



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

DEPREM ARAŞTIRMA BÜLTENİ

24



Deprem Araştırma Bülteni (DAB)

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



Ocak [January] / 1979
Cilt [Volume]: 6

Sayı [Issue]: 24

İÇİNDEKİLER [INDEX]

Sayfa [Page]

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Kumlu Zeminlerin Dinamik Özellikleri Kohezyonlu Zeminlerin Dinamik Mukavemeti Hakkında [Dynamic Properties of Sandy Soils About Dynamic Strength of Cohesive Soils]

Tuncer EDİL 1-14

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Zemin-Yapı Periyod Etkileşimi ve Deprem Yönetmelikleri [Soil-Structure Period Interaction and Earthquake Regulations]

Nuray AYDINOĞLU, Ali ERGUVANLI, Kutay ÖZAYDIN 15-28

ARAŞTIRMA [RESEARCH]

Depremlerin Oluş Nedenleri Hakkında [About the Causes of Earthquakes]

M. Ali ERGUVANLI 29-40

DİĞER [OTHER]

1 ile 5 Saniyelik Mikrotremorların Gözlemi ve Deprem Mühendisliğine Uygulaması [Observation of 1 to 5 Second Microtremors and Application to Earthquake Engineering]

Aysel YATMAN, Refan ATEŞ 41-55

**DEPREM
ARAŞTIRMA
ENSTİTÜSÜ
BÜLTENİ**

24

**DEPREM
ARAŞTIRMA
ENSTİTÜSÜ
BÜLTENİ**

24

**DEPREM ARAŞTIRMA
ENSTITÜSÜ BÜLTENİ**



Üç Ayda Bir Yayınlanır
Bilim ve Meslek Dergisi



Sahibi

İmar ve İskan Bakanlığı adına
Oktay Ergünay
Deprem Arağtırma Enstitüsü Başkanı



Yazı İşleri Müdürü

Aysel Özil
Deprem Arağtırma Enstitüsü
Yayın ve Dökümantasyon Müdürü



Yönetim Yeri ve Yazışma Adresi

Deprem Arağtırma 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 : 24

OCAK : 1979

BU SAYIDA

Kumlu Zeminlerin Dinamik Özellikleri

Tuncer EDİL

Zemin-Yapı Periyod Etkileşimi ve Deprem
Yönetmelikleri

Nuray AYDINOĞLU
Ali ERGUVANLI
Kutay ÖZAYDIN

Depremlerin Oluş Nedenleri Hakkında

Ali ERGUVANLI

1-5 saniyelik Mikrotremorların Gözlemi ve
Deprem Mühendisliğine Uygulaması

Aysel YATMAN
Ref'an ATEŞ

KUMLU ZEMİNLERİN DİNAMİK ÖZELLİKLERİ

Dr. Tuncer Edil (*)

ABSTRACT

The dynamic response of a large number of uniform-sized, dry sands and a limited number of improved gradations was obtained from resonant column tests, and the data were analyzed to evaluate the effects of grain characteristics (size, gradation, shape, surface texture) and other test variables (e.g., ambient stress conditions, void ratio or relative density, strain amplitude, number of loading cycles) on the dynamic shear modulus and the damping capacity. The test results indicate that mean principal stress, density, and strain amplitude exert the strongest influence on both the modulus and damping capacity. Shear modulus is further influenced by roundness (used to characterize shape); the effects of the other parameters are either virtually zero or very small. Damping capacity is essentially independent of roundness and the other parameters, but it is influenced by the number of loading cycles. The test results were evaluated using multiple linear regression analysis, and empirical relationships correlating shear modulus and damping capacity to the important controlling parameters were obtained. The applicability of these relationships on other sands was assessed in a secondary testing program utilizing six different sand samples. The proposed relationships and relationships proposed by other investigators were compared with the experimental data.

GİRİŞ

Zeminlerin tekrarlı dinamik yükler altında dinamik gerilme-şekil değiştirme özellikleri ve dinamik mukavemeti konu ile ilgili iki ayrı hususu oluşturmaktadır. Bu makalede, kumlu zeminlerin dinamik gerilme-şekil değiştirme bağıntılarını belirlemekte kullanılan dinamik kayma modülü, G ve sönüm oranı, D incelenmiştir. Bu parametreler deprem sonucu kayma dalgasının zemin tabakalarından yapı temellerine kadar yayılmasının hesabında veya titreşen ma-

(*) A.B.D. Madison-Wisconsin Üniversitesi Öğretim Üyesi.

kina temellerinin hesabında gerekli olmaktadır. Bu parametrelerin tanımı Özkan, Soydemir ve Gürpınar (1977) tarafından verilmiştir. Dinamik zemin parametreleri hiçbir zemin cinsi için sabit değerler olmayıp, bir çok değişkene bağlıdır. (Richart, v.d., 1970; Seed ve Idriss, 1970; Krizek, 1971; Hardin ve Drnevich, 1972 a). Kumlu (kohezyonsuz) zeminler için dinamik zemin parametrelerini etkileyen faktörlerin en önemlileri birim kayma (kayma birim deformasyon) genliği ortalama efektif asal gerilme, boşluk oranı veya izafi sıkılık, yüklenme devir adedi ve zemin iç yapısıdır. Bu faktörlerin çoğunun özellikle kayma modülü üzerinde etkisi birçok araştırmaya konu olmuştur. Bununla beraber bazı yönler daha geniş kapsamlı ve kesin bilgi gerektirmektedir. Özellikle, dane özelliklerinin dinamik zemin parametrelerine etkisi ve genel olarak sönüm oranı davranışı yeterli bir şekilde araştırılmamıştır. Bu makalede bu faktörleri amaçlayan geniş kapsamlı bir deneysel çalışmanın sonuçları sunulmaktadır.

DENEYDE KULLANILAN KUMLARIN ÖZELLİKLERİ

Deney programı iki kademelidir. İlk kademede kullanılan kumlar üç ayrı yerden elde edilmiştir; bunlar; 1-Ottawa, Illinois 2-Franklin Falls Barajı yeri, Massachusetts ve 3-Evanston Beach Illinois'dur. Bu kumların mineralojik bileşimi yüzde 80 veya daha fazla oranda kuvars ihtiva etmektedir. Kumların granulometrik özellikleri eleme yöntemi ile saptanmış ve kumlar dane boyutlarına göre kısımlara ayrılmıştır. Bu kumların dane şekli, «yuvarlaklık» ve «küresellik» sayıları ile her kısım için tanımlanmıştır. (Edil, v.d., 1975). Küresellik dane hacminin danenin sığabileceği en küçük kürenin hacmine oranı, yuvarlaklık ise dane köşelerinin yarı çapının ortalama dane yarıçapına oranı olarak tanımlanmaktadır. (Krumbein, 1941). Tam yuvarlaklık ve küresellik iki boyutlu görünümde bire karşıt olup, kum çaneleri için bu parametreler sıfır ile bir arasında değişmektedir. Küresellik iki boyutlu olarak, fotoğraflardan ölçülebilir ve Rittenhouse (1943) diagramıyla karşılaştırma sonucu gözle tayin edilebilir. Yuvarlaklık daha zor ölçülebilen bir özellik olmakla birlikte standart diagramlarla, örneğin Krumbein'in (1941) önerdiği diagramla gözle karşılaştırma yolu ile saptanabilir. Bu iki dane şekil parametresine ek olarak «dane yüzey pürüzlülüğü» de önemli bir özelliktir. Dane yüzey pürüzlülüğü dane şekil parametrelerinin kapsamına girmeyen daha küçük yüzey özelliklerini içine alır ve çukurlu, düz, pürüzlü yüzey gibi terimlerle tanımlanabilir. Yüzey pürüzlülüğü Norris (1977) tarafından tanımlanmış ve ölçme metodları ortaya konmuştur. Yukarıda adı geçen kumlar için yüzey pürüzlülüğü önemli bir faktör olarak belirlenmiş fakat ölçülmemiştir. Ottawa ve Franklin Falls kumları bir birine benzeyen yüzey pürüzlülüğüne sahiptir; buna karşın Evanston Beach kumunun diğerlerine göre daha düz bir yüzeyi vardır. Bu üç kumun ve çeşitli karışımlarının dane özellikleri Tablo 1 de özetlenmiştir.

DENEY ALETİ VE TEKNİĞİ

Burada söz konusu edilen dinamik zemin özellikleri rezonans frekansı deney yöntemi ile ölçülmüştür. Hardin ve Music (1965) bu aleti geliştirmiş ve kullanma tekniğini açıklamıştır. Silindirik şeklindeki zemin numuneleri üç eksenli basınç hücresine benzeyen bir hücre içinde bir uçlarından sabit tutulup, diğer uçlarından burulma titreşimlerine tâbi tutulmaktadırlar. Bu deney metodunun ayrıntıları, modül ve sönüm oranının hesabı Hardin (1970) ve Erguvanlı (1975) tarafından verilmiştir.

Tablo 1. Deney Kumlarının Dane Özellikleri

Kum	U.S.B.S. Elek Numarası	Yuvarlaklık	Küre-sellik	Boşluk Oranı			Dane Üniform- Birim Hacim Ağırlığı	
				e_{mak}	e_{min}	Δe	Birim Hacim	Üniformluk Sayısı
Ottawa	20-30	0.65	0.87	0.768	0.462	0.306	2.66	1.20
	50-70	0.52	0.84	0.888	0.528	0.360	2.66	1.20
	100-140	0.50	0.82	0.915	0.535	0.380	2.66	1.20
Evanston Beach	35-45	0.43	0.83	0.904	0.524	0.380	2.68	1.20
	50-70	0.41	0.83	0.915	0.540	0.375	2.66	1.20
	70-100	0.42	0.82	0.930	0.527	0.403	2.68	1.20
Franklin Falls	20-30	0.36	0.82	1.077	0.621	0.456	2.68	1.20
	50-70	0.34	0.81	1.104	0.644	0.460	2.68	1.20
	70-100	0.33	0.81	1.131	0.655	0.476	2.68	1.20
Karışım A	20-70	0.35	0.81	0.930	0.547	0.383	2.68	2.00
Karışım C	20-30	0.51	0.85	0.948	0.542	0.406	2.67	1.20
Karışım R	20-140	0.62	0.86	0.674	0.358	0.316	2.66	3.30

Not : Karışım A (Franklin Falls) - Karışım C (Ottawa + Franklin Falls) - Karışım R(Ottawa)

Kuru kum numuneleri 36 mm çapında ve 80 mm boyunda olmak üzere çeşitli sıklıklarda hazırlanmıştır. En düşük sıklıkta hazırlanan numuneler, kumu bir huniden yavaşça ayrılabilir kalıba dökmek suretiyle hazırlanmıştır. Daha yüksek sıklıktaki numuneler ise kalıbın içine kumu beş eşit tabaka halinde koyup, her tabakayı bir Burgess titreçisi (vibrotool) ile kalıba yeterli miktarda titreşim vermek suretiyle istenilen sıklığa getirerek hazırlanmıştır. Bu şekilde kalıp içinde hazırlanan numunelerin başlangıçta hava emmek suretiyle şeklinin korunması sağlanmış ve kalıp çıkarıldıktan sonra hücre basıncı yavaşça istenilen seviyeye getirilirken emme durdurulmuştur. Bazı deneylerde izotropik olmayan gerilmeler altında dinamik özelliklerin ölçülmesi istenmiş ve bu durumda izotropik hücre basıncına ilâveten bir de istenilen seviyede düzey basıncı numuneye uygulanmıştır. Böylece numunelerin istenilen boyut, şekil, sıklık ve asal gerilmeler altında hazırlanması, kohezyonsuz numunelerin üç eksenli basınç deneylerinde kullanılan yöntemlere benzer bir yolla sağlanmıştır. Asal gerilmelerini yüklemesi altında izâfi sıklıkta olabilecek değişimler de daha önce geliştirilmiş olan sıklık-gerilme düzeltme bağlantılarında yararlanarak hesaba alınmıştır. İzâfi sıklık hesabında kullanılan ve Tablo 1'de verilen maksimum ve minimum boşluk oranlarının elde edilişi Edil, v.d. (1975) tarafından açıklanmıştır.

DENEY SONUÇLARI

Bu deney programında toplam 270 adet dinamik modül ve sınırlı boşluk oranı ölçmesi yapılmıştır. Deney değişkenleri daha önceki çalışmalara dayanarak seçilmiş ve az önemi olan etkenler değişmez tutulmuştur. Göz önünde tutulan değişkenler ve bunların değişim sınırları Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Deney Değişkenlerinin Sınırları.

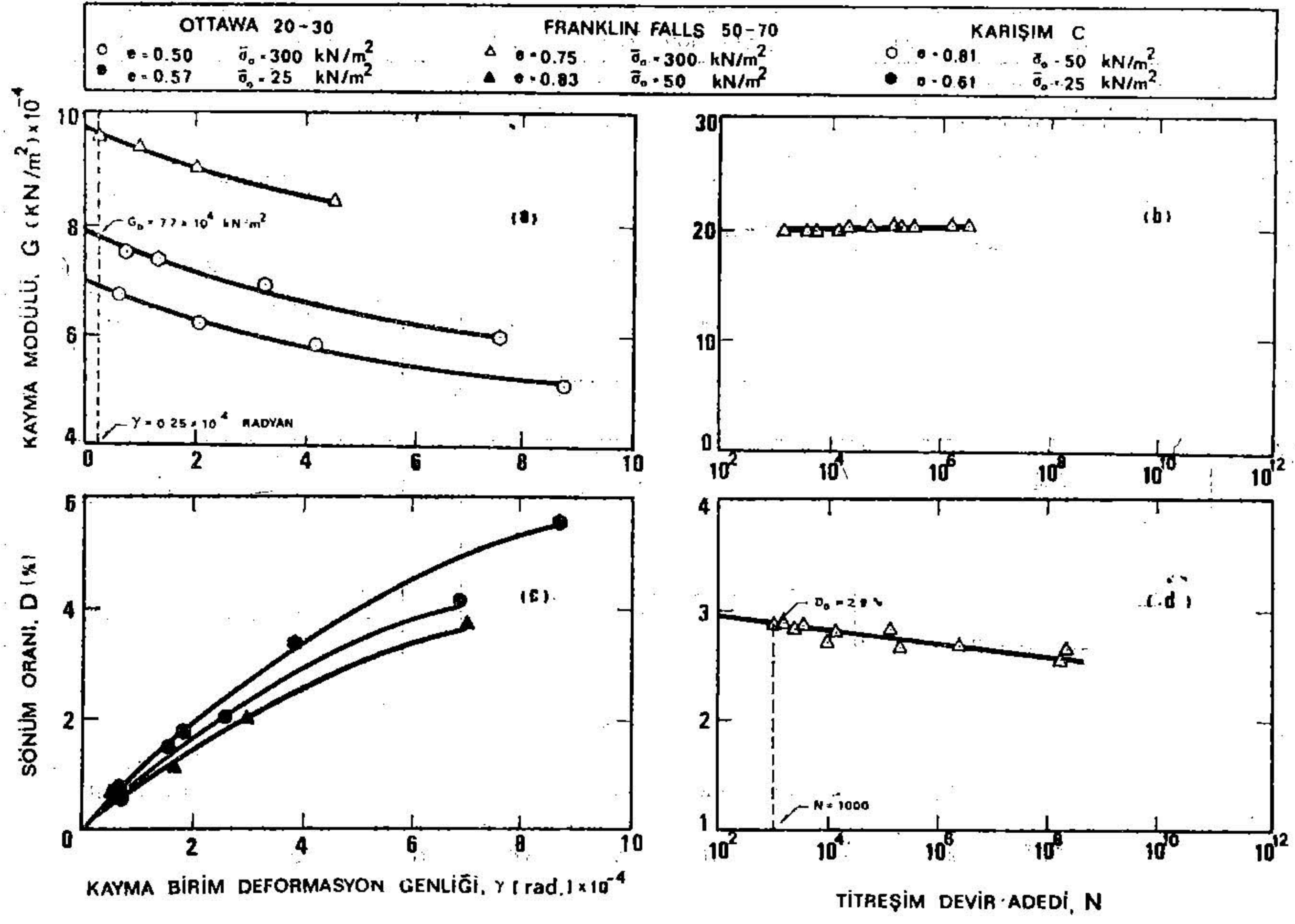
Değişken	Yaklaşık Değer	
	Maksimum	Minimum
Ortalama Asal Gerilme, $\bar{\sigma}_0$ (KN/m ²)	300	25
Asal Gerilme Farkı, $(\sigma_1 - \sigma_3)$ (KN/m ²)	77	0
Boşluk Oranı, e	1.00	0.45
İzâfi Sıklık, Dr (%)	90	10
Kayma Birim Deformasyon Genliği, (Radyan)	2x10 ⁻³	2x10 ⁻⁵
Titreşim Devir Adedi, N	10 ⁶	10 ³
Ortalama Yuvarlaklık,	0.65	0.33
Ortalama Küresellik, ψ	0.87	0.81
Ortalama Dane Çapı, d (mm)	0.840	0.149
Üniformluluk Sayısı, C _u	3.4	1.2

Ortalama küresellik bu kumlar için, doğal olarak, yalnızca 0.81 ve 0.87 değerleri arasında değiştiğinden etkisi incelenen bir değişken olmaktan çıkmıştır. Deneylerde rezonans frekansı 60 ile 130 Hertz arasında değişmiştir ve etken bir değişken sayılmamıştır. Geriye kalan değişkenlerin dinamik modül ve sönüm oranı üzerindeki etkisi Şekil 1-6 da gösterilmiştir.

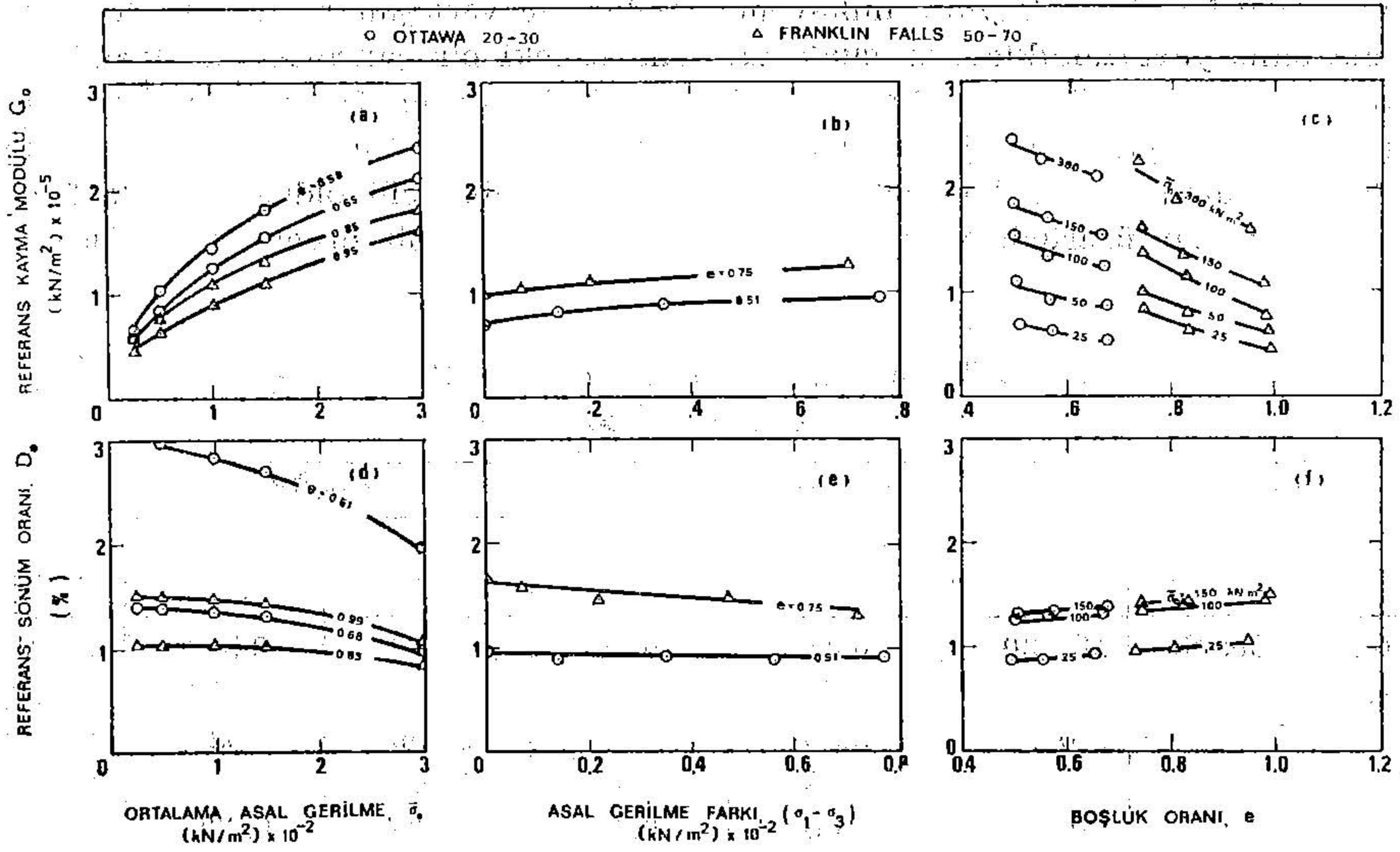
Kayma modülü ve sönüm oranı, birim kayma genliği ve titreşim devir adedinin bir fonksiyonu olarak Şekil 1 de bir grup kum için verilmiştir. Her iki dinamik parametre de γ ya bağımlı olup, artan γ ile G düşmekte buna karşın D artmaktadır. Sönüm oranı artan N ile düşerken, kayma modülünün N den bağımsız olduğu görülmektedir. Rezonans frekansı aleti ile 10⁶ radyan kadar az birim kayma genliklerinde yapılan ölçmeler G- γ eğrilerinin sıfır deformasyona uzatılıp maksimum bir G değerinin (G_{mak}) elde edilebileceğini göstermektedir. Uygulamada 0.25 x 10⁻⁴ radyandan küçük birim kayma genlikleri için kayma modülünün sabit olduğu ve G_{mak} 'a eşdeğerliliği kabul edilebilir. (Hardin ve Drnevich, 1972 a). Burada kayma modülünün 0.25 x 10⁻⁴ radyandaki değeri "referans kayma modülü, G_0 " olarak tanımlanmıştır. Buna benzer bir şekilde de, bir "referans sönüm oranı, D_0 ", sönüm oranının 1000 titreşim devir adedine karşı gelen değeri olarak tanımlanabilir. Bu tanımlar Şekil 1 (a) ve 1 (d) de belirtilmiştir. Bu referans parametrelerinin tanımlanmasının amacı sonuçların sunuluşunu ve analizini kolaylaştırmaktır.

