

ZEMİN SIVILAŞMASI II

Prof. Dr. Müh. Ergin ARIOĞLU
İ.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü

Doç. Dr. Mim. Nihal ARIOĞLU
İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi

Dr. Müh. Ali Osman YILMAZ
K.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü

3. Zemin Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi

3.1 Genel

Geoteknik literatüründe deprem kaynaklı zemin sıvılaşma riskini belirlemek üzere geliştirilmiş çeşitli yöntemler vardır. Yöntemler dikkatle incelendiğinde büyük çoğunluğu temelde Seed-Idriss'in 1982 çalışmasında (Bray, 1995) ortaya koyduğu "periyodik kayma gerilme oranı" kavramına dayanmaktadır. Ambraseys 1988 makalesinde Seed'in çalışmalarına konu olan sıvılaşma datalarını (134 adet) regresyon matematiğiyle değerlendirerek sıvılaşmaya neden olan gerilme oranı $\left(\frac{\tau}{\sigma'_z}\right)_z$ ile düzeltilmiş -verilen efektif düşey basınç değerine normalize edilmiş standart penetrasyon sayısı $(N_1)_{60}$ ve deprem büyüklüğü arasında bağıntılar çıkarmıştır. Ambraseys 1988 çalışması pratik mühendislik açısından şu kolaylıkları beraberinde getirmiştir.

- $\left(\frac{\tau}{\sigma'_z}\right)_z = f(N_1)_{60}$ değişimleri deprem büyüklüğü bazında sayısal şekilde ifade edilmiştir.
- Seed ve Idriss 1982'de belirtilen $\left(\frac{\tau}{\sigma'_z}\right)_{z-M} / \left(\frac{\tau}{\sigma'_z}\right)_{z,M=7.5}$ düzeltme oranları literatürde tartışılmaya açılmıştır.
- Sıvılaşma potansiyeli taşıyan bölge ile faya dik uzaklık -deprem büyüklüğü- kritik yer ivmesi değişimlerinden (Bkz Makalenin I. Bölümüne) hareket ederek düzeltilmiş -normalize edilmiş standart penetrasyon değerinin kritik büyüklüğü $(N_1)_{60,k}$ analitik şekilde belirlenebilir. Eğer incelenen zemine ait $(N_1)_{60}$ değeri $(N_1)_{60} < (N_1)_{60,k}$ ise sıvılaşma potansiyeli çok yüksektir.

3.2. Seed-Idriss 1982 Yöntemiyle Ambraseys-1988 Bağıntılarının Bütünleştirilmesi

Çizelge 3'de sıvılaşma potansiyelinin kestirilmesiyle ilgili temel bağıntılar açıklamalarıyla birlikte gösterilmiştir. Çizelge 4'de ise Çizelge 3'de belirtilen bağıntılarda kullanılan düzeltilmiş-normalize edilmiş standart penetrasyon değerine " $(N_1)_{60}$ " ilişkin açıklamalar özlü biçimde sunulmuştur.

Çizelge 3'de yer alan (3) ve (4) nolu bağıntıların değişimleri deprem büyüklüğü cinsinden Şekil 5a'da gösterilmiştir (Ambraseys, 1988). Şekil 5b'de ise $M_w = 7.5$ deprem büyüklüğüne karşı gelen

$\left(\frac{\tau}{\sigma'_z}\right)_z$ zeminin kayma gerilme oranının değişimleri literatürde rapor edilen diğer bağıntıların değişimleriyle

karşılaştırılmıştır (Ambraseys 1988). Anılan şekiller dikkatle incelendiğinde şu sonuçlar ön plana çıkmaktadır:

- Verilen standart penetrasyon değerinde depremin moment büyüklüğü arttıkça kayma gerilme oranı $\left(\frac{\tau}{\sigma'_z}\right)_z$ önemli ölçüde azalmaktadır.
- Verilen deprem büyüklüğünde anılan kayma gerilme oranı standart penetrasyon değeriyle artmaktadır. Örneğin $M_w=7.5$ 'de

Çizelge 3 : Sıvılaşma Potansiyelinin Kestirilmesi

- Sıvılaşmaya karşı emniyet katsayısı

$$F = \frac{\text{Sıvılaşmaya karşı zeminin direnci}}{\text{Depremün ürettiği yatay kayma gerilmesi}} = \frac{\left(\frac{\tau}{\sigma'_z}\right)_z}{\left(\frac{\tau}{\sigma'_z}\right)_d}$$

