

تعیین مدول برش الاستیسیته خاک برای به کارگیری در مدل Plaxis^۱

مطالعه موردی (ترک خوردگی طولی سیل بند خاکی در هلند)

مهدی جعفری باری^۲

۱- چکیده:

یکی از پارامترهای مهم خاک برای استفاده در مدل محاسباتی Plaxis، برای تحلیل رفتار سازه‌های خاکی و مکانیزم گسیختگی آنها، مدول برش الاستیسیته است. برای برآورد این پارامتر و سایر خصوصیات، خاک، حفاری‌ها و آزمایش‌های ژئوتکنیکی متعددی روی بدنه یک سیل بند و زمین کنار آن در پایین دست اجرا شد. با استفاده از نتایج آزمایش‌ها، مدول برش الاستیسیته از نه روش متفاوت محاسبه شد. به علت اختلاف زیاد در مقادیر به دست آمده، با استفاده از روش آماری، مقدار مشخصه‌ای برای هر لایه تعیین گردید. جهت تشخیص صحت مقادیر مشخصه و مناسب‌ترین روش تعیین مدول برش، کالیبراسیون تنش‌ها و کرنش‌ها به کار گرفته شد که هر دو منجر به مقادیری بیش از مقادیر مشخصه مدول برش شد. مقایسه نتایج کالیبراسیون با نتایج روش‌های قبلی نشان می‌دهد که مقادیر مشخصه به دلیل کم بودن تعداد داده‌ها قابل اعتماد نیست و در مجموع استفاده از آزمایش سه محوری برای محاسبه مدول برش الاستیسیته مناسب‌تر از سایر روش‌هاست.

۲- واژه‌های کلیدی:

کالیبراسیون تنش‌ها و کرنش‌ها، مدول برش الاستیسیته، مقدار طراحی، مقدار مشخصه، Plaxis

۱- برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد و تحقیقات تکمیلی بر روی مدل مورد بحث

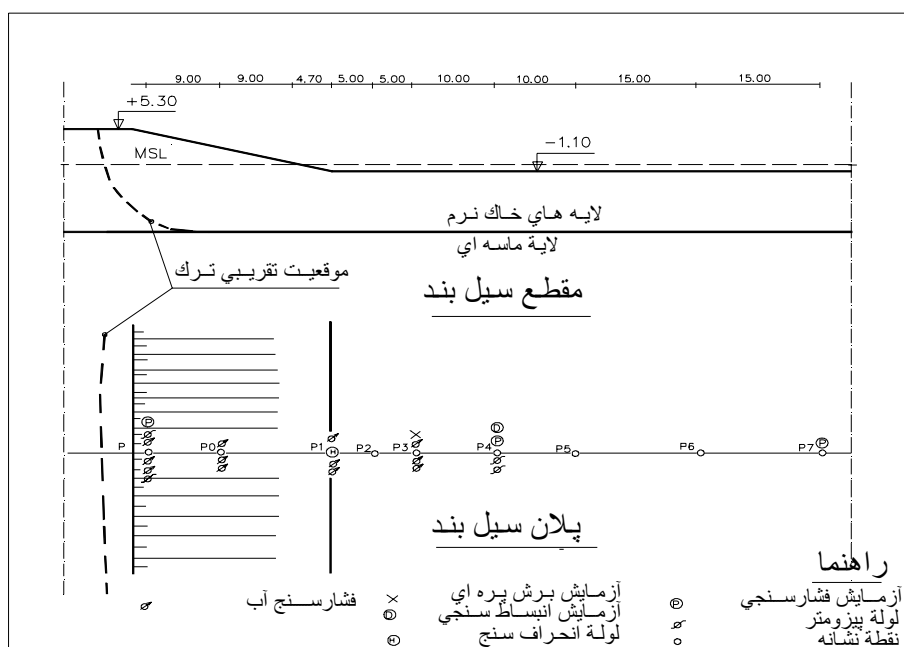
۲- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه- کیلومتر ۳ جاده سلماس- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی- صندوق پستی ۳۶۵، تلفن: ۰۴۴۱-۲۷۷۱۹۶۸، دورنگار: ۰۴۴۱-۲۷۶۴۱۸۴، پست الکترونیکی: jafaribari2002@noavar.com.

