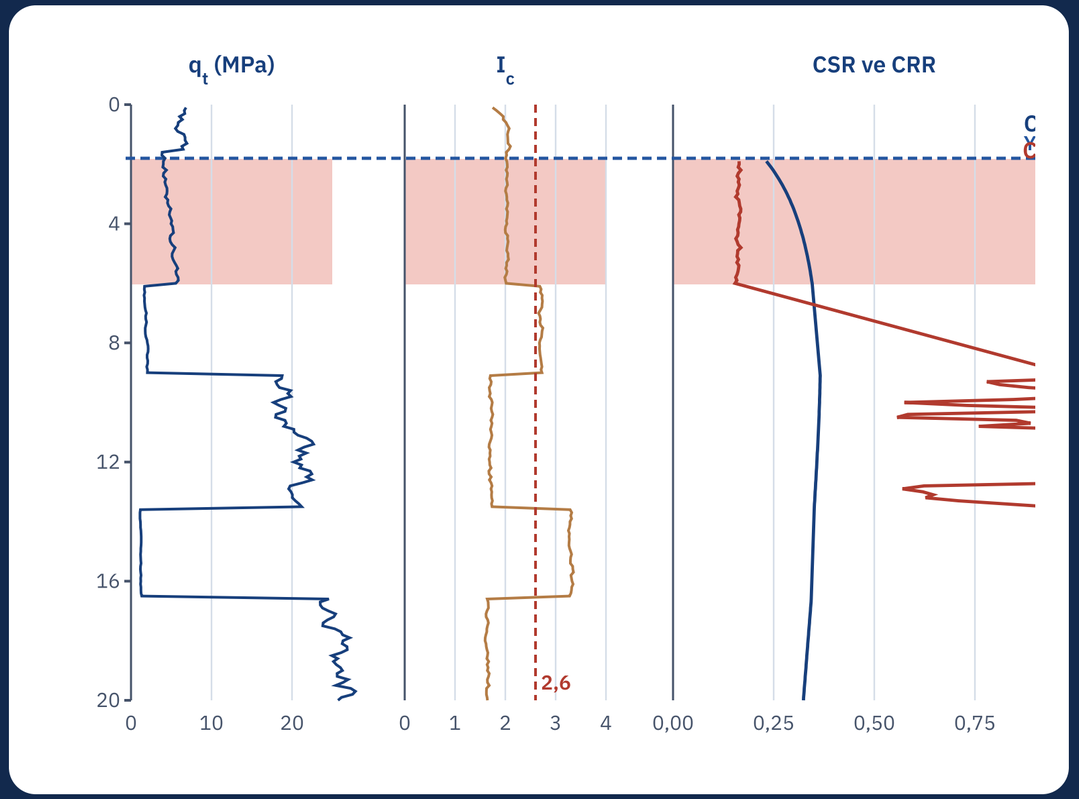
Geoteknik ders sunumu · Sıvılaşma

CPT ile sıvılaşma tetiklenmesi

Ders anlatımı: CPT ile sıvılaşma tetiklenmesi; bir koni okuması iki yöntemle (Boulanger–Idriss, Robertson–Wride) uçtan uca elle çözülür, kalan okumalar tablolarla.

Koni verisi · Ic | İki yöntem | CSR · CRR · FS | Bölgeler | Elle çözülebilir



Giriş

Bu derste neler öğreneceğiz?

Koni kaydından (q_c, f_s, u_2) **düzeltilmiş uç direnci q_t**, **sürtünme oranı R_f** ve **zemin davranış indisi I_c**'nin bulunmasını

Zemin tipinin, birim ağırlığın ve ince dane oranının **koni verisinden kestirilmesini** (tabaka tablosu girilmez)

İki tam paket: Boulanger–Idriss (2014) ve Robertson–Wride (1998, NCEER); her birinin normalizasyonu, CRR eğrisi, MSF ve K_σ'si kendi içinde tutarlıdır

CSR, **FS = CRR/CSR**, elenen okumalar, **bölgeler** ve sıvılaşan kalınlık

Bir sondajdaki **tek okumayı (4,00 m) iki yöntemle elle**; diğer okumaları aynı adımlarla tabloda

DERS AKIŞI

Her konu **üç adımda** işlenir:

1 · **Kuram**: formül ve gerekçesi

2 · **Soru**: verilenler ve istenen

3 · **Çözüm**: adım adım, sayılarla

Örnek: CPT-1 (YASS 1,80 m; 20 m derinlik, 5 cm aralık); a_{max} = 0,35 g, M = 7,5, net alan oranı a = 0,80, $FS_{gerekli}$ = 1,20.

q_t, R_f ve birimler

KURAM

Koni neredeyse sürekli bir kayıt sağladığından (okuma aralığı 1–5 cm) girilecek bir tabaka tablosu bulunmamaktadır.