- Sıvılaşmaya karşı zeminin direnci $\left(\frac{\tau}{\sigma'_z}\right)_z$

$M_w \geq 7.5$ için:

$$\left(\frac{\tau}{\sigma'_z}\right)_z = 3.29 \left[\exp(0.06N_{160}) \right] (N_1)_{60}^{0.755} \exp(-0.81 M_w) \quad (3)$$

$6.0 \leq M_w \leq 7.5$ için :

$$\left(\frac{\tau}{\sigma'_z}\right)_z = 0.4 \left[\exp(0.06N_{160}) \right] (N_1)_{60}^{0.755} \exp(-0.525 M_w) \quad (4)$$

M_w = Deprem büyüklüğü -moment bazında-

$(N_1)_{60}$ =Düzeltilmiş – normalize edilmiş standart penetrasyon değeri (Bkz. Çizelge 4)

Yukarıda verilen Ambraseys 1988 bağıntılarının sınır koşulları:

- o Effektif basınç $\sigma'_z \leq 1.2$ kgf/cm²
- o Katmanlar “yatay”
- o Temiz kum. İnce içeriği \pm % 5’dir. Eğer kum katmanında + % 5’den fazla ince malzeme mevcut ise düzeltme şöyle yapılabilir: $N = (N_1)_{60} + N_i$. N_i ince malzeme içeriğine göre yapılan “artış miktarı”. Örneğin % 10 ince malzeme içeriğinde $N_i = 6$; % 15’de $N_i = 7$ alınabilir.

- Depremün oluşturduğu ortalama periyodik kayma gerilme oranı

$$\left(\frac{\tau}{\sigma'_z}\right)_d = r_b \cdot \frac{a_{\text{mak}}}{g} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \cdot r_d \quad (5)$$

(Tokimatsu ve Yoshimi, 1983; Port and Harbour Research Institute, Japan, 1997)

r_b = Deprem büyüklüğü ile ilgili düzeltme faktörü

$r_b = 0.1(M - 1)$ $M = 7.5$ için $r_b = 0.65$ olmaktadır. Bu değer ilk defa Seed ve Idriss 1982 çalışmasında önerilen değere denktir. (Amraseys, 1988; Bray, 1995; Kramer, 1996)

σ_z = İncelenen derinlikteki toplam düşey basınç

σ'_z = İncelenen derinlikteki düşey efektif basıncın büyüklüğü

a_{mak} = Maksimum yatay yer ivmesi -g cinsinden-

g = Yerçekimi ivmesi

r_d = Gerilme düzeltme faktörü $r_d = 1 - 0.015 Z$

Z = Sıvılaşma potansiyelinin incelendiği derinlik (m) -yüzeyden itibaren alınır-

• **Değerlendirme:**

$F \geq 1$ ise incelenen derinlikteki katmanda “sıvılaşma riski” yok

$F < 1$ ise incelenen derinlikteki katmanda “sıvılaşma riski” yüksek

Çizelge 4: Düzeltilmiş -Verilen Effektiv Basınç Değerine Normalize Edilmiş Standart Penetrasyon Sayısı $(N_1)_{60}$

- Düzeltilmiş-normalize edilmiş standart penetrasyon sayısı $(N_1)_{60}$

$$(N_1)_{60} = N \cdot f_e \cdot f_{eb} \cdot f_d \cdot f_{bu} \cdot f_n \quad (6a)$$

N = Ölçülen standart penetrasyon değeri

- Enerji düzeltme faktörü “ f_e ”

$$f_e = \frac{E_a}{0.60 E_t} \quad (7a)$$

E_a = Aktüel tokmak (şahmerdan) enerjisi

E_t = Teorik serbest düşme enerjisi

Eğer $E_a \approx 0.60 E_t$ ise düzeltme faktörü $f_e = 1$ olmaktadır. Örneğin; Japonya’daki SPT uygulamalarında

$E_a \approx 0.72 E_t$ ’dir. Bu durumda $f_e \approx 1.2$ ’dir.

