ZEMİN SINIFLAMASINDA KULLANILAN PARAMETRELERİN YETERLİLİĞİ

A.M. Eker[1], M.K. Koçkar[2] ve H. Akgün[3]

[1] *Doktora Öğrencisi, Jeoteknoloji Birimi, Jeoloji Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531, Ankara, Türkiye*
[2] *Doktor, Deprem Müh. Uygulama ve Araştırma Merkezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye*
[3] *Profesör, Jeoteknoloji Birimi, Jeoloji Müh. Bölümü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 06531, Ankara, Türkiye*
Email: meker@metu.edu.tr

ÖZET:

Zemin ve saha karakterizasyonunda, zemin profillerinin ilk 30 metresine ait kayma dalgası hızlarının harmonik ortalaması (Vs_{30}), çok kullanılan tasarım kodlarında var olan zemin sınıflama sisteminin en fazla yararlanılan bileşenlerinden biridir. Ancak yapılan araştırmalar neticesinde, alana özgü hesaplanan Vs_{30} verisinin zemin sınıflaması uygulamalarında her zaman geçerli bir şekilde çalışmadığı görülmüştür. Bu tür bir verinin saha koşullarının "mühendislik anakaya" açısından nispeten sığ olduğu durumlarda veya sıkı zemin koşulları ve basit yatay stratigrafi söz konusu olduğunda kullanılmasının daha uygun olduğu söylenebilir. Ancak, Vs_{30}'un derin sediman dolgulu havzalar gibi jeolojik ortamlarda zemin büyütme potansiyelini yeterli bir şekilde karakterize edip edemediği bir soru işaretidir. Derin havzalarda yapılan çalışmalar uygun bir yer hareketi öngörüsü elde etmek için sediman profilinin daha derin kısmının göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir. Asimetrik graben şeklinde gelişimini günümüze kadar tamamlayan Çubuk Havzası'nın kuzey bölümünde mikrotremor ve yüzey dalgası ölçümleri ile jeoteknik ve derin sondaj verileri kullanılarak zemin karakterizasyonu çalışmaları yapılmıştır. Bu kapsamda, Vs_{30} verisine ek olarak stratigrafi bilgisinin gerekliliği araştırılmıştır. Karakterizasyon çalışmaları sonucunda ortaya çıkan veriler Vs_{30} değerinin yanında stratigrafik bilginin zemin sınıflandırılması yöntemlerinde olması gerekliliğini; (i) farklı girdi parametrelerine dayanan sismik tasarım kodlarından, (ii) mikrotremor verilerinden ve (iii) özellikle derin sondaj loglarından elde edilen sonuçlarla ortaya koymuştur.

ANAHTAR KELİMELER: Vs_{30}, yüzey dalgası yöntemleri, sismik karakterizasyon, Mikrotremor, kayma dalgası hızı, sediman kalınlığı, çubuk.

1. GİRİŞ

Bir mühendislik sahası için sismik tasarı kriterini oluşturmada önemli unsurlardan birisi sismik kayma dalgası hızının (V_s) ölçülmesidir. Zeminin diğer fiziksel özellikleri ile birlikte kayma dalgası hızları, bu malzemelerin elastik özellikleri ve böylece de yerel depremlerden kaynaklı kuramsal yüklerine temelin sismik tepkisini belirlemede kullanılabilir (Schwarz ve Musser, 1972). Bu bağlamdaki ilgili malzeme özellikleri kayma ve sıkışma dalgası hızları ile hem zemin hem de kayanın yoğunluk ve doğrusal olmayan özellikleridir. Yer hareketlerine en fazla bilinen etkiyi yüzeyin binlerce metre derinliğindeki malzemelerin değişimi yaratıyor olsa da daha derin değişimler de etkili olabilir (Boore, 2006). Ancak günümüzde saha karakterizasyonu genellikle tek bir değerin, Vs_{30} değerinin, yani yüzeyden 30 m derinliğindeki kayma dalgası hızının belirlenmesine indirgenmiş durumdadır (Borcherdt, 1994). Bu değer bazı iyi bilinen bina tasarım kodlarında (IBC 2000-2003, UBC97, ve NEHRP) saha sınıflandırması yapmak ve zemin profilinin beklenen saha büyütmesi karakteristiklerini ve temel periyodunun hesaplamak için kullanılır. Ayrıca Vs_{30} değeri, mühendislik kaya derinliği ile birlikte yeni nesil

