



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

# DEPREM ARAŞTIRMA BÜLTENİ

21



## Deprem Araştırma Bülteni (DAB)

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



Nisan [April] / 1978  
Cilt [Volume]: 6

# Sayı [Issue]: 21

# İÇİNDEKİLER [INDEX]

Sayfa [Page]

---

## ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Yansıtmayan Sınırların Yapı-Zemin Dinamik Etkileşim Problemlerine Uygulanılışında Hata Analizleri [Error Analysis in the Application of Nonreflective Boundaries to Structure-Soil Dynamic Interaction Problems]

A. Aydın DUMANLIOĞLU ..... 1-16

## ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Yapı Mühendisliğinde Eigendeğer Problemlerinin Çözümü [Solution of Eigenvalue Problems in Structural Engineering]

Halil KARADENİZ ..... 17-27

## ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Plastisite İndisinin Kayma Dalgası Hızına Etkisi [Effect of Plasticity Index on Shear Wave Velocity]

Vahit KUMBASAR, Ali ERGUVANLI ..... 28-33

## ARAŞTIRMA [RESEARCH]

İstanbul-Kandilli Deprem İstasyonu İçin Süreye Bağlı Magnitüd Denklemi [Time Dependent Magnitude Equation for Istanbul-Kandilli Earthquake Station]

Esen ALSAN ..... 34-43

## ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Batı Anadolu'nun Deprem Riski Analizi [Earthquake Risk Analysis of Western Anatolia]

A. Baki NUMANOĞLU ..... 44-52

**DEPREM  
ARAŞTIRMA  
ENSTİTÜSÜ  
BÜLTENİ**

**21**

**DEPREM  
ARAŞTIRMA  
ENSTİTÜSÜ  
BÜLTENİ**

**21**

**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 Özlü  
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 29 — 17 69 55



Baylan Matbaası 30 24 87 — 30 24 93



İlanlar pazarlığa tabidir.

## Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni

---

YIL : 6

SAYI : 21

NİSAN 1978

---

### BU SAYIDA

Yansıtmayan Sınırların Yapı-Zemin Dinamik Etkileşim Problemlerine Uygulanışında Hata Analizleri .....

**AYDIN DUMANOĞLU**

Yapı Mühendisliğinde Eigendeğer Problemlerin Çözümü .....

**HALİL KARADENİZ**

Batı Anadolunun Deprem Riski Analizi ...

**A. BAKİ NUMANOĞLU**

Plastisite Endisinin Kayma Dalgası Hızına Etkisi .....

**VAHİT KUMBASAR  
ALİ ERGUVANLI**

**YANSITMAYAN SINIRLARIN  
YAPI - ZEMİN DİNAMİK ETKİLEŞİM PROBLEMLERİNE  
UYGULANILIŞINDA HATA ANALİZLERİ**

**A. Aydın DUMANOĞLU\***

**SUMMARY**

The objective of this paper is to define the properties of the nonreflecting boundaries which will be used for the analysis of soil-structure systems. The use of such boundaries along the base of system does not require rigid base assumption. These boundaries are in the form of viscous dashpots and force-time history developed from only incident wave components of vertically travelling shear waves.

A non - dimensional analysis on the size of finite elements used, velocity of shear wave and the solution frequency was made in order to define the amount of error involed in each calculation. In the solution distributed, concentrated and average mass matrices were employed.

Results show that when lengths of finite elements in the direction of vertically travelling shear waves are one fifth of wave length, then, the amount of error is in the limit of acceptance, if these boundaries are used for the interactive problems.

**I. GİRİŞ**

Günümüzde enerji sorununa paralel olarak nükleer güç santrali, deniz içi petrol arama platformu ve ağırlık barajların inşaaı önem kazanmıştır. Temelleri genellikle derinde olabilen bu tür yapıların deprem hesaplarında Yapı-zemin etkileşimi etkin bir faktör olarak belirmektedir. Yapı-zemin etkileşimini detaylı olarak dinamik hesaplarda içerebilmek için matematik modellerin seçimi problemin çözümünün belki en önemli adımlarından birini oluşturmaktadır.

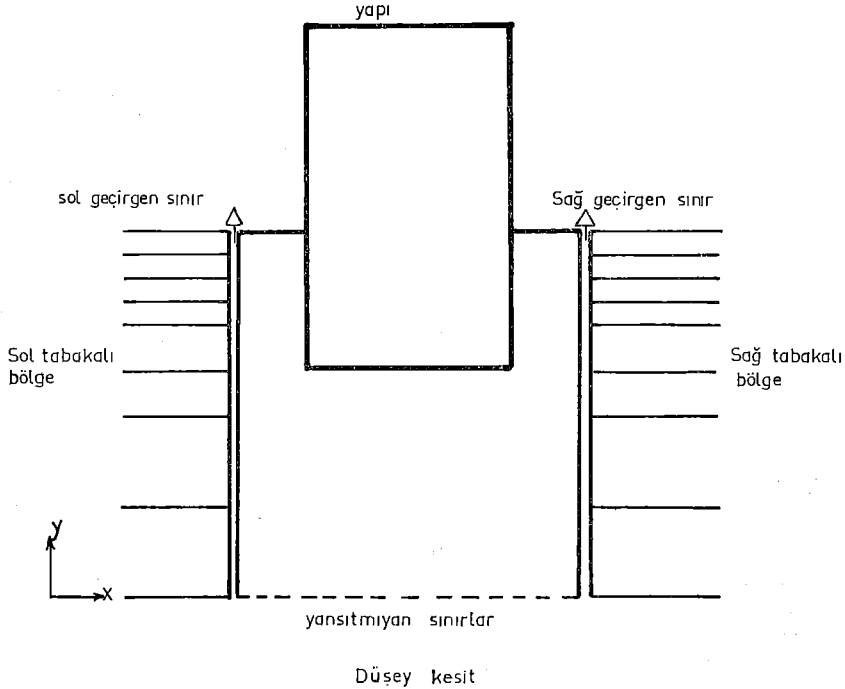
---

\* Dr. Yük. Müh., K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü



Problemnin niceliği yönünden üç boyutlu olarak seçilecek matematik modelde yapı ve zemin grupları müşterek olarak tanımlanması, problemin çözümünde daha gerçekçi bir yaklaşım olmaktadır. Ancak böyle bir modelde bütün sistemi temsil etmek için kullanılması gerekli sonlu eleman ve serbestlik derecelerinin fazlalığı hesaplama tekniğinde zorluklar yaratmaktadır. Bu zorluk, zemin içinde düşey doğrultuda gerçekleştirilebilen 'geçirgen sınırlar' [1, 2] yardımı ile önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Şekil 1. Tabanda rijit kaya tabakalarının bulunmasını veya tabanın rijitliğini gerektiren bu matematik model aksi durumlarda uygulama zorluğu yaratabilir. Şöyleki; tabanda rijit kaya tabakasına veya düşey doğrultuda yayılan enerjinin tamamen absorbe edilebileceği derinliğe kadar inilmesi; problemin çözümünde kullanılacak sonlu eleman miktarını çokluğuna neden olup, bilgisayar bellek gereksinimini ve hesaplama maliyetini artıracaktır.

Rijit tabanın derinde olması ilke olarak, düşey doğrultuda daha çok sonlu eleman kullanılmasını gerektirir. Genellikle, derinlerdeki tabakalara ait düşey doğrultuda yayılan kayma dalgalarının hızları büyük olsa bile yüzeye yakın zemin tabakalarındaki kayma dalgası hızları daha küçüktür. KUHLEMEYER ve LYSMER [3] dalga yayılımını içeren problemlerin sonlu elemanlarla yapılacak çözümlerinde; eleman yüksekliklerinin dalga boyunun (kayma dalgası hızının titreşim frekansına oranının) beşde birinden daha büyük alınmamasını önerdi-



Sekil :1 Matematik Model

ler. Bu koşul gerçekleştirildiğinde, yapılacak hata oranının % 5 civarında veya daha küçük olabileceğini belirtmektedirler. Eleman yüksekliklerinin daha büyük seçilmesi, frekans alanında yapılan çözümler için büyük hatalara neden olabilmektedir. Bu nedenle yumuşak ve kayma dalgası hızları küçük olan yüzeye yakın tabakalarda sonlu elemanların yüksekliklerinin küçük seçilmesi gerekecek, derinlerdeki tabakaların kayma modülleri,  $G$ , artacağından bunun sonucu kayma dalgası hızları büyüyecek, sonlu eleman yükseklikleride uygun olarak artacaktır.

Problemin çözümünde kullanılacak eleman boyutlarının belirli limitlerin altında kalması gerekliliği nedeni ile (zemin hacminin düşey kenarları boyunca geçirgen sınırlar uygulanırsa bile) düşey doğrultuda çok sayıda sonlu eleman kullanılması gerekecektir.

Ayrıca, tabanın rijit olarak kabul edilmesi halinde matematik model için kullanılacak yer hareketi ivmeleri bu rijit kaya tabaka üzerindeki yer hareketine ait değerler almalıdır. Fakat yer hareketine ait deprem kayıtları genellikle zemin yüzeyinden ve bazende zemin yüzeyine yakın noktalardan alındığından, bu değerlerin rijit tabanda nasıl bir değer alabileceğinin öncelikle saptanması gerekmektedir. Herhangibir noktada kaydedilmiş deprem ivmelerinin tabandaki rijit kaya tabakasına kadar indirgenmesi bir boyutlu dalga yayılma problemi-dir. Geliştirilmiş bilgisayar programları [4] ile bu işlem yapılabilsede çözüm süresi deprem kaydının süresine, maksimum frekansa, tabaka noktalarına ve derinliğe bağlı olarak değişir.

Bu nedenlerle de rijit kaya tabakasının derinde olması halinde, matematik modelin tabanında rijit taban bulunmasını gerektirmeyen bir matematik modelin geliştirilmesi gereksinimi duyulmaktadır.

Tabanın rijit olmasını gerektirmiyen 'yansıtmayan sınırlar' olarak adlandırılan özel sınırların, [7] zemin bölgesi tabanında kullanılması bu ihtiyacı karşılayabileceği düşünülmüştür. Bu sınırların özelliklerini aşağıdaki şekilde sınırlamak mümkündür.

1) Yansıtmayan sınırlar tabana gelecek tüm dalga hareketini yansıtmadan geçirebilecek niteliktedirler.

2) Bu sınırlardaki deplasmanlar, üzerinde yapı bulunmayan serbest zemin olarak tanımlanan bölgenin aynı seviyede hesaplanan toplam deplasmanlarına eşittir.

3) Düşey doğrultuda yayılarak gelen dalgaların getirdiği bütün enerji viskoz söndürücülerle absorbe edilir.

4) Yansıtmayan sınırlarda hesap bölgesi üzerine etkiyen kuvvetler, bir boyutlu dalga yayılımı ile oluşup yalnız gelen dalga bileşenini içerirler.

Bu araştırmada, yansıtmayan sınırlara ait genel teori açıklanarak, dinamik hesaplarda kullanılması halinde hata analizleri yapılmıştır. Hata analizleri, çözüm frekansı, ortamın kayma dalgası hızları ve kullanılacak eleman yüksekliği arasında oluşturulacak boyutsuz değerlere bağlı olarak belirtilmiştir.

## 2. YANSITMIYAN SINIRLARIN UYGULANIŞI

Seçilen matematik modelin tabanında gerçekleştirilen bu sınıra gelen bütün dalgalar yansıyarak geri dönmemelidir. Bu amaç için LYSMER ve KUHLEMEYER'in [5] sonsuz bir ortamın davranışını sonlu bir ortamla temsil edebilmek için önerdikleri viskoz söndürücülerden yararlanılmıştır. Bu söndürücülerin, her birim alan için kayma dalgası, S, halinde  $\rho V_s$  ve genişleme dalgası, P, halinde  $\rho V_p$  den oluşan sönüm katsayılarına sahip olmaları halinde elastik dalgalar için iyi bir yutucu olabileceği aynı çalışmada gösterilmiştir.

Yapı sistemlerinin çözümünde, genellikle, sismik etki olarak ivme-zaman kayıtları kullanılmaktadır. Tabana ivme değerlerinin uygulanması halinde; bunların integrasyonu ile tabanda hızlar ve deplasmanlar bulunabilir. Önce toplam deplasmanlara göre yazılan genel hareket denklemlerinde deplasmanlar; rölatif deplasmanlar ve hareketli taban deplasmanlarının bir toplamı olarak ifade edilip daha sonra hareket denklemleri bilinmeyen olarak yalnız rölatif deplasmanlara bağlı olarak düzenlenip çözülmektedir. Tabanda yansıtmayan, sınırlar kullanılması halinde, eğer sismik etki olarak ivme-zaman kayıtları ve hareket denklemlerinde rölatif deplasmanlara bağlı olarak yazılmak istenirse tabandaki viskoz söndürücülerin etkisi (tabandaki serbestlik dereceleri hareket denklemlerinden çıkartılacağından) görülmeyecektir. Ancak, bu sakınca hareket denklemlerinin toplam deplasmanlara bağlı olarak yazılması ve dış etki olarakta bu sınırlarda ivme-zaman değerlerinden üretilmiş kuvvet-zaman ifadelerinin kullanılması ile giderilebilir.

Zemin içinde herhangi bir noktada bir dalganın oluşturduğu etki, bu dalgaya ait gelen ve yansıyan dalgalardan oluşan bileşenlerin toplamıdır. Yansıtmayan sınırlara uygulanması gerekli kuvvet-zaman değerleri, bu sınırların özelliği ve dalga yayılımındaki bu gerçeği içerebilecek şekilde saptanmalıdır. Öyleki, yansıtmayan sınırlara gelen tüm dalgalar bu sınırların özelliği nedeni ile yansımayacaklarından, bu sınırlara uygulanacak kuvvet-zaman değerleri yalnız gelen dalgalara ait bileşenden hesap edilmesi gerekmektedir.

## 3. YANSITMIYAN SINIRLARA ETKİYEN KUVVETLERİN BULUNMASI

Yarı sonsuz viskoelastik bir ortamda bir kaynaktan çıkarak düşey doğrultuda yayılan kayma, S, dalgalarına ait hareket denklemini,

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + n \frac{\partial^3 u}{\partial y^2 \partial t} \quad \dots\dots (1)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifade  $\rho$ , G, n, u, y, t sıra ile birim hacim kütlesi, kayma modülü, viskozite, yatay deplasman, düşey eksen ve zamandır. (1) denkleminin çözümü ile toplam deplasmanı pozitif yönü aşağı doğru olan y eksen ve zamanın bir fonksiyonu olarak [4],

$$u(y, t) = Eei^{i\omega t +iky} + Fei^{i\omega t -iky} \quad \dots\dots (2)$$

yazılabilir. Bu ifadeye,

$$k^2 = \frac{\omega^2}{\frac{G^*}{p}} \quad \text{..... (3)}$$

olup, kompleks dalga sayısını  $G^* = G(1 + 2i\beta)$ , kompleks kayma modülü, ve  $\beta$  da kritik sönüm katsayısıdır.  $i = \sqrt{-1}$  birim sanal sayıdır. E ve F sabitler olup sınır koşullarına bağlı olarak tanımlanacaktır. E serbest yüzeye gelen dalgalara F de serbest yüzeyden yansıyan dalgalarla ilgili kat sayıdır.

Herhangibir derinlikteki deplasman (1) denklemi ile bilinince bu deplasmanlara karşılık olan ve birim alana etkiyen kuvvetler, gerilmeler, bu ifadenin y ye göre türevi alınarak bulunan şekil değiştirmelerin kayma modülü ile çarpımı ile bulunur. Şöyleki,

$$\tau(y, t) = G^* \frac{\partial u}{\partial y} \quad \text{..... (4)}$$

dir. Bu denklem ve (2) denklemi yardımı ile kayma gerilmesi için

$$\tau(y, t) = ikG^* (Ee^{iky} - Fe^{-iky})e^{i\omega t} \quad \text{..... (5)}$$

ifadesi elde edilir. Bu ifade aynı zamanda, tanım gereği, birim alandaki zemin kolonunun tabanına etkiyen toplam kuvvettir. (2) denkleminin zamana göre ikinci türevi alınarak istenilen bir noktadaki toplam ivme ifadesini olarak,

$$\ddot{u} = -\omega^2 (Ee^{iky} + Fe^{-iky})e^{i\omega t} \quad \text{..... (6)}$$

yazılabilir. (5) ve (6) denklemlerinde sol taraf değerleri olan toplam kuvvetler ve ivmeler seçilen bir eksen takımına göre öncelikle tanımlanmış ise, her iki denklemden gelen ve yansıyan dalgalara ait E ve F ler saptanır.

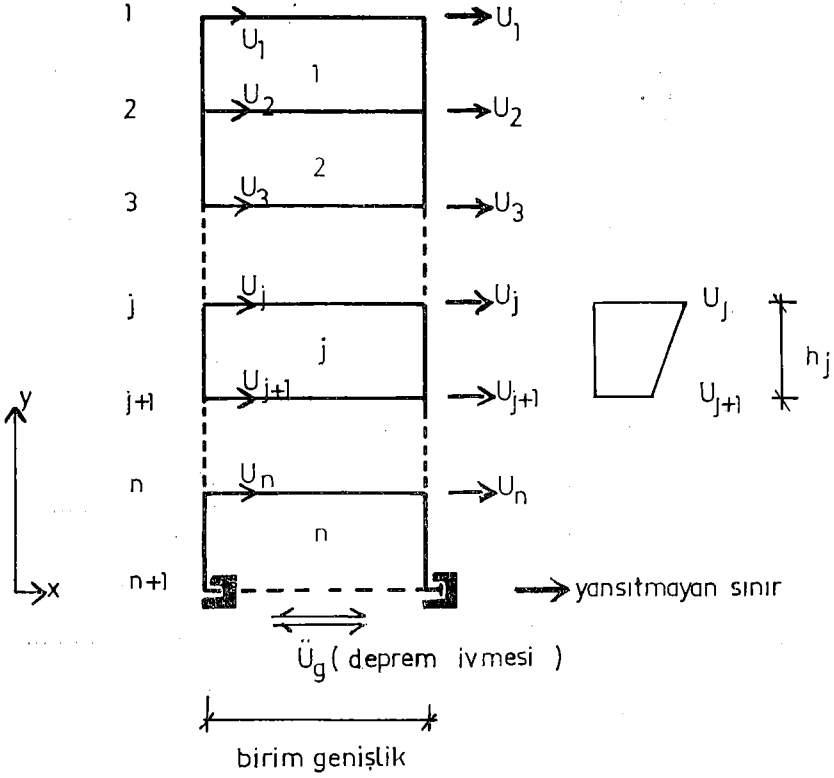
Zemin içinde bir noktadaki ivmeler,  $\ddot{u}$ , serbest yüzeyden alınan ölçümlerden yararlanarak hesaplanabilir [4]. Aynı noktadaki toplam kuvvetlerde yine serbest zemin bölgesinden alınan birim kesitli zemin kolonunun hesaplanmış bu ivmeleri dinamik etki olarak kabul ederek bulunan dinamik deplasmanlarından yararlanarak elde edilir. Bu amaç için, Şekil 2'de gösterilen birim kesitli zemin kolonunu düşünelim. Eğer bu kolonun toplam deplasmanları biliniyor ise, sistemin rijitlik matrisi ile bu deplasmanların çarpımı sisteme etkiyen kuvvet vektörünü verecektir. Öyleki,

$$\{p\} = [K] \{u\} \quad \text{..... (7)}$$

olacaktır. Dinamik deprem zoru etkisi altında şekildeki zemin kolonuna ait dinamik hareket denklemi, rölatif deplasmanlara bağlı olarak,

$$[M] \{\ddot{u}\}_r + [K]^* \{u\}_r = -\{m\} \ddot{u}(t) \quad \text{..... (8)}$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifadeye,  $[M]$ ,  $[K]^*$ ,  $\{u\}_r$ ,  $\ddot{u}(t)$  sıra ile zemin kolonun kütle matrisi kompleks rijitlik matrisi, tabana göre rölatif deplasman vektörü-