- Effektiv basınç düzeltme faktörü “ f_{eb} ”

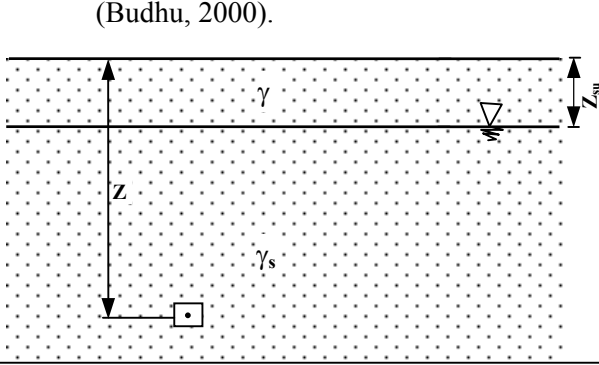
Literatürde en çok kullanılan düzeltme faktörüne ilişkin amprik bağıntılar şunlardır (Bazaraa, 1995)

$$f_{eb} = \sqrt{\frac{1}{\sigma'_z}}; \sigma'_z \text{ (kgf/cm}^2\text{)} \text{ (Liao ve Whitman, 1986)} \quad (7b)$$

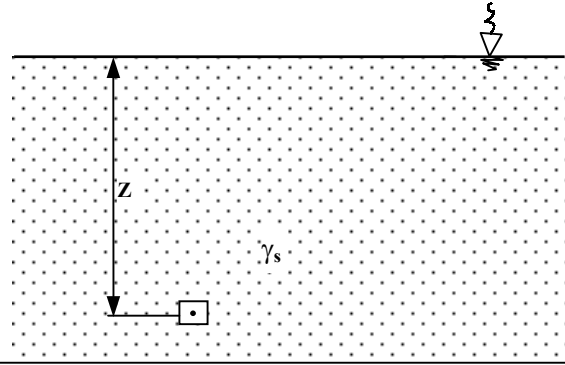
$$f_{eb} = 0.77 \log \frac{20}{\sigma'_z} \text{ (Peck ve arkadaşları, 1973)}$$

$$f_{eb} = 1 - 0.25 \log \sigma'_z \text{ (Seed, 1976)}$$

σ'_z = Düşey effektiv basınç, kgf/cm². Bu temel büyüklüğün nasıl hesaplanacağı aşağıda gösterilmiştir (Budhu, 2000).



Ⓐ Yeraltı su seviyesi “ Z_{su} ”da



Ⓑ Yeraltı su seviyesi yüzeyde

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> o Toplam düşey basınç “Z” derinliğinde
$\sigma_z = \gamma \cdot Z_{su} + \gamma_s (Z - Z_{su})$ o Boşluk su basıncı
$u = \gamma_{su} \cdot (Z - Z_{su})$ o Düşey efektif basınç
$\sigma'_z = \sigma_z - u = \gamma \cdot Z_{su} + (\gamma_s - \gamma_{su})(Z - Z_{su})$ | <ul style="list-style-type: none"> o Toplam düşey basınç
$\sigma_z = \gamma_s \cdot Z$ o Boşluk basıncı
$u = \gamma_{su} \cdot Z$ o Düşey efektif basınç
$\sigma'_z = \sigma_z - u = (\gamma_s - \gamma_{su})Z$ |
|--|---|

Çizelge 4’ün devamı

- o Birim ağırlık

$$\gamma = \frac{G_z(1+w)}{1+e} \cdot \gamma_{su}$$

w = Zeminin su içeriği

- o Sature birim ağırlık (% 100 saturasyon) $S = 1$

$$\gamma_s = \left(\frac{G_z + S \cdot e}{1+e} \right) \gamma_{su} = \left(\frac{G_z + e}{1+e} \right) \gamma_{su}$$

S = Saturasyon -doygunluk- düzeyi $S = \frac{w \cdot G_z}{e}$

$S = 0$ 'da zemin “kuru”

$S = 1$ 'de zemin tamamen “sature” (doygun)

G_z = Zeminin özgül ağırlığı-dane birim hacim ağırlığı-

e = Boşluk oranı, Porozite $n = \frac{e}{1+e}$

% 100 sature durumda bulunan çakıl, kum ve siltlerde sırasıyla $\gamma_s = (2 - 2.5) t/m^3$; $(1.8 - 2) t/m^3$ ve $(1.8 - 2) t/m^3$ aralıklarında değer alırlar (Budhu, 2000)