Zemin tipi, birim hacim ağırlık ve ince dane oranı **koni verilerinden** tahmin edilmektedir.

Sıvılaşmanın sonuçları — oturma, yanal yayılma, taşıma gücü kaybı — bu sürümün kapsamı dışındadır.

Düzeltilmiş koni direnci $\mathbf{q_t} = \mathbf{q_c} + (1 - a)\cdot\mathbf{u_2}$ bağıntısıyla hesaplanır; burada a koninin net alan oranıdır (0,65–0,85; yaygın değer 0,80).

$\mathbf{u_2}$ değerinin hidrostatik değerin çok üzerinde olduğu yumuşak kil ve siltlerde düzeltme önem taşır, kumlarda ise küçük kalır; $\mathbf{u_2}$ kaydedilmemişse $\mathbf{q_t} = \mathbf{q_c}$ alınır.

$$q_t = q_c + (1 - a)\, u_2 \qquad R_f = \frac{f_s}{q_t} \times 100\,\%$$

CPT'den γ; iki YASS derinliği

KURAM

Birim hacim ağırlık her okumada CPT verisinden tahmin edilir; **R_f** % cinsindendir ve değer 1,5 γ_w ile 2,5 γ_w arasında tutulur.

Birim hacim ağırlık yüzeyden itibaren integre edilir; alternatif olarak yeraltı su seviyesinin üstünde γ, altında γ_{sat} olmak üzere iki sabit değer kullanılır.

Boşluk suyu basıncı yeraltı su seviyesinden itibaren hidrostatik kabul edilir; **C_N** ve **I_c** için deney sırasındaki, CSR ve K_σ için tasarım yeraltı su seviyesi kullanılır.

$$\frac{\gamma}{\gamma_w} = 0{,}27 \log R_f + 0{,}36 \log \frac{q_t}{P_a} + 1{,}236 \qquad \sigma_v = \int \gamma \, dz \qquad u = \gamma_w (z - z_w) \qquad \sigma'_v = \sigma_v - u$$

I_c ve n üssü

KURAM

Zemin davranış tipi indisi I_c = [(3,47 – log Q)² + (log F + 1,22)²]^0,5 bağıntısıyla hesaplanır.

n üssü kumlarda 0,5, killerde 1,0 değerini alır ve Robertson & Wride (1998) yinelemesiyle belirlenir.

Çizimlerdeki zemin logu bu sınıflandırmaya dayanır; h_{min} değerinden ince bir dizi daha uzun olan komşusuna katılmaktadır.

$$I_c = \left[(3{,}47 - \log Q)^2 + (\log F + 1{,}22)^2\right]^{0{,}5} \qquad Q = \frac{q_t - \sigma_v}{P_a}\left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^n \qquad F = \frac{f_s}{q_t - \sigma_v} \times 100\,\%$$

I_c aralığı	< 1,31	1,31 – 2,05	2,05 – 2,60	2,60 – 2,95	2,95 – 3,60	> 3,60
Zemin (Robertson 1990)	çakıllı – sıkı kum	kum: temiz – siltli	kum karışımı	silt karışımı	kil	organik

Hangi okuma değerlendirilir?

KURAM

Bir okuma; tasarım yeraltı su seviyesinin altında, z_{max} derinliğinden daha derinde olmayan ve kum gibi davranan zeminde bulunduğunda değerlendirilir.

I_c değeri $I_{c,lim}$ değerinin (varsayılan 2,6) üzerinde olan zemin kil benzeri kabul edilir; bu zeminler çevrimsel yumuşama kontrolüne bırakılmıştır.

Kum benzeri ve kil benzeri davranış arasındaki sınır keskin değildir; analizin $I_{c,lim}$ = 2,4, 2,6 ve 2,8 ile tekrarlanması önerilmektedir.

Net uç direnci $q_t - \sigma_v$ pozitif olmayan okumada zemin davranış indisi tanımlanamaz ve okuma değerlendirilmez; elenen okumalar gerekçeleriyle tüm tablolarda kalır.

$q_t \rightarrow q_{c1N} \rightarrow q_{c1Ncs}$

KURAM

Boulanger & Idriss (2014) normalizasyonunda üs sonuca bağlı olduğundan C_N yinelemeyle bulunur ve m bağıntısında q_{c1Ncs} değeri 21 ile 254 arasında tutulur.

FC = 80(I_c + C_{FC}) − 137 bağıntısında C_{FC}, I_c ile ince dane oranı arasındaki korelasyonun uyum parametresidir; 0 genel korelasyona karşılık gelir, ±0,29 bu korelasyonun bir standart sapmasıdır.