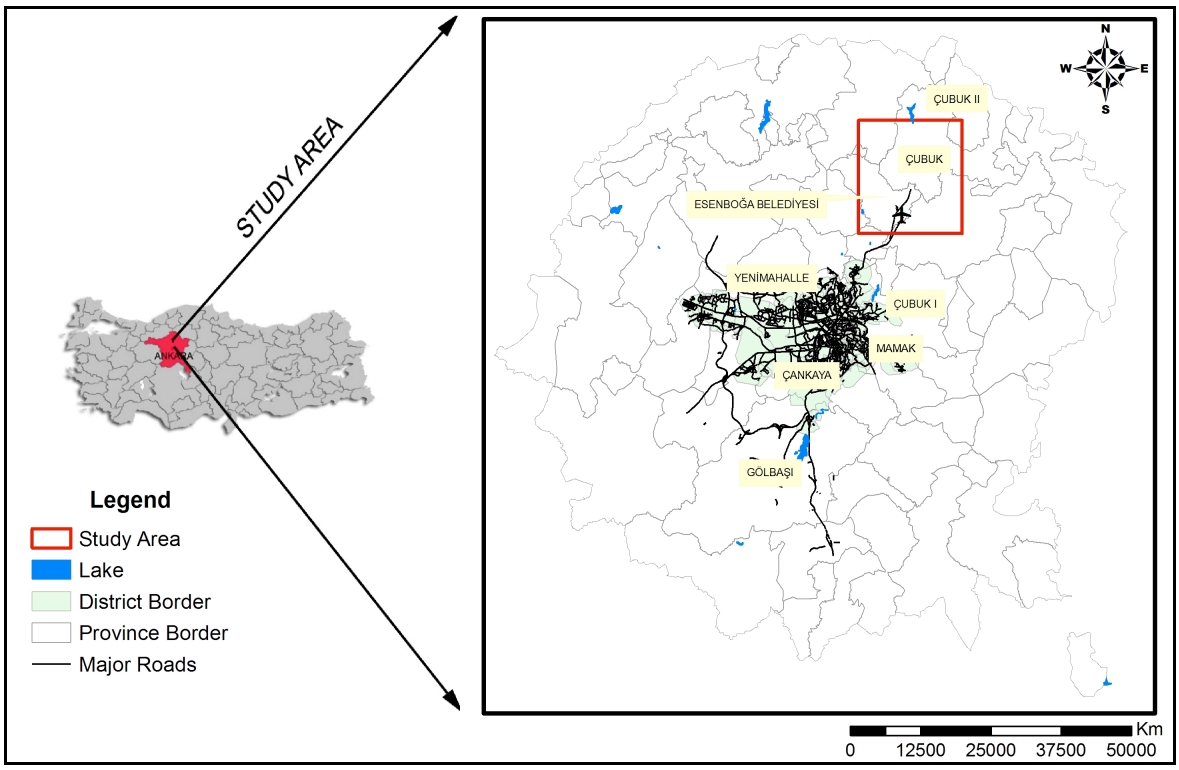
sönümlenme modelinde de bir saha sınıflandırması parametresi olarak da analizlere dahil edilmektedir (Abrahamson ve Silva, 2008).

Ancak, zemin ve saha karakterizasyonunda yalnız Vs_{30} değerinin temel alınması bir çok koşulda yanıltıcıdır. Bu değer, sadece asıl saha koşulları nispeten sığ "sismik anakaya" için uygun olduğunda veya sıkı zemin koşulları, düz stratigrafi söz konusu olduğunda kullanılmalıdır (Pitilakis, 2004). Ancak Vs_{30} değerinin derin sediman-dolgulu havzalar gibi jeolojik ortamlarda yerel büyütme potansiyelini yeterli bir şekilde karakterize edip edemediği bir soru işaretidir. Başka bir deyişle, yüzeydeki sismik yer hareketi davranışına derin jeolojinin tanımlanmış etkisi önemli bir sorun teşkil etmektedir. Ayrıca derin havzalarda yapılan güncel çalışmalar, uygun bir yer hareketi öngörüsü elde etmek için sediman sütununun daha büyük kısmının göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir (Bodin ve diğ., 2001; Liu et al, 2004; Nguyen ve diğ., 2004; Parolai ve diğ., 2006). Bu araştırmada yukarıda bahsedilenlerin doğruluğu, Ankara'nın kuzeyindeki Çubuk Havzası için yapılan sismik karakterizasyon çalışmalarında uygulanan farklı sismik kodlar (IBC 2003 ve TSC 1998) sayesinde ortaya konmuştur.

Bu çalışmanın ana amacı, Çubuk ilçesi ve yakın çevresi için yerel saha etkilerini belirlemek, dinamik zemin özelliklerini karakterize etmek ve Üst Pliyosen - Pleistosen akarsu çökelleri ile özellikle Kuvaterner alüvyon çökelleri için bir sismik karakterizasyon haritası oluşturmaktır. Bu ana çalışmada, farklı lokasyonlarda Titreşimcik Dizilim Yöntemi (Microtremor Array Method - MAM) Yüzey Dalgalarının Çok-Kanallı Analizi (Multi-Spectral Analysis of Surface Wave - MASW) yöntemi gibi tahribatsız (non-invasive) sismik yöntemler kullanılarak sediman koşulları belirlenmiş ve zemin profilleri karakterize edilmiştir. Vs ölçümlerini daha derin tabakalar için gerçekleştirirken daha sığ derinliklerde yüksek çözünürlüğü koruyabilme amacıyla aktif ve pasif yüzey dalgası yöntemlerinin birlikte (kombine) kullanılması yoluna gidilmiştir. Ayrıca, bölgedeki zayıf zeminlerin hâkim titreşim periyodları ve zemin büyütme oranları zeminin doğal sismik gürültüsünün titreşimcik yöntemi aracılığı ile ölçülmesi yoluyla belirlenmiştir. Bu çalışmaların tamamı bu çalışma esnasında ve öncesinde gerçekleştirilmiş olan jeolojik, hidrojeolojik, mühendislik jeolojisi / jeoteknik alan çalışmaları ve jeoteknik sondaj çalışmaları ile desteklenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Çalışma alanı temel olarak Ankara'nın yaklaşık 40 km kuzeyinde yer alan Çubuk Ovası'nın kuzey kısmı olmakla birlikte Çubuk ilçesi ve ilçenin yakın çevresini kapsamaktadır. Çalışma alanı yaklaşık 120 km^2'dir Çubuk ilçesinin yanı sıra, batıda Güldarpı, Yazır ve Ağılcık, doğuda Sünlü ve Taşpınar'ın batı kısmı, güneyde Esenboğa'nın kuzeyi ile kuzeyde Aşağı Çavundur'un güneyi olmak üzere bir çok köyü kapsamaktadır. Çalışma genellikle konutların yer aldığı orta yoğunlukta yerleşime sahip ve bunlardan daha az sayıda orta - büyük ölçekli sanayi tesislerinin yer aldığı, Ankara'nın tek sivil havaalanı olan Esenboğa havaalanının bulunduğu ve gelecekte kentleşmenin hızla artma olasılığının yüksek olduğu bir alanda gerçekleştirilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının yer bulduru haritası.

