



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

DEPREM ARAŞTIRMA BÜLTENİ

17



Deprem Araştırma Bülteni (DAB)

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



Nisan [April] / 1977
Cilt [Volume]: 5

Sayı [Issue]: 17

İÇİNDEKİLER [INDEX]

Sayfa [Page]

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Deprem Hareketi ve Dinamik Zemin Parametreleri İlişkisi [Relationship
Between Earthquake Motion and Dynamic Soil Parameters]

M. Yener ÖZKAN, Çetin SOYDEMİR, Aybars GÜRPINAR 1-20

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Nükleer Güç Santralleri İçin Deprem Riski Analizi [Earthquake Risk
Analysis for Nuclear Power Plants]

M. Semih YÜCEMEN, Polat GÜLKAN 21-39

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Zeminlerin Dinamik Davranışlarına Ait Gerilme-Deformasyon Bağlılıkları
[Stress-Strain Relationships Belonging to Dynamic Behaviors of Soils]

W.D.L FINN, M. Ali ERGUVANLI 40-52

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Aletsel Sismolojide Bazı Ana Yöntemler ve Uygulamalar [Some Main
Methods and Applications in Instrumental Seismology]

Ersin BAŞARIR 53-96

**DEPREM
ARAŞTIRMA
ENSTİTÜSÜ
BÜLTENİ**

17

**DEPREM
ARAŞTIRMA
ENSTİTÜSÜ
BÜLTENİ**

17

**DEPREM ARAşTIRMA
ENSTITÜSÜ BÜLTENİ**



Üç Ayda Bir Yayınlanır
Bilim ve Meslek Dergisi



Sahibi

İmar ve İskan Bakanlığı adına
Oktay Ergünay
Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanı



Yazı İşleri Müdürü

Aysel Özl

Deprem Araştırma Enstitüsü
Yayın ve Dökümantasyon Müdürü



Yönetim Yeri ve Yazışma Adresi

Deprem Araştırma Enstitüsü
Başkanlığı, Yüksel Caddesi No. : 7/B
Yenişehir/ANKARA



Telefon : 18 66 20 — 17 69 55



Basıldığı Yer

Baylan Matbaası 17 75 34 — 25 07 85



İlanlar pazarlığa tabidir.

Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni

YIL : 5

Sayı 17

NİSAN 1977

BU SAYIDA

Deprem Hareketi ve Dinamik Zemin Parametreleri İlişkisi

M.Y. ÖZKAN
A. GÜRPINAR
Ç. SOYDEMİR

Nükleer Güç Santralleri için Deprem Riski Analizi

M.S. YÜCEMEN
P. GÜRKAN

Zeminlerin Dinamik Davranışlarına Ait Gerilme Deformasyon Bağıntıları,

W.D.L. FINN
A. ERGUVANLI

Aletsel Sismolojide Bazı Ana Yöntemler ve Uygulamalar

L.E. BAŞARIR

DEPREM HAREKETİ VE DİNAMİK ZEMİN PARAMETRELERİ İLİŞKİSİ

M. Yener ÖZKAN*

Çetin SOYDEMİR***

Aybars GÜRPINAR**

Summary

Determination of suitable dynamic soil parameters is an important problem in the dynamic response analysis of soil deposits under seismic excitations. In this study, the variation of dynamic soil parameters with the depth of soil layers under band limited white noise base excitations are presented. It has been concluded that, the variation of shear modulus and damping ratio with depth do not differ significantly, if the root mean square values of the band limited white noise base excitations are the same, regardless of the time histories of the accelerations.

1. Giriş

Deprem dalgalarının, zemin tabakaları içinden geçerken uğradıkları değişim, özellikle son on yıl içinde araştırmacıların dikkatlerini üzerine toplamış, ve birbirinden farklı yapı gösteren zemin formasyonlarının, bu dalgaları farklı biçimde etkilediği, ve sonuçta, farklı deprem hareketlerine sebep olduğu anlaşılmıştır. Bu gerçeğin bir sonucu olarak da, farklı zeminler üzerinde yapılmış aynı tip binaların, bir deprem hareketi sırasında, farklı hasarlara maruz kalacakları, dolayısıyla yapıların üzerine oturacakları zeminin özelliklerinin de gözönüne alınarak projelendirilmesi gereği ortaya çıkmıştır.

Projelendirmede ise karşılaşılabilecek sorunların en önemlilerinden birisi de zeminle ilgili elastik ve sönüm parametrelerinin değişik yükler altında değişik değerler aldığı ve yükün statik ya da dinamik olması halinde parametrelerin aynı olmadığını göz önünde tutmak gereğidir.

Eldeki çalışmanın amacı değişik mertebedeki dinamik deprem yüklerine maruz zeminlerde elastik ve sönüm parametrelerinin derinliğe göre değişimini saptamak olacaktır.

2. Zemin Dinamiği İçin Geliştirilen Yöntemler

Son yıllarda, zeminlerin deprem hareketi karşısındaki davranışlarını, ve deprem dalgalarının zemin içinden geçerken uğradıkları değişimi incelemek için birçok analitik metod geliştirilmiştir (Idriss v.d., 1969; Schnabel v.d., 1972; Streeter, v.d., 1974 v.s.)

Genel olarak, bu yöntemlerle hesaplanan zemin yüzeyindeki deprem hareketi ile, aynı yerde aletlerle kaydedilen zemin hareketleri, hemen hemen aynı

(*) Y. Müh. Dr. İnşaat Mühendisliği Bölümü, O.D.T.Ü.

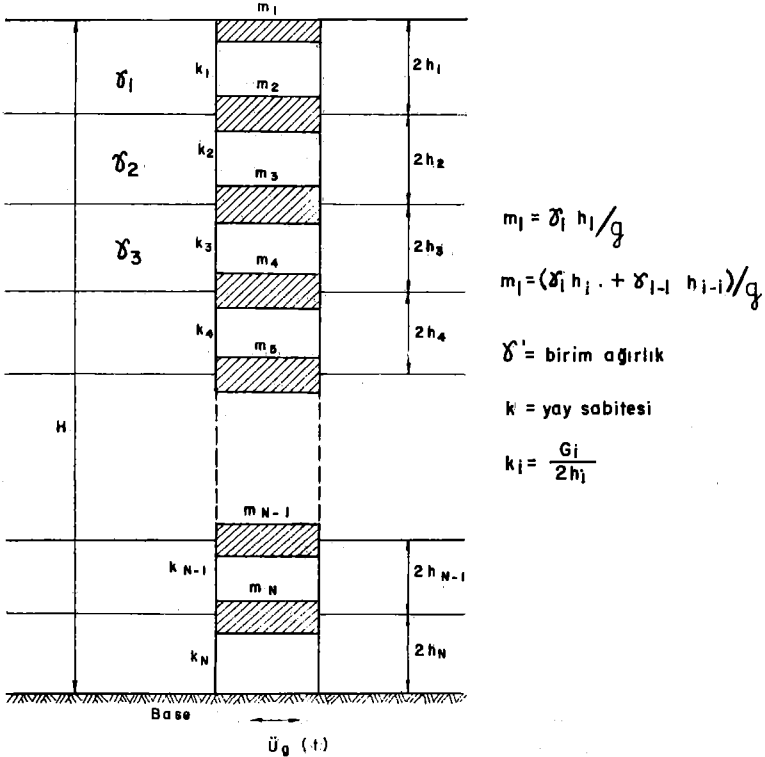
(**) Doç. Dr. Mühendislik Bilimleri Bölümü, O.D.T.Ü.

(***) Prof. Dr. İnşaat Mühendisliği Bölümü O.D.T.Ü.

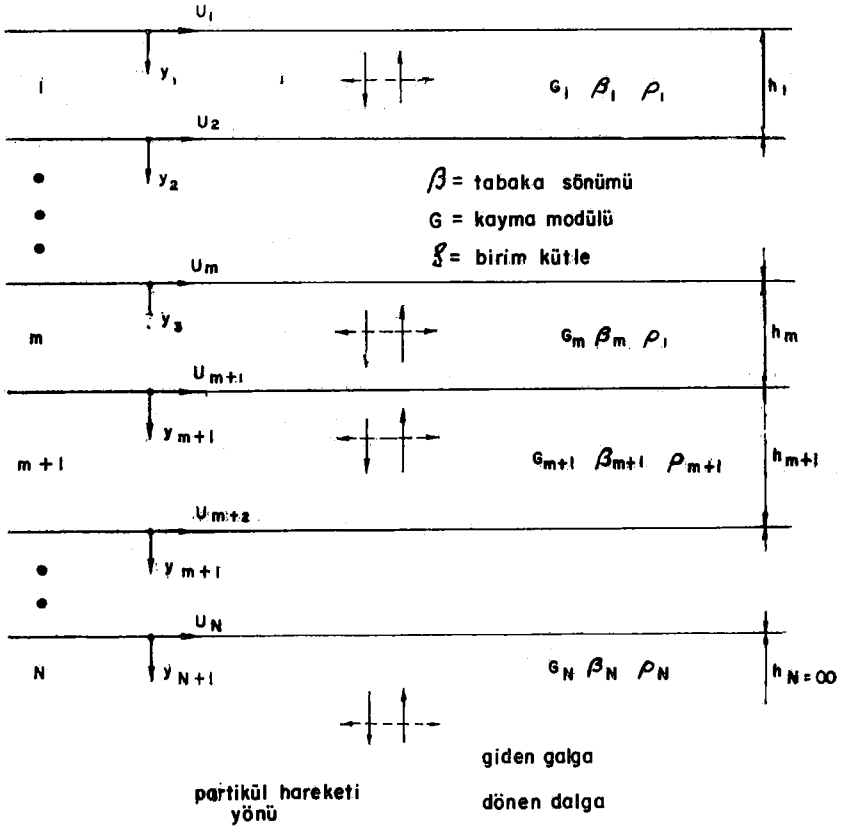
özellikleri göstermekte, ve birbirlerinden çok farklı bir görünüm vermemektedirler. Özellikle bu hareketlerin tepki spektrumları birbirine çok yakındır. (Seed v.d. 1972)

Zeminlerin deprem hareketi karşısındaki davranışlarını ve taban hareketinin yüzeye ulaştığı zaman nasıl bir hareket haline dönüşeceğini incelemek için kullanılan metodları iki genel gruba ayırmak mümkündür. Bunlardan ilki, yukarıda da sözü edilen deterministik metodlardır. Deterministik analizde, taban hareketi, ivme-zaman (veya hız-zaman, yer değiştirme-zaman) olarak bilinmelidir. Çıkan hareket de yine aynı şekilde deterministik olarak belirlenir. Bu tip analizlerde, zemin, eğer yatay tabakalardan oluşmuş ise, toplanmış kütle veya sürekli tabakalı ortam olarak idealize edilebilir (Şekil 1 ve 2). Eğer zemin, yatay tabakalardan oluşmamış ise, o zaman sonlu elemanlar yolu ile zemini üçgen veya dörtgen elemanlara ayırıp, her elemana ayrı zemin parametreleri verilerek, değişen zemin yapısını analize dahil etmek mümkündür. (Idriss ve Seed, 1967; Kovacs v.d. 1971 v.s.)

Yukarıda sözü edilen analizler genel olarak lineer (doğrusal) karakterde olup, zemin parametrelerinin doğrusal olmayan özelliklerini hesaba katmak gerektiğinden, belli bir yakınsaklık elde edilinceye kadar iterasyon yapılır.



Şekil 1 - Zemin tabakasının toplanmış kütle modeli ile idealizasyonu.



Şekil 2 - Zemin tabakasının tabakalı sürekli ortam modeli ile idealizasyonu.

İkinci grup analiz şekli ise, istatistik yaklaşımdır. Burada, taban hareketi bir gelişigüzel oluşum (random process şeklinde düşünülür, ve güç spektrumu cinsinden ifade edilir. Zemin yüzeyine çıkan hareket ise, yine bir gelişigüzel oluşumdur, ve bu oluşumun güç spektrumu bulunabilir. (Özgür ve Gürpınar, 1973; Gürpınar v.d. 1974, Dobry v.d. 1971; Özkan, 1976). Bu tip analizde de yatay tabakalardan oluşan zemin, toplanmış kütle veya tabakalı sonsuz ortam olarak idealize edilebilir. Bu analiz şekli de deterministik analiz gibi esasta doğrusal olup, taban hareketi spektral yoğunluk fonksiyonu $S_i(\omega)$, çıkan yüzey hareketinin spektral yoğunluk fonksiyonu $S_o(\omega)$ ile gösterilirse

$$S_o(\omega) = |H(\omega)|^2 S_i(\omega) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada $H(\omega)$ zeminin transfer fonksiyonu olup zemin parametrelerine bağlıdır.

3. Dinamik Zemin Parametreleri

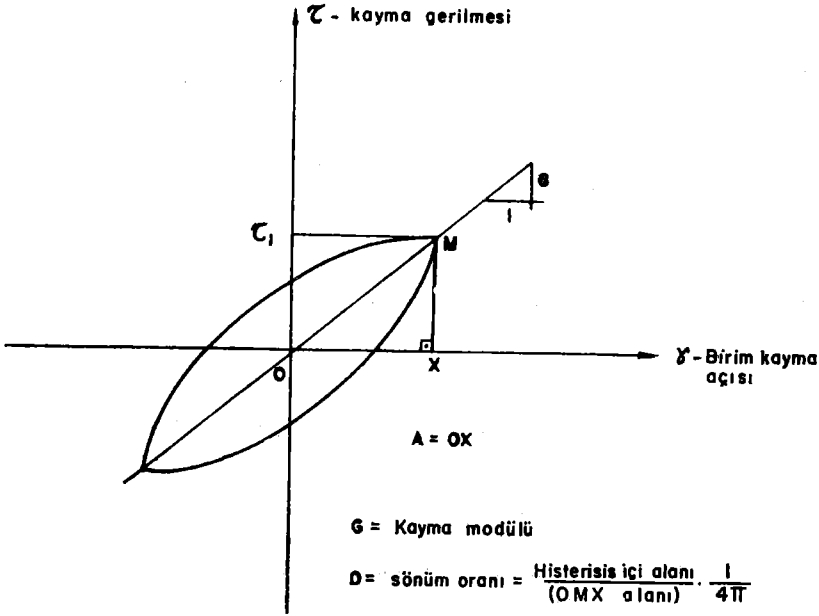
Zeminlerin tekrarlı yük altındaki gerilme-birim kayma açısı ilişkisi idealle edilmiş olarak Şekil-3'de gösterilmiştir. Bu şekilden de görülebileceği gibi, bu ilişki lineer olmayıp, bir histerisis eğrisi şeklindedir. Dinamik analizlerde, kayma modülü olarak, bu eğrinin iki uç noktasını birleştiren doğrunun eğimi alınmaktadır. Sönüm oranı ise, histerisis eğrisinin alanı ile orantılı olup (Şekil-3) :

$$D = \frac{\text{Histerisis eğrisi içinde kalan alan}}{\text{OM X üçgeni alanı}} \times \frac{1}{4\pi}$$

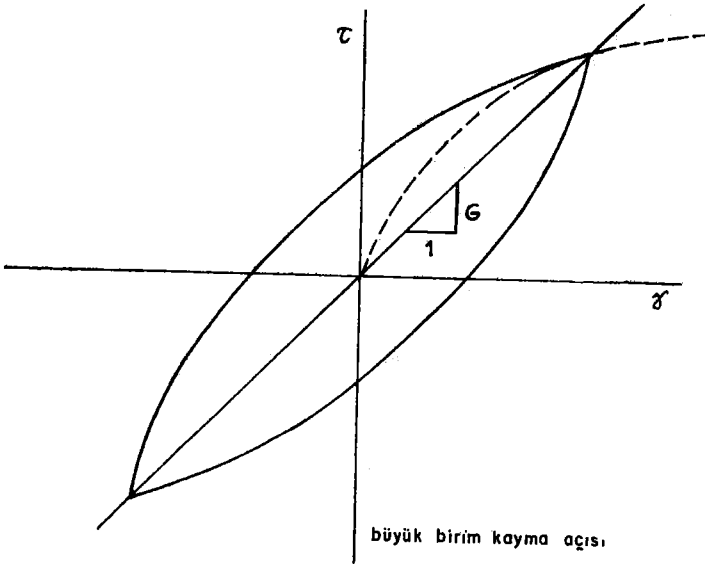
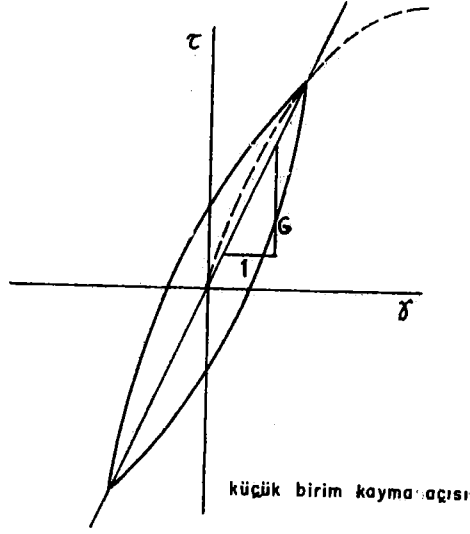
şeklinde tanımlanır.

Şekil-4'de ise iki farklı birim kayma açısına tekabül eden histerisis eğrileri verilmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı gibi, küçük birim kayma açılara tekabül eden kayma modülleri, daha büyük birim kayma açısına tekabül eden kayma modülünden daha büyüktür. Sönüm oranı ise, birim kayma açısı büyüdükçe, daha büyük değerler almaktadır.

Yukarıdaki açıklamalardan da görülebileceği gibi dinamik zemin parametreleri olarak sözü edilen, G, kayma modülü, D, sönüm oranı hiçbir zemin cinsi



Şekil 3 - Tekrarlı yük altında zeminlerin gerilme - birim kayma açısı ilişkisi.



Şekil 4 - Farklı birim kayma açlarına tekabül eden histerisis eğrileri.

için sabit değerler olmayıp en azından birim kayma açısı genliğinin fonksiyonudur. Bu konuda yapılan etraflı çalışmalar (Hardin, 1965; Hardin ve Black, 1968, Silver ve Seed, 1968, Hardin ve Drnevich, 1972, a, b; v.s.) dinamik zemin parametrelerinin bir çok değişkene bağlı olduğunu göstermiştir. Dinamik zemin parametrelerini etkileyen en önemli faktörler, birim kayma açısı genliği (shear strain amplitude), ortalama efektif asal gerilme, boşluk oranı, yükleme sayısı ve doygunluk derecesidir. Diğer faktörler ise, aşırı yükleme oranı, efektif mukavemet parametreleri, oktahedral kayma gerilmesi, yükleme frekansı, zaman, zemin strüktürü v.b. zemin ve yükleme durumu ile ilgili özelliklerdir. Hardin ve Drnevich (1972, a, b), zeminlerin kayma gerilmesi ile birim kayma açıları arasında aşağıdaki ilişkiyi vermiştir. (Şekil-5)

$$\tau = \frac{\gamma}{\frac{1}{G_{\max}} + \frac{\gamma}{\tau_{\max}}} \quad (2)$$

γ = birim kayma açısı

τ_{\max} = kırılma anında kayma gerilmesi

G_{\max} = maksimum kayma modülü'dür ve

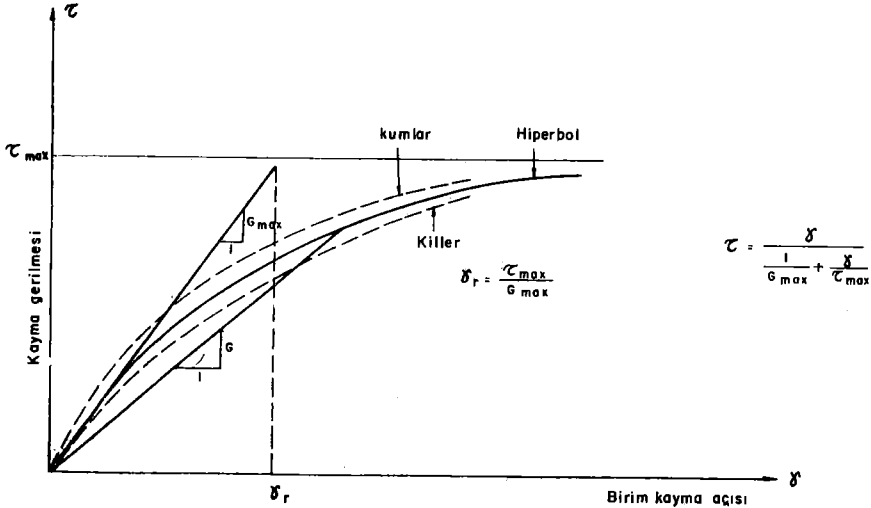
$$G_{\max} = 14760 \times \frac{(2.973 - e)^2}{1 + e} (\text{OCR})^n (\sigma_m)^{1/2} \text{ (lb/ft}^2\text{)} \quad (3)$$

ifadesi ile bulunur. Burada ise :

e = boşluk oranı

OCR = aşırı yükleme oranı

σ_m = efektif ortalama asal gerilme



Şekil 5 - Zeminlerin kayma gerilmesi - birim kayma açısı ilişkisinin hiperbolik idealizasyonu (Hardin ve Drnevich, 1972)

olup, n ise zeminin plastisite indisine bağlıdır. Plastik indis sıfır ise $n = 0$ olup, plastik indis 100 olduğunda $n = 0,5$ değerine yükselir. Herhangi bir birim kayma açısı için kayma modülü, G denklem (2) den :

$$G = \frac{G_{\max}}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_r}} \quad (4)$$

şeklinde bulunur. Burada;

$$\gamma_r = \tau_{\max}/G_{\max} \text{ olur}$$

Aynı araştırmacılar, denklem (4) ü aşağıdaki şekilde ifade etmenin deneyleri daha iyi yansıttığını belirtmişlerdir.

$$G = \frac{G_{\max}}{1 + \gamma_h} \quad (5)$$

$$\gamma_h = \frac{\gamma}{\gamma_r} [1 + e^{-\beta (\gamma/\gamma_r)}] \quad (6)$$

γ_h "hiperbolik birim kayma açısı" olup, ve değerleri çeşitli zeminler için verilmiştir. (Hardin ve Drnevich, b)

Sönüm oranı da benzer bir ifade ile :

$$D = D_{\max} \frac{\gamma_h}{1 + \gamma_h} \quad (7)$$

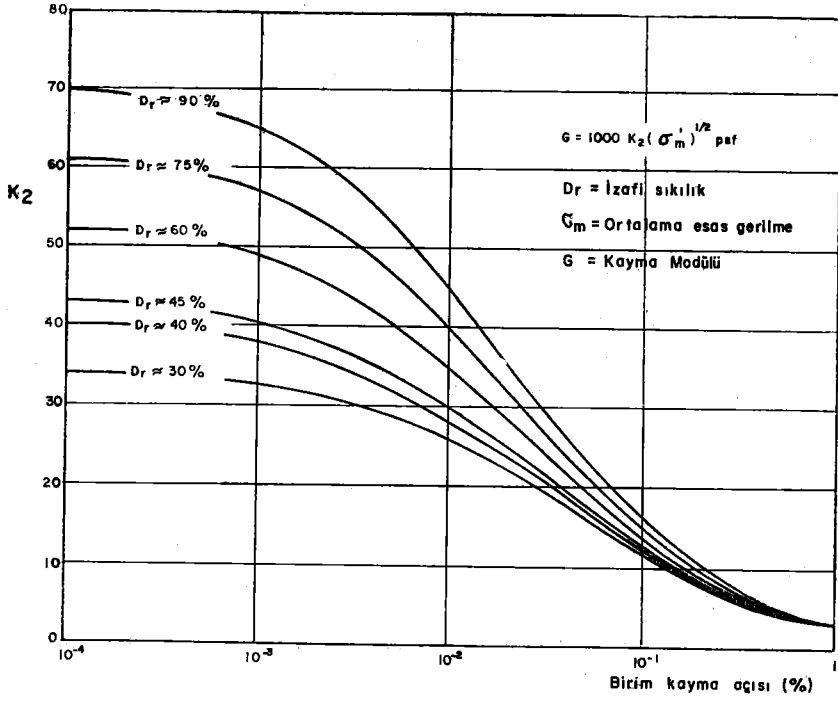
şeklinde verilmiştir.

D_{\max} ' zeminin çok büyük birim kayma açılarındaki sönüm oranı olup % 25 - % 30 arasındadır.

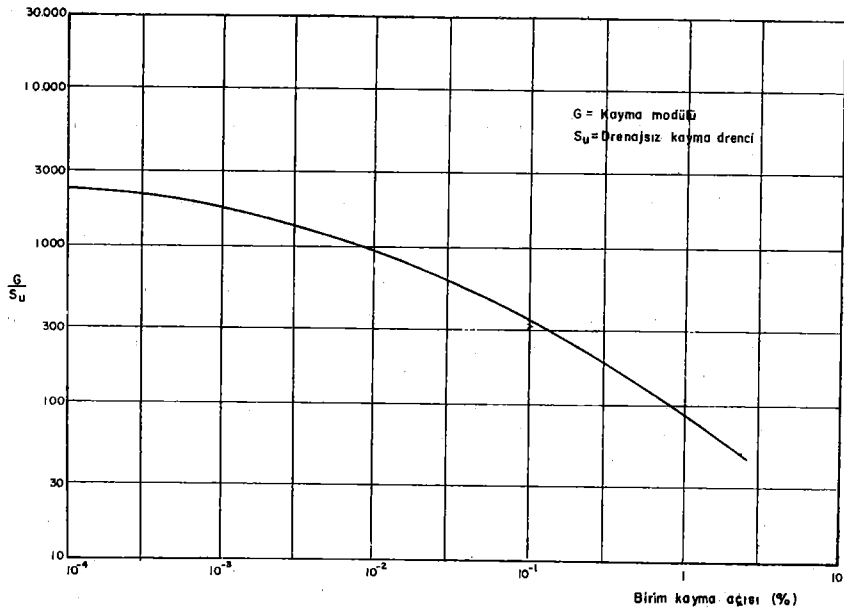
Yukarıdaki kısa açıklamalardan anlaşılacağı gibi, dinamik zemin parametrelerinin tayini çok yönlü bir problem olup, özellikle pratiğe dönük çalışmalar için karışık bir görünüm göstermektedir. Seed ve Idriss, 1970; Hardin ve Drnevich'in daha önceki aynı mahiyetteki çalışmalarını ile kendi ve diğer araştırmacıların çalışmalarını birleştirerek, bilgisayar programlarında kullanılacak basit eğriler vermişlerdir. (Şekil-6, 7, 8, 9). Bu değerlerden görüleceği gibi, kumların dinamik kayma modülü, G ; izafi sıklık, efektif ortalama asal gerilme ve birim kayma mukavemeti ile birim kayma açısı, dinamik kayma modülünü etkileyen faktörlerdir. Sönüm oranı ise gerek killerde gerekse kumlarda, birim kayma açısının fonksiyonudur.

4. İvme Ortalama Değerlerinin Dinamik Zemin Parametrelerine Etkisi :

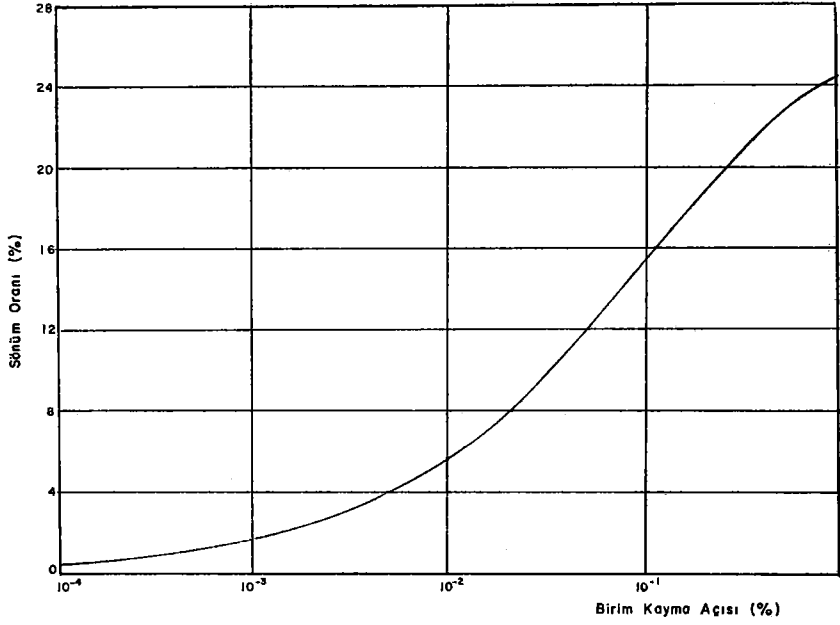
Yukarıdaki paragraflarda dinamik zemin parametrelerinin çeşitli faktörlere bağlı olduğu, ve bu arada en önemli faktörlerden birinin de birim kayma açısı olduğu anlatılmıştı. Bir deprem hareketi sırasında birim kayma gerilme-



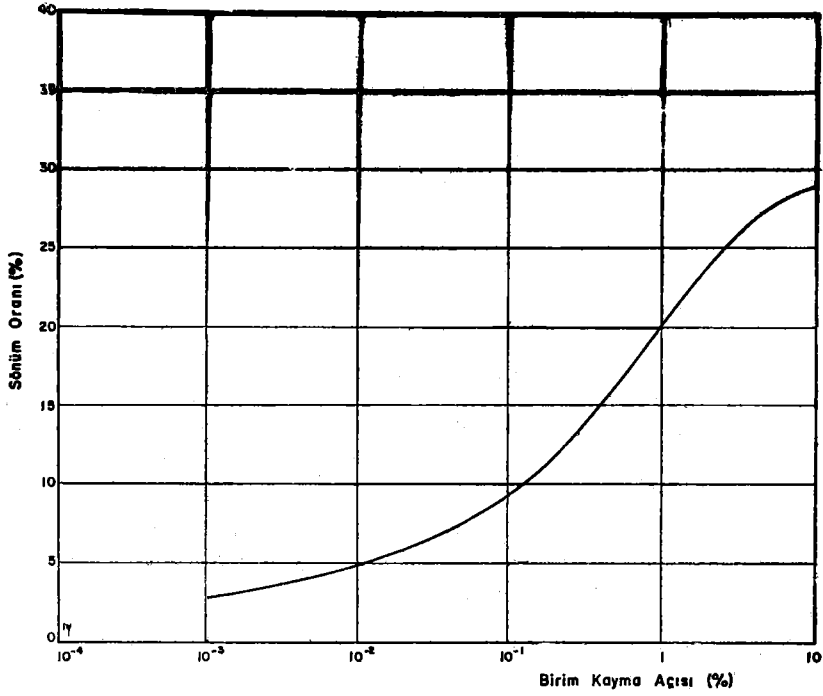
Şekil 6 - Kumlarda kayma modülü-birim kayma açısı ilişkisi (Seed ve Idriss , 1970)



Şekil 7 - Kilerde kayma modülü-birim kayma açısı ilişkisi (Seed ve Idriss , 1976)



Şekil 8 - Kumlarda sönüm oranı - birim kayma açısı ilişkisi (Seed ve Idriss, 1970)



Şekil 9 - Killerde sönüm oranı - birim kayma açısı ilişkisi (Seed ve Idriss, 1970)

si, zamanın bir fonksiyonu olup, her an değişmektedir. Deterministlik bir analiz sırasında, zemin dinamik parametrelerini birim kayma açısına bağımlılığını da gözönüne alabilmek için yapılan şey, zemine analiz başında tahmini parametreler vermek, ve analiz sonunda çeşitli derinliklerdeki birim kayma gerilmesi-zaman ilişkisinden bir "temsil edici birim kayma açısı" bularak bu değerlere tekabül eden yeni parametreleri seçerek ikinci analizde kullanmaktır. Bu işleme (iterasyon) son iki analizde bulunan parametreler arasındaki fark belli bir yüzdeden az oluncaya kadar devam edilir. Idriss v.d. 1969. "temsil edici birim kayma açısı" olarak maksimum birim kayma açısının belli bir yüzdesini kullanmışlardır.

Yapılan çalışmada, Idriss v.d. (1969) tarafından hazırlanan bilgisayar programı bazı değişiklikler yapılarak kullanılmıştır. Şekil-6, 7, 8, 9'da gösterilen eğriler programa dahil edilmiş, ayrıca herhangi bir derinlikte kayma gerilmesini bulabilmek için "temsil edici birim kayma açısı" olarak, o derinlikteki birim kayma açısı değerleri kare ortalamalarının kare kökü (KOKK) alınmıştır.

Stasyonere bir gelişigüzel oluşumun, kare ortalamaları kare kökü, aşağıda ki şekilde tamamlanır :

$$KOKK = \left[\int_{-\infty}^{+\infty} S(w) \cdot dw \right]^{1/2} = \left[\int_0^{\infty} w(f) \cdot df \right]^{1/2} \quad (8)$$

burada, (w), iki taraflı spektral yoğunluk fonksiyonu, W (f) ise tek taraflı deneysel spektral yoğunluk fonksiyonudur. S (w) ile W (f) arasında :

$$W(f) = 4\pi S(w) \quad (9)$$

ilişkisi vardır.

Bandı sınırlı "beyaz gürültü" şeklindeki bir stasyonere gelişigüzel oluşumda ise; spektral yoğunluk fonksiyonu S (w) (veya W (f)) belli bir $w_1 < w < w_2$ aralığında sabit bir değere eşit olup, bu bandın dışında sıfır olur. Bu konuda daha ayrıntılı bilgi için Soydemir, Gürpınar ve Özgür (1974)'e başvurulabilir.

