

## Depreme Dayanıklı Yapılaşma İçin Zemin Sınıfları ve İvme Tepkileri (Tayvan Örneği)

Ümit Yalçın KALYONCUOĞLU

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü / ISPARTA

**ÖZ:** Zeminlerin jeolojik koşullarla olan ilgisi yaygın olarak en üst tabakayla sınırlandırılır. Jeoteknik ve Geoteknik bilimi içerisinde bir çok zemin etkisi çalışması üst 5-10 m nin zemin özelliklerine dayandırılmaktadır. Zemin sınıflandırılması ve yer büyütme oranının belirlenmesi yüzey jeolojisi, jeomorfoloji ve jeofizik ile sağlanmaktadır. Bazı araştırmacılar zemin sınıflaması için kayma dalga hızı ve yüzey jeolojisini birleştirmişlerdir. Fakat bunlar tek başına yeterli değildir. Yerel zemin şartları kaydedilen deprem genliğini etkileyen en önemli faktördür. Farklı zemin koşulları tepki spektrumu içerisinde farklı periyot aralıklarında büyütme neden olmaktadır. Eğer yapının doğal periyodu yer yerde büyütme uygulanmış periyoda yakın olursa binadaki hasar çok büyük oranda artmaktadır. Bu nedenle yer hareketi analizleri ve depreme dayanıklı yapılaşmada yerel zemin koşulları önemli hale gelmektedir. Yerel zemin şartlarıyla uyumlu bir deprem ivme spektrumu yani belirlenen en büyük pik ivme değeri ve periyodu (PGA) dinamik yapı analizi için en yaygın kullanılan giriş parametresidir. Deprem tepki spektrumu jeolojik veriler yetersiz olduğu zaman yalnız başına zemin tanımlaması için yararlıdır.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin Tipi, Zemin Tepkisi, Büyütme, Kuvvetli Yer Hareketi, Sismoloji.

### Types of Soil and Acceleration Response For Earthquake Resistant Building (Example Taiwan)

**ABSTRACT:** The geological conditions of interest at a site is commonly restricted to the upper-most layers. Most site effect studies in geotechnic or jeoteknik are based on the soil properties in the upper 5-10 meters. The classification of site conditions and an estimation of the site amplification ratio obtained by using surface geology and geomorphologic units. Some researchers had combined the use of surface geology and shear-wave velocity for site classification. But these are not sufficient alone. The local site conditions are an important factor in the recorded waveform of earthquake ground motions. Different site conditions can induce amplifications of different period ranges in the response spectra. A building may be more severely damaged if the natural periods of the structure happen to be close to the amplified periods of the ground. Therefore, the local site conditions become important in ground motion analysis and in earthquake resistant designs. An earthquake response spectrum compatible with local site condition, anchoring to an appropriate peak ground acceleration (PGA), is a common input for structural dynamic analysis. As a result, earthquake response spectra alone are also useful for site classification, when geologic data are not sufficient.

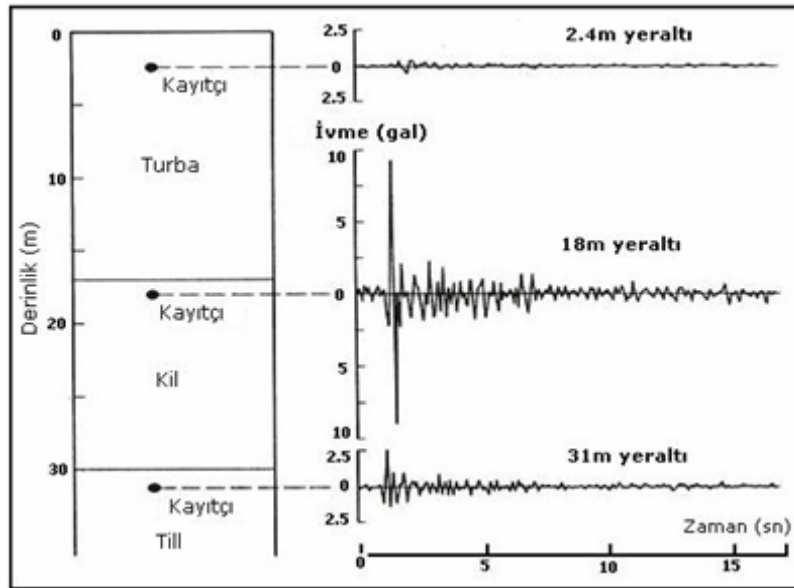
**Keywords:** Soil Type, Soil Response, Amplification, Strong Ground Motion, Seismology.

#### Giriş

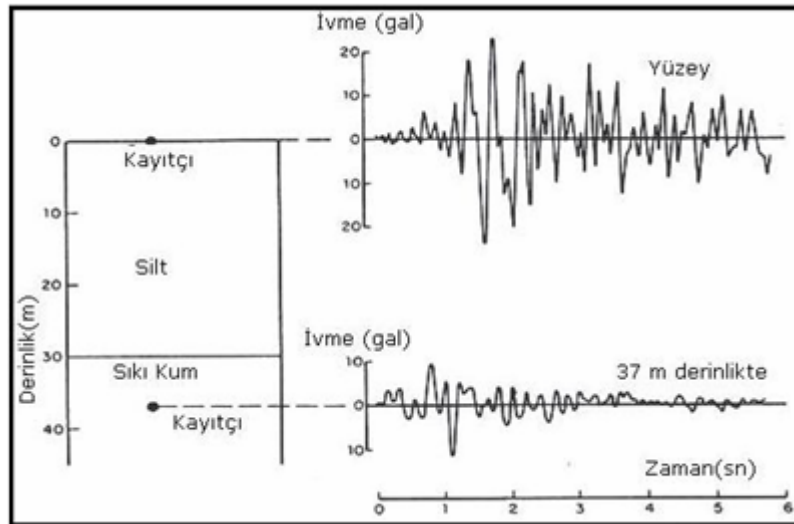
Mikro-bölgelendirme çalışmalarının ana amacı, bölgelerin deprem duyarlılıklarına göre sınıflandırılması ve alan kullanım haritalarının hazırlanılarak deprem hasarlarını en aza indirilmesidir. Bu amaçla yer araştırmaları yapılır. Bu ölçümler daha sonra olabilecek bir depremin hangi alanı ne düzeyde etkileyeceğinin tahminini sağlar, fakat bu bilgilerin tümüyle örtüşmesi beklenemez. Sarsıntı sırasında esnek bir yapının davranışını denetleyen temel davranış özelliği, baskın yanal titreşim dönemi, ivme, yer büyütmesi, kesme dalga hızı, su içeriğidir. Sert zeminler kısa periyotlu (az katlı) yapılarda, yumuşak zeminler ise uzun periyotlu (çok katlı) yapılarda daha çok yatay itki oluşmasına neden olmaktadır. Eğer yapının yatay sarsıntı dayanımı, yapı ağırlığından büyük ise, sarsıntı geldiğinde yapı esnek kalabilir. Eğer yapı deprem sırasında sarsıntılara karşı esnek kalabiliyorsa, daha düşük sarsıntılar önemli olmayacaktır. Ancak büyük itkiler altında esnek kalacak ve hiçbir hasar oluşmayacak bir yapı tasarımı hedeflemek çok olası değildir. Tsai çalışmasında, ölçüm kuyuları açarak, 31.3m till, 18m de kil ve 2.4m derinlikteki turba üzerine ivme ölçerler yerleştirmiştir

