



# Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

*Araştırma Makalesi*

## Düzce İli Camikebir Mahallesi Kentsel Dönüşüm Alanı Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Arazi Deneyleri İle Araştırılması

Ali ATEŞ\*

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Düzce Üniversitesi, Düzce, TÜRKİYE*

*\* Sorumlu yazarın e-posta adresi: aliates@duzce.edu.tr*

### ÖZET

Bu çalışma, Düzce ili Camikebir Mahallesinde kentsel dönüşüm alanında alüvyal zeminlerin olası bir deprem etkisinde sıvılaşma potansiyelinin, arazi (SPT) verileri kullanılarak belirlenmesini içermektedir. Bu amaçla, yapı oturma alanında yapılan 2 adet sondaj çalışmasına ait olan SPT verileri kullanılmıştır. İlçe merkezinin yaklaşık 7 km Güneyinde “Düzce Fay Zonu” yer almaktadır. Bu fay zonunun yapı alanını etkileyebileceği ve en büyük ivmeyi yaratabileceği varsayılarak, araştırmaya esas alınmıştır. Toplam 75 km uzunluğundaki bu fay zonunun, olası bir depremde 1/2’sinin kırılması tahmin edilerek, moment magnitudü 7,2 ve Türkiye’deki faylar için geliştirilen deprem atenasyon eşitliği kullanılarak 0,288g büyüklüğünde yatay deprem ivmesi oluşabileceği hesaplanmış ve SPT verileri kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Camikebir Mahallesinde yapılacak inşaat alanının yüksek dereceli sıvılaşma riski taşıdığı ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** SPT, Sıvılaşma riski, Düzce

## Investigation of Liquefaction Potential of Soils of the Traffic Control Tower in Kucukkuyu Region (Western Turkey) Using Standard Penetration Test

### ABSTRACT

This study includes the determination of the liquefaction potential developed for the residential area covered by alluvial deposits using SPT (Standard Penetration Test) data under the effect of the probable earthquake in Duzce Center named Camikebir Street. For this reason, two data were evaluated. Duzce Fault Zone was a length of 75 km in length and approximately passes through in a distance of 7 km in the South of Duzce District. It was predicated to affect the region and create the biggest peak horizontal acceleration due to earthquake. In a probable earthquake effect, it was calculated an earthquake of moment magnitude as  $M_w=7.2$ , considering that Duzce Fault Zone may be cracked 1/2 of the total length. Using attenuation relationships, developed for Turkey, a peak ground acceleration of 0.288g was calculated for he study site. According to the these results, the liquefaction analysis was performed using the SPT data and two locations were determined as highly liquefiable.

**Keywords:** Standard penetration test, Duzce, Liquefaction risk

## I. GİRİŞ

ÜLKEMİZİN büyük bir bölümü deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Düzce, tarih boyunca maruz kaldığı depremlerde çok büyük can ve mal kaybına uğramıştır. Ancak, 17 Ağustos 1999 depreminden sonra can ve mal kaybını en aza indirmek için Düzce Belediyesi ile Düzce Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü ortak bir çalışma başlatmıştır. Bu çalışma ile Düzce’de inşa edilen yapılarda bir kalite standardına ulaşılmaya çalışılmaktadır. Ancak, bu aşamada sadece kullanılan malzeme ve betonun miktar ve kalite bakımından yeterli olup olmadığı, inşaatın her aşamasında titizlikte kontrol edilmekte ve gerekli laboratuvar deneyleri ile test edilmektedir.

Son otuz yıl içinde 1999 12 Kasım deprem öncesine kadar çarpık ve hızlı yapılaşmaya maruz kalmıştır. Çalışma alanı, Kaynaşlı Havzası’nın etrafında bulunan Dağlardan kaynaklanan kalın alüvyon yelpazelerle (Kuvaterner) örtülmüştür. Yerleşim alanı birinci derece deprem bölgesinde yer alması ve ilçenin aktif faylar tarafından kesilen alüvyon yelpazeler üzerinde gelişmiş olması nedeniyle deprem tehlikesiyle karşı karşıya kalmış bir durumdadır. Bu çalışma ile olası büyük bir depremde hasarın en aza indirilmesi amacıyla sınıvlaşma potansiyeli araştırılmıştır. Düzce alüvyon zeminini zayıf jeo-mühendislik parametrelerine sahiptir. Bu nedenle kuvvetli yer hareketleri ( $M > 5.0$ ) sırasında olumsuz zemin-yapı etkileşimine yol açmaktadır. Çalışmalar yüzeyde yer alan üst toprak zeminle beraber altta yer alan birbirine geçişli olan formasyonların bulunduğunu göstermiştir. Üst zeminde kalınlığı 1,0 m civarında değişen bitkisel toprağın altında kalınlığı 5-8 m arasında değişen siltli kum ve çakıldan oluşan alüvyon tabakası bulunmaktadır. Bu tabakanın altında ise konkordans olarak çakıl ve siltli kum katmanları yer almaktadır. Gösterilen bu duyarlılık yapıların projelendirilmesi aşamasında başlatılmadığı sürece, amaçlanan hedefe ulaşılması mümkün değildir. İyi bir projelendirme için zemin-yapı etkileşiminin, dolayısıyla da zeminin geoteknik özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bu amaçla, bölgenin jeolojisinden, depremselliğinden, olası deprem odaklarının uzaklığı ile oluşturacakları yer ivmesi ilişkilerinden, zemine ait granülometri değerlerinden ve SPT verilerinden yararlanılarak sınıvlaşma analizleri yapılmış ve Iwasaki vd. [1] kriterleri baz alınarak sınıvlaşma potansiyeli araştırılmıştır.

Bu çalışmada, Düzce Camiikebir Mahallesi kentsel dönüşüm alanındaki alüvyon zeminlerin sınıvlaşma potansiyeli arazi deneyleri ile araştırılmıştır.

## II. MATERYAL VE YÖNTEM

### *2.1. ÇALIŞMA ALANI*

Düzce İli, Batı Karadeniz Bölgesi’nin güneyinde yer alan Düzce ilinin 12 Kasım 1999 tarihinde meydana gelen Düzce Depremi sonrasında can ve mal kaybı en yoğun yaşandığı yer 3444 hektar büyüklüğündeki şehir merkezi ve yakın civarını kapsamaktadır.

