

JEOFİZİK ETÜTLERİN ZEMİN BÜYÜTME ANALİZİNDEKİ ÖNEMİ VE ÖRNEKLER

Importance of Geophysical Investigations in Soil Amplification and Some Case Studies

Semih TEZCAN* ve Turan DURGUNOĞLU*

ÖZET

Bu önemli mühendislik yapılarının yer seçiminde göz önüne alınması gereken hususlar özetlenmiş ve projeye geçmeden önce yürütülmesi gereken, özellikle jeodinamik ve sismik etüdler için gerekli parametreleri tayin etmeye yarayan metotlar kısaca gözden geçirilmiştir.

Jeoloji, Jeofizik ve İnşaat Mühendisliği gibi çeşitli disiplinlerin müşterek ve koordineli çalışmasını gerektiren böyle bir etüdde bilhassa jeofizik metotların yeri ve önemi belirtilmiştir. Ayrıca, bir deprem halinde çeşitli zemin tabakalarından geçen kayma dalgalarının zemin serbest yüzeyinde aldığı karakteri tayin etmek üzere yapılacak zemin büyütme analizlerinde takip edilecek arazi, laboratuvar ve teorik çalışmaların akış diyagramı verilmiştir.

Yer seçimi ve zemin dinamiği etüdlere örnek olmak üzere **a)** Bursa Ovası, **b)** Söğütlüçeşme Demiryolu Viyadükleri, **c)** Soma II Termik Santrali jeodinamik etüdlere sonuçları kısaca özetlenmiş, birbirinden farklı çalışmaların uyum derecesine işaret edilmiştir.

ABSTRACT

A brief discussion is presented about the techniques of determining various soil parameters necessary for conducting proper geodynamic and seismic investigations for the purpose of assessing the characteristics of a site selected for an important engineering structure.

The importance and the necessity of especially the geophysical techniques are emphasized in such studies, which require collaboration from the geological, geophysical and geotechnical engineering disciplines.

Further, a flow diagram is supplied indicating the families of field, laboratory and theoretical investigations, which are necessary to conduct a soil amplification study for the seismic shear waves propagating from bedrock to free surface, through various soil layers.

For purposes of illustration, the basic results and the relative merits of various geophysical studies are presented for three different case studies of soil amplification namely; **a)** Bursa Valley, **b)** Railway viaducts at Söğütlüçeşme, and **c)** Soma II Coal Fired Power Plant.

GİRİŞ

Köprü, baraj, fabrika veya enerji santrali gibi önemli mühendislik yapılarının inşa edilmesine namzet olan bir saha, projelendirmeye geçilmeden evvel, deprem mühendisliği açısından iyice etüt edilmelidir. Bu maksatla, taban kayaya kadar yer alan bütün zemin tabakalarının geometrik, fiziksel, mekanik ve dinamik özellikleri tayin edilmeli ayrıca, genişçe bir bölgenin faylanma durumu incelenerek aktif veya pasif fay kuşağına nazaran sahanın durumu tespit edilmelidir.

Sahanın yer altı su seviyesi ve yer altı su kaynakları, hem temel inşaatında çıkarabileceği zorluklar açısından hem de, bir deprem halinde toprak kaymasına, göçmeye veya sıvılaşmaya yol açıp açmayacağı açısından incelenmelidir. Sahanın sel baskınlarından masun olup olmadığı da bilhassa araştırılmalıdır.

Ayrıca, zemine ait bütün parametreler tayin edildikten sonra, bölgenin sismik tarihçesi araştırılarak, taban kayada muhtemel bir depremin varlığı kabul edilmeli ve bu deprem dalgalarının zemin yüzündeki büyütmesi ve frekans muhtevası hesaplanmalıdır. Nihayet, bu yüzey

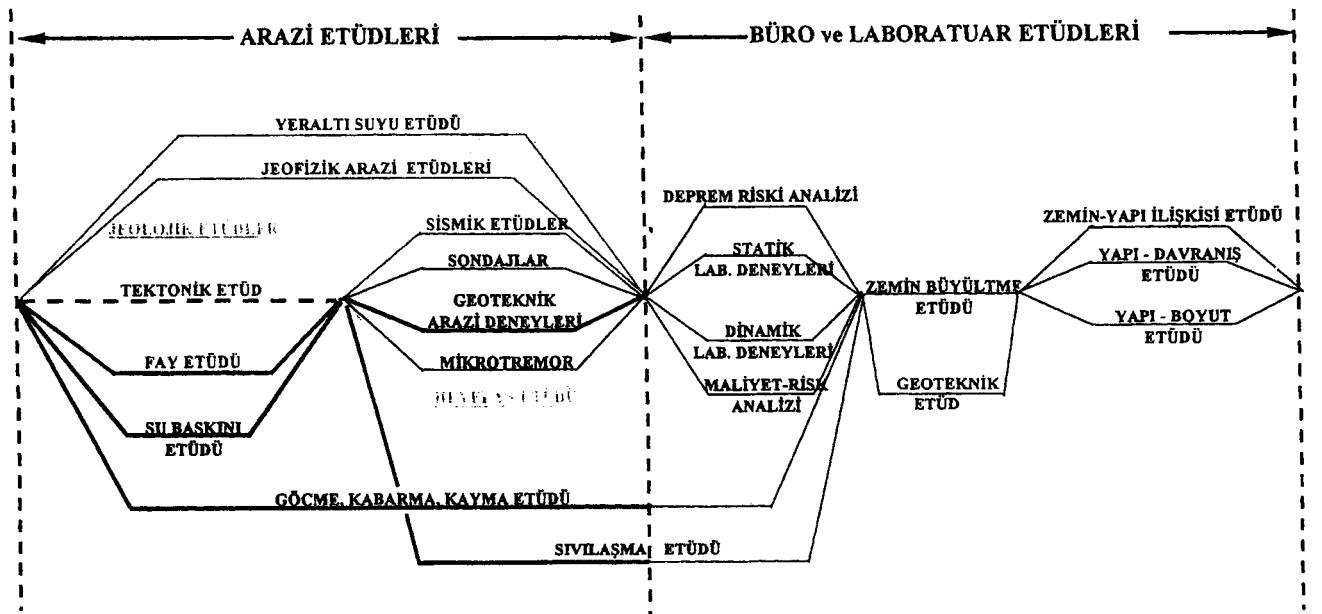
dalgalarının etkisi altında yapının temel ve temel üstü kısmının davranışı araştırılmalıdır. Zemin yüzeyindeki büyütme hesaplayabilmek için gerekli parametrelerin tayininde jeofizik, jeoloji ve inşaat mühendisi gibi çeşitli disiplinlere ait araştırmacıların müşterek ve koordineli bir şekilde çalışmasına ihtiyaç vardır.

Bu makalede, hem zemin etütlerinde kullanılan çeşitli metodlar, hem de böyle koordineli bir çalışmanın yer aldığı uygulamalardan örnekler verilmiştir.

YER SEÇİMİ ETÜTLERİ

Akış Diyagramı

Deprem mühendisliği açısından gerekli zemin etütleri akış diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu diyagramda jeofizik etütler kalın bir çizgi ile işaretlenmiştir. Akış diyagramının boğum yerleri aynı zamanda belirli bir aktivitenin bitip diğerinin başlama noktasına tekabül etmektedir. Bir mühendislik yapısının depreme karşı emniyetini bilimsel olarak ve sıhhatli bir şekilde teminat altına alabilmek için bir hayli etüt yapmak gerektiği bu diyagramdan açıkça anlaşılmaktadır.



Şekil 1. Zemin etütleri akış diyagramı.

Figure 1. Flow chart of soil investigations.

