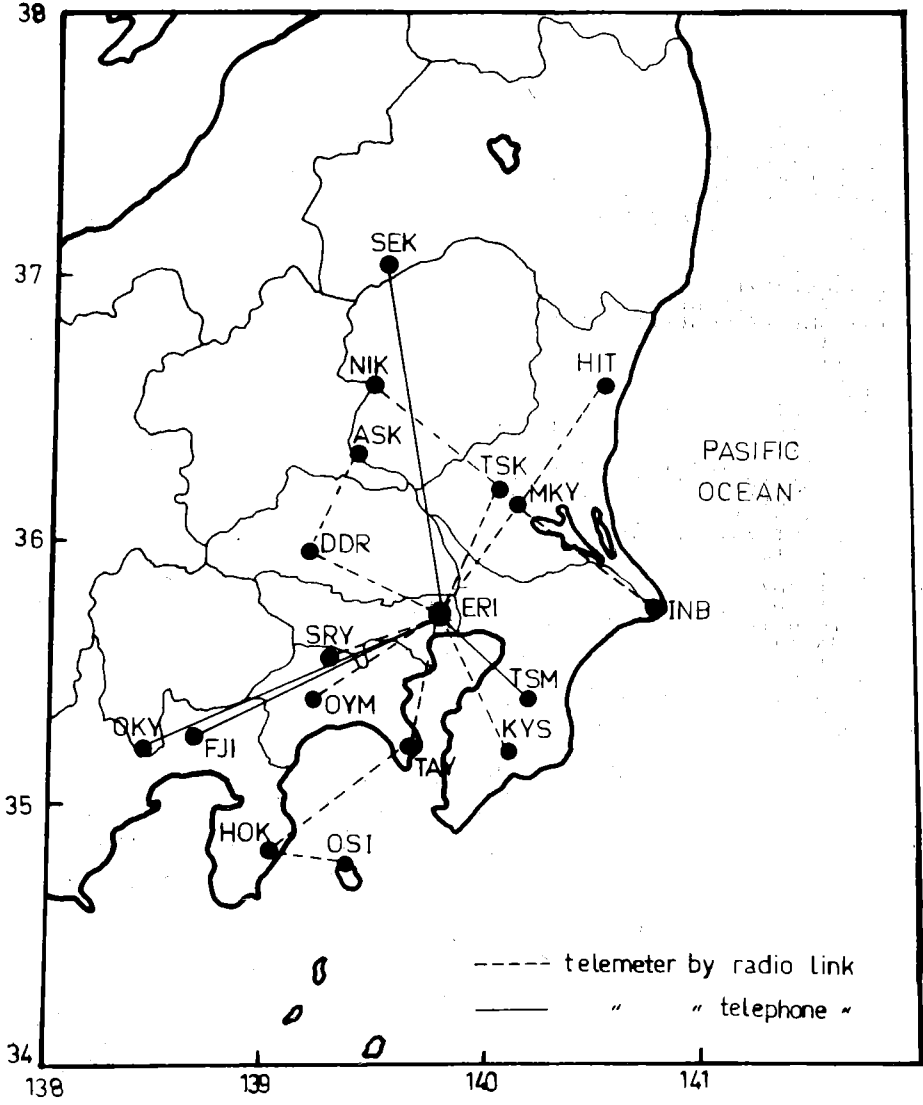
DIMENSION H(100),VP(100),VS(100),VV(100),HH(100),LN2(20)
DIMENSION LMODE(20),LUD(20)
CHARACTER*4 MODEL
ORIGINATED AT DEPTH-KM, WITH M-MODE, DIRECTED U DR D, TO N2-TH L
WRITE(6,606)
606 FORMAT(1H,' INPJ: LAYER NUMBER')
READ(5,500) NN
500 FORMAT(2I5)
READ(5,510) MODEL
510 FORMAT(A4)
READ(5,512) (VP(I),VS(I),RHO,H(I),I=1,NN)
512 FORMAT(4F10.3)
WRITE(6,600) MODEL
600 FORMAT(1H,A4)
WRITE(6,602)
602 FORMAT(3X,' I',8X,' VP',8X,' VS',8X,' H')
WRITE(6,604) (I,VP(I),VS(I),H(I),I=1,NN)
604 FORMAT(1H,' I5,3F10.3)
110 WRITE(6,632)
632 FORMAT(1H,' O=M-S-N2-DEPTH: P;M=1, S;M=2: U;S=-1, D;S=1')
READ(5,914,END=300) MODE,IS,N2,DEPTH
514 FORMAT(1I,12,I3,F10.3)
WRITE(6,900) MODE,IS,N2,DEPTH
900 FORMAT(1H,' I1,I2,I3,F10.3)
DEP=DEPTH
IL=1
N1=0
L=1
402 N1=N1+1
DEP=DEP-H(N1)
IF(DEP.GT.0.) GO TO 402
IF(IS.EQ.1) HH(1)=-DEP
IF(IS.EQ.-1) HH(1)=H(N1)+DEP
IF(MODE.EQ.1) VV(1)=VP(N1)
IF(MODE.EQ.2) VV(1)=VS(N1)
LMODE(1)=MODE
LUD(1)=IS
LN2(1)=N2
IF(N1.NE.N2) GO TO 406
404 L=L+1
READ(5,920) MODE,IIS,N2,IO
920 FORMAT(1I,12,I3,I3)
WRITE(6,921) MODE,IIS,N2,IO
921 FORMAT(1H,' I1,I2,I3,I3)
IF(IO.EQ.3) GO TO 410
LMODE(L)=MODE
LUD(L)=IIS
LN2(L)=N2
IF(IIS*IS.EQ.-1) N1=N1+IS
IS=IIS
406 IL=IL+1
N1=N1+IS
HH(IL)=H(N1)
WRITE(6,910) IL,N1,HH(IL)
910 FORMAT(1H,' I1,I2,2X,' N1=',I4,2X,' HH(IL)=' ,F10.3)
IF(MODE.EQ.1) VV(IL)=VP(N1)
IF(MODE.EQ.2) VV(IL)=VS(N1)
IF(N1.EQ.N2) GO TO 404
GO TO 406
410 L=L-1
WRITE(6,636) DEPTH
636 FORMAT(1H,' OFOCAL DEPTH=' ,F10.3)
WRITE(6,634) (LMODE(I),LUD(I),LN2(I),I=1,L)
634 FORMAT(1X,12,3X,12,3X,I3)
190 WRITE(6,180)
180 FORMAT(1H,' [INPUT: M, X0, INCREMENT')
READ(5,182) NN,X0,DX
WRITE(6,930) NN,X0,DX
IF(NN.EQ.9999) GO TO 110
930 FORMAT(1H,' I5,2F10.3)
K=0
THETA=0
182 FORMAT(15,2F10.3)
WRITE(6,162)
162 FORMAT(//,' I1H,9X,1HT,3X,' T-X/6.0',3X,' T-X/6.6')
