

NEDEN JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ETÜTLERİ ZEMİN ETÜTLERİNDE ZORUNLU OLMALI

Why Geophysical Engineering Studies in Soil Studies must be Mandatory

Ali KEÇELİ*

*Salacak Mh., Bestekar.Selahattin Pınar Sk., Deniz Apt., No:130/8, ÜSKÜDAR/İSTANBUL. ,
keceliali_jfz@yahoo.com.tr

ÖZET

Bu makalede, zemin özellikleri ve çeşitli hasar türleri arasındaki ilişkiye bağlı deprem hasar sınıflaması yapılmıştır. Bundan başka, potansiyel deprem hasarlı alanların sismik ışın yolları kullanarak şematik modeli elde edilmiştir. Tabankaya topoğrafyası deprem şiddetini ve titreşim müddetini 2-3 kat artırabilmekte veya azaltabilmektedir. Tabankaya topografyasına bağlı ağır deprem hasarlarının dağılımı belirli yerlerde ve deprem merkezinden uzakta meydana gelebilmektedir. Tabankaya topoğrafyasının saptanması ancak jeofizik mühendisliği etüdü ile mümkündür. Eğer ağır hasar potansiyel alanlar jeofizik mühendisliği uygulamaları ile önceden belirlenirse, büyük depreme kadar endişe ile beklemek gerekmez. Jeofizik mühendisliği etütsüz zemin etütleri eksik ve sakıncalıdır. Böyle bir durumda, sorumlular hakkında yasal sorular oluşabilir. Ayrıca, sismik kayma dalga hızı ve sismik sinyal spektrumundan elde edilecek rezonans frekansının saptanması sadece jeofizik mühendisliği uygulamaları ile mümkün olabileceği gösterilmiştir. Bu sebepten, mikrobölgeleme ve parsel bazındaki zemin etütlerinde jeofizik mühendisliği etütleri zorunludur.

Anahtar Kelimeler: Deprem ağır hasarları, Tabankaya etkisi, sismik dalga yayılım yolu, deprem hasar sınıflaması, zemin etütlerinde yasal sorumluluk.

ABSTRACT

In this article, an earthquake damage classification depending on the relationships between soil properties and various damage types has been made. Besides, schematic modelling of the area with potential earthquake damage has been obtained by using seismic ray paths. Bedrock topography can increase or decrease the earthquake amplification and the duration of shaking by 2-3 times at the surface. The distribution of heavy earthquake damages depending on the bedrock topography may occur at specific locations and far from the epicenter. The determination of the bedrock topography is possible only by geophysical engineering studies. We need not wait with anxious until the next major earthquake if heavy damage potential areas are defined before by geophysical engineering studies. Soil studies without geophysical engineering studies are incomplete and inconvenient. Such a case, legal problems about responsible can create. Also, it has been shown that determination of resonance frequency to be obtained from seismic shear wave velocity and seismic signal spectrum can be possible only by geophysical engineering. Therefore, geophysical engineering studies for microzonation soil studies and parcel soil studies are indispensable.

Key Words: Earthquake heavy damages, bedrock effect, seismic wave propagation paths, earthquake damage classification, legal responsibility in soil studies.

1. GİRİŞ

Depremlerde yerleşim merkezlerinde aynı özellikteki zemin üzerine aynı malzeme, aynı proje ile ve aynı kişiler tarafından inşa edilmiş olsalar bile bazı binaların ağır hasarlı veya orta hasarlı, yanındaki veya civarındaki binalarda hiçbir hasarın olmadığı görülür. Deprem ağır hasarlarının dağılım biçimlerinin gelişigüzel olmasında dikkat çekici bu özellik deprem tehlikesi azaltma çalışmaları amacıyla bir çok araştırmacı tarafından jeoteknik, jeolojik ve jeofizik yönleriyle araştırılmıştır. 1985 Mexico City depreminde, deprem merkez üstünden 350 km uzaktaki şehrin tam merkezinde ağır hasar kuşağının meydana gelmesi, sismik dalganın yayıldığı tabankaya kireçtaşı ortasında düşük hızlı bir seviyede kanalizasyon olan ardışık yansımaların meydana gelmesi ve şehir merkezinin altında derin bir kanyonun varlığı derin etütler içeren jeofizik yöntemlerle saptanarak açıklanabilmiştir (Alvarez 1990). 1995 Kobe depremindeki ağır hasar bölgeleri, ancak, sismik ölçümlerle saptanabilen tabankaya kıvrımlarının deprem dalgalarının yayılım yolunu etkilemesi ile yeryüzünde oluşan odaklanmaların neden olması ile açıklanmıştır (Motosaka et al. 1997). 1994 Northridge depreminde de benzeri durumun dikkat çekici bu ve benzeri özellikler üzerine Jeolojik Araştırma Kurumu olan ABD Geological Survey (USGS) tarafından deprem tehlikesi azaltma çalışmalarında, özetle, ağır hasar mevkilerinin yer içi heterojen jeolojik özelliklerinin sismik dalgaların yayılım yollarını etkilemesiyle oluşan zemin sarsıntı genliğini, ivmesini ve müddetini büyütmesinden kaynaklandığını tespit etmişlerdir. Bu araştırmacıların bulgularıyla ağır hasar mevkilerini önceden belirlemek için büyük bir deprem beklemeye gerek olmadığı sonucuna varmışlardır (URL-1, Schuster et al. 1990; Jozef et al. 2000, EUROCODE-8).

17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı ili şehir merkezindeki ağır hasar mevkilerinin nedenini Japon bilim adamları jeofizik uygulamalarla şehir merkezi altında gevşek alüvyon içinde tespit ettikleri çok sarp derin bir tabankaya köşesinin bulunması ile açıklamışlardır (URL-2).

1999 Körfez depreminde Kocaeli Büyükşehir Belediyesi sınırlarında jeolojik sınıflamaya göre yerleşime uygun ve jeoteknik sınıflamaya göre Z_2 olarak tanımlanan bölgelerin belirli mevkilerinde ağır hasarların yoğun olması, yerleşime uygun olmayan ve Z_4 olarak tanımlanan bölgelerde hasar olmaması durumuna açıklık getirmek amacıyla,

belediye tarafından söz konusu belirsizliklerin Jeofizik Mühendisliği yöntemleriyle daha detaylı incelenmesi gerekli görülmüştür. (Cevher ve diğ. 2002) ve (Demirtaş ve diğ. 2003) çalışmalarına göre, Kocaeli Büyükşehir Belediyesi zemin ve deprem şube müdürlüğü ve Maden Tetkik Arama MTA uygulamaları ortak sonucuna göre İzmit ili içindeki 1999 deprem ağır hasarları;

- a- Çoğunlukla GK doğrultulu tali fayların sahile yakın kesimlerindeki 35-40 m derinliklerdeki lokal gömülü vadilerin oluşturduğu sismik dalga yayılımlarının yeryüzünde odaklanmasıyla,
- b- Vadilerin yanal değişimlerine yakın mevkilerde yüzey (Rayleigh) dalgalarının gelişmesiyle,
- c- Kıltaşı kırık mevkilerinde sismik enerji boşalmasıyla meydana gelmiş olduğu,
- d- Zemin sıvılaşması nedeniyle hasar oluşmadığı,

1999 Kocaeli depreminde Avcılar ve Küçük çekmece bölgesinde göl kenarındaki Z_4 sınıftaki bataklık zeminde yapılmış tek ve çok katlı binalarda hasar olmamış, fakat Z_2 olarak tanımlanan mevkilerde ağır hasar oluşmuştur. Söz konusu Deprem ağır hasar dağılımını jeolojik ve jeoteknik zemin sınıflamalarıyla açıklamak mümkün değildir. Keza, İzmir (Seferihisar) ve Saros Körfezi depremlerinin İstanbul'un diğer bölgelerine göre 1999 depremi Avcılar ağır hasar bölgesinde daha fazla hissedilmesi, ancak URL-1'deki deprem tehlikesi azaltma çalışma sonuçları ile açıklanabilir.

