



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

DEPREM ARAŞTIRMA BÜLTENİ

7



Deprem Araştırma Bülteni (DAB)

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



Ekim [October] / 1974
Cilt [Volume]: 2

Sayı [Issue]: 7

İÇİNDEKİLER [INDEX]

Sayfa [Page]

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Yapı Sistemlerinin Özel Periyodları [Special Periods of Building Systems]

Mehmet ÇELEBİ, Ergin ÇITIPITIOĞLU 1-8

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Depremelerin Endüstri Yapıları, Enerji Üretim ve Dağıtım Tesisleri ve Yapıların Taşıyıcı Olamayan Kısımları Üzerindeki Etkileri [Effects of Earthquakes on Industrial Buildings, Energy Production and Distribution Facilities and Non-Bearing Parts of Buildings]

Nejat BAYÜLKE 9-16

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Elasto-Plastik Sistemlerin Gelişigüzel Titreşimi [Random Vibration of Elasto-Plastic Systems]

İ. HELVACI, Aybars GÜRPINAR 17-30

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Çok Katlı Perdeli Yapıların Yatay Yüklere Göre Yaklaşık Hesap Metodu [Approximate Calculation Method of Multi-Storey Curtain Structures According to Horizontal Loads]

Ergin ÇITIPITIOĞLU, Mehmet ÇELEBİ 31-40

DİĞER [OTHER]

Arazi ve Laboratuvar Deneyleri ile Zeminlerin Kayma Modülünün Saptanması [Field and Laboratory Experiments Determination of the Shear Modulus of Provincial Soils]

M. Ali ERGUVANLI 41-48

DİĞER [OTHER]

27 Haziran 1966 Parkfield Depreminde Elde Olunan Sismoskop Kayıtlarının İncelenmesi [Investigation of Seismoscope Records Obtained in the Parkfield Earthquake of 27 June 1966]

Oktay YURDATAPAN 49-66

DİĞER [OTHER]

Tahripkâr Depremlerde Zemin Hareketlerinin Ölçülmesi [Measurement of Ground Movements in Destructive Earthquakes]

Murat KÖYLÜOĞLU 67-80

**DEPREM
ARAŞTIRMA
ENSTİTÜSÜ
BÜLTENİ**

7

**DEPREM
ARAŞTIRMA
ENSTİTÜSÜ
BÜLTENİ**

7

**DEPREM ARAŞTIRMA
ENSTITÜSÜ BÜLTENİ**



Üç Ayda Bir Yayınlanır
Bilim ve Meslek Dergisi



Sahibi

İmar ve İskân Bakanlığı adına
Teoman Güzey
Deprem Araştırma
Enstitüsü Başkanı



Yazı İşleri Müdürü
Oktay Ergünay
Deprem Araştırma Enstitüsü
Başkan Yardımcısı



Yönetim Yeri ve Yazışma Adresi
Deprem Araştırma Enstitüsü
Başkanlığı Konur Sokak No.: 4/2
Yenişehir/ANKARA



Telefon : 18 66 29 — 12 87 82



Basıldığı Yer

Altuğ Matbaacılık Sanavii 18 65 63



İlanlar pazarlığa tabidir.

DEPREM ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ BÜLTENİ

YIL : 2

SAYI : 7

EKİM 1974

Bu Sayıda

- Yapı Sistemlerinin Özel Periyodları 1
Dr. MEHMET ÇELEBİ — Dr. ERGİN ÇİTİPİTİOĞLU
- Depremlerin endüstri yapıları, enerji üretim ve dağıtım tesisleri ve yapıların taşıyıcı olmayan kısımları üzerindeki etkileri 9
NEJAT BAYÜLKE
- Elasto - plastik sistemlerin gelişigüzel titreşimi 17
İ. HELVACI — A. GÜRPINAR
- Çok katlı perdeli yapıların yatay yüklere göre yaklaşık hesap metodu 31
Dr. MEHMET ÇELEBİ — Dr. ERGİN ÇİTİPİTİOĞLU
- Arazi ve laboratuvar deneyleri ile zeminlerin kayma modülünün saptanması 41
M. ALİ ERGUVANLI
- 27 Haziran 1966 Parkfield depreminde elde olunan sismaskop kayıtların incelenmesi 49
OKTAY YURDATAPAN
- Tahripkar depremlerde zemin hareketlerinin ölçülmesi 67
MURAT KÖYLÜOĞLU

YAPI SİSTEMLERİNİN ÖZEL PERİYODLARI

Dr. Mehmet Çelebi (*) - Dr. Ergin Çıtıptıoğlu (**)

Ö Z E T :

Yapı sistemlerinin rüzgâr ve deprem yüküne göre hesaplanmasında gerekli olan yapının özel periyodunun değerlendirilmesi çok değişik yöntemlerle yapılabilmektedir. Bu yazıda yöntemlerden bazıları gözden geçirilmekte ve değişik periyod formülleri tartışılmaktadır.

S U M M A R Y :

The design of structural systems against wind and earthquake loads is dependent upon the natural period which can be evaluated by different procedures. In this paper, some of these procedures are both reviewed and discussed.

I. G İ R İ Ő :

Dinamik tesirlere maruz bütün yapı sistemlerinde özel periyod hesabı gerekmektedir. Pratikte birçok kez yapı özel periyodu hesaplanmasında güçlüklerle karşılaşmakta birçok kez de değişik yapı tipleri için geçerli olmayan özel periyod formülü kullanılmaktadır.

Bu yazının amacı, çeşitli yaklaşık özel periyod metodları ve denklemlerinin elde edilmiş ön şartlarını gözden geçirmek ve yanlış uygulamayı önleyebilmektir. Ayrıca en son deneysel periyod ölçme metodlarından da bahsedilecektir.

II. ÖZEL PERİYODUN ÖNEMİ :

Önce açıklığa kavuşturulması gerekli olan konu, yapı periyodunun faydalandığı hesap metodlarıdır. Çeşitli ülkelerin depreme dayanıklı yapı yönetmeliklerinde, deprem yükleri statik eşdeğer yatay yük olarak alınır. Genellikle statik eşdeğer yatay yük, yapı ağırlığının belirli bir yüzdesi olarak ifade edilir. Bu ağırlık yüzdesinin, yapının salınımı esnasındaki ivmeye tekabül ettiği varsayılır. Birçok yönetmeliklerde bu yüzde, C ile sembolleştirilir ve statik eşdeğer deprem

(*) Asosye Prof. Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

(**) Asosye Prof. Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

yükü katsayısı olarak bilinir. İşte, periyodun önemi, bu katsayının değerlendirilmesinde ortaya çıkar. Kısa periyodlu (rijit) yapıların ivmesi fazla olacağından, katsayı C'de yüksek alınır. Diğer taraftan, uzun periyodlu yapılarda ise ivme az ve dolayısıyla yapıyı etkileyen deprem kuvvetleride azdır. Genellikle C için 0 ile 0,25 arasında değerler alınır. Japonya'da birçok hallerde $C > 0,20$ olarak alınmaktadır.

III. ÇEŞİTLİ ÖZEL PERİYOD DEĞERLENDİRMESİ :

Yapıların özel periyodunun tayininde kullanılan metodları üç grupta toplamak mümkündür. Bu gruplar

- A. Dinamik analiz
- B. Statik Deplasmana Dayanan Formüller
- C. Ampirik Formüller

III. A. Dinamik Analiz :

Dinamik analiz neticesi elde edilen tabii periyod değeri, dinamik analize esas olan kabullerin hakikate yakınlığı oranında, doğru olmaktadır. Günümüzde gittikçe daha fazla kullanılmaya başlıyan elektronik sayısal hesaplayıcılar yardımı ile sistemleri karışık olan yapıların bile tabii periyodlarının hesaplanması mümkün olmaktadır. Ancak malzeme özelliklerinin (betonarmedeki elastisite modülü gibi), yapı temel durumunun (zemin yapı karşılıklı etkisi) ve yapı hareketli yüklerinin dağılıma şeklinin elektronik sayısal hesaplayıcıdaki hassaslık oranında belirlenememesi nedeniyle, dinamik analiz sonucunda hesaplanan yapı periyodlarının diğer metodlarla bulunan değerlere karşı hakikate yakınlık açısından fazla bir üstünlüğü olmamaktadır.

Ayrıca yapı özel periyodundaki küçük değişimlerin (% 10 - 15) statik eşdeğer deprem yüküne tesiri önemli olmamaktadır. Bu nedenlerle daha çabuk sonuç veren ve bu makalenin asıl kapsamı içine giren metodlar kullanılmaktadır.

Dinamik analiz metodu, diğer basitleştirilmiş metodun geçerli olmadığı hallerde ve hesap parametreleri iyice tariflenen yapılar için kullanılmaktadır.

III. B. Statik Deplasmana Dayanan Formüller :

Rayleigh Metodu (1,2) yapı için kabul edilen bir çeşit yükleme ve onun doğurduğu deplasmanlara göre yapı özel periyodunun yaklaşık olarak hesaplanmasıdır. Çok katlı yapılar için kabul edilen yükleme her katta birim yatay yük olabileceği gibi statik eşdeğer deprem yükü dağılımına daha uygun düşen, tabandan başlayarak yukarıya doğru lineer olarak artan bir yüklemeye olabilir. Bu metodun en önemli özelliği, elde edilen periyodun kabul edilen yük dağılımıyla fazla değişmemesidir. Çok katlı yapıların özel periyodu, Rayleigh oranı yardımıyla,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum m_i D_i^2}{\sum P_i D_i}} = \frac{2\pi}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{\sum m_i g D_i^2}{\sum P_i D_i}} \quad (1)$$

olarak yazılabilir (1,2). Burada,

T = özel periyod (saniye)

P_i = i'inci kata uygulanan yatay yük

D_i = i'inci kat deplasmanı

m_i = i'inci kat kütlesi

Σ ise bütün katlar için işlemin yapılacağını göstermektedir. Katların ağırlığı eşit olan bir yapı gözönünde bulundursun. Böyle bir yapıda, her katın kendi ağırlığına eşit statik yatay yüklerle yüklenildiğinde, en üst kat deplasmanının (δ) hesaplandığını farzedelim. Denklem 1'deki P_i değerleri birbirine eşittir.

Böylece $P_i = W = \text{sabit}$ olur. (W kat ağırlığı olarak alınmıştır). δ deplasmanının lineer olarak katlara dağıldığı farzedilirse,

$$D(x) = \left(\frac{x}{H}\right) \delta$$

yazılabilir. Burada

$D(x)$ = temelden X yükseklikteki yatay deplasman

H = Yapının toplam yüksekliğidir.

Böylece denklem 1,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\int_0^H \delta^2 \left(\frac{x}{H}\right)^2 dx}{g \int_0^H \delta \left(\frac{x}{H}\right) dx}}$$

veya

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{1,5g}} \sqrt{\delta} = 0,164 \sqrt{\delta}$$

olarak hesaplanır.

Burada,

δ = en üst kat deplasmanı (cm)

g = yer çekimi ivmesi (981 cm/san²) olarak alınmıştır.

Yukarıdaki hesaplar, yukarı doğru artan üçgen yükler için tekrarlanırsa,

$$T = 0,20 \sqrt{\delta}$$

bulunur.

Ayrıca düzgün yayılı kütleye sahip bir konsol kirişin yapı dinamiği esaslarından yararlanarak elde edilen özel periyodu,

$$T = \frac{2\pi}{3,5176} \sqrt{\frac{mH^4}{EI}}$$

olarak bulunmaktadır. Burada m birim boy kütlesi, H , konsol boyu, EI , eğilme rijitliğidir. Eğer $m = W/g$ ve kendi ağırlığından dolayı

konsol kiriş sehimi $\delta = \frac{WH^4}{8EI}$ olarak alınır.

$$T = 0,1613 \sqrt{\delta}$$

(4)

olmaktadır.

Buradan şu sonuç çıkmaktadır. Deplasman veya yük dağılımı kabulleri özel periyod değerlendirmesini fazla değiştirmemektedir.

Yukarıda açıklanan esaslardan Japonya'da çok kullanılan bir özel periyod hesap yolu elde edilmiş olur. Buna göre yapının her katının ağırlığı (eşit olsun veya olmasın) o kata yatay yük olarak uygulanacak ve yapının en üst katındaki yatay deplasmanı, δ (cm) olarak hesaplanacaktır. Böylece özel periyod

$$T = 0,16 \sim 0,20 \sqrt{\delta} \quad (\text{saniye}) \quad (5)$$

olarak hesaplanabilir (3). Buradaki iki katsayı limiti kütle dağılımının periyoda etkisinden ileri gelmektedir.

Bu formülde tek bilinmeyen olan δ hesaplanırken, yapının rijitliği malzeme özellikleri gözönünde bulundurulacağından, bu formül, ampirik formüllere nazaran daha güvenilir kabul edilmektedir.

III. C. Ampirik Formüller :

Periyod hesabı için kullanılan en yaygın ampirik formül

$$T = \frac{0,09H}{\sqrt{D}} \quad (6)$$

dir. Bu denklemde, T (saniye) özel periyod, H (metre) yapının temel tabanından yüksekliği, D (metre) ise deprem yönünde yapı genişliğidir. Bu denklem SEAOC (4) tarafından kabul edilmiş olup, USGS tarafından 500 çeşitli yapı tipinin periyod ölçülerinden derlenmiştir. Bu ölçme neticeleri ve yakıştırılan eğriler (Şekil : 1)' de görülmektedir (4,5). Ortalama periyod eğrisi $T=0,10\sqrt{H^2/D}$ olarak bulunmasına rağmen, daha emniyetli olması dolayısıyla, denklem 6 alınmıştır. (Şekil : 1)' den de görüldüğü gibi, bu periyod formülü istatistiki yaygınlığı geniş olan yapılardan yani çok değişik rijitlikleri olan yapı tiplerinden elde edilmiştir. Denklem 6 da ki parametreler, değişik yapı tipleri parametrelerini tamamen temsil etmemektedir. Örneğin, bu denklemden şu tartışma çıkarılabilir. Genişliği sabit (D) olan fakat kat kesit rijitliği değişen aynı yükseklikte (H) iki yapının denklemlerden periyodlarının eşit çıkacağı görülmekte ise de, rijitlik değişikliği dolayısıyla, periyodlarının aynı olmayacağı bilinmektedir. Çünkü yapı rijitliği aynı kesit boyutu (D) için çok değişebilir.

Yatay yükleri eğilmeye çalışarak aktaran perdesiz uzay çerçevesi sistemlerde, periyod

$$T = (0,07 - 0,10) N \quad (7)$$

denkleminde tahmin edilebilmektedir (4,6). Burada N kat adedidir.

Housner ve Brady bu denklemin çerçevesi sistemlerde daha doğru neticeler verdiğini belirtmektedirler (6). Aynı yazarlar, perdeli sistemler için

$$T = C_1 N \sqrt{B} \quad (8)$$

denklemini önermişlerdir. Burada C, bir sabit, B ise yapının deprem yönüne dik boyutudur. Denklem 8'de boyut B'nin yapının rijitliğini temsil ettiği kabul edilmektedir.

Denklem 6 için ileri sürülen rijitlik tartışması denklem 7 ve denklem 8 içinde ileri sürülebilir.

IV. TEK SERBEST DERECELİ ÖZEL YAPILAR :

Su kulesi, rafineri kulesi ve benzeri tek serbestlik derecesi olan (kütlenin bir noktada toplandığı kabul edilebilecek) yapılar için yapı dinamiği esaslarından elde edilmiş olan

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

formülü tatbik edilebilir,

Burada kütle $m=W/g$ ve rijitlik $k= W/\delta$ alınırsa,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\delta}{g}} = 0,20\sqrt{\delta} \quad (9)$$

genel formülü bulunur. Bu, formül (5) ile aynı olup, katsayı olarak üst limit olan 0.20 yi temsil etmektedir. Burada, δ =ağırlık W 'nun statik yatay yük olarak yapıya tatbikiyle elde edilen statik deplasmandır (Cm).

Daha önce de belirtildiği gibi, formül 9, Japonya'da yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu formül, baca tipi yapılar için de uygulanabilir.

Baca tipi yapılar için Hindistan şartnamesinde ayrı bir formül verilmektedir (7) :

$$T = C_T \sqrt{\frac{Wh}{EA_g}} \quad (10)$$

burada,

- C_T = yapının narinliğine dayanan bir katsayı (Tablo : I).
- W = Yapının toplam ağırlığı
- h = yapının temelden yüksekliği
- E = malzeme elâstik modülü
- A = temelde kesit alanı
(dairesel yapı için $A=2\bar{r}t$, t =kalınlık)
- g = yerçekimi ivmesi

olmaktadır.

TABLO 1

Narinlik Katsayısı, K	C_T
5	14.4
10	21.2
15	29.6
20	38.4
25	47.2
30	56.0
35	65.0
40	73.8
45	82.2
50	1.8.K

V. ÖLÇME YOLUYLA PERİYOD TESBİTİ :

Yapı sistemlerinin periyodları deneysel metodlarla tesbit edilebilmektedir. Önemli olan yapının periyodunun yapının inşaatından önce, hesaplanma safhasında değerlendirilmesidir. Ancak, yapılara deneysel metodlarla periyodlarının tesbiti daha sonraki hesaplar için önemli olmakta, hatta daha önce bahsedilen ampirik formüller elde edilebilmektedir. Bu bölümde, yapı periyodunun tesbitinde kullanılan en önemli deneysel alet, vibrasyon jeneratöründen bahsedilecektir.

Vibrasyon jeneratörü eksantrik iki kütleli belirli frekanslarla ters yönlerde bir motor vasıtasıyla döndürür ve periyodu elde edilmek istenen yapının yalnız bir yönde salınımını sağlar (8). Yapı dinamiği esaslarından bilinmektedir ki, yapı periyoduna yaklaşıldıkça yapının mukabelesi fazlalaşır ve rezonans olayı meydana gelir. İvme ölçerleri ile rezonans olayı değerlerinden elde edilen eğride maksimum ivmeye tekabül eden frekans yapının bir titreşim moduna tekabül eden frekansına aittir. Vibrasyon jeneratörünün frekansının değiştirilmesiyle elde edilecek diğer eğrilerden değişik modlara ait frekanslar bulunur. En küçük frekansa tekabül eden periyod, yapının birinci titreşim moduna tekabül eden özel periyod olacaktır.

VI. SONUÇ VE ÖNERİLER :

Bu makalede yapıların özel periyodlarının değerlendirilmesinde kullanılan çeşitli yöntemler, uygulama açısından kısaca anlatılmıştır. Yapı dinamiği prensipleri kullanılarak özel periyodun değerlendirilmesi makalenin kapsamı dışında bırakılmıştır. Yapılan açıklamaların ışığı altında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır :

i. Günümüzde yapı dinamiği esasları kullanılarak, elektronik sayısal hesaplayıcılar yardımı ile yapı özel periyodunun tayini ekonomik ve uygulanabilir duruma gelmekte ise de, elde edilen sonuçların doğruluğu değerlendirmede kullanılan parametrelerin geçerliliğine bağlıdır.

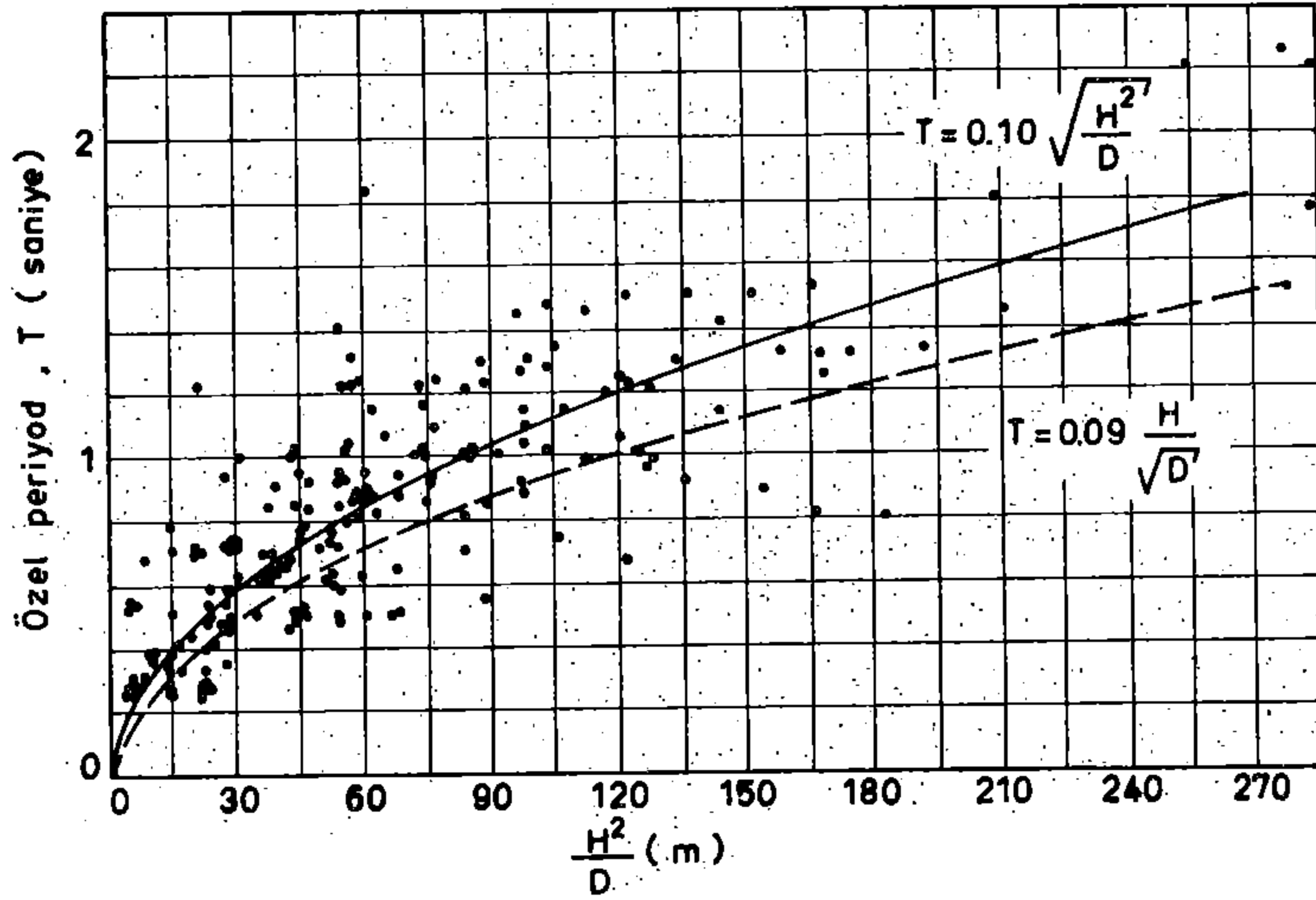
ii. Yatay statik deplasman cinsinden özel periyod değerlendirilmesi, problemi daha kısa yoldan çözüme yaradığından, birçok kez, yapı dinamiği esaslarına dayanan metodlar kadar sıhhatli neticeler vermektedir. Ancak bu metodda da yatay statik deplasmanın tayininde kullanılacak basitleştirici kabuller ve parametreler hakikate yakın seçilmelidir. Bu uygulamanın bir avantajı da, daha çok statik hesap yapmaya alışmış mühendise, özel periyod değeri hakkında bir fikir vermesidir.

iii. Ampirik özel periyod formülleri çok dikkatle kullanılmalıdır. Yapı rijitliğinin göz önünde bulundurulmadığı ampirik formüller ancak bu formüllerin çıkmasına esas olan ölçmelerin yapıldığı tip yapılar için geçerlidir. Örneğin SEAOC (4) formülü ABD'de

ki yapıların özel periyod ölçmelerinden yararlanılarak çıkarıldığından, Türkiye'deki yapılar için geçerliliği araştırılmalıdır. Bu ise kısım V de verilen yöntemlerle gerçekleştirilebilir.

REFERANSLAR:

- 1 — Biggs, J.M., Introduction to Structural Dynamics, Mc Graw Hill, 1964.
- 2 — Çakıroğlu, A., ve Özmen, G., «Yapıların Özel Periyodlarının Tayini» İTÜ Dergisi, 26.1.1968.
- 3 — Umemura, H., Earthquake Resistant Design of Structures, Univ. of Tokyo, Japan 1972.
- 4 — «Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, Structural Engineers Association of California, 1960.
- 5 — Degenkolb, H.S., «Earthquake Forces on Tall Structures», Bethlehem Steel Publication.
- 6 — Housner, G.W., and Brady, A.G., «Natural Periods of Vibration of Buildings,» ASCE (EMA), Aug. 1963.
- 7 — Criteria of Earthquake Resistant Design of Structures, Indiana Standards Institution, 1970.
- 8 — Hudson, D.E., «Synchronized Vibration Generators for Dynamic Tests of Full Scale Structures», EERL Report Cal. Tech. Nov. 1962.



ŞEKİL 1 YAPILARIN ÖZEL PERİYODU

DEPREMLERİN ENDÜSTRİ YAPILARI, ENERJİ ÜRETİM VE DAĞITIM TESİSLERİ VE YAPILARIN TAŞIYICI OLMAYAN KISIMLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ.

Nejat BAYÜLKE (*)

Ö Z E T :

Bu yazıda depremlerin endüstri yapıları, su, elektrik, havagazı üretim ve dağıtım şebekelerinde ve genellikle yapıların taşıyıcı olmayan kısımlarında meydana getirdiği hasar ve bunların ne şekilde önlenebileceği üzerinde durulmaktadır.

SUMMARY :

This paper deals with the earthquake damage in industrial structures, utilities production and distribution systems and non-structural parts in general and the prevention measures of earthquake damage in those structures.

1. Depreme Dayanıklı Yapı Felsefesi ve Sonuçları :

Şu anda bütün dünyadaki deprem yönetmeliklerinde uygulanan depreme dayanıklı yapı felsefesi, çeşitli şiddetteki depremlerde yapıların belli davranışlar sağlamasını öngörür. Genellikle burada yapının ekonomik ömrü içerisinde olması beklenen maksimum depremin şiddeti yapının projelendirilmesinde ve inşasında alınan tedbirlere büyük ölçüde etkilidir. Depreme dayanıklı yapı felsefesi yapının hafif, orta ve şiddetli depremlerde göstermesi gereken davranışları şu şekilde amaçlar : Yapının ekonomik ömrü içerisinde sık sık oluşan hafif depremlerde yapının hem taşıyıcı hem de taşıyıcı olmayan sistemlerinde hiçbir hasar olmamalıdır. Orta şiddetteki depremlerde yapının taşıyıcı sisteminde hiçbir hasar olmaması gerekirken, bu sistemin yapacağı ötelemelerin taşıyıcı olmayan sistemlerde (bölme duvarı, kapı, pencere vb.) bazı önemsiz ve ufak tamirler gerektirebilen hasarlar olabilir.

Şiddetli depremlerde ise yapının taşıyıcı sistemi önemli tamirler gerektiren hasarlar gösterebilir, bu arada taşıyıcı olmayan kısımların tamamen kaybı da mümkündür. Yapı böyle bir depremde bazen

(*) İmar ve İskân Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü.

tamiri imkânsız veya ekonomik olmayacak derecede hasar görebilir, ancak yapı yıkılmamalı ve hasar can kaybına sebep olmamalıdır. Mevcut yönetmeliklerde ileri sürülen asgari şartlar yapıların depremlerde yukarıda belirtilen davranışları göstermesini ve genellikle can kaybının en az olmasını veya hiç olmamasını amaçlarken mal kaybına önem vermemektedir.

Depreme dayanıklı yapı yönetmeliği, şiddetli depremlerde yapıyı ve içindeki eşyayı gözden çıkarmaktadır. Orta şiddetteki depremlerde de sadece yapının taşıyıcı sisteminin yeterli olmasını amaçlarken, içindeki eşyanın kurtarılması (depremden hasar görmemesi) üstünde durmamaktadır.

Yapılara gelen hafif, orta ve şiddetli depremlerin derecesi, yapının ekonomik ömrüne ve bulunduğu coğrafi yere göre değişmektedir. Kullanma süresi uzun olarak düşünülen bir yapıya gelen orta şiddetteki depremlerin şiddet derecesi, kısa ömürlü yapılara göre daha büyük olacaktır. Meselâ, 1° derecedeki bir bölgede orta şiddetle kabul edilen bir deprem, 2° veya 3° derecedeki deprem bölgelerinde çok şiddetli bir deprem olarak kabul edilmektedir. Aynı şekilde ömrü 50 sene olan bir yapı için maksimum şiddette deprem olarak kabul edilen deprem şiddeti, 100 sene kullanılması düşünülen bir yapı için orta şiddetle bir deprem olarak kabul edilebilir.

Son yıllarda dünyanın çeşitli yerlerinde (1971 San Fernando - Kaliforniya, 1972 Managua - Nikaragua) olan orta şiddetteki depremlerde yönetmeliklere uyularak veya uyulmadan yapılmış birçok betonarme ve çelik binanın taşıyıcı sistemlerinde önemsiz hasarlar görülmüş olmasına rağmen taşıyıcı olmayan kısımlarında olan büyük maddi hasar ve yine son yıllarda yapıların taşıyıcı sistemi maliyetinin toplam yapı maliyetine oranının giderek azalmakta (Eğer yapı çok katlı ise bu oran toplam maliyetin % 25 - 30'u kadar olmaktadır) oluşu yapının sadece taşıyıcı sisteminin orta şiddetteki depremlerde hasar görmemesi ile yetinilmeyip, taşıyıcı olmayan kısımlarının da depremden zarar görmemesinin sağlanması gereğini ortaya çıkarmıştır. Meselâ 1971 San Fernando depreminde olan 550 milyon dolarlık hasarın en az % 50'si yapıların içinde bulunan teçhizat ve eşyanın hasar görmesi sonucu olmuştur (Ref No. 4).

Özellikle fabrikalar, elektrik santralleri gibi kendi maliyetinden kat kat yüksek değerlerde makine, teçhizat bulunduran yapılar için sadece konut tipi yapıların taşıyıcı sisteminin hasar görmemesini amaçlayan mevcut yönetmeliklerdeki tedbirlerden daha fazlasını getirmek ve bu arada yönetmeliklerde hiç değinilmeyen, taşıyıcı olmayan elemanların ve binada bulunan eşyaların hasarının önlenmesini sağlamak gerekmektedir.

Endüstri yapıları, enerji üretim, su, elektrik ve havagazı dağıtım şebekeleri birçok bakımdan toplum için çok önemli olurlar. Özellikle enerji üretim ve dağıtım tesisleri, su ve havagazı tesisleri toplum hayatının can damarı olarak çok önemlidirler. Bunların dep-

rem sırasında hasar görmesi bütün ekonomik hayatın durmasına sebep olacaktır. Öte yandan sanayii tesislerinin hasar görmesi hem üretim araçlarının kaybına ve belkide daha önemlisi üretimin durması sonucu ekonomik kalkınmanın yavaşlayıp gerilemesine kadar varabilecek etkileri olacaktır. Meselâ ham madde üretiminde Türkiye açısından çok önemli bir yeri olan PET - KİM tesislerinin bir deprem sonucu uzun bir süre için üretim yapamaması çok geniş alanda etkisini gösterecektir. Aynı durum demir - çelik tesisleri içinde geçerlidir. Enerji üretiminin zaten yetersiz olduğu Türkiye'de yurt çapında üretim yapan bir elektrik santralının devreden deprem hasarı sonucu çıkmasının etkileri bütün yurt çapında olacaktır.

Türkiye'de Cumhuriyet yıllarında olan depremler ya yurt çapında hiçbir endüstrinin bulunmadığı kırsal bölgelerde, veya henüz endüstri tesislerinin kurulmadığı yıllarda olmuş olmaları nedeni ile bu tip bir olayla şimdiye kadar karşılaşılmamıştır. Ancak hızla endüstrileşmekte olan Türkiye'de bir deprem sonucu sanayi tesislerinin de burada anlatılan bir durumla karşılaşabileceklerini söylemek bir kehanet olarak kabul edilmemelidir. Çünkü Türkiye'de Sanayiinin yoğun olarak bulunduğu İstanbul - İzmit - Adapazarı bölgesi, Bursa, Eskişehir, İzmir çevresi tarih boyunca hep büyük depremlerin oluştuğu yerlerdir ve gelecekte de bu yerlerde büyük depremler beklenmektedir.

Bundan sonraki bölümde San Fernando - Kalifornia 1971 ve Managua - Nikaragua 1972, depremlerinde endüstri yapıları, su, elektrik ve havagazi üretim tesisleri ve dağıtım şebekelerinde gözlenen hasardan bahsedilerek, bunlara karşı alınması gerekli tedbirler üzerinde durulacaktır.

2.1 Endüstri Tesislerinde Gözlenmiş Hasar ve Alınması Gerekli Tedbirler :

Depremden dolayı oluşan hasar, yapının taşıyıcı sisteminde projelendirme ve inşaat sırasında yapılan bazı hata ve kusurlar sonucu olabilir. (Deprem kuvvetlerinin ve yapı taşıyıcı sisteminin hatalı seçimi, inşaatta kullanılan malzeme işçiliğinin projede öngörülen kalitede olmaması gibi) Ancak yönetmeliklere uyulması ve gerekli itinanın gösterilmesi halinde mevcut teknoloji ile yapının taşıyıcı sisteminin depreme dayanıklı olarak yapılması olanağı vardır. Yapının içinde bulunan teçhizat ve makinelerin deprem sırasında hasar görmemesi içinde bazı tedbirler alınması gereklidir.

Burada çeşitli depremlerde gözlenmiş bu tip bazı hasarlardan örnekler verilecektir.

i — Ayarlanabilen vidalı ayaklı (Jack - type) makine ve teçhizatların iyi çalışması için bunların mutlak olarak dengeli bir halde bulunması gerekir. Yani makine yatay ve düşey doğrultuda tam bir düzlem üzerinde çalışmalıdır. Ayakların ayarlanması ile bu sağlanmaktadır. Ancak bu cins makineler zemine tesbit edilmedikleri

için depremde sağa sola hareket edip kendilerine ve çevrelerindeki diğer teçhizata hasar verebilirler. Üstelik bu tip makinaların deprem sırasında dengeli durumlarını kaybetmeleri, bunların tekrar ayarlanmalarını gerektirecektir ki, bu da önemli zaman ve dolayısıyla üretim kaybı demektir (Ref. No. 1).

ii — Akustik asma tavan sistemlerinin deprem sırasında fabrikadaki teçhizatın üstüne düşme ihtimali vardır. Bu cins malzeme gerçi makineye zarar vermeyebilecek kadar hafif olmakla beraber, dokuma, iplik ve iğ makinelerinin en ince noktalarına kadar girip bunların çalışmasını aksatabilir, meselâ 1972 Managua depreminde bir tekstil fabrikasında asma tavandan düşen çok gevrek akustik tavan malzemesi dokuma makinelerinin en ince noktalarına kadar girmiş ve makinelerin bu yabancı maddeden temizlenip tekrar çalışmaya başlaması bir ay kadar bir zaman almıştır (Ref. No. 1).

iii — Çalışmaları sırasında titreşim yapan motor, jeneratör gibi teçhizat çoğunlukla, bu titreşimleri izole eden ve aletin yerleştiği zemine geçmesini önleyen düzenler üzerine oturmaktadırlar (Titreşimleri yutan yaylı ve lastik amortisörler gibi). Ancak bu durumda teçhizat zeminin üstünde kayabilecek bir durumdadır ve deprem sırasında kayıp devrilmesi ile hasar görmesi mümkündür. Özellikle yedek enerji üretim Jeneratörleri eğer zemine yeterli olarak ankraj edilmemişlerse deprem sırasında devrilip, en çok ihtiyaç duyulacak bir sırada işe yaramaz duruma gelebilirler.

iv — Çeşitli sebeplerden yere tesbit edilmemiş teçhizat deprem sırasında yerinden kayıp hareket edince bütün elektrik boru vb. bağlantılarını koparacaktır. Bunun doğurabileceği yangın ve patlama gibi ihtimallerde göze alınmalıdır. Bu tip aletlerin hareket ederek etrafındaki diğer teçhizata çarpması ihtimali göz önüne alınarak eğer tesbit yapılmamış ise, çevrede boş alanlar bulunması faydalı olabilir. Meselâ 1972 Managua depreminde 2.5 ton ağırlığında bir makine 25 santim kadar yerinden oynamıştır. Böyle bir hareket için en aşağı teçhizata ağırlığının % 30 - 40'ı kadar bir kuvvetin gerektiği sonucuna varılabilir (Ref. 1). Yine aynı depremde 25 ton ağırlığında ve çelik kayar ayaklar üzerinde oturan bir şişe yıkama makinesinin yerinden 15 - 35 cm. kadar kaydığı ve bütün boru bağlantılarını kopardığı tesbit edilmiştir (Ref. 1).