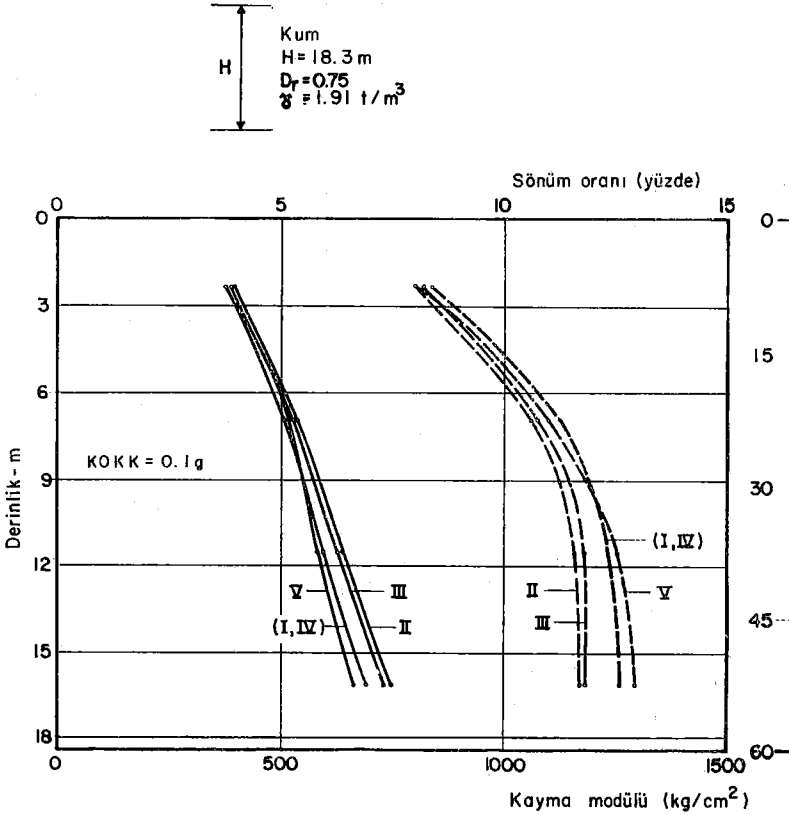
Taban hareketi yapay bir şekilde üretilmiştir. Bunun için taban hareketinin stasyonere gelişigüzel oluşum olduğu ve bandı sınırlı "beyaz gürültü" olarak adlandırılan ve belirli bir frekans bandına eşit ivme spektral yoğunluk fonksiyonuna sahip olduğu varsayılmıştır. Taban hareketleri spektral yoğunluklarının başka şekillerde olabileceği de gerçek olmakla birlikte, Bycroft (1960) büyük deprem hareketleri ivmelerinin bandı sınırlı "beyaz gürültü" şeklinde kabul edilebileceğini ve spektral yoğunluğunun $0,75 \text{ ft}^2/\text{saniye}^4/\text{devir-saniye}$ olarak alınabileceğini göstermiştir.

Yapay olarak beş adet bandı sınırlı "beyaz gürültü" niteliğinde deprem kaydı üretilmiştir. Kayıt uzunluğu 20 saniye, band aralığı 1/20-10 devir-saniye olarak alınmıştır. Deprem enerjisi, deprem ivmelerinin KOKK ile orantılı olduğundan, deprem enerjisini simüle etmek KOKK değerini değiştirmek suretiyle mümkündür. KOKK beş kayıta da aynı, 0.1 g. alınmış, ve bu birbirinden farklı kayıtlar ayrı ayrı taban hareketi olarak kullanılarak, doygun bir kil tabakası ve bir kum tabakasının bu hareketler altındaki davranışı incelenmiştir. Kil tabakasının birim ağırlığı 1.83 t/m^3 , drenajsız kayma dreni 0.50 kg/cm^2 ,

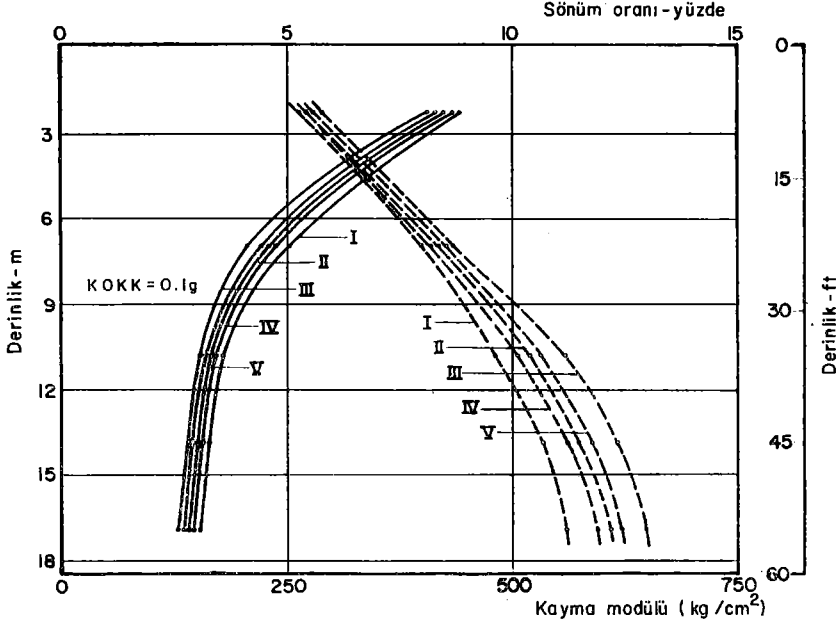
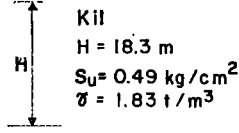
derinliği 18.3 metre; kum tabakasının ise, birim ağırlığı 1.91 t/m³, izafi sıklığı % 75 ve derinliği 18.3 m. olarak alınmıştır.

Şekil-10 ve Şekil-11'de beş ayrı deprem hareketi altında, bu iki cins zemin tabakasında, kayma modülü ve sönüm oranlarının derinlikle değişimi verilmektedir. Bu şekillerden görüleceği gibi, bu iki parametre de, taban ivmeleri KOKK değeri aynı olan beş ayrı deprem hareketi altında çok farklı değerler göstermemektedir.

Diğer taraftan, 1 numaralı kayıt, ordinatları ayarlanmak suretiyle değişik KOKK değerlerinde (0.025 g, 0.05 g, 0.1 g, 0.2 g) taban hareketi olarak aynı zemin tabakaları için kullanılmış ve kayma modülü ile sönüm oranının derinlikle değişimleri farklı KOKK değerleri için büyük farklılıklar göstermiştir. Bu sonuçlar Şekil-12, Şekil-19'da gösterilmiştir. Bu farklılıklar, büyük KOKK değerine sahip bir deprem hareketlerinde, büyük birim kayma açısı değişimleri nedeniyle büyük sönüm oranları ve yine aynı sebeple küçük kayma modülü meydana gelmesinden doğmaktadır.



Şekil 10 - Aynı KOKK ivme değerlerine fakat farklı ivme-zaman ilişkilerine sahip sınırlı bantlı "beyaz gürültü" şeklindeki taban hareketleri altında, bir kum tabakasında dinamik zemin parametrelerinin derinlikle değişimi.



Şekil 11 - Aynı KOKK ivme değerlerine fakat farklı ivme-zaman ilişkilerine sahip sınırlı bantlı "beyaz gürültü" şeklindeki taban hareketleri altında, bir kil tabakasında dinamik zemin parametrelerinin derinlikle değişimi.

Şekil-10 Şekil-19'un incelenmesinden gözlenecek bir husus da, kil tabakasında kayma modülünün derinlikle azalması, sönüm oranının derinlikle artışı; kum tabakasında ise kayma modülünün derinlikle az da olsa bir miktar artışıdır. Kil tabakasında kayma modülünün derinlikle azalışı birim kayma açısının derinlikle artışı nedeniyledir. Kum tabakasında kayma modülünün derinlikle artışı ise, kayma modülünün aşağıdaki ifadeye göre, efektif ortalama asal gerilme kare kökü ile orantılı artışından dolayıdır :

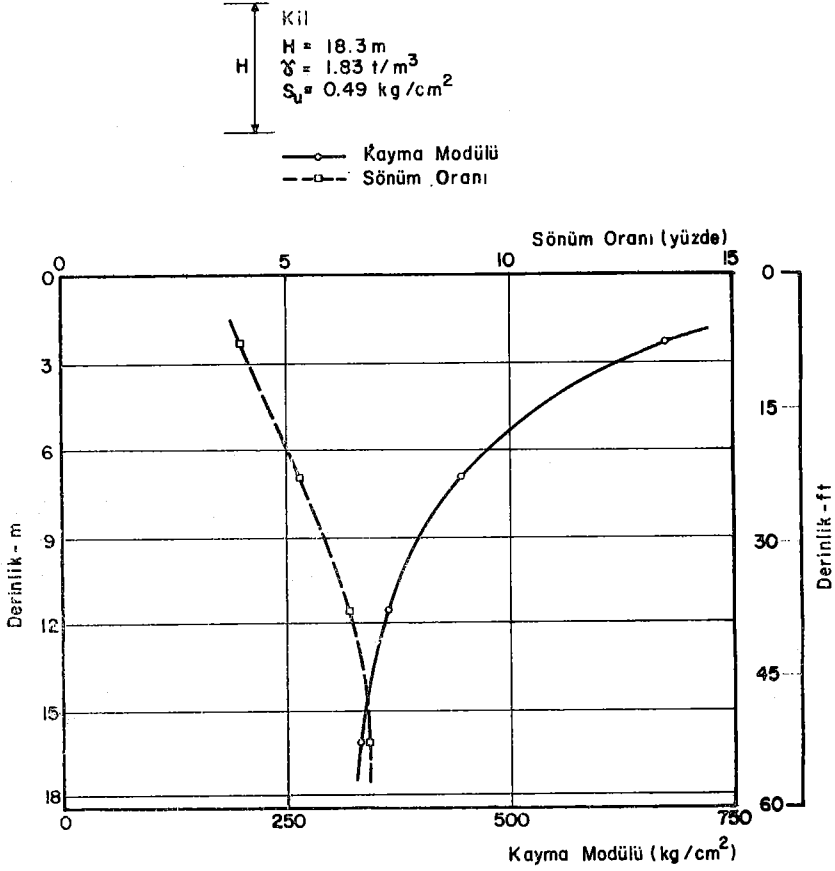
$$G = K_2 (\delta_m)^{1/2} \quad (10)$$

Bu ifadeye, K_2 bir sabit olup, δ_m efektif ortalama asal gerilmedir. (Idriss ve Seed, 1970)

Sönüm oranların hem kil hem de kum tabakalarında derinlikle artışı ise, her iki tabakada da birim kayma açısının derinlikle artışı nedeniyledir.

Sonuç olarak, deprem enerjisi dolayısıyla taban hareketi KOKK değeri dinamik zemin parametrelerinin deprem kareketi sırasında alacağı değerler için

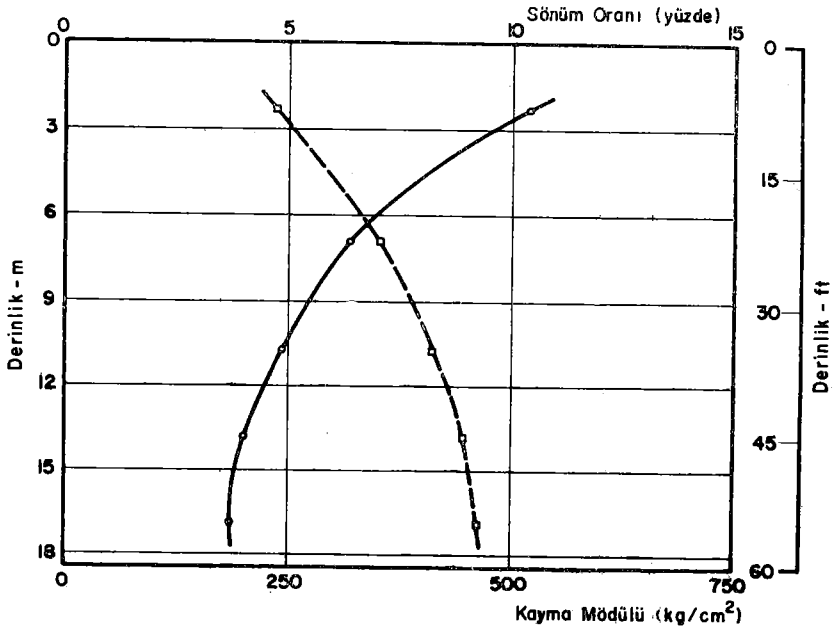
önemli bir faktördür, denilebilir. Aynı enerjiye, ya da KOKK değerine sahip farklı depremler için, muayyen bir zemin tabakasını temsil edecek dinamik parametreler, muayyen bir derinlikte, birbirine çok yakın değerler olarak alınabilir.



Şekil 12 - KOKK = 0.025 g olan sınırlı bantlı "beyaz gürültü" şeklindeki taban ivmeleri altında bir kil tabakasında dinamik zemin parametrelerinin derinlikle değişimi.

Kil
 $H = 18.3 \text{ m}$
 $\rho = 1.83 \text{ t/m}^3$
 $S_u = 0.49 \text{ kg/cm}^2$

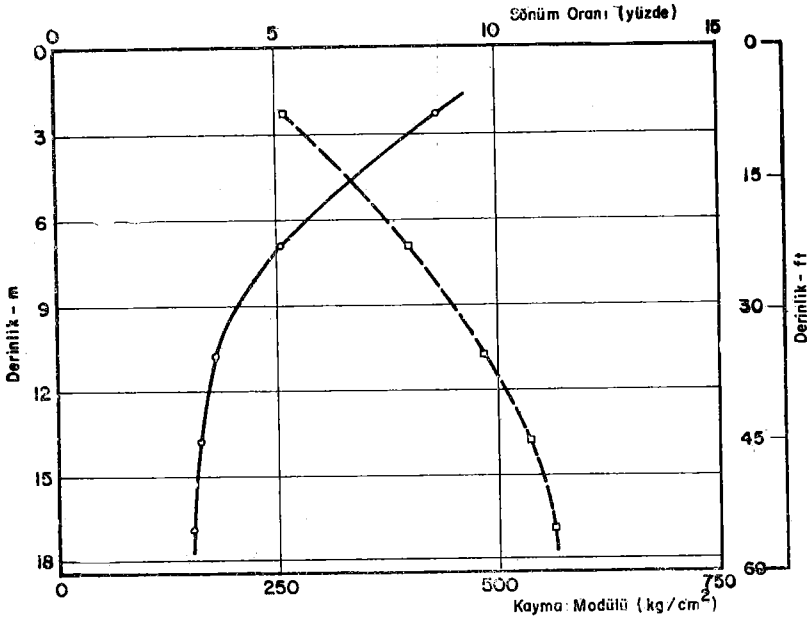
—○— Kayma Modülü
 - - - □ - - Sönüm Oranı



Şekil 13 - KOKK = 0.05 g olan sınırlı bantlı "beyaz gürültü" şeklindeki taban ivmeleri altında aynı kil tabakasında dinamik zemin parametrelerinin derinlikle değişimi.

KİL
 $H = 18.3 \text{ m}$
 $S_{d1} = 0.49 \text{ kg/cm}^2$
 $\gamma = 1.83 \text{ t/m}^3$

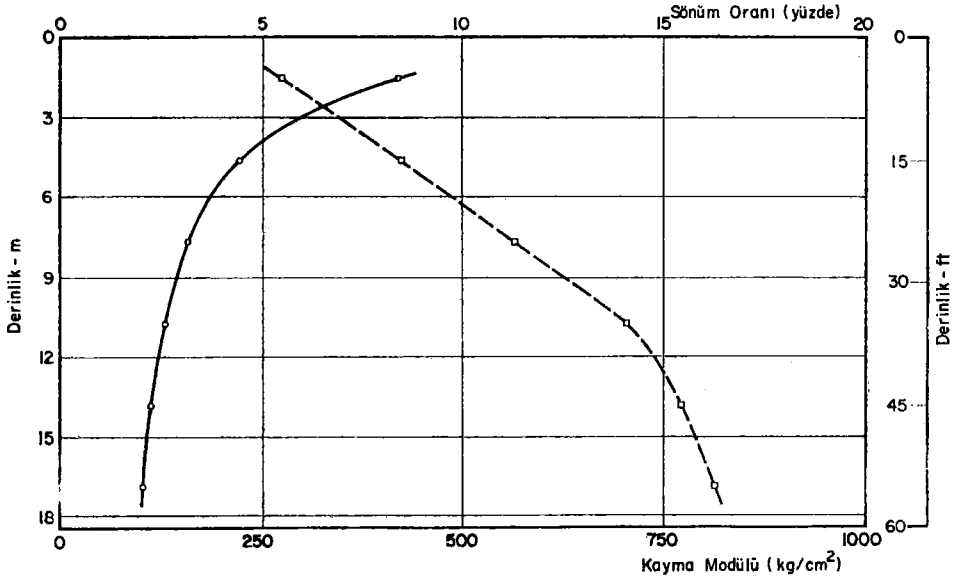
—○— Kayma Modülü
 - - - □ - - Sönüm Oranı



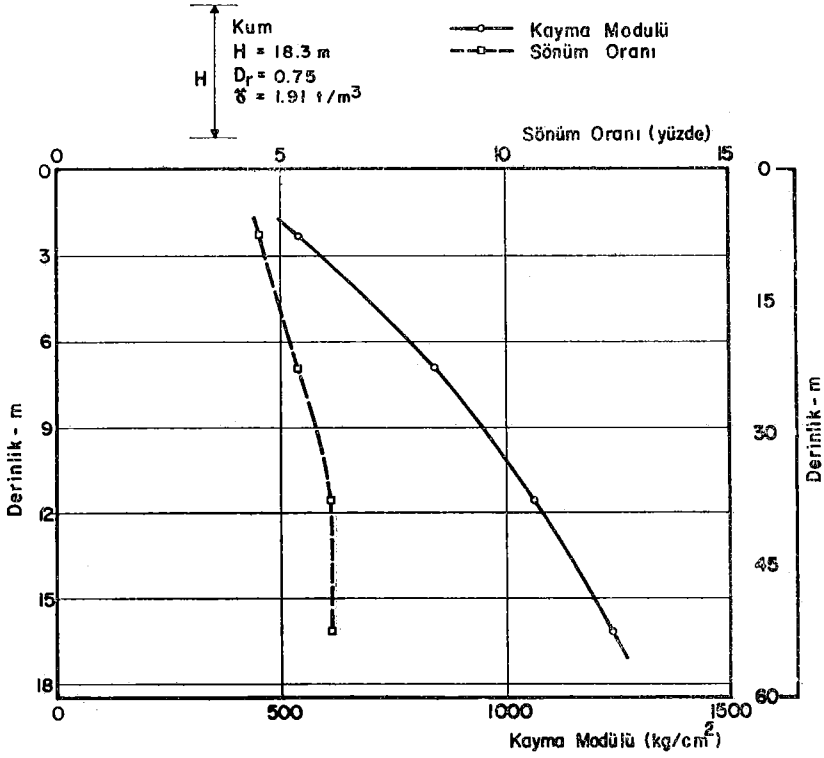
Şekil 14 - KOKK = 0.1g olan sınırlı bantlı "beyaz gürültü" şeklindeki taban ivmeleri altında aynı kil tabakasında dinamik zemin parametrelerinin derinlikle değişimi.

Kil
 $H = 18.3 \text{ m}$
 $S_u = 0.49 \text{ kg/cm}^2$
 $\rho = 1.83 \text{ t/m}^3$

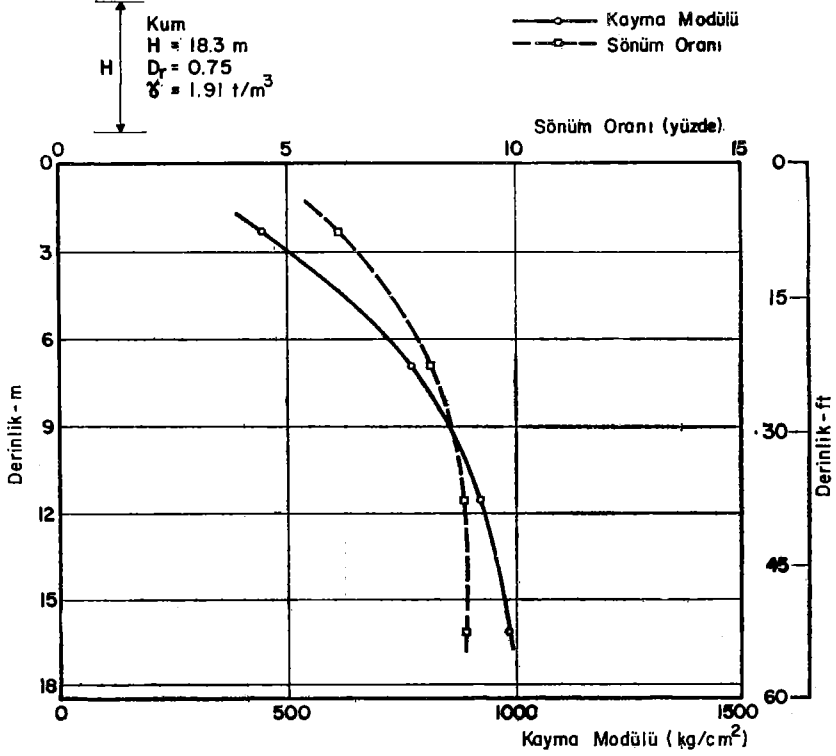
—○— Kayma Modülü
 -○- Sönüm Oranı



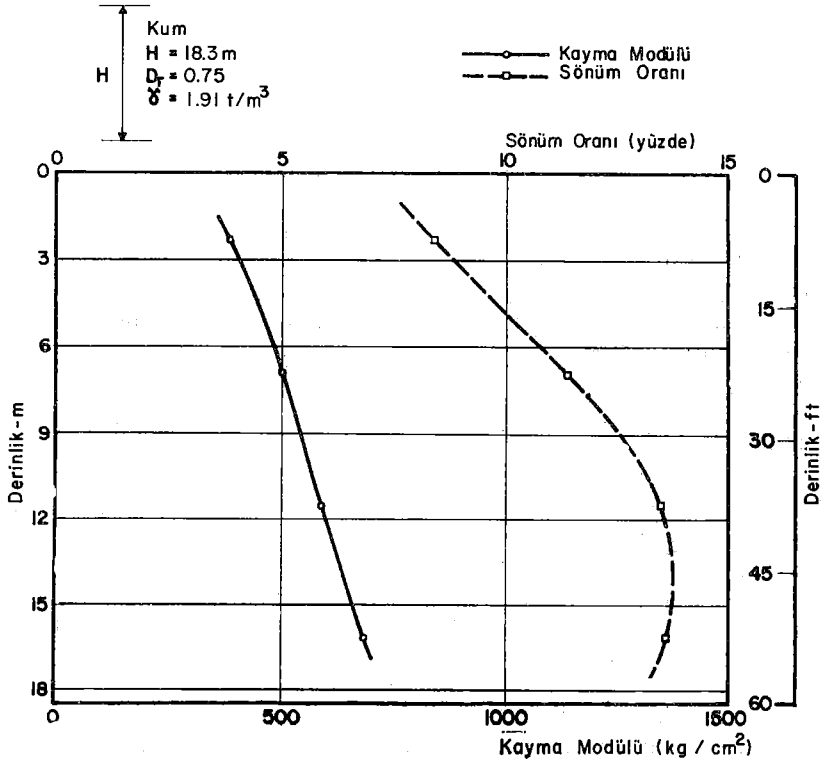
Şekil 15 - $KOKK = 0.2 \text{ g}$ olan sınırlı bantlı "beyaz gürültü" şeklindeki taban ivmeleri altında aynı kil tabakasında dinamik zemin parametrelerinin derinlikle değişimi.



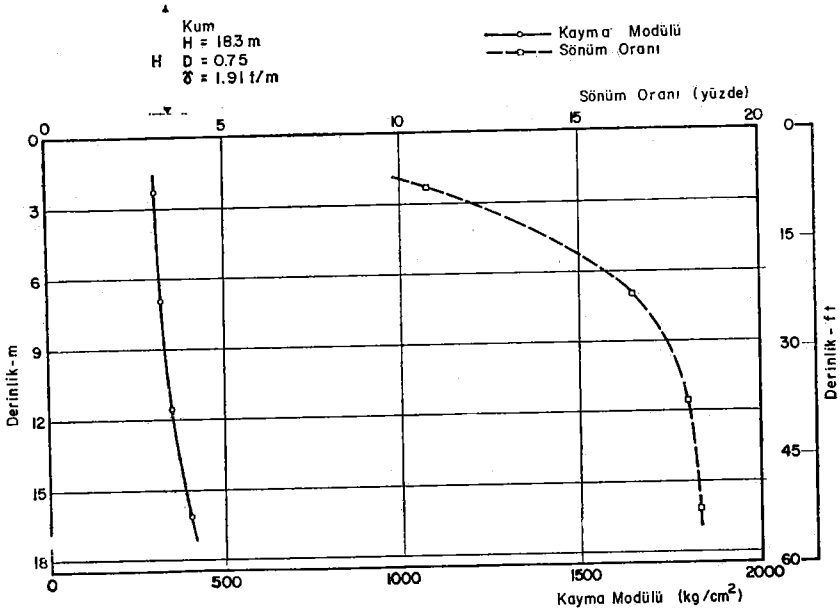
Şekil 16 - KOKK = 0.025-g olan sınırlı bantlı "beyaz gürültü" şeklindeki taban ivmeleri altında bir kum tabakasında dinamik zemin parametrelerinin derinlikle değişimi.



Şekil 17 - KOKK = 0.05 olan sınırlı bantlı "beyaz gürültü" şeklindeki taban ivmeleri altında aynı kum tabakasında dinamik zemin parametrelerinin derinlikle değişimi.



Şekil 18 - KOKK = 0.1 g olan sınırlı bantlı "beyaz gürültü" şeklindeki taban ivmeleri altında aynı kum tabakasında dinamik zemin parametrelerinin derinlikle değişimi.



Şekil 19 - KOKK = 0.2 g olan sınırlı bantlı "beyaz gürültü" şeklindeki taban ivmeleri altında aynı kum tabakasında dinamik zemin parametrelerinin derinlikle değişimi.

KAYNAKLAR

1. Bycroft, G.N. "White Noise Representation of Earthquakes", J.E.M.D., A.S.C.E., 1960.
2. Dobry, R., Whitman, R.V., Roesset, J.M. "Soil Properties and the One-Dimensional Theory of Amplification" Research Report, R 71-18 Massachusetts Institute of Technology, 1971.
3. Gürpınar, A.; Soydemir, Ç.; Özgür, D. "Zemin Yapısının Deprem İvme Spektrumuna Etkisi" T.B.T.A.K. - M.A.G. Proje No : MAG - 339 Ankara, 1974.
4. Hardin, B.O. "The Nature of Damping in Soils" J.S.M.F.D., A.S.C.E., 1965. Hardin, B.O., ve Block, W.L. "Vibration of Normally Consolidated Clays, J.S.M.F.D., A.S.C.E., 1968.
5. Hardin, B.O. ve Drnevich, V.P. "Shear Modulus and Damping in Soils : I Measurements and Parameter Effects" J.S.M.F.D., A.S.C.E., 1972, a. Hardin, B.O. ve Drnevich, V.P. "Shear Modulus and Damping in Soils : II-Design Equations and Curves" J.S.M.F.D., A.S.C.E., 1972, b.
6. Idriss, I.M., Dezfulian, H., Seed, H.B. "Computer Programs for Evaluating the Response of Soil Deposits With Nonlinear Characteristics using Equivalent Linear Procedures" Dept. of Civil Eng., Univ. of California, Berkeley, 1969.
7. Idriss, I.M.; Seed, H.B. "Response of Horizontally Soil Layers During Earthquakes" J.S.M.F.D., A.S.C.E., 1968.
8. Kovacs, W.D., Seed, H.B. Idriss, I.M. "Studies of Seismic Response of Earth Banks". J.S.M.F.D., A.S.C.E., 1971.
9. Özgür, D. ve Gürpınar, A. "Theoretical Simulation of Earthquake Acceleration Spectra" 5. Dünya Deprem Mühendisliği Konferansı, Roma, 1973.
10. Özkan, M.Y. "A Study on Response of Horizontally Layered Soil Deposits to Random Base Excitations" Thesis, Ph. D., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 1976.
11. Schnabel, P.B., Lysmer, J., Seed H.B. "SHAKE-A Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites" College of Engineering, Univ. of California, Report No : EERC 72-12, 1972.
12. Seed, H.B.; ve Idriss, I.M. "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis" College of Eng., Univ. of California, Berkeley, Report No : EERC 70-10, 1970.
13. Streeter, V.L., Wylie, E.B., Richart, F.E. "Soil Motion Computations by Characteristic Method" J.G.E.D., A.S.C.E., 1974.
14. Silver, M.L. ve Seed, H.B. "Deformation Characteristics of Sands during Cyclic Loading" J.S.M.F.D., A.S.C.E., 1971.
15. Soydemir, Ç., Gürpınar, A., Özgür, D. "Zemin Yapısının Deprem İvme Spektrumuna Etkisi - Literatür Çalışması" Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, 1974.

NÜKLEER GÜÇ SANTRALLARI İÇİN DEPREM RİSKİ ANALİZİ

M. Semih YÜCEMEN*

Polat GÜLKAN**

ABSTRACT

Recent developments in seismic risk evaluation are reviewed with the objective of assessing the seismic threat at a particular site under consideration for a nuclear power plant. Numerical results obtained from a refined analysis are presented for the site in question.

ÖZET

Deprem riski konusunda son yıllarda varılan gelişmeler göz önünde tutularak nükleer güç santrali yapılması plânlanan belirli bir yerdeki deprem tehlikesinin saptanması incelenmektedir. Söz konusu yer için, geliştirilmiş çözümlene yönteminden bulunan sayısal sonuçlar sunulmaktadır.

1. GİRİŞ

Nükleer güç santrallarının tasarımında genellikle sismik yükler öncelik kazanmakta ve bu nedenle gelecekte oluşabilecek depremlerin etkilerinin göz önünde tutulması gerekmektedir. Depremlerin zaman, yer ve şiddet bakımından gösterdikleri rassallık nedeni ile depreme dayanıklı yapıların tasarımında olasılık yöntemlerine dayanan bir yaklaşım uygun düşmektedir. Burada anlatılan deprem riski analizi ile her deprem şiddeti veya en büyük zemin hareketi değişkeni için olasılık değerleri bulunabilmektedir.

Bu çalışmada deprem riski analizi konusunda en son çalışmalar, özellikle nükleer güç santrallarına olan uygulamaya ağırlık verilerek, sunulmaktadır. Önerilen yöntemle, belirli bir bölgedeki sismik olayların zaman ve yer içinde oluşları ile ilgili tarihi ve jeolojik bilgiler, bölgenin sismik etkinliği ve zemin hareketi değişkenlerinin azalmasına ilişkin bilgilerle birleştirilerek ileride beklenilecek sismik faaliyet hakkında belirli olasılık değerleri saptanabilmektedir. Deterministik yaklaşımların aksine böyle bir yöntemin çıktısı zemin hareketi değişkenleri için tek bir değer yerine bir olasılık dağılımı olmaktadır. Bu da, inşaat yerindeki belirli bir zemin hareketi değişkeninin veya deprem şiddetinin bir yıldaki aşılma olasılığını (veya ortalama tekrar süresini) gösteren bir eğri şeklindedir. Türkiye'deki ilk nükleer santralin kurulması düşünülen inşaat yeri için yapılan deprem riski analizi ile yöntemin uygulaması gösterilmiştir.

* Uygulamalı İstatistik Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

** İnşaat Mühendisliği Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.

2. DEPREM RİSKİ ANALİZ MODELİ

2.1. Sismik Veri Kaynakları

Deprem tehlikesinin değerlendirilmesinde amaç, eskiden olmuş deprem olaylarına ait eldeki bilgiyi düzenli bir biçimde kullanarak belirli bir alanda ve T zaman süresinde, en büyük zemin hareketi değişkeninin Y değerinden büyük olma olasılığının hesaplanmasıdır. Yapılacak analizde öncelikle geçmişteki depremlerle ilgili verilerin derlenmesi gereklidir. Bu veriler ne kadar doğru olur ve ne kadar uzun bir gözlem süresini kapsarsa gelecek için yapılan tahminler de o kadar güvenilir olacaktır. Deprem verileri, özellikle odak derinliği, episantr ve magnitüd bakımından yanlış olmaktadır. Bundan başka çok eski depremler içinde ancak büyük can ve mal kaybına yol açan ve yerleşme merkezleri yakınında olanlar için kayıt bulunmaktadır.

Bu nedenlerle yapılan araştırmalarda, çoğu kez yalnız aletsel kayıtlara dayanan deprem verilerinin elde edilebilir olduğu son altmış veya yetmiş yıllık bir gözlem süresi göz önünde tutulmaktadır. Daha önceki yıllara ait kayıtlardan ise genellikle beklenilebilecek en büyük magnitüdü tahmininde yararlanılabılır.

Depremlerin zaman içinde gösterdikleri dağılımın yanında coğrafi dağılımını da incelenerek deprem kaynaklarının saptanması gereklidir. Deprem kaynaklarının saptanması için tüm fayların yerleri ve sismik etkinlikleri ile ilgili bilginin yanında geçmiş depremlerin episantrlarını gösteren haritalar da incelenmelidir.

Kendine özgü jeolojik ve tektonik özelliklerinden dolayı bazı bölgelerde deprem olma olasılığı daha çoktur. Bu nedenle deprem riski analizinde ilk iş inşaat sahası etrafında ve belirli uzaklıkta (nükleer güç santralleri için 320 km yarıçaplı dairesel bir alanda) bulunan sismotektonik bölgelerin* sınırlarının ve tektonik özelliklerinin saptanması gereklidir. Sismotektonik bölgeler küçük alanlara bölünmekte ve bu küçük alanların sismik etkinliklerinin kendi geometrik merkezlerinden yayıldığı varsayılmaktadır. Bu nedenle, her bir küçük alan noktasal bir kaynak olarak düşünebilir.

Sismologlar deprem oluşunu zaman ve uzayda istatistiki yöntemlerle inceledikten sonra, $\ln N(m)$ ile Richter magnitüdü M arasında yaklaşık doğrusal bir bağıntı bulunduğunu saptamışlardır. Bu bağıntı şu şekilde gösterilebilir (11) :

$$\ln N(m) = a - b(m - m_0) \quad (1)$$

Burada $N(m)$ birim zaman içinde magnitüdü m 'ye eşit veya daha büyük depremlerin ortalama sayısı; m_0 magnitüdü alt sınırı; a ve b regresyon katsayılarıdır. Regresyon katsayılarının bulunmasında inşaat sahası etrafındaki sismotektonik bölgelerin her biri için ayrı bir regresyon analizi gereklidir.