Gerilme parametrelerinin ($\bar{\sigma}_0$ ve $\sigma_1 - \sigma_3$) ve kumun sıklık derecesinin (boşluk oranı, e olarak), referans kayma modülü ve sönüm oranı üzerindeki etkisi Şekil 2 de yuvarlak ve köşeli daneli iki kum için sunulmuştur. $\bar{\sigma}_0$ ve e önemli bir şekilde G_0 ve D_0 etkilemekte olup, asal gerilme farkının ($\sigma_1 - \sigma_3$), bir başka deyişle izotropik olmayan gerilmelerin etkisi oldukça önemsizdir.

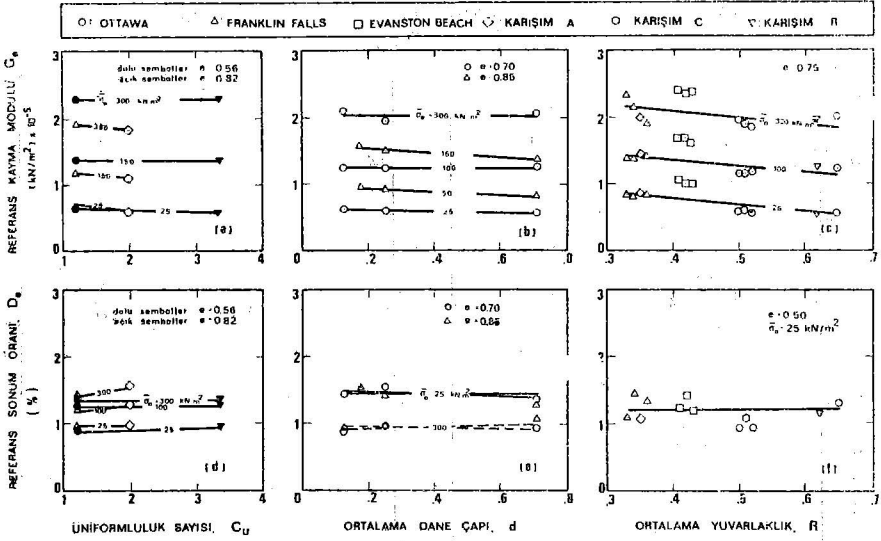
Kum dane özelliklerinin dinamik davranış üzerindeki etkisi Şekil 3 de gösterilmiştir. Genellikle, G_0 artan yuvarlaklıkla azalmakta buna karşın dane çapından ve üniformluluk sayısından, bu değerlerin değişim sınırı içinde, ba-



Şekil 1. Kayma Modülü ve Sönüm Oranının, Birim Kayma (γ) ve Titreşim Devir Adedi (N) ile değişimi.



Şekil 2. Dinamik davranışa gerilme koşulları ve boşluk oranının etkisi.



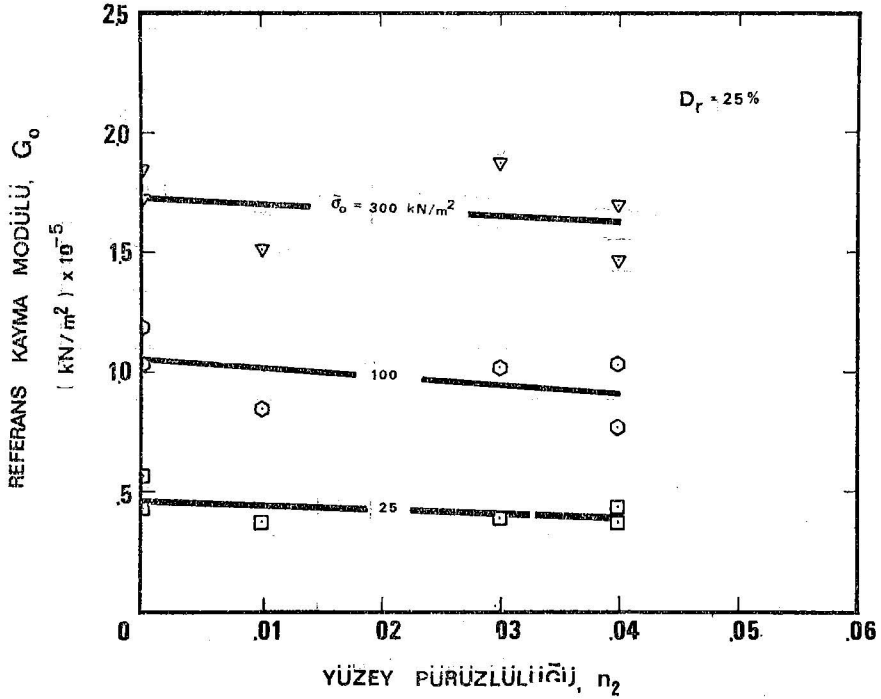
Şekil 3. Dinamik davranışa dane özelliklerinin etkisi.

ğımsız görülmektedir. $G_0 - R$ bağlantısı, Şekil 3 (c) de her ne kadar bir doğru ile belirlenmişse de, tam bir lineerlik göstermemektedir. Özellikle, Evanston Beach kumunun referans modülü bu doğrunun üstünde değerler vermektedir. Bu durum Evanston Beach kumunun dane yüzeyinin diğer kumlara göre gözlenmiş olan belirgin bir pürüzsüzlüğü olması ile açıklanabilir. Benzer bir davranış aynı kumların kayma mukavemet açıları ve yerleşim özellikleri ile ortalama dane yuvarlaklıkları arasında da daha önceki bir çalışmada gözlenmiştir. (Zelasko v.d., 1975). Buna karşın, referans sönüm oranı, D_0 dane özelliklerinden ve yüzey pürüzlülüğünden bağımsız görülmektedir. Yüzey pürüzlülüğünün etkisini anlamak için, bu özelliğin ölçülüp değerinin belli olduğu Tablo 3 de verilen kumlar üzerinde yapılan deneylerin Şekil 4 de bir örneği verilmiştir.

Tablo 3. Değerlendirme Programında Kullanılan Kumların Dane Özellikleri

Kum	U.S.B.S. Elek Numarası	Yuvarlaklık	Küresellik	Boşluk Oranı		
				e_{mak}	e_{min}	Δe
Felton Beach	18- 20	0.31	0.82	0.884	0.563	0.321
Gopher	18- 20	0.67	0.85	0.723	0.471	0.252
	120-140	0.56	0.83	0.799	0.539	0.260
Ione	45- 50	0.28	0.80	1.049	0.705	0.344
Kelso	120-140	0.46	0.78	0.894	0.638	0.256
Pratco	45- 50	0.35	0.80	0.892	0.596	0.296

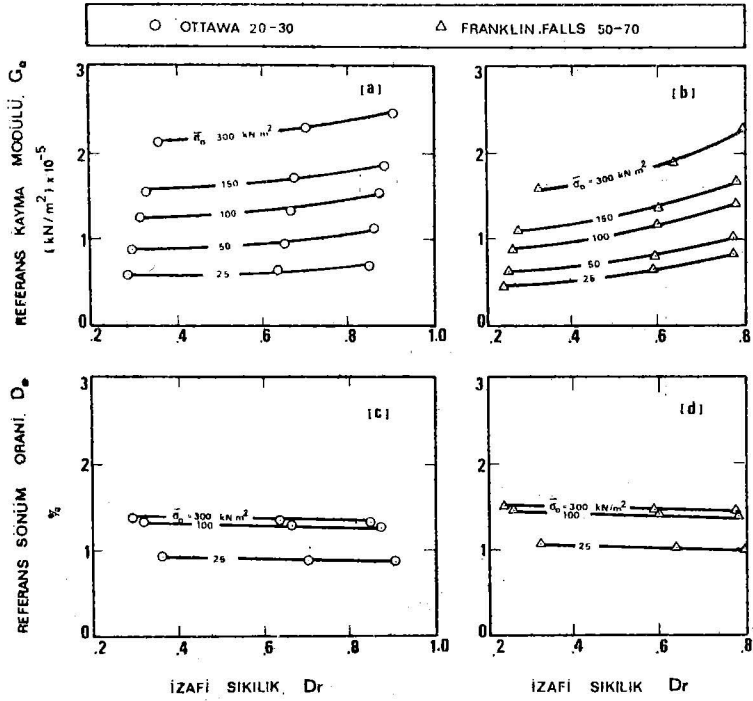
Not : Bu kumlar % 85 den fazla kuvars mineraline sahiptir.



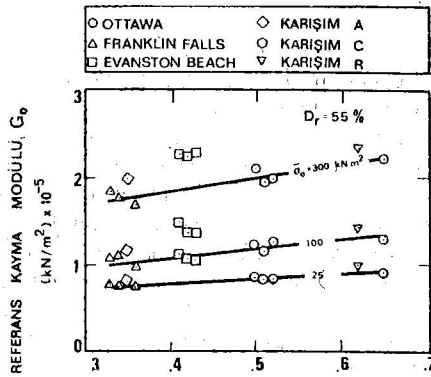
Şekil 4. Yüzey Pürüzlülüğü (n_2)'nin, G_0 'a etkisi.

Yüzey pürüzlülüğünün (n_2) tanımı ve ölçülüşü Norris (1977) tarafından verilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün G_0 üzerinde belli bir etkisi olmakla beraber, diğer etkenlere göre daha önemsizdir.

Bir kumun sıklık derecesi boşluk oranı ve izâfi sıklık dahil olmak üzere bir çok yöntemle ifade edilebilir. İzâfi sıklığı kullanma uygulamada önemli bir kolaylık sağlamaktadır. Şöyle ki arazideki izâfi sıklık değerleri, standart penetrasyon değerinden yaklaşık olarak elde edilebilir ve kumlarda çok güç olan örselenmemiş numune alma gereğini ortadan kaldırır. Dolayısıyla, dinamik özellikler izâfi sıklığa bağlı olarak da değerlendirildi ve sonuç Şekil 5 de yuvarlak ve köşeli daneli iki kum için sunuldu. İzâfi sıklığın G_0 üzerindeki etkisi köşeli daneli bir kum olan Franklin Falls kumu için, yuvarlak daneli Ottawa kumundan daha belirgindir. Şekil 6 da % 55 izâfi sıklıktaki G_0 , ortalama yuvarlaklık sayısının bir fonksiyonu olarak bütün denenen kumlar için verilmiştir. Kumun sıklığını boşluk oranı yerine izâfi sıklıkla ifade etmek dane yuvarlaklık etkilerini bir dereceye kadar normalize etmektedir. Bu Şekil 3 (c) nin Şekil 6 ile kıyaslanmasından görülmektedir. Burada şu durum açıklanmalıdır ki kullanılan izâfi sıklık değerleri laboratuarda ölçülen boşluk oranları ve bu kumlar için önceden yayınlanmış olan e_{mak} ve e_{min} değerlerinden (Edil, v.d., 1975) yararlanarak hesap edilmiş olup, arazideki izâfi sıklıklarla olan ilişkisi bilinmemektedir.



Şekil 5. Dinamik Özelliklerin İzafi Sıklık (D_r) ile değişiş



Şekil 6. Ortalama yuvarlaklık (R)'nin G_0 'a etkisi.

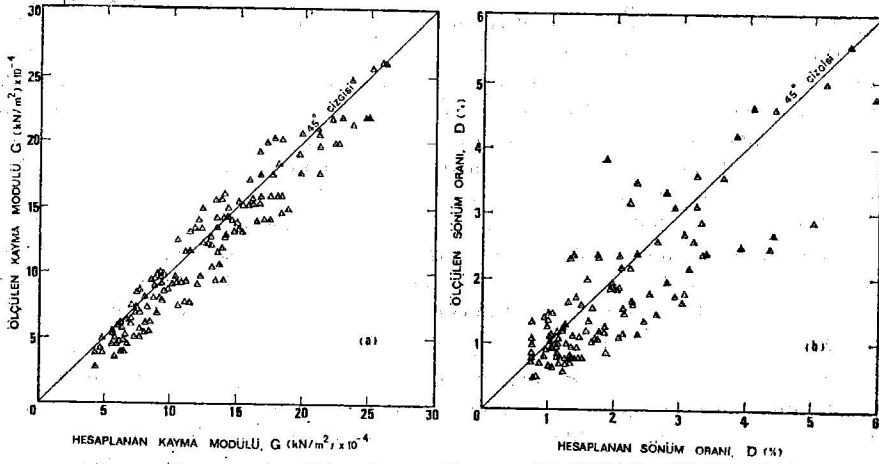
Özet olarak belirtilebilir ki buraya kadar sunulan kumların dinamik davranışı bundan önce diğer araştırmacıların yayınladığı Krizek (1971 Hardin ve Drnevich (1972 a) tarafından özetlenen sonuçlara genellikle uymaktadır. Deneysel sonuçlar asal gerilme farkının, ortalama dane çapının ve üniformluluk sayısının dinamik kayma modülü ve sönüm oranı üzerindeki etkisinin görece olarak önemsiz olduğunu göstermiştir. Titreşim devir adedinin sönüm oranı üzerinde önemli bir etkisi olmakla birlikte kayma modülüne etkisi önemsizdir. Dane yuvarlaklığı ise bunun tam tersi bir etki göstermekte olup, kayma modülünü etkilerken sönüm oranına bir etkisi görülmemektedir. Yüzey pürüzlülüğünün de kayma modülü üzerinde biraz etkisi görülmüştür. Geriye kalan üç parametrenin hem kayma modülü hem de sönüm oranı üzerindeki etkisi çok önemli olup, bunlar, ortalama asal gerilme, kumun sıklık derecesi (boşluk oranı veya izafi sıklık) ve birim kayma genliğidir.

Önemli parametreler arasında kesin bir ampirik bağıntının varlığını saptamak amacıyla çok parametrelili, doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır. (Draper ve Smith, 1966) Bilgisayarla yapılan bu analizler önemli parametreleri ve onları kayma modülü ve sönüm oranına bağlayan fonksiyon biçimlerini belirtmiştir. Elde edilen ampirik G ve D denklemleri daha önce Edil ve Luh (1978) tarafından yayınlanmıştır. Bu denklemler farklı jeolojik kaynaklı ve malzeme özellikleri bakımından önemli farklılıkları olan kumlar üzerinde yapılmış çok sayıda ölçümlere dayanmaktadır. Ayrıca mekanik parametreler de geniş sınırlar içinde değiştirilmiştir. Unutulmaması gereken husus bu denklemlerin yalnızca 2×10^{-3} radyandan daha küçük birim kayma genlikleri için geçerli olduğu ve kullanılan kumların en az % 80 kuvars mineralinden oluştuğudur.

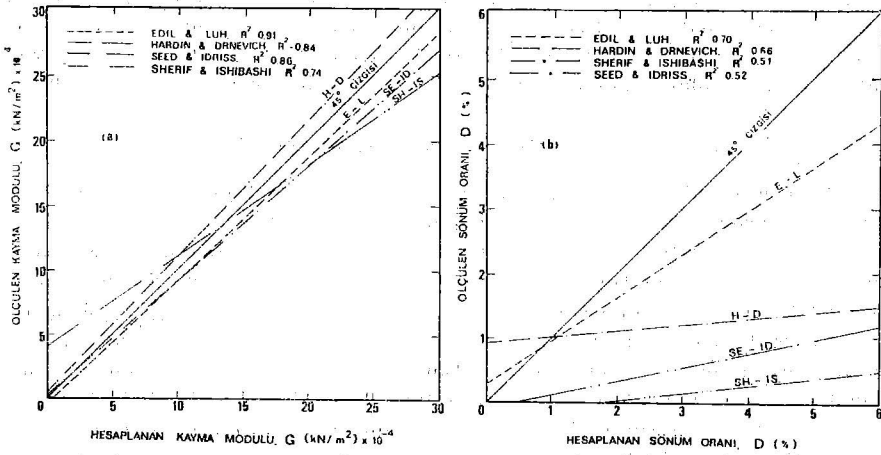
ÖNERİLEN BAĞINTILARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Daha önce yukarıdaki deney sonuçlarına dayanarak Edil ve Luh (1978) tarafından önerilen kayma modülü ve sönüm oranı bağıntılarının diğer kumlara geçerliliğini ve başkalarının önerilmiş olan bağıntılarla karşılaştırılmasını sağlamak amacıyla bir değerlendirme programına girilmiştir. Bu amaçla altı ayrı, özellikleri bilinen kum numunesinin değişen deney koşulları altında ($\bar{\sigma}_0$, e, γ ve N) dinamik özellikleri ölçülmüştür. Bu kum numunelerinin özellikleri Tablo 3 de verilmiştir. (Norris, 1977). Ölçülen Edil ve Luh (1978) bağıntılarıyla hesaplanan kayma modülleri ve sönüm oranları Şekil 7 (a) ve 7 (b) de karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmayı kolaylaştırmak amacıyla en iyi uyumu belirleyen 45° çizgisi de bu şekilde gösterilmiştir. Hesaplanan değerler, genel olarak, ölçülen değerlerden biraz daha yüksek görünmektedir ve dağılım kayma modülü için sönüm oranına göre çok daha azdır. Deneyde kullanılan kumların kaynağında ve özelliklerindeki önemli farklılıklar göz önünde tutulursa önerilmiş bulunan bağıntıların deneysel bulgularla tatmin edici bir uyum gösterdiği görülmektedir.

Edil ve Luh (1978) bağıntıları başka araştırmacılar tarafından önerilmiş bağıntılarla da karşılaştırılmıştır. Bunlardan Seed ve Idriss (1970) bağıntısı $\bar{\sigma}_0$, D_r (veya e) ve γ parametrelerine bağlı olarak kayma modülünü ve yalnızca γ ya bağlı olarak sönüm oranını vermektedir; dane yuvarlaklığı dikkate alınmamakta ve G değeri γ nın 10^{-4} radyandan küçük değerleri için sabit kalmaktadır. Hardin ve Drnevich (1972 b) yöntemi bir sıra hesap gerektirmekte beraber kayma modülü için benzer verileri ($\bar{\sigma}_0$, e ve γ) kullanmaktadır. Bun-



Şekil 7. Ölçülen ve Hesaplanan Kayma Modülü ile Sönüm Oranı değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 8. Değişik Kayma Modülü ve Sönüm Oranı Bağntılarının Karşılaştırılması

lara ek olarak kumun kayma mukavemet açısı (ϕ) de kullanılmakta fakat dane yuvarlaklığı açık bir şekilde dikkate alınmamaktadır. Sönüm oranı ise G ve N 'ye bağlanmıştır. Sherif ve Ishibashi (1976 ve 1977) bağıntılarına göre kayma modülü $\bar{\gamma}$, $\bar{\sigma}_o$, ϕ ve N nin bir fonksiyonu olarak hesaplanmakta, sönüm oranı ise küresellik, derecelenme kat sayısı, $\bar{\gamma}$, $\bar{\sigma}_o$ ve N değerlerinden bulunmaktadır. Bu bağıntılar arasında karşılaştırmayı kolaylaştırmak amacıyla ikinci seri kumlar üzerinde yapılan 120 ölçmeden elde edilen G ve D değerleri ile sözü edilen bağıntılardan hesaplanan G ve D değerleri arasındaki doğrusal

regresyon doğruları ve en iyi uyumu belirleyen 45° çizgisi Şekil 8 de verilmiştir. Hardin-Drnevich bağıntısı ölçülenden daha düşük G değerleri verirken, Seed-Idriss ve Edil-Luh bağıntıları daha yüksek değerler vermektedir. Sherif-Ishibashi bağıntısı ise küçük modellerde ölçülenden daha düşük, büyük modellerde ise daha yüksek G değerleri vermektedir. Edil-Luh bağlantısının diğer bağlantılara göre daha gerçekçi olduğu görülmektedir. Seed-Idriss ve Hardin-Drnevich bağıntıları da kayma modülü için uygulamada tatmin edici bulunabilir. Sherif-Ishibashi bağıntısı 10×10^4 t₀ için 20×10^4 KN/m² arasındaki G değerleri için tatmin edici olmakla birlikte bu sınırlar dışında ölçülen değerlerden önemli farklılıklar göstermektedir.

Buna benzer bir şekilde sönüm oranları Şekil 8 (b) de görüldüğü şekilde değerlendirilmiştir. Çeşitli bağıntılardan elde edilen sönüm oranları, ölçülen değerlerden çok farklılıklar göstermektedir. Bu sönüm oranı ölçmedeki deneysel hataların daha büyük oluşunun bir sonucudur. Bununla beraber Edil-Luh sönüm oranı bağıntısının diğerlerine göre en tatmin edici olduğu görülmektedir. Bu arada şunu belirtmek gerekir ki burada söz konusu edilen dinamik özellikler yaygın bir şekilde kabul edilmiş olan bir yöntemle laboratuarda ölçülmüş olup, arazide geçerli olan değerlere ilişkisi bu yazının konusu dışındadır.

ÖNERİLEN SON BAĞINTILAR

Yukarıda sözü edilen Edil-Luh bağıntıları burada daha da geliştirilmiş ve yeniden sunulmuştur. Aşağıda sunulan bağıntılar yalnızca ilk deney programının 720 ölçmesine değil, ilâveten ikinci deney programının 120 ölçmesine de dayandırılarak çok parametrelî doğrusal regresyon analiziyle elde edilmiştir. Bu denklemler kayma modülü için şöyledir :

$$G/G_0 = 1.001 - 314.2 \gamma \quad 1 \text{ (a)}$$

ve

$$G_0 = \left\{ -6.403 + 0.323 G_0^{1/2} \exp(D_r) + 3.89 \bar{\sigma}_0^{1/4} \right\} \times 10^4 \quad 1 \text{ (b)}$$

Sönme oranı için de şu iki denklem önerilmektedir.

$$D/D_0 = 1.131 - 0.0453 \log N \quad 2 \text{ (a)}$$

ve

$$D_0 = 0.80 + 7.430 \gamma D_r^{1/2} - 0.27 \gamma \left(\frac{\bar{\sigma}_0}{98.07} \right)^{1/3} \quad 2 \text{ (b)}$$

Yukarıdaki denklemlerde G, G₀ ve $\bar{\sigma}_0$ KN/m², γ radyan, D_r ondalık kesir, N boyutsuz, D ve D₀ ise yüzde olarak verilmiştir.

Kumun sıklığı denklemlerde önerildiği gibi izâfi sıklık değil de boşluk oranı ile ifade edilirse Denklem 1 b de ilâveten bir de yuvarlaklık terimi gelmektedir.