Makine ve teçhizatın mutlaka oturdukları zemine tesbiti gerekmektedir. Yoksa deprem sırasında yerinden oynayarak bütün elektrik ve boru bağlantılarını koparacağı gibi sağa sola çarparak hem kendisine hemde çevresindeki diğer teçhizata zarar vermesi mümkündür. Bu cins teçhizatın oturduğu zemine ağırlığının % 50'si kadar bir yatay kuvvete dayanabilecek ve zeminde ankrajlı çelik bir çubuğa kaynakla veya vidalı olarak bağlanmalıdır. Eğer bu tip bir bağlantı çeşitli nedenler ile imkânsız ise, teçhizatın ayaklarının etrafına veya en yakın çevresine, deprem sırasında belli bir miktardan fazla (en çok 2.5 cm.) harekete engel olacak şekilde, zeminde

ankrajlı hareketi önleyecek takozlar konulmalıdır. Bu takozlarda makinenin ağırlığının % 50'si kadar bir yatay kuvveti taşıyabilecek kapasitede olmalıdırlar.

2.2 Enerji Üretim ve Dağıtım Şebekeleri :

Enerji üretim ve dağıtım şebekelerindeki yapılarda da proje ve inşaat hataları sonucu hasar olabilir. Yalnız burada sadece bunların taşıyıcı olmayan ve üretimle ilgili kısımlarında olabilecek hasardan bahsedilecektir.

i — Elektrik santrallerinin makine dairelerinde bulunan yürüyen vinçlerin raylarından çıkarak devrilmeleri ve yere düşerek aşağıda bulunan teçhizata hasar vermeleri mümkündür.

ii — Elektrik üretiminde kullanılan türbinler ve jeneratörler çok hassas ve milimetrik toleranslarla yapılmış teçhizatlardır. Bunların dönme akslarında olacak en ufak şakülden kayma, dönme ekseninden sapmalar bu makinelerin çalışmasını önler ve kendi içlerindeki dönem kısımlarda aşınma, sürtünme kendi kendilerini tahribe kadar varabilir.

Bu nedenle bu teçhizatın içinde böyle durumlarda genellikle otomatik olarak çalışmayı durduran düzenlerin bulunması gerekir. 1972 Managua depreminde, Nikaraguanın toplam enerji kapasitesinin % 20'sini üreten bir gaz türbini depremle beraber üretimi durdurmuştur. Giderek hızı yavaşlayan türbinin yataklarına yağ pompalayan ve alternatif akımla çalışan bir motor cereyanının kesilmesi sonucu bu işi yapamamıştır. Böyle bir acil durumda pompalama görevini üzerine alması gereken bir doğru akım motoru ise, kendisine enerji verecek doğru akım kaynağı bataryaların buldukları raflardan devrilip bağlantılarını kopararak hasara uğramaları sonucu yağ pompalama ödevini yapamamış ve türbin yavaşlayarak durana kadar yatağını yakmıştır (Ref. 2). Bu şekilde devreden çıkan türbinin tekrar faaliyete geçmesi 7-8 ay sürmüştür. Böyle bir durumun ülke çapında yaratacağı ekonomik gerilemenin zararı türbinde olan zararın yanında çok daha büyük olmaktadır.

iii — Yine aynı depremde bir başka türbindeki bıçaklar, türbinin dönüş ekseninden sapması sonucu, türbinin döndüğü haznenin kenarlarına çarparak kırılmış, bazılarının uçları ezilmiş ve üretim faaliyeti 1 ay kadar aksamıştır (Ref 2).

iv — Depremlerde trafo merkezlerinde de önemli hasar olabilir. Özellikle tekerlekler üzerine oturan transformatörlerin, yere tesbit edilmemiş olmaları nedeni ile, kayması ve devrilmesi, bağlantılarını koparmasına sık sık rastlanılmaktadır. (San Fernando 1971, Managua 1972). Porselenle izoleli devre kesicileri vb. gibi elektrik aksamı, bu porselenlerin çok gevrek ve zayıf malzeme olması sonucu kırılması ve devrilmesi, çalışmayı aksatabilir. Trafo merkezleri çok zayıf bir tesis olduklarından depremlerde hasara sık sık rastlanılmak-

tadır. Meselâ 1967 Adapazarı depreminde de Adapazarındaki Trafo merkezinde önemli hasara rastlanılmıştı.

v — Şehir içlerindeki dağıtım şebekelerinde özellikle direkler üzerine yerleştirilmiş transformatörler deprem sırasında eğer yeterli olarak direklere tesbit edilmemişlerse yere düşebilir hatta direğin de devrilmesine sebep olabilirler. 1972 Managua depreminde bu tip hasara sık sık rastlanılmıştır (Ref 2). Türkiye'de de şehir içindeki şebekelerde direklere asılı transformatörlere sık sık rastlanılmaktadır. Bu uygulamadan kaçınılması veya transformatörlerin direklere çok sağlam bir şekilde tesbiti yoluna gidilmelidir.

2.3 Çeşitli Tedbirler :

Bu kısımda deprem sonrasında acil yardım faaliyetlerini aksatacak, ekonomik ve sosyal hayata etkili olacak çeşitli hasarların gözlemleri anlatılacak ve bunlara karşı alınması gereken tedbirlerden bahsedilecektir.

i — Depremden sonra çıkacak yangınların söndürülmesi için itfaiye teşkilâtının depremi hiç zarar görmeden atlatması gerekmektedir. Bu nedenle İtfaiye binalarının mutlaka depreme dayanıklı yapılması gerekir. En hafif depremlerde bile yangın söndürme araçlarının derhal garajlarından dışarı çıkarılması, bu hafif depremin öncü bir deprem olabileceği daha sonra daha şiddetli esas depremin olabileceği ihtimali sonucu faydalı bir tedbirdir. Ayrıca itfaiye araçlarının hafif çatılı ve depremde yıkılma ihtimali zayıf garajlarda saklanması uygundur.

ii — Depremde yaralananlara acil tedaviyi sağlayacak hastane gibi yapılarda tıbbi malzemenin saklandığı dolap, raf, etajer vb. eşyaların devrilip içindeki ilaç ve tıbbi malzemeye zarar vermemesi için dolapların mutlaka yere irtibatlı olması tavsiye edilir. İlaçların bulunduğu şişe, kavanoz vb'nin devrilip kırılabileceği unutulmamalıdır.

iii — Şehir cereyanı kesilmesi halinde devreye girecek olan yedek jeneratörlerin yukarıda belirtilen nedenlerle mutlaka zemine ankrajlı olması, bunları çalıştıracak starter bataryalarının bulunduğu yere sıkıca bağlanarak devrilmelerinin önlenmesi, bu gibi yedek jeneratörlerin esas binanın dışında hafif ve depreme dayanıklı küçük yapılar içinde bulunması tercih edilmelidir.

iv — Telefon santrallerindeki teçhizat ve bataryaların deprem sırasında devrilmesi ihtimaline karşı bunlarında zemine iyi ankrajlı çerçevelere oturmasına veya çerçeveler içine alınmasına dikkat edilmeli bunların hareketi önlenmelidir.

v — Yapılardaki asansörlerin denge ağırlıkları teline asılı olmaları nedeni ile pek çok depremde sallanıp hareket ederek raylarından çıkarak, asansörün tel halatlarını karıştırmakta, asansör kabine çarparak bunların hasar görmesine yol açmaktadır. Yine asansörü çalıştıran elektrik motorlarının yere iyi ankraj edilmemiş olması

bunların yerlerinden ve bağlantılarını kopararak asansörün güç kaynağının bozulması sonucu, çalışamaz hale sokabilmektedir. Bu gibi olaylara engel olmak için asansör sistemlerinin depreme dayanıklı proje ve inşaatı gerekmektedir. Çok katlı binalarda asansörlerin yegane ulaşım düzeni olması bunların bir deprem sırasında hasar görmesi yapının acil bir şekilde boşaltılmasını güçleştirebilir. Managua depreminde hemen bütün asansörlerin hasar görerek çalışmadığı görülmüştür (Ref. 3).

vi — Deprem sırasında dolgu zeminlerde oluşacak çok şiddetli zemin hareketi, zeminde oturmalar, kum fıskırması, zeminin sıvılaşması gibi durumlar ve fay hatlarında olacak hareketler, buralardaki su ve havagazı borularında kırılmalara, kopmalara sebep olabilir. Havagazı borularında olacak hasarın yangına sebep olması çok kuvvetli bir ihtimaldir. Şehirlerdeki bu cins zayıf zeminlerin ve eğer varsa fay hatlarının mikrozon çalışmaları yapılarak tesbit edilmesi, böyle bölgelerde ve fay hatlarını kesen doğrultularda su ve havagazı ana boruları döşenmemesi gerekmektedir.

vii — Çeşitli sıvı maddelerin depolandığı tanklarda deprem sırasında zeminde olacak oturmalar, depo içindeki sıvının çalkalanması vb. nedenlerle deponun delinebileceği, sızıntıların olabileceği hatta yangın çıkabileceği gözönüne alınmalıdır. Binalardaki su ve yakıt tankları da eğer zemine tesbit edilmemişlerse yerlerinden kayıp sağa sola çarpıp hasara sebep olurlarken bütün bağlantı borularını da koparır ve sistemin çalışmasını aksatabilirler.

3. Sonuç ve Tavsiyeler :

i — Fabrikalardaki bütün makine ve teçhizat oturdukları döşemeye mutlaka tesbit edilmelidir. Bağlayıcı düzenin, en az makine ve teçhizatın ağırlığının % 50'si kadar bir kesme kuvvetine dayanabilecek güçte olması gerekmektedir.

ii — Eğer bu şekilde hareketsiz bir tesbit yapımı imkânsız ise hareketin belli bir miktarı (2.5 cm) aşmaması için teçhizat ve makinenin ayakları ve kenarlarına yine belli yatay kuvvetlere dayanabilecek ve zemine ankrajlı takozlar konulmalıdır.

iii — Acil durumlarda devreye girecek sistemler ayrı yapılarda bulundurulmalı, bunlarında zemine sıkıca tesbiti yapılmalı, deprem sırasında en ufak bir zarar görmelerini bile önleyecek tedbirler alınmalıdır.

v — Su, havagazı ana boruları, şiddetli zemin hareketi, zeminin sıvılaşması, fay hattının oynaması gibi etkilerin beklendiği nisbeten yüksek derecede tehlikeli bölgelerden geçirilmemelidir. Bu bölgelerin mikrozon çalışmaları yapılarak önceden tesbiti yoluna gidilmelidir.

KAYNAKLAR:

- 1 — P.I. Yanev «Industrial Damage» Managua, Nikaragua Earthquake of December 23, 1972 Conference Proceedings San - Fransisco, California Nov. 29 - 30 1973.
- 2 — A. Klopfenstein, B.V. Palk «Effect of the Managua Earthquake on the Electrical Power System» Managua Earhquake Con. Proc.
- 3 — G.W. Ferver «Managua : Effects on Systems» Managua Earthquake Conference Proceedings.
- 4 — U.S. Geological Survey «The San - Fernando, California, Earthquake of February 9, 1971» Geological Survey Professional Paper 732.

ELASTO - PLASTİK SİSTEMLERİN GELİŞİGÜZEL TİTREŞİMİ

Helvacı, İ. (*), Gürpınar, A. (**)

Ö Z E T :

Bu yazıda bir dereceli elasto - plastik sistemlerin depreme benzer uyarıcıların etkisiyle gelişigüzel titreşimi incelenmiştir. Sistemin olasılık yasası ve buna bağlı olarak bazı tepki - olasılık değerleri elde edilmiş, ilgili sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

SYNOPSIS :

In this paper, random vibration of elasto - plastic systems with one - degree of freedom excited by earthquake - like excitations are studied. Probability law for the system, and depending on that, some response statistics are obtained. Results are given in graphical form.

1. G İ R İ Ş :

Yer hareketinin gelişigüzel karakteri, depreme sarsılan bir yapının tepki analizinde olasılık teorisinin kullanılmasını gerektirir. Öte yandan, ekonomik nedenler yapının elastik sınır ötesindeki davranışı ile ilgili çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Sistemin elastik sınırı aştıktan sonraki davranışının rastgele oluşunun yanısıra doğrusal olmayışı, tepki analizine ancak bazı sınırlayıcı varsayımlarla olanak vermektedir.

Problem, gerçekte, hem uyarıcının (depremin) özellikleri, hem de sistemin tepkisi bakımından çok yönlülük göstermektedir. Öncelikle uyarıcının bütün olasılık özellikleri bilinmekte midir? Konu yer hareketi ise, bu sorunun cevabı olumsuz olacaktır. Bu konuda bilinen ve çok sayıda deprem kayıtlarının incelenmesinden anlaşılan, yer hareketinin kararlı olmadığıdır. (nonstationary process). Kararlı olmayan gelişigüzel bir uyarıcıyla sarsılan bir yapının tepkisinin, elastik sınırlar içinde bile olsa, gene kararlı olmayan bir ge-

(*) İnş. Yük. Müh.

(**) Yardımcı Prof. Dr.; O.D.T.Ü. Müh. Bil. Bölümü.

lişigüzel oluşum (nonstationary random process) olması beklenir. Literatürde, doğrusal sistemlerin kararlı davranışı konusunda oldukça geniş çalışmalar yapılmıştır (4, 8, 11, 13, 15, 16). Bazı yazarlar, doğrusal sistemlerin kararsız davranışlarını tartışmışlardır (2, 3, 11). Sistem davranışı, doğrusal olmamakla birlikte kararsızlık gösteriyorsa, yukarıda da söz edildiği gibi, tepki oluşumu ancak bazı yaklaşımlarla «tahmin» edilebilmektedir.

Bu amaçla, doğrusal analiz yöntemleri, doğrusal olmayan problemlere uygulanmış ve perturbasyon (9) ve eşdeğer - doğrusal (equivalent - linear) (5, 7, 12) gibi bazı yaklaşık teknikler geliştirilmiştir. Ancak, bu yaklaşık metodlar doğrusallıktan sapmanın büyük olması şartıyla sınırlıdır.

Doğrusal olmayan bir «yay» sistemin hareket denklemi

$$\ddot{x} + \beta \dot{x} + F(x) = f(t) \quad \dots\dots\dots(1)$$

ile ifade edilebilir. Burada x, yer değiştirmeyi; t, zamanı; β , birim kütle için viskoz sönüm katsayısını; f (t), birim kütle için, zamana bağlı olarak yüklemeyi verirler. Denklemi doğrusallıktan saptıran F (x) ise yer değiştirmeye bağlı yay kuvvetini verir. Eğer dinamik sistemi faz uzayında (phase - space) bir nokta olarak düşünürsek, sistemin bu uzaydaki yörüngesi sürekli Markov oluşumu (continuous Markov process) olarak tanımlanabilir. Böyle bir oluşum için olasılık yasası (probability law) Fokker - Planck denkleminin çözümü ile elde edilebilir ki, adı geçen denklem

$$\frac{\delta P_c}{\delta t} = -\sum \frac{\delta}{\delta y_i} (a_i P_c) + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \frac{\delta^2}{\delta y_i \delta y_j} (b_{ij} P_c) \quad 2$$

ile belirlenir.

Burada

$P_c = P_c(\bar{y}, t/\bar{x})$ geçiş olasılığı ve

$$a_i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{E(\Delta y_i)}{\Delta t} \quad b_{ij} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{E[\Delta \bar{y}_i \Delta \bar{y}_j]}{\Delta t} \quad .(3) \text{ dir.}$$

Denklem (3) de verilen E [.], [.] için ortalama değeri, y_i de faz uzayındaki durum vektörünü tanımlarlar. Denklem (2) Uhlenbuck (17) ve Caughey (6) tarafından tartışılmıştır.

Caughey (6), hareketi, denklem (1) tarafından tanımlanabilen bir dereceli, doğrusal olmayan sistemler için geçiş olasılığını (transition probability) veren genel bir çözümü, bazı varsayımlarla elde etmiştir. Uyarıcının olasılık özelliklerine ilişkin bu varsayımlar şöyle özetlenebilir :

1 — Uyarıcı kararlıdır (stationary) ve normal dağılım (Gaussian distribution) izler,

2 — Uyarıcı «beyaz gürültü (white noise)» güç spektrumuna (power spectrum) sahiptir.

3 — Uyarıcının ortalama değeri sıfırdır.

Bu kabuller,

$$E [f(t_1) \cdot f(t_2)] = (W_0/2) \delta(t_1 - t_2) \quad \dots\dots\dots(4a)$$

$$E [f(t)] = 0 \quad \dots\dots\dots(4b)$$

şeklinde ifade edilirler. Burada W_0 uyarıcının sabit güç spektrum değerini (cm/sn²)/(devir/sn) cinsinden; $\delta(\cdot)$ de Dirac Delta Fonksiyonunu; t_2 ve t_1 de değişik zamanları tanımlamaktadırlar.

Caughey (6), yer değiştirme için $y_1=x$, hız için de $y_2=\dot{x}$ diyerek; anılan özelliklere sahip uyarıcının etkisindeki genel doğrusal olmayan (non-linear) bir sistem için geçiş olasılığını

$$P(y_1, y_2) = C \cdot \exp \left\{ - \frac{4\beta}{W_0} \left[\frac{y_2^2}{2} + \int_0^{y_1} F(u) du \right] \right\} \quad (5)$$

olarak elde etmiştir. Burada C normalleştirme katsayısıdır.

2. ELASTO - PLASTİK SİSTEME UYGULAMA :

Denklem (5) ile verilen genel eşitliğin, özel sistemlere uygulanabilmesi, denklemde integral içinde bulunan kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisinin bu özel sistem için yazılabilmesine bağlıdır. Şekil. 1'de gösterilen kuvvet - yerdeğiştirme (force - displacement) fonksiyonuna sahip elasto - plastik bir sistem için bu ilişki

$$F(x) = W_n^2 \left[x - (x - x_y) H(x - x_y) \right] \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada W_n elastik bölgedeki sönümsüz doğal frekans, x_y plastik hale geçiş sırasındaki yerdeğiştirme değerleridir. $H(\cdot)$ ise Heaviside fonksiyonu olarak bilinir ve

$$x < x_y \quad H(x - x_y) = 0$$

$$x \gg x_y \quad H(x - x_y) = 1$$

ile tanımlanır. Denklem (6), Denklem (5) te yerine konularak,

$$P(y_1, y_2) = C \exp \left\{ - A^2 \left[\frac{y_2^2}{W_n^2} + y_1^2 - (y_1 - x_y)^2 H(y_1 - x_y) \right] \right\}$$

elde edilir. Burada, $A^2 = 4 \beta W_n^3 / W_0$ ile tanımlanır ve β kritik sönüm katsayısı oranıdır.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-x_y}^{Ax_y} P(y_1, y_2) \cdot dy_1 \cdot dy_2 = f \quad (8)$$

şartı kullanılarak C katsayısı bulunur ve Denklem (7)'de yerine konulursa, elasto - plastik sistem için geçiş olasılığı Denklem (9) daki gibi yazılabilir (10) :

$$p(y_1, y_2) = \frac{A \exp\left\{-\Delta^2 \left[\frac{y_2^2}{w_n^2} + y_1^2 - (y_1 - x_y)^2 H(y_1 - x_y)\right]\right\}}{w_n \sqrt{\pi} \left\{ \frac{2S_1}{A} + \frac{x_y}{B \exp(B/2)} \left[1 - \exp\{-\beta(\mu-1)\}\right] \right\}} \quad (9)$$

Buradaki $B=2 A^2 x_y^2$, ve (10)

$$S_1 = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(Ax_y)^{2n+1}}{(2n+1)(n!)} \quad \dots(11)$$

olup, S_1 serisinin belli bir değere yaklaştığı (convergent) gösterilebilir (10).

2. a — ORTALAMA - KARE YERDEĞİŞTİRME (OKYD) :

Ortalama - Kare Yer Değiştirmenin (OKYD) - (mean - square displacement) önemi, sistemin enerji kapasitesi hakkında bilgi veremesinin yanısıra, mühendislik açısından önemli olan genlik (amplitude) için ortalama değer vermesindedir. Örneğin, sinusoidal bir dalga hareketi için ortalama - değer sıfırdır; fakat ortalama - kare değer sıfırdan farklı olup, bu değerın karekökü ortalama genlik (average amplitude) değerini verir. Bu nedenle, olasılık yasasını Denklem (9) da verdiğimiz elasto - plastik sistem için, OKYD, değerlerini elde etmek daha faydalı olacaktır. OKYD. için bilinen genel tanım,

$$\Sigma (y_1^2) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} y_1^2 P(y_1, y_2) \cdot dy_1 \cdot dy_2 \quad (12)$$

denkleminde $p(y_1, y_2)$ için Denklem (9) dan yerine koyup, ilgili işlemleri yaparak,

$$= \frac{\frac{2S_2}{A^3} + \left(\frac{x_y}{B}\right)^3 \left\{ \left[(B+1)^2 + 1 \right] e^{-B/2} - \left[(\mu B+1)^2 + 1 \right] e^{-B(\mu-\frac{1}{2})} \right\}}{\frac{2S_1}{A} + \frac{x_y}{B e^{B/2}} \left[1 - e^{-B(\mu-1)} \right]} \quad (13)$$

bulunur (10). Bu, elasto - plastik sistemin yükleme bölgesi adını ver-

diğimiz $-x_y$ dan μx_y 'a kadar olan bölge için OKYD. değerini veren denklemdir ve burada

$$S_2 = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(Ax_y)^{2n+3}}{(2n+3)(n!)} \dots\dots\dots(14)$$

ile ifade edilir.

Ters - yükleme (reverse - loading) denilen μx_y $-x_y$ bölgesi için, OKYD. bazı varsayımlarla (10)

$$E_r(y_1^2) = E_L(y_1^2) + X_b^2 \dots(15)$$

olarak bulunabilir. Burada

$$x_b = x_y \cdot (\mu - 1) \dots\dots\dots(16)$$

2. b - SINIR - AŞMA PROBLEMİ :

Sistem için iki ayrı bölgede OKYD. değerlerini veren eşitlikler elde edilmiş olmakla beraber, tüm sistem için tek OKYD. değeri elde edilmesine gerek vardır. Bu amaçla, sistemin elastik ve plastik bölgelerde geçirdiği zamanların ağırlık faktörü kabulü ile, Zaman - Ağırlıklı OKYD. veya ZAD. (Weighted - mean - square Displacement) hesaplanmıştır. Burada, ayrı bölgelerde geçen zamanların hesaplanabilmesi için elastik - limiti aşma zamanının hesaplanmasına gerek vardır.

« x_y » sınırını, birim zamanda pozitif eğimle aşma sayısına dersek,

$$Y_{x_y}^+ = \int_0^{\infty} y_2 P(x_y, y_2) dy_2 \dots\dots\dots(17)$$

eşitliği yazılabilir (8, 10). $P(x_y, y_2)$ için Denklem (9) dan yerine ko-yarak,

$$Y_{x_y}^+ = \frac{\sqrt{\pi}}{2S_1 T_n} \exp(-B/2) \dots\dots\dots(18)$$

elde edilir ki, burada $T_n = 2\pi/W_n$ elastik bölgedeki doğal periyottur. Elastik sınır aşma zamanı için ortalama değere $E(t_c)$ diyerek,

$$E(t_c) = 1/Y_{x_y}^+ = 2S_1 \exp(B/2) T_n / \sqrt{\pi} \dots\dots\dots(19)$$

yazılır.

2. c — ZAMAN - AĞIRLIKLI ORTALAMA - KARE
YER - DEĞİŞTİRME (ZAD.) :

Yükleme ve ters - yüklemeye bölgeleri için $E(t_c)$ değerlerini eşit kabul ederek; sistemin t süreli bir uyarıcının etkisiyle, yüklemeye bölgesinde geçireceği zaman t_1 ile, ters yüklemeye bölgesinde geçireceği t_r zamanları hesaplanabilir ve de $t_1 + t_r = t$ olur.

t_1 ve t_r 'nin bilinmesi ile ZAD. hesaplamak için

$$\bar{E}(y_1^2) = \frac{t_L E_L(y_1^2) + t_r E_r(y_1^2)}{t} \quad (20)$$

yazılır. $t_1 + t_r = t$ ve Denklem (15), Denklem (20) de yerlerinde konarak ZAD. için

$$\bar{E}(y_1^2) = E_L(y_1^2) + \frac{t_r}{t} x_b^2 \quad (21)$$

elde edilir.

Öte yandan, elasto - plastik sistemi etkileyen uyarıcının tam - elastik sistemi sarsması halinde OKYD. değerini veren eşitlik

$$E(y_1^2) = - \left(W_0 / 64 \pi^3 \right) T_n^3 \quad (22)$$

şeklinde yazılabilir. (6, 10).

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA :

Depreme - benzer bir uyarıcının etkisindeki elasto - plastik bir dereceli sistem için olasılık - yoğunluk fonksiyonu (probability density function) yüklemeye bölgesi için elde edilmiş; zamanı ağırlık faktörü olarak kullanarak, sistemin tüm hareketini kapsayan OKYD. değerini veren formül yazılmıştır.

Uyarıcı için yapılan «sıfır» ortalama değeri kabulü, deprem sırasındaki yer hareketinin ivmesi için gerçekçi bir kabuldür. Sabit spektral yoğunluk varsayımı ise uyarıcının en azından «zayıf - kararlı (weakly stationary)» olmasını gerektirir ki, bunun deprem ivmesi için tam anlamıyla gerçekçi olmadığı bilinmektedir. Fakat, periyodun küçük olduğu hallerde bütün sönüm değerleri için, bu varsayım da yeteri kadar yaklaşık sonuçlar verebilmektedir (13).

OKYD. yi veren formüller pek çok değişkeni bir arada bulundurmaktadır. Bu nedenle, bu değişkenlere sayısal değerler vererek karşılaştırmalı sonuçlara gitmenin daha kolay olacağı düşünülmüş ve bir bilgi - sayar (computer) programı hazırlanmıştır. Sözü edilen sayısal değerler şöyledir :

$$0.005 \leq \xi \leq 0.10 \quad ; \quad 0.10 \leq T_n \leq 10 \quad ; \quad 10 \leq \mu \leq 50$$

$$\tilde{t} = 30 \text{ sn} \quad ; \quad W_0 = 300 (\text{cm/sn})^2 / (\text{devir/sn.})$$

Son iki değer, yaklaşık olarak El - Centro, 1940 depremine ait değerlerdir (14).

S_1 ve S_2 seri ifadelerindeki (Ax_y) sayısı hem A, hem x_y bakımından doğal periyotla ilişkilidirler. A T_n ilişkisi Denklem (7) de verilmiştir.

x_y T_n ilişkisi ise

$$x_y = (C_e \cdot g / 4\pi^2) T_n^2$$

ile tanımlanabilir. Burada C_e deprem katsayısı olarak bilinir. Programda C_e için, Afet Bölgelerinde yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (19) tarafından verilen katsayılar şöyle seçilmiştir :

Bölge katsayısı,	$C_o = 0.06$
Zemin katsayısı,	$\alpha = 1.20$
Bina önem katsayısı,	$\theta = 1.50$
Bina dinamik katsayısı,	$\Psi = 1 \quad (T_n \leq 0.5 \text{ sn})$ $= 0.5/T_n \quad (T_n > 0.5 \text{ sn})$
ve Deprem katsayısı	$C_e = C_o \alpha \Psi \theta$

Bu sayısal değerlerle elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilmiştir (Şekil. 3, Şekil, 6). Bütün şekillerde görülen, sönüm katsayısının OKYD. değerini azaltıcı etkisi, bilindiği gibi, sönümün enerji yutma özelliği ile ilişkilidir.

Sistem için sertlik süreksizliğini (point of stiffness discontinuity) tanımlayan sınır - yer değiştirme (yield displacement) değeri x_y , aynı zamanda yapının esnekliği (flexibility) için de bir ölçüttür ve bu değer T_n ile doğrusal olarak artar (Denklem - 20). T_n , x_y ve OKYD. arasındaki, Şekil - 3 ve diğerlerinde de izlenebilen, üçlü doğrusal ilişki, Yao ve Yeh'in (18) sonuçlarıyla uyumludur.

Sırasıyla Denklem (21) ve Denklem (22) ile hesaplanan elasto - plastik ve elastik OKYD. değerleri Şekil - 4 de verilmiştir. Elasto plastik ZAD değerlerinin, sünme (ductility) katsayısı ile arttığı ve bu katsayıya bağlı olarak, genellikle elastik değerlerden büyük olduğu Şekil - 4 de görülmektedir. Bu sonucun, deterministik deprem analizi sonuçlarıyla çeliştiği düşünülebilir. Eldeki deprem kayıtlarından hesaplanan deprem tepki spektrumları (earthquake response

spectra), en büyük elasto - plastik tepki değerlerinin, elastik değerlerden daha küçük olduğunu göstermiştir. Bu nedenle aslında bir çelişki yoktur, çünkü tepki - spektrumu en büyük genliği; OKYD., nin karekökü ise ortalama genliği verirler. OKYD.'ne ilişkin bu sonuç, Caughey (5) tarafından saptanan sonuçla da doğrulanmaktadır.

Şekil - 5 de elasto - plastik OKYD. tepki değerlerinin sönüm - sünme duyarlık eğrileri (damping - ductility sensitivity curves) verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, elasto - plastik sistem sünmeye daha çok duyarlıdır. Bu, yükleme ve ters - yükleme bölgeleri için sönümün sabit tutulması; buna karşılık, sünmedeki artışın ters yüklemedeki denge noktası x_0 'yi ve buna bağlı olarak ZAD. değerini artırması ile açıklanabilir (Bk. Denklem - 21).

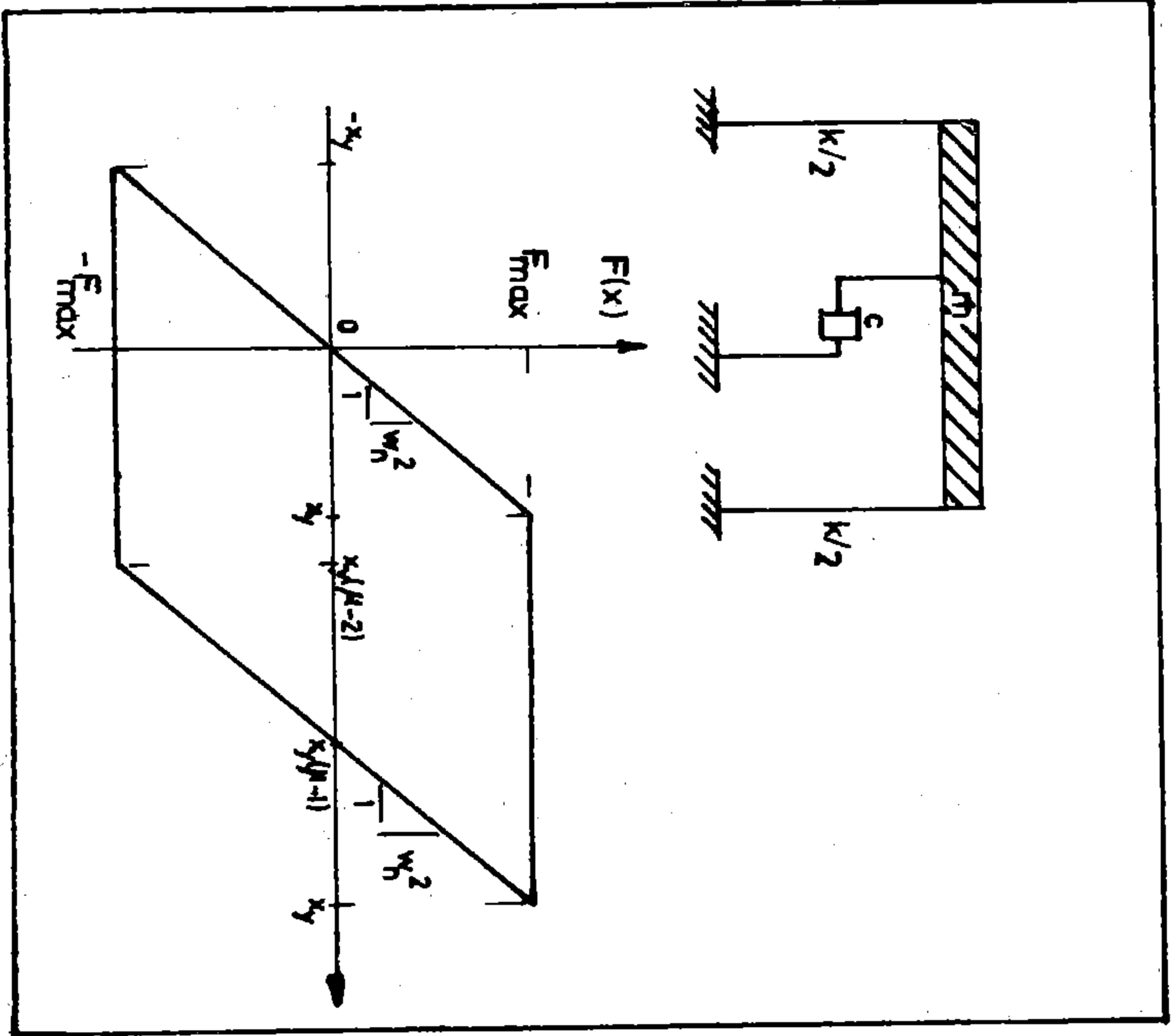
Denklem - 19'da verilen ortalama elastik - sınırı aşma zamanının değişimi Şekil - 6'da gösterilmiştir. Elastik sınır periyotla arttığı için, bilinen bir uyarıcı için, bu sınırın aşılması daha uzun bir zamanı gerektirecektir. Öte yandan, daha büyük sönüm katsayısı sistemin sarsıntı anında daha fazla enerji yutmasını sağlayacak; bu da sınır aşma zamanının artmasına neden olacaktır.

Özetlenecek olursa, depreme - benzer uyarıcıya sarsılan elasto - plastik bir dereceli sistem, elastik sisteme karşın, yer değiştirme için, daha büyük ortalama genlik (mean - amplitude) değerine sahiptir. Bu nedenle elasto - plastik sistemler, dinamik yükleme halinde, en büyük tepki değerlerinin yanısıra, yükün dinamik etkisini de gözönüne alan yöntemlerle incelenmelidir.