Çalışma alanı, Düzce İli, Merkez ilçesi, Camiikebir Mahallesi’nde yer almaktadır ve düz bir arazi yapısına sahiptir. Mahallenin güney sınırından merkez ilçeyi ikiye bölen Asar Deresi geçmektedir. Çalışma alanı ve çevresinde 2-3 katlı betonarme binalar mevcuttur. Bu çalışmada yer bulduru haritası, Şekil 1’de verilmiştir



Şekil 1. Çalışma alanını (Düzce) haritası

## 2.2. ÇALIŞMA ALANININ COĞRAFİ KONUMU VE MORFOLOJİSİ

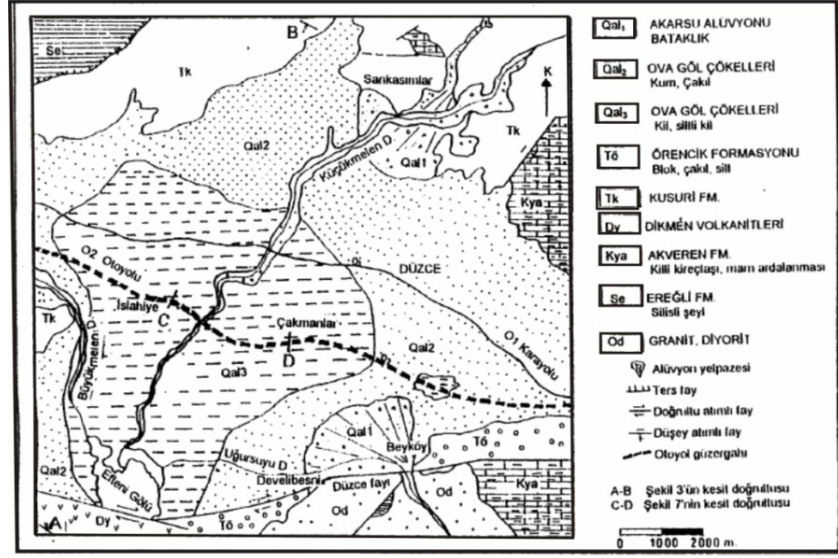
Düzce Kenti yerleşim alanının da içinde yer aldığı Düzce havzası, Batı Karadeniz bölgesinin yüksek ve engebeli fizyografyası içerisinde bir dağ arası havza özelliği sunmaktadır. Havza sağ yönlü doğrultu atımlı Düzce fayının Karadere ve Kaynaşlı segmentleri arasında oluşmuştur. Düzce, tabanında Kuvaterner yaşlı alüvyonların birikimi sonucu oluşmuş, yaklaşık 370 km<sup>2</sup> genişliğinde ova yer almaktadır. Kabaca beşgen şekilli geometrisi olan bu ova genelde fay sarplıklarına karşılık gelen yüksek eğimli yamaçlarla çevrilidir (Şekil 2.). Küçük Melen, Asarsu ve Aksu çayları havzaya gelen ana akarsulardır. Bunlardan Aksu çayı ile kent merkezi içerisinde geçen Asarsu çayı aktif nitelikteki düzce fayı boyunca açılmış fay vadileri içerisinde yerleşmiştir.



Şekil 2. Düzce morfolojik haritası [2]

## 2.3. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

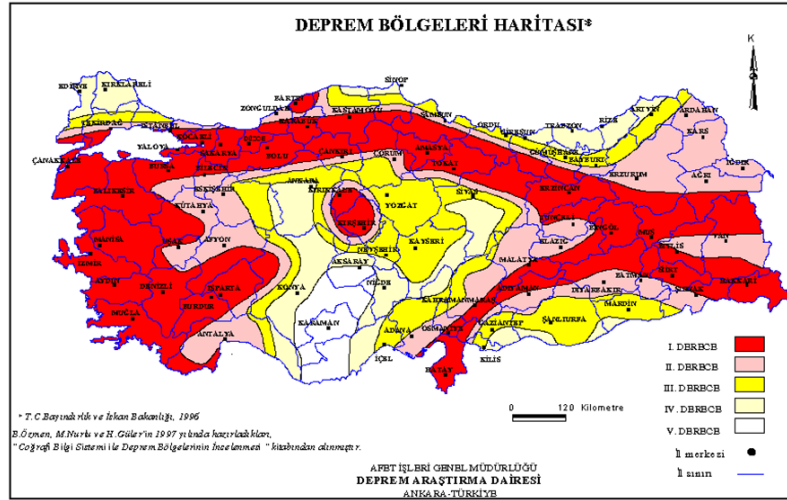
Düzce jeolojik bakımdan IV. Zaman (kuarterler) alüvyon teşekküllerini kapsamaktadır. Alüvyon malzemeler akarsular boyunca oluşmuştur. Ova genel olarak toprak arazi ile kaplıdır. Yamaç, arazi ve tepelerde yer yer volkanik, andezit ve diabaz kayalar ile kesilmiştir. Çalışma alanında, kuvaterner yaşlı alüvyonlar gözlenmektedir ve geniş yayılım gösteren ince elemanlı alüvyonlar, küçük boyutlu, çakıllı, kumlu, siltli, killi, az bloklu, yanal ve düşey geçişli seviyeler birbirleri içinde merceklenmeli, kamalanmalı, gevşek ve tutturulmamıştır. Çalışma alanının olduğu bölgelerde yaklaşık 1.00 m kalınlığında dolgu ve toprak yüzlek verir. Açılan sondajdan alınan örneklerin gözle yapılan tanımlamalardan yukarıdan aşağıya doğru; az kumlu siltli kil, siltli kil kum, siltli iri kumlu kil çakıl, iri kum çakıl serileri geçmektedir (Şekil 3), [3]. Bölgenin kuzeydoğu kısmında da kalker örtülerine rastlanmıştır. Çalışma alanı birinci derece deprem kuşağı üzerinde bulunmaktadır.