SONUÇLAR

Geniş kapsamlı deneysel bir programa dayanarak kumların dinamik kayma modülü ve sönüm oranı için bağıntılar önerilmiştir. Bu bağıntılar 2×10^{-3} radyandan küçük birim kayma genlikleri için geçerlidir. Deneyler daha önce ileri sürülen fakat niceliği tatmin edici bir şekilde ortaya konulamayan bazı iddiaları doğrulamış ve dane yuvarlaklığını ve izâfi sıklığı doğrudan içine alan kullanılması kolay bağıntıların çıkarılmasını sağlamıştır. Özet olarak ortalama asal gerilme, sıklık ve birim kayma genliği dinamik kayma modülü ve sönüm oranı üzerinde en etkin parametreler olarak ortaya çıkıyor; buna karşın asal gerilme farkı, dane çapı, ve derecelenme önemsiz görülmektedir. Dane yuvarlaklığı ve yüzey pürüzlülüğünün kayma modülü üzerinde etkisi vardır, buna karşın sönüm oranı üzerinde etkisi yoktur. Titreşim devir adedi ise sönüm oranını etkilemekte fakat kayma modülünü etkilememektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma kısmen Wisconsin Üniversitesi Madison Lisansüstü Okulu tarafından desteklenmiştir. Bay G. Luh araştırma asistanı olarak çalışmıştır. Dr. R.J. Krizek ve Dr. J.S. Zelasko ilk deney programındaki, Dr. G.M. Norris ise ikinci deney programındaki kumları sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

- Draper, N.R. ve H. Smith (1966), "Applied Regression Analysis", John Wiley Sons, Inc., New York.
- Edil, T.B., R.J. Krizek, ve J.S. Zelasko (1975), "Effect of Grain Characteristics on Packing of Quartziferous Sands", Proceedings of the Istanbul International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Istanbul, Türkiye, Vol. 1, s. 46-54.
- Edil, T.B. and G.F. Luh (1978), "Dynamic Modulus and Damping Relationships for Sands", Proceedings of the Specialty Conference on Earthquake Engineering and Soil Dynamics, ASCE/Pasadena, California, Vol. 1, pp. 394-409.
- Erguvanlı, Ali (1975), "Kohezyonlu Zeminlerin Dinamik Özelliklerinin Deneysel Yöntemler ile Saptanması". Doktora Tezi, İ.T.Ü., 236 s.
- Hardin, B.O. (1970), "Suggested Methods of Test for Shear Modulus and Damping of Soils by the Resonant Column", American Society of Testing and Materials, Special Technical Publication, No. 479, s. 516-529.
- Hardin, B.O. ve V.P. Drnevich (1972 a), "Shear Modulus and Damping in Soils : Measurement and Parameter Effects", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, Proceedings of the ASCE, Vol. 18, No. SM6, s. 603-624.
- Hardin, B.O. ve V.P. Drnevich (1972 b), "Shear Modulus and Damping in Soils : Design Equations and Curves", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, Proceedings of the ASCE, Vol. 98, No. SM7, s. 667-692.
- Hardin, B.O. ve J. Music (1965), "Apparatus for Vibration Soil Specimens During the Triaxial Test," American Society for Testing and Materials, Special Technical Publication, No. 392, s. 55-74.
- Krizek, R.J. (1971), "Rheologic Behavior of Cohesionless Soils Subjected to Dynamic Loads," Transactions of the Society of Rheology, 15 : 3, s. 491-540.
- Krumbein, W.C. (1941), "Measurement and Geological Significance of Shape and Roundness of Sedimentary Particles," Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 11, s. 64-72.
- Madison Academic Computing Center Statjob Series (1971), REGAN2 : Multiple Linear Regression Analysis, Academic Computing Center, University of Wisconsin-Madison.

- Norris, G.M. (1977), "The Drained Shear Strength of Uniform Quartz Sand as Related to Particle Size and Natural Variation in Particle Shape and Surface Roughness," Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of California-Berkeley.
- Özkan, M.Y., Ç. Soydemir ve A. Gürpınar (1977), "Deprem Hareketi ve Dinamik Zemin Parametreleri İlişkisi", Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni, No. 17, s. 1-20.
- Richart, F.G., J.R. Hall ve R.D. Woods (1970), Vibrations of Soils and Foundations, Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, s. 140-190.
- Rittenhouse, G. (1943), "A Visual Method of Estimating Two-Dimensional Sphericity," Journal of Sedimentary Petrology, Vol. 13, s. 79-81.
- Seed, H.B. ve I. M. Idriss (1970), "Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses," Report No. EERC 70-10, University of California, Earthquake Engineering Research Center, Berkeley.
- Sherif, M.A. ve I. Ishibashi (1976), "Dynamic Shear Moduli for Dry Sands," Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceedings of ASCE, Vol. 102, No. GT11, s. 1171-1184.
- Sherif, M.A. ve I. Ishibashi (1977), "Damping Ratio for Dry Sands," Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceedings of ASCE, Vol. 103, NO. GT7, s. 743-756.
- Zelasko, J., R.J. Krizek ve T.B. Edil (1975), "Shear Behavior of Sands as a Function of Grain Characteristics" Proceedings of the İstanbul International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, İstanbul, Türkiye, Vol. 1, s. 55-64

ZEMİN-YAPI PERİYOD ETKİLEŞİMİ VE DEPREM YÖNETMELİKLERİ

Nuray AYDINOĞLU (*), Ali ERGUVANLI (*), Kutay ÖZAYDIN (*)

ABSTRACT

This paper comprises the effect of soil-structure period interaction taking into account the behaviour of structures during earthquakes, and investigates the subject from the aspect of earthquake codes.

At present, few codes consider the soil-structure period interaction while the rest take into account the soil effect by superfluously increasing the horizontal force acting on the structure.

In this article, certain earthquake codes are compared and evaluated for their different approaches in considering the effects of soil conditions and soil-structure period interaction.

The aim of this investigation has been to make a critical survey of the soil-structure period interaction effect and suggest certain improvements on the existing codes, from the view point of realistic determination of soil and structure natural periods and evaluation of foundation soil parameters.

ÖZET

Bu makalede, depremler sırasında yapıların davranışları da dikkate alınarak, zemin-yapı periyod etkileşimi deprem yönetmelikleri açısından incelenmiştir.

Halen Dünya'da çok az sayıdaki Deprem Yönetmeliğinde zemin-yapı periyod etkileşimi dikkate alınmaktadır. Birçok mevcut yönetmelikte ise zemin koşullarına göre yapıya etkiyen yatay kuvvet gereksizce artırılmaktadır.

Bu incelemede, birçok deprem yönetmeliği, zemin etkisini ve periyod etkileşimini dikkate almaları açısından karşılaştırılmıştır. Bu araştırmanın gayesi, mevcut Türkiye Deprem Yönetmeliğinin bu açıdan iyileştirilmesi ve zemin ile yapı hakim periyodlarının gerçekçi bir şekilde saptanmaları hakkında önerilerde bulunmaktır.

(*) İ.T.Ü. Maçka İnşaat Fakültesi

GİRİŞ

Deprem yönetmelikleri, yapılara gelen deprem yüklerini, genellikle, depremin şiddetine, yapının dinamik özelliklerine ve önem katsayısı gibi diğer bazı faktörlere bağlı büyüklükler olarak tanımlarlar. Bu tanım çerçevesinde zemin ortamı, dinamik özellikleri gözönüne alınmaksızın sonsuz rijit olarak varsayılır. Ancak birçok depremde yerel zemin koşullarının yapısal hasara önemli etkisi olduğu gözlenmiştir. Ayrıca arazide kaydedilmiş deprem kayıtlarının, zeminin dinamik zemin özelliklerine bağlı olarak, frekans içeriği ve genlik özellikleri bakımından belirli farklılıklar gösterdiği bilinen bir gerçektir. Deprem yönetmelikleri genellikle arazide gözlenen yapısal hasarın etkisinde kaldıkları için, birçok yönetmelikte zemin koşullarının etkisi, amprik ve yaklaşık bir şekilde, yatay yükü veren deprem katsayısını değiştiren sabit bir çarpma ile ifade edilmiştir. Bu yönetmeliklerde, sabit zemin katsayısı, zeminlerin oldukça kaba bir sınıflandırmasına göre tanımlanmıştır (örneğin, sert, orta veya zayıf zemin gibi). Günümüzde halen birçok yönetmelikte kullanılan bu yaklaşık yöntem, zemin ortamının dinamik katkısı yerine, daha çok temel zemininde gözlenen aşırı oturmalar ve göçme gibi olayların etkisini gözönüne almak eğilimindedir. Bu yaklaşımın tipik bir örneği 1968 Türkiye Deprem Yönetmeliğidir (Şekil 3), fakat aynı yaklaşım günümüzde birçok başka ülkenin deprem yönetmeliğinde de görülmektedir (SSCB 1969, Yugoslavya 1964, İtalya 1975, Hindistan 1975, vb.).

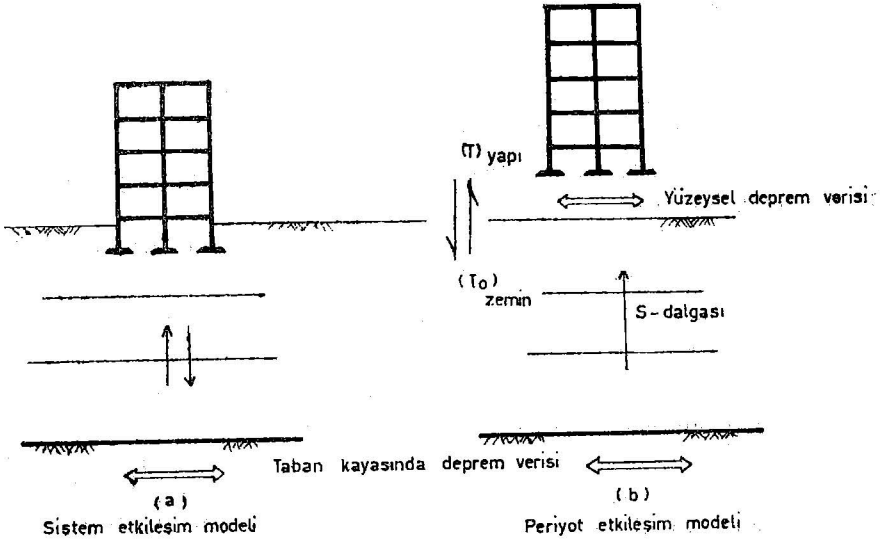
Oysa arazi deprem kayıtlarının incelenmesi ve özellikle son 10 yıl içinde yapılan teorik ve deneysel araştırmalar, zeminin dinamik özelliklerinin yüzeyel deprem verisini önemli ölçüde etkilediğini ve bunların yapının dinamik özellikleri ile birlikte uygun bir "etkileşim modeli" çerçevesinde incelenmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Zemin-yapı etkileşim sürecinde, zemin davranışı yapı ve zeminin dinamik özelliklerindeki göreceli (relatif) ilişkiye bağlıdır. Bu karşılıklı ilişki zemin ve yapı ortak sistemindeki frekans içeriğini ve genlik dağılımını etkiler. Bu tür etkileşim nükleer güç santralleri, barajlar, vb. gibi masif, rijit veya gömülü yapılarda çok önemlidir. Bu durumda şekil 1 a da gösterilen "sistem etkileşim modeli" olarak tanımlanan ortak sistemin hesabı gereklidir (1).

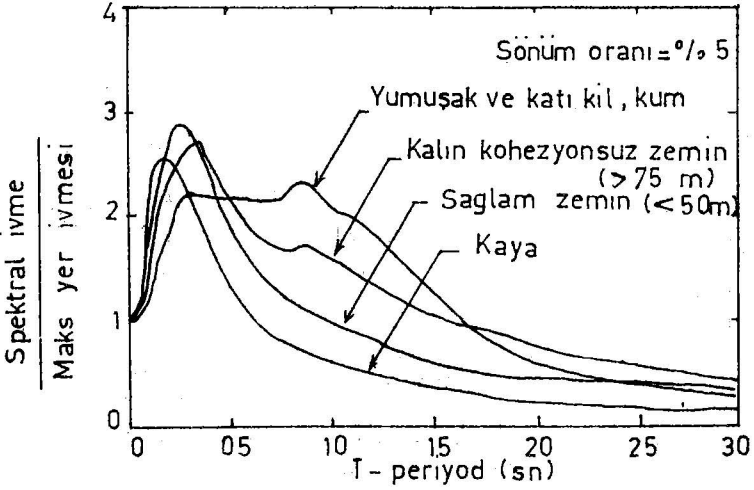
Deprem yönetmeliklerinin konusunu oluşturan normal bina tipi yapılarda ise zemin davranışı yapının eylemsizlik ve rijitlik özellikleri tarafından pek etkilenmez. Bu durumda, yapının davranışında bina ve zeminin hakim periyodlarındaki etkileşimi gözönüne alarak değişik bir etkileşim modeli düşünülmelidir. Böylece bu model "periyod etkileşim modeli" diye isimlendirilebilir (Şekil 1 b). Bu model uyarınca, Seed vb. (2) tarafından özellikleri bilinen zemin koşullarında alınmış 104 deprem kaydı değerlendirilerek çeşitli zemin koşulları için elde edilen ortalama ivme spektrumları, yapı davranışının yerel zemin koşulları tarafından büyük ölçüde etkilenebileceğini göstermiştir (Şekil 2).

Bu şekilden ve diğer araştırmacıların çalışmalarından görülebileceği üzere kalın veya yumuşak zeminler üzerindeki esnek (fleksible) yapılar, aynı maksimum yer ivmesi altında kaya üzerindeki benzer yapılardan birkaç kat fazla eylemsizlik kuvvetlerine maruz kalabilmektedirler.

Son yıllarda periyod etkileşim modeli bazı ülkelerin deprem yönetmeliklerinde yer almaya başlamıştır. 1975 Türkiye Deprem Yönetmeliği aynı kavramı



ŞEKİL 1 : DEPREMDE ZEMİN - YAPI ETKİLEŞİM MODELLERİ



ŞEKİL 2 : Çeşitli genel zemin koşulları için ortalama ivme spektrumları (Seed vd. 1974)

içermektedir. Bu makalenin amacı, karşılaştırmalı bir değerlendirme yaparak, son yıllarda yönetmeliğin uygulanmasında edinilen deneyimlerin ışığında bazı iyileştirmeler önermektir.

ZEMİNİN DİNAMİK KATKISI AÇISINDAN DEPREM YÖNETMELİKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

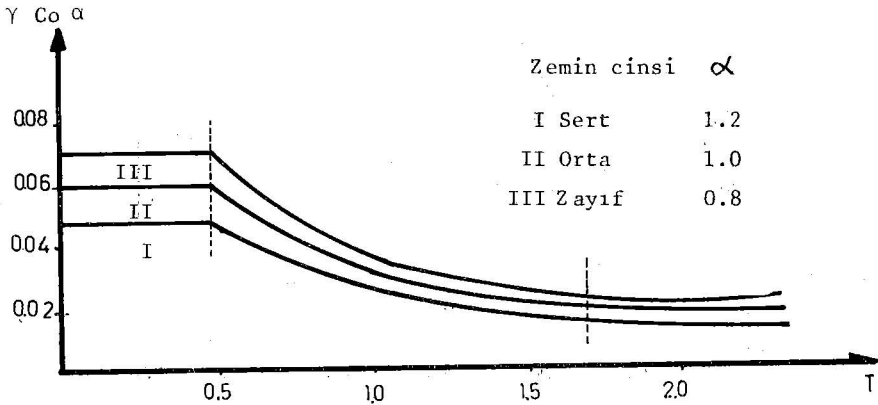
Zeminin dinamik katkısını gözönüne alan deprem yönetmelikleri iki grupta değerlendirilebilir (3).

(A) Deprem katsayısına, yapı periyoduna ve basit bir sınıflandırmaya göre "zemin cinsine göre" ifade eden yönetmelikler,

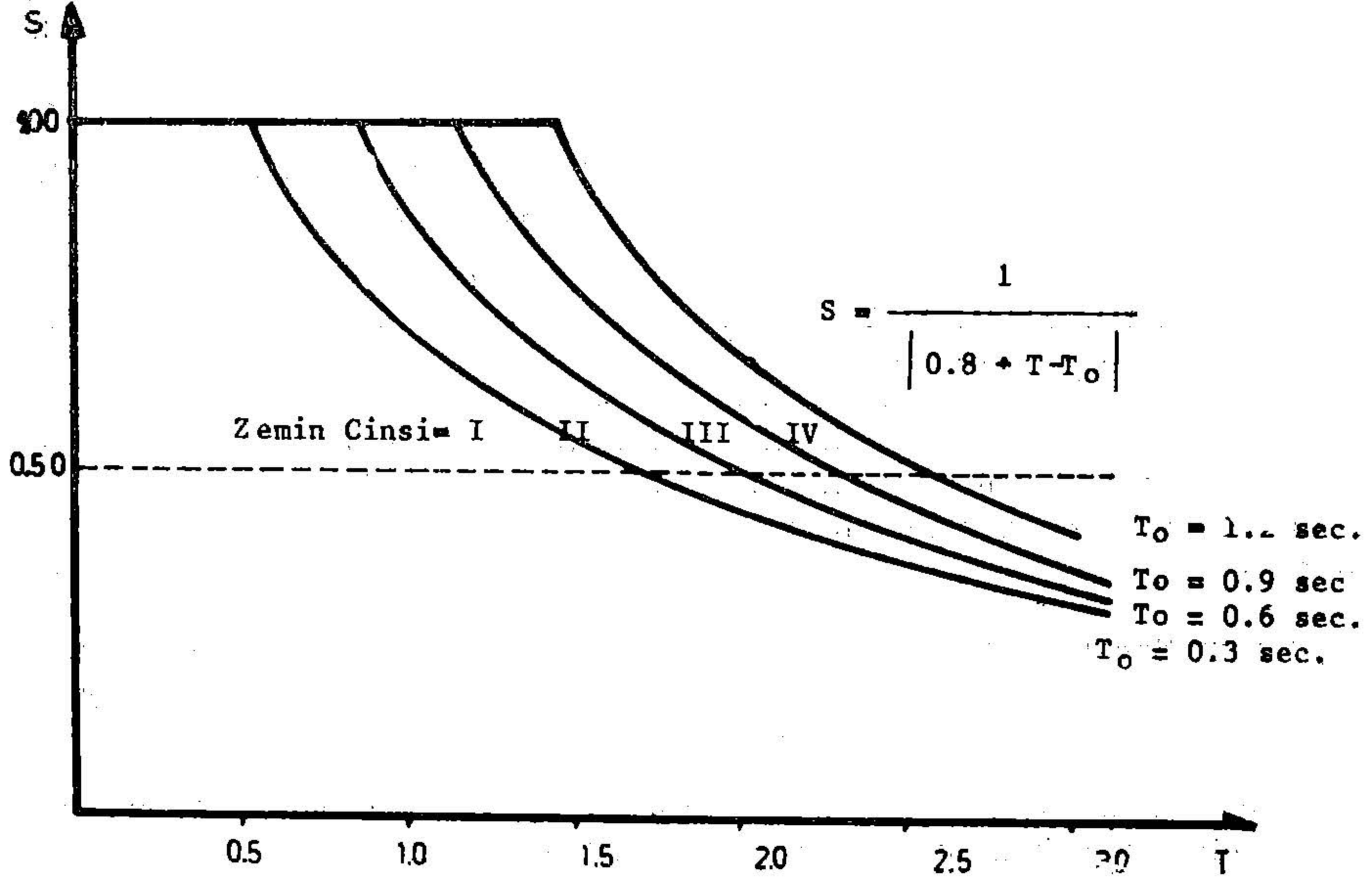
(B) Deprem katsayısını, "yapının ve zeminin periyodlarına" bağlı bağıntılar şeklinde veren yönetmelikler.

İki grup yönetmelik arasındaki başlıca fark, ikinci gruptakilerde zemin periyodunun hesaplanması gerekmesine karşın, birinci gruptakilerde buna gerek bulunmamasıdır.

(A) grubundaki yönetmeliklerde, zemin periyodunun hesaplanması gerekmemekle beraber, basit bir zemin sınıflandırmasına göre bağıntılar veya tablolar verilmektedir. Bu yaklaşıma yer veren yönetmelikler arasında Arjantin, Meksiko Şehri (1975), Yeni Zelanda (1975) sayılabilir (Şekil, 6, 8 ve 5). Yeni SSCB yönetmelik taslağında da aynı yaklaşım söz konusudur (10). Bu tip yönetmeliklerin temel varsayımı zemin periyodunun zemin cinsine bağlı bir sabit değer olduğudur. Diğer taraftan içinde Şili, Türkiye (1975) ve ABD (1976) yönetmeliklerinde zemin periyodunun doğrudan hesaplanması veya belirlenmesi gerekmektedir. Bu makalenin esas amacı 1975 Türkiye Deprem Yönetmeliğinin bu açıdan değerlendirilmesi ve iyileştirilmesi yönünde öneriler getirilmesi olduğu için, yukarıda sözü edilen iki yöntem karşılaştırılacaktır.



ŞEKİL 3: 1968 TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİ



ŞEKİL 4: 1975 TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİ

TÜRKİYE DEPREM YÖNETMELİĞİ ÜZERİNE TAVSİYELER

1975 Türkiye Deprem Yönetmeliğinde "spektrum katsayısı", S, zeminin ve yapının periyodları cinsinden ifade edilmiştir (Şekil 4).

$$S = \frac{1}{|0.8 + T - T_0|} \quad S \leq 1 \quad (1)$$

Burada, T yapının, T_0 ise zeminin hakim periyodlarını göstermektedir. Bu makalenin amacı spektrum katsayısının değişimini incelemek olmadığından, burada sadece bu periyodların uygun bir şekilde saptanmasına ışık tutulmuştur.

Denklem (1) den görüleceği üzere, S katsayısının hesaplanmasında T ve T_0 periyodlarının eşit önemi vardır. Bunun için, her iki periyod da mümkün olduğu oranda gerçekçi bir şekilde saptanmalı, hesap yöntemleri ise uygulamadaki mühendisin kullanabileceği kadar basit olmalıdır.

Zemin Hakim Periyodunun (T_0) Hesaplanması

Bu aşamada, her durumda zemin hakim periyodunun doğru olarak saptanmasının gerekli olup olmadığı sorusu üzerinde durulmalıdır. Yazarlar, problemin iki ayrı grupta düşünülebileceği kanısındadırlar. Yapı periyodunun 0.7 saniyeden küçük olması halinde, zemin periyodunun yaklaşık olarak tahmin olunmasında sakınca yoktur. Bunun nedeni, mevcut Türkiye Deprem Yönetmeliğinin bu yapı periyod değerine kadar S katsayısı için emniyetli yönde değerler vermesidir (S bu durumda genellikle 1.0 civarında değerler almaktadır). Do-

layısıyla yapı periyodunun bu değerden küçük olması halinde ($T < 0.7$ san.) zemin periyodunun basit bir zemin sınıflandırmasına göre aşağıda verilen tablodaki değerlerden seçilmesi önerilmektedir (Tablo 1).