2.2. Deprem Riski Modelindeki Varsayımlar ve Değişkenler

Belirli bir inşaat sahası için deprem tehlikesinin bulunması ile ilgili yöntemler ilk defa Cornell (1) tarafından geliştirilmiş olup son yıllarda birçok

* Sismotektonik bölge, Amerika Birleşik Devletleri Atom Enerjisi Komisyonu (17) ve Milletlerarası Atom Enerjisi Ajansı (16) tarafından, sınırları içinde jeolojik yapı özellikleri bakımından tutarlılık gösteren yöre olarak tanımlanmıştır.

araştırmacılar da bu konuda çalışmalar yapmışlardır. Önerilen yöntem, depremlerin uzay ve zaman içinde dağılımları ile magnitüd bakımından gösterdikleri belirsizliklerin yanında inşaat sahasındaki zemin hareketi değişkenin değerini, inşaat sahasının deprem kaynağına olan uzaklığına bağlı olarak tahmin edilmesini sağlayan azalım ilişkisindeki belirsizlikleri de içermektedir.

Analizde yapılan başlıca varsayımlar şunlardır :

(i) Alt sınır m_0 'dan büyük depremlerin oluşumu zamana göre homojen bir Poisson süreci olarak alınabilir. Alt sınırın seçiminde, m_0 'dan küçük magnitüdü depremlerin mühendislik yapılarını etkilemeyecek degerde olacakları varsayılır.

(ii) Magnitüd-sıklık ilişkisi doğrusal bir ifade ile gösterilebilir. Bu doğrusal tekrar ilişkisi her bir sismotektonik bölge için Denklem 1'de verilen regresyon doğrusu şeklinde olacaktır. Magnitüd için bir üst sınırın da olduğu varsayılırsa, magnitüdü birikimli dağılışı şu şekildedir :

$$F_M(m) = \Pr(M < m) = \begin{cases} 0 & m < m_0 \\ k \{1 - e^{-\beta(m-m_0)}\} & m_0 \leq m < m_1 \\ 1 & m \geq m_1 \end{cases} \quad (2)$$

Bu denklemde $k = \left\{ 1 - e^{-\beta(m_1-m_0)} \right\}^{-1}$ olup, birikimli dağılım işlevinin $m = m_1$ değerinde 1.0 olmasını sağlayan düzeltme katsayısıdır. Deprem magnitüdülerinin üst sınırı o bölgede beklenilebilecek en büyük deprem m_1 ile belirlenmiştir.

(iii) Magnitüd M ile inşaat sahasında oluşan en büyük zemin hareketi değişkeni Y ve deprem kaynağının inşaat sahasına olan uzaklığı R arasında

$$Y = (b_1 e^{b_2 M - b_3 R}) \epsilon \quad (3)$$

gibi bir bağıntı bulunmaktadır (6). Burada b_1 , b_2 ve b_3 ampirik azalım parametrelerini simgelemektedir. ϵ 'nin azalım ilişkisindeki belirsizlikleri karşılayan bir rassal hata terimi olduğu varsayılmıştır. Nükleer santral gibi rijit sistemlerde en büyük yapı tepkisi, en büyük zemin ivmesiyle orantılı olduğundan bu çalışmada Y en büyük zemin ivmesi olarak alınmıştır. Esteva (7) in ϵ 'nin ortalaması sıfır, standard sapması σ olan yaklaşık bir normal dağılım gösterdiğini belirtmiştir. Birçok araştırmacı σ için 0.20 ile 1.10 arasında değişen değerler vermişlerdir. Donovan ve Barnstein (2) σ için sabit tek bir değer yerine değişik ivme düzeylerinde değişik σ değerleri kullanılmasını önermektedirler. Araştırmacıların 1971 San Fernando depreminde elde edilen ivme değerlerine dayanarak, zemin koşulları bilinen inşaat sahaları için verdikleri σ değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Beklenildiği gibi, ϵ hata terimiyle azalım ilişkisinin rassallaştırılması deprem riskini büyütecektir.

Hesaplama kolaylık ve çok yönlülük kazanılması bakımından sismotektonik bölgeler (alansal kaynaklar) inşaat sahasına belirli uzaklıktaki noktasal kaynaklara indirgenir. Her bir noktasal kaynak diğerlerinden ayrı düşünülerek hesaplamalar yapılır ve her birinin katkısı toplanarak inşaat sahasındaki deprem riski bulunur. Noktasal bir kaynaktan, magnitüd için çift sınırlı üssel bir

dağılım (üst sınır m_1 , alt sınır m_0) varsayılırsa, bu kaynaktan doğan bir depremin inşaat sahasında yarattığı zemin ivmesinin belirli bir y değerini aşma olasılığı şöyledir (bak Ek. 1) :

$$Pr (Y > y) = 1 - F_Y (y) = \Phi^* \left(\frac{Z_1}{\sigma} \right) - k \left\{ \Phi^* \left(\frac{Z_1}{\sigma} \right) - \Phi^* \left(\frac{Z_2}{\sigma} \right) \right\} + k e^{\beta m_0} R^{-\beta} \frac{\beta}{b} \frac{1}{2} \left(\frac{y}{b_1} \right)^{-\beta/b} \frac{1}{2} e^{\beta^2 \sigma^2 / 2 b^2} \left\{ \Phi^* \left(\frac{Z_1}{\sigma} - \frac{\beta \sigma}{b_2} \right) - \Phi^* \left(\frac{Z_2}{\sigma} - \frac{\beta \sigma}{b_2} \right) \right\} \quad (4)$$

Bu denklemde,

$Pr (.)$ = olasılık

$\Phi^* (.)$ = standard normal dağılım için tümleyici birikimli dağılım işlevi

$$z_1 = \ln y - \ln \left(b_1 e^{\frac{b_2 m_1 - b_3}{R}} \right)$$

$$z_2 = \ln y - \ln \left(b_1 e^{\frac{b_2 m_0 - b_3}{R}} \right)$$

β = (magnitüd-sıklık) regresyon doğrusunun eğimi, $b \ln 10$.

Denklem 4 sadece inşaat sahasındaki zemin ivmesinin y seviyesini aşma olasılığını vermektedir. Depremlerin zaman içinde oluşumunun bir Poisson süreci olduğu varsayımına göre t süresinde n deprem olma olasılığı şöyledir :

$$Pr (\hat{N} = n) = \frac{e^{-\nu t} (\nu t)^n}{n!} \quad (5)$$

Burada,

ν = birim zaman süresinde ve birim alanda olan deprem sayısı

\hat{N} = birim alanda t zaman süresinde olan depremlerin sayısını gösteren rassal değişken.

Bir yıl içinde olan depremlerden, ancak inşaat sahasında y 'den büyük zemin ivmesi yaratabilecek N deprem olayı önemlidir. Bu depremlerin yılda oluş sayısı ise $P_{y\nu}$ olacaktır; $P_y = (Y > y)$ şeklinde tanımlanmıştır. Buna göre, oluş hızı $P_{y\nu}$ olan deprem olayları için

$$Pr (N = n) = \frac{e^{-\nu P_y t} (\nu P_y t)^n}{n!} \quad (6)$$

Denklem 6 kullanılarak, t zaman süresinde noktasal bir kaynağın inşaat sahasında oluşturduğu en büyük zemin ivmesinin y değerini aşma riski şöyle bulunur :

$$F_{Y_{\max}} (y) = Pr (Y_{\max} < y) = Pr (\text{hiçbir depremde } y \text{ değeri aşılmaz.})$$

$$= \Pr (N = 0) = e^{-\nu P_y t}$$

$$\Pr (Y_{\max} > y) = 1 - e^{-\nu P_y t} = 1 - \exp \{-\nu t (1 - F_Y(y))\} \quad (7)$$

Bir yılda y değerini aşma olasılığı (yıllık risk) Denklem 7'de $t = 1$ alınarak bulunur.

$$\Pr (Y_{\max} > y) = 1 - \exp \{-\nu (1 - F_Y(y))\} \quad (8)$$

νP_y küçük ise (< 0.10) yıllık risk yaklaşık olarak

$$\Pr (Y_{\max} > y) \simeq P_y \nu = \nu \{1 - F_Y(y)\} \quad (9)$$

Yukarıda verilen denklemdeki $\{1 - F_Y(y)\}$ teriminin değeri Denklem 4 yardımıyla bulunur. Eğer r tane noktasal kaynak var ise, inşaat sahasındaki yıllık risk, bu kaynakların Denklem 9'dan hesaplanacak katkılarının toplamına eşittir.

$$\Pr (Y_{\max} > y) = \sum_{i=1}^r \nu_i \{ (1 - F_{Y_i}(y)) \} \quad (10)$$

2.3. Azalım İlişkisi

Deprem mühendisliğinde kuvvetli zemin hareketlerinin ölçümünde en basit yollardan biri de, şiddetli sarsıntıya uğramış bölgede kaydedilen en büyük ivme değerinin kullanılmasıdır (14). Depremlerin diğer özellikleri de önemli olmakla beraber, değişik inşaat sahalarının deprem tehlikesi bakımından karşılaştırılmasında çoğu kez beklenen en büyük zemin ivmeleri göz önünde tutulur.

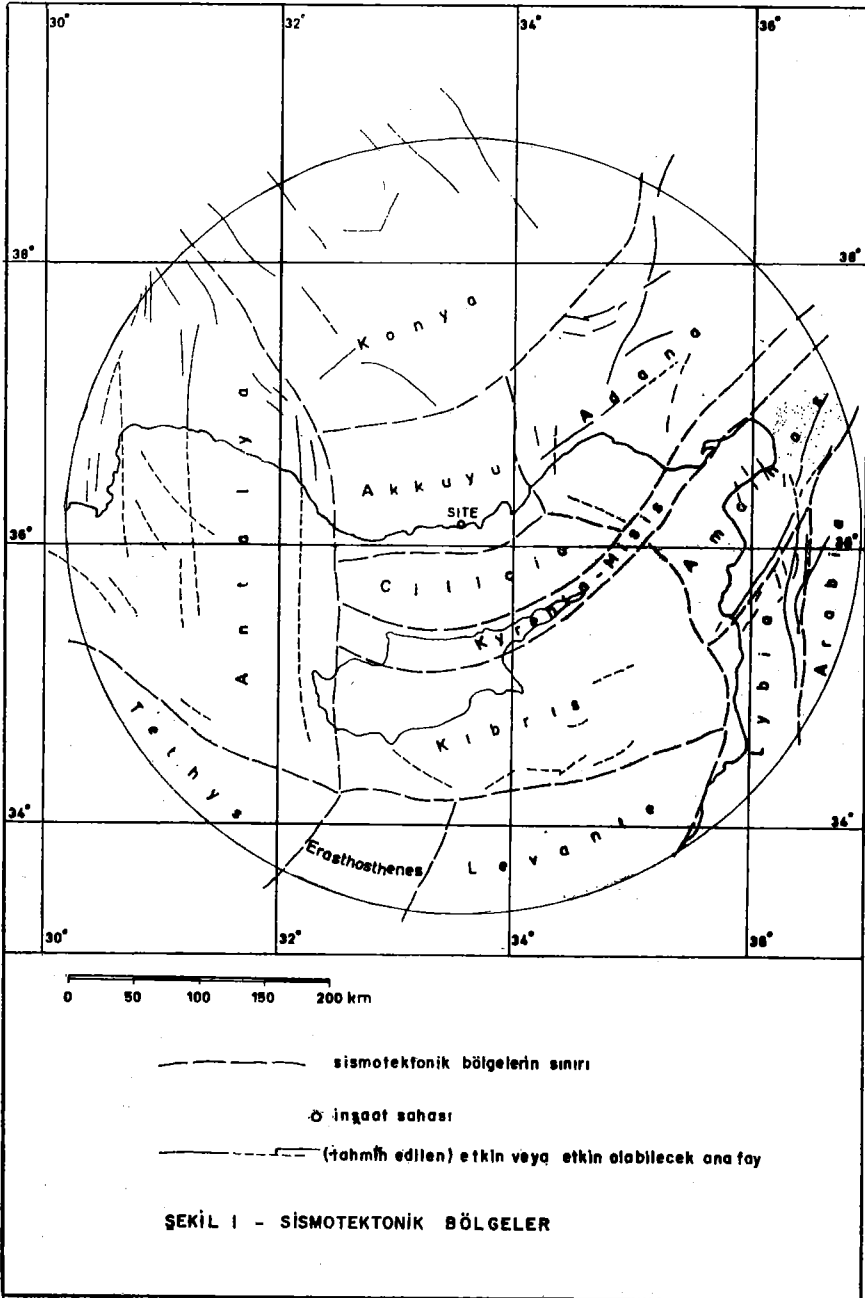
Denklem 3 ile verilen azalım ilişkisinden başka azalım ilişkileri de önerilmiştir. Denklem 3'deki biçim, duyarlılık analizine uygunluğu ve risk denklemlerinde (Denklem 4 ve 9) doğrudan doğruya kullanılabilmesi bakımından yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Diğer azalım ilişkileri için 14 ve 15 sayılı kaynaklarda geniş bilgi verilmektedir.

3. SAYISAL ÖRNEK

3.1. Sismik Veri Tabanı

Bu çalışmada kullanılan deprem verileri için 3 sayılı kaynak esas alınmıştır. Nükleer santralin inşa edileceği saha merkez olmak üzere 325 km yarıçaplı daire içinde kalan bölgelerde oluşacak depremlerin nükleer santrale etki yapabileceği varsayılmıştır. Bu bölge içinde 1903-1972 yılları arasında oluşan ve magnitüdüleri 4.3'ten büyük depremlerle ilgili 3 sayılı kaynaktan elde edilen bilgi 4, 5, 9, 10, 18 ve 19 sayılı kaynaklarla karşılaştırılmıştır. Sadece, Akkuyu bölgesi için magnitüd alt sınırı 3.3 olarak alınmıştır. Değişik kataloglarda verilen magnitüdüleri arasında farklılık olduğu durumda, en büyük magnitüd geçerli sayılmıştır. Bu depremlerden başka 115-1903 yılları arasında olmuş magnitüdü 7.3'ten büyük dokuz deprem daha göz önünde tutulmuştur. Depremlerin ayrıntılı bir listesi Kaynak 8'de verilmiştir.

Fay oluşumu ve tektonik yapısı bakımından değişik özellikler gösteren sismotektonik bölgelerin ayırımı Şekil 1'de gösterilmiştir. Yörede deprem tehlikesi yaratabilecek yedi tane sismotektonik bölge bulunmaktadır. Bunlar Ada-



na, Kyrenia-Misis, Amanos, Konya, Antalya, Kıbrıs ve Akkuyu olarak adlandırılmışlardır. Adana, Amanos ve Antalya bölgelerinin deprem bakımından hareketli bir geçmişi olmakla beraber diğer bölgeler oldukça durgundur.

Akkuyu dışındaki tüm sismotektonik bölgelerde magnitüd alt sınırı 4.3 olarak alınmıştır. Akkuyu bölgesinde, gözlem süresi içinde magnitüdü 4.3'ten büyük ancak iki deprem olmuştur. Bu nedenle Akkuyu'da alt sınır 3.3. olarak alınmış ve deprem sayısı da böylece dokuza çıkmıştır.

Deprem riski hesabı için gerekli parametrelerin değerleri bu yedi bölge için Tablo 1'de özetlenmiştir. Her yıl olması beklenen ortalama deprem sayısı, yetmiş sene boyunca oluşan deprem sayısının gözlem süresine bölünmesiyle elde edilmiştir.

Sismotektonik bölgeler için magnitüd üst sınırı, 1903 yılından sonra o bölgede gözlenen en büyük magnitüd değerinin güvenilir bir ölçüde artırılmasıyla saptanmıştır. Üst sınır değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir. İleride açıklanacağı gibi sismotektonik bölgeler için belirlenen üst sınır değerlerinin neticele-re, özellikle büyük ivmelerin risklerine etkisi önemli olacaktır. Bu nedenle üst sınır değerlerinin seçiminde büyük bir özen gösterilmelidir.

Tablo 2'de verilen ortalama odak derinlikleri Kaynak 8'de sunulan verilerden elde edilen yuvarlanmış ortalama değerlerdir. Odak derinliğindeki değişimlerin yüksek ivmeler için bulunan risk değerlerine etkisi pek az olmaktadır. Tablo 2'deki en son kolonda $\beta - b$ (ln 10) değerleri verilmiştir.

3.2. Azalım İlişkisi

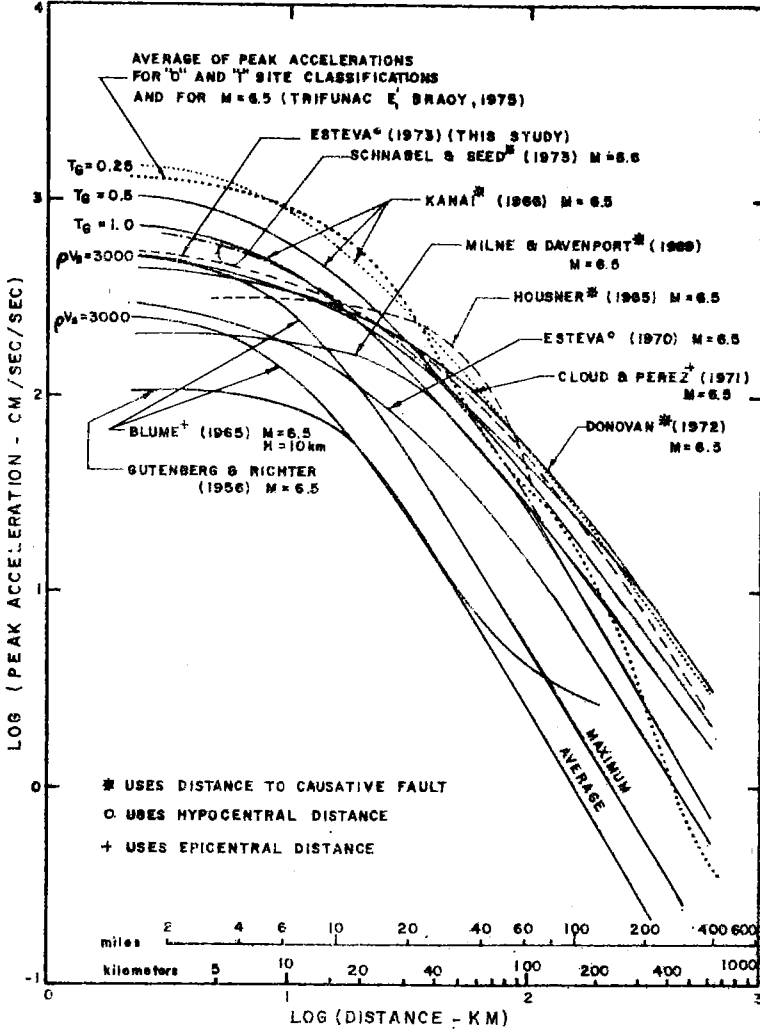
Bu çalışmada Denklem 3 ile belirtilen azalım ilişkisi şu katsayılar alınarak kullanılmıştır (12) : $b_1 = 5000$, $b_2 = 0.8$, $b_3 = 2.0$ ve $R = R' + 40$ (km) : R' , odak derinliğini simgelemektedir. Böylece, Denklem 3 şu şekli alacaktır :

$$Y = \left\{ \begin{array}{l} 0.8M \\ 5000 e^{-2} (R' + 40) \end{array} \right\} \epsilon \quad (11)$$

Şekil 2'de, Denklem 11 ile verilen azalım ilişkisi diğer azalım ilişkileri ile karşılaştırılmıştır. Denklem 11 ile 20 km'yi aşan uzaklıklar için elde edilen sonuçlar diğer azalım ilişkilerinin büyük bir kısmına oranla daha emniyetli tarafta olmaktadır. Yapılan çalışmada bu azalım ilişkisinin yanında, doğrusal magnitüd-sıklık ilişkisinin de kullanıldığı düşünülürse, neticelerde tartışmasız abartılmış bir emniyet payı olduğu sonucuna varılabilir. Diğer bir deyimle bulunacak risk değerleri olduğundan daha büyük olacaktır.

3.3. Uygulama

Yedi sismotektonik bölge için Denklem 10'un sayısal değerlendirilmesi hazırlanan bir bilgisayar programı ile yapılmıştır. Her bölge küçük dairesel birimlere bölünmüştür. Noktasal veya çizgisel deprem kaynaklarından bulunacak sonuçlar, odak derinliğinin iki katı uzaklıkta yaklaşık aynı değerleri verdiği ve Akkuyu bölgesinde de belirgin bir noktasal veya çizgisel kaynak bulunmadığı için her bölgede depremlerin uzay içinde homojen bir dağılım gösterdiği varsayılmış ve Tablo 2'de verilen değerler bölgelerin tüm kesimleri için geçerli sayılmıştır. Dairesel birimler, inşaat sahasına uzaklıkları merkezlerin-



ŞEKİL 2 - KULLANILAN AZALIM İLİŞKİSİNİN DİĞERLERİ İLE KARŞILAŞTIRILMASI (14)

1. Kanai, K. (1966). Improved Empirical Formula for Characteristics of Stray Earthquake Motions, Proc. Jap. Earthquake Symp., 1-4 (in Japanese).
2. Schnabel, P. and Seed, H.B. (1973) Accelerations in Rock for Earthquakes in the Western United States, Bull. Seism. Soc. Amer., 63, 501-516.
3. Milne, W.G., and Davenport, A.G. (1969). Distribution of Earthquake Risk in Canada, Bull. Seism. Soc. Amer., 59, 754-779.
4. Housner, G.W. (1965). Intensity of Earthquake Ground Shaking Near the Causative Fault, Third World Conf. on Earthquake Eng., New Zealand, 94-111.

den ölçülen noktasal deprem kaynakları olarak alınmışlardır. Ayrıca hata teriminin standard sapması için Tablo 1'de verilen, ivmelerle değişen değerler kullanılmıştır. Elde edilen ivme-risk eğrisi Şekil 1'de kesiksiz çizgi ile gösterilmiş ve gerçek durum diye adlandırılmıştır.

3.4. Duyarlılık Analizi

Deprem riski, sonuçlara etkisi değişik düzeyde olan birçok değişkene dayanır. Sonuçların bu değişkenlere olan duyarlılığını araştırmak amacı ile üç ayrı hesaplama daha yapılmıştır. İlk olarak Tablo 1'de verilen ortalama odak derinlikleri yerine yedi bölge için de aynı değer, 15 km, alınmıştır. Bu durumda, 10^{-3} 'ten küçük yıllık risk değerlerine etkisi önemsizdir.

Diğer iki hesaplamada hata teriminin standard sapması sabit tutularak $\sigma = 0.20$ ve $\sigma = 0.40$ alınmıştır. Bu değişiklik sonucunda, küçük risk düzeylerinin ($\leq 10^{-3}$ /yıl) karşılığı olan ivme değerlerinde belirgin bir artış olmuştur. Elde edilen eğriler, gerçek durum ile birlikte Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu eğriler inşaat sahasında belirli bir zemin ivmesinin bir yılda aşılma olasılığını (yıllık riski) vermektedir.

TABLO 1. HATA TERİMİNDEKİ BELİRSİZLİK DEĞERLERİ (KAYNAK NO : 2)

Zemin İvmesi	Hata Teriminin Standard Sapması, σ
0.01 g	0.48
0.05 g	0.39
0.10 g	0.30
0.15 g	0.22
0.20 g	0.17
0.25 g	0.13
0.30 g	0.12

- Esteva, L. (1970) Seismic Risk and Seismic Design Decisions, Seismic Design for Nuclear Power Plants, R.J. Hansen, Ed., MIT Press.
- Cloud, W.K., and Perez, V. (1971). Unusual Accelerograms Recorded at Lima, Peru, Bull. Seism. Soc. Amer., 61, 633-640.
- Donovan, N.C. (1972). Earthquake Hazards for Buildings, National Bureau of Standards Build. Science Ser. 46, Building Practices for Disaster Mitigation, Boulder, Colorado.
- Blume, J.A. (1965). Earthquake Ground Motion and Engineering Procedures for Important Installations Near Active Faults, Third World Conf. on Earthquake Eng. New Zealand, 53-67.
- Gutenberg, B., and Richter, C.F. (1956). Earthquake Magnitude, Intensity, Energy and Acceleration, Paper II, Bull. Seism. Soc. Amer., 46, 105-195.
- Esteva, L. (1973). (Bak "Yararlanılan Kaynaklar 12) Bu çalışmada aynı azalım ilişkisi kullanılmıştır.

TABLO 2. SİSMOTEKTONİK BÖLGELERİN ÖZELLİKLERİ

Bölge No	Adı	Alt Sınır m_0	Üst Sınır m_1	Olay sayısı/yıl	Ortalama odak derinliği (km)	β
1	Adana	4.3	7.4	0.400	50.0	1.574
2	Kyrenia-Misis	4.3	6.7	0.157	45.0	1.854
3	Amanos	4.3	8.0	0.305	60.0	1.379
4	Konya	4.3	7.2	0.314	30.0	1.687
5	Antalya	4.3	7.5	1.100	60.0	1.745
6	Kıbrıs	4.3	7.5	0.129	75.0	0.770
7	Akkuyu	3.3	6.5	0.129	15.0	1.020

Sonuçlar incelendiğinde inşaat sahasında 0.10 g'den büyük zemin ivmesi yaratılmasında tek önemli kaynağın Akkuyu bölgesi olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle inşaat sahası yakınındaki deprem olaylarının dikkatle değerlendirilmesi gerekmektedir. Akkuyu bölgesinde magnitüd üst sınırının 6.5 alınması şu nedenlere dayanmaktadır :

(i) Şekil 1'deki sismotektonik bölgelendirme haritasında magnitüdü 6.5'tan büyük deprem yaratacak bir fay belirtisi yoktur.

(ii) $M = 6.5$ üst sınırı son 70 senede gözlenen en şiddetli depremin magnitüdünden bir birim daha büyüktür.

(iii) Akkuyu bölgesinde geçmişte oluşan tarihi depremler arasında 6.5'tan büyük magnitüdü deprem yoktur.

3.5. Tekrar Süresi Kavramı

Yıllık aşılma olasılığının tersi, o olayın yıl cinsinden ortalama tekrar süresidir. Tekrar süresi için şunlar geçerlidir (12) :

(i) Tekrar süresi belirli bir olayın olması için beklenen ortalama zaman süresidir. Şekil 3'teki gerçek durum eğrisine göre, bu inşaat sahasında en az 0.10 g'lik bir ivme yaratacak iki deprem olayı arasında geçecek ortalama bekleme süresi 220 yıldır.

(ii) Tekrar süresi n olan bir olayın herhangi bir yıl içinde olma olasılığı

$$p = \frac{1}{n} \text{ dir. Buna göre herhangi bir yılda } 0.10 \text{ g'nin aşılma olasılığı } \frac{1}{220} \approx 4.5 \times 10^{-3} \text{ dür.}$$

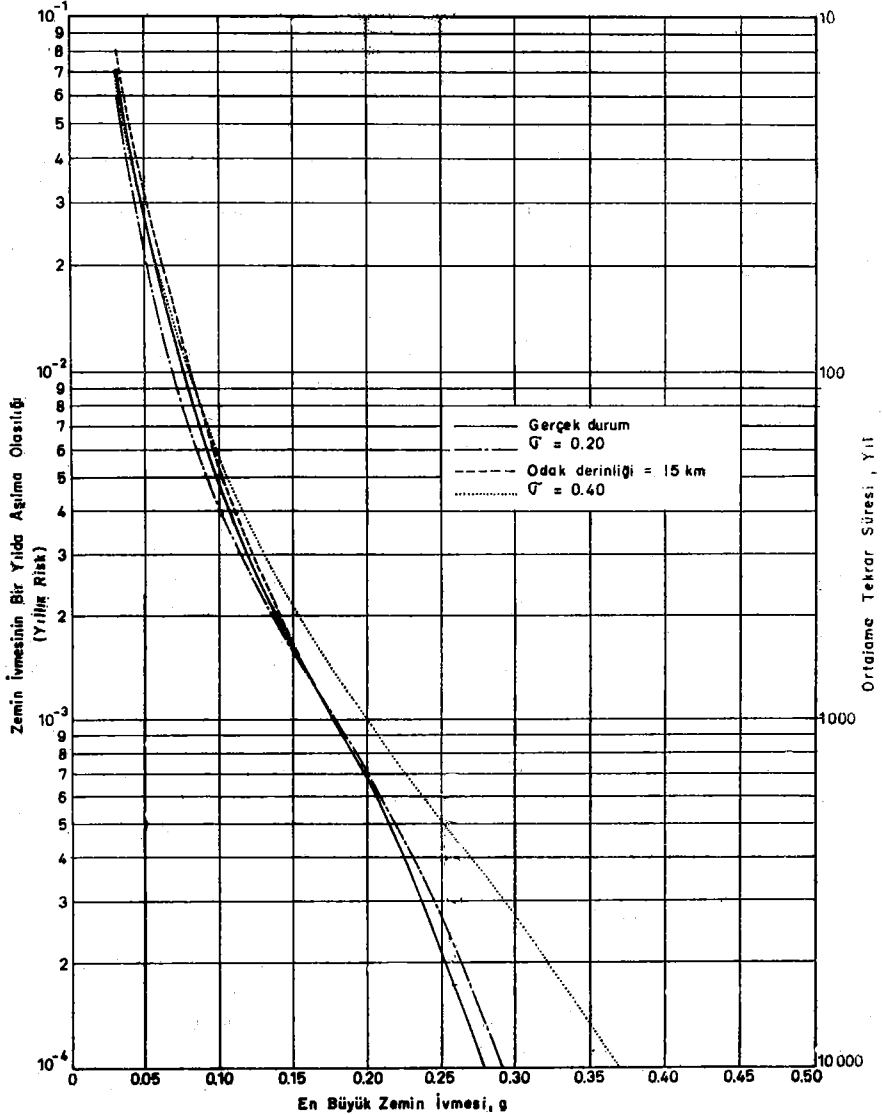
4.5 x 10⁻³ dür.

(iii) Tekrar süresi n yıl olan bir olayın, bu n yıl içinde hiç olmaması olasılığı 0.36'dır. Böylece 220 yıl içinde inşaat sahasında zemin ivmesinin 0.10 g'yi aşmasına neden olacak hiçbir olayın olmaması olasılığı 0.36'dır. Diğer bir deyimle, 220 yıl içinde 0.10 g'den büyük zemin ivmesi yaratacak en az bir olayın olma olasılığı 0.64'dür.

Tasarımda kullanılacak en büyük zemin ivmesi yapının ekonomik ömrü ve kabul edilecek deprem riski ile tutarlı bir şekilde seçilmelidir. Bu, şöyle gerçekleştirilebilir :

Birbirinden bağımsız şekilde n defa tekrarlanan Bernoulli deneylerinde x sayıda başarı elde etme olasılığı şöyledir :

$$\Pr (X = x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad (12)$$



ŞEKİL 3 - İNŞAAT SAHASI İÇİN İVME - RISK EĞRİLERİ

Böylece ekonomik ömrü 10 yıl olan bir yapı için belirlenen zemin ivmesinin aşılmama olasılığının 0.90 (risk = 0.10) olması istenirse, yapının tasarımı, aşağıda hesaplandığı gibi, tekrar süresi 95 yıl olan zemin ivmesine göre yapılmalıdır.

$$Pr (X = 0) = \binom{10}{0} p^0 (1-p)^{10-0} = (1-p)^{10} = 0.90$$

$$p = 0.01048$$

$$\frac{1}{p} \approx 95 \text{ yıl}$$

Tablo 3'de ekonomik ömür, kabul edilen risk düzeyi ve tekrar süresi arasındaki ilişki verilmiştir. Örneğin, ekonomik ömrü 50 yıl olan bir yapıda, tasarım zemin ivmesinin aşılmama olasılığının 0.95 olması istenirse, 975 yıllık tekrar süreli zemin ivmesi değeri alınmalıdır. Eğer bu yapı çalışmada göz önünde tutulan inşaat sahasında yapılacaksa, gerekli ivme değeri, gerçek durum eğrisinden 0.18 g olarak saptanır.

TABLO 3. TEKRAR SÜRESİNİN EKONOMİK ÖMÜR VE AŞILMAMA OLASILIĞINA BAĞLI DEĞERLERİ

Aşılmama Olasılığı, Yüzde	Ekonomik ömür, yıl					
	10	20	30	40	50	100
99	996	1990	2986	3981	4976	9950
95	196	390	585	780	975	1950
90	95	190	285	390	475	950
80	45	90	135	180	225	449
70	29	57	84	113	140	281
60	20	40	59	79	98	196
50	15	29	44	58	72	145
40	11	22	33	44	55	110
30	9	17	25	34	42	84
20	7	13	19	25	31	63
10	5	9	14	18	22	44

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deprem tehlikesinin olasılık yöntemleri ile değerlendirilmesinde bir çok değişken etkili olmaktadır. Bu bakımdan böyle bir çalışmada en önemli sorun model girdilerinin doğru olarak saptanmasıdır. Bu araştırmaya dayanarak bazı genel sonuç ve öneriler aşağıda sıralanmıştır :

1. En büyük zemin ivmesi deprem şiddetini yansıtan tek ölçü olmamakla beraber mühendislik bakımından şimdilik en yararlı ve en çok benimsenen zemin hareketi değişkenidir. Bu nedenle, inşaat sahasında olması beklenen en büyük zemin ivmesi, deprem tehlikesi bakımından o sahanın elverişliliğinin

saptanmasında veya diğer inşaat sahaları ile karşılaştırmada uygun bir ölçü olacaktır.

2. Denklem 1 ile verilen logaritmik tek doğrulu tekrar ilişkisi orta magnitüdü ($M = 4, 5, 6$) depremlerin oluş sıklığının tahmininde yeterli olmakta ancak yüksek magnitüdü depremlerin oluş sıklığını olduğundan çok göstermektedir. Tek doğrulu tekrar ilişkisinin, yüksek magnitüdüdeki bu tutarsızlığı nedeni ile ikinci dereceli ve çift doğrulu tekrar ilişkileri önerilmiştir (11, 12). Bu tekrar ilişkilerine bağlı olarak yapılacak tahminlere olan güven, verilerin yeterli derecede çok olduğu bölgelerde yüksek, verilerin az olduğu veya çok saçılım gösterdikleri durumda pek düşük olacaktır.