Şekil 2

nü, ve yansıtmayan sınırlardaki deprem ivme kaydı olup, bu ise (6) denkleminin sol tarafıdır. Yalnız yatay doğrultuda bileşenleri olan ivmeler için,

$$\{m\} = [M] \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (9)$$

dir. Kolona ait kütle ve rijitlik matrisleri düzey kenarları boyunca deplasman değişimi fonksiyonu lineer ve tabandan eşit yükseklikteki noktaların deplasmanlarının eşit olduğu kabulüne göre tüketilen eleman kütle ve rijitlik matrislerinden elde edilmiştir.  $[K]^*$  matrisi, kayma modülü (3) denkleminde tanımlandığı gibi sönüm oranını içerecek biçimde verildiğinden malzemenin sönümünü de içerdiğinden kompleks değerlidir. Bu kabule göre j'inci elemana ait kompleks rijitlik matrisi

$$[k]_i = \frac{G^*}{h} \begin{vmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{vmatrix} \quad \dots\dots\dots (10)$$

ve kütle matriside

$$[m]_i = \alpha \rho h \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 3 & 6 \\ 1 & 1 \\ 6 & 3 \end{vmatrix} \quad (1-\alpha) \frac{\rho h}{2} \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \quad \dots\dots\dots (11)$$

dir. Bu ifadede  $\alpha$  skaler bir büyüklük olup  $0 < \alpha < 1$  değerlerini almaktadır.  $\alpha = 1$  için yayılı kütle matrisi,  $\alpha = 0$  için tekil kütle matrisini  $\alpha = 0,5$  için ortalama kütle matrisi elde edilir. Eleman rijitlik ve kütle matrislerini tamamladıktan sonra malzeme sönüm etkiside kapsıyan (8) denkleminin çözümü önce frekans alanında 'Fourier Dönüşüm Yöntemi' ile yapılabilir. Yöntemin ilkesi yer sarsıntı ivmesinin Fourier açılımını yaparak harmoniklerine bağlı olarak açılmal frekans cinsinden aşağıdaki gibi yazılmasıdır.

$$\ddot{u}(t) = \ddot{U} e^{i\omega t} \quad \dots\dots\dots (12)$$

Bu ifadede  $\ddot{U}$  kompleks Fourier katsayılarıdır. İvmeler (12) denklemi ile yazıldığı gibi harmonik olabileceğinden bu hareketin yarattığı deplasmanlarda harmonik olacaktır. Şöyleki,

$$\{u\} = \{U\}^r e^{i\omega t} \quad \dots\dots\dots (13)$$

dir.  $\{U\}^r$  rölatif deplasmanlar için kompleks Fourier katsayılarıdır. (12) ve (13) denklemleri (8) denkleminde yerine yazılırsa,

$$([K]^* - \omega^2 [M]) \{U\}^r = - \{m\} \ddot{U} \quad \dots\dots\dots (14)$$

denklemi elde edilmiş olur. Bu ise kompleks katsayıları olan lineer bir denklem takımı olup seçilecek her değeri için Gauss eliminasyon yöntemi kullanılarak çözülebilir. (14) denkleminin her iki tarafını  $\ddot{U}$  ya bölersek daha basit olan ve sisteme verilecek yer ivmelerinden bağımsız olan

$$([K]^* - \omega^2 [M]) \{A\} = - \{m\} \quad \dots\dots\dots (15)$$

denklemi elde edilmiş olurki, bu ifadede

$$\{A\} = \{U\}^r / \ddot{U} \quad \dots\dots\dots (16)$$

dır. (15) denkleminin çözümü ile yer hareketinden bağımsız olarak frekans alanında (ya verilen artımlar için)  $\{A\}$  bulunur.  $\{A\}$  nın bileşenleri deplasmanlara ait artım (amplifikasyon) fonksiyonu olup  $\ddot{U}$  nin bir fonksiyonudur. Zemin kolonunun toplam deplasmanlarına ait kompleks Fourier katsayıları (16) denkleminde yararlanarak frekans alanında,

$$\{U_f\}^t = \{A\}_s \ddot{U} - \frac{1}{\omega_s^2} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ 1 \end{Bmatrix} \ddot{U} \quad \dots\dots\dots (17)$$

şeklinde hesaplanır.

Birim kesitli zemin kolonunun tabanına etkiyen toplam dinamik kuvvetin frekans alanındaki bileşenleri, Şekil 2 de gösterilen  $n$  ve  $n + 1$  sınırlarındaki toplam deplasman vektörü (14) denkleminde bu deplasmanlara karşıt olan sol tarafın son satırı ile oluşur. Bu ise aşağıdaki denklemle

$$W_s = \begin{pmatrix} U_{fn} \\ U_{fn+1} \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (18)$$

verilir. Burada  $[K]_{n+1}^*$ ,  $[K]^*$  matrisinin  $[M]_{n+1}$  de  $[M]$  matrislerinin  $n + 1$  inci satırını,  $W_s$  de  $\omega_s$  frekansı için yansıtımayan sınırlarda birim alana gelen toplam kuvveti verir.  $U_{fn+1}$  ve  $U_{fn}$  yansıtımayan sınırla bir önceki tabaka sınırlarındaki deplasmanların frekans alanındaki kompleks genlikleridir.  $W_s$ , toplam kuvveti hem giden hemde yansıyan dalga bileşenlerini kapsamaktadır. Ancak, yansıtımayan sınırların tanımı gereği bu sınırlarda yansıyan dalga bileşenleri bulunmayacaktır. Bu nedenle, bu sınırlardaki kuvvetler yalnız deprem kaynağından ayrılarak giden dalgaların etkisi ile oluşan kuvvetlerdir. (5) denklemi Şekil 2 de gösterilen eksen takımına göre tekrar yazılırsa ve bunun (18) denklemi ile gösterilen birim alana gelen kuvvet olduğu düşünülürde,

$$W_s = -ikG^* (Ee^{-iky} - Fe^{iky}) \quad \dots\dots\dots (19)$$

ifadesi elde edilir. (6) denklemi ile verilen ivme ifadesini yine Şekil 2 de gösterilen eksen takımına göre yazıp zaman terimi  $e^{i\omega t}$  denklemlerden düşürülerek, ivmenin frekans alanındaki, kompleks genliklerine ait

$$\ddot{U}_s = -\omega_s^2 (Ee^{-iky} + Fe^{iky}) \quad \dots\dots\dots (20)$$

ifadesi elde edilir. Bu denklemin sol tarafı verilen deprem ivme-zaman değerlerinin Fourier dönüşümü ile frekans alanında bulunan kompleks genlikler olduğundan bilinen değerlerdir. (19) ve (20) denklemlerinde  $E$  ler kaynaktan çıkıp giden dalgalara  $F$  lerde yansıyorak dönen dalgaların etkisine ait kompleks değerli sabitlerdir.

Tabana yansıyorak gelen bütün dalgalar, tanım gereği, tabandaki yansıtımayan sınırlarda absorbe edileceğinden bu dalgalar tabana uygulanacak kuvvete bir katkıda bulunmayacaktır. Bunun için sol tarafı bilinen (19) ve (20) denklemlerinden yararlanarak  $E$  sabitinin bulunması gerekir.  $E$  için bulunan değer (19) denkleminde yerine yazılır ve  $F$  ihmal edilirse yansıtımayan sınıra etkiyen kuvvetler bulunmuş olur. Eksen takımının başlangıcını deprem ivmelerinin seçildiği zemin kolonunun tabanı alınıp, her iki denklemde  $y = 0$  yazılır ise  $E$  değeri için,

$$E = \frac{1}{2} \left( -\frac{\ddot{U}}{\omega_s^2} - \frac{W_s}{iG^*k} \right) \quad \dots\dots\dots (21)$$

bağıntısı bulunur. Bu değer (19) denkleminde yerine yazılır,  $F$  ihmal edilirse yansıtımayan sınır kuvvetinin frekans alanındaki kompleks bileşeni için,

$$W_{si} = \frac{1}{2} \left( W_s + \frac{iG^*k}{\omega_s^2} \ddot{U} \right) \quad \dots\dots\dots (22)$$

ifadesi bulunur. Fourier transformasyon yardımı ile (22) frekans alanından tanımlanan bu değerden zaman alanına geçilebilir.

#### 4. HATA ANALİZİ İÇİN MATEMATİK MODEL

Sonlu eleman yönteminin dinamik problemlere uygulanışındaki doğruluk elastik dalgaların sistem içinde yayılışının uygun bir matematik modelle gösterilmesine bağlıdır. Küçük bölgelere, bölünerek temsil edilen sürekli ortam filtre gibi hareket ederek belirli bir frekanstan büyük değerleri geçirmez. Frekansların bu üst sınırı kullanılan sonlu eleman ağının şekline, eleman boyutlarına ve yayılan dalgaların cinsine bağlıdır. Bu nedenle yapı ve zeminden oluşan sistemlerin çözümünde kullanılacak sonlu eleman boyutları frekanslara bağlı olarak çözümlerin doğruluk derecelerini etkileyebilecektir. Bunun için yansıtımayan sınırların kullanılması halinde frekanslara sonlu eleman boyutları arasındaki bağıntıların iyice saptanması sağlıklı bir çözüm için gereklidir. Hata miktarlarını saptayabilmek için en gerçekçi yol, çözüm maliyeti ve bilgisayar bellek problemine karşın, her problem için seçilecek eleman boyutlarını büyük değerlerden küçük değerlere doğru adım adım küçülterek belirli noktalar için bilinen ve hesaplanan büyüklüklerin karşılaştırılmasının yapılmasıdır. Her ayrı problem için bu işlemi tekrarlamamanın güçlüğü nedeni ile problemin basitleştirilerek hazırlanmış bir modeli üzerinde önemi olabileceği düşünülen parametrelere bağlı olarak çalışmak daha kolay ve ekonomiktir.

Yarı sonsuz bir zemin ortamında düşey doğrultuda elastik dalga yayılımını gerektiren problemlerde, bir zemin kolonu üzerinde ön inceleme yapmak en basit yöntemdir. Zira, böyle bir matematik modelde ancak bir çeşit S, veya genleşme, P, dalgaları vardır. Her iki dalganın neden olduğu deplasmanlar, birbirinden bağımsız olduğundan her dalga türü için, bağımsız olarak hesaplanabilir. Ayrıca zemin kolonunun özelliği nedeni ile dalga yayılma doğrultusu ve yönü de bellidir. Açıklanan nedenlerden ötürü hata analizi çalışmalarında yalnız seçilen bir zemin kolonu üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Hata analizleri için yapılacak işlemleri şu şekilde sıralamak mümkündür.

1. Gözönüne alınan zemin kolonunu serbest yüzeyine birim genlikli ve yatay doğrultuda harmonik bir deplasman uygulanarak bunun tabandaki yansıtımayan sınırdaki oluşturduğu yansıtımayan sınır kuvvetleri bir boyutlu dalga yayılma problemine ait sürekli çözümlerle kesin olarak saptanacak,
2. Yansıtımayan sınır kuvvetleri ile sönüm kuvvetlerinin etkisi altındaki birim kesitli zemin kolonunun dinamik hesabı yapılarak yüzeydeki toplam deplasman tekrar hesaplanacak,
3. 1. maddede sisteme verilen deplasmanla 2. maddede yüzeyde hesaplanan deplasmanlar her sönüm frekansı için karşılaştırılıp rölatif hatalar hesaplanıp hata analizleri yapılacaktır.

Bu adımların birincisinde Şekil 3a da gösterilen zemin kolonunun serbest yüzeyine uygulanacak yatay doğrultudaki birim genlikli harmonik deplasman ifadesi

$$\delta = e^{i\omega t} \dots\dots\dots (23)$$

şeklinde tanımlanabilir. Bu deplasmandan ötürü homojen özellikli zemin kolonu-



nun içinde yayılacak kayma dalgalarının yansıtımayan sınırdaki oluşturduğu kuvvet, yalnız giden dalga katkısını göz önüne alarak (5) denkleminde yararlanıp

$$P = \tau \cdot A = -ikG^* e^{-ikH} e^{i\omega t} \cdot A \quad \dots\dots\dots (24)$$

şeklinde bulunur. Bu ifadede H zemin kolonunun toplam yüksekliği, A kolon taban kesiti olup, değeri birim seçilmiştir. Zemin kolonunun tabanında (24) denklemi ile tanımlanan kuvvetlerin yanısıra her birim alan için değeri  $\rho V_s^* \dot{u}$  olan viskoz sönüm kuvvetleride vardır.

Şekil 3 de gösterilen zemin kolonu viskoz sönüm kuvvetleri ile yansıtımayan sınır kuvvetlerinin etkisi altında bulunmaktadır. Problemin bu ikinci adımında zemin kolonunun her iki dinamik kuvvetin etkisi altındaki hareket denklemi yazılırsa

$$[M] \{\ddot{u}\} + [C] \{\dot{u}\} + [K]^* \{u\} = \{p\} \quad \dots\dots\dots (25)$$

elde edilir. Bu ifadede [M] kolonun kütle matrisi olup (11) denklemi ile tanımlandığı gibi yayılı ve tekil kütle matrislerinden oluşmuştur. Kompleks değerli rijitlik matrisi [K]\* (11) denklemi ile tanımlandığı gibi elemanların kompleks rijitlik matrislerinden oluşmuştur. [C] sönüm matrisinin sıfırdan farklı tek elemanı tabandaki serbestlik derecesine ait olup değeri  $\rho V_s$  dir.  $V_s^{*2} = V_s^2 (1 + 2i\beta)$  olup kompleks değerli kayma dalgası hızıdır. {p} kuvvet vektörü olup, yalnız yansıtımayan sınırdaki (24) denklemi ile tanımlanan değere sahiptir. (25) denkleminde dış kuvvetlerin harmonik olduğundan deplasmanlarda harmonik olacağından, deplasman vektörü

$$\{u\} = \{U\} e^{i\omega t} \quad \dots\dots\dots (26)$$

Şeklinde ifade edebiliriz. Deplasmanların 1. ve 2. türevlerini alıp (25) denkleminde yerine yazılırsa,

$$(-\omega^2 [M] + i [C] + [K]^*) \{U\} = \{P\} \quad \dots\dots\dots (27)$$

şeklinde kompleks genlikli lineer bir denklem takımı elde edilir. Bu denklem öncelikle seçilmiş her  $\omega_s$  değeri için çözüldüğünde kompleks ifadeli  $\{U\}_s$  vektörü bulunur. Her frekans için seçilen bir noktanın deplasman genliğinin mutlak değeri gerçel ve sanal kısımların karelerinin karekökünü alarak

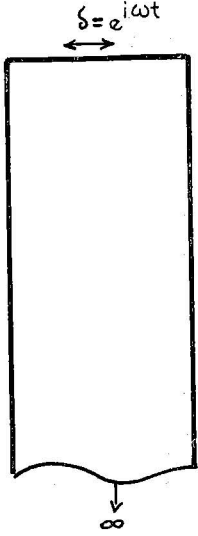
$$U_s = (U_s^2 \text{ re} + U_s^2 \text{ im})^{1/2} \quad \dots\dots\dots (28)$$

bulunur.

Yüzeydeki deplasman genlikleri seçilen her frekans için hesaplanıp başlangıçta sisteme verilen birim genlikle farkı rölatif hatayı verir.

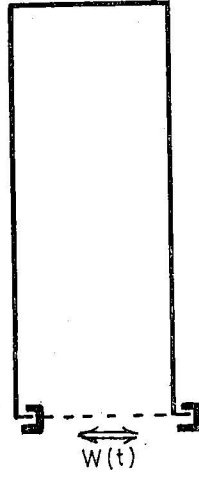
## 5. SAYISAL UYGULAMALAR VE HATA İRDELENMESİ

Hatalar, kayma dalgası hızları, sonlu elemanların kayma dalgası doğrultusundaki yükseklikleri ve hareket denklemlerinin çözümü için seçilen frekanslar arasında boyutsuz analizler yapılarak değerlendirilmiştir. Bu değerler arasında dalga boyunun,  $\lambda = V_s/f$  sonlu eleman yüksekliğine, h, oranı olarak tanımlanan r boyutsuz sayısı x eksenini olarak seçilmiştir. ( $V_s$  kayma dalgası hızı, f çözüm frekansı). Hata miktarı  $\epsilon$ , da y- eksenini olarak seçilmiştir.



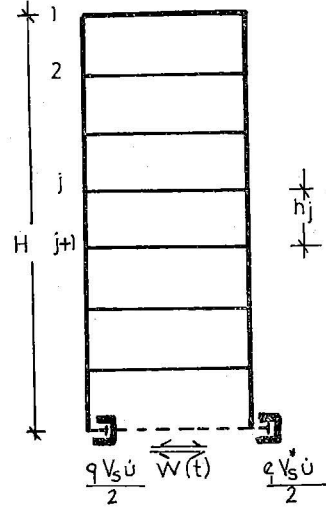
Yarı sonsuz zemin kolonu

( a )



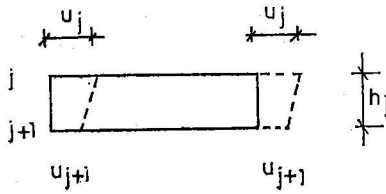
Eşdeğer sınırlı modeli

( b )



Sonlu eleman modeli

( c )



( d )

Sekil 3 Hata Analizi için Matematik Modeller

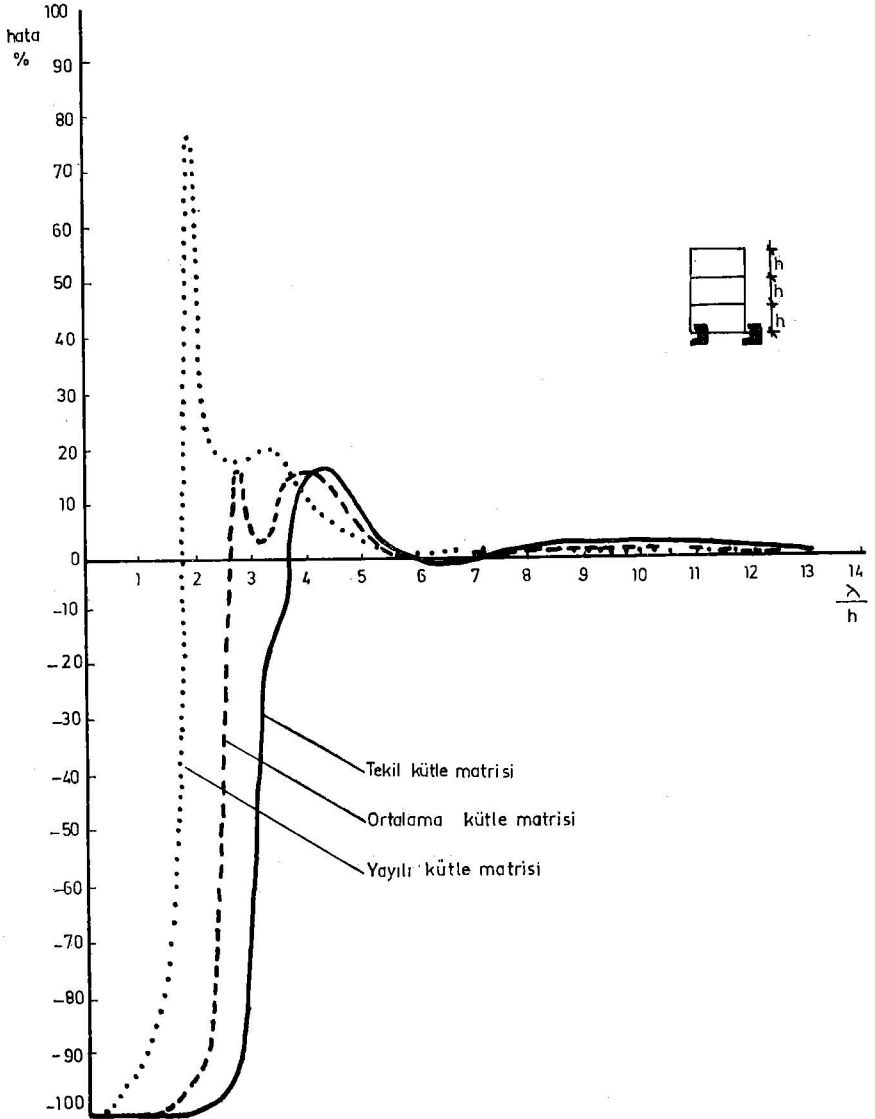
Sayısal uygulamalar için kayma dalgası hızı  $V_s = 257$  m/sn özgül ağırlığı  $\gamma = 2$  t/m<sup>3</sup> ve Poisson oranı  $\nu = 0,35$  ve sönüm oranı  $\beta = 0.05$  olan homojen bir zemin bölgesi düşünülmüştür. Bu bölgeden alınan ve yükseklikleri 30, 60, ve 120 m olan üç ayrı zemin kolonu üzerinde hesaplar yapılmıştır. Bu kolonlar yine sıra ile eleman yükseklikleri eşit 10 m, olan 3, 6 ve 12 adet dikdörtgen elemanlarla temsil edilmiştir. Her zemin kolonu kütle matrisinin kuruluşuna göre tekil ( $\alpha = 0$ ) ortalama ( $\alpha = 0.5$ ) ve yayılı ( $\alpha = 1$ ) olarak üç ayrı durum için incelenmiştir. (27) denklemi, frekansların 1-10 arasındaki değerleri için frekans artımı  $= 0.1$ , frekansların 10-100 arasındaki değerleri için frekans artımı  $= 0.5$  alınarak her kütle matrisi için 300 çözüm yapılmıştır.

