DEPREM HASARININ AZALTILMASINDA FARKLI BİR YAKLAŞIM

L. Selçuk[1] ve T. Beyaz[2]

[1] *Yardımcı Doçent Doktor, Jeoloji Müh. Bölümü, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Van*
[2] *Yardımcı Doçent Doktor, Jeoloji Müh. Bölümü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli*
Email: lselcuk@yyu.edu.tr

ÖZET:

23 Ekim (Mw:7.2) – 9 Kasım (Mw: 5.6) 2011 Van depremlerinde iki komşu site alanında yer alan apartman bloklarında farklı düzeylerde hasarlar meydana gelmiştir. Bu hasarların büyük bir kısmı 9 Kasım 2011 Edremit-Van depremine bağlı olarak gelişmiştir. Ancak söz konusu site alanlarında yer alan 2 ayrı blok 9 Kasım 2011 Edremit-Van depreminden etkilenmemiştir. Depremin merkez üssüne aynı uzaklıkta yer alan ve aynı zemin koşullarına sahip, eş özellikteki binalardan bazılarının hasar almaması, bu binaların önünde bulunan bir temel çukurunun varlığı ile ilişkilendirilmiştir. Bu olay, yüzey dalgalarının dispersiyon özelliği ile açıklanabilir. Yüzey dalgalarının yüksek frekanslı (kısa dalga boylu) bileşenleri yüzeye yakın, düşük frekanslı (uzun dalga boylu) bileşenleri ise daha derinlerde yayılır. Binaların önünde bulunan temel çukuru, ilk zemin tabakasını kesmiştir. Dolayısıyla bu tabakada ilerleyen kısa dalga boyuna sahip yüzey dalgaları, çukuru geçemeyerek yansımış veya saçılmışlardır. Burada, temel çukuru bir çeşit yüksek-kesmeli süzgeç (high-cut filter) gibi davranmıştır. Temel çukurunu geçemeyen yüzey dalgaları, gelen yüzey dalgalarının genliklerinin azalmasına ve dalga boylarının uzamasına sebep olmuştur. Böylelikle söz konusu çukurun hemen arkasında bulunan binalar, diğer binalara oranla aynı depremden daha az etkilenmişlerdir. Bu çalışmada farklı temel çukurlarında Çok Kanallı Yüzey Dalgası (MASW) yöntemi uygulanarak, söz konusu yapıların deprem sırasındaki performansları değerlendirilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar yukarıda bahsedilen durumu destekler niteliktedir. Dolayısıyla, farklı geometrik yapıda ve belirli bir derinlik ile açılmış çukur yapıları ve/veya belirli bir çapa sahip yakın aralıklarla açılan bir dizi kuyu, depremde açığa çıkan yıkıcı dalgaların etkisinin azaltılmasında kullanılabileceği öngörülmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Dispersiyon, çok kanallı yüzey dalgası (MASW) yöntemi, 2011 Van depremleri.

1. GİRİŞ

23 Ekim 2011 tarihinde saat 13:41' de, Van ilinin kuzeyinde, merkez üssü Tabanlı köyünde, moment büyüklüğü (Mw) 7.2 olan ve yaklaşık 25 saniye süren yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir (KOERI, 2011). Bu deprem Van ve Erciş başta olmak üzere bölgede bulunan yerleşim yerlerinde toplam 604 kişinin hayatını kaybetmesine, çok sayıda yapının yıkılmasına ve hasar görmesine neden olmuştur. 23 Ekim 2011 tarihinde meydana gelen depremden yaklaşık 18 gün sonra, 9 Kasım 2011 tarihinde saat 21:23' de Van ili, Edremit ilçesi yakınlarında, büyüklüğü Mw: 5.6 olan bir deprem daha meydana gelmiştir. Van ili şehir merkezinde meydana gelen hasarın büyük bir kısmı bu depreme bağlı olarak gelişmiştir. 23 Ekim 2011 Mw:7.2 büyüklüğündeki depremde hasar gören binaların bir kısmı bu depremde yıkılırken, hasar görmemiş binaların bir kısmı kullanılamaz hale gelmiş, büyük bir kısmı ise hafif ve orta derecede hasar görmüştür.
Deprem sırasında meydana gelen yapısal hasarlar, binaların yapısal özelliklerine, depremin parametrelerine ve zemin koşullarına bağlıdır. Aynı zemin koşulları ve depreme olan uzaklıklarda, yapısal hasara neden olan en önemli faktör binaların yapısal (tasarım/proje) özellikleridir. Ancak eş özellikli binalarda meydana gelen farklı düzeylerdeki hasarlar yukarıda bahsedilen faktörlerin dışında ikincil etkenlerin olabileceğine işaret etmektedir.