218 DTH=0.017
X1=0
T1=0
I1=0
212 THETA=DTH*THETA

```

```

T=0
X=0
TI=THETA
VM=VV(1)
SINT=SIN(THETA)
DO 200 I=1,IL
IF(I.EQ.1) GO TO 230
V=SINT*VV(I)/VM
IF(V.LT.1.) GO TO 220
THETA=ARCSIN(VM/VV(I))
DTH=-ABS(DTH)/VM
GO TO 212
V=ASINT
220 TI=ARCSIN(V)
230 X=X+TAN(TI)*HH(I)
200 T=T+HH(I)/(COS(TI)*VV(I))
X2=X1
T2=T1
X1=X
T1=T
IF(XO.LT.1.E-20) GO TO 214
IF(THETA.LT.1.E-20) GO TO 212
TI2=TT1
TT1=T1+(T2-T1)*(XO-X1)/(X2-X1)
IF(ABS(TT2-TT1).LT.0.005) GO TO 216
DTH=SIGN(1.,XO-X1)*ABS(DTH)
IF(ABS(DTH).LT.1.E-5) GO TO 216
IF(X1.GT.XO) DTH=DTH/2
GO TO 212
216 T1=TT1
214 T2=T1-XO/6
T3=T1-XO/6.6
WRITE(6,186) XO,T1,T2,T3
186 FORMAT(4F10.2)
K=K+1
XO=XO+DX
IF(NN.LT.K) GO TO 190
GO TO 212
300 STOP
END

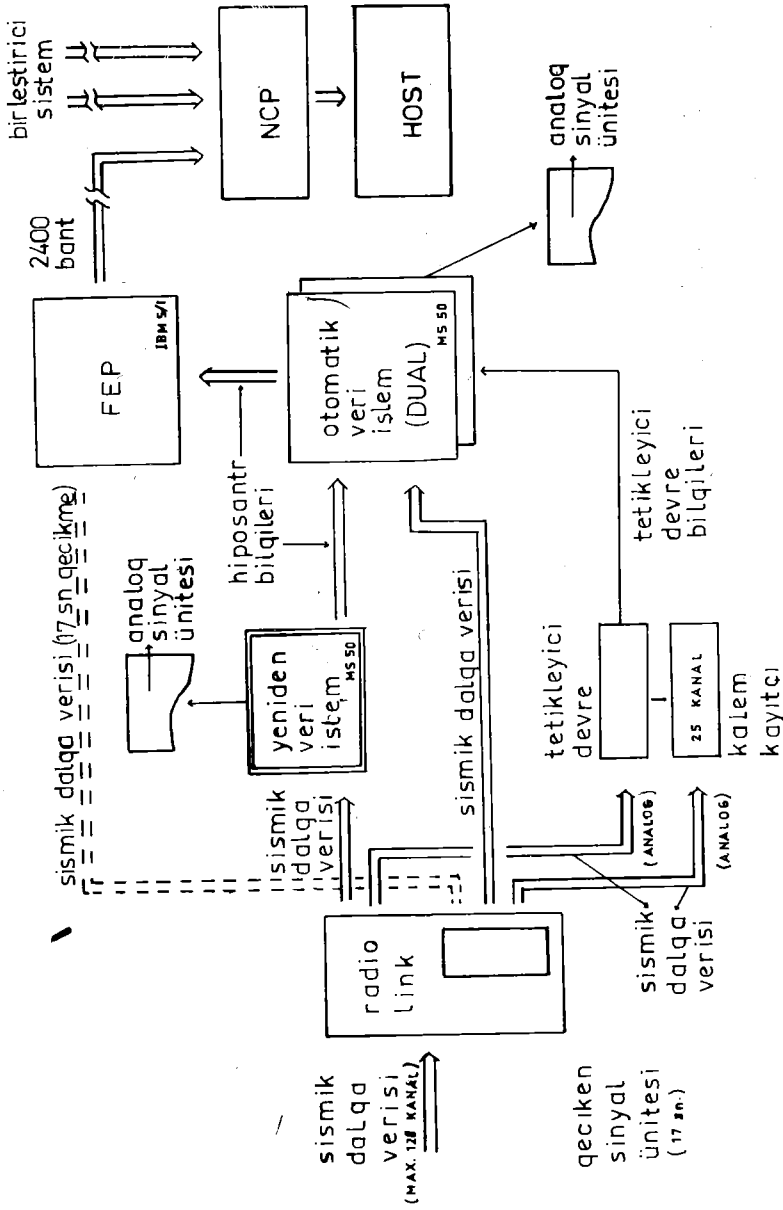
```



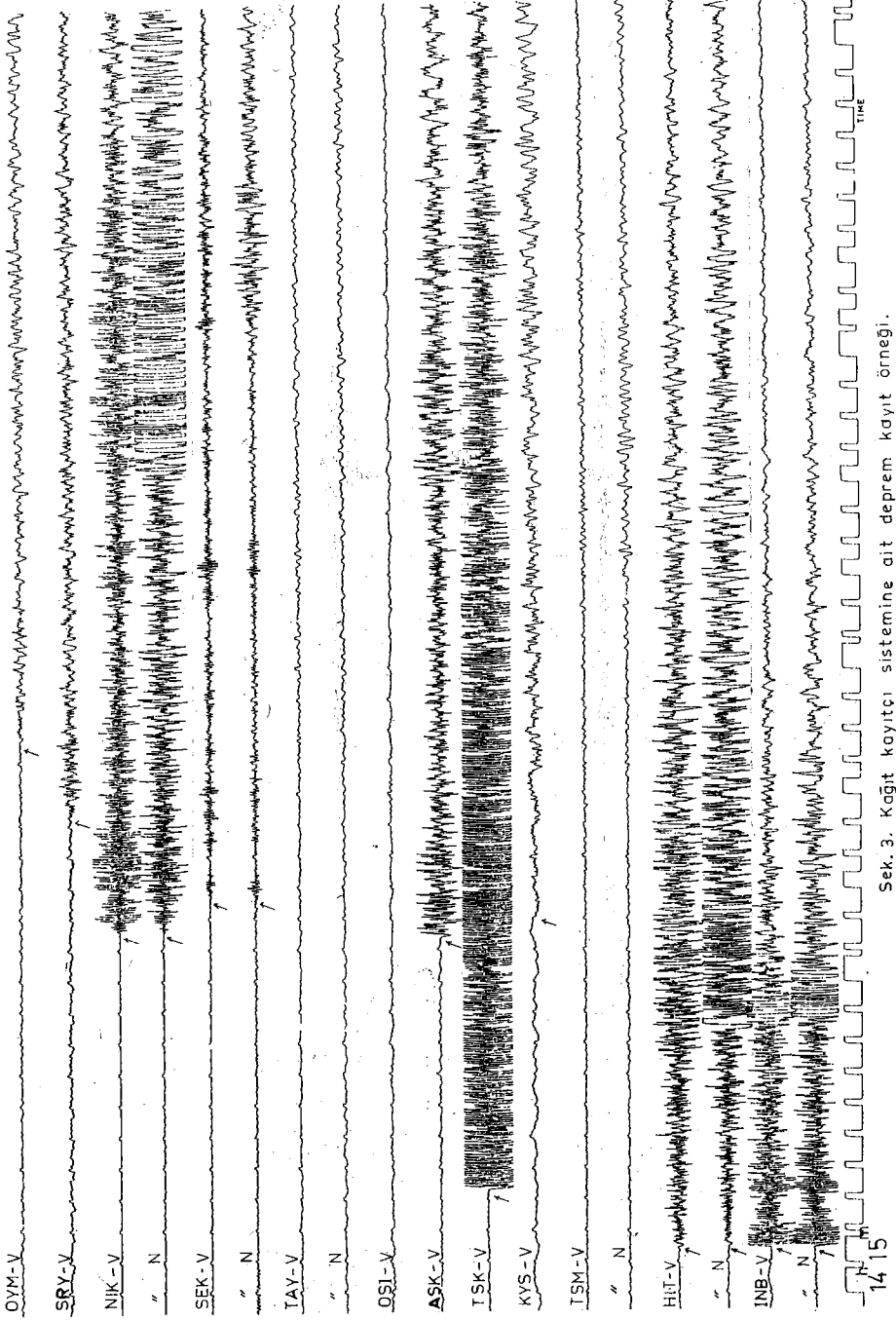
Şek.1. Tokyo Üniversitesi Deprem Arastırma Enstitüsüne ait deprem istasyon ağı

İSTASYON	ENLEM	BOYLAM	YÜKSEKLİK (m)	BÜYÜTME (10hz)
ASK	36.3582	139.4159	80	293400
DDR	35.9983	139.1933	800	293400
FJI	35.3103	138.6789	1040	73350
HIT	36.6181	140.5873	600	146700
HOK	34.8498	139.0396	890	73350
INB	35.7019	140.8588	60	73350
KYS	35.1976	140.1482	180	146700
MKY	36.1620	140.1333	460	9170
NİK	36.6707	139.4872	1290	146700
ÖKY	35.2273	138.4211	620	293400
OSI	34.7891	139.3517	20	32890
OYM	35.4200	139.2430	600	100770
SEK	37.0951	139.5762	76	73350
SRY	35.6083	139.2741	250	293400
TAY	35.2147	139.6594	170	36680
TSK	36.2108	140.1097	280	293400
TSM	35.4110	140.2292	50	18340

Tablo 1. Şek. 1'de gösterilen deprem istasyonlarının enlem, boylam, yükseklik ve 10 Hz'teki sismografların büyütme oranları.



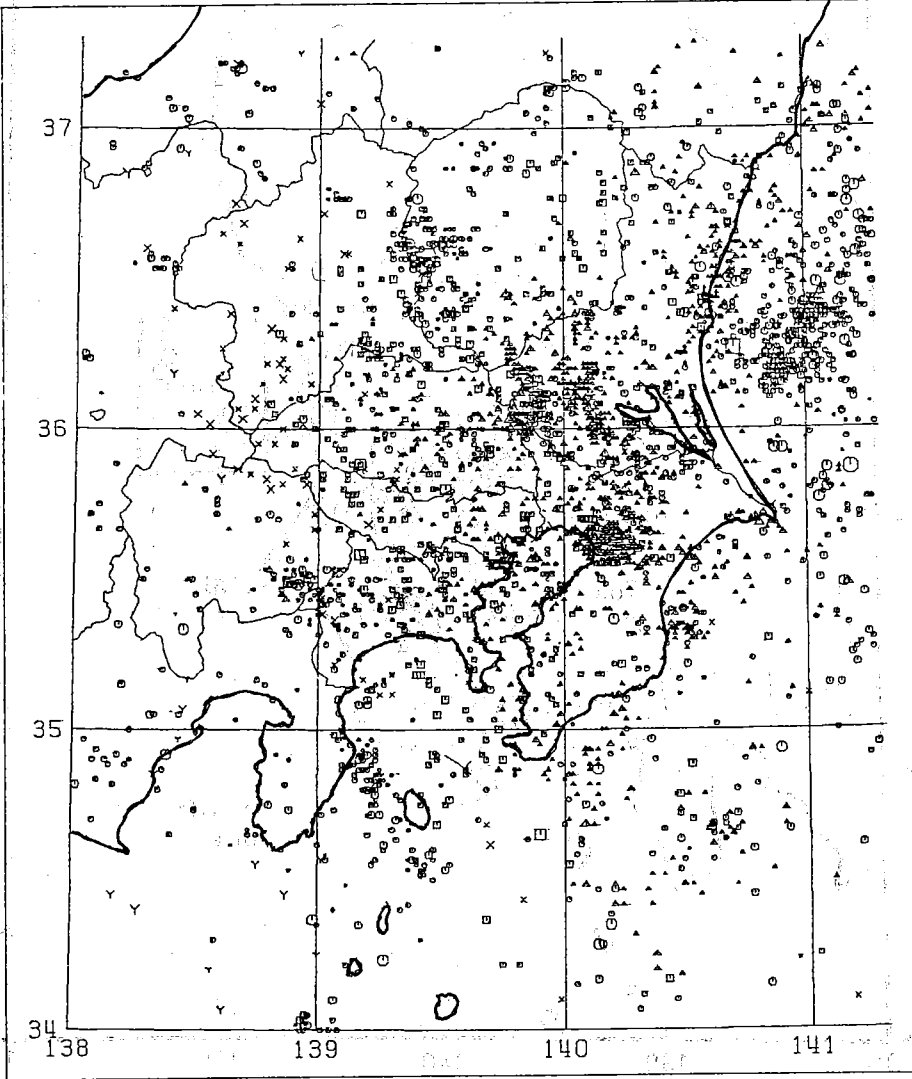
Şek. 2. Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsünün merkez deprem Laboratuvarındaki otomatik veri işlem sisteminin şeması.



Sek. 3. Kağıt kayıtcı sistemine ait deprem kayıt örneği.