Şekil 3. Çalışma alanının jeoloji haritası [3]

## 2.4. DEPREMSELLİK

Çalışma alanı ve yakın çevresi Bayındırlık ve İskan Bakanlığınca yayınlanan ve 5 bölgeye ayrılmış olan "Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına (1996) göre 1. derecede Deprem Bölgesi içinde kalmaktadır (Şekil 4.). Bölgede oluşan depremlerin magnitudü ortalama olarak 7.0 veya daha yüksek olabileceği düşünülmelidir.



Şekil 4. Türkiye Deprem bölgeleri haritası (1996) [4]

### 2.4.1. ÇALIŞMA ALANI VE ÇEVRESİ DİRİ FAYLARI

Aşağıda çalışma alanını etkileyebilecek en yakın diri faylar hakkında genel bilgiler verilmiştir. Türkiye Diri Fay Haritasında çalışma alanı ve çevresinde 3 adet diri fay mevcuttur [3]. Bunlar;

#### a) Kuzey Anadolu Fayı

Düzce Havzasım morfolojik olarak Güneyden sınırlandıran bu fay, Akyazı, Düzce arasında toplam 70 km uzunluğundadır. Birbirini bütünleyen üç alt parçadan (segment) oluşan Düzce Fayı sağ yönlü doğrultu atımlı aktif bir faydır. Akyazı bölümünde Kuvaterner öncesi temel kayalar içerisinde izlenmektedir. Kuzeyde Asya-Avrupa levhası ile güneyde Anadolu levhacığının birbirinden ayıran Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), yaklaşık uzunluğu 1200 km. olan doğrultu atımlı bir fay sistemi olup ülkemizin en önemli tektonik yapılarından biridir. Düzce ve Bolu havzası bu fay üzerinde bulunmaktadır. KAFZ Bolu'nun batısında iki kola ayrılmıştır. Güneydeki kol ise Dokurcun'un batısında tekrar iki kola ayrılmıştır. Kuzey koldaki fay Düzce Fayı diye isimlendirilmiştir. 17 Ağustos ve 12 Kasım 1999 depremlerinin bu zon üzerinde meydana gelmesi aktivitenin devam ettiğinin bir göstergesidir. Kuzey Anadolu Fay zonunun batı segmentinin Çalışma alanı içindeki kesimi yaklaşık Doğu-Batı doğrultusunda Düzce-Akyazı- Sapanca gölü ve İzmit arasında genellikle sağ yönlü doğrultu atımlı faylardan oluşan dar bir zon biçiminde gözlenmektedir. Çalışma alanının depremselliğini bu zon belirlemektedir [3].

#### b) Düzce Fayı

Düzce Havzasının morfolojik olarak Güneyden sınırlandıran bu fay, Akyazı, Düzce arasında toplam 70 km uzunluğundadır. Birbirini bütünleyen üç alt parçadan (segment) oluşan Düzce Fayı sağ yönlü doğrultu atımlı aktif bir faydır. Akyazı bölümünde Kuvaterner öncesi temel kayalar içerisinde izlenmektedir. Fayın aktivitesini 17 Ağustos ve 12 Kasım depremleriyle de ortaya çıkmıştır. 17 Ağustos depreminde (M=7.4) gelişmiş olan 130 km. uzunluğundaki yüzey kırığının 30 km'lik doğu bölümü Düzce Fayı bölümünde yer almaktadır. Bu deprem Düzce Fayının Efteni Gölü'ne kadar olan kesiminde gerçekleşmiştir. Düzce Havzası bölümünde ise genelde yine Kuvaterner yaşlı alüvyonlarla temel kayalar arasında dokanak oluşturmaktadır. Günümüz morfolojisinde izlenen drenaj özellikleri, fay sarplıkları, ötelenmiş dere ve sırtlar bu fayın aktivitesini gösteren verilerdir [3].

#### c) Hendek Çilimli Fayı

Düzce Havzası batısında Sapanca Gölü- Hendek-Cumayeri arasında uzanan KD-GB uzamlı fay Hendek Fayı olarak bilinmektedir. Sağ yönlü doğrultu atımlı olan bu fay yaklaşık 50 km. uzunluğundadır. Adapazarı Ovasında olası olarak haritalanmış olan bu fay Hendek-Cumayeri arasında 25 km'lik bölümünde morfolojik olarak çok belirgindir. Morfolojide sağ yönde ötelenmeler ve büyük boyutlu basınç sırtlarının gelişmiş olduğu zonda Pliyo-Kuvaterner yaşlı Karapürçek formasyonu fay tarafından kesilmekte, fay bu formasyonla temel kayalar arasında dokanak oluşturmakta, doğu bölümünde ise temel kayalar içerisinde yer almaktadır. 1994 Düzce-Hendek depremi (M=6.5) olasılıkla bu fay üzerinde gerçekleşmiştir. Fay üzerinde son depremlerde Hendek'in kuzeybatısında yüzey yarığı oluşmuştur. Oluşan bu kırık sağ yönlü doğrultu atımlıdır. Kırık boyunca küçük boyutlu deformasyonlar, 2-5 cm. arasında sağ yönlü ötelenmeler gelişmiştir. Fay üzerinde geline ve boyutu ile oransız olan bu yüzey kırılması 17.08.1999 depremiyle Hendek fayı üzerinde aşırı stres birikiminin olduğunu gösteren bir veri olarak kabul edilebilir [3].

Çalışma alanında inceleme sahasının yaklaşık 22.5 km güneyinden KAF'ın güney kolu geçmektedir, bu fay Akyazı, Düzce arasında toplam 70 km. uzunluğundadır. Düzce ilçesinin kuzeyinden ise 13 km mesafede 72 km uzunluğundaki düzce fayı geçmektedir. Yaklaşık 63.5 km mesafe kuzeyinden ise 50 km uzunluğundaki hendek fayı geçmektedir.