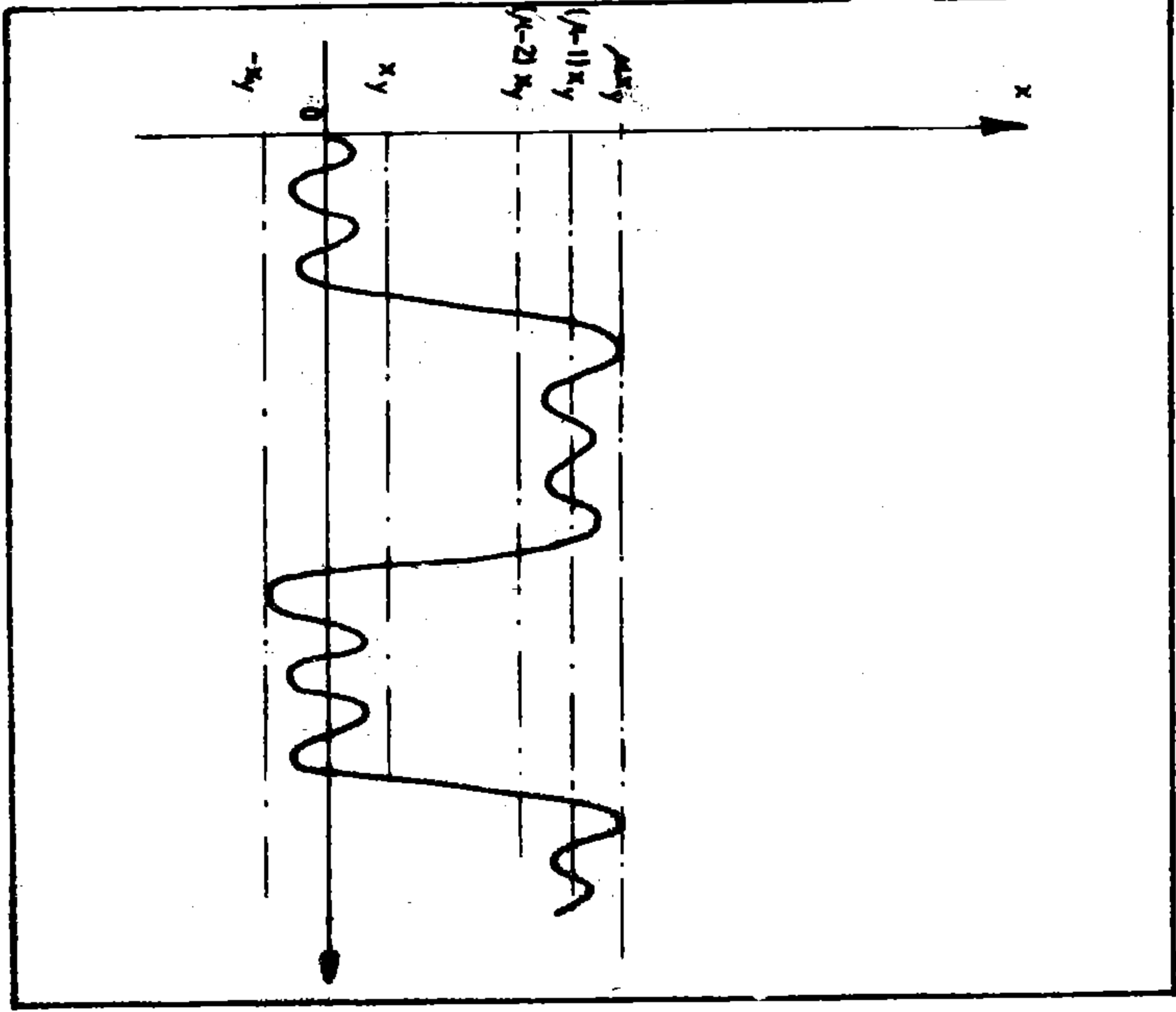
REF E R A N S L A R :

- 1 — Biggs, J.M., «Introduction to Structural Dynamics,» McGraw - Hill Book Company, New York, 341 p., 1964.
- 2 — Biot, M.A., «A Mechanical Analyser for the Prediction of Earthquake Stress,» Bull. Seism. Soc. Am., v. 31, pp. 151 - 171, 1941.
- 3 — Bogdanoff, J.L., and others, «Response of a Simple Structure to a Random Earthquake - Type Disturbance,» Bull. Seism. Soc. Am., v. 51, pp. 293 - 310, 1961.
- 4 — Bycroft, G.N., «White Noise Representation of Earthquakes,» Proc. ASCE, v. 86, No. EM2, pp. 1 - 16 April 1964.
- 5 — Caughey, T.K., «Random Excitation Of a System with Bilinear Hysteresis,» J. Appl. Mech. v. 27 pp. 649 - 652, 1960.
- 6 — Caughey, T.K. «Derivation and Application of The Fokker - Planck Equation to Discrete Nonlinear Systems Subjected to White Random Excitations,» J. Acoust. Soc. Am., v. 35, pp. 1683 - 1692, 1963.
- 7 — Caughey, T.K., «Equivalent Linearization Techniques,» J. Acoust. Soc. Am., v. 35, pp. 1706 - 1711, 1963.
- 8 — Crandal, S.H., and Mark, W.D., «Random Vibration in Mechanical Systems,» Academic Press, New York, 166 p., 1963.

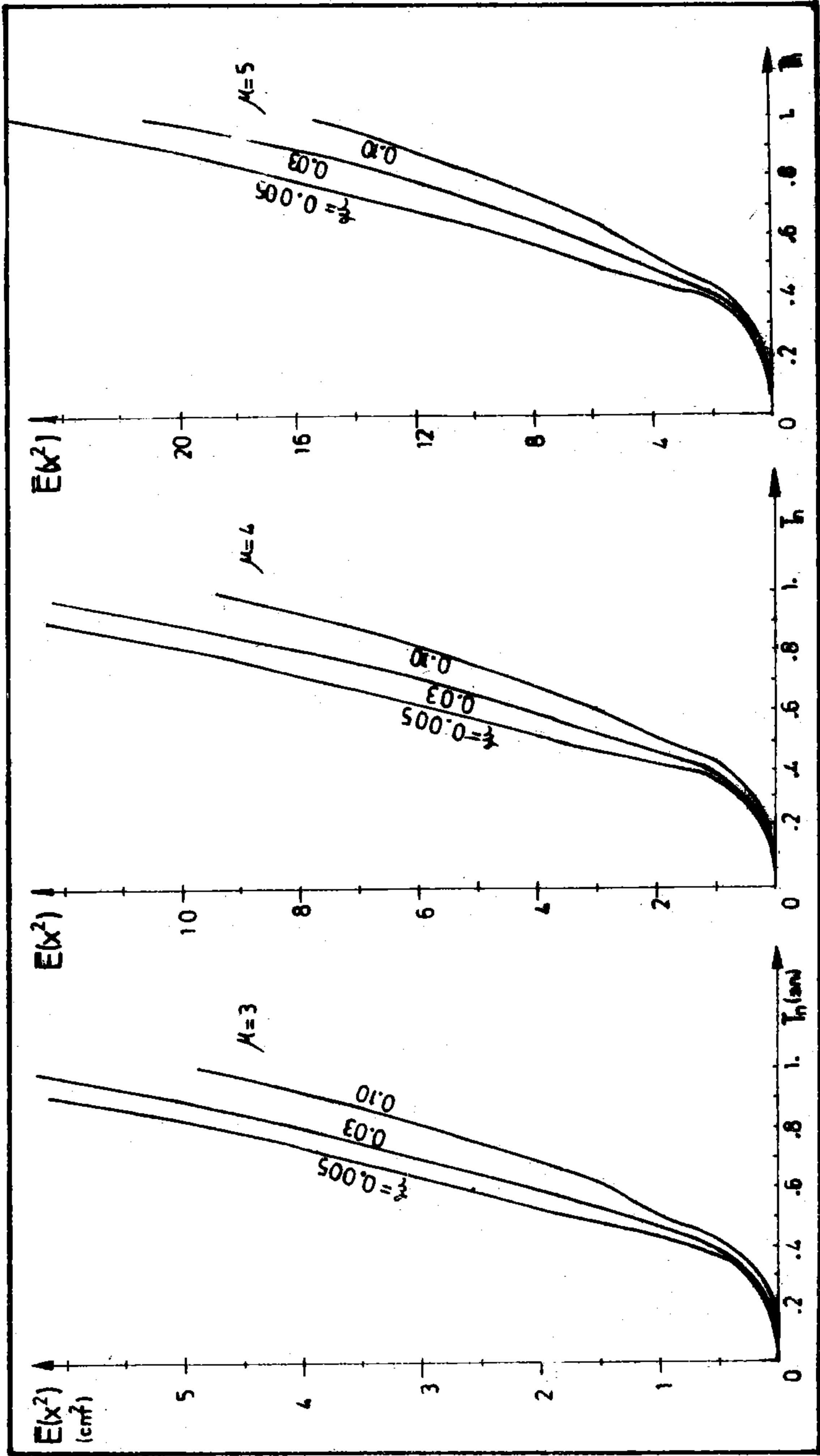
- 9 — Crandall, S.H. «Perturbation Techniques for Random Vibration of Nonlinear Systems.» J. Acoust. Soc. Am. v. 35, pp 1700 - 1705, 1963.
- 10 — Helvacı, İ., «Random Vibration of Elasto - plastic Systems with One Degree of Freedom Subjected to Earthquake Excitation.» Master Thesis, Middle East Technical University., January 1973.
- 11 — Lin, Y.K., «Probabilistic Theory of Structural Dynamics.» McGraw - Hill Book Company, New York, 366 p., 1967.
- 12 — Lutes, L.D., «Equivalent Linearization for Random Vibration.» Proc. ASCE, No. EM3, pp. 227 - 242, June 1970.
- 13 — Penzien, J., «Application of Random Vibration Theory in Earthquake Engineering.» Bull. Int. Inst. of Seism. and Earthq. Eng., v. 2, pp. 47 - 69, 19 1965.
- 14 — Penzien, J., and Liu, S. - C., «Nondeterministic Analysis of Nonlinear Structures Subjected to Earthquake Excitations.» Proc. Fourth World Conf. Earthq. Eng., Santiago, Chile, Paper - A - 1, pp. 114 - 129, 1968.
- 15 — Rosenblueth E., «Probabilistic Design to Resist Earthquakes, Proc. ASCE., v. 90, No. EM5, pp. 189 - 219, Oct. 1964.
- 16 — Rosenblueth. E., and Bustamante, J.I., «Distribution of Structural Response to Earthquakes.» Proc. ASCE., v. 88, No. EM3, pp. 75 - 106, June 1960.
- 17 — Wax, N., ed., «Selected Papers on Noise and Stochastic Processes» Dover Publication, Inc., New York, pp. 113 - 132, 1954.
- 18 — Yeh, H.Y., and Yao, J.T.P., «Random Response of Piecewise Linear System to White Noise Excitation.» Bureau of Engineering Research, Universty of New Mexico, Albuquerque, New Mexico, Technical Report, 39 p., 1969.
- 19 — Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 1968.



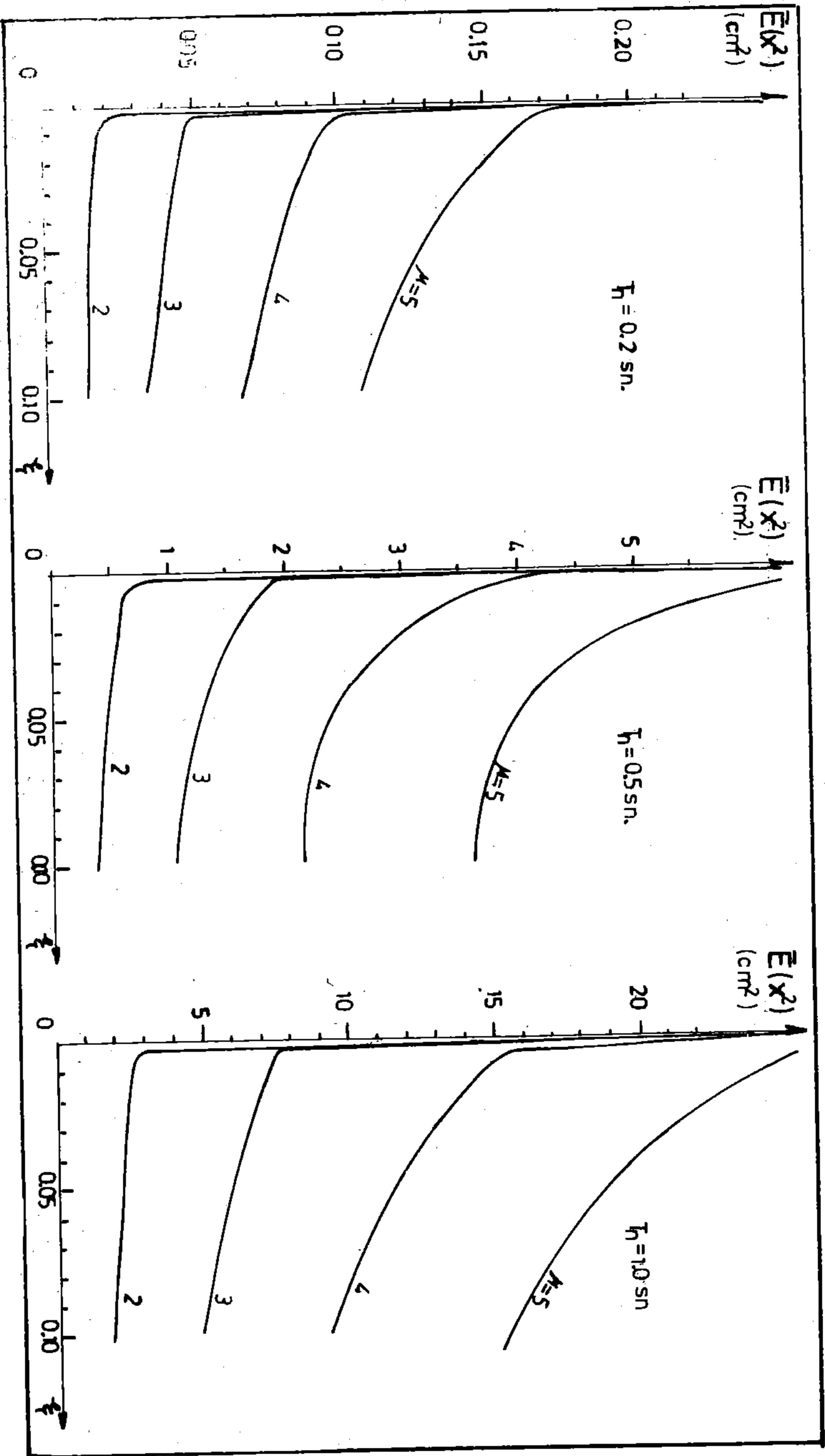
Sekil 1. Bir dereceden serbestikli sistem ve elastik-plastik kuvvet-yer deđistirme diđramı



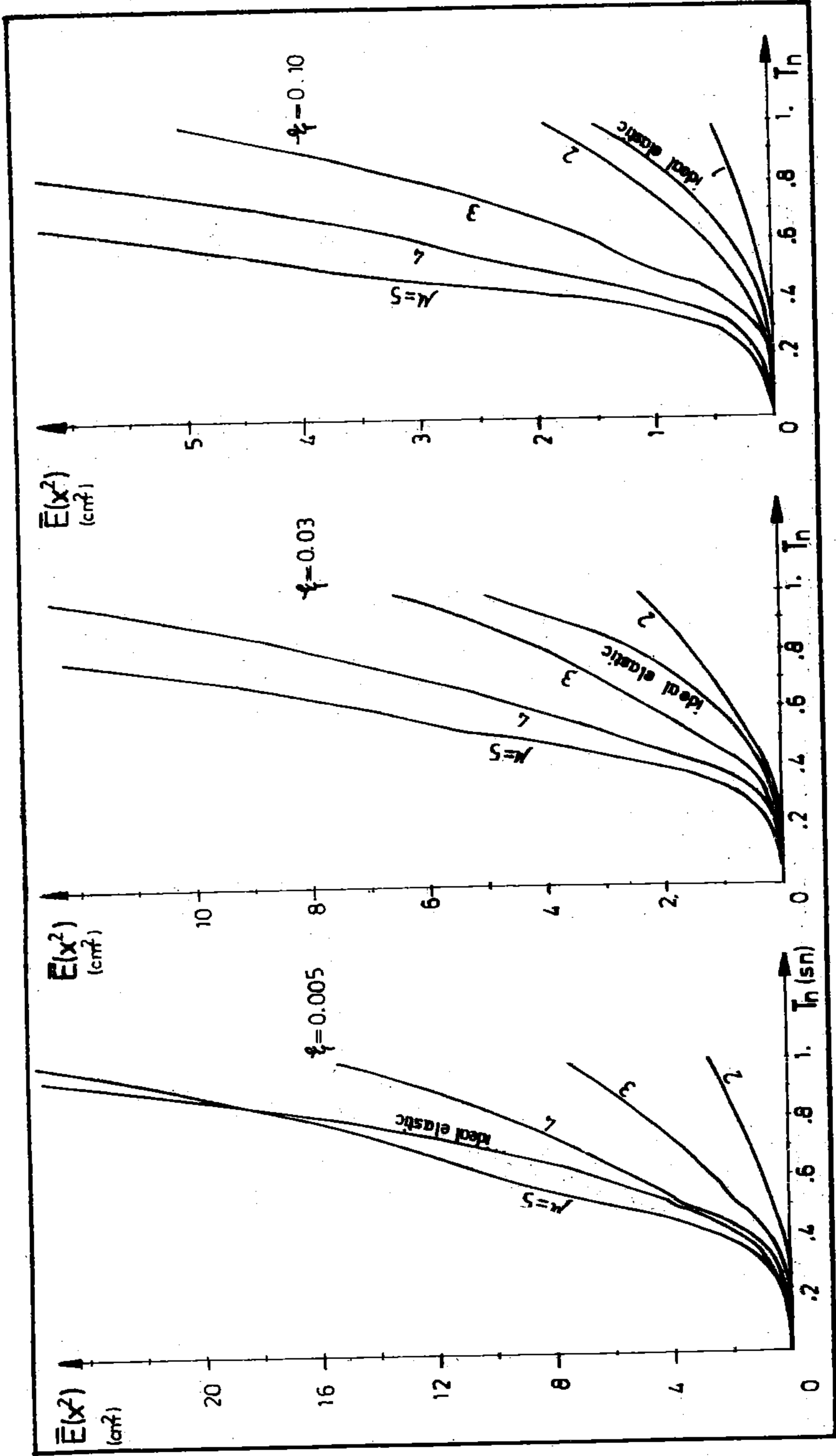
Sekil 2. Kabul edilen yer deđistirme-zaman eğrisi



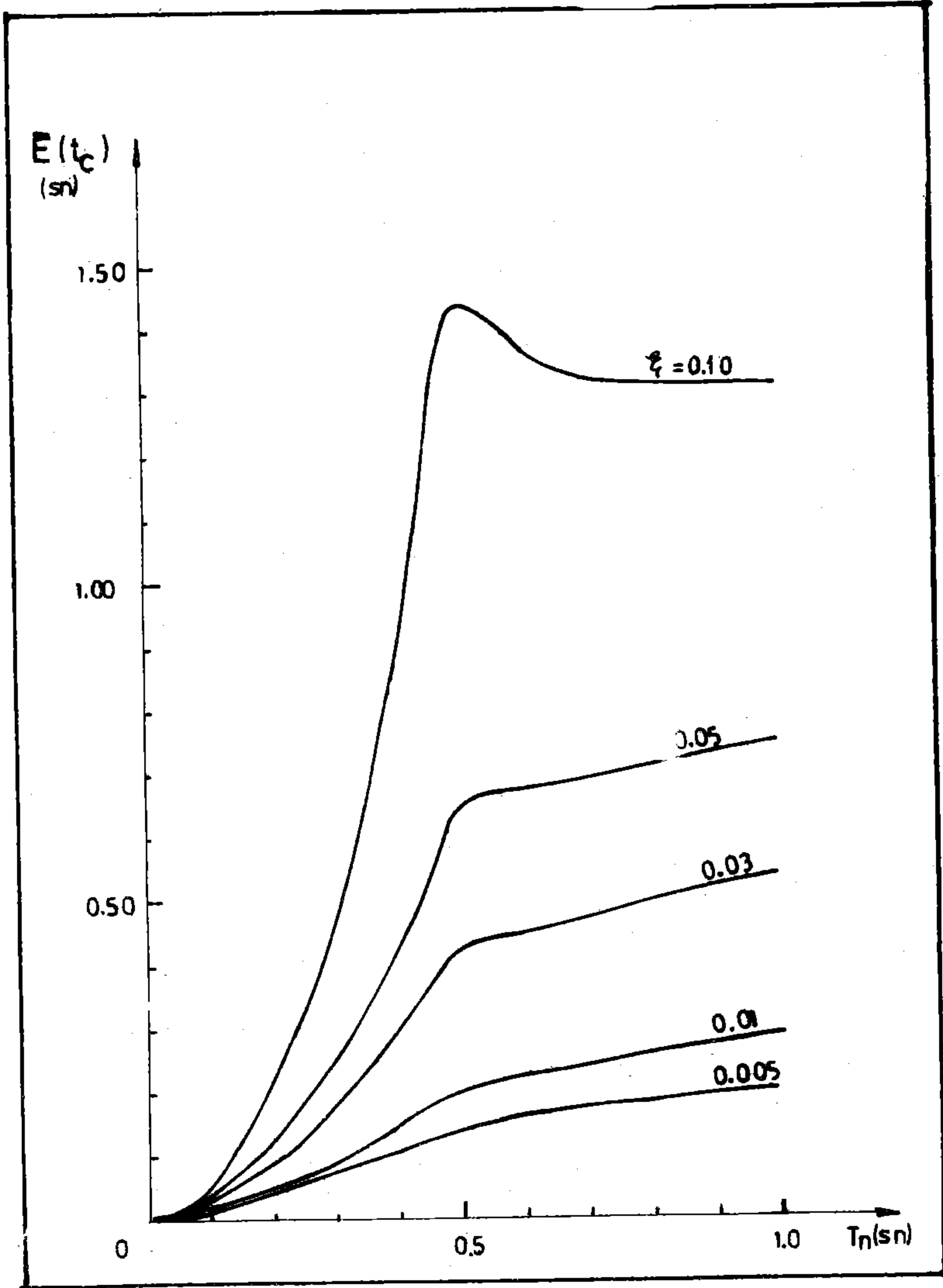
Şekil.3. Zaman-Ağırlıklı OKYD. (ZAD.) Eğrileri



Şekil 5. Sönüm-Sünme Dayarlık Eğrileri



Şekil 4. Elastik ve Elasto-Plastik OKYD. Değerlerinin Karşılaştırılması



Şekil 6. Ortalama Elastik Sınır Aşma Zamanı

ÇOK KATLI PERDELİ YAPILARIN YATAY YÜKLERE GÖRE YAKLAŞIK HESAP METODU

Dr. Ergin Çıtıptıoğlu (*) - Dr. Mehmet Çelebi (**)

Ö Z E T :

Bu yazıda perdeli sistemlerin yatay kuvvetlere göre yaklaşık bir analiz metodu takdim edilmektedir. Metod, kesitinde ortogonal eksenler tarif edilebilen perdeli sistemler için geçerlidir. Takip edilen yöntem, perdeli sistemin düzlem çerçevelere ayrılabilmesine dayanmaktadır. En üst katta deplasmanın uyumluluğu kullanılarak bir yöndeki yatay kuvvetler o yöndeki çerçevelerle paylaşılır. Kesme kuvvetlerine göre kayma merkezi tarif edilmekte ve burulma olması halinde burulma momentlerinin dağıtımı yapılabilmektedir.

SUMMARY :

An approximate method of lateral load analysis for shear wall systems is presented. The method makes use of computer solutions of shear walled systems for which a set of orthogonal axis can be defined. The procedure that follows is dependent on the possibility of the shear wall system being separated into planar frames. The compatibility of uppermost floor displacement is used to divide the lateral load in one direction amongst the frames in the same direction. Shear center is defined and in case of torsion, distribution of torsional moments is approximated.

I. G İ R İ Ş :

Son yıllarda çok katlı perdeli yapıların tercih edilir yapı sistemi olması, proje açısından yüklere ve özellikle yatay yüklere göre hesap metodlarının geliştirilmesini gerektirmiştir. Deprem yükü

-
- (*) Asosye Prof. Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü
(**) Asosye Prof. Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Müh. Bölümü

altında çeşitli perdeli sistemlerin değişik davranışlar göstermesi, çok önemli olmakta bu sebepten, bazı perdeli sistemlerin diğerlerine göre tercih durumunu ortaya çıkarmaktadır. Bütün bu işlemler için yapı sisteminin analiz metodu önemli olmaktadır.

Perdeli sistemlerde perdenin fonksiyonu genellikle, rüzgâr ve deprem yükleri için gerekli yatay rijitliği sağlamaktır. Böylece deformasyon kısıtlanabilmekte fakat yapının duktilitesi azalmaktadır.

Perdeli sistemlerin yatay yüklere göre analizi için birçok metod geliştirilmiştir.

Rosman (1), Cordan (2), Çakıroğlu ve Çetmeli (3), ve MacLeod (4), değişik yaklaşımlarla perdeli sistemlerin analiz metodları konularını incelemişlerdir.

Bu makalenin amacı, çok katlı perdeli yapıların perdeli çerçevelerin elektronik sayısal hesaplayıcısı ile yapılan analizinden faydalanılarak, yatay yüklere göre yaklaşık olarak hesaplanmasını sağlayan bir metodu geliştirmektir.

II. BASİTLEŞTİRME :

Çok katlı yapı sisteminin kesitinde değişik yönlerde perdelerin bulunması, sonlu elemanlar veya sonlu farklılık metodlarının uygulanmasını kısıtlamaktadır. Böylece, yapının analizi için daha yaklaşık hesap metodlarına başvurulması gerekmektedir. Yapı sistemi kesitindeki bazı basitleştirmeler ve kabuller burada izah edilen metod için şöylece sıralanabilir :

i. Yapı sistemi kesiti için iki ortogonal yönde aks seçilecektir. İki ortogonal aksa göre perde sistemleri bulunmayan yapılar bu metodun kapsamı dışındadır.

ii. Her aks yönündeki perdelerin ve perdeleri bağlayan bağ kirişleri veya döşemelerden elde edilen eşdeğer kirişlerin, perdenin aks boyutu ve yapının yarattığı düzleme göre bir çerçeve durumunda olduğu kabul edilecektir. Yapı bu şekilde elde edilen perdeli çerçeve sistemlerine bölünecektir. Meydana gelen çerçevelerde, perdeler, kirişler veya kolonlar bulunacaktır. Uzunlukları aksa dik olan perdelerin genişlikleri bir kolon boyutu kadar olduğundan, bu perdeler kolon olarak alınmaktadır. Böylece, düzlemde çerçeve - perde karşılıklı etki durumu ortaya çıkmaktadır.

iii. Çerçeve elemanlarından kısa kirişler ve perdelerde kayma deformasyonunun tesiri göz önünde tutulmaktadır. Ancak, eğilme ve kaymadan dolayı kısa kirişlerdeki deplasmanların hesabında Rosman'ın (1) tatbik ettiği kesit atalet moment denklemi

$$I = I_0 \psi$$

olarak alınmış olup,

$$I_o = \frac{mt^3}{12}$$

ve

$$\psi = \frac{1}{1 + 2.4 \left(\frac{t}{b}\right)^2}$$

olmaktadır. Burada,

m = bağlayıcı kiriş veya döşemenin eşdeğer genişliği

t = bağlayıcı kiriş veya döşemenin derinliği

b = bağlayıcı kiriş (veya eşdeğer döşeme kirişinin) uzunluğu

olmaktadır.

iv. Perdelerin eğilme ve kesme rijitlikleri kayma tesirlerine göre düzeltilmiştir. Bu düzeltmeler referans 5,6 ve 7'de verilmektedir.

v. Kabul edilen bir aks üzerinde birden fazla kiriş varsa, bu kirişlere ait atalet momentleri toplanmaktadır.

vi. Aks yükleri, meselâ deprem için çok katlı yapının ilk katında birim yük olarak başlayarak, en üst kata kadar her kat için bir birim artırılmaktadır. Deprem yükü için bazı yönetmeliklerde tavsiye edilen en üst kata uygulanacak münferit yük ilâve olarak hesaba katılır (8,9). Rüzgâr halinde yapıya gelen rüzgâr yükü patterni uygulanacaktır.

III. ÇÖZÜM METODU :

Yukarıda bahsedilen yöntemle elde edilen düzlem perdeli çerçevelerin elektronik sayısal hesaplayıcı kullanılmadan çözümü pratik olmamaktadır. Bu maksatla, ODTÜ'de geliştirilmiş olan elektronik sayısal hesaplayıcı programı kullanılmaktadır. Bu programda, prensip olarak deplasman metodu kullanılmış, bağ kirişlerinin perdeye bağlandığı noktadan perde eksenine kadar olan kısmı sonsuz rijit kabul edilmiştir.

Eksenel yükten dolayı elemanların boy kısaltmaları ve yatay deplasman nedeniyle oluşan ikinci mertebe momentler (P - Δ etkisi) ihmal edilmiştir.

Programın ODTÜ de ki IBM 360/40'daki 30 kat ve 5 açıklıklı perdeli çerçeveleri için hesap süresi eleman başına ortalama 2 saniyeyi geçmemektedir. Hesap süresinin bu kadar kısa olmasının nedeni, perdeli çerçeveye ait rijitlik matrisinin en dar band genişliği sağlanacak şekilde otomatik olarak kurulması ve çözümünün bu tip matrislerde ekonomik çözüm verecek yöntemle uygulanmasından ileri gelmektedir.

IV. KAYMA MERKEZLERİNİN BULUNMASI :

Kayma merkezi basit olarak yapının kabul edilen ortagonal akslarına paralel yönde burulmasız öteleme yapması halinde, bu akslara paralel düzlem çerçevelerin k katındaki kesme kuvvetlerinin bileşkelerinin keştiği koordinatlarla tarif edilir.

Hesabın ilk kademesinde her aksa paralel perdeli çerçevelere aynı paternde yük tatbik edildiğinden, yapının en üst katındaki deplasmanlar değişik çerçeveler için değişecektir. Ancak, aynı yöndeki bütün çerçevelerin en üst katta aynı deplasmanı yapmalarını sağlamak mümkündür. Bunun için şu yöntem uygulanmıştır :

i. Bir yöndeki bütün çerçevelerin en üst katlarında yaptıkları deplasman elektronik sayısal hesap neticelerinden alınır. Şekil : 1' deki gibi kabul edilen X ve Y koordinatlarında örneğin X yönündeki çerçevelerin en üst katlarda aynı deplasmanları yapmalarını sağlamak için, o yöndeki en büyük deplasman $\delta_{ix} (\text{maks}) = D_x$ bulunur.

Böylece,

$$\gamma_{1x} = \frac{D_x}{\delta_{1x}} \quad (\text{birinci aks})$$

$$\gamma_{2x} = \frac{D_x}{\delta_{2x}} \quad (\text{ikinci aks})$$

$$\gamma_{nx} = \frac{D_x}{\delta_{nx}} \quad (\text{n'inci aks})$$

oranları hesaplanır. γ oranları her aksın orantılı çarpanıdır. X yönündeki her çerçevenin D_x kadar deplasman yapmasını sağlamak için o çerçeveye tekabül eden değerleri (yükler, kuvvetler, momentler, deplasmanlar) γ katsayısı ile çarpmak yetecektir. Diğer taraftan, bütün çerçevelere aynı yük paterni tatbik edildiği için, belirli bir kattaki bir aksa paralel çerçevelerin kat kesme kuvvetleri birbirine eşittir.

Örneğin k katında,

$$Q_{1k} = Q_{2k} = Q_{3k} = Q_{4k}$$

olur.

ii. Her çerçevenin k katındaki kesme kuvveti Q_{jk} kattaki kolon ve perdelerin kesme kuvvetlerinin (V_j) toplamına eşittir ve

$$Q_{jk} = \sum V_j$$

olmaktadır.

iii. Eğer k katındaki ve X yönündeki çerçevelerin toplam kesme kuvvetleri Q_{ik} , δ_i değerleri ile çarpılırsa,

$$\delta_{1x} Q_{1x}$$

$$\delta_{2x} Q_{2x}$$

$$\delta_{nx} Q_{nx}$$

bulunur. Bu değerler X yönündeki bütün çerçevelerin en üst katta eşit deplasman yapmalarını sağlayan k katındaki kesme kuvvetleridir

iv. Şu halde, en üst katla deplasman uyumluluğu yeterli görülürse, k katındaki kesme kuvvetlerin burulma yapmasını önliyecek eksenini bulmak, alan merkezi bulmaya benzer.

Böylece, kayma merkezinin y koordinatı,

$$y_s = \frac{\sum \delta_i Q_i y_i}{\sum \delta_i Q_i}$$

olur. Q_i değerleri birbirine eşit olduklarından

$$y_s = \frac{\sum \delta_j x_j}{\sum \delta_j}$$

bulunur. Aynı işlem y yönündeki çerçeveler için yapılırsa, kayma merkezinin x koordinatı,

$$x_s = \frac{\sum \delta_i y_i}{\sum \delta_i}$$

bulunur.

v. Ancak, en üst katta deplasman uyumluluğu yeterli görülmezse, değişik katlar için değişik δ değerleri bulunarak, ortalama δ değerleri kullanılabilir. Yazarların tecrübelerine göre, rijitlik dağılımı katlara göre fazla değişmeyen yapıların en üst katlarında deplasman uyumluluğu sağlanması yeterli olmaktadır. Burada şunu da belirtmek gerekir ki, en üst katta deplasman uyumluluğu sağlanması halinde diğer katlarda deplasmanların uyumsuzluğu bütün çerçevelere aynı yük paterninin uygulanamayacağını belirtir.

ÇERÇEVE YÜK PAYLARI :

Bu bölümde yatay yüklerin çerçevelere paylaştırılmasından bahsedilecektir.

a. Burulma Olmaması Durumu :

Bir yöndeki bütün çerçevelerin en üst katlarında aynı deplasmanı yapmasını sağlayan çerçeve kesme kuvvetlerinin toplamı (örneğin X yönünde)

$$\sum \delta_i Q_i$$

olduğundan, her çerçeveye tatbik edilmesi gereken pay kesme kuvveti oranı

$$\alpha'_i = \frac{\delta_i Q_i}{\sum \delta_i Q_i} = \frac{\delta_i}{\sum \delta_i}$$

olmaktadır. Diğer taraftan elektronik sayısal hesaplayıcı için her çerçeveye tatbik edilen kesme kuvveti eşit olduğundan, x yönünde temelle intikal eden toplam kesme kuvveti $\sum Q_i$ ve örneğin deprem yükü için statik eşdeğer kesme kuvvetide $F=CW$ ise, çerçeve deprem yük pay oranı (burulma olmaması halinde)

$$\alpha_i = \alpha'_i \frac{F}{\sum Q}$$

olmaktadır.

b. Burulma Olması Durumu :

Elektronik sayısal hesaplayıcı neticelerinden kat deplasmanları kullanılarak burulma tesirleri hesaplanacaktır. Önce kat burulma rijitliğini bulmak gerekir. Şekil : 1'de görüldüğü gibi \oplus burulma dönmesi için x yönündeki bir çerçevenin çerçeve yönündeki kolon rölatif deplasmanı, kayma merkezine olan uzaklığına orantılı alınacaktır. Ancak \oplus 'nın herhangi bir değer alınabileceği gözönünde bulundurulursa çerçevenin kayma merkezine olan uzaklığını almakta mümkündür.

Diğer taraftan, k katı ile k+1 katı arasında çerçevelere tekabül eden elektronik sayısal hesaplayıcıları çözümlerinden rölatif deplasmanları bulunur. Örneğin x yönündeki i çerçevesinin k ve k+1 katları arasındaki rölatif deplasman,

$$\Delta x_i = (\delta x)_{k+1} - (\delta x)_k$$

bulunur. Bu rölatif deplasmanı sağlayan i çerçevesine ait kat kesme kuvveti Q_{ix} olduğundan, burulma dönmesinden dolayı meydana gelecek y_i deplasmanını sağlayacak gerekli kesme kuvveti

$$T_{ix} = \frac{Q_{ix}}{\Delta_{ix}} (y_i)$$

olacaktır.

Aynı şekilde, y yönündeki bir çerçeve için

$$T_{jy} = \frac{Q_{jy}}{\Delta_{jy}} (x_j)$$

bulunur. Kattaki bütün çerçevelerin Θ burulma dönmesini sağlama için gerekli burulma momenti, M_{Θ} ise

$$M_{\Theta} = \sum T_{ix} y_i + \sum T_{jy} x_j$$

olacaktır. Aslında M_{Θ} birim olarak düşünülürse, kat burulma rijitliği olur.

Kesitte kayma merkezi iki yöndeki kesme kuvvetlerinin bileşmelerinin keşistikleri koordinatlarla belirlendiğinden, kayma merkezi C_s 'nin kat kesiti kütle merkezi C_M 'ye göre eksantrisiteleri de kolayca bulunur.

Böylece, yatay kuvvetlerden (rüzgâr veya deprem) oluşan herhangi bir k katındaki ve bir yöndeki kat kesme kuvveti, $\sum Q_k$ ise ve bunun kat merkezine (C_s) uzaklığı e_k ise, dış kuvvetlerden doğan kat burulma momenti

$$M(\text{hesap}) = (\sum Q_k) e_k$$

olur. Ancak buradaki işlem ortogonal iki yönde de tekrarlanmalıdır. k katı için burulma katsayısı

$$\beta'_k = \frac{M(\text{hesap})}{M_{\Theta}}$$

olacaktır. Örneğin x yönündeki i çerçevesi için burulma katsayısı ise

$$\beta_i = \beta'_k \frac{y_i}{\Delta x_i}$$

ve y yönündeki çerçeveler için

$$\beta_j = \beta'_k \frac{x_j}{\Delta y_j}$$

olur.

Birim dönmeyi sağlamak için gerekli burulma momenti M_θ olduğundan, k katındaki θ burulma dönmesi

$$\theta_k = \frac{M(\text{hesap})}{M_\theta} = \beta'_k \quad (\text{radyan.})$$

bulunur.

