

## JEO TAŞIMA KARŞILAŞTIRMALI DOĞRULAMALAR KLAVUZU

Karşılaştırmalı doğrulamalar klavuzunda, Jeo Taşıma yazılımı ile yapılan analiz sonuçlarının doğruluğunun kanıtlamak adına gerek şirket içinde yapılan elle çözümler gerekse farklı kaynaklarda yapılmış örnek çözümler Jeo Taşıma yazılımı ile modellenip sonuçlarının karşılaştırılması yapılmaktadır.

## TBDY SIVILAŞMA ANALİZİ DOĞRULAMASI

Karşılaştırılacak öğeler	Açıklama
Prof. Dr. Mehmet ORHAN'a ait Geoteknik Mühendisliği kitabı	Geoteknik Mühendisliği ve Temel İnşaatı Gazi Kitapevi, Nisan 2019 Sayfa 878 –Örnek -2 ( Vaka Analizi)
Jeo Taşıma Yazılımı	Versiyon 2.0.0.0



## ÖRNEK-2 (Vaka Analizi)

Bir yapının yapılacağı zemin ortamda yapılan sondaj çalışmasında, SPT deneyleri yapılarak, bozulmuş ve bozulmamış numuneler alınmış, bu numunelere laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Aşağıda, arazide ve laboratuvarında yapılan deneylerden elde edilen bilgiler özetle verilmiştir. Bu bilgileri değerlendirip, zemin ortamın yapı için uygunluğunu belirleyiniz

Sondaj Kuyu	SPT	Derinlik (h)m	Toplam (N <sub>F</sub> )	Kıvam
SK-1	SPT-1	1.50	9	Gevşek
	SPT-2	3.00	10	Gevşek
	SPT-3	4.50	11	Orta
	SPT-4	6.00	8	Gevşek
	SPT-5	7.50	10	Gevşek
	SPT-6	9.00	9	Gevşek
	SPT-7	10.5	8	Gevşek
	SPT-8	12.0	12	Orta
	SPT-8	13.5	14	Orta
	SPT-10	15.0	13	Orta

Laboratuvar deney sonuçları: (0.005 mm (Kil %) % P=10)

Sondaj Kuyu Adı	Numune		Doğal Su Muhtevası (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			USCS
	Tipi ve Adı	Derinlik (m.)			#4 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
SK-4	UD	4,50-5,00	29,59	1,82	7,83	29,15	28	NP	-	SM
SK-4	SPT	7,50-7,95	28,30	-	20,59	11,57	-	NP	-	SM
SK-4	SPT	9,00-9,45	29,66	-	20,24	14,60	-	NP	-	SM
SK-4	SPT	15,0-15,45	26,02	-	7,62	23,94	-	NP	-	SM

Deprem tasarım sınıfı DTS-1 olan yapı için, "Türkiye Deprem Haritaları İnteraktif Web Uygulaması" üzerinden yapılan hesaplama ile, "Tasarım Spektral İvme Katsayısı"  $S_{Ds}=0.978$  değeri elde edilmiştir. Yerel Zemin Sınıfı: ZE, olarak belirlenmiş olup, inceleme alanında yapılan çalışmalarda -2.70 ile -3.10 m. seviyelerinde değişen yer altı suları belirlenmiştir. Deprem Büyüklüğü,  $M_w=7.5$

**Değerlendirme:**

Yerinden alınan örnekler üzerinde yapılan zemin tanımlama deneyleri incelendiğinde, zemin örneklerinin çoğunun plastik olmayan siltli kum (SM) özelliğinde olduğu görülüp, ZE sınıfı yerel zemin olarak ele alınacaktır.

Çalışma sahasında ölçülen yeraltı suyu seviyesi ortalama ( $\approx 2.50$  m) kabulü ile, ortamda aşağıda değerlendirilmesi yapılan şartlarda, sıvılaşma riski bulunduğu düşünülmektedir.