3. Bir sismotektonik bölgede oluşabilecek en büyük magnitüdün neticele, özellikle küçük olasılıklı (örneğin 10^{-4} /yıl) uç değerlere etkisi önemlidir. Magnitüd üst sınırının saptanmasında, geçmiş deprem verilerinin yanında bölgenin jeofizik ve sismotektonik özellikleri de göz önünde tutulmalıdır. Bu özelliklerle ilgili bilgilerin bulunmadığı durumlarda, magnitüd üst sınırı bölgede gözlenmiş en büyük magnitüdüden yarım ile bir birim büyük olarak alınabilir. Ancak bu değer dünya için yaklaşık üst sınır olan $M = 9$ 'u aşmamalıdır.

4. Son zamanlarda daha ayrıntılı azalım ilişkileri önerilmiştir (14). Ancak bunların ivmenin uzaklıkla azalımı, bu çalışmada kullanılan ilişkiye oranla daha gerçeğe yakın verdikleri henüz gösterilmemiştir. Ayrıca, verilerin yetersizliği nedeni ile, seçilecek azalım ilişkilerindeki katsayılar, çoğu kez başka zemin koşulları için elde edilen değerler göz önünde tutularak saptanmaktadır. Bundan başka inşaat sahası yakınındaki deprem olayları için hiçbir azalım ilişkisi yeterli doğrulukta sonuç vermemektedir. Bütün bu nedenlerle Denklem 3 ile verilen, basit fakat çok benimsenmiş olan azalım ilişkisi bu çalışmada kullanılmıştır. Beklenildiği gibi rassal hata teriminin, risk değerini çoğaltıcı bir etkisi olmaktadır.

5. Emniyetli durdurma depremi (safe-shutdown earthquake) EDD, veya işletme esas depremi (operational basis earthquake) İED*, için kullanılacak en büyük zemin ivmesinin seçimi ile ilgili kabul edilmiş belirli bir ilke yoktur. Daha önce de belirtildiği gibi en büyük zemin hareket ivmesi inşa edilecek yapı için öngörülen risk değerine bağlı olarak saptanır. Bu konuda bazı araştırmacıların kabul ettiği kural, EDD için 5000 veya 10000 yıllık tekrar süresinin karşılığı olan ivme değerini almak ve buna bağlı olarak İED'ni elde etmektir. Bu araştırmada incelenen inşaat sahası için 5000 yıllık tekrar süresi en büyük zemin ivmesi değeri, gerçek durum eğrisinden, 0.25 g olarak bulunur. 5000 yıllık tekrar süresinin diğer bir anlamı da, 50 yıl içinde bu inşaat sahasında 0.25 g'den büyük bir zemin ivmesinin oluşmaması olasılığının 0.99 olduğudur. Gerçek durum eğrisinin elde edilmesinde yapılan çeşitli varsayımlar göz önünde tutulursa 0.25 g değerinin oldukça emniyetli tarafta bir değer olduğu ortaya çıkar. Sonuç olarak bu inşaat sahasında en büyük zemin ivmesinin 0.25 g olarak alınması önerilmektedir.

* Nükleer güç santrallarının tasarımında esas olarak alınan bu iki deprem düzeyi ile ilgili ayrıntılı bilgi Kaynak 17'de verilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu yazının büyük bir bölümü, Türkiye Elektrik Kurumu Genel Müdürlüğü Nükleer Enerji Dairesi tarafından desteklenen bir ODTÜ uygulamalı araştırma projesi çerçevesinde yapılan araştırmaya dayanmaktadır. Yazarlar, araştırmanın yürütülmesinde kendilerine her türlü kolaylığı sağlayan Nükleer Enerji Dairesi Başkanı Dr. Ahmet Kütükçüoğlu ve çalışmada kullanılan verileri sağlayan Oğuz Mutdoğan'a teşekkürlerini sunarlar.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

1. Cornell, C.A., "Probabilistic Analysis of Damage to Structures under Seismic Loads", **Dynamic Waves in Civil Engineering**, edited by D.A. Howells, Wiley-Interscience, 1971.
2. Donovan, N.C. and Barnstein, A.E., "A Review of Seismic Risk Applications", **Proceedings**, Second Int. Conf. on the Applications of Statistics and Probability in Soil and Structural Engineering, Vol. 1, Aachen, 1975.
3. Emch and Berger, "NPP Akkuyu, Turkey-Progress Print of Seismotectonic Map With Appendix", Şubat 1976.
4. Ergin, K., Güçlü, U., and Uz, Z., "Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (11-1964)", İstanbul Teknik Üniversitesi, 1967.
5. Ergin, K., Güçlü, U., and Aksay, G., "Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (1965-1970)", İstanbul Teknik Üniversitesi, 1971.
6. Esteva, L., "Seismicity Prediction, A Bayesian Approach", **Proceedings of Fourth World Conf. on Earthquake Engineering**, Chile, 1969.
7. Esteva, L., "Seismic Risk and Seismic Design Decision", **Seismic Design for Nuclear Power Plants**, edited by R.J. Hansen, M.I.T. Press, 1970.
8. Gülkan, P., and Yüçemen, M.S., "Assessment of Seismic Risk for Akkuyu", METU Applied Research Report No. 76-04-03-37, Ankara, Mayıs, 1976.
9. Karnik, V., "Seismicity of the European Area", Part I, Academia, 1968.
10. Karnik, V., "Seismicity of the European Area", Part II, Academia, 1971.
11. Merz, H.A., and Cornell, C.A., "Seismic Risk Analysis Based on a Quadratic Magnitude-Frequency Law", **Bulletin of Seismological Society of America**, Vol. 63, No. 6, Aralık 1973.
12. Shah, H.C., Mortgat, C.P., Kiremidjian, A. and Zsutty, T.C., **A Study of Seismic Risk for Nicaragua**, Part I, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University, 1975.
13. Tong, W.H., **Seismic Risk Analysis for Two-Sites Case**, Seismic Design Decision Analysis Report No. 18, M.I.T., 1975.
14. Trifunac, M.D., and Brady, A.G., "Correlations of Peak Acceleration, Velocity and Displacement with Earthquake Magnitude, Distance and Site

Conditions", *International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, No. 3, 1976.

15. Trifunac, M.D., "Preliminary Analysis of Peaks of Strong Ground-Motion-Dependence of Peaks on Earthquake Magnitude, Epicentral Distance, and Recording Site Conditions", *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 66, No. 1, Šubat 1976.
16. International Atomic Energy Agency, **Earthquake Guidelines for Reactor Siting**, Technical Reports Series No. 139, Viyana, Avusturya, 1972.
17. **Part 50 - Licensing of Production and Utilization Facilities**, and **Part 100 - Reactor Site Criteria**, Federal Register, Vol. 38, No. 218, United States Atomic Energy Commission, Washington, D.C., Kasum 1973.
18. UNDP/UNESCO Survey of the Seismicity of the Balkan Region, **Catalogue of Earthquakes, Part I, 1901-1970**, UNESCO, Skopje, 1974.
19. UNDP/UNESCO Survey of the Seismicity of the Balkan Region, **Catalogue of Earthquakes, Part II, prior to 1901**, UNESCO, Skopje, 1974.

EK A
DENKLEM 4'ün ÇIKARILMASI

Verilen bir $\ln \epsilon$ değeri için, noktasal bir kaynaktan doğan depremin inşaat sahasında yarattığı zemin ivmesinin y değerini aşma olasılığı şöyle yazılabilir (13):

$$\Pr(Y > y | \ln \epsilon) = \Pr(b_1 e^{b_2 M} R^{-b_3} \epsilon > y | \ln \epsilon) \quad (A1)$$

Tümleyici birikimli dağılım işlevi ($\Pr(Y > y)$) ise şöyle olacaktır:

$$\Pr(Y > y) = \int_{-\infty}^{\infty} \Pr(Y > y | \ln \epsilon) f_{\ln \epsilon}(\ln \epsilon) d\ln \epsilon \quad (A2)$$

Yukarıdaki entegral $\ln \epsilon$ 'nin tüm değerleri için alınmalıdır. $f_{\ln \epsilon}(\ln \epsilon)$, $\ln \epsilon$ için olasılık yoğunluk işlevidir.

$$f_{\ln \epsilon}(\ln \epsilon) = \frac{1}{\sigma_{\ln \epsilon} \sqrt{2\pi}} \left\{ \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{\ln \epsilon}{\sigma_{\ln \epsilon}} \right)^2 \right\} \right\} \quad (A3)$$

$\ln \epsilon$, x ile gösterilirse,

$$\Pr(Y > y) = \int_{-\infty}^{\infty} \Pr(M > \frac{1}{b_2} \ln \frac{R^{b_3} y}{b_1} - \frac{x}{b_2} | x) f_x(x) dx \quad (A4)$$

Bu entegral sınırının $(-\infty, +\infty)$ aşağıda gösterildiği gibi üçe bölünerek, her arada geçerli olan $F_M(m)$ işlevinin kullanılması gerekmektedir.

$$i) \frac{1}{b_2} \ln \frac{R^{b_3} y}{b_1} - \frac{x}{b_2} \leq m_0 \quad \text{burada} \quad F_M(m) = 0, \quad x \geq z_2$$

ve

$$z_2 = \ln y - \ln(b_1 e^{b_2 m_0} R^{-b_3}) \quad (A5)$$

$$\text{ii) } \frac{1}{b_2} \ln \frac{R^{b_3} y}{b_1} - \frac{x}{b_2} \geq m_1 \quad \text{burada}$$

$$F_M(m) = 1, \quad x \geq z_1 \quad \text{ve} \quad z_1 = \ln y - \ln(b_1 e^{b_2 m_1} R^{-b_3}) \quad (\text{A6})$$

$$\text{iii) } m_0 \leq \frac{1}{b_2} \ln \frac{R^{b_3} y}{b_1} - \frac{x}{b_2} \leq m_1 \quad \text{burada}$$

$$F_M(m) = k(1 - e^{-\beta(m - m_0)}) \quad \text{ve} \quad z_1 \leq x \leq z_2$$

Böylece,

$$\begin{aligned} \Pr(Y > y) &= \int_{-\infty}^{\infty} (1 - F_M(m)) f_x(x) dx + \int_{z_1}^{z_2} (1 - F_M(m)) f_x(x) dx \\ &+ \int_{z_2}^{\infty} (1 - F_M(m)) f_x(x) dx \\ &= \int_{z_1}^{z_2} f_x(x) dx - k \int_{z_1}^{z_2} (1 - e^{-\beta(\frac{1}{b_2} \ln \frac{R^{b_3} y}{b_1} - \frac{x}{b_2} - m_0)}) f_x(x) dx \\ &+ \int_{z_2}^{\infty} f_x(x) dx \\ &= \Phi^*\left(\frac{z_1}{\sigma}\right) - \Phi^*\left(\frac{z_2}{\sigma}\right) - k\left\{\Phi^*\left(\frac{z_1}{\sigma}\right) - \Phi^*\left(\frac{z_2}{\sigma}\right)\right\} \\ &+ k e^{\beta m_0} R^{-b_3 \beta / b_2} \left(\frac{y}{b_1}\right)^{-\beta / b_2} \int_{z_1}^{z_2} e^{\beta x / b_2} f_x(x) dx + \Phi^*\left(\frac{z_2}{\sigma}\right) \\ &= \Phi^*\left(\frac{z_1}{\sigma}\right) - k\left\{\Phi^*\left(\frac{z_1}{\sigma}\right) - \Phi^*\left(\frac{z_2}{\sigma}\right)\right\} \\ &+ k e^{\beta m_0} R^{-b_3 \beta / b_2} \left(\frac{y}{b_1}\right)^{-\beta / b_2} \int_{z_1}^{z_2} e^{\beta x / b_2} f_x(x) dx \end{aligned}$$

Bu denklemde, $\Phi^*(.)$ = standard normal dağılım için kümleveci birikimli dağılım işlevi olup, şöyle ifade edilir:

$$f\left(\frac{z}{\sigma}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{z}{\sigma}}^{\infty} e^{-1/2x^2} dx$$

Şimdi,

$$\int_{z_1}^{z_2} e^{\beta x/b_2} f_x(x) dx = \int_{z_1}^{z_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{\beta/b_2 x - \frac{1}{2} \left(\frac{x}{\sigma}\right)^2} dx$$

$$= e^{\frac{\beta^2 \sigma^2}{2b_2^2}} \int_{z_1}^{z_2} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \frac{\beta\sigma^2}{b_2}}{\sigma}\right)^2\right\} dx$$

$$= e^{-1/2 \left(\frac{\beta\sigma}{b_2}\right)^2} \left\{ \Phi^*\left(\frac{z_1}{\sigma} - \frac{\beta\sigma}{b_2}\right) - \Phi^*\left(\frac{z_2}{\sigma} - \frac{\beta\sigma}{b_2}\right) \right\}$$

Sonuç olarak,

$$\Pr(Y > y) = 1 - F_y(y) = \Phi^*\left(\frac{z_1}{\sigma}\right) - k \left\{ \Phi^*\left(\frac{z_1}{\sigma}\right) - \Phi^*\left(\frac{z_2}{\sigma}\right) \right\}$$

$$= k e^{\beta m_0 R} e^{-b_3 \beta/b_2} \left(\frac{y}{b_1}\right)^{-\beta/b_2} e^{\frac{\beta^2 \sigma^2}{2b_2^2}} \left\{ \Phi^*\left(\frac{z_1}{\sigma} - \frac{\beta\sigma}{b_2}\right) - \Phi^*\left(\frac{z_2}{\sigma} - \frac{\beta\sigma}{b_2}\right) \right\} \quad (A7)$$

EK B

KULLANILAN İŞARETLER

- a, b = magnitüd sıklık ilişkisinde regresyon katsayıları
- b_i = ampirik azalım parametreleri ($i = 1, 2, 3$)
- k = magnitüd üssel dağılımındaki düzeltme katsayısı
- m_1, m_0 = magnitüd üst ve alt sınırı
- t = zaman
- z_1, z_2 = denklem 4'teki değişkenler
- F(.) = birikimli dağılım işlevi
- M = magnitüd
- N(m) = magnitüd değeri m'den büyük olan deprem sayısı
- Pr(.) = olasılık
- R = noktasal deprem kaynağının inşaat sahasına uzaklığı
- Y = en büyük zemin ivmesi
- β = magnitüd üssel dağılımındaki parametre, b ln 10
- ε = azalım ilişkisindeki rassal hata terimi
- ν = ortalama yıllık deprem sayısı
- σ = $\ln g$ 'nin standard sapması
- $\Phi^*(.)$ = standard normal dağılım için tümleyici birikimli dağılım işlevi.

**"ZEMİNLERİN DİNAMİK DAVRANIŞLARINA AİT
GERİLME-DEFORMASYON BAĞINTILARI"**

W.D.L. FINN*

A. ERGUVANLI**

SYNOPSIS

The dynamic behaviour of cohesive soils is characterized by their shear modulus and the response of soil layers is partly determined by their moduli. Up-to-date research has shown that the shear modulus of clays is dependent upon such external factors as the applied shearing strain amplitude and the number of repetitions of the strain. These effects are associated with an increase in pore water pressures during cyclic loading, strain accumulation, as well as the deterioration of the clay fabric, especially in soft clays.

One of the governing factors for determination of soil response is the stress-strain relationship of the soils, "during" and "after" cyclic or random loading. The nonlinear relationship between the shear modulus and applied strain has been demonstrated by many investigators. It is apparent that cyclic strains cause a progressive decrease in the modulus, as well as a strain accumulation. This becomes more significant at high strain levels and very little effect should be anticipated at strain amplitudes of less than 0.01 %. The nonlinear decrease of the shear modulus with increasing strain has been modelled as various stress-strain relationships,

- (a) The hyperbolic stress-strain relationship as defined by Hardin and Drnevich (1972).

The variation of shear modulus with strain

(10), expressed as,

$$G = G_{\max} \left(\frac{1}{1 + \gamma_h} \right)$$

where γ_h is the hyperbolic strain;

- (b) The relationship as defined by the Ramberg-Osgood equation (15, 21),

(*) U.B.C. Dean of the Faculty of Applied Science, Vancouver, Canada.

(**) U.B.C. Faculty of Applied Science; İTÜ Müh. Mim. Fak.

$$\frac{G}{G_{\max}} = \frac{1}{1 + \left(\frac{\tau}{\tau_y}\right)^{R-1}}$$

where α , τ_y and R are parameters dependent on the soil properties;

- (c) Seed-Idriss empirical relationship between shear modulus and strain (20).

A comparison of certain results on cohesive soils, obtained by different researchers, using the above-mentioned different relationship, is given in Fig. 2. Other expressions (cubic, cube root, exponential) have also been used in past research in order to express the nonlinear behaviour.

The static modulus decrease "after" cyclic loading, as a function of cyclic strain ratio, is given in Fig. 3. The decrease in G_{\max} , observed "after" high amplitude cycling, can be expressed for shearing strain amplitudes, $\gamma\theta_z > 0.02$ %, as,

$$\frac{[G_{\max}]_{\text{after}}}{[G_{\max}]_{\text{before}}} = -12.6 \log \gamma\theta_z + 53.6,$$

where $[G_{\max}]_{\text{after}}$, was measured 1.0 minute after the conclusion of 1000 cycles (Fig. 4) of high amplitude shearing (2).

Another post-cyclic property is the time-dependent increase in the shear modulus, which has to be assessed for the long-term behaviour of cohesive soils. The secondary increase phenomenon (modulus regain) is generally related to the thixotropic changes that occur in the clay structure (1).

The value of G_{\max} differs for unloading and reloading during seismic shaking, thus for nonlinear ground response calculations the soil can be assumed to behave as a Masing solid, with a stress-strain relationship as illustrated in Fig. 1. The purpose of this article has been to show that the factors effecting the modulus variation of cohesive soils, during and after cyclic loading, should be taken into consideration for nonlinear response calculations in the time domain.

ÖZET

Kohezyonlu zeminlerin deprem yükleri altında davranışları kısmen "Kayma Modülleri" tarafından belirlenmektedir. Yapılan araştırmalar killi zeminler kayma modüllerine etkileyen dış faktörlerin, uygulanan dinamik kayma "birim deformasyonların mertebesi" ve birim deformasyonların "tekrarlanma adedi" olduğunu göstermektedir. Bilhassa, yumuşak killi zeminlerde, uygulanan tekrarlı gerilmeler sırasında boşluk suyu basıncının artımı, titreşim süresi boyunca deformasyon birikimi ve kil yapısının bozulması gibi olaylar da gözlenmektedir.

Zemin tabakaları ve toprak barajlar gibi yapıların davranış hesapları zemine ait gerilme-deformasyon bağıntılarının saptanması ile mümkün olmaktadır. Bu makalede, killi zeminleri karakterize eden ve davranış hesap yöntemlerinde uygulanan non-linear gerilme-deformasyon bağıntıları açıklanmıştır. Bu ilişkilerden elde edilen kayma modülü değerinin artan dinamik birim deformasyon mertebesi ile azalması ve killi zeminlerde kayma modülü değerinin zeminin yapısal özelliklerine göre "titreşim sırasında" ve "titreşim sonunda" değişimleri incelenmiştir.

Bugüne kadar genellikle zeminlerin dinamik davranış hesaplarında, non-linear davranışı yansıttığı kabul edilen "eşdeğer lineer" varsayımları yapılmakta, tüm gerilme kaydının olduğu zaman süresince birim deformasyon ve kayma modülü için kayma gerilmesi tek bir "ortalama" değer alınmaktadır. Bu makalenin gayesi, zaman alanında non-linear davranışı içeren hesap yöntemlerinin uygulanmasında, kohezyonlu ve bilhassa yumuşak killi zeminlerin gerilme-deformasyon bağıntıları ve değişken kayma modülü özelliklerine ışık tutmaktır.

GİRİŞ

Son yıllarda, açık deniz petrol platformları, boru hatları, depolama tankları ve nükleer güç istasyonları gibi büyük ve önemli yapıların uygun olmayan zemin koşulları üzerinde, bilhassa yumuşak killi zeminlerde inşa edilmeğe mecbur kalınması ve bu yapı ve zemin-yapı sistemlerinin deprem ile dalga hareketlerine maruz kalmaları, killi zeminlerin dinamik mukavemet ve gerilme-deformasyon özelliklerinin araştırılması ve saptanması hususuna önem kazandırmıştır.

Ani geçici yüklemeler sırasında killi zeminlerin yükleme hızına bağlı olarak geçici mukavemet kazanmaları, yapılan araştırmaları öncelikle kritik sıvılaşma ve oturma problemlerinin olduğu kumlu zeminlere yöneltmiştir. Ancak, tekrarlı dinamik gerilmelerin killi zeminlerde de mukavemet kaybı ile büyük

deformasyon birikimlerine yol açtığı görülmektedir. Ayrıca, örneğin Leda kilinde dinamit patlaması sonucu oluşan toprak kayması (17; Eden 1957), ile depremden bir kaç gün sonra killi bir zeminde oluşan heyelanlar (17; Morimoto et al. 1970), killi zeminlerin tekrarlı gerilme ve titreşimler sonundaki malzeme ve mukavemet özelliklerinin de titreşimler sırasındaki özellikleri kadar önem ile dikkate alınması gereğini ortaya koymaktadır.

Kohezyonlu zeminlerin tekrarlı dinamik yükler altındaki,

- dinamik mukavemet,
- ve
- dinamik gerilme-deformasyon

özellikleri konu ile ilgili iki "ayrı" hususu oluşturmaktadır.

Bu makalede, killi zeminlerin sadece non-lineer (doğrusal olmayan) dinamik gerilme-deformasyon bağıntıları ve bu bağıntılardan elde edilen birim deformasyon mertebesine bağlı kayma modülü (G) değerlerinin,

- "titreşimler sırasında",
- ve
- "titreşimler sonundaki"

değişimleri incelenmiştir. Zeminlere özgü non-lineer " $\tau - \gamma$ " bağıntısından elde edilen deformasyona mertebesine bağlı kayma modülü, tekrarlı dinamik gerilmeler sırasında oluşan histerisis eğrilerinde "yükleme" ve "boşalma" halleri için ayrı değerler almaktadır. Bu durum, zeminlerin Masing gerilme-deformasyon eğrisine (15) uygun davrandıkları kabulü ile varsayılabilir. Zeminlerde, Masing davranışı (Şekil 1) ve kayma modülünün titreşim süresince zaman ile azalması, killi zeminlerin non-lineer davranış hesaplarında dikkate alınmalıdır.

KOHEZYONLU ZEMİNLER İÇİN GERİLME-DEFORMASYON BAĞINTILARI

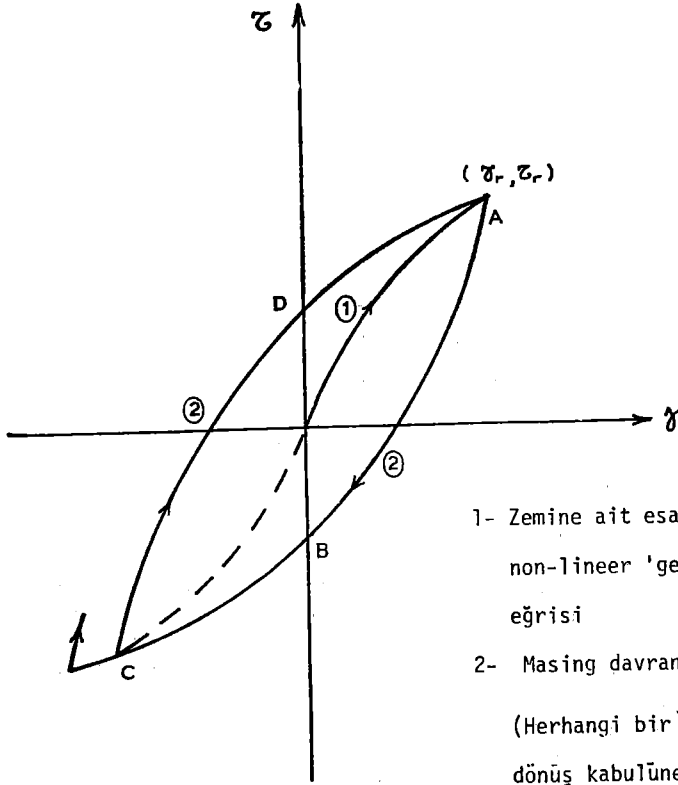
Kohezyonlu zeminlerin doğrusal olmayan (non-lineer) gerilme-deformasyon özellikleri, birim deformasyon mertebesine bağlı kayma modülünün tanımlanmasını gerektirmektedir. Belirli bir birim deformasyon mertebesinin aşılması halinden sonra, killi zeminlerin kayma modülleri artan birim deformasyon değeri ile azalma göstermektedir. Davranış hesaplarında esas alınacak bu non-lineer ilişkiyi, çeşitli bağıntılar şeklinde ifade etmek mümkün olmaktadır.

(a) Hiperbolik Değişim.

Zeminler için Kodner ve Zelasko (1963) tarafından,

$$\tau = \gamma \left(\frac{1}{\frac{1}{G_{\max}} + \frac{1}{\tau_{\max}} \cdot \gamma} \right) \quad (1)$$

hiperbolik ifadesi ile tanımlanan " $\tau - \gamma$ " bağıntısı, Hardin-Drnevich (1972) tarafından zeminlerin dinamik davranış hesaplarında kullanılmak üzere,



- 1- Zemine ait esas (iskelet) non-lineer 'gerilme-deformasyon' eğrisi
 2- Masing davranış eğrisi
 (Herhangi bir γ_r ve τ_r noktasından dönüş kabulüne göre,

Şekil 1. Masing Davranış Eğrisi

$$\left(\frac{\tau - \tau_r}{2} \right) = f \left(\frac{\gamma - \gamma_r}{2} \right)$$

$$\frac{G}{G_{\max}} = \frac{1}{1 + \gamma_h} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Bu ifadede, killi zeminler için,

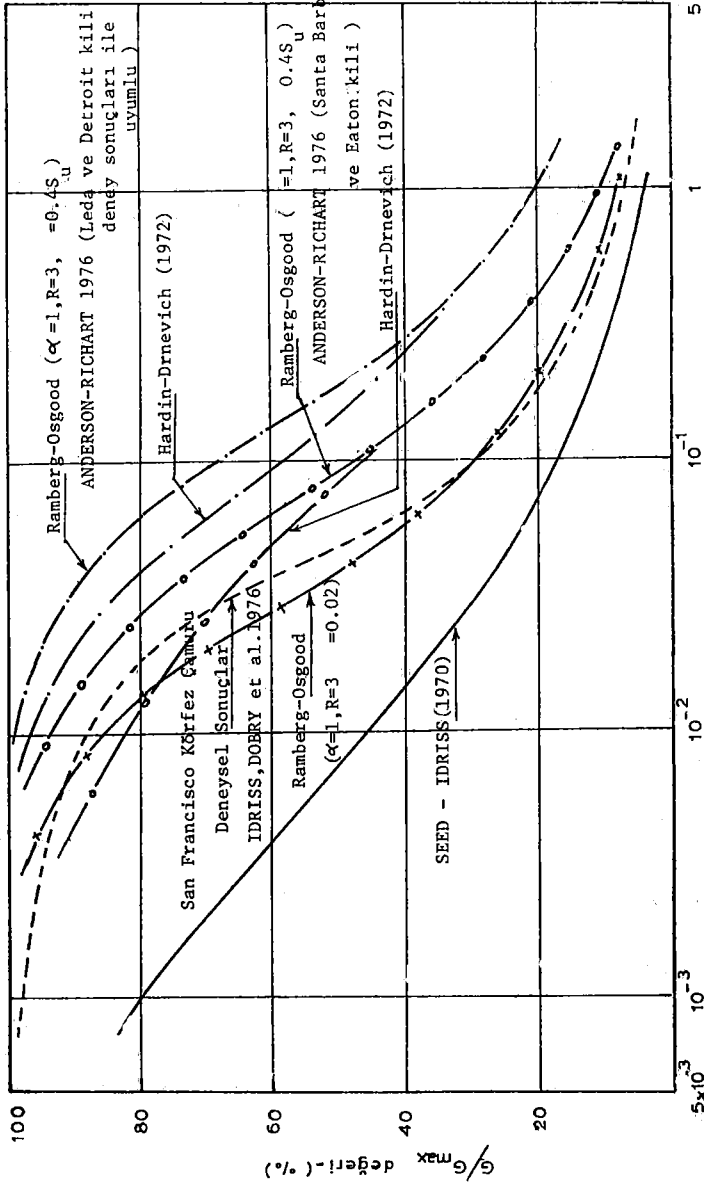
$$G_{\max} \approx 320 \frac{(3-e)^2}{1+e} (AKO)^k \sqrt{\sigma'_o} \quad (3)$$

$$\tau_{\max} = \left\{ \left[\frac{(1+K_o)}{2} \sigma'_v \sin \Phi' + c' \cos \Phi' \right]^2 - \left[\frac{(1-K_o)}{2} \sigma'_v \right]^2 \right\}^{1/2} \quad (4)$$

$$\sigma'_o = \left(\frac{1+2K_o}{3} \right) \sigma'_v \quad (5)$$

σ'_v = Efektif Düşey Gerilme

Hiperbolik birim deformasyon, γ_h



Kayma birim deformasyonu - γ (%)

Şekil 2. " G / G_{max} " oranının kayma birim deformasyonu (γ) ile değişimi

$$\gamma_h = \frac{\gamma}{\gamma_r} [1 + ae^{-b(\gamma/\gamma_r)}] \quad (6)$$

$$\gamma_r = \tau_{max}/G_{max} \quad (7)$$

$$a = 1 + 0.25 \log N \quad (8)$$

N = Titreşim devir adedi

b = 1.3 (Killi zeminlere ait Katsayı)

olmaktadır.

Killi zeminler için Hardin-Drnevich tarafından tarif edildiği şekilde birim deformasyon mertebesine bağlı "G/G_{max}" değerinin, ile değişim, Şekil 2'de verilmiştir.

(b) Ramberg-Osgood Bağıntısı.

Kayma modülü, "G", ile birim deformasyon "γ" arasında Ramberg-Osgood (1943) tarafından ifade edilen non-lineer bağıntı,

$$\tau = \gamma \cdot \frac{1}{\frac{1}{G_{max}} \left(1 + \alpha \left| \frac{\tau}{G_{max} \gamma_r} \right|^{R-1} \right)} \quad (9)$$

şeklindedir.

Burada,

$$\tau_m = G_{max} \cdot \gamma_r \quad (\gamma_r = \text{Referans birim deformasyonu})$$

R ve α = Eğriye ait katsayılar'dır.

Bu bağıntıdan,

$$\frac{G}{G_{max}} = \frac{1}{1 + \alpha \left| \frac{\tau}{\tau_m} \right|^{R-1}} \quad (10)$$

olarak elde edilen ifade de, killi zeminler için,

$$\alpha = 1.0, R = 3.0, \tau_m = 0.4S_u \quad S_u = \text{Drenajsız kayma mukavemeti} \\ (\text{Anderson ve Richart, 1976})$$

$$\alpha = 1.0, R = 3.0, \gamma_r = 0.02 \% \quad (\text{Idriss, Dobry et al. 1976})$$

değerleri önerilmektedir.

(c) Seed-Idriss Deneysel Bağıntısı.

Artan birim deformasyon ile kayma modülündeki azalma Seed-Idriss tarafından çeşitli araştırma ve deney sonuçlarına dayanarak tanımlanmıştır (1970).

Yukarıda tanımlanan ilişkiler, karşılaştırmalı olarak Şekil 2'de gösterilmiştir. Genellikle, Seed-Idriss (1970) bağıntısının bir alt-sınır değeri olduğu ve zeminin özelliklerine bağlı olarak Hardin-Drnevich hiperbolik bağıntısı ile Ramberg-Osgood modelinin, killi zeminlerin gerilme-deformasyon bağıntıları için olumlu ve uyumlu sonuçlar verdiği görülmektedir.

KUMLU ZEMİNLERİN DEPREMLER SIRASINDA DAVRANIŞLARI

Martin, Finn, Seed (1974), Finn et al. (1976) ve diğer araştırmacılar (Seed, Castro vb), kohezyonsuz zeminlerin deprem titreşimleri sırasındaki davranışlarına ve sıvılaşma problemine esas olarak verdikleri ilişkiler kısaca aşağıda açıklanmıştır.

(a) Kumlu zeminlerde hiperbolik gerilme-deformasyon bağıntısı ve Hardin-Drnevich denklemleri geçerli olmaktadır.

(b) Titreşimlerin oluşturduğu histerisis eğrisinde yükleme ve boşalma durumları için Masing gerilme-deformasyon bağıntısı kullanılmaktadır (Şekil 1). Zemine ait "esas" gerilme-deformasyon eğrisinin hiperbolik seçilmesi halinde, "Masing" davranış denklemi, herhangi bir " γ_r ve τ_r " noktasında dönüşüm olduğu kabulüne göre,

$$\frac{\tau - \tau_r}{2} = \frac{G_{mt} \left(\frac{\gamma - \gamma_r}{2} \right)}{1 + \frac{G_{mt}}{\tau_{mt}} \left| \frac{\gamma - \gamma_r}{2} \right|} \quad (11)$$

olmaktadır. Deprem sırasında zeminde zaman ile oluşan " γ " değerlerine göre yukarıda verilen denklem ile " τ " ve buna karşılık "Kayma Modülü" ile ayrıca histerisis eğrisinden sönüm değerleri hesaplanabilmektedir.

(c) Kuru kumlarda veya drenajın mümkün olduğu daneli zeminlerde, titreşimlerin oluşturduğu kayma gerilmeleri, danelerin temas alanlarında kayma ve dolayısıyla kompaksiyon eğiliminde bir hacımsal değişim meydana getirmektedir. Titreşim sırasında kuru kumlarda oluşan bu "sertleşme-sıkılaşma" olayı, kayma modülünü arttırmakta ve sönüm azalmaktadır.

Drenajın mümkün olmadığı suya doymuş kumlu zeminlerde ise, her titreşim devri sonunda boşluk suyu basıncında ilerleyen bir artım oluşumu, kayma modülünde azalma ve sönüm oranında artım şeklinde ifade edilebilen bir "yumuşama" olayı göstermektedir.