Sonuçlar 30, 60, 120 metre yükseklik için tekil, ortalama ve yayılı kütle matrisleri için ayrı ayrı verilmiştir. Şekil 3, 4, 5. Her üç yükseklik için hata miktarının  $\lambda/h$  değerlerinin büyümesi ile küçüldüğü; hatta dalga boyunun eleman yüksekliğine oranı 11 olduğunda 60 ve 120 m lik yükseklikler için hatanın sifıra yaklaştığı, 30 m lik yükseklikte hatanın  $\lambda/h = 14$  den büyük değerleri için sifıra yaklaştığı görülmüştür. Genellikle  $\lambda/h$  nin değeri 6' dan büyük olduğu zaman her üç yükseklik ve kütle matrisi durumu için hataların % 1-4 arasında değişen değerler almaktadır. Yalnız, yüksekliği 120 m olan zemin kolonu için hata oranı yayılı kütle matrisi kullanılması halinde % 7 olmaktadır. Benzer sonuçları KUHLEMEYER ve LYSMER [3] düşey doğrultuda yayılan P dalgalarını absorbe eden viskoz sınırlar kullanılması halinde de bulmuşlardır. Aynı araştırmada dalga boyunun 1/4 ünden daha büyük sonlu eleman kullanılmaması gerekliliğine de işaret edilmiştir.

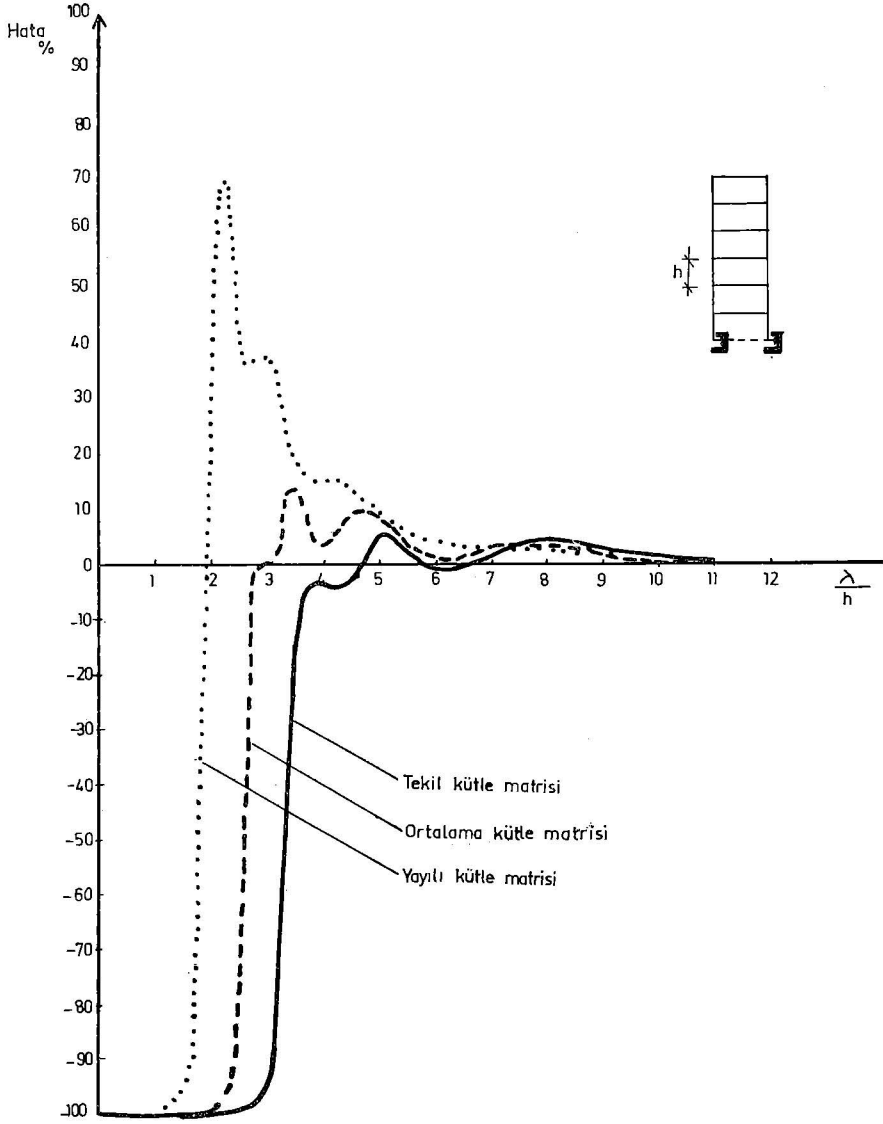
Her üç uzunluktaki kolonlar için yapılan hata analizlerinde yalnız yayılı kütle matrisi kullanıldığında dalga boyunun sonlu eleman boyutuna oranı 1.8-2.0 arasında değişebilen durumları için hata miktarının sifır olabileceği görülmektedir. Şekil 4, 5, 6 da görüldüğü gibi, bu durum ancak çok küçük bir frekans aralığı için geçerlidir. Eleman boyutlarını dalga boyunun yarısı kadar seçebilmek şüphesiz uygulamada gerek bilgisayar bellek gereksiniminde, gerek çözüm maliyetinde büyük ekonomi sağlar. Ancak, eleman boyutunu dalga boyunun yarısı kadar seçiminin bir kural olarak uygulanmayacağı açıktır. Zira, belki belirli frekans limitleri arasında ve ancak yayılı kütle matrisi kullanılması halinde bu uygulanabilir. Eleman boyutları dalga boyu yarısı kadar alındığında, Şekil 4, 5, 6 dan açık olarak görüldüğü gibi frekans ve bunlara bağlı olarak dalga boylarındaki küçük değişimler halinde hata miktarlarında büyük artımlar olacağından çözüm sonuçları güvenilir olmaz. Bu nedenle gerek tekil gerek ortalama kütle matrisi kullanılması halinde eleman uzunluğunun dalga boyunun yarısı kadar alınmaması gerektiği açıkça doğmaktadır.

Her üç boyuttaki zemin kolonu üzerindeki çalışmada tekil ve yayılı kütle matrislerinin ortalaması alınarak bulunan ortalama kütle matrisi ( $\alpha = 0.5$ ) halinde hata miktarlarının daha az olduğu eğilimi görülmektedir. Tekil ve yayılı kütle matrisi halinde bulunan noktalar daha az dalgalanma göstererek ortalama bir değer almaktadır. Zemin derinliği artınca, ortalama kütle matrisi kullanıldığında hata dalgalanması azalarak daha düzgünleşiyor.

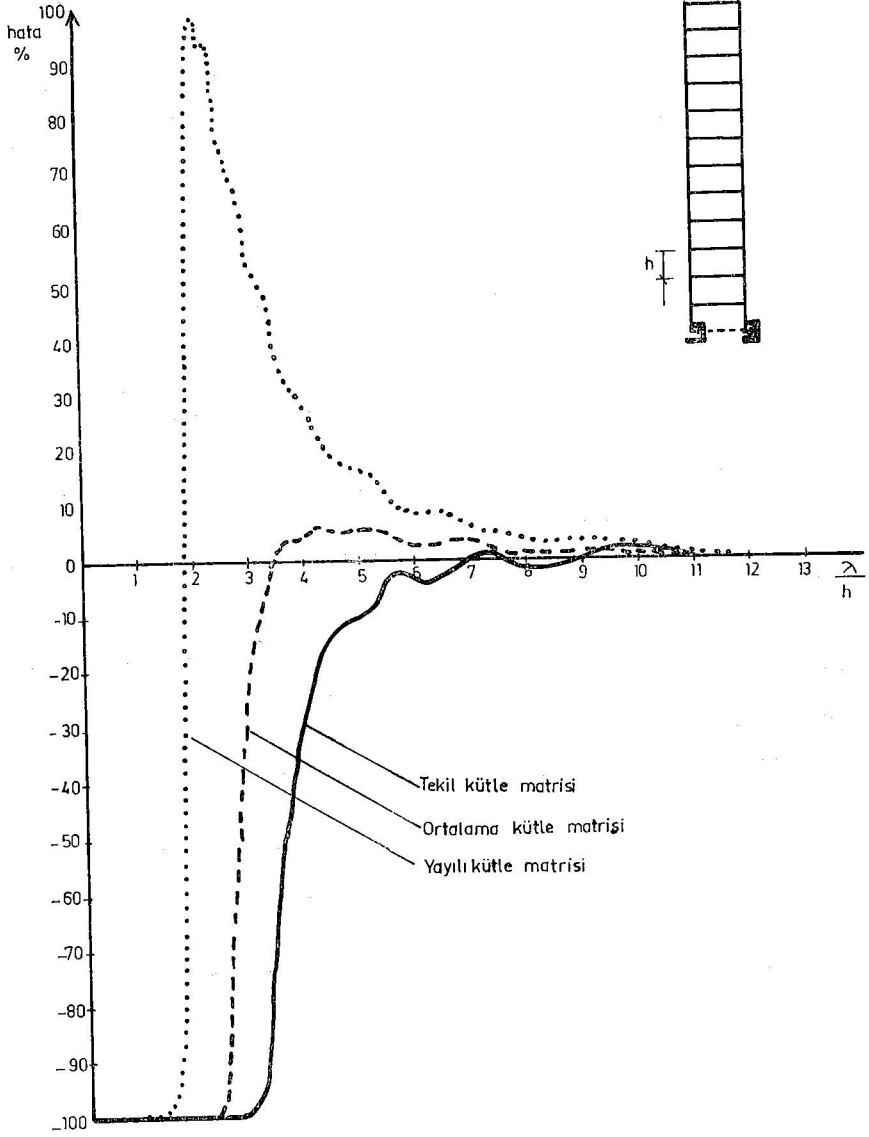
Bütün sonuçların, Şekil 4, 5, 6, incelenmesi sonucu elemanların dalga yayılımı doğrultusundaki dalga boyunun 1/5 i ölçüsünde seçilmesi halinde hata miktarlarının (ortalama kütle matrisi kullanılması halinde) % 10 dan daha kü-



Şekil - 4



Şekil : 5



Şekil : 6

çük olabileceği görülmektedir. Bu sonuç bu zamana kadar literatürde yaygın olarak kullanılan sonlu eleman yüksekliği,  $h$ , dalga boyu,  $\lambda$ , ya bağlı olarak  $h = \lambda/5$  olmalı ifadesi ile de bağdaşmaktadır [6].

Tekil kütle matrisi küçük sonlu eleman boyutu kullanıldığı takdirde olumlu sonuçlar vermektedir. Bu tür kütle matrislerinin uygulanışı bilgisayar belleği kullanımında büyük ekonomi sağlar. Ancak, kompleks sayıların çözüm tekniğinde kullanılması ve öncelikle frekans alanı içinde yapılan çözüm halinde bu kazanç çok önemli değildir. Problemin çözümüne getirdiği sağlık açısından ortalama kütle matrisinin kullanılması ve en büyük sonlu eleman boyutunun en büyük frekansa karşı dalga boyunun 1/5 i olarak alınması tavsiye ve uygun görülmüştür.

### KAYNAKLAR

1. WAAS, G., "Linear Two-Dimensional Analysis of Soil Dynamics Problems in Semi-Infinite Layered Media". Ph. D. Dissertation, University of California, Berkeley, 1972.
2. DUMANOĞLU A.A., "Zemine Kısmen Gömülü Ağır Yapıların Dinamik Hesabı". K.T. Üniversitesi, 1978.
3. KUHLEMEYER, R.L., "Finite Element Method Accuracy For Wave Propagation Problems". ASCE, SM5, Vol. 99, (421-427), 1973,
4. SCHNABEL, B., "SHAKE-A Computer Program For Earthquake Respanse LYSMER, J., Analysis of Horizontaly Layered Sites" SEED, H.B., E.E.R.C. 72-13, University of California, Berkeley, CAL., 1972.
5. LYSMER, J., "Finite Dynamic Model For Infinite Media" KUHLEMEYER, R.L., ASCE, EM4, Vol. 95, (859-877), 1969.
6. LYSMER, J., "LUSH, A Computer Program For Complex Response UDAKA, T., Analysis of Soil-Structure Systems" SEED, H.B., E.E.R.C. 74-4, University of California, HWANG, R., Berkeley, CAL. 1974.
7. HITCHINGS, D., KUNAR, R.R., "An Efficient Methods For The Analysis of Soil-Structure Systems" BERESFORD, P.J., ASCE, EM, (yayınlanacak).

# YAPI MÜHENDİSLİĞİNDE EIGENDEĞER PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ

Dr. Halil Karadeniz\*

## SUUMMARY

Practical desing of buildings due to earthquake loadings requires first natural periods. These periods are, however, given in approximate expressions in earthquake desing codes. For complex structures, natural periods and mode shapes sholud be calculated by the theoretical or experimental methods when the modal analysis is employed in the dynamic response analysis. It is also useful to know the resonance frequencies of any vibratory systems. The natural periods, or resonance frequencies, and the mode shapes of structures can be obtained from the solution of the eigenvalue equation,

$$[\mathbf{K}] \cdot \{\mathbf{D}\} = \omega^2 \cdot [\mathbf{M}] \cdot \{\mathbf{D}\}$$

where  $[\mathbf{K}]$  and  $[\mathbf{M}]$  are symmetric banded matrices. Having defined the matrix  $[\mathbf{A}] = [\mathbf{K}]^{-1} \cdot [\mathbf{M}]$ , and

the scalar  $\lambda = \frac{1}{\omega^2}$ , the structural eigenvalue equation becomes  $[\mathbf{A}] \cdot \{\mathbf{D}\} = \lambda \cdot \{\mathbf{D}\}$ .

In this paper, an iterative solution of the structural eigenvalue problem is explained. The solution is especially attractive when the consistent mass matrix is used. First, the stiffness matrix is decomposed by the Choleski's routine and the iteration is preceded as a static solution at each step of the iteration.

The iterative solution is extended to include the hydrodynamic added mass effect on structural vibration, and also explained in the paper. The algorithms of iterations are presented. Finally, a numerical example is demonstrated.

---

(\*) İnşaat Mühendisliği Bölümü, K.T.Ü., TRABZON



The advantage of this iterative solution is that the mass and the decomposed stiffness matrices may be retained in their symmetric banded form, unlike the matrix [A] of the standart eigenvalue problem. The disadvantage of the method explained is that frequencies and mode shapes of the rigid body motion cannot be worked out.

### ÖZET

Deprem yüküne maruz binaların pratik hesabı için ilk özel periyotların bilinmesi gerekir. Bu periyotlar, yapıların boyutlandırılmasında kullanılan ilgili şartnamelelerde yaklaşık ifadelerle verilmiştir. Karışık yapıların dinamik hesabında modal analiz kullanıldığı zaman özel periyot ve mod şekilleri deneysel veya teorik yöntemlerle hesaplanmalıdır. Titreşen herhangi bir sistemin rezonans frekanslarının da bilinmesi faydalıdır. Yapıların özel periyotları, veya rezonans frekansları, ve mod şekilleri aşağıdaki özel değer denkleminin çözümünden elde edilir.

$$[K] \cdot \{D\} = \omega^2 \cdot [M] \cdot \{D\}$$

Burada [K] ve [M] simetrik band matrisleridir.  $[A] = \frac{1}{\omega^2} [K]^{-1} \cdot [M]$  matrisi ve  $\lambda = \frac{1}{\omega^2}$  skaleri tarif edilirse, yapıya ait özel değer denklemi  $[A] \cdot \{D\} = \lambda \cdot \{D\}$  şekline gelir.

Bu makalede yapıya ait özel değer probleminin iteratif bir çözümü izah edilmiştir. Çözüm, yayılı kütle matrisi kullanıldığı zaman bilhassa etkilidir. İlk önce rijitlik matrisi Choleski yöntemi ile ikiye ayrılır, ve iterasyon her adımda statik bir çözüm gibi devam eder.

İteratif çözüm, yapının titreşimine hidrodinamik ek kütlelerin tesirini de kapsayacak şekilde genişletilerek makalede izah edilmiştir. İterasyon algoritmaları takım edilerek sayısal bir uygulama verilmiştir.

Bu çözümün üstünlüğü, kütle ve ikiye ayrılan rijitlik matrislerinin iterasyon sürecinde kendi simetrik band özelliklerini korumalarıdır. Bu özellik, standart özel değer probleminin [A] matrisinde görülmez. Tanımlanan yöntemin sakıncası, rijit cisim hareketine ait frekans ve mod şekillerinin saptanmasına olanak vermemesidir.

## 1. GİRİŞ

Yapı sistemlerinin hesabında sonlu elemanların kullanılması çok bilinmi-yenli cebirsel denklemlerin meydana gelmesine sebep olur. Bu denklemlerin çö-zümü yalnız bilgisayarlarla mümkün olmaktadır. Mühendislik biliminde her hangi bir denklem takımını çözmek için çeşitli yöntemler vardır [1]. Bir mü-hendis elindeki bilgisayarın kapasitesine göre ve çözüm zamanını da göz önün-de bulundurarak mevcut yöntemlerden birini seçmek zorundadır.

Liner elastik malzemeden yapılmış bir yapının küçük deformasyonlar al-tındaki dinamik denge denklemi,

$$[K] \{D_z\} + [C] \{\dot{D}_z\} + [M] \{\ddot{D}_z\} = \{P(t)\} \quad (1)$$

ile ifade edilir. Burada  $[K]$  rijitlik,  $[C]$  sönüm ve  $[M]$  de kütle matrisleri ola-rak bilinmektedir.  $\{D_z\}$  deplasman vektörü ve  $\{P(t)\}$  de zamana bağlı yük vektörüdür. Bu denge denklemi adım adım entegrasyon yöntemi kullanılarak çözülebilir [2, 3]. Adım adım entegrasyon yöntemi çok genel olup her sisteme (liner veya non-liner) tatbik edilebilir [4], fakat uzun bir hesaplama zamanına ihtiyaç gösterir. Birden fazla yük fonksiyonları altında dinamik denge denkleminin modal analiz yöntemi ile çözümü, adım adım entegrasyon yönteminden daha caziptir. Modal analiz yöntemi, başlangıç olarak yapının öz frekans ve mod şekillerinin bilinmesini gerektirir. Bu değerler ise,

$$[K] \{D_z\} + [C] \{\dot{D}_z\} + [M] \{\ddot{D}_z\} = 0 \quad (2)$$

homojen denkleminin çözümünden elde edilir.  $[K]$  ve  $[M]$  matrislerinin bilin-mesine rağmen maalesef  $[C]$  matrisi tam olarak bilinmemektedir. Hesaplarda  $[C]$  matrisi  $[K]$  ve  $[M]$  matrislerine liner olarak orantılı kabul edilmiştir [5]. Deneysel değerler [6, 7, 8, 9] göstermiştir ki sönüm kat sayısı, genel ola-rak, kritik sönümün % 10 undan daha azdır. Böyle bir durumda sönümün öz frekanslara tesiri dinamik tepki deplasmanlarına nazaran çok azdır [6]. Do-layısıyla denklem (2)'nin çözümünde  $[C]$  matrisi ihmal edilerek homojen denk-lem,

$$[K] \{D_z\} + [M] \{\ddot{D}_z\} = 0 \quad (3)$$

şekline gelir.  $t$  zaman,  $\omega$  açısal frekans ve  $i = \sqrt{-1}$  olmak üzere

$$\{D_z\} = \{D\} \cdot e^{i\omega t} \quad (4)$$

olarak kabul edilirse (3) ifadesiyle verilen homojen diferansiyel denklem,

$$[K] \{D\} = \omega^2 \cdot [M] \{D\} \quad (5)$$

şeklinde bir eigendeğer problemine dönüşür. Burada  $\{D\}$  yapının öz titreşimine ait mod vektörüdür.