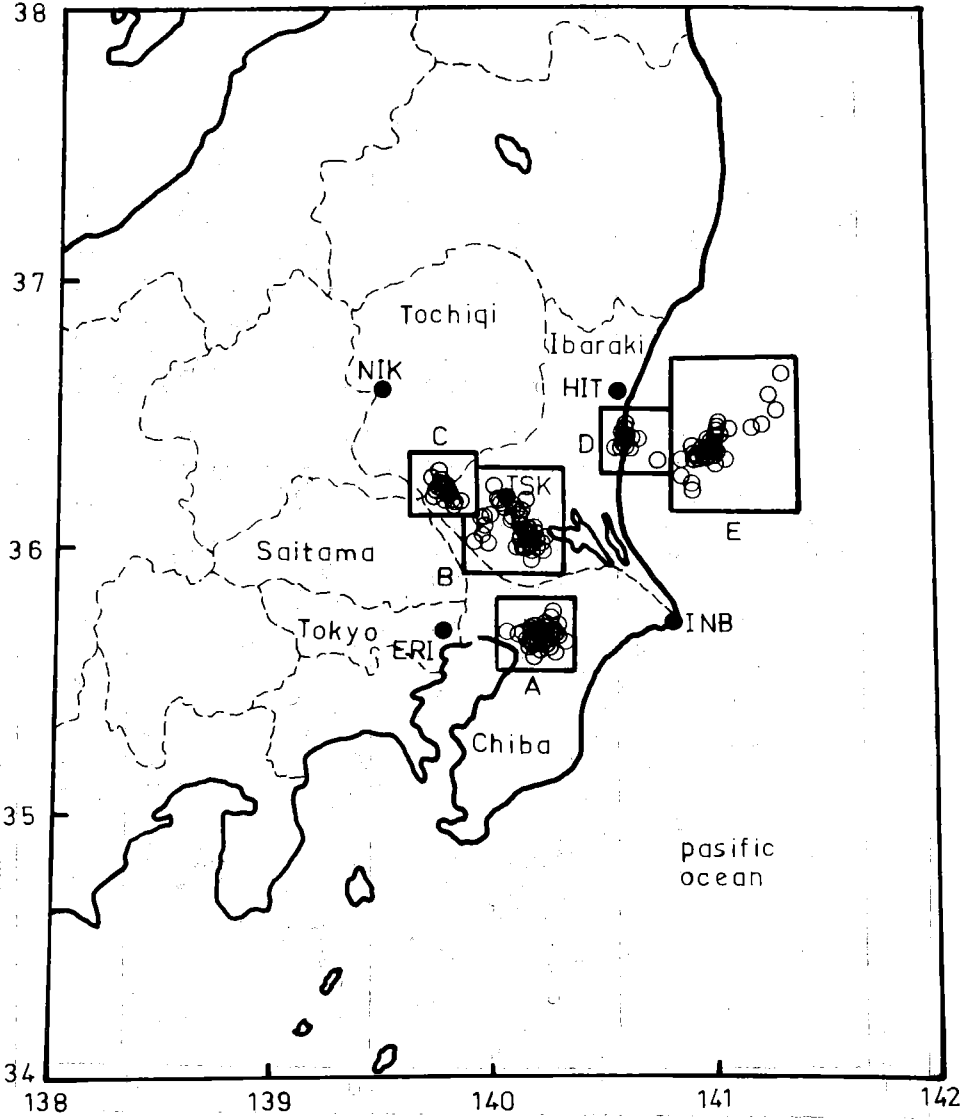
DATE (FROM)
DATE (TO)

80/09/01 00:00:00.00
81/12/31 23:59:59.99



Şek.5. Kanto bölgesinde oluşan depremlerin epi-
santr dağılım haritası.

DEPTH	MAG	0	1	2	3	4	5	6
$0 \leq$	< 50	.	.	.	o	o	o	o
$50 \leq$	< 100	.	.	.	.	.	.	.
$100 \leq$	< 150	.	.	.	.	.	.	.
$150 \leq$	< 200	.	.	.	.	.	.	.
$200 \leq$	< 500	.	.	.	.	.	.	.



Sek. 6. P ve S arasında karakteristik özellik taşıyan fazları içeren depremlerin qruplara göre dağılımı.

Tablo 2.

GRUP A :

<u>Gün</u> <u>Ay</u> <u>Yıl</u>	<u>Oluş</u> <u>Zamanı</u>	<u>ENLEM</u>	<u>BOYLAM</u>	<u>Derinlik</u>
01 10 1980	19 00 53.7	35.64N	140.18E	67
02 10 1980	04 49 56.8	35.65N	140.11E	67
03 10 1980	12 35 53.9	35.62N	140.18E	64
06 10 1980	12 53 59.1	35.69N	140.30E	60
08 10 1980	02 28 11.9	35.58N	140.19E	70
13 10 1980	19 21 20.3	35.59N	140.27E	63
14 10 1980	02 26 32.4	35.59N	140.20E	70
23 10 1980	01 19 50.2	35.60N	140.22E	68
05 11 1980	12 49 13.5	35.62N	140.20E	73
07 01 1981	05 14 24.3	35.61N	140.23E	79
22 01 1981	21 18 23.3	35.65N	140.20E	63
25 01 1981	17 43 05.9	35.65N	140.05E	69
27 01 1981	06 23 38.5	35.76N	140.27E	72
08 02 1981	13 29 38.1	35.64N	140.20E	67
10 02 1981	02 17 56.0	35.62N	140.10E	71
22 03 1981	03 17 27.2	35.64N	140.20E	70
06 04 1981	09 38 39.2	35.66N	140.23E	63
22 04 1981	01 48 29.4	35.64N	140.12E	72
28 04 1981	01 03 16.7	35.58N	140.21E	70
29 04 1981	05 59 52.2	35.64N	140.10E	66
07 05 1981	13 44 45.7	35.63N	140.15E	62
21 05 1981	17 18 17.7	35.64N	140.29E	71
13 06 1981	19 45 48.1	35.62N	140.26E	73
21 07 1981	00 56 35.4	35.64N	140.14E	64
21 07 1981	04 20 30.7	35.62N	140.20E	68
25 07 1981	02 26 56.6	35.70N	140.24E	73
03 09 1981	08 10 02.7	35.64N	140.14E	64
08 10 1981	10 15 25.4	35.57N	140.19E	70
06 11 1981	15 01 37.9	35.63N	140.15E	62
21 11 1981	03 39 39.8	35.65N	140.12E	71
08 12 1981	21 09 27.5	35.59N	140.21E	70
13 12 1981	14 22 40.0	35.64N	140.14E	69
28 12 1981	21 09 40.0	35.64N	140.15E	65
17 03 1981	07 07 07.3	35.62N	140.18E	68

GRUP B :

09 10 1980	21 24 20.2	36.12N	140.11E	68
25 10 1980	22 43 08.4	36.17N	140.11E	72
28 10 1980	00 53 39.5	36.14N	140.03E	74
03 11 1980	14 56 56.1	36.97N	139.94E	45
19 11 1980	01 32 55.3	36.02N	140.14E	64
30 11 1980	22 33 13.4	36.00N	140.12E	64
09 01 1981	17 50 31.0	36.09N	139.90E	48
14 01 1981	05 09 15.0	35.92N	140.17E	64
01 03 1981	16 27 18.9	36.01N	140.13E	72
07 03 1981	00 08 41.7	35.96N	140.19E	62
28 04 1981	20 02 37.4	36.00N	140.25E	67
22 05 1981	03 20 09.5	35.94N	140.20E	63
09 06 1981	10 32 18.1	36.01N	140.14E	72
20 06 1981	21 02 10.1	36.12N	140.02E	73
21 06 1981	13 08 57.6	35.98N	139.97E	41
02 07 1981	08 00 28.0	36.14N	140.03E	73
09 07 1981	13 08 13.5	36.11N	140.02E	73
10 08 1981	16 17 08.2	36.11N	140.11E	69

20 08 1981	18 59 42.3	36.09N	140.10E	70
21 08 1981	11 08 56.7	36.00N	140.14E	64
26 08 1981	14 55 34.6	36.10N	140.18E	101
21 09 1981	05 07 21.2	36.01N	140.22E	64
24 09 1981	05 51 49.7	36.07N	140.08E	70