۳- مقدمه:

سیل بند خاکی مدت‌های مدید به دلیل وجود ترک‌های طولی در روسازی جاده روی آن، مرمت می‌شد ولی ترک‌های جدید در آن به وجود می‌آمد [۹]. در طول یک خط عمود بر سیل بند، دو نقطه روی بدنه و هفت نقطه در زمین کنار آن در نظر گرفته شدند که در این نقاط حفاری‌ها و آزمایش‌ها انجام گرفت. نقاط نشانه، پیزومتر (برای لایه ماسه‌ای)، فشارسنج آب (برای لایه‌های رسی)، لوله انحراف سنج^۲ به ترتیب برای اندازه‌گیری تغییر طول، سطح آب زیرزمینی و تغییر شکل‌های عمقی نصب شدند. آزمایش‌های نفوذ مخروط^۳، فشارسنجی منارد^۴، برش پره‌ای^۵، انبساط سنجی^۶ نیز برای اندازه‌گیری پارامترهای خاک در محل اجرا شدند (شکل شماره ۱).

جمع آوری، ثبت و تفسیر دقیق داده‌ها یکی از بخشهای اساسی طراحی ژئوتکنیک است. هدف هر بررسی ژئوتکنیکی، به دست آوردن داده‌های ضروری و قابل اعتماد از زمین و شرایط آب زیر زمینی است تا براساس آن بتوان معیارهای اجرایی برای سازه‌های خاکی و ایمنی سازه‌های اطراف را برآورده کرد.

برای یافتن علت به وجود آمدن ترک و به دست آوردن مشخصات مکانیکی خاک، روی سیل بندی واقع در ۲۰ کیلومتری شرق بندر روتردام هلند در محلی به نام برگامباخت و زمین‌های کنار آن^۱ عملیات حفاری، نمونه برداری، آزمایش‌های صحرائی و آزمایشگاهی متعددی انجام پذیرفت. این



شکل شماره ۱- مقطع سیل بند و موقعیت آزمایش‌های اجرا شده

- | | | |
|-------------------------|--------------------|--------------------------|
| 1- Polder | 2- Inclinometer | 3- Cone Penetration Test |
| 4- Menard Pressuremeter | 5- Vane Shear Test | 6- Dilatometer |

به دلیل تبعیت پارامترهای خاک از قانون توزیع متغیرهای تصادفی، استفاده از آمار و احتمالات در برآورد مقدار واقعی پارامترهای خاک توصیه شده است [۳]. بولز (۱۹۸۲) در جای دیگر به نقش قضاوت مهندسی در ژئوتکنیک اشاره نموده و به کارگیری صحیح قضاوت مهندسی را مستلزم داشتن مقاطع دقیق از محل، داده های کافی از پارامترهای خاک، و اطلاعات لازم زمین شناسی برای رسیدن به تصمیم گیری صحیح، اقتصادی، و عملی دانسته است [۴].

بر اساس توصیه آیین نامه EURO Code 7، مقادیر طراحی^۱ پارامترهای مواد از روش ضرایب جزئی قابل استنتاج است. در این روش، ابتدا مقداری به عنوان نماینده^۲ پارامتر مواد انتخاب می شود و پس از تقسیم آن بر ضریب جزئی مربوط مقدار طراحی آن پارامتر به دست می آید. مقادیر نماینده برای پارامترهای خاک و سنگ باید بر اساس ارزیابی دقیق، مقادیری انتخاب شوند که در طول عمر مفید سازه ممکن است بر رفتار خاک حاکم شود. این ارزیابی باید اطلاعات ژئوتکنیکی و سایر زمینه ها را در نظر بگیرد از جمله: داده های پروژه های قبلی، و نتایج اندازه گیری های آزمایشگاهی و صحرایی. مقادیر نماینده طوری انتخاب می شوند که در نظر طراح، احتمال وقوع بدترین مقدار ممکن از ۵ درصد تجاوز نکند. در به دست آوردن مقادیر نماینده برای پارامترهای مواد، استفاده از روش های آماری در به دست آوردن مقادیر مشخصه مفید است ولی باید تأکید شود که تحلیل آماری به ندرت مستقیماً به مقادیر نماینده