Bu makalede yapının ve yapı-sıvı sistemlerinin öz titreşimlerine ait eigen-değer problemlerini iteratif olarak çözen birer algoritma verilmiştir.

## 2. YAPI SİSTEMİNE AİT EIGENDEĞER PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Denklem (5) ile verilen eigendeğer problemi direkt veya iteratif çözüm yöntemlerinden biriyle çözülebilir. En çok kullanılan direkt çözüm yöntemlerinden Householder [10] ve QR [11, 12] yöntemleri sayılabilir. Malesef bu yöntemler bilgisayarda aşırı zaman kaybına sebep olurlar [13]. Zaman açısı bakımından kuvvet iterasyon yöntemi (Stodola-Vianello) eigendeğer hesabında daha uygun olarak kullanılmaktadır. Denklem (5),

$$[K]^{-1} [M] \{D\} = \frac{1}{\omega^2} \cdot \{D\} \quad (6)$$

şeklinde yazılarak bir standart eigendeğer denklemine dönüştürülür.

$[K]^{-1}$  simetrik ve  $[M]$  de simetrik-band matrisler olmasına rağmen bu iki matrisin çarpımı genel bir matris olup bilgisayarda geniş bir bellek alanına ihtiyaç gösterir. Bunun yerine, Ref. [14] de bahsedilen ve Ref. [15] de de detayları anlatılan bir iteratif çözüm yöntemi daha ekonomik olduğundan algoritması aşağıda verilmiştir.

- a) Elemanları +1 olan  $\{X_i\}$  mod vektörünü seç,
- b)  $\{Y_i\} = [M] \{X_i\}$  vektörünü hesaplayarak iterasyon sonucu bulunacak
- c)  $\{Z_i\} = [K]^{-1} \{Y_i\}$  denklem takımını çöz,
- d)  $\{Z_i\}$  vektörünü, en büyük elemanı +1 olacak şekilde normaliet,
- e)  $\{X_i\}$  vektörü yerine  $\{Z_i\}$  vektörünü koyarak (b) adımına git,
- f) İstenilen yaklaşım elde edilinceye kadar bu çevrimi tekrarla.

İterasyon sonunda (c) adımında bulunan  $\{Z_i\}$  vektörünün en büyük elemanı,

en büyük eigendeğer olan  $\lambda_1 = \frac{1}{\omega_1^2}$  ve normalize edilmiş  $\{Z_i\}$  vektörü de bu

eigendeğere tekabül eden  $\{D_1\}$  mod vektörü olacaktır. Programda  $\{Y_i\}$  ve  $\{Z_i\}$  aynı bellek alanını işgal etmektedir. Bu çözüm tekniğinin en büyük avantajı,  $[K]$  ve  $[M]$  matrislerinin kendi özel simetrik-band alanlarının bozulmaması ve dolayısıyla ilave belleğe ihtiyaç duyulmamasıdır. İstenilen hassasiyet elde edilinceye kadar denklem takımının çözümünü gerektiren bu teknik, başlangıçta zaman harcıyıcı gibi görülüyorsa da aslında öyle değildir. Buna sebep de  $[K]$  matrisi bir kere Choleski yöntemi ile ikiye ayrıldıktan sonra (ki en büyük zamanı bu alır) denklem takımlarının çözümleri çok kısa bir zamanda yapılır.

Daha yüksek mod ve frekanslar, kütle matrisinden mevcut modların eliminasyonu yapılarak elde edilirler. Kütle matrisinin,

$$[M_1] = [M] - \frac{\lambda_1}{\{D_1\}^T \cdot [M] \{D_1\}} [K] \cdot \{D_1\} \cdot \{D_1\}^T [M] \quad (7)$$

şeklinde bir eliminasyona maruz kaldığı kabul edilirse eigendeğer denklemi,

$$[K]^{-1} [M] \cdot \{D\} - \frac{\lambda_1}{\{D_1\}^T [M] \cdot \{D_1\}} \{D\}_1 \cdot \{D_1\}^T [M] \cdot \{D\} = \lambda \cdot \{D\} \quad (8)$$

olarak yazılabilir. Burada  $\lambda = \frac{1}{\omega^2}$  dir. Eğer  $\{D\}$  vektörü  $\{D_1\}$  vektörüne eşit

olursa denklem (8) kendiliğinden sıfıra eşit olur ki bu da imkansızdır. Dolayısıyla denklem (8) in çözümü ikinci moda ve ikinci en büyük eigendeğere yaklaşmaktadır. Bu, eigen vektörlerin ortogonallık özelliği göz önünde tutularak kolayca görülebilir. Böylece kütle matrisinin eliminasyonu genelleştirilirse,

$$[M_n] = [M] - \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\{D_i\}^T [M] \cdot \{D_i\}} [K] \cdot \{D_i\}^T \cdot [M] \cdot \{D_i\}, \quad (9)$$

olarak elde edilir. Burada n, n ci modu göstermektedir.

$$\alpha_i = \frac{\lambda_i}{\{D_i\}^T [M] \cdot \{D_i\}} \quad (10)$$

notasyonu kullanırsa yüksek modlar için eigendeğer denklemi,

$$[K]^{-1} [M] \cdot \{D\} - \sum_{i=1}^n \alpha_i \{D_i\} \{D_i\}^T [M] \cdot \{D\} = \lambda \cdot \{D\} \quad (11)$$

şeklinde ifade edilebilir. İterasyon sonucu bulunan her eigendeğer için  $\alpha_i$  ve  $\{D_i\}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) değerleri hesaplanarak bilgisayarda depolanmaktadır. Yüksek modların algoritması yukarıda verilenin aynıdır. Yalnız (c) adımı hesaplanan  $\{Z_i\}$  vektörü,

$$\{Z_i\} = \{Z_i\} - \sum_{k=1}^n \beta_k \cdot \{D_k\} \quad (12)$$

şeklinde tashih edilmelidir.  $\beta_k$  skaleri ise,

$$\beta_k = \alpha_k \cdot \{D_k\}^T \{Y_i\} \quad (13)$$

ifadesiyle tarif edilmiştir. Bu ifadedeki  $\{Y_i\}$  vektörü (b) adımı bulunan vektördür. Programda  $\{Z_i\}$  ve  $\{Z_i\}$  aynı bellek alanını işgal edecek şekilde kullanılmıştır. Algoritmanın diğer adımları hiç bir değişikliğe uğramamaktadır. Bu iterasyon sonucu bulunacak olan mod sayısı ( $n + 1$ ) dir.

### 3. YAPI-SIVI SİSTEMİNE AİT EIGENDEĞER PROBLEMİNİN ÇÖZÜMÜ

Yapı-sıvı sistemine ait eigendeğer problemi,

$$[K] \cdot \{D\} = \omega^2 \cdot [M] \cdot \{D\} + \frac{1}{2 \cdot \rho_f} \cdot [S_f]^T \{P_f\} \quad (14.a)$$

$$[K_f] \{P_f\} = \omega^2 \cdot [S_f] \cdot \{D\} \quad (14.b)$$

formülleri ile ifade edilebilir [9]. Bu formülleri kısaca,

$$[K] \cdot \{D\} = \omega^2 \cdot ([M] + [M_a]) \cdot \{D\} \quad (15)$$

şeklinde ifade etmek de mümkündür. Burada  $[M_a]$  matrisi,

$$[M_a] = \frac{1}{2 \cdot \rho_f} \cdot [S_f]^T [K_f]^{-1} [S_f] \quad (16)$$

ile tariflenen ilave kütle matrisidir.  $[K_f]$  sıvı sistemine ait rijitlik matrisi ve  $[S_f]$  de sıvı sistemine ait bir matris olup yapının ivme vektörü ile çarpıldığı zaman sıvıya ait hareket vektörünü vermektedir [9, 16].  $\rho_f$  ise sıvının yoğunluğunu göstermektedir. Denklem (16) dan da görülebileceği gibi  $[M_a]$  matrisi simetrik fakat band değildir. Dolayısıyla (15) denkleminin direkt çözümü bilgisayar açısı bakımından ekonomik değildir. Aşağıda algoritması verilen iteratif yöntem daha ekonomik ve caziptir [15].

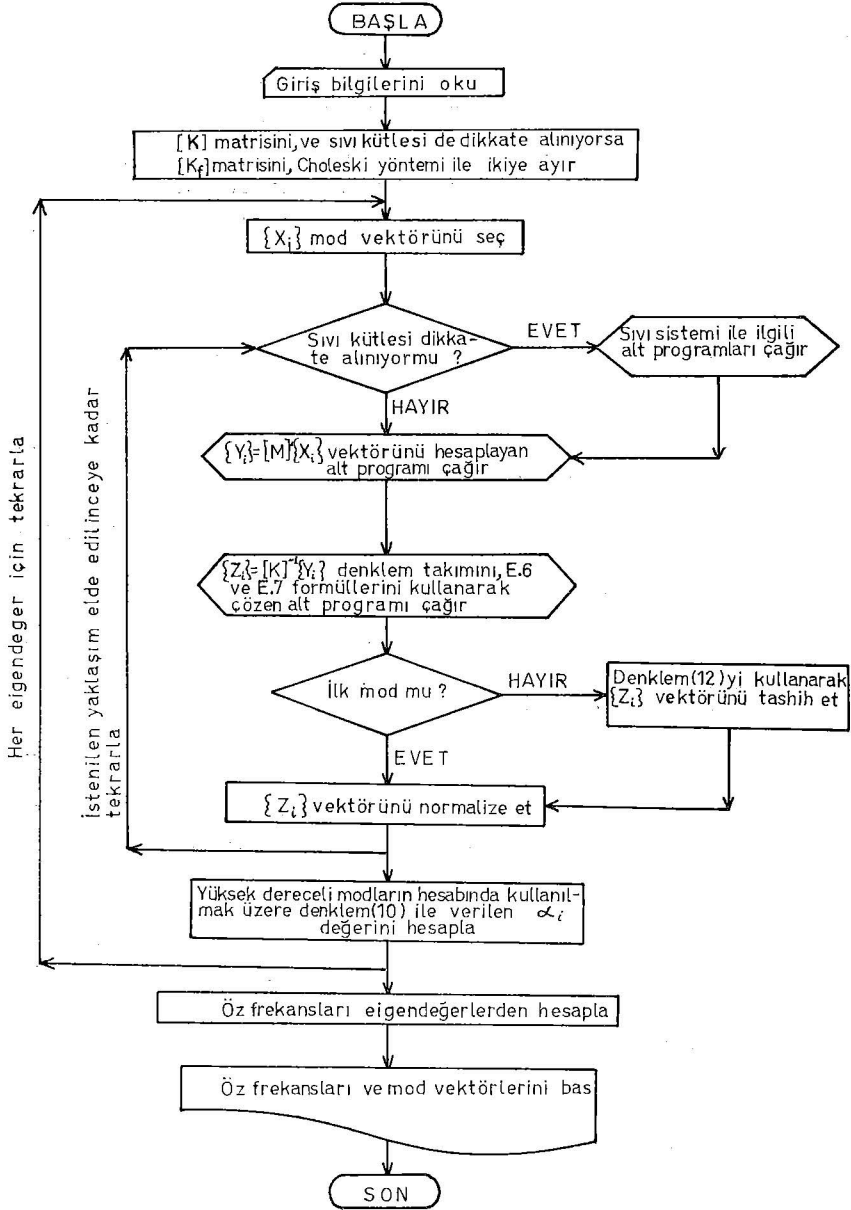
- a) Sistemin mod vektörünü  $\{X_i\}$  olarak seç,
- b) Yapı-sıvı yüzeyinde bulunan yapı elemanlarına ait  $\{x_i\}$  mod vektörlerini  $\{X_i\}$  mod vektöründen bul,
- c) Sıvı elemanlara ait hareket vektörünü  $\{f_f\} = [s_f] \cdot \{x_i\}$  olarak hesapla,
- d)  $\{f_f\}$  vektörlerini kullanarak sıvı sisteme ait  $\{F_f\}$  hareket vektörünü bul,
- e)  $[K_f] \cdot \{P_f\} = \{F_f\}$  denklemini çözerek  $\{P_f\}$  hidrodinamik basınç vektörünü bul,
- f) Sıvı elemanlara ait hidrodinamik basınç vektörlerini  $\{P_f\}$  den elde et,
- g) Hidrodinamik basınçtan dolayı yapı elemanlarına ait yük vektörlerini,

$$\{p\} = \frac{1}{2 \cdot \rho_f} \cdot [s_f]^T \{P_f\}$$

- h) Yapı sistemine ait  $\{P\}$  yük vektörünü elemanların  $\{p\}$  yük vektörlerinden kur,
- i) Yapı sistemine ait eigendeğer hesap algoritmasının (b) adımında bulunan  $\{Y_i\}$  vektörü ile (h) adımında bulunan  $\{P\}$  yük vektörünü topla,
- j) Yapı sistemine ait eigendeğer hesap algoritmasının (c), (d) ve (e) adımlarını tekrarla,
- k) İstenilen yaklaşım elde edilinceye kadar yukarıdaki (b) adımına git.

Yüksek dereceli frekans ve modlar için yapı sistemine ait eigendeğer hesap algoritmasına benzer işlemler yapılarak istenilen sayıda frekans ve mod şekilleri bulunabilir. (e) adımında verilen denklem takımının her iterasyon için çözümü zaman kaybına sebep olduğu sanılırsa da bu kayıp  $[M_a]$  matrisini kurmak için kaybedilen zamandan daha azdır [15]. Bu durum, iterasyondaki liner denklem takımlarının çözümünde Choleski yönteminin kullanılmasıyla mümkün olmaktadır.

Yukarda verilen her iki algoritmayı da içeren bilgisayar programının akış diagramı Şekil 1. de gösterilmiştir. Liner denklem takımlarının çözümünde Choleski yöntemi kullanıldığı için bu yöntem Ekte ayrıca özetlenmiştir.



ŞEKİL 1. – EIGENDEĞER HESAP ALGORİTMASININ AKIŞ DİAGRAMI

#### 4. SAYISAL UYGULAMA

Anlatılan yöntemle Şekil 2. de görülen bir köprü taşıyıcı sistemine ait ilk üç özel periyot ve mod şekilleri saptanmıştır. Köprü kirişi her iki ucundan kayıcı mafsallı, eyik kolonlar da tabandan ankastre olarak alınmışlardır. Kolonların kütesiz olduğu kabul edilerek yalnız kirişte  $m = 0.5 \text{ t.sn}^2/\text{m}^2$  lik yayılı bir kütle düşünülmüştür. Sistemin şekil düzlemi içindeki titreşim deplasmanları belirli bir doğrultuda sınırlandırılmaksızın yatay, dikey doğrultularda ve açısal olarak tamamen serbest bırakılmışlardır. Mod şekillerini doğru olarak elde edebilmek için her çubuk kendi içinde 4 eşit elemana bölünmüştür. Böylece, sınırlar hariç, toplam düğüm noktası sayısı 17 olmaktadır. Sistemin kütle ve rijitlik matrisleri, band genişlikleri 15 olan  $55 \times 55$  boyutlarındadırlar.

Sistemin ilk üç özel periyotları aşağıda verildiği gibi hesaplanmışlardır.

$$T_1 = \frac{65.83}{\sqrt{EI}} \text{ sn} , \quad T_2 = \frac{29.67}{\sqrt{EI}} \text{ sn} , \quad T_3 = \frac{23.65}{\sqrt{EI}} \text{ sn}$$

Bunlara karşılık olan mod şekilleri Şekil 3. de gösterilmişlerdir. Şekillerden de görüldüğü gibi birinci mod antimetrik, ikinci mod simetrik ve üçüncü mod ise yine antimetrik çıkmaktadır.

#### EK — CHOLESKI YÖNTEMİ İLE LİNER DENKLEM TAKIMI ÇÖZÜMÜ

Bir liner denklem takımı,

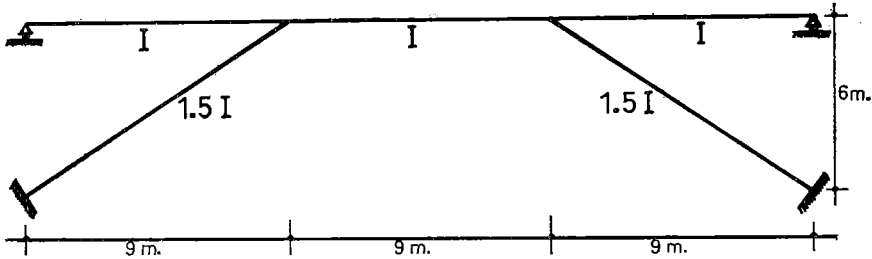
$$[K] \cdot \{D\} = \{P\} \quad (\text{E.1})$$

ifadesi ile verilmiştir. Burada  $[K]$  rijitlik matrisi,  $\{D\}$  deplasman vektörü ve  $\{P\}$  de yük vektörüdür.  $[K]$  matrisini,

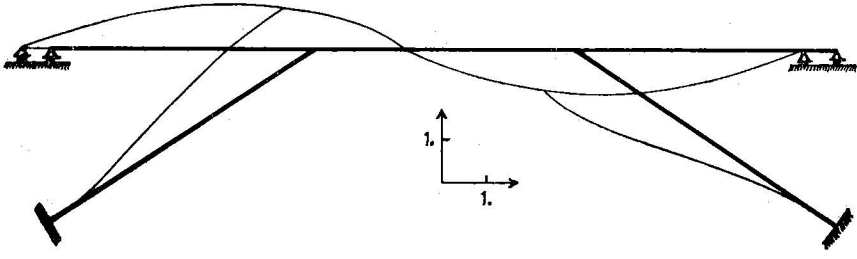
$$[K] = [L]^T [L] \quad (\text{E.2})$$

şeklinde iki parçaya ayırmak mümkündür. Burada  $[L]$  bir üst yamuk ve  $[L]^T$  de onun transpozu olan bir alt yamuk matristir.  $[K]$  nın (E.2) deki değeri (E.1) de yerine koyulursa,

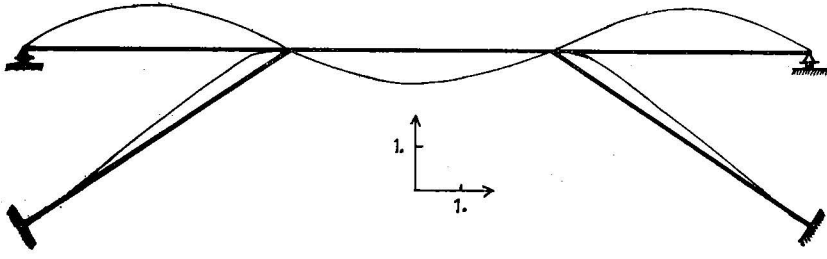
$$[L]^T [L] \cdot \{D\} = \{P\} \quad (\text{E.3})$$



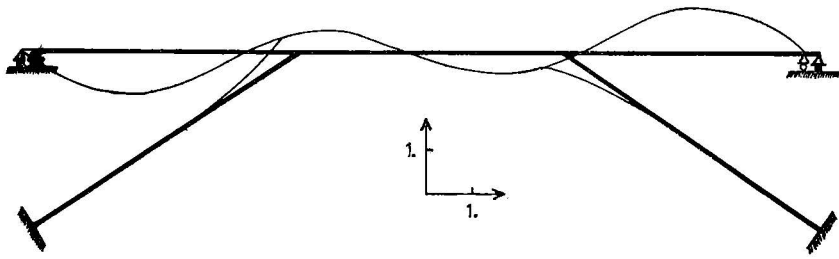
ŞEKİL 2. — BİR KÖPRÜ TAŞIYICI SİSTEMİ



a — Birinci mod



b — İkinci mod



c — Üçüncü mod

ŞEKİL 3.—KÖPRÜ TAŞIYICI SİSTEMİNİN MOD ŞEKİLLERİ



ifadesi bulunur. Bu denklem de,

$$[L] \{D\} = \{Q\} \quad (\text{E.4})$$

$$[L]^T \{Q\} = \{P\} \quad (\text{E.5})$$

şeklinde iki liner denklem takımlarına indirgenir.

