



ارائه شده توسط:

سایت ترجمه فا

مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده

از نشریات معتبر

# پارامتر های سفتی و مقاومت برای مدل خاک سخت شونده رس های نرم

## و سفت بانکوک

### چکیده

مجموعه ای جامع از داده های آزمایشی در خاک تحتانی بانکوک از تست های سه محوری و ادومتری در این مقاله برای تعیین پارامتر های سفتی و مقاومت مدل خاک سخت شونده تحلیل م شود. پارامتر های تعیین شده شامل پارامتر های مقاومت تنش موثر -کولومب همراه با پارامتر های سفتی: سفتی تانژانت برای بار ادمتر اولیه، سفتی سکانت در تست های سه محوری زهکشی شده و نشده، سفتی تخلیه/بارگذاری مجدد و قدرت وابستگی سطح تنش سفتی بودند. داده های ادومتر از سه لایه خاک متفاوت بانکوک حاصل شدند: رس نرم در عمق 6-8 متر، رس متوسط در 12-15 متر عمق، و رس سفت در عمق 15.5 تا 18 متر. داده های تست های سه محوری برای رس های نرم و سخت در اعماق 5.5-6 متر و 16-18 متر تحت شرایط زهکشی شده و زهکشی نشده انجام شدند. در نهایت، دو مجموعه از پارامتر ها برای رس های نرم و سفت بانکوک از نظر عددی با نتایج سه محوری زهکشی شده و نشده با استفاده از نرم افزار عنصر محدود PLAXIS واسنجی شدند.

لغات کلیدی: پارامتر های سفتی، مدل خاک سخت شونده، رس بانکوک، تست ادومتر، تست سه محوری، روش عنصر محدود

### 1-مقدمه

خاک های تحتانی بانکوک یکی از رایج ترین خاک های رسوبی بوده و در گذشته توسط محققان و دانشجویان در موسسه فناوری آسیا تحت نظارت چهار دانشمند مورد بررسی قرار گرفته اند این چهار دانشمند شامل افراد زیر هستند (Hassan, ;Chaudhry, 1975; Li, 1975; Hwang, 1975; Ahmed, 1976). کار های آزمایشی بر روی تست های سه محوری تحکیم یافته ناهمسان گرد و همسان گرد در دو حالت فشار و کشش صورت گرفته است. از این نتایج عمدتاً برای تایید

نظریات حالت بحرانی که برای رس های طبیعی و فوق تحکیم یافته توسعه یافته است استفاده می شود (Balasubramaniam and Chaudhry, 1978; Balasubramaniam et al., 1978, 1980). به علاوه، تست های میدانی تمام مقیاس بر روی خاکریز ها و خاک برداری ها با استفاده از برنامه عنصر محدود CRISP مدل سازی شدند. سپس نرم افزار های کار بر دوست نظیر PLAXIS برای استفاده عملی به جای CRISP مناسب تر قلمداد شد. در رساله دکتری نوشته شده توسط سوراک 2010، مدل های خاکی مورد استفاده در PLAXIS نظیر مدل موهر-کولمب، مدل خاک سخت شونده و مدل خاک سخت شونده با رفتار های کرنشی کوچک به طور مفصل برای آگاهی از کاربرد آن ها در طراحی و عملکرد کار های حفر تونل و خاک برداری در پروژه MRT بانکوک بررسی شده است این مقاله به بررسی مطالعات انجام شده بر روی پارامتر های سفتی و مقاومت مدل خاک سخت شونده می پردازد.

در مدل خاک سخت شونده، تست های ادومتر و داده های تست سه محوری استفاده می شوند. داده های تست ادومتر برای رس نرم بانکوک یعنی رس نرم در عمق 6-8 متر، رس متوسط در 12-15 متر عمق، و رس سفت در عمق 15.5 تا 18 متر. داده های تست های سه محوری برای رس های نرم و سخت در اعماق 5.5-6 متر و 16-18 متر تحت شرایط زهکشی شده و زهکشی نشده استفاده شدند. پارامتر های مقاومت موهر کولمب  $c'$  و  $\phi'$  از تست های سه محوری انجام شده تحت شرایط زهکشی شده و نشده بدست آمدند. پارامتر سفتی  $E_{oed}^{ref}$  از تست های ادومتر بر روی رس های نرم و سخت بانکوک تعیین شدند. سفتی سکانت  $E_{50}^{ref}$  از تست های سه محوری زهکشی شده و نشده بر روی رس های نرم و سفت بدست می آیند. پارامتر سفتی بار گذاری و تخلیه  $E_{ur,oed}^{ref}$  نیز از تست های ادومتر تعیین می شوند. توان مربوط به وابستگی سطح تنش سفتی از هر دو تست های ادومتر و سه محوری تعیین می شوند. در نهایت، مدل سازی عنصر محدود تست های سه محوری و سفتی از تست های آزمایشگاهی تعیین شدند.

## 2- شرایط خاک تحتانی بانکوک

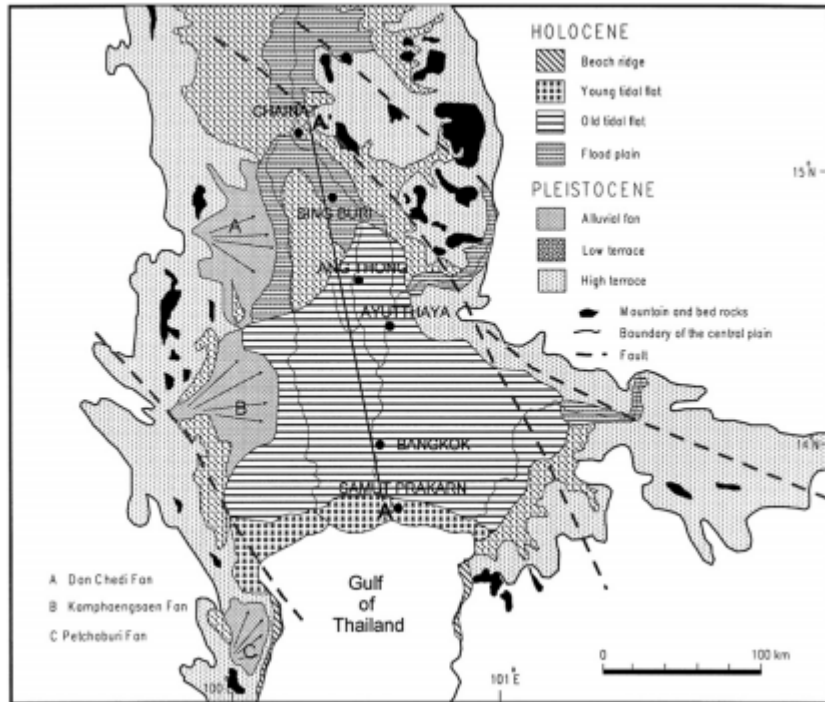
بانکوک در دشت سیلابی و دلتای رودخانه چائو فاریا قرار گرفته است. به شکل 1 مراجعه شود. رسوبات کواترنر دشت مرکزی بیانگر یک توالی پیچیده از رسوبات ابرفتی، کوهرفتی و دلتایی است. چینه شناسی کواترنر متشکل از هشت ابخوان است: Phrapadang (PD), Nakornluang (NL), Bangkok (BK), Sam Khok (SK), Phaya Thai (PT), Thonburi (TB), Nonthaburi (NB) و Pak Nam (PN). آن ها از یک دیگر با لایه های ضخیم رس یا رسی شنی جدا می شوند. عمق سنگ بستر هنوز مشخص نیست ولی سطح آن در بانکوک بین 400 تا 1800 متر متغیر است. پمپاژ آب از آبخوان ها در طی 50 سال اخیر موجب کاهش ارتفاع پیزومتریک در لایه های رسی نرم و بسیار قابل تراکم شده اند. تحلیل دقیق بر روی اثرات فرونشینی خاک بانکوک ناشی از پمپاژ آب از پاه و طرح های بهبود زمین اخیرا توسط Shibuya et al. (2003) and Balasubramaniam et al. (2005) گزارش شده است.

بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و میدانی گسترده انجام شده در گذشته توسط محققان مختلف (Brand and Balasubramaniam et al., 2003; Balasubramaniam, 1976; AIT, 1981; Shibuya et al., 2009) توصیفات زیر را می توان برای رس های نرم و سفت بانکوک ارائه داد

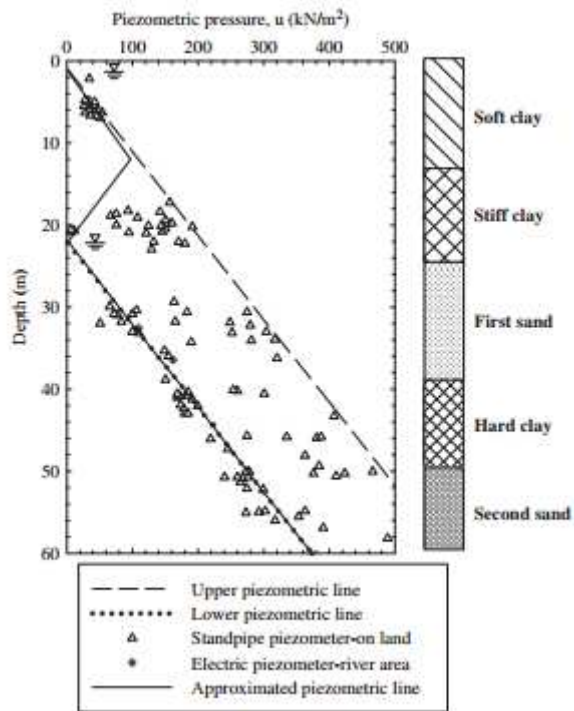
1- پوسته هوازده و سطحی: بالاترین لایه یک ماده پر کننده نظیر رس سیلتی متراکم یا بسیار شل و پوسته هوازده است که دارای رنگ روشن تا مایل به زرد است. ضخامت متوسط آن حدود 2 تا 5 متر است و میزان SPT N از 2 تا 21 متغیر است. مقدار آب 10-35٪ است. سفره اب زیر زمینی در این لایه است.

2- رس بسیار نرم تا نرم بانکوک (BSC: رس نرم بانکوک): لایه رسی بسیار نرم تا نرم بانکوک در اعماق 3 تا 12 متر، با رنگ خاکستری تا تیره، مقاومت برشی زهکشی نشده  $10-30 \text{ kN/m}^2$ ، مقدار آب طبیعی 60 تا 105 درصد

3- رس سفت متوسط تا بسیار سفت: دارای رنگ قهوه ای تا تیره، رس سفت تا بسیار سفت، ضخامت 15-35 متر، مقاومت برشی زهکشی نشده  $26-160 \text{ kN/m}^2$ ، مقدار آب طبیعی 15-60 درصد



شکل 1: نقشه زمین شناسی رسوبات کواترنر در دشت مرکزی پایینی تایلند



شکل 2: فشار پیزومتریک در خاک تحتانی بانکوک

جدول 1: خواص شاخص رس های بانکوک

Properties	Weathered clay	Soft clay	Stiff clay
Natural water content (%)	133 ± 5	122-130	20-24
Natural voids ratio	3.86 ± 0.15	3.11-3.64	1.10-1.30
Grain size distribution			
Sand (%)	7.5	4.0	23
Silt (%)	23.5	31.7	43
Clay (%)	69	64.3	34
Specific gravity	2.73	2.75	2.74
Liquid limit (%)	123 ± 2	118 ± 1	46 ± 2
Plastic limit (%)	41 ± 2	43 ± 0.5	19 ± 2
Dry unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	15.8 ± 0.3	16.5	15.5-16.5
Consistency	Soft	Soft	Stiff
Colour	Dark grey	Greenish grey	Greenish grey
Degree of saturation (%)	95 ± 2	98 ± 2	94-100

خواص شاخص رس های هوازده، نرم و سفت در جدول 1 نشان داده شده است

### 3-مدل های خاک و پارامتر های مربوطه

ازمایش های اولیه بر روی رفتار تنش کرنش خاک تحتانی بانکوک به بررسی و ارزیابی نظریات حالت بحرانی در دانشگاه کمبریج پرداخته اند. تاکید ویژه ای بر تایید و صحت سنجی مدل های حالت بحرانی برای کاربرد در تحلیل های عنصر محدود با استفاده از برنامه کامپیوتری CRISP صورت گرفته است در این برنامه، پارامتر های خاک به طور مستقیم از تست های تراکم سه محوری و پارامتر های اساسی ارزیابی می شوند از جمله شاخص تراکم، شاخص اماس و زاویه اصطکاک داخلی. این شاخص به فراوانی در خاکریز های موجود در خاک های نرم همراه و بدون اصلاح استفاده می شود. نرم افزار PLAXIS بعد ها قابل دسترس شده و امروزه کار بر دوست تر شده اند. مدل های ساختاری مورد استفاده در PLAXIS با 5 مقوله زیر همسو هستند:

- مدل های الاستیک خطی و غیر خطی: رفتار خاک الاستیک بوده و یک پارامتر سفتی استفاده می شود. با این حال، نتایج این مدل از رفتار خاک واقعی بسیار دورتر است و از این روی نباید به کار گرفته شود
- مدل های الاستیک-کاملاً پلاستیک: مدل الاستیک-کاملاً پلاستیک نسبتاً ساده بوده و رایج ترین مدل در میان مهندسان است. مدل های الاستیک-کاملاً پلاستیک برای برخی از مناطق دارای مشکلات ژئوتکتونیک به خصوص زمانی که توسط مهندسان با تجربه اسفاده شوند کافی می باشند. باین حال نیاز به توجه زیادی است زیرا مسیر تنش و فشار پیش بینی شده توسط این مدل می تواند گمراه کننده شود و در نهایت پیش بینی مقاومت خاک در مورد رس های نرم بیشتر از مقدار واقعی است.

- مدل های پلاستیسیته سطحی سخت شونده همسان گرد: مدل های پلاستیسیته سطحی سخت شونده همسان گرد نظیر مدل رس اصلاح شده برای مدل سازی رفتار خاک واقعی استفاده شد. مدل MCC یک سطح خمشی بیضی را معرفی کرد که رفتار الاستیک را از پلاستیک جدا می کند. کاربرد این مدل برای خاکریز ها در رس نرم بسیار متداول شده است. در جایی که یک مسئله تخلیه بار وجود دارد، نظیر گود برداری، مسیر تنش خاک درون سطح خمشی قرار می گیرد. از این روی، دفورماسیون های پیش بینی شده توسط رفتار الاستیک کنترل می شوند.

- مدل های پلاستیسیته سطحی مضاعف سخت شونده همسان گرد: مدل های پلاستیسیته سطحی مضاعف سخت شونده همسان گرد یک الگویی واقعی از شرایط بار گذاری به خصوص در مناطق گود برداری یا خاک برداری نشان می دهد. الگوی حرکات زمینی پیش بینی شده ناشی از تونل بندی واقع گرایانه بوده و اثری بر شرایط مرزی عنصر محدود ندارد.

- مدل های پلاستیسیته چند سطحی سخت شونده سینماتیک: مدل های پلاستیسیته چند سطحی سخت شونده سینماتیک قادر به بررسی رفتار پیچیده خاک از جمله نرم شدگی، کرنش کوچک، نا همسان گردی و خاک های دارای ساختمان خوب است. مثال هایی از مدل های خاک در این مقاله شامل مدل سخت شونده سینماتیک یا مدل حباب است. (Al-Tabbaa and Wood, 1989; Wood, 1995), و مدل سخت شونده سینماتیک سه سطحی است. سایر مدل های خاک نظیر مدل MITE3 از فرضیات مختلف، رفتار های غیر خطی در حالت قابل بازیابی و قاعده جریان غیر مرتبط در نظر گرفته می شوند. این مدل ها مستلزم تعداد زیادی از پارامتر های ورودی است. آن ها در نرم افزار عناصر محدود تجاری موجود نمی باشند. این مقاله بر استفاده از مدل خاک سخت شونده در نرم افزار PLAXIS تاکید دارد که در بخش زیر به آن پرداخته می شود

### 3-1 مدل خاک سخت شونده در PLAXIS

در ابتدا، مدل خاک سخت شونده در برنامه PLAXIS به صورت اکستنشن مدل Mohr-Coulomb معرفی شد. سپس در نسخه PLAXIS، یک قسمت دیگر به مدل برای فشار پیش از تحکیم افزوده شد. در واقع،

HSM تحت چارچوب نظریه پلاسیسیته توسعه یافته است. در این مدل، کرنش های کل با استفاده از سفتی وابسته به تنش محاسبه می شود که برای بار برداری و بار گذاری متفاوت است. سخت شدگی می تواند بسته به کرنش حجمی و برشی پلاستیک، همسان گرد باشد. قانون جریان غیر مرتبط زمانی در نظر گرفته می شود که با سخت شدگی اصطکاکی و قانون جریان مرتبط در سخت شدگی پوششی استفاده شود. شانز و همکاران 1999 و بیرنگرو 2002 به طور مفصل به فرمولاسیون و تایید مدل خاک سخت شونده پرداختند. پیش زمینه های مدل در این بخش خلاصه شده اند. مجموع 10 پارامتر ورودی در مدل خاک سخت شونده نیاز می باشند.