Suya doymuş kumlarda boşluk suyu basıncındaki artış,

$$\Delta u = \bar{E}_r \cdot \Delta \epsilon_{vd} \quad (12)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Martin et al. 1975).

Burada, kumun σ'_v efektif gerilmesindeki tek boyutlu deformasyon modülü, \bar{E}_r ,

$$\bar{E}_r = \frac{(\sigma'_v)^{1-m}}{mK_2 (\sigma'_{vo})^{n-m}} \quad (13)$$

olmaktadır. n , m ve K_2 kuma ait katsayılar ve σ'_{vo} başlangıç efektif gerilmesidir. Basit kesme halinde titreşimlerin oluşturduğu hacimsel birim deformasyon artımı,

$$\Delta \epsilon_{vd} = C_1 (\gamma - C_2 \epsilon_{vd}) + C_3 \epsilon_{vd}^2 / (\gamma + C_4 \epsilon_{vd}) \quad (14)$$

olmaktadır. Burada C_1 ile C_4 kumun dane dağılımı ve relatif sıkılığına bağlı katsayılar, ϵ_{vd} hacimsel birim deformasyondur.

Kuru veya drenajın olduğu kumlarda, "sertleşme" olayı Denklem (1)'da verilen G_{mt} ve τ_{mt} önceden tanımlanan G_{max} ve τ_{max} değerlerinin artışı şeklinde ifade edilebilmektedir.

$$G_{mt} = G_{max} \left[1 + \frac{\epsilon_{vd}}{H_1 + H_2 \epsilon_{vd}} \right] \left[\frac{\sigma'_v}{\sigma'_{vo}} \right] \quad (15a)$$

$$\zeta_{mt} = \zeta_{max} \left[1 + \frac{\epsilon_{vd}}{H_3 + H_4 \epsilon_{vd}} \right] \left[\frac{\sigma'_v}{\sigma'_{vo}} \right] \quad (15b)$$

Burada H_1 ile H_4 , kuma ait deneysel katsayılar, σ'_{vo} başlangıçtaki efektif gerilme, σ'_v ise "t" anındaki geçerli dinamik efektif gerilmedir. Şekil 1'de sadece \overline{AB} ve \overline{CD} , kısımlarında, yukarıda belirtilen boşluk basıncı artımı veya sertleşme düzeltmelerinin yapılması önerilmektedir.

Suya doygun kumlarda, titreşimler sırasında drenajının mümkün olması halinde, boşluk suyu basıncının azalması,

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \bar{E}_r \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{k}{\gamma_w} \cdot \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \bar{E}_r \frac{\partial \epsilon_v}{\partial t} \quad (16)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Burada "u" boşluk suyu basıncı, "k" kumun hidrolik iletkenliğidir.

Gerçekçi dinamik davranış hesabında, bu denklemin denge denklemleri ile uyum sağlayacak şekilde beraber çözümü, her "t" anı için oluşan Δu değerlerinin düzeltilmesi ve zaman ile değişen kayma modülünün dikkate alınması gerekmektedir.

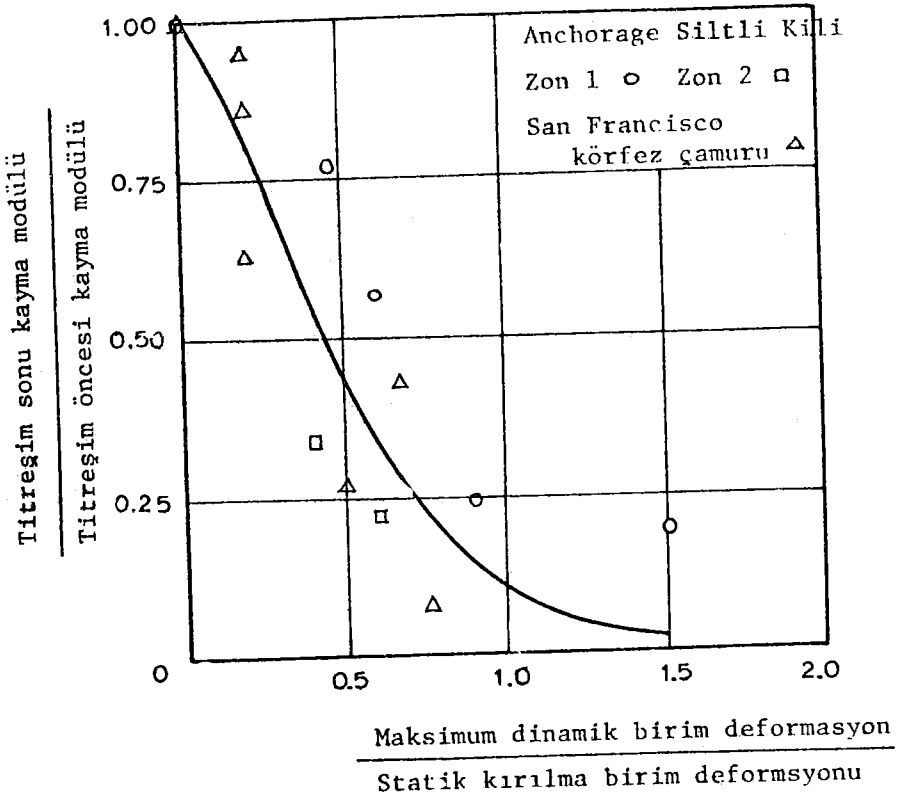
TİTREŞİM SONUNDA KAYMA MODÜLÜ

Titreşimler sırasında killi zeminlerin kayma modülü uygulanan titreşim devir adedi (N) ve süresi ile de değişmektedir. Titreşim devir adedi artıkça, kayma modülü azalmaktadır. Fikir vermek niyetiyle, değişik manyitüd'deki depremler için yaklaşık eşdeğer titreşim devir adetleri, N_{es} , (16) Tablo 1'de verilmiştir.

TABLO I. Deprem Manyitüdü ile Eşdeğer Titreşim Devir Adedi (N_{es}) ve yaklaşık Titreşim Süreleri

Manyitüd (M)	N_{es} (devir)	Titreşim Süresi (San)
5½ - 6	5	8 - 14
6 - 6½	8	14 - 20
7	12	20 - 25
7½	20	25 - 40
8	30	40 - 60

Thiers ve Seed (1968) titreşim sonundaki statik kayma modülündeki değişimi, devri (cyclic) deformasyon oranına bağlı olarak Şekil 3'de ifade etmişlerdir.



Şekil 3- Titreşim sonu kayma modülünün dinamik birim deformasyon oranı ile değişimi

(Thiers ve Seed , 1968)

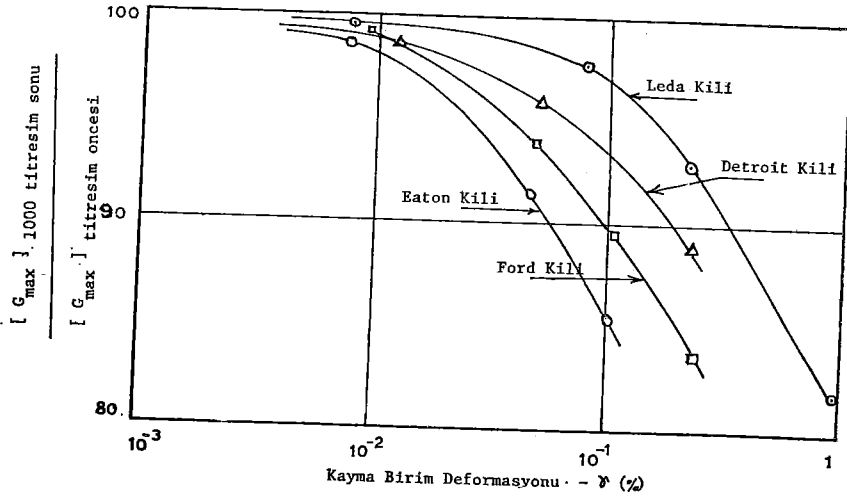
İçi boş silindirik zemin numuneleri üzerinde yüksek genlikli rezonans frekansı tekniği ile yapılan deneylere dayanarak, Anderson ve Richart, kayma modülündeki titreşim sonucu azalmayı, kayma birim deformasyonu genliğine ($\gamma\theta_z$) bağlı olarak,

$$\frac{[G_{\max}] \text{ sonra}}{[G_{\max}] \text{ önce}} = -12.6 \gamma\theta_z + 53.6 \quad (17)$$

şeklinde saptamışlardır.

Burada " G_{\max} sonra" değeri, zemine uygulanan 1000 titreşim devirinden 1.0 dakika sonra elde edilen değerdir. Şekil 4'de, Anderson ve Richart tarafından çeşitli killi zeminler üzerinde yapılan deney sonuçları toplu olarak verilmiştir.

Kohezyonlu zeminlerin titreşimlerin bitiminden sonra tekrar "uzun vadeli" mukavemet kazanmaları ve kayma modüllerinde artım göstermeleri (1), kil yapısında tiksotropik değişimlerin oluşmasına ilişkin bir olaydır. Bu hususunda killi zeminlerin uzun süreli stabilite hesaplarında dikkate alınması gereklidir.



Şekil 4. 1000 titreşim devir adedinden 1 dakika sonra ölçülen " G_{\max} " değerinin kayma birim deformasyonu ile değişimi.

(Anderson ve Richart, 1976)

SONUÇLAR

Killi zeminlerin deprem veya dalgaların etkisi altındaki davranışlarının gerçekçi olarak hesaplanmasında kayma modülündeki değişimlerin dikkate alınması zorunludur. Killi zeminlerin doğrusal olmayan (non-linear) ve titreşim süresi boyunca "esas" özellikleri de değişken olan "gerilme-deformasyon" bağlantıları, aşağıda özetlenen hususları içerdiği şekilde hesaplarda kullanılmalıdır.

(i) Killi zeminlerin kayma modülleri birim deformasyon mertebesine göre değişmektedir. Bu değişim hiperbolik, Ramberg-Osgood veya herhangi başka bir non-lineer bağıntı ile ifade edilmelidir.

(ii) Kohezyonlu zeminlerin kayma modüllerinin titreşim süresince (t) ve artan titreşim devir adedine (N) bağlı olarak azaldığı dikkate alınmalıdır.

(iii) Titreşim sonunda statik kayma modülü değerinin titreşim öncesi değere oranla azaldığı ve bu azalmanın uygulanan birim deformasyon mertebesine bağlı olarak değiştiği hususu kullanılmalıdır.

Zeminlerin dinamik davranışları saptamak gayesi ile kullanılan hesap yöntemlerinde (örneğin SHAKE) eşdeğer lineer varsayımlar (" τ_{ort} ", " γ_{ort} " ve iterasyon ile saptanan ve bütün titreşim süresince sabit " G/G_{max} " değeri, vb) yapılmaktadır. Ancak, titreşimler sırasında tekrarlı "yükleme" ve "boğalma" hallerini de hesaba katabilen ve zaman alanında da non-lineer gerilme deformasyon ilişkilerini içeren hesap yöntemleri bugün için (1977) geliştirilmiştir ve gerçekçi deprem hesabında kullanılması gerekli olmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Anderson, D.G. and Woods, R.D., 1976, "Time Dependent Increase in Shear Modulus of Clay," Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, GT5, 1976, pp. 525-537.
2. Anderson, D.G. and Richart, F.E., 1976, "Effects of Straining on Shear Modulus of Clays," Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, GT9, 1976, pp. 975-987.
3. Arango, I. and Seed, H.B., 1974, "Seismic Stability and Deformation of Clay Slopes," Journal of the Geotechnical Engineering Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 100, GT2, pp. 139-156.
4. Brown, S.F., Lashine, A.K.F. and A.F.L., 1975, "Repeated Load Triaxial Testing of a Silty Clay," Geotechnique, Vol. 25, No. 1, pp. 95-114.
5. Castro, G. and Christian, J.T., 1976, "Shear Strength of Soils and Cyclic Loading," Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, GT9, 1976, pp. 887-894.
6. Erguvanli, A., 1975, "Kohezyonlu Zeminlerin Dinamik Özellikleri," Ph. D. Thesis, ITU, Istanbul Technical Univ.
7. Finn, W.D.L., Lee, K.W. and Martin, G.R., 1976, "An Effective Stress Model for Liquefaction," ASCE National Convention, Philadelphia, Specialty Session, Liquefaction Problems in Geotechnical Engineering, Preprint No. 2752, September 1976.
8. Finn, W.D.L., et al., 1976, "Dynamic Effective Stress Analysis of Sands," submitted to 9th Int. Conf. on SMFE, Tokyo, ½ July 1977.
9. Finn, W.D.L., Lee, K.W. and Martin, G.R., 1975, "Stress Strain Relations for Sand in Simple Shear," U.B.C. Dept. of Civil Eng'rg., Soil Mechanics Series No. 26.

10. Hardin, B.O. and Drnevich, V.P., 1972, "Shear Modulus and Damping in Soils : Design Equations and Curves," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc., ASCE, SM7, 1972, pp. 667-692.
11. Idriss, I.M., Dobry, R., Doyle, E.H. and Singh, R.D., 1976, "Behaviour of Soft Clays Under Earthquake Loading Conditions," Lecture notes from Recent Advances in Earthquake Resistant Design of Structures, Berkeley, June 1976.
12. Joyner, W.B. and Chen, A.T.F., 1975, "Calculation of Nonlinear Ground Response in Earthquakes," Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 65, No. 5, pp. 1315-1336.
13. Kovacs, W.D. and Seed, H.B., 1971, "Dynamic Moduli and Damping Ratio for a Soft Clay," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc., ASCE, SM1, January 1971, pp. 60-75.
14. Kovacs, W.D., Seed, H.B. and Idriss, I., 1971, "Studies of Seismic Response of Clay Banks," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proc., ASCE, SM2, 1971, pp. 441-455.
15. Newmark, N. and Rosenbleuth, E., 1971, "Fundamentals of Earthquake Engineering," Prentice-Hall.
16. Özaydin, K. and Erguvanli, Â., 1976, "Toprak Barajların Dinamik Hesap Yöntemleri," Bulletin of the E.Q. Eng. Institute (D.A.E.), Turkey, No. 13, Deprem Araştırma Enst. Bülteni, Yıl 3, No. 13.
17. Lee, K.L. and Focht, J.A., Jr., 1975, "Strength of Clay Subjected to Cyclic Loading," Marine Geotechnology, Vol. 1, No. 3.
18. Sangrey, D.A., Henkel, J.D. and Esrig, M.I., 1969, "The Effective Stress Response of a Saturated Clay Soil to Repeated Loading," Canadian Geotechnical Journal, Vol. 6, pp. 241-452.
19. Seed, H.B. and Chan, C.K., 1966, "Clay Strength Under Earthquake Loading Conditions," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, American Society of Civil Engineers, Vol. 92, No. SM2, pp. 53-78.
20. Seed, H.B. and Idriss, I., 1970, "Shear Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis," Report No. EERC 70-10, December, Berkeley.
21. Streeter, V.L., Wyler, B.E. and Richart, F.E., 1974, "Soil Motion Computations by Characteristic Method," Journal of the Geotechnical Engineering Division, GT3, pp. 247-263.
22. Taylor, P.W., 1971, "The Properties of Soils Under Dynamic Stress Conditions, with Applications to the Design of Foundations in Seismic Areas," Ph. D. Thesis, Univ. of Auckland, New Zealand.
23. Thiers, G.R. and Seed, H.B., 1969, "Strength and Strees-strain Characteristics of Clays Subjected to Seismic Loading Conditions," American Society of Testing and Materials, Special Technical Materials 450, pp. 3-56.

ALETSEL SİSMOLOJİDE BAZI ANA YÖNTEMLER VE UYGULAMALAR

Ersin BAŞARIR*

SUMMARY

It was desirable to give some basic methods in the field of instrumental seismology and their applications on the available instruments at the Kandilli Observatory. These will be especially on the seismograph systems and their calibration techniques. This study is not involved with the systems including galvanometer.

The methods which are the subjects of this paper are very recently to calculate damping factor of long period seismograph systems on critical damping. For this purpose, several seismograms obtained at different times were investigated and it was found that there was a disagreement (max. \mp 0.11) in the calculated damping factors. According to our consideration the differences are due to noise and digitizing errors.

In this study, seismometer transfer function was evaluated numerically for various damping factors and natural frequencies were calculated by computer. Taking this into account, impulsive responses have been computed using inverse fast Fourier transform.

As a matter of fact, this technique gives a good understanding of the behaviour of seismometer. Hence, one can realize how the seismometer time characteristics will effect the seismograms.

Calibration methods have also been applied to Istanbul Kandilli Observatory (ISK) short period Geotech Seismograph systems to find damping factor, natural frequency, electromotor constant of the seismometer and sensitivity. It was found that various system constants could vary considerably from the values given in the manual.

These results show the necessity of the calibration of the systems at least once a year.

GİRİŞ

Olupları büyük can ve mal kaybına sebep olan depremler hakkında bugün, gerek dünya ülkelerinde ve gerekse memleketimizde, oldukça ileri çalışmalar yapılmakta, maddi ve manevi kayıpları minimuma indirebilmek için hiç bir çabadan kaçınılmamaktadır.

(*) Kandilli Rasathanesi, Sismoloji Bölümü.

Depremlerin yerlerini ve büyüklüklerini hassasiyetle tesbit edebilmek, bunlardan yararlanmak, istatistiksel çalışmalar yapmak ve konu ile ilgili mühendislik problemlerine gereğince değinebilmek için, her şeyden önce yoğun bir sismik istasyon gebekesine ihtiyaç duyulmaktadır. İşte bu nedenle, İstanbul Kandilli Rasathanesi de, ilgili diğer kuruluşlar gibi, ülkemizdeki bu gereksinmeyi duyarak son beş yıl içinde, Türkiyedeki sismik istasyon sayısını 14 e çıkarmıştır. Zamanla sayıları artacak olan bu sismik istasyonlardan elde edilen bilgilerden tam olarak yararlanmak, ancak iyi bir bakım ve rasyonel bir işletim ile mümkün olmaktadır.

Sismograf sistemlerinin kayıtlarından yararlanılarak yapılacak çalışmalar, bu sistemlerin çok iyi bilinmesini, sabitlerinin tayinini, süreleri içinde bakım ve testlerinin yapılmasını gerektirir.

Bu çalışma ile, hem İstanbul Kandilli Rasathanesinin tesis ve işletmesinde olan istasyonlardaki Geotech Helicorder sistem, hem de diğer sismograf sistemleri ile ilgili bilgiler ve teorilerin verilmesi amaçlandı. Söz konusu sistemler hakkında genel teorilere değinirken özelliklerinden doğan teoriler konu dışı tutuldu. Örneğin galvanometreli sistemler teorik olarak incelenmedi, sadece "step-pulse" dan yararlanılarak sönüm sabiti tayininde uzun periyot kayıtlarından faydalanıldı. Bu arada kalibrasyon konusu da incelendi.

ISK "İstanbul Kandilli Rasathanesi Merkez İstasyonu" uzun periyot kayıtlarında değişik tarihlerde alınmış step-pulse'lardan yararlanarak tayin edilen sönüm sabitlerinde ± 0.11 lik bir fark görüldü, bunun büyük ölçüde gürültü (noise) ve kişisel okuma hatalarından ileri geldiği sonucuna varıldı.

Sismometrenin transfer fonksiyonu sayısal olarak, değişik tabii frekans ve sönüm sabitleri için incelendi. Bundan yararlanarak da Ters Fast Fourier transformu ile impulsive respons elde edildi ve zaman karakteristiğinin sismogramlara etkisi görüldü.

Yine bu çalışmada, ISK Batı Anadolu deprem istasyonlarında bulunan Geotech Helicorder sistem hakkında genel bilgiler verilerek sönüm sabiti, tabii frekans, kalibrasyon bobini motor sabiti tayinleri büyütme ve hız duyarlığı uygulamak olarak yapıldı.

1. GENEL TANIMLAR

1.1. SİSMOMETRE, SİSMOGRAF

Yer kabuğunun hareketi ile gelişen depremlerin kaydedilmeleri büyüklüklerinin saptanması, onlarla ilgili kantitatif çalışmaların yapılabilmesi için insanlar bir takım aletlere ihtiyaç duymuşlardır. Sismograf, işte bu gereksinmeler neticesinde geliştirilmiştir. Genel teorileri ileride verilecek bu sistem, genellikle iki ayrı ana üniteden meydana gelir. Birincisi deprem dalgalarından etkilenen yani onları alan sismometre, ikincisi de deprem dalgalarını kaydeden kayıtçı ünitedir. Zamanımızda sismograflar oldukça geliştirilmiş, modern bir düzeye kavuşturulmuşlardır. Sistemde, sismometre ve kayıtçı ünitelerden başka, zaman işareti veren hassas bir saat ünitesi, deprem dalgalarının genliklerini kuvvetlendirici elektronik devreler, filtre sistemleri v.s. bulunur.

1.2 SİSMOMETRELERİN KALİBRASYONU

Kalibrasyonun sebebi elde edilen kayıtlardan, yerin hareketi hakkında bilgi elde edebilmektir. Kalibrasyonu yapılmamış bir sistemde, kantitatif mukayese için bir baz yoktur. Bu sebeple kalibrasyon işlemi sistemin sabitlerinin tayini, çalışmanın gaye ve yerine uygun olarak, büyütme, sönüm, hız ve ivme gibi faktörlerin frekansa (peryoda) göre istenilen şekilde ayarlanmasıdır.

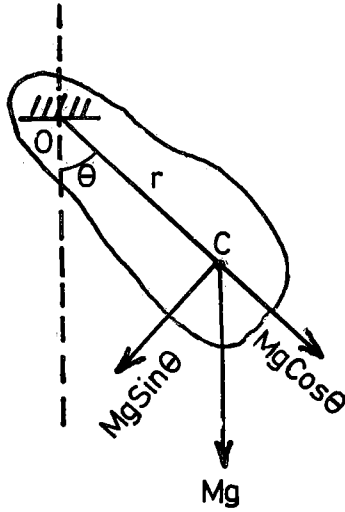
1.3 GENEL SİSMOGRAF TEORİSİ

Bazı ufak farklarla, genel olarak sismometreler bir çeşit sarkaçlardır. Ummiyetle, sarkaç düşünülünce sarkaç kütesinin hareketli olduğu, sarkacın askı noktasının ise sabit kaldığı akla gelir.

Sismolojide ise durum böyle değildir. Askı noktasının, yani yerin ani hareketiyle (depremde), sarkacın kütlesi önce hareketsiz kalmağa çalışır. Salınımına geçen sarkacın üzerine iki kuvvetin etki ettiği görülür. Bu kuvvetlerden biri, sarkaç kütesini, hareket halinde olan askı noktasının yeni durumuna göre dengeye getirecek olan kuvvet, diğeri de birinci kuvvete karşı koyacak şekilde, sarkacın kütesinin atalet momentidir.

1.3.1 Fiziki sarkaç

O askı noktası, C ise kütle merkezi olsun. Bu ikisi arasındaki mesafeye de r diyelim. Askı noktasından, küçük bir θ açısı kadar sarkacı denge durumundan ayıralım. (Şekil 1.3.1.1.)



Şekil 1.3.1.1

Kütle merkezine tesir eden kuvvet $Mg\theta$, geri getirme momenti ise $Mgr\theta$ olur. K ya askı noktasına göre atalet momenti dersek hareketin denklemi

$$K\ddot{\theta} = -Mgr\theta \quad \text{dır.} \quad (1.3.1.1.)$$

Burada $\ddot{\theta}$ zamana göre türevdir.

Bu differansiyel denklemin genel çözümü şöyle yazılabilir.

$$\theta = A \sin \left(\sqrt{\frac{Mgr}{K}} t + B \right) \quad (1.3.1.2.)$$

Bu çözümden fiziki sarkacın hareketinin basit harmonik bir hareket olduğu kolayca görülür. Burada A ve B sabitlerdir.

(1.3.1.2) nin genel çözümünden, öz periyod

$$T_n = 2\pi \sqrt{\frac{K}{Mgr}} \quad \text{şeklinde bulunur.} \quad (1.3.1.3)$$

Boyu l olan basit sarkacın periyodu $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ (1.3.1.4) olduğuna göre,

(1.3.1.3) ve (1.3.1.4) eşitliklerinden $l = \frac{K}{Mgr}$ elde edilirki bu ifadeye de "eş-değer basit sarkaç uzunluğu" denilir.

2. SÖNÜMLÜ SERBEST SALINIM

2.1. SÖNÜM ELEMANI VE BİR SALINIM İÇİN YAPILAN İŞ

Mekanik sistemlerde çeşitli hareketler nedeni ile sistemden enerji kaybolur. Serbest salınım, ilk bakışta sonsuz olarak devam eder gibi görülürse de, aslında bir müddet sonra bu salınım söner. Sistemin serbest titreşimlerini azaltan elemana, SÖNÜM ELEMANI denir.

Sönüm tesirinden önce bir salınım için yapılan işi hesaplıyalım. Kuvvetle hareket, aynı frekansta fakat farklı fazlardadır.

Deplasmanı (X) ve kuvveti (F) aşağıdaki gibi aldığımızda,

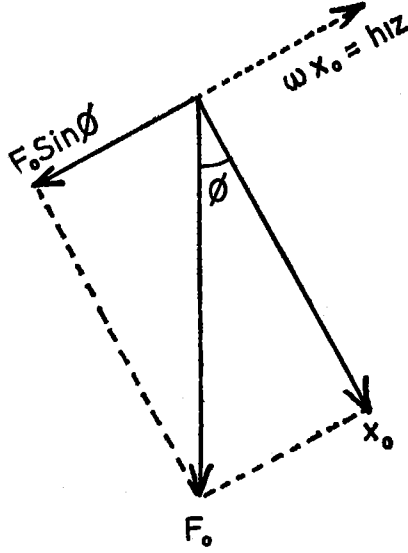
$$X = X_0 \sin \omega t \quad (2.1.1)$$

$$F = F_0 \sin (\omega t + \emptyset) \quad (2.1.2)$$

Bir periyodda yapılan iş :

$$W = \int_0^T F (dx/dt) dt = \chi F_0 X_0 \sin \emptyset \quad (2.1.3)$$

Kuvvet; faz olarak deplasmandan önde ise yapılan iş pozitifdir, geri ise negatiftir. İşin pozitif durumunda, sisteme enerji eklenir, negatif durumunda da enerji azalır. (Şekil 2.1.1)



Şekil 2.1.1

Burada enerji kaybına sebep olan, kuvvetin $F_0 \sin \phi$ bileşenidir. Bu, deplasman ile $\pi/2$ gecikme fazına sahiptir. Hız, deplasmana oranla $\pi/2$ ileride olduğundan, sönüm bileşeni ile hız birbirlerine π kadar zıt fazlı olurlar.

Yayı mekanik sistemlerde yer değiştirmeye dik doğrultuda kuvvet bulunmadığından sistemin enerjisi değişmez.

2.2. SIVI SÖNÜM

Sönüm kuvvetinin hız ile zıt yönlü olması lazımdır. Biz burada sönüm kuvvetinin hızla doğru orantılı olduğu özel ve önemli durumu ele alalım.

Bu durumda; $F_d = -c\dot{x}$ dir. Buna da SIVI SÖNÜM denilir. Burada c sıvı sönüm katsayısıdır.

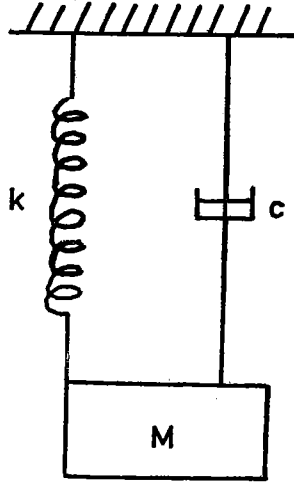
Sönüm elemanı amortisör (dash-pot) olan sıvı sönümlü, yayla asılmış kütle tipinde bir sistem alalım. Birim hız için sönüm elemanı c (din/cm/sec) olduğuna göre serbest salınım için hareket denklemi (Şekil 2.2.1)

$$M\ddot{x} = -kx - c\dot{x} \quad \text{dir. (2.2.1)}$$

Burada k bir sabittir. Bu denklemin çözümünden deplasmanın değeri,

$$x(t) = e^{-\frac{c}{2M}t} \left[A e^{\sqrt{\left(\frac{c}{2M}\right)^2 - \frac{k}{M}}t} + B e^{-\sqrt{\left(\frac{c}{2M}\right)^2 - \frac{k}{M}}t} \right] \quad (2.2.2)$$

bağıntısı ile elde olunur.



Şekil 2.2.1

Bu çözümdeki üstel kareköklerin reel, sıfır veya imajiner oluşuna göre, serbest salınımın tabiatı farklı olur. Bu da, c nin k ve M değerleri ile ilişkisine bağlıdır. Karekökün sıfır olması halinde, c nin değeri $c_c = 2\sqrt{kM}$ olur ki bunada kritik sönüm denir.

Eğer c nin hakiki değeri bu kritik sönüm değerinden az ise, sistem periyodik sönümlü, eşitse kritik sönümlü, fazla ise aperiyojik sönümlü olarak çalışıyor demektir. c nin nümerik değeri yerine c/c_c oranı kullanılır, bu da sistem hakkında daha iyi bilgi verir. $c/c_c = \lambda$ ya SÖNÜM SABİTİ denir. Buna göre ;

$\lambda < 1$ ise, sistem periyodik sönümlü harekete

$\lambda = 1$ ise, sistem kritik sönümlü harekete

$\lambda > 1$ ise, sistem aperiyojik sönümlü harekete sahiptir.

$$\lambda = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{kM}} = \frac{c}{2M\sqrt{k/M}} = \frac{c}{2M\omega_n}$$

Bu eşitlikde ω_n söndürülmüş tabii açısal frekanstır. λ nın bu değerleri için hareket denklemlerini yeniden yazalım.

$$\ddot{X} + (c/M) \dot{X} + (k/M) X = 0$$

$$\ddot{X} + 2\lambda\omega_n \dot{X} + \omega_n^2 X = 0 \quad (2.2.3)$$

Çözüm de şu şekli alır.

$$x(t) = e^{-\lambda \omega_n t} \left[A e^{\sqrt{\lambda^2 - 1} \omega_n t} + B e^{-\sqrt{\lambda^2 - 1} \omega_n t} \right] \quad (2.2.4)$$

2.2.1 Periyodik sönümlü sistem

$\lambda (< 1$ için (2.2.3) hareket denkleminin çözümü

$$x(t) = e^{-\lambda \omega_n t} \left[A e^{i\sqrt{1-\lambda^2} \omega_n t} + B e^{-i\sqrt{1-\lambda^2} \omega_n t} \right]$$

$$x(t) = e^{-\lambda \omega_n t} x_m \sin(\sqrt{1-\lambda^2} \omega_n t + \phi) \quad (2.2.1.1)$$

şeklini alır.

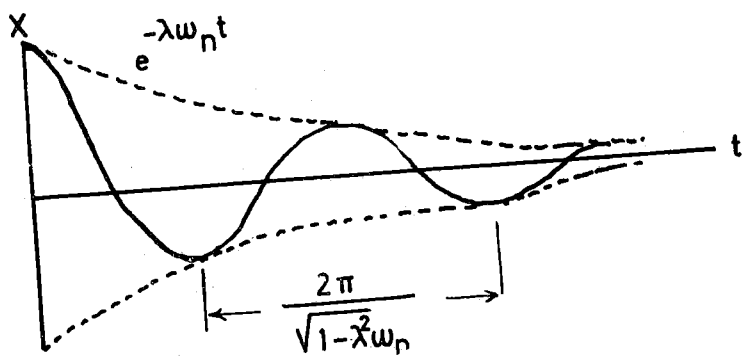
Burada X_m amplitüt değeri, $\sqrt{1-\lambda^2} \omega_n$ açısal frekansına sahip olan ve eksponansiyel olarak azalan bir sinüzoidal fonksiyonu ile ifade edilir. (Şekil 2.2.1.1)

$\phi = 0$ için hareket $t = n\pi / \sqrt{1-\lambda^2} \omega_n$ de sıfır olur. ($n = 1,2,3,\dots$)

$$t = \frac{(2n+1)\pi}{2\sqrt{1-\lambda^2} \omega_n} \text{ de } \mp e^{-\lambda \omega_n t} X_m \text{ olur ve ekstremum da}$$

$$t_m = \frac{1}{\sqrt{1-\lambda^2} \omega_n} \tan \frac{-1\sqrt{1-\lambda^2}}{\lambda} \text{ dadr.}$$

Hareket tekrarlanmadığı için periyodik değildir. Fakat faz noktaları periyodik olarak tekrarlanmaktadır. Bu durumda da hareket yalnızca periyodik hareket olur.



Şekil 2.2.1.1

2.2.2 Kritik sönümlü sistem

$\lambda = 1$ kritik sönümü için çözüm

$$X(t) = e^{-\omega_n t} [C_1 + C_2 t] \quad (2.2.2.1) \text{ şeklinde olur.}$$

Bu hareket, salınım hareketi değildir. Kritik sönüm toplam sönümün en küçük olduğu durumdur ve salınımsız serbest titreşimdir.

2.2.3 Aperiyojik sönümlü sistem

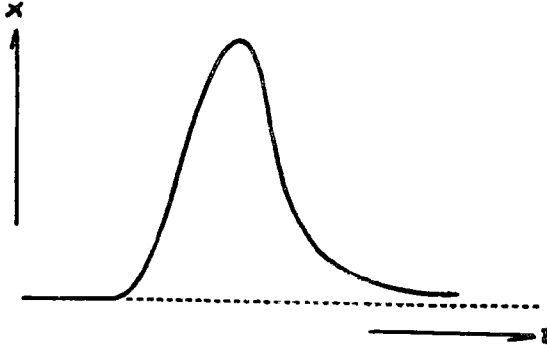
Bu durumda, (2.2.4) ün çözümü olduğu gibi kullanılır ve üstel fonksiyon hiperbolik olarak yazılır.

$$X(t) = e^{-\lambda \omega_n t} [c_1 \text{Cosh} \sqrt{\lambda^2 - 1} \omega_n t + c_2 \text{Sinh} \sqrt{\lambda^2 - 1} \omega_n t] \quad (2.2.3.1)$$

Burada cosh ve Sinh salınımlı olmadıkların $X(t)$ salınımlı değildir. $\sqrt{\lambda^2 - 1} < \lambda$ olduğundan (2.2.4) ifadesindeki her iki üstel terim, zamana bağlı olarak azalır.