24 09 1981	06 06 36.9	35.97N	140.19E	63
03 10 1981	14 15 56.5	35.96N	140.20E	60
31 10 1981	16 05 20.8	36.12N	140.10E	68
27 11 1981	18 30 58.4	36.00N	140.13E	66
04 12 1981	06 01 11.6	36.09N	139.90E	45
24 12 1981	23 50 45.1	36.14N	140.06E	72
05 02 1982	22 40 45.1	36.21N	140.00E	54
15 02 1982	20 09 07.3	36.12N	140.00E	47
16 03 1982	06 00 44.7	36.04N	139.93E	31

GRUP C :

26 01 1981	22 49 06.7	36.22N	139.79E	58
01 07 1981	23 48 46.3	36.18N	139.82E	56
21 08 1981	15 12 22.2	36.22N	139.82E	58
12 09 1981	20 32 28.0	36.14N	139.91E	59
22 09 1981	05 04 26.6	36.22N	139.78E	58
24 09 1981	00 19 04.8	36.19N	139.79E	56
04 10 1981	06 26 32.4	36.12N	139.82E	49
07 10 1981	16 56 31.2	36.24N	139.78E	57
01 11 1981	08 47 54.5	36.25N	139.78E	62
15 11 1981	21 24 59.8	36.23N	139.77E	61
25 01 1982	01 24 50.3	36.20N	139.81E	57
13 02 1982	04 28 04.6	36.16N	139.82E	53
17 02 1982	14 52 25.7	36.18N	139.85E	52
01 03 1982	02 41 19.9	36.21N	139.81E	64
31 03 1982	04 35 01.5	36.18N	139.82E	56

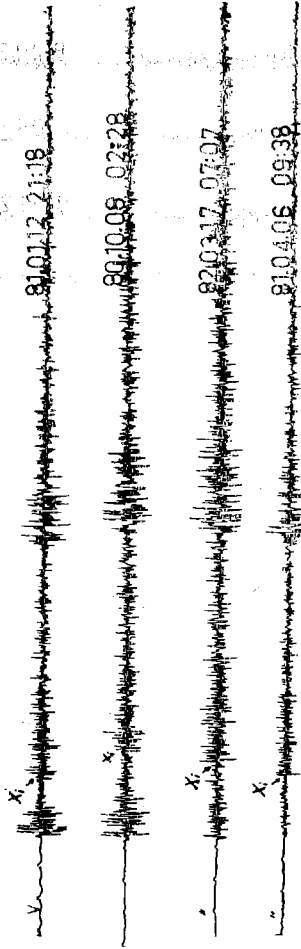
GRUP D :

04 11 1980	02 30 46.9	36.38N	140.60E	57
23 06 1981	13 16 20.3	36.39N	140.61E	57
01 08 1981	18 13 32.6	36.34N	140.58E	41
03 10 1981	02 36 14.9	36.43N	140.61E	52
01 11 1981	01 25 16.5	36.27N	140.81E	48
27 11 1981	23 05 01.7	36.39N	140.67E	49

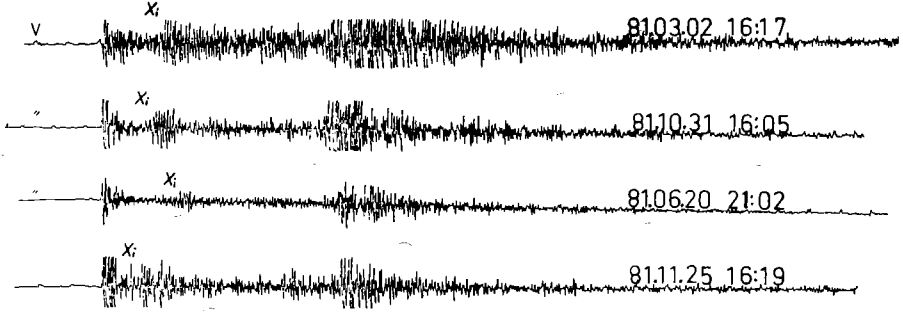
GRUP E :

10 01 1981	19 29 41.0	36.61N	141.29E	26
11 02 1981	22 49 36.4	36.40N	141.12E	27
06 03 1981	04 53 23.3	36.58N	141.34E	22
20 03 1981	12 23 27.5	36.66N	141.31E	25
29 03 1981	04 41 09.4	36.43N	141.06E	30
27 04 1981	21 38 37.1	36.30N	141.06E	26
10 05 1981	19 45 53.8	36.42N	141.22E	21
14 05 1981	14 18 56.3	36.31N	140.95E	28
24 05 1981	06 37 41.0	36.35N	140.99E	31
09 06 1981	22 32 56.9	36.39N	141.08E	25
13 06 1981	10 36 35.2	36.36N	140.99E	28
10 07 1981	14 09 59.8	36.23N	140.96E	31
13 07 1981	23 38 21.2	36.23N	140.86E	30
17 09 1981	19 33 18.7	36.33N	140.94E	30
28 09 1981	06 00 07.4	36.42N	141.26E	22
01 11 1981	02 16 19.4	36.21N	140.96E	27

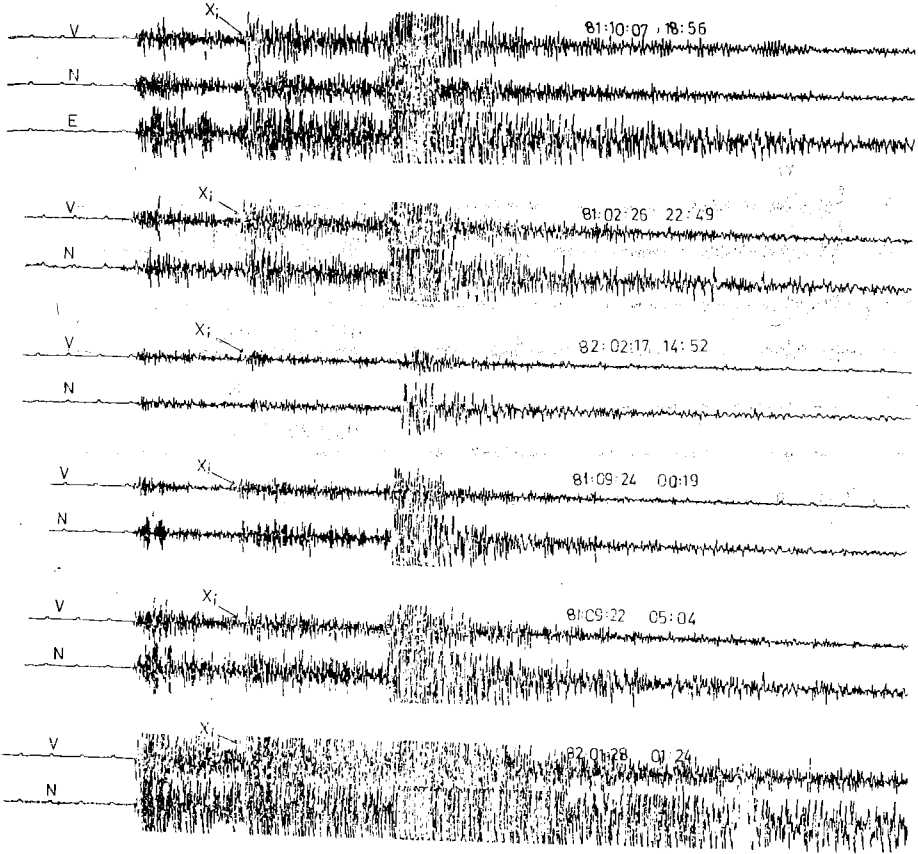
24 11 1981	09 04 12.2	36.37N	141.07E	26
31 12 1981	15 38 30.1	36.31N	140.97E	29
15 01 1982	23 05 39.6	36.40N	141.06E	25
19 01 1982	02 13 44.0	36.31N	141.07E	27
23 01 1982	02 42 27.5	36.32N	140.98E	30
26 01 1982	14 23 17.8	36.36N	141.03E	26
28 01 1982	00 28 13.9	36.38N	140.91E	29



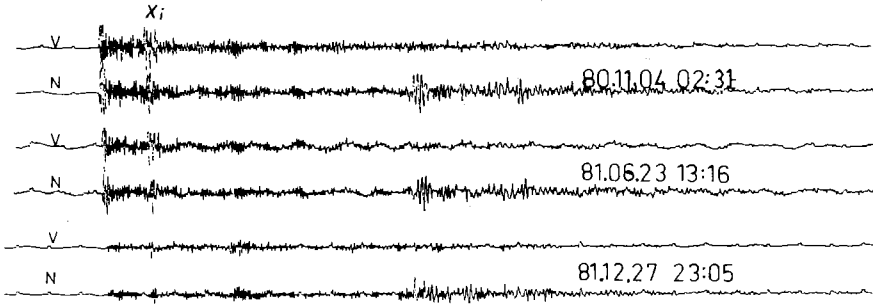
Şek. 7(a) İSK istasyonunda kaydedilen A qurubu deprem kayıt örnekleri



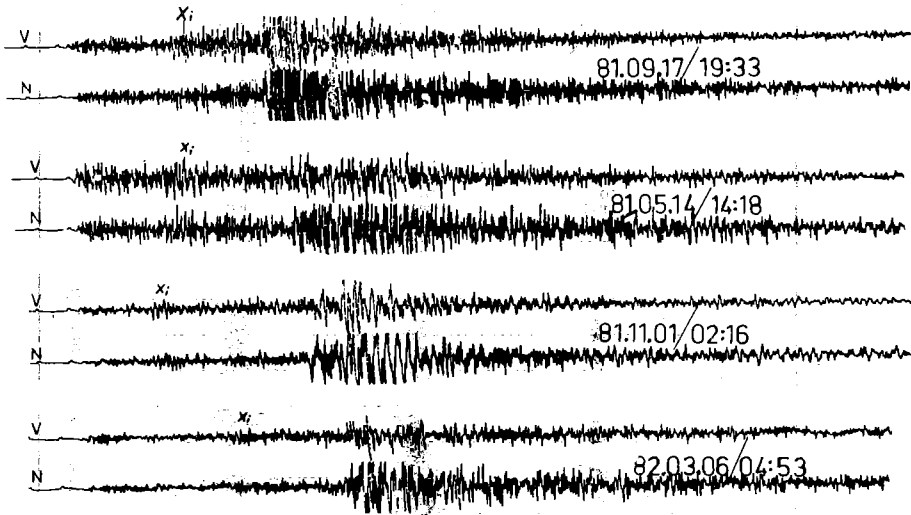
Sek. 7(b).TSK istasyonunda kaydedilen B qurubu deprem kayıt örnekleri



Sek. 7 (c). NIK istasyonunda kaydedilen C qurubu deprem kayıt örnekleri



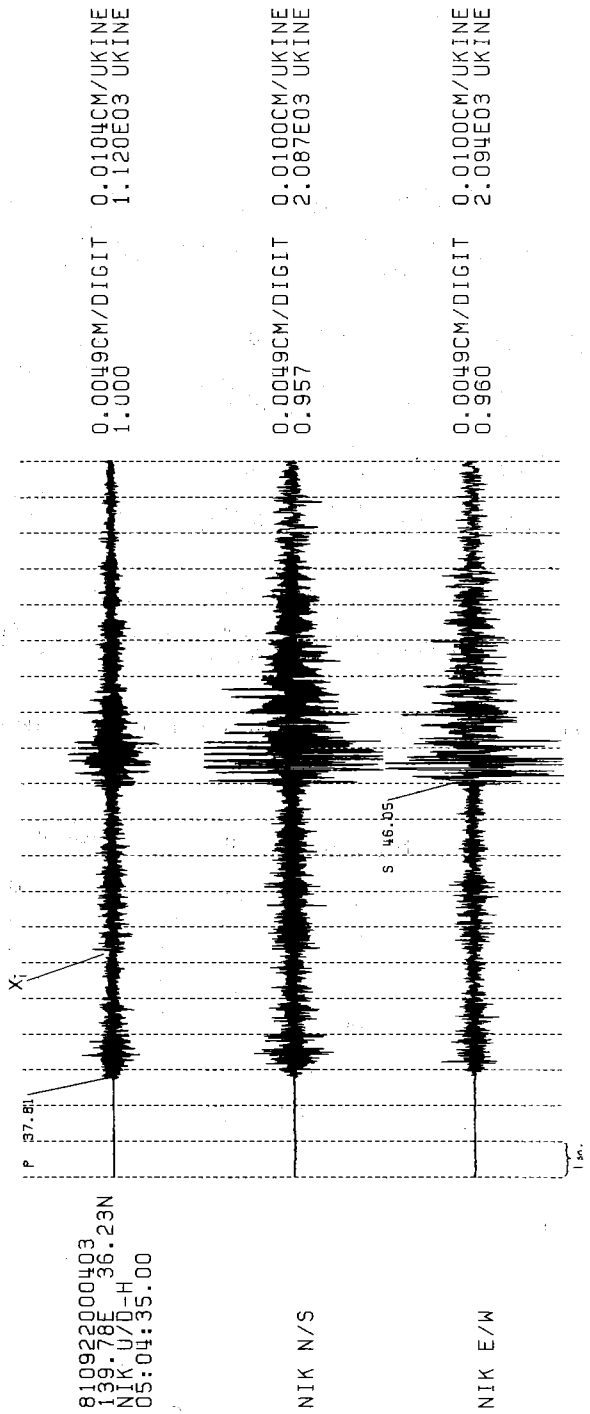
Sek. 7(d). INB istasyonunda kaydedilen D qurubu deprem kayıt örnekleri



Şek. 7.1.e). HIT İstasyonunda kaydedilen E. Grubu deprem kayıt örnekleri

GRUP	İSTASYON	S - P	DERİNLİK
A	TSK	14 - 15	60 - 80
B	TSK	10 - 12	31 - 101
C	NIK	8 - 9	49 - 62
D	INB	10 - 12	41 - 57
E	HIT	6 - 9	21 - 31

Tablo 3 .