Deprem hasarı inşaat kalitesine ve inşaat zeminine gelen deprem dalgasının büyüklüğüne bağlı, tek başına olmayan, ortak bir olgudur. Halbuki, depremin momenti veya büyüklüğü kontrolümüz dışında olmasına rağmen, herhangi bir deprem olmadan önce, deprem enerjisinin yoğunluğunun zeminde nasıl dağılacakını ve zemin özelliklerini belirlemek ve ona göre inşaat kalitesini sağlamak kontrolümüz dahilindedir. Deprem ağır hasar dağılımını jeolojik ve jeoteknik zemin sınıflamalarıyla açıklamanın mümkün olmamasında çok disiplinli olan deprem zemin etütlerinin uygulamaları içinde önemli bir zemin etüdü eksikliğinin olduğu anlaşılmaktadır. Bu nedenle, bu makalenin amacı, eksik zemin etüdü uygulamalarından kaynaklanan deprem hasarlarının sorumlularının tespitinde hukuki sorunların doğabileceğini ve zemin etütlerinde jeofizik mühendisliği etütlerinin zorunlu olmak zorunda olduğunu göstermektir.

2. ZEMİN ÖZELLİĞİ SINIFLAMASINA UYAN DEPREM HASARLARI SINIFLAMASI

Potansiyel deprem ağır hasar mevkilerinin davranışını etkileyen başlıca zemin özellikleri sınıflaması son yıllarda aşağıdaki gibi düzenlenmektedir:

1. Zemin Özelliği (30 metre derinliğe kadar):

- a- Zeminin sıklığı
- b- Yeraltısuyu
- c- Zemin sıvılaşması
- d- Rezonans (frekans spektrumu)

2. Havzanın yapısına bağlı sismik dalgaların yayılım yolu:

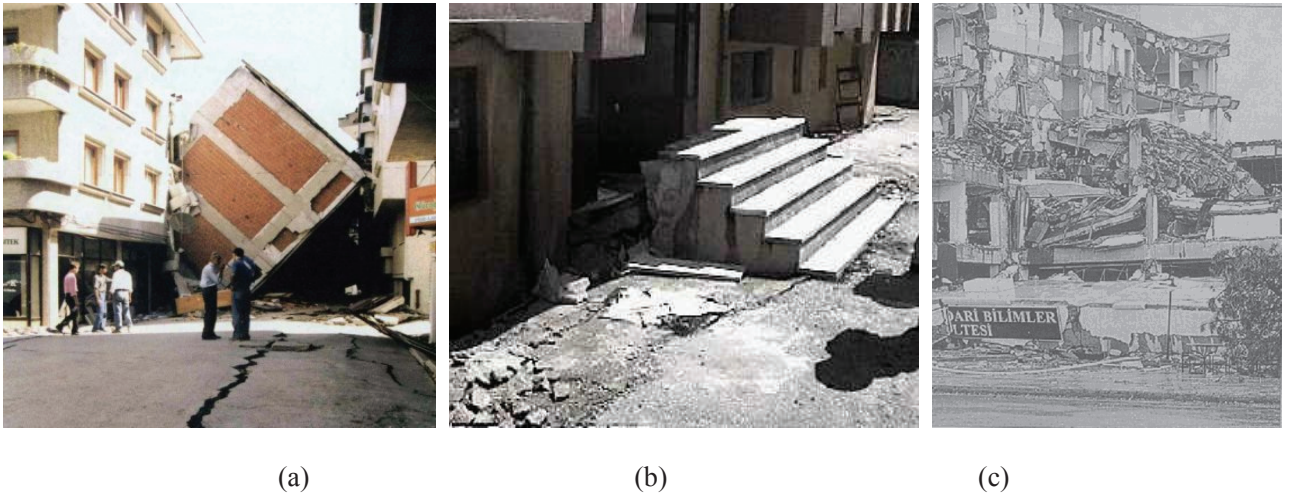
- e- Heyelan
- f- Gömülü Tabankaya ve Topoğrafyası (100 metre derinliğe kadar):
 - i. Yüzey dalgaların oluşması
 - ii. Sismik dalgaların odaklanması
 - iii. Sismik ardışık yansımaların meydana gelmesi

Yukarıdaki zemin özellikleri sınıflamasına uygun veya paralel deprem hasarları sınıflaması yapılabilirse daha sağlıklı deprem hasarlarını azaltma zemin etütleri ve deprem hasarlarını değerlendirme çalışmaları

yapılmış olacaktır. Bu amaçla aşağıda zemin hasar ilişkisini gösteren örnekler verilmiştir.

Deprem zemin etütlerinde, genelde, 1. şıktaki sığ derinlikteki zemin özellikleri saptanmaktadır. Şekil 1. 1999 Körfez depreminde sığ derinlikli zemin özelliğine bağlı meydana gelmiş deprem hasarlarından çarpıcı örnekleri göstermektedir. Üç farklı yerel ve üç farklı hasar örneğinde; Şekil 1a zemin sıklığı gevşek olan alüvyon zeminin deformasyonu nedeni ile bina dengesini kaybederek yan yatmış, Şekil 1b de görüldüğü gibi alüvyon zeminin içinde suya doymun kum cebinin sıvılaşması ile taşıma gücünü kaybetmesi sonucu bina zemin içine gömülmüştür. Şekil 1c deprem esnasında zemin ve binanın hakim (öz) titreşim periyotlarının eşit veya yakın olması durumunda oluşan rezonans etkisiyle (bina titreşim genliğinin büyümesi) meydana gelen Kocaeli Üniversitesi deprem hasarını göstermektedir. Deprem rezonans frekansı hasarı deprem esnasında zemin-yapı etkileşimi sonucu, yapının titreşim genliğinin katlanarak büyümesi nedeni ile hasar oluşması olarak tanımlanabilir. Bir inşaatta rezonans etkisinin belirtisi herhagi bir şeyin kuvvetli sarsılmasında, silkelenmesinde yıpranmasına, zayıf ve gevşek olan kısımların düşmesine veya dökülmesine benzetilebilir.

Yukarıdaki Zemin Sınıflaması 1. şıkkına göre sığ zemin özelliklerinden kaynaklanan Şekil 1'deki deprem ağır hasarında bina katlarında ezilme veya tabakalaşma meydana gelmediği görülmektedir.

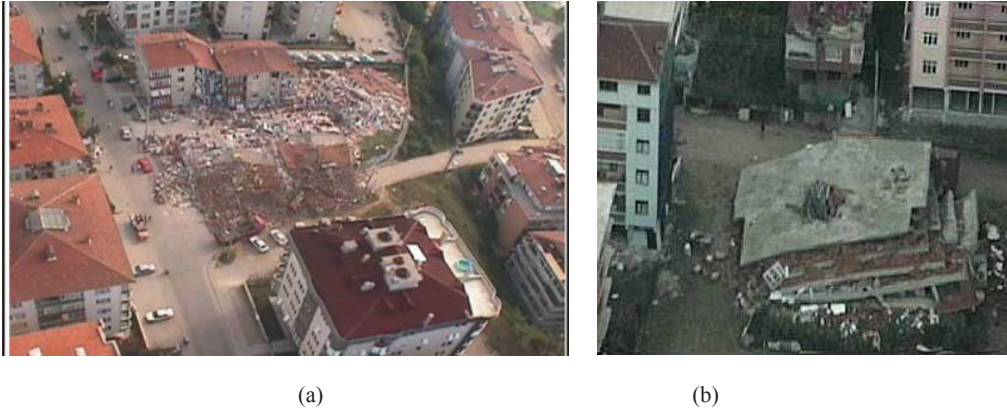


Şekil 1. Deprem hasar örnekleri; (a) zemin deformasyonu(a): (URL-3), (b) Zemin sıvılaşması (URL-3) ve (c) zemin ve bina arasında rezonans etkisi (Basın, 1999).

Figure 1. Examples for earthquake damages; (a) soil deformation (URL-3), (b) soil liquefaction (URL-3) and (c) Resonance effect between soil and building (Press, 1999).

