

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

1996-947

ZEMİN YAPISININ DEPREM İVME
SPEKTRUMUNA ETKİSİ

Y. Prof. Dr. Aybars GÜRPINAR

Y. Prof. Dr. Dinçer ÖZGÜR

Asos. Prof. Dr. Çetin SOYDEMİR

MAG-339

MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

C 981 z

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

ZEMİN YAPISININ DEPREM İVME SPEKTRUMUNA ETKİSİ

PROJE NO : MAG - 339

Proje Yürütücüsü : **Y. Prof. Dr. Aybars GÜRPINAR**

« « **Y. Prof. Dr. Dinçer ÖZGÜR**

Yardımcı Araştırmacı : **Asos. Prof. Dr. Çetin SOYDEMİR**

MÜHENDİSLİK ARAŞTIRMA GRUBU

ÖNSÖZ

Bu proje, Y. Prof. Dr. Aybars Gürpınar ve Y. Prof. Dr. Dinçer Özgür'ün birlikte yürütmüş oldukları TBTAk MAG-302 Deprem İvme Spektrumunun Modellendirilmesi adlı projenin bir devamı ve uygulamasıdır. Bu proje de Aybars Gürpınar ve Dinçer Özgür'ün ortak yürütücülüğüyle başlamış, fakat kısa bir süre sonra Dinçer Özgür'ün askerlik görevine çağırılması üzerine kendisi yürütücülük görevinden ayrılmak zorunda kalmıştır.

Proje, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'nca desteklenmiştir.

Y. Prof. Dr. Aybars GÜRPINAR

Y. Prof. Dr. Dinçer ÖZGÜR

Asos. Prof. Dr. Çetin SOYDEMİR

İÇİNDEKİLER

	<u>Sahife</u>
TABLO LİSTESİ	VII
ŞEKİL LİSTESİ	IX
ABSTRAKT (Türkçe ve İngilizce)	XI
GİRİŞ	1
Genel	1
Literatür Çalışması	2
METOD ve MATERYAL	14
BULGULAR ve TARTIŞMA	16
Genel	16
Bulgular ve Gözlemler	16
Tartışma ve Karşılaştırma	18
SONUÇ ve ÖNERİLER	22
Metodun Pratikte Kullanılması	22
Metodun Mikro-bölgelendirme ve Sismik Risk Çalışmalarında Kullanılması	23
Zemin Hakim Periyoduyla İlgili Çalışmaların Yönetmeliğe Yansıtılması	24
ÖZET	25
SUMMARY	26
LİTERATÜR LİSTESİ	27
EK I. TABLO ve ŞEKİLLER	35
EK II. ÖRNEK ÇÖZÜM	75
EK III. REGRESYON ANALİZİ	91
EK IV. NOTASYON	97

TABLO LİSTESİ

Tablo I.1.	Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ ile Değişmesi, $\omega = 0.1$ rad/sn	37
Tablo I.2.	" " " " " " $\omega = 0.5$	37
Tablo I.3.	" " " " " " $\omega = 1.0$	37
Tablo I.4.	" " " " " " $\omega = 5$	37
Tablo I.5.	" " " " " " $\omega = 10$	38
Tablo I.6.	" " " " " " $\omega = 50$	38
Tablo I.7.	" " " " " " $\omega = 100$	38
Tablo I.8.	" " " " " " $\omega = 250$	38
Tablo I.9.	" " " " " " $\omega = 500$	39
Tablo I.10.	İvme Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, $\theta = 15^\circ$	39
Tablo I.11.	" " " " " " $\theta = 30^\circ$	39
Tablo I.12.	" " " " " " $\theta = 45^\circ$	39
Tablo I.13.	" " " " " " $\theta = 60^\circ$	40
Tablo I.14.	" " " " " " $\theta = 75^\circ$	40
Tablo I.15.	Hız Spektra Yoğunluk Fonksiyonları, $\theta = 15^\circ$	40
Tablo I.16.	" " " " " " $\theta = 30^\circ$	41
Tablo I.17.	" " " " " " $\theta = 45^\circ$	41
Tablo I.18.	" " " " " " $\theta = 60^\circ$	41
Tablo I.19.	" " " " " " $\theta = 75^\circ$	42
Tablo I.20.	" " " " " " $d = 1$ m.	42
Tablo I.21.	" " " " " " $d = 4$ m.	43
Tablo I.22.	" " " " " " $d = 10$ m.	43
Tablo I.23.	" " " " " " $d = 16$ m.	44
Tablo I.24.	" " " " " " $d = 40$ m.	44
Tablo I.25.	Tabaka Kalınlıklarına Göre Hakim Zemin Peryodları	45
Tablo I.26.	Kalın Alüvyon Tabakaları İçin Hakim Peryodlar (1 nci Mod)	45
Tablo I.27.	" " " " " " " (2 nci Mod)	46
Tablo I.28.	P. ve S Dalgalarının Hakim Bölgelerinin Sınırı	46

Şekil I. 22.	Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonu,	d = 4m.	67
Şekil I. 23.	" " " "	d = 10m.	68
Şekil I. 24.	" " " "	d = 16m.	69
Şekil I. 25.	" " " "	d = 40m.	70
Şekil I. 26.	Tabaka Kalınlıklarına Göre Hakim Zemin Peryodları		71
Şekil I. 27.	Kalın Alüvyon Tabakaları İçin Hakim Peryodları (1 inci Mod)		72
Şekil I. 28.	Kalın Alüvyon Tabakalar İçin Hakim Peryodları (2 nci Mod)		73
Şekil I. 29.	Tabaka Kalınlığına Göre P ve S Dalga Spektromlarının Kesitlikleri Peryot		74

Ek II'deki Şekiller

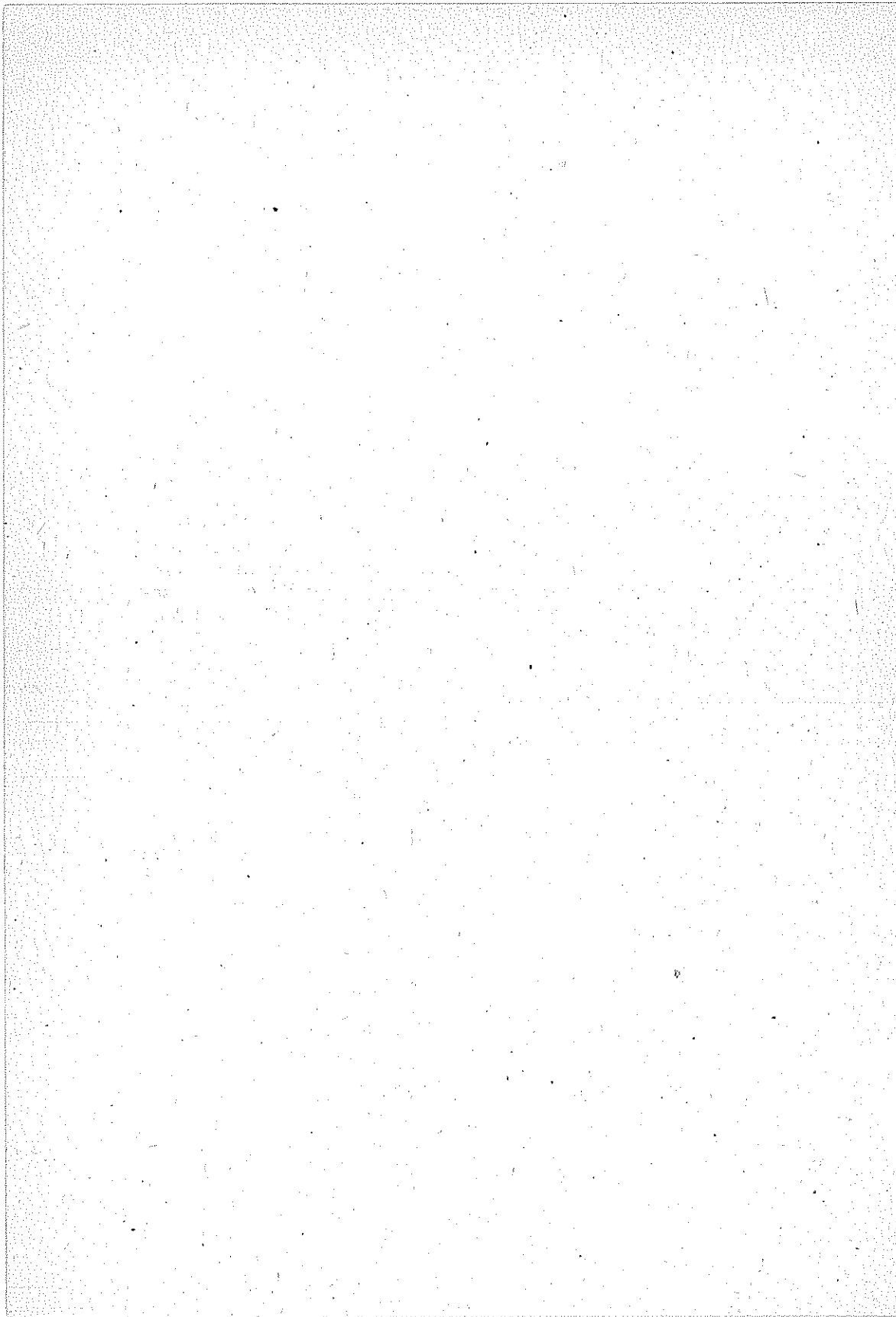
Şekil II.1.	Kuzey Anadolu Fay Hattı ve Ankara Bölgesinin Bu Hattan Uzaklığı	83
Şekil II.2.	Ana Taban Kayasında Teplik Hızı Spektrumu (Kanai yaklaşımı)	83
Şekil II.3.	İdealize Zemin Profili ve Zemin Parametreleri	84
Şekil II.4.	Spektral Yoğunluk Fonksiyonu (Sürekli ortam yaklaşımı)	85
Şekil II.5.	Spektral Yoğunluk Fonksiyonu (Toplanmış kütle yaklaşımı)	86
Şekil II.6.	İdealize edilmiş spektral Yoğunluk Fonksiyonu	87
Şekil II.7.	İdealize edilmiş spektral Yoğunluk Fonksiyonu	88
Şekil II.8.	Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, El Centro, 1940 Depremi (Bycroft İdealizasyonu)	88
Şekil II.9.	Proje İvme Spektrumu	89

ABSTRAKT

Bu araştırmada gelişigüzel varsayılan deprem hareketine zemin formasyonlarının etkisi incelenmiştir. TBTAk MAG-302 Deprem İvme Spektrumunun Modellenilmesi adlı raporda geliştirilen tabakalı elâstik ortamda gelişigüzel dalga yayılması probleminin çözümleri bu incelemeye temel teşkil etmiştir. Sert ve yumuşak zeminler için hız ve ivme spektral yoğunluk fonksiyonları bulunmuş, bir boyutlu sürekli ortam ve toplanmış kütle metodları çözümleriyle karşılaştırmalar yapılmış ve bulgular tablo ve şekillerle gösterilmiştir. Geliştirilen metodun somut bir uygulaması da ek olarak rapora iliştirilmiştir.

ABSTRACT

The influence of soil layers on random earthquake ground motion is studied. The method used in this report was originally developed from the theory of random wave propagation in elastic layered media presented in Simulation of Earthquake Acceleration Spectra, TBTAk MAG-302. Velocity and acceleration spectral density functions for hard and soft soil deposits are obtained and results are compared with those of one dimensional continuum and lumped mass models. The findings are presented in tables and figures, and a concrete application of the theory is attached as an appendix.



1- GİRİŞ

1.1. Genel

Bu çalışma; 1.4.1972 - 1.4.1973 tarihleri arasında Dinçer Özgür ve Aybars Gürpınar'ın birlikte yapmış oldukları ve bulgularını Roma'da Beşinci Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı'nda sundukları, TBTAK MAG-302 Deprem İvme Spektrumunun Modellendirilmesi adlı araştırmanın bir devamı ve özel durumlara uygulaması sayılabilir.

Deprem İvme Spektrumunun Modellendirilmesi adlı projede model olarak alınan tabakalı ortam, yöresel (lokal) ve bölgesel (global) olarak iki kısma ayrılmıştı. Buna neden olarak da hem yöresel şartların daha ayrıntılı olarak bilinmesi hem de bu şartların sonuçları daha fazla etkilemesi gösterilmişti. Bu çalışmanın amacı yöresel şartların, ki bunlara zemin şartları da diyebiliriz, daha yakından incelenmesi olacaktır.

Zemin şartlarıyla ilgili literatür araştırmasına geçmeden önce araştırmanın tümünün literatürdeki yerini saptıyacak bir takım genel gözlemler bu bölümde kısaca sunulacaktır. Burada özel olarak Haziran 1973'te Roma'da yapılan Beşinci Dünya Deprem Mühendisliği Konferansındaki en son görüşlerden söz edilecektir.

Mühendislik Sismolojisi ve Deprem Mühendisliğine büyük katkılar yapmış bulunan Muto, Housner, Rosenblueth ve Ambraseys Beşinci Dünya Deprem Mühendisliği Konferansına birer tane davetli tebliğ sundular. Bu tebliğler kongrenin havasını ve deprem mühendisliğinin gelecekteki yönünü belirtmeleri bakımından önemlidir. Bu dört tebliğin üçü (54, 56, 1) yer hareketi ve zemin karakteri ile ilgilidir. Yalnız bu bilgi bile deprem mühendisliğinde yapılması gereken araştırmanın yönü için bir fikir verebilir. Ayrıca şimdiye kadar yapılagelmiş bir takım hesapların tatmin edici sonuçlar vermediği ve zemin hareketini bilinçsiz olarak basite indirgemenin sakıncaları bu tebliğlerde belirtilmiştir.

Rosenblueth'in "Risk Analizi" adlı tebliğinde sismisite bölgesel ve

yöresel olarak ikiye ayrılmış ve yöresel sismisitenin önemi "... Yöresel sismisite deprem hareketiyle ilgili gelişigüzel oluşumun özelliklerini ortaya çıkarır. Önemi deprem kayıtlarının azlığından ileri gelmektedir." sözleriyle belirtilmiştir. Housner'in verdiği tebliğ "Deprem Yer Hareketinin Önemli Nitelikleri" adını taşımakta ve dalgaların yayıldığı ortamın jeolojik niteliklerine önem vermekteydi. Bu sorunun hem önemli hem de az çalışılmış olduğunu Housner şu sözleriyle belirtti: "... Ne yazık ki, yumuşak zeminlerde dalga yayılışı hakkında çok az bilgimiz vardır." Ambraseys ise zemin ve yapının karşılıklı etkisine değinen tebliğinde zemin hareketini belirleyen değerler arasında kurulmak istenen ampirik ilişkilerin yetersizliğini ileri sürmüştür: "... % 20 g'nin üstünde 70 vektörel kuvvetli deprem ivme kayıtlarından anlaşılan; episantr civarında şiddet, uzaklık ve ivme arasında bir bağlantı bulunmayışıdır." Ambraseys ayrıca zemin mukavemetinin ivme spektrumlarına olan etkisini ve maksimum ivmenin bu mukavemete göre değişeceğini belirtmiştir. Bu suretle deprem hareketinin maksimum ivmesinden çok toplam enerjisinin önemi vurgulanmış olmaktadır. Sonuç olarak, 1960'lardan başlayıp günümüze kadar süren tepki spektrumlarıyla ilgili çalışmalar önemlerini ve geçerliliklerini yitirmeye başlamışlar bunun yanında gelişigüzel hareketin enerji dağılımını gösteren spektral yoğunluk fonksiyonları gerçekçi bir çözüm yolu olarak benimsenmişlerdir.

1.2. Literatür Çalışması

TBTAK MAG-302 raporunda ayrıntılı olarak söz edilmiş olan gelişigüzel oluşumların mühendislik sismolojisine olan uygulamasına bu çalışmada yer ayrılmamıştır. Bu tür çalışmalarla ilgili uzun bir referans listesi (50)'de bulunabilir. Bu rapor kapsamına alınan literatür çalışması ise zemin dinamik davranışına ayrılmıştır.

1.2.1. Zemin Şartlarının Yer Hareketine Olan Etkisi

Zemin şartlarının, şiddetli depremlerin sebep olduğu tahribatı etkilediği uzun yıllardan beri bilinmektedir. Yakın zamanlarda yapılan çalışmalar (16, 69) zemin şartları ile deprem tahribatı arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu göstermiştir. Duke (16) ve Wiggins (69) çalışmalarında genellikle yumuşak zeminlerdeki hasarın sert zeminlere oranla daha fazla olduğunu, vadilere yapılmış yapıların yamaçlardaki benzer yapılardan daha çok zarar gördüğünü ortaya çıkarmışlardır. Gözlemleri aşağıdaki üç nedene bağlanabilir :

- a. Deprem dalgalarının yerin üst tabakalarındaki yayılışı sırasında uğradığı değişiklikler,
- b. Zemin taşıma gücünün aşılması, tam veya farklı tasmanlar, yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu zaman yüzeye yakın zeminde meydana gelebilen sıvılaşma olayları,
- c. Yumuşak toprakların depremden önce sebep olabileceği farklı tasmanların zemini zayıf bir durumda bırakması.

Bu literatür çalışması (a) maddesinde belirtilen mekanizmaya ayrılmıştır. Sismik bir uyarının amplifikasyonu ve bu olayın önemi, deprem kuşaklarındaki ülkelerde uzun zamandan beri gözlenmekte ve bilinmektedir. Bir yüzyılı aşan bir süre önce Şili'li bir bilim adamı olan Panlino del Barrio (8) şunları yazmıştır: "... herhangi bir şekilde başlamış olan yer hareketinin değişik bünye yapısına sahip ortamlardan geçerken değişikliğe uğraması gerekir. Böylece, zeminin sıkışıklık konumuna bağlı olarak deprem etkileri yüzeye artmış ya da azalmış şiddetle ulaşacaktır. Bu husus, Şili'de ve dışarıda meydana gelmiş bazı depremlerin gözlemlerinden elde edilen sonuçlarla uyum halindedir." (13). Yer hareketi şiddetinin, yöresel zemin şartlarıyla ilgili olarak rasyonel bir şekilde incelenmesi, 18 Nisan 1906 San Fransisco depreminden sonra Wood'un (72) çalışmasıyla başlamış sayılabilir. Hasar bölgelerinin dağılımının yöresel jeolojik yapıyla ilgisini inceleyen Wood, şehrin değişik kısımlarındaki hasarın esas olarak arazinin jeolojik karakterine bağlı olduğunu önermiştir. Wood'dan yarım yüzyıl sonra, Amerika'da Gutenberg (20) ve Japonya'da Kanai (39, 40) zayıf depremler ve mikro titreşimler sırasındaki gözlemlerinde zemin formasyonlarındaki yüzey ivmelerinin civardaki kaya kütlelerindeki yüzey ivmelerinden önemli derecede yüksek olduğunu göstermişlerdir. 1957 San Francisco depremi sırasında elde edilen kuvvetli deprem kayıtları değişik zeminlerdeki maksimum ivme genliklerinin % 100 mertebesinde değişebileceğini saptamıştır. Aynı tür gözlemler 27 Mart 1963 Osaka depremi sırasında da yapılmış (24) ve deprem odak noktasından yaklaşık olarak 130 kilometre uzaklıkta olan iki değişik noktada ölçülen maksimum yer ivmelerinin farkının % 100 mertebesinde olduğu ve bu farkın zemin şartlarının yarattığı görülmüştür. Fakat maksimum yer ivmesi deprem şiddetini tayin eden tek etken değildir. Yer hareketinin frekans muhtevası ve süresi de şiddeti belirleyen önemli etkenlerdir. Buna örnek olarak 27 Haziran 1966'da Parkfield California'da elde edilen kayıt gösterilebilir. Maksimum ivmenin % 50 g'ye ulaşmasına rağmen, frekansın yüksek ve sürenin kısa oluşu önemli bir hasar meydana gelmesini önlemiştir (6). Diğer taraftan, küçük sayılabilecek genlikli fakat üniform frekanslı ve birkaç saniye süren depremler de büyük hasara sebep olabilir. Bu tür hareketin örneği 28 Haziran 1957 Mexico City depremidir. Bu deprem sırasında, şehir merkezi dolayında kaydedilen maksimum ivme sadece % 5-10 g kadardı (47), fakat hareketin frekans özelliği ve süresi yüksek yapıların tamamen çökmesine sebep olmuştur (35). 29 Haziran 1967'de Caracas'ta, magnitudü Richter ölçeğinde 6.3 olan, episantrı şehrin 60 kilometre kuzeybatısında bulunan bir deprem vuku buldu. Yaklaşık olarak 20 saniye süren bu depremin maksimum ivmesi % 6-8 g dolayındaydı (61). Bölgedeki bütün yapılar bu depremden zarar görmüşler fakat bazı yerler diğerlerinden çok daha fazla hasara uğramışlardır. Caracas şehrinin bulunduğu vadideki zeminin reolojik özellikleri bölgeden bölgeye değişme göstermemekte, fakat taban kayasına olan derinlik değişmektedir. Yapılan gözlemsel ve teorik çalışmalar (67, 58, 57, 49, 56) yer hareketi şiddeti ve sebep olduğu hasarın da bu tür zemin şartlarına bağlı olduğunu saptamıştır. Örneğin, zemin tabakası kalınlığının 80-280 metre arasında değiştiği doğu Caracas'taki yüksek yapılar, zemin tabakasının 20-100 metre arasında değiştiği batı Caracas'taki benzer yapılardan çok daha büyük ölçüde hasara uğramışlardır. Yapılardaki hasar dağılımı, ayrıca,

özel periyodları zemin hakim periyoduna yakın yapı inşa etmenin sakıncasını bir kez daha açığa çıkarmıştır (58, 67).

Caracas depremindekine benzer gözlem ve araştırmalar daha önce Steinbrugge (62) tarafından 1957 Mexico City depremi için yapılmıştı. Steinbrugge şunları yazmıştı: "... 28 Haziran 1957 depreminde episantr Mexico City'den 170-220 mil uzaklıktaydı. Şehir merkezindeki yüksek betonarme ve çelik karkas yapılar büyük hasara uğramış, bazıları da çökmüştü. Bir ve iki katlı yapılar ise hemen hemen hiç zarar görmediler." Kawasumi ve Shima (42) 27 Mart 1964 Alaska depreminde Anchorage şehri altında bulunan kalın bir kil tabakası ve diğer zemin tabakalarının deprem hasarında önemli bir etken olabileceğini önermişlerdir. Yine bu bölgede yapılan mikro titreşim çalışmaları, zemin hakim periyodlarının tabaka kalınlığıyla yaklaşık olarak doğrusal bir şekilde arttığını göstermiştir.

Modern bir betonarme yapının sadece % 4 g'lik bir yer ivmesi altında çöküşü, Fiat Tofaş Otomobil Fabrikasında 28 Mart 1970 Gediz depremi sırasında vuku bulmuştur. Tezcan ve İpek (63) tarafından yapılan araştırma, 1968 deprem yönetmeliğine uygun olarak yapılmış olan yapının, özel periyodunun zemin periyoduyla çakışmasından dolayı yıkıldığını göstermiştir. 22 Haziran 1967 Mudurnu depremiyle ilgili olarak Yarar ve Tezcan (73) benzer bir durum gözlemişlerdir. Adapazarında da yüksek betonarme yapılar büyük hasara uğramışlardı. Adı geçen araştırmacılar buna rezonans olayının sebep olabileceğini ileri sürmüşlerdir.

Yöresel zemin şartlarının yer hareketlerine ve dolayısıyla yapılara gelen kuvvetlere etkisi deprem kuşakları içinde bulunan pek çok ülkenin deprem yönetmeliklerinde göz önüne alınmıştır. Bu yumuşak zemine oturan yapıların sismik katsayısının artırılması şeklinde gerçekleştirilmiştir. (49, 75, 76, 65). Bu tedbir birçok durumlarda önemli bir faktör olan yumuşaklığın etkisini göz önüne almaktadır. Fakat şimdiye kadar verilen örneklerden de kolayca görüleceği üzere 'yumuşak' ıktan başka etkenler de deprem hasarında önemli rol oynamaktadır. Caracas depreminde görüldüğü gibi zeminin hakim periyodu yüksek yapılara gelen kuvvetleri arttırmıştır (60). Zemin tabakaları etkisinin kendilerine özgü bir periyodla temsil edilmesi gereği Şili yönetmeliğinde kabul edilmiştir (2). Tezcan da (64, 65) yumuşaklıktan başka hakim periyodun da ek bir parametre olarak hesaba katılmasını önermiştir. Yeni hazırlanan Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar İçin Yönetmelik (76) bu hususu kapsamaktadır.

Deprem yer hareketinin frekans-genlik muhtevası, odak noktasından aynı uzaklıkta bulunan ayrı noktalarda aşağıdaki hususlara bağlı olarak değişmektedir ;

a. Geometri (taban kayası üzerindeki zemin tabakalarının kalınlık ve eğimleri),

b. Zemin reolojisi (yumuşaklık - sertlik)

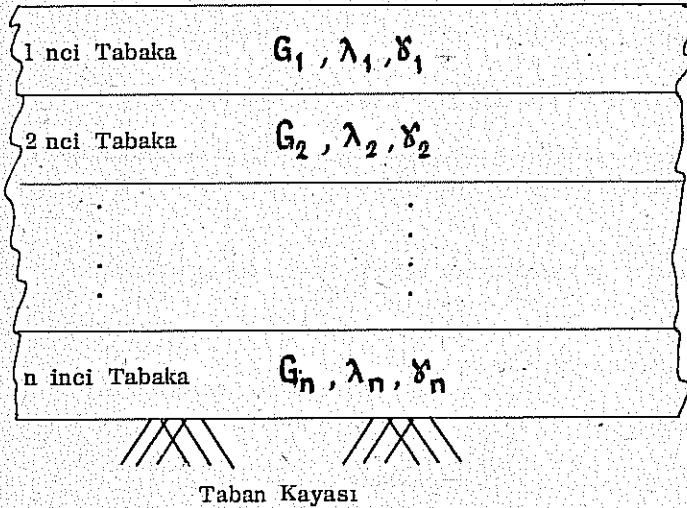
Bu etkenler, daha kesin olarak Seed ve Idriss (57) tarafından sınıflandırılmıştır. Şöyle ki, ince ve sert zeminlere oturan yerlerdeki ivme tepki spektrumunun maksimum ordinatları hakim periyodun küçük değerlerinde vuku bulmaktadır (25, 27). Diğer taraftan, kalın ve yumuşak tabakalara oturan yerlerdeki maksimum ivme tepki spektrumu ordinatları hakim periyodun yüksek değerlerine rastlamaktadır. Böylece, yapılardaki yatay kuvvetler ve ilgili hasar, yapı-zemin karşılıklı etkisine bağlı olacaktır (59, 65, 19).

1.2.2. Analitik Yöntemler

Yeryüzüne yakın yumuşak zeminlerde oluşan deprem hareketi genel olarak altta bulunan kaya formasyonlarından yukarıya gelen S dalgalarının sonucudur (37, 38, 52, 48). Bu hareketin incelenmesinde kullanılacak yöntemler de ortamdaki tabakalanmanın niteliğine bağlı olacaktır.

A. Yatay Sınırlı Ortamlar

Sınırları yatay olan tabakalı ortamlarda zemin tabakalarının sınıra paralel doğrultudaki boyutları hesaplara bir değişiklik getirmezler ve Şekil 1'de görüldüğü gibi yarı sonsuz kabul edilebilirler. Bu ortamlarda sismik yer hareketleri zemindeki kayma deformasyonlarından dolayı meydana gelmektedir.



Şekil 1. Yarı Sonsuz Zemin Formasyonları

(G_i, λ_i, δ_i i tabakasındaki malzeme parametreleridir.)

Bu şartlar altındaki zemin davranışı iki açıdan incelenebilir.

a. Zemin ortamının sürekli varsayılması.

b. Toplanmış kütle metodu.

A.1. Zemin Ortamının Sürekli Varsayılması

Bu modelde, zemini, kaya üzerine oturtulmuş yarı sonsuz elâstik ya da viskoelâstik tabakalar temsil eder. Düşey doğrultuda hareket eden S dalgaları zemin tabakasının altında uyarılar meydana getirerek tabakaların yatay titreşimlerine sebep olurlar. Bu yaklaşım önce Kanai (37, 38) tarafından önerilmiş, sonra başka araştırmacılar tarafından geliştirilmiş ve genişletilmiştir (74, 46, 22, 43, 14, 56).

Bu yaklaşımda kaya hareketinin çeşitli frekanslardaki harmoniklerden oluştuğu ve her zemin tabakasının kendi içinde elâstik (ya da visko-elâstik) ve homojen olduğu varsayılmıştır. Yüzeyle ilgili tepki, birçok harmonik dalga için elde edildiğinde, tepki amplifikasyon spektrumu bulunur. Yüzeyle ilgili hareketinin Fourier spektrumu, kaya hareketinin Fourier spektrumuyla tepki amplifikasyon spektrumunun çarpımlarından elde edilir.

Yarı sonsuz bir zemin formasyonunun herhangi bir noktası için hareket denklemi kolaylıkla yazılabilir. Fakat bu denklemlerin kapalı çözümü ancak çok basit haller için mümkün olabilmektedir. Kapalı çözümü olan basitleştirmelerde, özellikleri basit matematik ifadelerle derinliğe bağlanabilen lineer elâstik malzemeler kullanılmaktadır. Gerçekte zemin tabakaları lineer elâstik bir malzeme gibi davranmazlar ve özellikleri derinliğe bağlı olarak çok düzensiz bir şekilde değişebilir. Bu durumlarda nümerik çözümler aramak en gerçekçi bir yol olarak görünmektedir.

A.1.1. Lineer Elâstik Analiz (kapalı çözüm)

Tabanında yatay bir u_0 hareketine maruz yarı sonsuz bir tabakanın titreşimini gösteren hareket denklemi,

$$\rho(y) \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + c(y) \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial y} \left[G(y) \frac{\partial u}{\partial y} \right] = -\rho(y) \frac{d^2 u_0}{dt^2} \quad (1.1)$$

şeklinde yazılabilir. Burada,

$\rho(y)$:	y derinliğindeki kütle yoğunluğu
$G(y)$:	" kayma modülü
$c(y)$:	" sönüm katsayısı
$u(y,t)$:	" ve zamanındaki relatif yer değiştirme

Tabaka yoğunluk ve sönüm katsayıları sabit alınıp G 'nin derinliğe olan bağılılığı,

$$G = K y^p \quad (1.2)$$

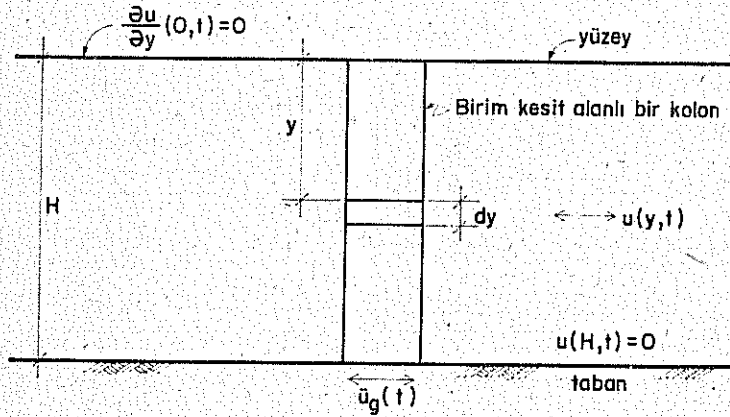
ile belirtilirse Denklem 1.1 aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + c \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial y} \left[K y^f \frac{\partial u}{\partial y} \right] = -\rho \ddot{u}_g \quad (1.3)$$

Burada K ve ρ sabittirler.

Denklemler 1.3 ikinci dereceden hiperbolik bir kısmi diferansiyel denklemdir. $\rho=0$ ve \ddot{u}_g zamanın belli bir fonksiyonuysa Denklem 1.3 lineer hiperbolik ve sabit katsayılı bir denkleme dönüşür.

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + c \frac{\partial u}{\partial t} - G \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = -\rho \ddot{u}_g \quad (1.4)$$



Şekil 2. Tabanda Yatay Bir Sismik Harekete Maruz Yarı Sonsuz Zemin Formasyonunun Kesiti ve Sınır Şartları

Denklemler 1.4'in çözümü standart matematik kitaplarında bulunabilir. Bu denklem birçok araştırmacı tarafından zemin tabakalarının sismik davranışıyla ilgili çalışmalarında kullanılmıştır (38, 41, 46, 74, 22, 43, 30).