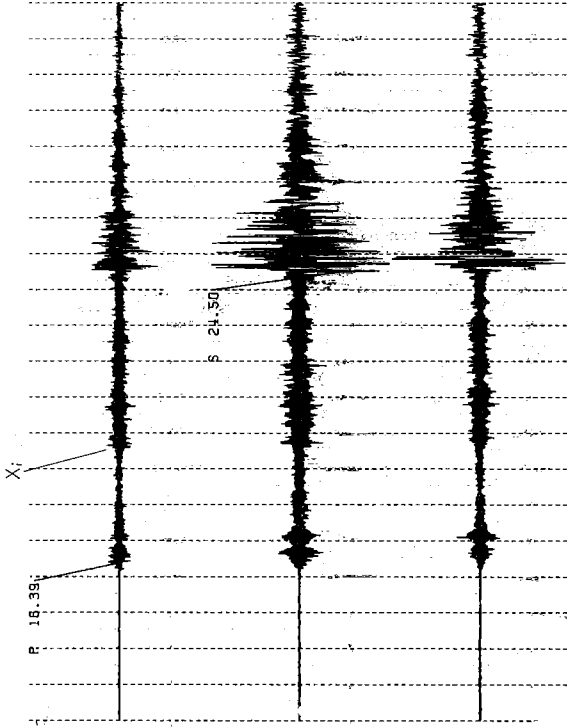
810922000403
 139.78E 36.23N
 NIK U/D-H
 05:04:35.00

NIK N/S

NIK E/W

Sek. 8 (a). NIK istasyonuna ait C grubu deprem kayıt örneği

810924000203
140.12E 36.65N
NIK_U/D-H
00:19:12.00



0.0049CM/DIGIT 0.0104CM/UKINE
1.000 9.158E02 UKINE

0.0049CM/DIGIT 0.0100CM/UKINE
0.957 2.087E03 UKINE

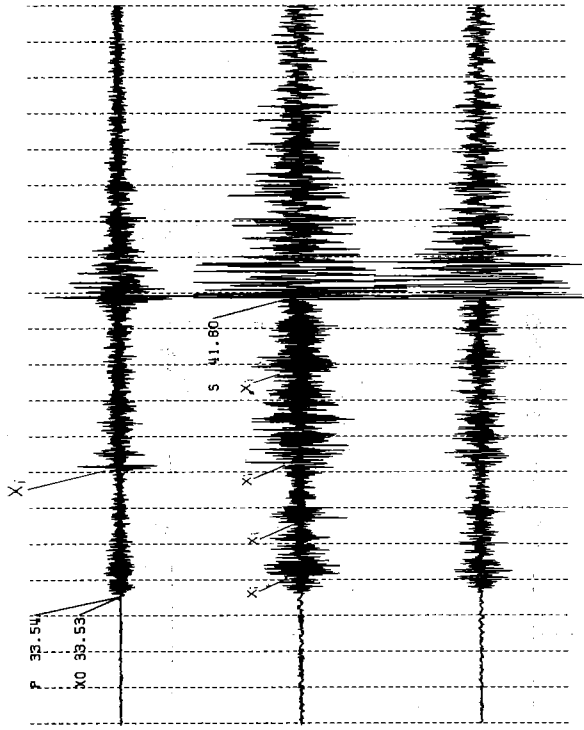
NIK N/S

0.0049CM/DIGIT 0.0100CM/UKINE
0.960 2.033E03 UKINE

NIK E/W

14

831210000503
139.77E 36.23N
NIK U/D-H
09:39:30.00



0.0059CM/DIGIT
1.000
0.0125CM/UKINE
1.585E03 UKINE

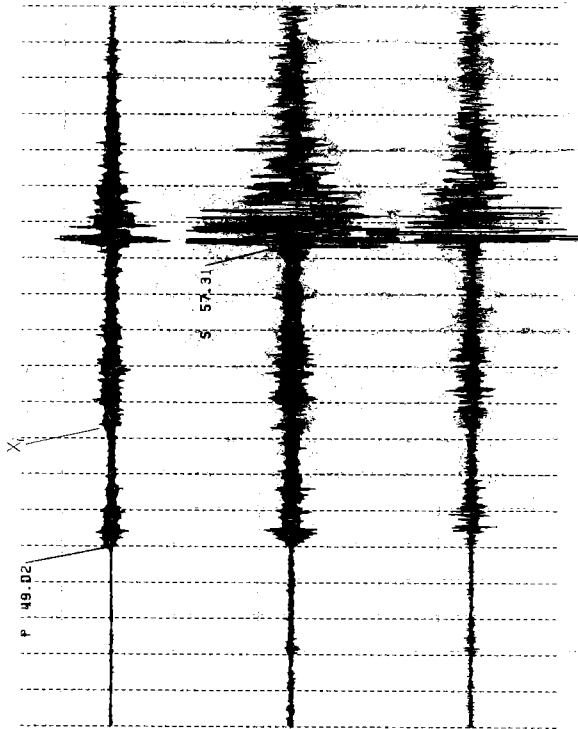
0.0059CM/DIGIT
0.957
0.0119CM/UKINE
2.087E03 UKINE

0.0059CM/DIGIT
0.960
0.0120CM/UKINE
2.094E03 UKINE

NIK N/S

NIK E/W

820621000304
139.39E 35.62N
NIK U/D-H
15:11:44.00



0.0059CM/DIGIT 0.0125CM/UKINE
1.000 1.188E03 UKINE

0.0059CM/DIGIT 0.0119CM/UKINE
0.957 2.087E03 UKINE