روی نمونه های دست خورده آزمایش های شناسایی نظیر دانه بندی و حدود اتربرگ و طبقه بندی بر روی نمونه های دست نخورده نیز آزمایش های تحکیم و سه محوری اجرا شد [۶].

پارامترهای مختلف خاک شامل وزن مخصوص خشک و تر در لایه های مختلف، تراز سطح آب زیرزمینی، پارامترهای الاستیسیته شامل مدول الاستیسیته E، مدول برش G، نسبت پواسون ν ، و ضریب فشار جانبی خاک در حالت سکون K_0 ، پارامترهای پلاستیسیته شامل زاویه اصطکاک داخلی ϕ ، چسبندگی C، و زاویه انبساط خاک Ψ و تغییر شکل ها شامل تغییر طول های سطحی و عمقی خاک با توجه به نتایج آزمایش های اجرا شده در محل، آزمایشگاه، و روابط تجربی محاسبه شد. نکته حائز اهمیت در برآورد پارامترها، تعیین مدول برش G است که با نه روش برای لایه های مختلف خاک محاسبه شد و به علت تفاوت معنی دار در نتایج، امکان به کارگیری آنها در مدل Plaxis بدون بررسی های لازم وجود نداشت. لذا ابتدا کارهای انجام شده و دیدگاه های ابراز شده بررسی شد که در زیر به بعضی از آنها اشاره شود.

مطابق اعلام گزارش CIRIA 63^۲ هیچگونه روش استاندارد در آیین نامه های بریتانیا برای تفسیر نتایج آزمایش های خاک برای برآورد مقادیر مشخصه^۳ پارامترهای آن وجود ندارد و در عمل از نتایج نمونه های آزمایشی مقادیر کوچک به عنوان پارامترهای طراحی به کار گرفته می شود که اغلب این نمونه ها از محل پروژه قبل از اجرا برداشته می شوند [۵].

1- Dilatancy Angle

3- Characteristic Value

2- Construction Industry Research and Information Association

4- Design Values

5- Representative Value

مهندسی و روش آماری مقدار مشخصه‌ای برای هر لایه تعیین و سپس روش ابتکاری کالیبراسیون تنش‌ها و کرنش‌ها^۳ در مدل Plaxis و با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام گرفته در محل به کار گرفته شد [۹].

۴- مواد و روش‌ها:

۱- سازه مورد آزمایش

در هلند که بخش‌های زیادی از مساحت آن در زیر تراز متوسط سطح دریا قرار دارد در کنار دریای شمال و کناره رودخانه‌ها سیل بندهایی خاکی به طور وسیع ساخته شده است. پروفیل خاک در این قسمت‌ها از لایه‌های خاک رس و خاک آلی هولوسن به ضخامت ۸-۱۰ متر تشکیل شده که بر لایه ضخیمی از ماسه پلیستوسن قرار دارد [۱]. در شکل شماره ۲، لایه‌بندی خاک و مقطع سیل بند واقع بر آن نشان داده است. این سیل بند ۶/۴ متر ارتفاع و ۶/۰ متر عرض تاج دارد که ۲/۵ متر آن در بالا از جنس ماسه و بقیه از خاک رس ساخته شده است. پی این سیل بند از تناوب خاک رس و خاک آلی بر روی لایه ضخیم ماسه، تشکیل شده است. جهت بررسی رفتار لایه‌های مختلف خاک، به برآورد دقیق مشخصات مکانیکی آنها نیاز است که از میان پارامترهای خاک آنچه در مدل مورد نظر یعنی نسخه سوم Plaxis حائز اهمیت است مدول برش الاستیسیته است. این پارامتر در تشکیل ماتریس سختی^۴ الاستیک سازه نقش اساسی دارد که پایه محاسبات پلاستیک نیز قرار می‌گیرد [۱۳] و چنان که بعداً اشاره خواهد شد هرگونه خطا در برآورد آن موجب