İlk önce denklem (E.5) çözümlenerek  $\{Q\}$  vektörü bulunur, daha sonra denklem (E.4) dñn çözümünden  $\{D\}$  vektörü elde edilir. Programlamada  $[L]^T$  için ayrı bellek alanı ayrılmayıp bütün işlemler  $[K]$  matrisi için ayrılan alanda yapılarak  $[L]$  matrisi depolanır. (E.5) denkleminin çözümü sıra ile  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  değerlerinin bulunmasını ve (E.4) denkleminin çözümü sıra ile  $D_n, D_{n-1}, \dots, D_2, D_1$  değerlerinin bulunmasını gerektirir. Bunlardan I. si normal sırada yerine koyma ve II. si de ters sırada yerine koymadan ibarettir. Her iki durum formül halinde yazılırsa (E.5) denklemleri için,  $i = 2, 3, \dots, n$  olmak üzere,

$$Q_i = \frac{P_i - \sum_{j=1}^{i-1} L_{ji} \cdot Q_j}{L_{ii}} \quad (\text{E.6})$$

ve (E.4) denklemleri için,  $i = n-1, n-2, \dots, 2, 1$  olmak üzere,

$$D_i = \frac{Q_i - \sum_{j=1+i}^n L_{ij} \cdot D_j}{L_{ii}} \quad (\text{E.7})$$

şeklinde verilebilir. Bu hususta daha geniş bilgi matris yöntemleri [17] kitaplarında mevcuttur.

## REFERANSLAR

1. Berezin, I.S., Zhidkov, N.P. "Computing Methods" Vol. II, Pergamon Press, 1965.
2. Goudreau, G.L., Taylor, R.L. "Evaluation of Numerical Integration Methods in Elastodynamics" Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 2, 1972.
3. Çakıroğlu, A., Özmen, G. "Numerical Integration of Forced Vibration Equations" A.S.C.E., EM 3, 1968.
4. Shantaram, D., Owen, D.R.J., Zienkiewicz, O.C. "Dynamic Transient Behaviour of two and three dimensional Structures including Plasticity, Large deformation effects and Fluid interaction" Department of Civil Engineering, University of Wales, C/R/231, Swansea, 1974.
5. Desai, C.S., Abel, J.F. "Introduction to the Finite Element Method" Van Nostrand Reinhold, 1972.
6. Dumanoğlu, A.A. "The Dynamic Foundation Interaction of Multistorey Frames" Ph. D. Thesis, Bristol University, 1973.
7. Dungar, R. "The Theoretical and Experimental Analysis of Arch Dams subjected to Seismic Loading" Ph. D. Thesis, Bristol University, 1968.
8. Woodman, N.J. "The Static and Dynamic Analysis of Shell Structures using Doubly Curved Shell of Revolution Finite Elements" Ph. D. Thesis Bristol University, 1969.
9. Karadeniz, H. "The Theoretical and Experimental Dynamic Analysis of Thin Shells of Revolution" Ph. D. Thesis, Bristol University, 1976.
10. Wilkinson, J.H. "Householder's Method for the Solution of the Algebraic Eigenproblem" The Computer J., Vol. 3, 1960.
11. Ortega, J.M., Kaiser, H.F. "The LLT and QR methods for Symmetric Tri-diagonal Matrices" The Computer J., Vol. 6, 1963.
12. Wilkinson, J.H. "The Calculation of the Eigenvectors of Codiagonal Matrices" The Computer J., Vol. 1, 1958.
13. Dungar, R. "Eigenvalue/Vector solution" Graduate Lecture notes, Bristol University, 1973.
14. Dungar, R. "The three Dimensional Analysis of Structural Foundation during Strong Motion Earthquakes" Proc. of the 4th. European Sym. on Earthquake Eng., 1972. ...
15. Dungar, R., Severn, R.T. "A Resume of Experience gained in the Static and Dynamic Analysis of Arch Dams" Proc. of Conf. on Criteria and Assumptions for Num. Anal. of Dams, Swansea, 1975.
16. Karadeniz, H. "Dönel İnce Kabuk-Sıvı Sistemlerinin Dinamik Hesabı" Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, Sayı. 19, 1977.
17. Tezcan, S. "Çubuk Sistemlerin Elektronik Hesap Makineleri ile Çözümü" Arı Kitabevi Matbaası, 1970.

## PLASTİSİTE İNDİSİNİN KAYMA DALGASI HIZINA ETKİSİ

Vahit KUMBASAR (\*)

Ali ERGUVANLI (\*)

### ABSTRACT

Resonant-column tests were performed, at zero confining pressure and under small strain amplitudes, to exhibit the effect of plasticity index of different clayey soils on the shear wave velocity, when compared at the same relative different plasticity indices and their mineralogical composition were determined qualitatively by DTA and X-ray diffraction analysis. The test results have shown the general tendency of decrease in shear wave velocity with increasing plasticity index of different soils at the same consistency, which may be evaluated as a general criteria to shed light for choice of soils and their testing programmes for aseismic design of earth structures. It should also be clear that the effect of strain amplitude and confining pressure on shear wave velocity is of prime consideration for realistic design criteria.

### ÖZET

Kohezyonlu zeminlerde plastisite indisinin kayma dalgası hızına etkisini araştırmak amacı ile, sekiz değişik kil üzerinde rezonans frekansı deneyleri yapılmıştır. Deneyler çok ufak birim kayma mertebelerinde ve çevre basıncı uygulanmadan yürütülmüştür. Deneylerde kullanılan yoğrulmuş, suya doygun killi zeminler geniş plastisite indisi sınırları içinde seçilmiş ve mineralojik bileşimleri DTA ve X-ışınları difraksiyonu ile nitelik olarak saptanmıştır.

Deney sonuçları, aynı kıvamdaki kil zeminlerde, kayma dalgası hızının artan plastisite indisi ile azaldığını göstermiştir.

Bu hususun, depreme dayanıklı zemin yapıları için malzeme seçimine ve deney programlarının hazırlanmasına ışık tutacağı düşünülmelidir. Gerçekçi tasarım aşamasında, kayma dalgası yayılma hızına çevre basıncı ve birim kayma genliği mertebesi etkilerinin de dikkate alınması gereği tabiidir.

---

(\*) İTÜ Maçka İnşaat Fakültesi

## GİRİŞ

Ön tasarım aşamasında daha geniş bir bakış açısına sahip olabilmek ve ayrıca güvenilir varsayımlar yapabilmek için, zeminlerin davranışları ile ilgili tüm bilgilerin değerlendirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla, zeminlerin dinamik ve mekanik özellikleri ile endeks özellikleri arasında saptanan bağıntılar ayrı bir önem kazanmaktadır.

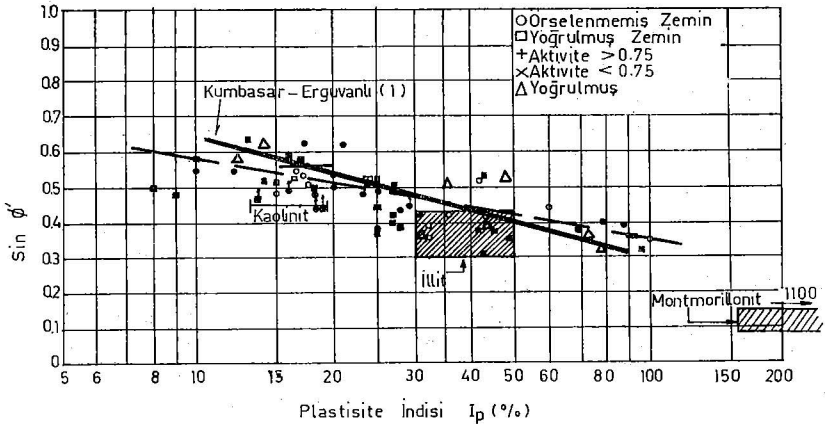
Bu makalede, eşdeğerli Konsistans İndisi ( $I_c$ ) ile belirlenen aynı kıvamdaki değişik kohezyonlu zeminlerde kayma dalgası yayılma hızı ( $V_s$ ) ile plastisite İndisi ( $I_p$ ) arasında bulunan ilişki ve araştırma sonuçları verilmektedir.

Plastisite İndisi, ( $I_p$ ), aktivite değeri ile birlikte, killi zeminlerin mineralojik bileşimini belirleyen önemli bir endeks özelliği olmaktadır. " $I_p$ " değeri ayrıca zeminlerin değişik davranışlarının izahı, şişen zeminlerin tanınması, numune alma ve deney programlarının saptanması ve zaman ile davranışlarının tahmini için kullanılan bir araç da olmaktadır.

$I_p$  değeri ile bazı mukavemet parametreleri ( $\sigma_c, c_u/p$ ) arasında saptanmış ilişkiler mevcuttur (1, 3, 6). Şekil 1'de, yapılan araştırmaların toplu sonucu olarak (1, 8) elde edilen " $\phi - I_p$ " bağıntısı verilmiştir. Bu ilişki ' $V_s - I_p$ ' bağıntısının olasılığını kuvvetlendirmektedir. Plastisite indisi ile sünme, şişme ve kabarma potansiyelleri arasında da çeşitli bağıntılar mevcuttur (8).

Killi zeminlerde, mineralojik bileşim tarafından kontrol edilen kil iç yapısı (mikro-yapı), boşluk suyu kimyası ve gerilme tarihçesi ile birlikte mekanik ve dinamik davranışları doğrudan etkilemektedir. Bu makalede, ' $I_p$ ' ile temsil edilen mineralojik bileşim, içsel yapıda atomik düzlemler arasındaki mesafe ile maddecikler arası kuvvetleri de doğrudan etkilemektedir.

Killi zeminlerde,  $I_p$  ile de ifade edilebilen, hem kil cinsi ve hem de kil miktarı önem kazanmaktadır. Zeminlerin davranışlarının "eğilimi" mineralojik bi-



ŞEKİL 1. PLASTİSİTE İNDİSİ İLE  $\sin \phi'$  ARASINDAKİ İLİŞKİ

leşim faktörlerine, "mertebesi" ise çevresel ve dış etkenlere bağlı olmaktadır. Dolayısıyla  $I_p$  ile mekanik özellikler arasındaki bağıntılar önem kazanmakta ve killi zeminlerin bileşimlerinin ifadesi geoteknik ve geodinamik değerlendirmede dikkate alınması gerekmektedir.

## DENEY YÖNTEMİ VE DENEYSEL SONUÇLAR

Farklı mineralojik bileşime ve değişik plastisite indisi değerlerine sahip sekiz adet killi zeminden hazırlanan yoğrulmuş ve suya doymun numuneler (Tablo I) üzerinde yapılan rezonans frekansı deneyleri ile kayma dalgası hızları ( $V_s$ ) saptanmıştır. (1)

Boyutları, fiziksel ve endeks özellikleri bilinen silindirik zemin numuneleri, değişik frekans aralıklarında sürekli olarak titreştirilmiş ve maksimum relatif genlik değerini veren rezonans frekansı bulunmuş ve  $V_s$  değerleri hesaplanmıştır. Deneyler sırasında birim kayma mertebesi çok ufak ( $10^{-3} < \gamma < 10^{-4}\%$ ) değerlerde kalmış ve numunelere çevre basıncı uygulanmamıştır ( $\sigma_3 = 0$ ). Gerçekci bir karşılaştırma için killi zeminlere ait  $V_s$  değerleri her zemin için aynı Konsistans Indisi ( $I_c$ ) mertebesinde alınmıştır.

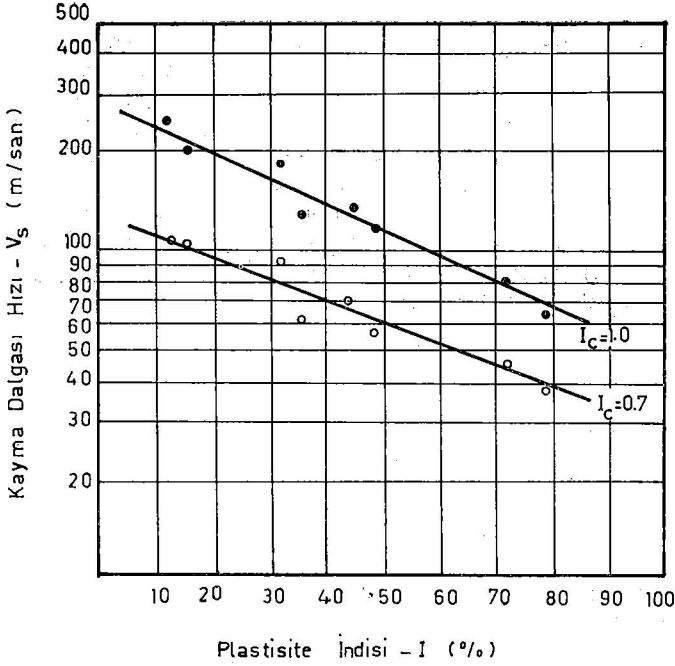
Rezonans frekansı deneylerinde kullanılan zemin numuneleri 2.5 cm. çapında ve 7.5 cm. boyunda alınmış ve deney yöntemi ile yükleme koşulları British Standards 1821 ve ASTM C 215-60'a uygun olarak yapılmıştır. Killerin mineralojik bileşimleri DTA ve X-ışın difraksiyon analizleri ile nitelik olarak tayin edilmiştir.

Deneylerde yoğrulmuş numuneler bir prinç tüp içine sıvanarak hazırlanmıştır (D.J. Henkel 1956). Likit ve plastik limitler arasında değişik su muhtevalarında zeminler iyice karıştırıldıktan sonra prinç tüp içine çok yavaş olarak sıvanarak doldurulmuşlar ve gerekli boyutlara erişilince bir piston vasıtası ile alttan ağırca itilerek çıkartılmışlardır. Bu şekilde numune hazırlanması halinde boşluk suyu basıncılarının oluşmadığı kabul edilmektedir. Rezonans frekansı deneylerinde de, çevre basıncı sıfır olmasına rağmen, uygulanan gerilme (birim kayma'yı oluşturan) mertebeleri çok çok küçük olduğundan, oluşacak negatif boşluk suyu basıncı değerlerinin ihmal edilebilir mertebelerde olduğu varsayılmıştır.

Numune hazırlanması ve deneyin yapılması 45 dakikadan az vakit almıştır. Bütün numuneler aynı şekilde hazırlanıp aynı koşullarda deneye tâbi tutulduklarından dolayı, boşluk suyu basıncının mevcudiyeti incelenen davranış değişimini etkileyen bir değişken olarak kabul edilmemiştir.

Bu çalışmada, killi zeminlerde  $V_s$  değerinin artan  $I_p$  ile değişiminin genel eğilimi incelenmiş, tüm dış ve çevresel faktörler bütün deneylerde aynı ve deney süresince sabit olarak tutulmuştur.

Şekil 2'de plastisite indisinin değişik zeminlerin kayma dalgası hızına etkisi görülmektedir. (Tablo 1'den). Deneysel sonuçların ışığı altında ve bu şekil üzerinde de belirtildiği gibi aynı kıvamdaki (eşdeğer Konsistans İndisine sahip) killerde, yüksek plastisite indisi zeminler daha düşük " $V_s$ " değeri almaktadırlar. " $I_p$ " ile " $\log V_s$ " arasında doğrusal bağıntı varlığı görülmektedir.  $I_p$  ile kohezyonlu zeminlerin enerji yutma kapasiteleri (sönüm özellikleri) arasında benzer ilişkiler önceki çalışmalarda verilmiştir. (1, 2, 7).



ŞEKİL 2.- KAYMA DALGASI HIZININ PLASTİSİTE İNDİSİ İLE DEĞİŞİMİ

Şekil 2 üzerinde, ayrıca herhangi bir cins zemin için ( $I_p$  sabit alındığında),  $I_c$  azaldıkça  $V_s$  değerinin de azaldığı görülmektedir. Bu ilişki,  $V_s$  ile su muhtevası "w" veya, buradan suya doygun halde doğrudan boşluk oranı "e" arasında bir bağıntıyı kanıtlamaktadır. Bu araştırmada, ayrıca, her değişik cins zemin için,  $V_s$  ile 'e' arasındaki varlığı bilinen doğrusal bağıntı da saptanmıştır (4). Ancak, farklı  $I_p$ 'li sekiz değişik killi zemin üzerinde bütün deneysel sonuçlar değerlendirildiğinde,  $V_s$  ile e arasında bir ilişki görülmemektedir. Tablo 1'den de görüleceği gibi, örneğin su muhtevaları  $24 < w < 26$  % arasında  $V_s$  değeri 105-200 m/sn. arasında değişmekte ve yine örneğin su muhtevası 35 % iken, kayma dalgası hızında farkı 2 katına varan değerler elde edilmektedir ( $60 < V_s < 115$  m/sn.). Bu hususlar dikkate alınarak, genel değerlendirmede, "w" ve hatta "w/w<sub>L</sub>" oranı yerine, farklı değerleri normalize etmek için Konsistans İndisi ( $I_c$ ) parametresi kullanılarak uygun bir karşılaştırma tabanı elde edilmiştir.

## SONUÇLAR

Çevre basıncı uygulanmadan ve ufak birim kayma mertebelerinde aynı kıvamdaki değişik killi zeminler üzerinde yapılan rezonans frekansı deney sonuçları, plastisite indisinin kayma dalgası yayılma hızına etkisi göstermekte-

dir. Bu araştırmanın gayesi, kohezyonlu zeminlerde  $I_p$  ile belirlenebilen mine-ralojik bileşimin, " $V_s$ " değerine etkisinin saptanması olmuştur.

DeneySEL sonuçlar, eşdeğer konsistan indisine sahip killi zeminlerde, " $V_s$ " değerinin artan  $I_p$  ile azaldığını göstermektedir (Şekil 2). Bu hususun ilk aşamada sınıflandırma ve değerlendirme ile depreme dayanıklı yapılarından zeminlerin seçimi ve deney programlarının saptanmasına ışık tutacağı düşünülmektedir. DeneySEL olarak elde edilen, " $\log V_s - I_p$ " bağıntısı, bu konudaki çalışmalarını tamamlayıcı bilgi olduğu kabul edilmektedir.

Son tasarım aşamasında ve dinamik yüklerin altındaki arazideki koşullarının tasarımı gerçekçi olarak yansımında,  $V_s$  değerine etkileyen tüm dış ve çevresel parametrelerin (4) ve öncelikle çevre basıncı ile birim kayma mertebesi- nin göz önüne alınacağı düşünülmelidir.

### SİMGELER

- e = Boşluk Oranı  
 $I_c$  = Konsistans (Kıvam) İndisi  
 $I_p$  = Plastisite İndisi  
 $V_s$  = Kayma Dalgası Hızı  
w = Su Muhtevası (İçeriği)  
 $w_L$  = Likit Limit  
 $w_p$  = Plastik Limit  
 $\emptyset$  = Kayma Mukavemeti Açısı

### KAYNAKLAR

1. Erguvanlı, A., (1975), "Kohezyonlu Zeminlerin Dinamik Özelliklerinin DeneySEL Yöntemler ile Saptanması", Ph. D. Thesis, İstanbul Technical University. İTÜ Turkey.
2. Erguvanlı, A., (1977), "Influence of Mineralogical Composition on the Damping Capacity of Cohesive Soils", 6 WCEE, 6-242.
3. Gibson, R.E., (1953), "Experimental Determination of the True Cohesion and True Angle of Friction in Clays", Proc. 3 rd Intern. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 1, p. 126.
4. Hardin, B.O, Drnevich, V.P., (1972), "Shear Modulus and Damping in Soils, Measurement and Parameter Effects". Jour of the Soil Mech. and Found. Div., June. ASCE.
5. Henkel, D.J., (1956), "The Effect of Consolidation on the Behaviour of Clays During Shear", Geotechnique, Vol. VI, Number 4 139-150.
6. Kenney, T.C., (1967), "The influence of Mineralogical Composition on the Residual Strength of Natural Soils", Proc. of the Oslo Geotechnical Conf. on the Shear Strength Properties of Natural Soils and Rocks., Vol. 1, pp 123-129.
7. Kumbasar, V, Erguvanlı A, (1975), "The Damping Characteristics of Cohesive Soils, determined Experimentally" Proc. 5th ECEE, İstanbul, Vol. 1. ch 2/18.
8. Mitchell, K.J., (1976), "Fundamentals of Soil Behaviour", John Wiley and Sons Inc.