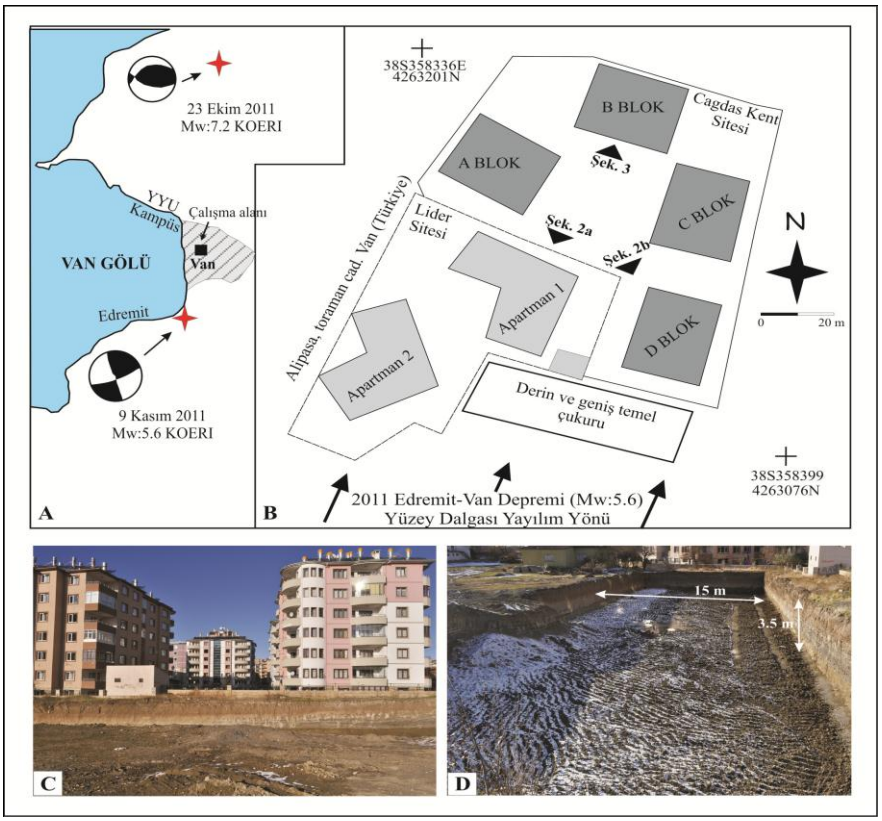
2011 Van depremlerinde Van ili şehir merkezinde yar alan iki komşu site alanında yapılan gözlemlere göre,söz konusu site alanlarında farklı düzeylerde hasarlar meydana gelmiştir. 23 Ekim 2011 tarihinde (Mw:7.2) meydana gelen Erciş-Van depreminde, Çağdaş kent site alanında yer alan eş özellikli apartman bloklarında her hangi bir hasar meydana gelmez iken, bu site alanına komşu olan Lider sitesinde yer alan 2 eş özellikteki bloklarda düşük-orta düzeyde hasarlar meydana gelmiştir. İki site alanı aynı zemin koşullarında ve aynı deprem uzaklıklarında yer almaktadır. Dolayısıyla meydana gelen yapısal hasarlar, iki site alanlarında yer alan apartman bloklarının karakteristik özellikleri ile ilişkilidir.