Korelasyonun saçılımı büyük olduğundan, CPT noktalarının yanındaki sondaj kuyularından alınan numunelerin laboratuvar ince dane oranlarından belirlenen sahaya özgü C_{FC} değeri daha uygundur ve her jeolojik birim için ayrı ayrı belirlenmelidir.

$$q_{c1N} = C_N \frac{q_t}{P_a} \qquad C_N = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^m \leq 1{,}7 \qquad m = 1{,}338 - 0{,}249\, q_{c1Ncs}^{0{,}264}$$

$$FC = 80\,(I_c + C_{FC}) - 137 \qquad \Delta q_{c1N} = \left(11{,}9 + \frac{q_{c1N}}{14{,}6}\right) \exp\left[1{,}63 - \frac{9{,}7}{FC+2} - \left(\frac{15{,}7}{FC+2}\right)^2\right] \qquad q_{c1Ncs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

CRR, MSF ve K_σ

KURAM

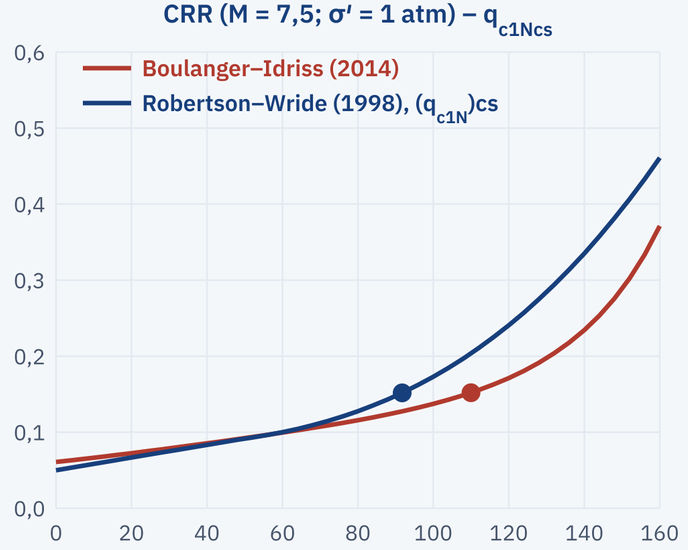
Boulanger & Idriss (2014) direnç eğrisi, raporda verilen deterministik eğridir ve vaka verilerinin 16. yüzdelik değerine (sabit 2,80) dayanır.

CRR(M=7,5; σ′=1) eğrisi q_{c1Ncs} değerinden elde edilir; q_{c1Ncs} 211 üzerinde olduğunda C_σ sınırına ulaşıldığı için 211 değeri alınır.

K_σ bağıntısındaki σ'_v, tasarım yeraltı su seviyesine karşılık gelen efektif gerilmedir.

$$CRR_{7,5,1} = \exp\left[\frac{q}{113} + \left(\frac{q}{1000}\right)^2 - \left(\frac{q}{140}\right)^3 + \left(\frac{q}{137}\right)^4 - 2{,}80\right] \qquad q = q_{c1Ncs}$$

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1)(8{,}64e^{-M/4} - 1{,}325) \qquad MSF_{max} = 1{,}09 + \left(\frac{q}{180}\right)^3 \qquad K_\sigma = 1 - C$$



Kc, CRR ve MSF

KURAM

Düzeltilmiş koni direnci $(q_{c1N})_{cs} = K_c\, q_{c1N}$ bağıntısıyla hesaplanır; K_c Icye bağlıdır ve Ic ≤ 1,64 için 1 değerini alır.

1,64 < Ic < 2,36 ve sürtünme oranı %0,5 altında kalan temiz kumda $K_c = 1$ alınır ve ince dane düzeltmesi uygulanmaz.

Temiz kum eğrisi $(q_{c1N})_{cs} = 160$ değerinde sona erer; modül aynı kübik bağıntıyı 250 değerine kadar ($CRR_{7,5} = 1,5$) sürdürür ve okumayı işaretler.

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_t}{P_a} \quad C_Q = \left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^n \le 1{,}7 \qquad (q_{c1N})_{cs} = K_c\, q_{c1N} \qquad K_c = -0{,}403 I_c^4 + 5{,}581 I_c^3 - 21{,}63 I_c^2 + 33{,}75 I_c - 17{,}88$$

$$CRR_{7,5} = 0{,}833 \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} + 0{,}05 \;(< 50) \quad 93 \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000}\right)^3 + 0{,}08 \;(50 \ldots 160) \qquad MSF = \frac{102{,}24}{M^{2{,}56}} \quad K_\sigma = \left(\frac{\sigma'_v}{P_a}\right)^{f-1}$$

CSR ve iki yöntemin r_d bağıntısı

KURAM

Çevrimsel gerilme oranı CSR = 0,65 (σ_v/σ'_v) a_{max} r_d olarak ifade edilir; burada σ_v ve σ'_v tasarım yeraltı su seviyesine göre hesaplanan gerilmelerdir.