Genel olarak kohezyonlu zeminlerde elastik modüller sabit varsayılabilirlerse de kohezyonsuz, granüler zeminlerde bu modüller derinlikle değişmektedir. Duffy ve Mindlin (15) ile Hardin ve Richart'ın (21) deneysel araştırmaları, kohezyonsuz zeminlerde bu modüllerin 0.33 - 0.50 mertebesinde bir değişmeye uğradıklarını göstermiştir.

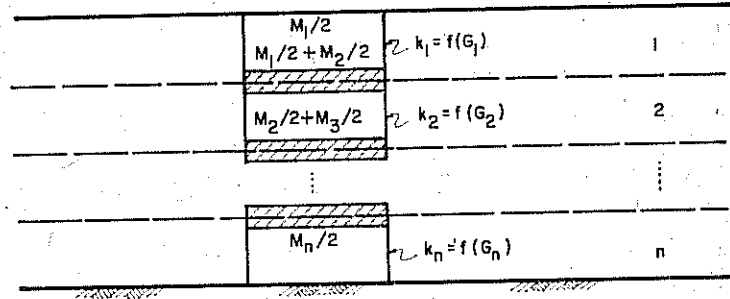
Özgür ve Gürpınar'ın (50) modeli iki boyutlu tabakalı ortamdaki elastik dalga yayılımını gelişigüzel bir oluşum olarak kabul etmiştir. Böylece, tabakalanmanın belirsiz noktaları istatistikî yöntemlerle hesaplara dahil edilmişlerdir (26).

A.2. Toplanmış Kütle Metodu

A.2.1. Lineer Analiz

Kendi içinde tabakalardan oluşmuş ve özellikleri derinlikle değişen bir zemin formasyonunu Şekil 3'te görüldüğü gibi kütle özelliklerini belli noktalarda toplayıp bu noktaları da yaylarla birbirine bağlayarak modellemek mümkündür. Yaylar malzemenin rijitlik özelliklerini yansıtmaktadır. Sönüm viskoz ve lineer olarak kabul edilmiştir.

Yaylar için kullanılacak sabitler zeminin gerilme-birim yer değiştirme eğrilerinden elde edilebilirler. Sönüm katsayıları da aynı şekilde, zemin özelliklerinden bulunabilir. Böylelikle, sistemin tabandaki bir uyarıya göstereceği davranış bilinen yapı dinamiği kurallarına göre hesaplanabilir (52, 31, 33).



Şekil 3. Tabakalı Ortamın Kütle-Yay Sistemine İndirgenmesi

Bu kurallara göre sistemin hareket denklemi Denklem 1.5'te görüldüğü gibi bir matris denklemi halini alır.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{R(t)\} \quad (1.5)$$

Burada $[M]$, $[C]$ ve $[K]$ sırasıyla kütle, sönüm ve rijitlik matrisleridir. $\{R(t)\}$ deprem yük vektörü, $\{u\}$ ise relatif yer değiştirme vektörüdür. Adı geçen matrisler $N \times N$, vektörler ise $N \times 1$ olup, N modelde kullanılan kütle sayısıdır.

Bu matris ve vektörlerin bulunmalarının ayrıntıları Idriss ve Seed (30) tarafından verilmiştir. Genel olarak zeminin malzeme ve geometri özellikleriyle tabandaki deprem hareketi biliniyorsa zemin formasyonunun bu harekete karşı davranışı aşağıdaki sıraya göre belirlenebilir.

a. Formasyon N kısıma bölünerek bu kısımlar için kütle ve yay parametreleri saptanır, böylece gerekli matrisler bulunmuş olur.

b. Kütle ve rijitlik matrisleri özel (eigen) değer problemini kurmakta kullanılır.

$$[K]\{\phi^n\} = \omega_n^2 [M]\{\phi^n\} \quad (1.6)$$

Burada ϕ^n 'inci modun i kütesine verdiği yer değiştirmeyi gösterir ve ω_n de bu modun dairesel frekansdır.

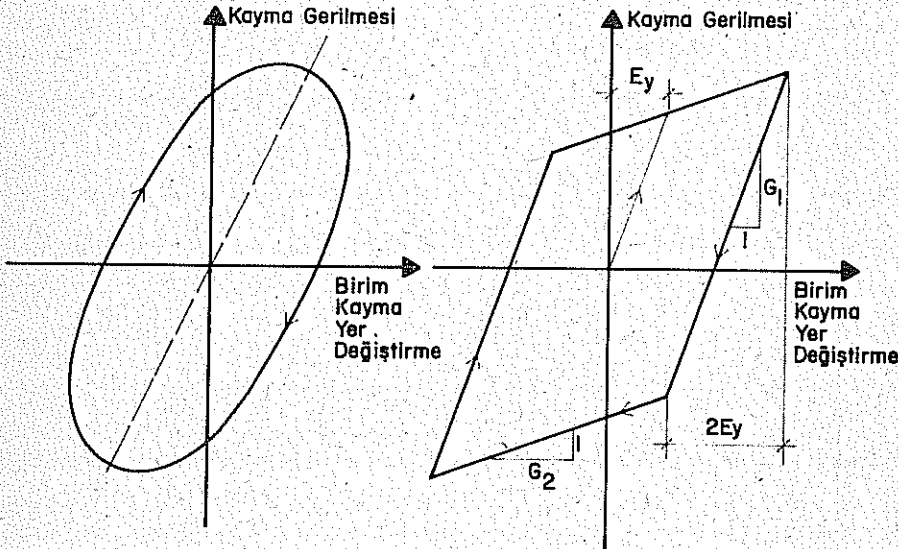
c. Özel değer probleminin çözümünden sonra modların toplanmasıyla, toplam yer değiştirmeler u_i bulunabilir,

$$u_i(t) = \sum_{n=1}^N \phi_i^n \chi_n(t) \quad (1.7)$$

Burada $\chi_n(t)$ 'inci modun genel koordinatıdır. Denklem 1.7'nin uygun türevleri, davranışı; hız, ivme ve birim yer değiştirme olarak gösterir.

A.2.2. İkili - Lineer (Bi-Linear) Analiz

Şiddetli depremlerde zeminin gerilme-birim yer değiştirme eğrileri lineer olmazlar (Şekil 4a). Bu gibi durumlarda bu eğriyi iki ayrı eğimli doğruyla idealize etmek mümkündür (Şekil 4b) (31).



Şekil 4a. Gerilme-Yer Değiştirme Eğrisi 4b. Eşdeğer İkili-Lineer Model

Şekil 4. Zemin İçin Histeretik ve Eşdeğer İkili-Lineer Gerilme-Birim Yer Değiştirme Eğrileri (31'den)

G_{1i} , G_{2i} ve E_{yi} yapılan dinamik deneyler sonucu belirlenir (51, 66). Viskoz sönüm katsayısı da yine dinamik deneylerle saptanır (51). Bütün bu parametrelerin derinliğe bağlı olarak değişmesi de çeşitli derinliklerden alınmış örnekler üzerinde yapılan deneylerde anlaşılır.

Şekil 5'te görülen sistemin hareket denklemlerinin elde edilmesi araştırmacılar tarafından gösterilmiştir (51, 52, 30). Genel çözüm aşağıdaki merhalelerden oluşur.

a. Tabakaların malzeme ve geometrik özellikleriyle sistemi etkileyen deprem hareketi saptanır.

b. Tabaka N kısma ayrılır ve her kısmın kütlesi kısmın üst düzeyinde toplanır.

c. Kelvin modelinde kullanılan k_i ve C_i^d katsayıları zeminin bilinen özellikleri olan G_i ve β_i 'den çıkarılır. Bu, Kelvin modelindeki kuvvet değişmesini tabakanın ona tekabül eden parçasındaki kuvvet değişmesine eşitlemekle mümkün olmaktadır. Tabakadaki kuvvet değişmesi ΔF_i , kayma gerilmesi değişmesiyle alanın çarpımına eşittir. Kolaylık sağlamak için alan birim değer olarak kabul edilmektedir. Böylece, Kelvin modelindeki kuvvet değişimi Denklem 1.9'la gösterilebilir.

$$\Delta F_i = k_i \Delta u_i^s + C_i^d \Delta \dot{u}_i^s \quad (1.9)$$

Burada Δu_i^s ve $\Delta \dot{u}_i^s$ Kelvin modelindeki yer değiştirme ve hız değişmelerini göstermektedir. k_{1i} ve k_{2i} değerleri Denklem 1.9'dan ve G_{1i} ile G_{2i} değerlerinin Denklem 1.8'e yerleştirilmesi sonucu bulunur. Hareket denkleminde k_{1i} ya da k_{2i} 'nin kullanılması akma yer değiştirmesi olan u_{yi} 'ye bağlıdır ve Denklem 1.10'dan elde edilir.

$$u_{yi} = 2 h_i E_{yi} \quad (1.10)$$

d. Hareket denklemleri m_i , C_i^d ve k_i değerleri kullanılarak kurulur ve örneğin Wilson ve Clough'ın (70) önerdiği yöntemle çözülebilirler. Önce tabakanın her parçası için $k_i = k_{1i}$ kabul edilir. $u_i^s = u_{yi}$ eşitliği sağlanıncaya kadar k_{1i} kullanılır. Bu noktadan itibaren $k_i = k_{2i}$ alınır. F_i yön değiştirdiğinde, yer değiştirme $2u_{yi}$ 'ye erişinceye kadar tekrar k_{1i} kullanılır. Bu noktadan sonra F_i 'nin ikinci kez yön değiştirmesine kadar $k_i = k_{2i}$ kabul edilir. Aynı metod bundan sonraki yön değiştirmeler için de geçerlidir.

e. Hareket denklemlerinin çözümüyle ivme, hız, yer değiştirme, birim yer değiştirme ve gerilme gibi tepki değerleri tabakanın her parçası için bulunur.

A.2.3. Eşdeğer Lineer Analiz

Bir dereceli sistemler için lineer olmıyan davranışların bulunmasında eşdeğer lineer analiz önemli bir rol oynar. Jacobsen (35, 36) ve Hudson (29) lineer olmıyan bir dereceli sistemlerin davranışını eşdeğer bir sönüm katsayısıyla saptamışlardır. Kryloff (45) ve Bogoliuboff (3) hem viskoz sönüm oranı hem de yay katsayısı için bir eşdeğerleme yolu önermişler, ve bu teknik Caughey (4) tarafından yükün gelişigüzel olması halini de kapsıyacak şekilde geliştirilmiştir.

Aynı şekilde bir doğrusallaştırma tekniği, zemin tabakalarının sismik davranışı için de düşünülebilir (31). Bunun için eşdeğer bir G_{eq} ve λ_{eq} bulunması gereklidir. Şekil 4'de görüldüğü gibi G_{eq} lineer olmıyan eğrinin 'kord' modülü olarak alınabilir. Bu değer eğrinin iki ucunu birleştiren doğrunun eğimidir. Değişik gerilme ve birim yer değiştirme genliklerinin bulunacağı durumlarda ortalama bir G_{eq} değeri kullanılması uygundur. λ_{eq} 'de aynı şekilde elde edilebilir.

A.2.4. Viskoelastik Analiz

Zeminin bazı davranışlarını açıklamada başarıyla kullanılan viskoelastik ortamlardaki dalga yayılışı problemi, genel hal için son derece karmaşık kısmi integro-diferansiyel denklemlerin çözümü şeklindedir. Fakat Voigt ve Maxwell modelleri için oldukça basit ve fiziksel açıdan anlamlı çözümler de mümkündür (44, 17). Bu modellerin lineer viskoelastik malzemeleri bütün frekanslar için temsil etmediğini belirtmek gerekir. Hillier (23) ve Kolsty (44) bu nedenle standart lineer malzeme modellerini önermişlerdir.

B. Düzensiz ve Eğimli Sınırları Olan Zemin Formasyonları

Zemin formasyonlarının sınırlarının düzensiz ve eğimli olduğu durumlarda tabakalar yarı sonsuz olarak kabul edilemezler ve bunun için de iki boyutlu modellere başvurmak zorunluluğu ortaya çıkar. Bu modellerden de kütle-yay sisteminin iki boyutlu halinin çözümü sonlu elemanlar tekniği ile elde edilebilir. Sonlu elemanlar tekniğinin zemin dinamiği problemlerine ilk uygulaması Clough ve Chopra (7) tarafından yapılmıştır.

Bu metotta, sürekli ortam değişik büyüklükte ve şekilde sonlu elemanlara ayrılmakta ve bu elemanlar da birbirlerine sonlu sayıda düğüm noktalarında bağlanmaktadır. Böylelikle malzeme ve geometrinin uzaya olan bağlılığı problem kapsamına alınabilmektedir.

Her eleman için uygun bir yer değiştirme dağılımı kabulüyle sistemin davranışı tayin edilebilir. Sistemin hareket denklemleri de adi diferansiyel denklemler olarak gösterilirler. Bu denklemlerin çözümü titreşim modlarıyla bu modlara tekabül eden frekansların bulunmasını sağlar. Ayrıca, ve özellikle lineer olmıyan sistemler için bu denklemler nümerik olarak çözümlenerek tepkiler dolaysız bir şekilde bulunabilir (71).

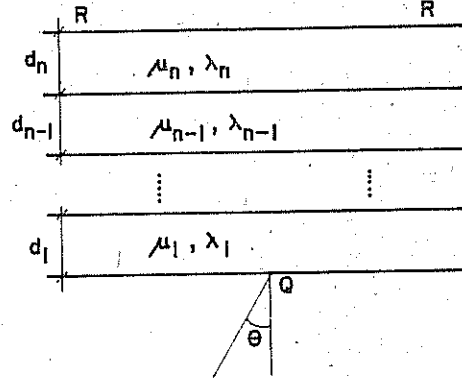
Sonlu elemanlar metodunun uygulanmasında da yine zeminin lineer olmiyan gerilme-birim yer değiştirme ve sönüm karakterlerinin belirlenmesi gereklidir. Bu, ya çok parçalı lineer bir kabulle, ya da birim yer değiştirmeye bağlı malzeme özellikleri tanımlayarak yapılabilir.

Sonlu elemanlar metodu, eğimli kaya yüzeylerinin altında bulunan zemin türasyonlarının incelenmesinde kullanılmış (34) lineer viskoelastik malzemeler (7); lineer olmiyan malzemeler (11), ve eşdeğer lineer malzemeler (34) için çözümler elde edilmiştir.

Ayrıca sabit veya hareket eden tabanlarda yatay ve düşey hareketler incelenmiştir (10, 12).

2- METOD VE MATERYAL

Kullanılan metod TBTAK MAG-302 raporunda, adı geçen raporun yazarları tarafından geliştirilmiştir. Burada, bu metodun ayrıntılarına inilmeden kısa bir özeti sunulmakla yetinilecektir. Bu metod, tabakaları ho - mojen ve izotrop olan elastik bir ortamın beyaz gürültü (white noise) nite - liğini taşıyan gelişigüzel bir etkiye karşı davranışını belirler.



Şekil 6. Zemin Tabakalanması

Belirli bir zemin formasyonunun (şekil 6) Q noktasına düşeyden θ açısı ya pan bir P ya da S dalgası intikal etsin, $R-R$ yüzeyinde bu dalğanın yaratacağı hareket transfer matris metodu ile, etkiyen dalğanın dinamik özellikleri ve tabakaların parametreleri cinsinden belirlenabilir. Yani, tabakalı ve elâstik kabul edilen bu ortamın en alt ve en üst yüzeyle - rindeki hız ve gerilme değerleri birbirine

$$\begin{pmatrix} v_1 \\ v_3 \\ t_{33} \\ \frac{t_{13}}{2\mu} \end{pmatrix}^{(n)} = \begin{bmatrix} & \\ & \\ & \\ & \end{bmatrix} A_{ij} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_3 \\ t_{33} \\ \frac{t_{13}}{2\mu} \end{pmatrix}^{(1)} \quad (2.1)$$

şeklinde bağlanabilir (50).

$v_1^{(n)}$ ve $v_3^{(n)}$ hızlarının bilindiği varsayıldığında ve $R-R$ yüzeyindeki sınır şartları çözüme empoze edildiğinde A_{ij} matrisi 2×2 'ye indirilebilir (50).

$$\begin{pmatrix} v_1^{(n)} \\ v_3^{(n)} \end{pmatrix} = \underline{A}' \begin{pmatrix} v_1^{(1)} \\ v_3^{(1)} \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Q noktasına etkileyen hareketin gelişigüzel olması kabulü ise \underline{A}' matrisinden frekans tepki matrisinin bulunmasını gerektirmektedir. Frekans tepki matrisi \underline{H} ile \underline{A}' matrisi arasındaki ilişki (50)'de aşağıdaki şekilde gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} |H_{11}(i\omega)|^2 &= \underline{A}'_{11}{}^2 \\ |H_{12}(i\omega)|^2 &= \underline{A}'_{12}{}^2 \\ |H_{21}(i\omega)|^2 &= \underline{A}'_{21}{}^2 \\ |H_{22}(i\omega)|^2 &= \underline{A}'_{22}{}^2 \end{aligned} \quad (2.3)$$

Q noktasındaki hareketin beyaz gürültü (white noise) niteliği taşıdığı göz önüne alınırsa $R-R$ yüzeyindeki hareketin spektral yoğunluk matrisi

$$\underline{S}^{(n)} = |\underline{H}(i\omega)|^2 \underline{S}_0 \quad (2.4)$$

şeklinde bulunabilir. Burada \underline{S}_0 iki bileşkeni de (P ve S) sabit olan bir vektördür.

\underline{H} matrisinin elemanları \underline{A} matrisi elemanları cinsinden (50)'de gösterilmiştir.

3- BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Genel

Bulgular tablo ve şekiller halinde Ek I'de verilmiştir. Şekil 1.1. ve 1.2 de görüleceği gibi çalışma iki tip zemin üzerinde yoğunlaştırılmıştır ; sert tip zemin ve alüvyon zemin. Bu zeminin altında bulunan taban kaya - sından zemine spektral yoğunluk fonksiyonu birim değer olan bir ivmenin intikal ettiği kabul edilmiştir. Alüvyon tip zemin için lineer olmayan davranış homojen olmayan bir tabakalanmayla temsil edilmeye çalışılmıştır. Şekil 1.2'de görülen zemin parametreleri aslında birim yer değiştirme ϵ 'nin değerlerine göre kullanılması zorunlu olan değerlerdir. Bu lineer olmayan davranış eldeki modele uygulayabilmek için ϵ 'nin en küçük değerleri için geçerli olan zemin (Lamé) parametreleri $\lambda = 2400$ kg/cm², $\mu = 100$ kg/cm² en altta ve ϵ 'nin en büyük değerlerine tekabül eden parametreler $\lambda = 480$ kg/cm², $\mu = 20$ kg/cm² ise en üst tabakanın değerleri olarak kullanılmışlardır.

Araştırmada elde edilen bulguların değerlendirilmesi ve tartışılması Ek I'de verilen tablo ve şekillere atıflarla yapılacaktır.

3.2. Bulgular ve Gözlemler

Şekil 1.3'ten Şekil 1.11'e kadar olan dokuz şekilde Zemin Tip I için hız spektral yoğunluk fonksiyonlarının geliş açısı θ ile değişimleri gösterilmiştir. Bu dokuz şekille ilgili olarak aşağıdaki gözlemler yapılabilir.

a. Küçük frekanslar için ($\omega \leq 10$ rad/san) P dalgası spektral yoğunluk fonksiyonundaki θ 'ya bağlı değişiklik ihmal edilebilir bir mertebede olmasına rağmen S dalgası spektral yoğunluk fonksiyonu değişik açılar için % 10 dolayında bir değişiklik göstermektedir.

b. Büyük frekanslar için ($\omega \geq 50$ rad/san) ise durum terstir. Bu frekanslarda P dalgası spektral yoğunluk fonksiyonundaki θ 'ya bağlı değişiklik S dalgasına oranla çok daha fazladır ve % 1000'e ulaşmaktadır.

(Şekil 1.10).

c. $\theta = 60^\circ$ bu zemin tipi ve parametreleri için önemli bir açıdır. Maksimum ve minimum spektral değerler bu açıya isabet etmektedir.

d. Bu tip zeminlerde, bütün açı ve frekanslar için **P** dalgası **S** dalgasına oranla daha kritik görünmektedir. Spektral yoğunluk fonksiyonları arasındaki fark hem θ 'ya hem de ω 'ya büyük ölçüde bağlıdır. Küçük frekanslarda ($\omega \leq 10$ rad/san) fark % 10'a yüksek frekanslarda ise ($\omega \geq 50$ rad/san) % 300'e kadar ulaşabilmektedir.

Şekil 1.12'den 1.16'ya kadar olan beş şekilden de ilginç gözlemler yapılabilir. Bu beş şekil beş değişik geliş açısı ve küçük frekanslar için çizilmiş ivme spektral yoğunluk fonksiyonlarıdır. Bu şekiller de Zemin Tip I ile ilgilidir. Şekil 1.12'den anlaşılacağı gibi $\theta = 15^\circ$ ve $\omega \leq 50$ rad/san için **P** ve **S** ivme spektral yoğunluk fonksiyonunun birim değerden sapmaları ihmal edilebilecek ölçüde azdır. Yani bu tip bir zemin ve küçük bir dalga geliş açısı için taban kayasındaki gelişigüzel ivmenin beyaz gürültü (white noise) olduğu kabul edildiğinde, belli bir frekans bandı için bu özellik yüzey hareketine de intikal etmektedir. Başka bir deyişle, küçük frekanslar için bu zemin tipi, gelen ivmeyi hiçbir değişikliğe uğratmadan yüzeye iletmektedir. Zeminin bu özelliği, θ 'nın büyük değerleri için daha dar frekans bantlarında mümkün olmaktadır. Nitekim, $\theta = 75^\circ$ için ancak $\omega \leq 20$ rad/san için **P** ivme spektral yoğunluğu bir beyaz gürültü özelliği taşımaktadır. **S** dalgası ivme spektral yoğunluk fonksiyonu içinse $\theta = 75^\circ$ de bu sınır $\omega \leq 30$ rad/san'dır.

Şekil 1.17-1.20'de yine Zemin Tip I için hız spektral yoğunluk fonksiyonları gösterilmiştir. Burada göze çarpan en belirgin özellik önce de değinildiği gibi **P** dalgası hız spektral yoğunluk fonksiyonlarının bütün açı ve frekanslar için **S** dalgasına oranla daha kritik olduğudur.

Bundan sonraki şekiller (Şekil 1.21-1.29) Zemin Tip II yani yumuşak alüvyonlu zeminle ilgilidir. Bu şekillerden ilk beşi (Şekil 1.21-1.25) değişik tabaka kalınlıkları için elde edilen hız spektral yoğunluk fonksiyonlarıdır. Bu şekillerde, tabaka kalınlığını gösteren d , yalnız bir tabakanın kalınlığı olup tüm zemin tabakasının kalınlığı $3d$ 'ye eşittir. Bu şekillerde her men göze çarpan iki özellik vardır. Bunlardan birincisi spektrumların maksimum noktalarına tekabül eden frekansların, tabaka kalınlıklarının artmasıyla azalmalarıdır. İkincisi ise kritik olan dalgalanın yalnız **P** ya da yalnız **S** olmayışıdır. **P** dalgasına ait spektral yoğunluk fonksiyonu bazı frekanslar için daha büyük olup diğer frekanslar için bunun tersi varittir. Ayrıca bu bölgelerin (**P** ve **S** dalgalarının tesir bölgelerinin) de tabaka kalınlığıyla değiştiği bu şekillerden anlaşılabilir.

Bu iki gözlemin sonucu olarak hakim periyodlar ile **P** ve **S** dalgalarının tesir bölgelerinin sınırına tekabül eden periyodun tabaka kalınlığıyla nasıl değiştiği incelenmiştir. Burada frekans yerine periyod kullanılması önceden yapılan araştırmaların sonuçlarıyla karşılaştırma yapabilmek ve

pratik uygulamaya bir adım daha yaklaşılabilmek için tercih edilmiştir. Bu incelemenin sonuçları da Şekil I.26-I.29'da gösterilmiştir.

Şekil I.26'da 1 metreden 70 metreye kadar değişen tabaka kalınlıkları için hakim periyotlar gösterilmiş ve bu noktalardan ve (0,0) noktasından geçen bir doğrunun denklemi en küçük kareler metoduyla bulunmuştur (Ek III). Bu denklem $T = \frac{d}{19.11}$ şeklindedir.

Şekil I.27'de ise özellikle kalın alüvyon tabakaları ele alınmış ($50m < d < 100m$) ve daha küçük aralıklarla bulunan spektral değerlerden hakim periyotlar bulunmuştur. Yine en küçük kareler metodu kullanılarak ve doğrudan (0,0) noktasından geçmesi de sağlanarak $T = \frac{d}{8.28}$ denklemi bulunmuştur. Şekil I.28'de aynı tabakalar için ikinci mod değerleri bulunmuş ve bu moda tekabül eden periyot değerleri $70m < d < 100m$ için elde edilmiştir. Aynı şekilde, en küçük kareler metoduyla bu doğrunun da denklemi $T = \frac{d}{11.15}$ olarak saptanmıştır.

Bundan sonra P ve S dalgalarının spektral yoğunluk fonksiyonlarının tesir bölgelerinin kesiştikleri periyotun tabaka kalınlığına göre değişmesi araştırılmış ve bununla ilgili bulgular Şekil I.29'da gösterilmiştir. En küçük kareler metoduyla bu noktalardan ve (0,0)'dan bir doğru geçirilmiş (Ek III) ve bu doğrunun denkleminin $T = \frac{d}{6.76}$ olduğu saptanmıştır. Bu denkleme göre $T > \frac{d}{6.76}$ bölgesinde P, $T < \frac{d}{6.76}$ bölgesinde ise S dalgası daha kritik olacaktır.

3.3. Tartışma ve Karşılaştırma

Yukarıda kısaca belirtilen bulgu ve gözlemlerin tartışması, bulgularla ilgili bazı genellemeler ve kabil olan durumlarda önceden yapılmış araştırmalarla bu bulguların karşılaştırılması bu bölümde sunulacaktır. Bu tartışma ve karşılaştırmaları aşağıdaki başlıklar altında toplamak mümkündür.

a. Geliş Açısının Spektral Yoğunluk Fonksiyonlarına Etkisi

Sert zeminlerde spektral yoğunluk fonksiyonunun geliş açısına kesinlikle bir bağılılığı vardır. Fakat bu bağılılık mühendislik sismolojisinde kullanılan frekans bandı içinde (genellikle küçük frekanslar) ancak % 10 mertebesinde bir farka sebep olmaktadır. Ayrıca şekillerden de kolayca görülebileceği gibi spektral değerlerin θ ile monoton olarak azalması ya da çoğalması söz konusu değildir. Bu yüzden sert zeminlerde geliş açısının spektral yoğunluk fonksiyonuna etkisi hakkında bir genelleme yapmak sakıncalıdır.

Yumuşak zeminlerde ise θ 'nin önemi çok azdır, çünkü taban kayasından yumuşak zemine geçerken meydana gelen kırılmadan dolayı, taban kayasından itibaren ikinci tabakaya P ve S dalgaları düşeye çok yakın bir doğrultuda ($\theta \sim 0$) intikal ederler. Bu durumda, yani zemin dalga hızlarının taban kayası dalga hızlarından çok düşük olduğu durumlarda θ ihmal edilebilecek bir parametredir.

Bundan önce yapılan mühendislik sismolojisi ve deprem mühendisliği çalışmalarında Θ 'nın önemi araştırılmamıştır. Çünkü sürekli ortam modellerinde bile yalnız S dalgası ihtiva eden bir boyutlu ortamlar kullanılmıştır.

b. Sert Zeminler İçin İvme Spektral Yoğunluk Fonksiyonları

Bu tip zeminlerde oluşan deprem hareketini beyaz gürültü (white noise) ile temsil edilebilecek bir gelişigüzel oluşumla modellemek fikri ilk olarak 1960'ta Bycroft (Ek II, 9) tarafından ortaya atılmıştı. Bycroft'un analog bilgisayarla yaptığı ampirik araştırma sert bir zeminde oluşmuş olan 1940 El Centro depreminin 0-30 rad/san frekans bandını kapsıyan sabit bir spektral yoğunluk fonksiyonuyla modellenebileceğini göstermişti. Hesaplara getirdiği kolaylık bakımından varsayımları pek de göz önünde tutulmadan bir çok araştırmada kullanılan bu bulgu Newmark ve Rosenblueth'in Fundamentals of Earthquake Engineering (Deprem Mühendisliğinin Esasları) adlı 1971'de yayınlanan kitaplarında da önerildi. Ne var ki yalnız El Centro depremi için yapılan ampirik çalışmanın bu sonucu bugüne kadar teorik bir temele dayanmamaktaydı. Bu raporda, bu araştırmanın sonuçları teorik olarak doğrulanmış ve aynı zamanda yapılan idealleştirmenin geliş açısı Θ 'ya olan bağılılığı da ortaya çıkmıştır.

c. P ve S Dalgalarının Kritik Olduğu Bölgeler

Sert tip zeminler için ve mühendislik sismolojisinde kullanılan frekanslarda P dalgası spektral yoğunluk fonksiyonlarının S dalgası spektral yoğunluk fonksiyonlarından daha kritik olduğu ortaya çıkmıştır. Fakat iki fonksiyon arasındaki fark Θ 'ya bağlıdır ve en fazla % 10 mertebesindedir.

Yumuşak tip zeminlerde ise durum değişiktir. $T > \frac{d}{6.76}$ şartının sağlandığı bölgelerde P , diğerinde ise S daha kritiktir. Yalnız şunu da belirtmek gereklidir ki P 'nin kritik olduğu bölge maksimum değerler (dolayısıyla hakim periyodlar) ihtiva etmemektedir.

Zemin Tip II için (Şekil I.2) $T = \frac{d}{6.76}$ denklemini kayma dalgası hızlarının ortalaması alınıp bütün zemin tabakasının kalınlığı göz önüne alınarak ($H = 3d$)

$$T = 2.48 \frac{H}{\bar{v}_2} \quad (3.1)$$

şeklini alır. Aynı hesap P dalgası hızlarıyla yapıldığında,

$$T = 12.7 \frac{H}{\bar{v}_1} \quad (3.2)$$

ortaya çıkar. Aynı denklemler (3.1 ve 3.2) en üst tabakanın özellikleri göz önünde bulundurularak ve S ve P dalga hızları cinsinden

$$T = 4.8 \frac{d}{v_2} \quad (v_2 : \text{en üst tabakaya ait}) \quad (3.3)$$

ve

$$T = 24.5 \frac{d}{v_1} \quad (v_1 : \text{en üst tabakaya ait}) \quad (3.4)$$

şeklinde yazılabilirler. Burada d ve H metre, T ise saniye birimlerini haizdir.

d. Yumuşak Zeminlerde Tabaka Kalınlıklarına Göre Hakim Peryodlar

Bu konuyla ilgili üç doğrunun denklemleri regresyon analiziyle elde edilmiştir ve bu denklemler $T = \frac{d}{C}$ biçimindedir. C , zemin tabakasının tüm kalınlığına ve dalga yayılmasının moduna göre bir değişme göstermektedir. Şunu da hemen belirtmek gerekir ki üç doğru da zorlanmadan $(0,0)$ noktasından geçmektedir. Şekil I.26'da gösterilen ve $1m < d < 70m$ için $C = 19.11$ dir. Eğimi en az olan doğru da budur. Kayma hızlarının ortalaması ($v_2 = 50.4 \text{ m/san.}$) cinsinden

$$T = 0.88 \frac{H}{v_2} \quad (H = 3d) \quad (3.5)$$

P dalgası hızlarının ortalaması ($v_1 = 257 \text{ m/san.}$) cinsinden ise

$$T = 4.5 \frac{H}{v_1} \quad (3.6)$$

yazılabilir. Yalnız en üst tabakanın parametreleri kullanıldığında ise Denklem (3.5) ve (3.6)'ya paralel olarak,

$$T = 1.7 \frac{d}{v_2} \quad (v_2 : \text{en üst tabakaya ait}) \quad (3.7)$$

ve

$$T = 0.7 \frac{d}{v_1} \quad (v_1 : \text{en üst tabakaya ait}) \quad (3.8)$$

denklemleri ortaya çıkar.