Erciş-Van depreminden 18 gün sonra, Van şehir merkezinin güneyinde Edremit merkezli bir başka deprem daha meydana gelmiştir. Bu deprem Erciş-Van depremine göre Van ili şehir merkezinde çok daha şiddetli hissedilmiş ve çok daha fazla yapısal hasara neden olmuştur. Bu deprem sadece söz konusu site alanlarının içinde bulunduğu Alipaşa mahallesinde 305 binanın orta-ağır derecede hasar almasına ve 216 binanın kullanılamaz hale gelmesine ve/veya yıkılmasına neden olmuştur (Selçuk ve Aydın 2012). Çağdaş kent site alanında yer alan ve Erciş-Van depreminde hasar almayan binalar, bu depremde düşük-orta düzeyde hasar almışlardır. Bu site alanında sadece bir bina bu depremden etkilenmemiştir. Benzer olarak komşu site alanında (Lider sitesi) yer alan ve Erciş-Van depreminde düşük-orta düzeyde hasar alan bir bina da yine bu depremden etkilenmemiştir. Edremit-Van depremi sırasında, önceki depremde (Erciş-Van depremi, Mw:7.2) hasar alan bir binanın çok daha şiddetli hissedilen bu depremden etkilenmemesi ve benzer olarak Çağdaş kent site alanında eş özellikli binalardan sadece bir binanın hasar almaması bu iki komşu site alanlarında dikkat çekmiştir.

Bu çalışmada söz konusu binaların depreminden etkilenmemesi, bu binaların önünde bulunan temel çukuru ile ilişkilendirilmiştir. Çalışma kapsamında, derin ve geniş temel çukurların deprem performansları değerlendirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla 2011 Van depremleri sonrası iki komşu site alanında yapılan arazi gözlemleri ayrıntılı olarak tanımlanmıştır. Belirli bir geometrik yapı sunan çukur yapılarının, sismik dalgaların etkisinin azaltılmasında kullanılabileceği, oluşturulan teorik yaklaşımla açıklanmıştır. Teorik yaklaşımın güvenilirliği ve/veya doğruluğu arazide yapılan jeofizik çalışmalar ile irdelenmiştir.

2. SİTE ALANLARINDA YAPILAN GÖZLEMLER

23 Ekim 2011 Erciş-Van depremi (Mw: 7.2) Van ilinin yaklaşık 20 km kuzeyinde meydana gelmiştir (Şekil-1). Bu deprem şehir merkezinde bulunan Çağdaş kent site alanında herhangi bir yapısal hasara neden olmamıştır. Site alanında yer alan binalar Van ilinde kullanılan malzeme ve işçiliğe bağlı olarak depremden yaklaşık 3 yıl önce inşa edilmiştir. Söz konusu binalar alüvyal çökeller üzerinde bulunmaktadır. Erciş-Van depremi Çağdaş kent site alanına komşu olan Lider sitesinde ise düşük-orta derecede hasara neden olmuştur. Bu depremden 18 gün sonra bölgede bir başka yıkıcı deprem (Mw:5.6) daha meydana gelmiştir. Bu depremin merkez üssü Van ili şehir merkezinin güneyinde yer alan Edremit ilçesidir. Bu depremde Çağdaş kent site alanında bulunan ve ilk depremde hasar almayan binalar düşük-orta derecede hasar alırken, bu site alanında sadece bir bina (D-blok) bu depremden etkilenmemiştir. Lider sitesinde ise Erciş-Van depreminde hasar alan binalardan sadece biri (Apartman-1) bu depremden etkilenmemiş ve/veya hasar derecesi artmamıştır (Şekil-2).
Edremit-Van depreminin söz konusu site alanlarının içinde bulunduğu Alipaşa mahallesinde yaratmış olduğu hasar durumu düşünüldüğünde, hasarlı bir binanın çok daha şiddetli hissedilen bu depremden etkilenmemesi, hasar derecesinin artmaması veya yıkılmaması dikkat çekici bir durum olarak değerlendirilmiştir. **Şekil-1 de** görüldüğü gibi Edremit-Van Depreminden etkilenmeyen binaların önünde genişliği 15m, uzunluğu 60m ve derinliği 3.5m olan bir temel çukuru bulunmaktadır. Bu temel çukuru 23 Ekim 2011 Erciş-Van depreminden yaklaşık 1 yıl önce kazılmıştır. Bu temel çukurun dışında yer alan binalarda farklı derecelerde hasarlar meydana gelmiştir. Çağdaş kent site alanında A ve B blok orta derecede hasar alırken C blok düşük-orta derecede hasar almıştır. Söz konusu site alanında meydana gelen tipik hasar durumu; duvarlarda meydana gelen makaslama çatlakları ve kirişlerde gelişen kırık ve çatlaklardır.