## 2.5. ARAZİ ÇALIŞMALAR

Çalışma alanında 2 noktada 21,5 m'lik ve 18,50 m'lik olmak üzere toplam 40 m'lik temel sondajı, 2 noktada 24'er metrelik toplam 48 metrelik sismik kırılma yöntemi uygulanmıştır. SK1 kuyusu için koordinatlar  $x=0344163,y=4522457$ , SK2 kuyusu için koordinatlar  $x=0344221,y=4522540$ 'dır. Rakım 145m'dir (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma alanında SPT sondaj çalışması

## 2.6. YERALTI VE YERÜSTÜ SULARI

İnceleme alanında yapılan temel sondaj çalışmalarında ölçülen yer altı su seviyeleri aşağıda tablo halinde sunulmuştur. İnceleme alanının bulunduğu mahallede yer altı su seviyeleri 2000-2006 yılları arasında 4,00-5,50metre arasında değiştiği bilinmektedir.2007 Temmuz ve ağustos döneminde kuraklık nedeniyle yaklaşık 1,50-2,00metrelik bir düşme gözlemlenmiştir. Mevsimsel şartlarda bu değerler 1,5-2,00 metrelik yükselme ve düşme gösterebilmektedir.

## 2.7. DENEYDE KULLANILAN YAZILIMLAR

Bu çalışmada, Arazi verilerinin sıvılaşma potansiyel hesaplamalarında, Liq IT V.4.7.3 Geologismiki [5] yazılımı kullanılmıştır.

## 2.8. METOT

Bu çalışma kapsamında çalışma alanından elde edilen SPT verileri esas alınarak (Tablo 1), orijinal olarak Seed ve Idriss [6] tarafından geliştirilen ve daha sonra Youd vd. [7] tarafından revize edilen sıvılaşma analiz yöntemine göre Liq IT V.4.7.3 [5] Geologismiki yazılımı kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre, Düzce Kentsel dönüşüm alanında sıvılaşma potansiyelinin varlığı araştırılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre alanın depremden kaynaklanan sıvılaşmaya bağlı oluşan riski ortaya konulmuştur.

**Tablo 1.Camikebir Mahallesi Kentsel Dönüşüm Alanı Arazi Verileri**

Sondaj No	Yer Altı Su Seviyesi (m)	Derinlik (m)	SPT-N <sub>30</sub>	Sembol	Açıklama
SK-1	5.0	1.5	10	CL	SİTLİ KİL
		3	13	CL	SİTLİ KİL
		4.5	22	CL	SİTLİ KİL
		6	18	CL	SİTLİ KİL
		7.5	22	SM	SİTLİ KİL
		9	19	SM	SİTLİ KİL
		10.5	R	SM	SİTLİ KUM
		12	R	SM	SİTLİ KUM
		15	R	SM	SİTLİ KUM
SK-2	5.0	1.5	15	CL	SİTLİ KİL
		3	34	CL	SİTLİ KİL
		4.5	30	CL	SİTLİ KİL
		6	19	CL	SİTLİ KİL
		7.5	24	SM	SİTLİ KİL
		9	30	SM	SİTLİ KİL
		10.5	44	SM	SİTLİ KUM
		12	R	SM	SİTLİ KUM
		15	R	SM	SİTLİ KUM
21	R	SM	SİTLİ KUM		

### 2.8.1. SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİNDEKİ KRİTERLER

Analiz sonuçlarını esas alarak zeminlerin sıvılaşma dirençlerinin belirlenmesi, iki değişkenin hesaplanmasını veya tahmin edilmesini gerektirmektedir, bunlar;

- Zemin tabakasındaki sismik talebi ifade eden devirsel gerilme oranı (DGO),
- Zeminin sıvılaşmaya karşı direncini gösteren devirsel direnç oranı (DDO).

Deprem gücünü karakterize eden DGO'nun, zeminin direncini karakterize eden DDO oranı ise o zeminin sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısını vermektedir (Eş. 1).

$$GK = \frac{DDO}{DGO} \quad (1)$$

Güvenlik faktörünün 1'den küçük olması o bölgenin sıvılaşma riski taşıdığını, güvenlik faktörünün 1'den büyük olması ise o bölgenin sıvılaşma riski taşımadığını göstermektedir.

#### 2.8.1.1. SEED VE IDRİSS (1971) TARAFINDAN GELİŞTİRİLEN "BASİTLEŞTİRİLMİŞ" YÖNTEME GÖRE DEVİRSEL GERİLME ORANININ (DGO) BULUNMASI

Bu yöntemle göre deprem esnasında zemin tabakasındaki oluşacak devirsel gerilme oranı aşağıda verilen Eş.2'den hesaplanabilmektedir [6].

$$DGO = 0,65 \left\{ \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right\} = 0,65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r_d \quad (2)$$

Burada; ( $a_{max}$ ) deprem tarafından oluşturulan ve yüzeyde etkiyen en büyük yatay yer ivmesini, ( $\sigma_{vo}$ ) toplam düşey gerilmeyi ( $\text{kN/m}^2$ ), ( $\sigma'_{vo}$ ) efektif düşey gerilmeyi ( $\text{kN/m}^2$ ), ( $g$ ) yerçekimi ivmesini ( $\text{m/s}^2$ ), ( $\tau_{ave}$ ) ortalama devirsel gerilme dayanımını ( $\text{kN/m}^2$ ), ( $r_d$ ) gerilme azaltma katsayısını ifade etmektedir. Efektif Gerilme azaltma katsayısı, Liao ve Whitman [8]'a göre aşağıdaki şekilde belirlenebilir;

$$rd = 1 - 0,00765z, \quad z \leq 9,15\text{m} \quad (3a)$$

$$rd = 1,174 - 0,0267z \quad 9,15\text{m} < z \leq 23\text{m} \quad (3b)$$

Burada; ( $z$ ) metre cinsinden derinliktir.