3. YÖNTEM

Bu ana çalışmada, farklı lokasyonlarda Titreşimcik Dizilim Yöntemi (Microtremor Array Method - MAM) Yüzey Dalgalarının Çok-Kanallı Analizi (Multi-Spectral Analysis of Surface Wave - MASW) yöntemi gibi tahribatsız (non-invasive) sismik yöntemler kullanılarak sediman koşulları belirlenmiş ve zemin profilleri karakterize edilmiştir. Bu sonuçlar jeoteknik veri tabanı ile karşılaştırılmıştır (Eker, 2009).

Titreşimcik ölçümleri 1 saniye doğal periyodu olan üç yönlü UP-255s sismometreye bağlı bir NS/A model diz üstü bilgisayar ile kaydedilmiştir. Ölçümlerin tamamı yükseltici kullanılarak alınmıştır. Titreşimcik ölçümleri her noktada 100 Hz frekans örnekleme aralığı kullanılarak 5 dakika boyunca kaydedilmiştir. Alınan ölçümlerin kaliteleri, Eker (2009) ve Akgün ve diğ. (2009)'da da belirtildiği üzere kayıt esnasında dizüstü bilgisayar aracılığı ile eş zamanlı olarak kontrol edilmiştir. Çubuk Ovasının kuzey kısmındaki farklı litolojilerin dinamik tepkilerini kestirmek için ortam gürültüsü kayıtları toplam 106 noktada ölçüm alınmıştır. Bu ölçümler, yaşları Kuvaterner ve Geç Pliyosen - Pleistosen olan sedimanter çökellerde ve ayrıca temel kayada alınmıştır.

Çubuk Ovası'nın kuzey kısmındaki farklı litolojilerin sismik karakterizasyon çalışmaları kapsamında 51 farklı noktada 92 adet yüzey dalgası ölçümü alınmıştır. Hem pasif (MAM) hem de aktif (MASW) yüzey dalgası yöntemleri ile toplam 41 yerinde ölçüm alınmıştır. Bunların yanı sıra, daha derin zemin profillerini karakterize etmek için 10 noktada sadece pasif yüzey dalgası yöntemi uygulanmıştır. Jeolojik alanları yaşları ve çökelim ortamlarına göre karakterize etmek için bu ölçümler Pliyo-Kuvaterner sedimanlarda alınmıştır. Ölçümlerin tamamı 12 adet 4.5 Hz doğal frekanslı düşey jeofon ile 5 m jeofon aralığı kullanılarak doğrusal dizilim ile alınmıştır. Çivili jeofonlar bir serim kablosu aracılığı ile ABEM-RAS 24 model sismografa bağlanmıştı.

Kaydedilen ölçümlerin kaliteleri kaydın alınmasının hemen ardından öncel olarak bir dizüstü bilgisayar aracılığı ile kontrol edilmiştir.

MASW ölçümlerinde, kaynak 6 kgf (13.2 lbf) balyozun 0.35 x 0.35 m plakaya vurulması ile elde edilmiştir. Yanal homojenliğin sürerliliğini sağlamak için kaynak ölçüm hattının her iki ucunda da üretilmiş ve elde edilen dağılım-frekans eğrileri karşılaştırılmıştır. Çevrenin arka plan gürültüsünü ortadan kaldırmak için sinyal-gürültü oranını arttırmak (yani veri kalitesini arttırmak) amacı ile her dizilimin her atışında 3 ile 5 defa düşey vuruş gerçekleştirilmiştir. Üretilen yüzey dalgalarının kaydedilmesi için kayıt uzunluğu 1 ms örnekleme aralığı ile 2 saniye olarak seçilmiştir. Ters çevrim aşamasında girdi parametresi olarak deneysel saçılma eğrisini elde etmek üzere faz kayması dönüşümü yöntemi (Park ve diğ., 1999) kullanılmıştır. Pasif kaynaklı yüzey dalgası (MAM) yönteminde ise, ortam gürültüsü yaklaşık 9 adet 32 s'lik kayıtlara denk gelen yaklaşık 5 dakikalık süreler olarak alınmış, örnekleme zaman aralığı 2 ms olarak seçilmiştir. Dağılım eğrisini oluşturmak için SPAC (Spatial Autocorrelation - Mekansal Otokorelasyon) analizi (Okada, 2003) uygulanmıştır. Faz hızı eğrilerine doğrusal olmayan en küçük kareler tekniği kullanılarak bir boyutlu ters çevrim işlemi uygulanmış ve 30 m derinliğe kadar bir boyutlu S-dalgası hız yapısı elde edilmiştir (Eker ve diğ., 2012). Eker ve diğ. (2010 ve 2012)'de de belirtildiği üzere, Vs ölçümlerini daha derinler için de gerçekleştirirken daha sığ derinliklerde yüksek çözünürlüğü koruyabilme şartını karşılamak amacıyla aktif ve pasif yüzey dalgası yöntemlerinin birlikte (kombine) kullanılması yoluna gidilmiştir.