[1]. Çalışma sonucunda 18m deki kil üzerinde alınan ivme değeri 2.4 m deki turba'nın 10 katı, 31.3m deki till in ise yaklaşık 4 katı olduğunu belirtmiştir (Şekil.1). Yaklaşık 17m örtü tabakası tarafından sıkıştırılmış durumda bulunan kilin bu kadar yüksek ivme vermesi ilginçtir. Benzer şekilde Okomoto çalışmasında, ivme ölçerlerden birini yüzeydeki silt üzerine diğerinde 37 m deki kum üzerine yerleştirmiştir [2]. Burada da 30m kalınlığındaki silt üzerindeki ölçümden elde edilen ivme değeri 37m derinlikte kum üzerinde ölçülen ivme değerinden yaklaşık 2.5 kat daha yüksek bulunmuştur (Şekil.2). Ashında 2.5 kat matematiksel olarak küçük görülmesine karşın dikkate alınacak 150 gallik bir ivme değerinin ikibucuk katınının 375 gal olduğu düşünüldüğünde yapı hasarını oldukça arttıracığı açıktır.

Benzer şekilde silt, kil vb. gibi birimlerin araldanmasından oluşan bir ortamın deprem küçük olsa bile etkisinin yeryüzeyinde muazzam derece artacağı da dikkate alınmalıdır. Yani sadece jeolojik olarak birimleri tanımlamak yeterli değildir. Oluşacak bir depremin hangi oranda büyütüleceğinin jeofiziksel olarak hesaplanması gereklidir. Çünkü, deprem dalgasının frekansı, yerin salınım



**Şekil 1.** Farklı derinliklerdeki farklı birimler üzerinde izlenen ivme kayıtları ( Tsai,1969' dan değiştirilerek alınmıştır[1])



**Şekil 2.** Farklı derinliklerdeki farklı birimler üzerinde izlenen ivme kayıtları ( Okamoto, 1973'den değiştirilerek alınmıştır[2])

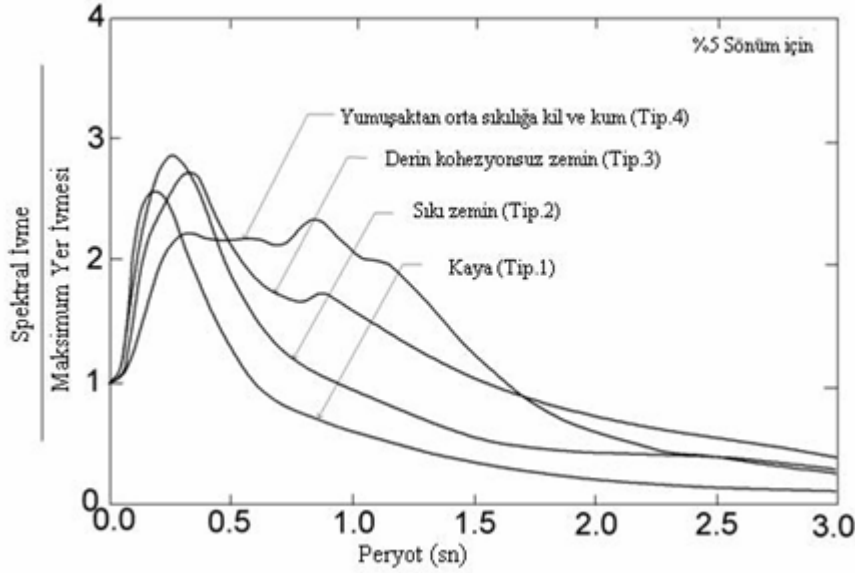
frekansı, su içeriği, gevşek yapı kalınlığı, sarsıntının geliş yönü ve yerin esnekliği vb. parametreler ortaya çıkan enerjiyle doğrudan ilişkilidir (Şekil 3). Yapıların deprem güçlerine karşı tasarımında üzerinde buldukları yer katmanlarının baskın periyodu büyütmesi, sıvılaşma çekincesi gibi dinamik özelliklerinin de göz önünde bulundurulması gereklidir.

Depremle oluşan sarsıntılar, yerde düzensiz yinelemeli kayma gerilmeleri oluşturur. Ardışık gerilmeler altında yerin davranışını etkileyen etmenler, biçim değiştirme genliği, etkin çevre basıncı, kırılma hızı, kırık yüzeyi pürüzlülüğü, sarsım süresi, sarsımla gerilim düşümü, suya doygunluk, boşluk oranı, ince tanelerin yoğrulukluğu, aşırı sıkışma oranı, sarsıntının oranı ve sarsıntının egemen frekansıdır. Ardışık sarsıntılar

altında gevşek, taneli ve sulu topraklarla yerin kayma dayanımının sıfırlanması, yeri akışkan duruma geçirerek sıvılaşmayı oluşturur. Bunun sonucu yapı yan yatabilir, dönebilir ya da olduğu gibi devrilebilir.

Yerleşime açılacak yeni alanların yerleşime uygunluk bakımından değerlendirilmesi veya yerleşilmiş bölgelerin deprem gibi doğal afetlerden nasıl etkileneceğinin tanımlanması ve gerekli önlemlerin alınabilmesi için, sadece zemine ait yerel zemin sınıflaması, zemin türü, zemin taşıma gücü, zemin emniyet gerilmesi vb. jeoteknik yada geoteknik özelliklerinin belirlenmesi yeterli olamamaktadır [3,4].