Zemin Büyütme Etüdü

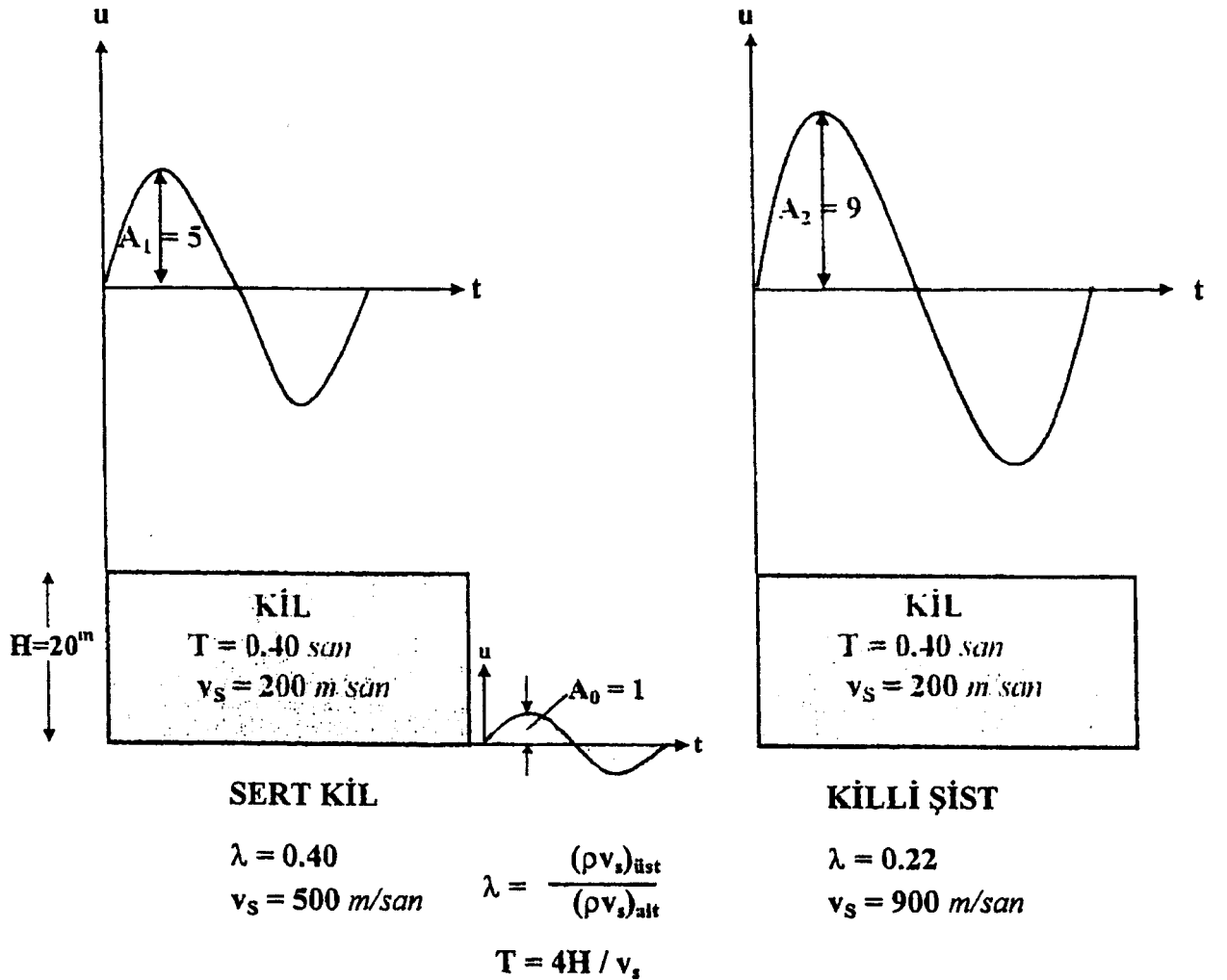
Bu etütler arasında, son on sene zarfında dünyadaki bütün deprem mühendislerinin ilgisini ve dikkatini çeken en önemli etüt zemin büyütme etüdüdür. Zemin büyütme etüdünün önemine işaret etmek üzere, $H = 20$ m kalınlığında, kayma dalgası hızı $V_s = 200$ m/san ve bütün özellikleri aynı olan iki zemin tabakası farz edelim. Zemin tabakalarından birincisinin altındaki tabakanın kayma dalgası hızı $V_s = 500$ m/san, ikincisinin altındaki tabakanın kayma dalgası hızı ise $V_s = 900$ m/san olsun. Nonlineerlik, sönüm yüzdesi ve yoğunluk farkları ihmal edilirse, bir deprem halinde yüzeydeki maksimum büyütme (Tezcan and İpek 1974), birinci tabakada $A = 5$,

$$A = \frac{2}{\lambda} = 2 \frac{(\rho V_s)_{alt}}{(\rho V_s)_{üst}} = 2 \frac{500}{200} = 5 \quad (1)$$

olduğu halde, ikinci tabakada $A = 9$ dur (Şekil 2).

$$A = 2 \frac{(\rho V_s)_{alt}}{(\rho V_s)_{üst}} = 2 \frac{900}{200} = 9 \quad (2)$$

Burada, ρ = kütle yoğunluğu, λ = tabakalar arasındaki impedanstır. Görülüyor ki, her özelliği aynı olan iki zemin tabakasının serbest yüzündeki büyütme birbirlerinden yüzde seksen farkedebilmektedir. Nonlineerliğin ve söndürmenin göz önüne alınması halinde bu büyütme değerlerinde bir miktar değişimler beklenirse de, problemin bünyesinde yatan zemin büyütme etüdünün gereğine ve önemine ışık tutan özellik baki kalır.



Şekil 2. Engelleme oranı (Impedans)'nin önemi.

Figure 2. Importance of Impedance ratio.

LABORATUVAR DENEYLERİ - JEOFİZİK ÖLÇÜMLER

Bir zemin büyütme etüdü yapabilmek için gerekli tüm bilgiler ile, bu bilgileri tesbit ve tayin etmeye yarayan arazi ve laboratuvar metodları topluca Çizelge 1'de özetlenmiştir. En önemli bilgiler olan zemin profili, V_s ve D parametreleri çizelgenin solunda özel bir işaretle belirtilmiştir. Genellikle, her parametrenin tayini için hem arazide yerinde ölçüm metodları, hem de sondajlardan alınan zemin numunelerini laboratuvarında deneme metodları vardır. Yerinde ölçme ve laboratuvarında deneme metodlarının birbirlerine nazaran fayda ve mahzurlarını şu şekilde özetlemek kabildir:

Laboratuvar Metodlarının Üstünlükleri

1. Gerilme ve deformasyon seviyesi istenildiği şekilde ayarlanabildiği için, statik ve dinamik yükleme deneyleri şiddetli bir depremdeki gerilme ve deformasyon şartlarında yürütülebilir. Halbuki, yerinde
2. Boşluk suyu basıncının değeri, arazide ölçü yapıldığı anda bir tek değer olduğu halde, mukavemet bakımından çok önemli olan bu basınç değerini, laboratuvarında istenilen seviyede tutmak, böylece boşluk suyu basıncının oynayacağı rolü daha yakından tayin etmek mümkündür.
3. Çevre basıncının şiddeti ve etkime süresi istenildiği gibi ayarlanabilir.
4. Karışık jeolojik formasyonların bulunduğu yerlerde arazi ölçümlerinden sıhhatli sonuçlar almanın zor olduğu hallerde, zemin numunelerinin laboratuvar deneyleri daha ayrıntılı bilgiler verir.
5. Numune üzerindeki periyodik gerilme değişimi istenildiği şiddet ve frekansda tutulabildiği için, çeşitli cins ve şiddetteki depremlerin etkilerini incelemek imkan dahiline girer.

Çizelge 1. Zemin Büyütme Metodu için gerekli bilgiler.

Table 1. The parameters necessary in a soil amplification study.

GEREKLİ BİLGİLER	JEOFİZİK METOTLAR				JEOTEKNİK METOTLAR						
	ARAZİ ETÜTLERİ				ARAZİ ETÜTLERİ			LABORATUVAR		JEOLOJİ FOTOGRAMETRİ	
	REFRAKSİYON REFLEKSİYON	DARBE METODU	DİRENÇ METODU VE KUYU LOGU	GRAVİTE METODU	SONDAJ	SPT VANE PENETR.	KARŞIT KUYU veya REZONANS	MİKRO TREMOR	STATİK DENEY		DİNAMİK DENEY
Zemin Profili	*		*	*	**		-				*
Faylanma	*		**	*	-		-				**
Yeraltı Suyu	*		*	-	**		*				-
FİZİKSEL ÖZELLİKLER											
Su içeriği (W_n)						-			**		
Atterberg Limitleri						-			**		
Granülometri						-			**		
Birim Hacim Ağırlığı						-			**		
Boşluk oranı (e)						*			**		
MEKANİK ÖZELLİKLER											
Kayma Mukavemeti						**			*		
Aşırı Yükleme Oranı (OCR)						-			**		
DİNAMİK ÖZELLİKLER											
v_s = Kayma dalgası hızı		**						***		*	
D = Sönüm oranı	*	*						-		*	
v_p = Boyuna dalga hızı	**	*						*	-	*	
ν = Poisson oranı	-	**						**	-	*	
T = Hakim periyot	-	-						-	**	*	

* Geçerli metot, ** En geçerli metot, • En önemli, temel parametreler

Arazi Ölçümlerinin Üstünlükleri

1. Zemin, tabiatta bulunduğu gerçek şartlar altında ölçüme tabi tutulmaktadır. Numune alırken meydana gelebilecek örselenmeler bahis konusu değildir. laboratuvar deneylerinden elde edilen kayma modülünü 0.8 ila 2.5 gibi bir örselenme faktörü ile çarpmak gerektiği halde, jeofizik etütlerde böyle bir düzeltme faktörüne gerek yoktur.
2. Laboratuvar deneyinde kullanılan zemin numunesi ne kadar örselenmemiş olursa olsun, zeminin heterojen yapısını, yer yer bulunabilecek boşluk ve çatlaklarını aynı ile temsil edemez. Bu sebepten yerinde yapılan yeteri kadar ölçümlerde temsil yeteksizliği diye bir şey söz konusu değildir.
3. Sondajlarda inilebilecek derinlik ve numune alınabilecek zemin sertlik derecesi ve cinsleri sınırlıdır. Örneğin, granüler zeminlerden örselenmemiş numune alabilmek çok zordur. Halbuki, jeofizik ölçülerde istenilen derinliğe kadar inilebilir ve her tür zemin araştırılabilir.
4. Çok derinlere inilmesi gereken veya geniş bir alanı kaplayan sahalarda sondaj ameliyesi, numune alma ve laboratuvar deneyleri jeofizik etütlere nazaran hem daha çok zaman alır, hem de daha pahalıdır.

Çizelge 1'de, her parametrenin tayininde kullanılan en geçerli ve önemle önerilen metodlar (**) çift yıldız ile gösterilmiştir. İşin önemine, zaman ve mali imkanlara göre bu metodlardan bir kısmını veya tamamını uygulayarak zemin büyütmesi için gerekli bilgileri tayin etmelidir. Bu bilgilerin ışığında, ileride bahsedileceği gibi, nonlineer bir büyütme analizi yapılmalıdır. Veri olarak kullanılan bilgiler ne kadar sıhhatli ve gerçeğe yakın olursa, analiz sonuçları da o kadar güvenilirlik kazanır.