Derinlik azaltma katsayısı r_d için B&I yönteminde Idriss, R&W yönteminde Liao–Whitman bağıntısı kullanılır; büyüklük ve örtü yükü düzeltmeleri talebe değil, dirence uygulanır.

$$CSR = 0{,}65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d \qquad r_d^{BI} = \exp[\alpha + \beta M] \qquad r_d^{RW} = 1{,}0 - 0{,}00765 z\ (z \le 9{,}15\ \mathrm{m})$$

z (m)	2	4	6	8	10	15	20
r_d Boulanger–Idriss (M = 7,5)	0,991	0,972	0,949	0,924	0,896	0,822	0,750
r_d Robertson–Wride	0,985	0,969	0,954	0,939	0,907	0,773	0,640

FS = CRR / CSR

KURAM

Her okuma, üstteki ve alttaki okumaya kadar olan mesafenin yarısını temsil eder; bu temsil mesafesi her iki yönde 0,25 m'yi ya da daha büyükse olağan okuma aralığının 3/4ünü aşmaz.

Kayıttaki bir boşluk sonuçlara ekstrapole edilmez; “okuma yok” olarak değerlendirilmemiş bir dizi kalır ve bir uyarıda listelenir.

Aynı sonuca sahip ardışık okumalar bir dizi oluşturur; h_{min} (varsayılan 0,10 m) değerinden ince tek sonuçlu dizi daha uzun komşusunun sonucunu alır ve aynı sonuçlu komşu diziler bölgeleri oluşturur.

Her yöntem bir bütündür; gerilme azaltma katsayısı, normalizasyon, temiz kum düzeltmesi, büyüklük ve örtü yükü katsayıları ile direnç eğrisi bir vaka veri tabanından birlikte türetilmiştir.

İki yöntemin kaynakları, bir yöntemin bileşenlerinin diğerininkilerle karıştırılmamasını öngörür; modülde yöntem seçimi bu bileşenlerin tümünü birlikte değiştirmektedir.

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \qquad \mathrm{FS} < 1 : \ \text{sıvılaşır} \qquad 1 \le FS < FS_{req}\ (1{,}20) : \ \text{sınırda}$$

Soru

SORU

Verilenler

Okuma	$q_c = 4{,}956$ **MPa,** $f_s = 46{,}2$ **kPa,** $u_2 = 21{,}6$ **kPa; net alan oranı** $a = 0{,}80$
Saha	**YASS** $z_w = 1{,}80$ **m (tasarım YASS aynı); birim ağırlık CPT'den (0'dan 4 m'ye 80 okuma)**
Deprem	$a_{max} = 0{,}35g$**,** $M = 7{,}5$**;** $C_{FC} = 0$**; Robertson–Wride** $f = 0{,}7$**;** $FS_{req} = 1{,}20$

İSTENEN

q_t, σ'_v, I_c; Boulanger–Idriss ve Robertson–Wride ile **q_{c1Ncs}, CRR, CSR, FS**.

Çözüm (1/8)

ÇÖZÜM

1 Düzeltilmiş uç direnci ve sürtünme oranı

$$q_t = q_c + (1-a)u_2 = 4956 + (1-0{,}80)(21{,}6) = \mathbf{4\,960{,}32}\ \text{kPa}$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_t} \times 100 = \frac{46{,}2}{4\,960{,}32} \times 100 = \mathbf{0{,}9314}\ \%$$

2 Birim ağırlık (Robertson–Cabal)

$$\gamma = (0{,}27 \log R_f + 0{,}36 \log \tfrac{q_t}{P_a} + 1{,}236)\gamma_w = (1{,}8360)(9{,}81) = \mathbf{18{,}01}\ \text{kN/m}^{\mathbf{3}}$$

3 Gerilmeler

$$\sigma_v = \sum \tfrac{1}{2}(\gamma_{k-1} + \gamma_k)\Delta z = \mathbf{73{,}64}\ \text{kPa} \qquad u = 9{,}81(4{,}00 - 1{,}80) = 21{,}58\ \text{kPa}$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u = 73{,}64 - 21{,}58 = \mathbf{52{,}05}\ \text{kPa}$$

Efektif düşey gerilme **σ′$_v$ = 52,05 kPa**.