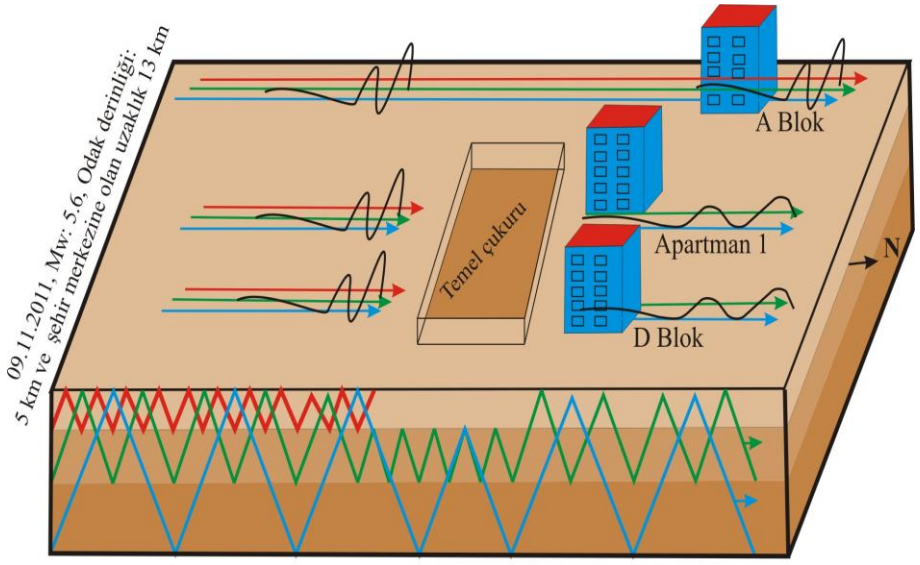
Şekil 1. a) 2011 Van depremleri ve karakteristik özellikleri, b) İki site alanında yer alan binaların lokasyon bilgisi, c) temel çukuru ve hasar almayan binaların görünümü, d) Temel çukura ait geometrik özellikler

Şekil 2. a) 2011 Erciş-Van Depreminde hasar alan ancak Edremit-Van Depreminden etkilenmeyen bina, b) her iki depremden etkilenmeyen Çağdaş kent site alanında bulunan bina

3. TEORİK YAKLAŞIM

Sismik dalgalar farklı dalga boylarına sahip ses dalgalarının bir çeşididir. İki çeşit dalga söz konusudur: cisim dalgaları ve yüzey dalgaları. P (birincil, boyuna) ve S (ikincil, makaslama) -dalgaları cisim dalgaları, R (Rayleigh) ve L (Love) -dalgaları yüzey dalgalarıdır. Yüzey dalgaları katı-hava ara yüzeyinde ve iki katı sınırı arasında yayılırlar. Derinliğe bağlı olarak genlikleri üssel olarak azalır. Frekans aralıkları ise 10-30 Hz arasındadır. Bu düşük frekanslarına bağlı olarak uzak mesafelere kadar yayılabilmekte ve yüksek genlikleri nedeniyle yıkıcı özelliğe sahiptirler (Kim ve Das 2012). Yüzey dalgalarının en önemli özelliği düşey heterojen ortamda dispersiyon özellik sergilemeleridir. Burada dispersiyon farklı frekansa sahip dalgaların farklı faz hızlarına sahip olduğunu tanımlamaktadır. Yüksek frekanslı dalgalar yüzeye yakın yayılırlarken, düşük frekanslı (uzun dalga boylu) dalgalar daha derinlerde yayılabilirler. Yüzeye yakın katmanlarda yüksek frekanslı yüzey dalgaların hızları S-dalgalarının hızlarına yakın iken, daha düşük frekanslarda, derinlikle birlikte katmanların rijitliği önemlidir. Kısaca, yüzey dalgaları tek bir hız değerine sahip değil, hız değeri frekanslarının bir fonksiyonudur (Kearey et al., 2002). Frekans ve faz hızları arasındaki ilişki dispersiyon eğrisi ile tanımlanır. Bu eğri güçlü bir şekilde derinlikle değişen katmanların rijitliği ile ilişkilidir. Normal dispersiyon eğrilerinde katmanların S-dalga hızları derinlik ile artış gösterirken, ters dispersiyonda derinlikle birlikte katmanların S-dalga hızlarında azalma söz konusudur. Homojen bir ortamda yüzey dalgaları dispersiyon özelliğine sahip değildirler (Pei 2007).