DİNAMİK PARAMETRELERİN TAYİNİ

Bir zemin büyütme etüdü için gerekli temel bilgilerden olan V_s = kayma dalgası hızı, D = kritik sönüm oranı, zemin tabakalarının kalınlık ve fiziksel özellikleri, faylanma ve T = zemin hakim titreşim periyodunun direkt veya dolaylı yollardan elde edilmesine yarayan çeşitli metodlar ile, zemin büyütme analizi akış diyagramı topluca Şekil 3'te verilmiştir. Kayma dalgası hızı 700 m/san'den daha büyük olan tabakalar pratik bakımdan taban kaya kabul edilebilirler.

Kayada Deprem Tahmini

Bölgenin sismisitesine ve şiddetli bir deprem halinde yapıda göz yumulabilecek hasar derecesine göre, taban kayada muhtemel bir depremin varlığı kabul edilir ve bu depremin a_{max} = maksimum ivmesi, T = hakim spektral periyodu, t_d = titreşim süresi belli usullere göre tayin edilir.

Genellikle, biri yapının elastik davranma sınırını zorlamayan ve oldukça sık yer alabilecek nitelikte orta şiddette bir deprem, diğeri ise yapının plastik davranışına yol açabilecek fakat ne suretle olursa olsun yapıyı yıkmayacak ve yapı ömrü boyunca en çok bir defa meydana gelebilecek nitelikte çok şiddetli diğeri bir deprem olmak üzere iki ayrı deprem seçilir. Yumuşak zemin halinde, az şiddetli fakat büyük periyotlu uzak orijinli bir depremin varlığını düşünmek de kritik bir durum yaratabilir.

Dalga Hızları Oranı

Sismik kırılma veya yansıma etütlerinde genellikle tabakaların V_p = boyuna dalga hızı elde edilir. Kayma dalgası hızı V_s değerini bulmak için, ν = Poisson oranı tayin veya tahmin edilerek aşağıdaki bağıntıdan faydalanılır:

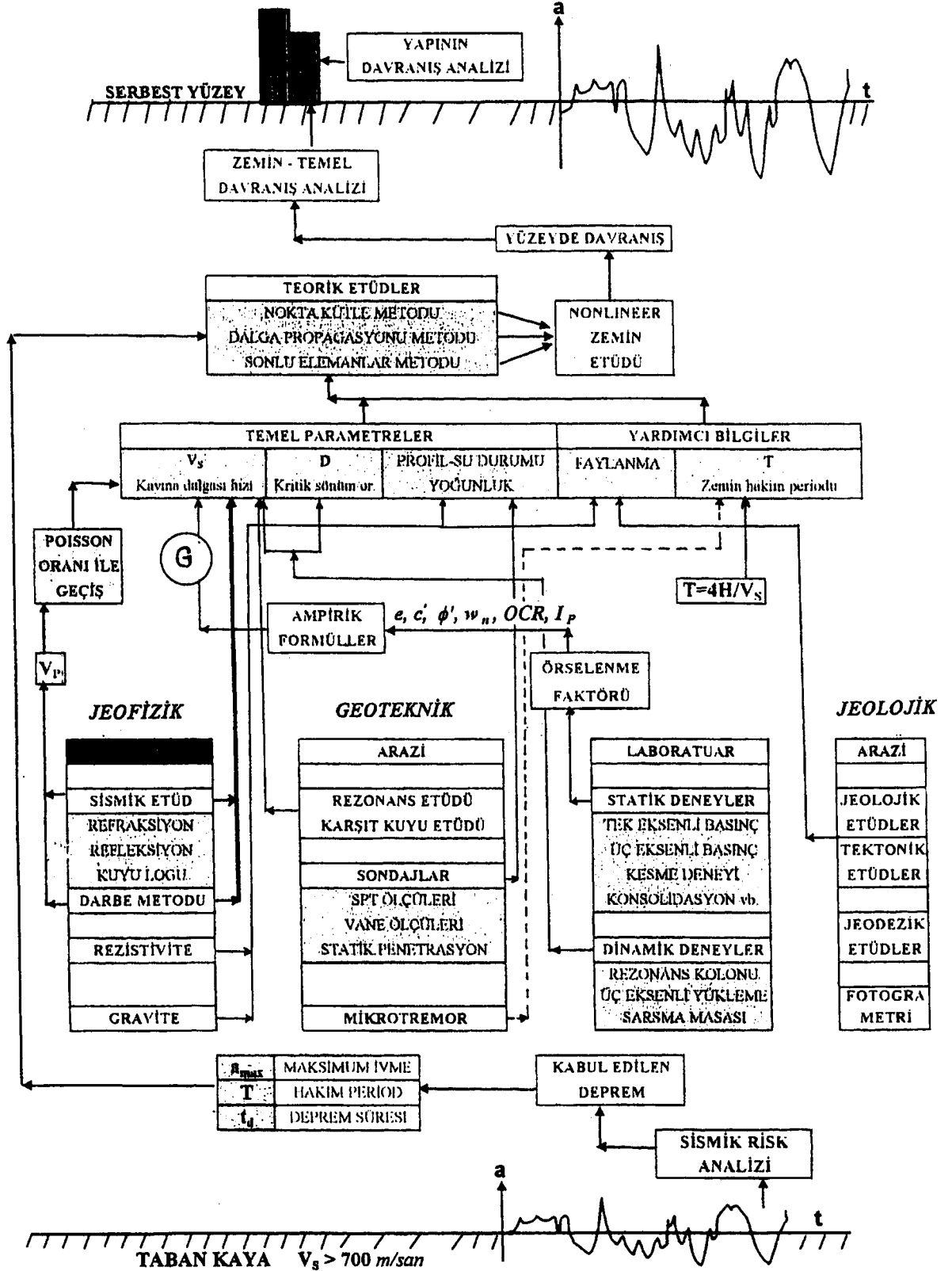
$$V_s = V_p \sqrt{\frac{1 - 2\nu}{2 - 2\nu}} \quad (3)$$

Tipik bazı zemin ve kaya türleri için, Poisson oranı ve dalga hızları Çizelge 2'de dalga hızlarının oranlarının Poisson oranı ile değişimleri Şekil 4'de gösterilmiştir. Kayma dalgasının hızının direkt tayini metodları Martin (1969) ve Stokoe ve Woods (1972) tarafından ayrıntıları ile verilmiştir.

Çubuk Elastik Ortam Dönüştürme

Genellikle, E = elastisite modülü laboratuvarında çubuk numuneler üzerinde tayin edildiğinden, tablolarla verilen değerler hep çubuk numuneler içindir. Halbuki, çubuk boyuna doğrultusuna dik iki doğrultudaki birim deformasyonları sıfır olan yarı sonsuz elastik bir ortamda, E_p = elastik ortam elastisite modülü farklıdır ve aralarında şu bağıntı vardır:

$$E_p = E \frac{(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \quad (4)$$



Şekil 3. Zemin Büyütme Etüdü.

Figure 3. Soil Amplification Study.

Çizelge 2. Poisson oranı ve dalga hızları mertebeleri

Table 2. Values of Poisson's ratio, and wave velocities.

MALZEME	ν	V_p m/san	V_s m/san
Granit	0.32	6000	3070
Kumtaşı	0.1-0.20	4000	2560
Kireçtaşı	0.31	4500	2360
Tüf	0.30	1400	750
Şist	0.15-0.25	2700	1650
Çakıllı kum	0.25-0.30	2500	1400
Sıkı kum	0.35-0.40	2000	910
Gevşek kum	0.30-0.35	1000	510
Siltli kil	0.40	1500	620
Sert kil	0.40-0.45	1800	570
Yumuşak kil	0.45-0.50	750	180
Su	0.50	1435	0
Hava	-	337	-

Çizelge 3. Enine dalga hızları.

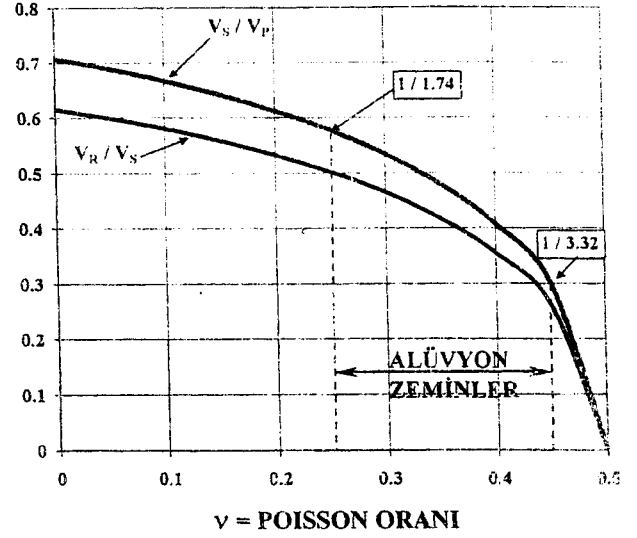
Table 3. Shear wave velocity.