Görüleceği üzere literatürde bir boyutlu bir tabaka için geliştirilmiş olan ve bir çok deprem yönetmeliklerine geçmiş bulunan $T = 4 \frac{H}{v_2}$ formülünü gözü kapalı kullanmak çok sakıncalı sonuçlar doğurabilir.

Şekil I.27'de görülen ve kalın tabakalar için bulunan denklem yukarıdaki şekilde incelenirse, şu sonuçlar elde edilir.

$$T = 2.03 \frac{H}{V_2} \quad (3.9)$$

$$T = 10.3 \frac{H}{V_1} \quad (3.10)$$

$$T = 3.9 \frac{d}{V_2} \quad (v_2: \text{en üst tabakaya ait}) \quad (3.11)$$

$$T = 20.0 \frac{d}{V_1} \quad (v_1: \text{en üst tabakaya ait}) \quad (3.12)$$

Denklemler 3.11 literatürde zemin hakim periyodunu bulmakta kullanılan $T = 4 \frac{H}{V_2}$ formülüne en çok yaklaşımdır. Şu halde, bu formülün ancak 50 metreyi geçen yumuşak zeminler için kullanılması gereği de ortaya çıkmıştır. Şekil I.27, kalın alüvyon tabakalarının birinci moduna tekabül eden hakim periyodları göstermekteydi. Şekil I.28 ise bu tabakalar için ikinci mod hakim periyodlarını göstermektedir. Aynı şekilde, bu mod için de yukarıdaki gibi dört denklem yazılabilir.

$$T = 1.5 \frac{H}{V_2} \quad (3.13)$$

$$T = 7.7 \frac{H}{V_1} \quad (3.14)$$

$$T = 2.9 \frac{d}{V_2} \quad (v_2: \text{en üst tabakaya ait}) \quad (3.15)$$

$$T = 14.8 \frac{d}{V_1} \quad (v_1: \text{en üst tabakaya ait}) \quad (3.16)$$

Bu zemin tipi için, önceden tartışması yapılmış olan hız spektral yoğunluk fonksiyonları incelendiğinde ikinci ve hatta üçüncü modların maksimum değerlerinin birinci modunkine çok yakın oldukları görülebilir. Şu halde, zemin dinamiği problemlerinde, en azından ikinci moda ait olan hakim periyodun da araştırılması gerekmektedir.

e. Toplanmış Kütle Metodu ile Karşılaştırma

Ek 2'de verilen somut örnekte bu karşılaştırma ve ilgili tartışma yapılmıştır.

4- SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Metodun Pratik Kullanılması

Bu metodun pratikte nasıl kullanıldığını göstermek için sismik bir problemin çözümünün ana hatları belirtilecek ve metodun bu çözümdeki yeri de böylelikle ortaya çıkmış olacaktır. Ek 2'de verilen örnekte aşağıdaki çözüm yolu izlenmiştir.

a. Makrozon probleminin çözümü -İlk olarak söz konusu mahalli içine alan büyük bir bölge (örneğin söz konusu mahalli merkez olarak çizilmiş 150-200 km. yarıçapındaki dairesel bir alan) ele alınır. Bu bölgenin sismisitesi deprem bölgelerini gösteren haritalardan, jeolojik verilerden ve deprem kataloglarından araştırılır. Bölgenin deprem episantrı olma bakımından en kritik noktaları seçilir. Yapılacak yapının yaklaşık periyodu da göz önünde bulundurularak bu noktaların da en gayri müsait olanı bulunur ve böylece magnitüd ve episantr uzaklığı bakımından bir "proje depremi" seçilmiş olur. Bu magnitüd ve episantr uzaklığı aşağıdaki hesaplara esas olarak alınır.

b. Mahaldeki taban kayasına gelen hareketin spektral özellikleri -Bu konuyla ilgili olarak özellikle Seed ve Kanai'nin (Ek 2; 7, 8) çalışmaları mevcuttur. Seed'in çalışmaları taban kayasına gelen hareketin hakim periyodunun magnitüd ve episantr uzaklığı cinsinden göstermektedir. Önce bu metodla taban kayasına gelen hareketin hakim periyodu bulunur. Sonra Kanai'nin önerdiği metodla; bulunan ve hakim periyod, episantr uzaklığı, magnitüd, taban kayası ve onun üstündeki ilk zemin tabakasının elastik özellikleri cinsinden taban kayasındaki hareketin spektrumu bulunur.

"Proje depremiyle" ilgili episantrın yapı mahalline yakın (5-10 km) olduğu ve aradaki jeolojik formasyonun tanımlanabildiği durumlarda TBTA MAG-302 Deprem İvme Spektrumunun Modellendirilmesi (50) adlı raporun bulgularıyla da taban kayasındaki hareketin spektral yoğunluk fonksiyonu bulunabilir.

c. Yapının tabanına gelen hareketin özellikleri -Burada yapılacak ilk iş zemin tabakalanmasını saptamaktır. Bunun için yapılacak sondajların değerlendirilmesi gereklidir. Bu değerlendirmenin sonucu olarak her tabaka için λ , μ , v_1 , v_2 ve d değerleri hesaplanır. Ayrıca proje depreminin episantr uzaklığı ve muhtemel odak derinliğinden basit bir trigonometrik hesapla geliş açısı θ da bulunabilir. Bu veriler, bu raporda önerilmiş olan metod için yeterlidir ve böylelikle raporda belirtilen yollarla yapının tabanına gelen hareketin hız ya da ivme spektrumları hesaplanır.

d. (c)'de bulunan spektral yoğunluk fonksiyonları iki ayrı biçimde kullanılabilir.

(1). Eğer üst yapının projelendirilmesinde gelişigüzel titreşim metodları kullanılacaksa, (c)'de bulunan spektral yoğunluk fonksiyonları hiçbir değişmeye tabi tutulmadan bu hesaplarda kullanılırlar. Gelişigüzel titreşim hesapları sonucunda yapının belli bir güvenilirlikte projelendirilmesi sağlanabilir. Bu metodla, çok dereceli, elasto-plastik ve özellikleri zamana bağlı sistemler projelendirilebilir. Yapının güvenilirliğinin bulunması ise sismik risk değerlendirilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle ve hesaplara getireceği kolaylık açısından, gelişigüzel titreşim metodları bu tip projelendirmelerde tercih edilmelidir.

(2). Eğer (1)'de belirtilen yol herhangi bir nedenle uygulanamıyorsa (c)'de bulunan spektral yoğunluk fonksiyonlarından "proje spektrumları" bulunur. Bu spektrumu bulmak için önce teorik olarak bulunan spektral yoğunluk fonksiyonunun altındaki alan, önceden herhangi bir yerde ve zamanda elde edilmiş bir deprem kaydının spektral yoğunluk fonksiyonunun altındaki alanla karşılaştırılır. Bu karşılaştırma sonucu hareketlerin arasında enerji (hız spektral yoğunluk fonksiyonlarından) ya da ivme muhtevası bakımından bir korelasyon kurulur. Bu değerler ortalama değerleri verirler ve proje spektrumuna temel teşkil ederler. Muhtemel maksimum değerleri bulmak içinse "sınır aşma" metodu kullanılır. Bu metodla spektral yoğunluk fonksiyonunun altındaki alan kullanılarak hareketin keyfi bir sınırı aşma olasılığı bulunur. Sınır aşma metodu, gelişigüzel oluşumlar ve titreşim teorisinin standart bir metodu olduğundan, bu konuyla ilgili bütün kitaplardan ve özellikle (50)'de belirtilen referanslardan bulunabilir.

Muhtemel maksimum ivme değerleri periyodun fonksiyonu olarak belirlendikten sonra proje spektrumu tamamlanmış olur. Bu spektrum kullanılarak her periyoda tekabül eden eşdeğer statik kuvvetler hesaplanabilir.

4.2. Metodun Mikro-bölgelendirme ve Sismik Risk Çalışmalarında Kullanılması

T.C. İmar ve İskân Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü'nün 1973'te çıkarmış olduğu Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası Türkiye'yi dört deprem bölgesi ve bir de tehlikesiz bölge olmak üzere beş bölgeye ayırmıştır. Yine aynı enstitünün deprem bölgelerinin gerekli görülen yerlerinde yapmakta olduğu mikro-bölgelendirme çalışmaları da bulunmaktadır. Bu çalışmalar

çoğunlukla aletseldir ve mikro-titreşim kayıtlarına dayanmaktadır. Bu kayıtların ise hem değerlendirilmesi güçtür, hem de sonuçları istenildiği kadar güvenilir değildir. Zemin tabakalanmasının biraz olsun bilindiği yerlerde bu raporda önerilen metodla mikro-bölgelendirme kolaylıkla yapılabilir. Buna bağlı olarak ve spektral yoğunluk fonksiyonlarının sınır aşma metodu da kullanılmalarıyla aynı bölgelerde sismik risk etüdüleri de sağlanmış olur.

Deprem Araştırma Enstitüsünün çalışmalarından ayrı olarak, mikro-bölgelendirme ve sismik risk etüdüleri deprem bölgelerinde (alan olarak Türkiye'nin % 90 kadarı) yapılacak endüstri ve enerji kuruluşları için son derece önemlidir. Bu gibi kuruluşları yaptıran bakanlıkların (özellikle Bayındırlık Bakanlığı ve Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı) bu konunun üzerine dikkatle eğilmeleri gerekmektedir.

4.3. Zemin Hakim Peryoduyla İlgili Çalışmaların "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"e Yansıtılması

Bu raporun sonuçları maalesef ön çalışmaları İstanbul Teknik Üniversitesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi ve Boğaziçi Üniversitesi tarafından yapılan ve tartışılması tamamlanmış olan yönetmeliğe yetişememiştir. Yönetmeliğin bundan sonraki revizyonunda özellikle zemin hakim periyodu ve ikinci modun önemiyle ilgili olan bölümün yönetmeliğe yansıtılması yararlı olacaktır.

ÖZET

Tabakalı elastik bir ortamda gelişigüzel dalga yayılması problemi önceden TBTAK MAG-302 Deprem İvme Spektrumunun Modellendirilmesi adlı raporda incelenmişti. Bu çalışmada, adı geçen raporda elde edilmiş olan değişik tabakalardaki spektral yoğunluk fonksiyonlarının ilişkisi kullanılarak zemin dinamiği problemleri ve özellikle zeminin deprem hareketine olan etkisi araştırılmıştır. Araştırma iki ayrı tip zemin (sert ve yumuşak) üzerinde yoğunlaştırılmış ve taban kayasında varsayılan beyaz gürültü'nün (white noise) yüzeyde oluşturduğu hareketin hız ve ivme cinsinden spektral yoğunluk fonksiyonları tablo ve şekillerle gösterilmiştir. Teorinin bu konuda bir kısıtlama yapmamış olmasına rağmen ilki tip zeminin de üç tabakadan oluştuğu kabul edilmiştir. Sert zeminlerde spektral yoğunluk fonksiyonları özellikle geliş açısı θ 'ya bağlı olarak incelenmiş ve bu parametrenin ancak bazı durumlarda önem kazandığı anlaşılmıştır. Diğer taraftan bu tip zemin için ivme spektral yoğunluk fonksiyonlarının belirli bir frekansa kadar sabit kaldığı ve bu nedenle de beyaz gürültü (white noise) kabulünün böyle zeminlerde oluşan hareketler için geçerli olduğu ortaya çıkmıştır. Yumuşak (alüvyon) zeminler için ise her tabaka kalınlığı bir metreden yüz metre kadar değiştirilerek, bu etkenin önemi araştırılmış, ayrıca her kalınlık için birinci ve ikinci modun hakim periyodları bulunarak $T-H$ eğrileri regresyon analiziyle çizilmiştir. Bu eğrilerin denklemleri $T = \frac{4H}{V_s}$ denklemiyle karşılaştırılmış, iki boyutlu ve tabakalı ortamlarda bu denklemin ne şekilde modifiye edilebileceği tartışılmıştır. Ayrıca, yine alüvyonlu zeminlerde belirli bir periyoddan sonra P spektrumunun S spektrumundan daha kritik olduğu görülmüş ve bu periyodun da tabaka kalınlığıyla lineer olarak değiştiği yine regresyon analiziyle anlaşılmıştır.

Basit bir pratik problem çözme tekniği de sunulan rapora ilişik olarak bu teknikle çözülmüş somut bir problem de eklenmiştir.

SUMMARY

The problem of random wave propagation in layered elastic media was earlier examined in the report TBTAK MAG-302, Simulation of Earthquake Acceleration Spectra. In the present report, the relationship between the spectral density functions of different layers which was earlier established is used in solving soil dynamics problems resulting from random earthquake motion. Two different types of soil (hard and soft) are of primary concern. The spectral density functions at the top (velocity and acceleration) due to a white noise excitation at the bedrock level are obtained and plotted. Even though the theory is not restricted in this respect both soil types are considered as consisting of three parallel layers. For the hard type soil the effect of the angle of incidence θ is studied and it is understood that its importance is restricted to certain intervals of the forcing frequency. On the other hand, it is established that the acceleration spectral density function is constant up to a certain frequency supporting the use of white noise for ground motion for this type of soil. For soft alluvial soil, the influence of layer thickness is investigated by varying it from 1 meter to 100 meters. For each thickness, the predominant periods for first and second modes are obtained and **T-H** curves are plotted using regression analysis. The equations of these curves are compared with $T = \frac{4H}{V_s}$ and possible ways of modifying this equation for two dimensional layered media are discussed. It is also observed that for soft alluvial soils the **P** wave spectral density function is more critical than that of the **S** wave after a certain period and that this period is a linear function of layer thickness. Regression analysis is again employed to find the equation of this line.

A practical problem solving outline is presented and the solution of such a problem is attached as an appendix.

LİTERATÜR LİSTESİ

1. Ambraseys, N.N. (1963) "Dynamics and Response of Foundation Materials in Epicentral Regions of Strong Earthquakes", Invited Paper, 5WCEE, Roma.
2. Arias, A., Husid, R., and Monge, J. (1967) "Comments on the New Chilean Seismic Code for Buildings", Proceed. 4th World Conf. on Earthquake Eng., Santiago, Chile, Vol. III, B-5.
3. Bogoliuboff, N., and Mitropolsky, Y. (1961), "Asymptotic Methods in the Theory of Nonlinear Oscillations", Gordon and Breach Science Publishers, New York.
4. Caughey, T.K. (1963), "Equivalent Linearization Techniques", Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 35, No. 11, November.
5. Cloud, W.K. (1959), "Intensity and Ground Motion of the San Francisco Earthquake of March 22, 1957", Special Report 57, California Division of Mines.
6. Cloud, W.K. (1967), "Intensity Map and Structural Damage, Parkfield, California Earthquake of June 27, 1966", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 57, No. 6, December.
7. Clough, R.W. and Chopra, A.A. (1966), "Earthquake Stress Analysis in Earth Dams", ASCE, Proceed., Vol. 92, No. EM2, Paper No. 4793,
8. Del Barrio, P. (1855), "Memoris sobre Les Temblores de Tirrea", Anales de la Universidad de Chile.
9. Dezfūlian, H. and Seed, H.B. (1969), "Seismic Response of Soil Deposits Underlined by Sloping Rock Boundaries", Research Report, Geotechnical Engineering, University of Calif. Berkeley, June.

10. Dezfulian, H. and Seed, H.B. (1969), "Response of Non-Uniform Soil Deposits to Travelling Seismic Waves", Research Report, Geotechnical Engineering, University of Calif. Berkeley.
11. Dibaj, M. and Penzien, J. (1969), "Response of Earth Dams to Travelling Seismic Waves", ASCE, Proceed., Vol. 95, No. SM2, Paper 6453, March.
12. Dibaj, M. and Penzien, J. (1969), "Nonlinear Seismic Response of Earth Structures", Report No. EERC 69-2, University of Calif. Berkeley.
13. Debry, R., Whitman, R.V. and Roesset, J.M. (1971), "Soil Properties and the One Dimensional Theory of Earthquake Amplification", Research Report, R. 71-18, Soil Pub. No. 275, Dept. of Civil Eng., Mass. Inst. of Tech., May.
14. Donovan, N.C. and Matthiesen, R.B. (1968), "Effects of Site Conditions on Ground Motions During Earthquakes", State of the Art Symposium Earthquake Eng. Research Inst., San Francisco, Calif.,
15. Duffy, J. and Mindlin, R.D. (1957), "Stress-Strain Relations and Vibrations of a Granular Medium", Journal of Applied Mechanics, ASME, Vol. 24.
16. Duke, C.M. (1958), "Effects of Ground on Destructiveness of Large Earthquakes", Proceed, Vol. 84, No. SM3, April.
17. Eringen, A.C. (1967), Mechanics of Continua, John Wiley and Sons, Inc.
18. Esteva, L. Rascon, O.A., Gutierrez, A. (1969), "Lessons from Some Recent Earthquakes in Latin America", Proceed., 4th World Conf. on Earthquake Eng., Santiago, Chile, January.
19. Finn, W.D. (1970), "Influence of Soil Conditions on Structural Damage", Proceed., Conference on European Committee of Earthquake Engineering, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, September.
20. Gutenberg, B. (1957), "The Effects of Ground on Earthquake Motion", Bull. of the Seism. Soc. of America, Vol. 47, No. 3, July.
21. Hardin, B.O. and Richard, F.E. (1963), "Elastic Wave Velocities in Granular Soils", Proceed., ASCE, Vol. 89, No. SMI, Paper No. 3407, February.
22. Herrera, I. and Rosenblueth, E. (1965), "Response Spectra on Stratified Soil", Proceed., 3rd World Conf. on Earthquake Eng., New Zealand.

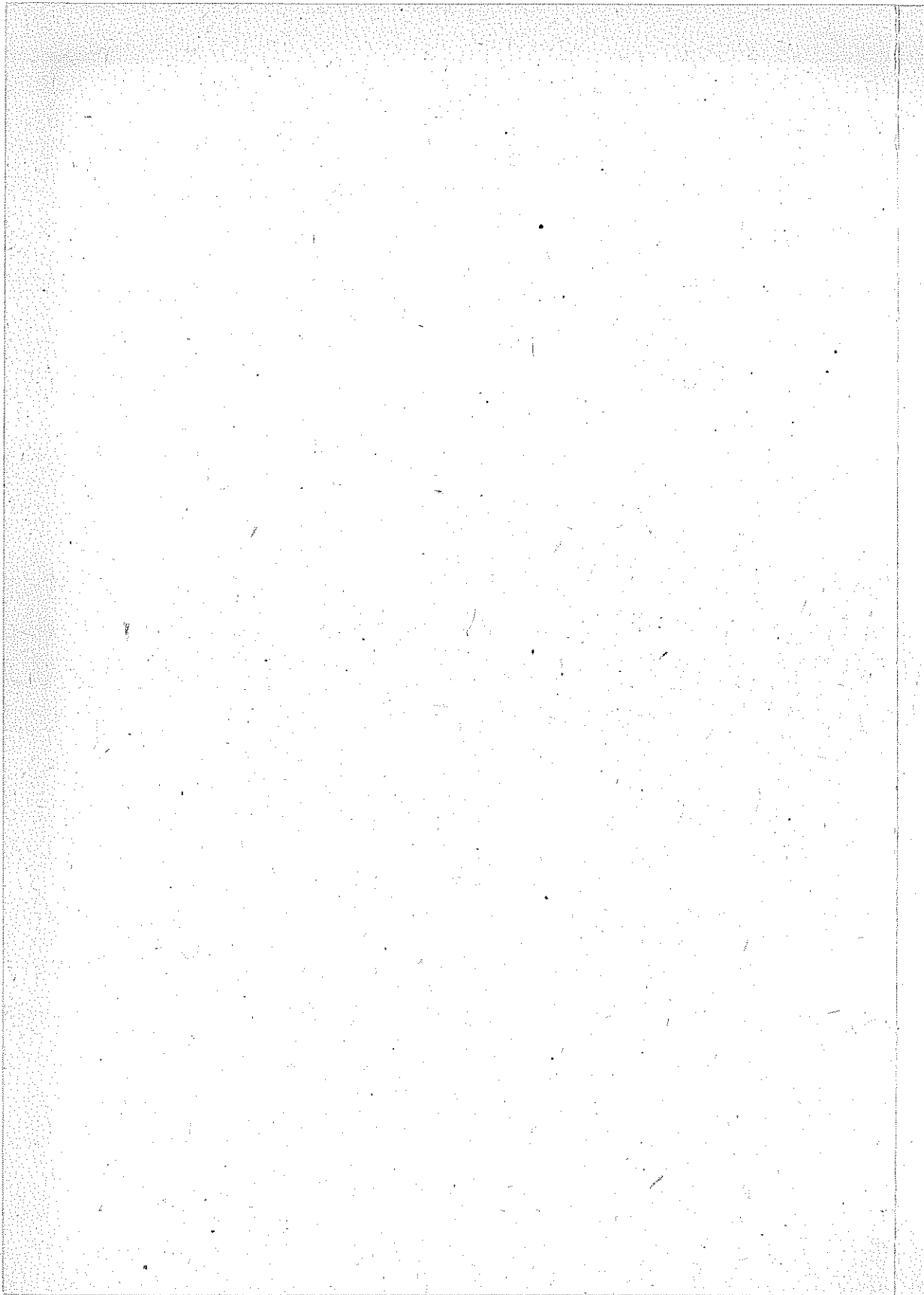
23. Hillier, K.W. (1949), Proc. Phys. Sec. B., 62, 701.
24. Hisada, T., Nakagawa, K. and Izumi, M. (1965), "Normalized Acceleration Spectra Earthquakes Recorded by Strong Motion Accelerographs and Their Characteristic Relation with Subsoil Conditions" BRI. Occasional Report, No. 23, Building Research Institute, Ministry of Construction, Tokyo.
25. Housner, G.W. (1952), "Spectrum Intensities of Strong Motion Earthquakes", Proceed., Symposium on Earthquake and Blast Effects on Structures, Earthquake Research Inst., June.
26. Housner, G.W. "Important Features of Earthquake Ground Motion", Invited Paper, 5WCEE, Rome.
27. Hudson, D.E. (1956), "Response Spectrum Techniques in Engineering Seismology", Proceed., 1st World Conf. on Earthquake Eng., Berkeley, California.
28. Hudson, D.E. and G.W. Housner (1958), "An Analysis of Strong Motion Acceleration Data from the San Francisco Earthquake of March 22, 1957" Bull. Seis. Soc. of America, Vol. 48.
29. Hudson, D.E. (1965), "Equivalent Viscous Friction for Hysteretic Systems with Earthquake-Like Excitation", Proceed., 3rd World Conf. on Earthquake Eng., New Zealand.
30. Idriss, I.M. and Seed, H.B. (1967), "Response of Horizontal Soil Layers During Earthquake", Research Report, Soil Mech. and Bitum, Mater. Lab., University of Calif. Berkeley, August.
31. Idriss, I.M. and Seed, H.B. (1968), "Seismic Response of Horizontal Layers", ASCE, Proceed., Vol. 94, No. SM4, July.
32. Idriss, I.M. and Seed, H.B. (1968), "An Analysis of Ground Motions During the 1957 San Francisco Earthquake", Bull. of the Seis. Soc. of America, Vol. 58, No. 6, December.
33. Idriss, I.M. and Seed, H.B. (1969), "Influence of Geometry and Material Properties on the Seismic Response of Soil Deposits", Proceed., 4th World Conf. on Earthquake Eng., Santiago, Chile.
34. Idriss, I.M., Dezfulian, H. and Seed, H.B. (1969), "Computer Program for Evaluating the Seismic Response of Soil Deposits with non-Linear Characteristics Using Equivalent Linear Proceedings", Research Report, Geotechnical Engineering, University of Calif. Berkeley.

35. Jacobsen, L.S. (1930), "Steady Forced Vibrations as Influenced by Damping", Transactions, ASME, Vol. 51.
36. Jacobsen, L.S. (1960), "Damping in Composite Structures", Proceed., 2nd World Conf. on Earthquake Eng., Tokyo.
37. Kanai, K. (1950), "The Effect of Solid Viscosity of Surface Layer on the Earthquake Movements", Bull. of Earthquake Research Inst., 28, 31, Tokyo.
38. Kanai, K. (1952), "Relation Between the Nature of Surface Layer and Amplitudes of Earthquake Motions", Bull. of Earthquake Research Inst., Tokyo University, Vol. 30.
39. Kanai, K., Tanaka, T. and Osada, K. (1954), "Measurements of the Micro-Tremor", Bull. of the Earthquake Research Inst. Vol. 32, Part 2, July.
40. Kanai, K., Tanaka, T. and Yoshizawa, S. (1959), "Comparative Studies of Earthquake Motion on the Ground and Underground (Multiple Reflection Problem)", Bull. of the Earthquake Research Inst., Vol. 37, Part I, March.
41. Kanai, K. (1961), "An Empirical Formula for the Spectrum of Earthquake Motions", Bull. of Earthquake Research Inst., Tokyo University.
42. Kawasumi, H. and Shima, E. (1967), "Spectra of Microtremors Observed in the City of Anchorage and Their Relation to Soils", Alaska Earthquake of 1964, United States Government Printing Office, Washington, D.C. 1967, Vol. II.
43. Kobayashi, H. and Kagami, H. (1966), "A Numerical Analysis of the Propagation of Shear Waves in Multilayered Ground", Proceed., Japan Earthquake Engineering Symposium, Tokyo, October.
44. Kolsky, H. (1963), "Stress Waves in Solids"; Dover Publications, Inc.
45. Kryloff, N. and Bogoliuboff, N. (1943), Introduction to Non-Linear Mechanics. (Trans. by S. Lefschetz), Princeton University Press, Princeton, N.J.
46. Matthiesen, R.B., Duke, C., Leed, M. and Fraser, J.C. (1964), "Site Characteristics of Southern California Strong Motion Earthquake Stations, Part II, Report No. 64-15, Dept. of Eng., University of Calif.
47. Merino y Coronado, Z. (1957), "El Trembler del 28 de Julio de 1957", Anales Inst. de Geofis; University of Mexico.

48. Newmark, N.M. (1967), "Design Criteria for Nuclear Reactors Subjected to Earthquake Hazards", Paper presented at meeting of the International Atomic Energy Assoc., Tokyo, June.
49. Ohsaki, Y. (1969), "The Effect of Local Soil Conditions on Earthquake Damage", Proceed., Soil Dynamics Specialty Sessions, International Conf. on Soil Mech. and Foundation Eng., Mexico City.
50. Özgür, D. and Gürpınar, A. (1973), "Theoretical Simulation of Earthquake Acceleration Spectra" 5 WCEE, Rome.
51. Parmelee, R., Penzien, J., Scheffey, C.F. Seed, H.B. and Thiers, G. R. (1964), "Seismic Effects on Structures Supported on Piles Extending Through Deep Sensitive Clays", Report No. 64-2, Institute of Eng. Research, University of California, Berkeley, August.
52. Rosenblueth, E. (1960), "The Earthquake of July 28, 1957 in Mexico City", Proceed., 2nd World Conf. on Earthquake Eng., Vol. 1, Japan.
53. Rosenblueth, E. (1973), "Analysis of Risk", Invited Paper, 5WCEE, Rome.
54. Penzien, J., Scheffey, C.F. and Parmelee, R. (1964), "Seismic Analysis of Bridges on Long Piles", ASCE, Vol. 90, No. EM3, Proc. Paper No. 3953, June.
55. Seed, H.B., Lee, K.L., and Idriss, I.M. (1968), "An Analysis of the Sheffield Dam Failure", Report No. TE 68-2. To State of California, Dept. of Water Resources, University of Calif. Berkeley, Calif.
56. Seed, H.B., (1969), "The Influence of Local Soil Conditions on Earthquake Damage", Soil Dynamics Specialty Conference, Seventh International Conf. on Soil Mechanics and Foundation Eng., Mexico City.
57. Seed, H.B. and Idriss I.M. (1969), "Influence of Soil Conditions on Ground Motions During Earthquakes", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 95, No. SMI, January.
58. Seed, H.B., Idriss, I.M. and Dezfulian, H. (1970), "Relationships Between Soil Conditions and Building Damage in the Caracas Earthquake of July 29, 1967", EERC, Report No. 70-2, University of California.
59. Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1971), "Influence of Soil Conditions on Building Damage Potential During Earthquakes", ASCE, Proceed., Vol. 97, ST2, February.

60. Seed, H.B., Whitman, R.V. Dezfulian, H., Dobry R. and Idriss, I.M. (1972), "Soil Conditions and Building Damages in 1967 Caracas Earthquake". ASCE, Proceed., Vol. 98, No. SM8, August.
61. Sözen, M.A., Jennings, P.C., Matthieson, R.B., Housner, G.W. and Newmark, N.M. (1968), "Earthquake Report on the Caracas Earthquake of July 29, 1967", National Academy of Sciences, Washington.
62. Steinbrugge, K.V. (1967), "Seismic Risk to Buildings and Structures on Filled Lands in San Francisco Bay", Report Prepared for San Francisco Bay Conservation and Development Commission, May.
63. Tezcan, S. S. ve İpek, M. (1970), "28 Mart 1970 Gediz Depreminden Dolayı Bursa Otomobil Fabrikasındaki Hasarın Sebepleri", İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye İnşaat Müh. V. Teknik Kongresi, Konu III, Rapor No. 4, Ankara.
64. Tezcan, S.S. (1970), "Dinamik Analiz Esasına Dayanan Yeni Bir Deprem Katsayısı Formülü", İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye İnşaat Müh. V. Teknik Kongresi, Konu II., Rapor No. 5, Ankara.
65. Tezcan, S.S. (1971), "Earthquake Design Formula Considering Local Soil Conditions", ASCE, Proceed., Vol. 97, ST9, September.
66. Thiers, G.R. and Seed, H.B. (1968), "Cyclic Stress-Strain Characteristics of Clay", ASCE, Proceed., Vol. 94, No. SM2, Paper No. 5871, March.
67. Whitman, R.V. (1969), "Effects of Soil Conditions Upon Damage to Structures, Caracas Earthquake of July 29, 1967", Mass. Inst. of Tech., Report, November.
68. Whitman, R.V. (1969), "The Current Status of Soil Dynamics", Applied Mechanics Review.
69. Wiggins, J.H. (1964), "Effects of Site Conditions on Earthquake Intensity", Proceed., ASCE, Vol. 90, No. ST2, Proc. Paper No. 3880, April.
70. Wilson, E. and Clough, R.W. (1962). "Dynamic Response by Step by-Step Matrix Analysis", Proceed., Symposium on the Use of Computers in Civil Eng., Lisbon, October.
71. Wilson, E.L. (1968), "A Computer Program for the Dynamic Stress Analysis of Underground Structures", Report No. 68-1, Struct. Eng. Lab., University of Calif. Berkeley, January.

72. Wood, H.D. (1908), "Distribution of Apparent Intensity in San Francisco", Report of the State Earthquake Investigation Commission, Cornegie Institution of Washington, Washington, D.C.
73. Yazar, R. and Tezcan, S.S. (1969), "Structural Engineering Aspects of the 1967 Adapazari, Turkey, Earthquake", Proceed., 4th World Conf. on Earthquake Eng., Chile.
74. Zeevaert, L. (1963), "The Effect of Earthquakes in Soft Subsoil Conditions", Proceed., 30th Annual Convention, Structural Engineers Assoc. of Calif. October.
75. T.C. İmar ve İskân Bakanlığı, Afet İşleri Gn. Md. (1968), "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik", Ankara.
76. T.C. İmar ve İskân Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı (1973), "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" (Taslak), Ankara.