بر خلاف مدل موهر کلمب، رابطه کرنش تنش ناشی از بار گذاری اولیه، یک منحنی سهمی در HSM است. تابع سهمی بر اساس کاندنر 1963 برای تست سه محوری به صورت زیر فرموله می شود

$$\varepsilon_1 = \frac{q_a}{2E_{50}} \frac{q}{q_a - q}, \quad \text{for } q < q_f \quad (1)$$

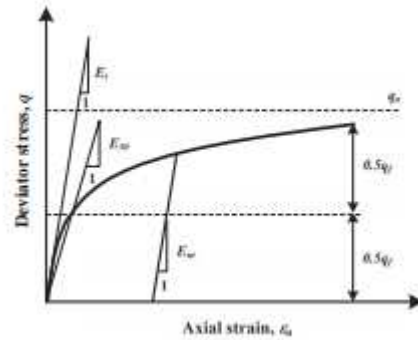
که  $\varepsilon_1$  کرنش محوری و Q تنش اغرافی است. تنش اغرافی نهایی به صورت محاسبه می شود

$$q_f = \frac{6 \sin \phi'}{3 - \sin \phi'} (\sigma'_3 + c' \cot \phi'), \quad (2)$$

جدول 2: پارامتر های ورودی مدل خاک سخت شونده

Parameter	Description	Parameter evaluation
$\phi'$	Internal friction angle	Slope of failure line from MC failure criterion
$c'$	Cohesion	y-intercept of failure line from MC failure criterion
$R_f$	Failure ratio	$(\sigma_1 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)_{ub}$
$\psi$	Dilatancy angle	Function of $\varepsilon_u$ and $\varepsilon_v$
$E_{50}^{ref}$	Reference secant stiffness from drained triaxial test	y-intercept in $\log(\sigma_3/p^{ref}) - \log(E_{50})$ space
$E_{50}^{ref}$	Reference tangent stiffness for oedometer primary loading	y-intercept in $\log(\sigma_1/p^{ref}) - \log(E_{50})$ space
$E_{ur}^{ref}$	Reference unloading/reloading stiffness	y-intercept in $\log(\sigma_3/p^{ref}) - \log(E_{ur})$ space
$m$	Exponential power	Slope of trend-line in $\log(\sigma_3/p^{ref}) - \log(E_{50})$ space
$\nu_{ur}$	Unloading/reloading Poisson's ratio	0.2 (default setting)
$K_0^{nc}$	Coefficient of earth pressure at rest (NC state)	$1 - \sin \phi'$ (default setting)





شکل 3: رابطه تنش کرنش سهمی در بار گذاری اولیه برای یک تست سه محوری زهکشی شده و مقدار آن به صورت زیر تعریف می شود

$$q_a = \frac{q_f}{R_f} \quad (3)$$

که  $q_f$  تنش اغرافی نهایی در نقطه گسیختگی می باشد و از معیار گسیختگی موهر کولومب شامل پارامتر های مقاومت  $c'$  و  $\phi'$  گرفته شده است.  $R_f$  نسبت گسیختگی است. اگر  $q_f = q_a (R_f = 1)$  باشد، معیار گسیختگی برآورده شده و خمش کاملاً پلاستیک رخ می دهد. نسبت گسیختگی در PLAXIS به صورت 0.9 برای مقدار پیش فرض استاندارد است. شکل 3 نشان دهنده رابطه سهمی تنش و کرنش در بار گذاری اولیه است.

رفتار تنش و کرنش برای بار گذاری اولیه به شدت غیر خطی است. پارامتر  $E_{50}$  یک مدول سفتی وابسته تنش برای بار گذاری اولیه است.  $E_{50}$  به جای مدول اولیه  $E_0$  برای کرنش کوچک استفاده می شود زیرا تعیین آزمایشی آن همانند مدول تانژانت بسیار سخت است

$$E_{50} = E_{50}^{ref} \left( \frac{c' \cos \phi' - \sigma'_3 \sin \phi'}{c' \cos \phi' + p^{ref} \sin \phi'} \right)^m \quad (4)$$

که  $E_{50}^{ref}$  مدول سفتی مرجع متناظر با تنش مرجع  $p^{ref}$  است. در PLAXIS، شرایط پیش فرض  $p^{ref} = 100 \text{ kN/m}^2$  استفاده می شود. سفتی واقعی بستگی به تنش اصلی موثر  $\sigma'_3$  دارد که فشار محصور کننده موثر در تست سه محوری است. توجه کنید که در PLAXIS،  $\sigma'_3$  دارای تراکم منفی است.

مقدار وابستگی تنش با توان  $M$  نشان داده می شود. به منظور شبیه سازی وابستگی تنش لگاریتمی، برای رس نرم باید به صورت 1 باشد. سوس ون 2001 دامنه ای از  $M$  از 0.5 تا 1 در خاک های مختلف با مقادیر 0.9-1 برای خاک های رسی گزارش شده است.

مدول سفتی وابسته تنش برای مسیرهای تنش بارگذاری و بار برداری به صورت زیر محاسبه می شود

$$E_{ur} = E_{ur}^{ref} \left( \frac{c' \cos \phi' - \sigma'_3 \sin \phi'}{c' \cos \phi' + p^{ref} \sin \phi'} \right)^m \quad (5)$$

که  $E_{ur}^{ref}$  مدول مرجع برای بارگذاری مجدد است که با فشار مرجع  $p^{ref}$  متناظر است. برای موارد عملی، PLAXIS یک شرایط پیش فرض  $E_{ur}^{ref}$  برابر  $3E_{50}^{ref}$  است.

تابع خمشی سخت شونده برشی در HSM به صورت زیر است

$$f_s = \bar{f} - \gamma^p \quad (6)$$

$$\bar{f} = \frac{q_a}{E_{50}} \left\{ \frac{(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{q_a - (\sigma'_1 - \sigma'_3)} \right\} - \frac{2(\sigma'_1 - \sigma'_2)}{E_{ur}} \quad (7)$$

که  $\sigma'_1$  و  $\sigma'_3$  تنش های اصلی و فرعی،  $E_{50}$  مدول سفتی 50٪ است و  $\gamma^p$  کرنش برشی پلاستیک است و به صورت

$$\gamma^p \approx \varepsilon_1^p - \varepsilon_2^p - \varepsilon_3^p = 2\varepsilon_1^p - \varepsilon_v^p \approx 2\varepsilon_1^p \quad (8)$$

است

که  $\varepsilon_1^p, \varepsilon_2^p$  و  $\varepsilon_3^p$ ، کرنش های پلاستیک و  $\varepsilon_v^p$  کرنش حجمی است.

از فرمولاسیون های تابع خمشی سخت شونده برشی، می توان گفت که مدول های سه محوری پارامترهای کنترل کننده سطوح خمشی سخت شونده برشی هستند. علاوه بر سطوح خمشی سخت شونده، سطوح

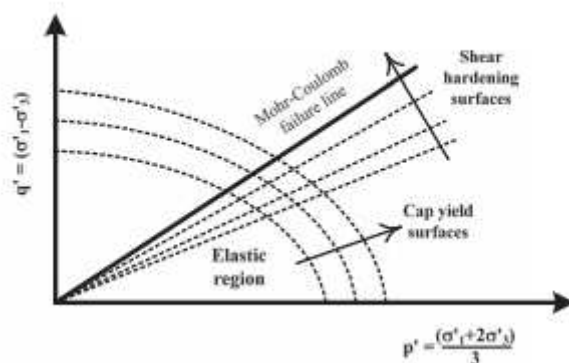
خمشی فوقانی در HSM استفاده می شود شکل 4 نشان دهنده سخت شونده برشی بوده و سطوح خمشی در HSM برای خاک بدون چسبندگی است.

دیگر پارامتر ورودی، مدول ادومتر مرجع برای کنترل بزرگی کرنش های پلاستیک استفاده می شود. مشابه با مدول سه محوری، مدول ادومتر از وابستگی تنش زیر پیروی می کند

$$E_{oed} = E_{oed}^{ref} \left( \frac{c' \cos \phi' - \sigma'_1 \sin \phi'}{c' \cos \phi' + p^{ref} \sin \phi'} \right)^m \quad (9)$$

تعریف سطح خمشی را می توان به صورت زیر در نظر گرفت

$$f^c = \frac{\tilde{q}^2}{\alpha^2} + p^2 - p_p^2 \quad (10)$$



شکل 4: سخت شدگی برشی و سطوح خمشی در مدل خاک سخت شونده

که  $\alpha$ ، پارامتر مدل کمکی مربوط به  $K_o^{nc}$  است. پارامترهای  $p$  و  $\tilde{q}$  به صورت زیر بیان می شود

$$p = \frac{-(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)}{3} \quad (11)$$

$$\tilde{q}^2 = \sigma_1 + (\delta - 1)\sigma_2 - \sigma_3 \quad (12)$$

$$\delta = \frac{(3 + \sin \phi')}{(3 - \sin \phi')} \quad (13)$$

$\tilde{q}$  شاخص تنش ویژه برای فشار اگرافی است. در رابطه با فشار سه محوری  $\tilde{q}$  به  $\tilde{q} = -\delta(\sigma_1 - \sigma_3)$  است.