Çözüm (2/8)

ÇÖZÜM

4 Net uç direnci ve F

$$q_t - \sigma_v = 4\,960{,}32 - 73{,}64 = \mathbf{4\,886{,}68}\ \mathrm{kPa}$$

$$F = \frac{f_s}{q_t - \sigma_v} \times 100 = \frac{46{,}2}{4\,886{,}68} \times 100 = \mathbf{0{,}9454}\ \%$$

5 n üssünün yinelemesi (Robertson–Wride): önce n = 1,0 (kil denemesi)

$$Q = \frac{q_t - \sigma_v}{P_a}\left(\frac{P_a}{\sigma'_v}\right)^{1} = 93{,}88$$

$$I_c = \sqrt{(3{,}47 - \log 93{,}88)^2 + (\log 0{,}9454 + 1{,}22)^2} = \mathbf{1{,}9162} \le 2{,}6 \ \Rightarrow\ \text{kil değil}$$

Çözüm (3/8)

ÇÖZÜM

6 n = 0,5 (kum) denenir

$$Q = 48{,}2278\left(\frac{101{,}325}{52{,}05}\right)^{0{,}5} = 67{,}29$$

$$I_c = \sqrt{(3{,}47 - \log 67{,}29)^2 + (\log 0{,}9454 + 1{,}22)^2} = \mathbf{2{,}0312} \leq 2{,}6 \;\Rightarrow\; n = 0{,}5$$

I_c = 2,031 ≤ 2,6: kil benzeri değil, okuma değerlendirilir.

Çözüm (4/8)

ÇÖZÜM

7 İnce dane oranı ($C_{FC} = 0$)

$$FC = 80\,(I_c + C_{FC}) - 137 = 80(2{,}0312) - 137 = \mathbf{25{,}50\ \%}$$

8 m ve C_N birbirine bağlı: q_{c1Ncs} ile yineleme ($x = q_t/P_a = 48{,}955$, $\sigma'_v = 52{,}05$)

Yineleme	q_{c1Ncs} (girdi)	m	C_N	$q_{c1N} = C_N q_t/P_a$	Δq_{c1N}	q_{c1Ncs} (çıktı)
1	48,955	0,6425	1,5341	75,100	44,128	119,227
2	119,227	0,4582	1,3569	66,427	42,590	109,017
3	109,017	0,4788	1,3756	67,342	42,752	110,094
4	110,094	0,4766	1,3736	67,242	42,734	109,977
…	…	…	…	…	…	…
13	109,988	0,4768	1,3738	67,252	42,736	109,988

13 yinelemede yakınsar: **m = 0,4768, C_N = 1,3738, q_{c1N} = 67,252, Δq_{c1N} = 42,736 → q_{c1Ncs} = 109,988**.

Çözüm (5/8)

ÇÖZÜM

9 Temel direnç (M = 7,5; 1 atm), MSF ve K_σ (q_{c1Ncs} = 109,99)

$$CRR_{7,5,1} = \exp[q/113 + (q/1000)^2 - (q/140)^3 + (q/137)^4 - 2{,}80] \quad (q = 109{,}99)$$

$$CRR_{7,5,1} = \exp[-1{,}8840] = \mathbf{0{,}1520}$$

$$MSF_{max} = 1{,}09 + (109{,}99/180)^3 = 1{,}3181$$

$$MSF = 1 + (1{,}3181 - 1)(8{,}64e^{-7{,}5/4} - 1{,}325) = \mathbf{1{,}0000}$$

$$C_\sigma = 1/(37{,}3 - 8{,}27(109{,}99)^{0{,}264}) = 0{,}1150$$

$$K_\sigma = 1 - 0{,}1150\ln(52{,}05/101{,}325) = \mathbf{1{,}0766}$$

$CRR_{7,5;1}$ = **0,1520**; MSF = **1,0000**; K_σ = **1,0766** → CRR = **0,1636**.

Çözüm (6/8)

ÇÖZÜM

10 Talep (Idriss r_d) ve güvenlik sayısı

$$r_d = \exp[\alpha + \beta M] = \exp[-0{,}1971 + 0{,}0225(7{,}5)] = 0{,}9718$$

$$CSR = 0{,}65\,\frac{\sigma_v}{\sigma'_v}\,a_{max}\,r_d = 0{,}65\left(\frac{73{,}64}{52{,}05}\right)(0{,}35)(0{,}9718) = \mathbf{0{,}3127}$$

$$CRR = CRR_{7{,}5{,}1} \cdot MSF \cdot K_\sigma = 0{,}1520(1{,}0000)(1{,}0766) = 0{,}1636$$

$$FS = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0{,}1636}{0{,}3127} = \mathbf{0{,}523}$$

Boulanger–Idriss: **FS = 0,523 < 1**, sıvılaşma tetiklenir.