Şekil 3'deki blok diyagramda, 13.8 km güneybatıdan gelen 5.6-09.11.2011-21:23:33 Edremit-Van Depremine ait yüzey dalgaları sembolize edilmiştir. Kısa dalga boylu (yüksek frekanslı) yüzey dalgaları en üsteki birinci tabakada, orta dalga boylu yüzey dalgaları ilk iki tabakada, uzun dalga boylu (düşük frekanslı) yüzey dalgaları ise ilk üç tabakada ilerlemektedir. 'apartman 1 ve D bloğun güneyinde 60 x 15 x 3.5 m boyutlarında, inşaat amacıyla kazılmış bir temel çukuru bulunmaktadır. Çukur ilk tabakayı kesmiştir. Dolayısıyla bu tabakada ilerleyen kısa dalga boylu yüzey dalgaları, çukuru geçemeyerek, yansıma ve saçılma yoluyla tekrar güneye, geldikleri yöne geri dönerler. Orta ve uzun dalga boylu yüzey dalgaları ise çukuru kısmen geçerler. Çukur bir çeşit yüksek-kesmeli süzgeç (high-cut filter) gibi davranır. Çukuru kısmen geçebilen yüzey dalgalarının genlikleri azalır ve dalga boyları uzar. Bu durumda 'apartman 1 ve D blok depremden daha az etkilenir. A ve C blokların güney cepheleri açık olduğu için yüzey dalgaları normal ilerlemelerine devam ederler ve bu binalar, 1 ve D bloğa kıyasla, aynı depremden daha çok etkilenir.

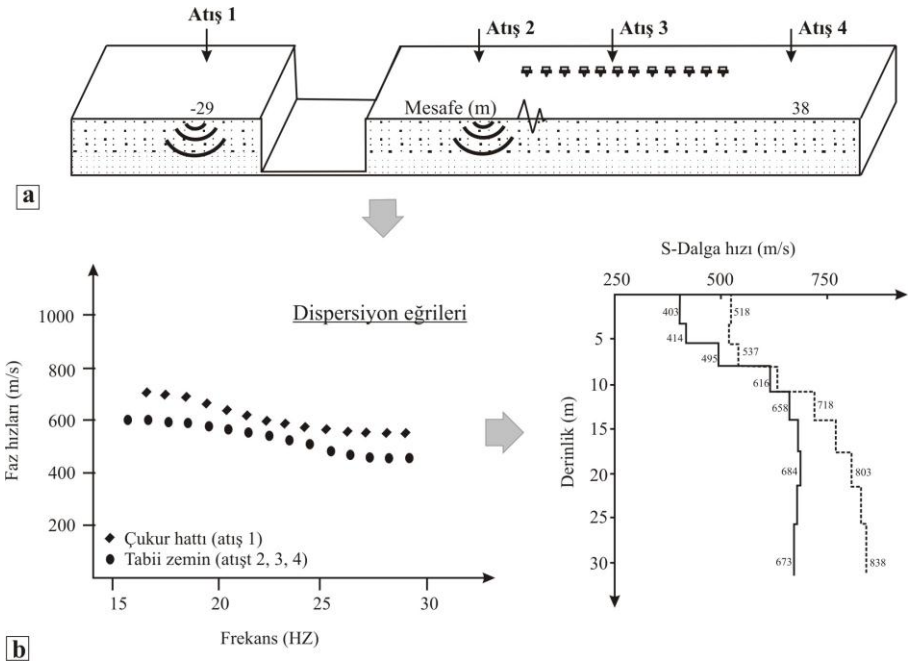


Şekil 3. Temel çukuru ile yüzey dalgaları arasındaki ilişkiyi gösteren blok diyagram