*TBDY-2018' e göre;*

0.005 mm %P  $\rightarrow$  %10 < (%20)

PI=0  $\rightarrow$  (PI > %10)

IDI veya FC= %29.15 < % 35

$N_{1,60-ort}=8 < (N_{1(60)}=20)$  **SIVILAŞMA DEĞERLENDİRİLECEK**

Ayrıca, diğer değerlendirme kriterlerinden Seed ve diğ. (1983)' in ortaya koydukları "Gelişmiş Çin Kriteri" ne göre de;

0,005 mm'den küçük tane yüzdesi (%10)  $\leq$  15 %

Likit Limit (28%)  $\leq$  35%

Su Muhtevası ( $\approx 28\%$ )  $\geq 0,9 \cdot LL$

Zemin ortamda, sıvılaşma değerlendirmesi gerektiği söylenebilir.

**Parametrelerin Seçimi:**

*DTS-1 ve Yerel zemin ZE ve DD-2 şartlarında, "Tasarım Spektral İvme Katsayısı"  $S_{DS}=0.978$  bulundu.*

*Deprem Büyüklüğü,  $M_w=7.5$  olarak alınacak.*

*Yapılacak hesaplarda kullanılmak üzere, IDI veya FC=%20 seçildi.*

*YASS seviyesinin bir miktar yükselebileceği de dikkate alınarak derinliği, 2.5 m. alınacaktır.*

*Zemin doğal birim hacim ağırlığı (Doymun şartlar olarak değerlendirilerek)  $18 \text{ kN/m}^3$  olarak seçildi.*

Sondaj makinası ve SPT düzeneği halat makara sistemi ve halka tipi olduğundan, bu sistemle enerji oranı yaklaşık % 45'dir. TBDY-2018 e göre, sıvılaşma analizlerinde,  $(N_{1,60})$  düzeltilmiş değerleri kullanılacağından, SPT darbe sayıları aşağıdaki gibi düzeltilebilir.

### SPT-N Değerlerinin $(N_{1,60})$ olarak Düzeltilmesi:

Derinlik (m)	SPT $N_F$	$\sigma'_v$ $\sigma'_v = \gamma h$ (kPa)	$C_N$ $(95.76/\sigma'_v)^{0.5}$	$n_1$	$n_2$	$n_3$ ve $n_4$	$(N_1)_{60}$	$(N_1)_{60cs}$
1.5	9	27.0	1.700	0.75	0.75	1.0	9	13.33
3.0	10	49.1	1.397	0.75	0.75	1.0	8	12.25
4.5	11	61.38	1.249	0.75	0.85	1.0	9	13.33
6.0	8	73.67	1.140	0.75	0.85	1.0	6	10.09
7.5	10	85.95	1.056	0.75	0.95	1.0	8	12.25
9.0	9	98.23	0.987	0.75	0.95	1.0	6	10.09
10.5	8	110.5	0.931	0.75	1.0	1.0	6	10.09
12.0	12	122.8	0.883	0.75	1.0	1.0	8	12.25
13.5	14	135.1	0.842	0.75	1.0	1.0	9	13.33
15.0	13	147.4	0.806	0.75	1.0	1.0	8	12.25

(IDI içeriğine bağlı olarak yapılacak  $(N_{1,60f})$  değeri,  $FC = \%20$  için;

$(N_{1,60f} = \alpha + \beta N_{1,60})$  eşitliği ile hesaplanacak. ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) katsayıları;

$$\alpha = \exp \left[ 1.76 - \left( \frac{190}{FC^2} \right) \right] \dots\dots\dots (\%5 < FC < \%35)$$

$$\beta = \left[ 0.99 + \left( \frac{FC^{1.5}}{1000} \right) \right] \dots\dots\dots (\%5 < FC < \%35) \text{ belirlenir.}$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (190/20^2)] \Rightarrow \alpha = \underline{\underline{3.615}} \text{ bulundu}$$

$$\beta = [0.99 + (20^{1.5}/1000)] \Rightarrow \beta = \underline{\underline{1.079}} \text{ bulundu}$$

Sıvılaşma Güvenlik faktörünün ( $FS_L$ ), belirlenmesi için, NCEER, (1997) çalışma gurubunun önerdiği ve (Seed and İdriss, 1971 ; Youd et al. 2001) tarafından geliştirilen, “Basitleştirilmiş Yöntem”, TBDY-2018’ de önermektedir. Bu yönetime göre;

$FS_t = \frac{\tau_R}{\tau_{dpr}} \geq 1.10$  eşitliği ile kontrol edilebilir. Burada;

( $\tau_R$ ) Sıvılaşma Direnci;  $\tau_R = CRR_{M7.5} C_M \sigma'_{vo}$  ile belirlenebilir.