Bu çalışmada zemin türleri ve bu zeminlerin deprem kuvvetleri etkisi altındaki dinamik tepkileri araştırılmaya çalışılmıştır. Bu nedenle; (i) aynı uzaklıkta farklı zemin



Şekil 3. Farklı zemin koşulları için ortalama spektral ivme (Seed ve diğ., 1976' dan değiştirilerek alınmıştır[3])

türleri arasında, (ii) aynı uzaklıkta, aynı zemin türü üzerinde farklı noktalarda (iii) farklı uzaklıkta aynı zemin sınıfı üzerinde görülen ivmeler ile zemin sınıfı arasında doğrudan bir ilişkinin olup olmadığı araştırılmıştır.

### Çalışma Alanı ve Bölgenin Analizi

Çalışma alanı olarak Tayvan seçilmiştir. Tayvan, Asya plakası ve Filipin deniz plakası arasındaki sınırdaki konumlanmış durumdadır (Şekil 4). Bölge Luzon yayı ile Asyanın şekillendirdiği aktif çarpışma zonu ile Ryukyu ve Luzon dalma batma zonu arasındaki transform alanda oluşmuştur. Filipin deniz plakasının kuzey batıya zorlaması ile Luzon yayının kuzey segmentinin 10 My dır güney doğu Asya ile çarpıştığı bilinmektedir [5]. Geç Kretase döneminde başlayan Tayvan bogazı etrafındaki kıtasal riftleşme ile yay-kıta çarpışması Miyosen boyunca oldukça geniş bir alanda levha içi basaltik volkanizma üretmiştir [6,7,8]. Böylece merkezi kısımlarda 3000m yüksekliğe ulaşan Tayvan dağ kuşağı doğuda Luzon yayı ve batıda Asya kıtası arasında şekillenmiştir [5,9]. Çarpışma tektonizması bölgede hala aktif durumdadır [10,11]

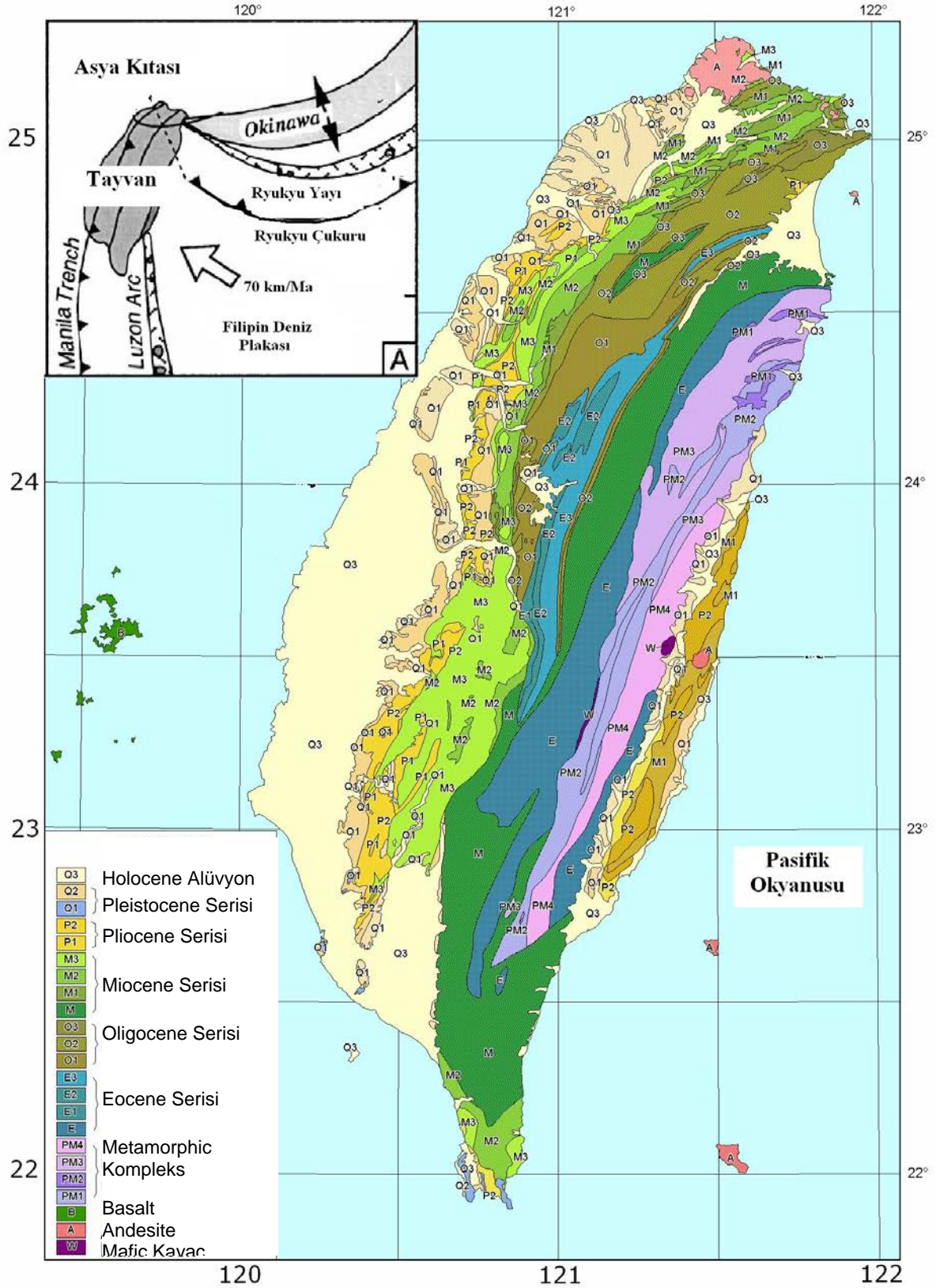
Bu çalışmada, Tayvan' da 20/ 09 / 1999 tarihinde  $M_w=7.7$ ,  $M_L=7.3$ ,  $M_S=7.6$  büyüklüğünde  $h=13$  km derinlikte meydana gelen Chi-Chi depremi dikkate alınmıştır. Chi-Chi depremi oldukça yoğun kayıtçı ağının ortasında meydana gelmiş ve yaklaşık 700'e yakın farklı uzaklık ve farklı zeminler üzerinde bulunan kuvvetli yerhareketi algılayıcıları tarafından kayıt edilmiştir. Bu kayıtçıların büyük çoğunluğu yerin serbest yüzeyine bağımsız olarak yerleştirilmiş durumdadır (Şekil 5). Tayvan Jeolojik araştırma merkezi istasyonların yerleştirilmesinde öncelikli olarak Tayvan'ı oluşturan farklı jeolojik birimleri dikkate almıştır (Şekil 4). İkincil olarak da fay

zonlarının yakınları, metropol alanlar ve önemli yapıların yakınlara ve içlerine yerleştirmiştir.