Burulma tesirlerinden doğacak kuvvetler ve deplasmanlar burulması tesirlere süperpoze edilir.

S O N U Ç :

Çok katlı perdeli yapı sistemlerinin düzlem perdeli çerçevelere bölmek suretiyle yatay yükler altında yaklaşık bir hesap metodu anlatılmıştır. Bu metodda, düzlem perdeli çerçevelere yapı yüksekligince aynı yük paterni uygulanmıştır. Uygulanan yükler sonucu, en üst kat deplasman uyumluluk şartı kullanılarak, burulma olmaması halinde perdeli çerçeve sistemlerine yükler paylaştırılmıştır. Bu aşamada diğer katlardaki deplasman uyumluluğu kontrol edilerek takdim edilen metodun yaklaşıklılığı hakkında bir fikir edinmek mümkündür.

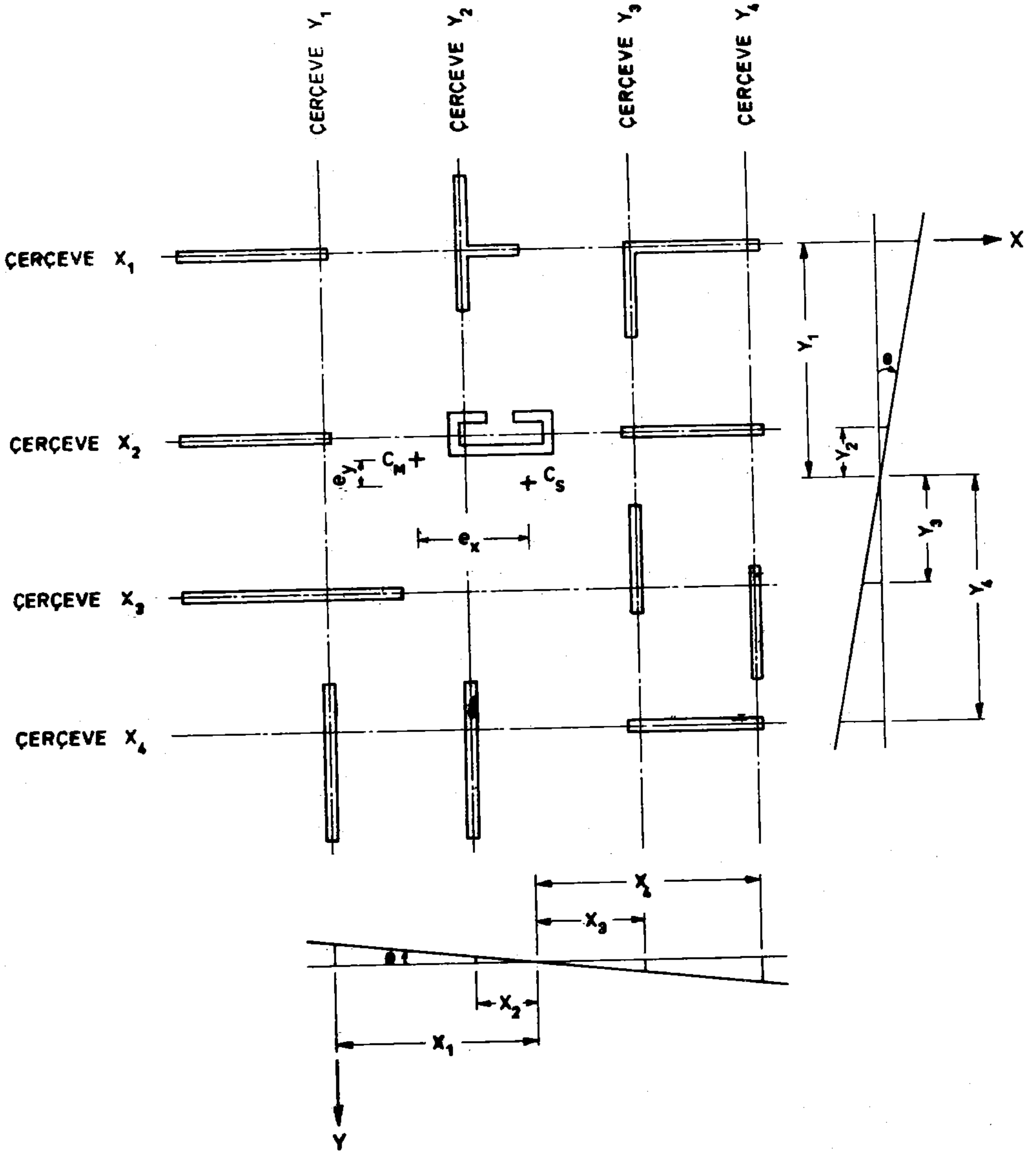
Ayrıca, burulma tesirlerinin hesaba katılabilmesi için, kat kayma merkezleri kat kesme kuvvetlerinin bileşkelerinin kesiştiği noktada olması tesbit edilmiştir.

Kat rölatif deplasmanlarından faydalanılarak, kat burulma rijitliği tarif edilmiş, burulma momentinden doğan ilâve çerçeve paylarına ait katsayılar verilmiştir.

Metodun hassaslığını arttırmak için kat deplasman uyum şartı, en üst kat yerine yapının muhtelif katlarındaki ortalaması alınarak yapılabilir.

REFERANSLAR:

- 1 — Rosman, R., «Approximate Analysis of Shear Walls Subject to Lateral Loads», Journal of ACI, Vol. 61, No. 6.
- 2 — Cardan, B., «Concrete Shear Walls with Rigid Frames in Multi Storey Buildings Subjected to Lateral Loads», Journal of ACI, v. 58, no. 3, pp. 299 - 315, 1961.
- 3 — Çakıroğlu, A. ve Çetmeli, E., «Taşıyıcı Olan Boşluklu Duvarların Yatay Kuvvetlere Göre Hesabı», ITU Dergisi Cilt 23, no. 4., 1965.
- 4 — McLeod, I.A., «Lateral Stiffness of Shear Walls with Openings», Tall Buildings Symposium, Pergamon Press, London, 1967 pp. 223 - 244.
- 5 — Gere, V.M. and Weaver, W., Analysis of Framed Structures, p. 427, Van Nostrand, 1965.
- 6 — Livesley, R.K., Matrix Methods of Structural Analysis, Pergamon Press, 1964.
- 7 — İpek, Muzaffer, «Çok Katlı Yapıların Burulmalı Titreşimi», ODTÜ Sempozyumu Şubat 1972.
- 8 — «Recommended Lateral Force Requirements and Commentary», Structural Engineers Association of California, 1960.
- 9 — «Depreme Dayanıklı Yapılar Hakkında Yönetmelik» İmar ve İskân Bakanlığı, 1968 (ve yenisi 1974).



ŞEKİL 1 YAPI KESİTİNİN ÇERÇEVELERE AYRILMASI

ARAZİ VE LABORATUVAR DENEYLERİ İLE ZEMİNLERİN KAYMA MODÜLÜNÜN SAPTANMASI

Yazarlar:
K.H. Stokoe (*)
F.E. Richart Jr. (*)

Çeviren:
M Âli Erguvanlı (***)

Ö Z E T :

Üç cins zemin ve bir şey numunesi üzerinde, ufak birim deformasyon genlikli titreşim durumunda, arazide çapraz - delik (cross - hole) sismik yöntemi ve laboratuvar da rezonans frekansı tekniği ile tayin edilen kayma dalgası hızları sonucu, zeminlerin laboratuvar ve arazide kayma modülü değerleri hesaplanmıştır. Kumlu numune üzerinde yapılan arazi ve laboratuvar deney sonuçları yakın benzerlik göstermesine rağmen, diğer iki siltli zemin üzerinde yapılan deneyler laboratuvar da elde edilen kayma modülü değerlerinin, arazide bulunan kayma modülünün yarısı kadar olduğunu göstermiştir. Kohezyonlu zeminlerin, laboratuvar deneylerinde deney süresinin etkisi altında kaldığı gözlenmiştir. Şeyl numuneleri üzerinde rezonans frekansı yöntemi uygulanarak yapılan deneylerde ise kayma birim deformasyon genliğinin değişimi ve çatlak düzlemlerinin etkileri araştırılmıştır.

SYNOPSIS :

In - situ and laboratory values of shear moduli at low - amplitude strain conditions were evaluated in three soils and a shale through measurement of shear wave velocities by the cross - hole seismic method in-

-
- (*) Massachusetts Üniversitesi, Amherst, Ma, USA.
(**) Michigan Univ., Ann Arbor, Michigan, USA.
(***) İTÜ. Müh. Mim Fakültesi, Geoteknik Kürsüsü, İstanbul.

situ and by the resonant - column method in the laboratory. Close agreement of shear moduli values were obtained for a sand by the two methods, whereas the laboratory values were about half the field values for two silts. Cohesive soils exhibited an appreciable time effect in laboratory tests. Resonant - column tests on shale samples included evaluation of shearing strain amplitude effects and the influence of fracture planes.

G İ R İ Ő :

Depremler esnasında, zemin tabakaları çok geniş sınırlar içinde kalan kayma birim deformasyonlarına uğramaktadır. Mikrotremorlar küçük - genlikli kayma birim deformasyonları meydana getirirken, göçmeler meydana getiren kuvvetli depremler ise çok büyük genlikli kayma birim deformasyonlarını oluşturur.

Zemin kitlelerinin ve zemin üstüne oturan yapıların, değişik deprem koşulları altındaki davranışları, zeminin kayma modülü değerine bağlıdır. Kayma modülü G , zemin içinde kayma dalgasının yayılma hızının (V_s) bilinmesi halinde aşağıda verilen formülden hesaplanabilir

$$G = \frac{\gamma_n}{g} \cdot V_s^2 \quad (1)$$

Burada,

γ_n - Zeminin doğal birim hacim ağırlığı (FL^{-3})

g - Yerçekimi ivmesi (LT^{-2})

V_s - Kayma dalgası yayılma hızı (LT^{-1})

G - Dinamik kayma modülü (FL^{-2})

değerlerini göstermektedir.

Laboratuvarda, değişik deney koşulları altında V_s değerinin saptanması, kayma modülü G , değerlerin hesaplanmasını sağlar.

Arazide ise, sismik yöntemler ile küçük genlikli kayma birim deformasyonları ($\gamma < 10^{-4}$ cm/cm) altında V_s ölçümü yapılabilmektedir. Laboratuvar deney yöntemleri ise, V_s değerine etkiyen çeşitli parametrelerin saptanmasında ve küçük birim deformasyonlar altında elde edilen arazi verilerini, projelendirme aşamasında kullanılacak değerler ile karşılaştırılmasında yararlı olmaktadır. Bugüne kadar, laboratuvar ve arazi deney sonuçlarını karşılaştıran çok az araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada 4 değişik türdeki zemin üzerinde yapılan incelemelerin karşılaştırılması ve sonuçları sunulmuştur.

KAYMA DALGASI HIZININ ARAZİ VE LABORATUVARDA ÖLÇÜMÜ :

Yerinde kayma dalgası hızının ölçümü için, arazide çapraz - delik sismik yöntemi uygulanmıştır (4). Bu yöntem ile, yatay doğrultuda yayılan bir kayma dalgasının, ara uzaklığı belirli 2 sondaj deliği arasındaki yayılma süresi saptanarak, kayma dalgası hızı hesaplanabilmektedir. Her iki sondaj deliğinde yapılan deneyler sonucu, aynı ortamda karşılıklı iki yönde yapılan kayma dalgası hızı ölçülerek, ortalama « V_s » değeri bulunmuştur.

Diğer taraftan aynı zemin tabakası içinde yapılan sondajlardan elde edilen örselenmemiş zemin numunelerine, laboratuvarda rezonans frekansı tekniği ile torsiyonal titreşimler uygulanmıştır (3, 5). Deney esnasında numunelere belirli bir başlangıç çevre basıncı, δ_0 , uygulanmış ve bu basınç deney sırasında belirli bir sürede sabit tutularak, V_s 'in değişimi ölçülmüştür. Deneye, çevre basıncı değişik kademelerde arttırılarak devam edilmiş ve aynı yöntem uygulanarak ölçümler yapılmıştır.

Deneylerdeki bütün numuneler üzerinde uygulanan maksimum kayma birim deformasyon genliği 1.0×10^{-5} cm/cm değerini geçmemiştir. Bu mertebede, arazi ve laboratuvar « V_s » değerlerinin karşılaştırılmasında, birim deformasyon genliğinin etkisi olmamaktadır (2).

LABORATUVAR DENEYLERİNİN SONUÇLARI :

Laboratuvar ve arazide elde edilen kayma dalgası hızı, V_s , değerleri karşılaştırılmadan önce, çevre basıncının uygulama süresinin laboratuvar deney sonuçlarına etkisi saptanmalıdır. Bu değerlendirme her iki zemin ve şeyl numunesi için yapılmıştır. Ayrıca, şeyl numuneleri üzerinde kayma birim deformasyon genliğinin ve çatlak düzlemlerinin kayma dalgası hızına (V_s) etkisi de araştırılmıştır.

a) Çevre Basıncı Uygulama Süresinin Etkisi :

Sabit bir çevre basıncı altında, 3 numune üzerinde yapılan deneylerde, zamanla V_s değerinin değişimini gösteren tipik sonuçlar Şekil. 1'de gösterilmiştir. Bu sonuçlara, göre deney süresi içinde V_s değeri zaman ile artış göstermektedir. Kayma dalgası hızı değerindeki artış, « $V_s - \log. t$ » bağıntısı olarak çizilmiştir. Siltli kum numunesi için elde edilen bağıntı doğrusaldır (Şekil : 1). Kumlu silt ve killi silt numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucu elde edilen « $V_s - \log. t$ » bağıntısı kırıklı 2 düz çizgidir ve kırıktan sonraki doğru, «ikinci dereceden zaman etkisi» olarak tanımlanır (Secondary time effect). Buradaki ikinci dereceden zaman etkisi sadece boşluk oranındaki değişim sonucu oluşmamaktadır. Ancak bu araştırmanın kapsamı, ikinci dereceden zaman etkisinin oluş nedenlerini incelemekten çok, laboratuvar deney sonuçlarının etkisini belirtmektir.

İkinci dereceden zaman etkisinin sonuçları Tablo. 1, kolon 3'de verilmiştir. Bu sonuçlar, V_s 'deki değişimin, 1000 dakika sonundaki V_s değerine oranının yüzde olarak ifadesidir. Bulunan değerler, diğer araştırmacıların sonuçları ile uyumluluk sağlamaktadır (1) ve zeminlerin dane çapları küçüldükçe, ikinci dereceden zaman etkisi artmaktadır. Şeyl numuneleri üzerinde, ikinci dereceden zaman etkisi ihmal edilecek mertebelerde kalmıştır.

b) Çevre Basıncının Etkisi :

Bütün zemin cinsleri için V_s değeri çevre basıncı ile artmıştır. Normal konsolidasyon sınırları içinde elde edilen değerler, ampirik denklemlerin verdiği sonuçlar ile iyi uyum göstermektedir (2, 3). Şeyl numunesi üzerinde çevre basıncının (δ_o) kayma dalgası hızına (V_s) etkisi Şekil. 2'de gösterilmiştir.

Sağlam ve çatlaksız şeyl numunesi üzerinde, arazideki çevre basıncına karşı gelen (280 kN/m^2) değerden sonraki, basınç artışları V_s değerinde çok az bir artış meydana getirmiştir. Doğal gerilme durumuna gelene dek uygulanan çevre basıncı esnasında « V_s » değerindeki değişim, numunenin çıkartılması sonucu oluşan gerilme boşalmasından doğan fissür ve diğer küçük süreksizliklerin basınç altında tekrar kapanmasına bağlanabilir.

c) Kayma Birim Deformasyon Genliği ve Çatlak Düzlemlerinin Etkisi :

Şeyl numunesi üzerinde, kayma birim deformasyon genliği ve çatlak düzlemlerinin kayma dalgası hızı (V_s) ve logaritmik azalma cinsinden ifade edilen malzeme sönüm özelliğine etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Şekil. 2'de verilmiştir. Şeyl numunesi üzerinde, kayma birim deformasyon genliğinin artımı ile V_s değeri azalma göstermiş, sönüm kapasitesi artmıştır. Bu değişimin miktarı ve şekli, kuru kum numuneleri üzerinde yapılan deney sonuçlarına benzemektedir (2).

Numune içinde çatlakların bulunması ve çatlak düzlemlerinin sıklığı, kayma dalgası yayılma hızını (V_s) belirgin olarak azaltmış, sönüm özelliğini ise arttırmıştır.

ARAZİ, LABORATUVAR VE AMPİRİK KAYMA DALGASI HIZLARININ KIYASLANMASI :

Tablo. 1'deki 4,5 ve 6. ncı kolonlar, arazi ölçümleri, laboratuvar-da 1000 dakika sonunda saptanan ve ampirik olarak verilen denklemler ile bulunan kayma dalgası hızlarını karşılaştırmalı olarak göstermektedir. 3 değişik yöntem ile elde edilen sonuçlar, siltli kum için hemen hemen aynı, şeyl için çok benzer değerlerdir.

Halbuki, killi silt ve aşırı konsolide kumlu silt için elde edilen laboratuvar kayma dalgası hızları, arazi ölçümlerinin % 70'i mertebesinde-dir.

S O N U Ç L A R :

Arazide çapraz - delik yöntemi ve laboratuvarında rezonans frekansı tekniği ile bulunan kayma dalgası hızlarından, 3 cins zemin ve bir şeyl numunesinin dinamik kayma modülleri (G) bulunmuştur. Bu ölçümlere göre varılan genel sonuçlar şunlardır.

1 — Laboratuvarında deneye tabi tutulan bütün zemin numunelerinde, kayma modülü «G», artan çevre basıncında ve aynı çevre basıncı altında artan zaman süresi ile artış göstermiştir. İkinci dereceden zaman etkisi ile G değerindeki artış, zemin dane boyları küçüldükçe fazlaşmıştır. Bu durum, araştırmacılar tarafından saptanan değerlerle uyum sağlamıştır (1).

Şeyl numunesi üzerinde yapılan deney sonuçları, çevre basıncının ve uygulama süresinin kayma modülüne etkisinin çok az olduğunu göstermiştir.

2 — Kumlu zeminler için elde edilen laboratuvar ve arazi ölçüm değerleri yakın benzerlik göstermektedir. 2 adet siltli numune için, laboratuvarında bulunan kayma modülü «G» değerleri, arazi ölçümlerinin yarısı kadar değerler almıştır. Bu karşılaştırma sonucunda kohezyonlu zeminler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinde numune alma ve hazırlama koşullarının, uygun çevre basıncı değeri seçilmesinin ve ikinci dereceden zaman etkisinin önemi daha iyi anlaşılmıştır.

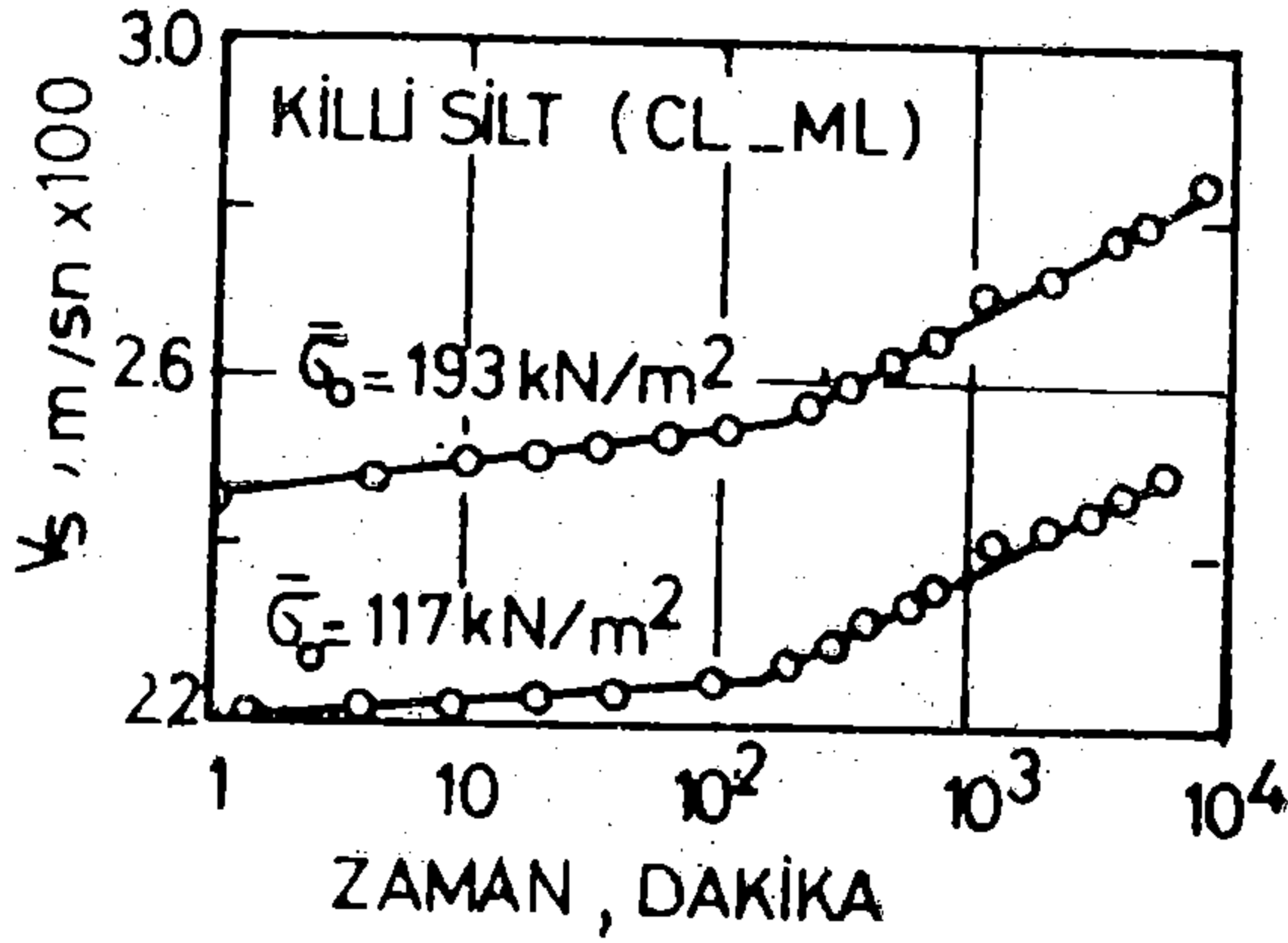
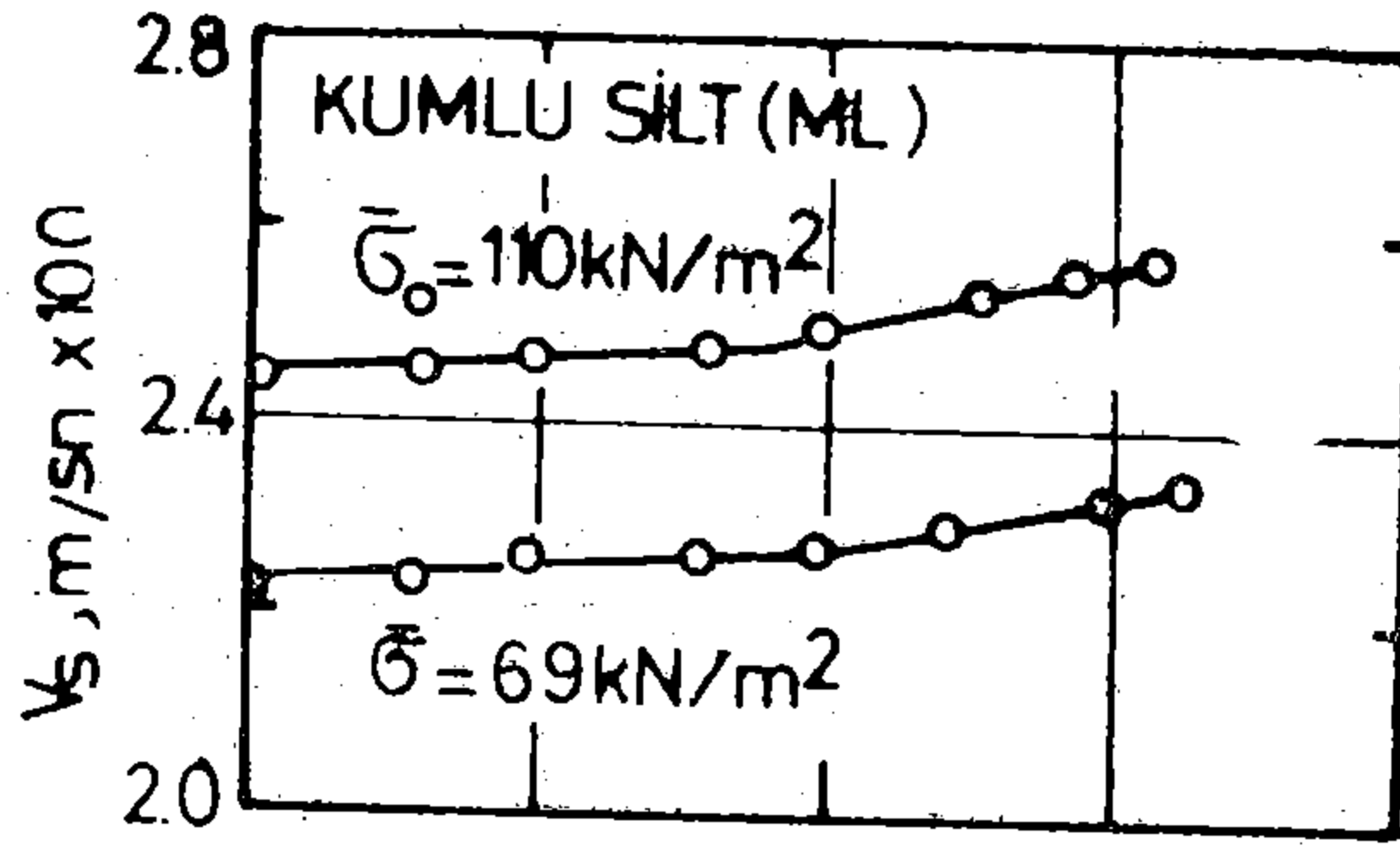
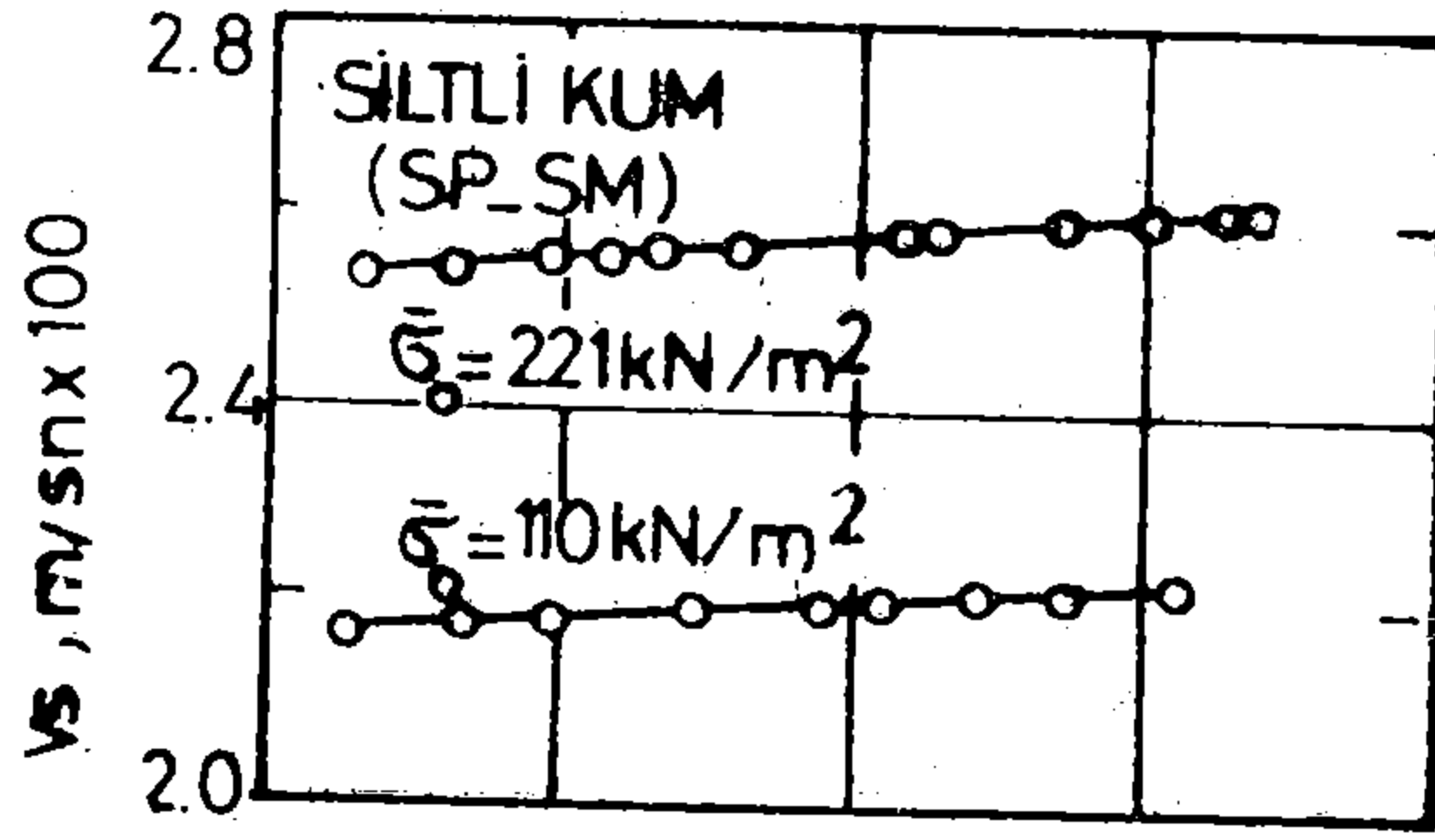
3 — Şeyl numuneleri üzerinde yapılan deneylerde, artan kayma birim deformasyon genliği ile kayma modülü «G» azalma göstermiş, fakat malzemenin sönüm özelliği artmıştır. Numune içinde çatlak düzlemlerinin bulunması, kayma modülünde azalmayı ve sönümde ise artışı doğurmuştur.

K A Y N A K L A R :

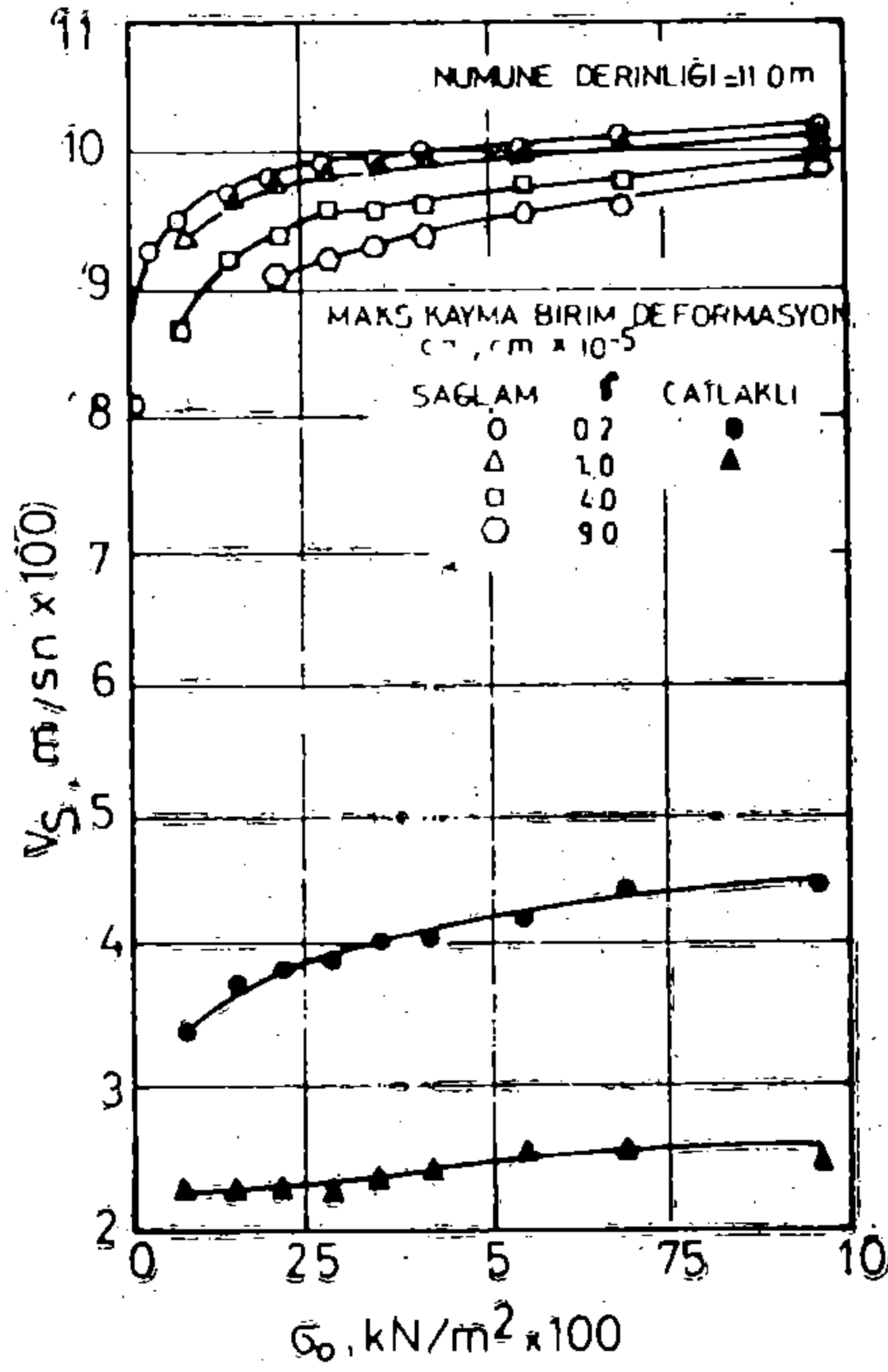
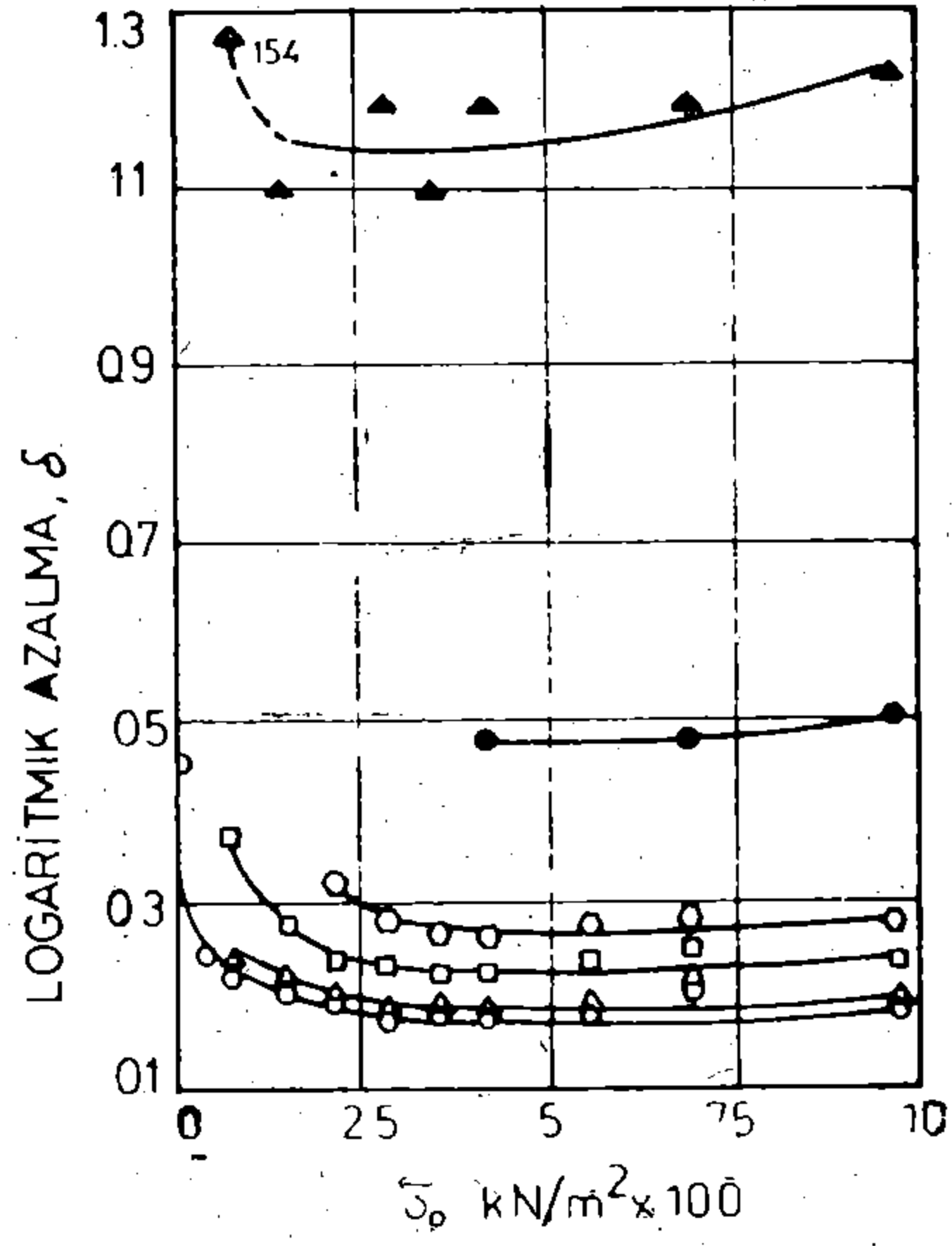
- 1 — Afifi S.A., and Woods, R.D., 1971, «Long - Term Pressure Effects on Shear Modulus of Soils,» J. Soil Mech. Found. Div., Proc., Am. Soc. Civil Engres., Vol. 97, No. SM 10, Oct., pp. 1445 - 1460.
- 2 — Hardin, B.O., and Drnevich, V.P., 1972 «Shear Modulus and Damping in Soils : Design Equations and Curves,» J. Soil Mech. Found. Div., Proc. Am. Soc. Civil Engres., Vol. 98, No. SM 7, July, pp. 667 - 692.
- 3 — Richart, F.E., Jr., Hall, J.R., Jr., Woods, R.D., 1970, Vibrations of Soils and Foundations, Prentice - Hall, New Jersey, 414 pp.
- 4 — Stokoe, K.H., II, and Woods, R.D., 1972, «In - Situ Shear Wave Velocity by Cross - Hole Method,» J. Soil Mech. Found. Div., Proc. Am. Soc. Civil Engrs., Vol. 98, No. SM 5, May, pp. 443 - 460.