### 2.8.1.2. YOUNG VD. (2001)'E GÖRE DEVİRSEL DİRENÇ ORANININ (DDO) BULUNMASI

Bu yöntemde standard penetrasyon test (SPT) verileri ile sınılaşma direncinin belirlenmesinde Young vd. [7] aşağıda verilen eşitliği (Eş. 4) önermiştir;

$$DDO_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10(N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (4)$$

Burada,

Sınılaşma analizinde kullanılan düzeltilmiş SPT-N değerleri ( $(N_1)_{60}$ ) Young vd. [7], Seed vd. [9] tarafından bazı kısımları modifiye edilerek ince tane oranının sınılaşma direncine etkisini de göz önünde bulundurarak aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir (Eş.5).

$$(N_1)_{60rk} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \quad (5)$$

Burada,  $\alpha$ ,  $\beta$  ince tane oranı düzeltme katsayılarıdır ve aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$\alpha = 0 \quad ; \quad \dot{I}TO \leq \%5 \quad (6)$$

$$\alpha = \exp\left[1,76 - \left(\frac{190}{\dot{I}TO^2}\right)\right] \quad ; \quad \%5 < \dot{I}TO < \%35 \quad (7)$$

$$\alpha = 5,0 \quad ; \quad \dot{I}TO \geq \%35 \quad (8)$$



$$\beta = 1.0 \quad ; \dot{I}TO \leq \%5 \quad (9)$$

$$\beta = \left[ 0.99 + \left( \frac{\dot{I}TO^{1.5}}{1000} \right) \right] \quad ; \%5 < \dot{I}TO < \%35 \quad (10)$$

$$\beta = 1.2 \quad ; \dot{I}TO \geq \%35 \quad (11)$$

## 2.9. DEPREM TASARIM PARAMETRELERİNİN HESAPLANMASI

Deprem tasarım parametrelerinin bulunması için, çalışma alanını çevreleyen 100 km yarıçapında bir daire çizilerek, daire içinde kalan ve çalışma alanını etkileyebileceği düşünülen aktif sismik kaynaklara dik çizilerek bu sismik kaynakların çalışma sahasına en kısa mesafeleri kilometre (km) cinsinden ölçülmüştür (Şekil 6) [10]. Buradaki amaç bu bölgede olması beklenen depremin üreteceği etkin yatay deprem ivmesinin bulunarak ve zeminin, bulunacak ivmeyi büyütme etkisinin incelenmesidir. Çalışma sahasında en yüksek ivme yaratabilecek olan Düzce fay zonu, Mark [11] yaklaşımına göre olası bir depremde 1/3'nün kırılacağı yaklaşımıyla, tasarım depreminin moment büyüklüğü, Wells ve Coopersmith [12]'in eşitliği kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

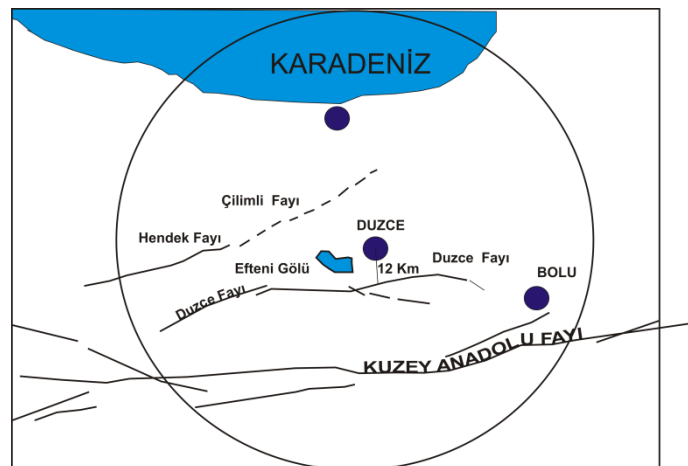
$$M_w = 4,86 + 1,32 \text{ Log } L \quad (12)$$

Bu yaklaşıma göre Fay uzunluğunun, 1/2'nün kırılması durumunda, "Moment Büyüklüğü" 7.1 olarak hesaplanmıştır.

Kayada maksimum yatay ivmenin büyüklüğü Ulusay vd. [13] tarafından önerilen Eş.13 kullanılarak bulunabilmektedir.

$$PGA = 2,18e^{0,0218(33,3M_w - Re + 7,8427 S_A + 18,9282 S_B)} \quad (13)$$

Burada; yumuşak zeminler için  $S_A=0$ ,  $S_B=1$  alınır,  $Re$  yerleşim alanından ilgili fay zonuna en yakın dikey mesafedir,  $M_w$  Deprem büyüklüğüdür. Buna göre, tasarım depreminin meydana getirebileceği "yatay deprem ivmesi" 0,28g olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6. Çalışma sahasına 100 km çap içinde bulunan sismik kaynakların belirlenmesi [10]

## 2.10. ZEMİNLERİN BÜYÜTME FAKTÖRÜ

Çalışma alanında depremin neden olduğu yatay kesme dalgalarının ağırlıklı ortalama değeri Özyayın [14]'in önerdiği Eş.14'e göre aşağıdaki gibi bulunmaktadır.

$$v_{k,0} = \frac{h_1 V_{k1} + h_2 V_{k2}}{h_1 + h_2} \quad (14)$$

Burda;

h: Temel kaya üstündeki zemin katmanı kalınlığı (m),

$V_k$ :zemin katmanı içinde kayma dalası hızını(m/sn) ifade etmektedir.

Araziden elde edilen kayma dalgası hızları eşitlikte yerine konulduğunda ağırlıklı ortalama değerleri aşağıdaki Tablo 2'de hesaplanmıştır.

*Tablo 2. Araziden elde edilen kayma hızlarının ağırlıklı ortalama değerleri*

SERİM NO	Tabaka	Vs (m/s)	530 mt.Ağırlıklı ort Vs hızı
S 1	1	280	<b>270</b>
	2	260	
S 2	1	270	275
	2	280	

Çalışma alanındaki zeminlerin hakim titreşim periyodu Bray [15]'in önerdiği Eş.15 marifeti ile bulunabilmektedir.

$$T_s = \frac{4 \cdot h}{V_k} \quad (15)$$

Burada;

h: Temel kaya üstündeki zemin katmanı kalınlığı (m),

$V_k$ :zemin katmanı içinde kayma dalası hızını(m/sn) ifade etmektedir.

Yukarıda Eş.14'den hesaplanan depremin oluşturacağı kayma dalgası Eş.15'de yerine konduğunda 0.31 sn bulunmuştur.