Şekil 2 ve 3 Şekil 1’deki hasar türlerinden farklı ağır hasar örneklerini göstermektedir. Şekil 1’deki hasar türlerini sığ zemin özellikleri ile açıklamak mümkündür. Ancak, Şekil 2 ve 3’deki ağır hasar çeşitlerini sığ zemin özellikleri ile açıklamak mümkün değildir. Şekil 2 ve 3’deki yıkımla sonuçlanmış ağır hasarlar yetersiz inşaat kalitesi veya bu makalenin konusu olan zemin sınıflaması 2. şikkında belirtilen deprem dalgalarının yayılım özelliği sebebiyle meydana gelmiş olabilir. Yukarıda verilen büyük deprem örneklerinde açıklandığı gibi, bir yerde binaların bir veya birkaçında ağır hasar olurken, aynı zemin özelliğine ve aynı kalitede inşata sahip yerlerdeki diğer binalarda ağır hasar görülmemektedir. Bu çeşit deprem hasarı, ancak deprem enerji yoğunluğunun yeryüzüne farklı yoğunluklarda gelmesi ile açıklanabilir. Çünkü: sismik enerji yoğunluğunun az olduğu yerlerde hafif,

sismik enerji yoğunluğunun çok olduğu yerlerde yapı deprem yükünün tasarımında öngörülenden farklı olması nedeni ile ağır hasarlar meydana gelmesi doğal bir sonuçtur. Demek ki, her ağır hasar durumunu sadece yetersiz inşaat kalitesine bağlamak doğru olmamaktadır. Deprem ağır hasarları dağılımı rastgele görünen bir yerde veya deprem merkezinden uzakta bir yerlerde de oluşabilmektedir. Aslında ağır hasarların dağılımı rastgele olmamaktadır. Yurtdışı araştırma örneklerinde belirtildiği ve Şekil 2-3’deki jeolojik kesitler üzerinde şematik modellemelerde gösterildiği üzere; deprem ağır hasarlarını, dolayısıyla aynı zamanda can kayıpları daha ziyade havzanın yapısını oluşturan tabankayanın özelliğine ve topografyasına bağlı sismik dalgaların yayılım yollarının özelliği etkilemektedir (Alvarez 1990, Motosaka et al. 1997, URL-1, Schuster et al. 1990).



Şekil 2. Sınırlı mevkilerde meydana gelmiş deprem ağır hasar örnekleri (a): (URL-3), (b): (URL-3).

Figure 2. Examples for earthquake heavy damages occurred at specific locations (a): (URL-3), (b): (URL-3).

Şekil 3a Sınırlı bir mevkide meydana gelmiş deprem ağır hasarı ve Şekil 3b Depremde oluşan fay üzerinde hasarsız bina örneğini göstermektedir.

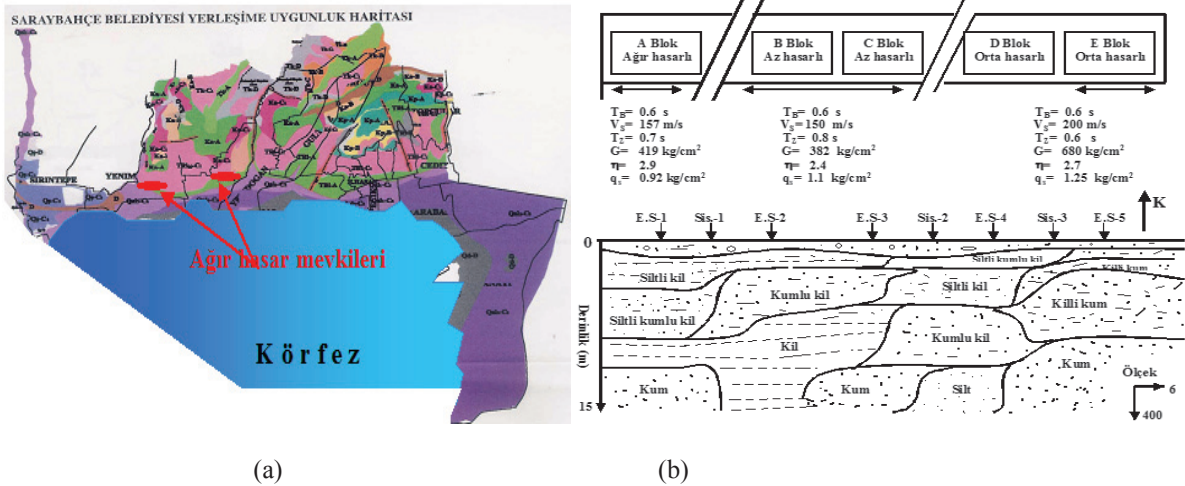


Şekil 3. (a) Sınırlı mevkide deprem ağır hasarı (URL-3) ve (b) Depremde oluşan fay üzerinde hasarsız bina (basın, 2011).

Figure 3. (a) Example for earthquake heavy damage at specific location (URL-3), (b) Building without damage on the fault (press, 2011).

Şekil 4a 1999 Körfez Depreminde Kocaeli Yahya Kaptan Belediyesi sınırları içindeki ağır hasar dağılımını göstermektedir. Her ne kadar Özçep F., ve diğ., 2007, analiz sonucu İzmit, Yahya Kaptan Mh. ve körfez bölgesini (mor renkli) zemin sıvılaşması riskli bölge olarak haritalamış ise de 1999 depreminde anılan bölgelerde zemin sıvılaşmasının olmadığı keza mor renkli körfez bölgesindeki tek ve çok katlı binalarda da hasar oluşmadığı tespit edilmiştir. Şekil 4b Değirmendere Belediye Bölgesinde bir kooperatif blokları hasar dağılımını göstermektedir. 2000 yılında rapor yazımı Zemin Müh. San. Tic. Ltd. Şti.,'ne ait olmak üzere ölçülerini alıp değerlendirme ve yorumunu yapmış olduğum bir çalışmadır. Sismik kırılma ölçüleri 12 kanallı Geometrics cihazı ile blokların doğrultusuna paralel profillerde 3 noktada, 5 metre jeofon aralığında alınmıştır. Jeoelektrik görünür öz direnç düşey derinlik sondajı aynı profiller üzerinde

beş noktada Schlumberger elektrod diziliminde akım elektrodları aralığı 60 metre olarak yapılmıştır. Şekil 4b'deki E.S. 1.-5. beş adet elektrik sondaj ve Sis. 1.-3. üç adet sismik kırılma ölçülerinin alındığı noktaları göstermektedir. Şekil 4b'de V_s : kayma dalgası hızını, T_B : Bina etkin periyodu, T_Z : Zemin etkin periyodu, G : Kayma modülü, η : Zemin büyütme faktörü, q_z : Müsaade edilebilir taşıma kapasitesini temsil etmektedir. Sismik ve elektrik sondaj verilerinin ortak değerlendirme ve yorumu Şekil 4b deki gibi sonuçlanmıştır. Bloklar aynı doğrultuda, proje, inşaat kalitesi aynı ve zemin de hemen hemen aynı fakat blokların hasar derecesi çok farklı olarak URL-1 de belirtildiği gibi olmuştur. Bloklardan biri ağır hasarlı iken (kolonlar kırılmış donatı bükülerek açığı çıkmış), bir diğeri hasarsız olabilmektedir. Bu tür benzeri örnekler çoğaltılabilir.



Şekil 4. (a) İzmit'te ağır hasar mevkileri (Mor renkli bölge yerleşime uygun olmayan ve Z_4 olarak sınıflandırılan alan) (Cevher ve diğ., 2002), (b) Aynı zemin, aynı inşaat ve farklı hasarı (Aktaş, 2000).

Figure 4. (a) Heavy damages locations in İzmit (violet region: soil classified as not to fit and as Z_4) (Cevher ve diğ., 2002), (b) The same soil, the same construction and different damages (Aktaş, 2000).