Aperiyojik serbest titreşimde, bir salınım hareketi yoktur. Sarkaç bir yönde gider, hareket maksimuma ulaşır, sonra denge durumuna gelir. (Şekil 2.2.3.1) Denge durumundan geçerek ilk hareketin aksi yönünde bir hareket olmaz.

Çoğunlukla aperiyojik sönüm modern sismograflarda kullanılır.



Şekil 2.2.3.1

2.3 KURU SÜRTÜNME (COULOMB SÖNÜMÜ)

Parçaları birbirine sürtünen herhangi bir mekanik sistemde, sürtünmeden dolayı bir sönüm olacaktır. Buna Coulomb sönümü denilir. Sismograf Sistemi için istenilmeyen bir sönüm olduğundan, bunu minimum yapacak bir düzen düzenlenmiştir. Sürtünme kuvveti, sürtünen yüzeylerin sertliğine ve bunlara beraberce baskı yapan dik kuvvete tabidir. Kuvvet daima hıza göre ters yöndedir.

Pivot kullanılmıg bazı eski aletlerde ve iğne ile isli kağıda veya mürekkep akıtan kalemle kağıda kayıt yapan aletlerde bu sönüm mühimdir.

Salınım sisteminde, sürtünme kuvveti, hızın arttığı iki çeyrek devir/saniye boyunca karşıt kuvvete zıt yönlüdür. Hızın azaldığı diğer iki çeyrek devir/sani-

ye boyunca da kargıt kuvvetle aynı yöndedir. Bu hareket iki eşitlikle ifade edilebilir. Biz bunu kütle - yay sistemini kullanarak yapalım. Sonra herhangi bir sisteme uygulayabiliriz.

F sürtünme kuvveti olduğuna göre,

$$M\ddot{x} = -kx + F \quad x \text{ azalıyor, maksimumdan minimuma gidiyor}$$

$$M\ddot{x} = -kx - F \quad x \text{ artıyor, minimumdan maksimuma gidiyor.}$$

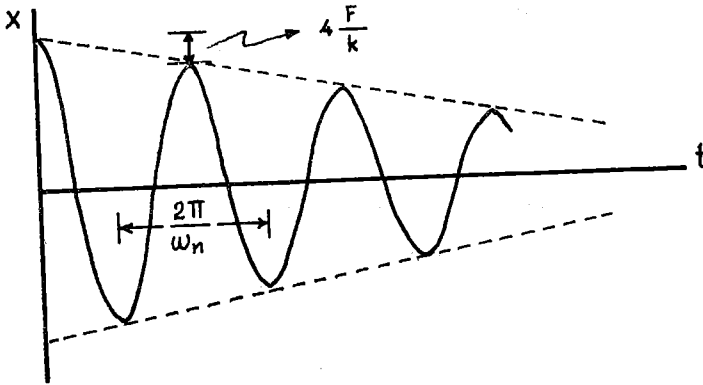
F, x den mustakil olduğundan, bu lineer olmayan bir titreşimdir.

$x(0) = x_0$ ve $\dot{x}(0) = 0$ için ilk yarım devir/saniyede hareket

$$x(t) = (x_0 - F/k) \cos \omega_n t + F/k \quad (2.3.1)$$

Bir yarım devir/saniye sonra

$$x\left(\frac{\pi}{\omega_n}\right) = -x_0 + 2F/k \quad \text{dır} \quad (2.3.2)$$



Şekil 2.3.1

Birbuçuk devir/saniyede amplitüt $\frac{2F}{k}$ kadar azaldı. Bir tam devir/saniyeden sonra amplitüt $x_0 - 4F/k$ olur. Bu sebeple her devir/saniye için amplitütteki azalış $4F/k$ dir ve lineer bir azalışdır.

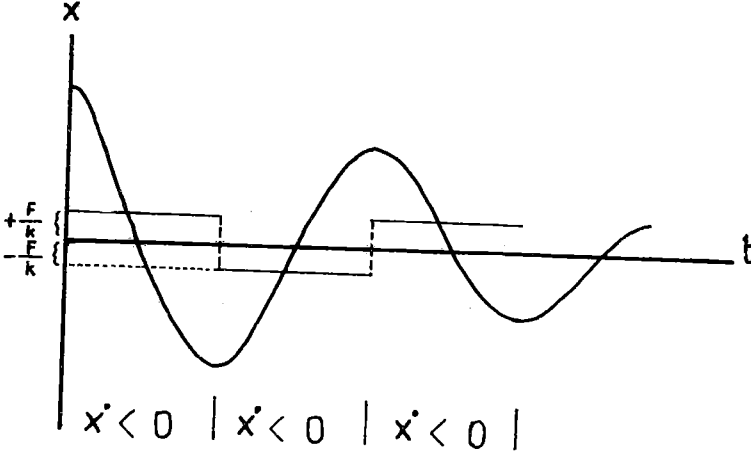
Peryod Coulomb sönümü ile değişmez. Toplam sürtünme, hareketin azalışını gözlenerek deneysel yolla elde edilir. Hareket sonsuz devam etmez.

Amplitüt kafi derecede küçüldüğünde, yani sistemin yer değiştirmesi çok küçük olduğunda $kx < F$ dönüm noktasında, sistemin

$$M\ddot{x} = -k(x \mp F/k)$$

ifadesi ile verilen hareketinde, sıfırı kayar.

Her yarım devir/saniyede sıfır durumunun F/k kadar kayması halinde, kayan sıfırın durumuna göre basit bir harmonik hareket düşünüleceğinden, sür-



Şekil 2.3.2

tünme kuvveti hıza zıt yöndedir. (Şekil 2.3.2.). F/k hesaplanarak sürtünmeye sebep olan ivme bulunabilir.

2.4 KATI SÖNÜM

Sürtünmenin minimumuma indirildiği modern aletlerde dahi hysteresis yüzünden elastik elemanlarda kayıp vardır. Sistem tarafından emilen enerji her devir/saniye sırasında basınçla orantılıdır.

Kati sönüm, sıvı sönümün azalışı ile mukayese edilince bunun ufak bir tesir olduğu görülür. Bu sebeple de ayrı olarak analiz edilemez, sıvı sönümle beraber düşünülür.

Bir devir/saniye için hesaplanmış enerji, toplam sıvı sönüm için de hesaplanabilir.

2.5 SÖNÜM SABİTİNİN HESAPLANMASI

Sönüm değerine göre sistemin niteliklerinin değiştiğini, yani sönüm sabitinin (λ), sistemdeki önemini, evvelki bölümlerde görmüştük.

Aşağıda sönüm sabitinin hesaplanmasında kullanılan metotlardan ikisi verilmektedir.

2.5.1. Logaritmik Metot

Peryodik sönümlü harekete sahip yani $\lambda < 1$ olan bir sistemde (2.2.1.1) ifadesini göz önüne alalım. Bu ifade $T/2$ aralıklarla sıfır olur.

$$\sqrt{1 - \lambda^2} \omega_n \frac{T}{2} = \pi \quad (2.5.1.1)$$

buradan

$$\frac{T}{2} = \frac{\pi}{\omega_n \sqrt{1-\lambda^2}} \quad (2.5.1.2)$$

Bu titreşim hareketinin, birbirini takip eden ekstremumlardaki amplitütlerinin oranı ise,

$$\frac{X_m}{X_{m+1}} = \frac{e^{-\lambda\omega_n t}}{e^{-\lambda\omega_n (t+T)}} \quad (2.5.1.2)$$

Bu orana, sönüm oranı da denilir. (2.5.1.2) ifadesi kullanılarak logaritmik dekrement

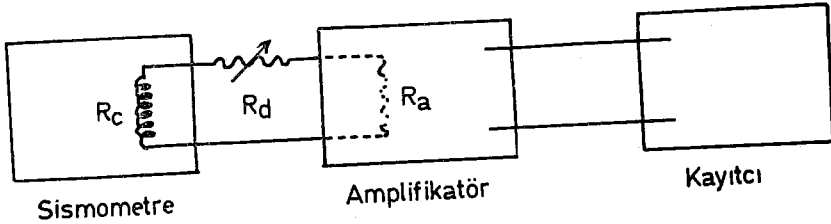
$$\Lambda = \ln \frac{X_m}{X_{m+1}} = \frac{2\pi\lambda}{\sqrt{1-\lambda^2}} \quad (2.5.1.4)$$

olarak bulunur veya,

$$\lambda = 1/\sqrt{1 + \frac{4\pi^2}{\Lambda^2}} \quad \text{dir} \quad (2.5.1.5)$$

On tabanına göre logaritma kullanılarak sönüm sabiti

$$\lambda = \frac{0,36647 \Lambda}{\sqrt{1 + 0,134299 \Lambda^2}} \quad \text{olur.} \quad (2.5.1.6)$$



Şekil 2.5.1

Şekil (2.5.1) deki gibi bir sistem alalım. Sismometre kütlesini ya üzerine çok az bir ağırlık koyup hemen kaldırarak veyahut sismometrenin kalibrasyon bobinine çok kısa bir doğru akım vererek sahınma geçirelim. Kayıtcıda elde edeceğimiz kaydın zarfının logaritmik olması gerekir (Şekil 2.2.1.1) Aksi halde sismometrenin içinde bir mekanik sürtünme vardır. Eğer böyle bir durum varsa, sismometre kütlesinin merkezlenmesini bir daha kontrol etmek gerekir.

İstenilen şekilde elde edilen kayıttan herhangi birbirini takip eden, taşlanmamış iki sıfır-tepe (zero to peak) amplitüt okunarak logaritmik dekrementten sönüm sabiti bulunur. (2.5.1.4, 2.5.1.5, 2.5.1.6 eşitlikleri)

Şekil (2.5.1) de görüldüğü gibi seri olarak bağlanan R_d direncinin değişen değerlerine göre sönüm sabiti de değişeceğinden, istenilen sönümü elde etmek mümkündür. (Bölüm 5 de geniş uygulama verilmiştir)

2.5.2. Step -pulse'dan yararlanılarak sönüm sabitinin tayini

Bu usul genellikle sönüm sabitinin bire yakın olduğu durumlarda kullanılır.

Sisteme tesir eden harici kuvvet $f(t)$ ise, (2.2.3) eşitliği

$$\ddot{x} + 2\lambda n \dot{x} + n^2 x = f(t) \quad \text{şeklini alır.} \quad (2.5.2.1)$$

Hareket denkleminin Fourier transformu,

$$[(j\omega)^2 + 2\lambda n (j\omega) + n^2] X(\omega) = F(\omega) \quad (2.5.2.2)$$

$$\begin{cases} X(\omega) \\ F(\omega) \end{cases} = \int_{-\infty}^{\infty} \begin{cases} x(t) \\ f(t) \end{cases} e^{-j\omega t} dt \quad (2.5.2.3)$$

Burada ω açısal hızı ifade etmektedir.

Mekanik sismometrelerin sistem fonksiyonu $\varphi(\omega)$ ise,

$$\varphi(\omega) = X(\omega)/F(\omega) = 1/[(j\omega)^2 + 2\lambda n (j\omega) + n^2] \quad (2.5.2.4)$$

Doğru (direct) ve ters (inverse) Fourier transformunun sistem fonksiyonu ve impuls tepki $k(t)$ (impulsive respons) ile bağıntısı,

$$\varphi(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} k(t) e^{-j\omega t} dt \quad (2.5.2.5)$$

$$k(t) = 1/2\pi \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad \text{dır.} \quad (2.5.2.6)$$

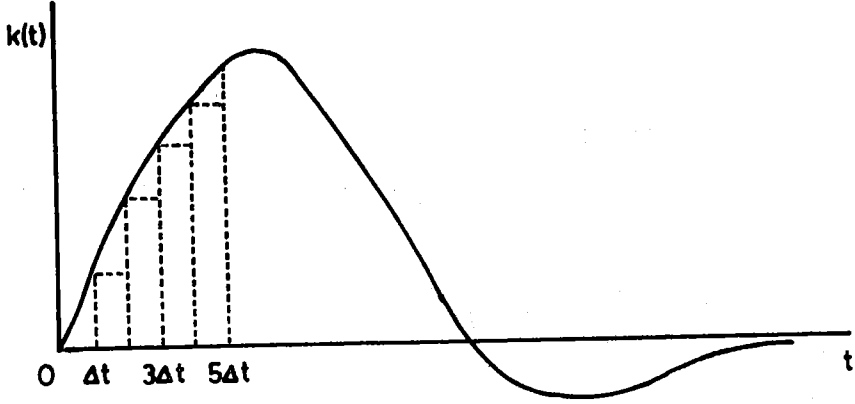
Pratik olarak (2.5.2.4.) eşitliği A, bir sabit olmak üzere,

$$\varphi(\omega) = A/[(j\omega)^2 + 2\lambda n (j\omega) + n^2] \quad (2.5.2.7)$$

şeklinde kullanılır. (f_n : öz frekans, $n = 2\pi f_n$)

Burada, sistem fonksiyonu ve impuls tepki, doğru ve ters Fourier transformu ile ifade edilmiştir.

İmpuls tepki, çok sayıda pulsların toplamı olarak ifade edilebilir. Bu pulsların her biri $2\Delta t$ genişliğinde ve $k(t)$ yüksekliğindedir. (Şekil 2.5.2.1)



Şekil 2.5.2.1

Bu sebeple $k(t)$ şu şekilde yazılabilir.

$$k(t) = \sum_{m=0}^{\infty} k[(2m+1)\Delta t] \left\{ u[t - 2m\Delta t] - u[t - 2(m+1)\Delta t] \right\}$$

(2.5.2.8). Burada $u(t)$ birim step fonksiyondur.

$$u(t - 2m\Delta t) = 1 \quad t > 2m\Delta t$$

$$u(t - 2m\Delta t) = 0 \quad t < 2m\Delta t$$

$$m = 0, 1, 2, \dots$$

(2.5.2.8) eşitliğinin Fourier transformu yaklaşık olarak,

$$\varphi(\omega) = 2\Delta t \sin \Delta t \omega / \Delta t \omega \sum_{m=0}^{\infty} k[(2m+1)\Delta t] e^{-(2m+1)\Delta t j\omega} \quad (2.5.2.9)$$

(2.5.2.9) dir. Bu ifadenin ω nın artan kuvvetlerine göre açılımı ise,

$$\begin{aligned} \varphi(\omega) &= 2\Delta t \sum_{m=0}^{\infty} k[(2m+1)\Delta t] \\ &- 2\Delta t^2 \sum_{m=0}^{\infty} (2m+1) k[(2m+1)\Delta t] j\omega \\ &+ 2\Delta t^3 \left\{ \frac{1}{2!} \sum_{m=0}^{\infty} (2m+1)^2 k[(2m+1)\Delta t] + \frac{1}{3!} \sum_{m=0}^{\infty} k[(2m+1)\Delta t] \right\} (j\omega)^2 \\ &- 2\Delta t^4 \left\{ \frac{1}{3!} \sum_{m=0}^{\infty} (2m+1)^3 k[(2m+1)\Delta t] - \frac{1}{3!} \sum_{m=0}^{\infty} (2m+1) k[(2m+1)\Delta t] \right\} (j\omega)^3 \end{aligned}$$

$$(2.5.2.10)$$

Aynı yolla (2.5.2.7) eşitliği de

$$\varphi(\omega) = A \left[\frac{1}{n^2} - \frac{2\lambda}{n^3} j\omega + \frac{4\lambda^2 - 1}{n^4} (j\omega)^2 - \frac{2\lambda(4\lambda + 2)}{n^5} (j\omega)^3 + \dots \right]$$

(2.5.2.11) şeklinde seriye açılır. Burada bilinmeyen olarak A, λ ve n vardır.

(2.5.2.10) ve (2.5.2.11) eşitliklerinden, aynı kuvvetten olan terimlerin mukayesesi ile sismometrenin sönüm sabiti ile birlikte diğer sabitleri de aşağıdaki gibi elde edilir.

$$2\lambda \frac{A}{n^3} = 2\Delta t^2 \sum_{m=0}^{\infty} (2m+1) k \left[(2m+1) \Delta t \right] \equiv b$$

$$(4\lambda^2 - 1) \frac{A}{n^4} = 2\Delta t^3 \left\{ -\frac{1}{2!} \sum_{m=0}^{\infty} (2m+1)^2 k \left[(2m+1) \Delta t \right] + \frac{1}{3!} \sum_{m=0}^{\infty} k \left[(2m+1) \Delta t \right] \right\} \equiv c$$

Böylece sönüm sabiti, $\lambda^2 = b^2/4(b^2 - ac)$ olarak elde edilir. Ayrıca frekans da

$$f_n = \frac{\sqrt{a^2/(b^2 - ac)}}{2} \quad \text{olarak bulunur.}$$

Bu metodun uygulaması olarak, İstanbul Kandilli Rasathanesi uzun periyod kayıtlarından okunan pulslar, hazırlanan bilgi sayar programı ile değerlendirilerek, sönüm sabiti aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. (Tablo 2.5.2.1) Ancak muhtelif tarihlerdeki kayıtlardan alınmış pulsların okunmalarından hesaplanan sönüm sabitleri arasında ∓ 0.11 civarında bir fark görülmüştür. Bunun da pulslara binen bozucu tesirler (noise) ve bilhassa amplitüt okumaları sırasındaki bireysel yanlışlardan ileri geldiğini söylemek yerinde olur.

$2m+1 = m'$	$k(m' \cdot \Delta t)$	$m' k(m' \cdot \Delta t)$	$m'^2 \cdot k(m' \cdot \Delta t)$
1	40	40	40
3	48	144	432
5	39	195	975
7	34	238	1666
9	25	225	2025
11	16	176	1936
13	10	130	1690
15	6	90	1350
17	3	51	867
19	2	38	722
	+	+	+
	223	1327	17703

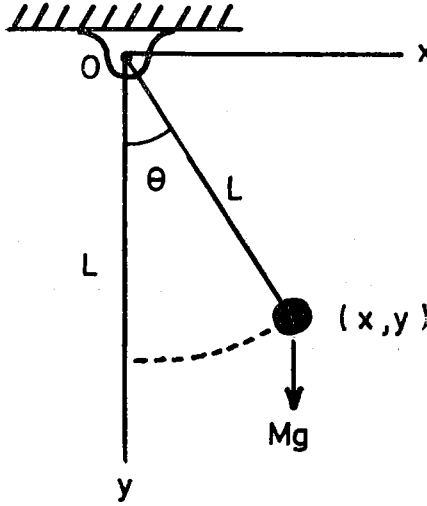
$$\begin{aligned} a &= 223 \cdot \Delta t & &= 446 \\ b &= 1327 \cdot \Delta t^2 & &= 5308 \\ c &= (17703/2 + 223/6) \Delta t^3 & &= 47109 \\ \lambda &= 0.9916 \end{aligned}$$

3. SERBESTLİK DERECEŚİ BİR OLAN SİSTEMİN, SIVI SÖNÜMLÜ ZORUNA HAREKETİ

Konuya girmeden evvel, serbestlik derecesi bir olan sistemden ne anlıyoruz kısaca onu açıklamaya çalışalım.

3.1 SERBESTLİK DERECEŚİ BİR OLAN SİSTEM

Sistemler, genel olarak birçok kütle partikülleri ihtiva ederler. Bu partiküller arasındaki ilişki, sadece bir koordinat sistemi ile ifade ediliyorsa, sistemin durumuna, serbestlik derecesi bir olan sistem denilir. Bu durum, sistemin bütün kütlelerinin boşluktaki geometrik yeri ile ifade edilir.



Şekil 3.1.1

Serbestlik derecesi bir olan sisteme en iyi örnek olarak basit sarkacı alalım. Şekil (3.1.1) de görülen basit sarkaç X-Y düzleminde hareket etmektedir. Bu durum dik kartezyen koordinatlar sisteminde $x(t)$ ve $y(t)$ ile veya sarkacın yer değiştirmesi $\theta(t)$ ile tarif edilir. x, y koordinatları müstakil olmayıp, $x^2 + y^2 = L^2$ bağıntısı ile ilişkilidirler. L sarkacın uzunluğu olduğundan değişmez ve bir sabit gibi düşünülebilir. Şayet $x(t)$ seçilirse, bağıntıdan $y(t)$ bulunabilir.

3.2 KÜTLEYİ ETKİLEYEN, HARMONİK HAREKET KUVVETİ İÇİN HAREKET DENKLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Kütle, sistemin bir derecelik serbestlik yönünde, etki eden kuvvet $f(t)$ ise hareket,

$$M\ddot{x} = -kx - c\dot{x} + f(t) \quad (3.2.1)$$

$$\ddot{x} + 2\lambda\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x = f(t)/M \quad (3.2.2)$$

Bu eşitlik genel rotasyon için genelleştirilirse, $f(t)$ kuvvetten ziyade hareket

momenti haline gelir. Bu diferansiyel eşitliğin tamamlayıcı fonksiyonunu daha evvel bulmuş ve (2.2.4) ile vermiştik. Fizik manada bu ifade sistemin serbest salınımını gösterir ve çözümün sönümlü kısmıdır. λ ya bağlı olarak zamanla azalımı oldukça çabuktur. Kısmi integral sistemin tepkisini, $f(t)$ nin değerine bağlı olarak göstererek (3.2.2) eşitliğine Laplace transformunu uygulayalım.

$$L[\ddot{x}(t)] = -x(0) + s \dot{x}(0) \quad (3.2.3)$$

Bu, birinci türevin Laplace transformu olur. Aynı şekilde ikinci türevin Lap-

lace transformu da $\dot{x}(0) = x(0) = 0$ kabul edilerek,

$$L[\ddot{x}(t)] = s^2 L[\dot{x}(t)] \quad (3.2.4)$$

$$L[\dot{x}(t)] = \dot{x}(s) \quad L[f(t)/M] = F(s)$$

$$s^2 X(s) + 2\lambda\omega_n s X(s) + \omega_n^2 X(s) = F(s) \quad (3.2.5)$$

$$X(s) [s^2 + 2\lambda\omega_n s + \omega_n^2] = F(s) \quad (3.2.6)$$

$$X(s) = F(s) / (s^2 + 2\lambda\omega_n s + \omega_n^2) = F(s) / (s - s_1)(s - s_2)$$

$$= A / (s - s_1) + B / (s - s_2)$$

$$= (As - As_2 + Bs - Bs_1) / (s - s_1)(s - s_2) \quad (3.2.7)$$

$$s^2 = \omega_e^2 \quad s_1, s_2 = (-\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}) \omega_n$$

olduğu dikkate alınarak,

$$X(s) = (F_0/M) \left[\omega_e / (s - s_1)(s - s_2)(s - i\omega_e)(s + i\omega_e) \right]$$

$$= (F_0 \omega_e / M) \left[(A / (s - s_1) + B / (s - s_2) + C / (s - i\omega_e) + D / (s + i\omega_e)) \right] \quad (3.2.8)$$

(3.2.8) ifadesinden,

$$A = 1/2\sqrt{\lambda^2 - 1} (s_1^2 - \omega_e^2) \omega_n$$

$$B = -1/2\sqrt{\lambda^2 - 1} (s_1^2 - \omega_e^2) \omega_n$$

(3.2.9)

$$C = 1/(i\omega - s_1)(i\omega - s_2)2i\omega_e$$

$$D = -1/(i\omega - s_1)(i\omega - s_2)2i\omega_e$$

elde edilir. Netice olarak,

$$X(t) = \frac{F_0}{M} \left[\frac{\omega_n^2 - \omega_e^2}{(\omega_n^2 - \omega_e^2)^2 + (2\lambda\omega_e\omega_n)^2} \cdot \sin\omega_e t + \frac{-2\lambda\omega_n\omega_e}{(\omega_n^2 - \omega_e^2)^2 + (2\lambda\omega_e\omega_n)^2} \cdot \cos\omega_e t \right] \quad (3.2.10)$$

bulunur. Bunu da $X_m \sin(\omega_e t + \varphi)$ şeklinde yeniden şöyle yazabiliriz.

$$X_m = \frac{F_0/M}{\left[(\omega_n^2 - \omega_e^2)^2 + (2\lambda\omega_e\omega_n)^2 \right]^{1/2}} \quad (3.2.11)$$

ve

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{-2\lambda\omega_e\omega_n}{(\omega_n^2 - \omega_e^2)} \quad (3.2.12)$$

Kararlı denge hareketinin amplitüt ve fazı için de (3.2.11) ve (3.2.12) eşitliklerinden,

$$X_m = \frac{F_0/k}{\left[\left(1 - (\omega_e/\omega_n)^2\right)^2 + (2\lambda\omega_e/\omega_n)^2 \right]^{1/2}} \quad (3.2.13)$$

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{-2\lambda(\omega_e/\omega_n)}{1 - (\omega_e/\omega_n)^2} \quad (3.2.14)$$

elde edilir.

Kuvvetin deplasmandan önde olması halinde, enerji verdiğini aksi durumda ise sistemin duracağını bulmuştuk. Deplasman x, f kuvvetinden φ kadar geri kalsın, $x, x_m \sin(\omega_e t - \varphi)$ şeklinde yazılır.

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{2\lambda (\omega_e/\omega_n)}{1 - (\omega_e/\omega_n)^2} \quad (3.2.15)$$

olur.

$\tan(-\varphi) = -\tan(\varphi)$ olarak kullanılmıştı. Netice olarak, sinüszoidal tatbik kuvvetinin, kararlı denge tepkisi sinüszoidal bir harekettir ve (3.2.15) de verilen açı kadar da tatbik kuvvetinden geridir. Amplitüt de (3.2.13) de verildiği şekildedir.

3.3 FAZ VE AMPLİTÜT TEPKİSİ

(3.2.13) ile X_m amplitütünü ω_e/ω_n nın fonksiyonu olarak vermiştik. Bu sistemin harmonik amplitüt tepkisidir.

F_0/k yı F_0 sabit kuvvetinin doğurduğu deplasman olarak tarif ederek ve bunu da x_{st} ile göstererek, boyutsuz olarak kararlı denge amplitüt tepkisi yazılabilir. Bu durumda (3.2.13) ifadesi,

$$\frac{X_m}{X_{st}} = \frac{1}{[(1 - (\omega_e/\omega_n)^2)^2 + (2\lambda \omega_e/\omega_n)^2]^{1/2}} \quad (3.3.1)$$

şeklini alır.

$\omega_e/\omega_n = 0$ için $x_m/x_{st} = 1$ dir. x_m/x_{st} sifara yaklaştıkça ω_e/ω_n bütün λ değerleri için çok büyür. Rezonans durumunda ise $\omega_e/\omega_n = 1$ yani $\omega_e = \omega_n$ dir. Rezonans tepkisi de,

$$x_r/x_{st} = 1/2\lambda \quad \text{olur.} \quad (3.3.2)$$

Sönüm faktörü sifara yaklaştıkça, bu rezonans tepkisi de sonsuz olarak büyür. $\omega_e/\omega_n = \sqrt{1 - 2\lambda^2}$ de tepe tepkisi (peak response) meydana gelir ve bunun değeri de

$$x_p/x_{st} = 1/(2\lambda \sqrt{1 - \lambda^2}) \quad \text{dir.} \quad (3.3.3)$$

Sistemin öz frekansı sönümlü veya sönümsüz olduğunda bu tepki olmaz. Sadece $\lambda \leq \sqrt{2}/2$ olduğunda frekans (ω_p) reeldir.

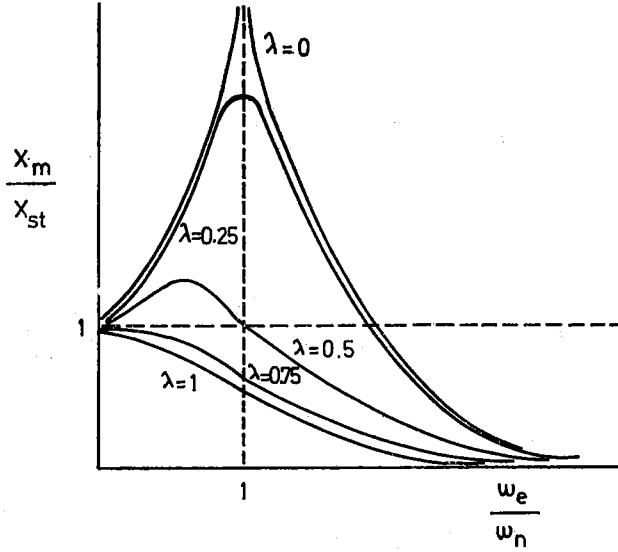
Daha büyük sönüm faktörü değerleri için, en büyük tepki $\omega_e = 0$ da olur. Uygulanan frekans arttıkça da tepki yeknesak olarak azalır. Açıklanan bu durumlar şekil (3.3.1) de görülmektedir.

Sönümsüz durum için, $\omega_e/\omega_n > 1$ ve faz açısı dikkate alınarak, amplitüt tepki mutlak değer olarak,

$$x_m/x_{st} = |1/[1 - (\omega_e/\omega_n)^2]| \quad (3.3.4)$$

Deplasmanın tatbik kuvvetinden geri kaldığı faz açısı φ (3.2.15) de verilmişti. Bu daima $\omega_e = 0$ da sıfırdır, rezonansda $\pi/2$ dir ve yüksek frekanslarda π ye yaklaşır.

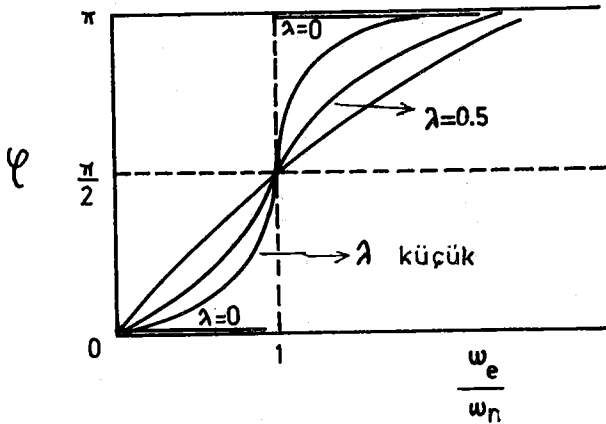
Sıfır sönümde de rezonans frekansının altında, deplasman tatbik kuvvetiyle aynı fazda, rezonans üzerindeki değerlerde ise π kadar dışındadır. $\pi/2$ ka-



Şekil 3.3.1

dar geri kalış, bu frekansa tatbik kuvvetinin sönüme karşı enerjisini sarfetmesindedir (Şekil 3.3.2) .

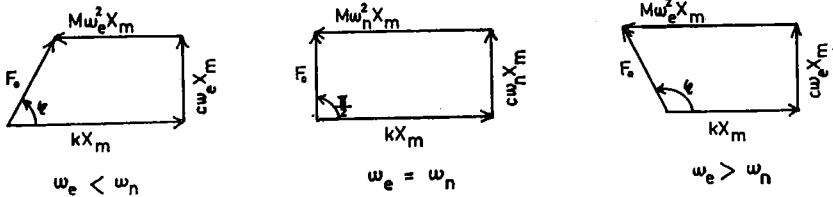
$\ddot{c}x$ ve $f(t)$ eşit ve zıt fazdadırlar. Çünkü atalet terimi $M\ddot{x}$ ve gerilme kuvveti kx eşittirler. Rezonans durumunda ise bu bağıntı, $M\ddot{x} = -M\omega_e^2x = -M\omega_n^2x = -kx$ dir Alçak frekanslar için $M\ddot{x} < kx$ ve gecikme açısı $\pi/2$ den daha azdır. Rezonans üzerindeki durumda ise, $M\ddot{x} > kx$ ve açı $\pi/2$ den daha büyüktür. Çok yüksek frekanslarda, $M\ddot{x}$ terimi ω_e^2 sebebi ile tamamen hakimdir, tatbik kuvveti ile pratik olarak aynı fazdadır. Yahutta deplasman ile π kadar farklı fazdadır (Şekil 3.3.3).



Şekil 3.3.2

$$M\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F_0 \sin(\omega_e t) \quad , \quad x = x_m \sin(\omega_e t + \varphi)$$

$$M\omega_e^2 x_m \sin(\omega_e t + \varphi + \pi/2) + c\omega_e x_m \sin(\omega_e t + \varphi + \pi/2) + kx_m \sin(\omega_e t + \varphi) = F_0 \sin \omega_e t$$



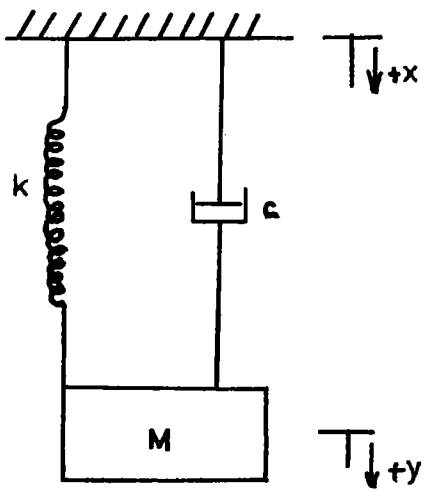
Şekil 3.3.3.

Sistemde göze çarpan sönümün ($\lambda \sim 1$) iki tesiri vardır. Bunlardan biri serbest salınımın çözümün geçici kısmını vermesi ve çabuk azalmasıdır. Diğeri de amplitüt tepki eğrisinin yassılaşmasıdır. Bu sebeple tepki gereği kadar geniş frekans aralığında hemen hemen aynıdır. Bu iki tesir de sismometrelerde istenilen hususlardır.

3.4 ASKI ÇERÇEVESİNİN HAREKETİNE SİSTEMİN TEPKİSİ

Sismometrelerin temel prensiplerinden biri de askı çerçevesinin hareketine sistemin tepkisidir. Bu da TRANSFER FONKSİYONU olarak kullanılır. Askı Çerçevesinin hareketinin sistemin bir derecelik serbestliği yönünde olduğunu kabul edelim. Kütleyle etkileyen kuvvet, yay, pivot, askı teli, sönüm elemanı v.s. arasındaki bağlantılardan geçerek, kütle ve askı çerçevesine iletilir. İdeal sismometrelerde, parçalar arasında mükemmel esneklikde bağlantılar olacağından, kuvvet nakli olmayacak dolayısıyla kütle hareket etmeyecektir.