Burada;

$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1.60f}} + \frac{N_{1.60f}}{135} + \frac{50}{[10N_{1.60f} + 45]^2} - \frac{1}{200}$  eşitliği ile,

$C_M = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}}$  (Deprem moment büyüklük düzeltme katsayısı) ile,

( $\sigma'_{vo}$ ) Efektif gerilme (Sıvılaşabilen tabakaların),  $\sigma'_{vo} = (\gamma h) - (\gamma_w h_w)$ ;

H (m)	$CRR_{M7.5} = \frac{1}{34 - N_{1.60f}} + \frac{N_{1.60f}}{135} + \frac{50}{[10N_{1.60f} + 45]^2} - \frac{1}{200}$	$CRR_{M7.5}$
1.5	$\frac{1}{34 - 13.33} + \frac{13.33}{135} + \frac{50}{[10 \times 13.33 + 45]^2} - \frac{1}{200}$	<b>0.144</b>
3	$\frac{1}{34 - 12.25} + \frac{12.25}{135} + \frac{50}{[10 \times 12.25 + 45]^2} - \frac{1}{200}$	<b>0.135</b>
4.5	$\frac{1}{34 - 13.33} + \frac{13.33}{135} + \frac{50}{[10 \times 13.33 + 45]^2} - \frac{1}{200}$	<b>0.144</b>
6	$\frac{1}{34 - 10.09} + \frac{10.09}{135} + \frac{50}{[10 \times 10.09 + 45]^2} - \frac{1}{200}$	<b>0.114</b>
7.5	$\frac{1}{34 - 12.25} + \frac{12.25}{135} + \frac{50}{[10 \times 12.25 + 45]^2} - \frac{1}{200}$	<b>0.135</b>
9	$\frac{1}{34 - 10.09} + \frac{10.09}{135} + \frac{50}{[10 \times 10.09 + 45]^2} - \frac{1}{200}$	<b>0.114</b>
10.5	$\frac{1}{34 - 10.09} + \frac{10.09}{135} + \frac{50}{[10 \times 10.09 + 45]^2} - \frac{1}{200}$	<b>0.114</b>
12	$\frac{1}{34 - 12.25} + \frac{12.25}{135} + \frac{50}{[10 \times 12.25 + 45]^2} - \frac{1}{200}$	<b>0.135</b>
13.5	$\frac{1}{34 - 13.33} + \frac{13.33}{135} + \frac{50}{[10 \times 13.33 + 45]^2} - \frac{1}{200}$	<b>0.144</b>
15	$\frac{1}{34 - 12.25} + \frac{12.25}{135} + \frac{50}{[10 \times 12.25 + 45]^2} - \frac{1}{200}$	<b>0.135</b>

Deprem moment büyüklüğü düzeltme katsayısı,  $C_M = \frac{10^{2.24}}{M_w^{2.56}}$  eşitliğinden,

$$C_M = \frac{10^{2.24}}{7.5^{2.56}} \Rightarrow C_M = 0.999 \Rightarrow C_M = 1.0 \text{ alınabilir.}$$