Çözüm (7/8)

ÇÖZÜM

11 C_Q ve q_{c1N} (n = 0,5 aynı)

$$C_Q = (P_a/\sigma'_v)^{0,5} = (101{,}325/52{,}05)^{0,5} = 1{,}3952$$

$$q_{c1N} = C_Q \frac{q_t}{P_a} = 1{,}3952(48{,}955) = 68{,}300$$

12 K_c (I_c = 2,031: 1,64 < I_c < 2,36 ama F = 0,945 % ≥ 0,5: ince dane düzeltmesi VAR)

$$K_c = -0{,}403 I_c^4 + 5{,}581 I_c^3 - 21{,}63 I_c^2 + 33{,}75 I_c - 17{,}88 = \mathbf{1{,}3430}$$

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c\, q_{c1N} = 1{,}3430(68{,}300) = \mathbf{91{,}727}$$

Robertson–Wride'de ince dane etkisi **K_c çarpanıdır** (1,343), Boulanger–Idriss'te Δq_{c1N} **eklenir** (+42,7); $(q_{c1N})cs$ = 91,73, q_{c1Ncs} = 109,99.

Çözüm (8/8)

ÇÖZÜM

13 Direnç, talep (Liao–Whitman r_d; $\sigma'_v < P_a$ olduğundan $K_\sigma = 1$) ve FS

$$CRR_{7,5} = 93\left(\frac{91{,}727}{1000}\right)^3 + 0{,}08 = 0{,}1518 \qquad MSF = \frac{102{,}24}{7{,}5^{2{,}56}} = 0{,}9996$$

$$r_d = 1 - 0{,}00765(4) = 0{,}9694 \qquad CSR = 0{,}65\left(\frac{73{,}64}{52{,}05}\right)(0{,}35)(0{,}9694) = 0{,}3120$$

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR}\,MSF\,K_\sigma = \frac{0{,}1518}{0{,}3120}(0{,}9996)(1) = \mathbf{0{,}486}$$

İki paket aynı sonuca varır: **Boulanger–Idriss FS = 0,523**, **Robertson–Wride FS = 0,486**; ikisi de < 1. Aradaki fark ince dane düzeltmesinden ve r_d'den gelir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Sondaj	**CPT-1: 20 m, 5 cm aralıkla 400 okuma; YASS** $1{,}80$ **m**
Yöntemler	**Boulanger–Idriss ve Robertson–Wride; her okuma Örnek 1'deki adımlarla çözülür**

İSTENEN

Her metredeki okuma için **q_t, R_f, I_c, zemin, σ'_v, q_{c1Ncs}, CSR, CRR, FS** (iki yöntem) ve karar.

Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

z (m)	q_t (MPa)	R_f %	I_c	Zemin	σ'_v	q_{c1Ncs} (BI)	CSR (BI)	FS (BI)	$(q_{c1N})cs$ (RW)	FS (RW)	Karar (BI / RW)
1	6,58	2,27	2,04	kum	19,4	–	–	–	–	–	*YASS üstü*
2	4,02	0,93	2,04	kum	36,0	108,4	0,238	0,691	90,1	0,626	Sıvılaşır / Sıvılaşır
3	4,46	0,87	2,02	kum	43,9	107,1	0,283	0,569	88,8	0,514	Sıvılaşır / Sıvılaşır
4	**4,96**	**0,93**	**2,03**	**kum**	**52,1**	**110,0**	**0,313**	**0,523**	**91,7**	**0,486**	**Sıvılaşır / Sıvılaşır**
5	5,12	0,95	2,05	kum	60,3	109,7	0,332	0,483	90,2	0,445	Sıvılaşır / Sıvılaşır
6	5,57	0,84	2,02	kum	68,6	107,2	0,346	0,445	88,4	0,415	Sıvılaşır / Sıvılaşır
7	1,92	2,43	2,66	silt karışımı	76,4	–	–	–	–	–	*kil benzeri*
8	2,03	2,40	2,68	silt karışımı	84,3	–	–	–	–	–	*kil benzeri*
9	2,03	2,55	2,73	silt karışımı	92,3	–	–	–	–	–	*kil benzeri*
10	17,69	1,00	1,74	kum	102,5	173,9	0,364	1,579	184,9	1,808	Güvenli / Güvenli
11	20,25	1,03	1,72	kum	112,8	192,7	0,361	3,455	199,1	2,187	Güvenli / Güvenli
12	20,21	0,88	1,69	kum	123,3	186,2	0,357	2,527	186,1	1,821	Güvenli / Güvenli
13	19,88	0,95	1,73	kum	133,8	177,5	0,353	1,758	180,8	1,689	Güvenli / Güvenli
14	1,17	3,85	3,28	kil	142,9	–	–	–	–	–	*kil benzeri*
15	1,21	3,91	3,30	kil	150,6	–	–	–	–	–	*kil benzeri*
16	1,22	3,91	3,33	kil	158,3	–	–	–	–	–	*kil benzeri*
17	24,54	0,77	1,63	kum	167,3	206,1	0,341	6,842	188,5	1,951	Güvenli / Güvenli
18	26,33	0,71	1,60	kum	177,7	218,9	0,335	9,233	196,2	2,212	Güvenli / Güvenli
19	26,27	0,79	1,64	kum	188,3	213,7	0,330	9,199	189,9	2,069	Güvenli / Güvenli
20	25,71	0,76	1,65	kum	198,9	203,9	0,324	5,959	181,1	1,868	Güvenli / Güvenli