- Delik çapı düzeltme faktörü “ f_d ”

Delik çapı	65 mm-115 mm	150 mm	200 mm
f_d	1.0	1.05	1.15

(Skempton, 1986; Bazaraa, 1995)

- Boru (tij) uzunluğu düzeltme faktörü “ f_{bu} ”

l (m)	3 - 4	4 - 6	6 - 10	> 10
f_{bu}	0.75	0.85	0.95	1.0

(Skempton, 1986; Bazaraa, 1995)

- Numune alıcısına ilişkin faktör “ f_n ”

Standart numune alıcı -kaplamalı- $f_n = 1$

-kaplamasız- $f_n = 1.2$

Değerlendirme: f_d , f_{bu} , f_n “düzeltme faktörleri” genellikle uygulamada 1 alınmaktadır. Bu durumda düzeltilmiş –verilen efektif basınç değerine normalize edilmiş SPT değeri örneğin

$$(N_1)_{60} = N \cdot \frac{E_a}{0.60 E_t} \cdot \sqrt{\frac{1}{\sigma'_z}} \quad (6b)$$

formülünden hesaplanabilir. σ'_z 'nin birimi (kgf/cm²) alınacaktır.

$(N_1)_{60} = 15$ 'de anılan oran kabaca 0.125 iken $(N_1)_{60} = 25$ değerine karşı gelen oran ise 0.35 olmaktadır

- Ambraseys'in regresyon analiziyle çıkardığı

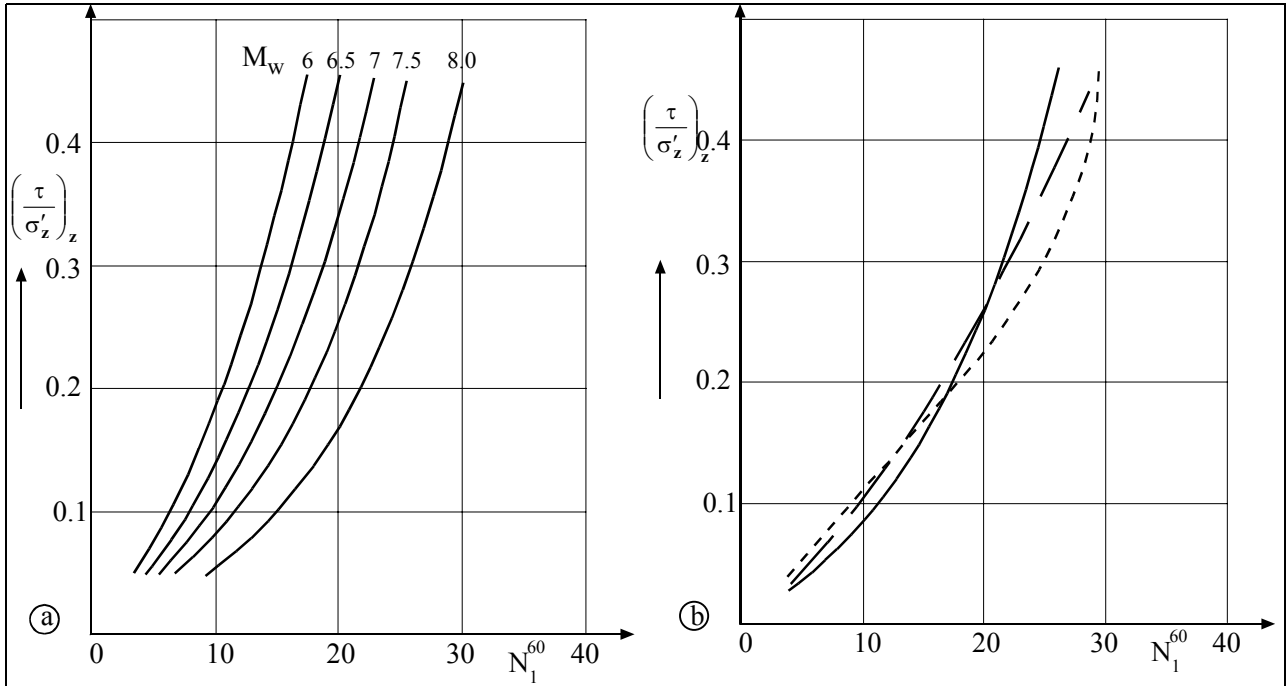
$$\left(\frac{\tau}{\sigma'_z} \right)_z = f[M_w = 7.5, (N_1)_{60}]$$