LABORATUVAR DENEYİ BASED ON LABORATORY TESTS				JEOFİZİK ETÜT BASED ON REFRACTION SURVEY			
Layer No.	e	ϕ^*	V_s m/s	Layer No	v_s m/s	v_p m/s	μ
1	0.60	32°	256	1	190	350	0.30
2	0.60	32°	359	-	-	-	-
3	0.55	30°	379	2	362	1200	0.45
4	0.50	30°	434	2	452	1500	0.45
5	0.50	30°	464	-	-	-	-
6	0.40	30°	527	3	590	1950	0.45

Dolayısı ile, laboratuvarında çubuk numune üzerinde yapılan rezonans kolonu deneyinden bulunan $V'_p = \zeta$ çubuk boyuna dalga hızını, $V_p =$ elastik ortamdaki boyuna dalga hızına çevirebilmek için:

$$V_p = \sqrt{E_p / \rho} \quad (5)$$

$$V_s / V_p = [(1 - 2\nu) / (2 - 2\nu)]^{0.5}$$



Şekil 4. Dalga hızlarının Poisson oranı ile değişimi.

Figure 4. Variation of wave velocities with Poisson's ratio.

$$V'_p = \sqrt{E_p / \rho} \quad (6)$$

bağıntıları yardımı ile

$$V_p = V'_p \sqrt{\frac{(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}} \quad (7)$$

bulunan (7) bağıntısını uygulamak gerekir.

Bu ifadeden de görüleceği üzere, boyuna dalgalar, yarı sonsuz elastik ortam içinde, aynı malzemeden yapılmış elastik bir çubuk içindekinden daha hızlı yayılırlar. Kayma dalgası hızları ise çubukta ve elastik ortamda aynıdır.

Kayma Modülü için Deneysel Bağntı

Granüler veya kohezyonlu zeminlerin, çok küçük birim deformasyon haline tekabül eden maksimum kayma modülü G_{max} için Hardin and Drenevich (1972) tarafından ton/m^2 cinsinden şu ampirik formül verilmektedir.

$$G_{max} = 1031 \frac{(2.97 - e)^2}{1 + e} (OCR)^a \sqrt{\sigma_0} \quad (8)$$

Burada, e = boşluk oranı, OCR = aşırı konsolidasyon oranı, σ_0 = ortalama efektif gerilme (ton/m^2), a = plastisite indisine bağlı bir sayı olup, yardımcı bağıntılar şunlardır:

$$\sigma_0 = \frac{1 + 2 K_0}{3} p_v \quad (9)$$

$$K_0 = 1 - \sin \phi' \quad (10)$$

$$a = 1.33 I_p - 3.33 I_p^2 + 7.19 I_p^3 - 7.29 I_p^4 + 2.60 I_p^5 \quad (11)$$

Burada, I_p = plastisite indisi, p_v = düşey efektif gerilme, K_0 = yatay sükunetteki zemin basıncı katsayısı, ϕ' = efektif kayma mukavemeti açısıdır.

Kritik Sönüm Oranı için Deneysel Bağntı

Laboratuvarında statik veya dinamik deneylerle veya başka metodlarla bulunmamış olduğu takdirde ve çok küçük bir birim deformasyon hali için D_{max} = maksimum kritik sönüm yüzdesi Hardin-Drenevich, tarafından şöyle verilmektedir:

$$D_{max} = 33 - n \quad \text{kuru kumlarda} \quad (12)$$

$$D_{max} = 28 - n \quad \text{suya doymuş kumlarda} \quad (13)$$

$$D_{max} = 31 - m \quad \text{killerde} \quad (14)$$

ve burada

$$n = 1.5 \log N \quad (15)$$

$$m = (3 + 0.33 f) \sqrt{0.1 \sigma_0} - 1.5 \sqrt{f + n} \quad (16)$$

N = yükleme devir adedi, f = deprem titreşimi hakim frekansıdır.

Zemin Hakim Periyodu

Sağlam bir kaya tabakası üzerinde bulunan yumuşak bir zemin tabakasının, genliği küçük sönümsüz titreşimler için T = hakim titreşim periyodu vardır ve

$$T = \frac{4 H}{(2k - 1) v_s} \quad (17)$$

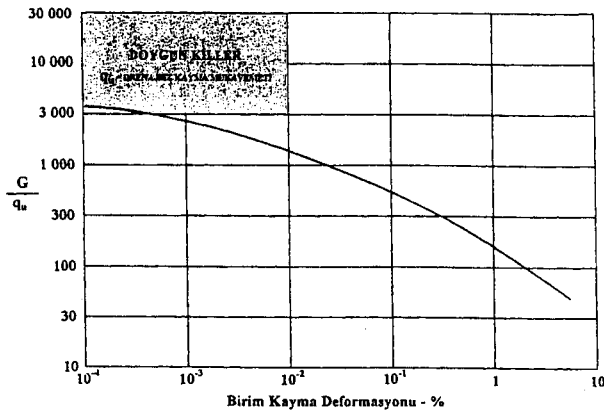
formülü ile hesaplanabilir. Burada, H = tabaka kalınlığı, k = mod sayısıdır. Titreşimin genlikleri arttıkça, kayma modülünde ve dolayısı ile,

$$v_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (18)$$

bağıntısı ile verilen kayma dalgası hızında azalma olacağı için, hakim periyot değeri tedricen düşer ve çok şiddetli deprem halinde nonlineer davranıştan dolayı hakim periyot kalmaz. Çok tabakalı zeminlerin de ufak genlikli titreşimler için hakim titreşim periyodu vardır, fakat bu periyodu bulmaya yarayan tek bir formül vermek mümkün değildir. Tabakaların özellikleri birbirine yakın ise, ortalama v_s hızına sahip ve toplam H kalınlığında tek bir tabaka varmış gibi hesap yapılabilir. Eğer en üstteki tabaka, alttaki diğer tabakalara nazaran bariz bir şekilde yumuşak ve zayıf ise, zemin yüzeyindeki hakim periyot en üst tabakanın hakim periyoduna eşit veya ondan biraz büyüktür.

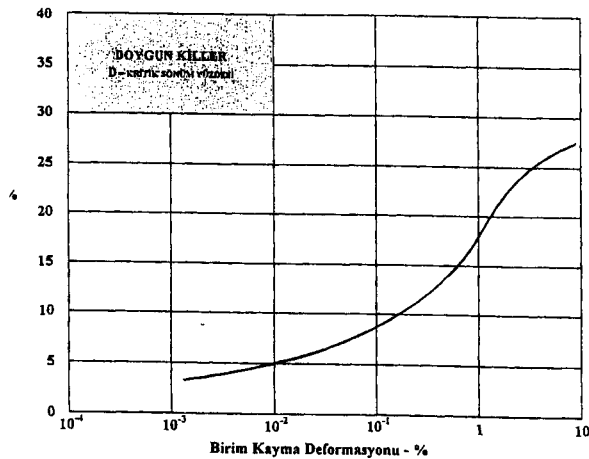
Doğrusalsızlık Etkisi

Kayma modülünün ve kritik sönüm oranının γ = birim kayma deformasyonuna göre değişimi sırası ile Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Doğrusalsızlık analizi yapmak için doğrusal analizin tekrarı prensibine dayanan bir yol seçilir. Zemin büyütme analizlerinde, ilk önce bir γ seçilir ve buna tekabül eden G ve D değerleri, grafiklerden veya deneysel formüllerden alınarak hesaplarda kullanılır. Analiz sonunda hesaplanan birim kayma deformasyonu, analiz başında kabul edilen birim kayma deformasyonuna yakın çıkıncaya kadar iterasyona devam edilir. Genellikle çok tabakalı zeminlerde beş ila



Şekil 5. Kayma modülünün birim kayma deformasyonu ile değişimi.

Figure 5. Variation of Shear Modulus with Shear Strain.



Şekil 6. Kritik sönüm yüzdesinin birim kayma deformasyonu ile değişimi.

Figure 6. Variation of critical damping with Shear Strain.

yedi iterasyon, oldukça sıhhatli bir analiz için yeterli olmaktadır.

JEOFİZİK ETÜDLERE UYGULAMALI ÖRNEKLER

Bursa Ovası

28 Mart 1970 Gediz depreminin episantır noktası Bursa Ovası'na 135 km uzaklıkta olduğu halde, ovada bulunan Tofaş otomobil fabrikalarının kaba inşaatı tamamlanan tek katlı bazı binalarında yıkılmalar ve ağır hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 7). Yapılan incelemeler, bina periyodu ile zemin hakim periyodunun birbirine çok yakın olması sebebiyle rezonansa benzer bir hadisenin cereyan ettiğini göstermiştir.

Taban kayada 0.01 g mertebesindeki ivmeler yumuşak zemin tabakalarından geçerken en az beş kere daha büyütülerek zemin yüzeyinde 0.05 g mertebesine yükseltilmiştir. Bina çerçevelerinin doğal periyotları olan $T = 1.25$ saniye hakim periyodu ile gelen bu zayıf deprem ivmeleri, bu sefer bina tarafından en az beş misli daha büyütülerek çatı seviyesi hizasında 0.25 g mertebesine ulaşmıştır. Deprem Yönetmeliğine göre elastik olarak ancak 0.06 g mertebesindeki kuvvetlere karşı koyacak şekilde projelendirilen bu yapılar, çatı hizasındaki munzam deprem yüklerini taşıyamayarak yıkılmışlardır.

Bursa Ovası'nda meydana gelen bu enteresan hadiseyi bilimsel açıdan izah edebilmek amacı ile, jeofizik etütleri içine alan bir araştırma programı hazırlanmıştır.



Şekil 7. Tofaş Otomobil Fabrikası, Bursa, (yıkılan C Bloku).

Figure 7. Collapsed Blok-C at Tofas Factory, Bursa.