H (m)	$\sigma'_{vo} = (\gamma h) + (\gamma' h_w) \rightarrow \gamma' = (18 - 9.81) = 8.19 \text{ kPa}$	$\sigma'_{vo}$ (kPa)
1.5	$\sigma'_{vo} = (18 \times 1.5) + 0$ (Su Yok)	<b>27.00</b>
3	$\sigma'_{vo} = (18 \times 2.5) + (8.19 \times 0.5)$	<b>49.10</b>
4.5	$\sigma'_{vo} = (18 \times 2.5) + (8.19 \times 2.0)$	<b>61.38</b>
6	$\sigma'_{vo} = (18 \times 2.5) + (8.19 \times 3.5)$	<b>73.67</b>
7.5	$\sigma'_{vo} = (18 \times 2.5) + (8.19 \times 5.0)$	<b>85.95</b>
9	$\sigma'_{vo} = (18 \times 2.5) + (8.19 \times 6.5)$	<b>98.24</b>
10.5	$\sigma'_{vo} = (18 \times 2.5) + (8.19 \times 8.0)$	<b>110.52</b>
12	$\sigma'_{vo} = (18 \times 2.5) + (8.19 \times 9.5)$	<b>122.81</b>
13.5	$\sigma'_{vo} = (18 \times 2.5) + (8.19 \times 11.0)$	<b>135.09</b>
15	$\sigma'_{vo} = (18 \times 2.5) + (8.19 \times 12.5)$	<b>147.38</b>

H (m)	$CRR_{M7.5}$	$C_M$	$\sigma'_{vo}$ (kPa)	$\tau_R$ (kPa)
1.5	0.144	1.0	27.00	<b>3.89</b>
3	0.135	1.0	49.10	<b>6.62</b>
4.5	0.144	1.0	61.38	<b>8.84</b>
6	0.114	1.0	73.67	<b>8.40</b>
7.5	0.135	1.0	85.95	<b>11.60</b>
9	0.114	1.0	98.24	<b>11.20</b>
10.5	0.114	1.0	110.52	<b>12.60</b>
12	0.135	1.0	122.81	<b>16.58</b>
13.5	0.144	1.0	135.09	<b>19.45</b>
15	0.135	1.0	147.38	<b>19.90</b>

Sıvılaşma kontrol eşitliğinin paydasında yer alan, "Depremde Oluşan Kayma Gerilmesi ( $\tau_{dpr}$ )" değeri;

$\tau_{dpr} = 0.65 \sigma_{vo} (0.4S_{DS}) r_d$  eşitliği ile belirlenebilir. Burada;

$\sigma_{vo}$  = Sıvılaşma derinliğindeki toplam düşey gerilme

$S_{DS}$  = Kısa Periyot Harita Spektral İyeme Katsayısı

$r_d$  = İlgili derinlikte (z) "Gerilme Azaltma Katsayısı" olup aşağıdaki eşitliklerle belirlenebilir.

$$r_d = 1.0 - 0.00765(z) \quad z \leq 9.15 \text{ m}$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267(z) \quad 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m}$$

H (m)	$\sigma_{vo} = (\gamma h)$ kPa	$\sigma_{vo}$ (kPa)
1.5	$\sigma_{vo} = (18 \times 1.5)$	<b>27.00</b>
3	$\sigma_{vo} = (18 \times 3.0)$	<b>54.00</b>
4.5	$\sigma_{vo} = (18 \times 4.5)$	<b>81.00</b>
6	$\sigma_{vo} = (18 \times 6.0)$	<b>108.00</b>
7.5	$\sigma_{vo} = (18 \times 7.5)$	<b>135.00</b>
9	$\sigma_{vo} = (18 \times 9.0)$	<b>162.00</b>
10.5	$\sigma_{vo} = (18 \times 10.5)$	<b>189.00</b>
12	$\sigma_{vo} = (18 \times 12.0)$	<b>216.00</b>
13.5	$\sigma_{vo} = (18 \times 13.5)$	<b>243.00</b>
15	$\sigma_{vo} = (18 \times 15.0)$	<b>270.00</b>