Yerel zemin koşullarının tanımlanması ifadesi; belirli bir lokasyon, magnitüd, süre ve frekans içeriğine sahip depreme karşı, deprem odağı ile mühendislik yapısının üzerine kurulu olduğu yada kurulacağı yere kadar olan ortamın göstereceği dinamik tepkinin belirlenmesini içermelidir. Ortamın statik yükler altındaki davranışı ile dinamik yükler altındaki davranışı aynı değildir. Özellikle ortamların dinamik yük altındaki davranışları oldukça karmaşıktır [12,1,2,13,14,15].

Zemin türleri konusunda bir çok sınıflama mevcuttur. Bunlar dan bir tanesi: (1) 30 m derinlik için S dalga hızı ortalamasına göre verilen USGS Site Classification (A = > 750 m/s; B = 360-750 m/s; C = 180-360 m/s; D = < 180 m/s) , (2) bir diğeri ise NEHRP Site Classification (A = > 1,500 m/s; B = 760-1,500 m/s; C = 360-760 m/s; D = 180-360 m/s; E = < 180 m/s ) dır. USGS sınıflamasına göre Tayvan'ı oluşturan zemin türlerinin dağılımları Şekil 6'da verilmiştir.

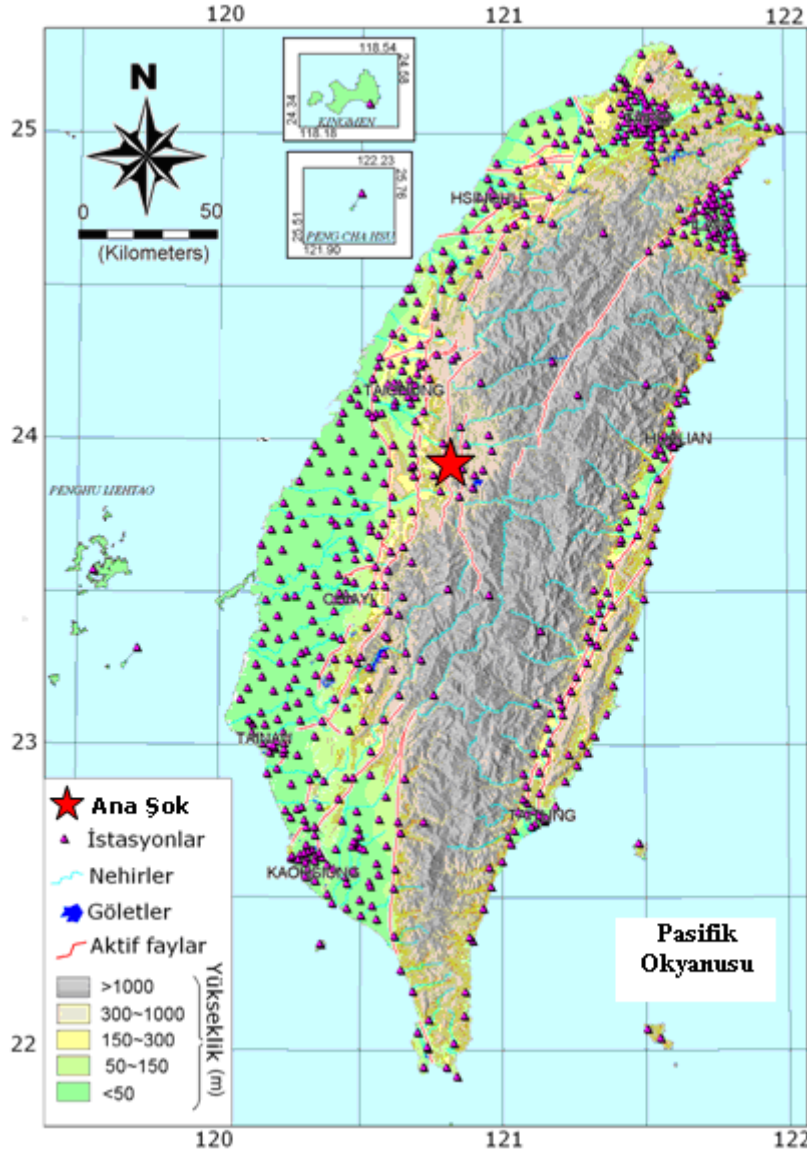
İvme ve zemin tipi arasındaki ilişkinin araştırılmasında kullanılacak Chi-Chi depremine ait kuvvetli yerhareketi kayıtları "Pasific Earthquake Engineering Research" in web sayfasından alınmıştır (www.peer.berkeley.edu). İlk olarak deprem odağından belirli bir uzaklıkta farklı zemin tipleri üzerinde bulunan istasyon kayıtlarının incelenmesi düşünülmüştür. Tek bir sabit uzaklıkta hemde farklı zeminler üzerinde yeterince istasyon bulunamaması nedeniyle belirli bir uzaklıkta küçük bir band aralığının alınmasına karar verilmiştir. Depremin oluş noktasından 40km lik uzaklıkta 5 km lik bir band aralığındaki istasyonlar seçilmiştir. Seçilen istasyonların kayıtlarından hesaplanan ivme değerleri zemin tiplerine göre Şekil 7 'de çizilmiştir. Şekil incelendiğinde bu 5km lik band aralığındaki istasyonların düşey bileşen kayıtlarında aynı tip zeminler üzerindeki ivme değerlerinin aşırı sıçramalar göstermediği



Şekil 4. Tayvan'ın genişletilmiş jeolojik haritası (Taiwan Central Geologic Survey' den değiştirilerek alınmıştır).

tesbit edilmiştir. Tüm zemin tipleri içerisindeki maksimum saçılma miktarı  $0.04g$  ( $\approx 39 \text{ cm/sn}^2$ ) olarak bulunmuştur.

Yatay bileşen kayıtları incelendiğinde ise saçılma miktarının çok daha fazla olduğu görülmüştür. "A" tipi zemin içerisinde yaklaşık  $0.07g$ , "B" tipi zemin içerisinde yaklaşık  $0.170g$ , "C" tipi zemin içerisinde yaklaşık  $0.200g$ , "D" tipi zemin içerisinde ise  $0.050g$  olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Tayvan kuvvetli yer hareketi ölçüm istasyonları dağılımı.