**TABLO I — Deneylerde Kullanılan Kohezyonlu Zeminlerin Endeks ve Dinamik Özellikleri**

Özellikler Kil Cinsi	$\omega_L$ (%)	$\omega_p$ (%)	$I_p$ (%)	$\gamma_s$ (gm/gm <sup>3</sup> )	Hakim Mineraller	$\phi'$	$I_c = 0.7$			$I_c = 1.0$		
							$\omega$ (%)	$e$	$V_s$ (m/sn)	$\omega$ (%)	$e$	$V_s$ (m/sn)
Balta Limanı	34.0	21.6	12.4	2.65	Kaolinit Kuarz Feldispat	34.5	25.3	0.67	105	21.6	0.57	250
Sındırgı	39.0	24.5	14.5	2.70	Kaolinit	38.0	28.9	0.78	103	24.5	0.66	200
Anarşa	55.2	24.5	30.7	2.68	Kuarz Kaolinit	21.0	37.7	1.01	90	24.5	0.65	190
Uşak	60.7	25.5	35.2	2.65	Kaolinit	31.0	36.6	0.97	60	25.5	0.68	125
Edirne Kapı Sarı	82.5	34.0	48.5	2.76	Illit	32.0	48.6	1.34	55	34.0	0.94	115
Büyük Çekmece Yeşil	84.5	40.2	44.3	2.70	Illit Kuarz	23.0	53.5	1.36	70	40.2	1.09	130
Büyük Çekmece Turuncu	113.5	42.0	71.5	2.74	Illit Kuarz Montmorill	22.0	63.5	1.74	45	42.0	1.15	80
Edirne Kapı Yeşil	124.5	46.8	77.7	2.77	Illit Montmorill	18.5	70.1	1.94	37	46.8	1.30	62



# İSTANBUL-KANDİLLİ DEPREM İSTASYONU İÇİN SÜREYE BAĞLI MAGNİTÜD DENKLEMİ

Esen Alsan\*

## ABSTRACT

Using the signal durations on Teledyne-Geotech seismograms for 98 earthquakes which are occurred in West Turkey and surrounding areas during the period December 1970 — December 1977, the relation between magnitude, signal duration and epicentral distance have been investigated for the İstanbul-Kandilli Observatory seismic station (ISK). The data involved the earthquakes with magnitudes 3.4-5.7, epicentral distances 63-570 km. and focal depths less than 70 km. The least-squares fit of the data has shown a good correlation for the linear relation given below :

$$m_b = 0.129 + 2.215 \log \tau + 0.001 \Delta$$

where  $m_b$  is the body wave magnitude,  $\tau$  signal duration and  $\Delta$  epicentral distance. The method of duration is very simple for routine magnitude determinations and  $(m_b - \log \tau)$  relation can be used for the earthquakes being in a large magnitude range.

Because of these advantages, magnitude-duration relation will increase the number of magnitude determinations, especially for local earthquakes, in comparison to the determinations obtained by using magnitude-amplitude relations.

## ÖZET

Aralık 1970 - Aralık 1977 dönemi içinde Batı Türkiye ve civarında meydana gelen 98 depremin, kısa periyotlu düşey Teledyne-Geotech sismografının kayıtlarındaki sinyal sürelerinden yararlanmak suretiyle, İstanbul-Kandilli Rasathanesi merkez deprem istasyonu (ISK) için

---

(\*) Kandilli Rasathanesi Sismoloji Bölümü

sinyal süresi ve episantr uzaklığına bağlı magnitüd denklemi araştırılmıştır. Magnitüdüleri 3.4 - 5.7, episantr uzaklıkları 63 - 570 km. arasında değişen ve ocak derinlikleri 70 km. ye kadar olan depremlerin en küçük kareler metoduyla analizi, aşağıda verilen doğrusal bağıntıya uygunluğun en yüksek olduğunu göstermiştir :

$$m_b = 0.129 + 2.215 \log \tau + 0.001 \Delta$$

burada  $m_b$  cisim dalgası magnitüdü,  $\tau$  sinyal süresi,  $\Delta$  ise episantr uzaklığıdır.

( $m_b - \log \tau$ ) bağıntısının geniş bir magnitüd aralığı içindeki depremlere, özellikle yerel depremlere, kolayca uygulanması; genliğe dayanan magnitüd denklemleriyle yapılan tayinlere göre daha çok sayıda depremin magnitüdünü tayine olanak verecektir.

## GİRİŞ

Son yıllarda bölgesel mikrodeprem etkinliklerini izleyebilmek için yüksek duyarlıklı sismografların çalıştırılması, deprem magnitüdünü tayin etmede kullanılmakta olan genliğe dayanan metodların dışında bazı magnitüd tayin yollarının araştırılmasına neden olmuştur.

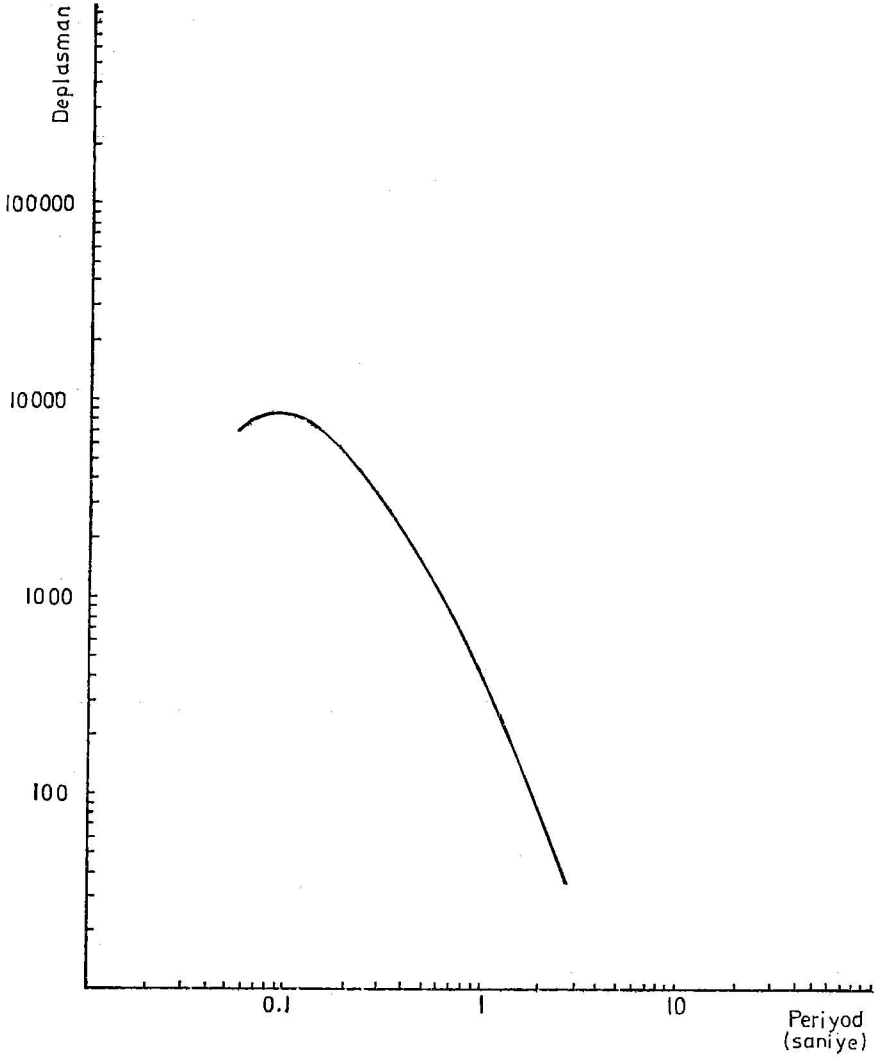
Bisztricsany (1958) magnitüd tayininde, depremin kayıt üzerindeki devam süresinin ele alındığı bir metod ortaya atmıştır. Bisztricsany, magnitüd ile sinyal süresi ve episantr uzaklığı arasındaki bağıntıyı veren çalışmasında, yüzey dalgalarının devam süresinden yararlanmıştı. Daha sonra Sakhalin deprem etkinliği ile ilgili olarak Sole'ev (1965) ve Japonya'daki sığ depremler için Tsunura (1967) bu metodu, yüzey dalgalarının devam süresi yerine depremin kayıt üzerindeki toplam süresini kullanmak suretiyle uygulamışlardır. Deprem kayıt süresinin magnitüd ölçüsü olarak kullanılıp magnitüd-süre bağıntısının Amerika'nın değişik bölgeleri için araştırılması, Lee ve arkadaşları (1972), Crosson (1972), Real ve Teng (1973), Herrmann (1975), Bakun ve Lindh (1977) gibi daha birçok araştırmacı tarafından ele alınmıştır.

Ele alınan metod, küçük magnitüdlere kadar inebilen geniş bir magnitüd aralığını kapsamaması ve kullanımındaki kolaylık bakımından özellikle bölgesel deprem etkinliklerini magnitüdüde nitelendirmekte büyük yarar sağlamaktadır.

Bu çalışmada;  $3.4 \leq m_b \leq 5.7$ ,  $63 \leq \Delta \leq 570$  km. ve  $h \leq 70$  km. olan depremleri kullanmak suretiyle İstanbul-Kandilli Rasathanesi merkez deprem istasyonu (İSK) için sinyal süresine bağlı magnitüd denklemi araştırılmıştır.

## VERİLER

ISK deprem istasyonu için süreye bağlı magnitüd denklemini elde etmede, kısa periyotlu düşey Teledyne-Geotech sismograf sisteminin verilerinden yararlanılmıştır. Öz periyodu  $t_s = 1.0$  saniye, sönüm sabiti  $h_s = 0.7$  olup, maksimum



**Şekil 1. ISK istasyonu için Teledyne-Geotech büyütme eğrisi**

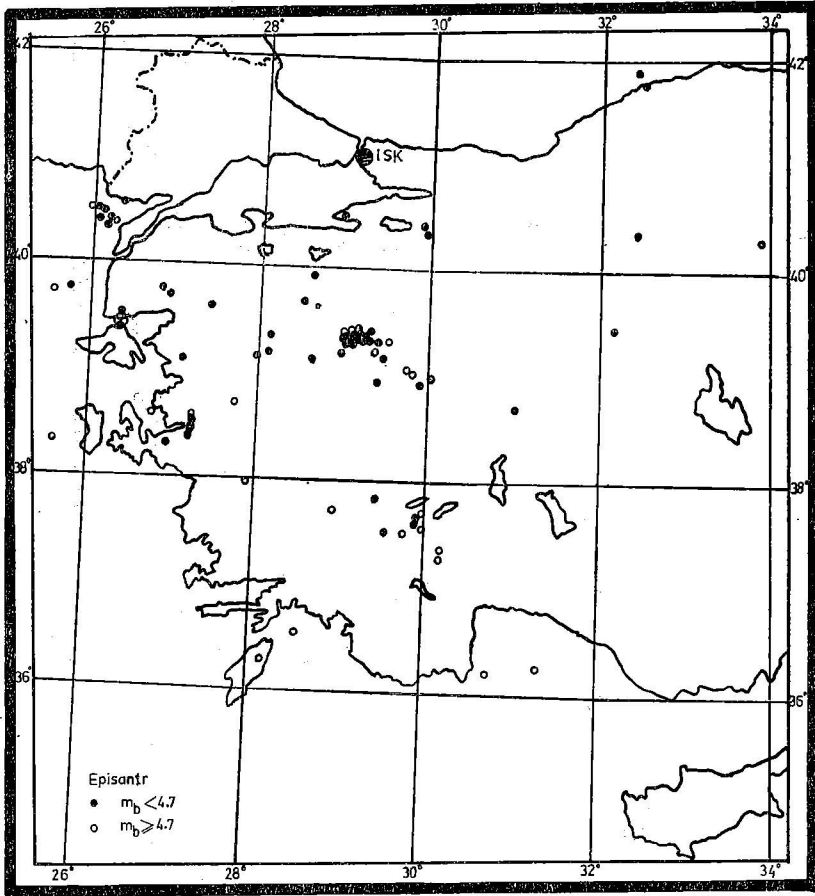
büyütmesi  $t = 0.1$  saniye için 8200 olan bu aletin büyütme eğrisi Şekil 1 de verilmektedir. ISK istasyonunda çalıştırılan yüksek duyarlılık, kısa periyotlu sismograf sistemlerinde 1977 yılı içinde yapılan değişiklikler nedeniyle, 1970 yılından beri sistemin değişikliğe uğramadığı Teledyne-Geotech için  $(m_b - \log \tau)$  denklemini saptamak yoluna gidilmiştir.

Aralık 1970 - Aralık 1977 dönemini içine alan 7 yıllık süre içinde Batı Türkiye ve civarında meydana gelen 98 deprem veri olarak seçilmiştir. Seçilen depremlerin ocak derinlikleri  $h \leq 70$  km. olup,  $\Delta$  episantr uzaklıkları 63-570 km.

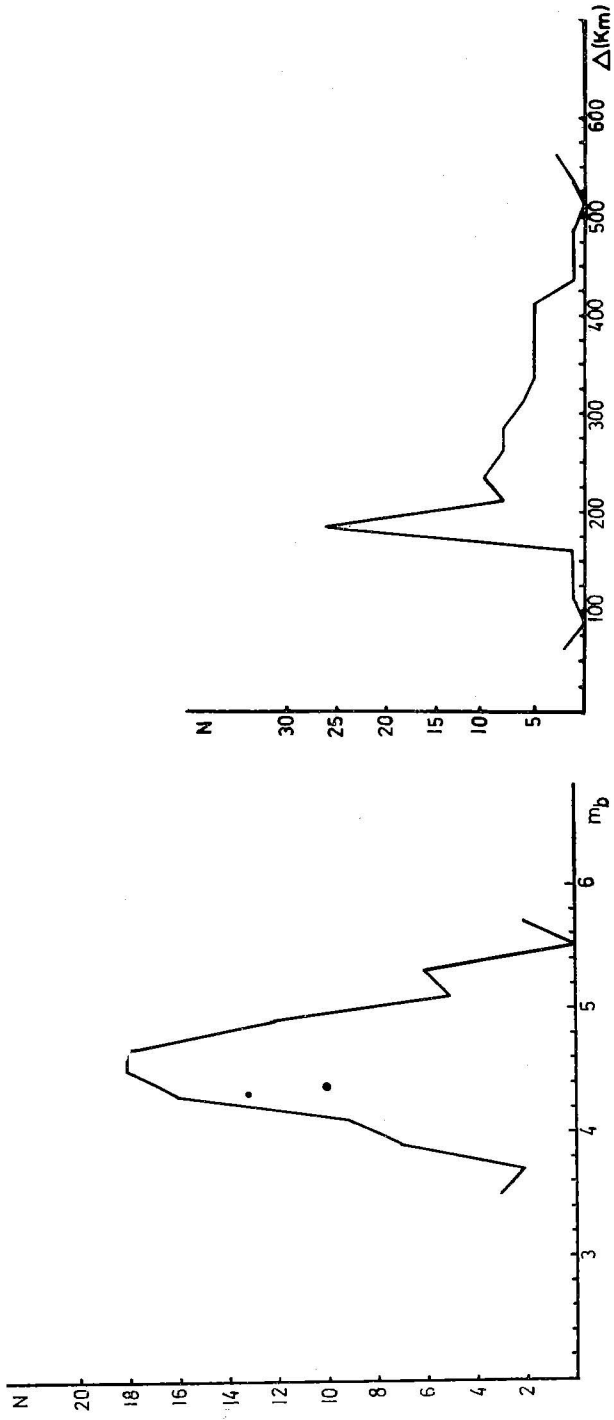
ve  $m_b$  cisim dalgası magnitüdüleri 3.4 - 5.7 arasında değişmektedir. Bu depremlerin Teledyne-Geotech sismografi ile alınan kayıtlarından, depremin kayıt üzerindeki süresi  $\tau$  okunmuştur. Bu çalışmada sinyal süresi  $\tau$ , depremin başlangıcı ile koda genliğinin (çift genlik) 1.5 mm. nin altına düştüğü nokta arasındaki saniye cinsinden zaman aralığı olarak tariflenmiştir.

Ele alınan depremlere ait episantın coğrafi koordinatları, oluş zamanı, ocak derinliği ve  $m_b$  magnitüdü gibi parametreler; 1970-1975 dönemi için "International Seismological Centre (ISC)" ın bültenlerinden, 1976-1977 dönemi için de "U.S. Department of the Interior, Geological Survey (USGS)" tarafından yayınlanan EDR (Earthquake data report) deprem raporlarından alınmıştır. Kullanılan depremlerin yerleri Şekil 2 de noktalanmış olarak görülmektedir.

Şekil 3 de ise depremlerin magnitüd ve episantır uzaklığına bağlı sayısal dağılımları verilmektedir. Bu şekillerden, magnitüdün 4.5 - 4.7 ve episantır uzaklığının 190-200 km. civarında olduğu depremler için deprem sayısı N nin en yük-



Şekil 2. Episantların Batı Türkiyedeki dağılımı



Şekil 3. Magnitud ve episantir uzaklığına göre depremlerin sayısal dağılımları

sek değerlere ulaştığı görülür. Bu durum, verilerin önemli bir bölümünü 1976 yılında Emet'de meydana gelen deprem fırtınasının oluşturmaları sonucudur.

## VERİLERİN ANALİZİ

Magnitüd-süre bağıntısı genel olarak;

$$M = a + b \log \tau + c \Delta \quad (1)$$

şeklinde verilir. Burada  $M$  magnitüd,  $\tau$  saniye olarak sinyal süresi,  $\Delta$  ise km. olarak episantr uzaklığıdır. Bağıntıda yer hareketinin genliği  $A$  ve periyodu  $T$  ye dayanan magnitüd-genlik denkleminin şekli muhafaza edilmiştir. Zira  $\tau$  sinyal süresi  $A$  ve  $T$  ye bağlı olduğundan, magnitüd denklemindeki  $A/T$  yerine  $\tau$  getirilebilir.

Başlangıçta (1) bağıntısı Bisztricsany (1958), Tsumura (1967) ve Lee (1972) gibi araştırmacılar tarafından yukarıda verilen doğrusal şekliyle uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sinyal süresinin episantr uzaklığına sıkı bir şekilde bağlı olmadığını göstermiştir. Nitekim Aki (1969) koda dalgalarının analizi ile ilgili çalışmalarında, bu dalgaların uzak mesafelerde meydana gelen geri yansımalar (backscattering) suretiyle oluştuğunu ve koda spektrumunun sadece depremin başlangıç anından itibaren olan zamanın bir fonksiyonu olup episantr uzaklığına fazla bir bağımlılık göstermediğini ileri sürmüştür. Zira koda dalgalarında mesafenin artışı ile genliğin azalması yavaştır. Şimdiye kadar yapılan süreye bağlı magnitüd denklemlerinin araştırılmasında, denklemin üçüncü teriminin katsayısı çok küçük olarak elde edilmiştir. Böylece yakın mesafeler için ( $\Delta < 200$  km.)  $\Delta$  nın bulunduğu terim hesaba katılmıyabilir.

Real ve Teng (1973) Güney California için yaptıkları yerel magnitüde dayanan çalışmalarında, magnitüdün artmasıyla  $M_L$  ve  $\log \tau$  arasındaki bağıntının hafifçe doğrusallıktan saptığını gözlemişlerdir. Aynı durum Bakun ve Lindh (1977)'in Oroville (California) için  $M_L - \log \tau$  bağıntısını araştırdıkları çalışmada da ortaya çıkmıştır. Bu çalışmalarda  $M_L - \log \tau$  bağıntısını belli bir magnitüd veya belli bir  $\tau$  süresinin altında ve üstündeki değerler için farklı eğimdeki doğrularla veya

$$M = a + b' (\log \tau)^2 + c \Delta \quad (2)$$

şeklinde ikinci dereceden bir denklemlerle çözümlenme yoluna gidilmiştir. Böylece tek bir doğrusal bağıntıya nazaran, verilerde daha iyi bir uyum sağlanmıştır. Yerel Richter magnitüdüne dayanan verilerin doğrusallıktan sapması, Richter magnitüdü ile yüzey ve cisim dalgası magnitüdüleri arasında doğrusal olmayan sistematik bir sapmanın bulunmasına dayandırılmıştır. Ayrıca  $\log \tau$  nun magnitüde bağlı olarak artış oranı aletin büyütme eğrisinin şekli ile de ilgilidir. Şöyleki, magnitüdün artışıyla olan  $\log \tau$  nun artma hızı sismografin büyütmesinin maksimum olduğu periyotla artar.