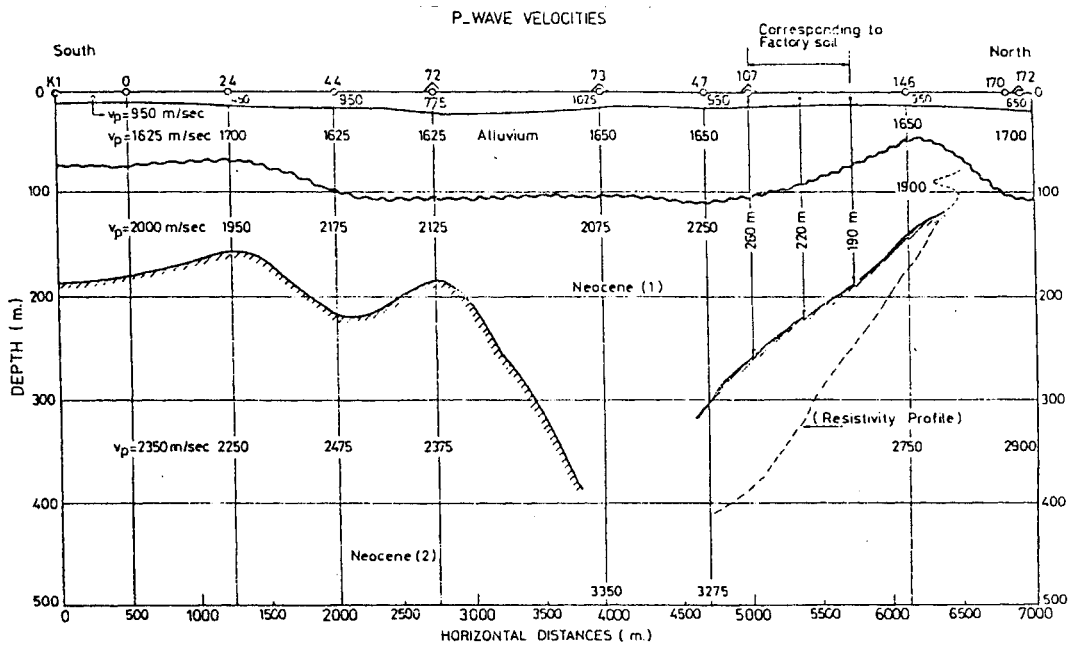
Şekil 8. Bursa Ovası Refraksiyon Etüdü, Devlet Su İşleri Ekibi.

Figure 8. Geophysical team of DSI at Bursa during the refraction surveys.

Önce, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) Jeofizik Fen Heyeti Müdürlüğü tarafından bir sismik refraksiyon etüdü yapılarak ovanın kuzey-güney doğrultusunda 8 km uzunluğunda bir en kesiti çıkartılmıştır. Daha sonra, derindeki tabakaların da durumunu tespit edebilmek amacı ile, Maden Tetkik Arama Enstitüsü (MTA) uzmanları tarafından bir sismik refleksiyon etüdü yapılmıştır. Her iki sismik etüdün yeri Şekil 8'deki haritada ve elde edilen zemin en kesitleri sırası ile Şekil 9 ve 10'da verilmiştir. Görüldüğü gibi, DSİ ve MTA kesitleri arasında önemli bir fark yoktur. İlk 30 m derinliğe kadar olan zemin bilgileri sondajlar yardımı ile daha ayrıntılı bir şekilde elde edilmiş, laboratuvar deneyleri jeofizik etütlerden bulunan dalga hızlarına çok yakın değerler vermiştir.

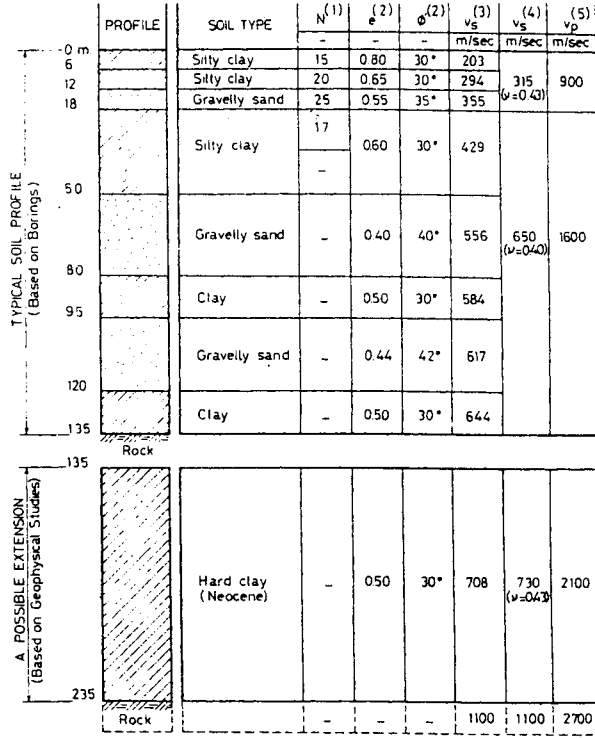
Zemin büyütme analizlerinde kullanılan idealleştirilmiş profil Şekil 11'de verilmiştir.

Bu profilin üst kısmında kalan 135 metrelik kısmı kullanılarak yapılan zemin büyütme analizi sonuçları Şekil 12'de özetlenmiştir. Bu Şekilden de görüleceği üzere küçük genlikler için hakim periyot $T = 1$ saniye civarında ve büyütme $A = 4.5$ mertebesinde (Tezcan-Durgunoğlu-Whitman 1974). Laboratuvar deneylerine dayanan kayma modülünü düzeltmek için kullanılan ölçekleme faktörü 2.25 olarak saptanmıştır.



Şekil 9. Refraksiyon yöntemi ile zemin boyuna kesiti (DSİ).

Figure 9. Soil profile, refraction method (DSI).



Notes:

- (1) Average blow counts from bore hole data
- (2) Estimated values
- (3) Hardin-Drnevich formula multiplied by 2.25 (applied to shear moduli)
- (4) Calculated from v_p by assuming an average ν -Poisson's ratio
- (5) In-situ measured compressional wave velocity

Şekil 10. Tofaş Fabrikasında zemin profili.

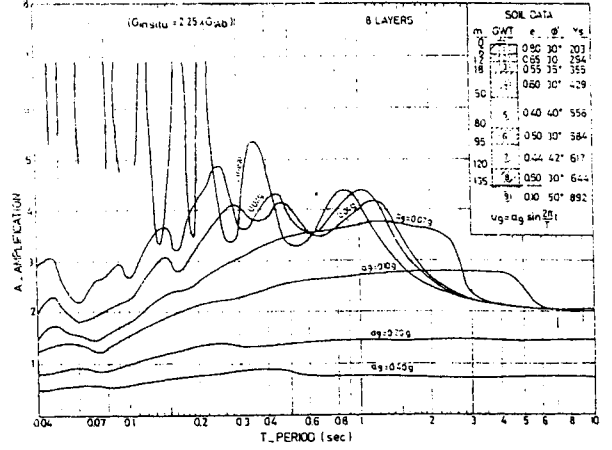
Figure 10. Soil profile at Tofaş Factory Site.

Söğütluçeşme Viyadükleri

Bayındırlık Bakanlığı'na bağlı Demiryollar, Limanlar ve Hava Meydanları (DLH) İnşaatı Genel Müdürlüğü tarafından İstanbul Söğütluçeşme tren istasyonunda inşa edilmek üzere projelendirilen demiryolu viyadüklerinin genel vaziyet planı Şekil 12'de gösterilmiştir.

İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü uzmanları tarafından tanzim edilen ve sıg bir refraksiyon etüdüne dayanan jeofizik profil Şekil 15'de ve 5-6-7 sondajlarından geçen enine kesite ait zemin büyütme analizi sonuçları Şekil 16'da gösterilmiştir.

Sondaj ve jeofizik kesitler büyük bir uyum içinde çıkmış, çoğu hallerde örselenme faktörü 1.0 olarak saptanmıştır. Zemin titreşim periyodu olarak, küçük ivmeler için, $T = 0.54$ san ila $T = 1.10$ saniye aralığının hakim olduğu anlaşılmıştır (Tezcan, Durgunoğlu H, İpek and Durgunoğlu T 1974).



Şekil 11. Tofaş Fabrikası için zemin büyütme spektrumu.