پارامترهای مواد می‌انجامد زیرا این مقادیر بیشتر به ارزیابی طراح از شرایط صحرایی بستگی دارند [۷]. USBR ضمن توصیه به اجرای آزمایش‌های دقیق برای تعیین خصوصیات مهندسی خاک‌ها، مقادیر متوسط تقریبی، برای گروه‌های مختلف خاک، به عنوان راهنمای کیفی در مراحل اولیه طراحی، را از تحلیل آماری نتایج تعداد زیادی از نمونه‌های آزمایشگاهی به دست آورده است [۱۲].

استاندارد ISO 2394 برای رسیدن به سطح اعتماد لازم در بررسی پایداری سازه‌ای، ضمن معرفی ضرایب اطمینان جزئی^۱، برای بارها و پارامترهای مقاومت، مقدار مشخصه یک متغیر اصلی X که دارای احتمال عدم تجاوز p باشد به صورت زیر تعریف نموده است.

$$X_k = \bar{x} - k\sigma_x \quad (1)$$

که در آن، X_k = مقدار مشخصه؛ \bar{x} = مقدار متوسط متغیر اصلی؛ σ_x = انحراف معیار آن و k = ضریبی است که به توزیع احتمال برای رسیدن به احتمال p بستگی دارد [۵].

برای به دست آوردن مدول الاستیسیته E ، به علت وجود اطلاعات محدود در مورد کفایت آزمایش سه محوری برای برآورد مقدار واقعی این پارامتر، چند تن از محققان مانند Ladd, 1964; Hanna & Adams, 1968; Soderman *et al.*, 1968; Bozozuk & Leonards, 1972 به‌کارگیری مدول دوباره بارگذاری را پس از ۵ یا ۶ بار تکرار بارگذاری و باربرداری^۲ در این آزمایش توصیه کرده‌اند [۱۳].

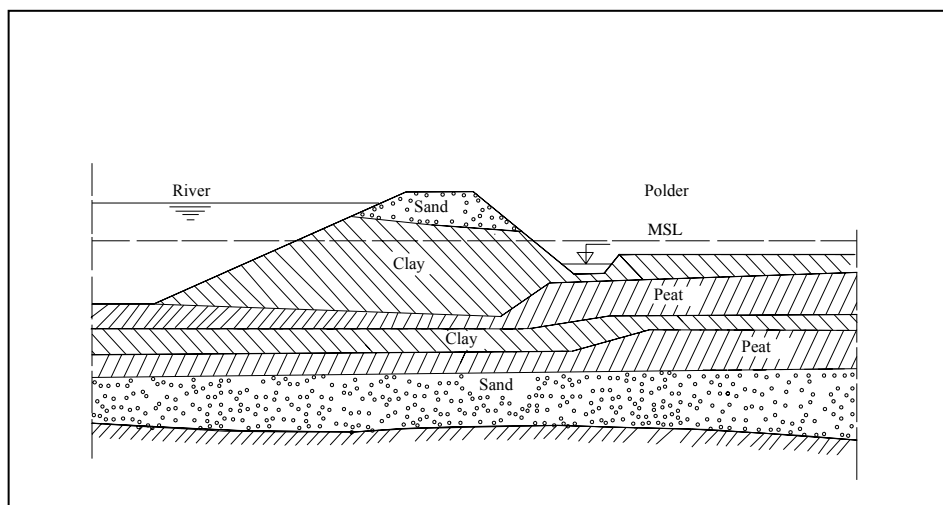
در این تحقیق، برای ارزیابی صحت داده‌ها و برآورد مقادیر طراحی ابتدا با استفاده از قضاوت

1- Partial Safety Factors

2- Cyclic loading

3- Calibration of Stresses and Strains

4- Stiffness Matrix



شکل شماره ۲- مقطع سیل بند خاکی و لایه بندی پی و زمین‌های کنار آن

$$G = E' / 2(1 + \nu')$$

ایجاد تغییر شکل‌های غیر واقعی در سیستم می‌شود.