Basit olarak kütle-yay-sönüm elemanından oluşan sistemi alalım. y sismometre kütesinin, x de askı çerçevesinin, sistemin bir derecelik serbestlik doğrultusundaki yer değiştirme miktarı olsun (Şekil 3.4.1).



Şekil 3.4.1

Hareketin ifadesi,

$$M\ddot{y} + c\dot{y} + ky = -M\ddot{x} \quad \text{olur.} \quad (3.4.1)$$

Bölüm (3.2) deki düşüncü ve yolla hareket ederek, transfer fonksiyonunu bulalım.

$$\ddot{y} + (c/m)\dot{y} + (k/M)y = -\ddot{x} \quad (3.4.2)$$

$$s^2Y(s) + \frac{c}{M}sY(s) + \frac{k}{M}Y(s) = -s^2X(s) \quad (3.4.3)$$

$$\frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{s^2}{s^2 + \frac{c}{M}s + \frac{k}{M}} \quad (3.4.4)$$

$$T(i\omega) = \frac{(i\omega)^2}{(i\omega)^2 + \frac{c}{M}(i\omega) + \frac{k}{M}} \quad (3.4.5)$$

$$\omega_n^2 = \frac{k}{M}, \quad 2\lambda\omega_n = \frac{c}{M} \quad \text{olduğu hatırlanarak,}$$

$$T(i\omega) = \frac{(i\omega)^2}{(i\omega)^2 + \frac{c}{M}(i\omega) + \frac{k}{M}} \quad (3.4.5)$$

$$T(i\omega) = \frac{(i2\pi f)^2}{(i2\pi f)^2 + 2\lambda\omega_n(i2\pi nf) + \omega_n^2} \quad (3.4.6)$$

elde edilir.

(3.4.6) eşitliğinin, kompleks aritmetikte, bilgi sayarda 0.090 frekans aralıkları ile, ω_n nin 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 ve 10.0 değerleri ve her ω_n değeri için λ nın 1.0, 0.75, 0.50, 0.25, 0.00001 ~ 0 değerleri ile çözümü, hazırlanan bilgi sayar programıyla hız, ivme ve deplasman için yapılmıştır.

Elde edilen değerlerin milimetrik kâğıda noktalanması sonucu, meydana gelen eğrilerden bazıları Şekil 3.4.2. - a, b, c de verilmiştir. Şekillerden de görüleceği gibi, haliyle ω_n değeri büyüdükçe, deplasmanın 1.0 amplitütüne yaklaşması da, daha büyük frekanslarda olmaktadır. ω_n nin bütün değerleri için, λ nın, 0.50 den itibaren küçülen değerlerinde, deplasmanda yaklaşık olarak ω_n değerinde, bir maksimum meydana gelmektedir. Bu maksimumdan sonra da eğrinin inmesi doğaldır. λ değerleri küçüldükçe de tepe daha belirli olarak ortaya çıkmaktadır.

Halbuki tatbikatta deplasmanda böyle bir maksimum durumundan ziyade $\lambda = 1.00$ ve $\lambda = 0.75$ durumlarında görüldüğü gibi belirli bir frekanstan sonra, amplitüdün hemen hemen sabit kalışı sonucu ortaya çıkan deplasman eğrisi kullanılır.

Bu açıklamalardan da anlaşılacağı üzere, bölüm (1.2) de de söylendiği gibi, çalışma gayesine uygun deplasman, hız ve ivme değerlerini almak mümkündür.

Şimdi de yine şekil (3.4.1) i alarak kütlein askı çerçevesine göre izafi yer değiştirmesi görelim.

$$z(t) = y(t) - x(t) \quad \text{dir.} \quad (3.4.7)$$

Kütleyi etkileyen yay kuvveti ise,

$$-k(y - x) = -kz \quad \text{dir ve} \quad (3.4.8)$$

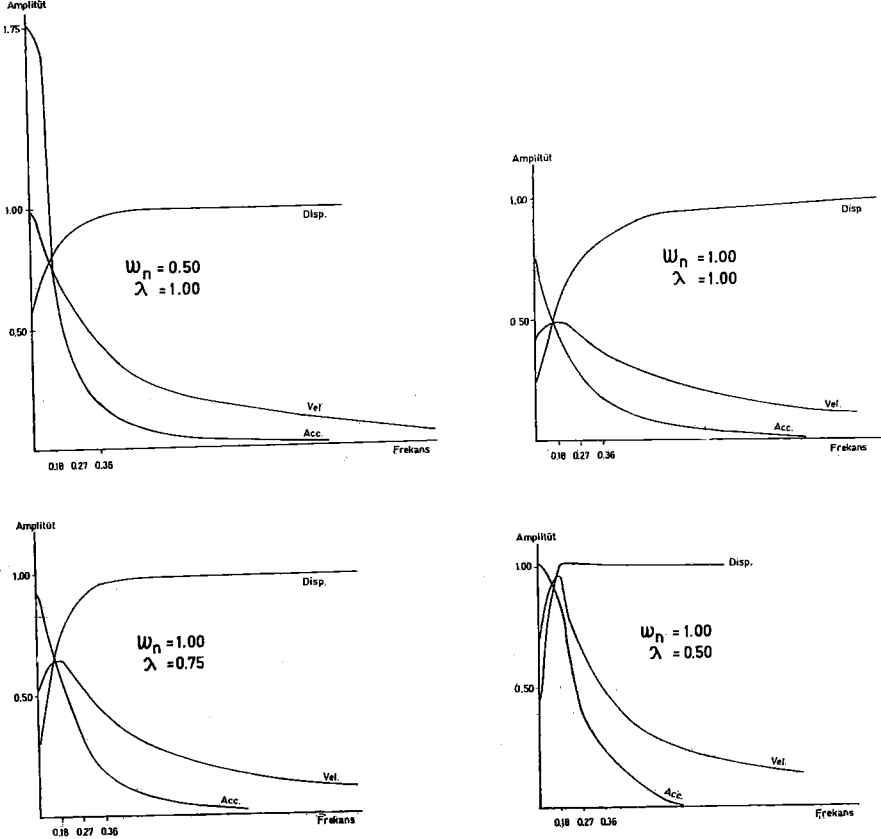
sönüm elemanı için kullanılan kuvvet de,

$$-c(\dot{y} - \dot{x}) = -c\dot{z} \quad \text{olduğuna göre} \quad (3.4.9)$$

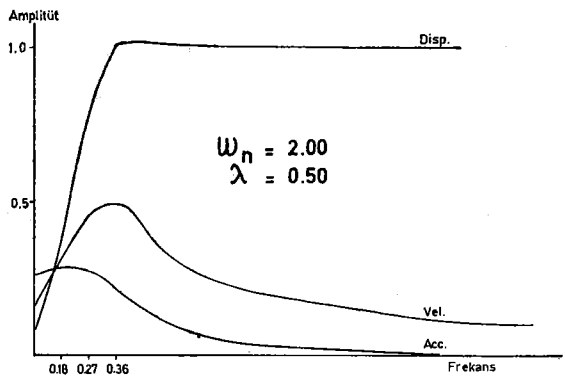
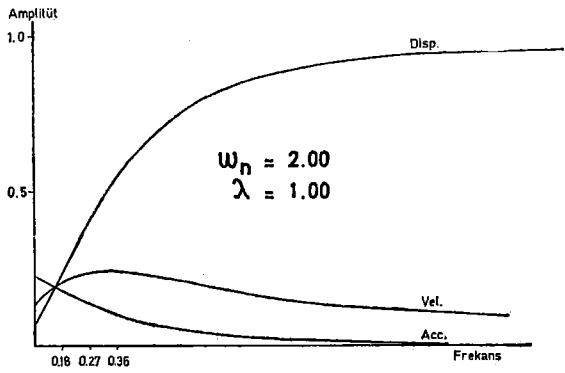
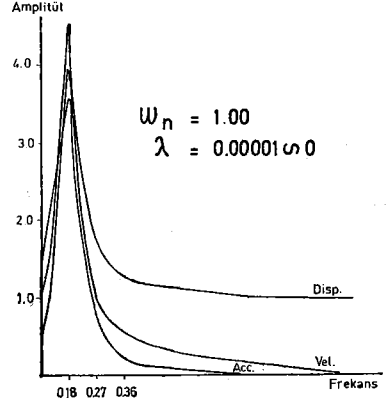
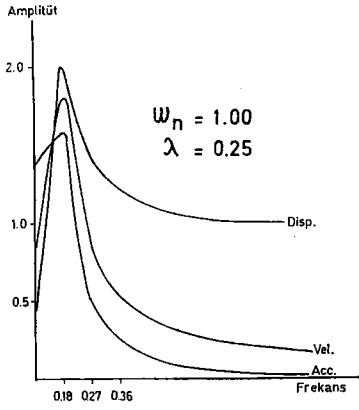
hareketin ifadesi,

$$m\ddot{z} = -kz - c\dot{z} \quad \text{olarak yazılabilir.} \quad (3.4.10)$$

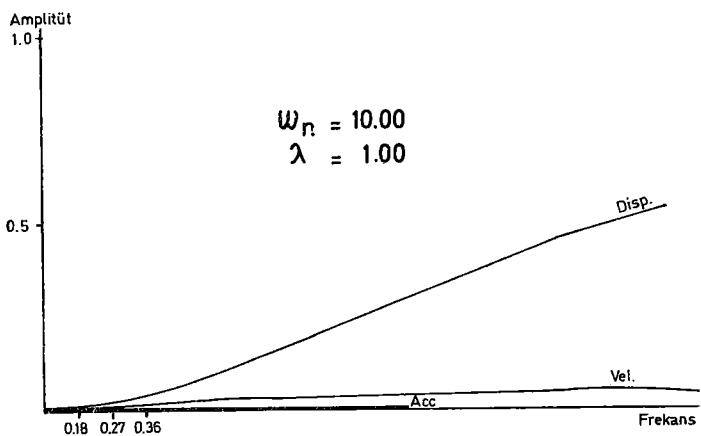
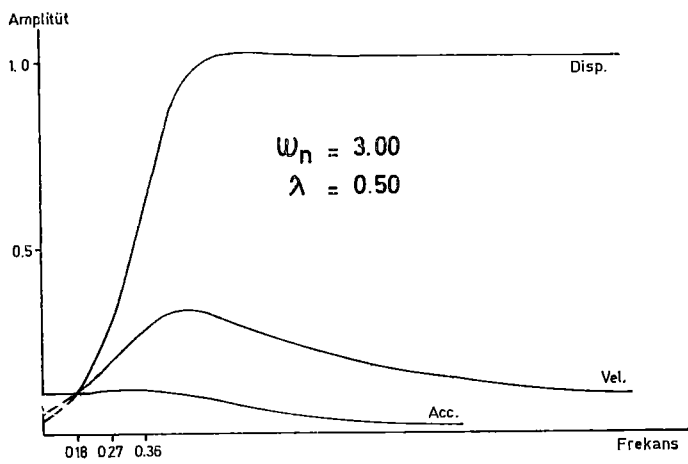
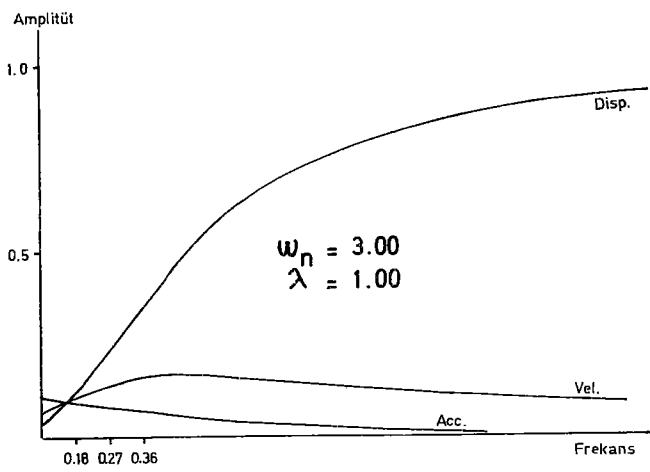
Transfer Fonksiyonu



Şekil 3.4.2 - a



Şekil 3.4.2 - b



Bu ifadeyi mutlak yer değiştirme y, için çözebiliriz. Fakat burada izafi hareket ile ilglendiğimizden, çözümde bunu dikkate alacağız.

Eğitliğin her iki tarafından $M\ddot{x}$ çıkaralım.

$$M\ddot{z} + c\dot{z} - kz = -M\ddot{x} \quad \text{şeklini alır.} \quad (3.4.11)$$

İzafi hareketin bu ifadesi (3.2.1) ile verilen zoruna salınım ifadesi ile identiktir ve, $f(t) = -M\ddot{x}$ dir.

Buradan görüldüğü gibi, kütleli askı çerçevesine göre hareketi (izafi hareket) askı çerçevesinin hareketsiz ve kuvvet $-M\ddot{x}$ ye eğit olduğu ve doğrudan kütleli etkilediği zamanki hareket gibidir. İfade kütleli bölünerek asıl eğitlik elde edilir.

$$\ddot{z} + 2\gamma\omega_n\dot{z} + \omega_n^2z = -\ddot{x} \quad (3.4.12)$$

Bu genelleştirilmiş ifade, herhangi bir sistem için müzakere edilebilir.

şayet sistemde, kütle mil üzerinde dünüyorsa bu durumda, kütle üzerinde z ye uyan kütle noktası hesaplanmalıdır.

şimdi yerin deplasmanı,

$$x(t) = X_0 \sin\omega_e t \quad \text{olarak verilsin} \quad (3.4.13)$$

$$-\ddot{x} = \omega_e^2 X_0 \sin\omega_e t \quad \text{dir ve problem bölüm} \quad (3.4.14)$$

(3.2) de temas edilen durumun $F_0 = M\omega_e^2 X_0$ eğitliği ile aynıdır. (ω_e tatbik kuvvetinin açısal frekansdır)

Evvvelce gördüğümüz gibi serbest salınım lar söndürülür. Kararlı denge durumunun çözümü olan (3.2.11) eğitliğinden hareketle,

$$F_0/k = (M/k)\omega_e^2 X_0 = (\omega_e/\omega_n)^2 X_0 \quad \text{elde edilir.} \quad (3.4.15)$$

Neticede zaman ortamında çözüm de bölüm (3.2.) deki dünüş ve yolla ters Laplace transformu alınarak,

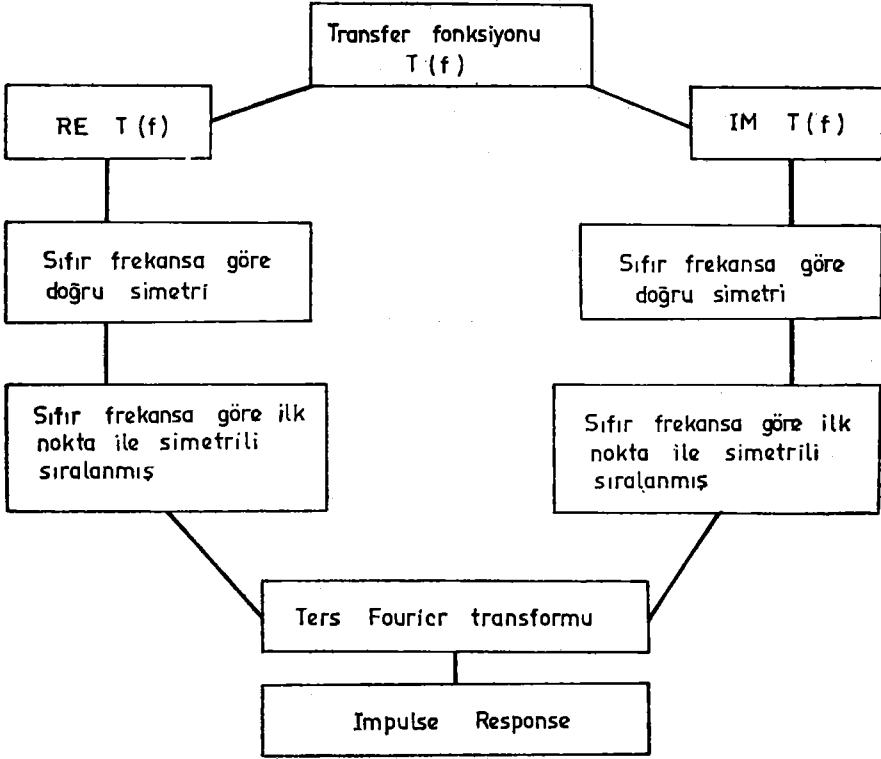
$$z(t) = \frac{X_0 (\omega_e/\omega_n)^2 \sin(\omega_e t - \varphi)}{\left[\left(1 - \left(\frac{\omega_e}{\omega_n} \right)^2 \right)^2 + \left(2\gamma \frac{\omega_e}{\omega_n} \right)^2 \right]^{1/2}} \quad (3.4.16)$$

İzafi hareket z veya onun türevleri \dot{z} veya \ddot{z} , sismograf tarafından kaydedilen kemiyetlerdir.

z nin durumu, aletin tepki karakteristiğinden hesaplanır. Sistemin doğrudan z yi kayıt ettiğini kabul edersek (3.4.16) eğitliği bize tepkiyi verir.

3.4.1. Sistemin zaman fonksiyonunun sayısal olarak özümü (Impulsive response)

Frekans ortamında dünüşülen, transfer fonksiyonunun (3.4.6 eğitliği) kompleks aritmetikte elde edilen değerinin, ters Fourier transformu alınarak, deği-



Şekil 3.4.1.1

şimin zaman ortamında aldığı durumu görmek mümkündür. Bu da Blok Diyagram (3.4.1.1) e göre yapılır.

$$\text{RE } T = T_R = |T(f)| \cos\theta$$

$$\text{IM } T = T_I = |T(f)| \sin\theta$$

olarak transfer fonksiyonunun reel ve imajiner kısımları hesaplanır.

Fourier transformu için, transfer fonksiyonunun reel ve imajiner kısımları orta nokta veya sıfır frekansı ile doğru ve ters simetrikli olarak düzenlenmiştir.

$$t(z) = \frac{1}{N} \sum_{W=0}^{N-1} (T_R(W) + iT_I(W)) e^{2\pi i W Z / N}$$

$$W = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

$$Z = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

Burada $M \leq N/2$ dir. W , frekans indeksi, Z zaman indeksidir. N bağıntıya göre seçilir ve $N = 1/\Delta z \cdot \Delta f$ dir. Buradan da Δz , seçilen zaman aralığı, Δf de seçilen frekans aralığıdır. (Cooley - Tukey, 1965)

Bölüm (3.4.) de elde edilen eğrileri çizilen deplasman, hız, ivme değerlerinden, yukarıda anlatılan şekilde hareketle, sadece hız tepkilerini bulduk. Bu-

lunan bu değerlerden çizilen eğriler, Şekil (3.4.1.2 - a, b) de görülmektedir. Bundan da anlaşılacağı gibi, λ değeri küçüldükçe salınım artmakta, yani hızın zamanına göre sönümü de daha geç olmaktadır.

3.4.2 Büyütme veya deplasman duyarlılığı

(3.4.16) eşitliğinde X_0 sebebiyle z , bir çok hallerde küçüktür. Bu yüzden istifade edilebilir bir kayıt elde edebilmek için yer hareketi, mekanik, optik, elektromagnetik veya elektronik olarak büyütüldükten sonra kayıt edilir.

Genel olarak büyütme 100 - 100.000 arasında yapılır. 100.000 büyütmenin üzerine çıkılması ciddi bir teknik güçlük doğurmaz. Fakat pratikte büyütmenin sınırı, aletsel teknikten ziyade, istasyon yerinin gürültü (noise) seviyesine bağlıdır.

(3.4.16) eşitliğinde z yi büyütme için kullanılan faktör V_0 aletin bir sabiti olup, buna STATİK veya GEOMETRİK BÜYÜTME denilir. Bu durumda kaydedilen amplitüt,

$$a(t) = V_0 z(t) \quad \text{dir.} \quad (3.4.2.1)$$

Bundan da anlaşılacağı gibi, izafi yer değiştirmenin bir sabitle çarpımı bize, kaydedilen amplitütü vermektedir. Biz statik büyütme olarak sadece bunu anlayacağız. Bu da, (3.4.16) ve (3.4.2.1) eşitliklerinden,

$$a(t) = V_0 z(t) = \frac{V_0 \left(\frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2 X_0 \sin(\omega_e t - \varphi)}{\left[\left(1 - \left(\frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + \left(2\lambda \frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2 \right]^{1/2}} \quad (3.4.2.2)$$

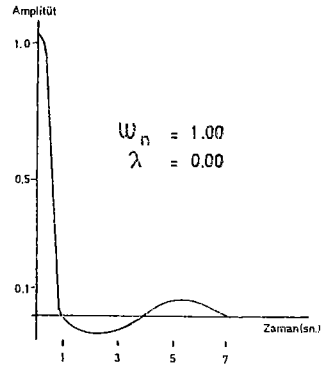
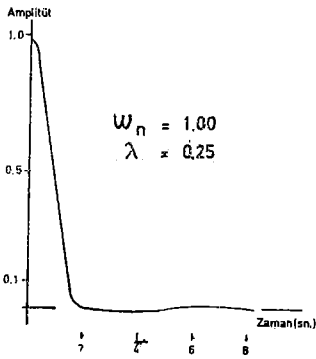
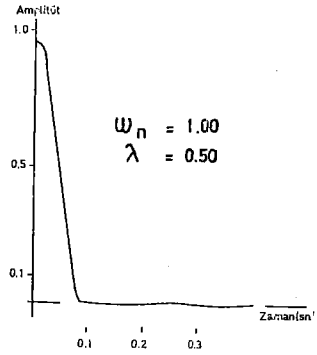
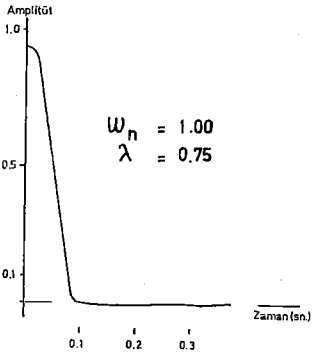
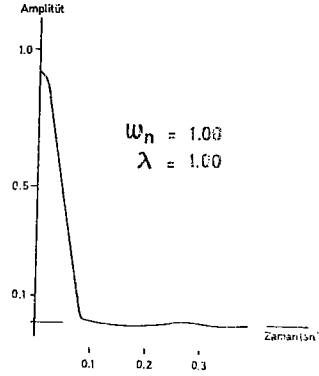
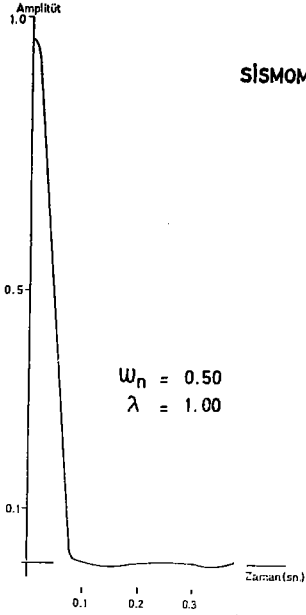
Yerin deplasmanının aletle hakiki büyütmesi, a/x dir. a ve x bir salınımda aynı fazda olmakla beraber, zamanları farklıdır. Kaydedilen amplitüt a_m ve yerin amplitütü X_0 olarak alındığında, elde edilen büyütme veya deplasman duyarlılığı,

$$V = a_m / X_0 = \frac{V_0 \left(\frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2}{\left[\left(1 - \left(\frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + \left(2\lambda \frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2 \right]^{1/2}} \quad (3.4.2.3)$$

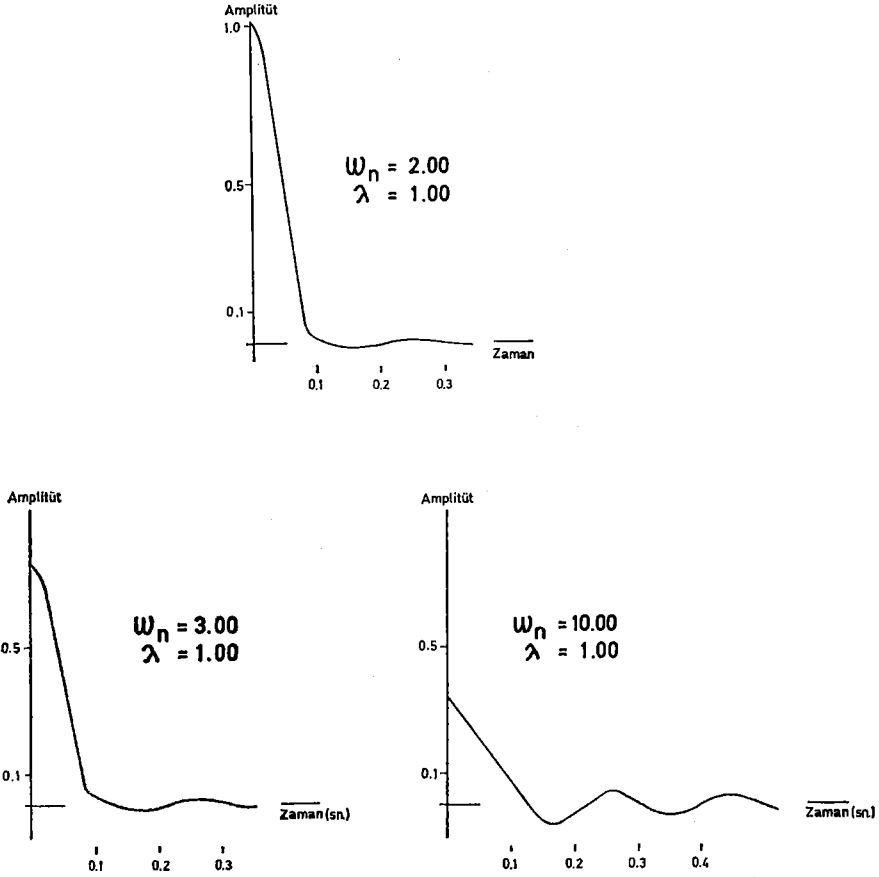
Bu basit sismograflarda, frekansın fonksiyonu olarak şöyle yazılabilir.

$$V/V_0 = \frac{\left(\frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2}{\left[\left(1 - \left(\frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + \left(2\lambda \frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2 \right]^{1/2}} \quad (3.4.2.4)$$

SİSMOMETRENİN ZAMAN KARAKTERİSTİĞİ



Şekil 3.4.1.2.a



Şekil 3.4.1.2.b

Sismolojide, frekansın 1 devir/sec. dan az olması genel hal olduğundan ve periyot oranlarının alınması daha uygun olacağından,

$$V/V_0 = \frac{1}{\left[\left(1 - \left(\frac{T_e}{T_n}\right)^2\right)^2 + \left(2\lambda \frac{T_e}{T_n}\right)^2 \right]^{1/2}} \quad \text{yazılabilir.} \quad (3.4.2.5)$$

(3.4.2.4) ifadesindeki tepki fonksiyonu, (3.3.1) eşitliği ile verilen x_m/x_{st} ifade-

sinden, paydaki $\left(\frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2$ terimi kadar farklıdır. (3.4.2.4) eşitliğinin önemli sonuçları şöyle olur.

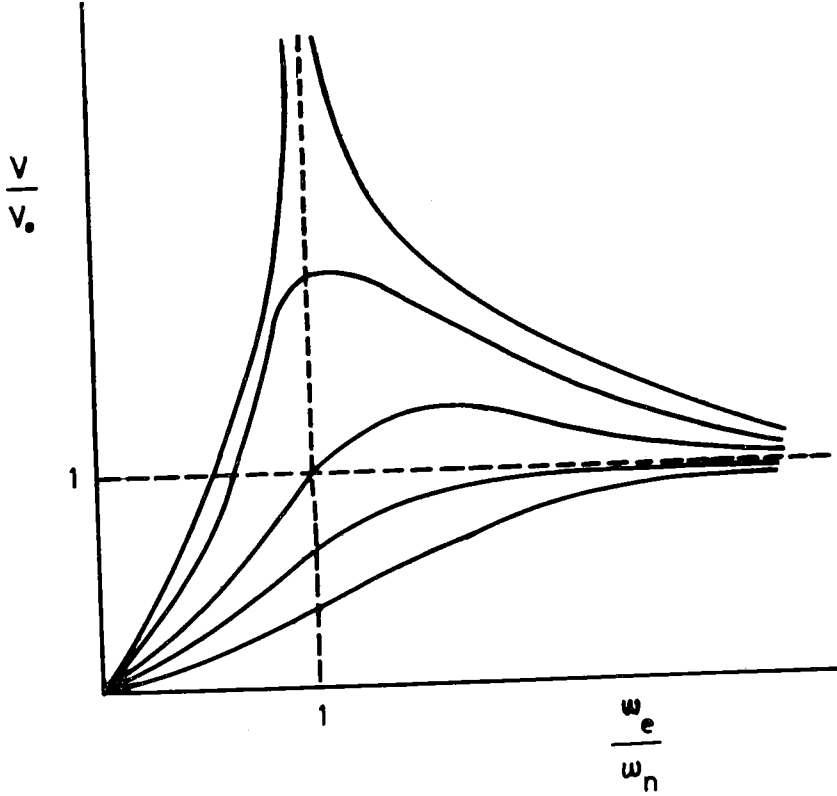
1. $V = 0$ da $\omega_e/\omega_n = 0$ dır, bu çok düşük yer salınım frekanslarında izafi bir hareketin olmadığını gösterir.

2. V, V_0 ra yaklaştıkca ω_e/ω_n sonsuza yaklaşır, Bu durumda da çok yüksek yer salınım frekanslarında mutlak bir hareketin bulunmadığı görülür.

3. $V/V_0 = 1/2\lambda$ ise $\omega_e/\omega_n = 1$ olur, bu rezonans tepkisidir.

4. $V_p/V_0 = 1/2 \lambda \sqrt{1-\lambda^2}$ ise, $\omega_e/\omega_n = \omega_p/\omega_n = 1/\sqrt{1-\lambda^2}$ dir.

Büyütmenin veya amplitüt tepkisinin bu neticeleri toplu olarak Şekil 3.4.2.1 de görülmektedir.



Şekil 3.4.2.1

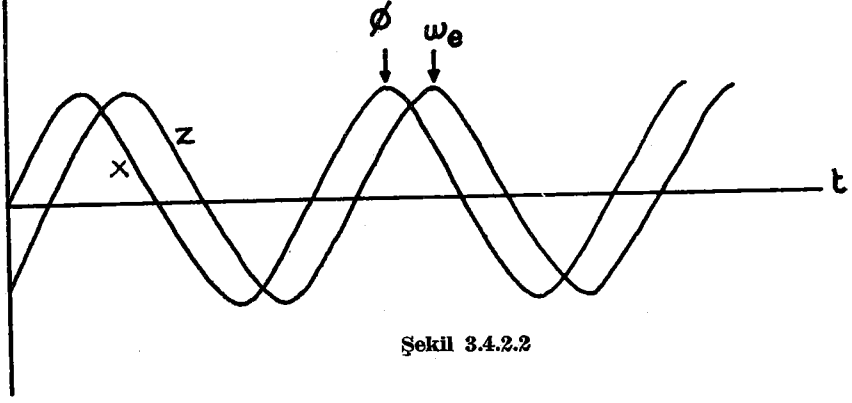
Tepe büyütme, rezonans frekansının üzerinde ve maksimum da sadece $\lambda \leq \sqrt{2}/2$ için $d/d(\omega_e/\omega_n)$. $V/V_0 = 0$ da olur. Yüksek frekanslarda bütün sönüm değerleri için V, V_0 ra yaklaşır.

$$\text{Faz tepkisi } \varphi = \tan^{-1} \frac{2\lambda (\omega_e/\omega_n)}{1 - (\omega_e/\omega_n)^2} \quad \text{dir.}$$

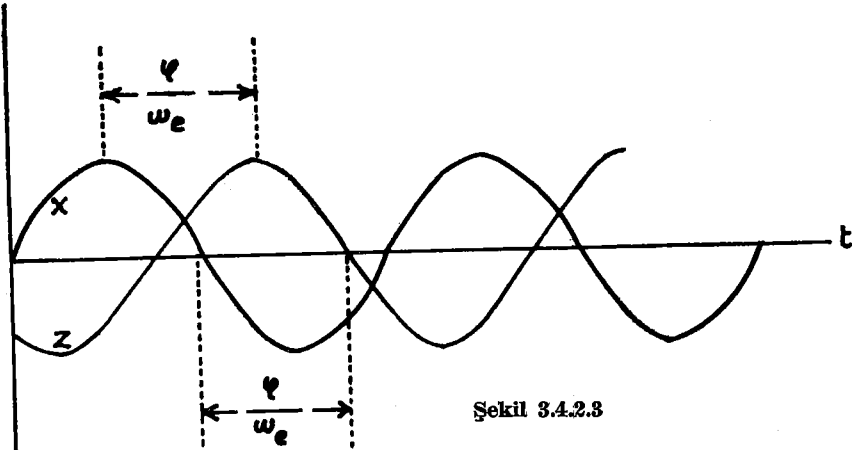
Bu açı izafi hareket z'nin, yerin hareketi x'se göre gecikmesidir. Değişimi şekilde görüldüğü gibi ω_e/ω_n ye bağlıdır.

Sismografin faz tepkisinden bahsederken, büyütülmüş ve kaydedilmiş z için dikkat etmek gerekir. Kütle ile kayıt arasındaki optik veya mekanik bağlantı yapılırken, genel olarak göstergenin hareketi z nin yönüne göre ayarlanır. Yani kayıttaki izin hareketinin (aşağıya veya yukarıya) bilinen bir yer hareketi için, hangi yönde olduğu tesbit edilir.