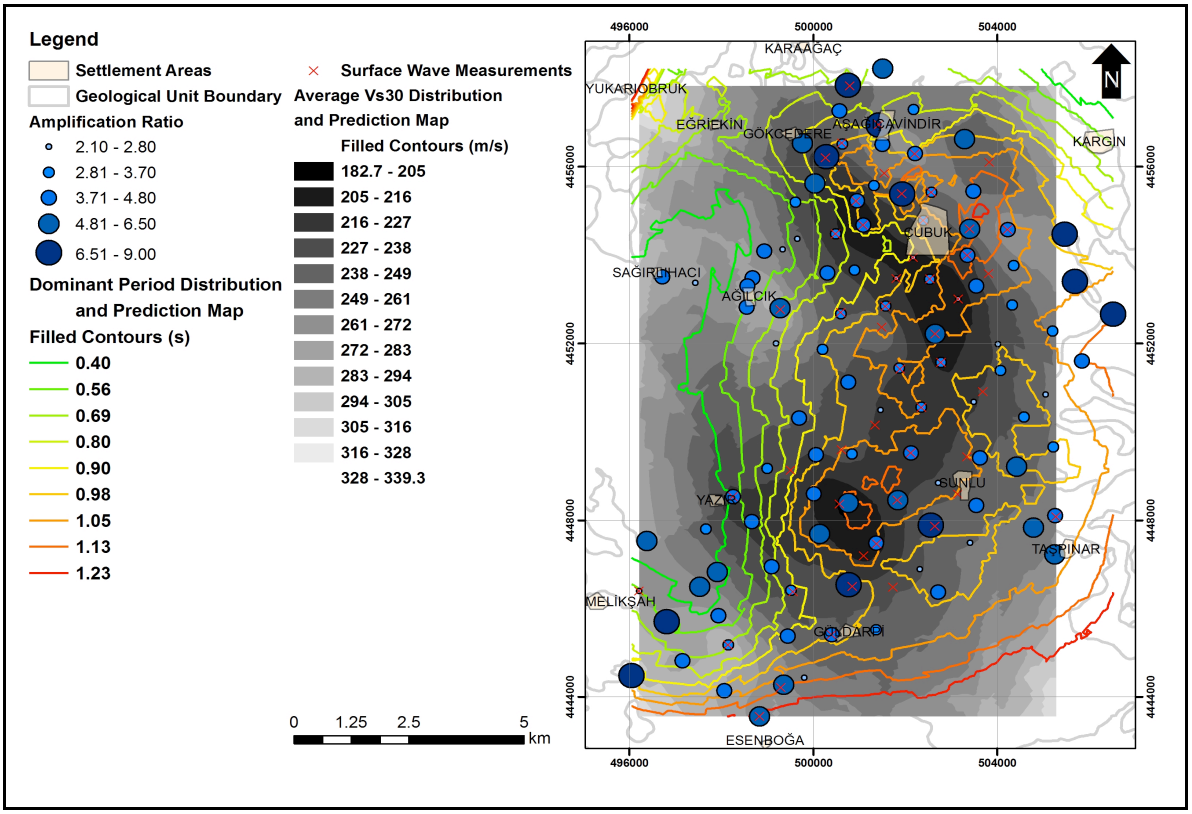
3.1. Sismik Tasarım Koduna Dayanan Sınıflandırma