0.0059CM/DIGIT 0.0120CM/UKINE
0.960 2.094E03 UKINE

NIK N/S

NIK E/W

Sek. 8 (d)

2

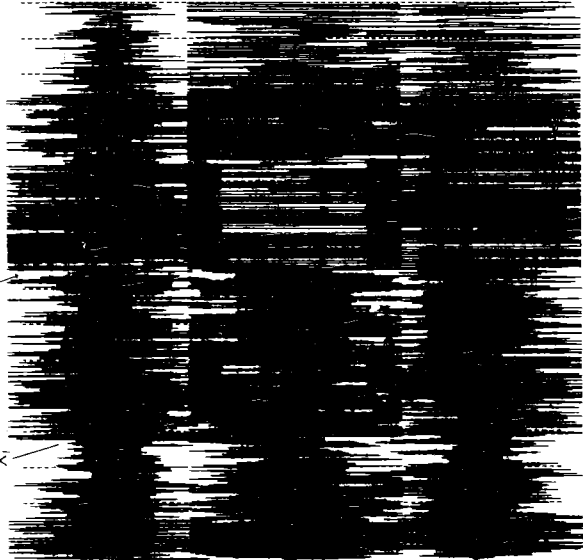
821113001404
138.76E 33.90N
NIK U/D-H
18:43:30.00

P 34.36

X0 34.37

X:

S



0.0059CM/DIGIT 1.000
0.0125CM/UKINE 2.181E03 UKINE

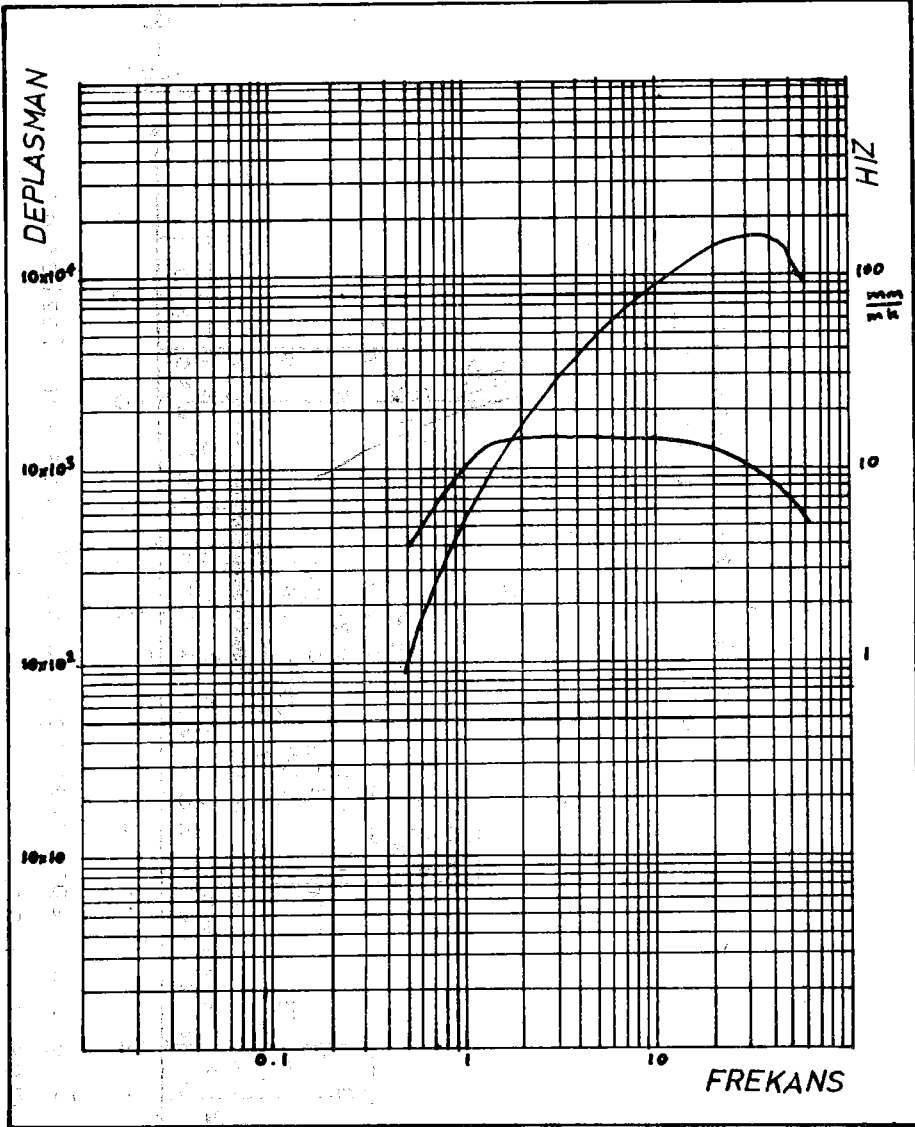
0.0059CM/DIGIT 0.957
0.0119CM/UKINE 2.087E03 UKINE

0.0059CM/DIGIT 0.960
0.0120CM/UKINE 2.094E03 UKINE

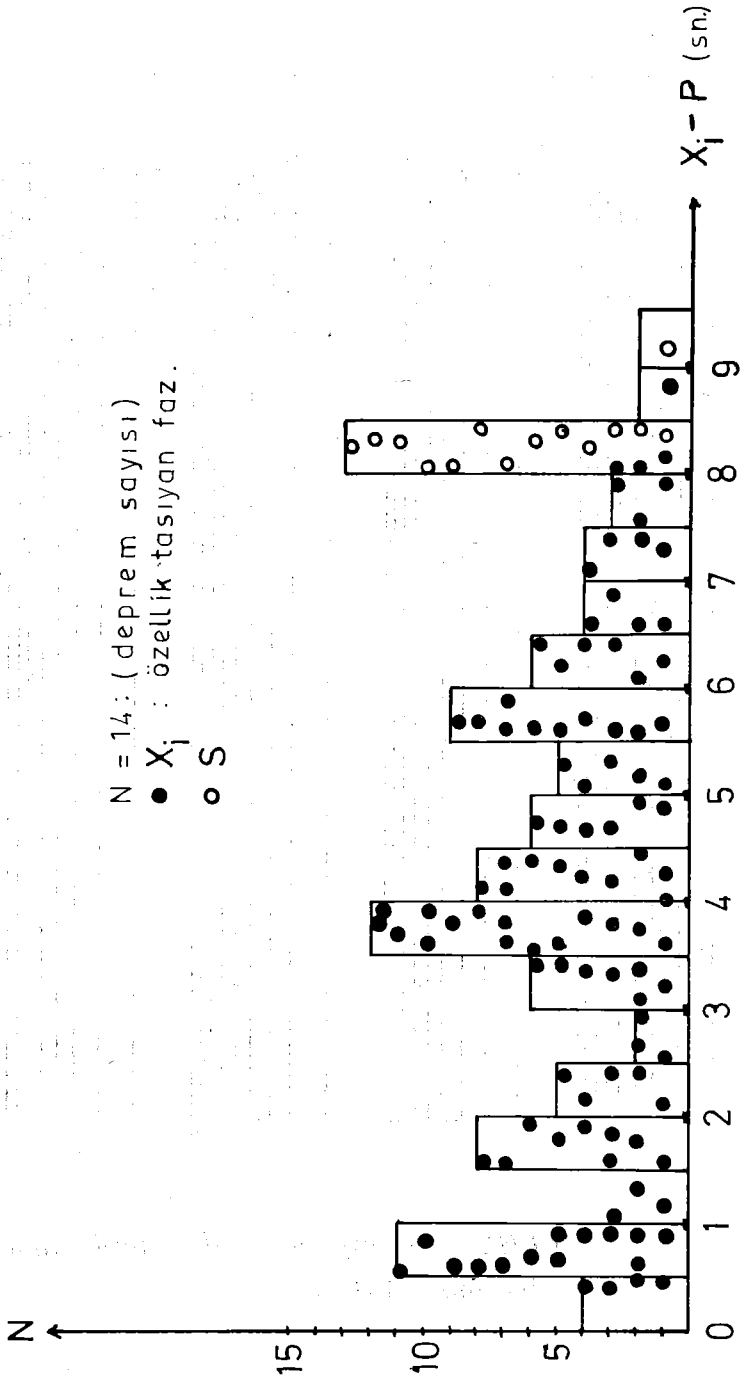
NIK N/S

NIK E/W

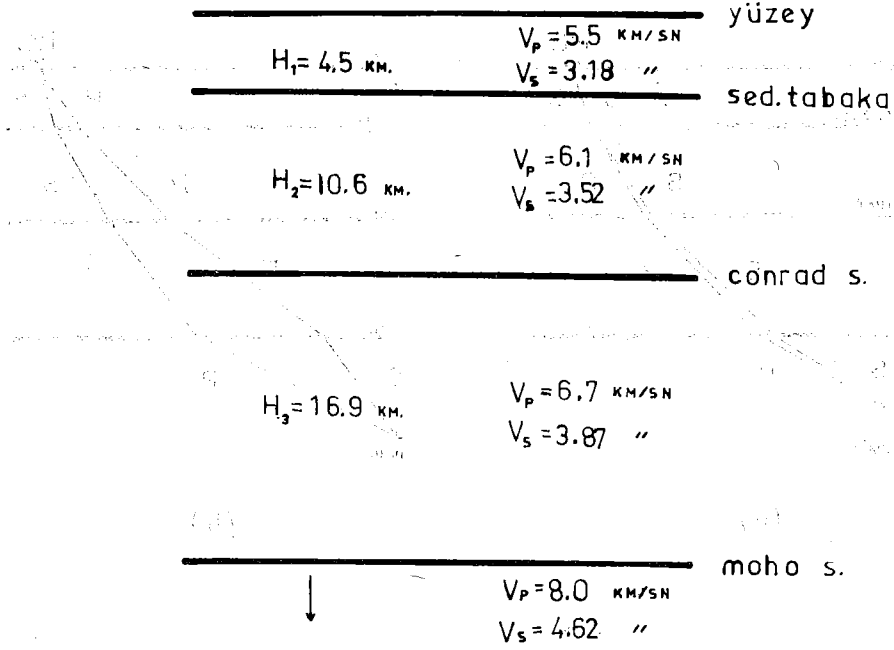
Sek. 8 (e).



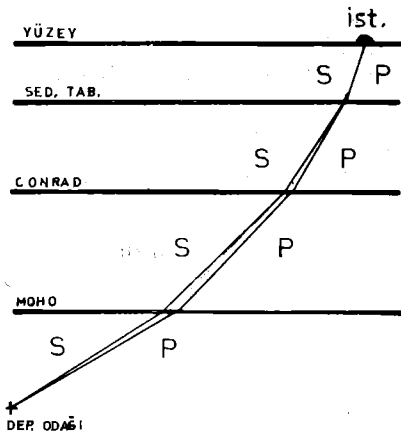
Sek. 9. Nikko (NIK) istasyonuna ait deplasman ve hız büyütme eğrileri



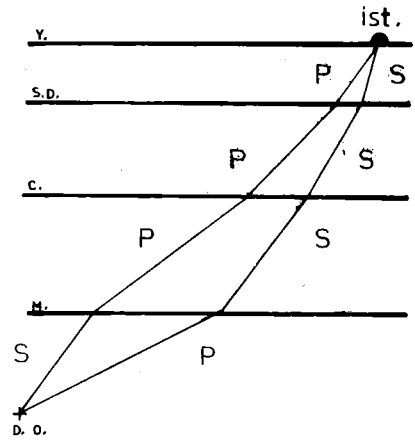
Şek.10. C grubu depremlerinde özellik taşıyan fazların oluş sayıları.



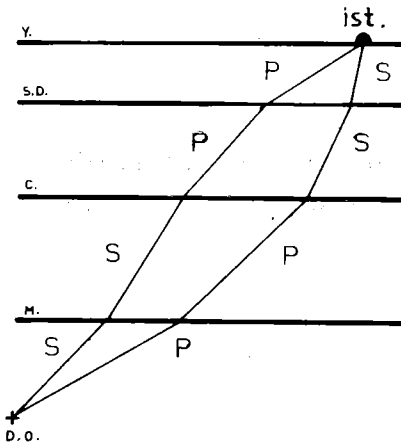
Şek. 11. T.Ü. Dep. Arş. Enst.'de deprem çözümlerinde kullanılan kabuk yapısı modeli ve sismik dalgâ hızları.