bağıntısının (Çizelge 3, bağıntı 3) değişimi ① Xie 1984'in ② eğrisi ve Seed'in 1984, 1985'de önerdiği eğriyle ③ özellikle $(N_1)_{60} = 5 - 20$ aralığında oldukça uyumludur. $(N_1)_{60} > 20$ değerinden sonra Seed'in temel eğrisi Ambraseys'in regresyon bağıntısından önemli farklılıklar göstermektedir.

Geçerken Seed-Idriss 1982 ve Ambraseys 1988'de verilen

$$\left[\left(\frac{\tau}{\sigma'_z} \right)_M / \left(\frac{\tau}{\sigma'_z} \right)_{M=7.5} = \alpha \right] \text{ oranlarının karşılaştırılması burada ilginç olacaktır (Çizelge 5) (Ambraseys, 1988). } M \neq 7.5 \text{ deprem büyük-lüklerinde her iki yaklaşımda rapor edilen düzeltme faktörlerinin değerleri arasında önemli farklılıklar söz konusudur.}$$

braseys, 1988). $M \neq 7.5$ deprem büyük-lüklerinde her iki yaklaşımda rapor edilen düzeltme faktörlerinin değerleri arasında önemli farklılıklar söz konusudur.



Şekil 5 : ① Ambraseys 1988 $\left(\frac{\tau}{\sigma'_z} \right)_z = f(M_w, (N_1)_{60})$ bağıntısının değişimleri ② $M_w = 7.5$ için $\left(\frac{\tau}{\sigma'_z} \right)_z = f[(N_1)_{60}]$ değişiminin literatürde rapor edilen diğer bağıntılarla karşılaştırılması (① ———; ② ———; ③ - - - - -)

Çizelge 5: Deprem Büyüklüğü Düzeltme Faktörü “ α ”

Büyüklük	(α değerleri)	
	Seed&Idriss (1982)	3. ve 4.bağıntı
8.50	0.89	0.44
8.00	0.94	0.67
7.50	1.00	1.00
7.00	1.08	1.30
6.75	1.13	1.48
6.50	1.19	1.69
6.00	1.32	2.20
5.50	1.43	2.86

$L_f = f(M_w, K_c)$ ve $K_c = f[M_w, (N_1)_{60}]$ regresyon bağıntıları nomogram düzeninde Şekil 6’da (Ambraseys, 1988) gösterilmiştir. Burada K_c sıvılaşmaya neden olan maksimum yer ivmesini ifade etmektedir. Söz gelişi $M_w = 8.0$ büyüklüğünde bir olası deprem üretecek faydan $L_f = 50$ km uzaklıkta bulunan bir temiz kum katmanı yeraltı su seviyesine bağlı olarak $(N_1)_{60} \leq (20 - 14)$ ise “sıvılaşma” sözkonusudur.

3.3. Sayısal Örnek

$M_w = 7.5$ moment büyüklüğünde deprem üretebilecek bir faydan 30 km uzaklıkta -dik uzaklık- bulunan yatay temiz kum (\leq % 5 ince malzeme No 200 elek: 0.074 mm içeren) katmana ait ön geoteknik bilgiler şöyledir:

- o Olası maksimum yer ivmesi

$$a_{\text{mak}} = 0.25 \text{ g}$$

- o Yeraltı su seviyesi $Z_{\text{su}} = 1.0$ m derinlikte

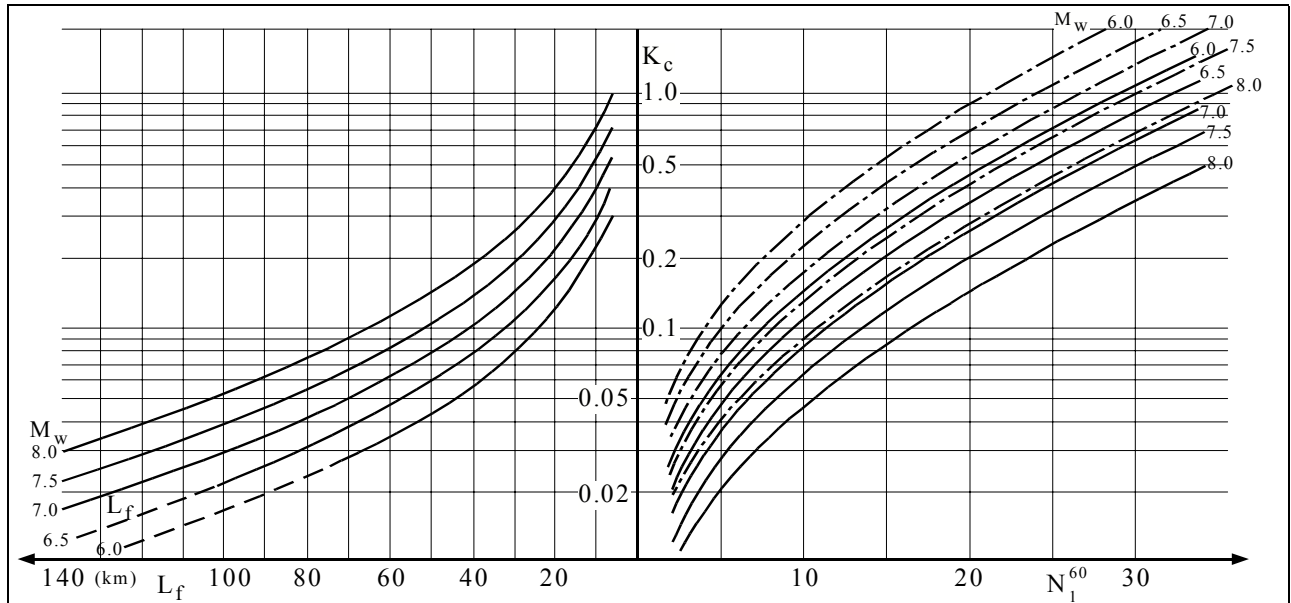
- o Yeraltı su seviyesinin üzerinde su içeriği $w = \%25$ ve doygunluk düzeyi $S = \% 65$

- o Yeraltı su seviyesinin altında su içeriği $w = \%40$ ve doygunluk düzeyi $S = \% 100$ -doygun-

$Z = 4$ m derinlikte ölçülen $N = 10$ - % 70 enerji bazında- için sıvılaşma potansiyeli olup olmadığının tahkik ediniz. Kum katmanı yatay kabul edilecektir.

Çözüm:

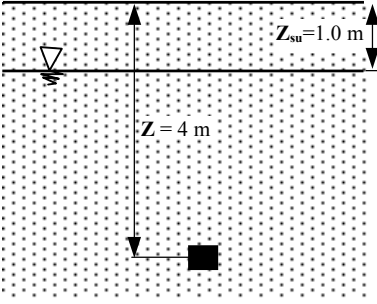
- Kum katmanına ait birim ağırlıkların hesaplanması



Şekil 6 : Ambraseys sıvılaşma nomogramı (kum katmanı: yatay)

(- · - · -) Yeraltı su seviyesi zemin yüzeyinde, (—————) Yeraltı su seviyesi kritik derinlikte

0- $Z_{su} = 1.0$ m aralığında:



$$S \cdot e = w \cdot G_z$$

$$\left. \begin{array}{l} G_z = 2.65 \\ w = \%25 \\ S = \%65 \end{array} \right\} \text{Boşluk oranı } e$$

$$e = \frac{w \cdot G_z}{S} = \frac{0.25 \times 2.65}{0.65} = 1.019$$

Birim ağırlık;

$$\begin{aligned} \gamma &= \frac{G_z(1+w)}{1+e} \cdot \gamma_{su} \\ &= \frac{2.65(1+0.25)}{1+1.019} \times 1 = 1.64 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma_{su} &= \text{Suyun yoğunluğu,} \\ \gamma_{su} &= 1 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