بزرگی فشار خمشی را می توان با تنش پیش تحکیم سازی همسان گرد تعیین می شود. از همه مهم تر، قانون سخت شونده، مربوط به فشار پیش تحکیم شونده به کرنش حجمی است

$$\varepsilon_v^{pc} = \frac{\beta}{1-m} \left( \frac{p_p}{p^{ref}} \right)^{1-m} \quad (14)$$

که  $\varepsilon_v^{pc}$ ، کرنش حجمی بوده و بیانگر کرنش حجمی پلاستیک در فشار همسان گرد است. علاوه بر ثابت های M و  $D^{ref}$ ، ثابت مدل دیگر موسوم به  $\beta$  است. هر دو الفا و بتا پارامتر های پوششی بوده ولی PLAXIS از آن ها به عنوان پارامتر های ورودی استفاده نمی کند رابطه آن ها به صورت زیر است

$$\alpha = K_o^{nc} \quad (\text{by default } K_o^{nc} = 1 - \sin \phi') \quad (15)$$

$$\beta = E_{oed}^{ref} \quad (\text{by default } E_{oed}^{ref} = E_{50}^{ref}) \quad (16)$$

طوری که  $E_{oed}^{ref}$  و  $K_o^{nc}$  را می توان به عنوان پارامتر های ورودی استفاده کرد که تعیین کننده بزرگی الفا و بتا است. شکل 5، سطح شکل را در صفحه p-q نشان می دهد

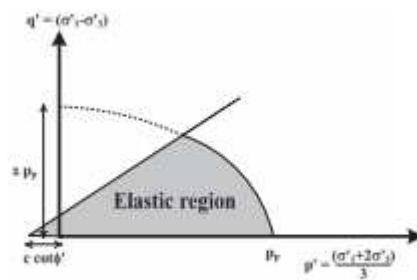


Fig. 5. Yield surface of the Hardening Soil Model in  $q$ - $p'$  plane (Schanz et al., 1999).

## شکل 5

### 4- ارزیابی پارامترهای مقاومت و سفتی برای رس های نرم و سفت

#### 4-1- جزئیات روش های تست و نمونه برداری خاک

همه نتایج آزمایشی در این مطالعه برای نمونه های تخریب نشده با عمق مناسب برای رس نرم، متوسط و سفت تعیین شدند. لوله های نمونه دیواره نازک با قطر 25.4 میلی متر برای رس های نرم و متوسط در آزمون های سه محوری در رس های هوا زده، نرم و متوسط استفاده شد. برای رس سفت، تست های ادومتر بر روی نمونه های 625 میلی متری انجام شد. بعد از عصاره گیری نمونه ها به بخش های 100 میلی متری تقسیم شده و با پارافین پوشش دهی شده و در محیط رطوبتی کنترل شده قرار گرفتند. این ها برای تست های سه محوری استفاده شدند. برای تست های ادومتر، نمونه ها از لوله ها خارج شدند.

#### 4-1-1- تست های ادومتر

تست های مختلف ادومتر بر روی نمونه های سالم رس انجام شدند (Nanegrungsung, 1976; Kerdsuwan, 1984; Koslanant, 1997; Tonyagate, 1978). به علاوه گزارش هایی در مورد مطالعات فرونشینی بانکوک در پروژه ایرپورت و mrta وجود دارند. داده های مورد استفاده در این مقاله بر روی نمونه های 625 میلی متری در عمق های مناسب بدست آمدند. تحکیم سنج بازو اهرمی در عمق های مناسب برای تست یک قطعه با قطر 625 میلی متر و ضخامت 19 میلی متر در نظر گرفته شد. نمونه در سلول دیواره دار بین سنگ های پایین و بالا برای زهکشی عمودی قرار داده شد. نسبت افزایش بار در

تست ها بررسی شد. بسته به نوع رس تست شده، افزایش بار 24 ساعت تا زمان انتشار کامل فشار منفذی، حفظ شد.

#### 2-1-4 تست های سه محوری

برای تست سه محوری، هر نمونه از یک محیط رطوب گرفته شده و به اندازه مورد نیاز رسید. دو سنگ متخلخل بر روی هر انتهای نمونه قرار داده شد. هم چنین کاغذ صافی 40 واتمن در امتداد دور آن قرار داده شد. نمونه در دو غشای لاستیکی قرار داده شد که با یک پوشش نازک از گریس سیلیکون جدا می شود. انتهای بالایی و پایینی غشای لاستیک پوشش دهی شد. اتاقک احاطه کننده نمونه با روغن سیلیکون پر شد. برای همه آزمایشات، نمونه ها به طور همسان گرد برای فشار های تحکیم در برابر فشار منفذی بالا برای تحمل اشباع تحکیم شدند. فشار پسین  $207 \text{ kN/m}^2$  به همه نمونه ها اعمال شد که برای حذف هوا کافی است. تغییر حجم نمونه در بازه های مختلف نا زمان انتشار فشار منفذی اندازه گیری شد. بسته به فشار تحکیم، زمان مورد نیاز برای انتشار فشار منفذی از 2 تا 5 روز متغیر بود.

در این مقاله، نتایج چندین سری تست های فشار و کشش بر روی رس هوا زده، نرم و سفت بررسی شد. نمونه های آزمایشی دارای ارتفاع 72 میلی متر و قطر 36 میلی متر هستند. چندین سری تست بر در موسسه فناوری آسیایی انجام شد. بیشتر تست های CID, CIU, CIDE و CIUE تحت شرایط کنترل شده انجام شدند. به علاوه، مقداری از تست های Cid و CIU در نظر گرفته شدند.

به منظور حذف اثر سرعت کرنش، نرخ ثابت کرنش برای هر نوع کرنش استفاده شد. با این حال، مقدار کرنش خاص برای هر تست سه محوری با در نظر گرفتن زمان مورد نیاز برای برابر سازی فشار اب منفذی درون نمونه انتخاب شد.

نرخ های برشی زیر انتخاب شدند

- $0.0018 \text{ in./min}$  برای تست های CIU و CIUE در رس هوا زده
- $0.000048 \text{ in./min}$  برای تست های CID و Cide بر روی رس نرم و هوا زده

جدول 3: خلاصه ای از پارامتر مقاومت موهر کولمب خاک تختانی بانکوک

Reference	Location	Depth (m)	Test type	$\phi'$ (deg)	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )
<i>Weathered clay</i>					
Balasubramaniam and Uddin (1977)	Nong Ngoo Hao	2.5-3.0	CIUE <sub>U</sub>	28.9	0
Balasubramaniam et al. (1978)	Nong Ngoo Hao	2.5-3.0	CIU	22.2	0
			CID	23.5	0
			CIUE <sub>U</sub>	29	0
<i>Soft clay</i>					
Balasubramaniam and Chaudhry (1978)	Nong Ngoo Hao	5.5-6.0	CIU	26	0
			CID	21.7	0
Balasubramaniam et al. (1978)	Nong Ngoo Hao	5.5-6.0	CIU	24	38
			CID	23.5	0
			CIDP	23.7	0
			CIUE <sup>L</sup>	26	0
			CIUE <sup>U</sup>	21.1	58.7
			CIDE <sup>L</sup>	26.2	0
			CIDE <sup>U</sup>	23.5	31.8
<i>Stiff clay</i>					
Ahmed (1976), Balasubramaniam et al. (1978)	Nong Ngoo Hao	16.0-16.6	CID	26	30
			CIUE <sup>L</sup>	18	54
			CIUE <sup>U</sup>	25	54
			CIDE <sup>U</sup>	16.6	11
Hassan (1976)	Nong Ngoo Hao	17.0-18.0	CIU	28.1	11.4
			CID	26.3	32.8

جدول 3 خلاصه ای از پارامترهای مقاومت موهر کولمب خاک تختانی بانکوک را که از تست های فشاری و کششی بدست آمده است نشان می دهد.

#### 4.2- پارامترهای مقاومت موهر-کولمب

مفاهیم مربوط به تست های سه محوری شناسایی شده در جدول 3 توضیح داده می شوند. تفاوت در فشارها و تنش های اعمال شده اثر معنی داری بر روی پارامترهای مقاومت موهر-کولمب داشت. شرایط اولیه وضعیت تحکیم و نیز شرایط زهکشی تحت مقاومت برشی بر روی پارامترهای مقاومت موثر بود. از این روی پارامترهای مقاومت باید به طور مناسب بر اساس مسیر فشار اعمال شده انتخاب شوند.