4. ÇOK KANALLI YÜZEY DALGASI YÖNTEMİ (MASW) ve ARAZİ ÇALIŞMALARI

Yukarıda tanımlanan teorik yaklaşımın doğruluğunu araştırmak amacıyla, farklı alanlarda Çok Kanallı Yüzey Dalgası yöntemi (MASW) uygulanmıştır. Buradaki amaç, zemin katmanlarının ayırıcı özelliği olan dispersiyon özelliğine bağlı olarak yayılan dalgaların (ground roll) jeofonlar tarafından elde edilmesidir. Çok kanallı yüzey dalgası (MASW) yöntemi, yüzeye yakın yatay yönde yayılan yüzey dalgalarından yararlanarak, katmanların elastik özelliklerinin değerlendirilmesinde kullanılan hızlı bir yöntemdir (Park et al. 1999; Xia et al. 1999; Park et al. 2001). Bu yöntemle etkin derinlik yaklaşık 30 m'dir. Sismik hızların derinlik ile değiştiği katmanlı bir ortamda, dispersiyon özelliğinden dolayı yüzey dalgaları yüzeye yakın katmanların elastik özelliklerini tanımlamaktadır. Farklı dalga boylarına sahip dalgalar farklı penetrasyon derinliklerinde ve hızlarında yayılırlar. Her dalga boyu için yayılım hızları faz hızı olarak ifade edilir. Faz hızları öncelikle katmanların S-dalga hızlarına bağlıdır ve poisson oranı, yoğunluk ve P-dalgalarından kısmen etkilenirler. Bu yüzden yüzey dalgaları hızları Vs hızları için iyi bir göstergedir. Normal olarak faz hızları Vs hızlarının yaklaşık % 92 olarak değerlendirilir (Stokoe et al., 1994).

Şekil 4a'da görüldüğü gibi çalışma alanında 15 m genişliğinde, 3.5 m derinliğinde bir temel çukuru bulunmaktadır. Temel çukuru ilk zemin katmanını kesmiş durumdadır. Çok kanallı yüzey dalgası ile yapılan ölçümlerde öncelikle tabii zemine ait hız değerleri ve dispersiyon eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen bu veriler çukur hattına dik olarak, çukur alanı kesecek şekilde yapılan ölçümler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4b). Çalışmada WZG, 12 kanallı sismograf kullanılmıştır. Jeofonlar 4.5 Hz ve jeofonlar arası mesafe 2 m olarak seçilmiştir. Kaynak enerjinin yaratılmasında yaklaşık 10 kg ağırlığında balyoz ve metal plakadan yararlanılmıştır. Tabii zeminde alınan ölçümlerde minimum ofset 4m'dir. Çukur hattını kesen ölçümlerde, çukurun diğer tarafında yapılan yakın atışlarda, faz hızları jeofonlar tarafından algılanmamıştır. Dolayısıyla dispersiyon eğrileri oluşturulamamıştır. Bu sebepten dolayı, çukur hattının gerisinde çukurdan uzaklaşılarak faz hızları jeofonlar tarafından kaydedilinceye kadar ölçümler yapılmaya devam edilmiştir. Kaynak ile jeofonlar arasında ofset 29 m'de sağlıklı hız değerleri (grond roll verileri) elde edilmeye başlanmıştır.

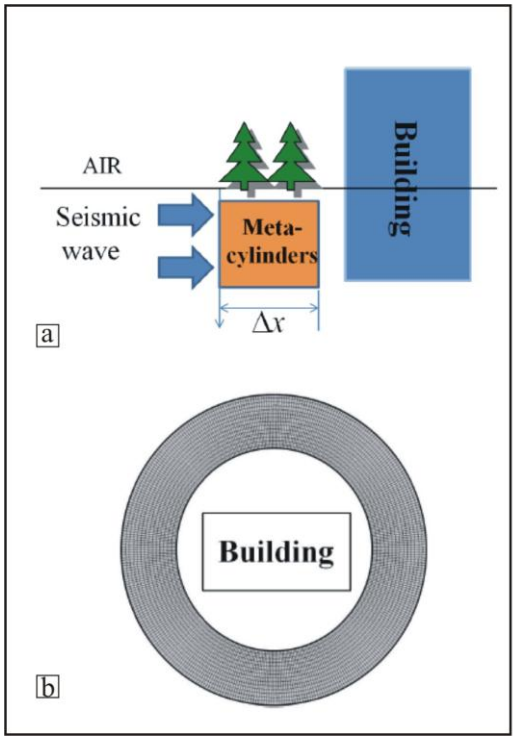


Şekil 4 a) Araştırma hatları b) dispersiyon eğrileri ve derinliğe karşı S-dalga hızları