$Z_{su} = (1.0 \text{ m} - Z = 4.0 \text{ m})$ aralığında:

$$\left. \begin{array}{l} G_z = 2.65 \\ w = \%40 \\ S = \%100 \end{array} \right\} \text{Boşluk oranı } e$$

$$e = \frac{0.40 \times 2.65}{1.0} = 1.06$$

Birim ağırlık

$$\gamma_s = \frac{2.65(1+0.40)}{1+1.06} \times 1 = 1.80 \text{ t/m}^3$$

- Düzeltilmiş ve normalize edilmiş standart penetasyon değerinin $(N_1)_{60}$ hesaplanması

$$(N_1)_{60} = N \cdot f_e \cdot f_{eb} \quad (\text{Bkz. Çizelge 4})$$

$$f_e = \frac{E_a}{0.60 E_t} = \frac{0.70 E_t}{0.60 E_t} = 1.16$$

$Z = 4 \text{ m}$ 'de efektif düşey basıncın büyüklüğü

$$\sigma'_z = \sigma_z - u \text{ (Bkz. Çizelge 4)}$$

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \gamma \cdot Z_{su} + \gamma_s (Z - Z_{su}) \\ &= 1.64 \times 1.0 + 1.80 (4.0 - 1.0) \\ &= 7.04 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$u = \gamma_{su} (Z - Z_{su}) = 1 (4.0 - 1.0) = 3 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma'_z &= \sigma_z - u = 7.04 - 3 \\ &= 4.04 \text{ t/m}^2 \\ &= 0.404 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$f_{eb} = \sqrt{\frac{1}{\sigma'_z}} = \sqrt{\frac{1}{0.404}} = 1.57$$

$$\begin{aligned} f_{eb} &= 0.77 \log \left(\frac{20}{\sigma'_z} \right) \\ &= 0.77 \log \left(\frac{20}{0.404} \right) = 1.30 \end{aligned}$$

f_{eb} düzeltme faktörü ile ilgili iki farklı yaklaşıma ait sonuçların ortalaması alınır:

$$(f_{eb})_{or} = \frac{1.57 + 1.30}{2} = 1.435$$

$$\begin{aligned} (N_1)_{60} &= N \cdot f_e (f_{eb})_{or} \\ &= 10 \times 1.16 \times 1.435 = 16.6 \\ &= 16 \text{ kabul edildi} \end{aligned}$$

- Verilen $Z = 4 \text{ m}$ derinliği için sıvılaşmaya karşı emniyet katsayısının belirlenmesi

$$F = \frac{\left(\frac{\tau}{\sigma'_z} \right)_z}{\left(\frac{\tau}{\sigma'_z} \right)_d} \text{ (Bkz. Çizelge 3)}$$

$M_w = 7.5$ ve $(N_1)_{60} = 16$ değerlerine karşı gelen $\left(\frac{\tau}{\sigma'_z} \right)_z$ oranının değeri grafiksel şekilde Şekil 5 a'dan yaklaşık **0.16** olarak bulunur.

$M_w = 7.5$ için

$$\left(\frac{\tau}{\sigma'_z} \right)_d \approx 0.65 \frac{a_{maks}}{g} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \cdot \underbrace{(1 - 0.015Z)}_{r_d} \text{ 'dir. (Bkz. Çizelge 3)}$$

- o Olası maksimum yer ivmesi
 $a_{maks} = 0.25 \text{ g}$
- o Toplam düşey basınç
 $\sigma_z = 7.04 \text{ t/m}^2$

- o Effektif düşey basınç

$$\sigma'_z = 4.04 \text{ t/m}^2$$

- o İncelenen derinlik

$$Z = 4 \text{ m}$$

$$\left(\frac{\tau}{\sigma'_z} \right)_d \approx 0.65 \frac{0.25 \text{ g}}{\text{g}} \cdot \frac{7.04}{4.04} \cdot (1 - 0.015 \times 4) \approx 0.26$$

Bu değerlere göre sıvılaşmaya karşı emniyet katsayısı

$$F = \frac{0.16}{0.26} = 0.61$$

'dir. $F = 0.61 < 1$ olduğundan incelenen derinlikte verilen koşullar altında zeminin "sıvılaşma riski"nin çok yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca Şekil 6'dan sıvılaşmaya neden olabilecek "kritik yer ivmesi"nin değeri $L_f = 30 \text{ km}$ ve $M_w = 7.5$ büyüklükleri için $K_c = 0.20 \text{ g}$ elde edilmektedir. İncelenen bölgede beklenen maksimum yer ivmesinin şiddeti $a_{\text{maks}} = 0.25 \text{ g}$ 'dir. Buna ek olarak $K_c = a_{\text{maks}} = 0.25 \text{ g}$ için sıvılaşma olmaması için gerekli $(N_1)_{60}$ değeri yeraltı su seviyesine göre 15 – 22 arasında olmaktadır. $Z = 4 \text{ m}$ 'de $(N_1)_{60} = 16$ 'dır ve belirtilen aralıktan küçük olduğu görülmektedir. Kısaca, Şekil 6 yardımıyla incelenen zeminin verilen derinlikte sıvılaşma potansiyeli taşıdığı ifade edilebilir.