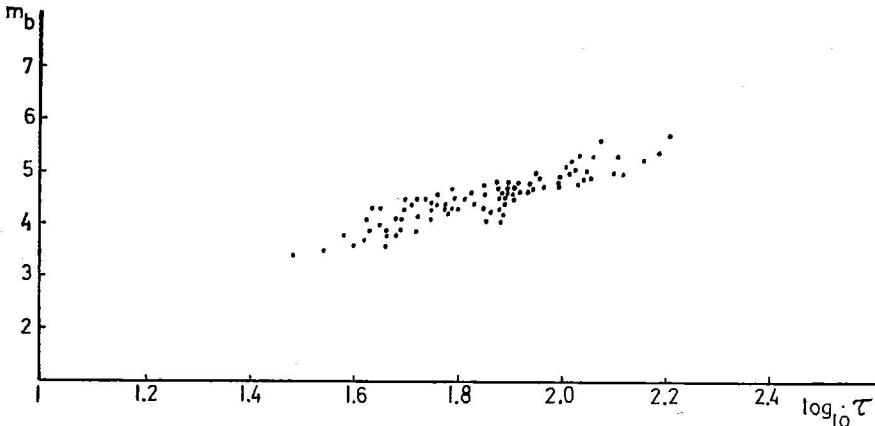
Diğer taraftan, Herrman (1975) doğrusal durumdan sapmanın cisim dalgası magnitüdü  $m_b$  ye dayanan verilerde de meydana geldiğini saptamıştır. Herrmann Orta Amerika depremleri için deprem kayıt süresine bağlı magnitüd ve sismik moment bağıntılarını araştırdığı çalışmasında, sürenin yer hareketinin spektral özellikleri ile ilişkisi üzerinde durmuş ve  $m_b - \log \tau$  bağıntısının doğru-

sal durumdan sapmasını alet özelliği ve deprem magnitüdünün büyümesiyle kaynak spektrumunun dönüm frekansının değişmesi yönlerinden açıklamıştır.

Şekil 4 de bu çalışmada kullanılan verilerin noktalanmasıyla elde edilen, cisim dalgası magnitüdü  $m_b$  nin  $\log \tau$  ya göre değişimi görülmektedir. Şekildeki noktasal dağılım daha ziyade doğrusal bir bağıntıya uygunluğu işaret etmekte, ancak büyük magnitüdlere için ( $m_b > 4.7$ ) dağılım hafifçe doğrusallıktan sapa- ma hissini de vermektedir. Büyük magnitüdlere veri sayısının az oluşu kesin görüşü engellemektedir. Bu nedenle yukarıda sözü edilen daha önceki çalışmaların ışığında, ISK istasyonu için cisim dalgası magnitüdü  $m_b$ ,  $\log \tau$  ve episantr uzaklığı arasındaki bağıntıyı elde etmede verilerin gerek doğrusal bağıntı (1) ve gerekse ikinci dereceden bağıntı (2) ye uygunlukları araştırılmış ve ayrıca (1) bağıntısı  $m_b = 4.7$  nin altında ve üstündeki değerler için farklı eğimdeki iki ayrı doğruya göre irdelenmiştir.

Araştırılan bağıntılar için katsayıların hesaplanmasında en küçük kareler metodu uygulanmıştır. Bu yolla elde edilen (1) ve (2) bağıntılarının katsayıları Tablo 1 de verilmektedir. Tablo 1 de ayrıca  $m_b$  nin standart sapması SD, korelasyon katsayısı R, kullanılan veri sayısı N ve herbir bağıntının hangi magnitüd aralıklarını içerdiği yer almaktadır.

Sonuçların incelenmesi, ilk doğrusal bağıntıyla ikinci dereceden bağıntının  $R = 0.902$  ve  $R = 0.901$  ile oldukça yüksek ve hemen hemen birbirine eşit bir uygunluk sağladığını göstermektedir. Ancak gerek korelasyon katsayısının biraz daha yüksek oluşu ve gerekse uygulanmasındaki kolaylık bakımından doğrusal bağıntı ISK istasyonu için en uygun bağıntı olarak seçilmiştir. Yüksek magnitüdlere için veri sayısının az oluşu  $m_b - \log \tau$  bağıntısının doğrusallıktan sapa- ması yönünde kesin bir sonuç getirememektedir.

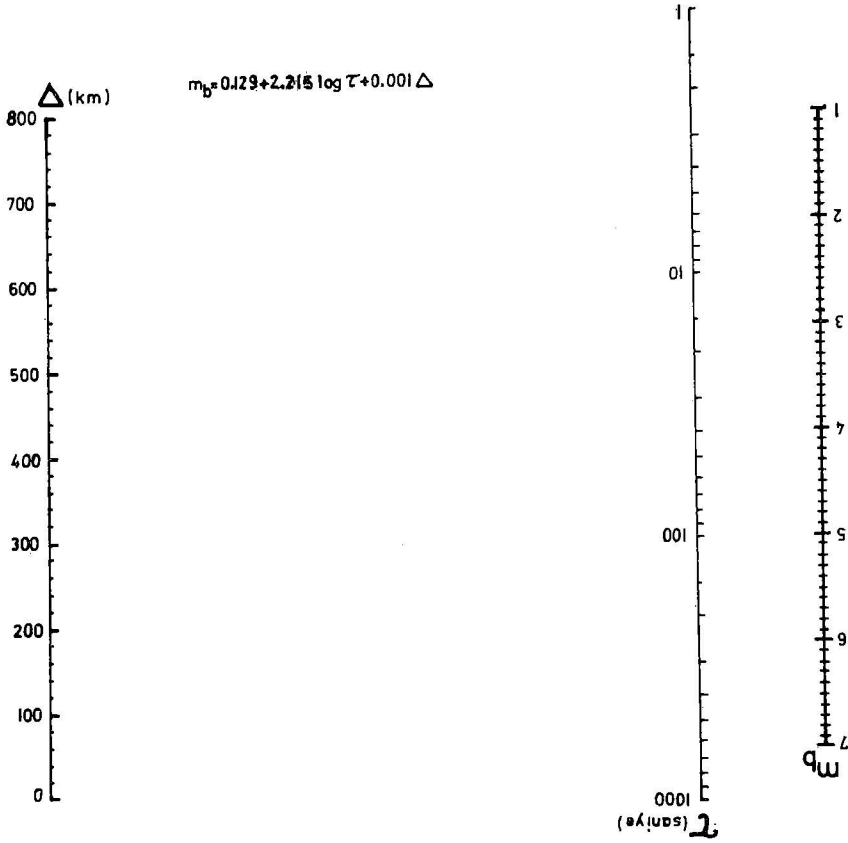


Şekil 4. Magnitüdün sinyal süresinin logaritmasına göre değişimi

Tablo 1

a	b	b'	c	SD	R	N	Magnitud arabığı
$m_b = a \pm b + \log \tau + c \Delta$							
0.129	$2.215 \pm 0.338$	--	$0.001 \pm 0.001$	0.195	0.902	98	$3.4 \leq m_b \leq 5.7$
0.731	$1.902 \pm 0.367$	--	$0.0007 \pm 0.001$	0.200	0.793	73	$3.4 \leq m_b \leq 4.7$
0.857	$1.870 \pm 0.497$	--	$0.001 \pm 0.001$	0.157	0.811	34	$4.7 \leq m_b \leq 5.7$
$m_b = a + b' (\log \tau)^2 + c \Delta$							
2.169	--	$0.595 \pm 0.091$	$0.001 \pm 0.001$	0.196	0.901	98	$3.4 \leq m_b \leq 5.7$





**Şekil 5. Sinyal süresi ve ejisantır uzaklığına bağlı magnitüd tayini için nomogram**

### SONUÇ

Kısa peryotlu düşey alet kayıtlarındaki depremlerin devam sürelerinden yararlanarak, ISK deprem istasyonu için  $m_b$  magnitüdünü tayin etmeye olanak verecek bağıntı;

$$m_b = 0.129 + 2.215 \log \tau + 0.001 \Delta \quad (3)$$

şeklinde elde edilmiştir. Bu bağıntıya ait nomogram Şekil 5 de verilmektedir.

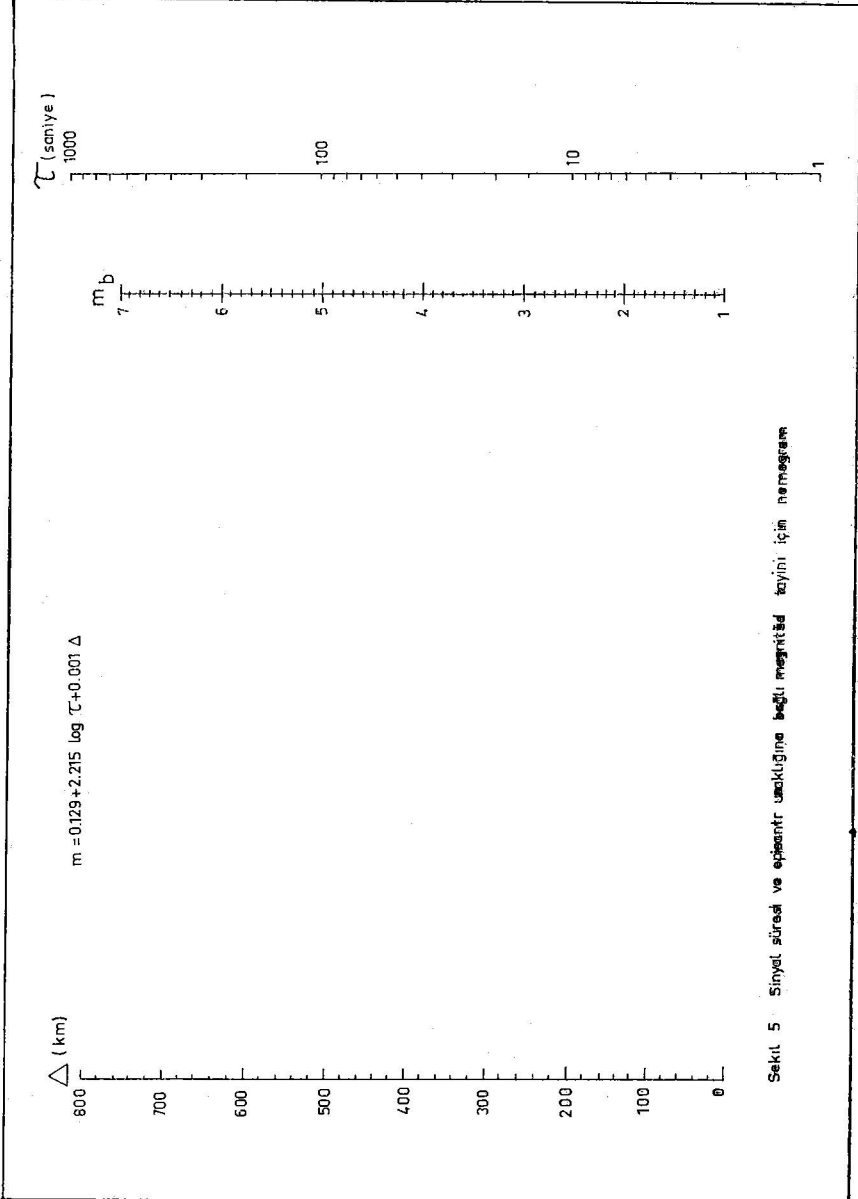
Büyütmesinin düşük olması nedeniyle Wood-Anderson sismometresinin küçük magnitüdü depremler için geçerli kayıt vermediği, daha duyarlı alet kayıtlarından da yakın depremler için kesin genlik ve peryot okumaları yapılamadığı gözönüne alınır; ISK için süreye bağlı olarak tayin edilen magnitüdülerin, genliğe bağlı magnitüd tayinlerinin bıraktığı boşlukları dolduracağı ve böylece daha çok sayıda depremin (özellikle Batı Türkiye’de oluşan depremlerin) magnitüdülerinin belirlenmesine olanak sağlayacağı açıktır.

## **YARARLANILAN KAYNAKLAR**

- Aki, K. (1969), "Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves" J. Geophys. Res. 74, 616-631.
- Bakun, W. H. and A. G. Lindh (1977). "Local magnitudes, seismic moments and coda durations for earthquakes near Oroville, California" Bull. Seism. Soc. Am. 67, 615-629.
- Bisztricsany, E. (1958). "A new method for the determination of the magnitude of earthquakes" Geofiz. Kozlemen. 7, 69-96.
- Crosson, R. S. (1972). "Small earthquakes, structure and tectonics of the Puget Sound Region" Bull. Seism. Soc. Am. 62, 1133-1171.
- Herrmann, R. B. (1975). "The use of duration as a measure of seismic moment and magnitude" Bull. Seism. Soc. Am. 65, 899-913.
- Lee, W. H. K., R. E. Bennett and K. L. Meagher (1972). "A method of estimating magnitude of local earthquakes from signal duration" U.S. Geological Survey Open File Report.
- Real, C. R. and T. L. Teng (1973). "Local Richter magnitude and total signal duration in southern California" Bull. Seism. Soc. Am. 63, 1809-1827.
- Sole'v'ev, S. L. (1965). "Seismicity of Sakhalin" Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ. 43, 95-102.
- Tsumura, K. (1967). "Determination of earthquake magnitude from total duration of oscillation" Bull. Earthquake Res. Inst. 15, 7-18.

## DÜZELTME

Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni Sayı 21 de yayınlanan "İstanbul-Kandıllı Deprem İstasyonu için Süreye Bağlı Magnitüd Denklemi" isimli makalede yer alan Şekil 5'in (sinyal süresi ve episant uzaklığına bağlı magnitüd tayini için monogramı veren şekil) basımında hata yapılmıştır. Şeklin düzeltilmiş aşağıda verilmektedir. Elde olmayan nedenle yapılan hatadan dolayı özür dileriz.



## \*BATI ANADOLUNUN DEPREM RİSKİ ANALİZİ

\*\*A. BAKİ NUMANOĞLU

### ABSTRACT

In the first chapter, the definitions of the laws governing the natural phenomena has been explained briefly. In the following chapters, properties of the Poisson distribution law are studied, since earthquake occurrences will be considered as stochastic process which are described in time and the applicability conditions of this distribution are given. The statistical model which has been used consists in two assumptions and is relatively succesful for large earthquakes. After giving the knowledge about extreme value method, it has been applied to this model and the earthquake risk is computed for the region in (37.0,41.0)N-(27.0,31.0)E coordinates. In the last chapter, the method and results are discussed.

### ÖZET

İlk bölümde, doğa olaylarını yöneten yasaların tanımları kısaca açıklanmıştır. Sonraki bölümlerde, deprem oluşumlarının rastlantıya bağlı olaylar olarak ele alınmaları ve zaman içerisinde betimlenmeleri nedeniyle, Poisson dağılımının özellikleri incelenmiş ve bu dağılımın uygulanabilme koşulları verilmiştir. Büyük depremler için oldukça başarılı ve iki varsayuma dayanan istatistik bir model kullanılmıştır. Üç değer (Extreme Value) yöntemi hakkında kısa bir bilgi verildikten sonra, bu modele uygulanmış ve (37.0,41.0)N (27.0,31.0)E koordinatları içindeki bölgenin deprem riski hesaplanmıştır. Son bölümde ise, yöntem ve sonuçlar tartışılmıştır.

---

\* İ.Ü. Fen Fakültesi Jeofizik Kürsüsünde 1977 yılında yapılan Lisansüstü çalışmasından alınmıştır.

\*\* İ.D.M.M.A. Galatasaray Müh. Y.O. Fizik Asistanı

## GİRİŞ

Bu çalışmada, konunun bir bütün oluşturmasına özen gösterilmiştir. Bütünlük ilkesinden ayrılmamak için, deprem olaylarının yorumundan yola çıkılarak, yapılan tanım, matematiksel model ve bağıntılar arasındaki ilişkiler kesintisiz bir biçimde verilmeye çalışılmıştır. Bunun sonucu olarak, elde edilen değerlerin kaçınılmaz olarak, olayların yorumuna ve aletsel verilerin doğruluğuna sıkı sıkıya bağlı olduğu açıktır.

Belirtilmesi gereken önemli bir nokta da, deprem riski ile deprem öndeyisi (Earthquake Prediction) arasındaki farktır. Deprem riski, istatistik bir yaklaşımla olasılık kuramının uygulanması sonucu, gelecekteki deprem oluşumlarının dağılım fonksiyonlarıyla belli bir olasılıkla verilmesine karşın, deprem öndeyisi ise kısaca, bölgenin fiziksel parametrelerinin değişiminin denel olarak saptanması ve bulguların değerlendirilerek o bölgede bir deprem oluşumunun habercisi olup olmadıklarının araştırılmasıdır.

Önceleri su baskınlarının kestirilmesinde kullanılan üç değer yöntemi\*, giderek diğer olaylara uygulanmaya başlanmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır. Konuya istatistik bir yaklaşım yapılması nedeniyle, deprem oluşumlarının periyodik kuvvetlere bağlı olmadıkları ve dolayısıyla kesin periyodlar göstermedikleri varsayılmıştır.

## İSTATİSTİK YAKLAŞIM

Gelecekteki herhangi bir doğa olayının kestirilebilmesi için, deterministik ve istatistik olmak üzere iki tür yaklaşım yapılabilir. Farklı yaklaşımlar yapılmasının nedeni, doğal olayların bir kısmının deterministik, diğer bir kısmının da istatistik yasalarla yönetilmesidir. Çünkü, olayların dinamiği çok sayıda değişkenin karşılıklı etkileşimlerine ve bu değişkenlerin olay içerisindeki rolüne bağlıdır.

Eğer, bir olayın kestirilebilmesi, yalnız zamanın tek değerli bir fonksiyonuyla gerçekleştirilebiliyorsa, ve diğer etkenler birkaç parametreye indirgenilebiliyorsa bu olay deterministiktir denir. Buna göre, verilen bir anda olayın durumu biliniyorsa, yapılan matematiksel yaklaşımlarla (ihmal edilebilecek kadar bir hata ile) olayın gelecekteki durumu kesinlikle bilinebilir. Deterministik olaylarda belirleyici ve öge oluşumunun kendi iç dinamiği olduğu için değişmez ölçüleri vardır. Bu nedenle, gelecekteki durumları analitik olarak zamanın tek değerli fonksiyonlarından elde edilebilir. Newton yasasına uyan tüm olaylar buna örnek gösterilebilirler.

Bir kısım olayları doğuran değişkenlerin çokluğu ve karmaşıklığı, o olayların deterministik yaklaşımlarla çözümüne olanak vermez. Fiziksel olarak belirli bir dinamiğe sahip değildirler. Mekanizmaları bilinse bile, yukarıdaki nedenlerden dolayı, değişkenlerin sayısı bir veya birkaç taneye indirgenemez. Bu tür olaylara "raslantıya bağlı" anlamına gelen "Stokastik" olaylar denir. Ancak, istatistik yaklaşımlar yapılarak, sonuçları belli bir olasılıkla verilebilir.

(\*) Gumbel, 1958.

Gelecekteki durumlarının olasılıkları, zamanın parametre olarak yer aldığı dağılım fonksiyonlarıyla hesaplanır. Deterministik ve stokastik olaylar arasındaki en temel fark budur. Bu fark, aşağıdaki iki belirgin örnekle daha iyi anlaşılabilir. Serbest düşme hareketinde, havanın direnci ihmal edildiği zaman, ilk hızsız olarak bırakılan bir cismin  $t$  zaman sonunda aldığı yol  $S = 1/2 g t^2$  dir. Bu çok basit bir deterministik örnektir. Görüldüğü gibi,  $S$  yalnızca zamanın bir fonksiyonu olup,  $g$  (yerçekimi ivmesi) bir parametredir. Herhangi bir bölgede, bir yılda kaç tane deprem olacağı sorusuna ise, ancak belli bir olasılıkla cevap verilebilir. Örneğin, Poisson dağılım fonksiyonu kullanılarak, yıllık ortalama deprem sayısı  $\alpha$  olmak üzere,  $t$  yılda  $n$  tane deprem olması olasılığı,

$$P(n; \alpha) = \frac{e^{-\alpha t} (\alpha t)^n}{n!} \quad \text{dir.}$$

Stokastik olaylar, yukarıdaki gibi,  $t$ 'nin parametre olarak yer aldığı dağılım fonksiyonlarıyla betimlenirler.

### DEPREM OLAYLARININ ELE ALINIŞ BİÇİMİ

Deprem oluşumlarının stokastik olaylar varsayılması nedeniyle, konuya istatistik yaklaşımlarla çözüm getirilmeye çalışılmıştır. Bu bölümde, önce Poisson dağılımı incelenmiş, daha sonra deprem oluşumlarının bu dağılıma uyabilme koşulları verilmiştir. Depremler, zaman içerisinde betimlendikleri için, "nokta" olaylar olarak ele alınmışlardır. Nokta olayların değerlendirilmesinde kullanılan temel dağılım, Poisson dağılımıdır. Amaç, deprem olaylarının istatistik yorumları ve matematiksel örneksemeleri (analogy) yapılarak, belli bir model kurabilmektir.