H (m)	Derinlik azaltma faktörü ( $r_d$ ); $z \leq 9.15$ m $\rightarrow r_d = 1 - (0.00765 \times z)$ $9.15$ m $< z \leq 23$ m $\rightarrow r_d = 1.174 - (0.0267 \times z)$	$r_d$
1.5	[1 - (0.00765 x 1.5)]	<b>0.989</b>
3	[1 - (0.00765 x 3.0)]	<b>0.977</b>
4.5	[1 - (0.00765 x 4.5)]	<b>0.966</b>
6	[1 - (0.00765 x 6.0)]	<b>0.954</b>
7.5	[1 - (0.00765 x 7.5)]	<b>0.943</b>
9	[1 - (0.00765 x 9.0)]	<b>0.931</b>
10.5	[1.174 - (0.0267 x 10.5)]	<b>0.894</b>
12	[1.174 - (0.0267 x 12.0)]	<b>0.854</b>
13.5	[1.174 - (0.0267 x 13.5)]	<b>0.814</b>
15	[1.174 - (0.0267 x 15.0)]	<b>0.774</b>

“Depremde Oluşan Kayma Gerilmesi ( $\tau_{dpr}$ ) değeri, projede istenilen özellikler ve yapılan zemin etüdü ile elde edilen bilgiler ışığında, “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web” hizmeti üzerinden belirlenen,  $S_{DS}$ =Kısa Periyot Harita Spektral İyeme Katsayısı (**0.978**) kullanılarak,

$$\tau_{dpr} = 0.65 \sigma_{vo} (0.4S_{DS}) r_d \text{ eşitliği ile belirlenebilir.}$$

H (m)	$\sigma_{vo}$ (kPa)	$\Gamma_d$	$S_{DS}$	$\tau_{dpr}$ (kPa)
1.5	27.00	0.989	0.978	<b>6.79</b>
3	54.00	0.977	0.978	<b>13.42</b>
4.5	81.00	0.966	0.978	<b>19.90</b>
6	108.00	0.954	0.978	<b>26.20</b>
7.5	135.00	0.943	0.978	<b>32.37</b>
9	162.00	0.931	0.978	<b>38.35</b>
10.5	189.00	0.894	0.978	<b>42.97</b>
12	216.00	0.854	0.978	<b>46.91</b>
13.5	243.00	0.814	0.978	<b>50.30</b>
15	270.00	0.774	0.978	<b>53.14</b>

Bu tespitlerden sonra;

$FS_L = \frac{\tau_R}{\tau_{dpr}} \geq 1.10$  eşitliği ile hesaplamalar Aşağıdaki Tablo'da toplu olarak gösterilip SIVILAŞMA GÜVENLİĞİ veya RİSKİNİN olup olmadığı kontrol edilebilir.

Burada;  $\gamma=18 \text{ kN/m}^3$  ;  $IDI=\%20$  ;  $S_{DS}=0.978$

H (m)	$\sigma_{vo}$	$\sigma'_{vo}$	$N_{1,60}$	$N_{1,60f}$	$CRR_{M7.5}$	$\Gamma_d$	$\tau_R$ kPa	$\tau_{dpr}$ kPa	$FS_L \geq 1.1$ ( $\tau_R/\tau_{dpr}$ )
1.5	27	27	9	13.33	0.144	0.989	3.89	6.79	<b>0.57</b>
3	54	49.10	8	12.25	0.135	0.977	6.62	13.42	<b>0.49</b>
4.5	81	61.38	9	13.33	0.144	0.966	8.84	19.90	<b>0.44</b>
6	108	73.67	6	10.09	0.114	0.954	8.40	26.20	<b>0.32</b>
7.5	135	85.95	8	12.25	0.135	0.943	11.60	32.37	<b>0.36</b>
9	162	98.24	6	10.09	0.114	0.931	11.20	38.35	<b>0.29</b>
10.5	189	110.52	6	10.09	0.114	0.894	12.60	42.97	<b>0.29</b>
12	216	122.81	8	12.25	0.135	0.854	16.58	46.91	<b>0.35</b>
13.5	243	135.09	9	13.33	0.144	0.814	19.45	50.30	<b>0.39</b>
15	270	147.38	8	12.25	0.135	0.774	19.90	53.14	<b>0.38</b>