MALZEME	NUMUNE DERİNLİĞİ -ML	ORTALAMA 2.NCI DERECE V _s ARTIŞI	KAYMA		DALGASI HIZI		m/s
			ARAZI	LABORATUVAR	LABORATUVAR	AMPIRIK	
1	2	3	4	5	6		
SİTLİ KUM (SP-SM)	2.4	15	170	175	173		
	3.3	10	186	186	180		
	4.3	19	207	217	207		
	5.3	18	226	206	210		
KUMLU SİLT (ML)	20	20	293	207 K _s =2	214 K _s =2		
KİLLİ SİLT (CL-ML)	2.4	5.3	263	186 229 ^{IV}	244		
SEYL	11.3	0.2	1010	940	-		
	11.6	0.2	1050	980	-		
	11.9	0.3	1160	830	-		

TABLO 1: LABORATUVAR VE ARAZİ DENEY SONUÇLARI



ŞEKİL 1. SABİT ÇEVRE BASINCI ALTINDA, ZAMAN İLE V_s DEĞERLERİNDEKİ ARTIŞLAR



ŞEKİL 2. SEYL NUMUNESİ ÜZERİNDE REZONANS FREKANSI TEKNİĞİ İLE TORSİYONEL TİTREŞİM DENEY SONUÇLARI

27. HAZİRAN. 1966 PARKFIELD DEPREMİNDE ELDE OLUNAN SİSMOSKOP KAYITLARININ İNCELENMESİ

Y a z a n l a r : Ç e v i r e n :
D.E. HUDSON - W.K. CLOUD(*) Oktay YURDATAPAN(**)

S U M M A R Y :

An analysis of 16 seismoscope records from the Parkfield earthquake indicates the general usefulness of seismoscope data as a supplement to information produced by recording accelerographs. The pattern of attenuation of response spectrum values with distance from the fault was obtained, and certain anomalies in response spectrum values which may be related to local geologic structure were noted. The initial strong ground motions in the immediate vicinity of the fault were found to be predominately transverse to the fault. A direct comparison of seismoscope results with response spectrum curves calculated from recorded ground acceleration - time curves indicates an overall seismoscope accuracy under typical field conditions of 10 - 15 per cent.

Ö Z E T :

Parkfield depremine ait 16 adet sismoskop kaydının analizi, akseleroğraf kayıtlarından elde olunan bilgilere oldukça faydalı ilâveler yapmış bulunmaktadır. Fay'a olan uzaklığa göre mukabele (Response) spektrum değerlerinin azalması ve mukabele spektrumundaki bazı anomalilerin lokal jeoloji ile ilgisinin saptanması buna bir örnek teşkil edebilir. Fayın yakın civarında ilk kuvvetli zemin hareketinin fayı kesen doğrultuda olduğu tesbit edilmiştir. Zemine ait zaman - ivme diyagramlarından hesaplanmış mukabele spek-

(*) U.S. Coast and Geodetic Survey.

(**) İmar ve İskân Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı

trum eğrileri ile sismoskoptan elde edilmiş bulunan verilerin karşılaştırılması, normal arazi şartlarında sismoskop sonuçlarının % 10 - 15 sıhhatle doğru olduğunu göstermektedir.

G İ R İ Ő :

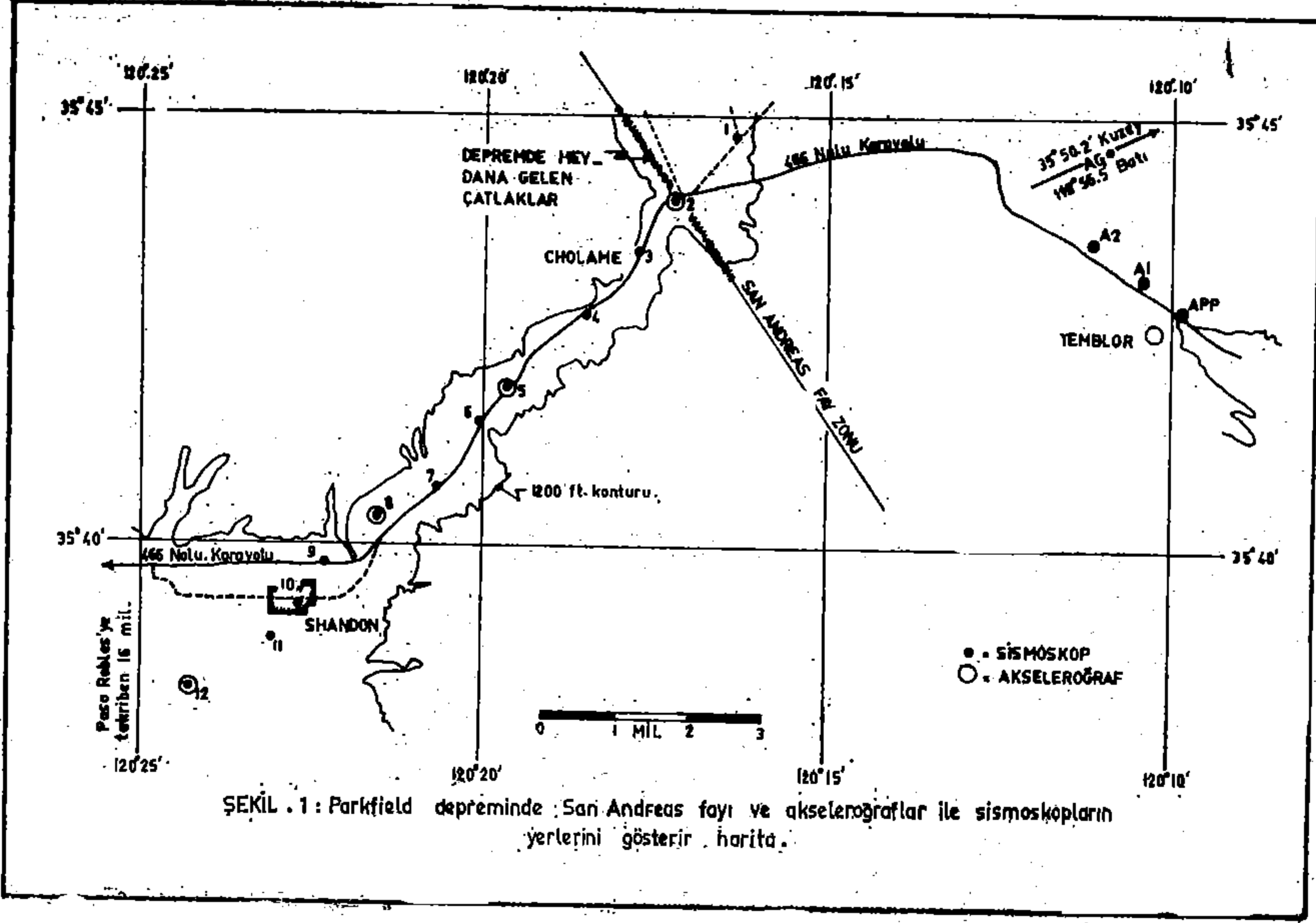
Parkfield depremine ait sismoskop kayıtları, sadece orta şiddette bir depremin episantr bölgesindeki zemin hakkında bilgiler vermesi yönünden değil, aynı zamanda tipik saha koşullarında ilk geniş çapta sismoskop sisteminin denenmesi bakımından da önem taşımaktadır. Dört değişik istasyonda, aynı anda sismoskoplar ve zaman kaydedici kuvvetli hareket akselerografları ile ölçüler alınmış, böylece sismoskopun verdiği sonuçların doğruluk derecesini tayin edebilmek mümkün olmuştur.

KUVVETLİ HAREKET CİHAZLARI ŞEBEKESİ :

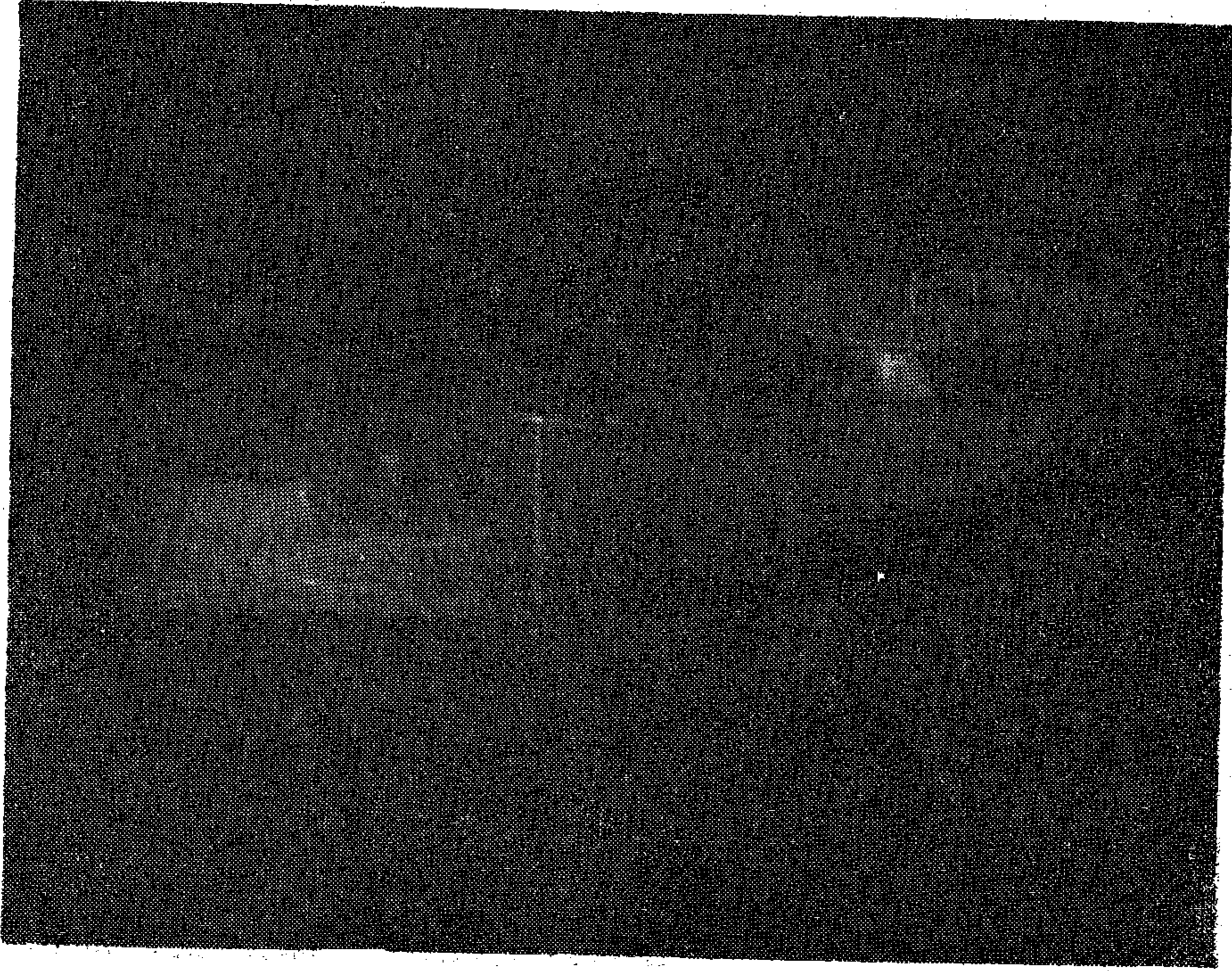
Şekil. 1 deki haritada, San Andreas fay'ı boyunca sıralanmış sismoskop istasyonları, çatlak ve kırıklı zonlar ile akselerografların yerleri gösterilmiştir. 27. Haziran. 1966 Parkfield depremi hakkında diğer bilgiler, sismoskop ve akselerograf kayıtları, U.S. Coast and Geodetic Survey'in yayınladığı ve Harding, Rinehart, Cloud tarafından yazılmış sismolojik raporda mevcuttur. Şekil 1'de görülen kuvvetli hareket cihazları Şebekesi, 1965 - 66 yıllarında The State of California, Department of Water Resources ile U.S. Coast and Geodetic Survey tarafından müşterek olarak yürütölen bir proje gereğince, San Andres fayı boyunca kurulmuş bulunan iki adet Şebeke'den bir tanesidir. Şekil. 2 de bir sismoskopun araziye yerleştirilmesi gösterilmiştir. Sismoskoplar karayolu boyunca, beton zeminler üzerine tesbit edilmiş, üzerleri ağır bir koruyucu fanusla kapatılmıştır.

SİSMOSKOP KAYITLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ :

Cloud ve Hudson'ın 1961 de yayınlanan, kayıtların değerlendirilmesi ile ilgili ilk makalesinde, sismoskop için yeterli bilgi de mevcuttur. Bu makalede, yukarıda bahsolunan bu konuda yayınlanmış ilk yazıdaki bilgilere ait gelişmeler ve ileri tekniğın getirdiğı yenilikler ilâve edilmiş bulunmaktadır Bu sismoskop cihazı, yatay hareket edebilen serbest bir konik sarkaçtan ibarettir. Tel bir eksene bağı sarkaç, zeminle birlikte hareket ederek sivri bir uç vasıtası ile, zeminde meydana gelen hareketi islenmiş bombeli bir cam üzerine kaydeder. Helezoni hareketin sönümü, sürekli bir mıknatıs sisteminin kutupları arasında hareket eden, küresel bir kovanın dilimleri şeklindeki aliminyum bir disk tarafından temin edilmektedir.

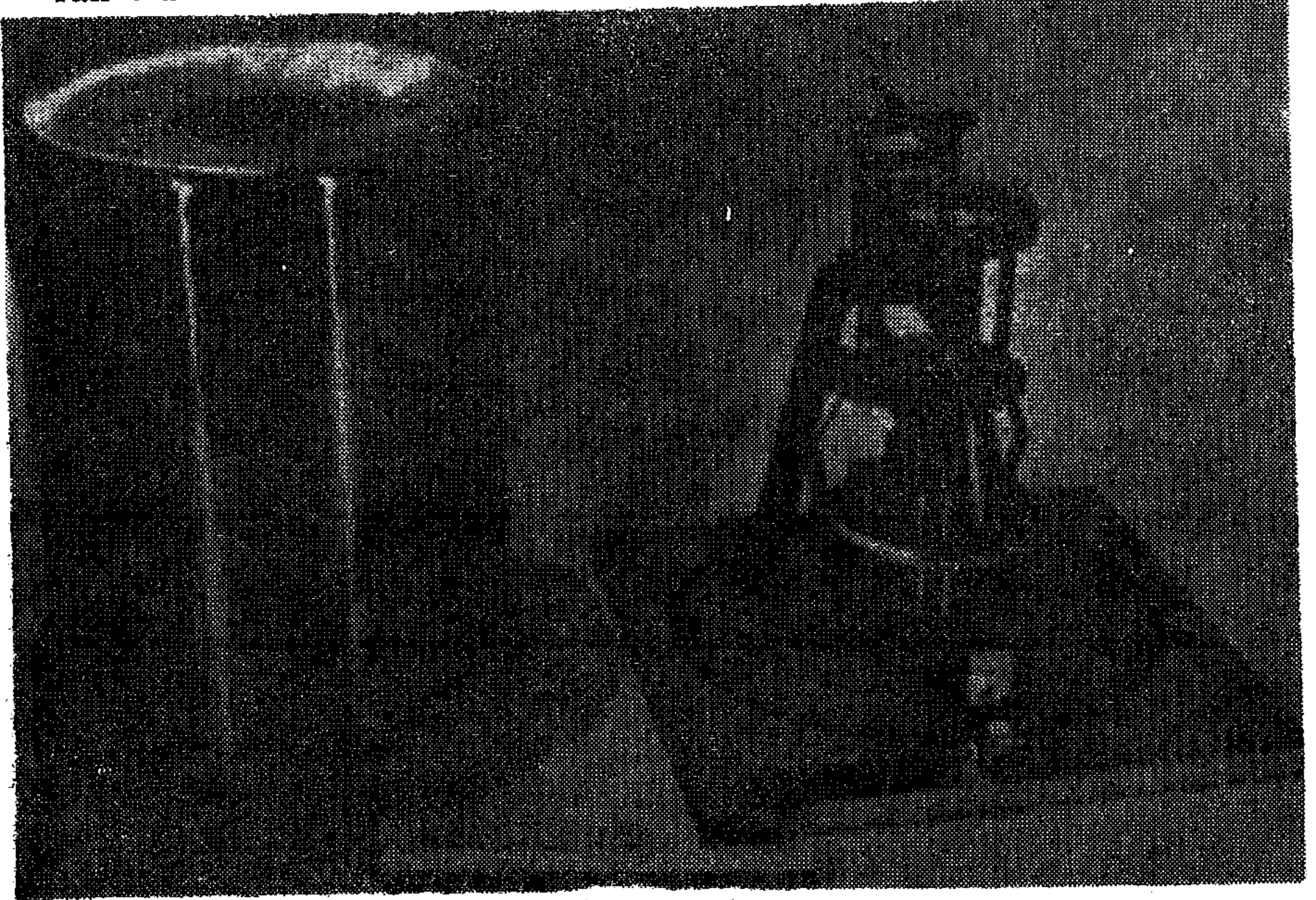


Şekil — 1



Şekil — 2

Sismoskop, sarkaç hareketlerine ait izafi amplitüdü kaydetmeğe başladığında, doğrudan doğruya ve aletin tabii periyodu ile sönümüne uygun olarak, mukabele spektrumunun izafi deplasman eğrisi üzerinde bir nokta verecektir. İlk makalede (Cloud - Hudson, 1961) izafi hızın, mukabele spektrumuna dayanarak, deplasman ve hızlara ait spektral eğriler arasındaki yaklaşım açıklanmıştı. Herneka-
dar bu yaklaşım birçok depremler için uygun ise de bazı depremlerde hatalı sonuçlara yol açmıştır. Bu nedenle sismoskop kayıtlarının direkt olarak ve deplasman ölçülerine dayanan hız spektrumundan değil, izafi deplasman mukabele spektrumundan direkt olarak elde edilmesi tercih olunmalıdır (Hudson, 1962).



Şekil — 3

Burada :

- φ : Sarkacın düşeyle yaptığı açı
- m : Sarkacın kütlesi
- I_0 : Dönme merkezinin yatay eksenini boyunca sarkacın atalet momenti
- a : Dönme merkezi ile sarkacın kütle merkezi arasındaki mesafe.
- b : Dönme merkezi ile sönüm kuvvetinin hareket doğrultusu arasındaki mesafe.
- g : Gravite ivmesi
- c : Viskoz sönüm katsayısı
- $cb\varphi$: Sönüm kuvveti
- $y''(t)$: Zemin ivmesi (Sarkacın dayanma noktasındaki yatay ivme) dir.

Sarkacın hareket denklemi :

$$\ddot{\psi} + \frac{cb^2}{I_0} \dot{\psi} + \frac{mga}{I_0} \psi = -\frac{ma}{I_0} \ddot{y}(t). \quad (1)$$

dir. Bu bağıntı mukabele spektrumundan elde olunan, tek dereceli serbest viskoz sönümlü salınımına ait hareketle mukayese edilebilir.

$$\ddot{X}_r + \frac{c}{m} \dot{X}_r + \frac{k}{m} X_r = -\ddot{y}(t) \quad (2)$$

Burada X_r , zemindeki hareket $y(t)$ ile kütle (m) arasındaki zahiri deplasman, k yay sabitidir. Zahiri deplasman mukabele spektrumu (S_d) zahiri deplasmana (X_r) ait maksimum değerden hesaplanır.

$$S_d = (X_r)_{\max} = \left[\frac{2\pi}{T\sqrt{1-n^2}} \int_0^{t_0} \ddot{y}(\tau) e^{-\frac{2\pi n}{T}(t-\tau)} \sin \frac{2\pi}{T} \sqrt{1-n^2} (t-\tau) d\tau \right]_{\max} \quad (3)$$

Burada,

T : Sönümsüz tabii periyod (Tek dereceli salınım için frekans $\sqrt{\frac{k}{m}}$, Sismoskop için frekans $\sqrt{\frac{mga}{I_0}}$)

n : Aletin sönümü (Kritik sönümün yüzdesi olarak)

t_0 : Depremın devam süresi dir.

(1) ve (2) denklemleri arasında yapılacak bir kıyaslama neticesinde, sarkacın φ_{\max} açısı ile (X_r) max değerlerinin bağıntısı ortaya konabilir ve buradan da S_d elde edilir. (3) ve (1) ifadelerinin çözümü ile,

$$\varphi_{\max} = \left(\frac{ma}{I_0} \right) S_d \quad \text{bulunur.}$$

$T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0}{mga}}$ ifadesindeki $\left(\frac{4\pi^2}{gT^2} \right)$ terimi $\left(\frac{ma}{I_0} \right)$ şeklinde yazıldığında,

$$S_d = \frac{gT^2}{4\pi^2} \varphi_{\max} \quad (4) \quad \text{elde edilir.}$$

İzafi hızın mukabele spektrumu için yaklaşık olarak,

$$S_v = \frac{2\pi}{T} S_d \quad \text{ifadesi verilir. Böylece sar-$$

kacın φ_{\max} açısı ile hız spektrumu arasında, «Cloud ve Hudson 1961» ilk makalesinde de vazedildiği gibi,

$$\psi_{\max} = \frac{2\pi}{gT} S_v \quad (5) \text{ bağıntısı ortaya çı-}$$

kar. (Bu şekilde bir yaklaşımla verilen S_v için «yalancı hız spektrumu» deyimi, gerçek hız spektrumunun (3) formülünden hesaplanması nedeni ile, bazı yerlerde kullanılmaktadır.) «Hudson, 1962».

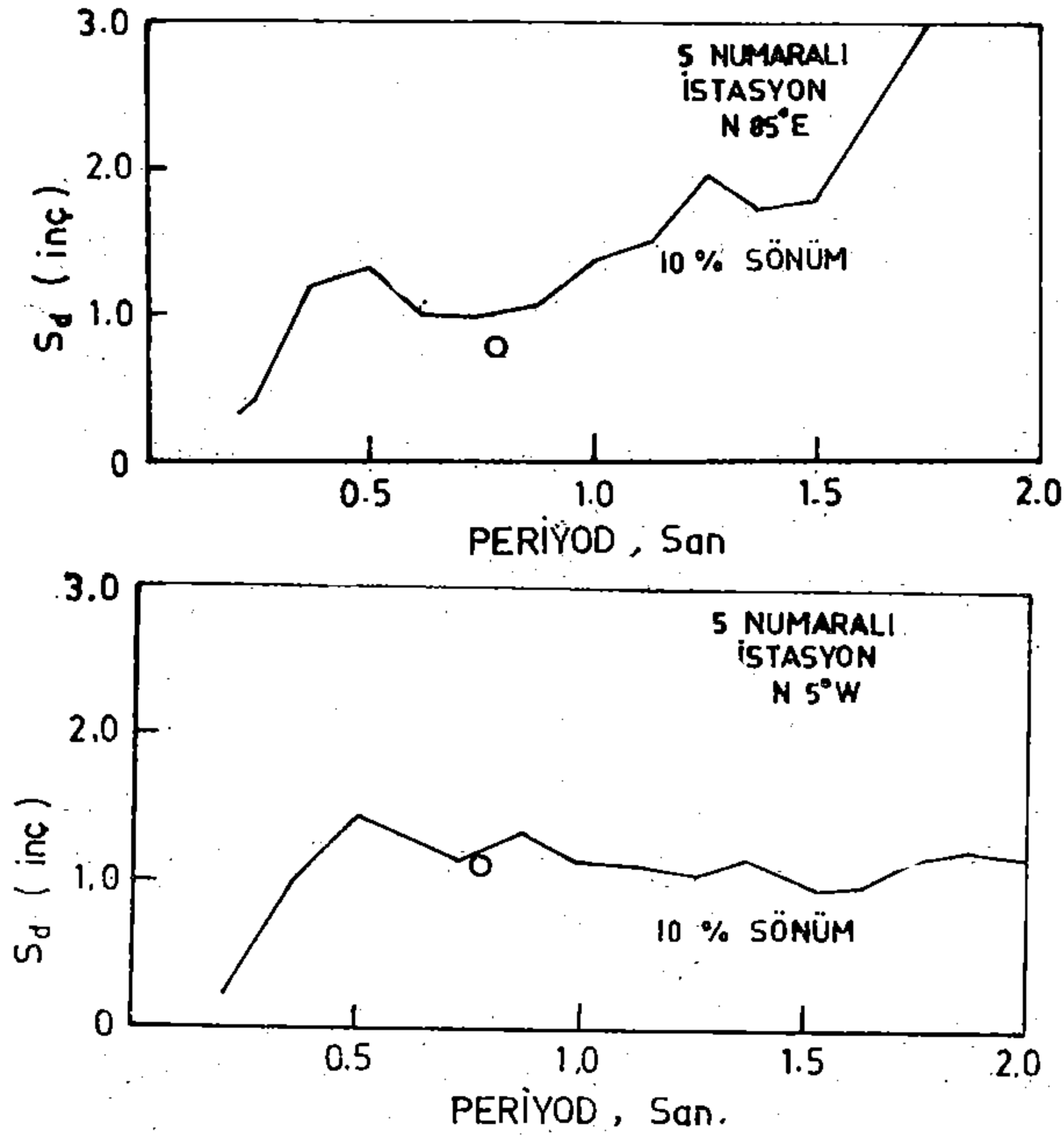
Her ne kadar pek çok deprem için önemli farklılıklar doğurmayacaksa da ileride meydana gelecek depremlere ait sismoskop kayıtlarının değerlendirilmesinde, (5) gibi yaklaşık ifadeler yerine (4) formülünde vazedilen, hesaplarla elde olunmuş ifadelerin kullanılması daha iyi sonuçlar verecektir.

SİSMOSKOP VE AKSELEROĞRAF KAYITLARININ KARŞILAŞTIRILMASI :

2, 5, 8 ve 12 numaralı istasyonlarda, İvme - Zaman değişimini üç eksenle kaydeden AR, - 240 Strong - motion akseleroğrafları, sismoskoplarla birlikte monte edilmiştir. Satıhtaki fay izine 280 feet mesafede bulunan 2. numaralı istasyondaki sismoskopun, kayıt sırasında kaydedici ucu isli camın dışına çıktığı için bu istasyonda elde olunan sismoskop ve strong - motion kayıtları arasında doğru bir karşılaştırma yapabilmek mümkün olamamıştır. Bu duruma rağmen isli cam üzerindeki kaydın ilk kısmı, fayın yakın civarındaki zemin hareketi hakkında yine de faydalı bilgiler vermiştir. 5, 8 ve 12 numaralı istasyonlardaki sismoskop ve akseleroğraflardan aynı anda düzgün ve iyi vasıflı kayıtlar elde olunmuştur.

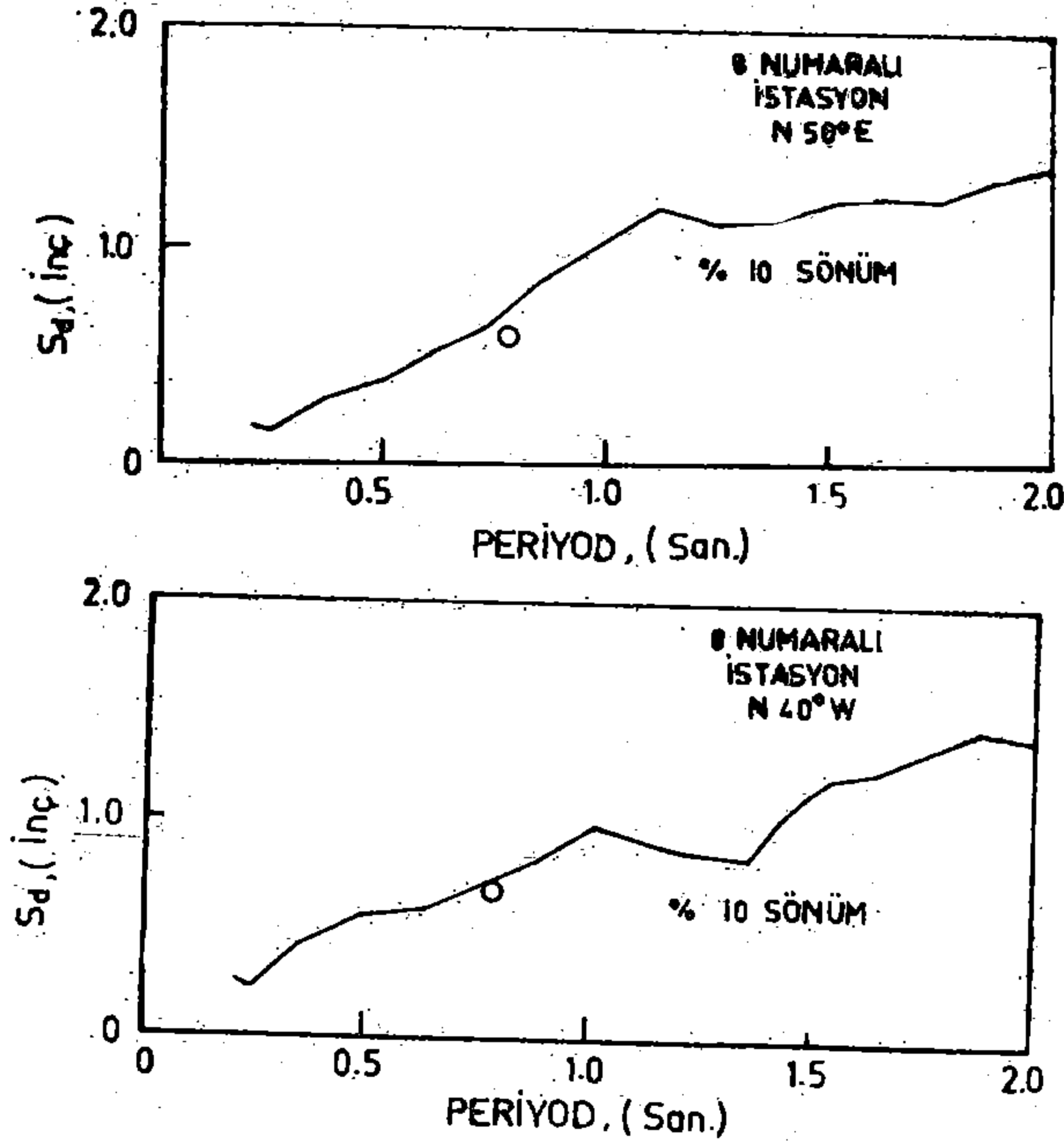
Strong - motiondan elde edilen iki yatay komponent'e ait kayıtlar, digital komputer ile değerlendirilmiş ve (3) bağıntısına göre «İzafi deplasman mukabele spektrumu» hesaplanmıştır. Sismoskopun sayısal standard sönümüne göre seçilen % kritik sönüm itibarıyla çizilen bu eğriler şekil 4, 5 ve 6 da görülmektedir.

Tablo. 1 de, karşılaştırılması yapılan üç istasyondaki sismoskop verileri gösterilmiştir. Bu veriler, verniklenerek korunmaları sağlanmış isli cam üzerindeki ana sismoskop kaydının fotoğrafla büyütülmüş kopyalarından elde olunmuştur. Fotoğrafla büyütme oranı, orijinal isli camın çapı ölçülerek hesaplanır. Tabloda belirtilen «Duyarlık», isli cam üzerinde sarkacın meydana getirdiği köşeli çizgi grupları arasındaki mesafelerin ölçülmesi ile ve inç/radyan cinsinden ifade edilmiştir. Bütün sismoskop cihazları, yerleştirilmeden önce duyarlık ve periyod ayarından geçirilmiş, amplitüd - sönüm oranları serbest titreşim testi ile, deprem sırasındaki sönüm ve amplitüdü belirleyecek şekilde saptanmıştır. (Cloud ve Hudson, 1961) Bu sönüm değerleri tablo. 1 de verilmiş olup, deprem mukabele spektrumunun, sönümün karekökü ile ters orantılı olduğu düşünülerek, sismoskop neticelerini, sönümün % 10'u olarak standartlaştırılmış kritik sönüme tahvil etmek için kullanılmıştır. (Cloud ve Hudson 1961)



ŞEKİL . 4 : 5 Numaralı istasyondaki sismoskop spektrumu.

Akseleroğrafta yatay komponent üzerinde iki yönde kaydedilmiş S değerleri, kritik sönümün % 10 una eşdeğer sönüm için tablo. 1 de gösterilmiştir. Her bileşen için iki değer mevcuttur. İlk değer toplam hareketin yarısıdır. (Tek bir pik amplitüdün, mukabele spektrumundaki simetrisi düşünülerek). Birçok kayıtların değerlendirilmesinde bu tatbikat önemlidir. Aksi halde ilk sıfır noktası (vab olacaktır.