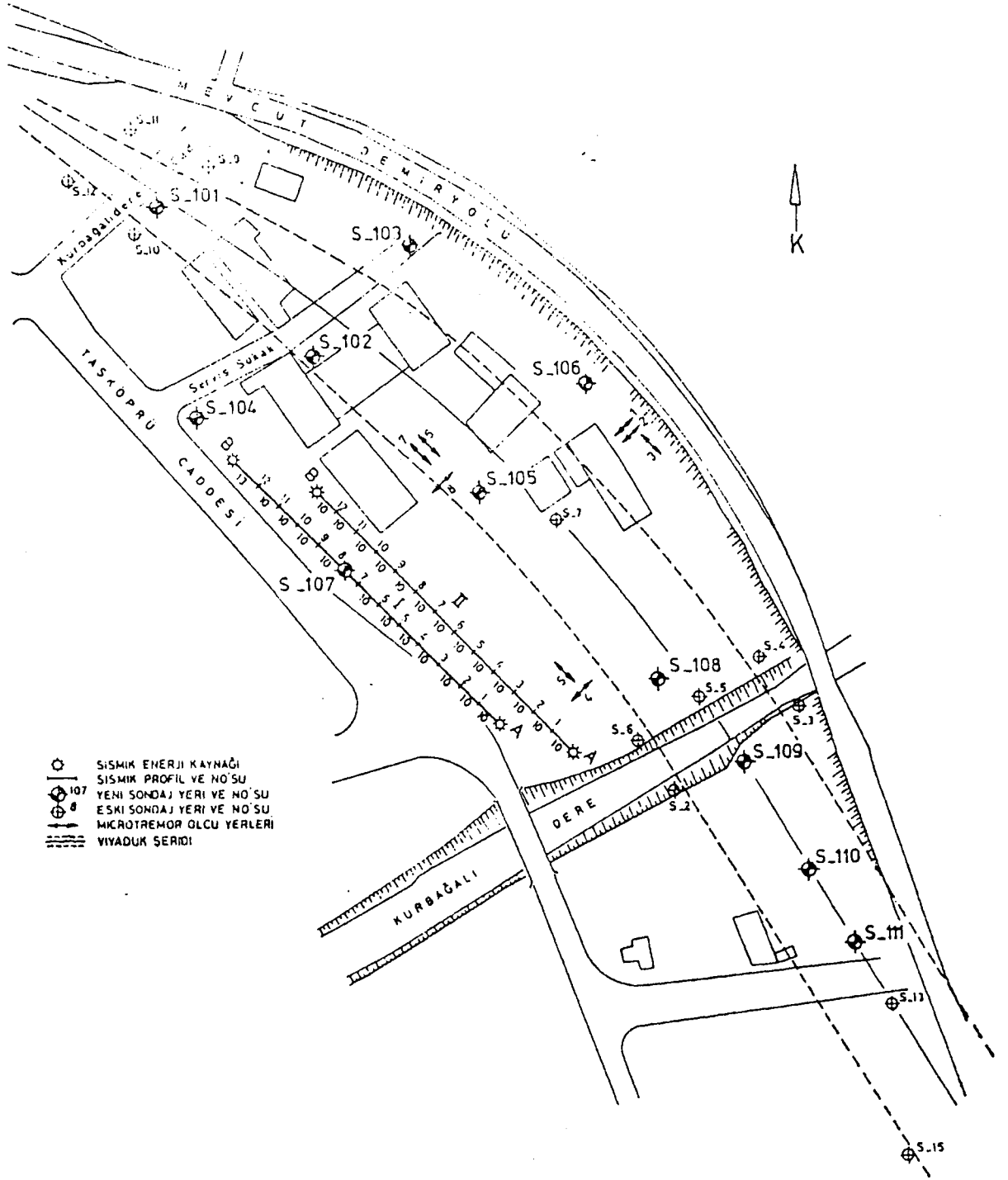
Figure 11. Soil amplification spectra for Tofaş.

Soma-II Termik Santrali

Türkiye Elektrik Kurumu (TEK) tarafından, halen (1974) mevcut Soma santralının kuzeydoğusuna yaptırılacak 300 Mega watt'lık Soma-II Termik Santrali arazi-sinin vaziyet planı Şekil 17'de gösterilmektedir. Makine dairesi kuzeydoğu köşesinde alınan mikrotremor kaydının Fourier hız genlik spektrumu eğrisini veren Şekil 18, zemin hakim periyodunun küçük genlikler için $T = 0.47$ saniye civarında olduğunu göstermektedir. Sahanın jeofizik etütleri Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) uzmanlarınca yapılmıştır.

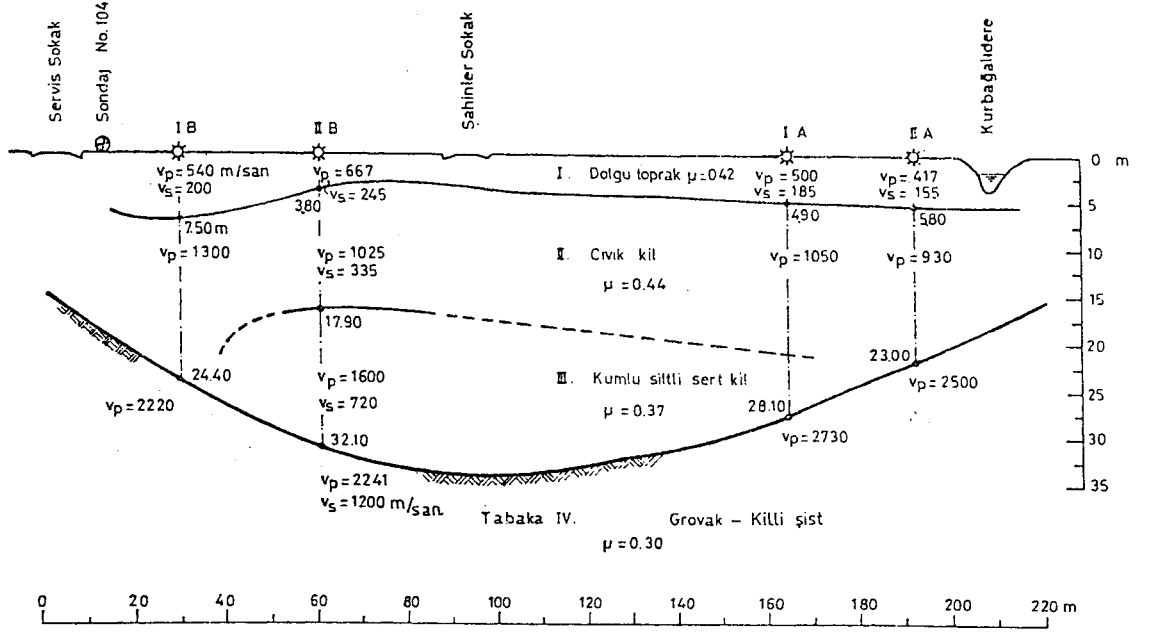
Sondaj ve jeofizik etüt verilerine dayanılarak hazırlanan mukayeseli zemin profilleri Şekil 19'da verilmiştir. Bekleneceği üzere her iki zemin profili için ayrı ayrı yürütülen zemin büyütme analiz diyagramları birbirlerine çok yakın çıkmış ve yer darlığı sebebi ile, Şekil 20'de sadece, jeofizik etütlerden bulunan dalga hızları kullanılarak yapılan analiz sonuçları verilmiştir (Tezcan and Durgunoğlu 1974).

Laboratuvar deneylerine dayanan kayma modülünü arazi ölçümleri seviyesine çıkarabilmek için 2.5 mertebesinde bir örselenme faktörü kullanmak gereği hasıl olmuştur. Granüler malzemenin mevcudiyeti sebebi ile, zemin numunelerindeki örselenmenin derecesi yüksek olmuştur. Laboratuvar deneylerine dayanan ve örselenme faktörü ile düzeltilmiş kayma dalgası hızlarının, jeofizik etüt ile bulunan değerlere uygunluğu Çizelge 3'de açıkça görülmektedir.



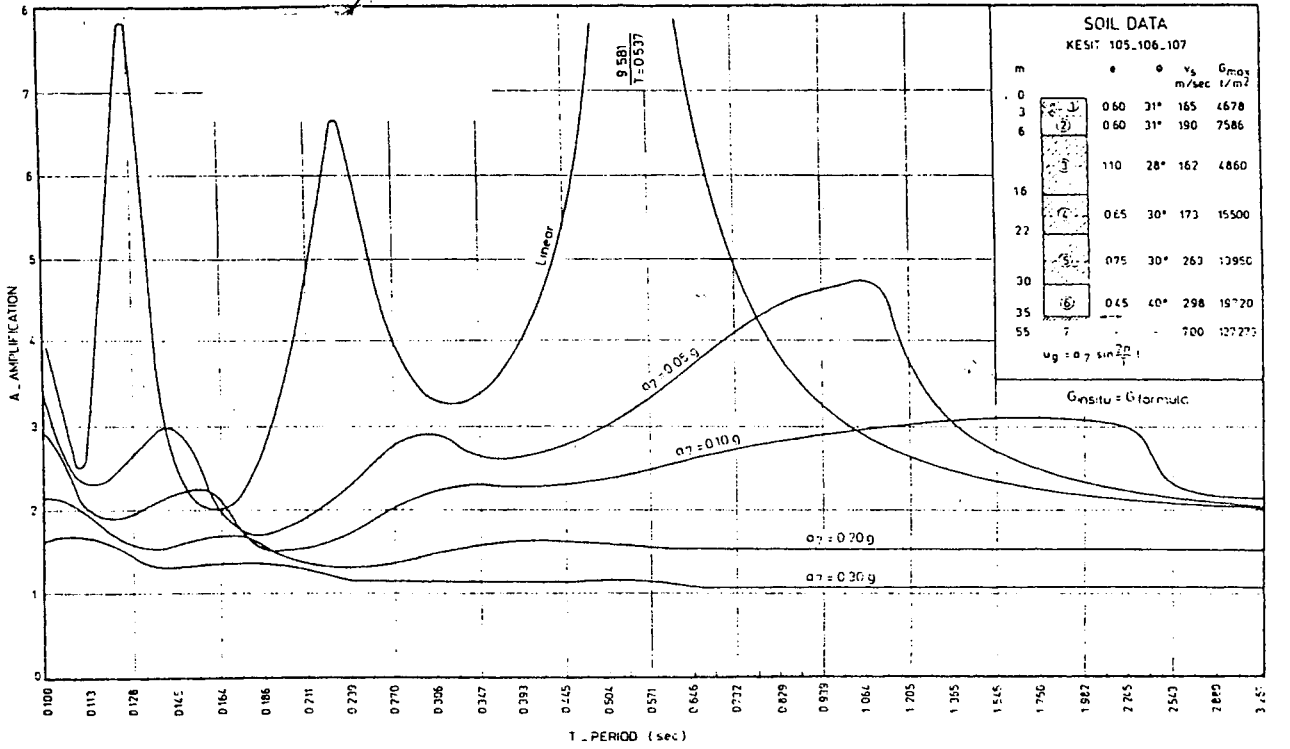
Şekil 12. Genel Arazi Planı, Söğütlüçeşme.