Tablo 1 : Yapı periyodunun 0.7 saniyeden az olması halinde, ($T < 0.7$ san.), kullanılması önerilen zemin hakim periyodu (T_0) değerleri

Temel Zemini Cinsi	T_0 (saniye)
Kaya	0.30
Çok sıkı kum-çakıl	0.40
Çok katı-sert kil	0.40
Sıkı kum, katı kil	0.70
Orta sıkı kum ve orta katı kil	1.00

Bu sınıflandırma temel seviyesindeki zemin tabakaları içindir ve derinlikle zemin tabakalarının mukavemetinin arttığı varsayılmaktadır. Bu husus yerel jeoteknik bilgi ile desteklenmelidir.

Zemin hakim periyodunun bu şekilde basit olarak seçilmesi (A) grubundaki yönetmeliklerin yaklaşımı ile uyum göstermektedir. Ancak bu yaklaşım belirli bir "T" değeri ile sınırlanmaktadır. Bu yaklaşımın uygulamadaki en önemli özelliği birçok yapının, bilhassa Türkiyedeki yerleşim bölgeleri içindeki konutların, hakim periyodlarının $T < 0.7$ san. sınırları içinde bulunmasıdır. Hakim periyodları, $T > 0.7$ san. olan yapılar için (örneğin 8-10 kattan yüksek betonarme yapılar) periyod etkileşimi önemli ve etkin olmaktadır. Bu tür ekonomik açıdan da değerli olan çok katlı yapılar için, zeminin hakim periyodunun doğru ve gerçek değere uygun olarak saptanması tavsiye olunmaktadır.

Zemin hakim periyodunun gerçekçi olarak saptanması için yapılacak hesaplar aşağıdaki aşamaları içermelidir :

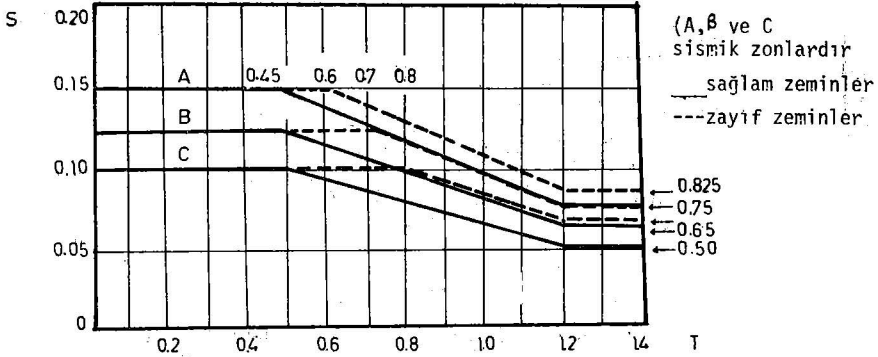
- Zemin kesitinin tanımı,
- Zemin tabakalarının dinamik özelliklerinin doğrudan laboratuvar veya arazi deneyleri ile tayini,

veya, bu dinamik parametrelerin belirli zemin sınıflandırma sistemlerinden seçimi,

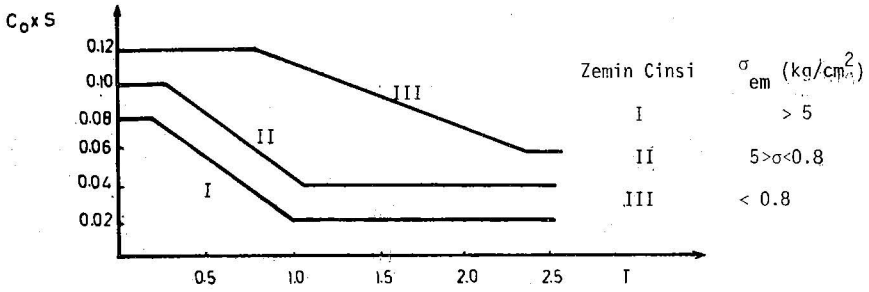
- Uygun bir matematik modelin seçimi,
- Analiz yönteminin seçimi,

Önemli ve yapım maliyeti fazla olan yapılarda, temel zemini kesitinin tanımı jeoteknik incelemelere dayandırılarak yapılmalıdır. Hesap aşamasında, laboratuvar veya arazi deneyleri sonucu saptanan zemine ait statik ve dinamik özellikler kullanılmalıdır. Diğer yapılar için, temel zeminine ait dinamik özellikler uygun bir zemin sınıflandırma tablosundan, jeoteknik veriler ile uyumlu olacak şekilde seçilebilir.

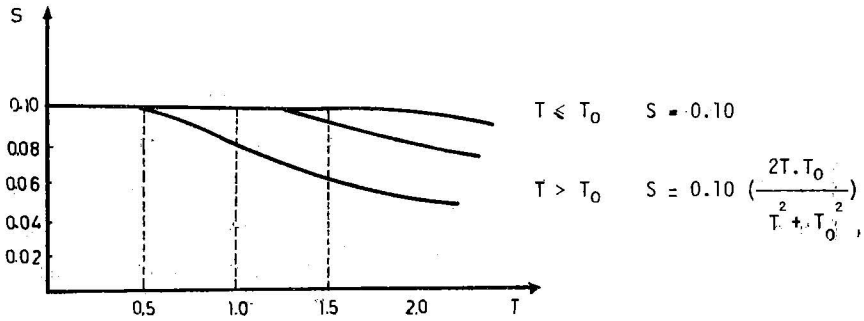
Halen (1979) kullanılmakta olan Türkiye deprem Yönetmeliği bu tür bir sınıflandırma içermektedir. Ancak bu yönetmelikte zeminler, " V_s " değerlerine göre genel bir gruptaştırma içinde sınıflandırılmaktadır.



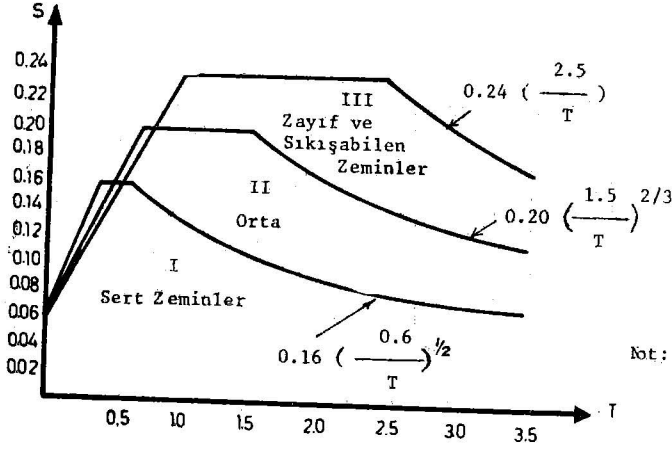
ŞEKİL 5: 1976 YENİ ZELANDA DEP.YÖNETMELİĞİ



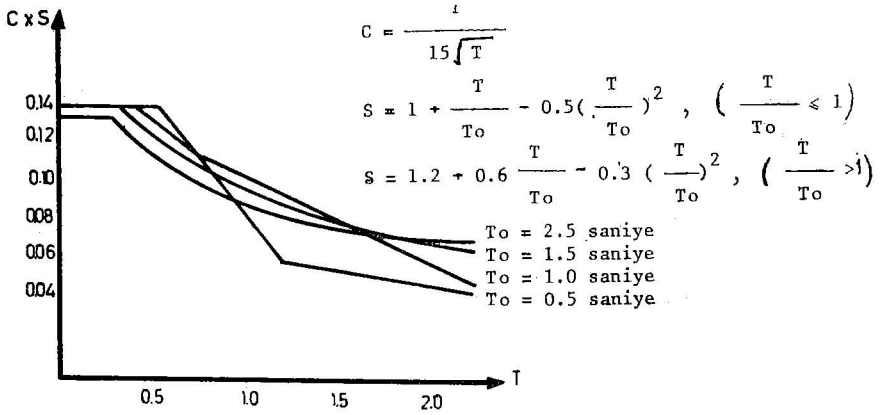
ŞEKİL 6: ARJANTİN DEPREM YÖNETMELİĞİ



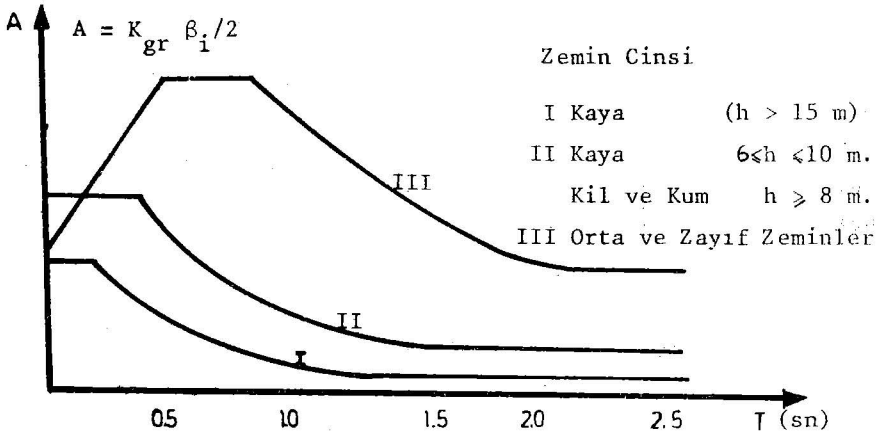
ŞEKİL 7: ŞİLİ DEPREM YÖNETMELİĞİ



ŞEKİL 8 : MEXİCO ŞEHİRİ YÖNETMELİĞİ



ŞEKİL 9 : 1976 ABD DEP. YÖN. (1974 SEAOC)



ŞEKİL 10 : YENİ SSCB DEPREM YÖNETMELİĞİ TASLAĞI (10)

Mevcut yönetmelikteki zemin sınıflandırmasında bazı zemin cinsleri dahil edilmediği gibi (örneğin çakıllar); kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler ile kayalarında aynı zemin grubu içinde (eşdeğer V_s olarak düşünülerek) toplandığı görülmektedir. Bu husus, zemin mühendisliğindeki geçerli sınıflandırma sistemlerine aykırı düşmektedir.

Ayrıca, Türkiye Yönetmeliğinde verilen V_s değerlerinin genellikle gerçek değerlerden ufak olduğu ve tutucu tasarıma yol açtığı düşünülmektedir.

Belirtilen hususların ışığı altında, önerilen yeni ve geliştirilmiş zemin sınıflandırılması Tablo : 2'de verilmiştir.

Tablo 2 : Türkiye Deprem Yönetmeliğinde " T_0 " değerinin hesaplanması için kullanılması önerilen Temel Zemini Sınıflandırması.

Temel Zemini Cinsi	Özellikler	V_s (m/sn)
I KAYAÇLAR	Masif, Ayrışmamış	> 5000
	Gevşek çimentolu	> 2000
	Ayrışmış	> 1000
IIa. KOHEZYONSUZ ZEMİNLER	Çok sıkı	800-1000
	Sıkı	600-800
	Orta Sıkı	300-600
	Gevşek	< 300
IIb. KOHEZYONLU ZEMİNLER	Sert	500-750
	Çok katı	300-500
	Katı	200-500
	Yumuşak-Orta-Katı	< 200

Bu zemin sınıflandırması " T_0 " hesaplarında kullanılmak üzere "uygun bir V_s " seçimi için önerilmektedir. Temel zemini kesiti saptandıktan ve zemin özellikleri belirlendikten sonra, Tablo : 2'den uygun bir V_s değeri kolaylıkla seçilebilecektir.

Uygun bir V_s seçimi için, kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerin de basit ancak ayrıntılı bir tanımına gerek olduğu düşünülmektedir. Böylelikle, temel zemini özellikleri mühendislik kavramları olarak basitçe tayin olunup sınıflandırma kolaylığı sağlanabilecektir.

Bu düşünce ile Tablo 3 ve 4'e de Yönetmelik'de yer verilmesi önerilmektedir.

Tablo : 3 Kohezyonsuz Zeminlerin Sınıflandırılması ve " V_s " değerleri

	Gevşek	Orta Sıkı	Sıkı	Çok Sıkı
SPT (N değeri)	< 8	8- 30	30- 50	> 50
İzafi Sıklık (D_r)	0- 035	0.35- 65	0.65- 85	0.85- 1.0
V_s (m/sn)	< 300	300-600	600-800	800-1000

Kohezyonsuz zeminlerde V_s değerinin alt ve üst sınırları, izafi sıklık ile birlikte dane dağılımı ve kum/çakıl oranı ile de etkilenmektedir.

Tablo : 4 Kohezyonlu Zeminlerin Sınıflandırılması ve " V_s " değerleri

	Yumuşak-Orta-Kata	Kata	Çok Kata	Sert
SPT (N-değeri)	< 8	8-16	16-32	> 32
q_u (kg/cm ²)	< 1.0	1.0-2.0	2.0-4.0	> 4.0
I_c	< 0.5	0.5-0.75	0.75-1.0	> 1.0
V_s (m/sn)	< 200	200-300	300-500	500-750

Arazi deneylerinden elde edilecek ilk bilgiler (örneğin N-değeri gibi) ile "basit" laboratuvar deney sonuçlarına (serbest basınç mukavemeti, q_u , veya konsistans indisi $I_c = (w_l - w_n)/I_p$ göre temel zemininin tanımı yapılabilecek ve T_0 hesaplarında kullanılacak uygun V_s değeri daha gerçekçi olarak saptanabilecektir.

Deprem yönetmeliğinde basitleştirici bir yaklaşım olarak, V_s 'in derinlik ve çevre basıncı ile artışı N değerleri ile dikkate alınmıştır. V_s 'in N ile değişimi ayrıntılı olarak, Japonya için, Ohta ve Goto (4) tarafından verilmiştir.

Zemin hakim periyodunun saptanmasında bir sonraki aşama uygun matematik modelin seçimi olmaktadır. Zemin ortamının tek-boyutlu kayma kirişi olarak temsili geçerli kabul edilmektedir.

Son ve önemli aşama ise analiz yönteminin seçimi olmaktadır.

Türkiye Deprem Yönetmeliğinde, T_0 'un hesaplanması için basit $T_0 = 4H/V_s$ denklemi önerilmektedir. Bu bağıntı ise, taban kayası üzerinde tek bir tabaka durumu için geçerli olmaktadır. Ayrıca yönetmelikte,

"Zeminin, birbirinden farklı V_s değerlerini içeren birkaç tabakadan oluşması halinde, her tabaka için ayrı bir T_0 değeri hesaplanmalıdır". kaydı mevcuttur. Ancak çok tabakalı bir zemin kesiti için bir analiz yöntemi belirtilmemekte ve tavsiye edilmemektedir.

Burada, Zeevart'in (5) önerdiği,

$$T_0 \cong \sum_{i=1}^n 4H_i/V_{si}$$

denkleminin kullanılacağına varsayıldığı anlaşılabilir.

T_0 hesaplanmasında biraz daha geliştirilmiş bir yaklaşım olarak, kayma dalgası hızlarının ağırlıklı ortalaması düşünülebilir.

$$\bar{V}_s = \frac{1}{H} \sum_{i=1}^n V_{si} H_i, \quad T_0 \cong 4H/\bar{V}_s$$

Burada; $H = \sum_{i=1}^n H_i$ olmaktadır.

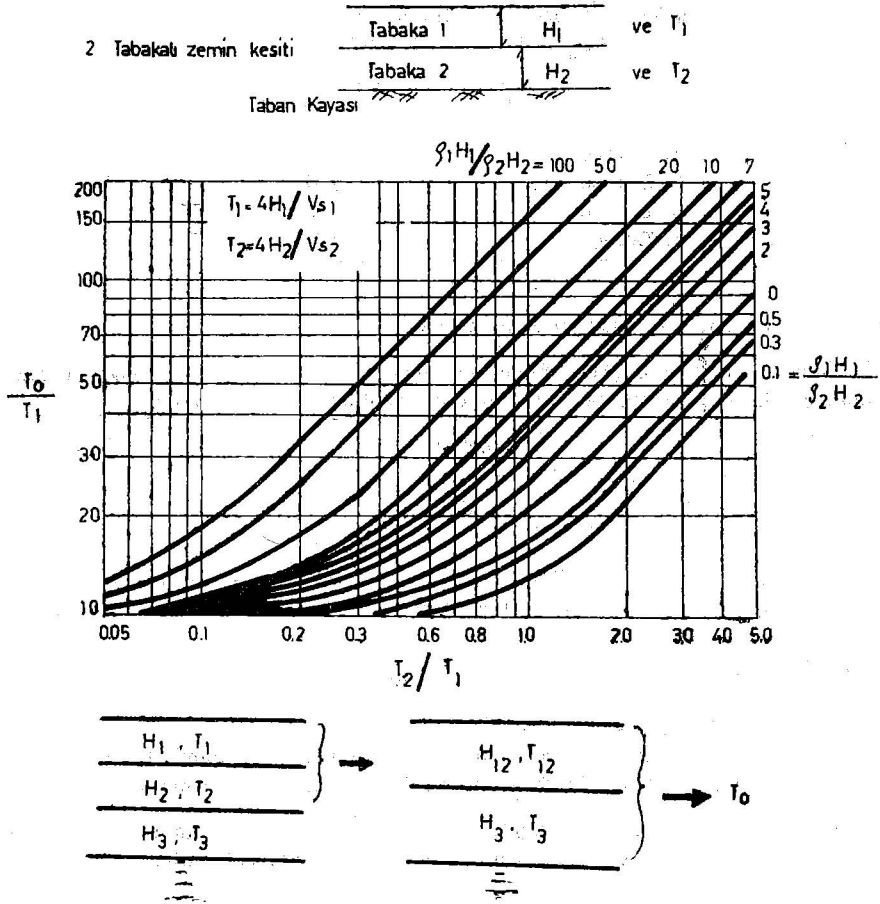
Bu şekilde hesaplanan T_0 değerlerinin sağlıklı ve yeterli olmadığı, ve gerçekten daha büyük T_0 değerleri verdiği dikkate alınmalıdır.

Değişik başka yöntemlerde bulunmasına karşın, çok tabakalı zemin kesitleri için Rayleigh Oranı kavramı ve ardışık iki tabaka çözümünü kullanarak T_0 'un hesaplanması daha uygun görülmektedir.

İki tabakalı zemin kesitinde, T_0 , her iki tabakanın hakim periyodları ile bağımlı olarak,

$$\tan\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{T_1}{T_0}\right) \cdot \tan\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{T_2}{T_0}\right) = \frac{\delta_2 H_2 T_1}{\delta_1 H_1 T_2}$$

şeklinde ifade edilir. Bu bağıntıdaki parametreler ve bu yöntemin uygulanışı Şekil : 11'de verilmiştir.



ŞEKİL 11 : İKİ TABAKALI ZEMİN KESİTİ İÇİN HAKİM PERİYOD (T_0)

Bu şekil üzerinde açıkça görülebileceği gibi, çok tabakalı bir zemin kesiti- nin hakim periyodunun hesaplanması, üst iki tabakadan başlayarak birbirini takiben yapılacaktır.

Bu hesap yönteminin T_0 hesaplanması için daha uygun gerçekçi bir yakla- şım olduğu ve Yönetmeliğe dahil edilmesi önerilmektedir.

Bu veriler ve yaklaşımların ışığı altında mevcut yönetmelikteki 13.4.6. maddesinin değiştirilerek açıklığa kavuşturulması düşünülmektedir.

Bütün bu hesap yöntemlerinde, zemin tabakalarının doğrusal-elastik dav- ranış gösterdikleri kabulü geçerli olmaktadır. Doğrusal olmayan davranışın et- kisinin dikkate alınması için bir katsayı da hesaplara dahil edilebilir. Tablo 5'de, SEAOC 1974'de verilen eşdeğer doğrusal olmayan davranış katsayıları gösterilmiştir.

Tablo : 5 Eşdeğer Doğrusal Olmayan Davranış Katsayıları
($T_0 = T_0/R - \text{SEAOC 1974}$)

Deprem Bölgesi	R
1. Derece	0.67
2. Derece	0.67
3. Derece	0.8
4. Derece	0.9

Yapıların Hakim Periyodunun Saptanması

Mevcut Türkiye Deprem Yönetmeliğinde, yapının hakim periyodunun sap- tanması için yaygın olarak kullanılan iki denklem verilmektedir.

$$T = \frac{0.09 H}{\sqrt{D}}$$

$$T = (0.07 \sim 0.10) N$$

Burada D (m) yatay yükler doğrultusuna paralel doğrultuda bina geniş- liği, H (m) binanın temel üst kotundan ölçülen yüksekliği ve N ise kat adedi- dir.

Her iki formülde, binanın rijitlik ve eylemsizlik özelliklerini yeterince ve gerekçi olarak dikkate almayan ampirik bağıntılardır.

Bazı yönetmelikler (Mexico Şehri 1975, ABD 1976) yapının hakim peryo- dunun saptanmasında Rayleigh oranının kullanılmasını önermektedirler.

İlk titregim modunun yaklaşık şekli doğrusal olarak kabul edildiğinde, Rayleigh oranı basitleştirilerek aşağıdaki şekilde ifade edilebilir;

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad \omega^2 = \frac{g \cdot \sum F_i \delta_i}{\sum \omega_i \delta_i^2}$$

Burada,

F_i = i'inci kattaki, yatay deprem kuvveti (Birçok yönetmelikte taban kesme kuvvetinin dağıtımında da kullanılan doğrusal birinci mod yaklaşımı ile saptanacaktır), δ_i = F_i kuvvetlerinden bulunacak iyileştirilmiş mod şekli, w_i = i'inci katın ağırlığı, g = Yerçekimi ivmesi, olmaktadır.

İterasyon uygulayarak iyileştirilmiş mod şekilleri kullanılması daha iyi bir T değeri verebilecek isede, iterasyonun ilk adımı (ilk mod) uygulama için gerekli ve yeterli güvenlikte sonuçlar vermektedir.

Bugün Türkiyedeki tasarım uygulamasında çerçevesel veya perde duvarlı yapılar deplasman analizleri için pratik hesap yöntemleri mevcut olduğuna göre, Rayleigh Oranı ile T hesaplanmasının Deprem Yönetmeliğine dahil edilmesi uygun görülmektedir. Ayrıca, uygulamadaki mühendislerin birçoğu bu hesap yöntemlerine zaten yakın olup, deprem tasarımı aşamasında halen de kullanılmaktadırlar.

SONUÇLAR

Halen (1979) çok az sayıda Deprem Yönetmeliği Zemin-Yapı periyod etkileşimini dikkate almaktadır. Birçok mevcut yönetmelik ise, zemin koşullarına göre yapıya etkiyen yatay yükü kabaca değiştirmektedir.

Bu yazıda, "periyod etkileşimi" ve "sistem etkileşimi" modelleri tanımlanmış ve deprem yönetmelikleri, zemin koşullarının etkisini dikkate alışı yaklaşımları açısından karşılaştırılmıştır. Ayrıca yazıda, 1975 Türkiye Deprem Yönetmeliğindeki mevcut zemin sınıflandırılmalarının değiştirilmesi ve iyileştirilmesi ile ilgili öneriler ortaya konmuştur.