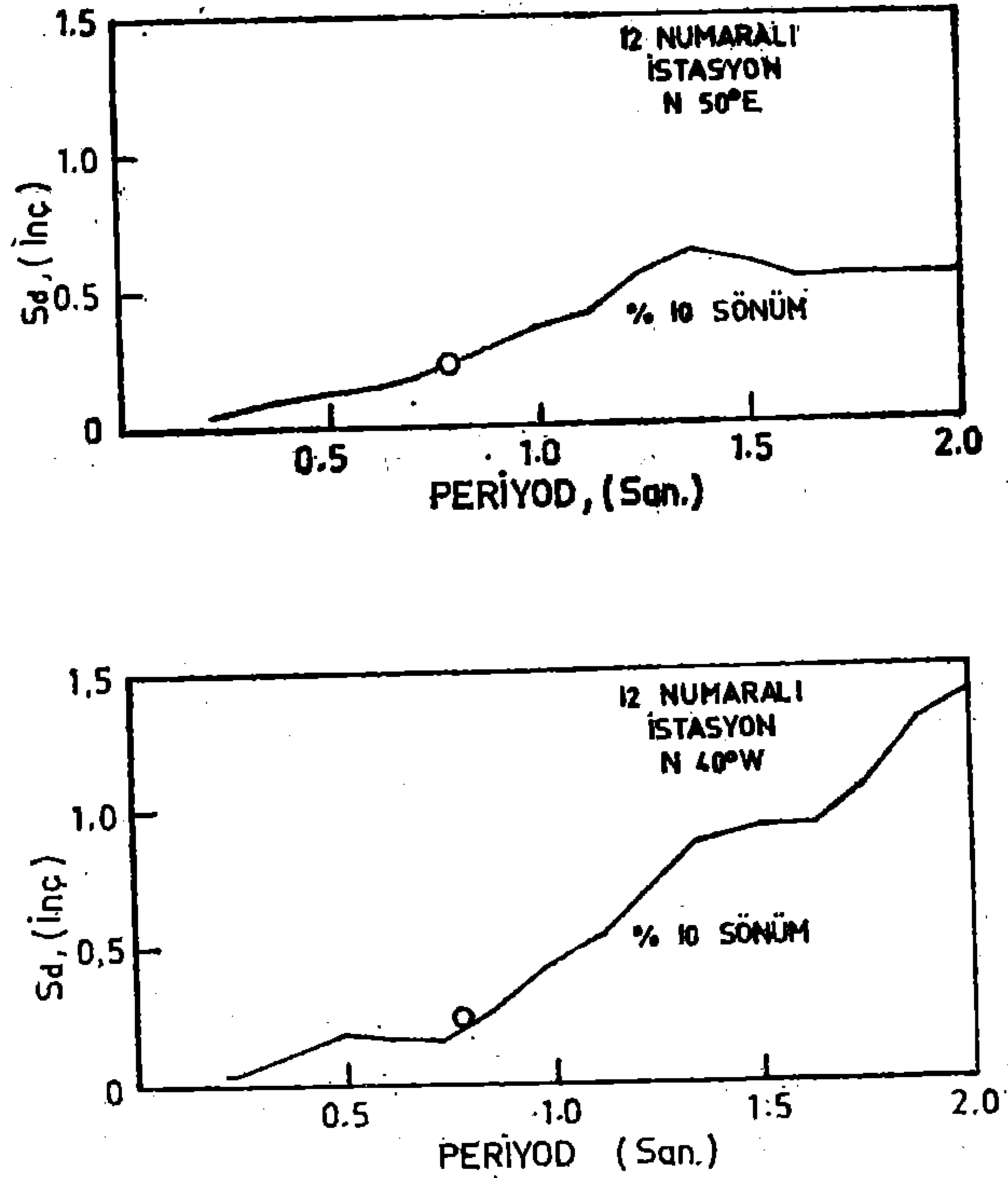


ŞEKİL . 5 : 8 Numaralı istasyondaki sismoskop spektrumu.

Tablo. 1 deki ikinci S değeri, sıfır pozisyonunu mümkün olduğu kadar dikkatle hesaba katmak suretiyle, başka bir gözlemci ta-

rafından alınan bağımsız bir S değeri. Bu ikinci S değeri tahmin olunacağı üzere biraz daha yüksektir ancak bu farklılığın pratik bir önemi yoktur. Her iki S değeri şekil. 4, 5 ve 6 da daire şeklinde tek bir nokta ile gösterilmiştir. Bu nokta şeklindeki küçük dairelerin çapı kabaca okuma hatalarını yansıtmakta veya ifna etmektedir. Bu da göstermektedir ki, Parkfield tipi çok kısa süreli depremlerde dahi mukabeleler sıfır çizgisine göre simetrik olup, ilk geliş zamanındaki farklılıklar, sonuç üzerinde önemli bir etki meydana getirmezler. Bununla beraber eğer istenirse isli cam üzerinde, ilk başlangıç noktasını (Statik durumda sivri kayıt ucunun isli cama değdiği nokta), isli camın alt yüzüne belirli bir işaret koymak suretiyle tesbit etmek de mümkündür.

Şekil 4, 5 ve 6 dan anlaşılacağı üzere, hesapla elde edilen mukabele spektrumunda, sismoskoptan alınıp işaretlenen noktalar arasındaki mesafe, normal arazi koşullarında sismoskobun doğru ve realist sonuçlara vardığını göstermektedir. Bu nedenle cihazların yerleştirilmesi, ayarlanması, data tanzimi ve tefsir ile değerlendirmelerde özel tekniklere gerek kalmaksızın, Pasifik sahillerinde sismoskop şebekesi kurulmuş ve elde edilen sonuçlar, standard cihazlar için bir baz niteliği kazanmıştır.



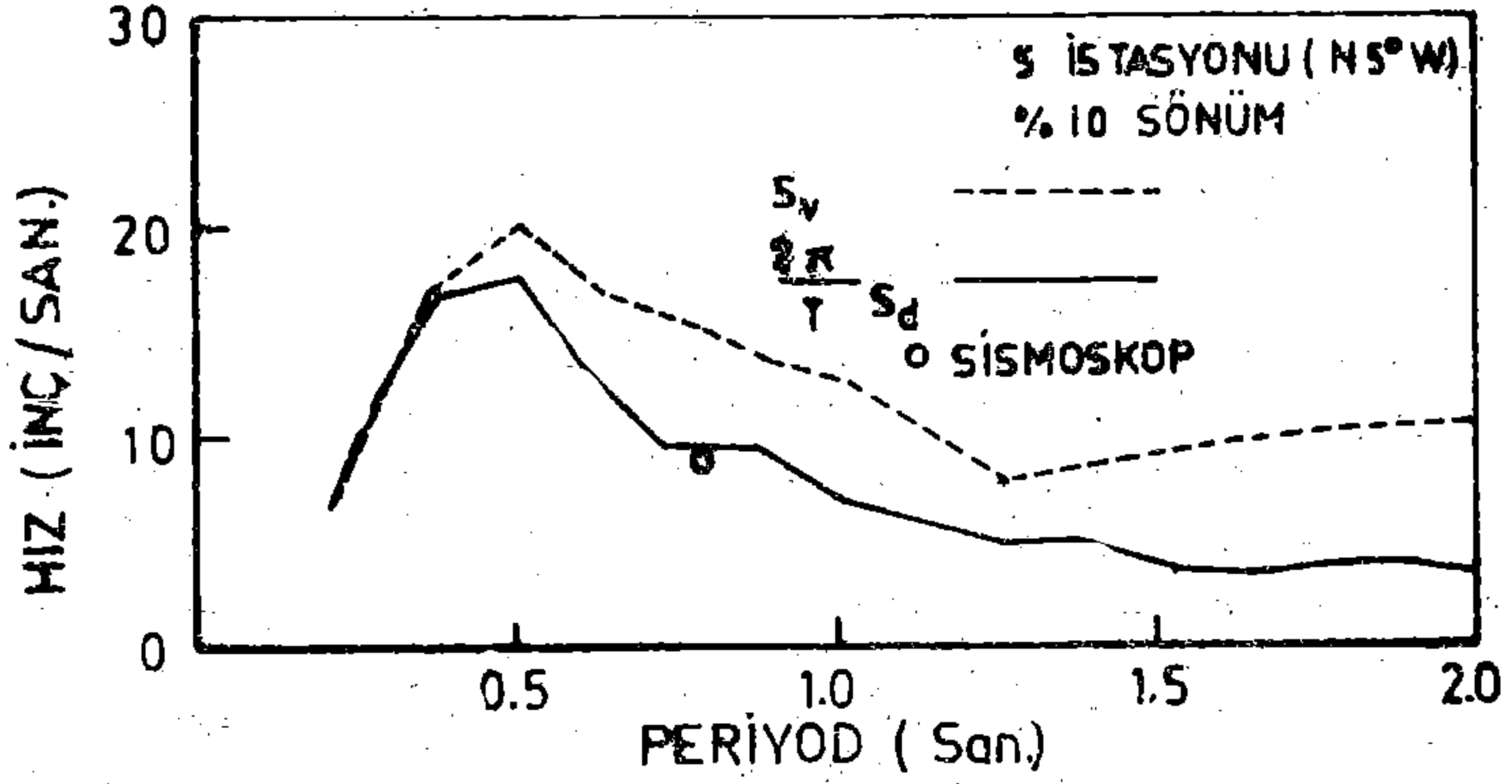
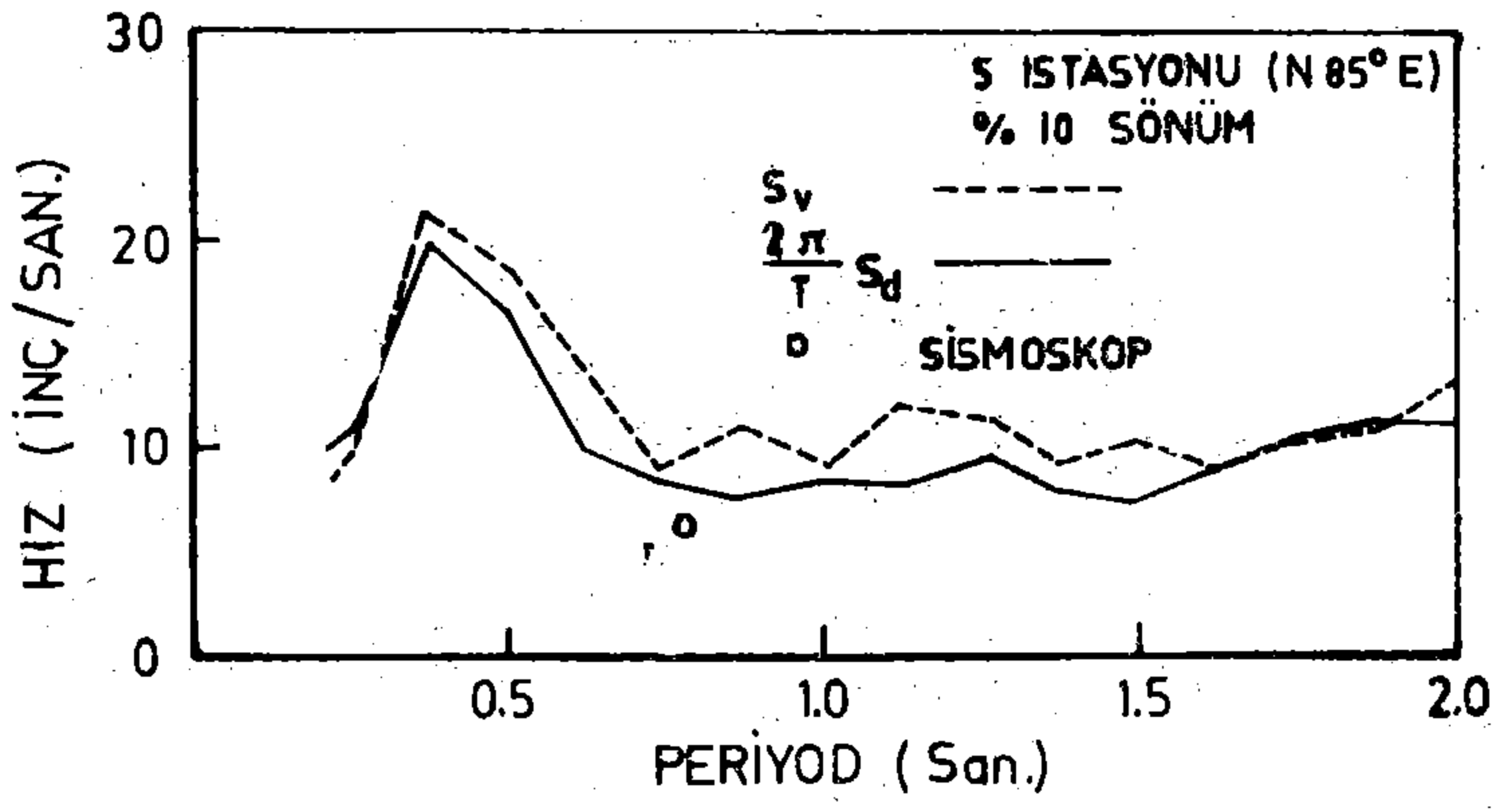
ŞEKİL . 6 : 12 Numaralı istasyondaki sismoskop spektrumu.

Aletsel hatalar ile hesaplama hataları spektrum eğrilerine tesir etmektedir. Ancak şekil. 4, 5 ve 6 'nın incelenmesi ile hataları doğuran gerçek nedenlerin başında, sürtünme'den ileri gelen «Sönüm» faktörünün yer aldığı şüphesi, daha fazla bir önem kazanmaktadır. Sismoskopta sürtünme hem kayıt iğnesi hem de magnetik, helezoni akımdan ileri gelir. Hareketin düşük amplitüd'lü olması kayıt iğnesi ile isli cam arasındaki sürtünmeyi arttırmakta, toplam sönüm de önemli oranda büyümektedir. (Cloud ve Hudson, 1961) Sönümdeki değişimler, sismoskoplar için sabit bir sönüm eğrisi ile düzenlenebilirdi e, düşük magnitüdüdeki sönüm değeri, orta ve geniş amplitüdüdeki sönümden daha fazla hata yaratabilmektedir. 12 numaralı istasyonda sismoskoptaki küçük amplitüdüler için sismoskop ve akseleroğraf sonuçları arasındaki uygunluk ise muhtemel olarak nadiren görülen bir rastlantıdır. Sismoskop ve akseleroografların verdiği sonuçlarda meydana gelen uygunluğun % 10 - 15 zivârında bulunuşu Şekil 4, 5 ve 6 da belirtilmiş, bu hususun arazi test'leri ile tesbiti de açıklanmıştı. (Cloud ve Hudson, 1961). Bu makalede mukabele spektrumu eğrilerinin gerçek hız mukabele spektrumlarından elde edildiği, bu sebepten yukarıda kıyaslandığı tarzda önemsiz ilâve hatalarının gözönüne alındığı belirtilmişti. Şekil. 7 ve 8 deki, Parkfield depreminde gerçek ve izafi hızlara ait mukabele spektrumlarının karşılaştırılmasında, bu hususun fazla bir önem taşımadığı görülecektir. Parkfield depremi gibi kısa süreli depremlerde, bu iki eğri arasında daha bariz bir farklılık beklenirdi. Oysa teorik olarak beklenen bu farklılık, sadece tek bir istasyonda müşahade edilmiştir. Bununla birlikte bir hata kaynağının daha etkisini ortadan kaldırmak için, sismoskop sonuçlarının direkt ve doğru bir tarzda, izafi deplasman spektrumuna dayanarak açıklanması tavsiye edilebilir.

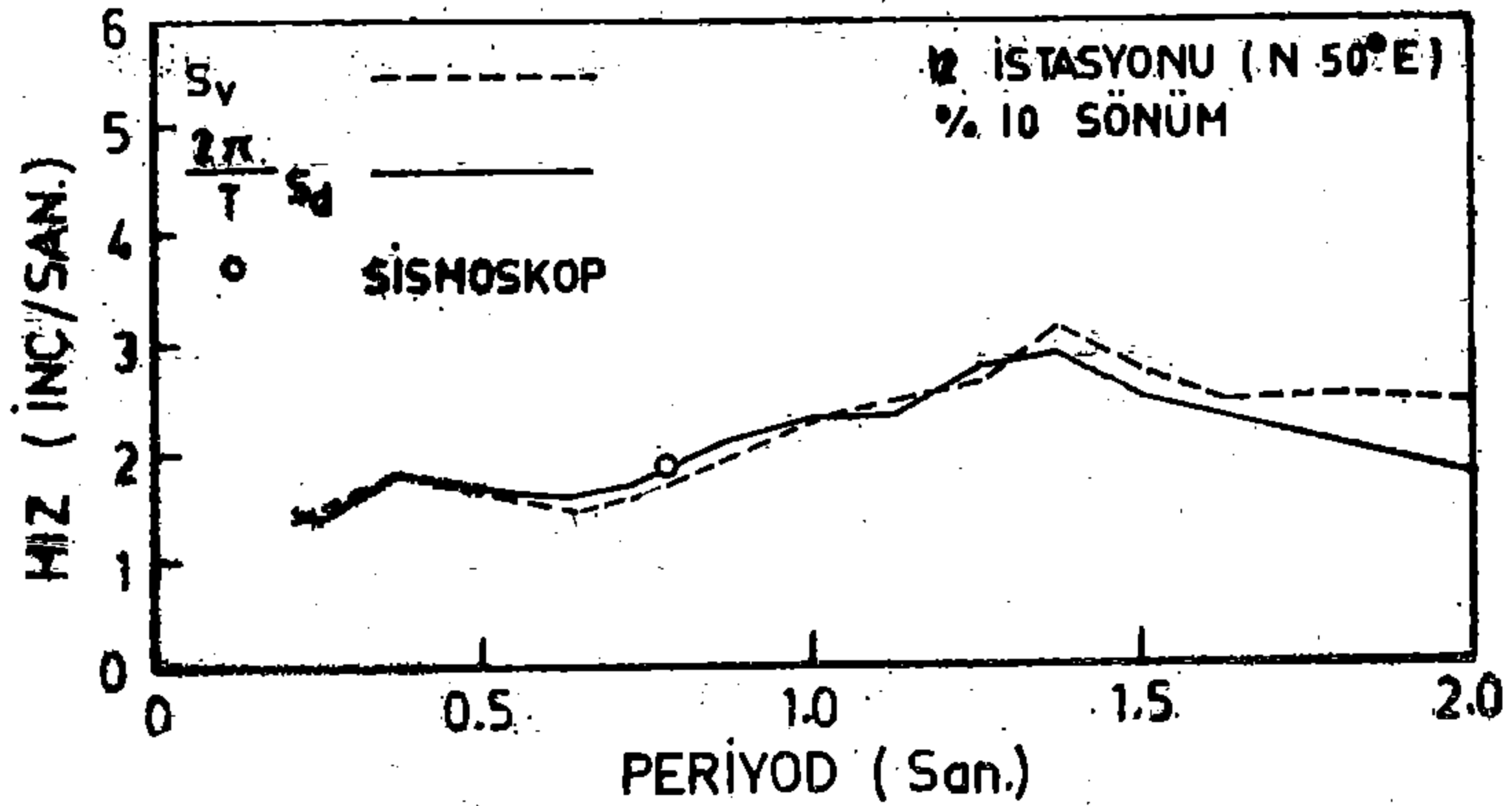
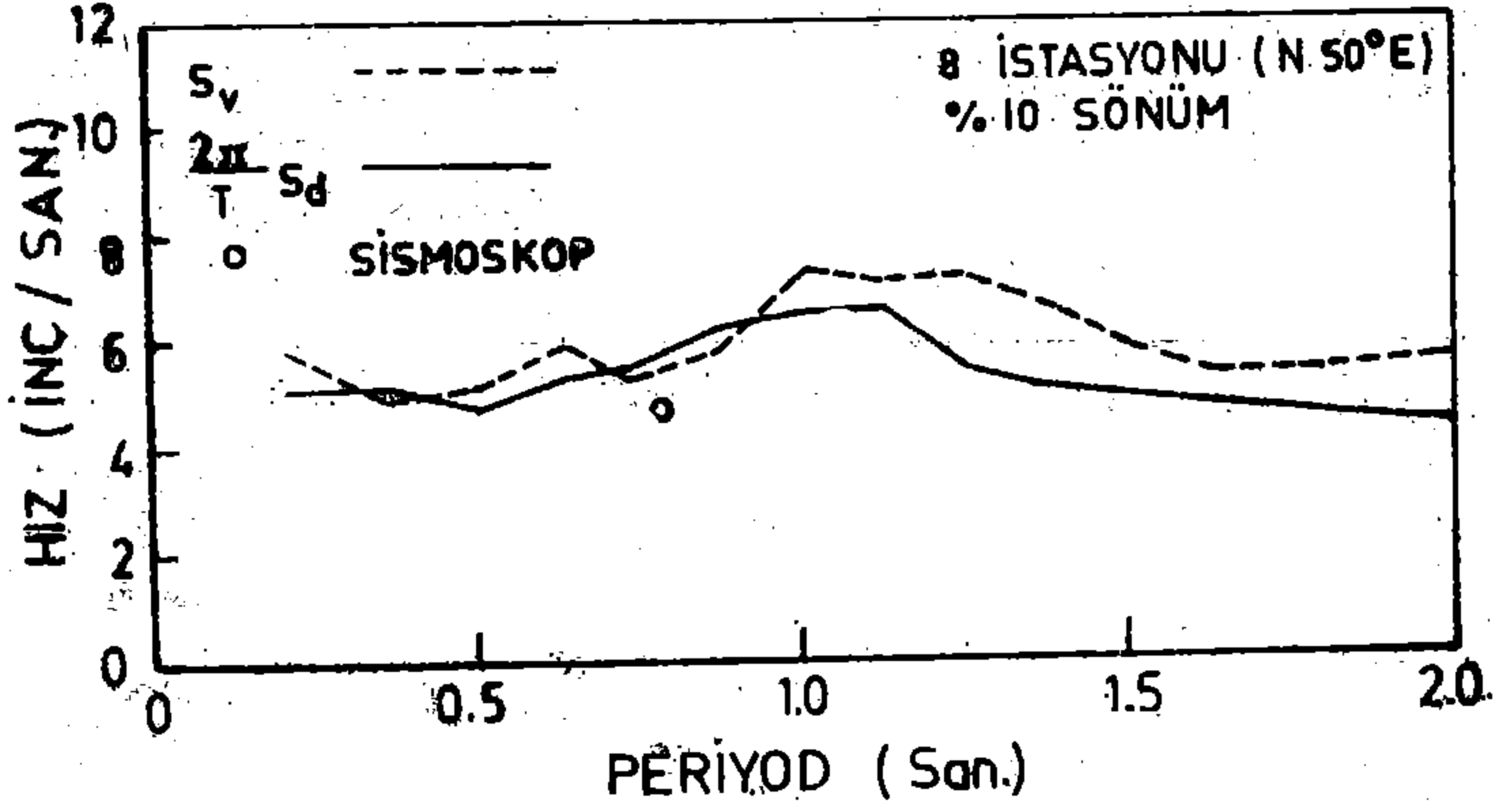
Istasyon	Yön	Periyot	Kritik sönüm(%)	Duyarlık In./Rad.	γ_{max} (Rad.)	S_d (In.)
5	N85° E	0.78	9	2.36	0.139, 0.157	0.79, 0.88
	N 5° W				0.189, 0.194	1.07, 1.09
8	N50° E	0.78	11	2.32	0.092, 0.099	0.58, 0.62
	N40° W				0.107, 0.119	0.57, 0.74
12	N50° E	0.78	20	2.39	0.029, 0.029	0.24, 0.26
	N40° W				0.028, 0.031	0.24, 0.26

Tablo 1

Üç istasyonda elde edilen sismoskop sonuçları (5.8.12)



ŞEKİL . 7 : 5 istasyonundaki hız spektrum eğrilerinin kıyaslanması



ŞEKİL . 8 : 8 ve 12 istasyonlarında aynı doğrultudaki hız spektrum eğrilerinin kıyaslanması

HESAPLANMIŞ HAREKETİN İKİ BOYUTLU GÖSTERİMİ

Sismoskop ve akseleroğraflardan elde edilmiş sonuçların kıyaslanması Şekil. 9 ve 10 da gösterilmiştir. Sismoskopa aynı periyod ve sönümdeki tek serbestlik dereceli sistemin iki yatay komponent üzerinde ölçülen ivme spektrumu için bir digital komputer programı geliştirilmiş ve sismoskop cam'ı üzerinden alınan kayıttaki ivme spektrumu ile kıyaslanmıştır. Sismoskopun sönümü deprem sırasında tam bir doğrulukta saptanamadığından hesaplarda, sismoskop için genellikle en uygun kabul olarak ortaya konulmuş olan % 10 sönüm değeri kullanılır. Hesaplanmış iki boyutlu munkabele eğrisi ve sismoskoptan elde edilen sonuçlar arasındaki detaylı kabul-ler grafiğe işaretlenir. Hareketin sadece sismoskop tarafından elde edilip resmedilmiş genel karakteri değil, bazı özellikleri ve birçok küçük detayları da «Yüksek frekanslı kısımlar da dahil olmak üzere» doğrulukla gösterilebilir. Bu detayların kabulü, sismoskopların belirli temel kolaylıkları sayesinde, pratikte de doğrulanmaktadır. (Cloud ve Hudson, 1961) ilk makalede, yatay ivme ve burulma ile yanal doğrultudaki hareketlerin birleşmesinden doğan hareketler gibi etki faktörleri incelenmişti. Laboratuvar testleri ve teorik analizlerin sonuçlarına dayanarak, bu gibi tesirlerin önemsiz sayılabileceğini ve bu hususun ileride yapılacak geniş kapsamlı arazi testleri ile de doğruluk kazanacağını söylemek mümkündür.

SISMOSKOPLARDAN ELDE EDİLEN SONUÇLAR :

Şekil 9 ve 10, Parkfield depreminde elde olunan sismoskop kayıtlarını detaylı olarak göstermektedir. Kayıtların tam ve büyütülmüş fotoğrafları, United States Coast and Geodetic Survey'in ilk raporunda veya kopyalarında mevcuttur. (Harding, Rinehart ve Cloud 1966)

Şekil. 11 de bütün istasyonlardan alınan sismoskop kayıtları gösterilmiştir. İslî kayıt cam'ının üst ucu Kuzey'i göstermekte, diagonal çizgi ise San Andreas fay'ının doğrultusunu işaret etmektedir. Herbir kayıt fay yönüne paralel ve fay'ı kesen doğrultuda olmak üzere ayrı ayrı ölçülmüş, ve hesaplanmış spektrum deplasmanları tablo. 2 de verilmiştir. Her durumda, verilen doğrultu boyunca en uçtaki iki istasyondan alınan değerler toplanmış ve sonuç, tek bir amplitüd değeri elde etmek için ikiye bölünmüştür. Bütün okunan değerler izafi deplasman spektrumundaki % 10 kritik sönüme göre düzenlenmiştir.



5. İstasyonunda elde edilen
Sismoskop kaydı (faydan 3,3 mil
batıda)



5. İstasyonunda zaman-ivme
grafiginden hesaplanmış izafi
deplasman

ŞEKİL . 9 5. İstasyonunda hesapla ve ölçülerek elde olunmuş
deplasmanların kıyaslanması



8. İstasyonunda elde edilen
Sismoskop kaydı (faydan
5.7 mil batıda)



8. İstasyonunda zaman-ivme
grafiginden hesaplanmış
izafi deplasman

Tablo 2 de verilen mesafeler, fay ile istasyon arasındaki dik uzaklık olarak harita üzerinden ölçülmüştür. İnanmak gerekir ki bu tarz bir ölçüm ilerideki gayelere daha uygun olacak ve episantr mesafesinden çok daha iyi bir kullanım sağlayacaktır. Çünkü fay boyunca meydana gelen hareket, Parkfield ile Cholame arasında kabaca değişmemektedir. Depremin zeminde, yapılarda ve kişiler üzerindeki etkilerinin Parkfield ve Cholame'de aynı olduğu görülmüştür. Ana kırık zonunun her iki ucunda, Birleşik Amerika sahillerinde ve şiddet haritalarında, Parkfield ile Cholame'nin ve bütün

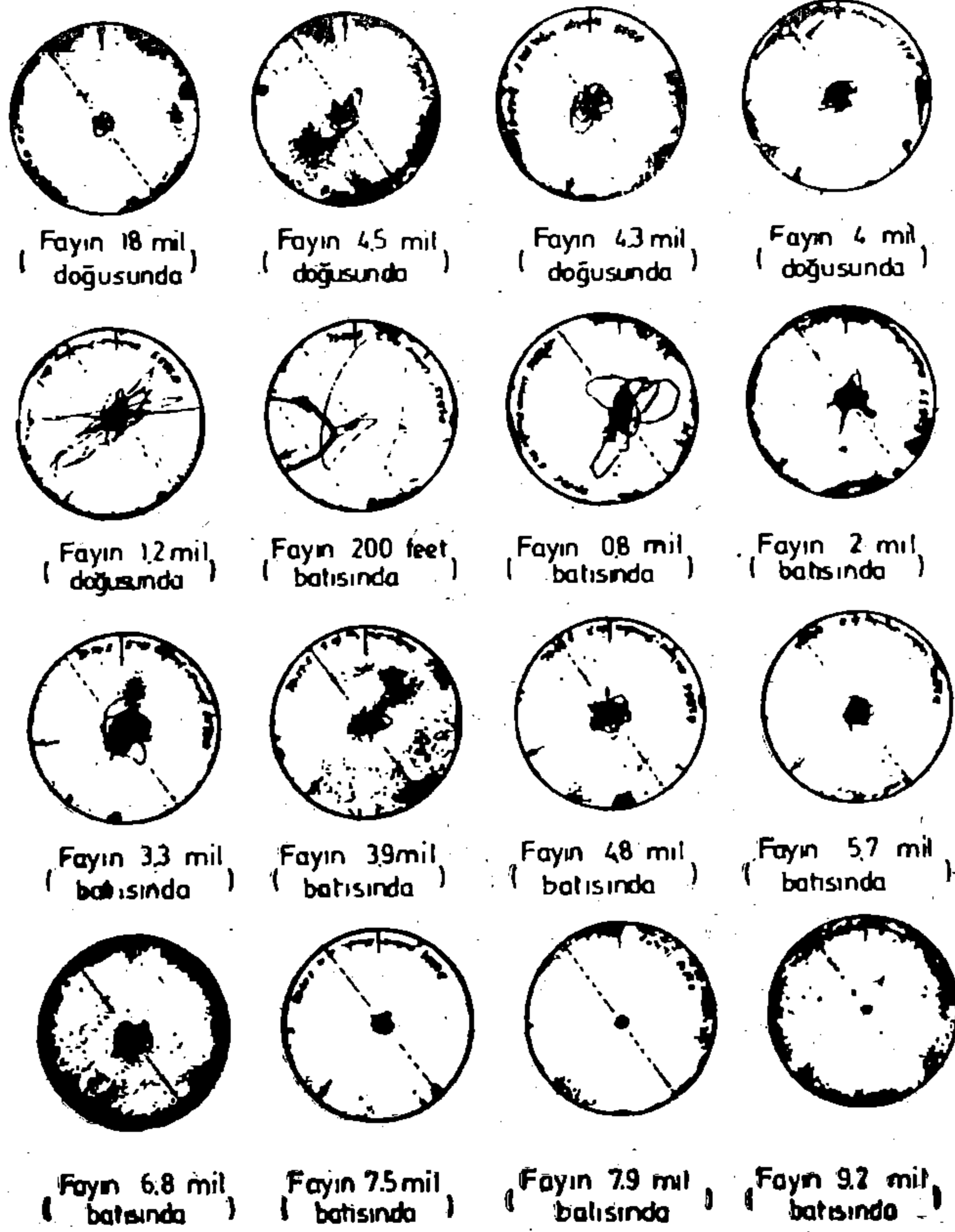
bu bölgenin aynı şiddet zonunda bulunduğunu ayrı ayrı görmek mümkündür. (Harding, Rinehart, Cloud 1966 ve Cloud 1967 - b)

İstasyon	Faya uzaklık (mil)	Periyod (san.)	Kritik sönüm(%)	Duyarlık (In/Rad.)	Y _{max} (Rad)		Sd (In.)	
					L	T	L	T
1	1.2 E	0.78	9	2.52	0.267	>0.434	1.5	>2.5
2	0	0.78	8.5	2.32	—	—	—	—
3	0.9 W	0.78	9	2.44	0.213	0.326	1.2	1.8
4	2.0	0.78	10	2.29	0.135	0.154	0.80	0.92
5	3.3	0.7	9	2.36	0.182	0.159	1.03	0.90
6	3.9	0.78	10	2.50	0.108	0.099	0.64	0.59
7	4.8	0.78	9.5	2.46	0.127	0.120	0.74	0.70
8	5.7	0.78	11	2.32	0.105	0.092	0.66	0.58
9	6.8	0.78	7.5	2.18	0.114	0.151	0.59	0.78
10	7.3	0.78	10	2.29	0.076	0.073	0.45	0.44
11	7.9	0.78	18	2.36	0.033	0.046	0.26	0.37
12	9.2	0.78	20	2.39	0.028	0.030	0.24	0.25
A.P.P	4.5 E	0.75	9	2.17	0.102	0.148	0.53	0.75
A 1.	4.3	0.75	10	2.17	0.114	0.153	0.63	0.84
A 2	4.0	0.75	10	2.17	0.090	0.142	0.50	0.78

TABLO 2

Faya paralel ve fayı kesen doğrultularda sismoskop kayıtları.

Tablo 2'deki mukabele spektrum deplasman değerleri Şekil 12 de fay'a dik yöndeki deplasmanlarla birlikte işaretlenmiştir. Sismoskoptan elde edilen deprem kaydının, fay'a olan istasyon mesafesi ile birlikte azalması beklenir. Ancak beklenen bu kayıttan daha geniş bir kayıt elde edilmesi de, Parkfield depremindeki 9 numaralı istasyonda olduğu gibi, mümkündür. Bu durum şekil. 11 de gösterilmiştir. 9 numaralı istasyon fay'a 6.8 mil uzaklıkta bulunduğu halde burada alınan kayıt, fay'a daha yakın olan (5.7 mil) 8. numaralı istasyonda elde edilen kayıttan daha geniştir. Şekil 11 de belirtilen 9 numaralı istasyondaki kaydın büyüklüğü istasyondaki sismoskop cihazının sönümünün büyük olması ile izah edilebilmekte, tabiiyle bu etki nedeni ile ortaya çıkan artış, şekil. 12 de görüldüğü gibi eğri üzerinde normale dönüştürülmektedir. Beklenmeyen bu yüksek değer, 9. numaralı istasyonun kurulu bulunduğu zemindeki jeolojik koşullarla da ilgili olabilir. Bu nedenle sismoskoptan alınan kayıtların bu gibi şartlarda korelasyonunu sağlamak için öncelikle, sismoskop şebekesinin kurulacağı sahada detaylı bir jeolojik inceleme yapılması gerekir.



Şekil — 11

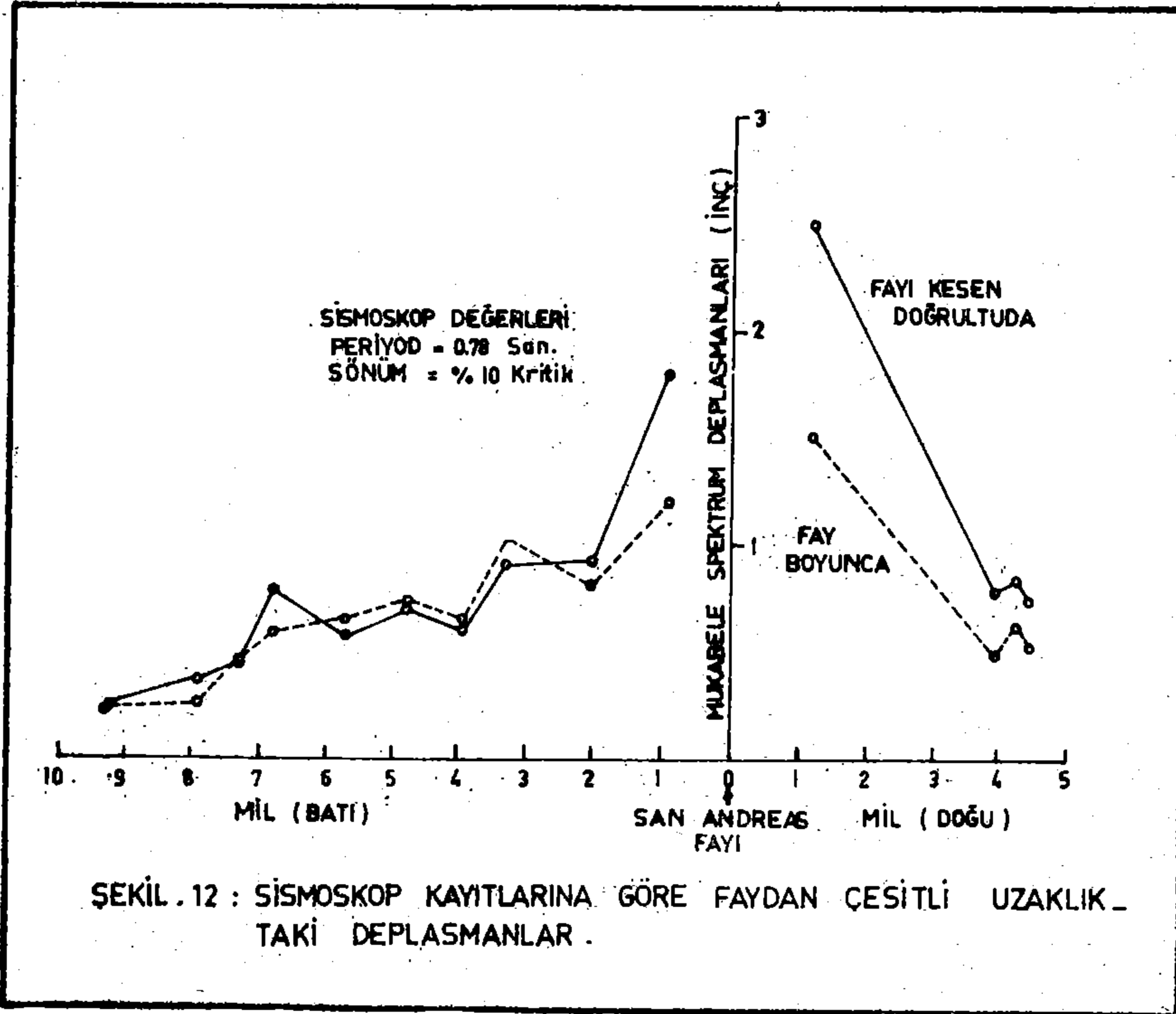
Sismoskobun verdiği değerler ile jeolojik şartlar arasındaki muhtemel ilginin ortaya konmasında yararlı olabilecek en iyi örnek, San - Andreas fayının 18 mil doğusunda bulunan «Avena» istasyonundaki sismoskop cihazından deprem esnasında elde edilen kayıttır. Şekil—13'de görüleceği gibi, faydan 18 mil doğudaki Avena istasyonundaki sismoskobun deprem kayıdı, aynı faydan 7.3 mil batıdaki 10 numaralı istasyonun verdiği kayıtle hemen hemen aynı büyüklükte olup, faydan 9.2 mil batıdaki 12 numaralı istasyonda elde edilen sismoskop kaydından ise bariz bir şekilde büyük ve geniştir.