Yukarıda verilen zemin özellikleri ile çeşitli hasar türleri arasındaki ilişkiye bağlı olarak deprem hasarları sınıflaması, zemin sınıflamasına paralel olarak Zemin-deprem hasarı sınıflaması aşağıdaki gibi yapılabilir:

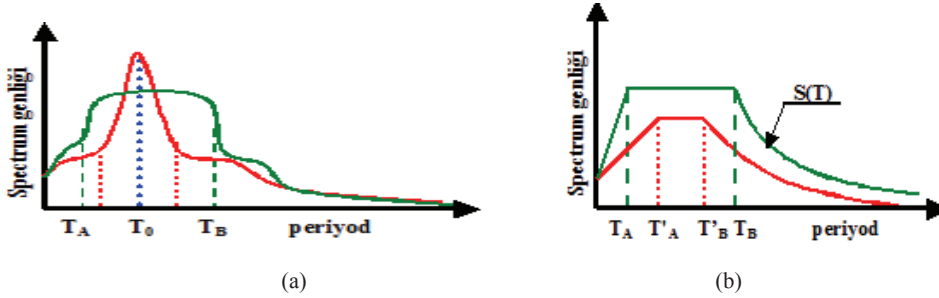
- 1- Gevşek zemin deformasyon hasarı,
- 2- Sıvılaşan zemin deformasyon hasarı,
- 3- Zemin ve yapının Rezonansa girme hasarı,
- 4- Sismik dalga yayılma yoluna bağlı hasar
- 5- İnşaat kalitesine bağlı hasar

Zemin- deprem hasarı sınıflamasındaki 1. ve 2. zemin özellikleri sığ derinlikli etütlerle belirlenebilen etüt türü olup zemin etüdü ile ilgili yerbilimcilerin ortak konusunu teşkil etmektedir. Deprem hasarlarını azaltmada zemin etütlerinin olmazsa olmazı olan zemin etkin veya rezonans frekansı ve sismik dalga yayılma yolları konuları jeofizik mühendisliği bilim alanı olup 3. ve 4. şıktaki hasarların oluşumlarını meslek dışındaki ilgililer için aşağıdaki gibi açıklanabilir.

3. ZEMİN VE YAPININ REZONANS FREKANSI (FREKANS SPEKTRUMU) AÇIKLAMASI

Zemin ve yapı arasındaki rezonans frekansı depremin zemin etkin frekansı olup sismik kayıtların spektrumlarından saptanır. Frekans ile ters orantılı

olan zemin etkin periyodu, T_0 , sismik kayma dalgası hızından (V_s), saptanabilmekle beraber, Şekil 5.(a) mikrotremör veya ivme kayıtlarının sinyal spektrumlarının T_0 değeri aynı, fakat spektrum karakteristik periyodları (T_A-T_B) değerlerinin farklı olabileceğini göstermektedir.



Şekil 5. (a) Spektrum genliğinin karakteristik periyodlarını (T_0 , T_A-T_B) göstermektedir, (b) Spektrum katsayısının $S(T)$ değişimini göstermektedir.

Figure 5. (a) Shows the characteristic periods (T_0 , T_A-T_B) of the amplitude spectrum, (b) Shows the variation of the spectrum coefficient $S(T)$.

T_0 , katman kalınlığı, h , cinsinden ($T_0 = \Sigma[4h_i/V_{s_i}]$, $i=1, 2, 3$) bağıntısı ile tanımlanır. T_0 , h değeri $h \approx 50$ metre olarak sabit değerde tutularak V_s değişimine bağlı olarak elde edilir. h değerinin bu değerlerde tutulmasının nedeni en büyük periyod ve genliğe sahip olan keza en çok hasar yapan Rayleigh dalgası (yüzey dalgası) 50 metre derinliklerde tamamen etkinliğini yitirmesindedir. Şekil 5.'den anlaşılacağı üzere, sadece T_0 değerinden T_A-T_B tahmini hatalı zemin sınıflaması verebilmektedir. Hatalı zemin sınıflaması ise, zemin sınıfı farkından dolayı, deprem yükleri farklı hesaplanmasını sonuçlandırır. Bu da, deprem hasarı bağlamında sakıncalı bir durumdur. Örneğin; V_s 'den elde edilen zemin etkin periyodu $T_0=0.5$ sn ise, karakteristik periyodların $T_A-T_B=0.15-0.60$ veya $0.20-$

0.90 seçiminde hatalı kararlar verilebilir. Spektrum elde edilemediği durumlarda T_0 ' dan T_A-T_B tahmini için Çizelge 1.'den yararlanılabilmektedir. Şekil 5b.'deki daha küçük aralıklı ($T'_A-T'_B$)' nin temsil ettiği zemin (T_A-T_B)'nin temsil ettiği zeminden daha sıkı olduğu Çizelge 1.'de görülmektedir. V_p sıkışma dalga hızının V_s kayma dalgası hızına oranı da daha küçük olduğu ve sıkı zemin özelliğini temsil ettiği de görülmektedir. Buna göre, $T_0=0.5$ sn elde edilecek karakteristik periyodlar [V_p/V_s] $\approx 2.5-3$ ise; $T_A-T_B = 0.15 - 0.60$, [V_p/V_s] ≥ 3 ise; $T_A-T_B = 0.20 - 0.90$ olarak tahmin edilebilir. Islak ve suya doğun zeminlerde sadece V_s sınıflamasına karşın V_p bilgisini de içerdiğinden hız oranı sınıflaması daha sağlıklı sınıflama olmaktadır.

Çizelge 1. Sismik hız oranı ile karakteristik periyodların tahmini.

Table 1. Estimation of the characteristic periods by means of seismic velocity ratio.

Deprem yönetmeliğine göre		Zemin Özelliğine göre		Sismik Hızlara Göre	
Yerel Zemin Sınıfı	T_A-T_B	Yerel zemin sınıfı		V_p/V_s	V_s (m/sn)
Z1	0.10-0.30	Çok sıkı-sert		1.5-2	>700
Z2	0.15-0.40	Sıkı-katı		2-2.5	400-700
Z3	0.15-0.60	Orta-sıkı-bozuşmuş		2.5-3	200-400
Z4	0.20-0.90	Gevşek-yumuşak		3-10	200<

Standart Penetrasyon testi (SPT) N vuruş sayısı ve (V_s) arasındaki deneysel bağıntıları ile dolaylı yoldan elde edilen T_0 değerlerinden T_A ve T_B tahmini daha çok hatalı zemin sınıflamasına sebep olabilmektedir. (SPT) N değerlerinden T_0 saptamanın diğer önemli hatalı yanı: 15-20 metre derinliğe kadar yapılan (SPT) N değerlerinden T_0 saptamanın tartışmasız hatalı olacağı aşikardır.

Bu nedenle, yeriçi derinliklerinin V_p ve V_s sismik hızlarının ve spektrumlarının dolayısıyla karakteristik periyotların ancak jeofizik mühendisliği uygulamalarıyla saptanabildiğinden mikrobölgeleme ve parsel bazında deprem zemin etütlerinde jeofizik mühendisliği zemin etütleri zorunlu olmak zorundadır.

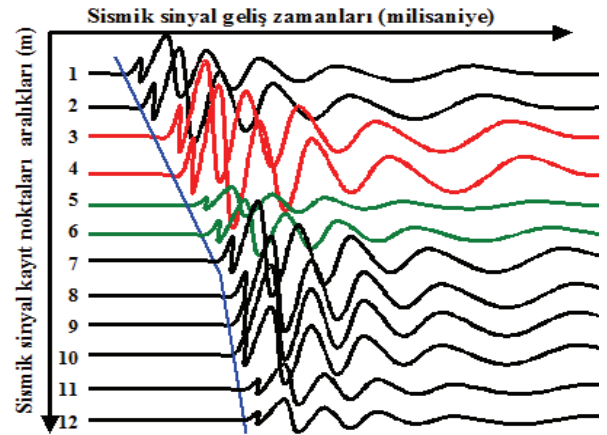
4. DEPREM DALGASI YAYILIM YOLLARI HASARLARININ AÇIKLAMASI

Deprem büyüklüğü veya enerji yoğunluğunun başka bir deyişle deprem dalgası genliğinin zayıf olduğu zeminlerde deprem hasarının olmayacağı da bir gerçektir. Bu bağlamda deprem dalgası farklı enerji yoğunluğu oluşmasına sebep olan sismik dalga yayılım yolları önem arz etmektedir. Yukarıda açıklanan deprem ağır hasarlarının araştırma örneklerinde doğanın söylediği bir kural vardır. Esasında zemine bağlı deprem hasarını en aza indirmek için zemin ve