Tablo I.1. Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ ile Değişmesi
 $\omega = 0.1 \text{ rad/san}$

θ°	P	S
15	100.06	99.70
30	99.78	99.58
45	100.19	95.90
60	98.55	91.22
75	98.65	93.88

Tablo I.2. Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ ile Değişmesi
 $\omega = 0.5 \text{ rad/san}$

θ°	P	S
15	4.00	3.99
30	3.99	3.94
45	4.01	3.84
60	3.94	3.65
75	3.95	3.76

Tablo I.3. Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ ile Değişmesi
 $\omega = 1.0 \text{ rad/san}$

θ°	P	S
15	1.000	0.997
30	0.998	0.986
45	1.000	0.959
60	0.986	0.912
75	0.986	0.939

Tablo I.4. Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ ile Değişmesi
 $\omega = 5.0 \text{ rad/san}$

θ°	P	S
15	0.0400	0.0399
30	0.0399	0.0394
45	0.0401	0.0384
60	0.0394	0.0365
75	0.0395	0.0376

Tablo I.5. Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ ile Değişmesi
 $\omega = 10.0 \text{ rad/san}$

θ°	P	S
15	0.01000	0.00990
30	0.00999	0.00986
45	0.01004	0.00960
60	0.00989	0.00913
75	0.00989	0.00940

Tablo I.6. Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ ile Değişmesi
 $\omega = 50.0 \text{ rad/san}$

θ°	P	S
15	0.000473	0.000425
30	0.000678	0.000500
45	0.000940	0.000581
60	0.001310	0.000673
75	0.001160	0.000641

Tablo I.7. Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ ile Değişmesi
 $\omega = 100.0 \text{ rad/san}$

θ°	P	S
15	0.00040	0.00022
30	0.00121	0.00052
45	0.00225	0.00089
60	0.00376	0.00133
75	0.00316	0.00116

Tablo I.8. Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ ile Değişmesi
 $\omega = 250.0 \text{ rad/san}$

θ°	P	S
15	0.00182	0.00075
30	0.00669	0.00270
45	0.01290	0.00507
60	0.02200	0.00794
75	0.01840	0.00682

Tablo I.9. Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ ile Değişmesi
 $\omega = 500.0 \text{ rad/san}$

θ°	P	S
15	0.00621	0.00300
30	0.02290	0.01130
45	0.04580	0.02260
60	0.07850	0.03590
75	0.06550	0.03100

Tablo I.10. İvme Spektral Yoğunluk Fonksiyonları $\theta = 15^\circ$

$\omega \text{ (rad/san)}$	P	S
10	1.000	0.997
20	0.992	0.998
30	1.017	0.999
40	1.072	1.021
50	1.185	1.065

Tablo I.11. İvme Spektral Yoğunluk Fonksiyonları $\theta = 30^\circ$

$\omega \text{ (rad/san)}$	P	S
10	0.998	0.986
20	1.016	0.992
30	1.089	1.017
40	1.283	1.093
50	1.645	1.250

Tablo I.12. İvme Spektral Yoğunluk Fonksiyonları $\theta = 45^\circ$

$\omega \text{ (rad/san)}$	P	S
10	1.004	0.960
20	1.028	0.960
30	1.170	1.017
40	1.550	1.158
50	2.350	1.453

Tablo I.13. İvme Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, $\theta = 60^\circ$

ω (rad/san)	P	S
10	0.989	0.913
20	1.036	0.924
30	1.278	1.008
40	1.920	1.226
50	3.275	1.683

Tablo I.14. İvme Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, $\theta = 75^\circ$

ω (rad/san)	P	S
10	0.989	0.940
20	1.028	0.948
30	1.233	1.017
40	1.776	1.208
50	2.900	1.603

Tablo I.15. Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, $\theta = 15^\circ$

ω (rad/san)	P	S
0.1	100.06	99.70
0.5	4.00	3.99
1.0	1.00	0.997
5.0	0.0400	0.0399
10.0	0.0100	0.0099
50.0	0.00047	0.00043
76.0	0.00035	0.00024
96.0	0.00039	0.00021
100.0	0.00040	0.00022
250.0	0.00182	0.00075
500.0	0.00621	0.00300

Tablo I.16. Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, $\theta = 30^\circ$

ω (rad/san)	P	S
0.1	99.78	98.58
0.5	3.991	3.943
1.0	0.998	0.986
5.0	0.0399	0.0394
10.0	0.00999	0.00986
50.0	0.00068	0.00050
55.0	0.00067	0.00045
70.0	0.00075	0.00041
100.0	0.00121	0.00052
250.0	0.00669	0.00270
500.0	0.02290	0.01130

Tablo I.17. Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, $\theta = 45^\circ$

ω (rad/san)	P	S
0.1	100.19	95.90
0.5	4.01	3.84
1.0	1.002	0.959
5.0	0.0401	0.0384
10.0	0.01004	0.00960
46.0	0.00093	0.00062
50.0	0.00094	0.00058
59.0	0.00104	0.00051
100.0	0.00225	0.00089
250.0	0.01290	0.00507
500.0	0.04580	0.02260

Tablo I.18. Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, $\theta = 60^\circ$

ω (rad/san)	P	S
0.1	98.55	91.22
0.5	3.94	3.65
1.0	0.986	0.912
5.0	0.0394	0.0365
10.0	0.00989	0.00913
40.0	0.00120	0.00077
50.0	0.00131	0.00067
52.0	0.00136	0.00067
100.0	0.00376	0.00133
250.0	0.02200	0.00794
500.0	0.07850	0.03590

I.19. Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, $\theta = 75^\circ$

ω (rad/san)	P	S
0.1	98.65	93.88
0.5	3.95	3.76
1.0	0.986	0.939
5.0	0.0395	0.0376
10.0	0.00989	0.00940
42.0	0.00110	0.00072
50.0	0.00116	0.00064
54.0	0.00120	0.00063
100.0	0.00316	0.00116
250.0	0.01840	0.00682
500.0	0.06550	0.03100

Tablo I.20. Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, $d=1m$.

ω (rad/san)	P	S
0.1	99.534	99.799
1.0	0.994	0.958
5.0	0.0410	0.0381
10.0	0.0166	0.00908
20.0	0.0275	0.00192
30.0	0.0459	0.00702
40.0	0.0578	0.0424
50.0	0.0957	0.488
75.0	0.0258	1.394
100.0	0.291	1.387
150.0	0.364	9.132
200.0	0.0913	0.653
250.0	0.412	9.592
300.0	0.0715	0.130
350.0	0.00674	0.00443
400.0	0.00287	0.0231
450.0	0.0353	0.0779
500.0	0.0253	0.00113

Tablo I.21. Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, $d=4\text{ m}$.

ω (rad/san)	P	S
0.1	99.526	95.799
1.0	1.004	0.956
5.0	0.438	0.0309
10.0	0.925	0.667
20.0	0.293	15.275
30.0	166.92	334.62
40.0	4.997	30.557
50.0	1.523	10.400
75.0	1.153	2.054
100.0	0.0523	0.377
150.0	0.554	3.948
200.0	0.00569	3.131
250.0	0.0813	0.533
300.0	0.0304	0.165
400.0	0.00267	0.0115
500.0	0.0215	0.0743

Tablo I.22. Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları $d=10\text{ m}$.

ω (rad/san)	P	S
0.1	99.426	95.800
1.0	1.656	0.908
5.0	9.498	47.151
10.0	28.639	137.82
20.0	10.725	64.819
30.0	7.428	12.685
40.0	0.350	2.379
50.0	3.141	0.220
75.0	0.245	2.147
100.0	0.514	3.279
150.0	2.290	9.595
200.0	0.186	0.724
250.0	0.137	0.695
300.0	0.0576	0.763
400.0	0.187	3.294
500.0	0.00913	0.0111

Tablo I.23. Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, $d=16m$.

ω (rad/san)	P	S
0.1	99.324	95.803
1.0	5.292	0.610
5.0	4.947	247.48
10.0	82.031	506.15
20.0	31.15	22.38
30.0	2.617	3.647
40.0	3.938	44.41
50.0	1.008	56.93
75.0	0.594	2.421
100.0	0.0392	0.188
150.0	0.477	0.959
200.0	0.0672	0.497
250.0	0.530	8.099
300.0	0.0177	0.534
400.0	0.0195	0.445
500.0	0.370	3.800

Tablo I.24. Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, $d=40m$.

ω (rad/san)	P	S
0.1	100.39	95.57
0.2	31.35	23.36
0.3	26.48	9.64
0.4	33.07	4.77
0.5	43.77	3.09
0.6	55.89	3.79
0.7	67.79	7.52
0.8	78.26	16.08
0.9	86.50	33.11
1.0	92.47	66.68
2.0	30.92	1547.
3.0	21856.	48913.
4.0	513.	3169.
5.0	140.	1042.
6.0	0.811	1152.
7.0	0.193	348.
8.0	194.	145.
9.0	1.67	3.90
10.0	5.03	37.4

Tablo I.25. Tabaka Kalınlıklarına Göre Hakim Zemin Peryodları

d (m.)	T (san)
1	0.053
4	0.209
7	0.369
10	0.523
13	0.690
16	0.848
19	0.997
22	1.161
25	1.308
28	1.494
31	1.652
34	1.846
37	1.962
40	2.091
43	2.240
46	2.410
49	2.615
52	2.730
55	2.850
58	2.990
61	3.140
64	3.300
67	3.490
70	3.690

Tablo I.26. Kalın Alüvyon Tabakaları İçin Hakim Peryodlar (1'inci Mod)

d (m.)	T (san)
52	6.28
55	6.61
58	6.98
61	7.39
64	7.76
67	8.06
70	8.49
73	8.85
76	9.11
79	9.52
82	9.82
85	10.30
88	10.65
91	11.02
94	11.42
97	11.64

Tablo I.27. Kalın Alüvyon Tabakaları İçin Hakim Peryodlar (2'nci Mod)

d (m.)	T (san)
73	6.48
76	6.76
79	6.98
82	7.22
85	7.48
88	7.76
91	8.00
94	8.27
97	8.61

Tablo I.28. P ve S Dalgalarının Hakim Bölgelerinin Sınırı

d (m.)	T (san)
1	0.149
4	0.518
7	1.045
10	1.492
13	1.900
16	2.320
19	2.730
22	3.142
25	3.696
28	4.189
31	4.488
34	4.833
37	5.236
40	5.712
43	6.411
46	6.830
49	7.306
52	7.757
55	8.159
58	8.607
61	9.106
64	9.520
67	9.973
70	10.472
73	10.833
76	11.220
79	11.636
82	12.083
85	12.565
88	13.090
91	13.368
94	13.963
97	14.280

10 m.	$\lambda = 2448 \text{ kg/cm}^2$ $\mu = 612 \text{ kg/cm}^2$	$V_1 = 42300 \text{ cm/san}$ $V_2 = 17300 \text{ cm/san}$
10 m.	$\lambda = 17640 \text{ kg/cm}^2$ $\mu = 735 \text{ kg/cm}^2$	$V_1 = 95000 \text{ cm/san}$ $V_2 = 18600 \text{ cm/san}$
13 m.	$\lambda = 77130 \text{ kg/cm}^2$ $\mu = 8570 \text{ kg/cm}^2$	$V_1 = 206000 \text{ cm/san}$ $V_2 = 62100 \text{ cm/san}$

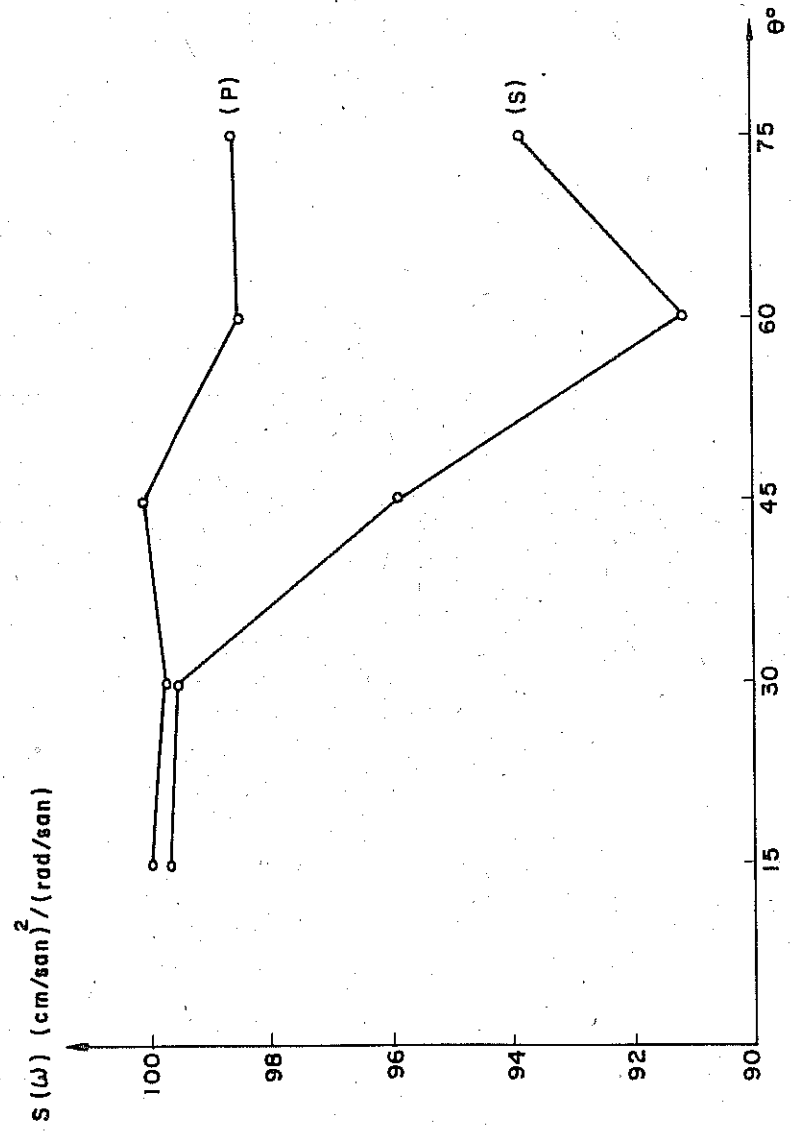
$\theta = 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 75^\circ$

Şekil I.1 Zemin Tıp I ve Geliş Açıları

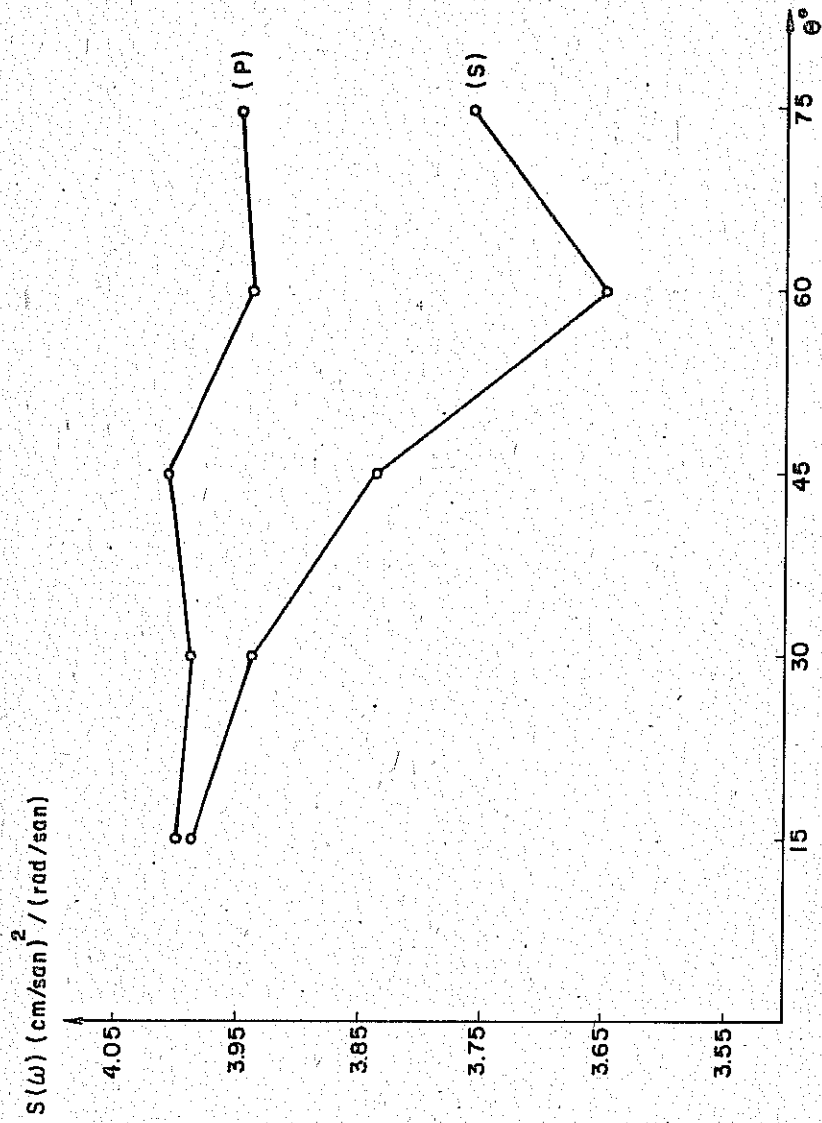
d	$\lambda = 480 \text{ kg/cm}^2$ $\mu = 20 \text{ kg/cm}^2$	$V_1 = 16600 \text{ cm/san}$ $V_2 = 3250 \text{ cm/san}$
d	$\lambda = 960 \text{ kg/cm}^2$ $\mu = 40 \text{ kg/cm}^2$	$V_1 = 23400 \text{ cm/san}$ $V_2 = 4590 \text{ cm/san}$
d	$\lambda = 2400 \text{ kg/cm}^2$ $\mu = 100 \text{ kg/cm}^2$	$V_1 = 37100 \text{ cm/san}$ $V_2 = 7270 \text{ cm/san}$

45°
 $d = 1 \text{ m.} - 70 \text{ m}$

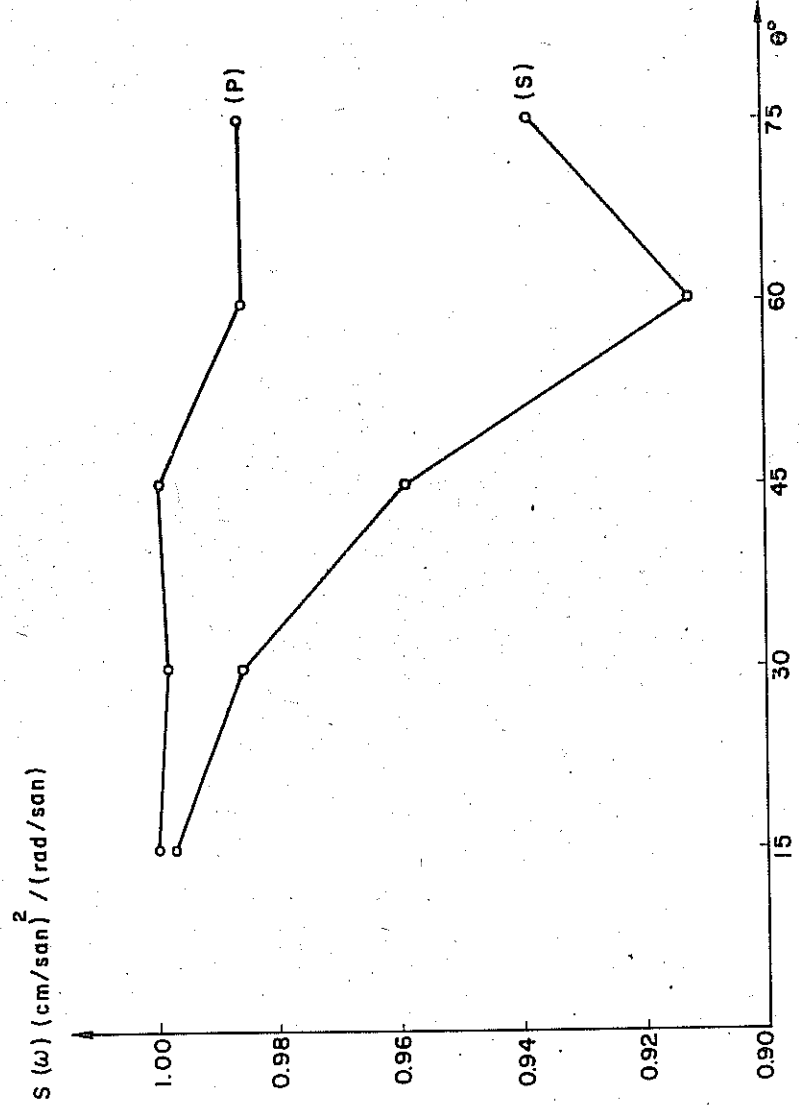
Şekil I.2 Zemin Tıp II (Alüvyon)



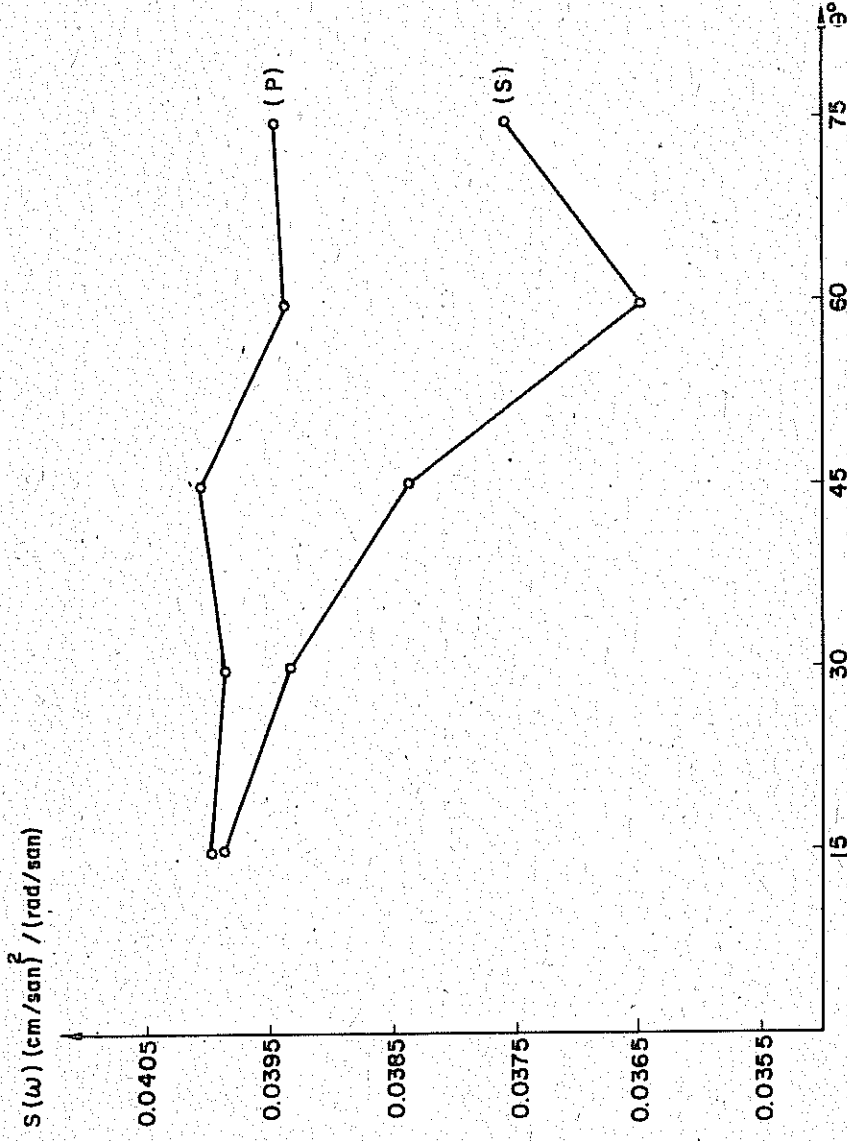
Şekil I.3 Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ İle Değişmesi $\omega = 0.1 \text{ rad/san}$



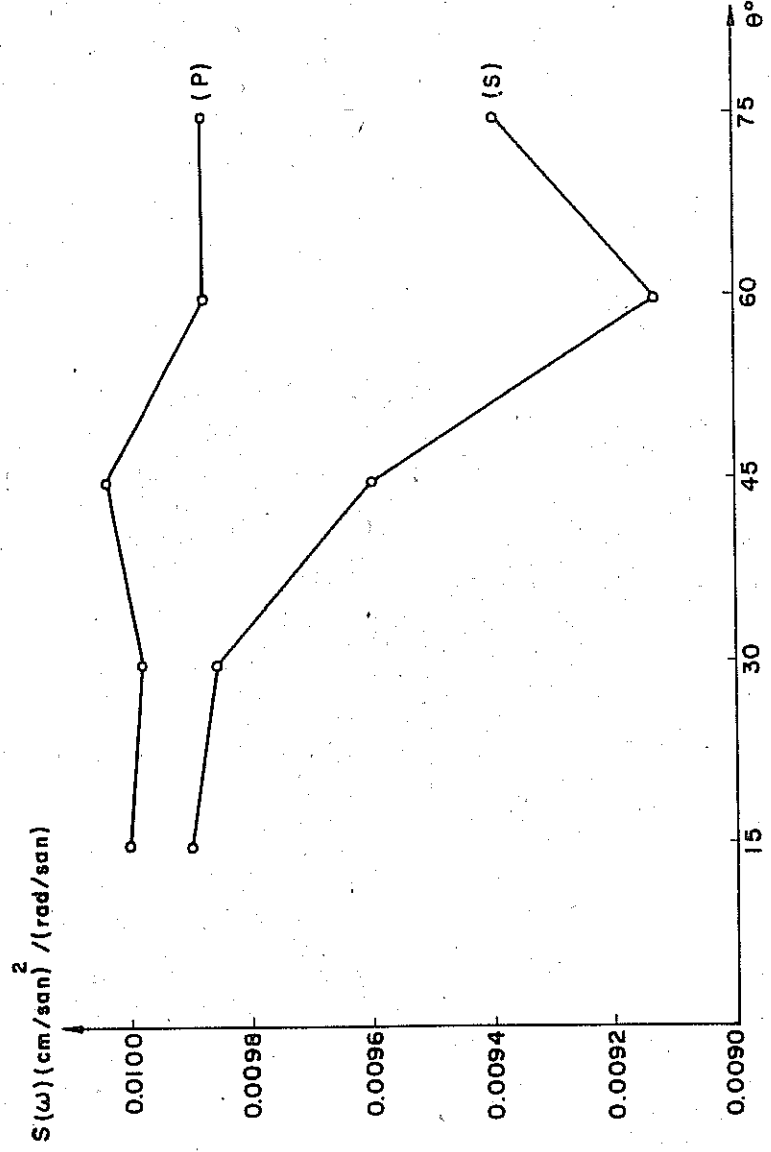
Şekil I.4 Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ İle Değişmesi $\omega = 0.5 \text{ rad/sen}$



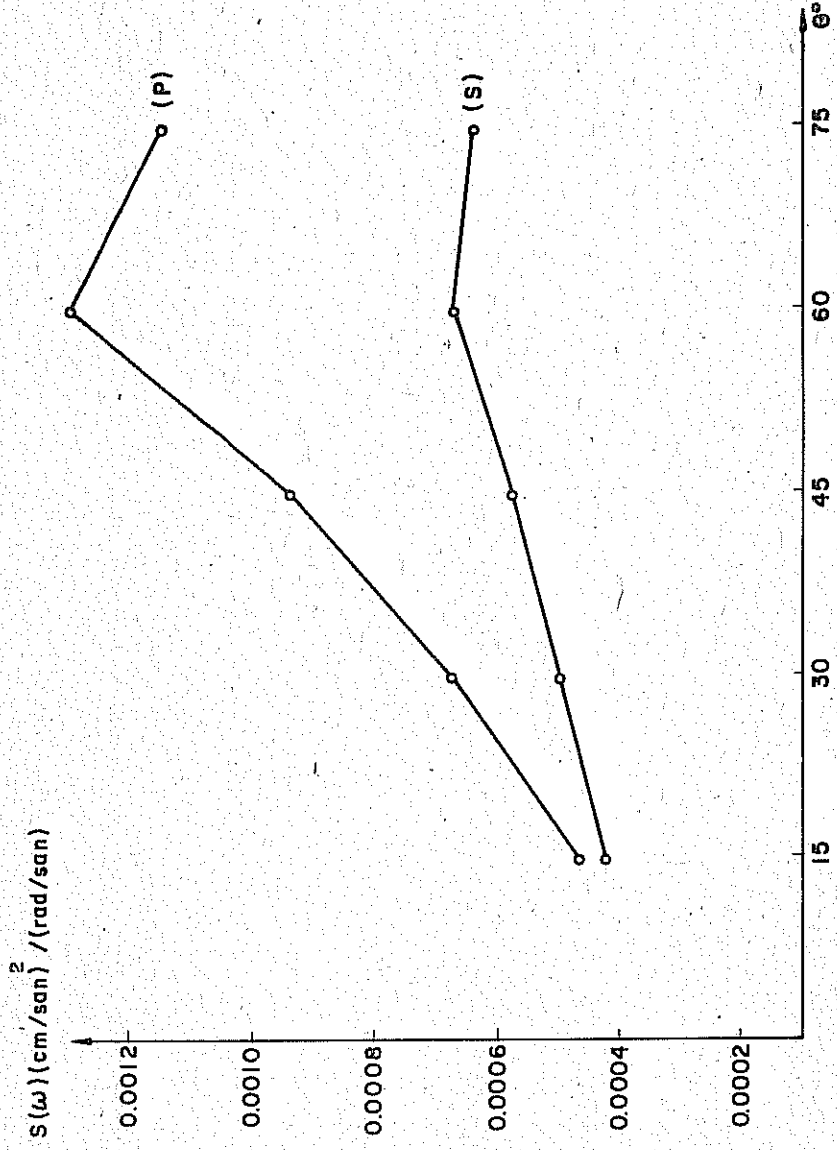
Şekil I.5 Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ İle Değişmesi! $\omega = 1.0 \text{ rad/san}$



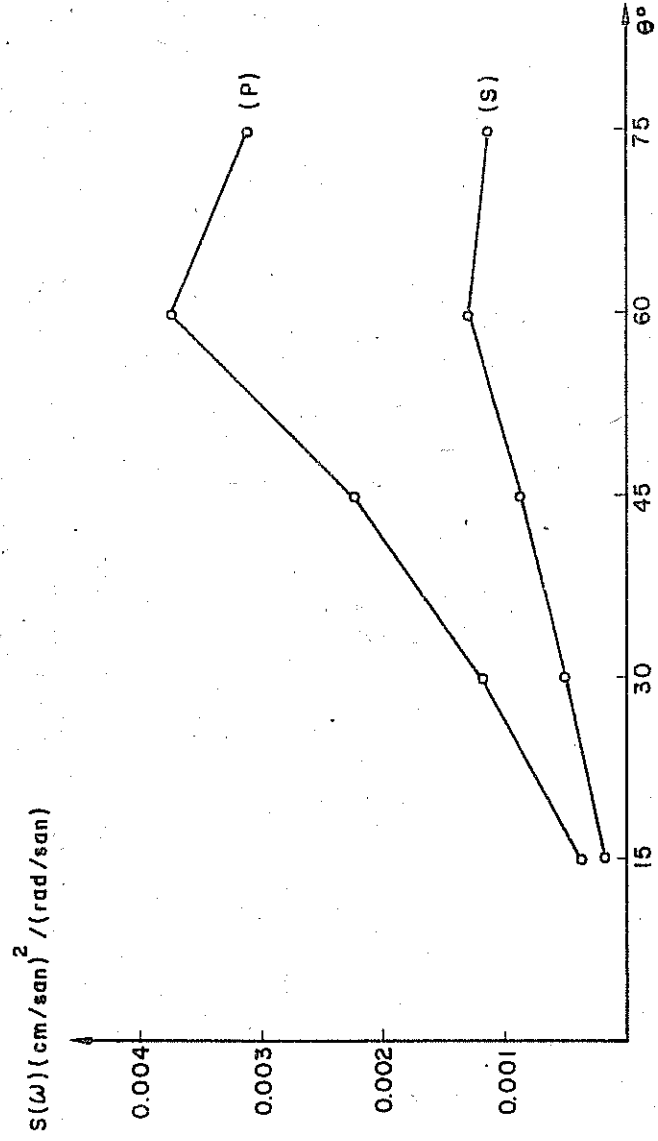
Şekil I.6 Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ ile Değişmesi $\omega = 5.0 \text{ rad/san}$



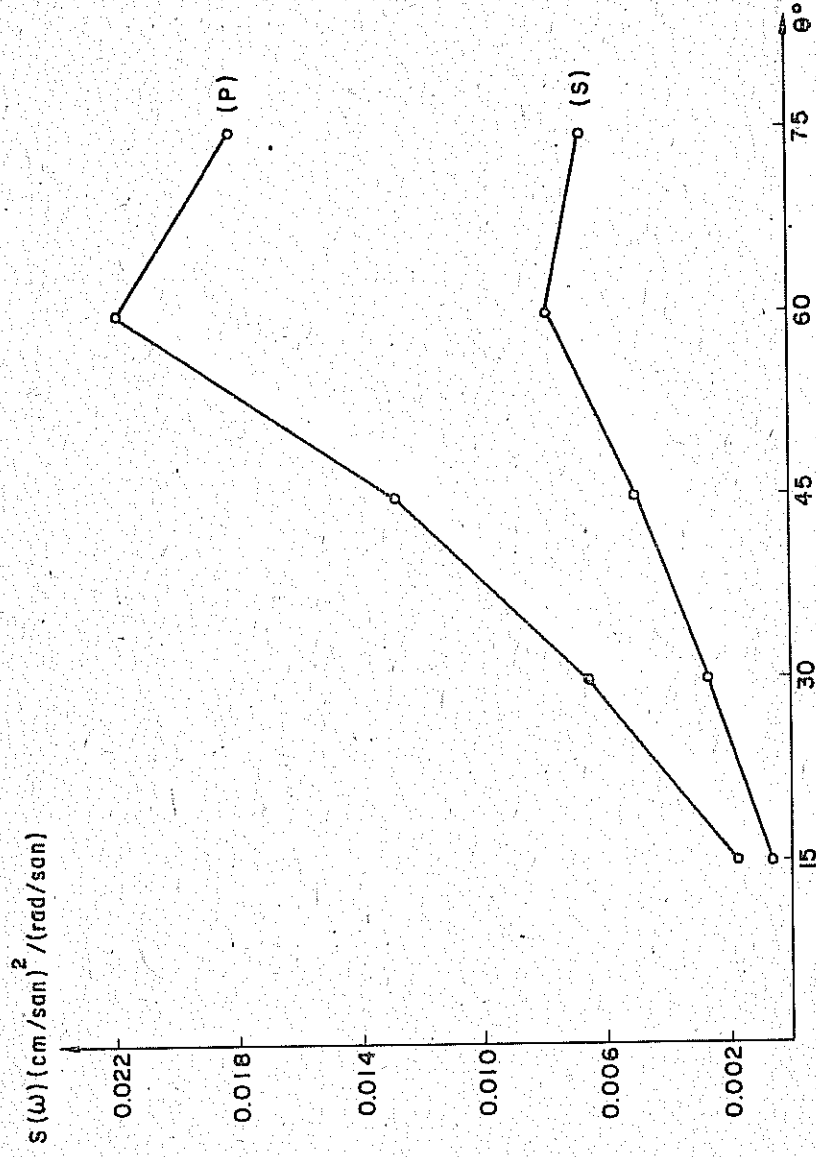
Şekil I.7 Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ İle Değişmesi $\omega = 10.0 \text{ rad/san}$.