Saha koşullarını göz önünde bulunduran IBC 2006 (International code council, ICC, 2006) ve TSC 1998 (Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, 1998) tasarım kodlarına göre ölçüm sahalarını sınıflandırmak için ortalama kayma dalgası hızı sonuçları ve eğer varsa sondaj verisi ile kayma dalgası hızının zemin profilleri ile karşılaştırılmaları kullanılmıştır. Yapıların sismik tasarımı için kullanılan teknikler incelendiğinde, sismik kodlar arasında, IBC 2006 kabul edilebilir bir hassasiyet, doğruluk seviyesi ve uyumluluğa sahip olarak güncel temel bilgileri ve teknolojiyi yansıtsa da, saha karakterizasyonunda zemin profilinin sadece en üst 30 metresi için olan gerekli jeolojik, jeoteknik ve jeofizik parametrelerinin ortalama değerleri kullanılmaktadır. Bu nedenle, özellikle kalın yumuşak sediman çökeller için yapılan saha sınıflandırmasında hem kayma dalgası hızı hem de stratigrafik veriyi kullanan TSC (1998) kullanılmalıdır (Koçkar ve diğ., 2010, Eker ve diğ., 2012). Bundan dolayı, saha sınıfları IBC'nin yanı sıra TSC'ye göre de atanmıştır. TSC 1998 saha sınıflaması sistemi, tabakaların kayma dalgası hızlarının derinlikle birlikte arttığı varsayımını yapmaktadır. Ancak doğada durum genellikle bu değildir. Bu nedenle, saha sınıfının belirlenmesi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Bu çalışmada, zemin profilinin üst kısmında yer alan fark edilebilir kalınlığı olmayan ara-tabaka (2.5m'den az) saha sınıfı ataması çalışmaları esnasında göz önünde bulundurulmamıştır. IBC 2006 sismik tasarım koduna göre sahaları sınıflamak için Denklem (1) kullanılarak Vs parametrelerinin ortalaması hesaplanmıştır. Aşağıda verilen gösterimlerin zemin profilinin en üst 30 m'si için geçerli olduğuna dikkat edilmelidir. Açıkça farklılık gösteren zemin tabakaları içeren profiller 1'den n'ye kadar bir aralık belirlenerek alt tabakalara ayrılmıştır ve en üst 30 m'de n tane ayrı tabaka elde edilmiştir. Gösterilen "i" sembolü 1 ile n arasındaki tabakalardan herhangi birine tekabül etmektedir.

$$\overline{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} \frac{d_i}{V_{si}}} \qquad (1)$$

Bu denklemde, Vs, kayma dalgası hızı (m/s) ve d_i ise 0 ila 30 m arasındaki herhangi bir tabakanın kalınlığıdır ve zemin profilinin toplam kalınlığı 30 m'dir.

IBC 2006 saha karakterizasyonunda, zeminlerin tanımlanması için standart penetrasyon direnci, N; drenajsız kesme mukavemeti, S_u; ve ortalama kayma dalgası hızı, Vs_{30}, olmak üzere üç parametre birlikte veya münferit olarak kullanılır. TSC 1998, zemin tanımlaması açısından IBC 2006 ile benzerlikleri vardır, küçük bir farklılık olarak TSC 1998 zemin tanımlamasında, ek bir sınıflandırma kriteri olarak nispi yoğunluğu içermesidir. Sonuç olarak, zemin profili içerisinde bu parametrelerin değişimi kullanılarak belirli bir sahaya yerel saha sınıfı atanır. TSC 1998'de ilk adımda sahalar dört ana kategoriye ayrılır. Ardından, zemin sütunu bilgisi kullanılarak zemin profilleri dört farklı kategoride sınıflandırılır. Bu adım, zemin sınıflandırma süreci esasında iki kod arasındaki ana farklılıktır. IBC koduna göre alanın tamamına D saha sınıfı atanmışken (Şekil 2), stratigrafi bilgisi göz önünde bulundurularak TSC 1998'e göre alan üç farklı zemin sınıfına ayrılmıştır (Z2, Z3 ve Z4). İki tasarım kodu arasındaki bu denli farklılık, stratigrafik bilginin (zemin kalınlığı bilgisinin), zemin sınıflandırma işlemindeki önemini ortaya koymaktadır.



Şekil 2. Jeofizik yüzey dalgası ölçümü sonuçlarının alan genelinde karşılaştırılması.

3.2. Sismik Verilerin Mikrotremor Verileriyle Karşılaştırılması

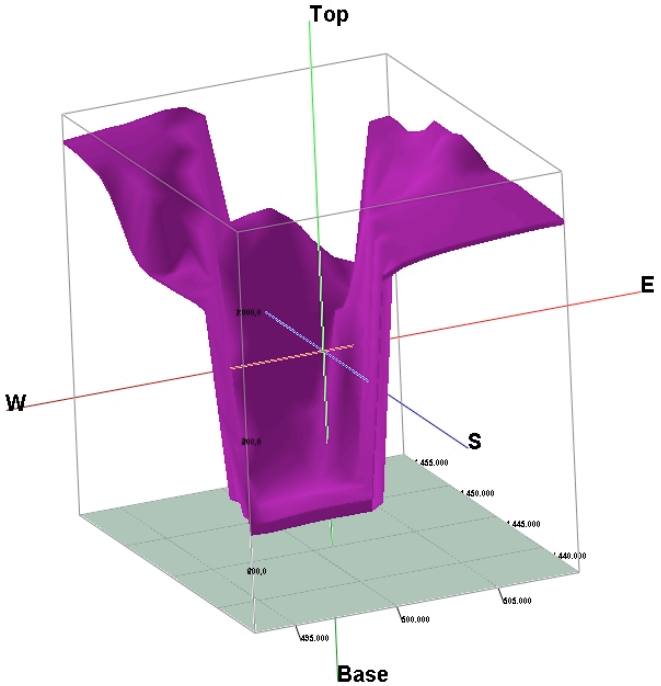
Zemin profilinin en üst 30 metresi için olan kayma dalgası hızı değerlerinin alanları düzgün şekilde sınıflandırmak için yetersiz olduğu ve bu değerlerin yumuşak sedimanların kalınlıklarının çok fazla olmasından dolayı titreşimcik kayıtlarından elde edilmiş olan H/V sonuçları ile denetleştirilemediği görülmüştür. Ayrıca, fay kontrollü bölgedeki yüksek temel periyotlar ve düşük büyütme oranları, özellikle kalık yumuşak sediman tabakasını barındıran ovanın orta kısmında gerçekleşebilecek potansiyel bir uyarma ile bir basen etkisinin görülebileceğini göstermektedir. Yeraltı düzensizliklerinin (non-linearity) yönelimi özellikle basenin batı tarafı için ölçülen temel ölçümleri ile belirlenmiştir. Bu sonuçlar yerel zemin sınıflandırması prosedürünün sadece sığ jeoteknik ve jeofizik arazi deneylerinden elde edilen verilere dayanılarak uygulanmaması gerektiğini göstermektedir.