## Sonuçların Karşılaştırılması

Açıklama	$\sigma_{v0}$		$\sigma'_{v0}$		spt N		Cn		$N_{1,60f}$		CRR <sub>M7,5</sub>		
	Jeo taşıma	Benzerlik	Jeo taşıma	Benzerlik	Jeo taşıma	Benzerlik	Jeo taşıma	Benzerlik	Jeo taşıma	Benzerlik	Jeo taşıma	Benzerlik	
1,5	1	27	100%	27,00	100%	9,00	100%	1,700	100%	13,00	98%	0,141	98%
		27		27,00		9,00		1,700		13,33		0,144	
3	2	54	100%	49,10	100%	10,00	100%	1,396	100%	12,00	98%	0,131	98%
		54		49,10		10,00		1,397		12,25		0,134	
4,5	3	81	100%	61,38	100%	11,00	100%	1,248	100%	13,00	98%	0,141	98%
		81		61,38		11,00		1,249		13,33		0,144	
6	4	108	100%	73,67	100%	8,00	100%	1,139	100%	10,00	99%	0,113	99%
		108		73,67		8,00		1,140		10,09		0,114	
7,5	5	135	100%	85,95	100%	10,00	100%	1,055	100%	12,00	98%	0,131	98%
		135		85,95		10,00		1,056		12,25		0,134	
9	6	162	100%	98,24	100%	9,00	100%	0,987	100%	10,00	99%	0,113	99%
		162		98,24		9,00		0,987		10,09		0,114	
10,5	7	189	100%	110,52	100%	8,00	100%	0,930	100%	10,00	99%	0,113	99%
		189		110,52		8,00		0,931		10,09		0,114	
12	8	216	100%	122,81	100%	12,00	100%	0,883	100%	12,00	98%	0,131	98%
		216		122,81		12,00		0,883		12,25		0,134	
13,5	9	243	100%	135,09	100%	14,00	100%	0,841	100%	13,00	98%	0,141	98%
		243		135,09		14,00		0,842		13,33		0,144	
15	10	270	100%	147,38	100%	13,00	100%	0,806	100%	12,00	98%	0,131	98%
		270		147,38		13,00		0,806		12,25		0,134	

Açıklama	No	$N_{1,60}$		$r_d$		$\tau_r$ (kPa)		$\tau_{dpr}$		FS	
		Jeo taşıma	Benzerlik	Jeo taşıma	Benzerlik	Jeo taşıma	Benzerlik	Jeo taşıma	Benzerlik	Jeo taşıma	Benzerlik
1,5	1	6	67%	0,989	100%	3,793	98%	6,787	100%	0,56	98%
		9		0,989		3,890		6,787		0,57	
3	2	6	75%	0,977	100%	6,440	97%	13,440	100%	0,48	97%
		8		0,977		6,620		13,420		0,49	
4,5	3	7	78%	0,966	100%	8,627	98%	19,911	100%	0,43	98%
		9		0,966		8,840		19,900		0,44	
6	4	4	67%	0,954	100%	8,333	99%	26,225	100%	0,32	99%
		6		0,954		8,400		26,200		0,32	
7,5	5	6	75%	0,943	100%	11,275	97%	32,381	100%	0,35	97%
		8		0,943		11,600		32,370		0,36	
9	6	5	83%	0,931	100%	11,112	99%	38,380	100%	0,29	99%
		6		0,931		11,200		38,350		0,29	
10,5	7	4	67%	0,894	100%	12,502	99%	42,969	100%	0,29	99%
		6		0,894		12,600		42,970		0,29	
12	8	6	75%	0,854	100%	16,110	97%	46,904	100%	0,34	97%
		8		0,854		16,580		46,910		0,35	
13,5	9	7	78%	0,814	100%	18,987	98%	50,284	100%	0,38	98%
		9		0,814		19,450		50,300		0,39	
15	10	6	75%	0,774	100%	19,333	97%	53,124	100%	0,36	97%
		8		0,774		19,900		53,140		0,37	

**Not:** Sonuçlardaki farklılığın sebebi Jeo Taşıma yazılımının  $N_{160f}$  değerlerini yuvarlayarak hesap etmesinden kaynaklanmaktadır. Jeo Taşıma yazılımının geliştiricileri olarak N160f değerinin darbe sayısı olması nedeniyle bu değeri yuvarlayarak analize devam etmenin daha doğru olduğu düşünmekteyiz.