#### 4.3- داده های تست ادومتر

تست های ادومتر بر روی رس نرم در عمق 6-8 متر، رس سخت در عمق های 12-14 متر و رس سفت در 15.5-18 متر عمق انجام شدند.

مقدار متوسط  $E_{oed}^{ref}$ ،  $E_{ur,oed}^{ref}$  و پارامترهای  $m$  به صورت پارامترهای سفتی ورودی  $hsm$  برای هر لایه زیر تختانی در جدول 5 خلاصه شده است. مقادیر میانگین  $E_{oed}^{ref}$  به ترتیب 1650، 920 و 4689 گیلو نیوتن بر متر مربع برای رس های نرم، متوسط و سفت است. برای  $E_{ur,oed}^{ref}$ ، این مقادیر میانگین به ترتیب

9618 kN/m<sup>2</sup>, 5813, 5394, است. مقادیر توان برای  $E_{oed}^{ref}$  در رس نرم نزدیک به واحد بود. این

یافته مطابق با توان m برای رس تحکیم یافته می باشد. مقادیر توان m برای  $E_{oed}^{ref}$  در رس متوسط و سفت به 0.6 کاهش می یابد. نسبت های  $E_{ur,oed}^{ref}/E_{oed}^{ref}$  در لایه رس نرم از 2 تا 4 متغیر است. این مقادیر متوسط در جدول 4 نشان داده شده است.

#### 4.4- داده های تست های سه محوری

#### 1.4.4- رس نرم بانکوک

دو سری از تست های سه محوری تحکیم یافته همسان گرد Ciu و CID توسط کادهاری 1975 بر روی رس نرم و سفت در این شهر تحلیل شده است. نمونه های خاک از عمق 0.6 متر پایین تر از سطح زمین گرفته شدند. فشار محصور کننده مورد استفاده برای دو سری به ترتیب 138, 207, 276, 345 و 414 kN/m<sup>2</sup> برای تست های S1-S5 بود. زاویه اصطکاک داخلی بدست آمده از تست ها به ترتیب 27 و 23.6 درصد بود و مقدار چسبندگی برای هر دو سری صفر بود. پارامتر های مقاومت زهکشی شده در جدول 6 خلاصه شده اند.

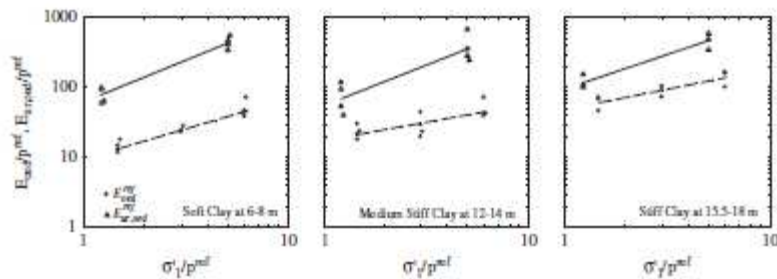
جدول 4: پارامتر های تحکیم یافتگی از تست های ادمتر

Test	Loading	Un/re-loading		$E_{ur,oed}^{ref}/E_{oed}^{ref}$		$k^*$	$\alpha^*$
	$E_{oed}^{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	m	$E_{ur,oed}^{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	m			
<i>Soft clay (6-8 m)</i>							
1	901	0.9	7679	1.1	8.5	0.115	0.009
2	1068	1.0	4310	1.5	4.0	0.094	0.008
3	858	0.9	7546	1.1	8.8	0.122	0.010
4	1105	0.7	4532	1.2	4.1	0.111	0.013
<i>Medium stiff clay (12-14 m)</i>							
5	2282	0.6	8989	1.2	3.9	0.073	0.006
6	1429	0.6	2903	0.6	2.0	0.110	0.023
7	1749	0.5	7663	1.0	4.4	0.099	0.012
8	1288	0.6	4126	1.2	3.2	0.113	0.015
<i>Stiff clay (15.5-18 m)</i>							
9	5548	0.6	8670	1.1	1.6	0.033	0.009
10	5187	0.7	12,451	1.0	2.4	0.032	0.007
11	3736	0.6	8241	1.0	2.2	0.049	0.012

جدول 5: خلاصه ای از  $E_{oed}^{ref}$ ,  $E_{ur,oed}^{ref}$  و M



Subsoils	Depth(m)	Loading		Un/Re-loading	
		$E_{ref}^{\sigma}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$m$	$E_{ref}^{\sigma}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$m$
Soft clay	6-8	962	0.9	5813	1.2
Medium stiff clay	12-14	1690	0.6	5394	1.0
Stiff clay	15.5-18	4689	0.6	9618	1.0



شکل 6: فشار تحکیم در برابر مدول ادمتر در خاک های بانکوک

نتایج تست های سه محوری انجام شده بر روی رس نرم به صورت نمودار در شکل 7 نشان داده شده است. روابط  $(q, \epsilon_a)$  و  $(u, \epsilon_a)$  در شکل 7 الف و ب نشان داده شده است. فشار های منفذی و فشار انحرافی در برابر روابط فشار محوری نشان داده شده است که در آن فشار در کرنش نسبتا زیاد به مقدار نهایی می رسد. به علاوه، همه نمودار های فشار منفذی در دامنه مثبت قرار دارد.

نتایج بدست آمده از تست های سه محوری Cid برای رس نرم در شکل 8 با روابط  $(q, \epsilon_a)$  و  $(\epsilon_v, \epsilon_a)$  در شکل 8 الف و ب نشان داده شده است. در طی فشار اعمال شده، حجم نمونه خاک کاهش می یابد. نمودار های کرنش محوری و حجمی در همه تست ها مطابق با کرنش محوری 10 درصد است و سپس منحرف می شود.

مثالی از مدول مرجع در 50 درصد مقاومت  $(E_{50}^{ref}, E_{u,50}^{ref})$  و توان  $m$  تعیین شده از تست های Ciu و cid با استفاده از نمودار های مقیاس لگاریتم دو گانه در شکل 9 نشان داده شده است. این مقادیر در جدول 6 همراه با مدول اولیه  $(E_{\sigma i}^{ref}, E_{\sigma u,i}^{ref})$ ، مدول مرجع در 50 درصد مقاومت  $(E_{50}^{ref}, E_{u,50}^{ref})$  و نسبت گسیختگی حاصل از تست های CID و نیز پارامتر مقاومت برشی برای رس نرم نشان داده شده است.

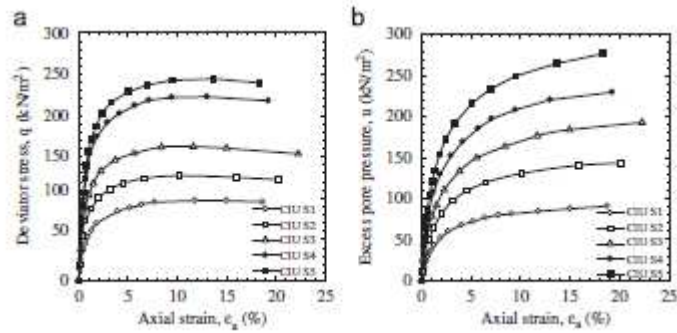
#### 2-4-4 رس سفت بانکوک

دو سری از تست های تراکم سه محوری تحکیم یافته همسان گرد، CIU-CID بر روی رس سفت در این مطالعه تفسیر شده است. نمونه های خاک سالم از عمق 17.4-18 متر پایین تر از سطح گرفته شد. فشار های تحکیم یافتگی پیش از برش از 17 تا  $620 \text{ kN/m}^2$  و  $34-552 \text{ kN/m}^2$  برای سری های CIU و CID به ترتیب نشان داده شده است. زویای اصطاک داخلی از سری های CIU-CID به ترتیب 28.1 و 26.3 بود در حالی که مقدار چسبندگی به ترتیب 11.4 و 32.8 کیلو نیوتن بر متر مربع است.