Yatay ivmenin maksimum değerinin kestirilmesi Borchardt ve arkadaşları [16] ve Özyayın [14] tarafından önerilen Eş.16 kullanılarak 0.4-2 sn periyodundaki ortalama relatif yatay spectral amplifikasyon faktörü AHSA aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$AHSA = \frac{600}{V_{k,0}} \quad (16)$$

Burada;

AHSA: 0.4-2.0 s periyod aralığında ortalama yatay spektral büyütme

V1: 30 m derinlik içerisindeki ortalama kayma dalgası hızı ( m/sn )

Yukarıdaki eşitlikte değerler yerine konduğunda AHSA değeri için hesaplanan ağırlıklı ortalama kayma dalgası hızı  $V_{k,0}=280$  m/sn için hemen hemen aynı değerdedir. Buradan rölatif büyütme faktörü AHSA=2.2 olarak bulunmuştur.

### *2.10.1.BÜYÜTME FAKTÖRÜNÜN DEĞERLENDİRİLMESİ*

Burada “2.5.1 Metot” bölümünde bahsedilen eşitliklerden bulunacak parametrelerle ilgili eşitlikler yardımıyla rölatif yatay amplifikasyon faktörünün (AHSA) bulunması için aşağıdaki parametreler hesaplanmış ve bu değerler kullanılarak amplifikasyon faktörü Eş. 17 kullanılarak elde edilmiştir.

$$a_{zemin} = AHSA \cdot a \quad (17)$$

Burada;

AHSA : 2.2 (Eş. 16 kullanılarak bulunmuştur),

$M_w$  : 7.2 (Eş.12 kullanılarak bulunmuştur),

$a$  : 228 cm/sn<sup>2</sup> (Eş.13 kullanılarak bulunmuştur),

$V_k$  : 280 m/sn (Eş.14 kullanılarak bulundu),

Bu parametreler kullanılarak çalışma alanının formasyon yapısı ve zemin dokusu baz alınarak ilgili parametreler hesaplanmış ve bu parametreler kullanılarak rölatif yatay amplifikasyon faktörünü (AHSA) 2.2 bulunmuştur. Çalışma alanını etkilemesi tahmin edilen fayların üreteceği yatay deprem ivmesi ise, rölatif büyütme faktörünün etkisi de hesaplamanın içine katılması halinde şehir merkezinde inşa edilecek yapılara yansiyacak olan yatay deprem ivmesi 0.52 cm/sn<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır.

## **3. ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

### *3.1.SIVILAŞMA ANALİZİ VE SIVILAŞMA POTANSİYELİ İNDEKSİNİN BELİRLENMESİ*

Çalışma alanında, bu bölgede bulunan ve etkin olan Yenice Gönen fayının olası bir depremde bu fayın 1/2'sinin kırılacağı tahmin edilen senaryo depremine göre, moment magnitudü  $M=7.5$  büyüklüğünde

beklenen bir depreme göre sıvılaşma potansiyeli Liq IT V. 4.7.3 [5] Geologismiki yazılımı kullanılarak araştırılmıştır.

Ancak güvenlik faktörü, geniş ve derin alanlar için göreceli bir değerlendirme yapılmasına ve sıvılaşma potansiyeli açısından sıvılaşma haritalarının hazırlanmasına doğrudan imkân vermemektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak, Iwasaki vd. [1] tarafından güvenlik faktörünü de içerecek şekilde “sıvılaşma potansiyeli indeksi” adı verilen bir parametre önerilmiştir. Iwasaki vd. [1] sıvılaşma indeksinin hesaplanması için aşağıdaki eşitlikleri (Eş. 18 ve Eş. 18a-Eş. 18d) önermiştir.

$$LI = \int_0^{20} F(z)W(z)dz \quad (18)$$

$$FL < 1,0 \text{ için; } F(z) = 1 - FL \quad (18a)$$

$$FL \geq 1,0 \text{ için; } F(z) = 0 \quad (18b)$$

$$z < 20 \text{ için; } W(z) = 10 - 0,5z \quad (18c)$$

$$z > 20 \text{ için; } W(z) = 0 \quad (18d)$$

Burada; (LI) sıvılaşma indeksi, (z) yüzeyden zemin tabakasının orta noktasına olan derinlik (m), (FL) sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörüdür.

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin derecelendirilmesinde Iwasaki vd. [1]’e göre hesaplanan sıvılaşma indeksleri Tablo 3’deki gibi sınıflandırılabilir.

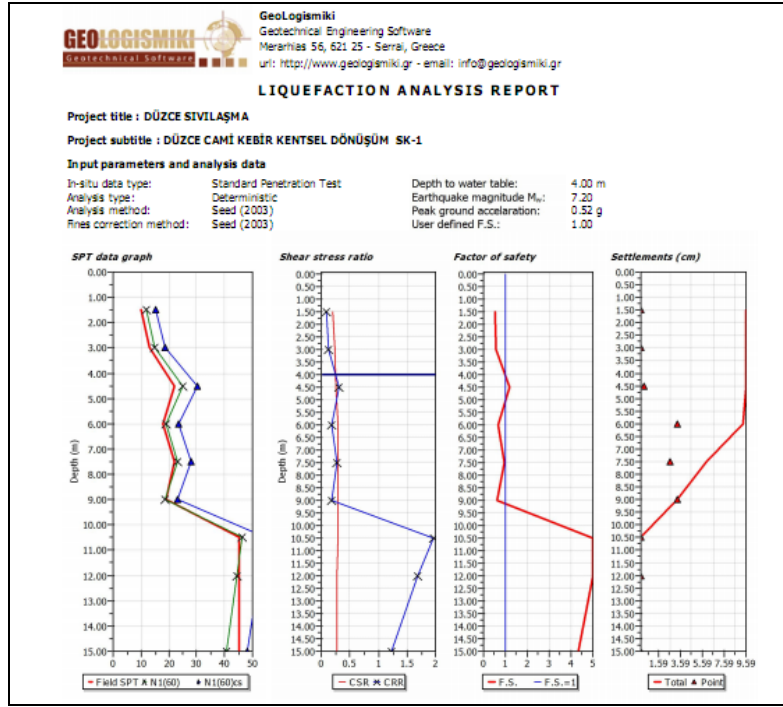
**Tablo 3.** Sıvılaşma potansiyeli indeksine (LI) göre sıvılaşma risk dereceleri [1]