inşaat temel etütlerin nasıl yapılacağını bize doğanın kendisi göstermektedir. Doğanın cevabı tartışmasız kural olması gereken en doğru cevaptır. Doğanın cevabı olan kuralı sismik zemin etütlerinde sıkça karşılaşılan kayıt örnekleriyle açıklamak mümkündür. Örneğin; Şekil 6a yerleşim bölgelerinde asfalt, beton, sert ve küçük alanlarda 100 metre derinliklere kadar sismik zemin etütlerinde başarılı olan MASW yöntemi jeofon serilimini göstermektedir. Şekil 6b aynı sismik cihaz ve kaynağı kullanan farklı olarak ayaklı jeofon ile sismik kırılma seriliminden elde edilebilen kayıt örneğini göstermektedir. Şekil 6b'de yapay oluşturulan sismik kayıt örneğinde görüldüğü gibi, çok kanallı bir sismik zemin etütünde, yeryüzünde yapay bir sismik kaynaktan oluşturulması ile yer içi derinliklerinde yayılan sismik dalgaların kırılma ve yansımaları sonucu yeryüzündeki jeofonlara geri gelen sinyallerin genlikleri bazı kanallarda büyük ve bazı kanallarda küçük (kırmızı genlikli sinyal genliği büyük, yeşillerin küçük) olabilmektedir. Sismik sinyallerin kayıt cihazının kanallarına farklı genliklerde gelmeleri etüt edilen zeminin yeryüzünde yeriçi jeolojik yapısal özelliklerine bağlı olarak farklı enerji yoğunlukları oluşturduğu örnek şekillerle (Telford ve diğ. 2004, Şekil 4-35.) tarafından açıklanmıştır. Sismik enerji kaynağının deprem olması durumunda Telford'un verdiği örnek şekiller üzerinde sismik enerji yoğunluğunun çok büyük olduğu mevkilerde deprem ağır hasarlarının oluşabileceği (Keçeli 2009, Şekil 20-22.) tarafından verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 6. (a) Sismik etüt uygulamasında jeofonların serilim profili (URL-4), (b) Çok kanallı sismik kayıtların farklı genlikli kanallarını gösteren yapay oluşturulan kayıt örneği.

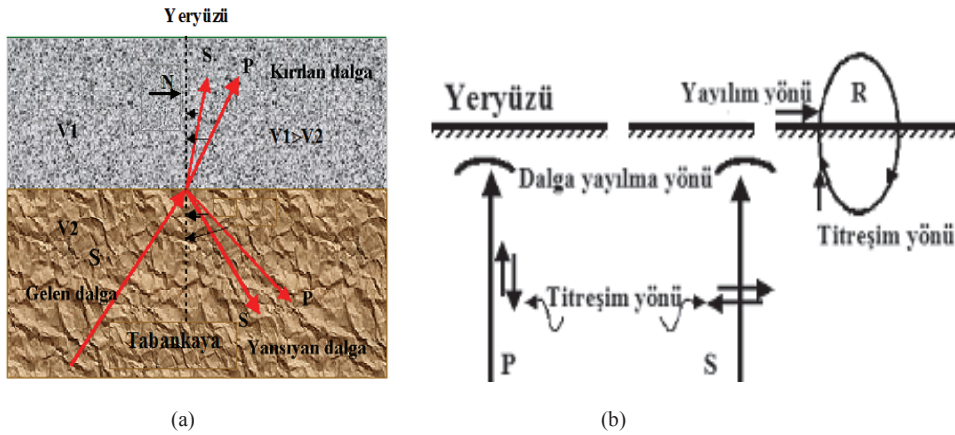
Figure 6. (a) A geophone array profile for seismic study application (URL-4), (b) An artificial example for multi-channel seismic recording with different amplitude.

Sismik sinyallerin kayıt cihazının kanallarına bağlı jeofonlara farklı genlik veya enerji yoğunlukları ile gelmesi doğal bir olaydır. Şekil 6a'daki jeofonlar yerinde bina olmuş olsaydı, deprem esnasında da zeminin yeryüzünde farklı mevkilerine yerçi jeolojik yapısal özelliklerine bağlı olarak, her bir binaya farklı genlikli sismik enerji gelmesi de doğal bir olaydır. Zeminin yeryüzünde farklı enerji yoğunluğu dağılımı oluşumu aşağıdaki gibi açıklamak mümkündür.

Bilindiği gibi, sismik dalgaların yerçinde yayılımları optik yasına göre olmaktadır. Deprem dalgası veya sismik dalga iki farklı jeolojik özellikte

veya V_1 ve V_2 gibi farklı sismik hıza sahip ortamın ortak sınırına geldiğinde, Şekil 7a' da görüldüğü gibi, normale geliş açısına bağlı olarak, yansıma ve kırılmaya uğrar.

Şekil 7b kırılan ve yansıyan sismik dalga türlerinin yayılma yönü ve titreşim yönlerini göstermektedir. Optik kuralı tabankaya topoğrafyası ortak sınırına uygulandığında tabankaya topoğrafyasına bağlı ağır hasarların oluşumuna bilimsel bir yanıt aşağıdaki gibi deprem dalgası sismik ışını ile şematik modeli elde edilebilir.

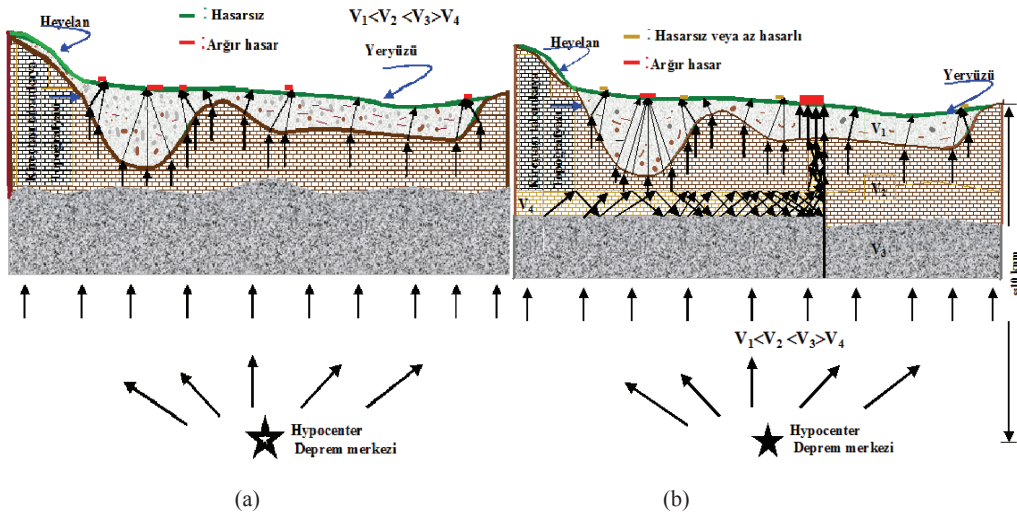


Şekil 7. (a) Sismik dalganın farklı ortam sınırında yansıma ve kırılması, (b) P: ilk gelen, S: ikinci gelen ve R: yüzey dalgalarının yayılma ve titreşim yönleri.

Figure 7. (a) Seismic reflection and refraction of waves in different media border, (b) Direction of propagation and vibration for P the first wave, S second wave and R surface wave.

Şekil 8a Jeolojik etütle yerleşime uygun ve jeoteknik etütle Z_2 olarak sınıflandırılmış oldukça sıkı alüvyon zemin altında gömülü bir vadi veya senklinal olması halinde vadi sınırının, örneğin, kireçtaşı tabankaya topoğrafyasının farklı noktalarında deprem dalgalarının kırılarak yeryüzünde odaklanmasını ve ağır hasar mevkisinin oluşumunu göstermektedir. Şekil 8a'de görülen odaklanma veya odaklanmama (focusing effect or defocusing) mevkileri deprem dalgasının tabankaya topoğrafya sınırına geliş açısına

bağlı olarak değişir. Şekil 8b Tabankayası kireçtaşı veya başka bir kaya ortamının içinde etrafına göre düşük hızlı yeryüzüne irtibatlı zayıf kırıklı veya bozmuş bir bölgenin bulunması halinde ardışık yansımalarla artan sismik enerji yeryüzüne boşaldığı mevkide ağır hasarlara sebep olabilen büyük genlikli ve daha uzun müddetli sarsıntı meydana gelişini göstermektedir.