Zemin profilinde çeşitli derinliklerde ölçülmüş SPT değerleri "N" mevcut ise; ilkin, bu değerler düzeltilip-normalize edildikten $(N_1)_{60}$ sonra, yukarıda belirli bir ayrıntıyla açıklanan yöntem her $(N_1)_{60}$ değeri için uygulanmak suretiyle "sıvılaşma"nın olup olmadığı tahkik edilir. Kuşkusuz verilen zemin koşulları için daha güvenli değerlendirmeler yapılabilmesi bakımından birkaç yöntemin (kayma dalgası hızı, periyodik kayma şekil değiştirmesi, sıvılaşma indisi kriteri, zeminin ayrıntılı granülometrik analizleri, olasılık yaklaşımı vb.) uygulanması ve sonuçlarının ayrıntılı şekilde irdelenmesi gerekir.

Kaynaklar:

- Ambraseys, N.N.** "Engineering Seismology", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 17, No 1, Wiley, Chichester, 1988.
- Ansal, A.** "Depremlerde Yerel Zemin Davranışları", TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi, Ankara, 1999.
- Bazaraa, A.S.** "Correlations to and Correlations With Standard Penetration N, Values", XI ARCSMFE Proceeding Volume 1, Cairo, 1995.
- Budhu, M.** Soil Mechanics & Foundation, John Wiley & Sons, Inc. New York, 2000.
- Erken, A.; Ansal, A.M.; Yıldırım, H.; Kılıç, C.; Kara, B.** "Erzurum Ekşisu'da Kumlu Siltli Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyeli" Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi, Cilt II Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 1996
- Erken, A.; Ansal, A.M.** "Dina-mik Yükler Altında Örselenmiş Kumlu Zemin Numunelerinin Sıvılaşması" Türkiye İnşaat Mühendisliği 12. Teknik Kongresi, Ankara, 1993.
- Erken, A.; Ülker, R.; Özkan, O ve Kurtulmaz, E.** "Erzincan Ekşisu'da Sıvılaşma Potansiyeli ve Yerel Zemin Koşulları", 3. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 1995a.
- Erken, A.; Yıldırım, H.; Sancar, T.; Kılıç, C. ve Ansal, A.** "Erzincan Ekşisu'da Siltli Zeminlerin Dinamik Davranışı", 3. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 1995 b.
- Glaser, S.D.; Chung, R.M.** "Estimation of Liquefaction Potential by In-Situ Methods" Earthquake Spectra, Vol. 11, No 3, 1995
- Japanese Society of Civil Engineers** Dynamic Analysis and Earthquake Resistant Design, A.A. Balkema, Rotterdam, 1997.
- Kramer, S.L.** Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- Manuel For** "Evaluation and Mitigation of Liquefaction Hazard For Foundation Design", ?, 1992.
- Port and Harbour Research Institute** Handbook on Liquefaction-Remediation of Reclaimed Land, Ministry of Transport, Japan, A.A. Balkema, Rotterdam, 1997
- Teri, L.; Tezcan, S.S.** "Zemin Sıvılaşma Kriterlerinin Değerlendirilmesi" Boğaziçi Üniversitesi Yapı Teknolojisi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Rapor No YTUM 003/96, İstanbul, 1996.
- Tokimatsu, K.; Yoshimi, Y** "Emprical Correlationship on Soil Liquefaction Based on SPT N Value and Fires Content" Soil and Foundations, JSSMFE, Vol 23, No 4, 1983.

Ulusay, R. “Zemin Sıvılaşması”, Mavi Gezegen, **No 2**, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını, Ankara, 2000.

Ünver, A.M.; Ergin, M.U. “İki Yapının Sıvılaşma Potansiyelinin Tahkiki”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 4. Ulusal Kongresi, II. Cilt, İ.T.Ü. Ayazağa Kampüsü, İstanbul, 1992.