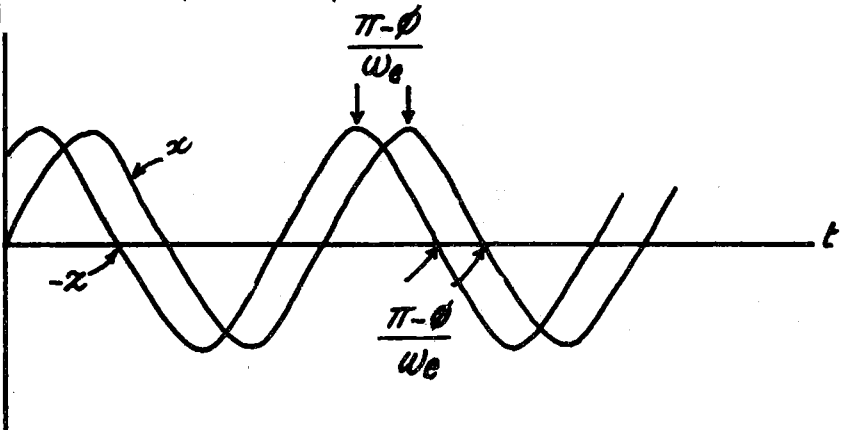
Kütlenin hareketsiz kaldığı, hızlı yer hareketinde z yaklaşık olarak x 'den 180° geridir. Bu şekilde z ters çevrilir. Bu halde kayıttaki izin yer değiştirmesi, yerin yer değiştirmesinden $\pi - \varphi$ kadar öndedir. Bu, zaman olarak da $(\pi - \varphi) / \omega_e$ dir. (Şekil 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.4.2.4)



Şekil 3.4.2.2



Şekil 3.4.2.3



Şekil 3.4.2.4

3.4.3. Deplasmanmetre

$\omega_e/\omega_n \gg 1$ özel durumunu alalım. $V/V_o \approx 1$, $\varphi \approx \pi$ dir. Bu durumda, $a(t) \approx -V_o \ddot{x}(t)$ dir ve kayıta yerin deplasmanı büyütülmüştür. Kaydedilen yerin frekansına oranla ω_n küçük olmalıdır. Aletin verdiği deplasman kaydı, bir sabitle çarpılarak elde edilmiştir. T_n nin geniş değerleri için askı çerçevesinin gevşek kuplajı uygundur (k küçük). Bu durumda alet deplasmanmetre olarak çalışır. Görülüyorki, sadece kafi derecede büyük yer frekansları için sistem deplasmanmetre olarak çalışır.

(3.4.12) ile verilen eşitlikten, ω_n nin çok küçük olması halinde $\ddot{z} \approx -\ddot{x}$ ve $z \approx -x$ $a = V_o z$ elde ederiz.

3.4.4 Akselometre

Özel durum için, $\omega_e/\omega_n \ll 1$, $V/V_o \approx (\omega_e/\omega_n)^2$ çok küçük olsun, bu da $\varphi \approx 2\lambda \omega_e/\omega_n$ faz kayması ile, $a(t) = (V_o/\omega_n^2) \omega_e^2 x(t)$ yi verir. Böylece sistemin yer hareketinin ivmesini kaydettiği görülür. Bu durumda, yerin frekansı, aletin tabii frekansına nazaran, kafi derecede düşüktür. Bu şekilde çalışan sisteme akselometre denir. Yukarıdaki neticeyi ω_n yi büyülterek elde ettik. Kullanılabilir bir kayıt elde edebilmek için V_o rın büyük olması gerekir.

ω_n değerinin çok büyük olması halinde, yine hareket ifadesinden aynı ne-
 $z \approx x$ $a = V_o z$ elde ederiz.

$$\omega_n^2 z = -\ddot{x} \quad z = -\ddot{x}/\omega_n^2 \quad a = V_o z \approx -V_o/\omega_n^2 \ddot{x}$$

Görüldüğü gibi elde olunan kayıt, ivme ile orantılı oluyor.

4. HIZ VE İVME DUYARLIĞI

Büyütme, $V = a_m/x_o$, yani kayıt edilen amplitütütle, yerin hareketinin oranı idi. Hız duyarlığı da, aynı şekilde, kayıt edilen amplitütütle yerin hareket hızının oranından elde edilir. Sinüzoidal bir yer hareketi için

$$S = a_m/(\dot{x})_m = a_m/\omega_e x_o = V/\omega_e \text{ dir.} \quad (4.1)$$

Aynı yolla ivme duyarlığı da,

$$E = a_m/(\ddot{x})_m = a_m/\omega_e^2 x_o = V/\omega_e^2 \text{ dir.} \quad (4.2)$$

Bunu boyutsuz olarak aşağıdaki gibi yazmak da mümkündür.

$$V/V_o = z_m/x_o = \frac{(\omega_e/\omega_n)^2}{\left[\left(1 - \left(\frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2\right)^2 + \left(2\lambda \frac{\omega_e}{\omega_n}\right)^2 \right]^{1/2}} \quad (4.3)$$

$$\omega_n S/V_o = \omega_n z_m/(\dot{x})_m = \left(\frac{1}{\omega_e/\omega_n} \right) V/V_o \quad (4.4)$$

$$\omega_n^2 E/V_o = \omega_n^2 z_m/(\ddot{x})_m = \left(\frac{1}{(\omega_e/\omega_n)^2} \right) V/V_o \quad (4.5)$$

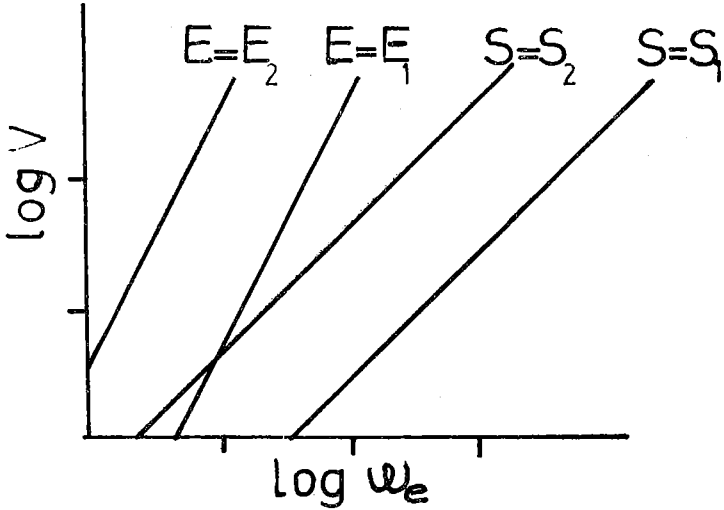
Tepki eğrilerini çizerken, eksenleri tepkinin logaritması ve ω_e/ω_n nin logaritması olarak almak daha uygun olur. Lineer noktalamada eksenler ω_e ve V dir. $V = \omega_e S$ şeklinde (4.1) ifadesinde verildiği gibi S sabitinin eğrileri, yükselen bir doğru şeklindedir. Benzer olarak, $V = \omega_e^2 E$ şeklinde (4.2) eşitliğinde verildiği gibi E eğrileri de paralel şeklindedir. (Şekl 4.1)

Çift logaritmik olarak noktalama,

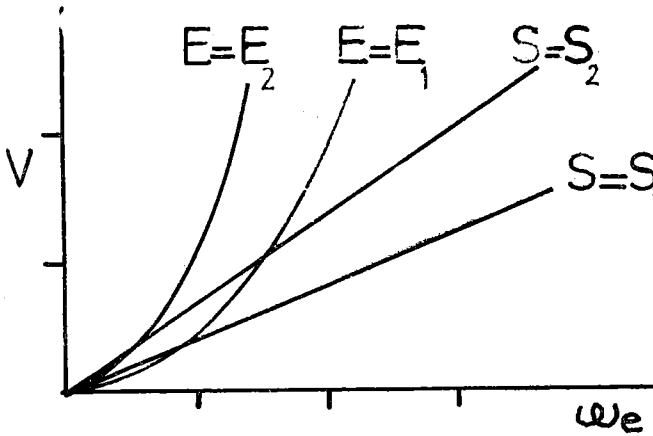
$\log V = \log \omega_e + \log S$ ve S nin eğrisi $+ 1$ eğimle yükselen bir doğrudur. $\log \omega_e = 0$, $\omega_e = 1$, $V = S$ de ivme duyarlılığı eğrisi de

$\log V = 2 \log \omega_e + \log E + 2$ eğimle yükselen bir doğrudur. (Şekl 4.2)

Çift logaritmik olarak eksenleri almak bazı üstünlükler sağlar. Frekansın veya büyütmenin sabit oranları, bu durumda, eksenler boyunca sabit genişlikler halini alır.



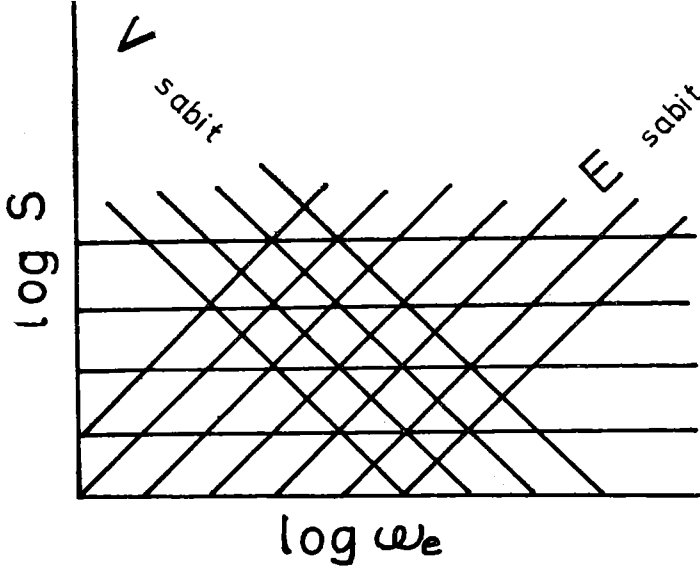
Şekl 4.1



Şekl 4.2

Tepki eğrisinin şeklini, yaklaşık olarak, eğimleri muhtelif olan doğru parçaları şeklinde göstermek faydalıdır.

Örneğin her hangibir frekans aralığında, frekans iki misli artmışsa, büyütmenin de iki kat arttığını düşünelim, bu durumda eğim 6 db/octave da + 1 dir. Böylece hız duyarlığının sabit kalması için, büyütme 6 db/octave artmalıdır. Ayrıca tepkiyi, V , ω_e eksenlerinde noktalamak yerine S ω_e eksenlerinde noktalamak da üstünlük sağlar. Hız -1, ivme + 1 eğimli doğrular şeklinde olur. (Şekil 4.3)



Şekil 4.3

Hız duyarlığını logaritmik olarak noktalamadaki bir üstünlük de, harmonik tepki eğrisinin daima $\omega_e/\omega_n = 1$ de simetrik oluşudur. Tepe hız duyarlığı (4.4) eşitliğinden $S_p = (V_o/2) \omega_n$ dir ve daima rezonansda olur. ω_e/ω_n nin küçük değerleri için $\log S = \log V_o/\omega_n + \log \omega_e/\omega_n$ dir. Böylece eksenleri, $\log \omega_n (S/V_o)$ ve $\log \omega_e/\omega_n$ olarak, tepkinin eğimi (+ 6 db/octave için) + 1 olur. ω_e/ω_n nin büyük değerleri için, $\log S \rightarrow \log (V_o/\omega_n) - \log (\omega_e/\omega_n)$ olur. Bu da (- 6 db/octave için) - 1 eğimini verir. $\omega_n S_p/V_o = 1/2$ de tepe sabit tutulur ve ω_e/ω_n nin küçük ve büyük değerleri bilinirse, yaklaşık tepki eğrisi kolayca çizilir.

5. GEOTECH HELICORDER SİSTEM VE KALİBRASYONU

İstanbul Kandilli Rasathanesine bağlı Batı Anadolu Deprem istasyonlarında bu sistem kullanılmaktadır.

İstanbul Kandilli Rasathanesi Batı Anadolu Deprem İstasyonları şunlardır.

Demirköy (DMK)	Elmalı (ELL)	Edincik (EDC)
Ezine (EZN)	Bucak (BCK)	Gölpazarı (GPA)
İzmir (İZM)	Altıntaş (ALT)	Mengen (MGN)
Yerkesik (YER)	Dursunbey (DST)	

5.1 SİSTEM HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Sistemi meydana getiren ana kısımlar şunlardır.

- Kısa periyod sismometre
- D.C. Sinyal Amplifikatörü
- Helicorder Amplifikatörü
- Helicorder Kayıtcı
- Kuvars Saat
- Standard zaman işareti alan radyo
- Güç Amplifikatörü

ve ayrıca sistemi besleyen 180 amper saatlik 24 volt aktü gurubu.

5.1.1 Sismometre

Yatay veya düşey olarak kullanılabilen, periyodu 1.0 saniyeye ayarlanmış, 600 New/Amp. elektrodinamik sabitli sismometrelerdir. (Model 18300). Sismometrede meydana gelen sinyal, özel blendaılı bir kablo ile, sismometreden uzakta bulunan sistemin sinyal amplifikatörüne taşınır.

5.1.2 Sinyal Amplifikatörü

Esas itibarıyla, şu üç kısımdan meydana gelmiştir.

a. Pre-amplifikatör katında, sismometrede meydana gelen çok zayıf sinyal, maksimum 70 db'e kadar büyütülmektedir. Ayrıca 6 db'lik kademelerle, sekiz konumlu bir attenüatör devresi büyütmeyi 28 db'e kadar düşürmektedir.

b. Band-pass filtre; Kandilli Rasathanesine bağlı Batı Anadolu Deprem istasyonlarında kullanılan bu filtrenin alt limiti 0.5 veya 0,75 Hz., üst limiti ise 12.5 Hz. dir.

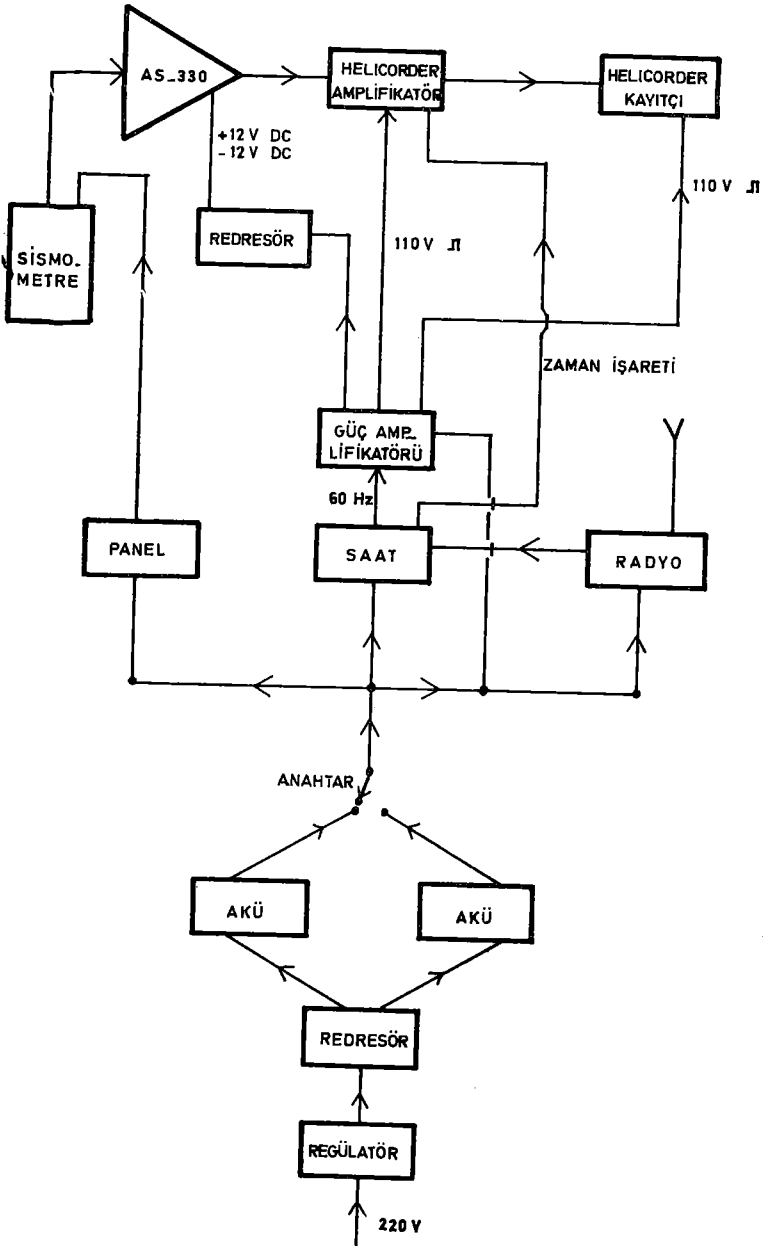
c. Çıkış Amplifikatörü; Band-pass'dan sonra bu amplifikatör kullanılırsa, kazanç 112 db dir. Tüm kazanç ise 30 db'e çıkmaktadır. 6 db'lik kademeli ve üç konumlu anahtarla voltaj kazancı 100 db'e indirilebilir, 112 db'lik kazançta voltaj kazancı 400000 ni bulur.

5.1.3. Helicorder Amplifikatörü

Bir evvelki amplifikatörden gelen sinyali, Helicorder kayıtcıya veren, yani yüksek empedanslı giriş ve kayıtcı için düşük empedanslı bir çıkış temin eden, ara takat amplifikatörüdür. Bir attenüatör anahtarı ile giriş sinyali -6 db'lik kademelerle 0 db - 36 db arasında düşürülebilmektedir. Ayrıca saatten gelen zaman işaretleri, sistemdeki özel bir devre ile sinyal üzerine bindirilmiştir.

5.1.4 Helicorder Kayıtcı

Bir dakikada 60.0 mm. dönecek şekilde ayarlanmış tambur ve üzerindeki ısıya hassas kağıda temas eden sıcak bir kaleminden meydana gelmiştir.



GEOTECH (HELICORDER) SİSTEM BLOK DİYAGRAMI
(İSK BATI ANADOLU DEPREM İSTASYONLARI)

5.1.5 Kuvars saat

Sismik dalgaların varış zamanlarını, büyük bir hassasiyetle elde edebilmek, hasıl ettiği ve güç amplifikatörü ile kuvvetlendirilmiş 60 Hz.'lik kare dalga ile, Helicorder kayıtcının dönüş hızında muntazamlık sağlamak gayesi ile kullanılır. Ayrıca sismogram üzerine, saat ve dakika işaretleri için, farklı sürelerde, impuls vermeğe yardım ettiği gibi, radyodan alınan standard zaman işaretlerini de flitre ederek sismograma kayıt eder.

5.1.6 Güç Amplifikatörü

Bütün sistem için lüzumlu kare dalga akımı temin eder. Saatten elde edilen 60 Hz.'lik kare dalgayı 60 Watt 117 Volt'luk bir güç kaynağı haline dönüştürür.

5.1.7 Standard zaman işareti alan radyo

Standard zaman işaretleri veren istasyonların bu işaretleri alınarak doğrudan sismogram üzerine kayıt edilir. Sistemin saatinin çok az olan günlük hatası, sismogram okumalarında gerekli düzeltmeler için tesbit edilir.

5.1.8. Akümülatörler

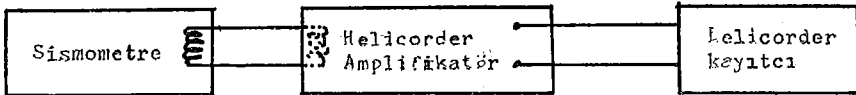
Hernekadar sistemin şehir şebeke ceryanı ile çalışması mümkünse de ceryan kesilmeleri sırasında meydana gelecek fasılları önlemek gayesi ile besleme kaynağı olarak, akümülatörler kullanılır. Toplam 180 amper saat ve 24 Volt'tur.

5.2 SİSTEMİN KALİBRASYONU

5.2.1 Peryod tayini

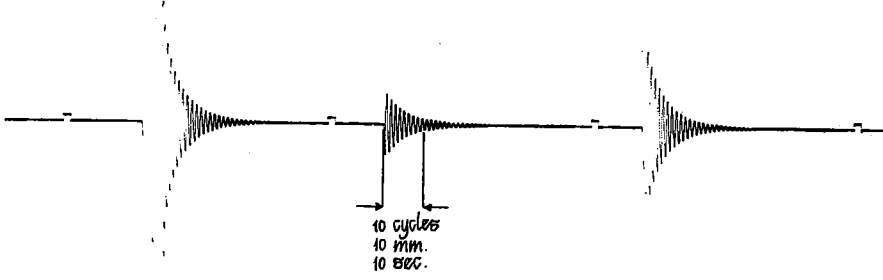
Sismometrenin kütlesi merkezilendikten sonra, sismometre hiçbir sisteme bağlı olmadan, kütlesine bir salınım vererek, kronometre ile serbest salınımının periyodu ölçülür. Ancak sismometrenin periyodu çok küçük olduğundan, daha iyi bir netice alabilmek için, kayıt yolu ile periyod tayini yapılması uygun olur.

Bunun için sismometre, herhangi bir giriş direnci olmadan Helicorder amplifikatöre (AR-311) bağlanır. Bu suretle giriş impedansı megaohm mertebesine çıkarılmış olur. Bu büyük giriş direnci de sismometreyi etkilemez. (Şekil 5.2.1.1)



Şekil 5.2.1.1

Elde edilen kaydın titreşimlerinin zarfının, eksponansiyel olması gerekir. Eğer doğrusal bir zarf elde edilmişse, sismometre içinde mekanik bir sürtünme olduğu anlaşılır. Bu durumda sismometre kütlesinin merkezlenmesinin bir daha kontrolü gerekir. İstenilen periyod sismometre üzerindeki ayar vidası çevrilerek elde edilir. Genellikle periyod 1.0 sec. olarak ayarlanır.



Şekil 5.2.1.2

$$f_o = \frac{N \text{ adet salınım}}{N \text{ adet salınım için geçen süre}}$$

Burada f_o , tabii frekanstır. (Şekil 5.2.1.2)

$$f_o = \frac{10}{10} = 1.0 \quad T = 1 \text{ sec olarak elde edilir.}$$

5.2.2 Açık devre sönümü

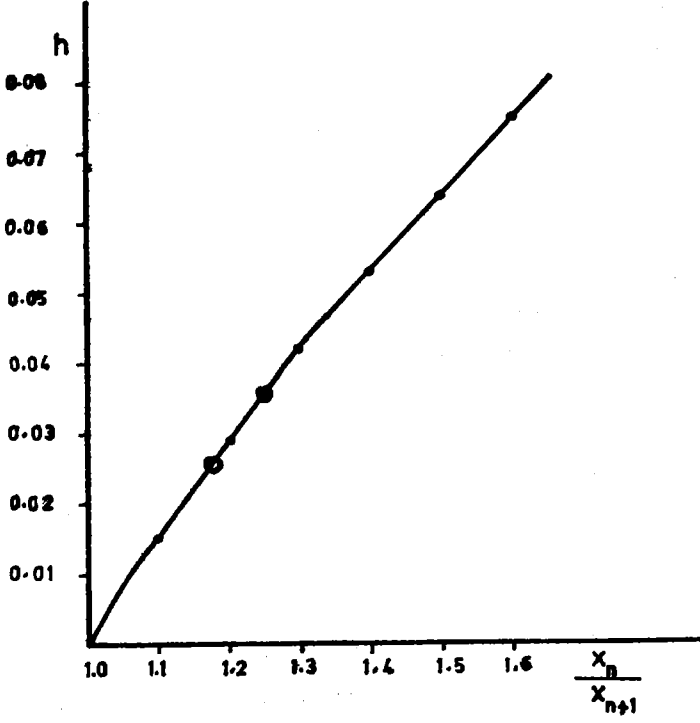
Tabii frekansın tayininde kullanılan devre aynen alınarak açık devre sönümü tayin edilir. Sismometrenin kütlesi, ya kalibrasyon bobinine ani bir doğru akım verilerek veya az bir ağırlıkla (1 gr., 0.50 gr.) harekete geçirilerek kayıt alınır. Kayıtın zarfının (5.2.1) de bahsedildiği şekilde olmasına dikkat edilir. Kayıttan birbirini takip eden iki tepe - sıfır amplitüt okunur. Devre sönümü h ,

$$Ln \frac{X_n}{X_{n+1}} = \frac{2\pi h}{\sqrt{1-h^2}} \quad \text{elde edilir. Burada } Ln, e \text{ tabanına göre logaritma-}$$

dır. Eğer h , 0.1 den küçük ise $\sqrt{1-h^2}$, 1.0 ve 0.995 arasında bir değer alırki, bu da yaklaşık olarak 1.0 kabul edilir.

Aşağıdaki grafik, aletin el kitabında verilen değerlere göre çizilmiştir. Yapılan test sonucu bulunan değerlerin bu grafiğe uygunluğu görülmüştür. Grafikdeki değerler aşağıda verilmiştir.

X_n/X_{n+1}	h
1.0	0
1.1	0.015
1.18	0.026 (Yapılan test sonucu)
1.2	0.029
1.25	0.036 (Yapılan test sonucu)
1.3	0.042
1.4	0.053
1.5	0.064
1.6	0.075



5.2.3 Kalibrasyon bobininin, motor sabitinin tayini (G_c)

Tarafımızdan yapılan testte, sismometre ve kayıtcı sistem birbirine bağlandıktan sonra, kalibrasyon bobinine 0.15 Volt verildi. Kablolar dahil bobinin direnci de 48 ohm olarak ölçüldü. Bu durumda akım 3.1×10^{-3} amperdir. 50 miligramlık bir ağırlığı, sismometrenin üzerindeki cam kapağı açarak, sismometre kütesinin üzerine koyup kaldırarak kayıt alındığında, i akımının verdiği, kaydedilen sıfır-tepe amplitüt X_i , W_t kütesinin verdiği kaydedilen sıfır-tepe amplitütte X_m olduğuna göre,

$$X_m = W_t g \quad \text{ve} \quad X_i = G_c i$$

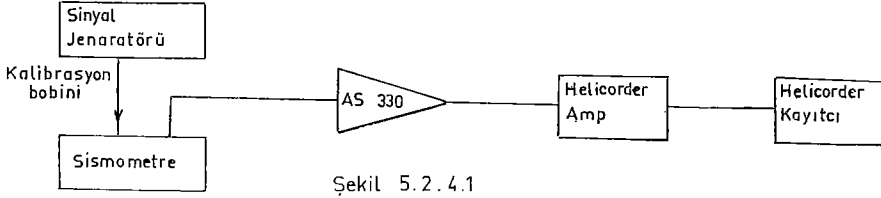
$$G_c = \frac{981 \cdot 10^{-5} \cdot W_t \cdot X_i}{i \cdot X_m} \quad \text{olur.}$$

Burada birimler, X_i ve X_m milimetre, i amper, W_t gram, G_c Newton/Amp.

Sismometre kütesi üzerine ağırlık uygulanarak elde edilen kayıta, ağırlığı kaldırma işlemi sırasında elde edilen sıfır-tepe amplitüt daha sıhhatli bir netice vermektedir.

5.2.4 Büyütme veya hız

Kalibrasyon bobininin motor sabiti bulunduğundan sonra, sistemin büyütmesini bulmak mümkündür. Bunun için şekil 5.2.4.1 de görülen devreden yararlanılır.



Sinyal jeneratörü ile, sismometrenin kalibrasyon bobinine, muhtelif frekanslar verilir. Elde edilen kayıttaki genliklere A dersek, bunlara tekabül eden yerin yer değiştirmeleri de Y olur.

$$Y = G_c i / 2\pi M f \quad \text{dir. Büyütme ise,}$$

$$A/Y = \eta = 2\pi f M A / G_c i \quad \text{dir.}$$

Burada da birimler, i amper, M kilogram (sismometrenin kütlesi), G_c Newton/amper dir. A/Y oranından büyütmenin boyutsuz olduğu görülmektedir.

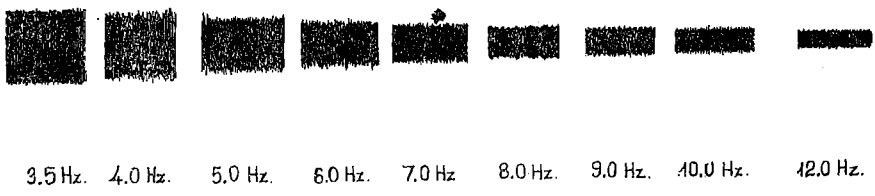
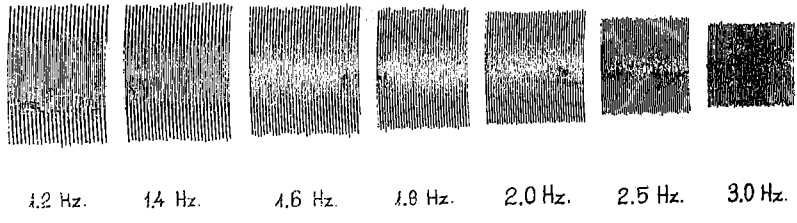
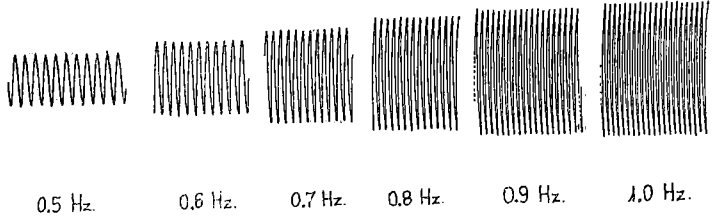
Yapılan deney sonucu elde edilen kayıdın (Şekil 5.2.4.2) değerlendirilmesi bilgi sayarla yapılmış ve neticeler aşağıda verilmiştir. Elde edilen bu değerlere göre de aletin büyütmesi çözülmüştür. (Şekil 5.2.4.3).

$$X_i = 12.5 \text{ mm} \quad i = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ amper}$$

$$X_m = 11.0 \text{ mm} \quad W_t = 50 \cdot 10^{-3} \text{ gram}$$

değerlerine göre $G_c = 0,1798$ olarak bulunmuştur.

Frekans (Hz.)	Amplitüt (mm)
0.50	10.0
0.60	14.0
0.70	18.0
0.80	22.0
0.90	24.5
1.00	26.0
1.20	27.0
1.40	26.0
1.60	25.0
1.80	23.0
2.00	22.0
2.50	18.5
3.00	16.0
3.50	14.5
4.00	13.0
5.00	10.0
6.00	8.0
7.00	7.0
8.00	6.0
9.00	5.0
10.00	4.5
12.00	3.0



Şekil 5.2.4.2

Bu değerlere göre hesaplanan hız, ivme ve deplasman da aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

Hız	İvme	Deplasman
281.81	89.70	885.35
473.45	125.59	1784.86
710.17	161.47	3123.50
991.99	197.35	4986.27
1242.80	219.78	7027.88
1465.44	233.23	9207.61
1826.16	242.20	137.68.91
2051.61	233.23	18046.90
2254.52	224.26	22664.86
2333.43	206.32	26390.39
2479.97	197.35	31164.21
2606.79	165.95	40947.30
2705.42	143.54	50995.98
2860.42	130.07	62903.88
2930.88	116.62	73660.81
2818.15	89.70	88534.62
2705.42	71.76	101991.94
2761.79	62.79	121469.50
2705.42	53.82	135989.25
2536.34	44.85	143426.19
2536.33	40.37	159362.37
2029.07	26.91	152987.87

REFERANSLAR

1. Bath, Markus
Introduction to Seismology
1973, Birkhauser Verlag Basel
2. Richter, C.F.
Elementary Seismology
1958 By W.H. Freeman and Company, Inc. California
3. Francis S. Tse, Ivan E. Morse, Rolland T. Hinkle
Mechanical Vibrations
Ally and Bacon Inc. Maruzen Company LTD. Japan
4. Goldman S.
Transformation Calculus and Electrical Transients
Prentice Hall Inc. Maruzen Company LTD. Japan
5. Kisslinger C.
Seismological Instrumentation
International Institute of Seismology and
Earthquake Engineering Tokyo - Japan
6. Nasu N.
General Seismology
International Institute of Seismology and
Earthquake Engineering Tokyo - Japan
7. Kuda, K, E. Shima, Y. Sato
A Note on the calibration of seismometer, in case of $\lambda \approx 1$
Nagoya University, 1970 Japan
8. Başarır, L.E., E. A. Uy
Calibration of Seismometers
Individual studies by participants at the International Institute
of Seismology and Earthquake Engineering, Tokyo - Japan
Vol. 9, Dec. 1973 pp 29-46
9. Willmore, P.L., D.V. Connell
A New short - period Seismometer for field and observatory
Bulletin of the Seismological Society of America
Vol. 53, No : 4, pp 835-844 July 1963
10. Operation and maintenance manual portable short-period
seismometer, Model 18300
Geotech 1968
11. Nuttli, Otto, Thomas V. McEvelly
The response characteristics of the long-period seismographs
of the Saint Louis University Network
Publication No : 109 of the Institute of Technology
Saint Louis University Sep. - Dec. 1961
12. Alpaslan, T.
Spectral behavior of short-period body waves and the
synthesis of crustal in Western Canada
University of Alberta Edmonton Canada. 1968
13. Hwei P. Hsu
Outline of Fourier Analysis
Unitech Division Associated Educational Services
corp. Subsidiary of Simon and Schuster Inc. New York
14. Schon, F.W., J.B. Macelwane
Introduction to Theoretical Seismology
St Louis University, St Louis 1932

DEPREM ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ BÜLTENİ

YAYIN KOŞULLARI

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 kağıdın yalnız bir yüzüne en az iki nüsha olarak yazılmış bulunması
 - e) Şekillerin aydıngeçer kağıdına çini mürekkebi ile çizilmiş olması
 - f) Fotoğrafların net ve klişe alınmasına müsait bulunması gerekmektedir.
2. Telif araştırma yazılarının baş tarafına araştırmanın genel çerçevesini belirten en az 200 kelimelik İngilizce, Fransızca ya da Almanca bir özet konulmalıdır.
3. 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 bültende yayınlandıktan sonra tahakkuka bağlanır.
5. Bültende yayınlanacak yazıların 300 kelimelik beher standart sayfası için teliflerde 75, tercümelere 50 TL. ücret ödenir.
6. Yazılarda bulunan şekiller için, gerekli olan asgari alan içinde bulunabilecek kelime sayısına göre ücret takdir edilir.
7. Telif ve tercüme ücretlerinin gelir vergisi stopaj yoluyla kesilir.
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 nitelikteki yazılar için ücret ödenmez.
13. Enstitü mensupları Enstitüce kendilerine verilen görevlere ait çalışmalarından ötürü herhangi bir telif ya da tercüme ücreti talep edemezler.