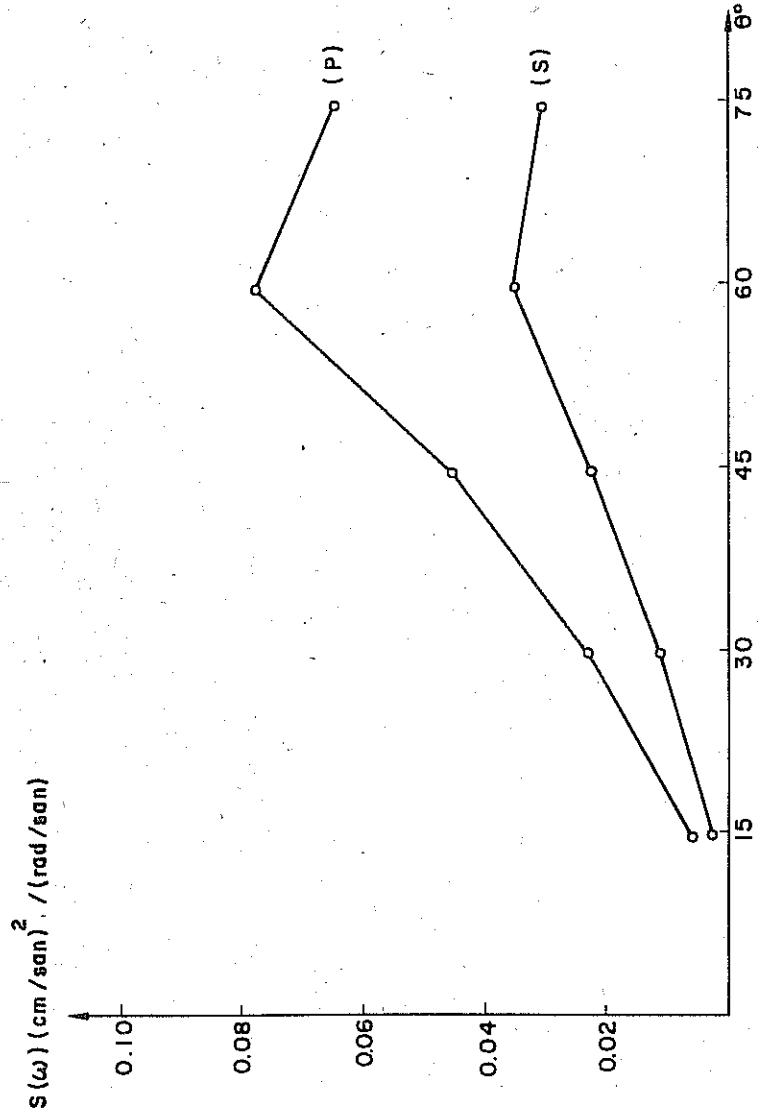
Şekil I.8 Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ İle Değişmesi $\omega = 50.0$ rad/san



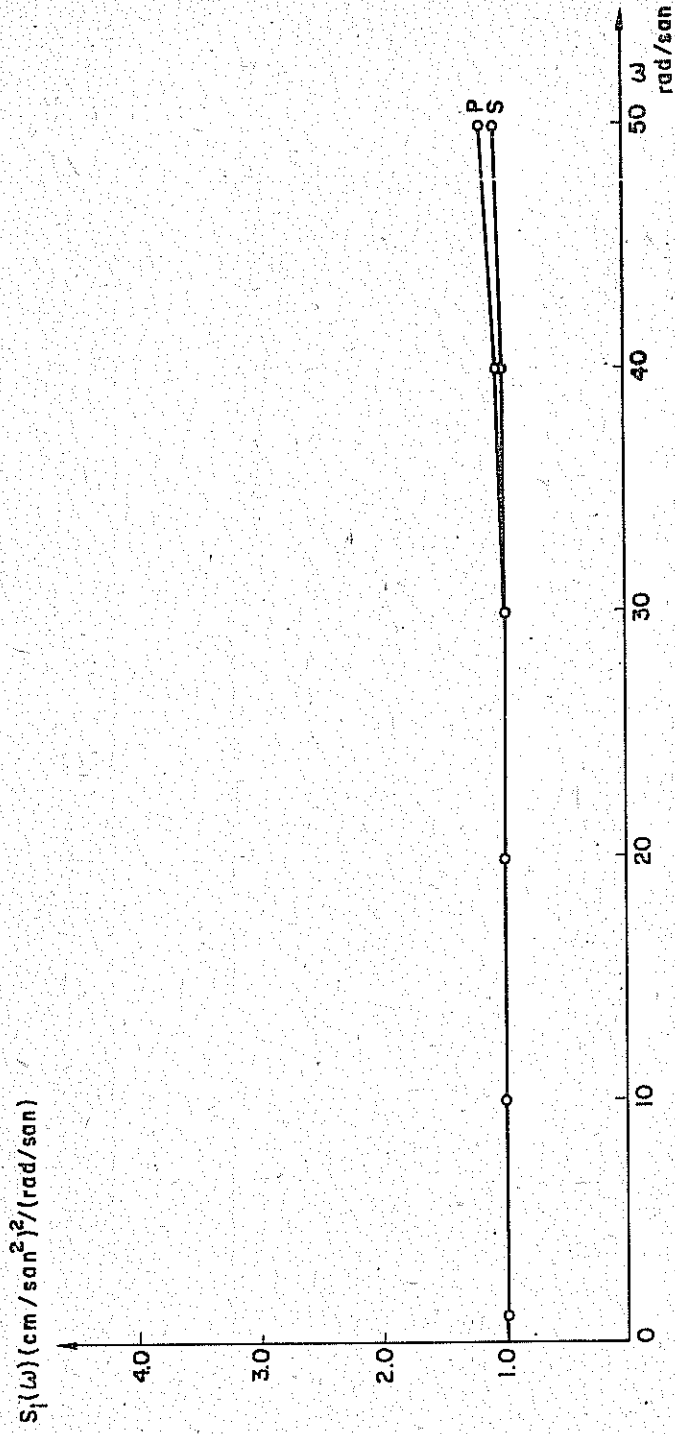
Şekil I.9 Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ İle Değişmesi $\omega = 100.0 \text{ rad/san}$.



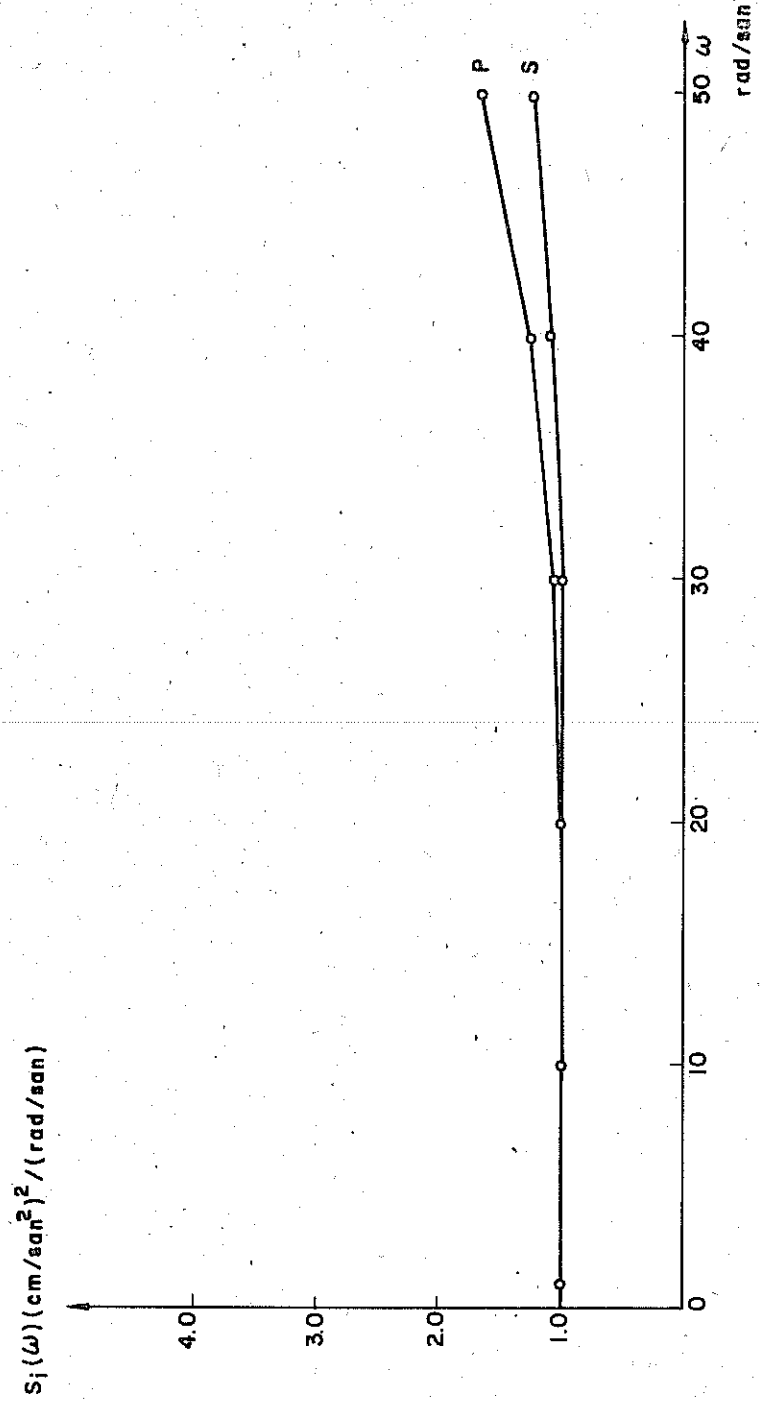
Şekil I.10 Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ ile Değişmesi $\omega = 250.0 \text{ rad/san}$



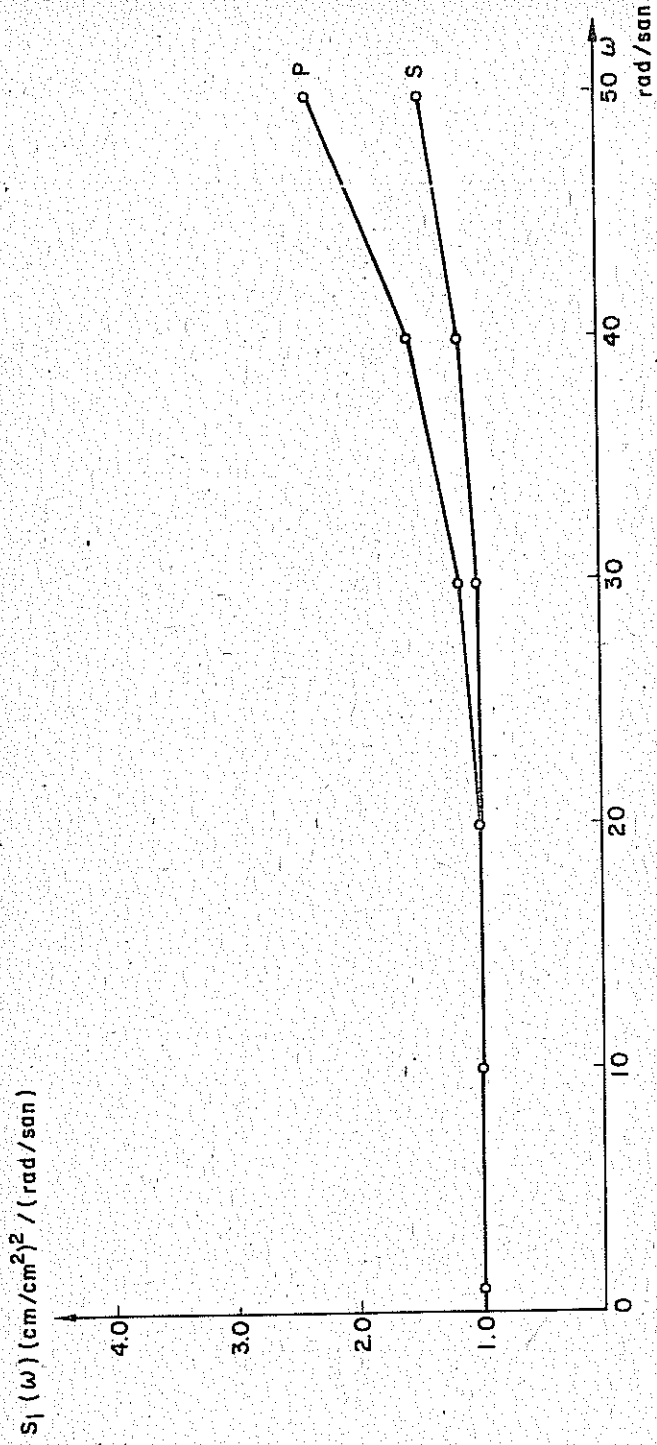
Şekil I.11 Spektral Yoğunluk Fonksiyonunun θ İle Değişmesi $\omega = 500.0 \text{ rad/san}$



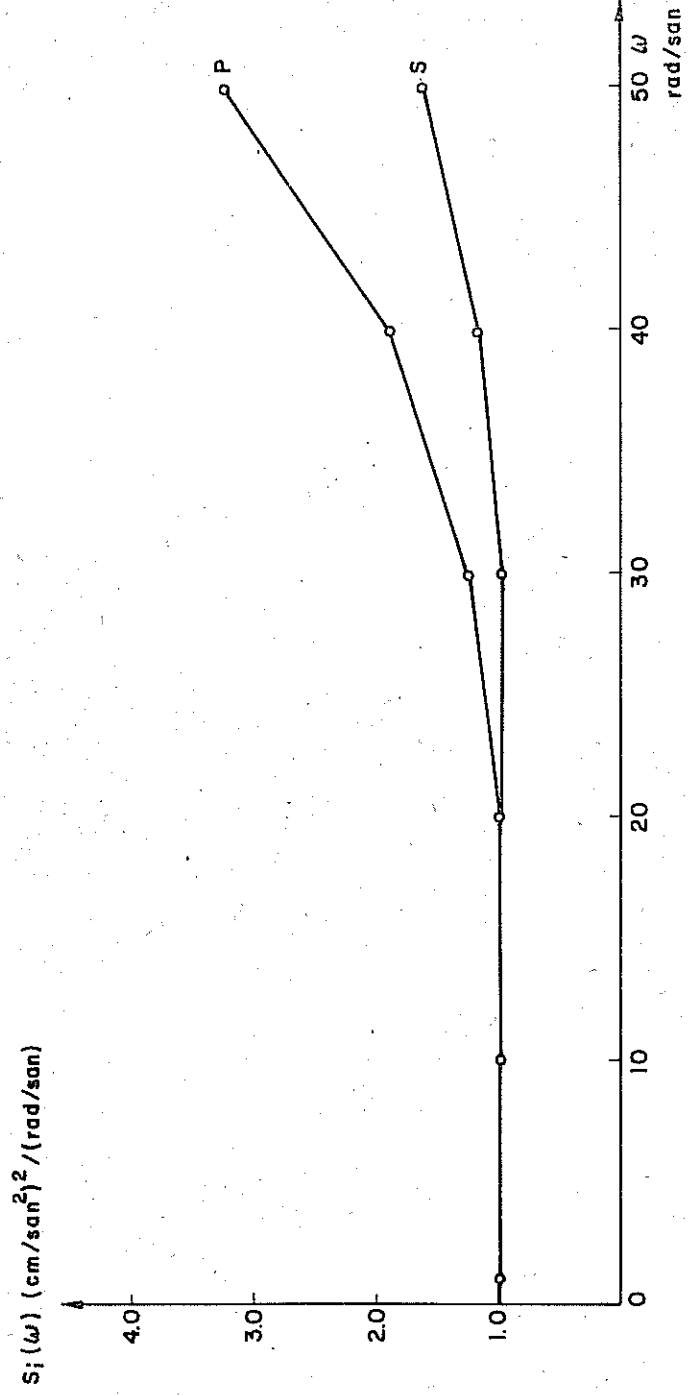
Şekil I.12 İvme Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, $\theta = 15^\circ$



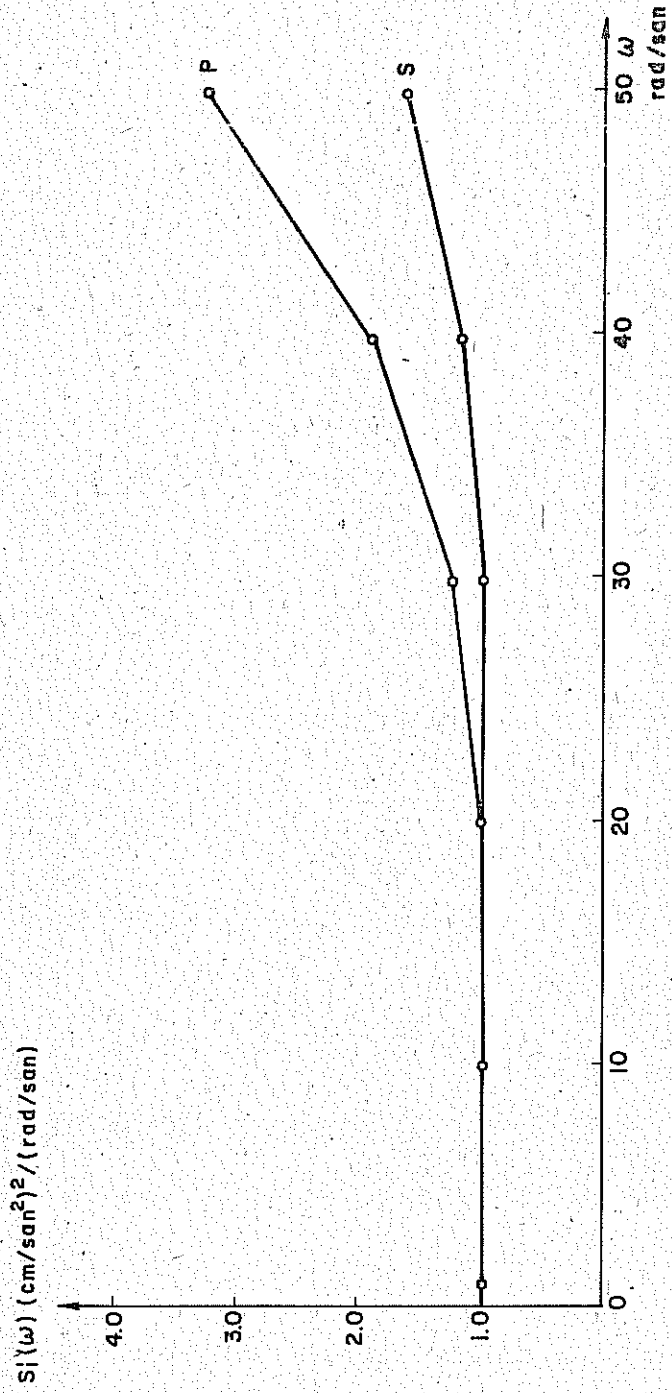
Şekil I.13 İvme Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, $O = 30^\circ$



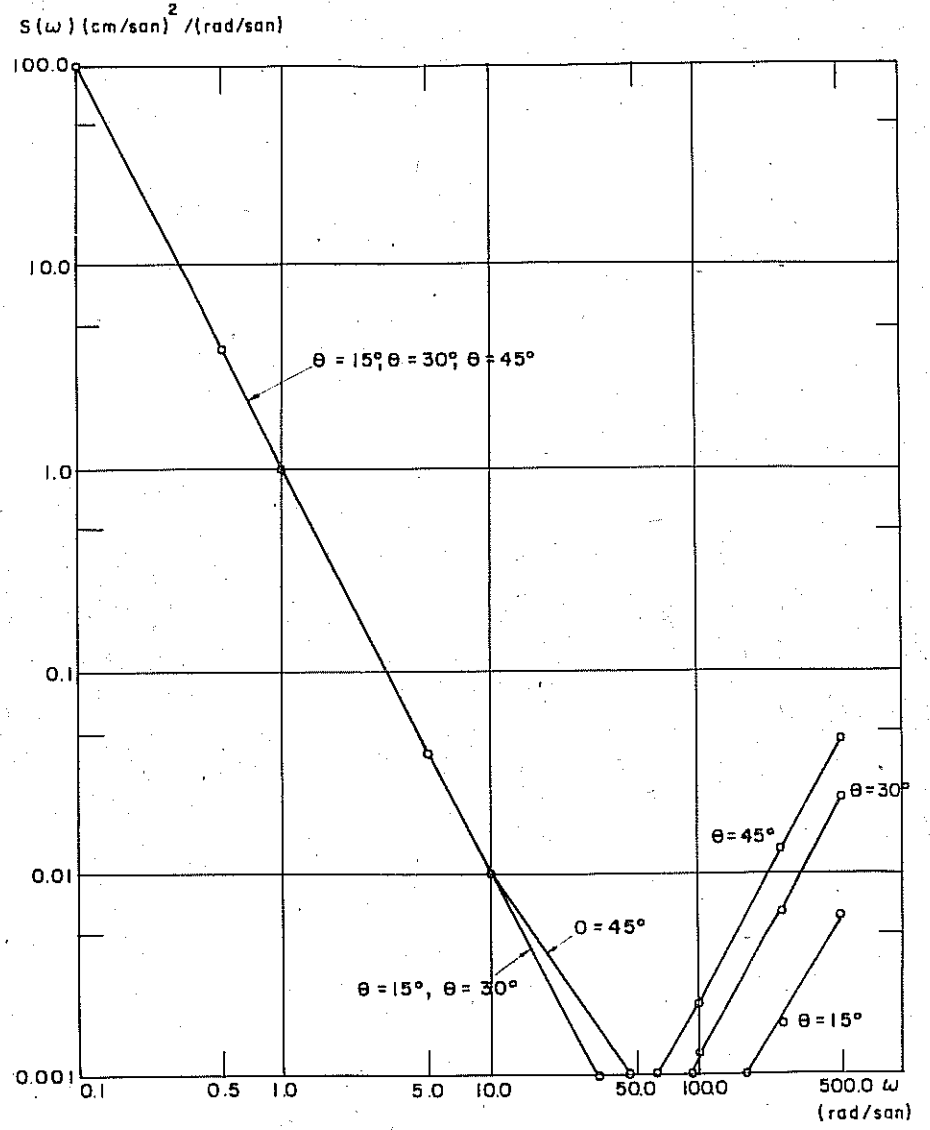
Şekil I.14 İvme Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, $\theta = 45^\circ$



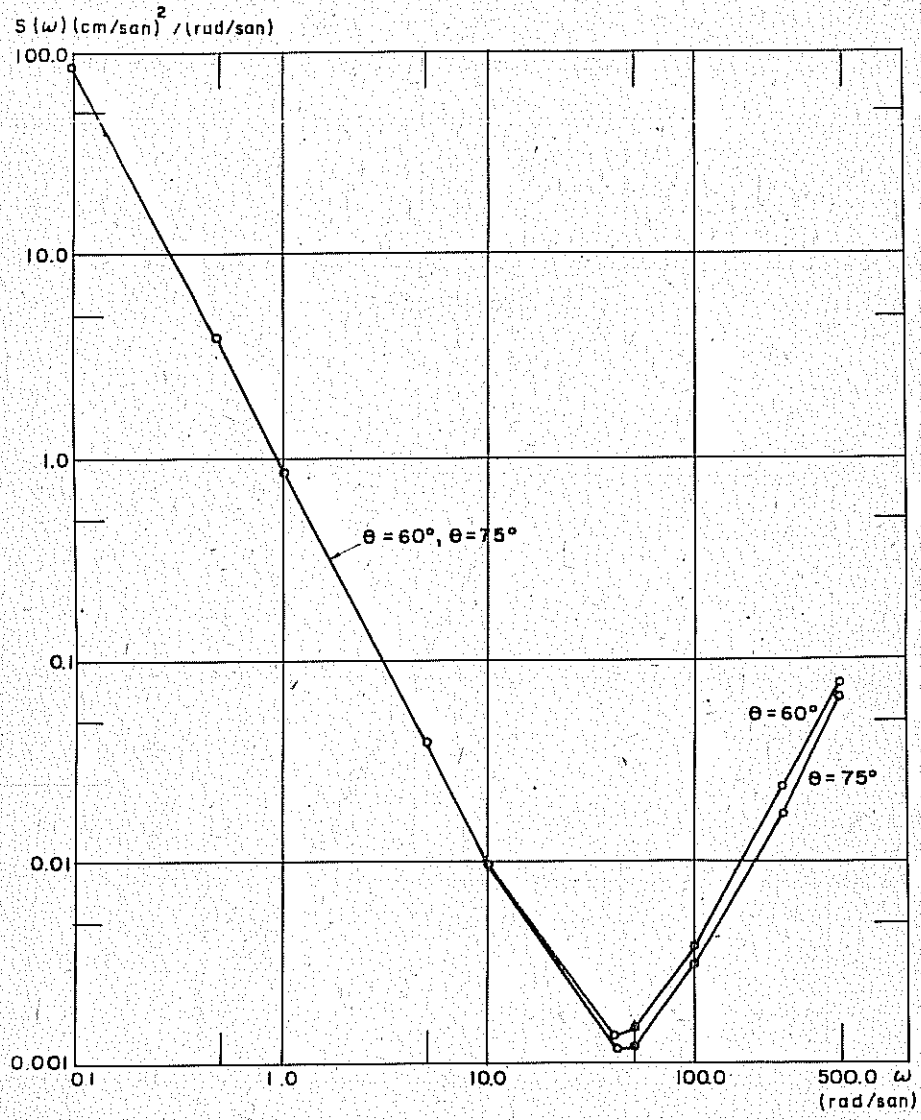
Şekil I.15 İvme Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, $\theta = 60^\circ$



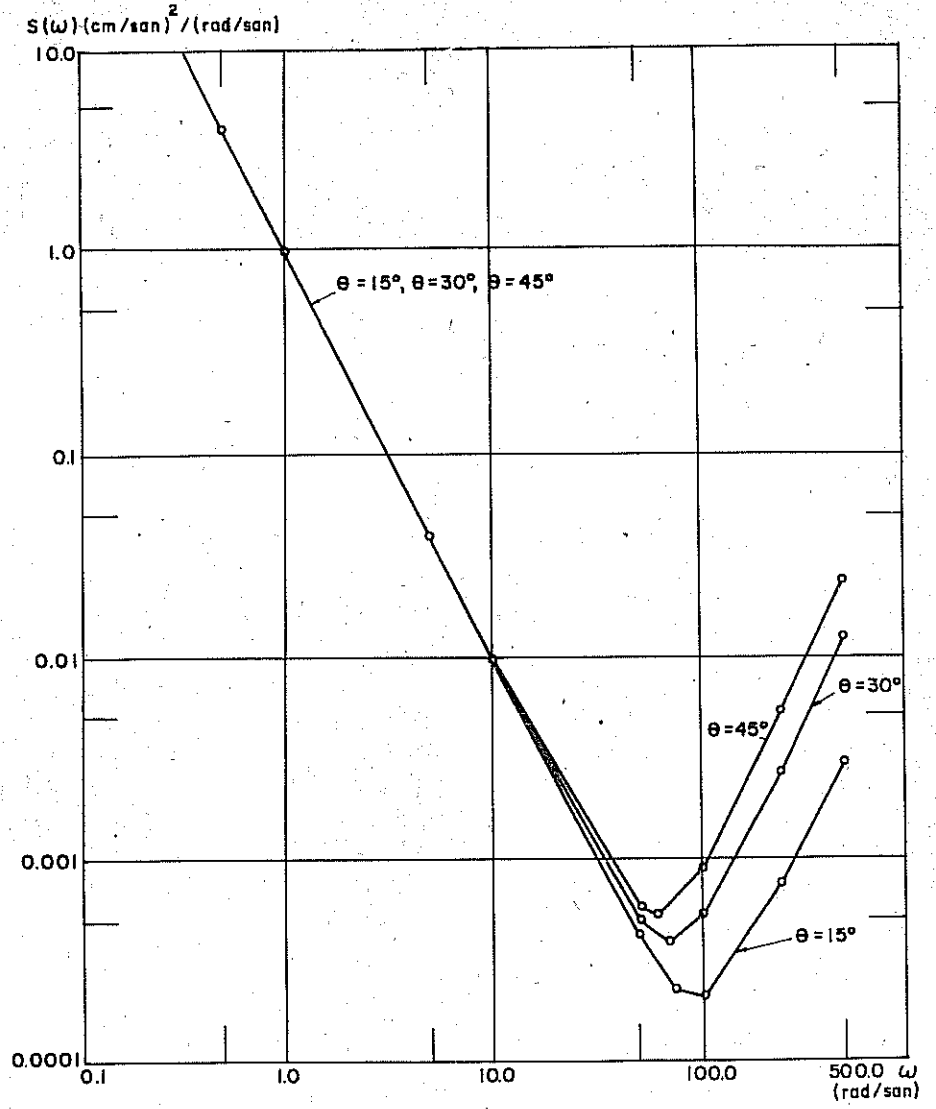
Şekil 1.16 İvme Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, $\theta = 75^\circ$