Zemin hakim periyodunun (T_0) saptanması için iki seçenek tavsiye olunmaktadır :

a) Rijit yapılar için ($T < 0.7$ san.) yazıda verilen tablodan ortalama T_0 değerlerinin seçimi,

b) Yüksek ve esnek yapılar için ($T > 0.7$ san.), T_0 değerinin iki tabakalı zemin ardışık çözümü ile doğrudan hesaplanması.

Zemin kesitinde kullanılacak gerçekçi V_s değerleri önerilen yeni zemin sınıflandırması tablosunda yer almaktadır.

Üst yapı hakim periyodunun hesabında Rayleigh Oranı yaklaşımının kullanılması ayrıca önerilmektedir.

Türkiye Deprem Yönetmeliğinde "sıvılaşma" ile ilgili kayıtlarında bulunmasının uygun olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. AYDINOĞLU, M.N., (1977) "Üstyapı-Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı" Doktora Tezi - İ.T.Ü.
2. SEED, H.B. UGAS, C., LYSMER, J., (1974) "Site Dependent Spectra for Earthquake Resistant Design", Rapor No. EERC 74-12, University of California, Berkeley,
3. IAEE (Derleme) 1973, 1976) "Earthquake Resistant Regulations-A World List and Supplement"
4. OHTA, Y., GOTO, N., (1978) "Empirical Shear Wave Velocity Equations in terms of Characteristic Soil Indexes", Int. J. Earthq Engng. Struct. Dyn. 6, 167-187.
5. ZEEVAERT, L., (1972) "Foundation Engineering for Difficult Subsoil Conditions", Von Nostrand, Newyork, 1972
6. DOBRY, R., OWEIS, I., URZUA, A. (1976) "Simplified Procedures for Estimating the Fundamental Period of a Soil Profile", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 66, No : 4, pp 1293-1321 (1976)
7. ÇAKIROĞLU, A., ÖZMEN, G., G., (1976) "Calcul des Portiques à étages soumis à des Charges Horizontales", La Technique des Travaux, Sept-Oct.,
8. MUTO, K., (1956) "Seismic Analysis of Reinforced Concrete Buildings", Proc WCEE, Berkeley,
9. ÇAKIROĞLU, A., ÖZMEN, G., (1962) "Repartition des charges horizontales entre les portique des Travaux, Juillet-Aout,
10. POLYAKOV, S.V., KILINMIK, L. Sh., (1974) "On Unification of Codes for Structural Design in Seismic Areas", Bulletin of EAEE, Vol. 4, No. 1, pp. 3-12,
11. AYDINOĞLU U., ERGUVANLI A., ÖZAYDIN K., (1978), "Soil Structure Period Interaction and Earthquake Codes",

DEPREMLERİN OLUŞ NEDENLERİ HAKKINDA

Ali Erguvanlı*

SYNOPSIS

This is an article which sets out to recapitulate the beliefs on the causes of earthquakes, commencing from the early stages of civilization. The mythology and folklore of ancient tribes have introduced logical explanations of earthquakes, mainly related to volcanic activity, but the final word on earthquakes was that they were caused by supernatural gods.

The West Anatolian (Ionian) and Ancient Greek philosophers propounded theories relating to earthquake activity, that found support until the 18th Century. The religious influence, emphasizing Divine punishment, for more than 10 centuries did not result in any progress in scientific ideas.

With the establishment of seismology and development of instrumentation, modern scientific theories have been developed, relating to the causes of earthquakes. It may still be believed that,

“Nature doesn't reveal all her secrets at once”
Seneca,

Mitoloji ve Folklor

Habersiz, gelen, birkaç saniye içinde geniş kitleleri hatta medeniyetleri yok edebilen, asırlarca korkunun ilham kaynağı olmuş kuvvetli deprem olayları, çok eski zamanlardan beri insanlığın merakını üzerine çekmiştir. Depremlere maruz ülkelerin mitoloji ve folklorlarında, depremleri oluşturan sebeplerin ilkel açıklamalarına rastlanmaktadır. Devamlı olarak rastlanan bir izah tarzı, dünyanın üzerinde durduğu kabul edilen hayvanın hareketi veya başını oynatması sonucu depremlerin oluşmasıdır; hayvanın cinsi ülkelere göre değişmektedir. Hindistan mitolojisinde bu hayvan fil olarak geçmekte, Moğolistan'da yaban domuzu, Güney Amerika'nın bazı yerlerinde balina, Japonlara göre de dev örümcek veya bir cins kedi balığı dünyayı oynatmaktadır. Kuzey Amerikada yaşayan Kızılderililer ise dünyayı rahatsız eden yaratık olarak kaplum-

(*) İ.T.Ü. Maçka İnşaat Fakültesi

bağayı tercih etmişlerdir. Eski Anadolu inancına göre dünya öktüzün boynuzlarında durmaktadır ve üstüne konan sinekleri kovmak için öküz kuyruğunu salladıkça dünya sarsılmaktadır. Sibirya'nın buzul koşulları içinde yaşamakta olan Kamçatka halkı, Tanrısı "Tuil" in arada sırada yerin altında kızaklar ile çekilerek seyahat ettiğine inanmaktadır. Kızakları çeken köpeklerin durup da üstlerinde biriken kar ve buzları atmak veya kaşınmak için silkindikleri sırada yer sarsıntıları ve depremler oluşmaktadır.

Eski Yunan mitolojisinde depremler ile Tanrı Poseidon (Neptun) ilişkilidir. Efsaneye göre Polybotes adlı devi denizler üzerinden kovalayan Poseidon, Kos (Istanköy) adasına eriştiklerinde adanın bir kısmını parçalayarak kopartıp devin üzerine fırlatır ve dev fırlattığı parçanın altına gömülür. Mitolojik hikâyede seçilen Kos adası, volkanik nedenler ile çok sayıda deprem oluşması açısından tanrı ve efsane ile uyumludur. Poseidon'un ırmakların Tanrısı olduğu ve onları istediği vakit açıp kapattığına dair inanç da unutulmamalıdır.

Eski Hawai inançlarına göre, Kilauea hareketli volkanının ateşli kraterinde düşmanlarından uzak ve güvence içinde yaşayan Tanrıça Pele depremlerin yaratıcısıdır. Pele yeni diyarlar yaratmak istediğinde evinden aşağı lavlar göndermekte, cezalandırmak istediği kişileri de lavların altında bırakmaktadır. Kızgınlıkla ayağını yere vurduğunda ise depremler oluşmaktadır.

Maori efsanesine göre ise, Yer Ana'nın çocuklarından biri olan Tanrı Ruaumoko, annesi tarafından beklenirken bir kaza sonucu yere düşmüş ve yüzüstü toprağa saplanmıştı. O günden beri, Dünya'ya gömüldüğü şekilde kalmıştır ve belirli aralar ile mide gürültüleri, mırıltı ve bağırmalar şeklinde kendi dertlerini anlatmağa çalışmaktadır. Üç heceye ayrılan Ruaumoko adı herbiri bir anlam ifade etmektedir. Ru-Dünya Tanrısının çıkardığı sesler, Au-Şimşekler çakararak havaya yükselen duman, Moko-Lavların ve volkan küllerinin, dağ eteklerinde tattoo çizgilerine benzer meydana getirdikleri derin izleri, ifade etmektedir.

Eski İskandinav inançlarında da, depremler insan üstü varlıklar ile bağdaştırılmıştır. Loki adındaki kötü tanrısal yaratık, yer altında, zehirli yılanların yaşadığı yere bağlanarak bırakılmıştır. Tanrısal yaratığın üzerine yılanlar zehirlerini akıttıkça, acidan kıvranan yaratık yer üstünde sarsıntılar oluşturmaktadır.

Bu efsaneler ile de vurgulandığı gibi eski inançlarda tekrar eden doğal olayların mantıklı bir açıklaması ancak bir noktaya kadar yapılmakta, ondan sonra insan üstü, Tanrısal yaratıklar olayların sebeplerini meydana getirmektedir. Örneğin, depremlerin yerel değişimler veya volkanlar ile ilgisi bulunması doğal bir gerçek olmakta fakat nihai sonuç olarak, olayın Tanrısal bir cezaya bağlanması efsane olmasını sağlamaktadır.

Eski Klâsikler Çağı

Depremler hakkında ilk akılcı açıklama ve yaklaşımlar eski Batı Anadolu'lu (İyonya) ve Yunanlı'lar tarafından yapılmıştır. Milet'li Anaximenes'e (M.Ö. 585-528) göre, depremler dünyayı oluşturan büyük toprak kitlelerinin bir kısmının aşırı kuruması veya ıslanması sonucu ayrışmalarından meydana gelmektedir. Anaximenes, Thales okuluna karşın, doğal olayları hava ("pneuma",

soluk, ruh veya rüzgâr) ve hava etkileri ile açıklamağa çalışmıştır. Buna karşın, Klazomenae'li (Güzelyalı-İzmir) Anaxagoras (M.Ö. 500-429) depremlerin oluş nedenlerini, dünyanın boşluklu ve geçirgen bir yapıdan oluştuğu ve bu boşluklar arasında görünmez ve dokunulmaz bir madde olan eterin dolması ile izah etmektedir. Dünya yüzüne yakın olan boşluklar yağmur ve yerüstü suları ile doygun hale geldiği vakitler, daha alt boşlukları dolduran eterin kaçacak yollar araması depremlerin oluşumuna sebep olmaktadır. Bir başka teori, M.Ö. 420 yıllarında Milet'li Leucippus'un öğrencisi Abdera'lı Demokritus tarafından ortaya konmuştur. Bu teoriye göre, dünya bölünmez, katı "atomlar" ve boşluklardan oluşmuştur ve boşluklar su ile doludur. Yağmurlar sonucu biriken yağmur sularının dünya yüzünden içerele girmek için yaptığı zorlamalar ise depremleri meydana getirmektedir.

Bütün bu teorileri tenkid eden Aristo (M.Ö. 384-322) kendi teorisini pneuma (hava hareketi, rüzgâr anlamında) ile açıklamaktadır. Aristo, nem'in buharlaşması sonucu hava hareketleri ve rüzgârların oluştuğuna inanmakta ve bu doğal olayın yeraltı, yerüstü ve insan vücudunda da meydana geldiğini savunmaktadır. İnsan vücudunda, bilhassa hastalık sıralarında, görünen titreme, kalp çarpıntısı ve sıkışmaları vücut içindeki hava hareketleri ile izah ederken, dünyada benzer olayların yeraltındaki boşluklardaki havanın çarpıntıları ve dışarı çıktıkça oluşturduğu sarsıntılar, depremler şeklinde görüldüğü açıklanmaktadır. Depremlerden önce dünyanın içinde çok miktarda hava bulunması dışarda ve atmosferde havanın az, sıkıcı ve rutubetli olmasına sebep olmaktadır. O günlerden beri süregelen bir inanç olan sıkıcı ve rutubetli havanın "deprem havası" olarak bilinmesinin de bilimsel bir dayanağı olmadığı görülmektedir. Aristo'nun o zamanlara göre tatmin edici teorisinde, sâkin hava, ay ve güneş tutulması, med-cezir ve volkanlar da depremler ile bağdaştırılmaktadır.

M.S. birinci yüzyılda iki ileri gelen Roma'lı düşünürde depremler hakkında fikirler ileri sürmektedir. Seneca, Aristo'nun teorisini sağlamlaştırıcı ve kanıtlayıcı nedenler ortaya koyarken, pneuma yerine eş anlamlı "Spiritus" kelimesini kullanmaktadır. Seneca'ya göre, yer altında mevcut çok sayıda boşluklar arasında hava serbestçe dolaşabilmekte ancak bazı durumlarda, dış etkenler ile bu boşlukların bir kısmı kapanmaktadır. Ufak ve kapalı bir boşlukta sıkışarak tuzığa düşmesi, dolaşıma alışık havanın, boşluk kenarlarını zorlayıp patlayarak çıkmasına ve depremlerin oluşuna neden olmaktadır. Pliny'nin depremler hakkındaki gözlemlerinin önemi, bu doğal olayın meydana gelişini gerçekçi olarak anlatışındadır.

Bu teoriler, depremlerin yer altında birtakım "gerilmeler" sonucu oluştuğuna ait bilimsel açıklamalar olması bakımından önemlidir.

Roma İmparatorluğunun Çöküşünden 17. Yüzyıla Kadar

Din etkisinin altında geçen yüzyıllarda depremlerin ve diğer doğal olayların izahı ve tek nedeni Tanrı olmuştur.

Bundan dolayı Eski İyon, Yunan ve Roma Medeniyetlerinde düşünürler tarafından oluşan bilimsel yaklaşımlar ve teoriler asırlarca zorlanmamış ve değişmemiştir.

Ancak, Eski Çin uygarlığında, depremlerin kayıtları ve bildirilmeleri ile ilgili bir sistem kurulduğu bilinmektedir. O zamanki inanca göre depremler ile hükümetlerin değişmesi gerekmekte idi. Bu aralarda, İmparatorluk gökbilimcisi Chang Heng (78-139), dünyada ilk vazife gören sismografi yapmıştır. Muhtemelen basit sarkaç prensibine göre çalışan bir ilginç alet Şekil : 1'de ve Foto : 1'de gösterilmiştir. Eski Çin İmparatorluğunda Chau ve Shong sülâleleri zamanından itibaren başlayan (M.Ö. 800-1000) deprem kataloglarında yaklaşık 2000 deprem kaydı toplandığı, Japonya'da ise M.Ö. 599 yılından bu yana depremlerin kayıt ve tahmin ve M.S. 1600 yılında Tokugawa Şogun'lu zamanında da kataloglaştırıldığı bilinmektedir.

Hristiyan dininin kitabı İncil'de Old Testament (Tevrat) kısmında, depremler ile ilgili çok sayıda yazı vardır. İncil'de ve dinî inanışlarda depremleri ve doğal afetleri meydana getiren, insanları gerektiği vakit cezalandırmak da isteyen Tanrı ve Tanrının hiddetidir. Örneğin iyi bilinen hikâyelerde Jericho ile Sodom ve Gomore şehirleri cennetmekan Tanrı tarafından cezalandırılır:

"Cennetmekan Tanrı Sodom ve Gomore üzerine yağmur yağdırdı, taş ve yangın geldi Tanrıdan. Ve sonra o şehirleri alt üst etti ve bütün ovaıda ve iki gehirde yaşayan tüm insanları da yer bir etti" (Genesis, K. 20, b. 24),

"Bundan dolayı ben cennetleri sarsacağım ve Tanrının gazabına uğrayacak olan dünya yerinden oynayacaktır" (Babil'in tehdidi, İsaiah, K. 13, b. 13),

"O gün muhakkak İsrail topraklarında büyük bir sarsıntı olacaktır. Balıklar denizden fırlayacak" (Tanrının Gog üzerinde yargısı, Ezekiel, K. 38. b. 19-20).

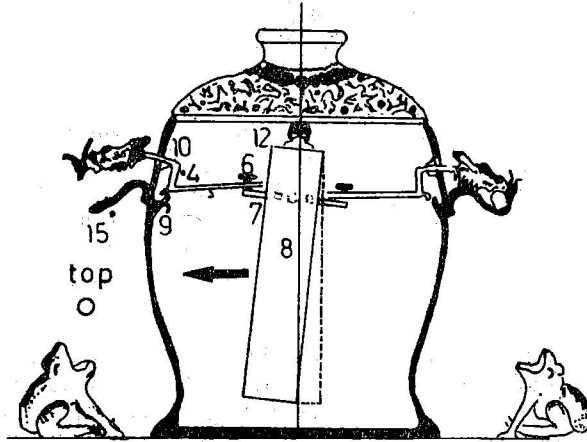
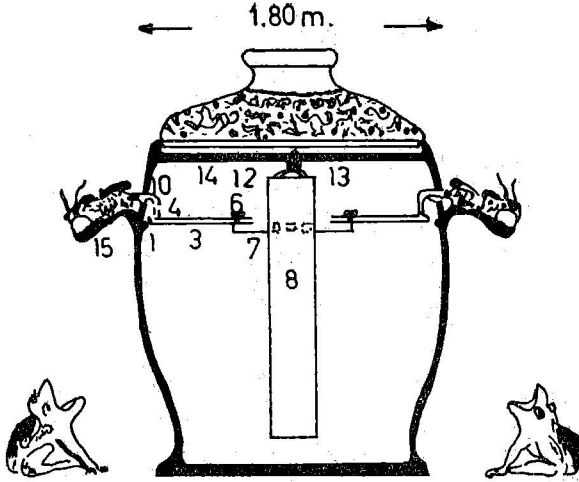
Bu örnekleri uzatmak mümkündür. Ancak bunlar iki şeyi fazlasıyla kanıtlamaktadır. Ürdün kırığında sismik hareketin çok eskilerden beri meydana geldiği ve deprem gibi doğal afetlerin din etkisi ile o yıllarda yalnız Tanrısal nedenlere dayandırıldığı. Zaten görülmektedir ki Hristiyanlığın yayılmağa başlamasından az sonra, 5. yüzyılda, depremlerin oluşunu izah eden bilimsel ve doğal açıklamalar Hristiyan Kilisesi Peder'leri tarafından resmen yasaklanarak, inançlara aykırı kabul edilecektir (4).

"Alla est heresis quae terrae motum non Dei iussione et indignatione fieri, sed de nature ipsa elementorum opinatur, cum ignorat quid dicat Scriptura : Qui conspicit" St Philastrius de Brescia, Diversarum Hereseon Liber. İslâmın kitabı Kuran'da da deprem tefsir edilirken "İza zül zile" (zelzele) suresinde, Tanrı'nın gazabı olarak ahiret gününde insanların cezalandırılacağı bildirilmektedir.

Aristo ve Seneca'nın depremler hakkında açıklamaları sonraları sadece bilim adamları tarafından değerlendirilmemiştir. Örneğin, W. Shakespeare'in 16. yüzyılın sonuna doğru yazılmış bir eserinde,

"Hastalıklı doğa arada sırada bir garip patlamaktadır.
Ve kolikli bir hasta gibi acı çeken bu dolu dünya,
Rahminde bağ edilemez hava hapsedilmiş,
Rahatlamak istedikçe, sarsılıp, genişlemeğe çalışmaktadır;
Ve sallanan koca-karı dünya,
Ve yuvarlanan kilise çanları ve yıkılan yosunlu kuleler."

IV. Henry (3. perde)



Şekil 1 : Chang'ın yaptığı sismografin tahminen kurulmuş bir şekli. Sekiz adet top düşüren yaratıktan ikisinin çalışma düzeni görülmektedir. (C.T. Wang'den - bakınız C. Lomnitz).

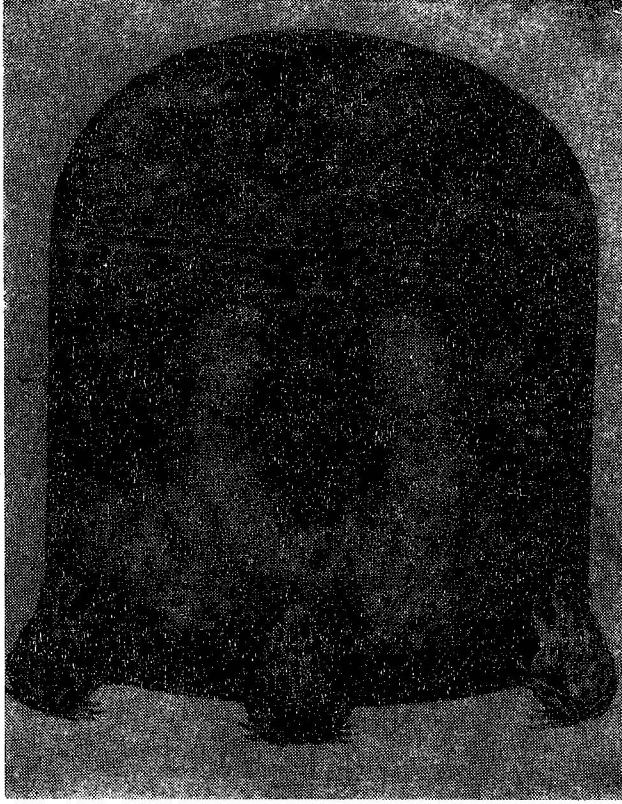


Foto 1. Chang'ın Sismografı

depremlerin "pneume-spiritus" nedeniyle oluştuğu inancını ifade etmektedir. Travagini bu inançları yıkmak için 1679'da deprem hareketi ile ilgili ilk fiziksel teoriyi ortaya atmıştır. Bu teoriye göre, puls ve titreşimleri iletebilmesi için 'kati' bir dünya vardır. Bu teori, dünyanın boşluklu ve içsel mağaralarla dolu olduğunu varsayan eski inançların tam aksi olmaktadır.

18. YÜZYIL

1750 ile 1755 yılları arasında dünyada meydana gelen aşırı sismik hareketler bütün ilgileri deprem üzerine çekmiştir. Bu sismik hareket silsilesi, Lizbon'u yıkan ve bütün Avrupa'yı sarsan 1 Kasım 1755 Lizbon depremi ile sona ermiştir. 18. yüzyılın yarısında da, halâ, genel kanı depremlerin, insanlığın artan bencilliği ve hainliği sonucu cezalandırılmasından dolayı oluştuğudur. 1750 yıllarında yazıldığı tahmin edilen "Deprem" şiiri bu hisleri içermektedir.

"Hangi kudretli el, hangi bilinmeyen kuvvet
Bu tekrarlı sarsıntıları yaratmaktadır ?
Yoksa hapsedilmiş havalar mı inliyor.
Yoksa sahiller, efsanelerdeki Poseidon zıpkınının
Rüzgârları ile mi titriyor ?

Hayır! bu koca dünya, Tanrı'dan korkmayanların ayak seslerini
Sabrı tükenerek taşıyor,
Ve bu suç yükü altında titrerken,
Kendi kötü ırkı için bir büyük mezar kazıyor."

Bilimsel çevreler ise deprem konusunda iki ayrı düşüncenin etrafında toplanmaktadır. Buffon'a göre depremler volkanik hareketler ve yeraltı patlamalarından dolayı meydana gelmektedir. Stukeley ise depremleri elektriksel nedenlere dayandırmaktadır.

Buffon (1707-88) iki ayrı tip deprem tanımlamaktadır. İlk tip volkanik bölgelerde, volkanik hareketler ile, yanardağların kaynama ve fışkırmaları ile oluşan depremlerdir. İkinci tür deprem, daha tehlikeli ve fazla hasara yol açan ve olduğu yerden uzaklarda da hissedilen depremlerdir; bu depremler yeryüzünün çok altında meydana gelen derin patlamalardan dolayı olmaktadır. Depremlerin yeraltı patlamalarından olduğu 1550'de Biringuccio'nun 'Pirotechnica' adlı eserinde yazılmış ancak 16. yüzyılda çok az ilgi çekebilmiş idi. Buffon'a göre bu patlamaların nedeni, sınırlı alanlarda bulunan piritlerin yanması sonucu çıkan büyük hacimdeki gazların meydana getirdiği aşırı basınçlardan dolaydır.