شکل 10، نتایج تست های CIU بر رس سفت بانکوک را نشان می دهد. از شکل 10 الف می توان دید که فشار محصور کننده پیش برشی  $138 \text{ kN/m}^2$ ، نرم شدگی کرنشی را نشان نمی دهد. در سطح فشار محصور کننده از 207 تا 414، این نمونه های رسی به صورت رس فوق تحکیم یافته نشان دهنده فشار پیک در کرنش محوری پایین است. این نمونه ها به صورت رس فوق تحکیم یافته در نظر گرفته شدند. جدول 6: پارامتر های سفتی و مقاومت از تست های CID و CIU برای رس بانکوک

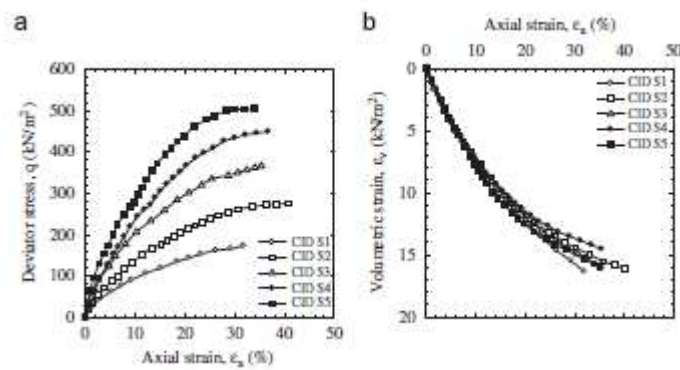
Parameter	CID	CIU
<i>Soft Bangkok clay</i>		
Confining pressure ( $\text{kN/m}^2$ )	138-414	138-414
Initial $E_{11}^{ref}, E_{22}^{ref}$ ( $\text{kN/m}^2$ )	1343	7690
$m$	1.0	1.2
50% $E_{50}^{ref}, E_{a50}^{ref}$ ( $\text{kN/m}^2$ )	690	4831
$m$	1.1	1.0
$R_f$	0.72	0.94
$\phi^f$	23.6	27.0
$c^f$ ( $\text{kN/m}^2$ )	0	0
<i>Stiff Bangkok clay</i>		
Confining pressure ( $\text{kN/m}^2$ )	34-552	17-620
Initial $E_{11}^{ref}, E_{22}^{ref}$ ( $\text{kN/m}^2$ )	29,676	30,109
$m$	0.52	0.46
50% $E_{50}^{ref}, E_{a50}^{ref}$ ( $\text{kN/m}^2$ )	14,398	11,104
$m$	0.48	0.53
$R_f$	0.89	0.88
$\phi^f$	26.3	28.1
$c^f$ ( $\text{kN/m}^2$ )	32.8	11.4

روابط بین فشار منفذی مازاد و کرنش محوری در شکل 10 ب نشان داده شده است. برای همه نمونه رس ها، فشار منفذی مازاد با افزایش عامل انحرافی افزایش می یابد تا زمانی که مقادیر پیک به 1-4 درصد کرنش محوری بسته به فشار محصور کننده برسد. فشار منفذی پیک مازاد باید با افزایش فشار محصور کننده به کرنش محوری بالا برسد. با برش بیشتر نمونه ها، فشار منفذی مازاد به حداقل مقدار کاهش می یابد این در کرنش محوری 12 درصد کاهش می یابد. تنها سه نمونه به فشار منفذی مازاد می رسند (CIU F1-F3).



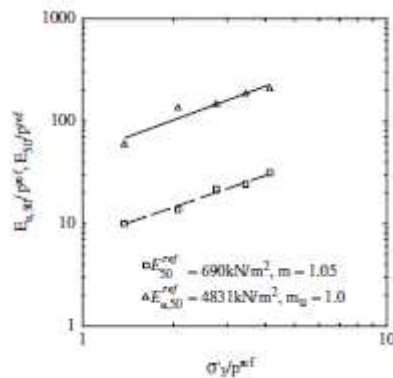
شکل 7: نتایج تست های CIU بر روی رس نرم الف: فشار انحرافی در برابر کرنش محوری، ب: فشار منفذی

در برابر کرنش محوری



شکل 8: نتایج تست های سه محوری CID بر رس نرم الف: فشار انحرافی در برابر کرنش محوری، ب: فشار

منفذی در برابر کرنش محوری



شکل 9: تغییرات تغییرات E50 و E55 با فشار محصور کننده برای رس نرم

نتایج تست های سه محوری CID بر روی رس سفت در شکل 11 نشان داده شده است. نمودار تنش

انحرافی در برابر کرنش محوری رس سفت در شکل 11 الف نشان داده شده است. فشار های محصور کننده

پیش برشی 34, 103, 414 و  $552 \text{ kN/m}^2$  اعمال شدند. هیچ یک از نمونه های رس سفت، پیک قابل

توجهی را نشان ندادند. با این حال F3-CID F1 نشان دهنده درجه نرم شدگی کرنش بعد از تنش های پیک در سطوح کرنش محوری 3-5 درصد است. نمودار های کرنش محوری و حجمی در شکل 11 ب نشان داده شده است. نمونه هایی با فشار محصور کننده 34 و 103 کیلونیوتن بر متر مربع در حدود 1.2 و 3.5 درصد کرنش محوری مشاهده شدند. نمونه در فشار محصور کننده 414 کیلو نیوتن بر متر مربع تا سطح کرنش محوری 8 درصد تحکیم می یابد.

بعد از آن، کرنش های حجمی با افزایش کرنش محوری ثابت است. آخرین نمونه با فشار محصور کننده 552 کیلو نیوتن تا 7 درصد کرنش محوری تحکیم یافته و سپس شل می شود.

یگ مثال از مدول مرجع در 50 درصد مقاومت  $(E_{50}^{ref}, E_{u,50}^{ref})$  و توان M از تست های CIU و CID در

نمودار های مقیاس لگاریتمی در شکل 12 نشان داده شده است. مقادیر  $E_{50}^{ref}$  و  $E_{u,50}^{ref}$  همراه با مدول دفورماسیون و نسبت گسیختگی ناشی از سری های CIU و CID در جدول 6 نشان داده شده است. بر اساس جدول 6 می توان گفت که نسبت گسیختگی در یک دامنه باریک با مقدار متوسط 0.88 قرار می گیرد. توان m برای مقدار اولیه و مدول 50 درصد برابر با 0.5 است.

### 5-المان محدود مدلسازی و کالیبراسیون پارامترهای خاک

در این بخش، تست های سه محوری با استفاده از شکل هندسی غیر متقارن تسهیل شده مدل سازی می

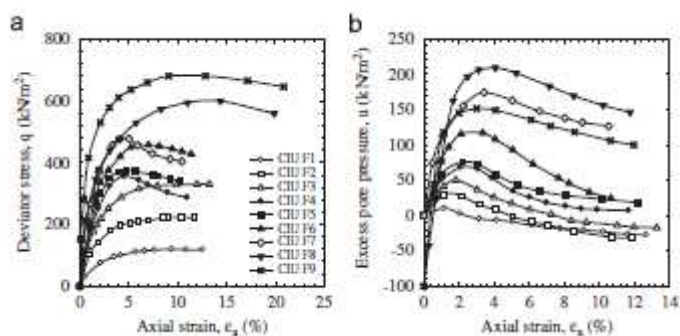
شوند. مطالعه پارامتری پارامترهای مدل خاک سخت شونده یعنی  $E_{ur}^{ref}, m, R_f, \bar{K}_o^{nc}, E_{50}^{ref}, \bar{E}_{oed}^{ref}$

و  $v_{ur}$  برای ارزیابی اثرات هر پارامتر بر روی روابط سه محوری انجام می شود. دو سری از تست های سه محوری زهکشی نشده در رس های نرم و سفت مدل سازی شدند. پارامتر های hsm با استفاده از برازش منجنی واسنجی شدند. هدف این مطالعه یافتن پارامتر های HSM برای مواد زهکشی نشده بود.

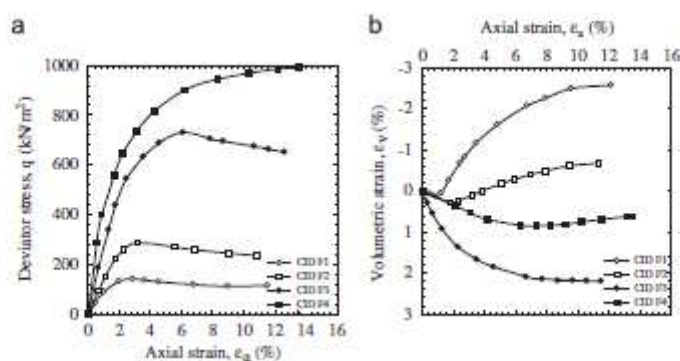
### 5-1 مدل سازی عنصر محدود

تست های سه محوری در نرم افزار عنصر محدود PLAXIS با استفاده از شکل هندسی غیر متقارن ابعاد واحد 1 در 1 متر مدل سازی شدند که در شکل 13 نشان داده شده است. این ابعاد بزرگ مدل اثری بر نتایج

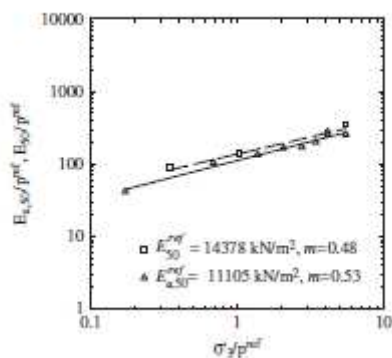
نداشتند. دفورماسیون ها در امتداد مرز ها برای حرکت در امتداد محور های تقارن حفظ شده اند در حالی که دفورماسیون های عمود بر مرز ها ثابت بودند. مشابه با وضعیت مرزی تست سه محوری، مرز های AB- BD دارای حرکت آزاد بودند. فشار محصور کننده و تنش انحراف کننده به صورت سیستم بار توزیعی a-B در نظر گرفته شدند.