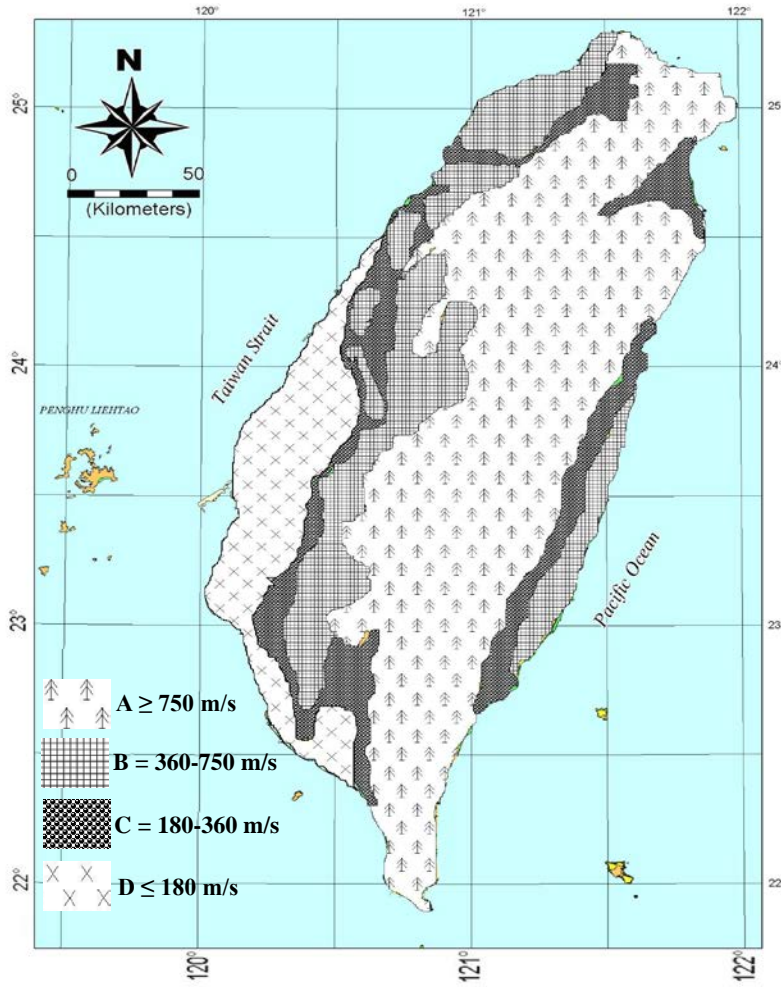
Özellikle “B” ve “C” tipi zeminlerde saçılma miktarı oldukça fazladır. Burada dikkat çekici özelliklerden bir tanesi ise “D” türü yani S dalgası hızının 180 m/sn den düşük olduğu zeminde saçılma miktarının kendinden daha sıkı olan zeminlere göre daha az saçılma göstermesidir. Bir diğeri ise “D” tipinde ölçülen ivme büyüklüklerinin yine “B” ve “C” tiplerine nazaran daha düşük olmasıdır. “D” tipi zeminde görülen yatay ve dikey bileşen değerlerinin birbirine yakın olması da sürpriz sonuçlardan biridir. Burada elde edilen sonuçlar her bir zeminin kendi içerisinde farklı dinamik tepkime gösterebileceğini doğrulamaktadır.

Çoğunlukla etüd çalışmalarında çalışılan sahada gözlenebilecek en büyük ivme değerleri için uzaklık ve magnitüde bağlı ampirik bağıntılar kullanılmaktadır. Bu bağıntıların doğrudan kullanımının ne kadar sağlıklı olduğunu incelemek için farklı uzaklıklarda aynı zemin tipleri üzerinde ölçülen ivme değerleri grafiklenmiştir (Şekil 8, 9, 10, 11).

Şekillerde izleneceği üzere tüm zemin tipleri için dikey bileşen kayıtlarında uzaklığa bağlı olarak yaklaşık %70-80 arası logaritmik bir ilişki mevcuttur. Dikey ivme için çok iyi bir ilişki olmamasına rağmen kabul edilebilir olarak alınabilir. Ancak yatay bileşenler dikkate alındığında mesafeye bağlı olarak net bir ilişkinin olmadığı açıktır. Daha öncede belirtildiği gibi zeminler kendi içlerinde farklı dinamik tepkime gösterebilirler.

## Tartışma ve Sonuç

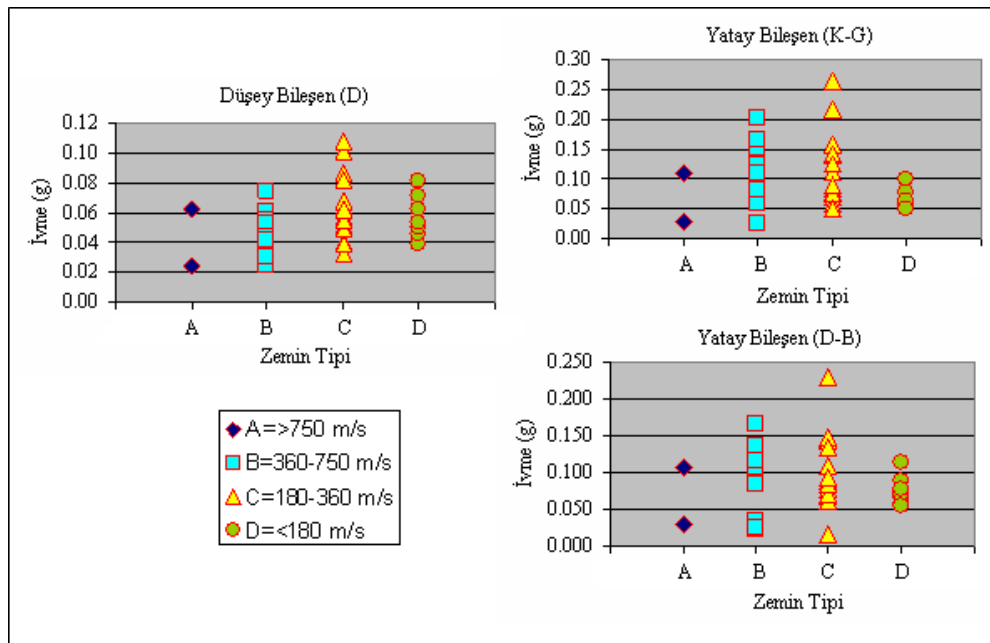
Aynı gözlem yerinde benzer büyüklükteki ayrı depremlerden hesaplanan en büyük ivme değerleri karşılaştırıldığında da ayrılıklar ortaya çıkabilmektedir. Gözlenmiş en büyük ivme değerleri, dış merkez uzaklığına göre tekdüze bir azalma göstermeyebilir. Bu gözlemler, yerel yer koşulları ölçüsünde deprem özelliklerinin ve deprem özellikleriyle yerel yer özelliklerinin karşılıklı etkileşiminin önemini gösterir. Yapı mühendisliği uygulamalarında deprem kuvvetlerini tanımlamak için en çok kullanılan yaklaşım, ivme kayıtlarından esnek mutlak ivme ve bağıl hız tepki spektrumlarının hesaplanmasıdır.