Stukeley (1667-1765) depremlerin oluş nedenleri ile ilgili teorisini, Benjamin Franklin'in şimşek ve gökgürültüsünün de tartışıldığı atmosferin elektrikselliği açıklamasından sonra, benzer gerekçelere dayanarak geliştirmiştir. 1749 yılında İngiltere Kraliyet Cemiyetinde yaptığı konuşmada Stukeley, teorisinin esaslarını şöyle açıklamaktadır :

"Benzer prensiplerden hareket ile (B. Franklin'in), eksi elektrik yüklü bir bulut dünyanın yüksek artı elektrik yüklü bir kısmına muhtevasını ve yükünü boşalttığı sırada muhakkak bir deprem meydana gelmektedir. Elektrigin insan vücudunda meydana getirdiği gibi farklı elektrik yüklü taşıyıcıların katı dünya ile çarpışması mutlaka depremleri oluşturmakta ve ilk sarsıntı sırasındaki tatsız gürültü temasın sonucu meydana gelmektedir".

1760'da yazdığı anılarında Mitchell (1724-1793), deprem ve sismik hareket nedenlerini yeraltında olan yangınlarda aramıştır. Kendinden öncekilerden farklı olarak Mitchell, teorisinin her aşamasını ispatlamağa çalışmıştır. Ona göre aniden alev alan ve yanmağa başlayabilen piritler, yer altındaki kömür ve şeyl tabakalarında geniş ve tehlikeli yangınlar oluşturmakta ve depremlere neden olmaktadır. Ancak Mitchell de, kendinden önceki Woodward veya sonraki Humbold gibi, volkanların dünyanın emniyet subabı olduğuna inanmaktadır; volkanlar vasıtasıyla yeraltından sıkışmış buhar ve gazlar çıkmakta ve böylelikle çok sayıda depreme mani olunmaktadır. Yaygın yeraltı yangınları, üst tabakalarda bükülme ve göçmeler oluşturmakta, ve yeraltı birikintileri ile göllerinde mevcut su yanan tabakaya sızarak hemen buharlaşma başlamaktadır. Buharlaşan suyun oluşturduğu basınç kayalar arasındaki çatlak ve boğlukları sıkıştırmakta ve bu kayalar, basınç altında yer yüzüne doğru ilerleyen pulslar oluşturmaktadır.

Yeraltındaki kayaların elastik özellikte olmaları nedeni ile basınçtan sonra genişleme oluşturmakta dolayısıyla sıkışma-genişleme şeklinde sürekli bir hareket serisi, dünya yüzüne kadar ilerleyen titreşim dalgalarını meydana getirmektedir.

Mitchelle iki ayrı tür deprem hareketi tamamlamaktadır; birinci tür "titresim" tipi (yani, ileri-geri, aşağı-yukarı hareket), ikinci tür ise "dalga" tipi harekettir. Dalga tipi hareket üzerinde duran Mitchell, yeraltında basınçlı hava bulunan boşluklardan ince çatlaklara yeryüzüne süzün havanın çatlakları boşalttığı yere yeniden basınçlı hava gelmesi ve çatlaklarında daralıp genişlemesine sebep olmaktadır. Bu dalga tipi hareket, buhar yeryüzüne kaçana veya suya dönüşüne kadar, çok uzak mesafelere gidebilmektedir.

Mitchell kendi teorisini desteklemek amacıyla depremler sırasında gözlediği birçok olayı kanıt olarak vermiştir. Spekülasyondan uzak durması ve doğal gerçeklerle de desteklenen ayrıntılı bir teori geliştirmeye çalışması, kendinden öncekine oranla bilimsel yaklaşım için büyük gelişme olarak kaydedilmektedir, ve onlar sismoloji tarihinin klâsikleri arasında sayılmaktadır.

19. YÜZYIL

Sismolojinin gerçek bir bilim olarak tanınip kurulması ondokuzuncu yüzyılda olmuştur. Gelişen sismografların, sismologlar tarafından yaygın olarak kullanılmağa zorlanması bu yönde yeni ufuklar açmış ancak depremlerin oluş nedenlerini açıklayan araştırmalar bir süre ihmal edilmiştir. Ancak bu konuda ileri sürülen fikirlerin 17 ve 18. yüzyıldaki teorilerden ayrılık gösterdiği göze çarpmaktadır.

1822 Valparaiso depreminin üzerine Peder Camilo Henriquez, Tanrı'nın kendi hiddeti ile tapınakları ve kendi evini yıkacak kadar düşüncesiz olamayacağı belirtmiştir.

Bu sırada yer bilimlerine artan ilgi ile fosillerin bulunması ve insan öncesi hayatın varlığının saptanması, dinî inançlarda ve İncil'de yaratılış ile ilgili düşünceleri de zorlamakta idi.

1835'de Charles Darwin, Beagle araştırmasının bir üyesi olarak Şil'i ziyaret sırasında şiddetli Concepcion depremini yaşamıştır. Açıklamalarında, ayrıntılı ölçümlerden ve depremlerden dolayı meydana gelen tektonik ("Tekton", Yapı, marangoz (eski Yunanca), dünyanın yapısı ile ilgili) dağların ortaya çıkmasında depremlerin önemli bir etken olduğunu belirtmiştir.

Charles Darwin 1840'da, dünya kabuğunun bir dahili sıvı üzerine oturmuş olduğu hipotezini ortaya atmakta ve ay'ın etkisi ile oluşan med-cezir kuvvetlerinin dünya kabuğunu zorlayarak depremleri meydana getirdiğini iddia etmektedir. Ay'ın etkisini daha ayrıntılı olarak inceleyen Perrey (1807-1882) ise, depremler ile ay'ın konumu arasında doğrudan bir ilişki olduğunu keşfettiğini ifade etmektedir. Perrey'in fikirleri ondokuzuncu yüzyıl sonuna kadar desteklenmiştir.

Osmanlı İmparatorluğunda ise, Mühendishane-i Berri-i Hümayun Baş Hocası Hacı İzhak Efendi 1845'de basılan "Mecmuai Ulumu Riyaziye" adlı tanınmış eserinde (4. cilt, S. 458) depremlerin oluş nedenlerini volkanik hareketlere bağlamakta, "Netice, hareketi arz volkanlarda vaki hariklerden hadis ve alel umum cef-u arzde vâki ve kibrit ve zift ve mevad-i müşte ile memlu hufrelerden hasıl olur".

Ve onsekizinci yüzyıl sonu Avrupa düşüncelerini desteklemektedir (2).

Çağdaş sismolojinin esaslarını koyan Mallet (1810-1881), depremler hakkında ilk fikirlerinde dahi kendi zamanına oranla daha ileri düşündüğü görülmektedir. Mallet depremlerin, ya dünya kabuğunun bazı kısımlarında ani bükülme ve burkulmalar sonucu veya yeraltı tabakaları içinde ani gerilme boşalmaları sonucu meydana geldiğini açıklamaktadır. Bu değişimlerin volkanik bölgelerden ziyade genellikle denizlerin altında olduğunu söylemektedir. Daha sonraları bu fikirlerini geliştiren Mallet, depremlerin yalnızca tek bir nedene bağlanmayacağını ifade etmiş ve depremlerin yer kabuğunun çok altındaki volkanik hareketlerden veya, yer kabuğunun yüzyıllar süren soğuması sırasında meydana gelen gerilme ve kaymalar ile açıklamıştır.

Bu düşünceler, depremlerin iki ayrı ana nedenden oluştuğuna inanan John Milne (1850-1913) tarafından geliştirilmiştir. Milne'nin teorisine göre volkanlar civarında ve oldukça sık olan volkanik hareketler nispeten ufak depremleri oluşturmaktadır, ancak, binlerce kilometre uzaktan sismograflar ile de kayıt edilebilen büyük depremler, yer altındaki büyük kaya kitlelerinin iç gerilmeler altında kırılması veya hareketi sonucu meydana gelmektedir. Bu gerilmeler, yeryüzü kabuğunun yüzyıllar süren kıvrılması sırasındaki ani, yerel hareketler sonucu, veya, deniz ve sualtı tabakalarının dolgular ve birikintiler ile zamanla aşırı yüklenmeleri sonucu meydana gelmektedir. Milne bu düşüncelerini ispatlamak amacıyla, dünya üzerinde büyük deprem serilerinin olduğu bölgelere ait çok sayıda jeolojik örnek de göstermiştir.

ÇAĞDAŞ DÜŞÜNCELER

Bu kısmın yazılmasında gaye çağdaş sismoloji ve depremi mühendisliği teorilerini açıklamak veya geliştirmek değildir. Sadece yirmibirinci yüzyıla yaklaşırken dünya üzerinde yaşayan düşünen-canlıların deprem hakkındaki düşünceler ve inançlarını ortaya koymaktır. Kimbilir belki beş yüzyıl sonra yaşayacak olanlar, bize bizim Aristo'ya baktığımız gibi bakacaklardır.

1910'da Reid'in, depremlerin oluş nedenlerini açıklayan "elastik geri tepme" teorisi ile birlikte ondokuzuncu yüzyıldan beri geliştirilen kayaların kıvrılma ve kırılma düşüncelerinde gerçeklik kazanacaktır. Reid "elastik geri tepme" teorisini, 1906 San Francisco depremini ayrıntılı incelemesi sonucunda geliştirmiştir. Buna göre, yer kabuğunu oluşturan kısımların kırıklar üzerinde, birbirlerine oranla yaptıkları çok yavaş yer değiştirmeler, zamanla büyük elastik şekil değiştirmeler meydana getirerek kırılmaya neden olmaktadır. Kırılmayı takiben kaya kitleleri ani bir elastik geri tepme yaparak doğa minimum şekil değiştirmeye ile dengelenmektedir. Sonuç olarak zaman ile biriken şekil değiştirme enerjisi kinetik enerjiye dönüşmekte ve bu çok ani enerji boşalımı deprem olayını ve hasarını meydana getirmektedir. Çok büyük depremlerde boşalan enerjinin 10^{26} Erg mertebesinde olduğu ve bunu da örneğin 1946 daki Bikini atom bombası patlatma deneyindeki enerji boşalım miktarından yüzbin defa daha büyük olduğu unutulmamalıdır. Reid, depremlerin oluş nedenleri ile ilgili tüm etkenleri (örneğin, enerji birikimine neden olan yavaş kabuk hareketleri gibi) açıklığa kavuşturduğunu iddia etmemiştir.

Depremler, az sayıda da olsa, Litosferden daha alt seviyelerde, 700 km. derinliklere kadar inen Üst Manto içerisinde de oluşmaktadır. Ancak bu bölgeler elastik deformasyona ve dolayısıyla deformasyon enerjisi birikimine uygun

olmadığından, buralardaki derin depremleri elastik kırılma teorisine bağlamak güçlüğü ortaya çıkmıştır. Fakat bu güçlük, bu problem, son yıllarda tüm jeolojik kavramları etkileyen "Levha Tektoniği" ile sağlıklı bir çözüme ulaşmıştır (3).

Bugün, genel olarak, üç tür deprem nedeni bilinip kabul edilmektedir; volkanik, tektonik ve plutonik depremler. Birinci tür hareketler ufak fakat sık tekrarlanan, sadece volkanlar yakınında bulunan sismograflar tarafından kaydedilebilen depremlerdir. Volkanik nedenli depremlerde enerji boşalımı kimyasal kaynaklı olabileceği gibi magma hareketi veya basınç altındaki gazlardan dolayı da meydana gelmektedir. Büyük depremlerin hemen çoğu elastik şekil değiştirme enerjisinin boşaldığı tektonik hareketlerdir. Bu konuda Reid'in açıklamaları genellikle kabul edilmekte, ancak ön ve ard sarsıntılar ile ilgili teoriler geliştirilmektedir.

Plutonik (çok derin odaklı) depremlerin oluş nedenleri de tektonik depremler gibi kabul edilmekte fakat etkileri yeryüzünde geniş alanlara azalarak yayılmaktadır.

Plutonik ve tektonik depremleri doğuran enerji boşalmalarına neden olan yavaş yer kabuğu hareketini açıklamak için çeşitli "esas" teoriler de geliştirilmiştir. Bir varsayım göre, dünyanın sıcak bir eriyik veya gaz durumundan soğuyarak katılaşmaya başlaması ile yer kabuğu oluşmuştur. Soğuma ve yer kabuğu altında sürekli büzülme ve hacimsel azalma devam ettikçe, daha büyük olan yer kabuğu kıvrılmağa ve kırılmağa başlamıştır. Bu süreç halen de devam edegelmekte ve böylece depremler oluşmaktadır. Bir başka teori ise dünya kabuğunun büzülmesi yerine bazı yerlerinin genişlemesini esas almaktadır. Yer kabuğu içinde, yüzeyde de görüldüğü gibi, radyoaktif mineraller vardı. Bunların dışarıya yaydığı ışın ve maddeciklerin belirli ortamlarda ısıya dönüşmesi kabuğun genişlemesine ve kayaların içinde elastik şekil değiştirmelere yol açmaktadır.

Bir değişik teoriye göre de depremlerin oluş nedenleri izostatik denge oluşturan süreç ile ilgilidir. Ölçümlere göre dağların yakınlarında yer çekimi şiddeti beklenenden az değerler almakta, buna karşın okyanus ortalarında fazlalıkmaktadır. Genel olarak dünya içinde, dağların altında kitle eksikliği, okyanusların altında kitle fazlalığı vardır, farklı denge yeryüzünde de görülmektedir ve bu yaklaşık denge (izostaty) halidir. Dağlar ve okyanuslar statik (durgun) değildir; doğal nedenlerle dağlar aşınmakta, birikintiler denizleri doldurmaktadır. Zamanla oluşan bu kitle dağılımı, yer altından kaya kitlelerinin yeryüzüne çıkışları izostatik dengeyi sağlamaktadır. Bu tür kaya hareketinin kabuğu zorlayarak nihayetle çatlatacağı muhakkaktır. Ancak, bütün bu teorilerin tenkit edildiği ve hiçbirinin genel bir kabul görmediğini belirtmek gerekir.

Oluşması çok yakın bir depremi bazı dış doğal kuvvetlerin hızlandırdığı ve hemen başlattığı düşüncesi de yaygındır. Bu dış kuvvetler med-cezir çekilmeleri, atmosferde büyük basınç değişimleri, yağmur ile yerel ısınma ve soğumalar gibi doğal etkenlerdir.

Yeraltındaki karstik mağaraların, petrol ve doğal gaz kuyularının çökmesi sonucu veya büyük heyelânlarda ve meteorit düşmesinden sonra depremlerin vukua geldiği hakkında eskiden beri birçok örnekler verilmektedir. Bu gibi

olaylar çoğunlukla depremin nedeni değil, aksine sonucudur. Benzer şekilde hava basıncının birden değişmesi ile depremler arasında bir ilişkinin bulunabileceği düşünülmüş ve hava basıncının depremin vukua gelmesinde bir "ateşleme" veya "tetik çekme" etkisi yaptığı ileri sürülmüştür. Ancak uzun süreli istatistiki incelemeler sonucu doğrudan bir ilişki varlığı saptanamamıştır.

Depremlerin sebep olduğu afetler hakkında, Marinatos (6) Pelepones yarımadasının kuzeyinde, denize 2 km. uzaklıkta Helice şehrinde M.Ö. 373/2 yıllarında olan deprem ve sonucunu şöyle anlatmaktadır : "Kötü bir kış gecesi, büyük ve zengin bir şehir olan Helice'e garib bir şey oldu. Şiddetli depremden sonra ortaya çıkan dalgalar, bütün şehri içine alarak yuttu. Tek bir can sağ kalmadı. Ertesi gün civardan gelen iki bin adam, ne şehri ne de ölüleri bulabilirdi, çünkü harabeler denizin dibine gömülmüştü". Bu hikâye, suya doygun alüvyon kumunun oluşturduğu nehir ağzı tabakaları yerine kurulu Helice şehrinin, depremler sırasında sıvılaşma ve büyük toprak kaymaları sonucu ortadan kayboluşunu anlatan ilk tarihi kayıt olmaktadır.

Depremlerin oluşum sıklığını kontrol eden doğal kanunları saptamak amacıyla da çok sayıda inceleme yapılmıştır. Depremlerin gece sırasında ve kış mevsiminde, daha sık oldukları, ayın ve güneşin konumu ile ilgisi bulunduğu meteor düşmesi veya güneş lekelerine bağlı olduğu iddia edilmiş ancak gerçek ve geçerli bir istatistiskî bağıntı saptanamamıştır. Ancak, depremlerin kısa bir süre önceden bilinmesi yolunda, belirgin doğal değişimlerden yararlanarak, elde edilen başarılar vardır. İlerki yüzyıllarda bu konuda gerçeklere daha da yaklaşılabileceği ümit edilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Bolt B.A., Horn W.L., McDonald G.A., Scott R.F., (1975) "Geological Hazards" Springer-Verlag, NY-USA.
2. Erguvanlı K., (1973) "Türkiye'de Son 50 yılda Mühendislik Jeolojisi ve Problemleri", Cumhuriyetin 50 yılı Yer Bilimleri Kongresi, MTA basını.
3. Ketin I (1977) "Genel Jeoloji - Yerbilimlerine Giriş" İ.T.Ü. Kütüphanesi Sayı 1096.
4. Lomnitz, C, (1974), "Global Tectonics and Earthquake Risk", Elsevier, Amsterdam.
5. Richter C.F., (1958), "Elementary Seismology" W.F. Freeman and Co., USA.
6. Seed H.B., (1968), "Landslides during earthquake due to soil Liquefaction", ASCE Journal of Soil Mech. and Found. Eng., SM5, s. 1053-1122.
7. Singer C., (1959), "A Short History of Scientific Ideas to 1900", Oxford University Press, England.
8. The Encyclopædia Americana (1967), E. Americana Corp. USA.
9. The New Encyclopedia Britanica (1974); E. Britanica Inc.
10. Warntnaby, Jo, (1957), "Seismology", Historical Survey and Catalogue, Science Museum, London.

1 ile 5 SANİYELİK MİKROTREMORLARIN GÖZLEMİ VE DEPREM MÜHENDİSLİĞİNE UYGULAMASI

Bölüm 1 : 1968 TOKACHI-OKI DEPREMİNİN UZUN PERİYOTLU İVMELERİ İLE KARŞILAŞTIRMA

Yazan : YUTAKA OHTA, HIROSHI KAGAMI, NORITOSHI GOTO,
KAZUYOSHI KUDO

Çeviren : AYSEL YATMAN (*) — REF'AN ATEŞ (*)

Öz : Derin dolgu tabakalarından dolayı kuvvetli hareketlerde büyütmenin özelliklerini açıklayabilmek için, 1 ile 5 saniyelik mikrotremor çalışması yapılmıştır. 1968 Tokachi-oki Depreminde ($M = 7.9$), birkaç akselerogram elde edilmiştir. Bunların bazılarında 1 saniyeden büyük periyotlarda belirgin bir hareket bulunurken bazılarında bu periyotlardaki hareket belirgin değildir. Bu farklılığın, kaynak ve dalgaının yayının yolundan veya yerel koşullardan mı ileri geldiğini anlamak, çok katlı binalara gelecek deprem hareketlerini saptamak için önemlidir. Uzun periyotlu mikrotremorların gözlemi bu problemi izlemek için yapılmıştır.

0.5 ile 6 saniye periyot aralığındaki mikrotremorlar için yapılmış özel bir alet kullanarak, ivme kayıtlarının elde edildiği 3 şehirde gözlemler yapılmıştır. Gözlemler, akselerogramın bulunduğu yeri kesen, jeolojik yapının değişiminin beklendiği bir doğrultuda, örneğin, anakayadan alüvyona geçer şekilde yapılmıştır. Mikrotremor kayıtlarından elde edilen spektra ve tepe noktaları, kuvvetli hareket kayıtlarından elde edilen spektrumlarla karşılaştırıldığında, uzun periyotlarda etkin periyotun, derin dolgu nedeniyle oluştuğu sonucuna varılmıştır.

Kısa periyotlu mikrotremorlar için bilinen tekniğin kusurlarını da giderebilmeye dikkat ederek, uzun periyotlu mikrotremorların gözlem ve analizi için bir yöntem önerilmiştir.

GİRİŞ

1 ile 20 saniye periyotlu mikrotremorlar ve mikroseisimler uzun zamandan beri gözlenmektedir. Özellikle 1960 Uluslararası Jeofizik yılından sonra sismo-

* Deprem Araştırma Enstitüsü

loji ve ilgili alanlardaki öneminden dolayı, bu dalgalara ilişkin araştırmalar hızlandırılmıştır.

Yalnız zeminin dinamik özelliklerini inceleyen birkaç durum dışında, araştırmaların büyük bir kısmı dalgaların kaynağı veya özellikleri konusunda yapılmıştır. şimdiye kadar, mikrotremorlarla yapılan zemin dinamiği çalışmalarında 1 saniyeden daha ufak olan kısa periyot aralığı alınmamıştır.

Japonya'da uzun periyotlu mikrotremorlar ve zemin dinamiğini içeren çalışmalar şunlardır: İlk olarak Shida'nın (1960) Shonai Ovası Yamagata'daki gözlemlerini anabiliriz. Iida ve Ohta 1964 de mikroseismlerin amplitüdüleri ve zemin yapıları arasındaki ilişkiyi tartışmıştır. Nagoya'daki gözlemlerle pek geçerli olmayan bir bağıntı bulmuşlardır. Son zamanlarda, Kubatero ve Otsuka (1970) Aso Caldera alanında 1 ile 3 saniye periyot aralığında mikrotremorları gözlediler ve mikrotremorların aslında Love dalgaları olduğunu ve etkin periyotlarının, zemin tabaka kalınlığı ile ilişki içinde olduğunu belirttiler. Deprem Mühendisliğine uygulama amacıyla yapılan gözlemlerin öncüleri Toriumi ve diğerleri (1970), Ohta ve Noguchi (1972) dir.