شکل 10: نتایج تست های سه محوری Ciu بر روی رس سفت: الف: نمودار کرنش محوری در برابر انحرافی، ب: فشار منفذی در برابر کرنش محوری



شکل 11: نتایج تست های سه محوری cid بر روی رس سفت: الف: نمودار کرنش محوری در برابر انحرافی، ب: فشار منفذی در برابر کرنش محوری



شکل 12: تغییرات  $E_{50}$  و  $E_{u,50}$  با فشار محصور کننده برای رس سفت

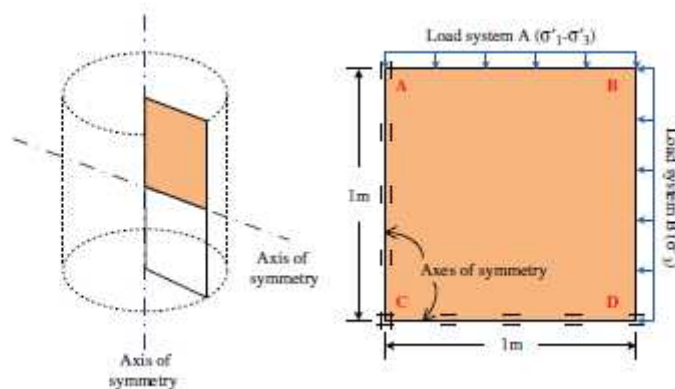
در این آنالیز، نوع ماده خوشه های خاک به صورت زهکشی نشده است. این امکان توسعه فشار آب منفذی و جریان آب منفذی را به صورت ناچیز می دهد. از این روی، ضریب تراوایی در تحلیل زهکشی نشده نیاز نیست. همه پارامترهای خاک موثر در جداول 7-8 نشان داده شده است. به علاوه، PLAXIS یک مدول آب را برای تفکیک تنش موثر و فشار منفذی مازاد ایجاد می کند. بر اساس راهنمای PLAXIS، افزایش تنش موثر و افزایش فشار منفذی از معادله زیر محاسبه می شود

$$\Delta p' = (1-B)\Delta p = K' \Delta \varepsilon_v$$

$$\Delta p_w = B\Delta p = \frac{K_w}{n} \Delta \varepsilon_v$$

که  $b$  پارامتر فشار منفذی  $b$  است.  $K_w$  و  $K'$  مدول اسکلت خاک و سیال منفذی است.  $\Delta \varepsilon_v$  تفاضل کرنش حجمی است. وقتی مقدار پیش فرض نسبت پواسون استفاده شود، مدول آب به صورت زیر است

$$\frac{K_w}{n} \approx 100G$$



شکل 13: شکل هندسی ساده از تست سه محوری در مدل های عنصر محدود

جدول 7: پارامترهای ورودی hsm بر اساس CID و نتایج تست ادمتر رس نرم

$\phi'$ (deg)	$\psi'$ (deg)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$E_{50}^{eff}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$E_{50}^{eff}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$E_{ur}^{eff}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$R_f$	$m$	$K_{\sigma}^*$	$\nu_{ur}$
27	0	1	690	635	2070	0.9	1	0.55	0.2

جدول 8: پارامتر های HSM واسنجی شده برای رس های بانکوک

$\psi'$ (deg)	$\psi$ (deg)	$c$ (kN/m <sup>2</sup> )	$E_{50}^{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$E_{oed}^{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$E_{ur}^{ref}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$R_f$	$m$	$K_0^{ref}$	$\nu_{ur}$
Soft clay 27	0	1	800	850	8000	0.9	1	0.74	0.2
Stiff clay 28	0	11.5	9500	12,000	30,000	0.9	1	0.5	0.2

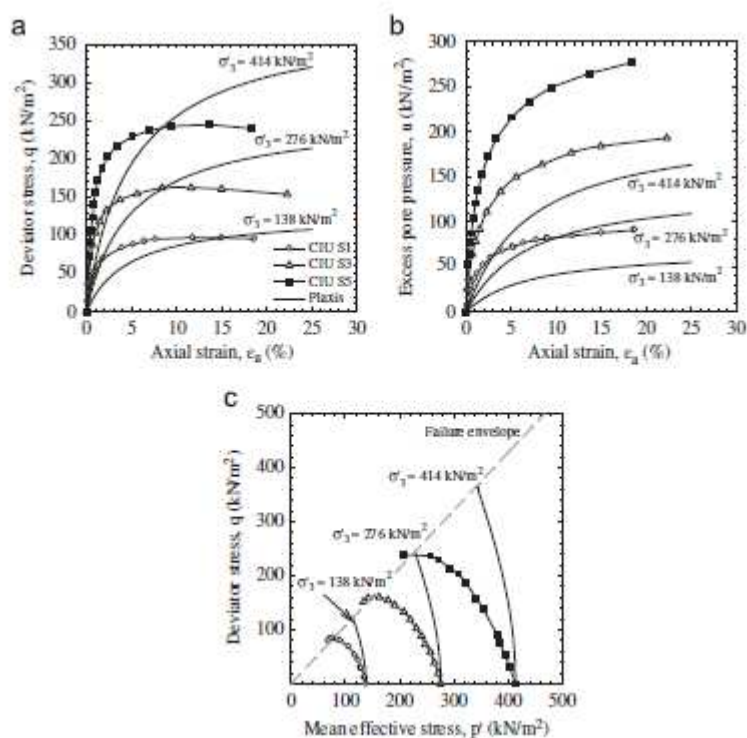
عنصر مثلث 15 گره ای در این تحلیل انتخاب می شود. خوشه نشان دهنده یک چهارم نمونه خاک در تست سه محوری است که به عنصر خاک طی فرایند تولید مش تقسیم نی شود. درشتی کل به صورت متوسط است و از این روی تعداد عناصر 250 است. برای کسب جزییات بیشتر به برینکرو 2002 مراجعه کنید.

### 5.2- واسنجی پارامتر های HSM برای رس نرم

در این بخش از مطالعه، یک سری از تست های CIU بر روی رس نرم که در شکل 7 نشان داده شده است در واسنجی پارامتر مدل خاک سخت شونده استفاده شد. با این حال برای روشن تر شدن مطلب، تنها تست های CIU S1, CIU S3 و CIU S5 ارایه شده و بحث می شوند. پارامتر های سفتی و مقاومت زهکشی شده در مدل سازی زهکشی نشده با HSM نیاز می باشند. از این روی اولین هدف، استفاده از پارامتر های سفتی زهکشی شده از سری های تست Cid و  $E_{oed}^{ref}$  و  $E_{ur}^{ref}$  از نتایج تست ادومتر است. این پارامتر ها در جدول 7 نشان داده شده است. فشار مرجع به صورت 100 کیلو نیوتن بر متر مربع در سرتاسر مطالعه است.

نتایج شکل 14، هم خوانی ضعیف بین همه روابط مسیر تنش کرنش و فشار را نشان می دهد. در واقع، با پارامتر های ورودی جدول 7، مقاومت برشی زهکشی نشده، مقدار سری های آزمایشی CiU را برای کل فشار های محصور کننده بیش از مقدار واقعی برآورد می کند. دو دلیل برای این وجود دارد. اولاً، فرض افزودن مدول آب برای تبدیل مدول زهکشی به غیر زهکشی مناسب نیست. دوماً، مدول های زهکشی از سری های تست cid یک معرف از رس نرم نیست. برای غلبه بر مسئله، پارامتر های ورودی برای بدست آوردن پارامتر های زهکشی شده برای ارایه بهترین نتایج از روابط مسیر تنش و تنش کرنش تعدیل شد.

این پارامتر های ورودی بهترین برازش در جدول 8 نشان داده شده است در حالی که روابط مسیر تنش و تنش کرنش در شکل 15 دیده می شود.