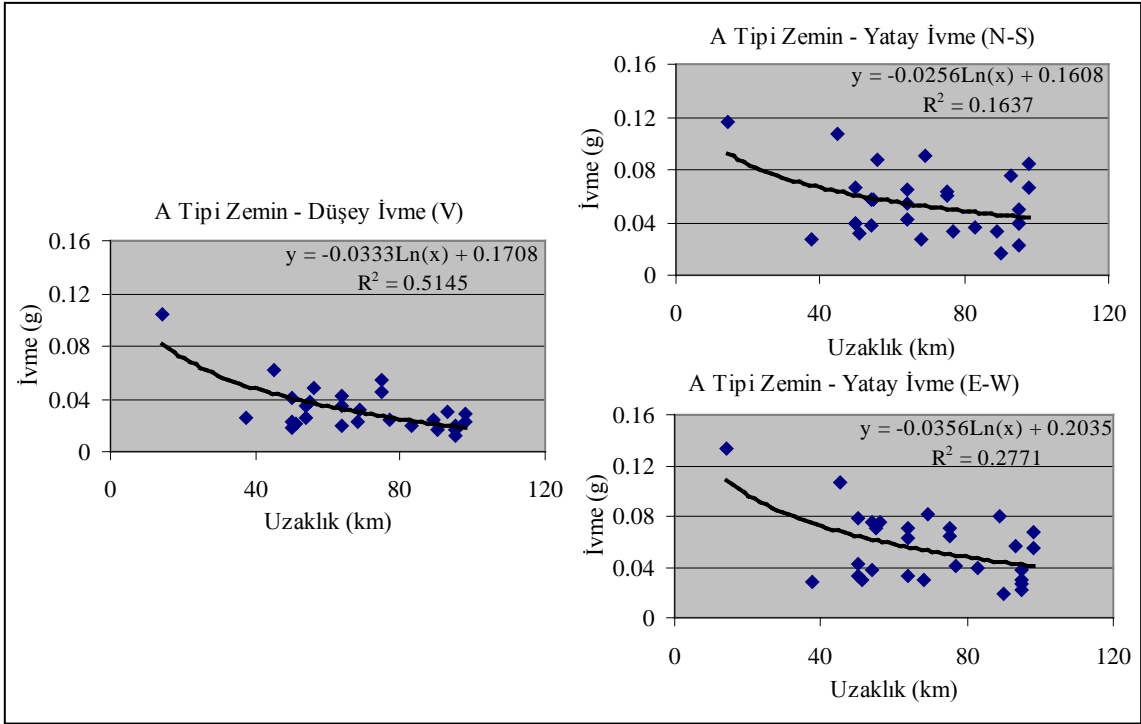
Şekil 6. USGS zemin sınıflamasına göre Tayvan.

Bu spektrumlardan yararlanarak yer baskın periyodu ve yer büyütmesi bulunabilir. Deprem kaydının tüm bileşenlerine özgü mutlak ivme spektrumları, o kayda özgü ivme değerine oranlanarak boyutsuz ivme oranları belirlenebilir. Bunun dışında depremlerde aynı noktada

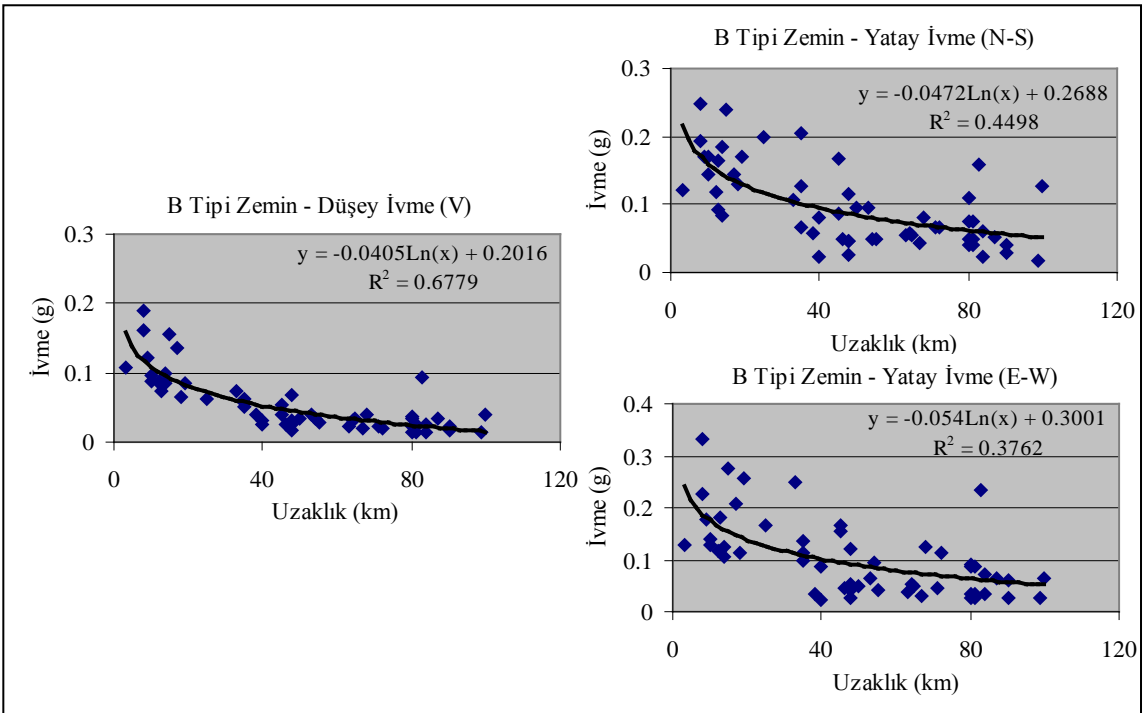
bulunan ivme kayıtlarından bulunan spektral ivme değişimlerinde de ayrılıklar olabilir.