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

1 Okumadan bölgeye: her okuma komşu orta noktalarına kadar (en çok 0,25 m) temsil eder; aynı sonuçlar birleşir

Yöntem	Sıvılaşan bölge (m)	Kalınlık (m)	Sınırda (m)	En küçük FS	z (m)
Boulanger–Idriss	1,83 – 6,03	**4,20**	0,00	0,445	6,00
Robertson–Wride	1,83 – 6,03	**4,20**	0,00	0,415	6,00

İki yöntem de CPT-1'de **1,83 – 6,03 m** aralığını (4,20 m) sıvılaşan sayar; en küçük FS her ikisinde 6,0 m'de. 4,0 m satırı elle çözülen Örnek 1'dir. 6 – 9 m arasındaki silt benzeri tabaka (I_c > 2,6) kil benzeri sayılıp 7 – 9 m satırlarında elenir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Sondajlar	**CPT-1 (YASS 1,80 m), CPT-2 (2,40 m), CPT-3 (3,10 m); aynı parametreler**
Karşılaştırma	**her yöntem kendi paketiyle**

İSTENEN

Her sondajın **en küçük FS**'si, **sıvılaşan** ve **sınırda** kalınlıkları.

Çözüm

ÇÖZÜM

Sondaj	YASS (m)	Yöntem	En küçük FS	z (m)	Sıvılaşan bölgeler (m)	Kalınlık (m)	Sınırda (m)
CPT-1	1,80	Boulanger–Idriss	**0,445**	6,00	1,83 – 6,03	4,20	0,00
		Robertson–Wride	**0,415**	6,00	1,83 – 6,03	4,20	0,00
CPT-2	2,40	Boulanger–Idriss	**0,605**	7,10	2,62 – 7,53	4,90	0,85
		Robertson–Wride	**0,640**	7,10	2,67 – 7,53	4,85	0,25
CPT-3	3,10	Boulanger–Idriss	**0,655**	8,50	5,03 – 10,03	5,00	0,00
		Robertson–Wride	**0,683**	8,50	5,03 – 10,03	5,00	0,00

Her sondajda iki yöntem de sıvılaşmayı tetikler; sıvılaşan kalınlıklar neredeyse aynıdır (4,2 – 5,0 m). Farklar sınırda kalınlıkta (CPT-2: 0,85 / 0,25 m) ve en küçük FS'dedir. En küçük FS **gürültüye duyarlıdır**; kalınlık daha kararlı değerdir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Soru

SORU

Verilenler

Taban durum	**CPT-1:** $a_{max} = 0{,}35g$**,** $M = 7{,}5$**,** $I_{c,lim} = 2{,}6$**,** $C_{FC} = 0$**, tasarım YASS = deney YASS (**$1{,}80$ **m)**
Değişenler	**bir seferde yalnız biri:** $I_{c,lim}$ **2,4 / 2,8;** C_{FC} $\mp 0{,}29$**;** a_{max} **0,25g / 0,45g; tasarım YASS 1,0 m**

İSTENEN

CPT-1'in **en küçük FS** ve **sıvılaşan kalınlığı** (iki yöntem); C_{FC} için FC'nin elle kontrolü.

Çözüm (1/2)

ÇÖZÜM

Durum	Değişiklik	FS_{min} (BI)	z (m)	Kalınlık (m)	FS_{min} (RW)	z (m)	Kalınlık (m)
Taban	–	0,445	6,00	**4,20**	0,415	6,00	**4,20**
$I_{c,lim}$ küçülür	2,4	0,445	6,00	**4,20**	0,415	6,00	**4,20**
$I_{c,lim}$ büyür	2,8	0,318	8,80	**7,20**	0,391	8,45	**7,20**
C_{FC}	−0,29	0,318	6,00	**4,20**	–	–	–
C_{FC}	+0,29	0,579	6,00	**4,20**	–	–	–
a_{max} azalır	0,25g	0,624	6,00	**4,20**	0,582	6,00	**4,20**
a_{max} artar	0,45g	0,346	6,00	**4,20**	0,323	6,00	**4,20**
Tasarım YASS yükselir	1,0 m	0,400	6,00	**4,50**	0,368	6,00	**4,50**

$I_{c,lim}$ = 2,8 en etkili girdidir: 6 – 9 m arasındaki siltli kum (I_C 2,6 – 2,8) hesaba girer, sıvılaşan kalınlık 4,2 → **7,2 m**, FS_{min} ≈ 0,32. C_{FC} yalnız B&I'de vardır ve FS'yi 0,32 – 0,58 arasında oynatır; a_{max} ve tasarım YASS kalınlığı çok değiştirmez.