Yapıların depreme dayanıklı düzenlemelerinin yapılabilmesi için sadece üst yapılara değil, fakat temel ve zeminlere de dikkat edilmesi uygun olarak bilinmektedir. Bir deprem olurken zeminin dinamik karakterini anlamak özellikle önemlidir, çünkü zemin yapay bir çalışmayla modellenemez ve kolaylıkla değiştirilemez. Belki de, gerçek bir depremi gözleyerek zeminin dinamik karakterlerini kavramak ve zeminin dinamik niteliklerini belirlemek (özellikle kesme dalga hızı) en iyi yoldur. Japonya'da bile sismik aktivite herhangi bir zamanda ve bir yapının yapılacağı yerde, uygun bir deprem hareketini izleyebilecek kadar yüksek değildir. Sismik araştırmalarla veya derin sondajlarla da derin zemin yapısını anlamak o kadar kolay değildir. Bu ideal yöntemler, çok pahalıdır ve fazla zaman ister. Bu nedenle, daha uygun bir yöntem kullanmağa çalışmak doğaldır. Güçlü bir seçenek olarak Kanai ve diğerleri (1954) tarafından tanımlanan ve geliştirilen mikrotremor gözlemleri çok yararlı olmuştur. Buna rağmen onların yaptığı kısa periyotlu mikrotremor gözlemleri, yalnız sığ zeminin dinamik karakterlerini bulmak için elverişlidir. Bugün, deprem ülkelerinde bile çok geniş ve yüksek yapılar yapıldığından bu durum bızleri uzun periyotlu kuvvetli hareketlerin özelliklerini anlamaya yöneltmektedir.

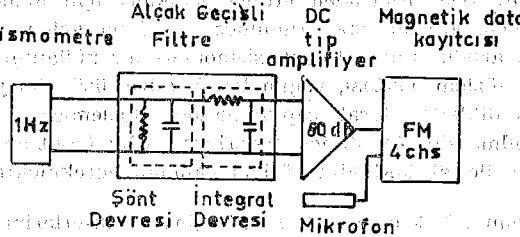
En az 5 saniyelik bir periyoda kadar zemin dinamik karakterini araştırmak gereklidir. Kuşkusuz, bu yeni durumda kısa periyotlu mikrotremorların gözlem yöntemini ilgili periyot bölgesini basit bir şekilde uzatsak bile doğrudan doğruya kullanmak yetersizdir. şunu da belirtmek gerekir ki, kısa periyotlu mikrotremorların gözlemi ve bunların deprem mühendisliği problemlerine uygulanmaşına ilişkin önemli karşıt görüşlerde bulunmaktadır. (Udwadia, Trifunac 1973).

Bu bildiride amaç, uzun periyotlu mikrotremorların deprem mühendisliği problemlerine uygulanma olanağını göstermektedir. İlk adımda, mikrotremorları gözleyerek uzun periyotlu kuvvetli hareketlerin özelliğini açıklamaya çalıştık. İncelenen deprem, birçok akselerogramın elde edildiği 1968 Tokachi-Okii depremidir. Bu kayıtlar çok önemlidir. Çünkü bu deprem büyük ($M = 7,9$) ve yıkıcı idi. Bu kayıtlar uzun periyot aralığında büyük ivmeler gösterirler. Büyük yapılara gelen deprem hareketini belirlemek için uzun periyotlu kuvvetli

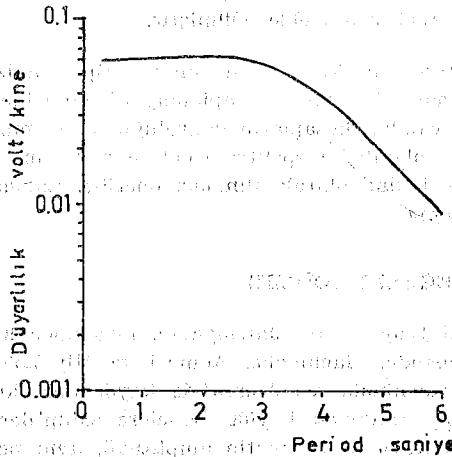
hareketlerin özelliğini belirtmek gereklidir. Uzun periyotlu mikrotremorları deprem mühendisliğine uygulama amacı olan böyle bir araştırmaya yeni bağlanıldığına göre, açıklanması gereken bilinmeyenler olmalıdır. İlk amacımız gözlem yöntemini belirlemek ve sonra uzun periyotlu mikrotremorların kaynak ve yayının mekanizmalarını incelemektir.

GÖZLEM YÖNTEMİ VE ANALİZ

Gözlem Sistemi : Gözlem sisteminin bir biriminin blok diyagramı şekil 1 de gösterilmiştir. Sismometre doğal periyodu 1 saniye olan hareketli bobin repleri hız sismometresidir. Bir alçak geçişli süzgeç iki devreye sahiptir. Bu devrelerden biri sarkacın doğal periyodunu artırmak için uygun kondansatör ve dirençleri bulunan paralel bir gönt devredir. Bu devre ilk olarak Süzuki ve Hasegawa (1970) tarafından tasarlanmıştır. Diğer devre ise kısa periyotlu mikrotremorları ve diğer gürültüleri kesmek için pasif integral bir devredir. Gözlemimizdeki süzgeç 1 ile 5 saniyelik sinyalleri gözleyebilecek şekilde yapılmıştır. Amplifier, maksimum artırımı 80 desibel olan alçak-gürültü DC tipi bir kuvvetlendiricidir. Manyetik data kaydedicisi 4 kanallı FM kaset tipi portatif bir kaydedicidir. Sistemin genel karakteri şekil 2 de gösterilmiştir. Bu



ŞEKİL 1. GÖZLEM SİSTEMİNİN SEMASI



ŞEKİL 2. GÖZLEM SİSTEMİNİN ÖZELLİKLERİ

ünite bir operatörle küçük bir otomobilin arka koltuğuna konulabilecek kadar küçük bir parçadır. Bu sistem arazi çalışması için uygundur ve 12 voltluk kuru batarya ile çalışmaktadır.

Gözlem plânı : 1 ile 5 saniyelik mikrotremorların gözlemi için aşağıdaki konulara dikkat etmek gereklidir. Bilindiği gibi, 1 ile 5 saniyelik mikrotremorların örnek tipi mikrosismiklerdir ve bunların spektrumları meteorolojik koşullarla çok değişmektedir. Genel olarak, zemin yüzeyindeki mikrotremorlar, gözlem noktasının altındaki kaynak ve derin zemin etkilerinin karışımını içerir. Kısa periyotlu mikrotremorlardan farklı olarak, uzun periyotlu mikrotremorların belirgin periyotlarının zeminin kuvvetlendirici etkilerini gösteren piklere karşılık olması gerekmez. Kaynak ve derin dolgu zemin nedeniyle oluşan özellikleri ayırmamız gerekmektedir. Bunların spektrumlarından zemin karakterlerini almak için iyi bir gözlem plânının yapılması gereklidir. Uygun yöntemlerden biri, zemin koşullarındaki değişimin dikkate değer fakat basit olduğu bir gözlem çizgisi boyunca karşılaştırmalı gözlemler yapmaktır. Mikrosismiklerin kaynak spektrumunun değişmediği kabul edileceği kısa bir zaman boyunca, ard arda gözlemler yapmak daha iyidir. Böylece, spektradaki tepe noktalarının, bir noktadan diğer bir noktaya, sistematik değişmelerini inceleyerek, zemin karakterlerini meydana çıkarabiliriz. Anakayada gözlenen mikrotremorlar zemin depozitlerinden etkilenmedikleri için anakayada sabit bir gözlemin yapılması, kaynak spektrumunda meydana gelen değişmeyi belirlemek için çok yararlıdır. Çok bileşenli sismometreler kullanılırsa gözlemler daha iyi olur. Her gözlem noktası, yoğun trafik gürültüsü gibi yapay gürültüleri kesmek için çok dikkatli olarak saptanmalıdır. Gözlemler sessiz ve rüzgarsız bir zamanda yapılmalıdır. Analiz için yeterince iyi bir kayıt almak amacı ile bir noktada en az 10 ile 20 dakikalık gözlem yapmak gerekmektedir.

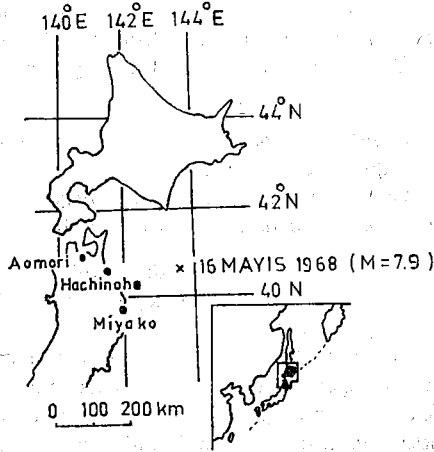
Analiz yöntemi : Mikrotremorların titreşim karakterlerini anlamak için en çabuk ve basit yol gözlenen zaman ortamındaki kayıtların frekans ortamında değiştirilmesidir. Bu nedenle, bu çalışmada ana çaba, spektral analize harcanmıştır. Spektral analiz iki çeşit analog tipi analiz aygıtı (HIC-300B, H-500, Akashi-Seisakusho Ltd, Japon ve C-110, F-100, TEAC Ltd. Japon) kullanılarak yapılmış ve güç spektrumu elde edilmiştir.

Bazı deney kayıtlarının iki ayrı tür analog tipi analiz gereçleriyle elde edilen spektrumları normal sayısal hesaplamayla elde edilenlerle karşılaştırılarak, bu ayrıcılarla yapılan hesapların doğruluğu onaylanmıştır. 1 ile 5 saniye periyot aralığında anlamlı bir spektrum elde etmek için, analiz edilecek kayıt süresinin en az 5 dakika olarak alınması önerilir. Çalışmada genellikle 10 dakika olarak alınmıştır.

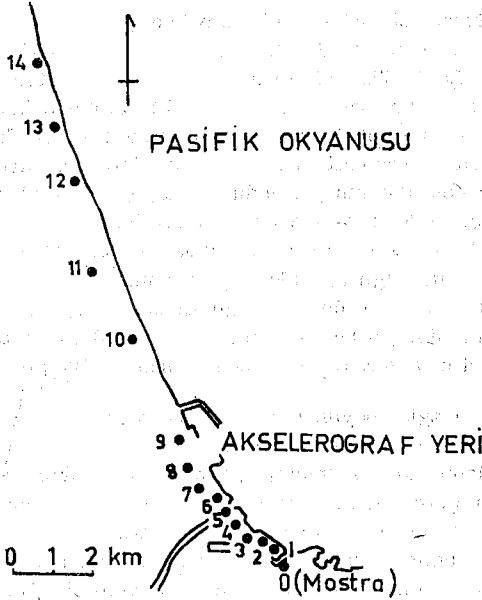
GÖZLEM VE DEĞERLENDİRME

1968 Tokachi-Oki Depreminde, Japonya'nın kuzeyinde kaydedilen kuvvetli hareket kayıtları arasında, Hachinohe, Aomori ve Miyako'da alınan kayıtlar kullanıldı (şekil 3). Hachinohe ve Aomori'de kaydedilen kuvvetli hareketler, 2 ile 3 saniye periyot aralığında büyük ivmelere sahiptiler. Diğer taraftan, Miyako'da kaydedilen kuvvetli hareketin amplitüdü, aynı periyot aralığında o kadar büyük değildir. Bu farklılıkları sadece episantral uzaklıklarla çözmek mümkün değildir. Zeminin etkisi de değerlendirilmede kullanılmalıdır. Gözlem-

ler, Hachinohe Aomori ve Miyako şehirlerinde yapıldı. Hachinohe ve Aomori şehirleri aluviyal kıyı ovaları üstünde bulunmaktadır; akselerograflar birkaç yüz metre kalınlıktaki depozitlerin üstüne yerleştirilmiştir. Miyako şehrinde ise önemli bir yüzey tabakası görülmemektedir.



ŞEKİL 3 : TOKACHI - OHİ 1968 DEPREMİNİN EPİSANTRİ VE AKSELEROGRAFLARIN YERLERİ



ŞEKİL:4 HACHİNOHE 'DE GÖZLEM NOKTALARI

Hachinohe'deki gözlemler : Hachinohe'de Paleozoik sedimanter kaya ve akselerografin bulunduğu yerdeki kalınlığı 400 m. olan dolgu zemin gibi çok çeşitli zeminler bulunmaktadır. Bu nedenle anakayadan akselerografa kadar 15 km uzunluğunda bir gözlem çizgisi çizilerek bu çizgi üzerinde 15 gözlem noktası seçilmiştir. Şekil 4 bu yerleri göstermektedir. Gözlem noktası 0 (sıfır) Paleozoik kaya mostrasına yerleştirilmiş, 9 ise akselerografin bulunduğu noktadır. Paleozoik kayanın derinliği sıfırdan (sıfır noktasında 0) birkaç yüz metreye kadar artar (14 de). Gözlemler Ağustos 1973 ve Ağustos 1974 de yapılmıştır.

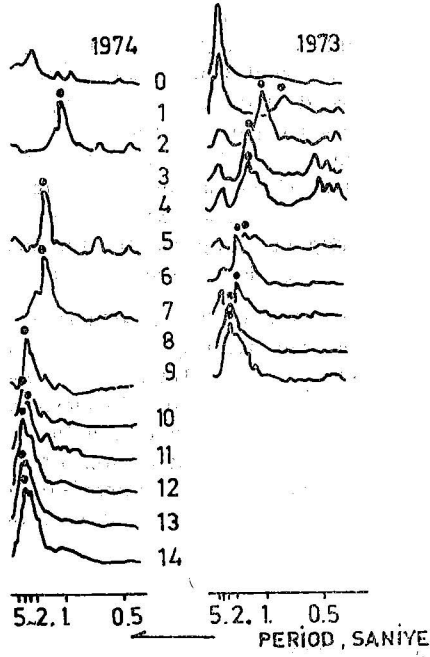
1973 yılında, 0 da (anakaya) ve 9 da (akselerograf yeri) olmak üzere 2 referans noktası seçildi ve 1 den 8 e kadar olan noktalarda geçici gözlemler yapıldı. Gözlemler gece saat 23.00 den 05.00 e kadar iki bileşenli sismometrelerle yapıldı. Gözlem süresi her noktada 20 dakika olarak sabit tutulmuştur.

İki referans noktasında, her 2 saatte bir 20 dakikalık gözlemler, zamana bağlı amplitüd değişmelerini ve dolgu zeminlerle değişmeyen mikrotremorların etkin periyotlarını ölçmek için yapılmıştı. Güç spektrumu daha önce konu edilen analiz aygıtları ile saptanmıştır. Bunların kuzey-güney bileşeni şekil 5 in sağ tarafında gösterilmiştir. Bu spektrumlarda 4 saniyede bir ortak tepe noktası göze çarpmaktadır. Özellikle anakayadaki kayanın spektrumunda 4 saniyeden başka tepe noktası yoktur. Bu spektrumlarda 0 (anakaya) noktası dışında, 1.0 - 7.4 saniye arasında başka tepe noktaları da vardır. Spektrumdaki her tepe noktası tek başına ve oldukça keskin olduğundan, bunları bir noktadan diğerine izlemek herhangi bir güçlüğü neden olmaz. Bu tepe noktalarının periyotları güneyden kuzeye, artmaktadır. Nokta 9 da (akselerografin yeri) tepe noktası periyodu 2.4 saniyedir.

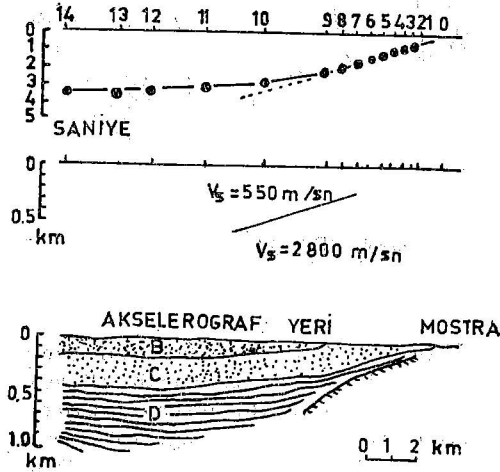
1974 yılında, gözlem çizgisinde noktalar 14 e çıkarıldı ve gözlemler 10 noktada yapıldı. (0, 2, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14). Bu yıldaki gözlemlerden elde edilen spektrumlar Şekil 5'in sol tarafında gösterilmektedir. 2 ile 9 noktaları arasındaki spektrumlar periyodu 1,0 den 2,4 saniyeye kadar olan ve sistematik olarak değişen tepe noktalarını kapsamaktadır ki bu durum 1973 yılında elde edilen sonuçlara benzemektedir. Buna ek olarak spektrada, kuzeyde sonuncu noktada tepe noktalarının periyodu 3 saniyeye varmaktadır. 1973 ve 1974 yılları arasındaki farklılık, 4 saniye civarındaki tepe noktasında görülür. 1974 yılındaki gözlemlerde ortak bir tepe noktasına ait bir belirti yoktur. 4 saniyelik tepe noktasının derin dolgu zeminle bağlantısının olmadığı, fakat mikroseismlerin kaynak spektrumlarıyla ilgili olduğu düşünülmüştür. Herhangi bir tepe noktasının görünümünün, gözlemin yapıldığı zamandaki meteorolojik şartlara bağlı olduğunu belirtmek gerekir. Bu nedenle sistematik gözlemler yapılmıştır.

Şekil 6, gözlem çizgisi boyunca sistematik tepe noktalarıyla zemin yapısı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. 7 ile 11 noktaları arasında zeminin hız yapısı, P dalgasının sismik araştırılmasıyla, Okada tarafından belirlenmişti (1971). Okada'nın raporuna göre, anakayaya olan derinlik güneyden kuzeye azalır ve sedimanla anakaya arasında hız farkı çok büyüktür. P ve S dalgalarının sediman tabakadaki ortalama hızları 1,88 ve 0,55 km/san. anakayada ise 5 ve 2,8 km/saniyedir. Bunlar şekil 6 nin ortasında gösterilmiştir. Bilinen çeyrek dalga boyu kuralına göre;

$$T_s = 4.H/V_s \text{ dir.}$$



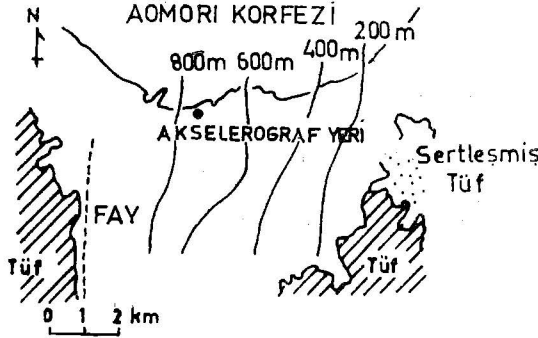
ŞEKİL. 5 HACHINOHE'DE GÖZLEM NOKTALARINDA ALINAN KAYITLARIN SPEKTRUMU



ŞEKİL : 6 HACHINOHE'DE ETKİN PERİODLARIN YER ALTI YAPISI İLE İLİŞKİSİ
 EN ÜSTTEKİ ; GÖZLEM ÇİZGİSİ BOYUNCA İZLENEN ETKİN PERİODLAR
 ORTADAKİ ; SİSMİK PATLAMALARLA ELDE EDİLEN HIZ YAPISI
 ALTTAKİ ; SONDAJ LOGLARIYLA ELDE EDİLEN JEOLJİK KESİTİ
 (KİTAMURA VE DİĞERLERİ 1974)
 B : PLİOSEN, C : ÜST MİOSEN, D : ALT MİOSEN

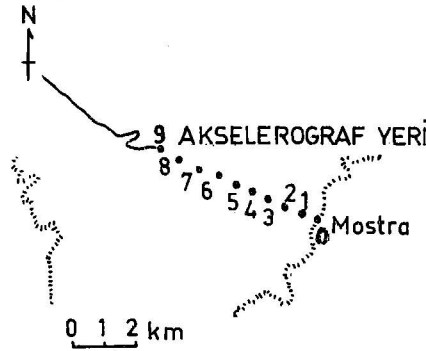
T_s , S dalgasının etkin periyodunu, H tabaka kalınlığını ve V_s , S dalga hızını gösterirler. Bu formül kullanılarak, gözlem çizgisi boyunca, beklenen etkin periyotlar elde edilmiştir. Şekil 6'nın yukarı kısmındaki aralıklı çizgi tahmin edilen etkin periyotları, dolu daireler ise gözlenen periyotları göstermektedir. Tahmin edilen ve gözlenen periyotlar arasındaki uygunluk, en azından 1 ile 9 nolu noktalar arasında oldukça iyidir. Şematik bir jeolojik harita Kitamura'nın (Kitamura ve diğerleri, 1974) makalesinden alınmış ve alt kısmında gösterilmiştir. 9 dan 14 e kadar olan noktalarındaki spektrumların tepe noktaları, üçüncü tabakaya geçişle uygunluk sağlamaktadır. Bu tabaka Miosen yaşlıdır ve ana kayalardan biri olarak bölgede genişçe yayılmaktadır.

Aomori'deki gözlemler : Aomori şehri, Aomori körfezine bakan düzlükte bulunmaktadır ve Hakkoda dağlarıyla çevrilmiştir. Ovanın arkasındaki tepelerde andezit ve tüfler bulunmaktadır. Bu kayalar 20-45 derecelik bir eğimle dalarlar ve kayanın en derin yeri körfezde 800 metre olarak tahmin edilmektedir. Şekil 7'deki jeolojik harita'da andezit veya tüflü anakayanın eğilim derinlik konturlarını göstermektedir. (Aomori Prefecture, 1974). Yüzeğe yakın, 30 ile 40 metre kalınlıkta bir alüvyon tabakası bulunmaktadır. Akselerograf, Liman Bürosunun Aomori Şube ofisinin arazisinde kurulmuş olup burada anakayanın derinliği 650 metre olarak varsayılmıştır.



SEKIL .7 : AOMORI'NİN JEOLJİK HARİTASI VE ANAKAYA EŞ DERİNLİK ÇİZGİLERİ

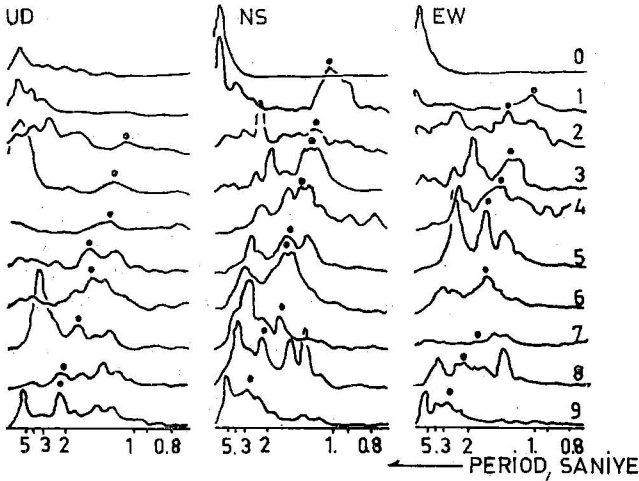
Şekil 8 de görüldüğü gibi gözlem noktaları anakayanın bulunduğu yer ile akselerograf arasındaki çizgi üzerinde seçilmiştir. Gözlem çizgisinin toplam uzunluğu 10 km. dir. Gözlem noktası (0) anakaya üzerinde, (9) ise akselerografın bulunduğu yerdedir. Anakayanın derinliği, nokta numarası arttıkça artmaktadır. 4 ten 9 a kadar olan gözlem noktaları şehir merkezinde bulduğundan çok gürültülidir. 7 ve 8 numaralı gözlem noktaları karayollarına yakın yerlerde seçilmesi gerektiğinden gece yarısı bile gürültüsüz bir an bulmak çok zordur. Gözlemler 1975 yılı Ağustosun'da Hachinohe'de olduğu gibi uygulanmıştır. Daha önce belirtildiği gibi, mikrotremorların kaynak spektrum özelliklerindeki değişimlerden ileri gelen karışıklıktan sakınmak için, gözlemleri kısa bir zaman aralığında yapıp bitirmek gereklidir. Fakat ne yazık ki, şehir



ŞEKİL.8: AOMORİ'DE MİKROTREMOR GÖZLEM NOKTALARI

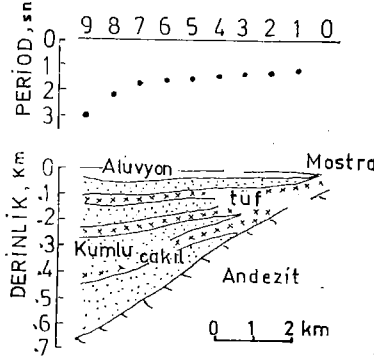
merkezinde yapılan gözlemler zaman aldığından bir gecede bütün noktalarda gözlemler tamamlanmayarak, iki gece devam etti.