Alınan mikrotremor ölçümlerinin Nakamura tekniği ile analizinden sonra (Nakamura, 1989), alanda değerleri 0.22'den 1.34 saniye arasında değişen ve beklenenden daha yüksek hâkim titreşim periyodları gözlemlenmiştir (Şekil 2). Bu durumun fay kontrollü basende (Tabban, 1976; Koçyiğit and Türkmenoğlu, 1991; Eker, 2009 ve Eker ve diğ., 2012) ve çevresindeki kalın pekişmemiş sediman çökelleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. İki nokta arasındaki göreceli büyütme değerleri analiz edilmiştir. H/V pik değerleri birbirine yakın mesafedeki noktalarda dahi farklılık göstermekte ve 2.1 ile 9 arasında değişmektedir (Şekil 2). Yüksek büyütme değeri, ilgili rezonans frekanslarında gevşek ve sıkı malzeme arasında empedans kontrastının mevcut olduğunun bir göstergesi olabilir (Lacave ve diğ., 1999; Oliviera, 2004; Pitilakis, 2004 and Chavez-Garcia, 2007). Şekil 2 incelendiğinde, yumuşak sedimanlarla örtülü daha sıkı birimler basenin merkezinden sınıra doğru uzaklaşıldıkça yüzeye daha yakın olduğundan, büyütme oranı basenin sınırına doğru artmaktadır. Ayrıca, basenin merkezinde yüksek büyütme oranları gözlemlenmiştir. Ancak, Şekil 2'de de gösterildiği üzere, basenin merkezinde genellikle topoğrafya (vadi) etkisinden dolayı nispeten daha düşük büyütme oranları baskın bir şekilde görülmektedir. Büyütme oranı sonuçları nispeten düşük kayma dalgası hızı değerlerine sahip olan basenin merkezi civarında yer alan noktalarda genellikle çok yüksektir ve basenin sınırında yer alan noktalarda yüksek empedans kontrast söz konusudur (Şekil 2). Ancak bu tür farklılıklar Şekil 2'de de görüleceği üzere, bu çalışma alanı için zemin kayma hızı profilinin sadece en üst 30 metresi için olan gerekli jeolojik, jeoteknik ve jeofizik parametrelerinin ortalama değerleri kullanılmasıyla ortaya konamamaktadır.

3.3. Sismik Verilerin Derin Sondaj Verileriyle Karşılaştırılması

Ovanın orta kısmı tektonik hareketlerden ciddi şekilde etkilenmiştir ve KD-GB yönelimli normal faylar boyunca çökmüştür. Basenin batısı ve doğusunda yer alan faylar bölgede asimetrik bir graben yapısının gelişmesine neden olmuştur. Çöküntü alanında hem gölsel hem de akarsu kaynaklı sedimanlar ve çöküntü alanlarında volkanik ara tabakalanmalar mevcuttur (Koçyiğit ve Türkmenoğlu, 1991). Bu gözlem DSİ (1979) tarafından gerçekleştirilmiş olan derin sondajların bilgileri ile kontrol edilmiştir. Bu çalışmaya göre 3D model oluşturmak için alana düzenli şekilde dağılmış yedi adet derin sondaj verisi kullanılmıştır. Modelin oluşturulması aşamasında temel kayanın üst sınırı alan genelindeki derin sondajlardan elde edilen bilgiler doğrultusunda belirlenmiştir. Yüzey altındaki temel kayası geometrisi anizotropik ters uzaklık ağırlıklandırılması (IDW - Inverse Distance Weighting) yöntemi ve kontrol noktalarına (sondaj noktalarına) verilen yüksek bağlılık seçeneği ile oluşturulmuştur ve böylelikle kontrol noktalarına daha fazla ağırlık verilmiş ve filtre boyutu ile iterasyon seçenekleri aracılığıyla karelaj geçişleri yumuşatılmıştır. Her karelaj hücresindeki (25 m x 25 m) ortalama temel kayası derinliğini hesaplamak için bu parametreler 2 olarak seçilmiştir. Basit temel kayasının alandaki dağılımını 3 Boyutlu olarak gösteren model Şekil 3'de verilmiştir.

Alan genelindeki temel periyodun dağılımı temel kayanınki ile karşılaştırıldığında, bu iki değerin birbirleri ile yüksek korelasyona sahip olduğu görülmektedir. Yani 300 m' den daha derin temel kayası derinliklerinin olduğu alanlarda (Güldarpı Köyü civarında basenin merkezinde) temel periyot nispeten daha yüksek değerler alır. Ancak temel periyot temel kayanın yüzeye yaklaşmaya başladığı alanlarda (özellikle basenin batı kısmında) kademeli olarak azalır.