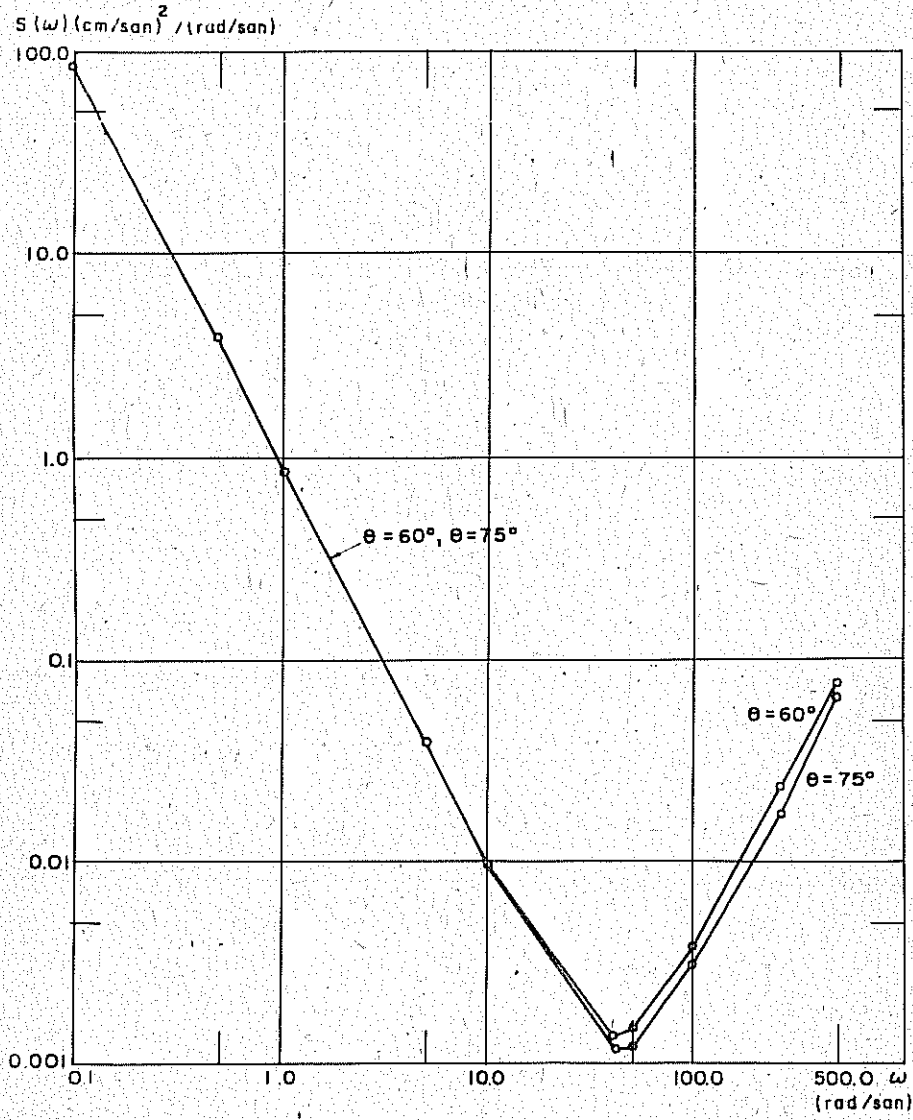
Şekil I.17 Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, P dalgası



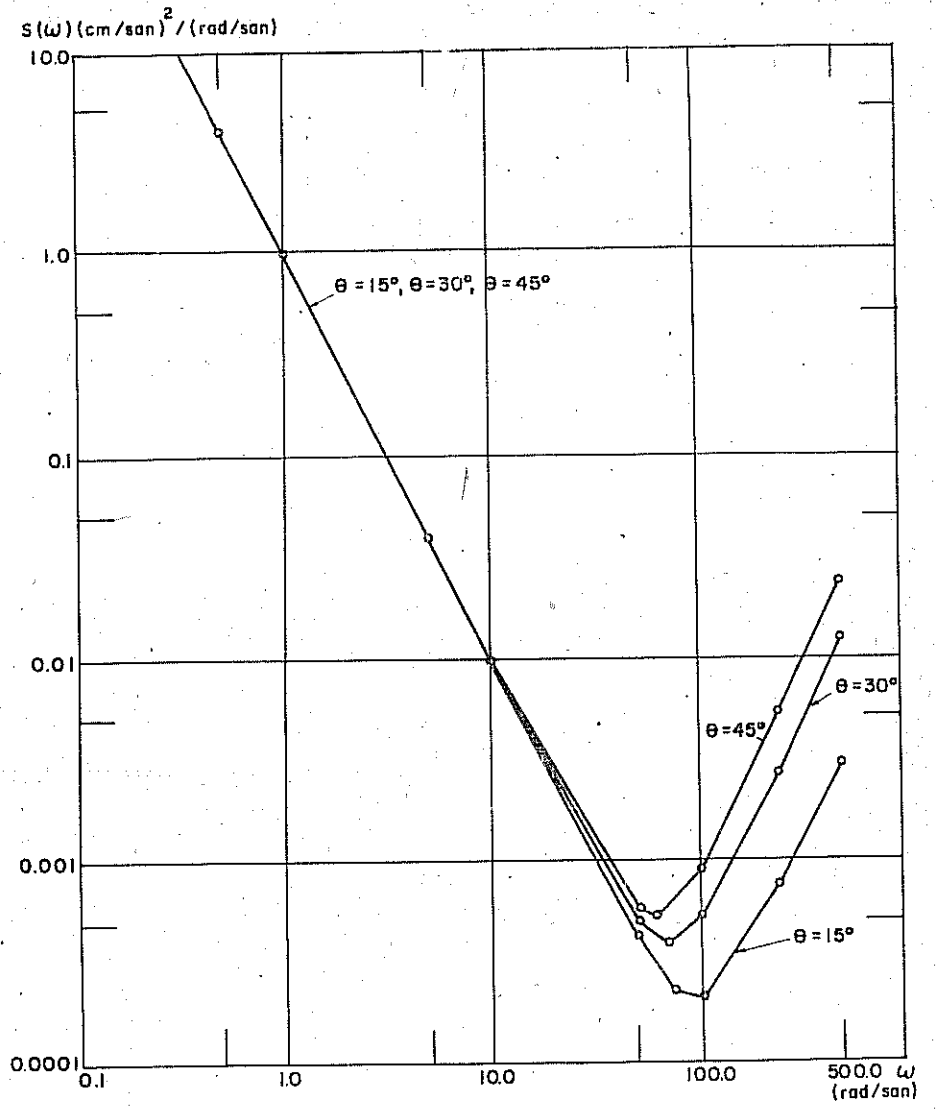
Şekil I.18 Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, P dalgası



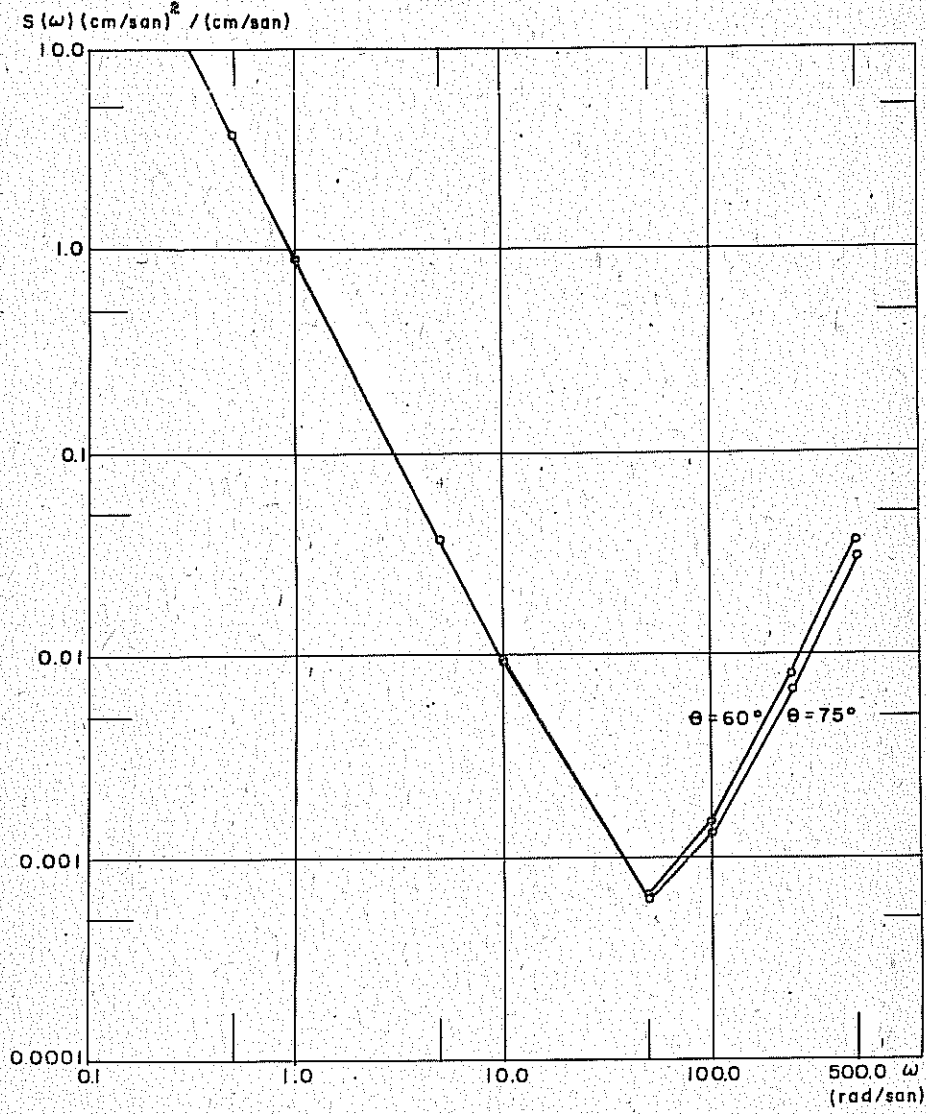
Şekil I.19 Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, S dağılışı



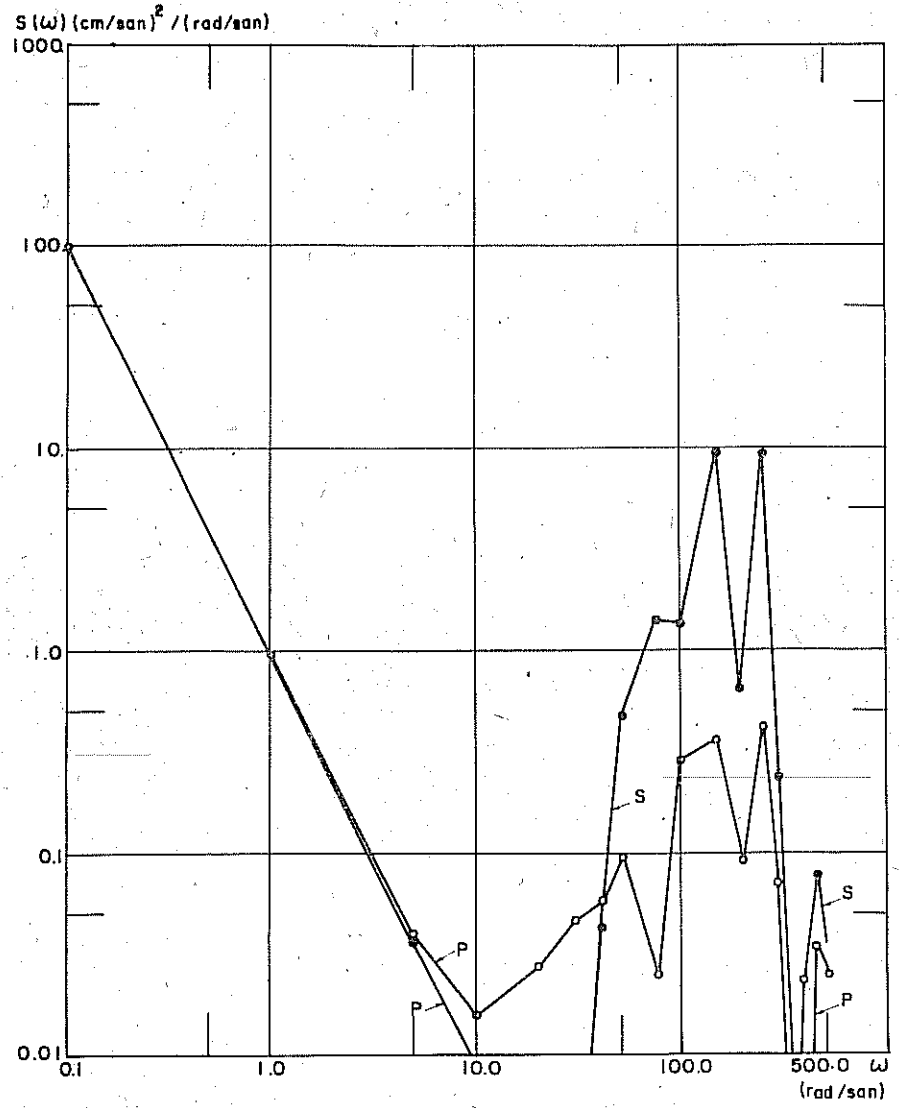
Şekil I.18 Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, P dalgası



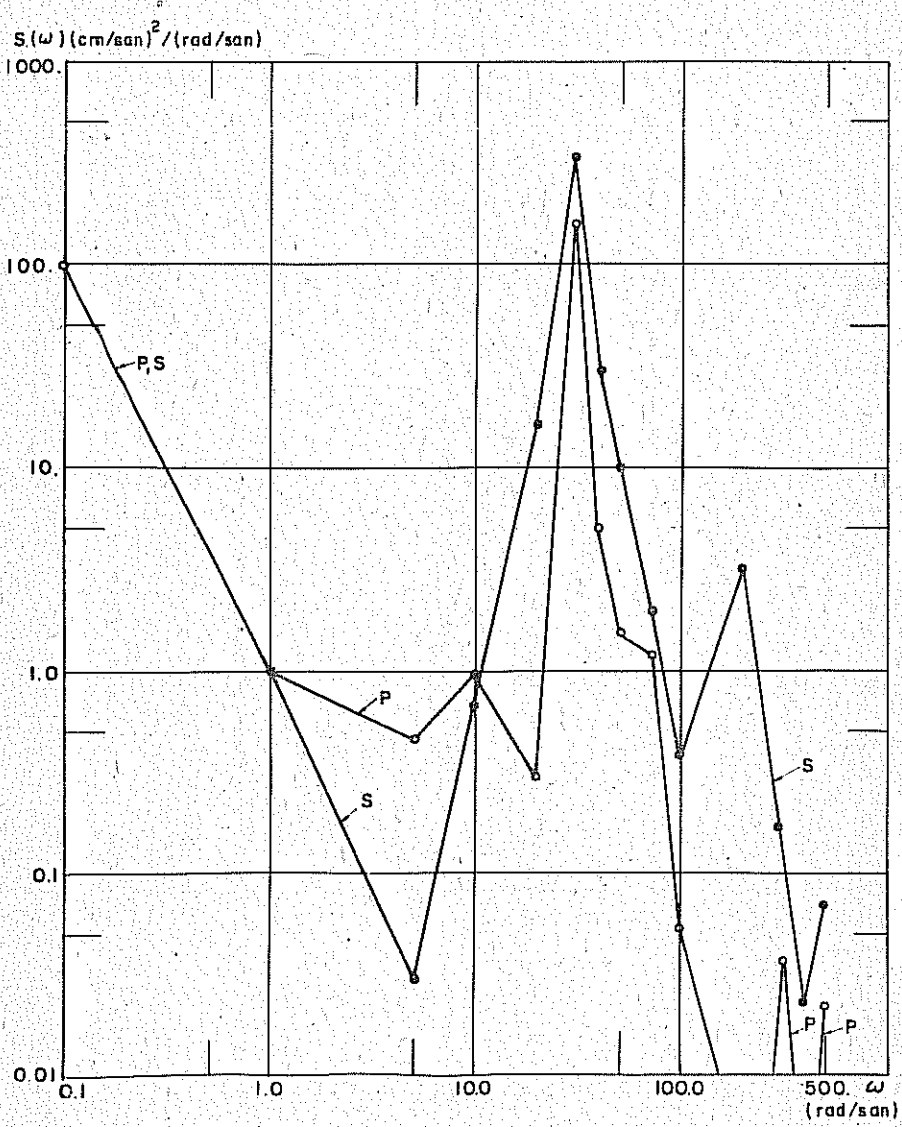
Şekil I.19 Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, S dalgası



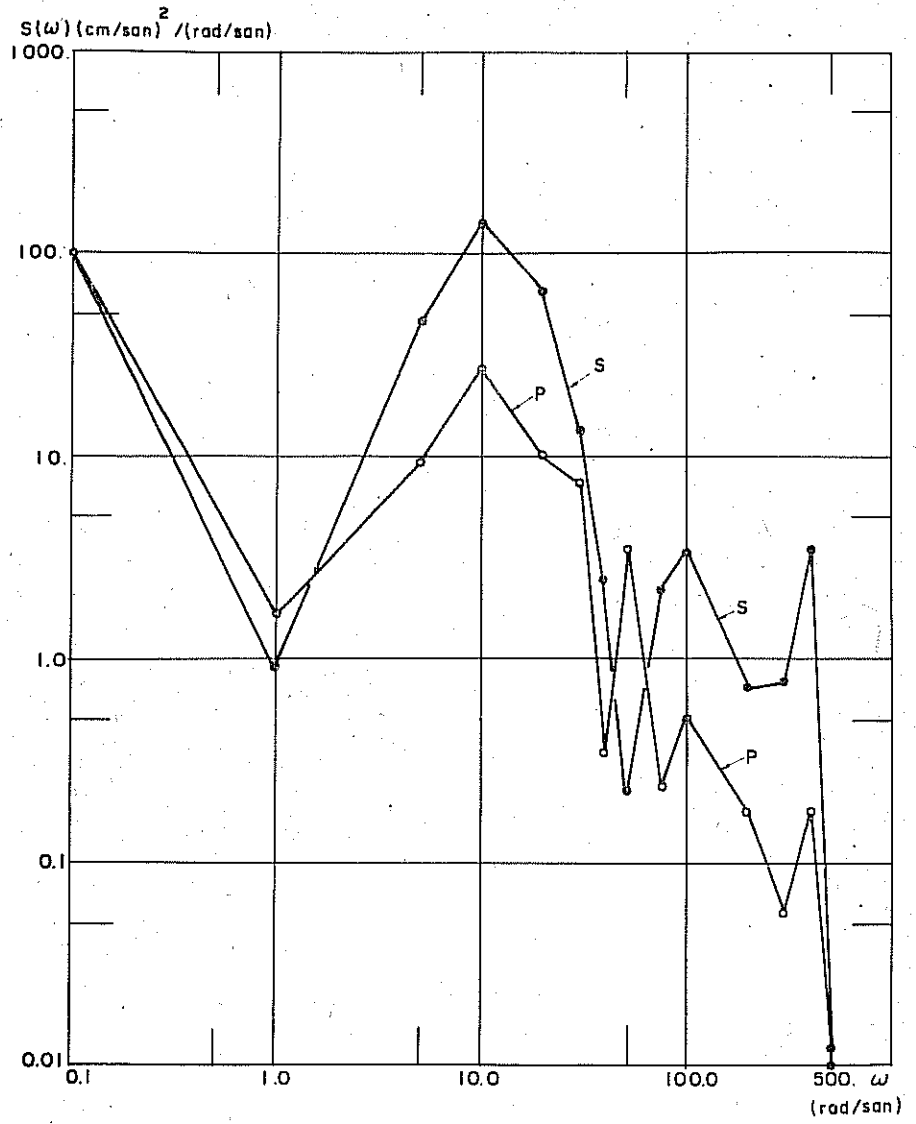
Şekli I.20 Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonları, S dalgası



Şekil I. 21 Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, $d = 1 \text{ m}$.



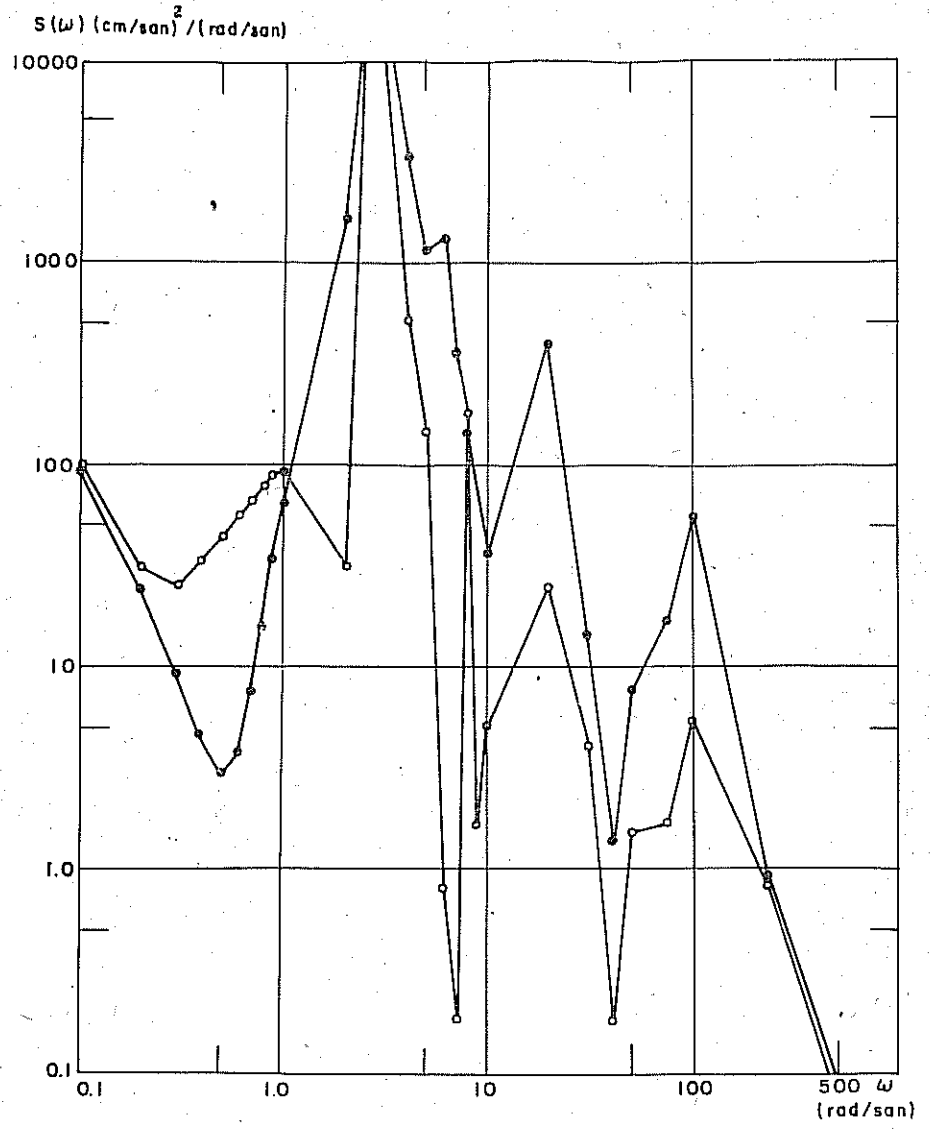
Şekil I.22 Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, $d = 4 \text{ m}$.



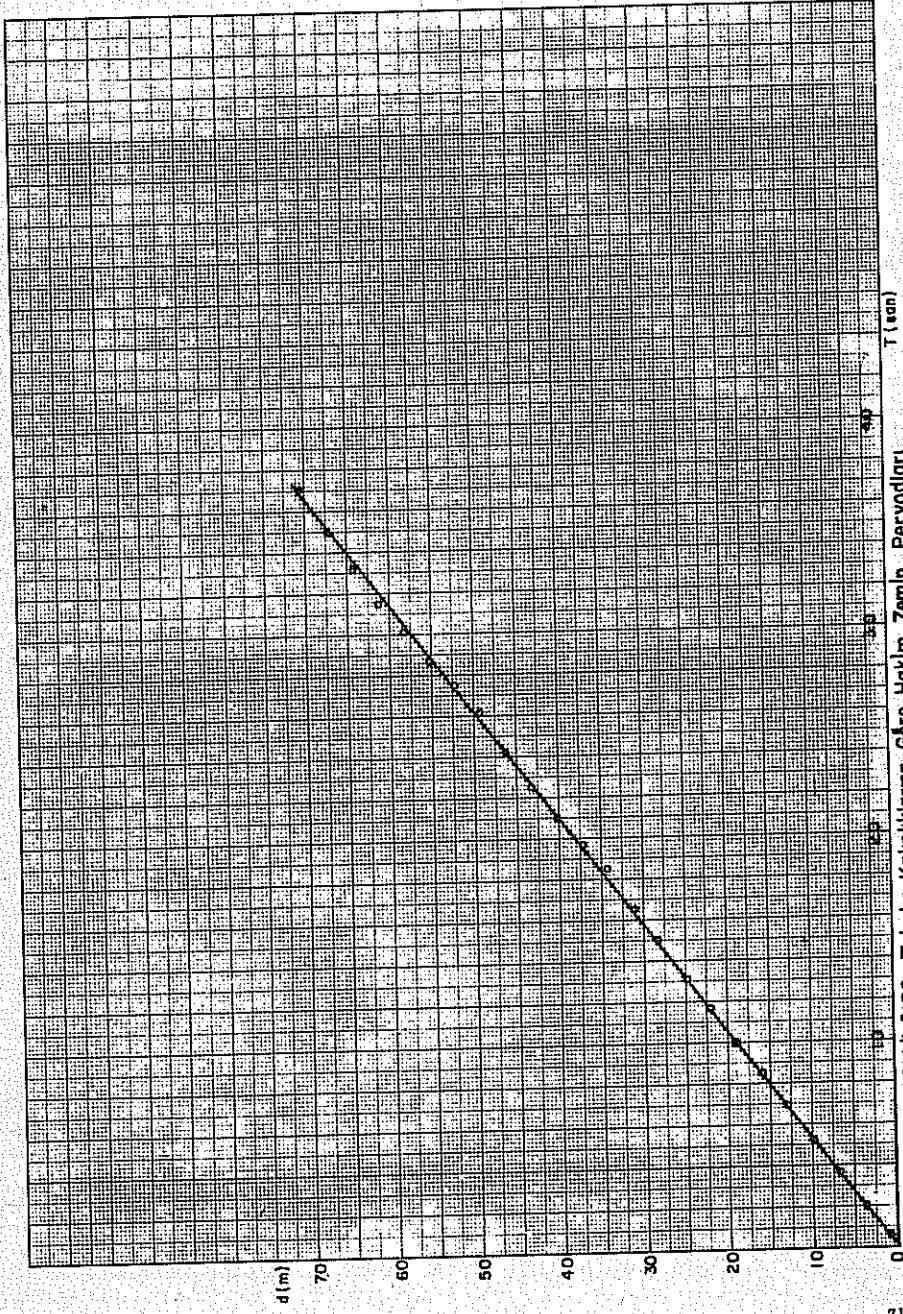
Şekil I.23 Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, $d=10m$.



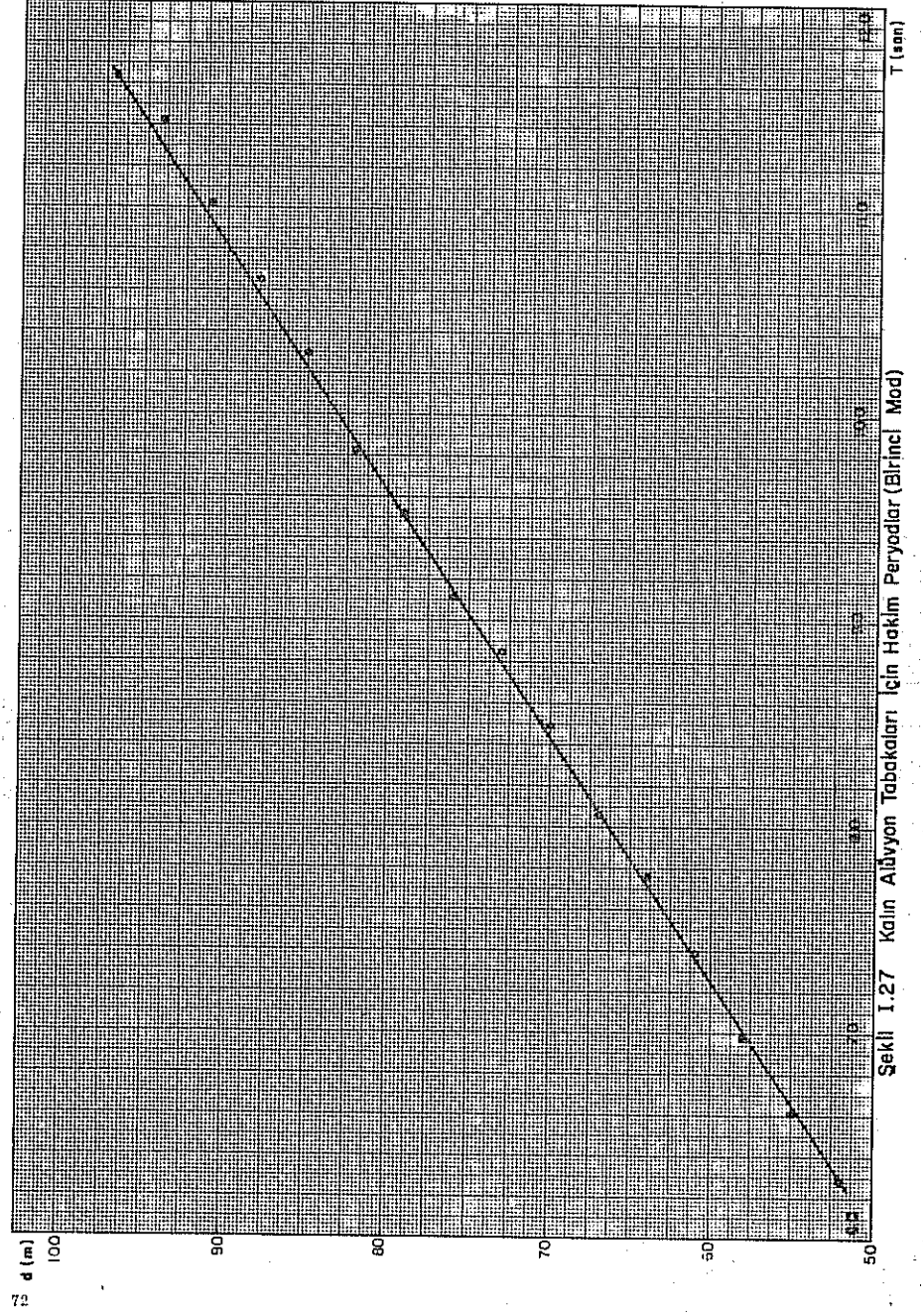
Şekil I.24 Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, $d=16\text{m}$.



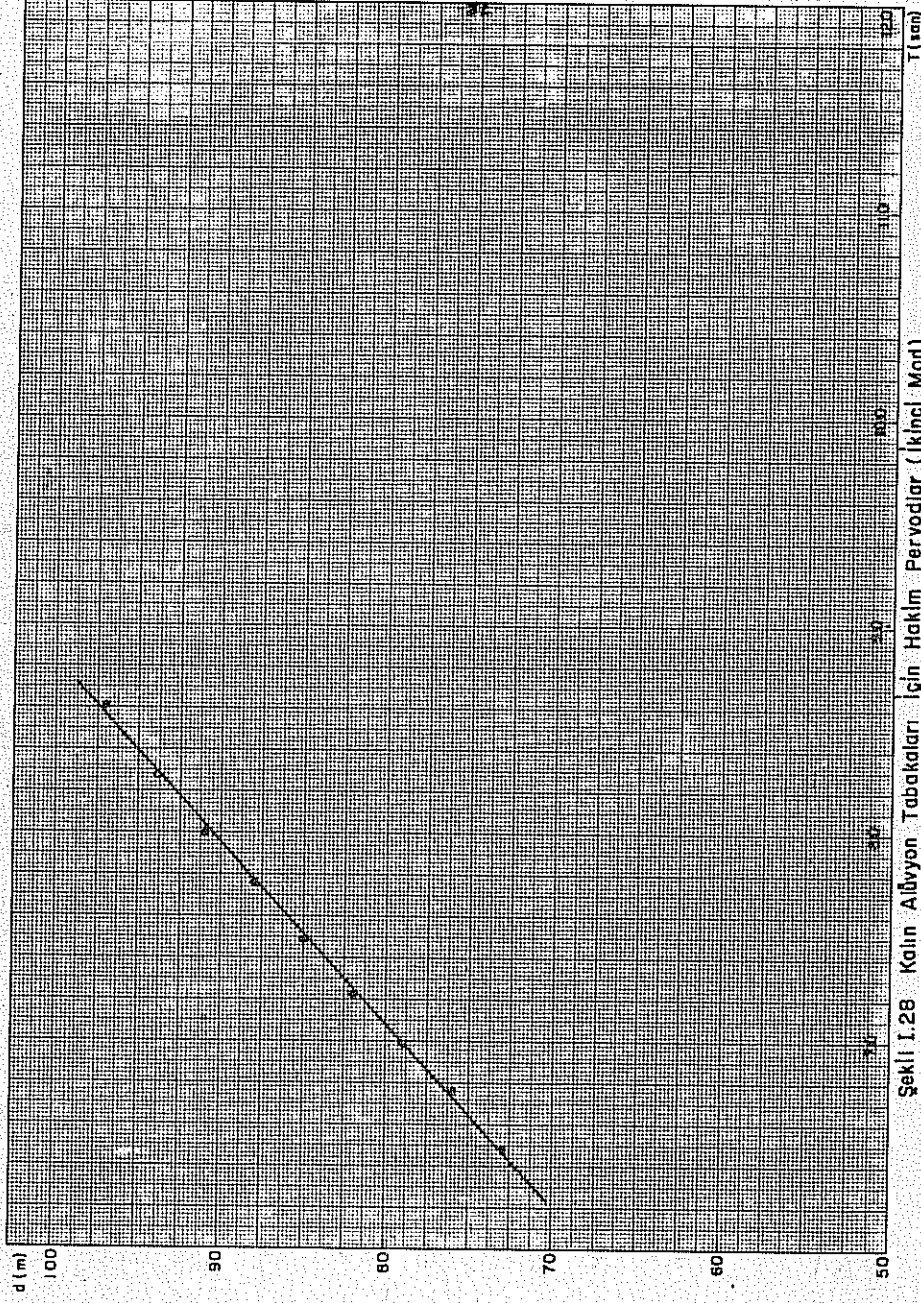
Şekil I.25 Hız Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, $d=40\text{m}$.