Sıvılaşma İndeksi (LI)	Sıvılaşma Potansiyeli
0	Çok az
0 < LI < 5	Az
5 < LI < 15	Yüksek
15 > LI	Çok yüksek

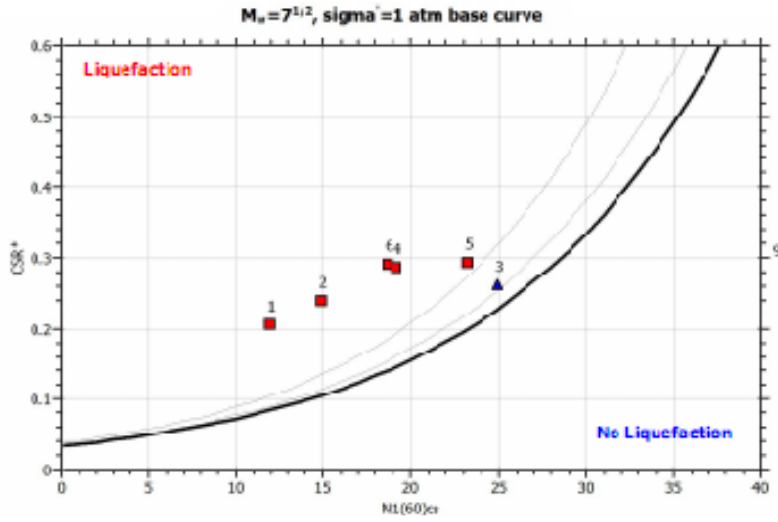
Sıvılaşma analiz sonuçlarına göre elde edilen güvenlik katsayıları, Iwasaki vd. [1] yöntemine göre Eşitlik 18 kullanılarak sıvılaşma indeksleri bulunmuş ve analize dahil edilmiştir. Buradan bulunan indeksler yukarıda verilen (Tablo 3) sınır değerleri ile karşılaştırılarak ilgili lokasyonlar sıvılaşma derecelerine göre gruplandırılmış ve sonuca varılmıştır.

Bu çalışmada SK-1 ve SK-2 kuyuları için Liq IT V.4.7.3 [2006] programı kullanılarak sıvılaşma analizleri ayrı ayrı yapılmıştır. SK-1 kuyusunda güvenlik sayısı (FS) 1,5 m–15 metreler arasında FS < 1 olması nedeniyle sıvılaşma potansiyeli taşımaktadır (Şekil 7).

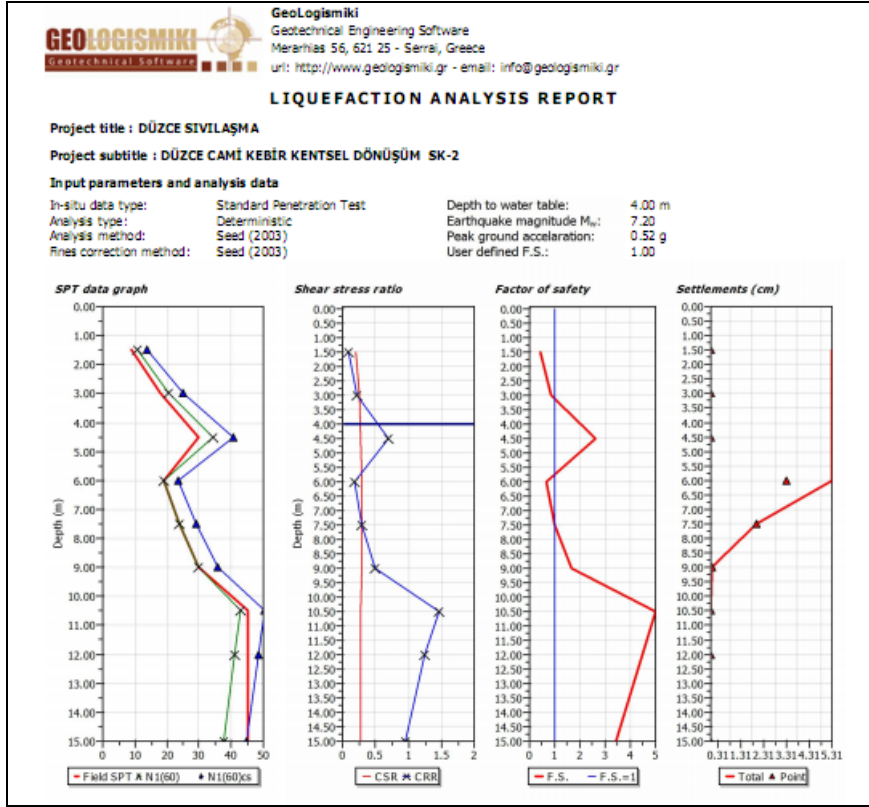
Aynı şekilde SK-2 kuyusunda da güvenlik sayısı (FS) 2.5 m–15 metreler arasında FS < 1 olması nedeniyle sıvılaşma potansiyeli taşıdığı görülmektedir. (Şekil 8).



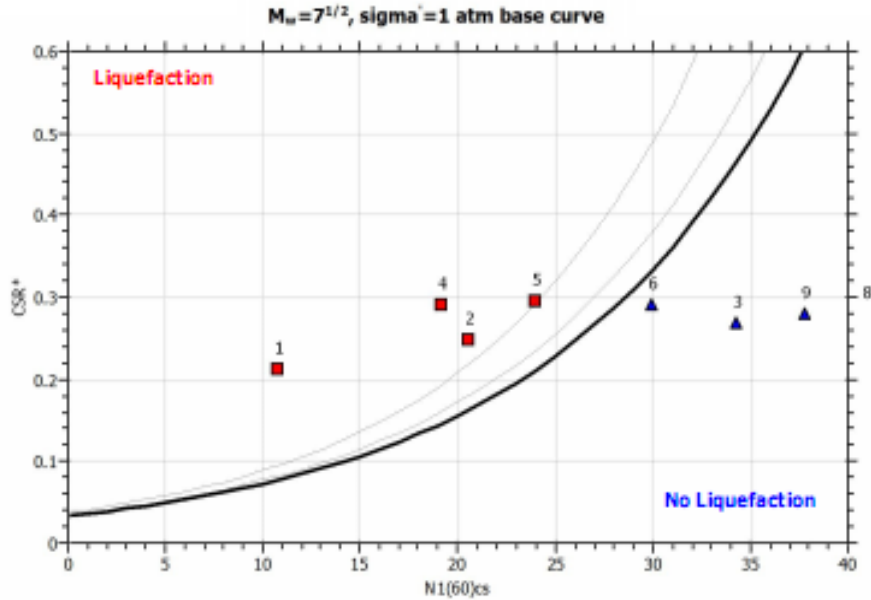
Şekil 7 (a). Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre SK-1 kuyusu analiz sonuçları