Şekil 3. Çalışma alanındaki temel kayanın basitleştirilmiş 3 boyutlu geometrisi.

4. TARTIŞMALAR VE SONUÇLAR

Pliyo-Kuvaterner genç, yumuşak ve nispeten pekişmemiş olan birimlerin kalınlığı fay aktivitesinden dolayı beklenmedik seviyede fazladır. Özellikle Kuvaterner sedimanlar 55 m derinliğe kadar düşük bir yönelim takip ederler. Ölçülen zemin profilinin daha derin kısımlarına doğru (30 m'den daha derin) tabakaların Vs sonuçları 55 m derinlikte dahi 750 m/s' den daha düşüktür (bu değer mühendislik temel kayasına tekabül etmektedir). Yani mühendislik ana kayası veya temel kayası 55 m' den daha derindir. Ayrıca, bu alanlar mühendislik ana kaya koşulunu karşılamayan düşük kayma dalgası hızlarına sahiptir. Ciddi oranda düşük Vs_{30} değerlerine sahip test noktalarının büyük kısmı fayların olası deformasyon zonlarının yer aldığı akarsu alanlarında yer almaktadır (Şekil 2). Bu nedenle, sedimanların yaşa, çökelim ortamına ve litolojiye göre sınıflandırılmasının yanı sıra çalışma alanında sedimanların sıkılık karakteristikleri üzerinde yapısal unsurların da önemli bir etkisi olduğu düşünülmektedir.

Alanda gerçekleşmiş olan tektonik aktiviteler sonucunda son halini alan alandaki çökelim ortamı niceliksel olarak analiz edilmiş ve sonuçlar pekişmemiş, kalın sedimanların bölgede çok geniş bir alana yayılmış olduğunu göstermiştir. Alandaki jeolojik yapısal unsurların (normal faylar) varlığı, deformasyon zonları ve teras sedimanların aşırı çökelimi ile geniş alana yayılmış Üst Pliyosen ve Pleistosen sedimanter birimler analiz edilerek ve in-situ (yerinde) deneyler yapılarak belirlenmiştir. Özellikle Kuvaterner sedimanların kayma dalgası hız profilleri 55 m' ye kadar düşük bir yönelim izlemektedir (Eker, 2009 ve Eker ve diğ. 2012). Ancak aynı durum, faylar ve bu fayların deformasyon zonlarından dolayı teras sedimanları ile daha yaşlı olan Üst Pliyosen ve Pleistosen akarsu çökelleri için de gözlemlenmiştir (Eker ve diğ. 2012). Yakın dönem çökelim birimleri [alüvyal çökeller (Kuvaterner alanlar) ve akarsu çökelleri (Üst Plioyosen - Pleistosen alanlar)] Vs_{30} verisini temel alarak uygulanan IBC 2006 tasarım koduna göre D sınıfı saha olarak atanmıştır (180-360 m/s arası). Ancak, çalışma alanındaki ölçüm noktaları sadece tek bir zemin sıkılık parametresi (Vs_{30}) kullanılarak ayırt edilemez.

Zemin sınıflandırmasında Vs_{30} verisini göz önünde bulunduran sismik tasarım kodlarına göre Türk Tasarım Kodu gibi stratigrafik bilgilerin göz önünde bulundurulduğu kodlar sahaları kategorize etme işleminde önemli avantaj sağlamaktadır. Bu gibi bir sınıflandırma prosedürü gerçekleştirmek için, titreşimcik ölçümleri ve özellikle de temel periyot verisi bu ölçümün sonuçları Vs_{30} verisinin bağımsız bir dağılımını gösterdiğinden, bu süreç esnasında bir sınıflandırma parametresi olarak kullanılabilir. Yani, bu iki veri alanları daha doğru şekilde kategorize etmek için birlikte kullanılabilir.

TEŞŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışma kapsamında sağladığı finansal kaynaktan dolayı Orta Doğu Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projelerine (BAP-2007-03-09-05) teşekkürlerini sunarlar. Yazarlar, çalışmada yapılan arazi deneylerine verdikleri katkılardan dolayı özellikle Kaya Mühendislik, Danışma, Taahhüt ve Ticaret Ltd. şirketine ve Sayın Mete Mirzaoğlu' na teşekkür ederler. Ek olarak, Sayın Selim Cambazoğlu, Sayın Ayten Koç ve Sayın Evrim Sopacı' ya bu çalışma kapsamındaki yardımlarından ve katkılarından dolayı teşşekkürlerini sunarlar. İlk yazar, lisans sonrası çalışmaları sırasında sağladığı maddi destekten ötürü Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na (TÜBİTAK) teşekkürü bir borç bilir.

KAYNAKLAR

Abrahamson, N., ve Silva, W. (2008). Summary of the Abrahamson & Silva NGA Ground-Motion Relations. Earthquake Spectra, Vol.24, No.1, pp.67-97.