Çözüm (2/2)

ÇÖZÜM

1 Örnek okumada (I_c = 2,031) C_{FC}'nin ince dane oranına etkisi

$$C_{FC} = -0{,}29: \; FC = 80(2{,}0312 - 0{,}29) - 137 = \mathbf{2{,}30\ \%}$$

$$C_{FC} = 0: \; FC = 80(2{,}0312) - 137 = \mathbf{25{,}50\ \%}$$

$$C_{FC} = +0{,}29: \; FC = 80(2{,}0312 + 0{,}29) - 137 = \mathbf{48{,}70\ \%}$$

FC 2,3 → 25,5 → 48,7 % (I_c'deki belirsizlik FC'yi çok oynatır): ince dane düzeltmesi Δq_{c1N} bu yüzden belirsizdir ve **sahaya özgü C_{FC}** için sondaj yanındaki laboratuvar ince dane oranları gerekir.

Çözümü GeoTerva'da kontrol edin ↗

Özet

Akılda kalacak noktalar

Koni kaydı → $q_t = q_c + (1 - a)u_2$, R_f, γ (CPT'den), σ'_v, $\mathbf{I_c}$ (n yinelemesi); $I_c > 2{,}6$ kil benzeri, elenir

İki paket: Boulanger–Idriss ($FC = 80(I_c + C_{FC}) - 137$, q_{c1Ncs}, CRR, MSF, K_σ) ve Robertson–Wride (K_c çarpar, CRR kübik); bileşenleri karıştırılmaz

Örnek (4,00 m): σ'_v 52,05 kPa, I_c 2,031; B&I q_{c1Ncs} 109,99, CRR 0,1636, CSR 0,3127 → **FS 0,523**; R&W $(q_{c1N})cs$ 91,73, $CRR_{7,5}$ 0,1518, CSR 0,3120 → **FS 0,486**

Bölge: komşu orta noktalarına kadar (≤ 0,25 m), h_{min} = 0,10 m altı birleşir; CPT-1 sıvılaşan 1,83 – 6,03 m (4,20 m)

Duyarlılık: $I_{c,lim}$ ve C_{FC} etkili; en küçük FS gürültüye duyarlı, kalınlık daha kararlı; sonuçlar tetiklenmedir, sonuçları (oturma, yanal yayılma) ayrı hesap

Kaynaklar

Boulanger, R.W., Idriss, I.M. (2014). CPT and SPT based liquefaction triggering procedures. Report UCD/CGM-14/01, University of California, Davis.

Robertson, P.K., Wride, C.E. (1998). Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 35(3), 442–459.

Youd, T.L., Idriss, I.M. et al. (2001). Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 127(10), 817–833.

Robertson, P.K. (1990). Soil classification using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, 27(1), 151–158.

Robertson, P.K., Cabal, K.L. (2010). Estimating soil unit weight from CPT. Proc. 2nd International Symposium on Cone Penetration Testing, Huntington Beach.

Idriss, I.M. (1999). An update to the Seed–Idriss simplified procedure for evaluating liquefaction potential. Proc. TRB Workshop, FHWA-RD-99-165.

Liao, S.S.C., Whitman, R.V. (1986). Overburden correction factors for SPT in sand. J. Geotech. Eng., ASCE, 112(3).

Hynes, M.E., Olsen, R.S. (1999). Influence of confining stress on liquefaction resistance. Proc. International Workshop on the Physics and Mechanics of Soil Liquefaction, Balkema.

Idriss, I.M., Boulanger, R.W. (2008). Soil liquefaction during earthquakes. EERI Monograph MNO-12.

NOT

Sayısal örneklerin tümü modülün kendi hesap motoruyla üretilmiştir; modül aynı değerleri verir. Modülün açılış projesi bu üç sondajdır (a_{max} = 0,35g, M = 7,5).

GeoTerva

Çevrim içi geoteknik hesaplar

Teoriden uygulamaya

Kendi koni sondajlarınızı (q_c, f_s, u_2) yapıştırın ya da dosyadan okutun; YASS'yi ve deprem parametrelerini girin. Modül her okuma için I_c, CSR, CRR, FS'yi, bölgeleri, sıvılaşan kalınlığı, iki yöntemin sonuçlarını, renk bantlı kesiti, adım adım çözümü ve raporu birlikte verir.

Modülü açın →

Teori sayfası →

Telefonla açın
Örnek modüller kayıt gerektirmez.

Derslerinizde kullanmak isterseniz: info@geoterva.com