Güç spektrumu aynı spektral analizler kullanarak yapıldı. Şekil 9 bu spektrumları göstermektedir. (0) noktasının spektrumlarında (anakaya) 5 saniye civarında dikkate değer bir tepe noktası vardır ve başka belirgin tepe noktaları yoktur. Hachinohe'de olduğu gibi bu tepe noktasının kaynak spektrumu ile ilgili olduğu düşünülmüştür. Öncelikle kuzey-güney bileşeninin spektrumları tartışılmıştır. 1 noktasının spektrumu 1,0 saniye civarında bir etkin periyoda sahiptir. Ancak, tepe noktası, gözlem nokta numaralarının artışıyla, daha uzun periyotlara geçer. 4, 5, 6, 7, 8, ve 9 noktalarının spektrumları daha karmaşık



ŞEKİL.9: AOMORİ'DE GÖZLEM ÇİZGİSİ BOYUNCA ELDE EDİLEN MİKROTREMOR SPEKTRUMLARI

olup birçok tepe noktaları gösterir. Bununla beraber, etkin periyotlarda, 1 nolu noktada 1,0 saniye, 9 nolu noktada 3.0 saniye olabilen sistematik bir değişim görmek mümkündür. Bu tepe noktaları şekil 10 da jeolojik profille karşılaştırılarak içi dolu dairelerde gösterilmiştir. Spektrumun bu karakteri, Doğu-Batı bileşeni için de doğrudur. Düşey bileşenin spektrumunda da, Kuzey-Güney bileşenindeki kadar açık olmayan, sistematik bir değişim bulunmuştur.



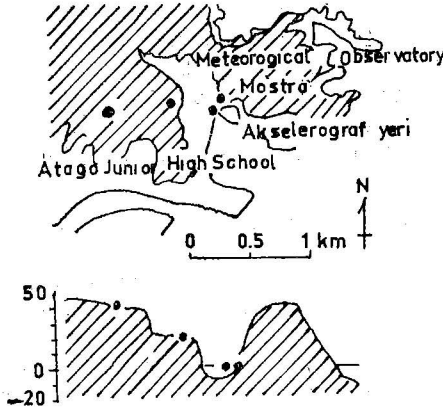
ŞEKİL 10 : AOMORİ'DE GÖZLEM ÇİZGİSİ BOYUNCA ELDE EDİLEN MİKROTREMOR ETKİN PERİYODLARININ YER ALTI YAPISIYLA İLİŞKİSİ.

Bu alanda hiçbir sismik patlatma verisi yoktur ve bu nedenle zemin yapısından giderek mikrotremorların gözlenen periyodu ile beklenen periyodu arasında bir karşılaştırma yapmak güçtür. Etkin periyotların sistematik değişimi şekil 10 da gösterildiği gibi Jeolojik yapıdan oluşmaktadır. Akselerografin bulunduğu yerde mikrotremorların etkin periyodu 3.0 saniyeye yakındır. Bu değerden çeyrek dalga boyu kuralını kullanarak, akselerograf yöresinde S dalga hızının ortalama değerini belirlemek mümkündür. Varsayılan kalınlık 600 metre, etkin periyot 3.0 saniye alındığında S dalgasının ortalama hızı 800 m/saniye elde edilir. Bu değer aşırı görünmemektedir. Aomorî'deki spektrumların Hachinohe'ninkinden daha karmaşık olmasının ana nedenleri olarak elverişsiz gözlemsel koşullar yanında, tabakalar arasındaki belirsiz hız farklılığını oluşturan Jeolojik karmaşıklığı gösterebiliriz.

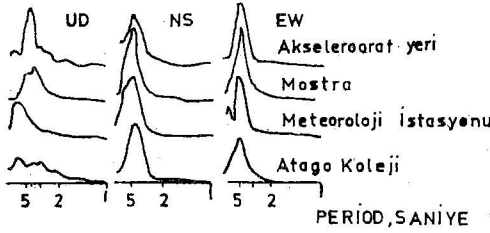
Miyako'daki gözlemler : Miyako'da akselerograf, kalınlığı yaklaşık 10 metre olan alüviyal zeminde kurulmuştur (Şekil 11). Akselerografin bulunduğu yerden yaklaşık 10 metre ilerde ana kaya mostrası vardır. Bu alanda temel kaya olarak riyolit ve granit bulunmaktadır. (Iwate Prefecture, 1956).

Gözlem noktaları akselerografin bulunduğu yerde ve diğer 3 noktada anakaya üzerindedir. Bu noktalar, akselerografa en yakın olan anakaya, Miyako Meteoroloji gözlemevi ve Atago Ortaokuludur. Gözlemler 1975 Ağustosunda yapılmış, mikrotremorların amplitüdüleri çok küçük olduğundan, kuvvetlendiricilerin maksimum kazançları kullanılmıştır.

Güç spektrumları (şekil 12) analizler tarafından hesaplanmıştır. Bütün yatay bileşenlerin spektrumlarında yalnız 4 saniye civarında bir tepe noktası bulunmaktadır. Düşey bileşenin spektrumlarının biraz karmaşık olması belkide



ŞEKİL . 11: MİYAKO MİKROTREMOR GÖZLEM NOKTALARI



ŞEKİL . 12: MİYAKO'DA DÖRT NOKTADA ELDE EDİLEN MİKROTREMORLARIN KARŞILAŞTIRILMASI.

düşey bileşenin amplitüdünün, yatay bileşenin amplitüdüne göre küçük olduğundan ve kuvvetlendiricinin maksimum kazancının da kullanılmasına rağmen yeterli olmamıştır. Böylece yalnız yatay bileşenler tartışılmıştır. Akşelerografın bulunduğu yer hariç, diğer 3 nokta anakaya üzerindedir ve bu nedenle 4 saniye çevresindeki tepe noktası, kaynak özelliği ile ilgilidir. Akşelerografın bulunduğu yerdeki spektra, diğer 3 noktadakine çok benzemekle beraber 4 saniye yöresinde yalnız bir tepe noktası vardır. Akşelerografın bulunduğu yerdeki aluviyal tabakanın etkisini gösterecek 1 ile 5 saniye periyot aralığında birşey yoktur. Sonuç olarak, bu dört noktada mikrotremorlar, uygun periyot aralığında benzer şekilde davranırlar. Eğer varsa, akşelerografın bulunduğu yerde etkin periyot 0.2 saniye olarak hesaplanmıştır.

KUVVETLİ HAREKET KAYITLARIYLA KARŞILAŞTIRMA

1968 Tokachi-oki depremi kuvvetli hareket kayıtları ve deprem mühendisliğine uygulanması :

Hachinohe, Aomori ve Miyako limanlarında, 1968 Tokachi-oki depremi SMAC tipi akşelerografalarda kaydedilmiştir. Japon Meteoroloji Ajansı tarafın-

dan saptanan episantr noktasından Hachinohe 188 km. Aomori 250 km, Miyako ise 189 km. uzaklıktadır. Alçak duyarlı sismograflarla kaydedilen ana şokların, varış zamanları kullanılarak elde edilen bir başka episantr noktasından Hachinohe 75 km, Aomori 134 km, Miyako ise 115 km uzaklıktadır (Nagamune 1969). Herhangi bir durumda Aomori, episantrdan en uzak olarak alınabilir. Sönüm katsayısı % 5 alınarak hız davranış spektrumu şekil 13 de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Hachinohe ve Aomori'deki davranış spektrumlarında 2 ile 3 saniyelik periyot aralığında çok büyük değerlere erişilir. Gerçi Hachinohe'deki spektrumun Aomori'dekinden daha keskin çizgileri vardır. Buna karşılık Miyako'daki spektrum, kısa periyotlar dışında, büyük değerler göstermez. Hachinohe ve Aomori'de 1 ve 5 saniyelik periyot aralığında davranış değerleri 100 kine eşit veya daha fazladır. Bunlar, Japonya'da, yüksek yapıların depreme dayanıklı dizaynında önerilen değerlerden daha büyüktür. Miyako'da uzun periyot aralığında davranış değerleri 10 kine'dir, ve Hachinohe ve Aomori'deki ortalama değerlerin sadece 1/10 i kadardır. Miyako'nun episantral uzaklığı Hachinohe'dekinden çok büyük olmayıp, Aomori'dekinden de küçüktür. Yukarıda sözü edilen davranış değerlerindeki büyük farklılık episantr uzaklıklarındaki farklılıkla açıklanamaz.

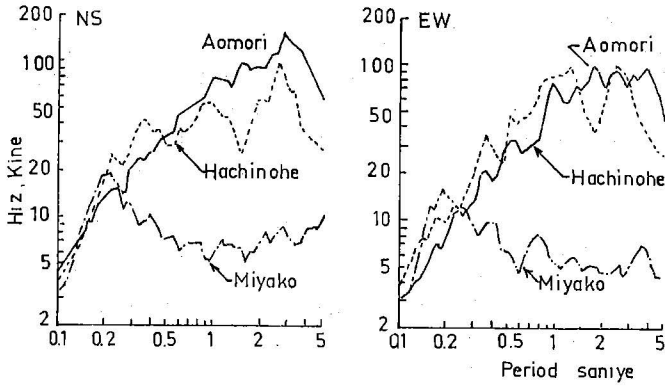
Uzun periyotlu mikrotremorların etkin periyotları ile kuvvetli hareketlerin etkin periyotları arasındaki ilişki :

Hachinohe, Aomori ve Miyako'da mikrotremor kayıtlarıyla, Tokachi-oki (1968) depreminin aynı yerlerde alınan kuvvetli hareket kayıtları karşılaştırılmaya çalışılırken özellikle 1 ile 5 saniyelik periyot aralığında belirgin periyotlar üzerinde durulmuştur.

İlk olarak Hachinohe'de, aşağıda konu edilen üç nedenden dolayı, kuvvetli hareket kayıtlarındaki 2.5 saniyelik etkin periyodu yaklaşık 400 metre derinliğindeki tabakaların oluşturduğu düşünülmüştür.

1. Kuvvetli hareket kayıtlarındaki 2.5 saniyelik etkin periyot mikrotremorlarda da görülmektedir. 2. Mikrotremorların etkin periyotları gözlem çizgisi boyunca sistemantik olarak değişmektedir. 3. Anakayadaki kayıtlarda tepe noktalarından hiçbiri görünmemektedir. Bu konular 1973 ve 1974 yıllarındaki yinelenen gözlemlerde de izlenmiştir. İkinci olarak, Aomori'de, kuvvetli hareket kayıtlarındaki 3 saniyelik etkin periyodun kalın alüvyon tabakaları nedeni ile oluştuğu düşünülmüştür. Son olarak Miyako'da, Hachinohe ve Aomori'den farklı olarak akselerografin bulunduğu yerdeki mikrotremorların 1 ile 5 saniye periyot aralığında, yöredeki kayalar üzerinde alınan kayıtlarla aynı özelliği gösterirler ve çok kısa periyot aralığı dışında herhangi bir derin tabaka etkisinin olduğunu göstermezler. Bu bize Miyako'daki kuvvetli hareket kayıtlarına belirgin bir zemin etkisi olmadığını açıkça kanıtlamaktadır. Diğer bir deyişle, uzun periyot aralığı çalışıldığında Miyako akselerogramı anakayada alınan bir kayıt olarak sayılabilir.

Fakat bu Miyako'da uzun periyotlu deprem hareketlerinin gözlenmediği sonucunu vermez. Bu yalnızca Tokachi-oki depreminde, Miyako'daki uzun periyotlu hareketlerin, SMAC tipi akselerograflarla kaydedilebilecek kadar büyük olmadığını gösterir. Çünkü burada derin tabakalar nedeniyle büyültme etkisi olmamış demektir.



ŞEKİL 13 : 1968 TOKACHI-OKI DEPREMINİN HACHINOHE , AOMORI VE MIYAKO DAKİ AKSELEROGRAF KAYITLARININ HIZ DAVRANIŞ SPEKTRUMLARI

Bütün bunları toplayarak şu genel bağlantı ileri sürülebilir. Uzun periyot aralığında, büyük amplitüdü deprem hareketlerinin elde edildiği yerlerde, uzun periyotlu mikrotremorlar da aynı özelliği göstermektedir ve bu özelliğin derin zemin yapısı nedeniyle olduğu düşünülmektedir. Buna karşın, uzun periyot aralığında belirgin bir özelliği olmayan kuvvetli hareketin olduğu yerde uzun periyotlu mikrotremorların da zemin yapısıyla ilgili olduğu düşünülen uzun periyot aralığında, etkin periyodu yoktur. İyi bilindiği gibi, zeminde alınan kuvvetli hareket kaydının spektrumu, kaynak ve ortam etkileriyle büyütülmüş zeminin davranışından başka birşey değildir. Oluşacak gerçek deprem hareketinin uzun periyot aralığındaki özelliği, derin zemin etkileri de düşünülmele beraber oluşacak depremin büyüklüğüne bağlıdır. 1968 Tokachi-oki depreminin dalga enerjisi uzun periyot aralığında da görülebilecek şekilde büyük olmuştur. Bunun sonucu olarak Hachinohe ve Aomori'deki kuvvetli hareket kayıtlarında tipik derin tabaka etkisi oluşmuştur. Bu değerlendirme, büyük magnitüdü depremlerdeki sismik hareketlerin özellikle uzun periyotlu bileşenlerinin belirlenmesinde güçlü bir araç olarak önemlidir.

SONUÇ

Bu çalışmada, uzun periyotlu mikrotremorların deprem mühendisliğine uygulama olanağı araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Anakayaya olan derinliğin 400 ve 600 metre olduğu Hachinohe ve Aomori'de akselerografin bulunduğu yerde gözlenen mikrotremorlar uzun periyot aralığında dikkate değer bir özellik göstermektedir ve bu özelliğin derin depozitler nedeniyle olduğu açıklanmıştır. Bu etkin periyotlar kuvvetli hareket kayıtlarındaki etkin periyotlara da uymaktadır. Buna karşın, Miyako'da, dolgu zeminin yaklaşık 10 metre olduğu akselerografin bulunduğu yerde gözlenen mikrotremorlar, yoredede anakayada gözlenen mikrotremorlarla aynı özelliği gösterirler ve uzun periyot aralığında etkin periyot göstermezler.

Bu durum, Miyako'da uzun periyotlu kuvvetli hareketlerin etkin periyotlarının olmayışı ve bunların Hachinohe ve Aomori'dekilere göre çok küçük olmaları olgusunu oluşturur.

Bu konular, uzun periyotlu mikrotremorların deprem mühendisliğinde bir uygulama alanının bulunduğunu göstermektedir. Şuna inanıyoruz ki, uzun periyotlu mikrotremorların dikkatli gözlemleriyle, uzun periyot aralığında, zeminin büyüttüğü özelliği açıklanabilir. Bu araştırmalar boyunca, deprem mühendisliği açısından uzun periyotlu mikrotremorların nasıl gözleneceğini ve analiz edileceğini öğrendik. 1 ile 5 saniyelik mikrotremorların örneklerinin meteorolojik şartlarla spektrumu geniş ölçüde değişen mikrosismikler gibi görünmektedir. Bundan dolayı, zemin yüzeyinde gözlenen mikrotremorlarda derin zemin ve kaynağın karışık etkisi olduğu unutulmamalıdır. Derin dolgunun oluşturduğu spektral etkiyi tek bir noktada, bağımsız ve tek ölçme ile anlamak zordur. Elde edilen spektrumdan zemin özelliklerini çıkarabilmek için, en azından birkaç noktada karşılaştırmalı bir gözlem gereklidir. Noktaların seçimi için en iyi yöntemlerden biri, kayadan başlayarak değişen zemin yapılarının beklendiği bir gözlem çizgisi hazırlamaktır. Kaynak spektrumundaki değişimin oluşturduğu karışıklığı ortadan kaldırmak için gözlemler aynı anda ya da ard arda ve ilerleyerek kısa bir zaman içinde yapılmalıdır.

Bu çalışmada, mikrotremorlarla, derin zemin yapısı arasındaki bağıntıyı inceledik ve mikrotremorların etkin periyotlarını bulmağa özel ilgi gösterdik. Bu nedenle, uzun periyotlu mikrotremorların titreşim karakterlerine gereğinden fazla ağırlık verilmiş olabilir. Ne yazık ki onların teorik dalga özelliklerinden bahsedemedik.

Son olarak bu rapordaki konuyla yakın ilgisi olan aşağıdaki konular eklenmelidir. Bunlar (1) Mikrotremorların dalga yayını ve kaynak spektrum özellikleri (2) Deprem Mühendisliği açısından gözlem yöntemlerinin geliştirilmesi (3) Büyük yapılara uygulanacak gerçek deprem hareketinin saptanması; ve (4) Bir anakaya mostrası üzerindeki kuvvetli hareketlerin geniş dinamik aralıkta gözlemi. Bunlardan bazıları çalışma programımızdadır.

KAYNAKLAR

- Aomori Prefecture (1974). Hydrogeological conditions and subsidences in Aomori District (in Japanese), Report on analysis of ground water balance in Aomori District.
- Iida, K. and Y. Ohta (1964). A study of microtremors observed in Nagoya and its vicinity, *J. Earth Sciences, Nagoya Univ.* 12, 192-221.
- Iwate Prefecture (1956). Geological map of Iwate Prefecture.
- Kanai, K., T. Tanaka, and K. Osada (1954). Measurement of the micro-tremor, I, *Bull. Earthquake Res. Inst., Tokyo Univ.* 32, 199-210.
- Kitamura, S., S. Nakagawa, and T. Iwai (1974). Basement geology, disaster prediction and its prevention in the east part of Aomori Prefecture (in Japanese), *Proc. Symp. Disaster Sci.* 11, 72-73.
- Kubotera, A. and M. Otsuka (1970). Nature of non-volcanic microtremor observed on the Aso-caldera, *J. Phys. Earth* 18, 115-124.
- Nagamune, T. (1969). Process in the source region for a great earthquake. (The Tokachi-oki Earthquake, 1968 and the Etrofuku-oki Earthquake, 1963) (in Japanese with English abstract), *J. Seism. Soc. Japan* 2, 22, 104-114.
- Ohta, Y. and S. Noguchi (1972). Observation of 1- to 5-sec microtremors and their application to earthquake engineering (in Japanese), *Proc. Symp. Disaster Sci.* 9, 247-248.
- Okada, H. (1971). A seismic refraction survey in Hachinohe City, Aomori Prefecture (in Japanese with English abstract), *Geophys. Bull. Hokkaido Univ.* 26, 147-166.
- Sida, I. (1960). Relationship between the microtremors observed in the Shonai District and its ground condition (part 2) (in Japanese), *Publ. Ground Invest. Group Shonai District* 1-10.
- Suzuki, Z. and T. Hasegawa (1970). Response of an electromagnetic seismometer with a shunt condenser (I) (in Japanese with English abstract), *J. Seism. Soc. Japan* 2, 23-3, 198-204.
- Toriumi, I., I. Takeuchi, and S. Ohba (1972). Observation of microtremors with a 10 sec pickup in Nagoya (in Japanese), *Proc. Symp. Disaster Sci.* 9, 249-252.
- Udwadia, F. E. and M. D. Trifunac (1973). Comparison of earthquake and microtremor ground motions in El Centro, California, *Bull. Seism. Soc. Am.* 63, 1227-1253.

DEPREM ARAŞTIRMA ENSTİTÜSÜ BÜLTENİ
YAYIN KOŞULLARI

1. Bültene gönderilecek telif ve tercüme yazıların :
 - a) Depremle doğrudan doğruya, ya da dolaylı yoldan ilgili olması
 - b) Bilimsel ve teknik bir değer taşıması
 - c) Yurt içinde daha önce başka bir yerde yayınlanmamış olması
 - d) Daktilo ile ve kağıdın yalnız bir yüzüne en az iki nüsha olarak yazılmış bulunması
 - e) Şekillerin aydınlatılmış kağıdına çini mürekkebi ile çizilmiş olması
 - f) Fotoğrafların net ve klişe alınmasına müsait bulunması gerekmektedir.
2. Telif araştırma yazılarının baş tarafına araştırmanın genel çerçevesini belirten en az 200 kelimelik İngilizce, Fransızca ya da Almanca bir özet konulmalıdır.
3. İmar ve İskân Bakanlığı mensubu elemanlar tarafından hazırlanan ve telif ya da tercüme ücreti ödenerek yayınlanacak olan yazıların, mesai saatleri dışında hazırlanmış olduğu yazan, derleyen, ya da çevirenin bağlı bulunduğu birim amiri tarafından (genel müdürlüklerde daire başkanı, müstakil birimlerde birim amiri) verilecek bir belge ile belgelendirilmesi zorunludur. Bu belge ile birlikte verilmeyen yazılar için ücret ödenmez.
4. Telif ve tercüme ücretleri ancak yazı bültende yayımlandıktan sonra tahakkuka bağlanır.
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 hesaplamaya, 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 yayınlamp 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. Yayınlanan yazılardaki fikir, görüş ve öneriler yazarlarına ait olup, Deprem Araştırma Enstitüsünü bağlamaz.
13. Diğer kuruluşlar ve Bakanlık mensupları tarafından bilgi, haber tanıtma vb. gibi nedenlerle gönderilecek not ve açıklamalar, ya da bu nitelikteki yazılar için ücret ödenmez.
14. Enstitü mensupları Enstitüce kendilerine verilen görevlere ait çalışmalarından ötürü herhangi bir telif ya da tercüme ücreti talep edemezler.