Figure 12. General Layout, Söğütlüçeşme.



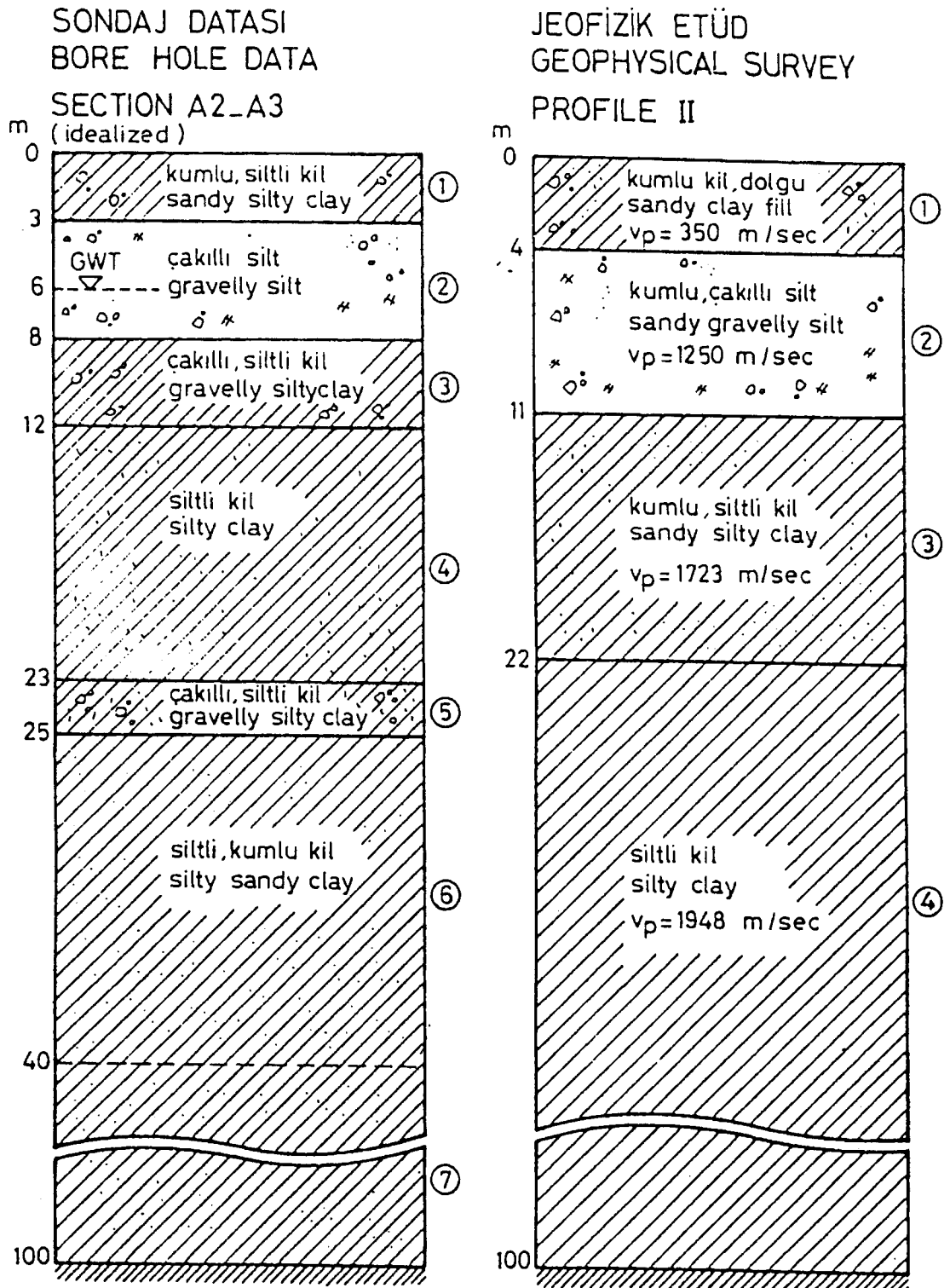
Şekil 13. Söğütluçeşme Viyadükleri sismik profili.

Figure 13. Seismic Profile, Söğütluçeşme Viaducts.



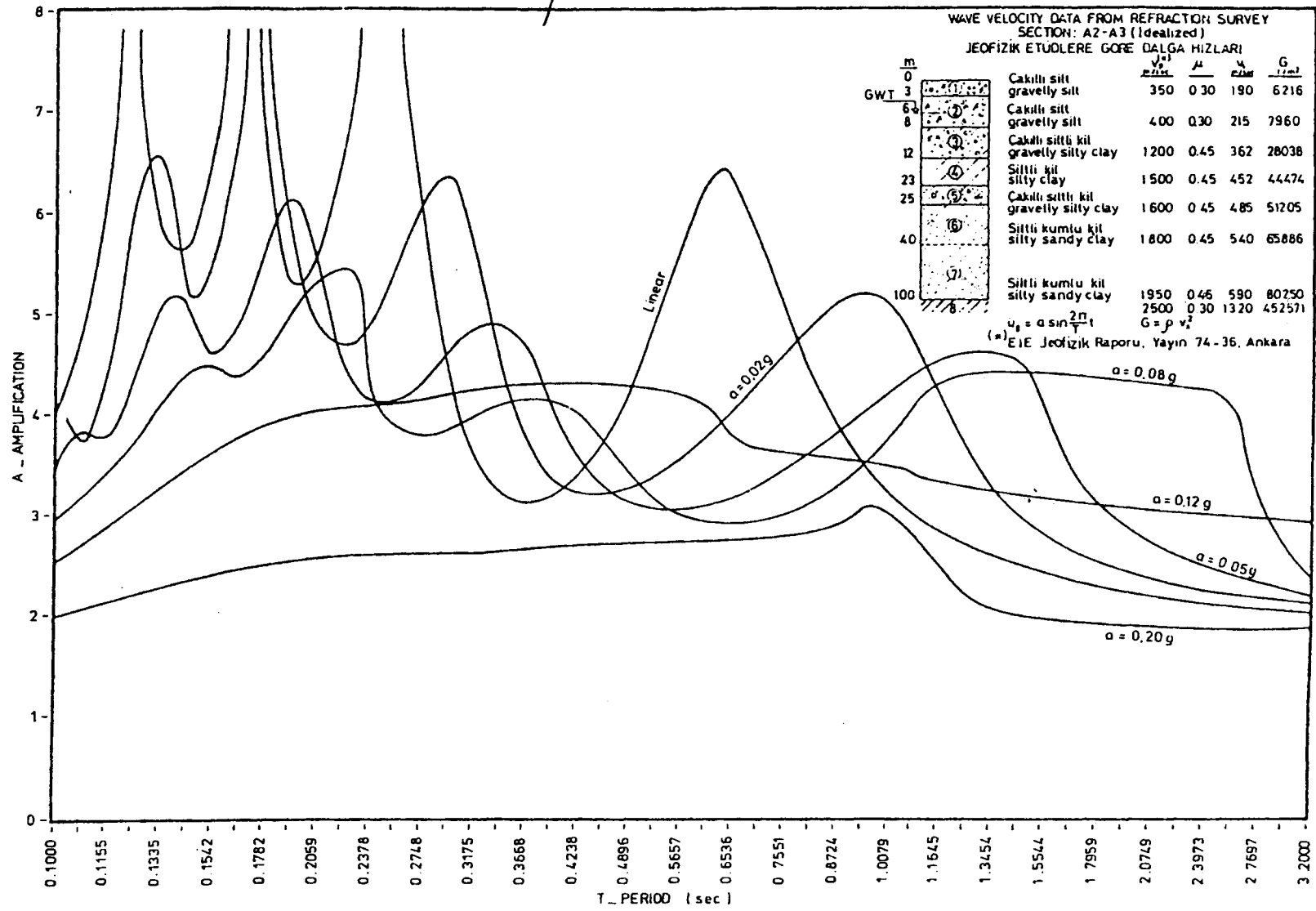
Şekil 14. Zemin büyütme eğrileri, Söğütluçeşme Viyadükleri.

Figure 14. Soil amplification, Söğütluçeşme Viaducts.