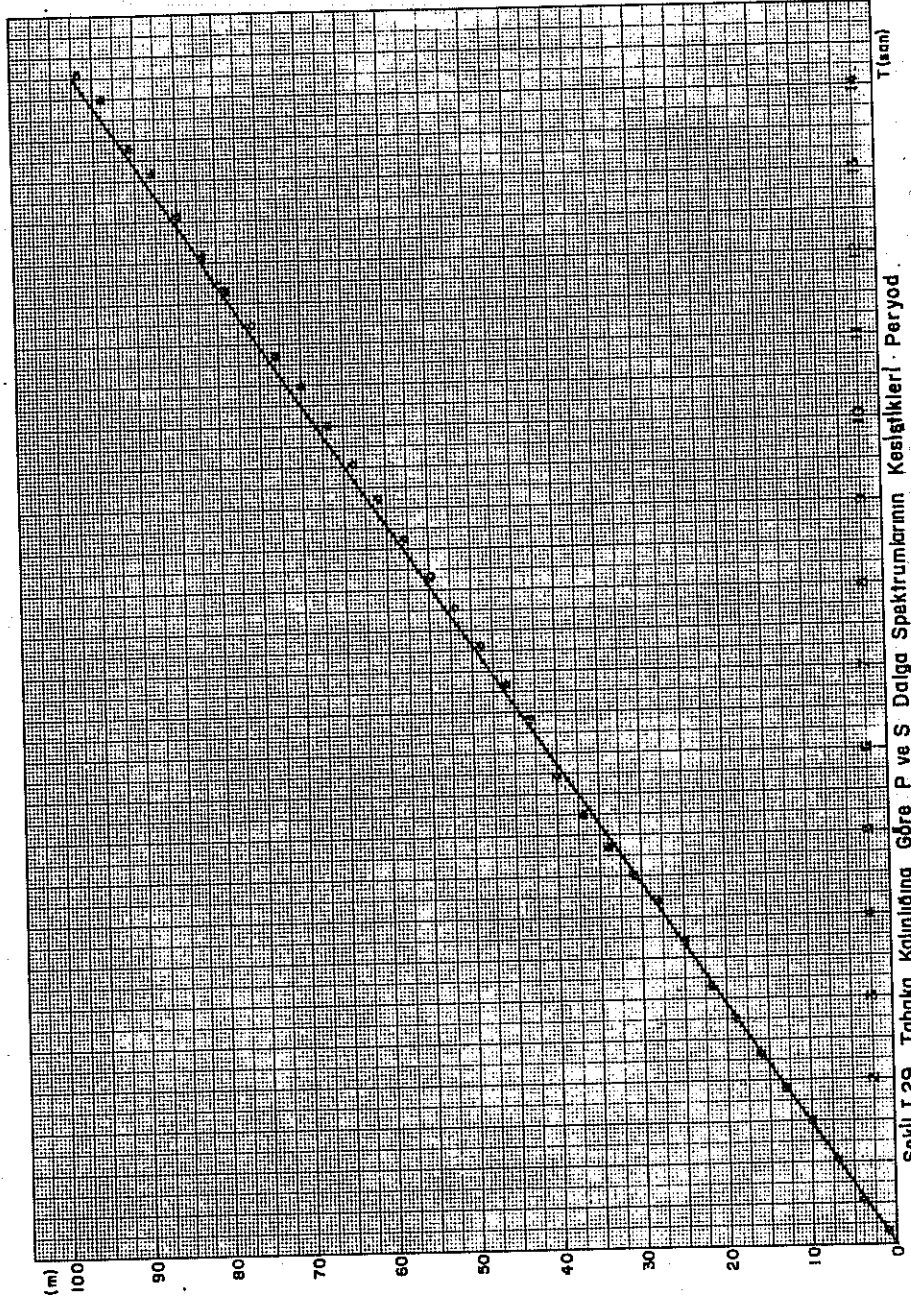
Şekil I.26 Tabaka Kalınlıklarına Göre Hakim Zemin Periyodları



Şekil I.27 Kalın Alüvyon Tabakaları İçin Hakim Periyotlar (Birinci Mod)

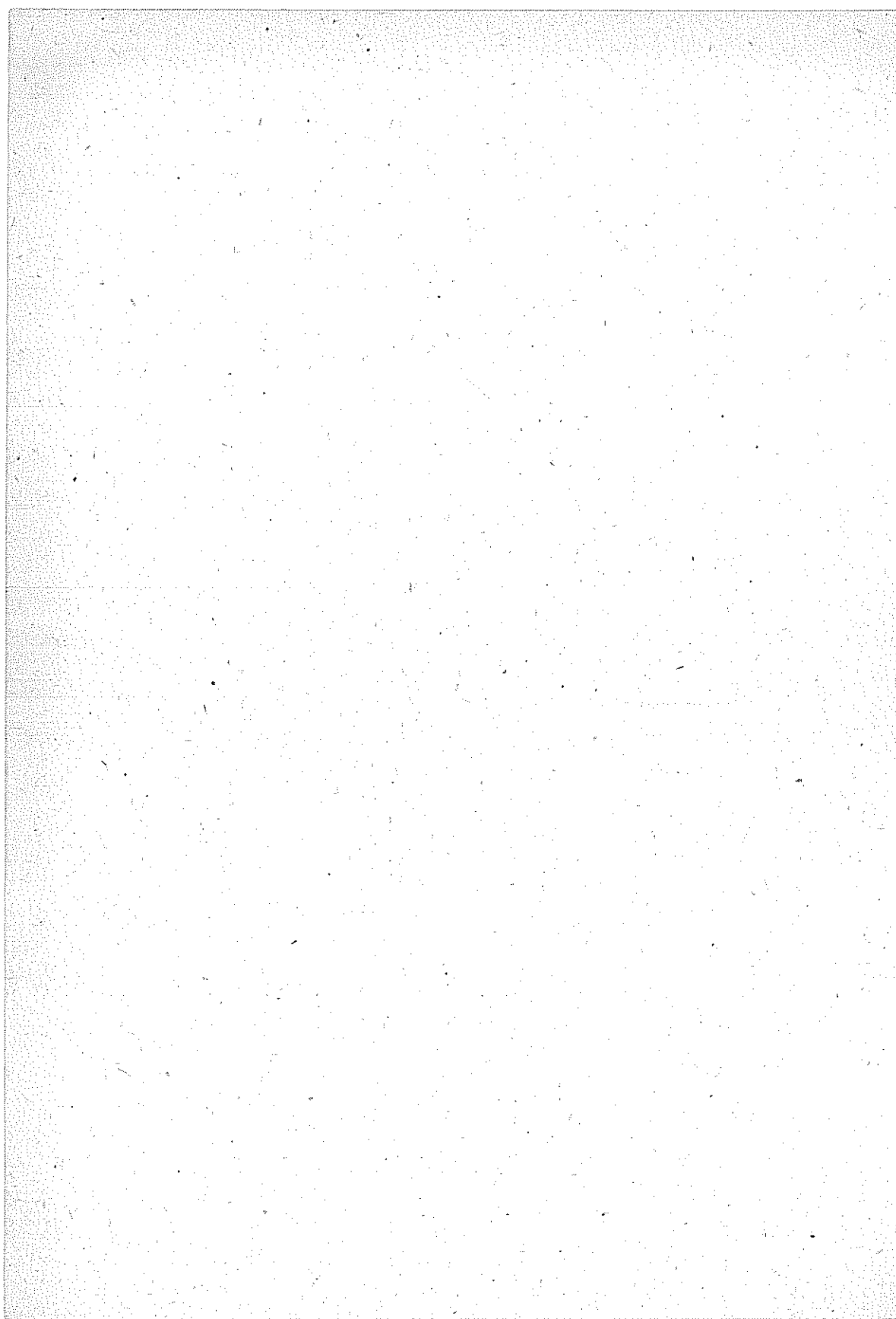


Şekil I.28 Kalın Albyon Tabakaları İçin Hakim Periyodlar (Kınel Mod)



Şekil 1.29 Tabaka Kalınlığına Göre P ve S Dalga Spektrumlarının Kesitlikleri - Peryod.

EK II.
ÖRNEK ÇÖZÜM



TÜRKİYE KIZILAY DERNEĞİ ATATÜRK SOSYAL TESİSLERİ

JEODİNAMİK TAHKİK

1. Giriş

Mühendislik sismolojisi, deprem mühendisliği ve zemin dinamiği açısından etüd ve değerlendirmede tarafımızdan sunulan fikir projesi seviyesindeki yapı kompleksi esas olarak alınmıştır. Ayrıca bu yönde bir etüd için gerekli jeoteknik parametre mertebeleri, proje sahasında yapılan sondaj gözlemleri ve laboratuvar deneyleri sonuçlarından analiz ve tefsir yolu ile saptanmıştır.

Fikir projesinde öngörülen alt yapı sistemi ve gözlenen jeoteknik bulgular paralelerinde, üst yapı kompleksinin sismik etken yönünden projelendirilmesine esas teşkil edecek gerekli spektral değerler yapılan araştırma sonucunda tesbit edilmiştir.

2. Analiz ve Etüd

2.1. Genel

Yapılan etüdde üç yaklaşım göz önüne alınmıştır. Bu yaklaşımlar deterministik, ampirik ve teorik olarak adlandırılabilirler.

Deterministik bir yaklaşım için, etüd edilen bölgede en az bir veya birkaç kuvvetli deprem akselograf kaydının yapılmış olması gereklidir. Türkiye'de bu tip kayıtların alınmasına ise yeni başlanmıştır. Tepici spektrumlarının, Türkiye dışında gözlenmiş kuvvetli deprem kayıtları paralelinde tesbiti ise kanımızca geçerli olmayacaktır. Bu nedenle, yapılan etüdde T.C. İmar ve İskân Bakanlığı'nca yayınlanmış tablo ve haritalar Ankara bölgesi için potansiyel sismik aktivitenin seçilmesinde ana kaynak olarak kullanılmıştır (Referans 1, 2, 3).

Spektral değerler ayrıca teorik ve ampirik yaklaşımlarla tahkik edilmiştir. Bu kez spektrumlar, 'güç spektrumu' diye de adlandırılan spektral yoğunluk fonksiyonları olarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşımda öncelikle

ampirik yollarla, Ankara merkez bölgesi için taban kayasına intikal edecek potansiyel sismik aktivitenin spektral yoğunluk fonksiyonu makro-bölgelen - dirme ile tespit edilmiştir. Bilâhare, taban kayasına intikal eden sismik aktivitenin, kaya üstünde yer alan zemin formasyonu tarafından ne yönde ve mertebede modifiye edileceği mikro-bölgelendirme ile tahkik edilmiştir. Mikro-bölgelendirmede taban kayası-zemin bileşik yapısı için hem sürekli ortam ve hem de toplanmış kitle kabulleri paralelinde karşılaştırmalı bir etüd yapılmıştır.

2.2. Makro-Bölgelendirme

İmar ve İskân Bakanlığı'nca 1973 yılında çıkarılan bir kanunla yürürlüğe giren (Deprem Bölgeleri Haritası)'nda, Ankara merkez ve civarı 4. derece deprem bölgesi olarak tanımlanmıştır. Ankara bölgesi için yakın tarih boyunca dökümente edilmiş sismik aktivite gözlemleri tarafımızdan ayrıca değerlendirilmiştir. Şöyleki, deprem şiddeti (M ; magnitüde) Richter skalasına göre ifade edildiğinde, 1600 ile 1969 yılları arasında Ankara bölgesinde ($5.75 < M < 8.10$) şiddet mertebesinde iki deprem vuku bulmuştur. (Referans 1, 2, 3). Bu depremler episantrları Ankara'ya (merkez) 114 km. ve 152 km. mesafede olan 1943 - Çankırı ($M = 7.50$) ve 1944 - Bolu ($M = 7.50$) depremleridir (Referans 1). Yani, geçen 400 yıla yakın süre zarfında episantrı Ankara'ya (merkez) 100 km. den yakın olan büyük ($M > 5.75$) bir deprem vuku bulmamıştır. Bu gözlemlerden iki sonuç önerilebilir :

- a. Episantrları Ankara'ya yakın olan depremler muhtemelen küçük olacaktır ;
- b. Episantrları Ankara'ya 100-150 km. uzaklıkta büyük veya çok büyük, ($M > 5.75$) şiddet mertebesini haiz, depremlerin vuku bulmaları muhtemeldir.

Bu sonuçlar jeolojik verilerle de kanıtlanabilir. Ankara ve civarının nisbeten oturmuş (statik) jeolojik yapısına karşın, bu bölgenin 100 km. kadar kuzeyinde 'çok büyük' potansiyel sismik aktivite kaynağını haiz (Kuzey Anadolu Fay Hattı) yer almaktadır.

Yukarıda söz konusu olan hususlar Ankara bölgesi için bir proje depremi tesbitinde göz önünde tutulması gerekli ana etkenlerdir. Neticede proje depremi olarak, episantrı Ankara'dan 100 km. mesafede ve şiddet derecesi ($M = 3.0$) mertebesinde bir depremin seçimi tarafımızdan uygun görülmüştür.

Sismik aktivitenin Kuzey Anadolu Fay Hattı mekanizmasından doğa - cağı varsayıldığından, odak derinliğinin de 25 km. olarak alınması makul olmaktadır (Referans 1, 2, 3). Bu paralelde de proje depreminin Ankara bölgesi için sismik dalga geliş açısı, θ , Şekil 1'de gösterildiği gibi 75 derece mertebesinde olmaktadır. Sismik dalga geliş açısı, θ , mikro - bölgelendirme- sürekli ortam modellendirmesinde anahtar bir parametredir

(Referans 6). Yine bu kabul ve veriler paralelinde, Seed ve Kiefer (Referans 4) tarafından önerilen yaklaşımla, proje depremi için dalga hakim periyodunun 0.5 san. ile 1.0 san. mertebesinde olduğu saptanmıştır.

2.3. Mikro-Bölgelendirme

Mikro-Bölgelendirme iki bölümde yapılmıştır :

(1). Etüd edilen bölge için taban kayasından zemine intikal ettiği kabul edilen sismik aktivite spektrumunun $[S_1(T)]$ araştırılması :

Bu etüd Kanai'nin (Referans 7) önerdiği ampirik yaklaşımla yapılmıştır. Kanai tarafından teklif edilen ampirik model taban kayasındaki spektrumu 'proje depremi şiddeti'; M , 'episantr uzaklığı' ve 'deprem hakim periyodu; T_g ' bağımlılığında vermektedir.

$$S_1 = 10^{0.61M - 1.73R - 0.67} \left[1 + \frac{1}{\left\{ \left[\frac{(1+\alpha)}{(1-\alpha)} \right]^2 \left[1 - \left(\frac{T}{T_g} \right)^2 \right]^2 + \left[0.3/\sqrt{T_g} \right]^2 \left(\frac{T}{T_g} \right)^2 \right\}^{1/2}} \right]$$

Bu formülde ;

M : Richter skalasında proje deprem şiddeti (magnitüde): analizde 8.0 olarak alınmıştır

R : Episantr uzaklığı: analizde 100 km. olarak alınmıştır

$$\alpha = \frac{\rho_1 v_1}{\rho_2 v_2}$$

ρ_1 : Zemin tabakası için ortalama karakteristik yoğunluk

ρ_2 : Taban kayası için karakteristik yoğunluk

v_1 : Zemin tabakası için ortalama karakteristik kayma dalgası hızı

v_2 : Taban kayası için karakteristik kayma dalgası hızı

T : Tabii periyod

T_g : Sismik aktivitenin doğurduğu kayma dalga sistemi için hakim periyod: analizde 0.5 san. ve 1.0 san. olarak alınmıştır.

Bu paralelde elde edilen ' $S_1(T)$: Tepki Hızı Spektrumları' Şekil II.2'de gösterilmiştir.

(2) Taban kayasından zemine intikal eden $S_1(T)$ spektrumunu zeminin ne yönde ve mertebede etkilediği ve bu paralelde zeminden üst yapı tabanına intikal eden tepki için spektral araştırma :

Sözkonusu bölge için zemin tabakalarının spektrumunu nasıl etkilediği öncelikle ifade edildiği gibi hem sürekli ortam ve hem de toplanmış kütle kabulleri için araştırılmıştır. Bu araştırmalarda kullanılan karakteristik jeoteknik-jeodinamik parametre mertebeleri Şekil II.3'de tarafımızdan tesbit edilen idealize zemin profili paralelinde gösterilmiştir.

Sürekli ortam yaklaşımında 'sismik dalga geliş açısı; θ ' 75 derece olarak alınmıştır. 'Ana taban kayası'na intikal eden sismik aktivite spektrumunu (Şekil II.2) zemin tabakalarının nasıl etkilediğinin, 'sürekli ortam modellendirmesi' (Referans 6) ile tahkikinden elde edilen (Spektral yoğunluk fonksiyonu) Şekil II.4'de verilmiştir.

'Toplanmış kütle modellendirmesi' tahkikinde (Referans 8) 'ana taban kayası' üzerinde yer alan üç karakteristik zemin tabakası yalnız kesme (kayma) hareketini ileten üç serbestlik dereceli bir sistem olarak idealize edilmiştir. Her tabaka için karakteristik tabii frekanslar Seed (Referans 8) tarafından önerilen :

$$\omega_i^2 = \frac{G_i g}{2h_i^2 \delta_i}$$

yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Burada

g : yerçekimi ivme sabiti

h_i : i tabakası kalınlığı

δ_i : i tabakası yoğunluğu

G_i : i tabakası kayma deformasyon-modülü

olmaktadır. Bu şekilde hesaplanan tabii frekans değerleri

$$\omega_1 = 23 \text{ rad/san}$$

$$\omega_2 = 38 \text{ rad/san}$$

$$\omega_3 = 12 \text{ rad/san} \quad , \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Bulunan tabii frekans değerleri paralelinde bu üç serbestlik dereceli sistemin (spektral yoğunluk fonksiyonu), $S_3(\tau)$, Kanai'nin ampirik formülünün (Referans 7)

$$S = \frac{1+4D_i}{[1-(\frac{\omega}{\omega_i})^2]^2 + 4D_i(\frac{\omega}{\omega_i})^2}$$

genelleştirilmesi ile elde edilmiştir. $S_3(\tau)$ spektrumu Şekil II.5'da verilmiştir.

3. Proje (Dizayn) Spektrumu

Şekil II.4 ve Şekil II.5'de verilen spektral yoğunluk fonksiyonları (cm/san²/san) birim ölçeğinde ifade edilmektedir. Bu spektral değerleri bir fizibilite ve proje çalışmasında direkt olarak kullanabilmek için spektral değerlerin ivme birim ölçeğine dönüştürülmesi ve spektrum şekillerinde bazı basitleştirmeler yapılması gerekmektedir. Bu paralelde, $S_2(\tau)$ ve $S_3(\tau)$ spektral yoğunluk fonksiyonları Şekil II.6'da gösterildiği şekilde idealize edilmiştir. Bu yönde yapılan bir tahkikde genellikle $T \leq 0.2$ san. mertebesindeki periyodlar için güvenilir sonuçlar alınmadığından, değerlendirmede bu periyod kesimi nazarı itibara alınmamıştır.

S_H (hız spektral yoğunluk fonksiyonu)'ndan, (ivme spektral yoğunluk fonksiyonu)'nun elde edilebilmesi için S_H 'nin $(\frac{2\pi}{T})^2$ ile çarpılması gerekmektedir. Bu işlem yapılarak S_i fonksiyonu tesbit edilmiş ve müteakiben fonksiyonu tanımlayan eğrinin, yani $S_i(\tau)$ eğrisinin altında kalan alanın periyodla değişmesi hesaplanmıştır. Bu ikinci işlem sonunda elde edilen 'idealize edilmiş' (ivme spektral yoğunluk fonksiyonu) şekil II.7'de verilmiştir.

Şekil II.8'de ise şiddetli sismik aktivitenin (strong motion) kaydedildiği 1940-El Centro depremi için, aynı yaklaşım kullanılarak Bycroft (Referans 9) tarafından araştırılarak saptanan idealize (ivme spektral yoğunluk fonksiyonu) gösterilmiştir. Bu meyanda, 1940-El Centro depremi için kaydedilen yatay doğrultudaki maksimum ivmenin 0.33 g mertebesinde olduğu ve adı geçen sismik aktivitenin frekans muhtevası yönünden, Şekil II.8'de görüldüğü gibi, çok üniform olduğuna işaret edilmelidir.

4. Sonuç

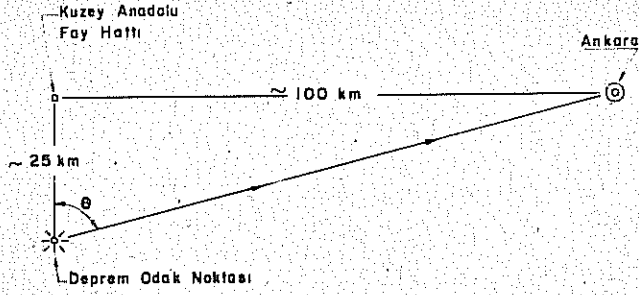
A. Şekil II.9'da sunulan proje ivme spektrum değerlerinin yapılacak bir eşdeğer statik analiz yaklaşımında kullanılması uygun olacaktır.

B. Üst yapı kompleksi için yapılacak ön çalışmalarda ;

1. Üst yapı kompleksinin tümü için hakim periyodların bulunması,
 2. Üst yapı kompleksini meydana getiren üç ünitenin her biri için hakim periyodların bulunması,
 3. (1.) ve (2.) maddede adı geçen hakim periyodlardan gayrimüsait olanlarını kullanarak proje spektrumundan dinamik yüklerin hesaplanması,
 4. Temel (alt yapı) ünitesinin yaklaşık bir metodla da olsa düşey yöndeki hakim periyodların tahkiki ve proje spektrumundan dinamik yüklerin hesaplanması,
- gerekmektedir.

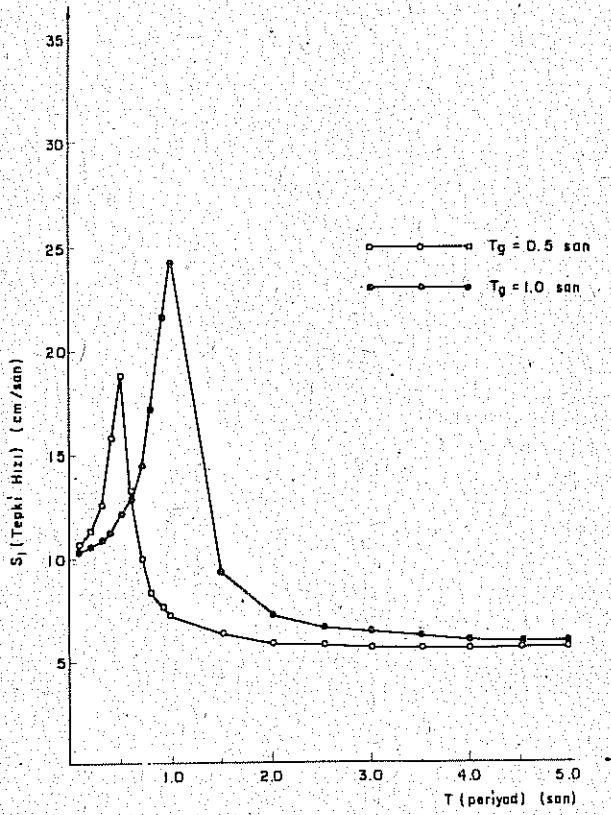
5. Referanslar

- (1) Tabban, A., Türkiye'nin Sismisitesi, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, T.C. İmar ve İskân Bakanlığı, 1969.
- (2) Tabban, A., Grafiklerle Türkiye'nin Sismik Durumu, Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, T.C. İmar ve İskân Bakanlığı, 1969.
- (3) Okamoto, S., Tabban, A., Tanuma, T., Türkiye Deprem Siddetleri Katalogu, Deprem Araştırma Enstitüsü, T.C. İmar ve İskân Bakanlığı, 1969
- (4) Seed, H.B., Idriss, I.M., Kiefer, F.W; "Characteristics of Rock Motions During Earthquakes", ASCE Jour. Soil Mechanics and Foundation Division, Sept. 1969.
- (5) Newmark, N.M.; Rosenblueth, E., Fundamentals of Earthquake Engineering, Prentice Hall Inc., 1971
- (6) Özgür, D., Gürpınar, A., Deprem İvme Spektrumunun Modellendirilmesi, TBTAk MAG-302, 1973.
- (7) Kanai, K., "An Empirical Formula for the Spectrum of Earthquake Motions", Bull. Earthquake Research Inst., Tokyo University, Vol. 39, 1961.
- (8) Seed, H.B., "The Influence of Local Soil Conditions on Earthquake Damage", Proc. International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, 1969.
- (9) Bycroft, G.N. "White Noise Representation of Earthquakes", Jour. Engineering Mechanics Division, ASCE, vol. 86, 1960.

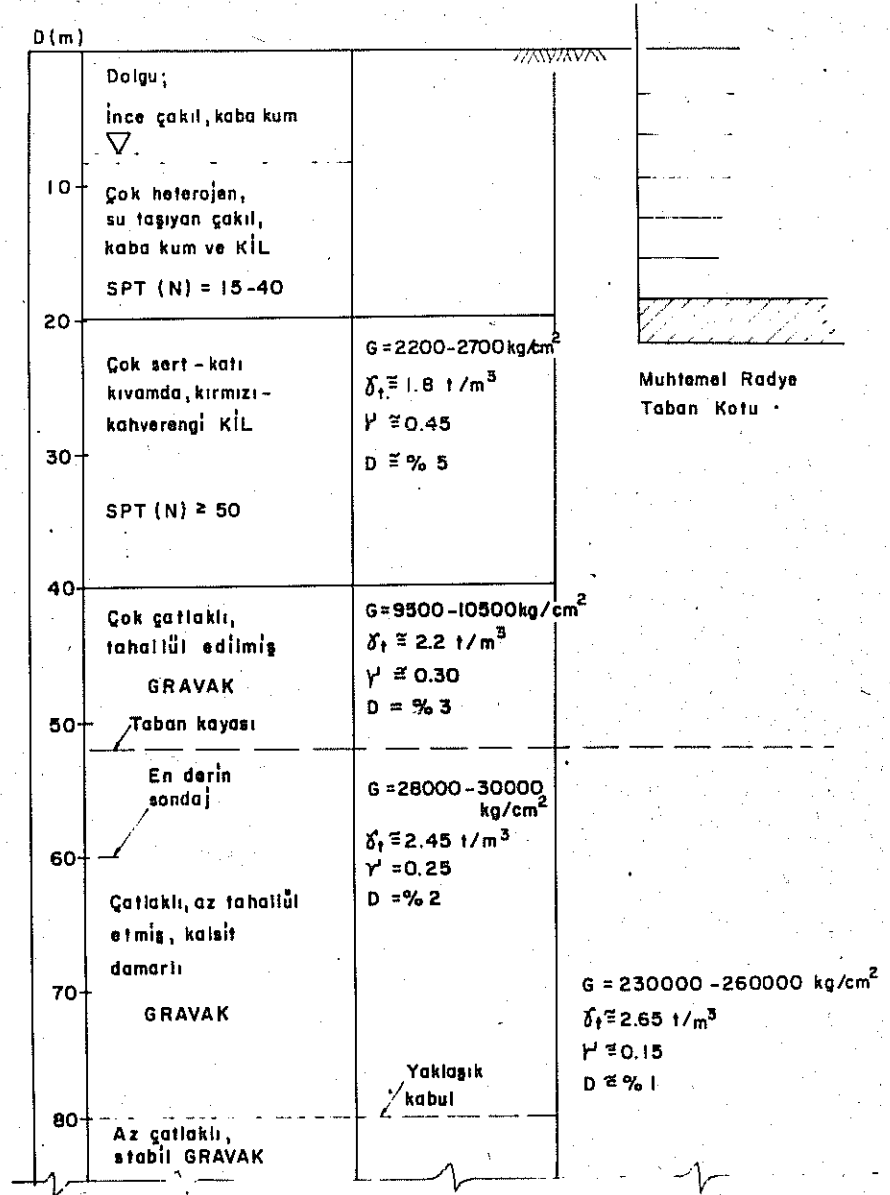


θ : Dalga Geliş Açısı ($\sim 75^\circ$)

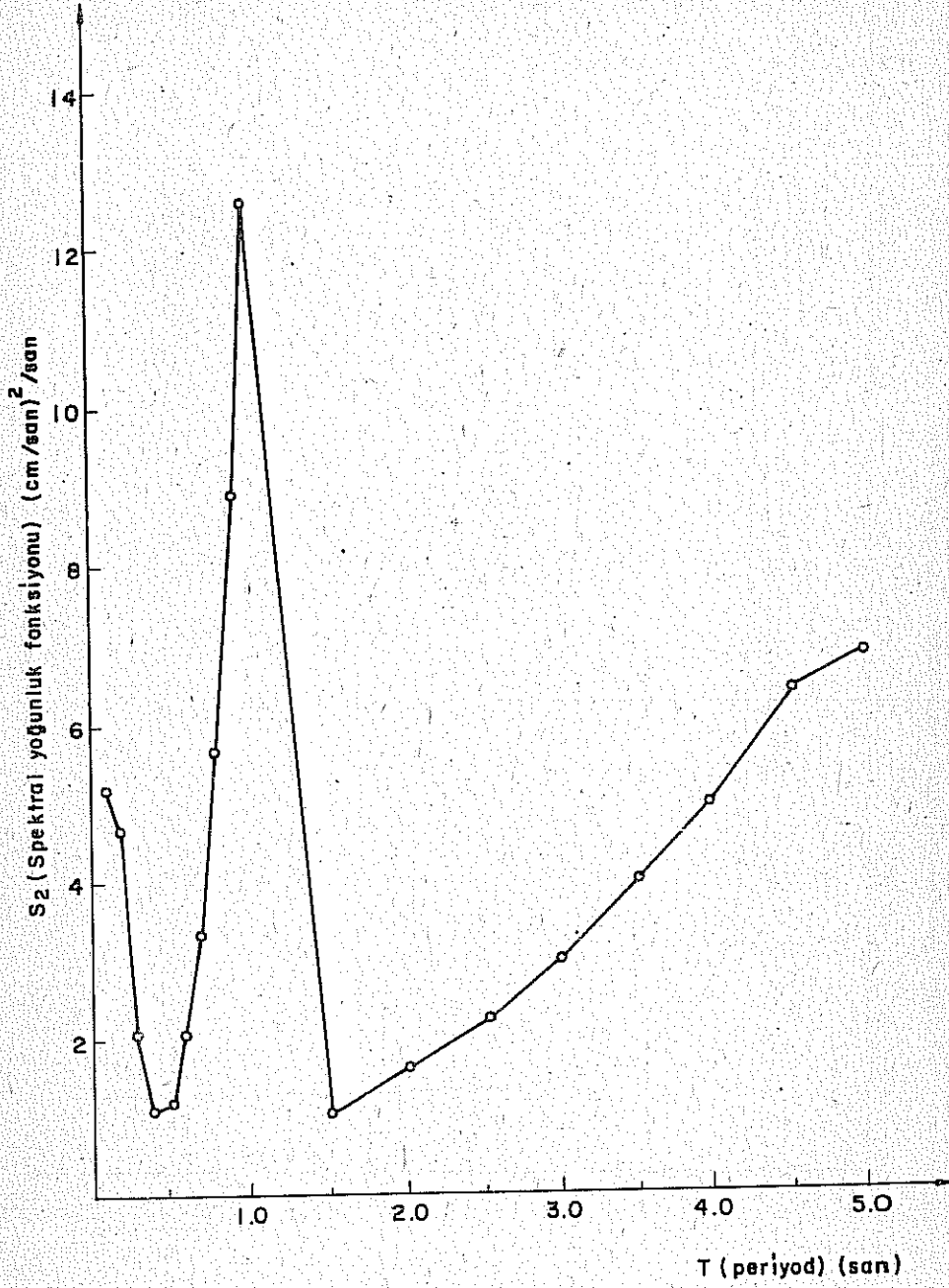
Şekil II.1 Kuzey Anadolu Fay Hattı ve Ankara Bölgesinin Bu Hattın Uzaklığı