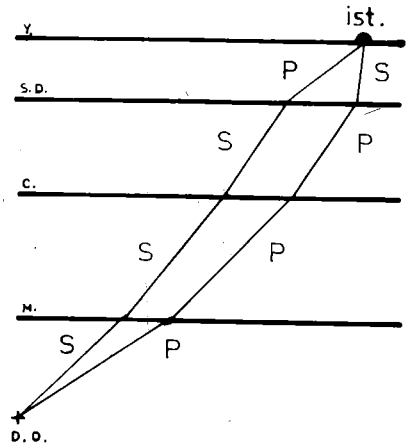
(a)



(b)



(c)

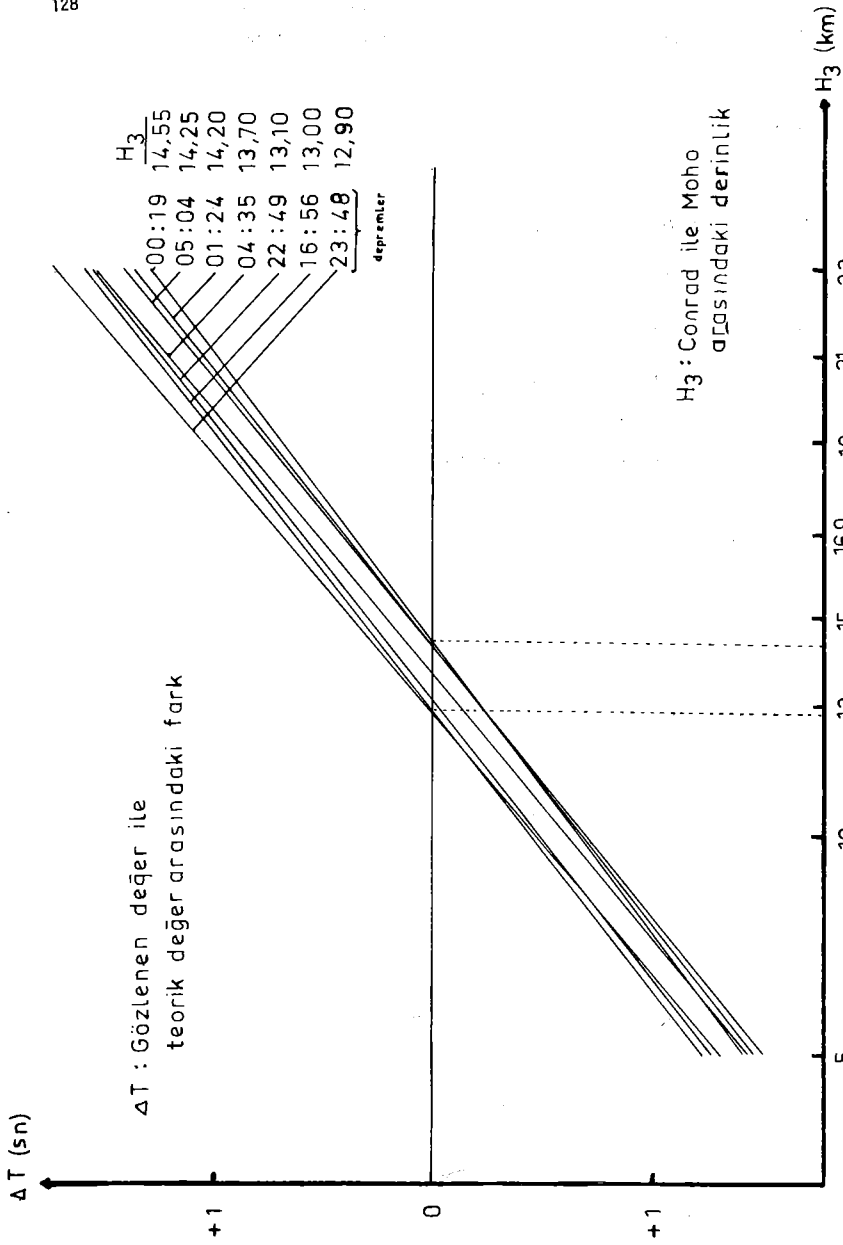


(d)

Sek. 12. Üç tabakalı bir kabuk yapısı modelinden geçerek yüzeye varan değişen dalgalar.

<u>Fazlar</u>	<u>Teorik değer</u>	<u>Gözlemsel değer</u>	<u>Fazın belirgin olduğu bileşen</u>
$t_S - t_P$	7.9	7.9	
$t_{PSSS} - t_P$	3.69	3.70	N - S
$t_{SPPP} - t_P$	3.52	3.57	V
$t_{PPSS} - t_P$	2.05	2.00	E - W
$t_{SSPP} - t_P$	5.35	5.20	V
$t_{PPPS} - t_P$	0.64	0.65	E - W
$t_{SSSP} - t_P$	7.11	7.20	V

Tablo 4. 16:56 depreminin çeşitli fazların varış zamanları ile P varış zamanı arasındaki farkların teorik ve gözlemsel değerleri.

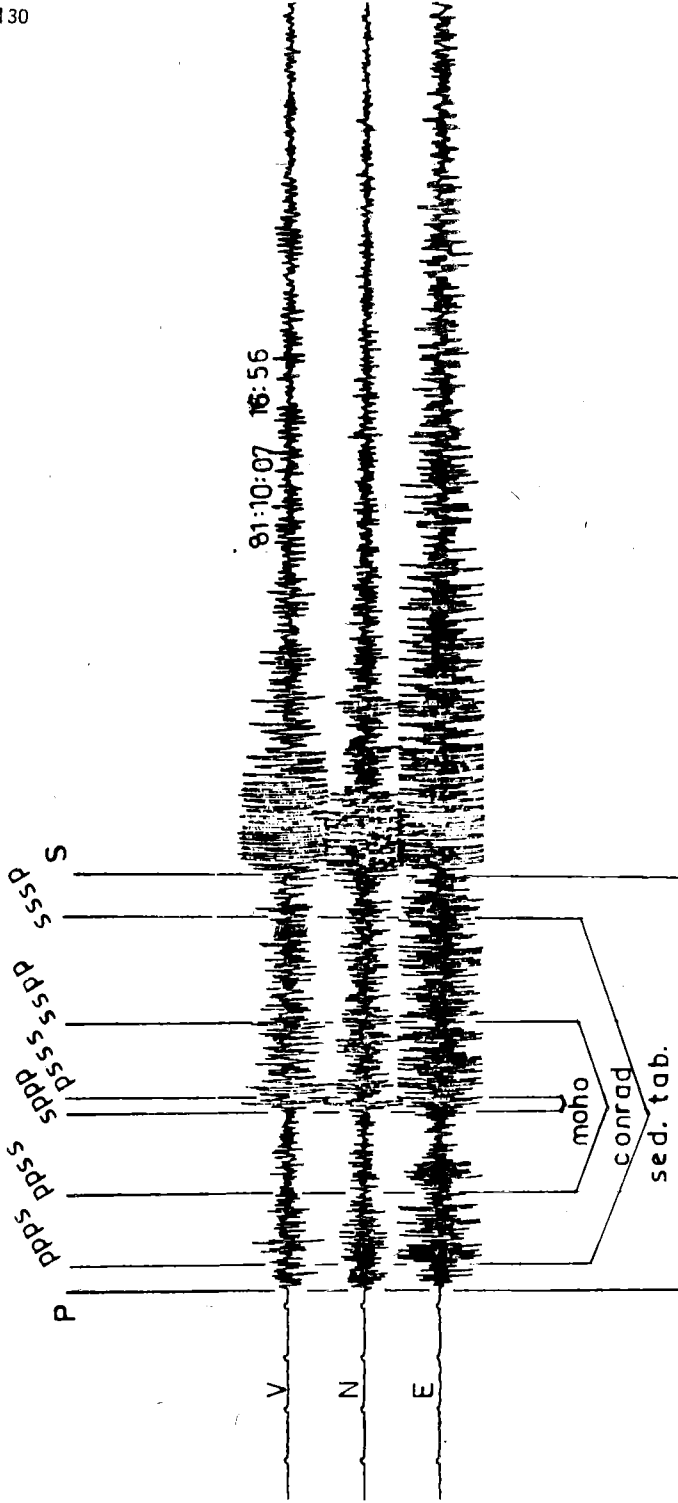


Şek. 13. Gözlemlenmiş ve teorik değerler arasındaki farkı sıfır yapan H_3 değerlerinin bulunması.

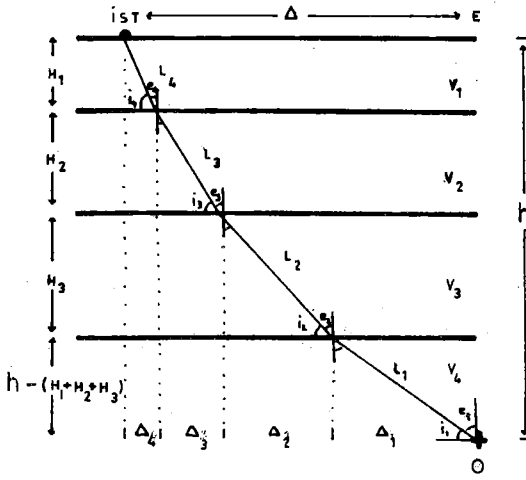
H_3 (km.)	(km.)	h (km.)	$t_{pssa} - t_p$		$t_s - t_{pssa}$	
			Teorik	Gözlemsel	Teorik	Gözlemsel
5	52.95	60.75	4.88	3.59	3.21	4.47
10	52.20	59.22	4.08		3.96	
11	52.05	58.91	3.94		4.11	
13	51.74	58.28	3.62		4.43	
15	51.24	57.64	3.12		4.74	
16.9 ^x	51.87	58.07	3.00		4.97	
19	50.75	56.33	2.67		5.34	
21	50.40	55.66	2.34		5.60	
23	50.03	54.99	2.12		6.27	

Tablo 5. 22:49 depreminin t_p, t_s, t_{pssa} fazları arasındaki varış farklarının değişik H_3 tabaka kalınlıkları için elde edilen teorik ve gözlemsel değerlerinin karşılaştırılması.

(x:Merkez laboratuvarınca yapılan çözüm.)