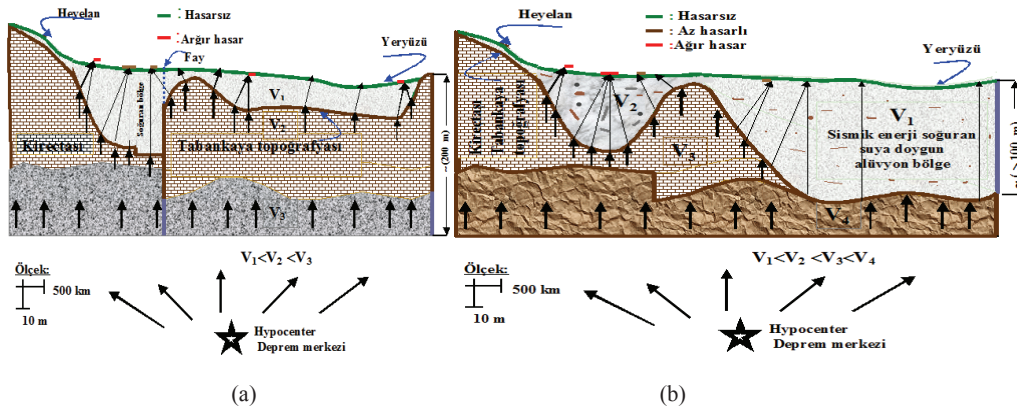


Şekil 8. Şematik jeolojik kesit; (a) Gömülü vadi tabankaya topoğrafyası tarafından sismik dalga odaklanmasının oluşumu, (b) Deprem dalgalarının küçük hızlı ara ortam içinde ardışık yansıma ve kırılmalarla kanalize olmalarının etkisi.

Figure 8. Schematic geologic cross-section; (a) for the earthquake waves focus produced by bed-rock topography of embedded valley, (b) for channeling effect produced by multiple-reflections and refractions of the earthquake waves in the sandwich medium.

Şekil 9a Depremlerde fayın yakınında veya üzerinde yapılmış inşaatlarda, bazen, hasar olmamasını fayın üzerinde o mevkisinde sismik enerji yoğunluğunun hasarlı mevkilere göre daha az olmasından kaynaklanacağını şematik olarak açıklamaktadır. Ancak hasarsızlık durumu deprem dalgalarının fay mevkisindeki tabankaya topoğrafyasına geliş açılarında değişebilir. Şekil 9b Yeraltı suyuna doğun oldukça gevşek alüvyon zemin altında derin ve düzgün tabankaya topoğrafyasının da olması durumunda deprem dalgalarının yeryüzüne soğurularak ve zayıflayarak gelmesini göstermektedir. Yeraltı suyuna

doğun gevşek alüvyon ortamlarında yıkıcı deprem dalgası olan ve sıvı ortamda yayılamayan kayma dalgası hızı ve genliği çok küçük ve yüzey dalgası periyodu çok büyük olacağından yeryüzünde hasar oluşturabilecek yeterince sismik enerji yoğunluğu oluşamaz. Bu nedenle, Şekil 4a'da görülen Jeolojik etütlerle yerleşime uygun olmayan ve jeoteknik etütlerle Z_4 olarak sınıflandırılmış bölgede 1999 Körfez Depreminde Şekil 8b'deki jeolojik yapıya sahip olduğu jeofizik etüde dayanarak tahmin edilen İzmit körfez bölgesinde hasar olmamıştır, (Demirtaş ve diğ., 2003), (Cevher ve diğ. 2002).



Şekil 9. Şematik jeolojik kesit; (a) Deprem esnasında fay üzerinde sismik enerji yoğunluğunun civarından daha az olması, (b) Yeraltı suyuna doğun gevşek zeminde sismik enerji soğurulması oluşumu.

Figure 9. Schematic geologic cross-section; (a) for producing less than around of seismic energy density on the fault during the earthquake, (b) for producing absorption of seismic energy in loose saturated soil.

Şekil 8 ve 9'den anlaşılacağı üzere, mikrobölgeleme etütlerinde sismik dalgaların yayılım yollarına bağlı potansiyel ağır hasar mevkilerini tahmin edebilmek için kesinlikle yeraltı jeolojik yapısı ve özellikle tabankaya topoğrafyası ile mekanik özelliğinin en az 100 metre derinlikte ve yeraltı suyu seviyesinin haritalanması ve saptanacak potansiyel ağır hasar mevkilerinin imar planlarında sakıncalı olarak yer alması şarttır. Bu bakımdan, mikrobölgeleme veya parsel etütlerinde 15-20 metre derinlikli etütler ancak mühendislik yapısı yüküne bağlı oluşacak aktif derinlik sınırlarında zemin oturması ve zemin sıvılaşması saptaması için yeterli olabilir. Deprem dalgalarının odaklanmasının ve ardışık yansımalarının sebep olabileceği potansiyel ağır hasar mevkilerini belirlemek için yeterli değildir. Sadece 15-20 metre derinlikli etütlerle yetinmek deprem riskli bölgeler için günü kurtarma etütleri olup eksik ve sakıncalıdır. Örneğin; ağır hasarların meydana gelmesinde önemli faktörlerden biri olan ve P ve S dalgalarından çok büyük genlik ve periyoda sahip yüzey dalgası etkin derinliği 30-40 metre derinliklere kadar inebilmektedir. Bu nedenle, zemin etütlerinde 30 metre derinliğe kadar olan zemin birimlerinin sınıflamasının sismik kayma dalgası hızı yüzey dalgasına yakın olan öncelikle yüzey dalgası hızıyla yapılması ABD Deprem Hasarları Azaltma Ulusal Programı (National Earthquake Hazards Reduction Program, (NEHRP)) koşulu ve AB standardı olmuştur.

Mikrobölgeleme etütleri potansiyel ağır hasar mevkileri belirtilen koşullarda yapılmamış bölgelerde ada veya parsel bazında zemin ve temel etütleri yapmak sakıncalıdır. Bu bakımdan, ada veya parsel bazında zemin ve temel etütlerinde söz konusu etkileri dikkate almayan raporlar eksik ve sakıncalıdır. Çünkü olası bir ağır hasar mevkisinde zemin ve temel etüdü raporunun dayanağı yoktur. Söz konusu dayanağı olmayan zemin etüdü yapan mühendise yasal sorumluluk getirir. Açıklandığı üzere, deprem ağır hasarlarına sebep olabilecek gömülü potansiyel tabankaya topoğrafyasının saptanması ancak jeofizik mühendisliği etütleriyle mümkündür. Jeofizik Mühendisliği etütlerinin diğer bir avantajı yerinin iki ve üç boyutlu tomografisinin elde edilebilmesidir.

5. DEPREM ZEMİN ETÜDÜ YAPAN MÜHENDİSLİK BİLİM VE GÖREV ALANLARI

3. 4. bölümlerdeki teknik açıklamaya dayanarak 2. bölümdeki zemin-deprem hasarı sınıflamasındaki potansiyel hasar mevkilerinin zemin özelliklerini saptaması gereken mühendislik bilim dalları ve görev alanları aşağıdaki gibi olması gerekmektedir :

- 1- Gevşek zemin özelliği: Jeoloji, jeoteknik ve jeofizik mühendisi
- 2- Zemin sıvılaşma özelliği: Jeoloji, jeoteknik ve jeofizik mühendisi,
- 3- Zemin ve yapı rezonans frekansı (frekans spektrumu): jeofizik mühendisi,
- 4- Deprem dalgası yayılım yolu veya Sismik enerji yoğunluğu: jeofizik mühendisi
- 5- İnşaat kalitesi: İnşaat mühendisi

Yukarıdaki 3. şıktaki zemin rezonans frekansı (*frekans spektrumu*) ve 4. şıktaki deprem dalgası yayılım yolu veya Sismik enerji yoğunluğunu kontrol eden 100 metre civarında derinliklerdeki gömülü tabankaya topoğrafyası ancak ve sadece jeofizik mühendisliği etütleriyle saptanabildiği için ifade edildiği şekilde görev dağılımı yapılması zorunlu olmaktadır.

6. JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ ZEMİN ETÜTLERİ

Jeofizik mühendisliği zemin etütlerinin mikrobölgeleme ve parsel bazındaki zemin etütlerinde zorunlu olmasına daha ayrıntılı bakmak gerekirse;

6.1. Mikrobölgeleme Bazında Etütlerde Saptanması Önemli Öncelikler

- 1- Sismik dalga enerji odaklanmalarının ve sismik dalga kapanlarının oluşabileceği potansiyel mevkilerin en az 100 metre derinliğe kadar tabankaya özelliği ve topoğrafyası ve yanal değişimlerin saptanması,
- 2- Deprem dalgalarının farklı yayılım özelliklerinin yeryüzünde deprem şiddetini 2-3 kat artırabilmesi nedeniyle potansiyel mevkilerin yapı projelendirilmesinde beklenen sığ derinliklerin deprem büyütmesi yanında sözkonusu büyütmenin ayrıca göz önüne alınmasının önerilmesi,

- 3- Kaya zeminin aşırı kırıklı, bozuşmuş ve erime boşluklu mevkileri ağır hasara sebep olabileceğinden önlemleri alanlardaki gibi yapı projesine önem verilmesi ve gerektiğinde zemin iyileştirmesinin önerilmesi,
- 4- Eğimli yamaçlarda heyelan olasılığı irdelenmesi
- 5- Potansiyel zemin sıvılaşması ve potansiyel heyelan analizlerin yapılması
- 6- Sismik yüzey dalgaların (Rayleigh wave) oluşabileceği mevkilerin önceden belirlenmesi
- 7- Yeraltı suyu seviyesinin saptanması,
- 8- Zemin etki periyodunun ve karakteristik periyodlarının saptanması,
- 9- Yerel zeminin statik ve dinamik parametrelerin saptanması
- 10- Yeriçi üç boyutlu sismik hız modelinin elde edilmesi,
- 11- Zemin taşıma kapasitesi, zemin oturması ve yatakkatsayısı saptanması olarak sıralanabilir.
- 12- Diğer uygulamalarla birlikte kullanıldığında yeriçinin aydınlatılmasının otokontrolunun sağlanması olarak sıralanabilir.
- 5- Geleneksel numune almak için uygun olmayan veya numunelerin doğal özelliklerinin korunamadığı mevkilerde yeraltı özelliklerinin belirlenememesi durumlarında, Jeofizik yöntemler hasarsız çalıştığından yer altı verileri elde etmek mümkün olması,
- 6- Mekanik sondaj yapılamayan zor topoğrafik satırlı yerlerde küçük taşınabilir ekipmanlar kullandığından jeofizik sondajlarının yapılabilmesi,
- 7- Yamaç yakınındaki alüvyon içinde kaya bloklarına sondajın isabet edip etmemesi durumlarında zemin özelliklerinin sağlıklı saptanamamasının jeofizik etütle sağlanabilmesi,
- 8- Çoğu durumlarda doğrudan noktasal numune alma saha koşullarını sağlıklı tanımlamak için yeterli olmaması,
- 9- Jeofizik etütle yeraltı jeolojik yapısının üç boyutlu tomoğrafisi elde edilebilmesi, noktasal veriden ziyade hacimsal veri sağlaması,
- 10- Yeraltını daha iyi aydınlatılabilecek isabetli sondaj noktasının belirlenmesi için sondaja yön vermesi,
- 11- Kalitatif verilerden ziyade kantitatif veriler sağlaması,
- 12- Sondaj kuyuları arası özellik değişimlerinin izlenmesi,
- 13- Jeofizik mühendisliği etütlerinin önemli finansman ve zaman kazancı sağlaması, (mekanik sondaja göre %50 daha ekonomik olması)
- 14- Her türlü ortamda kullanılabilecek bir jeofizik yöntemin olması,
- 15- Yeraltı birimlerin yapısal özellikleri; Katman sayısı, kalınlıkları, eğimleri, gömülü yanal değişimler-faylar kırıklar, tabankaya topoğrafyası, yer altı kesiti, yer altı haritası ve 2-3 boyutlu modeli elde edilebilmesi,
- 16- Hidrojeofizik; Yeraltı suyu seviyesinin, suya doygunluğun, kirliliğin, tuzlu su girişimlerinin ve su kaçaklarının saptanması ve haritalanması,
- 17- Potansiyel heyelan alanlarının önceden tahmin edilebilmesi,

6. 2. Parsel Bazında Zemin Etütlerinde Jeofizik Etütler

- 1- Jeolojik yapısal özelliklere bağlı oluşabilecek potansiyel ağır hasar mevkilerinin mevcut olup olmadığı analizinin en az 100 metre derinliklere kadar mekanik sondajlarla belirlenmesinin pratik olarak mümkün olmaması ve belirlenmemiş mikrobölgeleme zemin etütleri analizinin parsel bazında tamamlanmasının hayati önem taşıması,
- 2- Parsel bazında zemin etütlerinde dünya standardına paralel olarak 30 metre derinliğe kadar olan zemin birimlerinin sınıflamasının öncelikle sismik kayma dalgası hızıyla yapılması,
- 3- Büyük genlikli ve büyük periyotlu yüzey dalgalarının oluşum mevkilerinin deprem öncesi belirlenebilmesi,
- 4- Deprem etkisinde olan zemin sarsıntısı dinamik bir hareket olduğundan, dinamik parametrelerinin bilinmesini gerektirmesi,

- 18- Zemin sıvılaşması analizinin sismik ve elektrik etütle yapılabilmesi,
- 19- Yüksekliğine bakılmaksızın okul, hastane ve köprü gibi bina önem katsayısı yüksek yapılarda zeminin spektral ivme katsayılarının ivme ölçümlerinin spektrumundan saptanması,
- 20- Jeofizik etütler hasarsız etüt türü olduğundan çevreye zarar vermemesi,
- 21- Kayaların hafredilebilmeleri, sökülebilirlikleri için gerekli iş makinası seçiminin sismik hızlarla saptanması,
- 22- Yeriçi birimlerin iletkenliklerinin saptanması,
- 23- Zemin iyileştirme kontrolünün yapılabilmesi,
- 24- Yoğunluk, zeminin müsaade edilebilir taşıma kapasitesi, zemin oturması ve yatak katsayısı parametrelerinin sismik hızlardan da saptanabilmesi,
- 25- Diğer uygulamalarla birlikte kullanıldığında yerinin aydınlatılmasının otokontrolunun sağlanması olarak sıralanabilir.

7. DEPREM HASARI SORUMLULARININ TESPİTİNDE YASAL SORUNLAR

1999 depremi hasarı tespit çalışmalarında genelde hasarlı yapılar az, orta ve ağır hasarlı olarak derecelendirildi. Bu derecelendirmelerde sadece inşaat kalitesi dikkate alındı, fakat deprem hasarının deprem-zemin-yapı üçlüsü arasındaki ortak ilişkiyi belirleyen zemin etüdü eksikliğinden de kaynaklanabileceği dikkate alınmadı. Tedbiri alınmayan deprem afet olmadığından deprem hasarlarını azaltma amaçlı tedbirler yanında hasarın sorumlularının tespitinde yeni yasal düzenlemeler yapılmaktadır. Bu bakımdan, gerek deprem zemin etüdü ve gerek deprem hasarı tespit çalışması yapan yerbilimci mühendislerin ciddi yasal sorunlarla karşılaşmamaları için zemin etüdü raporlarını bilimin gereğine göre hazırlamaları önem arz etmektedir.