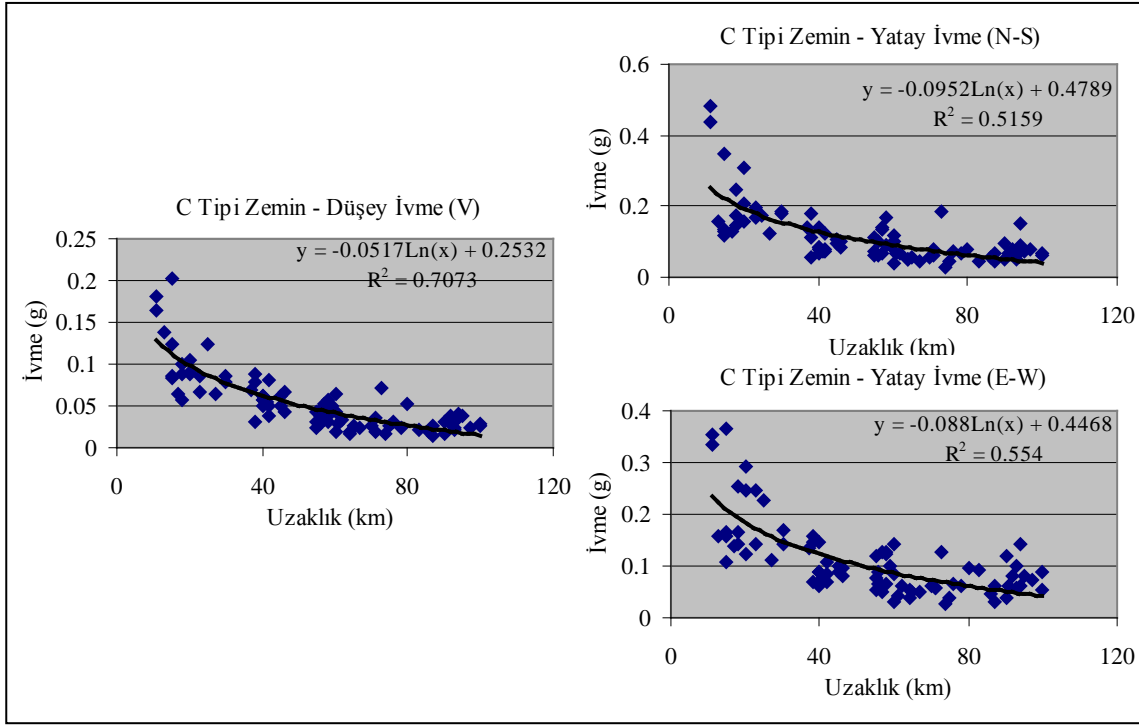
Şekil 7. Farklı zeminler üzerinde aynı uzaklıkta (40km uzakta 5km band aralığında) ölçülen ivme değerleri.



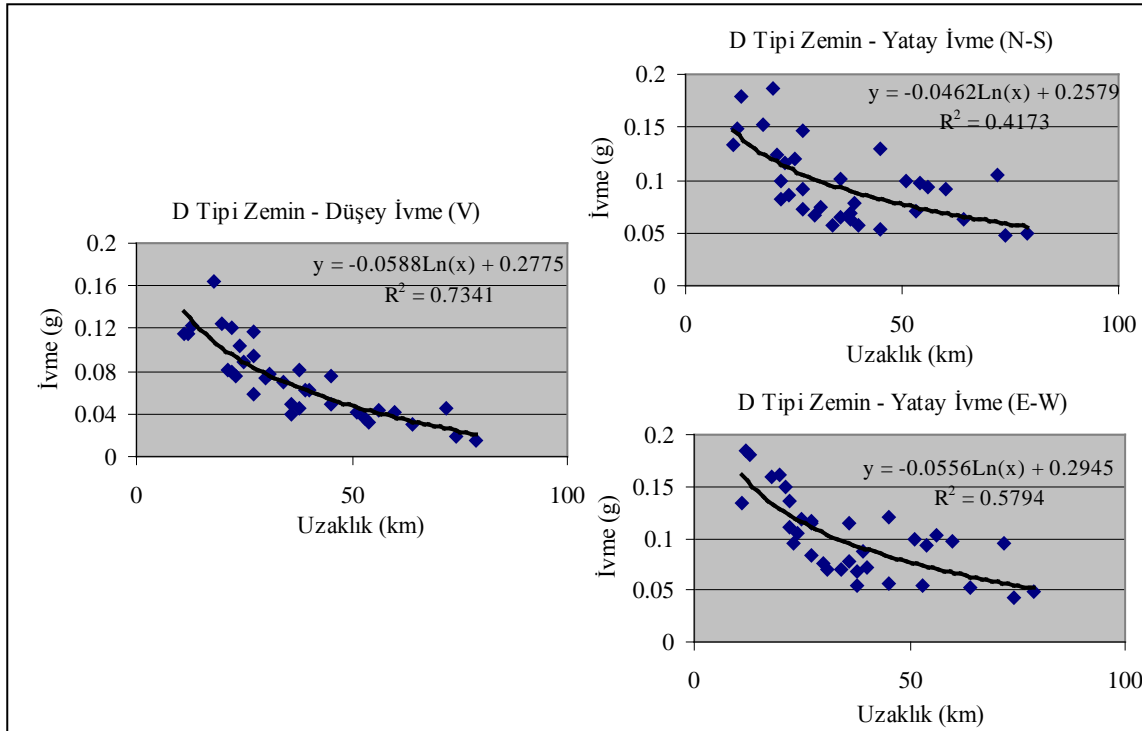
Şekil 8. Farklı uzaklıklarda "A" tipi zemin üzerinde ölçülen ivme değerleri.



Şekil 9. Farklı uzaklıklarda "B" tipi zemin üzerinde ölçülen ivme değerleri



Şekil 10. Farklı uzaklıklarda "C" tipi zemin üzerinde ölçülen ivme değerleri



Şekil 11. Farklı uzaklıklarda "D" tipi zemin üzerinde ölçülen ivme değerleri

Yer büyütmesi açısından ivme oranı spektrumları incelendiğinde, ayrı depremlerde değişik doğrultularda algılanan ivme kayıtları için önemli farklılıklarda gözlenebilir. Dolayısıyla, inşaat mühendisliği uygulamalarında, yapıların depreme dayanıklı tasarımında yerel yer koşullarının gerçekçi bir biçimde

belirlenmesinin yanı sıra, oluşacak bir depremin özellikleri konusunda da kapsamlı bir çalışma yapılması gereği ortaya çıkar [16,17,18,19,20,21,22,23].