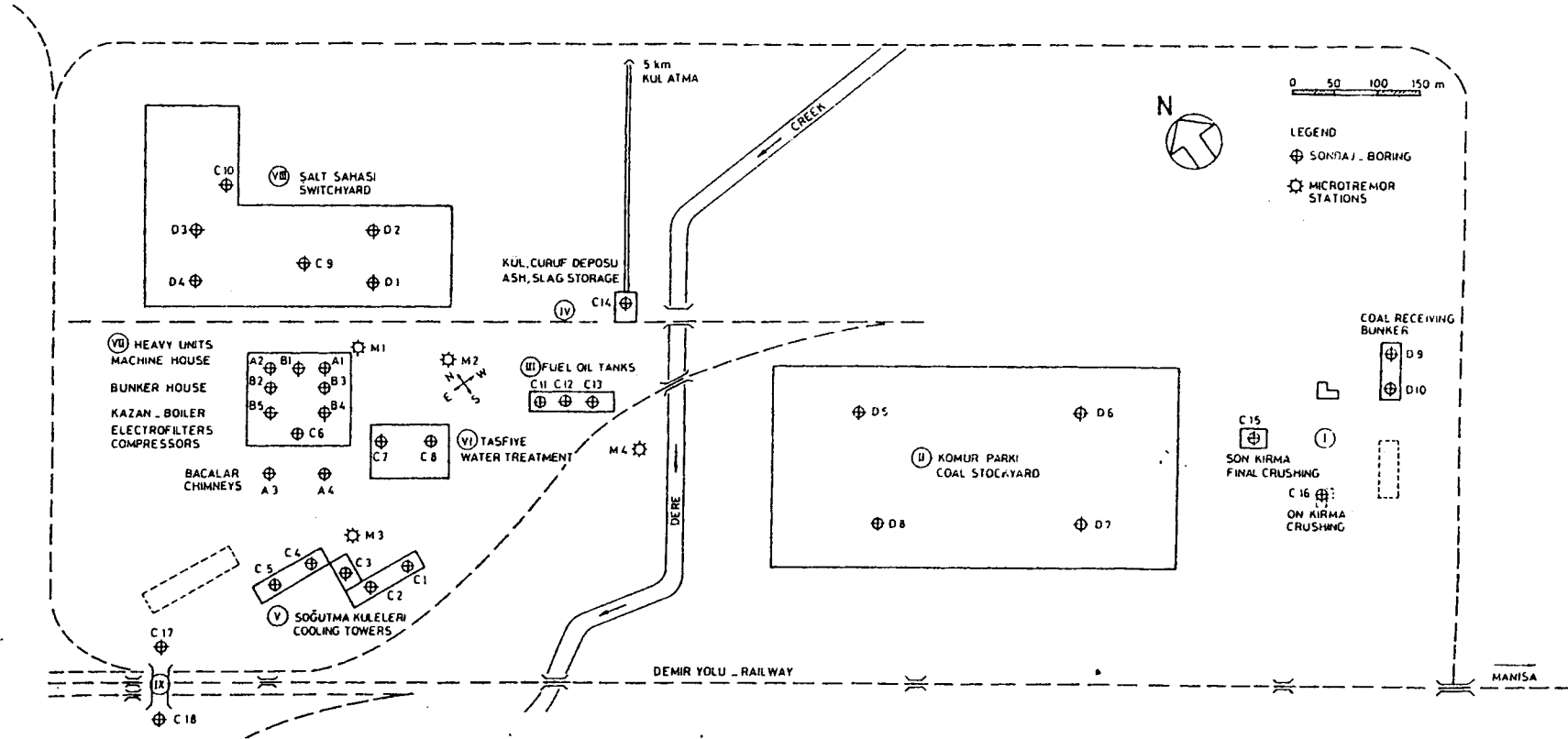
Şekil 15. Sondaj ve Jeofizik etüt sonuçları.

Figure 15. Comparison of bore hole and geophysical data.



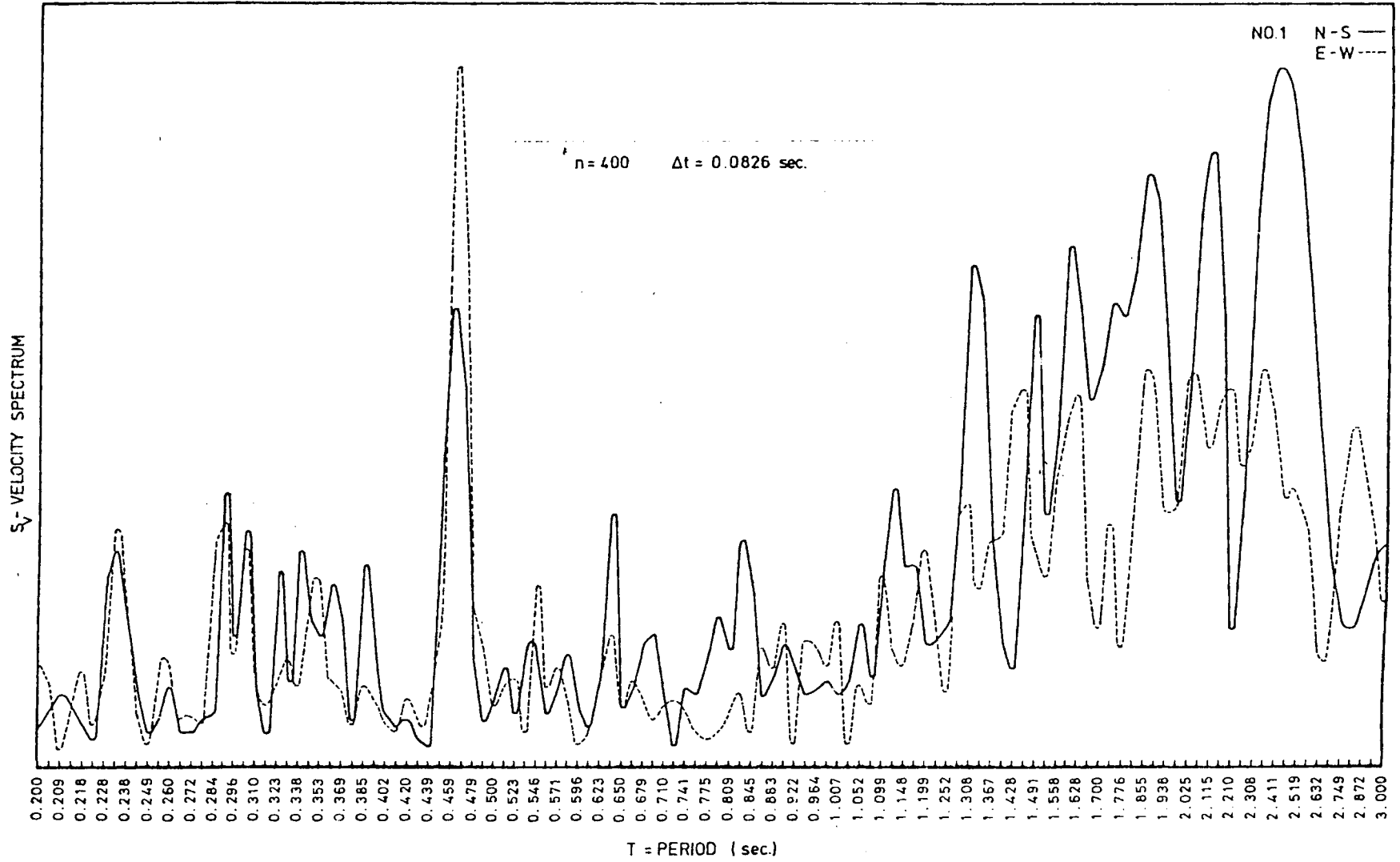
Şekil 16. Zemin büyütme eğrileri, Soma II santrali.

Figure 16. Soil amplification, Soma II Power Plant.



Şekil 17. Soma II santrali genel durum.

Figure 17. Thermoelectric power plant general layout.



Şekil 18. Soma II santrali hız Fourier spektrumu.

Figure 18. Thermoelectric power plant velocity Fourier amplitude spectrum.

SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Deprem bölgelerinde inşa edilecek herhangi bir mühendislik yapısının ülke ekonomisi ve can emniyeti bakımından önem derecesi iyice tesbit edilerek, o yapının ömür süresi içinde maruz kalacağı en şiddetli deprem risk-maliyet açısından bilimsel yollardan tayin edilmelidir.

2. Yapı altındaki zeminin sağlam kayaya kadar olan kısmının geometrik ve fiziksel özellikleri sondaj, jeolojik ve jeofizik metodlar yardımı ile ayrı ayrı tayin edilmeli, taban kayada varlığı kabul edilecek deprem dalgalarının zemin yüzeyindeki davranışı geçerli bir teorik metod ile etüt edilmelidir.

3. Yapının temel ve temel üstü boyut analizine ancak böyle bir zemin büyütme etüdünden sonra geçmelidir.

KAYNAKLAR

Hardin, B.O., and Drenevich, V. P., 1972, Shear Modulus and Damping in Soils: Design Equations and Curves, Proceedings, ASCE, Journal of Soil Mechanics, Vol. 98, SM7, July.

Martin, C.D. 1969, Techniques for Field Measurement of Shear Wave Velocity in Soils, 4th WCEE, January, Santiago, Chile.

Stokoe, K. H. and Woods, R.D. 1972, In-situ Shear Wave Velocity by Cross-Hole Method, Proceedings, ASCE, Journal of Soil Mechanics, Vol. 98, SM5, May.

Tezcan, S.S. and İpek, M. 1974, Shear Wave Propagation in Layered Soils, Internal Report No. 74-2E, Department of Civil Engineering, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Tezcan, S., Durgunoğlu, H.T. ve Whitman, R.V. 1974, A Field Survey to Determine Seismic Parameters at Tofaş Auto Factory Site, Bursa, Turkey, Internal Report No. 74-1E, Department of Civil Engineering, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Tezcan, S., Durgunoğlu, H.T., İpek, M. ve Durgunoğlu, T. 1974, İstanbul Söğütlüçeşme İstasyon Tesisleri Projesi Geoteknik ve Dinamik Etüdü, Dahili Rapor No. 74-6T, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.

Tezcan, S. ve Durgunoğlu, H.T. 1974, Soma-II Termik Santral Zemin Geoteknik ve Sismik Etüdü, Dahili Rapor No. 74-10T, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.