Zemin-depremler hasarını sınıflamasının 3. ve 4. şıklarına uyan deprem ağır hasarlarının dağılım biçimlerinin rastgele gibi görünmesi ve sebep olabilecek sığ zemin özellikleri ile açıklanamaması nedeniyle deprem ağır hasarlarının sebebi ülkemizde genellikle doğrudan inşaatın kalitesine bağlanmaktadır. Dolayısıyla, insanı deprem değil bina öldürür denilmektedir. Bu

sanki insanı insan öldürmez, insanı silah öldürür demek gibi birşeydir. Şüphesizki, her iki olayda da insanı insan öldürür. İnsanı, kalitesiz inşaat yapan veya eksik ve sakıncalı zemin etüdü yapan insan veya her ikisi birlikte öldürmektedir.

Herhangi bir depremde sismik dalgalarının odaklanması veya zemin rezonans frekansı sebebi ile bir yerde binaların bir veya birkaçında ağır hasar olurken, aynı zemin özelliğine ve aynı kalitede inşata sahip yerlerdeki bloklardan diğerlerinde ağır hasar görülmemesi durumunda, yanlış sorumlular bulunacak ve masum kişiler cezalandırılacaktır. Belkide hasarsız kalabilen daha kötü kalitede yapılmış olan binaları yapan sorumlular yerine daha dürüstce yapılmış, ama, zemin etüdü eksik yapılmış olması sebebiyle ağır hasarlı olan binaları yapanlar masum iken suçlu durumuna düşecektir.

Zemin-deprem hasarı sınıflamasından da anlaşılacağı üzere deprem hasar türleri daha çok zemin özelliğine bağlı olduğu görülmektedir. Bütün yapılan zemin etüdü raporlarının denetiminden sorumlular hukuki ve yasal sorumlulukta öncelikli sorumlular olmalıdır. Deprem hasarlarının sorumluların tespitinde:

- 1- Zemin-deprem hasarı görev alanları sınıflamasının 1. ve 2. şıklarına uyan deprem hasarlarında sorumlu, doğrudan zemin etüdü yapan mühendisin olacağı aşikardır.
- 2- Mikrobölgeleme etütleri imar planları ile ilgili geniş alan etütleri olduğundan Mikrobölgeleme Etütleri'nden kaynaklanan hasarlardan yukarıda belirtilen nitelikte jeofizik mühendisliği etülerinin yapılmasını sağlamayan ilgili belediyeler sorumlu olması gerekir.
- 3- Ada ve parsel bazındaki hasarların nedeni 3. ve 4. şıkların eksikliğinden etüdü yapan mühendis ve yapı denetim kurumu sorumlu olması gerekir.
- 4- Ada ve parsel bazındaki hasarların nedeni 3. ve 4. şıkların hatalı etüdüden kaynaklanıyorsa etüdü yapan jeofizik mühendisi ve yapı denetim kurumu sorumlu olması gerekir.

Deprem potansiyel mevkilerinin belirlenmesinde olduğu gibi deprem hasarlarının sorumlularının belirlenmesinde de jeofizik mühendisliği etütlerinin zorunlu olması tartışmasıdır.

8. SONUÇLAR

Bu makalede varılan sonuçlar özetle aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1- Çeşitli hasar örneklerine dayanarak deprem hasarları sınıflaması yapılmıştır.
- 2- Zemin-yapı arasındaki rezonans frekansı ve spektrum karakteristik periyodları T_A - T_B sadece jeofizik mühendisliği etütleri ile saptanabilmektedir.
- 3- Deprem ağır hasar alanlarının sınırlı mevkilerde nasıl oluştuğu veya oluşmadığı sismik ışın yoluyla şematik modelleme ile açıklanabilmektedir.
- 4- Deprem dalgası yayılım yollarının sebep olabileceği potansiyel ağır hasar mevkilerinin önceden tespiti ancak jeofizik etütlerle mümkündür
- 5- Jeofizik Mühendisliği zemin etütlerini içermeyen zemin etüdü raporları eksik ve sakıncalı olduğu sonuca varılmıştır.
- 7- Eksik ve sakıncalı zemin etütlerinden kaynaklanan hasarların sorumlularının tespitine teknik açıklama getirilmiştir.

Keza çok disiplinli olan deprem hasarlarını azaltma amaçlı mikrobölgeleme ve parsel bazındaki zemin etütleri raporlarının, zemin-deprem hasarı görev alanları sınıflamasına göre, jeoloji, jeofizik ve inşaat (jeoteknik) mühendisliği ortak etüt raporu olarak hazırlanması bilimsel ve teknolojik zorunluk olmaktadır.

Sonuç olarak, açıklamalardan ve örneklemelerden anlaşılmaktadır ki, bir büyük deprem olmadan da, depremin ağır hasarlar verebileceği yerlerin önceden tespit edilebileceği jeofizik mühendisliği günümüz bilim ve teknolojisi ile mümkündür. Bu nedenle, ilgili yönetmeliklerin günümüz bilim ve teknolojisine göre yeniden düzenlenmesi ve uygulanması zorunlu olmaktadır.

9. YARARLANILAN KAYNAKLAR

Aktaş E., 2000, Gölcük, Değirmender Mh., “Özgün Kent Sitesi Zemin Etüt Raporu”: ZEMİN Müh. San. Tic. Ltd. Şti., Kocaeli.

Alvarez R.,1990, Stucture of the Basin of Mexico City and Its Relation to Destruction in the Earthquake of 1985: Geotechnical and Evironmental Geophysics Vol III. pp(263-279).

Cevher M., Avdan F. ve Keçeli A., 2002, İzmit Büyükşehir Belediyesi Bölgesinde Hasar dağılımı. Dünya İnşaat, yıl:19, Sayı:2002-06.

Demirbaş Ş., Şenel H., Özmenek G. ve Endeş H., 2003, İzmit Büyükşehir Belediyesi Jeofizik Zemin Etüdü Gravite Yöntemi Uygulaması Raporu: M.T.A. JEOFİZİK ETÜTLERİ DAİRESİ.

EUROCODE-8, Design of Structures for Earthquake Resistance, Part 1: General Rules.

JozefV., ViktorJ., 2000, Engineering Geological Zoning and Seismic Microzoning: Department of Applied and Environmental Geophysics, Faculty of Natural Sciences, Comenius University,

Kaya Ş., Saroğlu E., Musaoğlu N. , Depremin neden olduğu ağır hasarın şehir alanına etkisinin uzaktan algılama verileri ile belirlenmesi : www.hkmo.org.tr/resimler/ekler/FSYD_159_ek.pdf

Keçeli, A. D. 2009. Uygulamalı Jeofizik (Applied Geophysics), TMMOB Jeofizik Müh. Odası Eğitim yayınları No:9, s.479.

Motosaka M., and Nagana M., 1997, Analysis of Amplification Charateristics of Ground Motions in the Heavily Damedged Belt Zone During the1995 Hyogo-Ken Nanbu (kobe) Earthquake: Earthquake Engineerring and Structural Dynamics, Vol. 26,377-393.

Özcep F., Aşçı M., Alpaslan N., Yas T., Gündoğdu D., 2007, Statik ve Dinamik (deprem) Etkiler Altında Zemin Davranışı: kocaali 2007.kocaali.edu.tr/.../deprem...zemin.../statik_ve_dinamik_...

SchusterG.,BenzH.,MurphyM.,HillJ.,SikorskiC.,and Tsay C., 1990, Prediction of Seismic Ground Amlfication By Forward Modelling Techniques, Geotechnical and Environmental Geophysics Vol.:III, Geotechnical, p.:1-23.

URL-1: The Local Effects of Strong Ground Shaking: <http://pubs.usgs.gov/of/1996/ofr-96-0263/>

URL-2: Hiroyuki G. and Sumio S., 1999, Numerical Simulation of Strong Motion Around Adapazarı Basin During the 1999 Kocaeli Earthquake, TURKEY. www.iitk.ac.in/nicee/wcee/.../13_720.pdf

URL-3: Izmit Earthquake: A Report of the Turkey - US Geotechnical ...

nisee.berkeley.edu/turkey/report.html

(URL-4) Technos Inc., 2000, Surface Geophysical Methods. www. Technos - inc.com/pdf/ surface Techn.