در تشکیل ماتریس سختی الاستیک Plaxis دو پارامتر به کار می‌رود که عبارت‌اند از مدول الاستیسیته مؤثر E' و نسبت پواسون مؤثر ν' . در ورودی پارامترهای مواد برای مدل الاستیک خطی یا مدل موهر-کولمب، در نسخه ۸ Plaxis مدول G به عنوان پارامتر کمکی یا جایگزین آورده شده است که از رابطه شماره ۱ قابل تبدیل به مدول E' است. وارد کردن مقداری برای مدول G باعث تغییر در مقدار E طبق رابطه شماره ۱ خواهد شد. به عبارت دیگر، در صورت وارد کردن مقدار برای هر دو پارامتر، مقدار E' در برنامه با استفاده از مقدار G محاسبه خواهد شد [۱۰]. باید توجه داشت که بین مدول الاستیسیته برش G در حالت مؤثر و زهکشی نشده فرقی وجود ندارد. این موضوع را به سادگی می‌توان با این واقعیت بیان کرد که آب نمی‌تواند

۲- روش‌های برآورد مدول برش

نسخه سوم بسته نرم افزاری Plaxis بر اساس مدل موهر-کولمب پایه گذاری شده و روش محاسبات در این نسخه بر مبنای تحلیل تنش مؤثر^۱ است و حتی در صورت استفاده از روش تحلیل تنش کل^۲ یا حالت زهکشی نشده، از پارامترهای مربوط به تنش مؤثر در ورودی برنامه باید استفاده شود [۲]. به همین دلیل در این نسخه به جای مدول الاستیسیته E از مدول برش G استفاده شده است. در نسخه‌های جدید، به دلیل ضمیمه شدن مدل‌های دیگر به آن، اطلاعات ورودی برای هر یک از دو مدول اختیاری است [۱۰]. این دو پارامتر با رابطه زیر با یکدیگر ارتباط پیدا می‌کنند که در آن ν نسبت پواسون است:

۲- آزمایش فشار سنجی منارد

این آزمایش که مدول برش را مستقیماً به دست می‌دهد در نقاط P_4 ، P و در یک نقطه واقع در ۶۰ متری پنجه سیل بند اجرا و مقادیر به دست آمده در اعماق مختلف برای نقطه P_4 در جدول شماره ۱ درج شده است.

۳- آزمایش برش پره

نتایج آزمایش برش پره در دو حالت دست نخورده و دست خورده در نقطه P_3 به دست آمده است [۵]. با این آزمایش مقدار C_u تعیین و پس از اعمال تصحیحات لازم و استفاده از رابطه شماره ۲ مقدار مدول برش به دست می‌آید.

۴- آزمایش سه محوری

در این روش ابتدا مقادیر ϕ' و C' از نتایج آزمایش سه محوری تعیین و سپس با استفاده از رابطه شماره ۴، برای هر لایه مقادیر مقاومت برشی که برابر C_u است تعیین می‌شود که پس از آن مقادیر G از رابطه شماره ۳ قابل محاسبه است [۳].

$$\tau = C' \cos \phi' + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) \sin \phi' = C_u \quad (4)$$

در این رابطه، ϕ' و C' به ترتیب زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی در حالت مؤثر، σ'_1 و σ'_3 تنش‌های اصلی مؤثر در آزمایش سه محوری هستند.