Poisson dağılımının üç temel özelliği vardır.

- a) Bağımsızlık :  $\Delta t$  küçük bir zaman aralığı olmak üzere,  $t$  zamanından  $t + \Delta t$  zamanına kadar oluşan olayların sayısı  $N(t, t + \Delta t)$  olsun.  $t$  den önceki herhangi bir zaman ise  $\tau$  ile gösterilirse,  $N(t, t + \Delta t)$ ,  $N(\tau, \tau + \Delta \tau)$  dan bağımsızdır. Bu özellik olayların gerçekleşmesinin tamamen raslantı sonucu olduğunun ifadesidir.
- b) Düzenlilik : Olayların zaman içerisinde geniş bir biçimde yayılması ve iki veya daha fazla olayın aynı anda gerçekleşme olasılığının sıfıra gitmesidir. Buna göre, olayların tek tek oluştuğu varsayılır.
- c) Kararlılık : (Stationarity) : Oluşumların birim zamandaki ortalama sayısı  $\lambda$ 'ya dağılımın oranı (rate) denir. Eğer  $\lambda$  zamanın bir fonksiyonu değilse, dağılım kararlılık özelliğine sahiptir. Başka bir deyişle, zaman eksenini boyunca herhangi bir elemanter aralık için bir oluşumun gerçekleşme olasılığı tamamen aynıdır.

Poisson dağılımı matematiksel olarak,

$$P(n; \lambda) = \frac{\lambda^n e^{-\lambda}}{n!}$$

şeklinde gösterilebilir. Bu bağıntı, olasılık yoğunluk fonksiyonu olup, birim zamanda  $n$  tane olayın gerçekleşme olasılığını verir.

Deprem oluşumlarının Poisson dağılımıyla verilebilmesi için yukarıdaki özellikleri göstermesi gerekmektedir. Bu nedenle, bazı varsayımlar getirilerek, konuya istatistik bir yaklaşım yapılmaya çalışılmıştır. Deprem oluşumlarının bu özelliklere sahip olduğunu varsaymak, ancak aşağıdaki biçimde yorumlanmalarına bağlıdır.

Deprem oluşumlarının birbirlerinden bağımsız oldukları kabul edilir. İki veya daha fazla olayın ortaya çıkması birbirine bağlı değilse, bu olaylar bağımsız olaylardır. Doğada, tam olarak, bağımsız olay yoktur. Fakat, ardarda oluşan olaylar arasındaki etkileşim ihmal edildiği zaman, bağımsızlığı bir sınır koşulu olarak düşünmek bazı problemlerin çözümünde kolaylık sağlar. Örneğin, artçı şok (aftershock) ana şoktan bağımsız düşünülemediği gibi, büyük depremlerin zaman serileri birbirlerinden bağımsız sayılabilirler. Deprem oluşumlarının bağımsızlık özelliği, bunların gelişigüzel ortaya çıktıklarını betimler. Bu nedenle, depremlerin periyodik kuvvetlerin etkisiyle oluşmadıkları, örneğin Güneş, Dünya ve Ay'ın periyodik konumlarıdaki çekim kuvvetleriyle deprem oluşumları arasında bir paralellik bulunmadığı, varsayılmıştır.

Depremlerin, zaman eksenini boyunca, belli bir zaman aralığındaki sayısının sabit olduğu varsayılır. Dolayısıyla, herhangi bir aralık için, oluşumun gerçekleşme olasılığı değişmez. Bu özellik, oluşumların zamandan bağımsız ve bölgenin sismik etkinliğinin (aktivite) sürekli bir zaman aralığı boyunca aynı kaldığı varsayımıyla özdeşleştirilmiştir. Genel olarak, sismik etkinliğin yüz yıllık bir aralık için değişmediği kabul edilebildiğinden, güvenli olabilmesi açısından, bölgenin deprem riski bu aralıkta incelenmiştir. Ayrıca, sismik etkinliğin bölgede homojen bir dağılım gösterdiği varsayılmıştır.

## MODEL

Poisson dağılımının özelliklerini gördükten sonra, büyük deprem dizileri için yapılan istatistiksel bir modelin anlaşılması kolaylaşır. Model iki varsayım üzerine kurulmuştur.

a) Bir yıldaki depremlerin sayısı, ortalama  $\alpha$  olan, bir Poisson rastlantı değişkenidir.

b) Kümülatif dağılım fonksiyonuyla dağılmış olan deprem magnitudü  $X$  bir rastlantı değişkenidir.

$X$ 'in kümülatif dağılımı,

$$F(x) = P(X \leq x) = 1 - e^{-\beta x}, \quad (x \geq 0)$$

şeklinde dir. Yukarıdaki modele Büyük Deprem Modeli de denilir. Bu modele uç değer extreme value) yöntemi uygulanarak, yeni bir  $G(y)$  kümülatif dağılım fonksiyonu elde edilmiştir.

Uç değerler yöntemi kısaca, herhangi bir stokastik olayın incelenen periyod aralığında, değişkeninin yalnızca en büyük (veya en küçük) değerlerinin kullanılmasıdır. Çoğunlukla, verilerin tümüyle işlem yapmak sakıncalı ve bazen de geçersizdir. Değişkenin en büyük (veya en küçük) değerleriyle olay hakkında daha doğru bilgi edinilebilir. Basit olarak, zaman skalası eşit aralıklara bölünerek değişkenin bu aralıklardaki maksimum (veya minimum) değerleri saptanır. Bunlar birer uç değeri gösterirler. Olay içerisindeki değişkenin uç değerlerinin dağılımı, değişkenin tüm değerlerinin dağılımını çok daha doğru betimleyebilir. Böylece, uç değer uygun bir noktasal olay oluşturmuş olur. Uç değerlerin özellikleri geniş olarak Gumbel tarafından incelenmiştir. (Gumbel, 1958) Deprem oluşumlarında uç değer olarak maksimum magnitüdlerin alınması keyfi olmakla birlikte, minimum magnitüdülerin saptanmasının olanaksız olduğundanır. Böylece, modeli oluşturan iki varsayımdan hareket ederek, maksimum yıllık deprem magnitüdü olan Y'nin aşağıdaki G(y) kümülatif dağılım fonksiyonuyla dağıldığı gösterilebilir.

$$G(y) = P(Y \leq y) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{e^{-\alpha k}}{\alpha^k} [F(y)]^k$$

$$= \exp \left\{ -\alpha [1-F(y)] \right\} = \exp(\alpha e^{-\beta y})$$

Gumbel tarafından bulunmuş olan G(y) kümülatif dağılım fonksiyonuna en büyük değerlerin "Type I" dağılımı veya birinci dağılım denir.\*

$\alpha$  ve  $\beta$  parametrelerini kestirebilmek için, ardarda n tane yıldaki ( $y_1, y_2, y_3, \dots, y_n$ ) en büyük yıllık deprem magnitüdüleri alınır. Bu değerler,  $y(1), y(2), y(3) \dots y(n)$  şeklinde artan büyüklük sırasıyla dizilirler. Herbir y(j) için G(y(j)) değeri aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$G(y(j)) = \frac{j}{n+1}$$

Elde edilen y(j) ve G(y(j)) ler artan sırada düzenlenerek bir tablo yapılır. Bu değerler extremal olasılık kağıdı denilen özel bir kağıt üzerine yerleştirilerek bir doğru elde edilir. Bu doğrudan yararlanılarak  $\ln \alpha$  ve  $\beta$  parametrelerinin değeri yaklaşık olarak bulunabilir. Ayrıca, en küçük kareler yöntemiyle,

$$\ln [-\ln G(y)] = \ln \alpha - \beta y$$

G(y)'nin orjinal dağılımından türetilen yukarıdaki bağıntıdan da parametreler

(\*) Yine, en büyük değerlerin üçüncü dağılım fonksiyonuyla çeşitli risk hesapları yapılabilmektedir.



hesaplanabilir\*\*  $\alpha$ , magnitüdü sıfırdan büyük depremlerin bir yıldaki ortalama sayısı,  $\beta$  ise magnitüdü sıfırdan büyük depremlerin ortalama magnitüdünün tersidir.

Magnitüdüleri  $y$ 'den büyük depremlerin bir yıldaki beklenen sayısı,

$$N_y = \alpha e^{-\beta y} \quad \text{ile verilir. Ortalama geri dönüş periyodu ise,}$$

$$T_y = \frac{1}{N_y} \quad (\text{YIL}) \quad \text{dir. Bu iki bağıntı risk hesaplarında önemli yer tutarlar.}$$

### BÖLGENİN DEPREM RİSKİ

Risk bir tehlikeyi belirtir. Gelecekteki durumları kesinlikle bilinmeyen ve dolayısıyla istatistik yaklaşımlarla kestirilebilen stokastik olaylarda risk söz konusu olabilir. Kelimenin geniş bir anlam taşımaması, deprem riskinin farklı yorumlarına neden olmuştur. Örneğin, deprem riski, kabaca, gelecekteki deprem olma olasılığı sayılabileceği gibi, belli şiddetteki bir depremin yerleşim bölgesinde ne kadarlık bir hasar meydana getirebileceği anlamını da taşır.

Risk deyimini daha fazla tartışmaksızın, bu çalışmanın konusu olan deprem riski  $R_D(y)$ ,  $D$  yıllık bir periyot içinde magnitüdü veya daha büyük olan depremlerin gerçekleşme olasılığı olarak tanımlanmıştır.

$$R_D(y) = 1 - \exp(-\alpha D e^{-\beta y})$$

bağıntısıyla verilir.

Batı Anadolu'da 1940-1970 periyodu için herbir yıldaki en büyük magnitüdü depremler seçilmiştir. 31 yıllık maksimumlar elde edilerek, küçükten büyüğe doğru sıraya konmuşlardır. Bunlara karşı gelen  $G(y)$  değerleri hesaplanmıştır. Tablo halindeki bu değerler, extremal olasılık kağıdı üzerine yerleştirilerek artan bir doğru elde edilmiştir. Bu doğrunun eğimi  $\beta$  ve başlangıç ordinatı (intercept)  $\ln \alpha$  dır.

$$\beta = 1.16$$

$$\ln \alpha = 6.20$$

olarak bulunmuştur.

(\*\*) Benzer bir ampirik bağıntı Gutenberg ve Richter tarafından bulunmuştur. Bu bağıntı,

$$\log N_y = a - by$$

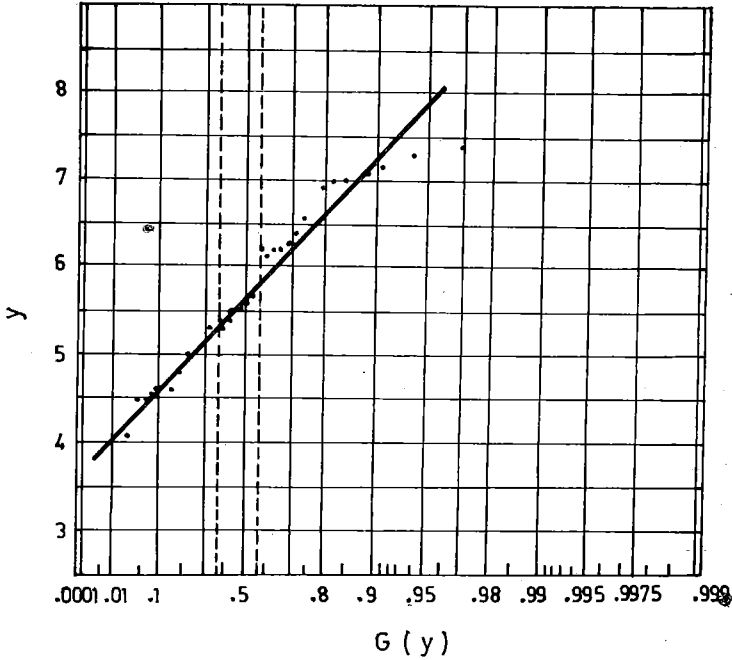
şeklinde dir. Görüldüğü gibi, şekil yönünden tamamen aynı olan bu bağıntıdaki  $a$  ve  $b$  ile  $\alpha$  ve  $\beta$  parametreleri arasındaki ilişki aşağıdaki gibidir.

$$a = \ln \alpha / \ln 10 \quad , \quad b = \beta / \ln 10$$

Veriler Balkan Kataloğundan alınmış olup, aşağıdaki gibi düzenlenmişlerdir.

y	G(y)	y	G(y)
4.1	0.031	5.6	0.500
4.5	0.062	5.7	0.531
4.6	0.093	5.8	0.562
4.6	0.125	6.1	0.594
4.6	0.156	6.2	0.625
4.8	0.187	6.2	0.656
5.0	0.219	6.3	0.687
5.0	0.250	6.4	0.719
5.1	0.281	6.6	0.750
5.3	0.312	6.9	0.781
5.3	0.344	7.0	0.812
5.4	0.375	7.0	0.844
5.4	0.406	7.1	0.875
5.5	0.437	7.2	0.906
5.6	0.469	7.3	0.937
		7.4	0.969

İncelenen bölge için 1946 yılına ait veri olmadığından, maksimum magnitüd olarak 4.1 alınmıştır.



$\ln \alpha$  ve  $\beta$  saptandıktan sonra\*, magnitüdlere 5, 6, 7, 7.5, 8 ve 8.5 den büyük depremlerin bir yıldaki beklenen sayısı  $N_y$ , bunlara karşı gelen ortalama geri dönüş periyodları  $T_y$  ile 25, 50, 75 ve 100 yıllık periyodlarda bölgenin deprem riski hesaplanmıştır. Sonuçlar aşağıdaki gibidir.

(\*) Grafik hakkındaki daha ayrıntılı bilgi EK'de verilmiştir.

y	N <sub>y</sub>	T <sub>y</sub> (YIL)	RİSK (%)			
			PERYOD (YIL)			
			25	50	75	100
5	1.49	0.67	100	—	—	—
6	0.46	2.17	99.9	—	—	—
7	0.14	6.84	97.4	99.9	—	—
7.5	0.082	12.2	87.1	98.3	99.7	99.9
8	0.046	21.7	68.2	89.9	96.7	98.9
8.5	0.025	40.0	47.3	72.3	85.4	92.3

## SONUÇ

Uç değer yönteminin temel teknikleri daha önceki bölümde tartışılmıştır. Bu yöntemin çok önemli bazı pratik üstünlükleri şöyle sıralanabilir.

a) Jeofiziksel bir değişkenin uç değerleri daha iyi bilinirler ve verilerin zaman serisindeki ortalama olaylarından daha doğru saptanabilirler.

b) Bu yöntem ana dağılım hakkında ayrıntılı bir bilgi gerektirmez.

c) Kullanılması basit olduğu gibi, çok az varsayımı kapsadığından, belirsizliklerini tartışmak oldukça kolaydır.

Yöntemin bu üstünlüklerinin yanında, şüphesiz, bazı sakıncaları da vardır. Özellikle, ekstrapolasyonla verilerin geçerli olduğu aralığın dışına kaymak, bu yöntemin başarısızlığına yol açabilir. Örneğin, Jeofiziksel değişkenler, sismik etkinlikteki dalgalanmalar ve iklimsel değişimler gibi, ancak yüzlerce yıl sonunda farkedilebilecek değişimlere maruz kalırlar. Bu değişimler iyi gözlenmemişler ve şu anda çok az anlaşılmışlardır. Bu etkenler, uç değer yöntemlerini de içine alan kararlılık varsayımı üzerine kurulan istatistik tahminleri geçersizliğe iterler.

Bunlara karşın, uç değer yöntemi, deprem riski hesaplarında başarılı sonuçlar vermiştir. Lomnitz ve Epstein bu yöntemi uygulayarak, Kaliforniya'nın deprem riskini saptamışlardır. Sonuçlar, Gutenberg ve Richter tarafından elde edilenlerle hemen hemen aynı çıkmıştır. (Epstein and Lomnitz, 1966)

Bu çalışmada seçilen bölgenin (bir bütün olarak) şimdiye kadar deprem riski saptanmadığı için herhangi bir karşılaştırma yapılamamıştır. Ancak, daha önce, magnitüd-frekans ilişkisinden bulunan değerlerle yapılan deprem riski hesaplarında, Türkiye on farklı sismotektonik bölge olarak ele alınmış (Tabban, Gençoğlu, 1975) ve burada seçilen bölge yaklaşık üç ayrı bölgenin ortak bir bölümünü oluşturmuştur. Bu nedenle, bir karşılaştırmanın anlam taşımayacağı Benzer bir çalışma, Z. Schenkova ve K. Karnik tarafından Balkan bölgesi için yapılmıştır. Yine belli bir karşılaştırma olanağı bulunamamıştır.

İncelenen peryod aralığı 31 yıl olup, daha uzun aralıklar için ekstrapolasyon yapılmıştır. Bunun geçerli olabilmesi için, bölgenin sismik etkinliğinin bu aralıklarda değişmediği kabul edilmiştir. Ayrıca, bir depremin en son hangi tarihte oluştuğuna bakılmaksızın, risk herhangi bir aralıkta incelenebilir. Çünkü, gelecekte oluşabilecek bir deprem kendisinden önceki depremin oluşum zamanına bağlı değildir. Bu durum, bağımsızlık varsayımıyla dile getirilmiştir.

Son yıllarda, sosyal ve doğa bilimlerinde istatistik yaklaşımlar giderek daha fazla ağırlık kazanmaya başlamıştır. Buna bağlı olarak, deprem konusunda yapılan araştırmalarda da istatistik değerlendirmeler önemli bir yer tutmaktadır. Türkiye'de, bu yöndeki çalışmaların geliştirilmesinin yararlı sonuçlar vereceği açıktır. Ancak, amaca ulaşabilmek için aletsel ve diğer verilerin en doğru biçimde verilmesi zorunludur. Doğaya sorulan sorulara doğru cevap alabilmek için gerekli çalışmalara hız verilmesi umut verici olacaktır.

### YARARLANILAN KAYNAKLAR

- CAPUTO, M., 1973. Analysis of Seismic Risk. In Nato Advanced Study Institutes Series Applied Science. N. 3, P. 55-85.
- COX, D.R., MILLER, H.D., 1965. The Theory of Stochastic Processes. Wiley, New York.
- EPSTEIN, B., LOMNITZ, C., 1966. A model for the occurrence of large earthquakes. Nature, 211 : 954-956
- GUMBEL, E.J., 1958. Statistics of Extremes. Columbia University Press, New York.
- LOMNITZ, C., 1974. Global Tectonics and Earthquake Risk. Developments in Geotectonics, Vol. 5, Elsevier, Amsterdam.
- SHEBALIN, N.V., KARNIK, V., HADZIEVSKI, D., (EDITORS), 1974. Catalogue of Earthquakes. Part I, 1901-1970, Skopje.
- TABBAN, A., GENÇOĞLU, S., 1975. Deprem ve Parametreleri. Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni. Sayı 11, Yıl 3.

### EK

$\ln [-\ln G(y)] = \ln \alpha - \beta y$   
bağıntısının her iki tarafı (-1) ile çarpılacak olursa,

$$-\ln [-\ln G(y)] = -\ln \alpha + \beta y$$

şekline girer.  $-\ln [-\ln G(y)]$  terimine indirgenmiş değişken (reduced variate) denir. Böylelikle, yatay eksenindeki indirgenmiş değişken  $G(y)$ 'ye bağlı olarak (—) den (+) ya doğru uzanacaktır. Dolayısıyla, artan bir doğru elde edilir. En küçük kareler yöntemi,  $-\ln [-\ln G(y)]$  ile  $y$  değerleri arasında uygulanarak  $\ln \alpha$  ve  $\beta$  bulunabilir.  $\ln \alpha$  ve  $\beta$  parametrelerinin yaklaşık değeri,  $y$  ve  $G(y)$  değerleri arasında extremal olasılık kağıdı üzerine çizilen doğrudan yararlanılarak da hesabedilebilir.

## DEPREM ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ BÜLTENİ YAYIN KOŞULLARI

1. Bültene gönderilecek telif ve tercüme yazıların :  
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 aydıngeç 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.
5. Bültende yayınlanacak yazıların 300 kelimelik beher standart sayfası için teliflerde 75, tercümelerde 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 hesaplama, yazı sahiplerine gereksiz uzatmaların kısaltılmasını teklif etmeye, verilecek ücrete 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.