Her bir atış için faz hızları elde edilmiş ve dispersiyon eğrilerine bağlı olarak derinliğe karşılık S-dalgası hızları (Vs) oluşturulmuştur. Burada ilginç olan nokta, çukur hattını kesen atışlarda elde edilen hız değerlerinin tabii zeminden alınan hız değerlerine göre yüksek değerler sunmasıdır. 30 m deki ortalama S dalgası hızları 682 m/s elde edilirken, tabii zeminde bu değer 582.8 m/s dir. Bu yüksek faz hızları ve ortalama S-dalgası hızları, ilk zemin katmanında yayılan yüksek frekanslı yüzey dalgalarının çukur tarafından kesildiğine işaret etmektedir. Çukur bir alanda dalgalar saçılarak jeofonlar tarafından kayda alınmamıştır. Bu çukurun altında ise göreceli olarak daha düşük frekanslı ve yüksek hızlı dalgalar jeofonlar tarafından kaydedilmiştir. Bir başka ifade ile daha derinde bulunan yüksek hız tabakalarında yayılan dalgalar jeofonlar tarafından ilk 3.5 m (çukurun derinliği) olarak algılanmıştır. Burada çukur bir nevi yüksek kesmeli süzgeç gibi davranmıştır. Bu konu ile ilgili aşağıda ayrıntılı tartışma ve değerlendirmeler yapılmıştır.

5. DEĞERLENDİRME VE TARTIŞMA

Arazide yapılan jeofizik verileri, söz konusu çukurların özellikle yüzeye yakın katmanlarda ilerleyen dalgaların çukur alanda saçıldığını/yansıdığını ve belirli frekanslardaki dalgaların iletilmesini sağladığını göstermektedir. Burada önemli olan nokta, söz konusu çukurların etkin genişlik ve derinlik parametrelerinin ne olması gerektiğidir. Literatür incelendiği zaman söz konusu yapıların deprem performanslarına yönelik arazi çalışmalarının olmadığı görülmektedir. Ancak farklı disiplinlerde bu konuda yapılan teorik ve sayısal çalışmalar önemli bilgiler sunmaktadır. Bu çalışmalardan Kim ve Das (2012) ve Silva ve Cabezas (2013) tarafından yapılan değerlendirmeler, bu çalışmaya paralel olabilecek bilgiler içermektedir. Araştırmacılar sismik dalgaların genliklerinin azaltılmasına yönelik pratik basit bir yöntem önermektedirler. Önerdikleri azaltıcı (attenuator) Şekil- 5'de sunulan silindirik meta-malzemelerden oluşmaktadır.



Şekil-5 Meta silindirlerden oluşan azaltıcı a) etkin derinlik ve genişlik değerleri b) Bina çevresi boyunca Uygulanması (Kim ve Das, 2013)

Belirli bir genişliğe sahip olan bu yapılarda sismik dalgaların genlikleri azalmaktadır. Söz konusu yapıların genişlik değeri (Δx) aşağıda sunulan ilişki ile tanımlanmaktadır.

$$\Delta x=(0.366\lambda/n)\Delta M \quad (1)$$

Burada, ΔM=Mi-Mf, yüzey dalgalarının büyüklük farkı (Mi: sismik dalganın büyüklüğü Mf: son büyüklük), λ dalga boyu, n ise yansıtma katsayısıdır. Örneğin yansıtma katsayısı, n, 2 ve yüzey dalgalarının dalga boyu 100 m olarak alınması durumunda ΔM değerinin 1'e yaklaşması için Δx mesafesi 18 m olarak bulunur. Burada, yansıtma katsayısının yüksek seçilmesi söz konusu genişliğin azaltılmasında arzu edilen durumdur. Söz konusu yapıların derinliği ise en az binaların temel derinliğine kadar olması gerektiğidir.
Araştırmacılar söz konusu silindirik yapıların su ile doldurulması durumunda etkin bir azaltıcı olmadığını ifade etmişlerdir. Bunun nedeni ise suyun yansıtma indeksinin düşük olmasıdır. Ayrıca araştırmacılar temel çukuru gibi farklı geometrik şekillerde kübik ve dörtgen şekilli yapıların bu amaçla kullanılabileceğini belirtmektedirler.