Bunun yanı sıra deprem tasarım değişkenlerinin bunlara uygun olarak seçilmesinin, Jeofiziksel mikrobölgeleme



(microzonation) yönteminin uygulanmasının, ileride olabilecek bir depremde yapısal hasarları en aza indirmek için gerekli olduğunu açıkça ortaya koymaktadır [24]. Yalnızca deprem özelliklerinin incelenmesi yapısal hasarlarda gözlenen yerel ayrılıkları açıklamakta yeterli olmadığından, katman kalınlıkları ve yer katmanlarının dinamik özelliklerine bağlı olarak ayrılık gösteren yerel zemin özellikleri hasar dağılımında gözlenen ayrılıkların nedenlerinden biri olarak ortaya çıkar.

Bu depremde; (a) aynı uzaklıkta farklı zeminler üzerinde bulunan istasyonlardan elde edilen ivme kayıtları yatay ve düşey bileşenlerde "A" sınıfından "D" sınıfına doğru bir artış göstermektedir, (b) aynı uzaklıkta aynı zemin üzerinde farklı noktalarda bulunan istasyonlardan elde edilen ivme kayıtları birbirinden oldukça farklı değerler göstermektedir yani her bir zemin kendi içerisinde farklı dinamik tepkime gösterebilmektedir. Tanımlamaya çalışılan yerel zemin dinamik tepkime davranışlarının her birinin hesabı ve bu davranışların bir arada etkisinin değerlendirilmesi bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır. Bu önem, topraklarının tamamına yakın bir bölümü deprem kuşağında olan ülkemizde yaşamsal bir gereklilik olarak dikkate alınmalıdır.

## Kaynaklar

- [1]. Tsai, N. C., 1969. Influence of Local Geology on Earthquake Ground Motion. Thesis, Earthquake Eng. Res. Lab., California Institute of Technology, Pasadena, California.
- [2]. Okamoto, S., 1973. Introduction to Earthquake Engineering, University of Tokyo Press, Japan.
- [3]. Kalyoncuoğlu U. Y., Ozer M. F., Arı B., Altuncu S., 2005. Yeraltı yapısı etkisi ve depreme dayanıklı yapılaşma, Kocaeli Üniv. Deprem Sempozyumu 2005, Kocaeli.
- [4]. Seed, H. B., Ugas, C., Lysmer, L., 1976. Site-dependent spectra for earthquake-resistant design, Bull. Seism. Soc. Am. 66, 221-243.
- [5]. Teng, L.S., 1990. Geotectonic evolution of late Cenozoic arc – continent collision in Taiwan. Tectonophysics, 183, 57– 76.
- [6]. Chung, S. L., Sun, S. S., Tu, K., Chen, C. H., Lee, C. Y., 1994. Late Cenozoic basaltic volcanism around the Taiwan Strait, SE China: product of lithosphere–asthenosphere interaction during continental extension. Chem. Geol. 112, 1-20.
- [7]. Chung, S. L., Jahn, B.M., Chen, S. J., Lee, T., Chen, C. H., 1995. Miocene basalts in NW Taiwan: evidence for EM-type mantle sources in the continental lithosphere. Geochim. Cosmochim. Acta, 59, 549–555.
- [8]. Chung, S. L., Yang, T. F., Lee, C. Y., Chen, C. H., 1995. Igneous provinciality in Taiwan: consequence of continental rifting superimposed by Luzon and Ryukyu subduction systems. J. Southeast Asian Earth Sci. 11, 73–80.
- [9]. Suppe, J., 1981. Mechanics of mountain building in Taiwan., Mem.Geol. Soc. China 4, 67– 89.
- [10]. Angelier, J., Barrier, E., Chu, H.T., 1986. Plate collision and paleostress trajectories in a fold-thrust belt: the foothills of Taiwan. Tectonophysics 125, 161–178.
- [11]. Tsai, Y.B., 1986. Seismotectonics of Taiwan. Tectonophysics, 125, 17– 38.
- [12]. Ohsaki, Y., 1969. The effects of local soil conditions upon earthquake damage, 4 th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Mexico City.
- [13]. Seed, H. B. And Idriss, I. M., 1969. An analysis of the soil liquefaction in Nigita earthquake, Proc. ASCE.
- [14]. Das, B. M., 1982. Fundamentals Of Soil Dynamics, Elsevier press, USA.
- [15]. Lomnitz, C. And Rosenblueth, E., 1983. Seismic Risk and Engineering Decisions, Elsevier Press. USA.
- [16]. Elenas, A., 1997. Interdependency between seismic acceleration parameters and the behaviour of structures, Soil dynamics and Earthquake engineering, 16, 317-322
- [17]. Li, X. S., 1997. Rotational shear effects on ground earthquake response, Soil dynamics and Earthquake engineering, 16, 9-19
- [18]. Trifunac, M. D., Todorovska, M. I., 2001. A note on the usable dynamic range of accelerographs recording translations, Soil dynamics and Earthquake engineering, 21, 275-286.
- [19]. Trifunac, M. D., Lee, V. W., Todorovska, M. I., 1999. Common problems in automatic digitization of strong motion accelerograms, Soil dynamics and Earthquake engineering, 18, 519-530.
- [20]. Kim, D. S., Lee, J. S., 2000. Propagation and attenuation characteristic of various ground vibrations, Soil dynamics and Earthquake engineering, 19, 115-126
- [21]. Bozorgnia, Y., Berterov, V., 2001. Improved shaking and damage parameters for post-earthquake applications, Proceeding of the SMIP01 seminar on utilization of strong-motion data, Los Angeles, California.
- [22]. Chang, S. P., Makris, N., 2000. Effects of various energy dissipation mechanisms in suppressing structural response, 12WCEE.
- [23]. Motazedian, D., Atkinson, G., 2003. Ground-motion relations Puerto Rico, GSA Special Issue, Puerto Rico.
- [24]. Bour, M., Fouissac, D., Dominique, P., Martin, C., 1998. On the use of microtremor recordings in seismic microzonation, Soil dynamics and Earthquake engineering, 17, 465-474.