Akgün H., Eker, A.M. ve Koçkar M.K.(2009). A comparison of local site conditions of the Plio-Quaternary Sediments situated towards the North of Ankara with microtremor measurements. Sakarya International Symposium of Earthquake Engineering, the Learning Outcomes of Marmara Earthquake in the First Decade, 1-2 October, CD, 2009, 620-629.

Bodin P, Smith K, Horton S, Hwang H, 2001, "Microtremor Observations of Deep Sediment Resonance in Metropolitan Memphis, Tennessee", Eng. Geol. 62, 159– 168.

Boore, D.M. (2006). Determining Subsurface Shear-Wave Velocities: A Review. Third International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion Grenoble, France, p: 103.

Borcherdt, R.D. (1994). Estimates of Site-Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification), Earthquake Spectra, 10, 617–653.

Chavez-Garcia, F.J., 2007, "Site Effects: From Observation and Modeling to Accounting for Them in Building Codes", Earthquake Geotechnical Engineering, pp. 53-72.

DSİ., 1979 , "Hydrogeological Report of Çubuk Plain". General Directorate of the State Hydraulic Works, Geotechnical Service and Groundwater Chief Office Publication.

Eker, A.M. (2009). Determination of the dynamic characteristic and local site conditions of the Plio-Quaternary sediments situated towards the North of Ankara through surface wave testing methods. M.Sc. Thesis, METU, p145.

Eker, A.M., Akgün H. ve Koçkar M.K. (2010). A comparison of local site conditions with passive and active surface wave methods. Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics Symposium in Honor of Professor I. M. Idriss San Diego, CA., May 24-29, 2010.

Eker, A.M., Akgün H. ve Koçkar M.K. (2012). Local site characterization and seismic zonation study by utilizing active and passive surface wave methods: A case study for the northern side of Ankara, Turkey. Engineering Geology,151, 64-81.

General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA). 2008. 1/25000 scaled digitized geological map archive.

International Code Council (ICC). (2006). International building code, structural and fire and life-safety provisions (seismic, wind, accessibility, egress, occupancy and roof codes). Whittier, CA.

Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI) Earthquake Records. /2011). http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/map/tr/index.html.

Koçyiğit, A. and Türkmenoğlu, A.G. (1991). Geology and mineralogy of the so-called "Ankara Clay Formation": a geologic approach to the "Ankara Clay Problem". In: Zor, M. (Ed.), 5th National Clay Symposium, 16–20 September 1991, Eskişehir, Proceedings, 112-126.

Koçkar, M.K., Akgün, H., Rathje, E.M., 2010. Evaluation of site conditions for the Ankara Basin of Turkey based on seismic site characterization of near-surface geologic materials. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 30 (1–2), 8–20.

Kupan, İ.H. (1977). Ankara'nın kuzeyindeki Çubuk Ovası'nın yeraltısuyu etüdü, Ph.D. Thesis, İstanbul University, İstanbul, 130 p (in Turkish).

Lacave C., Bard P.-Y.,. Koller M.G. (1999). Microzonation: techniques and examples. Block 15: Naturgefahren-Erdbebenrisiko (electronic book on the Internet; http://www.ndk.ethz.ch/downloads/publ/publ_B115/Koller.pdf), 23 pp.

Liu, Y., Luke, B., Pullammanappallil, S., Louie, J., and Bay, J., 2004, "Combining Active- and Passivesource Measurements to Profile Shear-Wave Velocities for Seismic Microzonation", Submitted to Geofrontier.

Nakamura, Y., 1989, "A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface sing Microtremor on the Ground Surface", Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), 30, 1.

Nguyen, F., Van Rompaey, G., Teerlynck, H., Van Camp, M., Jongmans, D. and Camelbeeck, T., 2004, "Use of Microtremor Measurement for Assessing Site Effects in Northern Belgium-Interpretation of the Observed Intensity During the Ms=5.0 June 11 1938 Eearthquake", Journal of Seismology 8 (1), 41–56.

Okada, H. (2003). The microtremor survey method, Geophysical Monograph Series no. 12. Published by Society of Exploration Geophysicists (SEG), Tulsa.

Oliveira, CS., 2004, "The Influence of Scale on Microzonation and Impact Studies" Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, Kluwer Academic Publishers, 3-26.

Park, C.B., Miller, R.D. and Xia, J. (1999). Multi-channel analysis of surface waves. Geophysics 64:3, 800-808.
Parolai, S., Richwalski., S.M. and Milkereit, C., 2006, "S-wave Velocity Profiles for Earthquake Engineering Purposes for the Cologne Area (Germany)", Bulletin of Earthquake Engineering ,V.4, p. 65–94.

Pitilakis, K. (2004). Site Effects, Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation. Ansal (Ed), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Nederland, 354p.

Schwarz, S.D. and Musser, J.M. (1972) Various Techniques for Making In situ Shear Wave Velocity Measurements- A Description and Evaluation. Proceedings of the International Conference on Microzonation for Safer Construction, Research and Application.

Tabban, A. (1976). Ankara'nın deprem bölgesinde bulunmasının nedenleri. Deprem Araştırma Enstitüsü Bülteni 14, 1-34 (in Turkish).

Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı. (1998). Afet Bölgelerinde İnşa Edilecek Yapılar için Türk Deprem Yönetmeliği, Özellikler. Ankara, Türkiye.