تنش برشی را تحمل کند بنابراین کل مقاومت برشی خاک ناشی از اسکلت آن است. به همین دلیل مدول برش الاستیسیته G بدون هیچگونه علامت بالا نویسی نشان داده می‌شود [۱۴].

مدول‌های الاستیسیته و برش E و G بستگی به سطح تنش دارند ولی در محاسبات با مدل مورد نظر برای هر لایه خاک فقط یک مقدار متوسط باید انتخاب شود. در نسخه جدید Plaxis امکان افزایش مقدار این دو مدول با افزایش تنش وجود دارد.

برای تعیین مدول برش با توجه به آزمایش‌های مختلف اجرا شده در این تحقیق روش‌های متفاوتی به کار گرفته شده است که در زیر به آنها اشاره می‌شود:

۱- آزمایش انبساط سنجی

این آزمایش در نقطه P_4 (شکل شماره ۱) اجرا شده است و مدول E و C_u (چسبندگی یا مقاومت برشی در حالت زهکشی نشده) با توجه اندازه‌گیری‌ها برای هر لایه به دست آمده است. مدول برش با استفاده از این دو پارامتر و به کارگیری رابطه‌های شماره ۲ و ۳ به دست آمده از طریق ایجاد همبستگی بین G/C_u و PI و ارائه شده از طریق Foott & Ladd، قابل محاسبه است [۱۲].

$$G = 50 C_u / PI \quad (3)$$

نتایج محاسبات در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

۵- آزمایش تحکیم

[۶] و در سایر کشورها نیز با کمی تغییر اعداد دیگری توصیه شده است [۷].

$$C_u = q_c / A \quad (۸)$$

۵- نتایج و بحث:

مقادیر محاسبه شده مدول برش به روش‌های مختلف، در جدول شماره ۱ ارائه شده است. چنان که مشاهده می‌شود، روش‌های مختلف ارقام متفاوتی برای هر لایه به دست داده است که بعضی از آنها نامعقول به نظر می‌رسند، لذا به کارگیری آنها در مدل به عنوان پارامتر طراحی خالی از اشکال نخواهد بود. هنوز در آیین نامه‌ها ضرابی برای به کارگیری نتایج آزمایش‌های خاک، مانند آنچه EuroCode 7 پیشنهاد می‌کند، ارائه نشده است، لذا با توجه به تجربیاتی که در منطقه مورد آزمایش از مشخصات لایه‌های مختلف وجود داشت ابتدا با استفاده از قضاوت مهندسی این‌گونه ارقام کنار گذاشته شد. (این ارقام در جدول شماره ۱ با ستاره نشان داده شده‌اند)، سپس مقدار متوسط مدول برش و انحراف معیار برای هر یک از لایه‌ها محاسبه و با استفاده از توزیع نرمال و با احتمال وقوع ۳۳ درصد با توجه به سطح عدم اطمینان در آزمایش‌ها و روش‌های برآورد مدول برش، مقدار مشخصه‌ای برای هر یک از لایه‌ها محاسبه شد. لازم است گفته شود که به علت پراکندگی داده‌ها، محاسبه مقادیر مشخصه با احتمال ۵ درصد که آیین نامه‌های مختلف پیشنهاد می‌کنند منجر به ارقام بسیار کوچک می‌شود.

در این آزمایش مقادیر شاخص فشردگی اولیه^۱ C_p و شاخص فشردگی ثانویه^۲ C_s و سپس شاخص فشردگی خاک^۳ C از رابطه ۴ به دست می‌آید که از روی آن مقدار مدول الاستیسیته E از رابطه شماره ۶ به دست آمده و سپس مدول برش از رابطه شماره ۲ قابل محاسبه است [۵].