6.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

2011 Edremit-Van depremi sırasında bazı binaların söz konusu depremden etkilenmemeleri, bu binaların önünde bulunan ve binaların temel derinliğine kadar kazılmış, yaklaşık 15 m genişliğinde olan bir temel çukuru ile ilişkilendirilmiştir. Arazide yapılan jeofizik çalışmalar söz konusu yapıların yüzey boyunca yayılan sismik dalgaların iletilmesinde yüksek kesmeli süzgeç gibi davrandığını göstermektedir. Elde edilen bu veriler ve literatürde farklı disiplinlerde yapılan çalışmalar, temel derinliğine kadar kazılmış, geniş çukurların ve/veya silindirik sık aralıklarla açılmış kuyuların, depremin yıkıcı etkilerinin azaltılmasında etkin bir yöntem olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Bu çalışmadaki teorik yaklaşım yüzey dalgalarının dispersiyon özelliğini içermektedir. Ancak farklı disiplinlerde önerilen farklı teorik yaklaşımlar bu çalışmadaki temel prensiplerle uyum içerisindedir. 2011 depremleri sonrası binalarda yapılan gözlemler ve arazi çalışmaları, bu çalışmaların ayrıntılı bir şekilde ele alınması gerekliliğini göstermektedir. Sismik dalgaların yeryüzeyinde açılacak olan kazı/trench veya benzer yapılarla azaltılması güncel ve özgün bir konudur. Dolayısıyla bu amaçla farklı geometrik şekillerde ve boyutlarda kazılacak olan çukur yapılarının mühendislik çalışmaları ile büyük ölçeklerde değerlendirilmesi önerilmektedir.

Söz konusu yapıların binaların veya mühendislik yapılarının önünde açılmasından ziyade, genişlik ve derinlik değerlerinin bir tasarım parametresi olarak değerlendirilmesi veya mühendislik yapılarında genel amaçlı (otopark, sığınak vb) olarak tasarlanması, bu yapıların kullanım amaçlarını arttıracaktır. Biz bu basit, pratik ve uygulanabilir yapıları öncelikle reaktör, enerji santrali gibi stratejik yapılar için önermekteyiz.

TEŞEKKÜR

Çalışmanın teorik yaklaşımında destek olan Prof.Dr.Berkan ECEVİTOĞLU ve yapılan jeofizik çalışmaların yorumlanmasında katkıda bulunan Doç.Dr. Murat UTKUCU ve Jeofizik Yüksek Mühendisi Ali SİLAHTAR'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Kearey P., Brook M., and HillI., (2002). An Introduction to Geophysical Exploration. Blackwell Publishing, ISBN 978 0 632 04929 5, 256 pp.

Kim S. H. and Das M. P., (2012). Seismic Waveguide of Meta- material. Modern Physics Letters B, Vol. 26, No. 17, 2012, Article ID: 1250105.

KOERI (2011). Van Earthquake (Mw: 7.2) Evaluation Report as of 27 October 2011, Kandilli observatory and Earthquake Research Institue, Bogazici University, Istanbul.

Park, C. B., Miller, R. D., and Xia, J., (1999). Multichannel analysis of surface waves (MASW): Geophysics, 64, 800-808.

Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., (2001). Offset and resolution of dispersion curve in multichannel analysis of surface waves (MSW): Proceedings of the SAGEEP 2001, Denver, Colorado, SSM-4.

Pei D., (2007). Modeling and Inversion of Dispersion Curves of Surface Waves in Shallow Site Investigations. Ph.D disc. University of Nevada, Reno ,USA

Selçuk, L ve Aydın H., (2012). Kuvaterner yaşlı alüvyal zeminlerin kuvvetli yer hareketine etkisi: 2011 Van depremleri. Jeoloji Mühendisliği Dergisi 36 (2) 2012.

Stokoe II, K. H., Wright, G. W., James, A. B., and Jose, M. R., (1994). Characterization of geotechnical sites by SASW method, in Geophysical characterization of sites, ISSMFE Technical Committee #10, edited by R. D. Woods, Oxford Publishers, New Delhi.

Torres-Silva H., Torres-Cabezas D., (2013). Chiral Seismic Attenuation with Acoustic Metamaterials, Journal of Electromagnetic Analysis and Applications, 5, 10-15

Xia, J., Miller, R. D., and Park, C. B., (1999). Estimation of near-surface velocity by inversion of Rayleigh wave, Geophysics, 64, 691-700.