Şekil 7 (b). Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre SK-1 kuyusu analiz sonuçları



Şekil 8 (a). Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre SK-2 kuyusu analiz sonuçları



Şekil 8 (b). Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre SK-2 kuyusu analiz sonuçları

## IV. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Düzce ili Camikebir Mahallesi Kentsel Dönüşüm alanında zeminlerinin standart penetrasyon deneyi (SPT) ile sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır. Deprem kaynağı olarak Düzce Fay Zonu tespit edilmiş ve bu fay zonunun üretmesi beklenen tasarım parametreleri; “maksimum yatay deprem ivmesi 0,288g ve moment magnitudü 7,2”, olarak hesaplanmıştır. Bu sahada yer altı su seviyesinin de yüksek olması ve buna ilaveten zemin yapısının alüvyon oması olduğu dikkate alınarak hesaplanmış deprem parametrelerine göre sıvılaşma analizi yapılmıştır. Analiz sonunda SK-1 ve SK-2 çevresinin yüksek dereceli sıvılaşma riski taşıdığı ortaya konulmuştur (Şekil 8 ve Şekil 9).

Bu alanın deprem zonu etkisinde olduğu düşünülürse sıvılaşmadan doğacak oturmalar oluşabilir. Bu oturmaların yapılara zarar verebilecek olması nedeniyle, tasarlanan yapıların temel zemininin iyileştirilmesi gereklidir. Deprem sırasında yanal zemin direncinin çok azalacağı dikkate alınarak, yanal yatak katsayısının da çok ciddi bir azalma olması gerekeceği hatırlanmalı ve gerekmesi halinde kazıklı temel tasarımı düşünülmelidir. Başka alternatifler, de derin sıkıştırma jet enjeksiyon ve taş kolon yöntemi gibi alternatiflerde düşünülebilir.

**TEŞEKKÜR:** Bu çalışmada arazide yaptığı çalışmalarıyla bu makalenin hazırlanmasında yapmış olduğu katkılarından dolayı **ACAR JEOFİZİK MÜHENDİSLİK** sahibi Cemil ACARA’ a teşekkür ederim.

## 5. KAYNAKLAR

- [1] T. K. Iwasaki, K. Tatsuoka, S. Watanabe, S. Yasuda, and H. Sato, Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, **Proceedings of the 13th International Conf. On Microzonation**, Seattle, USA, (1982) 1319-1330.
- [2] Anonim, <http://maps.google.com> (Erişim tarihi:25 .11.2013)
- [3] M.T.A, Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi (A.U), *17 Ağustos 1999 Depremi Sonrası Düzce (Bolu) İlçesi Alternatif Yerleşim Alanlarının Jeolojik İncelenmesi*, TÜBİTAK Yer Deniz Atmosfer Bilimleri ve Çevre Araştırma Grubu Raporu, Ankara, (1999).
- [4] P. Gürkan, A. Koçyiğit, M.S. Yüçemen, V. Doyuran, N. Başöz, *Deprem Bölgeleri Haritası*, 1:8.000.000, Harita Genel Komutanlığı basımı, Ankara, (1996).
- [5] <http://www.geologismiki.gr> (Erişim tarihi: 15.11.2013)
- [6] H.B. Seed, I.M. Idriss *ASCE*, **97(9)** 1971,1249-1273.
- [7] T.L Youd, I.M. Andrus, R.D. Andrus, I. Arango, G. Kastro, J.T. Christian, R. Dobry, W.D.L. Finn, L.F. Harder, M.E. Hyness, K. Ishihara, J.P. Koester, S.S.C. Liao, IIIWF. Marcuson, G.R. Marti, J.K. Mitchell, Y. Moriwaki, M.S. Power, P.K. Robertson, R. B. Seed, and II K.H. Stokoe, *ASCE*, **127 (10)** 2001,817-832.
- [8] S.S. Liao, R.V. Whitman, *ASCE*, **112 (3)** (1986) 373-377.
- [9] H.B. Seed, K. Tokimatsu, L.F. Harder, and R.M. Chung, *ASCE*, 111 (12), (1985), 1425-1445.
- [10] F. Şaroğlu, Ö. Emre, İ. Kuşcu, *Türkiye Diri Fay Haritası*, 1:8.000.000, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, (1982).
- [11] R. K. Mark, *Geology*, **5 (1)** (1977), 464- 466.
- [12] D.L. Wells, and K.J. Coopersmith *Bull, Seismol, Soc, America*, **4** (1984) 974-1002.
- [13] R. Ulusay, E. Tuncay, H. Sönmez, and C. Gökçeoğlu, *Engineering Geology*, **74** (2004) 265–291.
- [14] K. Özaydın, **Zeminlerde sıvılaşma. Altıncı Ulusal Depem Mühendisliği Konferansı**, İstanbul,(2007) 231-255.

- [15] J.D. Bray, Geotechnical Earthquake Engineering, The Civil Engineering Handbook (Ed: W.F. Chen), CRC Press. Inc. (1995).
- [16] R.D. Borchardt, C.M. Wentworth, A. Janssen, T. Fumal, and J. Gibbs Methodology for Predictive GIS Mapping of Special Study Zones for Strong Ground Shaking in the San Francisco Bay Region”, **Proc. 4th Inter. Conf. On Seismic Zonation**, *San Francisco, ABD*,(1991)545-552.