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} \log 7} \quad (۵)$$

$$E = C \cdot \sigma' \quad (۶)$$

۶- آزمایش حدود اتبرگ

بین مقاومت برشی زهکشی نشده C_u و شاخص خمیری خاک‌ها Bjerrum and Simons یک رابطه همبستگی را برای $PI > 10$ ارائه داده است که در آن σ'_v تنش مؤثر موجود در نقطه نمونه برداری است [۴]. با مشخص شدن این پارامتر مقدار مدول برش از رابطه شماره ۲ به دست می‌آید.

$$C_u = \sigma'_v (0.11 + 0.0037 PI) \quad (۷)$$

۷- آزمایش نفوذ مخروط

بین نتایج آزمایش نفوذ مخروط q_c و سایر پارامترهای خاک رابطه همبستگی وجود دارد. برای نمونه، مقدار C_u از رابطه ساده ۸ به دست می‌آید که در آن مقدار $A = 15$ در هلند استفاده می‌شود

جدول شماره ۱- مقادیر مدول برش برای لایه های مختلف خاک به روش های مختلف و مقدار مشخصه هر لایه

مقدار مشخصه	انحراف معیار	متوسط G	مقادیر مدول برش (کیلو نیوتن بر متر مربع)						نوع خاک و طبقه بندی USCS	عمق (متر)			
			شاخص خمیری	نفوذ مخروط	سه محوری	برش پره		فشار سنجی			انبساط سنجی		
						دست نخورده	دست خورده				C _u	E	
۴۰۰	۱۸۵	۴۷۷	۲۹۰	۶۸۰	۶۹۰	۵۷۸	۱۰۰۳*	۳۱۷۵*	۲۱۳	۸۹۶*	۴۱۱	۲-۱	خاک رس (CH)
۲۶۰	۱۰۰	۳۰۳	۴۰۰	۴۶۵	۸۵	۳۷۰	۲۳۵	۶۰۰*	۱۸۵	۲۰۲	۲۶۵	۵-۲	خاک آلی (pt)
۳۷۰	۱۷۴	۴۴۷	۳۳۰	۶۸۰	۱۵۰	۶۶۰	۳۶۰	۱۲۳۶*	۱۴۳*	۴۵۸	۴۹۳	۶-۵	خاک رس (CH)
۲۷۰	۱۷۳	۳۴۳	۴۰۰	۶۶۵	۱۸۰	۴۹۵	۲۴۰	۶۹۰*	۱۵۰*	۱۲۰*	۲۷۷	۹-۶	خاک آلی (pt)
۲۶۵۰	۱۰۹۲	۳۱۲۵	۱۳۰۰	۱۶۰۰۰*	۵۶۰*	۳۳۰۰	---	---	---	۳۷۹۷	۴۱۰۵	۹-۹	ماسه (Sc)

مختلفی برای مدول برش انتخاب و محاسبات تنش و کرنش بر اساس آنها در مدل اجرا شد که نهایتاً پس از چندین بار سعی و خطا ارقام واقعی مدول برش از دو روش کالیبراسیون به دست آمد. مقادیر اندازه گیری شده K_0 (نسبت تنش جانبی به تنش قائم) و مقدار محاسبه شده آن با مقادیر مدول برش که از کالیبراسیون تنش ها به دست آمده است (مقدار واقعی G) در جدول شماره ۲ و تغییر مکان های اندازه گیری شده محلی و مقادیر محاسبه شده آن با مقادیر مدول برش حاصل از کالیبراسیون کرنش ها در جدول شماره ۳ آورده شده است [۹].

برای انتخاب مقادیر طراحی و ارزیابی صحت و سقم مقادیر مشخصه، روش ابتکاری کالیبراسیون تنش ها و کرنش ها به کار گرفته شد. به همین منظور مقادیر مشخصه مدول برش که در جدول شماره ۱ آورده شده است یک بار به مدل Plaxis داده شد و نتایج به دست آمده برای تنش ها و کرنش ها، با آنچه در محل اندازه گیری شده بود مقایسه گردید که اختلاف فاحشی مشاهده شد. این اختلاف ناشی از پایین بودن ارقام مقادیر مشخصه بود. برای اینکه ارقام محاسباتی تنش ها و کرنش ها برابر یا نزدیک به مقادیر اندازه گیری شده در محل باشد، مقادیر