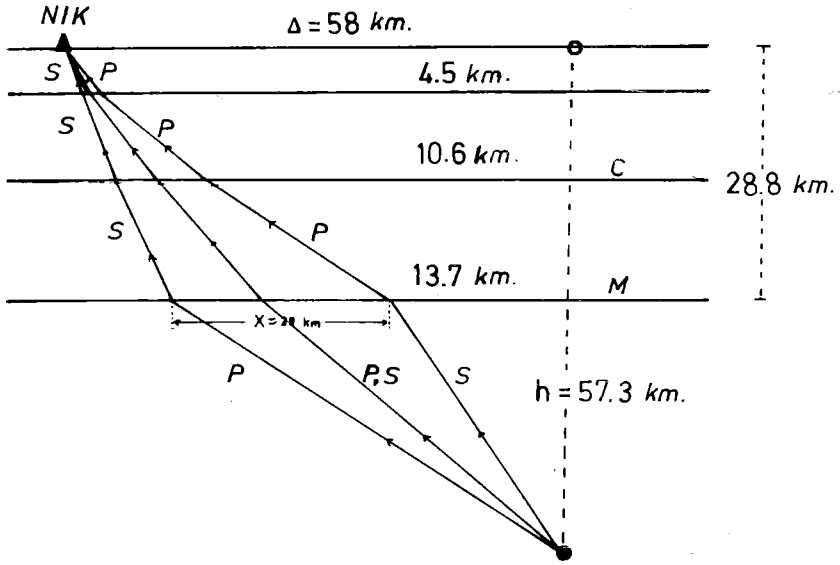


Sek. 14. Ocak derinliği 57.5 ve episantr mesafesi 50.4 km olan 16:56 depreminin $H_3=12.95$ km. kabul edilerek elde edilen değişen dalga fazlarına ait teorik varışların sismoqram üzerinde gösterilmesi.



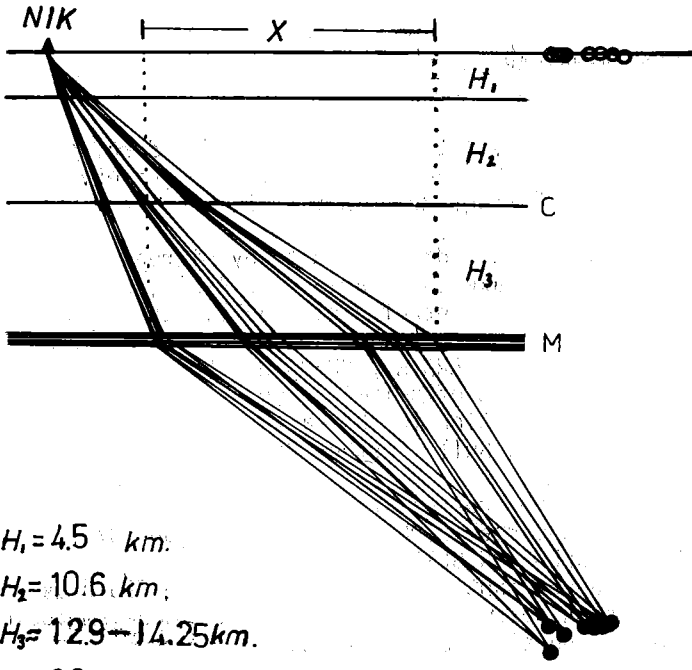
- Δ : episantr uzaklığı
 O: deprem odağı
 IST: episantr
 h: odak derinliği
 L: alınan yol
 e_1 : emerjans açısı
 i_1, i_2, i_3, i_4 : insidens
 H_1, H_2, H_3, H_4 : tabaka kalınlığı

Şek. 15. Dalga yayılım yolu ve ilgili parametreler.



- o : Deprem episantrı
 • : " odağı
 C : Conrad süreksizliği
 M : Moho "

Şek.16.19:00 depremine ait ışın yayılım yolları ve kabul edilen kabuk yapısı modeli



$$H_1 = 4.5 \text{ km.}$$

$$H_2 = 10.6 \text{ km.}$$

$$H_3 = 12.9 - 14.25 \text{ km.}$$

$$X = 28 \text{ km.}$$

• Deprem episantrı

• " odağı

Şek.17. Üzerinde çalışılan ve sonuçta varılan tüm depremlerin yayılım yollarını ile bu depremlerin episantrları ile NIK istasyonu arasındaki kabuk yapısı modeli ve bu modelin uzanımı.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- MIZOUE M., (1971)
Crustal structure from travel times of reflected and refracted seismic waves recorded at Wakayama Microearthquake Observatory and its substations, Bull. Earthq. Res. Inst., 49, 33-62.
- MIZOUE M., (1983)
Mapping of an unusual crustal discontinuity by microearthquake reflections in the earthquake swarm area near Ashio, Northwestern part of Tochigi prefecture, central Japan, Bull. Earthq. Res. Inst. 57, 00-32
- MIZOUE M., NAKAMURA I., HAGIWARA H., CHIBA H., YOSHIDA M., (1980)
Areal time processing system of seismic wave signals and its performance test in application to the earthquake swarm East of the Izu peninsula of 1980, Bull. Earthq. Res. Inst., 55, 949-1016.
- TAKANO K., (1978)
Determination of the deep crustal structure by converted seismic waves of near-by earthquakes, J.Phys. Earth., 26, 367-379.
- RESEARCH GROUP FOR EXPLOSLON SEISMOLOGY, (1977)
Regionality of the upper mantle around Northeastren Japan as derived from explosion seismic observations and its seismological implications, Tectonophysics, 37, 117-130.
- TSUKUDA T., (1976)
Microearthquake waveforms rcordeed at Tottori Microearthquake Observatory and their relation to hypocentral distributions and the upper-crustal structure, Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., 26, 17-55.
- USAMI T., MIKUMO E., SHIMA E., TAMAKI I., ASANO S., ASADA T. and MATUZAWA T., (1958)
Crustal structure in Northern Kwanto district by explosion-seismic observations. Part 2. Models of crustal structure, Bull. Earth. Res. Inst., 36, 349-357.
- ANDREEV S.S., (1957)
A Study of the plutonic structure of the earth's crust using PS exchange waves recorded during earthquakes, Izv. Acad. Sci. USSR, Ser. Earth. Phys., No. 1, 22-31.
- BULIN N.K., (1967)
Dynamic characteristics of deep seismic PS waves of Central Asia, Izv. Acad. Sci. USSR, Ser. Earth Phys., No 6, 400-406.
- BULIN N.K. and TRYUFIL'KINA E.I., (1960)
Utilization of converted SP waves of local earthquakes in studying the structure of deeper crust, Izv. Acad. Sci. USSR, Ser. Earth Phys., No 11, 1050-1055
- KUZ'MINA N.V., (1959)
The use of converted waves in the study of the structure of the earth's crust in the Southwestern portions of the main Caucasus Range, Izv. Acad. Sci. USSR, Ser. Earth Phys., No 7, 734-743.

DEPREM ARASTIRMA BÜLTENİ
YAYIN KOŞULLARI

1. Bültene gönderilecek telif ve tercüme yazılarının ;
 - a) Depremle doğrudan doğruya, ya da dolaylı yoldan ilgili olması,
 - b) Bilimsel ve teknik bir değer taşıması,
 - c) Yurt içinde daha önce başka bir yerde yayınlanmamış olması,
 - d) Daktilo ile ve kağıdın yalnız bir yüzüne en az iki nüsha olarak yazılmış bulunması,
 - e) Şekillerin aydıngeçer kağıdına çini mürekkebi ile çizilmiş olması,
 - f) Fotoğrafların net ve klişe alınmasına müsait bulunması gerekmektedir.
2. Telif araştırma yazılarının baş tarafına araştırmanın genel çerçevesini belirten en az 200 kelimelik İngilizce, Fransızca ya da Almanca bir özet konulmalıdır.
3. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı mensubu elemanlar tarafından hazırlanan ve telif ya da tercüme ücreti ödenerek yayınlanacak olan yazıların, mesai saatleri dışında hazırlanmış olduğu yazan derleyen, ya da çevirenin bağlı bulunduğu birim amiri tarafından (genel müdürlüklerde daire başkanı, müstakil birimlerde birim amiri) verilecek bir belge ile belgelendirilmesi zorunludur. Bu belge ile birlikte verilmeyen yazılar için ücret ödenmez.
4. Telif ve tercüme ücretleri ancak yazı bültende yayımlandıktan sonra tahakkuka bağlanır.
5. Bültende yayımlanacak yazılara, "Kamu Kurum ve Kuruluşlarınınca Ödenecek Telif ve İşlenme Ücretleri Hakkında Yönetmelik" esaslarına göre ücret ödenir.
6. Yazılarda bulunan şekiller için, gerekli olan asgari alan içinde bulunabilecek kelime sayısına göre ücret taktir edilir.
7. Yazıların bültende yayınlanması Genel Müdürlüğümüz bünyesinde teşekkül eden Uzmanlar Kurulu'nun kararı ile olur.
8. Seçmeyi yapacak Uzmanlar Kurulu 5. maddede sözü edilen asgari alanları hesaplamaya, yazı sahiplerine gereksiz uzatmaların kısaltılmasını teklif etmeye, verilecek ücrete esas teşkil edecek kelime sayısını tesbit etmeye ve yazıların yayın sırasını tayine yetkilidir.
9. Kurulca incelenen yazıların bültende yayınlanıp yayınlanmayacağı yazı sahiplerine yazı ile duyurulur.

10. Yayımlanmayacak yazılar bu duyurmadan sonra en geç bir ay içinde sahipleri tarafından geri alınabilir. Bu süre içinde alınmayan yazıların korunmasından Genel Müdürlüğümüz sorumlu değildir.
11. Yayımlanan yazılardaki fikir, görüş ve öneriler tamamen yazarlarına ait olup, Teknik Araştırma ve Uygulama Genel Müdürlüğünü bağlamaz ve Genel Müdürlüğümüzün resmi görüşünü yansıtmaz.
12. Diğer kuruluşlar ve Bakanlık mensupları tarafından bilgi, haber tanıtma vb. gibi nedenlerle gönderilecek not ve açıklamalar, ya da bu nitelikteki yazılar için ücret ödenmez.
13. Genel Müdürlüğümüz mensupları Genel Müdürlükçe kendilerine verilen görevlere ait çalışmalardan ötürü her hangi bir telif ya da tercüme ücreti talep edemezler.