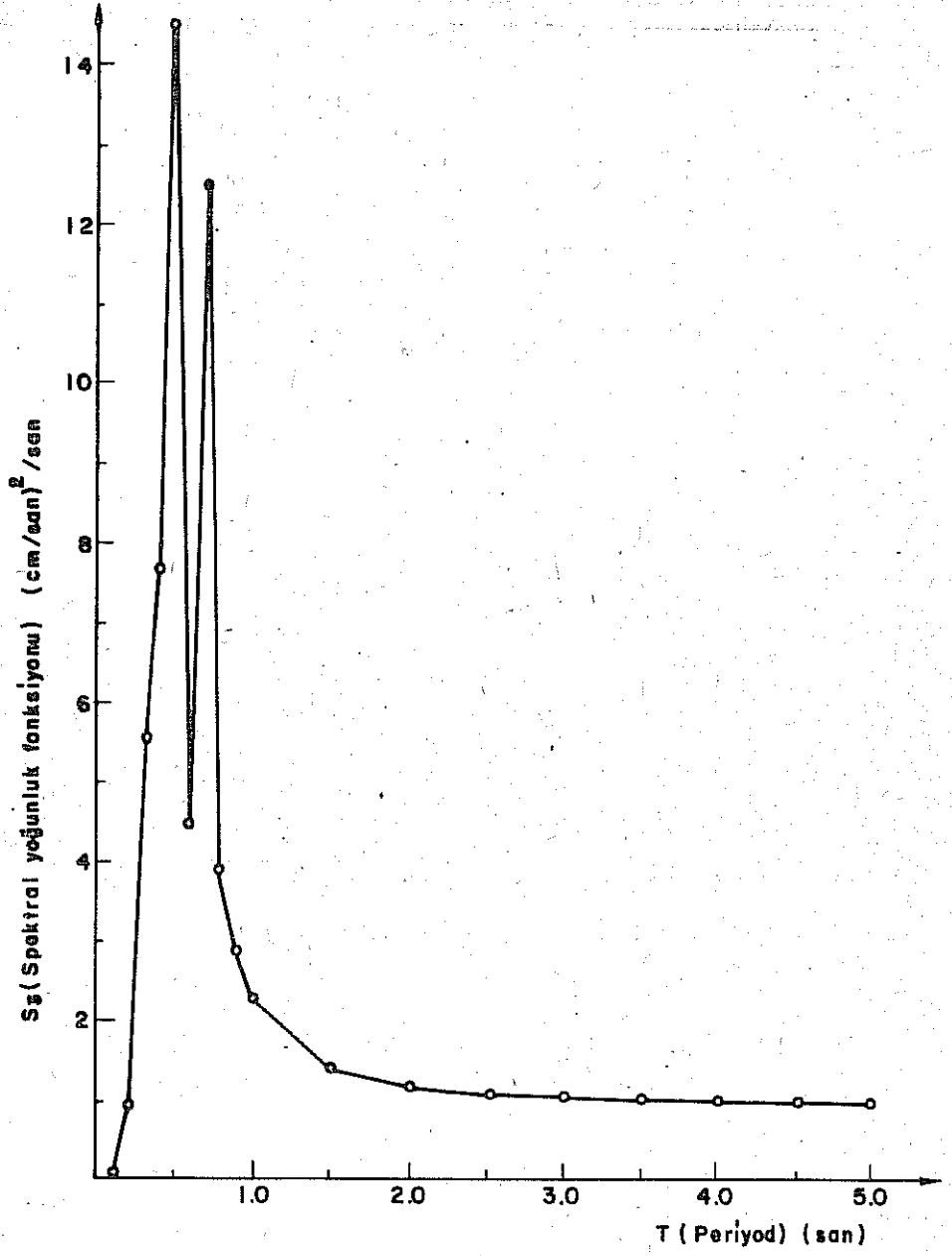
Şekil II.2 Ana Taban Kayasında Teşki Hızı Spektrumu (Kanal yaklaşım)



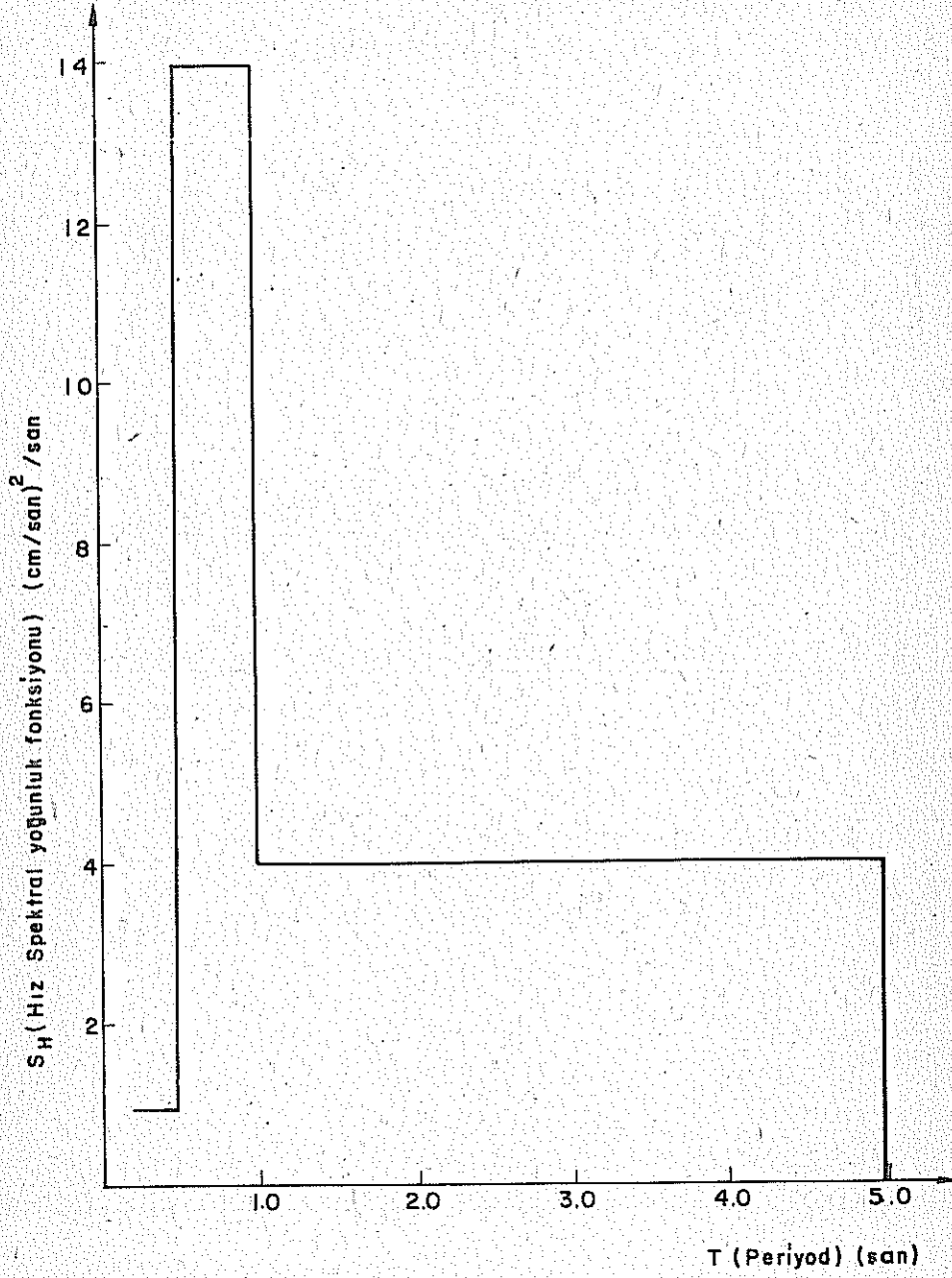
Şekil II.3 İdealize Zemin Profili ve Zemin Parametreleri



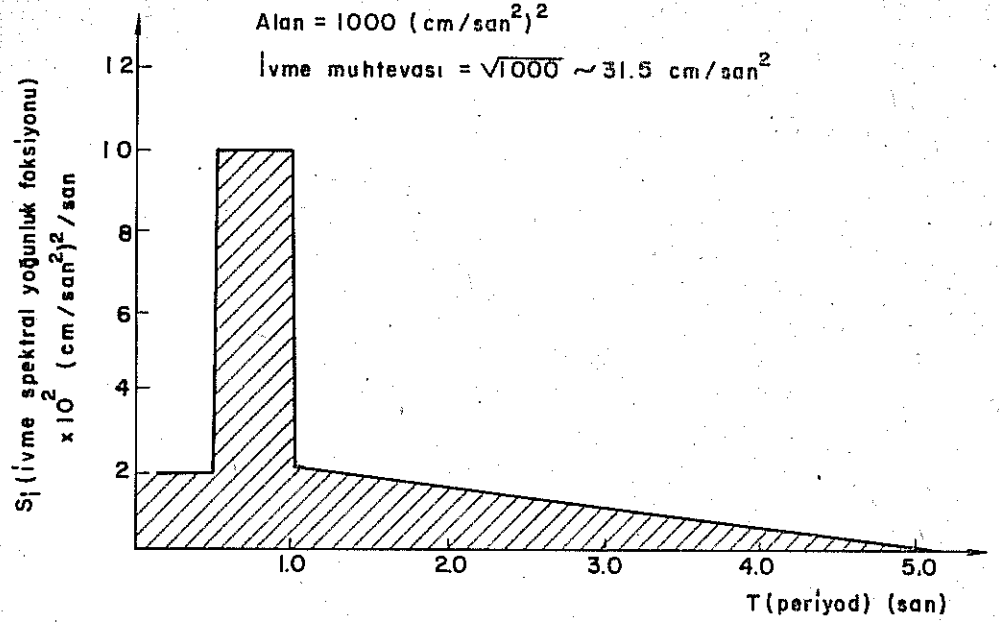
Şekil II.4 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu (Sürekli ortam yaklaşımı)



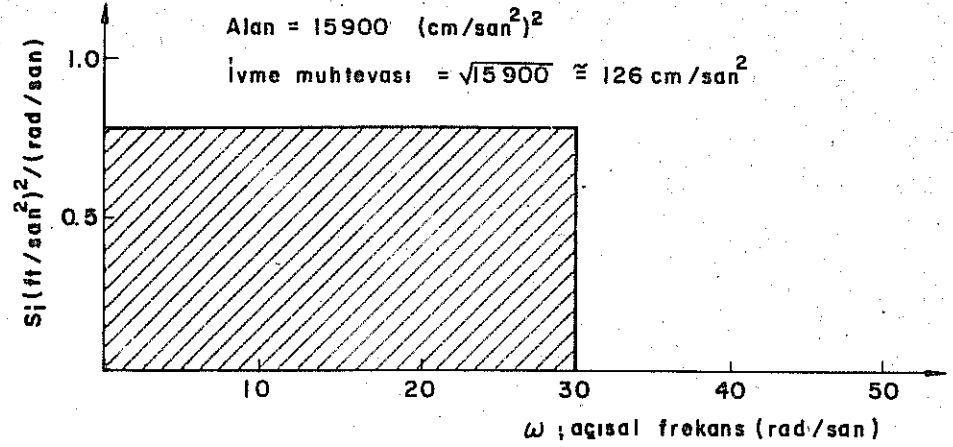
Şekil II. 5 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu (Toplanmış kütle yaklaşımı)



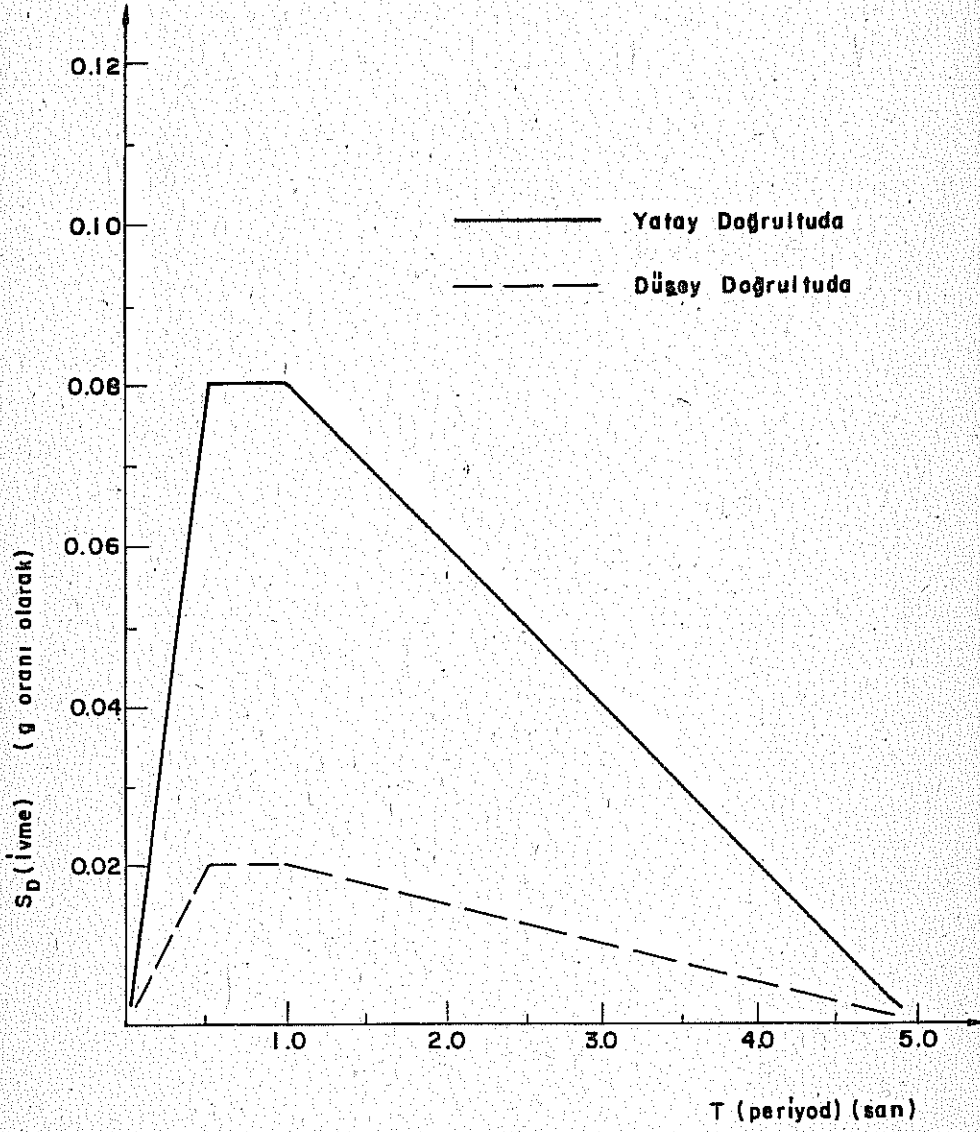
Şekil II.6: İdealize Edilmiş Spektral Yoğunluk Fonksiyonu



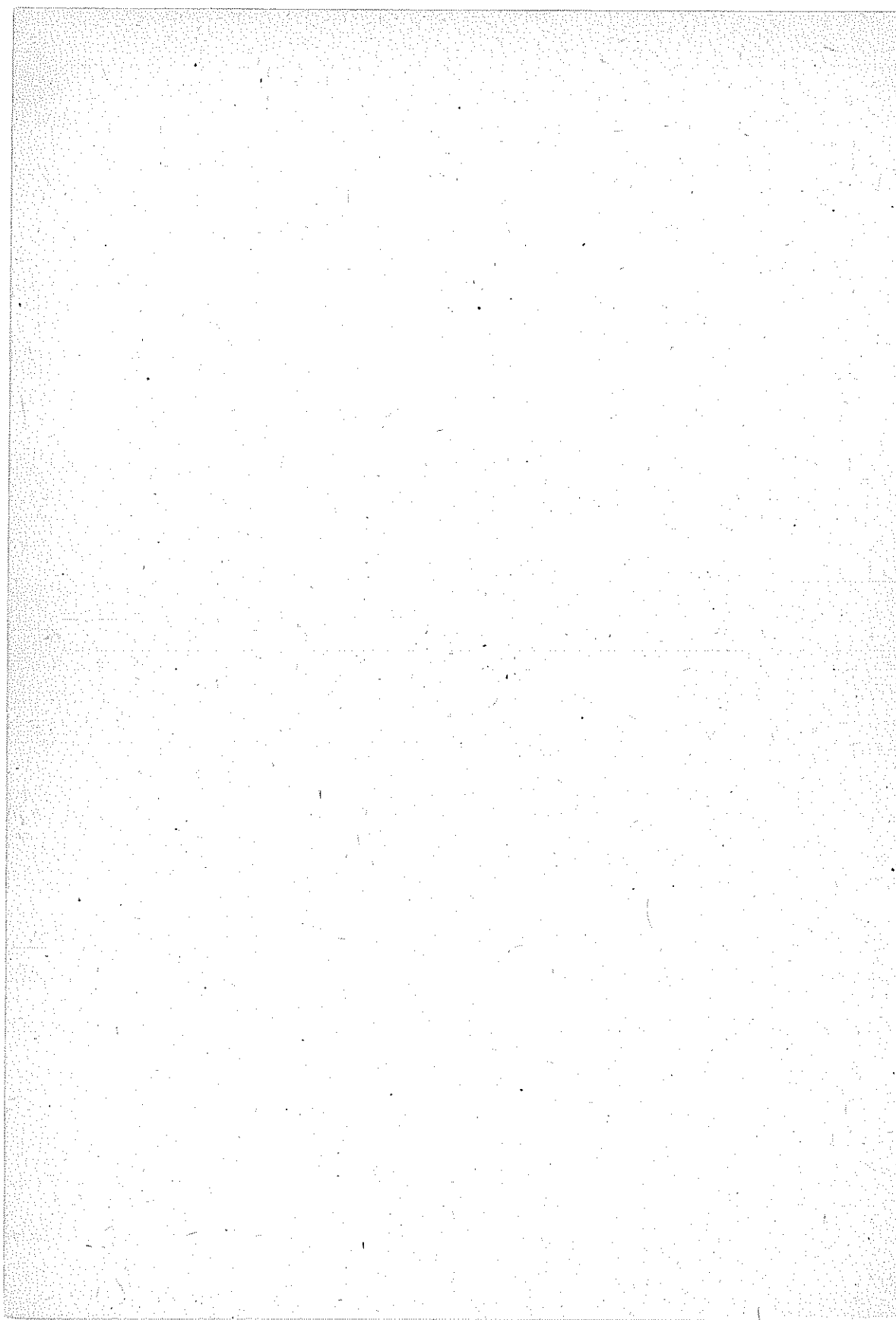
Şekil II.7 İdealize Edilmiş Spektral Yoğunluk Fonksiyonu



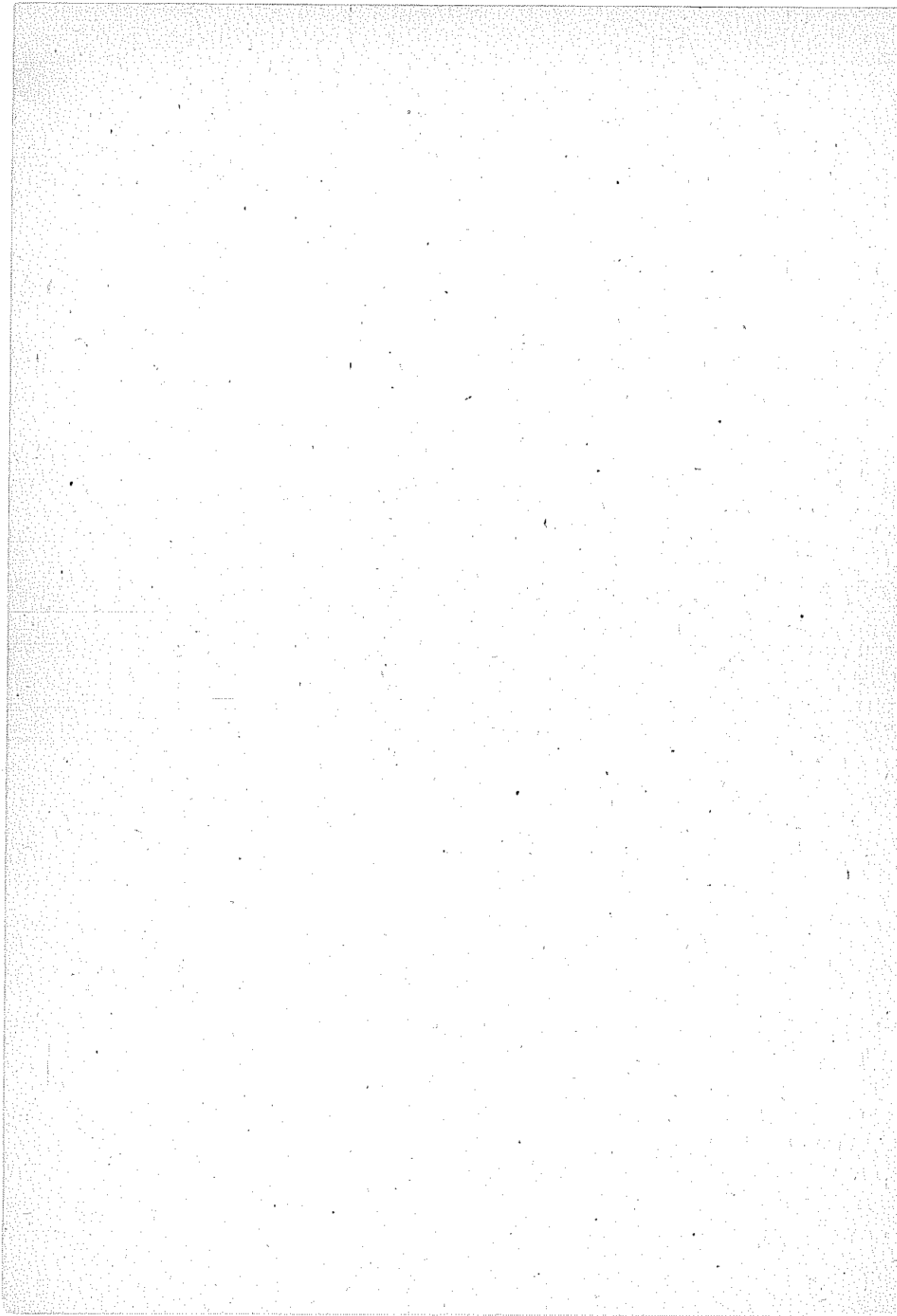
Şekil II.8 Spektral Yoğunluk Fonksiyonu, El Centro (1940) Depremi (Bycroft İdealizasyonu)



Şekli II.9 Proje İvme Spektrumu



EK III.
REGRESYON ANALİZİ



1. Zemin Hakim Peryodu İçin En Küçük Kareler Metodu ile Regresyon Analizi

d (m)	T (san)	dT	d ²
1	0.053	0.053	1
4	0.209	0.836	16
7	0.369	2.583	49
10	0.523	5.230	100
13	0.690	8.970	169
16	0.848	13.568	256
19	0.997	19.000	381
22	1.161	25.542	424
25	1.308	32.700	625
28	1.494	41.832	804
31	1.652	51.212	961
34	1.846	62.764	1156
37	1.962	72.594	1369
40	2.091	83.640	1600
43	2.240	96.320	1849
46	2.410	110.860	2116
49	2.615	128.135	2401
52	2.730	141.960	2704
55	2.850	156.750	3025
58	2.990	173.420	3364
61	3.140	191.540	3721
64	3.300	211.200	4096
67	3.490	233.830	4489
70	3.690	258.300	4900
Σ 2122.839			40576

Doğrunun (0,0) noktasından geçtiği kabul edilirse,

$$T = \frac{d}{C_1}$$

$$C_1 = \frac{\Sigma d^2}{\Sigma dT} = 19.11$$

$$T = \frac{d}{19.11}$$

2. Kalın Alüvyon Tabakaları Birinci Mod İçin En Küçük Kareler Metodu ile Regresyon Analizi

d (m)	T (san)	dT	d ²
52	6.28	326.56	2704
55	6.61	363.55	3025
58	6.98	404.84	3364
61	7.39	450.79	3721
64	7.76	496.64	4096
67	8.06	540.02	4489
70	8.49	594.30	4900
73	8.85	646.05	5329
76	9.11	692.36	5776
79	9.52	752.08	6241
82	9.82	805.24	6724
85	10.30	875.50	7225
88	10.65	937.20	7744
91	11.02	1002.82	8281
94	11.42	1073.48	8836
97	11.64	1129.08	9409
		Σ 11090.51	91864

Doğrunun (0,0) noktasından geçtiği kabul edilirse,

$$T = \frac{d}{C_2}$$

$$C_2 = \frac{\sum d^2}{\sum dT} = 6.28$$

$$T = \frac{d}{8.28}$$

3. Kalın Alüvyon Tabakaları İkinci Mod İçin En Küçük Kareler Metodu ile Regresyon Analizi

d (m)	T (san)	dT	d ²
73	6.48	473.04	5329
76	6.76	513.76	5776
79	6.98	551.42	6241
82	7.22	592.04	6724
85	7.48	635.80	7225
88	7.76	682.88	7744
91	8.00	728.00	8281
94	8.27	777.38	8836
97	8.61	835.17	9409
		Σ 5789.49	65565

Doğrunun (0,0) noktasından geçtiği kabul edilirse,

$$T = \frac{d}{C_3}$$

$$C_3 = \frac{\sum d^2}{\sum dT} = 11.15$$

$$T = \frac{d}{11.15}$$

4. P ve S Dalgaları Spektrumlarının Kesiştikleri Peryod için En Küçük Kareler Metodu ile Regresyon Analizi

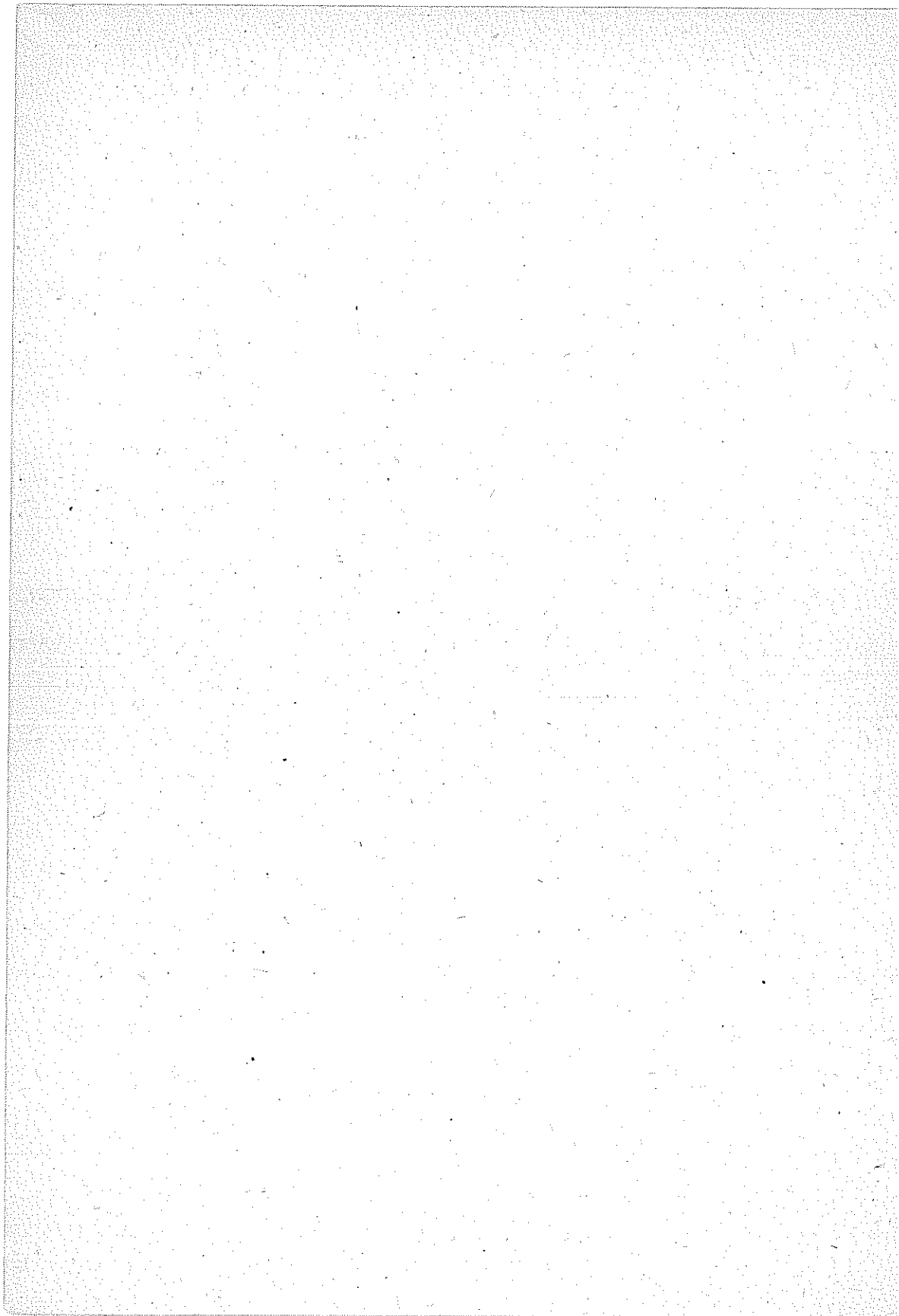
d(m)	T (san)	dT	d ²
1	0.15	0.15	1
4	0.52	2.08	16
7	1.05	7.35	49
10	1.49	14.90	100
13	1.90	24.70	169
16	2.32	37.12	256
19	2.73	51.87	381
22	3.14	69.08	424
25	3.70	92.50	625
28	4.19	117.32	804
31	4.49	139.19	961
34	4.83	164.22	1156
37	5.24	193.88	1369
40	5.71	228.40	1600
43	6.41	275.63	1849
46	6.83	314.18	2116
49	7.31	358.19	2401
52	7.76	403.52	2704
55	8.16	448.80	3025
58	8.61	499.38	3364
61	9.11	555.71	3721
64	9.52	609.28	4096
67	9.97	667.99	4489
70	10.47	732.90	4900
73	10.83	790.59	5329
76	11.22	852.72	5776
79	11.64	919.56	6241
82	12.08	990.56	6724
85	12.57	1069.45	7225
88	13.09	1151.92	7744
91	13.37	1216.67	8281
94	13.96	1312.24	8836
97	14.28	1385.16	9409
		Σ 15697.21	106141

Doğrunun (0,0) noktasından geçtiği kabul edilirse,

$$T = \frac{d}{C_4}$$

$$C_4 = \frac{\Sigma d^2}{\Sigma dT} = 6.76$$

$$T = \frac{d}{6.76}$$



EK IV. NOTASYON

- c** : sönüm katsayısı
d : tabaka kalınlığı
G : kayma modülü
H : tüm zemin tabakasının kalınlığı
H_{ij}(ω) : frekans tepki matrisi elemanları
K : rijitlik matrisi
M : kütle matrisi
S(ω) : spektral yoğunluk fonksiyonu
t : zaman
t_{ij} : gerilme tensörü bileşenleri
T : periyot
u : relatif yer değiştirme
v_i : hız bileşenleri
 χ_n : n - inci modun genel koordinatı
y : uzay koordinatı
 β : sönüm katsayısının kritik değere oranı
 ϵ : birim yer değiştirme

- ϕ_i^n : n-inci modun i kütlesine verdiği yer değiştirme
 γ : birim ağırlık
 λ : Lamé parametresi
 μ : Lamé parametresi
 ω_n : n-inci modun dairesel frekansı
 ρ : kütle yoğunluğu
 σ : gerilme
 θ : dalga geliş açısı