YER HAREKETİNİN YÖNÜ

Sismoskop kayıtlarından anlaşıldığına göre, fay'ın yakın çevresindeki yer hareketinin bileşkesi, fay'ı kesen doğrultudadır. Şekil—11 incelendiğinde görülecektir ki 1 numaralı istasyonda elde edilen mükemmel kayıtle, zemindeki hareketin yönü fay'a diktir. Yer hareketinin önemli safhalarında ise hareketin doğrultusu,

fay'a 60° lik bir açı altında gelmektedir. 2 numaralı istasyondan alınan kayıt ise, kaydedici uç skala'dan kaçtığı halde yine de ilk hareketler hakkında önemli bilgiler vermektedir. 2 numaralı istasyonda, fay'ı kesen doğrultudaki hareketin, akseleroğraf kaydına göre periyodu ve sönümü hesaplanmış ve sismoskoptaki kaydının ilk kısmı ile karşılaştırması yapılmıştır. Burada relatif amplitüdü ilk birkaç pik'i ve kayıt iğnesi isli camdan dışarı taşmadan önceki hareketin ilk karakteri açık bir şekilde belli olmaktadır.

Hareketin ilk fazları incelendiğinde, doğrultunun fay'ı kesen yönde olduğu net bir tarzda belirlenmektedir. Sismoskop cihazının 2 numaralı istasyonda fay'a paralel doğrultudaki komponentinde elde edilmesi gereken kayıt, aletin kayıt iğnesinde meydana gelen sapma nedeni ile belirsiz kalmıştır. 2 numaralı istasyondan alınan sismoskop kaydı sismoskop sonuçlarının, zaman kaydeden cihazlardan elde edilen verileri tamamlayan bilgiler verebileceği konusunda oldukça iyi bir örnektir. 2 numaralı istasyondaki ilk harekete ait kayıt ve diğer istasyonlardaki zaman kayıtlarının birlikte değerlendirilmesi bu rasat istasyonundaki kaydedici uc'un ilk hareketlerden sonra isli cam'ın dışına çıkmasından ileri gelen bozulmayı önemsiz hale getirmiş bulunmaktadır.

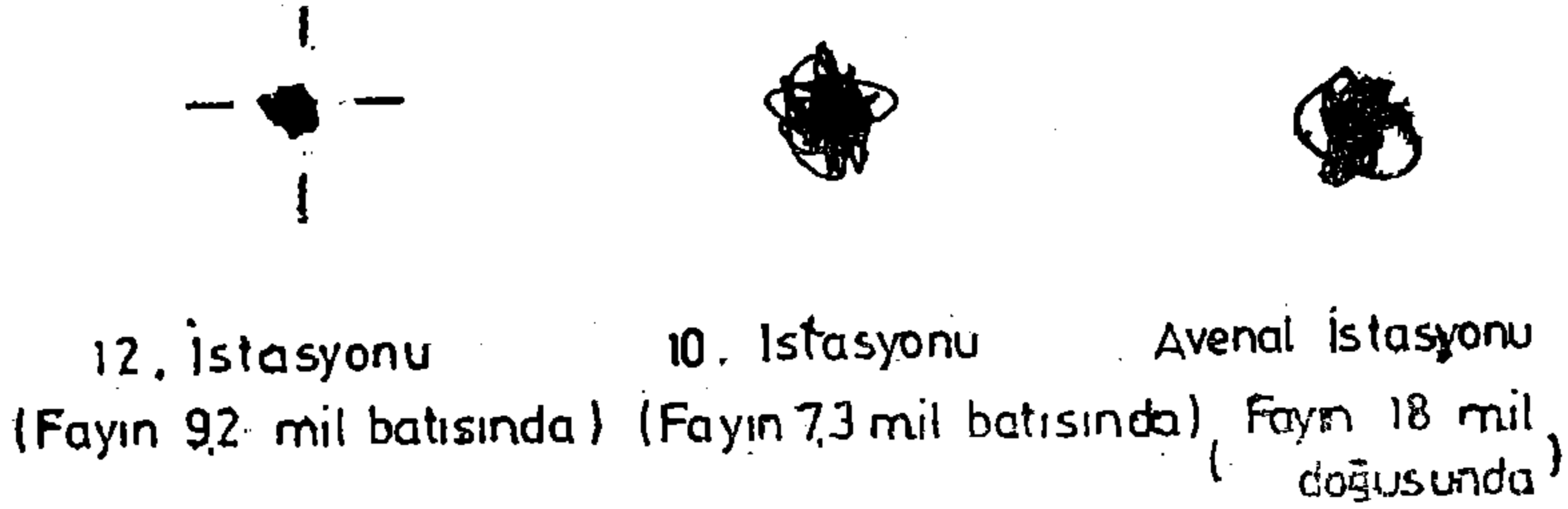


Şekil — 12

Şekil—11'den anlaşıldığına göre, istasyonlar ile fay arasındaki mesafe arttıkça hareketin yön karakteri de değişmektedir. 5 mil-den fazla uzaklıklar için, tüm yatay yöndeki hareketler aynıdır. Bu bağıntı ile, sismoskop sonuçlarından entegre edilmiş hız ve akselerograf kayıtlarından çıkarılan deplasman eğrilerinin karşılaştırılması, detaylı ve tamamlayıcı bilgiler elde edilmesi yönünden oldukça faydalıdır. (Housner ve Trifunac, 1967)

Zeminden elde edilen zaman - deplasman eğrileri, 2 numaralı istasyonda tek bir hareketin, büyük bir süratle son derece karmaşık hale geldiğini gösterir. 8 ve 12 numaralı istasyonlarda yine zaman - deplasman eğrilerinden zemin deplasmanlarının, depremin tipik karakterlerine işaret ettiği anlaşılmaktadır.

İlk gelen hareketlerden ortaya çıkan kuvvetlerin fay'a dik yönde olma eğilimi taşıdığı, Holister bölgesinden alınan sismoskop kayıtlarından da belli olmaktadır. (Cloud, 1967 a) Şekil—11'deki gerçek sismoskop verilerinden elde olunan ve dikkatle çizilen bazı sismoskop kayıtları, «Morrison, Hofmann ve Wolfe, 1966»un konuyla ilgili makalesinden çekilmiş, ancak faya göre yanlış yönlendirilmişlerdir. Bu, pek tabiidir ki arazide, sismoskopun kayıt tablasındaki yön işaretinin yanlış konulmasından ileri gelen bir sonuçtur. Neyse ki pratikte bu gibi hataların sonuca etkisi olmaz. Çünkü zaman kaydedici akselerografların verdiği sonuçlar, bağımsız bir kontrolü mümkün kılmakta, ayrıca yön belirlenmesi gibi şüphe arzeden hususlara da doğru çözümler getirmektedir.



ŞEKİL 13 Faydan çeşitli uzaklıklardaki üç istasyonda elde edilen sismoskop kayıtları.

S O N U Ç L A R :

Strong — motion akseleroğrafları ve sismoskopların, geniş çapta bir arazi çalışması için bu ilk müşterek uygulama planı, aşağıdaki sonuçları vermiştir:

a) Arazi koşullarına uygun olarak saptanan, akseleroğrafların kurulması ve yerleştirilmesi, bakımı, ayarı ve verilerin elde edilme teknikleri ile sismoskoptan elde olunan sonuçlar, % 10 — 15 doğrulukla tasarlanmış aplikasyon planına uygun olduğu kabul edilen zemindeki ivme değerlerinin hesaplanmasından elde olunan deplasman mukabele spektrum değerleri ile birlikte mütalâa edilmektedir.

b) Sismoskoptan doğru ve sıhhatli veriler elde edilmesi için, mukabele spektrumundaki değerler ile fay'dan olan mesafenin azalması ve yersel jeolojik yapı ile ilgisi bulunabilen bazı anomalilerin mevcudiyeti, açık ve yeterli işaretlerdir.

c) İki boyutlu sismoskop kayıtlarından, zemindeki hareketin ilk yönü hakkında büyük bir açıklıkla bilgi edinilir. Fay'ın yakın civarında bu ilk zemin hareketlerinin fayı kesen doğrultuda olduğu görülür.

d) Sismoskop kayıtlarından alınan değerler, zemindeki zaman - ivme eğrilerinin tamamlayıcısı olarak kullanılır. Ayrıca her ikisi de, kayıt iğnesinin skaladan çıkması nedeni ile elde edilemeyen ivme değerlerinin saptanması ve akseleroğraf istasyonlarındaki tamamlayıcı bilgileri değerlendirmek yönünden fayda sağlamaktadırlar.

e) Fay'ın yakın civarında, sismoskoptaki kaydedici çap skala dışına çıkması halinde bile, halihazırda kullanılan alet düzenleme karakteristiklerinin, genel aplikasyonla iyi bir uyum içinde bulunduğu kabul edilmektedir.

K A Y N A K L A R :

- 1 — Cloud W.K. (1967 a) : Seismoscope results from three earthquakes in the Hollister, California area, Bull Seism. Soc. Am. 57, 1445 - 1448.
- 2 — Cloud W.K. (1967) b) : Intensity map and structural damage, Parkfield California earthquake of June 27, 1966, Bull. Seism. Soc. Am. 57, 1161 - 1178.
- 3 — Cloud W.K. - D.E. Hudson : A simplified instrument for recording strong motion earthquakes, Bull. Seism. Soc. Am. 51, 159 - 174.

- 4 — Sarding S.T. - W. Rinehart - W.K. Cloud (1966) : The Parkfield, California, Earthquake of June 27, 1966, U.S. Dept. of Comm., Environmental Sci. Serv. Admin, Coast and Geodetic Survey, Washington.
- 5 — Housner G.W. - M.D. Trifunac (1967) : An analysis of strong-motion accelerograph records from the Parkfield earthquake of June 27, 1966, Bull. Seism. Soc. Am. 57, 1193 - 1220.
- 6 — Hudson D.E. (1962) : Some problems in the application of spectrum techniques to strong motion earthquake analysis,
- 7 — Morrison P.W. - R.B. Fofmann - J.E. Wolfe (1966) : Bull Seism. Soc. Am. 52, 417 - 430).
Parkfield earthquakes, June 28 - 29, 1966, Earthquake notes, 37, 5 - 18.

TAHRİPKAR DEPREMLERDE ZEMİN HAREKETLERİNİN ÖLÇÜLMESİ (*)

Y a z a n :
D.E. Hudson (**)

Ç e v i r e n :
Murat Köylüoğlu (***)

Ö N S Ö Z :

Sismik bakımdan aktif bölgelerin şiddetli - hareket akseleroğraf ları (strong - motion accelerographs) ile incelenmesi günümüzde önem kazanmış bir konudur. Halen kullanılmakta olan akseleroğrafların karakteristik özellikleri yanında detay çizimi de yapı mühendisleri için bu makalede sunulmuştur. Alet kayıt hızının en az 1 cm/sn. olması ve tabii periodunun da 0.1 sn den küçük olması gereği yapılan çalışmalarla saptanmış olup otomatik çalıştırıcı kısmı bir hayli tartışmalıdır. Birleşmiş Milletler Sahil ve Jeodezi Araştırma Merkezinde (U.S. Coast and Geodetic Survey) şiddetli hareket akseleroğraflarının sarkaç, geçici mukabelesi hakkında da bilgi verilmiştir. Ayrıca gene U.S.C.G.S tarafından geliştirilen ve zaman kayıt etmeyen, akseleroğraf şebeke tesisi çalışmalarında kullanılan, sismoskopların genel karakteristikleride bu makalede izah edilmiştir.

G İ R İ Ş :

Büyük depremler, deprem mühendisliği konusunda çalışanları, yeni araştırmalar yapmağa ve ilgilerinin tahripkâr depremler üzerine yönelmesine sebep olmuştur. Böyle zamanlarda eski bilgileri gözden geçirmek ve eksiklikler için yeni programlar geliştirmek iyi bir başlangıç olur.

Mayıs 1960 da ana şok magnitüdü 8,5 olan Şili depremi tarihteki en büyük ve tahripkâr depremlerden biridir. Tokyo ve Kyoto'da ki II. Dünya Deprem Mühendisliği Konferansın'dan önce meydana gelen bu deprem, sismologlara ve deprem mühendislerine tahripkâr depremler üzerinde arazi çalışmaları yapmak için iyi bir fırsat olmuştur.

-
- (*) Makalenin aslı «Bulletin of the Seismological Society of America», cilt 53 sayı 2 sayfa 419 da yayınlanmıştır.
(**) Kalifornia Teknoloji Enstitüsü, Pasedena, Kalifornia
(***) İmar ve İskân Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü

Saha çalışmaları, hasar görmüş yapılar üzerinde olduğu kadar hasar görmemiş yapılar için de önemlidir. Ancak bu çalışmalar her bölgede zemin hareketinin tam olarak tesbit edilememesinden dolayı tatminkâr olmayabilir. Şili depreminde de zemin hareketiyle ilgili hiçbir noktada ölçü alınmamıştır.

Aletsel sismolojinin yüz yıllık bir geçmişi olmasına rağmen şimdiye kadar büyük bir depremin merkezinde herhangi bir ivme kaydı elde etmek mümkün olamamıştır. Zemin ivmesinin en büyük değeri, U.S.C.G.S şiddetli - hareket akseleroğrafları ile magnitudü 7 olan, 18 Mayıs - 1940 tarihinde El Centro depreminde, episantr'dan 30 mil uzakta saptanmıştır. Zaten tahripkâr depremlerden elde edilen tüm kayıt sayısı onbeş'den fazla değildir. Bunlarda U.S.C.G.S tarafından Kalifornia ve Pasifik sahil şeridinde kayıt şebekesi kuru olarak sağlanmıştır.

Tokyo Üniversitesi Deprem Araştırma Enstitüsünün ilk yöneticilerinden Dr. K. Suyehiro 1920'de, yapı mühendislerinin istediği kayıtları verecek özel bir aletin önemini belirtmiş daha sonrada ihtiyaca uygun bir akseleroğraf örneği çizmiştir. 1931'de Amerika'da Mühendislik Sismolojisi üzerine verdiği konferansların birinde özetle mühendislik sismolojisinin tatbikata en uygun olacak şiddetli - hareket sismometrelerini ve akseleroğraflarını hazırlaması gereğini belirterek bunları, sismik bölgelere yerleştirip uzun süreli ölçüler almanın sağlayacağı faydaları izah etmiştir. Aynı konuşmasında sismogramlardan elde edilen başlıca hareketlerin period ve amplitüdlerinin mühendislere birşey ifade etmediğini, gerekli olan verilerin ise akseleroğraf vasıtasıyla elde edilen ivme ve onun periodu olduğunu söylemiştir. (Ref. 1). Dr. Suyehiro'nun öngördüğü bu fikirler Amerikalı uzman J.R. Freeman tarafından kuvvetlendirildi. J.R. Freeman, «Depremlerde hasar ve Deprem sigortası» (Ref. 2) üzerine yaptığı çalışmada zemin ivmesine ait ölçünün önem derecesini belirtmiştir. Bu sahadaki çalışmalar, 1931 de U.S.C.G.S. tarafından düzenlenen akseleroğrafların geliştirilmesi konulu konferansla en yoğun dönemine girdi. Şiddetli harekete ait ilk kayıt ise 10. Mart. 1933'de Long Beach depreminde elde edilmiştir. Magnitudü 6,3 olan bu depremden sonra Kalifornia - Pasifik sahil şeridinde orta şiddette 20 depreme ait zemin ivme kayıdı da aynı tarihlerde yapılmıştır. Halen Amerika'nın batı kesiminde altmışa yakın U.S.C.G.S şiddetli - hareket akseleroğrafı çalışır durumdadır. Bu cihazların bir kaçı - da diğer ülkelerdeki şebeke çalışmalarına örnek olmak için gönderilmiştir.

Şiddetli - hareket akseleroğraf şebekesi Japonya'da da kurulmaktadır, buna paralel olarak 1951'de «Şiddetli Hareket Akselasyon Komitesi» (S.M.A.C) tarafından iki tip akselerometrede gayelere uygun olabilecek şekilde geliştirilmiştir. (Ref. 3). 1960'dan bu yana yaklaşık olarak 50 tane S.M.A.C ve 15 tanede DC tipindeki akseleroğraf Japonya'da çalışır durumdadır (Ref. 4).

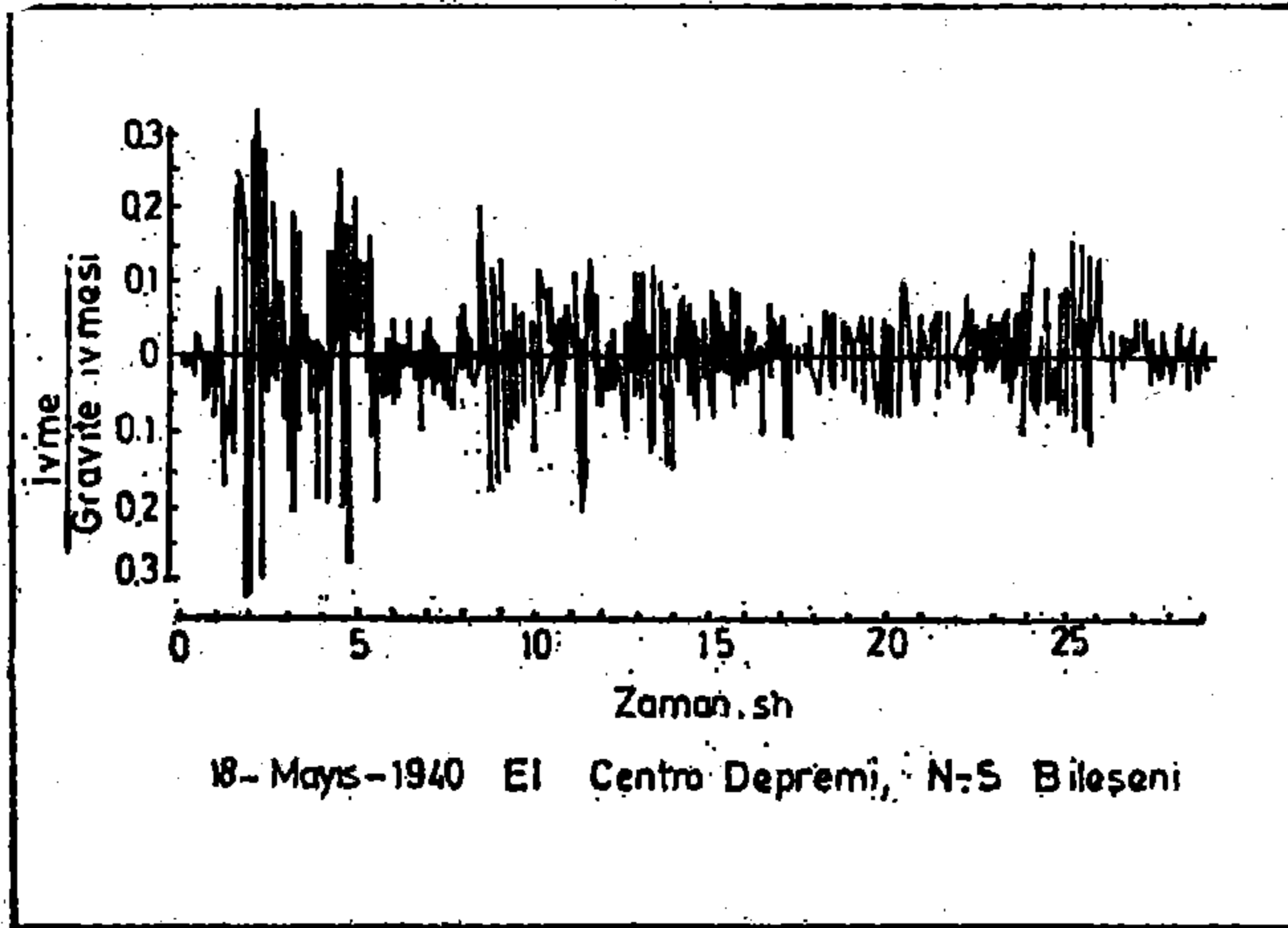
ŞİDDETLİ HAREKET AKSELEROMETRESİ'NİN DÜZENLENMESİ :

Mühendislik taleplerine uygun olan sismografin esasını anlamak için ilk önce bilgilerin nerede kullanılacağını, sonrada zemin hareketinin ölçülen karakteristiklerini bilmeliyiz.

Yapı mühendislerinin, depreme dayanıklı yapı dizaynında karşılaştıkları esas problem zemin hareketi sırasında yapılarda meydana gelen dinamik gerilimlerin tesbitidir. Deprem esnasında meydana gelen yapısal gerilimler zemin ivmesine ait relatif deplasmanları verirler. Bu veriler ise, zamanın fonksiyonu olarak zemin ivmesinin gerçek değerini hesaplamada kullanılır.

Deplasman, hız ve ivme arasında basit bir teorik bağıntı vardır. Dolayısı ile ölçülen birimlerin hangisi olduğu önemli değildir. bununla beraber tam bir doğruluk için zemin hareketinin ölçülen ivmesi diğer verileri bulmada başlangıç noktası olmalıdır. Zaman - ivme eğrisinden hız ve deplasman istenilen hassasiyette entegral tekniği ile elde edilebilir. Ancak, bu neticeye deplasman eğrisinden tersine bir işlemle, ivme - zaman eğrisi şeklinde diferansiyasyonla ulaşma olanağı yoktur. Bu nedenle sismometre alıcısının bir akselelerometre şeklinde monte edilmesi gereği ortaya çıkar.

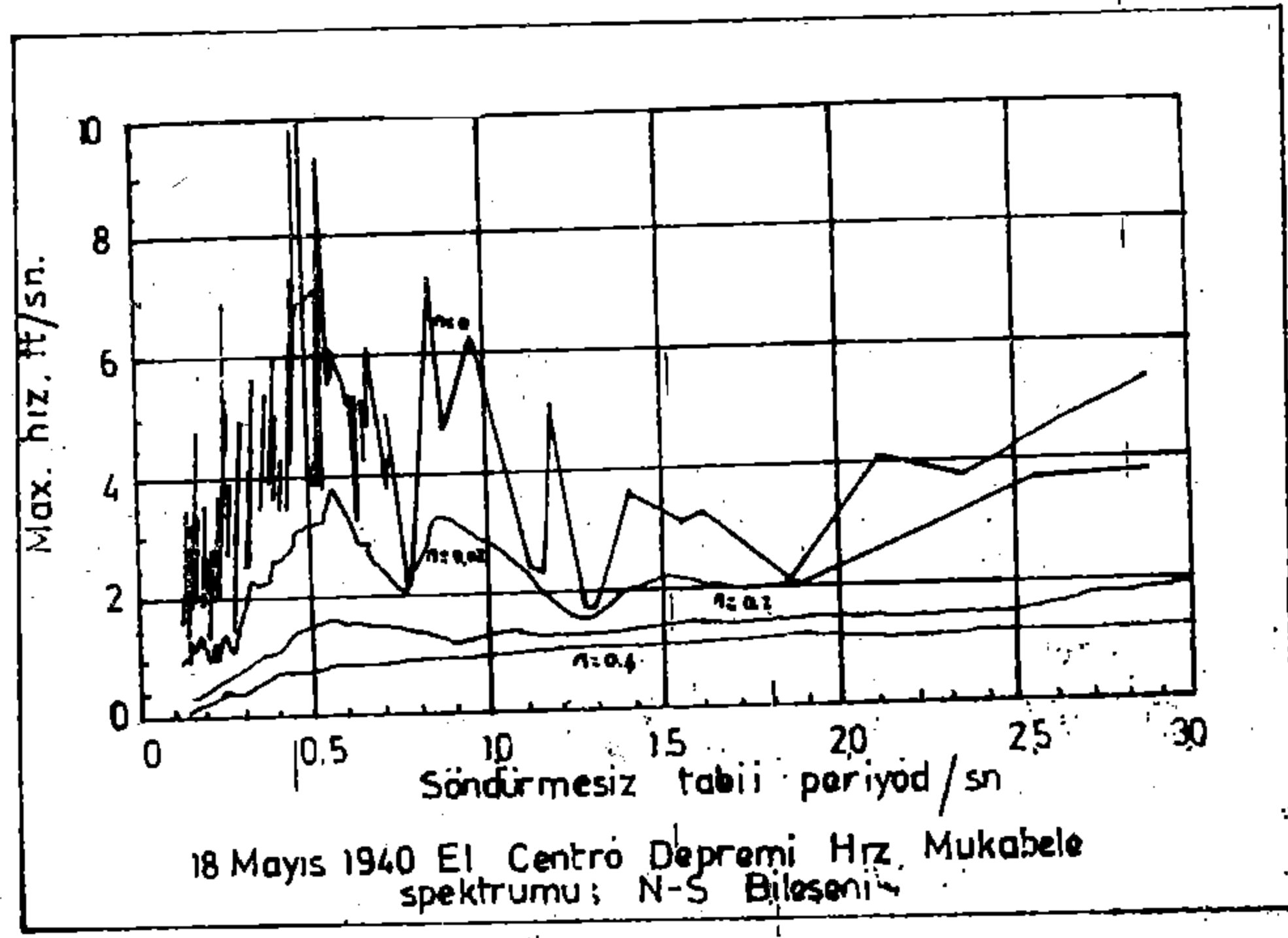
Batı Amerika'da depremlere ait ölçüler ve aletsel hesaplamaların, diğer depremlerle benzer karakteristiklere sahip olduğu zannedilmişse de sonraki çalışmalarla bu düşünüşün yanlış olduğu saptanmıştır. Yer yüzünün muhtelif yerlerindeki büyük depremlerde, zemin hareketinin period ve magnitudü gibi karakteristiklerinin birbirlerinden farklı olduğu görülmüştür. Aslında birçok bölgede zemin ivmesine ait kayıtları gerçeğe en yakın şekilde elde edebilme olanağı olsa idi bunların başka kayıtlar için kriter olma olasılığı da mümkün olabilirdi. Bunun sebebi ise bölgeye göre jeolojik yapıların değişmesidir.



ŞEKİL-1 Şiddetli hareket depremine ait ivme-zaman kaydı

Şekil I de U.S.C.G.S.'nin şiddetli - hareket akseleroğraflarıyla Kalifornia da elde edilen bir kayıt görülmektedir. (Ref. 5). Şekil. 2 ise, Şekil I deki ivme zaman eğrisine uygunluk gösteren hız mukabele spektrumunu göstermektedir ki, buda max. relatif hızı verir. Sıfır sönümlü mukabele eğrisi, ivme - zaman eğrisinin Fourier spektromu ile aynı genel görünüşe sahiptir. Bu münasebet ise hareket periodunun bileşenlerini saptamada yararlı olur.

Kalifornia depreminde, Şekil 2'deki eğri tipine benzer bir grup mukabele eğrisi üzerinde çalışıldığında diğer mukabelelerden farklı olanların periodlarının 0.1 sn'nin altında olduğu görülmüştür. Bu sebepten alıcının, önemli zemin periodlarını kayıt eden bir akselometre gibi çalışması için periodunun 0.1 sn den küçük, sönümünde % 50 - 70 kritik sönümde olması lazımdır.



Şekil. 2, Şekil 1.deki kayıda ait max. relatif hız - mukabele spektrumu

AKSELEROMETRE DUYARLILIĞI :

Alet duyarlılığının küçük ve büyük depremlerin ölçek harici sapmalarını yaklaşık bir doğrulukla verecek şekilde olması istenir. U.S.C.G.S. akseleroğrafları ile kayıt edilen en geniş ivme piki magnitudü 7 olan bir depremden 30 mil uzakta 0,3 g olarak tesbit edilmiştir. Kalifornia akseleroğrafları ise 0,5 g'yi okuyacak şekilde ayar edilmiştir, ancak bu değer büyük bir depremin episantral arazisi içinde aşılabılır, o takdirde bir takım önemli verilerin elde edilememesi durumu söz konusu olur. U.S.C.G.S.'in ilk akselograf modellerinde çift optik sistem mevcuttu, bu sistemin yardımı ile iki ayrı kuvvetteki hareketler aynı anda tesbit edilebiliyorlardı (Ref. 7). Daha sonraları ise bu sistem geliştirilerek alet hassasiyetinin gereken düzeyde olması sağlandı.

KAYIT HIZI VE TEKNİĞİ :

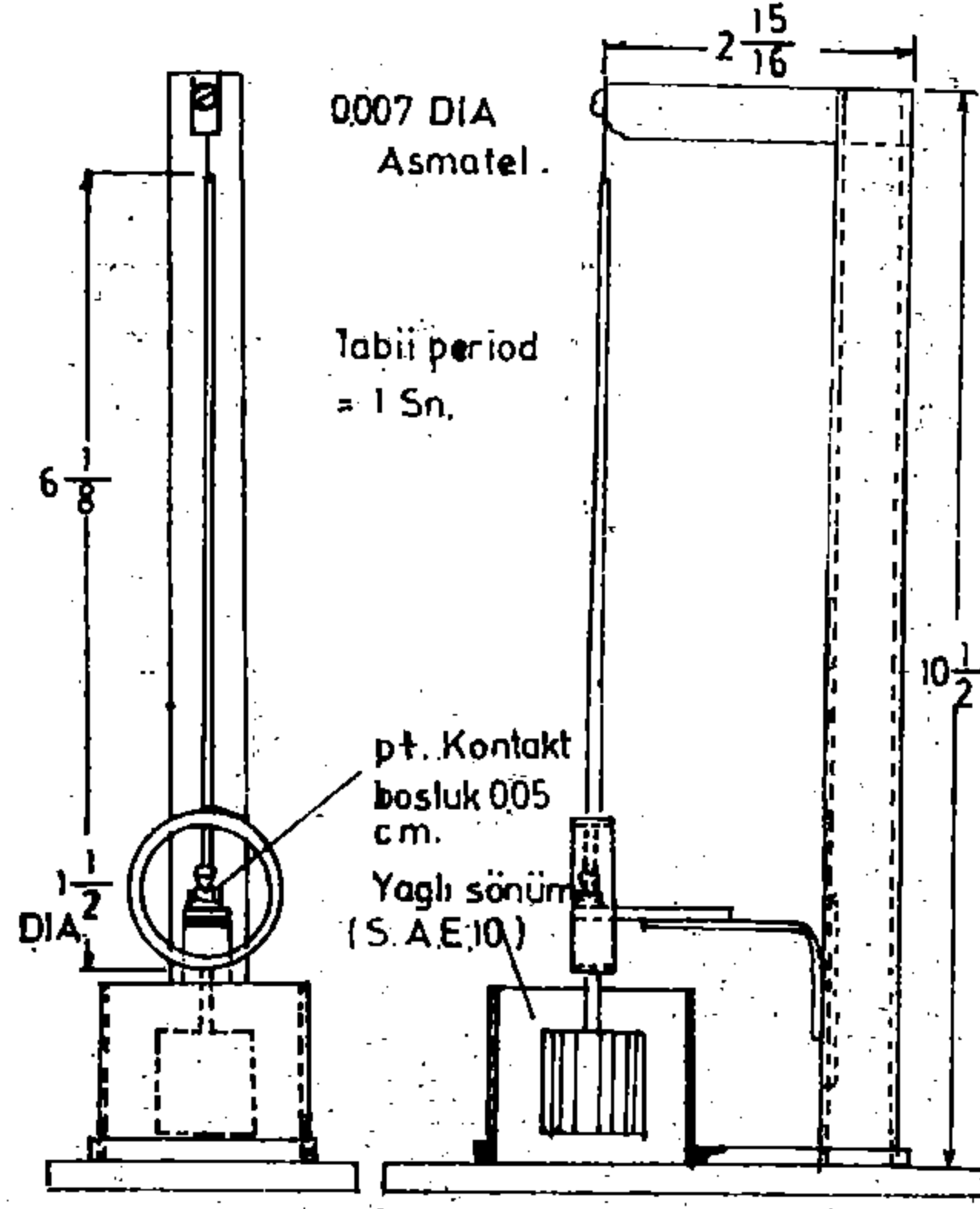
Yapısal mukabele analizini istenen doğrulukta hesaplamak için kayıt hızının en az 1 cm/sn olması lâzımdır. Bu ise oldukça yüksek bir değerdir, dolayısı ile devamlı kayıt için elverişli değildir. Kayıt sistemi 2 - 3 dakikalık kayıtları elde edecek şekilde düzenlenir, bu süreden sonra kayıt işlemi otomatik olarak durarak yeni kayıtlar için hazır duruma geçer.

Şiddetli - hareket akseleroğrafları için fotoğrafik kayıt, mumlu kâğıt ve stylus sistemi, isli kâğıt, kayıt metotları başarıyla uygulanmaktadır.

OTOMATİK ÇALIŞTIRICI :

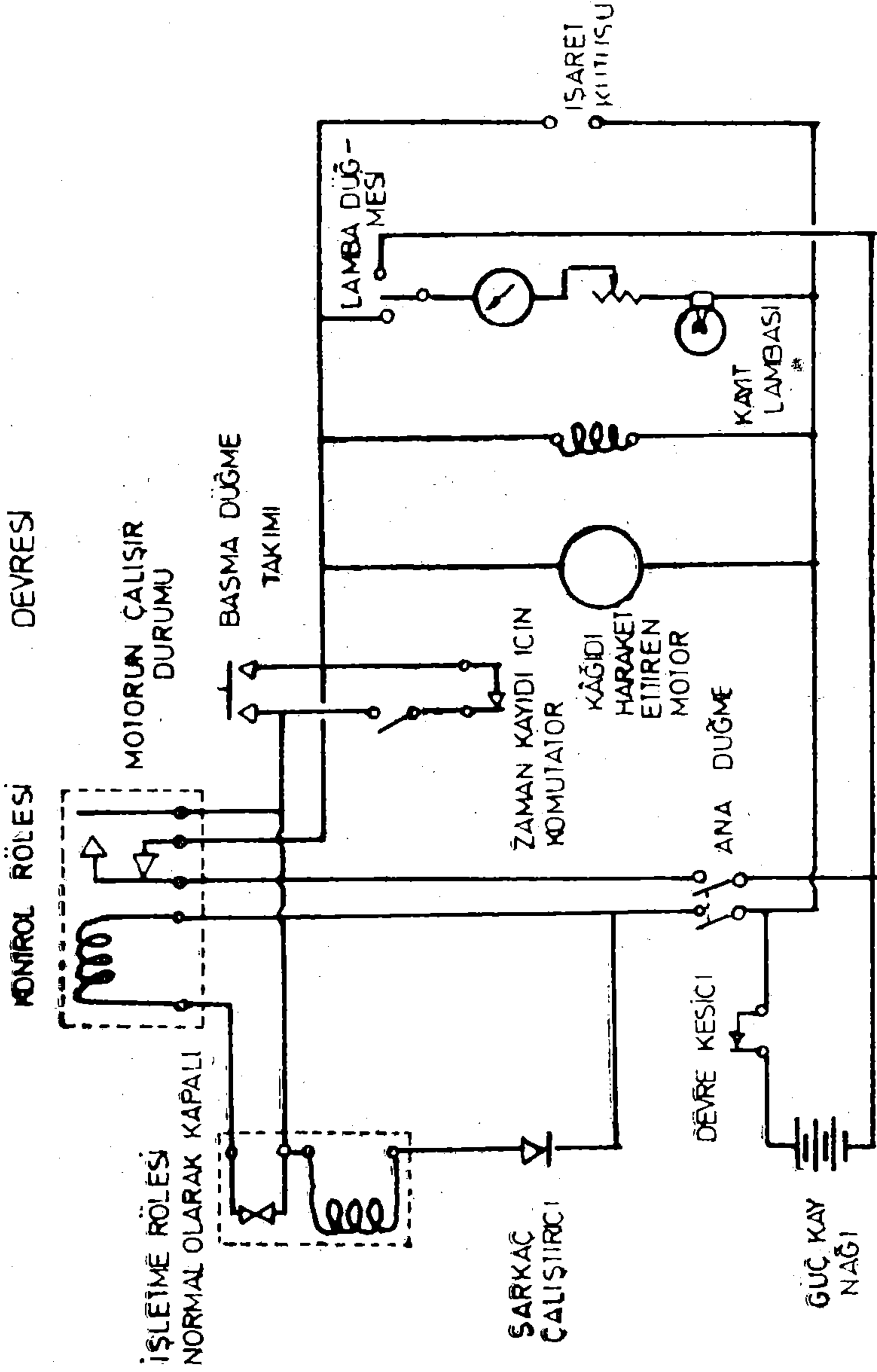
Otomatik çalıştırıcı (starter) tüm akseleroğrafın hemen hemen en kompleks birimi olup anlaşılması da güçtür. Bunun için bu bölümde U.S.C.G.S de kullanılan akseleroğrafların bu birimlerinin detayları verilecektir.