شکل 14 " نتایج تست Ciu رس نرم و پیش بینی های آن ها از HSM الف: تنش در برابر کرنش محوری،

ب: فشار منفذی مازاد در برابر کرنش محوری، ج: مسیر تنش q در برابر P

از حیث مقدار Q در برابر  $\epsilon_a$  و u در برابر  $\epsilon_a$  در کرنش نسبتا کوچک، مدل hs دارای هم خوانی خوبی با نتایج می باشد. با این حال مدل HS کاهش فشار یا تنش را پیش بینی نمی کند که نشان دهنده نرم شدگی کرنش است. با این وجود، از حیث مسیر تنش موثر، شکل مسیر های تنش رس و مقاومت برشی هم خوانی خوبی با پیش بینی های HSM دارد. در واقع، رفتار فوق تحکیم یافتگی برای رس نرم همانند تنش عمودی موثر در 18 متر حدود 300 کیلو نیوتن بر متر مربع است.

## 6- نتیجه گیری

در این مطالعه، داده های آزمایشی بر روی رس های نرم و سرد موجود در منابع و مطالعات قبلی مجدداً آنالیز شد تا پارامتر های سفتی و مقاومت مورد نیاز برای مدل خاک سخت شونده در کد عنصر محدود PLAXIS بررسی شود. رفتار زهکشی نشده رس نرم و سخت با استفاده از این پارامتر ها مدل سازی شد.



نتایج زیر بدست آمد:

- برای رس نرم بانکوک: زاویه اصطکاک داخلی 2.5-4 متر را می توان به صورت 26 درجه در نظر گرفت و این مقدار به 24 درجه در عمق 5.5-6 متر کاهش یافت. برای رس نرم در عمق 16 متر، زاویه اصطکاک داخلی به صورت 23 درصد و چسبندگی 32 کیلو نیوتن می تواند استفاده شود.

شکل 15: نتایج تست Ciu رس نرم و پیش بینی آن ها از HSM، الف: کرنش محوری در برابر فشار انحرافی

و ب: فشار منفذی مازاد در برابر کرنش محوری ج: مسیر q در برابر p

- مقادیر مدول ادمتر مرجع 1,650,962 و 4,689 kN/m را می توان برای رس های نرم، متوسط و سفت در نظر گرفت. مقادیر متناظر مدول ادمتر به ترتیب 5,813, 5,394 و 9,618 بود. مقدار متوسط این مدول 2-4 برای رس نرم بدست آمد. این نسبت با افزایش عمق کاهش می یابد. مقدار پایین 1.5 برای رس سفت مناسب تر است

- نمونه های خاک از عمق 0.6 متر پایین تر از سطح زمین گرفته شدند. فشار محصور کننده مورد استفاده برای دو سری به ترتیب 138, 207, 276, 345 و 414 kN/m برای تست های S1-S5 بود. زاویه اصطکاک داخلی بدست آمده از تست ها به ترتیب 27 و 23.6 درصد بود و مقدار چسبندگی برای هر دو سری صفر بود  $E_{u,i}/E_{u,50}$  و نسبت های گسیختگی 2 و 0.9 بدست آمد. از سری های CID، مدول زهکشی اولیه و مدول زهکشی در 50 مقدار مقاومت نهایی 50 درصد از 2 تا  $6.6 \text{ MN/m}^2$  و 1 تا  $2.4 \text{ MN/m}^2$  بود.

$E'_{i/}$  و  $6.6 \text{ MN/m}^2$ ، 1.0 و  $2.4 \text{ MN/m}^2$ ،  $E'_{i/}$  و  $E'_{50}$  با نسبت گسیختگی 0.9 برابر

با 2 بود

- هر دو مدول زهکشی شده و نشده بدست آمده از تست های سه محوری با افزایش فشار محصور کننده افزایش می یابد که با نمودار های لگاریتم یا فشار محصور کننده نرمال در برابر مدول زهکشی شده و زهکشی نشده نرمال نشان داده شده است. این مطابق با نتایج ارایه شده توسط جانبو 1963 است. به علاوه توان M واحد برابر همه موارد مشاهده شد. مدول زهکشی شده و زهکشی نشده برابر با 1.3، 4.8، 7.7 و

برای  $0.7 \text{ MN/m}^2$   $E_{50}^{ref}$  و  $E_{u,i}^{ref}$ ,  $E_{u,50}^{ref}$ ,  $E_i^{ref}$  به ترتیب می باشند. این مدول های مرجع را می

توان به عنوان پارامتر ورودی در مدل خاک سخت شونده استفاده کرد.

• مشابه با سری های تست سه محوری انجام شده بر روی رس نرم بانکوک، دو سری تست سه محوری بر روی

رس نرم بانکوک تحلیل شد. فشار محصور کننده سری های Ciu و cid  $17-620 \text{ kN/m}^2$  و  $34-$

$552 \text{ kN/m}^2$  است. برای سری های CIU، مدول زهکشی نشده اولیه و زهکشی نشده در مقاومت

زهکشی نشده 50 درصد از 14 تا  $171 \text{ MN/m}^2$  و 4.1 تا  $61 \text{ MN/m}^2$  است.  $E_{u,i}/E_{u,50}$  و نسبت

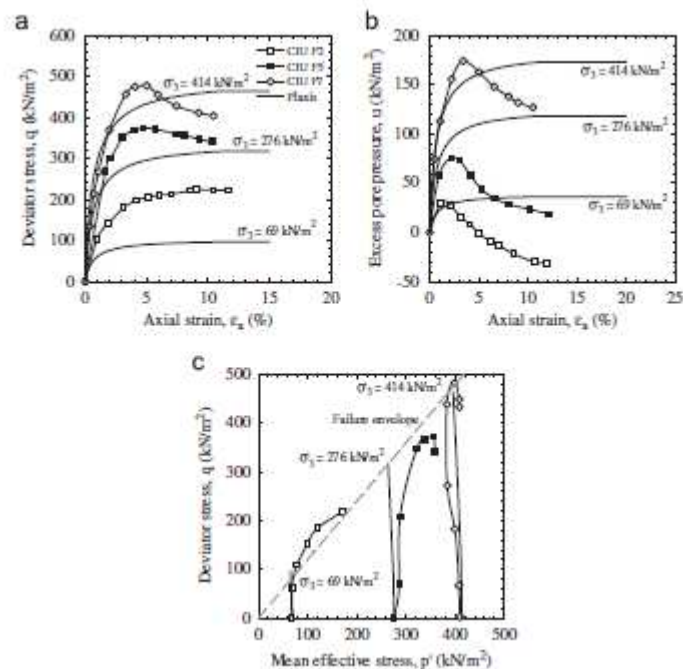
های گسیختگی 2.5 و 0.9 بدست می آید. برای سری های CID، مدول زهکشی شده اولیه و مدول زهکشی

شده در مقاومت نهایی 50 درصد از 10 تا  $91 \text{ MN/m}^2$  و 9 تا  $36 \text{ MN/m}^2$  به ترتیب است. نسبت

$E_i/E_{50}$  با نسبت گسیختگی 2 برابر با 0.9 است. مجموعه ای از روابط خطی از نمودار مقیاس مضاعف

نرمال با توان 0.5 است. مدول زهکشی شده و نشده مرجع برای موارد  $E_{50}^{ref}$ ,  $E_{u,i}^{ref}$ ,  $E_{u,50}^{ref}$ ,  $E_i^{ref}$  به

ترتیب 30، 11، 29 و  $14 \text{ MN/m}^2$  است.



شکل 16: نتایج تست Ciu رس سفت و پیش بینی آن ها از HSM، الف: کرنش محوری در برابر فشار

انحرافی و ب: فشار منفذی مازاد در برابر کرنش محوری ج: مسیر  $q$  در برابر  $p$

- واسنجی پارامتر مدل خاک سخت شونده نشان می دهد که مدول های زهکشی محاسبه شده در تحلیل **plaxis** از مواد زهکشی نشده نیاز هستند. دو دلیل برای این پدیده وجود دارد: 1- فرض افزودن مدول آب بر اساس HSM در PLAXIS برای تبدیل مدول زهکشی شده به نشده ممکن است مناسب نباشد. دوما، مدول زهکشی شده از تست CID نمی تواند معرف رس نرم باشد. از این روی توصیه می شود که فرایند واسنجی پارامتر برای بدست آوردن پیش بینی واقع گرایانه از رفتار زهکشی شده رس با استفاده از PLAXIS انجام می شود.

این مقاله، از سری مقالات ترجمه شده رایگان سایت ترجمه فا میباشد که با فرمت PDF در اختیار شما عزیزان قرار گرفته است. در صورت تمایل میتوانید با کلیک بر روی دکمه های زیر از سایر مقالات نیز استفاده نمایید:

لیست مقالات ترجمه شده ✓

لیست مقالات ترجمه شده رایگان ✓

لیست جدیدترین مقالات انگلیسی ISI ✓

سایت ترجمه فا ؛ مرجع جدیدترین مقالات ترجمه شده از نشریات معتبر خارجی