Esas olan, çalıştırıcının bir hareket anında en kısa zamanda işliyerek tüm aletteki gecikmenin asgariye inmesidir. Zemin - ivme kayıtları incelendiğinde başlangıç kısımlarındaki anlamsız ivme piklerinin nedenleride çalıştırıcı aletin zamanla ilgili olan bu ilişkisinden ileri gelir. İvme - zaman ayarının çok düşük değerde tutulması sismik olmayan titreşimlerin ve küçük magnitütlü depremlerin kayıt edilmesine böylece kayıt kâğıdının şiddetli depremlerden önce bitmesine sebep olur, bunun için ayarın belirli bir düzeyde olması gereklidir. Bu ise bir takım ön deneylerle sağlanır.



Şekil - 3. U.S.C.G.S.'nin şiddetli hareket akseleroğrafları için kullandığı sarkaç çalıştırıcısının (pendulum starter) ana özellikleri ve boyutları

U.S.C.G.S. ŞİDDETLİ HARAKET AKSELERO-
GRAFLARI İÇİN TİPİK BİR KONTROL
DEVRESİ

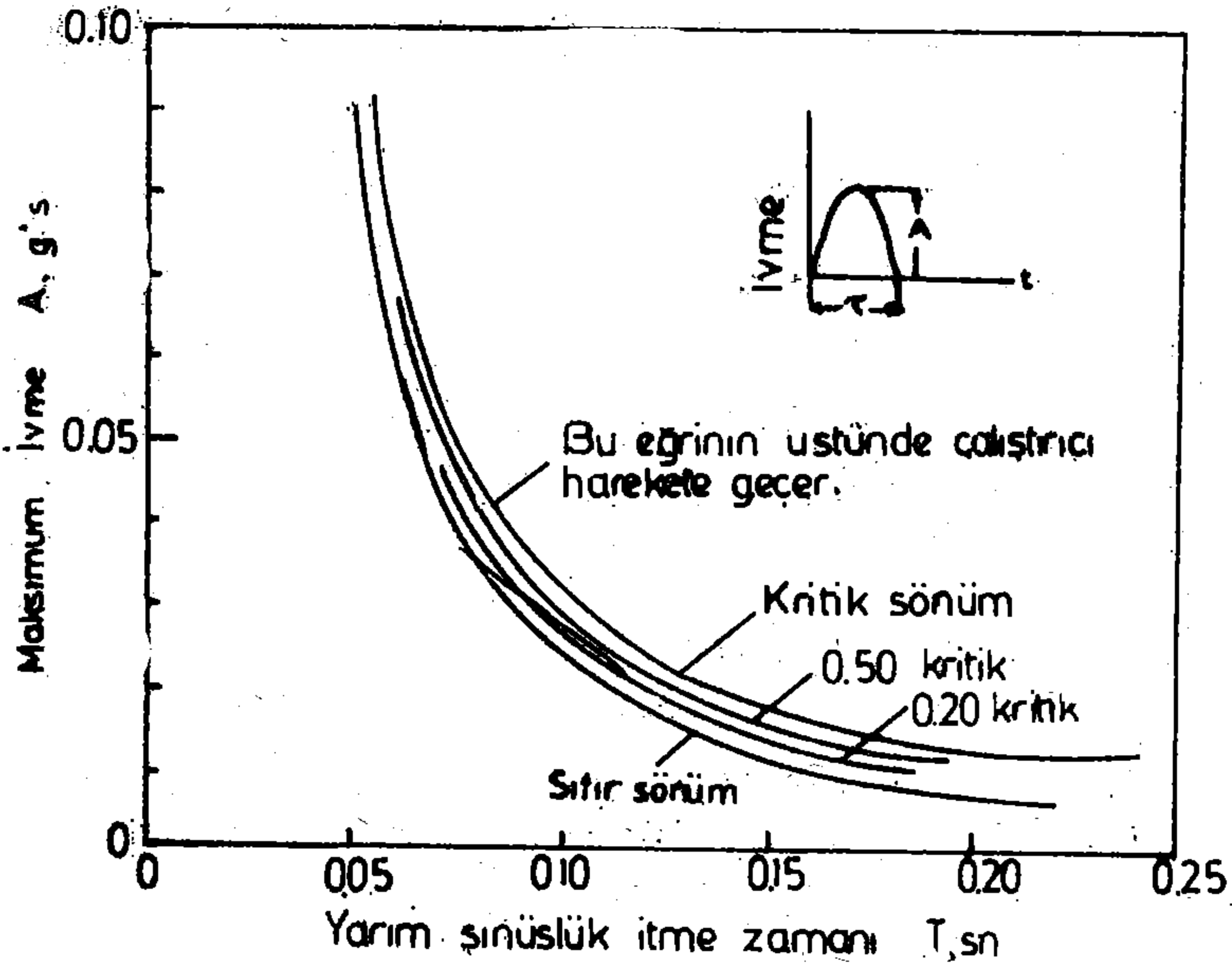


ŞEKİL 4. OTOMATİK ÇALIŞTIRICI İÇİN ELEKTRİK RÖLE VE KONTROL SİSTEMİ

Yatay sarkaç çalıştırıcı U.S.C.G.S. tarafından geliştirilmiş olup yirmibeş seneden beri kullanılmaktadır Şekil. 3 (Ref. 7-8). Sarkaç yaklaşık olarak % 30 kritik sönüme ve 1 sn'lik periyoda sahiptir. Kayıt işlemi için diagramda görülen platinlerin kontağı gereklidir, bu kontakt da 0,05 cm'lik yatay deplasmanla sağlanır. Otomatik çalıştırıcının sabit röle ile daha güvenilir şekilde çalıştığı tesbit edilmiştir. Şekil. 4'de çalıştırıcı röle ve kontrol sisteminin şematik di-agramı gösterilmiştir.

Bu sistemde kayıt sürecinin başlaması için istenen zaman 0.2 sn civarındadır. Otomatik çalıştırıcının kendine özge dinamik ka-rakteristikleri vardır. Buna paralel olarak çalışmanın başlaması için gerekli olan yeterli relatif harekete, ivme büyüklüğü, zaman sü-reci ve dalga şekli kombinasyonları sebep olur. Belirli bir arazi için ise karakteristiklerin en iyi kombinasyonu deneylerle tesbit edilir.

Sarkaçlara ait dinamik mukabeleyle ilgili şimdiye - dek pek çok eğri ve onun yorumu verilmiştir. Dinamik mukabele eğrileri, sa-bit - durum mukabelesini ivmeye ilişkin sünisoidal eğri olarak verir.



Şekil. 5, U.S.C.G.S sarkaç çalıştırıcısı için geçici mukabele eğrisi

Aletin çalışır duruma geçmesi için gerekli koşullar aslında geçici koşullar olup bu dinamik karakteristiklerin istenen biçimde et-kili olması için geniş kapsamlı analizleri gerektir. Şekil. 5'de sarkaç kontağının sağlanması için gerekli olan süreyle ilgili eğri, max. iv-menin ve zamanın fonksiyonu olarak görülmektedir.

Burada birde yarım sinüslük puls'a sebep olacak ivmenin mevcudiyeti farz olunmaktadır. Duruma bir başka bakış açısında şudur : Şayet verilen bir amplitüd ve frekanstaki sabit sinüs dalga treni $t=0$ anında otomatik çalıştırıcı ile birlikte harekete geçerse, eğriler max. ivme amplitüdünün ve sinüs - dalga frekansı'nın kombinasyonunu gösterecektir. Bu şartlar ise ilk yarım - sinüslük bir ivmede otomatik çalıştırıcının harekete geçmesini garanti edecektir. Söz konusu yarım sinüslük ivme puls'u hakiki durumun yaklaşık bir modelidir. Tabii ki, bu durumda derece derece artan (+) ve (-) ivme piklerinden önce, otomatik çalıştırıcı işlemeye başlamıştır.

Geçici şartlarda, çalıştırıcıdaki gecikme zammı ile de ilgili olan magnitüd verilerini değerlendirmede şekil. 5'deki eğriler yardımcı olabilir. Gene aynı şekilden sarkaç sönümünün kritik bir parametre olmadığı da görülür.

Düşey hareketle işleyen çalıştırıcıları geliştirmek için U.S.C.G.S tarafından birçok deneysel çalışma yapılmıştır, ancak sarkaç sisteminin uzun zaman kararlı kalabilmesi konusunda güçlüklerle karşılaşılması U.S.C.G.S'nin yatay sistemi seçmesine sebep olmuştur.

U.S.C.G.S şiddetli - hareket akseleroğrafları ile elde edilen birçok deprem kayıtlarında ilk uç değerden sonra max. ivme uç değerleri kayıt edilmiştir ki bunlarda başlangıçta aletin harekete geçiş gecikmesinden doğan hataların telafisinde geçerli olmuştur.

Üst paragraflarda da açıklandığı gibi akselerometrenin mühendislik çalışmalarındaki en önemli kısmı otomatik çalıştırıcısıdır. Muhtemelen bu konuda yapılan çalışmalarla istenen hassasiyet elde edilecektir.

HALEN KULLANILMAKTA OLAN AKSELEROĞRAFLAR :

Şiddetli - hareket akseleroğraflarının mukayesesi için bunların temel karakteristiklerini gösteren bir tablo bu makalede yer almaktadır. U.S.C.G.S akseleroğrafı 2 tane 5 sn. lik yatay sarkaca sahiptir. sarkaçlar periodları 3 sn'den küçük olan dalgalar için deplasman aleti olarak iş görürler. Bütün akseleroğraflarda güç kaynakları pillerdir. Bunun için tahripkâr depremlerde enerji kesilmesi diye bir şey söz konusu olamaz. Japon malı akseleroğraflara ait özelliklerde bu tabloda verilmiştir (Tablo. I).

ŞİDDETLİ - HAREKET AKSELEROĞRAF ŞEBEKE TESİSİ ÇALIŞMALARI :

Depremlerde genellikle episantr'dan 10 - 20 mil kadar uzaklıktaki noktalarda zemin ivmesine ait bilgilerin elde edilmesi istenir. Bunun içinde çok sayıda akseleroğrafa ihtiyaç vardır. Akseleroğraflar aralarında 100 milden fazla bir uzaklık olmayacak şekilde yerleştirilmelidir. Ayrıca şehirlerin yakınlarında, baraj ve nükleer güç santralleri gibi önemli mühendislik yapılarında alet sayısında artırılmalıdır.

ŞİDDETLİ — HAREKET AKSELEROĞRAFLARININ ÖZELLİKLERİ

	U.S.C.G.S. (Şek. 6)	SMAC	D. C - 3
Tabii Period. sn	0.045 0.0668 0.0848	0.10	0.10
Hassasiyet, mm/0.1g	6.4 13.0 19.4	4.0	4.0
Sönüm	0.60 kritik	Kritik	Kritik
Sönüm mekanizması	Manyetik	Hava pistonlu	Yağ Pistonlu
Kayıt Aralığı	0.01 - 1.0g	0.01 -1.0g	0.01 - 1.0 g
Kayıt hızı : mm/sn	10	10	10
Kayıt için kullanılan kâğıt	Fotoğrafik kâğıt	Mumlu Kâğıt	İsli kâğıt
Kayıt Çalıştırıcısı	Elektrik	Yaylı Motor	Elektrik
	Motor	3 Sn.	motor 3
Kayıt süresi	1 1/4 sn.	5	2 yatay, 1 düşey
Sayıl sayısı	5	2 yatay, 1 düşey	Düşey Sarkaç
Bileşenler	Yatay Sarkaç	düşey sarkaç	Elektrikli Kont.
Çalıştırıcı tipi	2 yatay, 1 düşey	Elektrikli Kont.	0.3 sn.
Çalıştırıcı Periyodu	Elektrikli Kont.	0.3 sn.	0.01 g
Çalıştırıcı	Isn, 0.3 kritik	0.01 g.	1/5, - 1/2 veya I Sn.
Hassasiyeti	sönüm	Mekanik, 0.10 g.	4 kuru pil
Yedek Çalıştırıcı	0.05 cm. sakarcın	I Sn.	40 X 60 X 80
Zaman işaretlemesi	merkezinden - uzak	4 kuru pil	200
Güç Kaynağı	1/2 Sn.	37 X 54 X 54	Hosaka
Boyutlar, cm	Sulu Akümülatör	100	Seismograph Co.
Toplam Ağırlık, Kg.	Bataryası	Akashi Seisakusho	
Temin edileceği yer	32 X 50 X 115 Pilsiz 50 Pilsiz U.S.C.G.S. Satışı Yapılmıyor)	Co.	

(TABLO : 1)

Halen 7 adet U.S.C.G.S akselerografi yüksek yapıların üst katlarına yerleştirilmiştir. Zemin ivmesinin ve yapının ivme mukabelesinin aynı anda ölçümlerinden, yapılarını önemli dinamik özellikleri hesaplanabilmektedir.

Akselerograf şebeke tesisi çalışmalarında iki problem vardır : Bunlardan ilki alet fiyatlarının yüksek oluşu, ikincisi ise devamlı olarak bir grup elemanın bu iş için çalışmasıdır. Akselerograf fiyatları 3000 - 5000 Dolar arasında değişmektedir. Aletlerin kompleks olması, periodik olarak güç kaynaklarının değiştirilmesi, devamlı olarak çalışır vaziyette bulunması nedeniyle bu işle ilgili olarak eğitilmiş bir teknisyenin en az ayda bir defa aletleri kontrol etmesi zorunludur.

KAYIT TEKNİĞİNDE YENİ GELİŞMELER :

Önceki bölümde detayları verilmiş olan akselerografin, pahalı ve karışık bir sisteme sahip oluşu nedeniyle zemin hareketlerinin ana hatları verecek daha basit bir alet yapımı için birçok çalışma yapılmıştır. Geçen üç yılda U.S.C.G.S, Kalifornia Teknoloji Enstitüsü ve Milli Fen Kuruluşunun müşterek çalışmaları ile yeni bir alet geliştirilmiştir (Ref. II).

Bu alete «U.S.C.G.S. Sismoskopu» adı verilmiştir. Sismoskopun tabanı 10 inç² olup paslanmaz çelikten bir koruyucusu vardır.

Sismoskop da yatay olarak hareket edebilen konik bir sarkaç vardır. Bu sarkaç zemindeki deplasmanla harekete geçer ve meydana gelen açısal sapmalar isli cam üzerine kayıt edilir. Şekil. 10'da bir testten alınmış kayıt görülmektedir. Sarkaç endüksiyon akım sönümü, aliminyum disk tarafından temin edilir. Bu disk de, kalıcı manyetik sistemin kutupları arasında hareket eder. Hareketin yatay düzlemde ve devamlı bir kayıt şeklinde olması olayların sırasını zaman kayıt edici olmadan izleme imkânını verir. Bu yöntemle max. deplasmanın saptanmasından elde edilecek bilgilerden daha basit fakat kesin neticeler elde edilir.

Bu alete ait tüm bilgiler ve çizimler iki rapor halinde hazırlanmıştır (Ref. 12 - 13).

Deprem esnasında zemin hareketlerinden tayin edilen period ve sönüm, tek serbestlik dereceli sistemlerin mukabelesi olarak sismokoplarda kayıt edilirler. Sismoskop için kullanılan parametreler mukabele spektrumunu tek nokta olarak verecek şekilde hesaplanmıştır, bu parametrelerde çok kuvvetli depremleri bile tarif edecek niteliktedir. Deprem kayıtlarındaki, spektrum eğrileri üstüne yapılan çalışmalar tek spektrum noktasının 0.75 sn'lik bir period ve % 10 kritik sönümde olması gereğini saptamıştır. Mart 22.1957 San Fransisco depreminin tamamlanmamış neticeleri ile spektrum noktasının uygunluğu irdelenmiştir. (Ref. 14). Herhangibir zemin hareketinde meydana gelecek tam ölçekli bir saptamada max. relatif mukabele

spektrum hızı $S_v - z$ ft/sn dir. İslı cam 2,5 inç'lik standart boyutları ile bu tür sapmaları kayıt edecek özelliktedir.

Sismoskopun sönümü sabit olmayıp sarkaç amplitüdü ile değişir. Arazi şartlarında sönümü ayar etmek ve ölçmek için yeni bir teknik geliştirilmiştir (Ref. 15). Ayrıca bu aletlerin hassasiyetlerini kontrol için birçok istasyonda akseleroğraflarla konumlandırılmaları iyi neticeler vermiştir. Buna örnek olarak 27. Ağustos. 1957 Montana depreminde Hebgen barajındaki akseleroğraf ve sismoskop neticelerinin yaklaşık olarak aynı olması verilebilir.



Şekil. 6. Sismoskop ile elde edilen tipik kayıt. Sönüm = % 10 kritik, Period = 0.73 sn.

Şekil 7 de ivme - zaman kaydından hesaplanan hız - mukabele spektrumuna ait eğri görülmektedir. Bir üst paragrafta sözü geçen deprem için bu hesaplamalar analog hesaplayıcısı ile mukabele spektrumlarının analizleri neticesinde elde edilmiştir. Diğer depremlerdeki testlerde her iki aletin yaklaşık neticeler verdiğini göstermiş ancak Şekil. 8'deki uyumluluk hepsinde görülememiştir.

Sismoskopun belirtilen bu faydaları akseleroğraf verilerinin eksik yönlerini tamamlayacak özelliktedir ancak sınırlı verileri ile akseleroğrafın yerini tutamayacağı aşikârdır. Ucuza mal olması, kolay yerleştirilmesi ve muhafaza edilmesi ilâve alet olarak kullanılma olanağını getirmiştir. Şiddetli - Hareket akseleroğrafları civarında 15-20 sismoskop koyarak lölal jeoloji ve zemin durumu hakkında bilgi edinilmesi de bu aletlerin olumlu yönlerindedir. Elli sismoskop maliyetinin bir akseleroğraf maliyetine denk olması para yönünden aradaki büyük farkı göstermektedir.

Sismoskop yer hareketini zamana bağı olarak kaydetmez, ne bir akselerometre ve ne de bir deplasman ölçüsüdür. Ayrıca, yalnız sismoskop kayıtlardan ivme veya deplasman bilgilerinin çıkarılması yeterli sayılmaz. Aslında bu alet bir yapının dinamik modeli şeklinde düşünülebilir. Sismoskop verilerinden deprem - mukavemet problemleri ile ilgili hususlar aydınlığa kavuşturulabilir. Depremde herhangi bir yapının ölçülen mukabeleleri aynı deprem sahasındaki diğer yapı davranışları için yaklaşık bir takım hesapları verir. Neticelerin zemin hareketi ile değilde yapısal mukabele ile ilgili olması mühendislere ilk plânla hitap eder.

Tipik mukabele spektrum eğrilerinin kullanışlı olmadığı araziler için çeşitli period ve sönüme sahip sismoskop grupları yerleştirilebilir. 1926'da «Sismic Vibration Analyzer» adlı çalışmasında Dr. K. Suyehiro böyle bir prensibi yaklaşık olarak ifade etmiş. Sovyetler Birliğinden A.G. Nazarov bu prensibi, tekniğin günümüzdeki getirilerinden faydalanarak geliştirmiştir (Ref. 16, 17, 18).

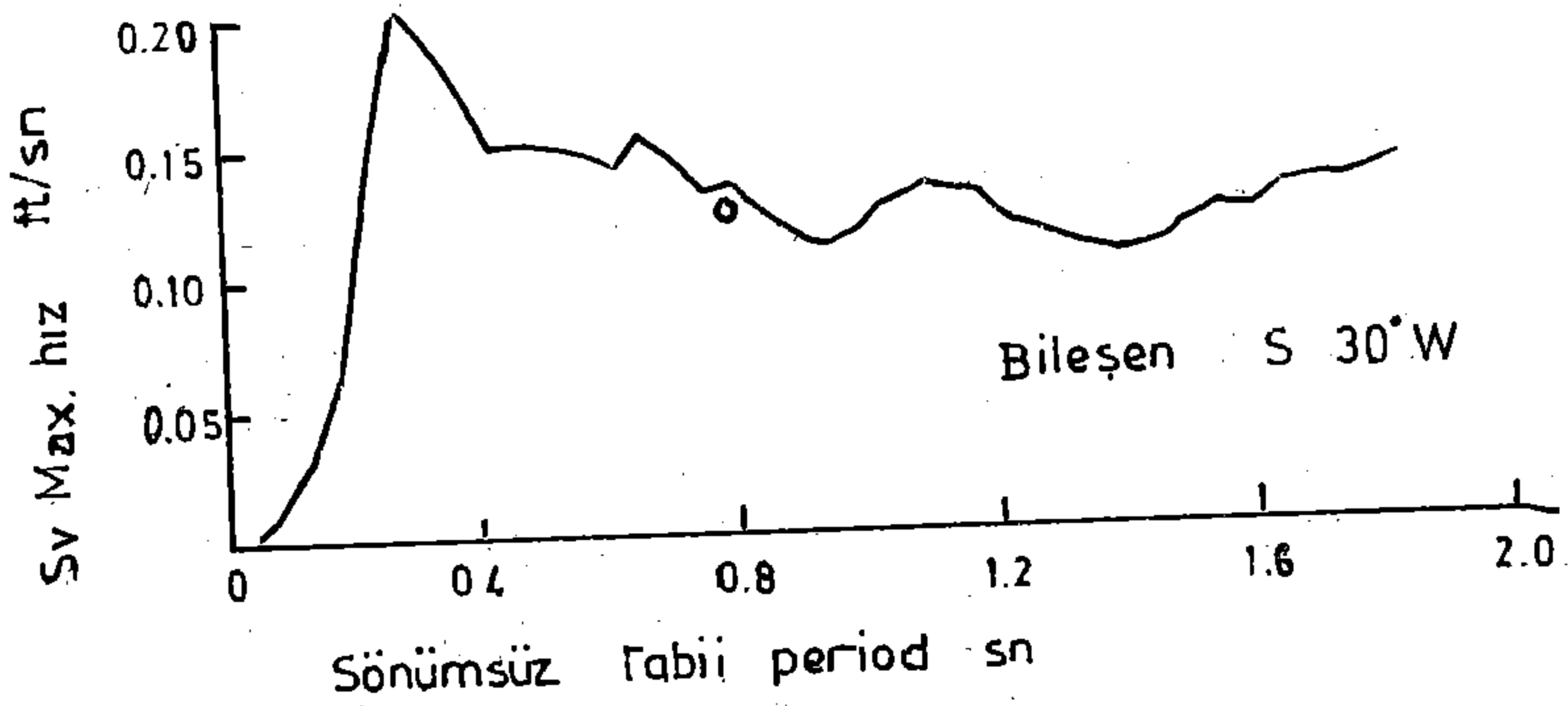
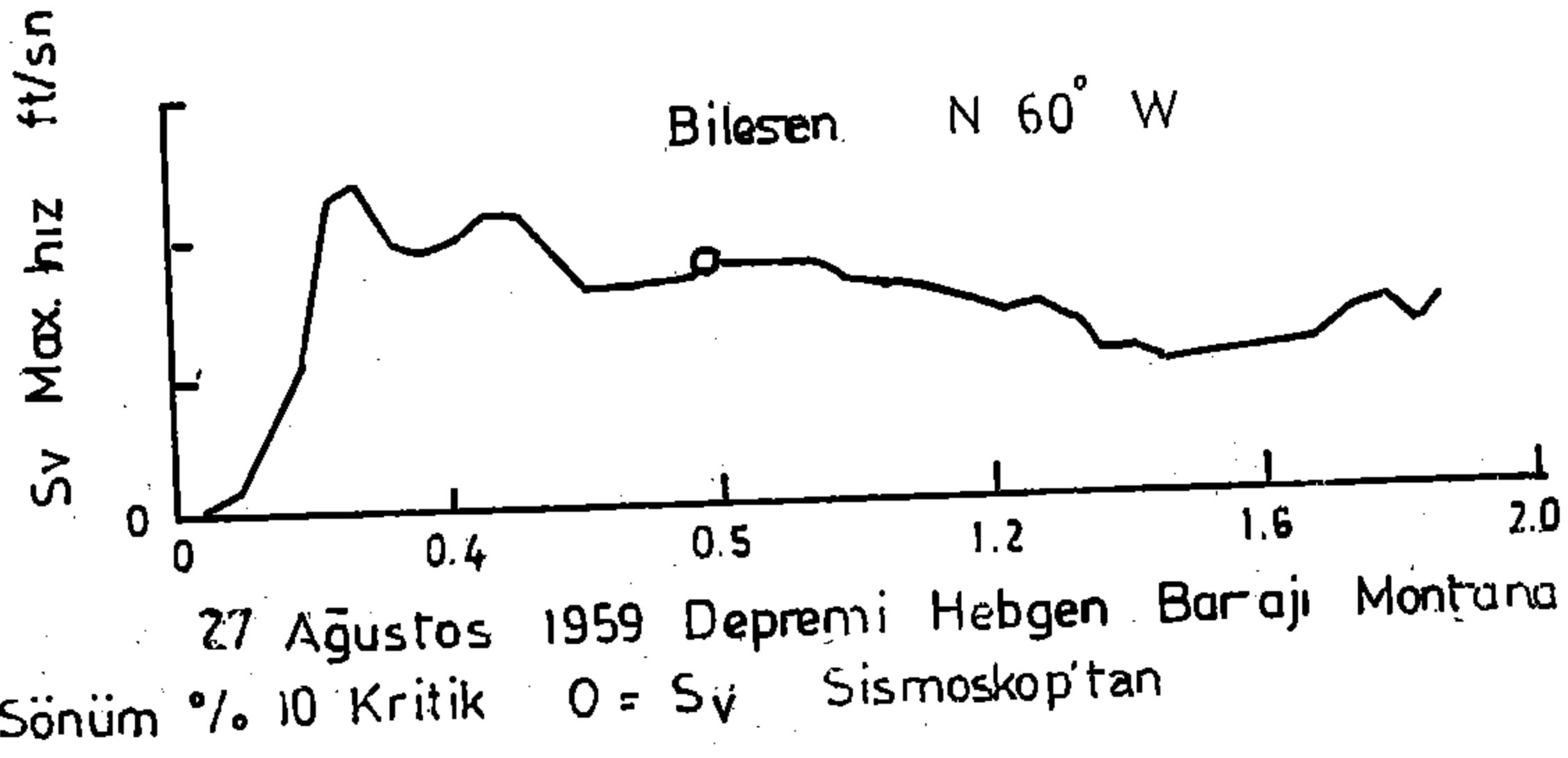
Rus malı AIS - 2 sismometreleri bir seri değişik periyodlara sahip sarkaçlardan meydana gelmiştir. Bu sismometrelerin isli camlarındaki çok küçük kayıtlarda, mikroskop yardımıyla incelenebilmiştir. Rus yapısı bu aletlerin tüm dinamik özellikleri bilinmediği için U.S.C.G.S sismoskop'u ile tam olarak mukayese edilemiyor, fakat U.S.C.G.S sismoskopunun Sovyetler Birliğinden S.V. Medvedev tarafından geliştirilen 0,25 sn period ve % 18 kritik sönümdeki sismoskoba benzediği de bilinmektedir.

Halen 100 kadar sismoskop Kalifornia da çalışır vaziyettedir, 30 adet daha bunlara ilâve edilecektir. Şili Sismoloji Enstitüsünde 50 kadar sismoskop gönderilmiştir. Sismoskopların diğer ülkelere de tanıtılmasına başlanmıştır.

K A Y N A K L A R :

- 1 — Suyehiro, K., «Engineering Seismology - Notes on American Lectures», Proc. A.S.C.E, Vol. 58, No. 4, (1932).
- 2 — Freeman, J.R., Earthquake Damage and Earthquake Insurance, McGraw - Hill Book Company, Inc., New York and London (1932).
- 3 — Takahasi, R., «The SMAC Strong Motion Accelerograph and Other Latest Instruments for Measuring Earthquakes and Building Vibrations», Proc. World Conference on Earthquake Engineering, Earthquake Engineering Research Institute and the University of California, Berkeley, (1956).
- 4 — Strong - Motion Earthquake Observation Committee, Strong - Motion Earthquake Records in Japan, Vol. I, Earthquake Research Institute, University of Tokyo, March (1960).
- 5 — Neumann, F., United States Earthquakes, 1940, U.S. Department of Commerce, Coast and Geodetic Survey, Serial No. 647, Washington, D.C., (1942).

- 6 — Housner, G.W., R.R. Martel and J.L. Alford, «Spectrum Analysis of Strong - Motion Earthquakes», Bull. Seis. Soc. Amer., Vol 43, No. 2, (April 1953).
- 7 — Heck, N.H., H.E. McComb and F.P. Ulrich, «Strong - Motion Program and Tiltmeters», Earthquake Investigations in California, Spec. Pub. No. 201, U.S. Department of Commerce, Coast and Geodetic Survey, Washington, D.C., (1936).
- 8 — Hudson, D.E., «Ground Motion Measurements in Earthquake Engineering», Proc. Sympos. on Earthq. Eng., University of Roorkee, Roorkee, India, 1959.
- 9 — Cloud, W.K. «Intensity Distribution and Strong - Motion Seismograph Results», Nevada Earthquakes of December 16, 1954» Bull. Sois. Soc. Amer., Vol. 47, No. 4, (Oct. 1957).
- 10 — Hudson, D.E., «A Comparison of Theoretical and Experimental Determinations of Building Response to Earthquakes», Proc. Second World Conference on Earthquake Engineering Tokyo and Kyoto, Japan, (1960).
- 11 — Cloud, W.K., and D.E. Hudson, «A Simplified Instrument for Recording Strong Motion Earthquakes», Bull. Seis. Soc. Amer Vol. 51, No. 2, (April 1961).
- 12 — Hudson, D.E., The Wilmot Survey Type Strong Motion Earthquake Recorder, Earthquake Engineering Research Laboratory, California Institute of Technology, (September 1958).
- 13 — Hudson, D.E. and W. Diwan, The Wilmot Survey Type Strong Motion Earthquake Recorder (The U.S.C.G.S. Seismoscope) Part II, Earthquake Engineering Research Laboratory, California Institute of, Technology, (November 1960).
- 14 — Hudson, D.L. and G.W. Housner, «An Analysis of Strong Motion Accelerometer Data from the San Francisco Earthquake of March 22, 1957», Bull. Seis. Soc. Amer., Vol. 48 No. 3, (July 1958).
- 15 — Maley, R.P., Standard Procedure for Adjustment and Installation of U.S.C.G.S Seismoscopes, Report to Seismological Field Survey, 1960.
- 16 — Suyehiro, K., «A Seismic Vibration Analyzer and the records Obtained Therewith», Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo, Vol. I. (1926).
- 17 — Nazarov A.G., The Method of Engineering Analysis of Seismic Forces, Academy of the Armenian S.S.R., Yerevan, 1959 (In Russian).
- 18 — Nazarov, A.G., B.K. Karepetian and S.A. Shahinian, «The Method of Direct Determination of Reduced Spectra of Seismic Accelerations», Proc. Second World Conference on Earthquake Engineering, Tokyo and Kyoto, Japan, 1960 (In English).
- 19 — Savarensky, E.F., and Kirnos, D.P., Elements of Seismology and Seismometry, Moscow 1955 (English Translation).
- 20 — Medvedev, S.V., Engineering Seismology, State Publishing House for Construction Architecture, and Construction Materials, Moscow, 1962. (In Russian).



ŞEKİL - 7 : Ivme zaman kayıtlından, mukabele spektrumunun ve Sismoskop neticelerinin mukayesesi

Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni

Yayın Koşulları

1. Bülteneye gönderilecek telif ve tercüme yazıların :
 - a) Depremle doğrudan doğruya, ya da dolaylı yoldan ilgili olması
 - b) Bilimsel ve teknik bir değer taşıması
 - c) Yurt içinde daha önce başka bir yerde yayınlanmamış olması
 - d) Daktilo ile ve kâğıdın yalnız bir yüzüne en az iki nüsha olarak yazılmış bulunması
 - e) Şekillerinin aydınlatıcı kağıdına çini mürekkebi ile çizilmiş olması
 - f) Fotoğrafların net ve klişe alınmasına müsait bulunması gerekmektedir.
2. Telif araştırma yazılarının baş tarafına araştırmanın genel çerçevesini belirten en çok 200 kelimelik İngilizce, Fransızca ya da Almanca bir özet konulmalıdır.
3. İmar ve İskân Bakanlığı mensubu elemanlar tarafından hazırlanan ve telif ya da tercüme ücreti ödenerek yayınlanacak olan yazıların, mesai saatleri dışında hazırlanmış olduğu yazan, derleyen, ya da çevirenin bağlı bulunduğu birim amiri tarafından (genel müdürlüklerde daire başkanı, müstakil birimlerde birim amiri) verilecek bir belge ile belgelendirilmesi zorunludur. Bu belge ile birlikte verilmeyen yazılar için ücret ödenmez.
4. Telif ve tercüme ücretleri ancak yazı bülteneye yayımlandıktan sonra tahakkuka bağlanır.
5. Bülteneye yayınlanacak yazıların 300 kelimelik beher standart sahifesi için teliflerde 40, tercümelerde 30 TL. ücret ödenir.

6. Yazılarda bulunan şekiller için, gerekli olan asgari alan içinde bulunabilecek kelime sayısına göre ücret takdir edilir.
7. Telif ve tercüme ücretlerinden doğacak vergi yükümlülüğü tamamen yazı sahiplerine aittir.
8. Yazıların bültende yayınlanması Deprem Araştırma Enstitüsü bünyesinde teşekkül eden Uzmanlar Kurulu'nun kararı ile olur.
9. Seçmeyi yapacak Uzmanlar Kurulu 5. maddede sözü edilen asgari alanları hesaplamaya, yazı sahiplerine gereksiz uzatmaların kısaltılmasını teklif etmeye verilecek ücrette esas teşkil edecek kelime sayısını tesbit etmeye ve yazıların yayın sırasını tayine yetkilidir.
10. Kurulca incelenen yazıların bültende yayınlanıp yayınlanmayacağı yazı sahiplerine yazı ile duyurulur.
11. Yayınlanmayacak yazılar bu duyurmadan sonra en geç bir ay içinde sahipleri tarafından geri alınabilir. Bu süre içinde alınmayan yazıların korunmasından Enstitü sorumlu değildir.
12. Diğer kuruluşlar ve Bakanlık mensupları tarafından bilgi, haber, tanıtma v.b. gibi nedenlerle gönderilecek not ve açıklamalar ya da bu nitelikleri yazılar için ücret ödenmez.
13. Enstitü mensupları Enstitüce kendilerine verilen görevlere ait çalışmalarından ötürü herhangi bir telif ya da tercüme ücreti talep edemezler.