جدول شماره ۲- مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده K_0 با مقادیر واقعی مدول برش

عمق (متر)	نوع خاک طبقه بندی USCS	مقدار مشخصه G (کیلونیوتن بر متر مربع)	مقدار K_0 محاسبه شده با مقدار مشخصه	مقدار K_0 اندازه گیری شده	مقدار K_0 کالیبره شده	مقدار واقعی G کالیبره شده
۲-۱	خاک رس (CH)	۴۰۰	۰/۹۸	۱/۱۳	۱/۱۳	۴۳۰
۵-۲	خاک آلی (pt)	۲۶۰	۰/۴۸	۰/۹۷	۰/۹۶	۳۹۰
۶-۵	خاک رس (CH)	۳۷۰	۰/۷۰	۰/۸۸	۰/۸۸	۴۵۰
۹-۶	خاک آلی (pt)	۲۷۰	۰/۳۸	۰/۸۴	۰/۸۵	۵۶۰
۹-۹	ماسه (Sc)	۲۶۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۲۶۵۰

جدول شماره ۳- مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده تغییر شکل ها با مقادیر واقعی مدول برش

عمق (متر)	نوع خاک طبقه بندی USCS	مقدار مشخصه G (کیلونیوتن بر متر مربع)	مقدار تغییر شکل محاسبه شده با مقدار مشخصه (میلی متر)	مقدار تغییر شکل اندازه گیری شده (میلی متر)	مقدار تغییر شکل کالیبره شده (میلی متر)	مقدار واقعی (کیلونیوتن بر متر مربع)
۱/۰	خاک رس (CH)	۴۰۰	۱۴	۲/۶	۳/۰	۵۲۰
۲/۵	خاک آلی (pt)	۲۶۰	۱۷	۴/۴	۴/۰	۳۵۰
۴/۰	خاک آلی (pt)	۲۶۰	۲۱	۴/۶	۵/۰	۳۵۰
۵/۵	خاک رس (CH)	۳۷۰	۲۶	۴/۲	۴/۵	۴۹۰
۷/۰	خاک آلی (pt)	۲۷۰	۲۹	۱/۴	۴/۰	۵۶۰
۸/۵	خاک آلی (pt)	۲۷۰	۳۳	۴/۷	۴/۰	۵۶۰

- چنانکه مشاهده می شود، مدول برش الاستیسیته خاک از روش های مختلف قابل محاسبه است ولی اختلاف زیاد در مقادیر به دست آمده مانع از به کارگیری هر یک از آنها بدون بررسی است. برای ارزیابی این مسئله به شرح زیر عمل گردید:
- تعیین مقدار متوسط مقادیر مربوط به هر لایه،
 - محاسبه انحراف معیار و مقدار مشخصه مربوط به هر لایه با استفاده از توزیع نرمال،
 - استفاده از مقادیر مشخصه در مدل و مقایسه نتایج با تنش ها و کرنش های اندازه گیری شده در محل،
 - انتخاب مقادیر مناسب برای هر لایه با روش کالیبراسیون تنش ها و کرنش ها.
- مقادیر به دست آمده از کالیبراسیون از دو اساس تجربه و قضاوت مهندسی،

مختلف با مقادیر حاصل از کالیبراسیون می توان نتیجه گرفت که در مجموع استفاده از نتایج آزمایش سه محوری برای محاسبه مدول برش قابل اعتمادتر است و پیشنهاد می شود که آزمایش به صورت Cyclic نیز اجرا شود.

- از میان روش های مختلف، مقادیر نتایج آزمایش های انحراف سنجی، فشارسنجی، برش پره ای در حالت دست خورده، تحکیم و شاخص الاستیسیته پایین است و آزمایش برش پره ای در حالت دست نخورده و نفوذ مخروط نتایج بالایی را به دست داده اند.

- یکی از علل عدم تطابق نتایج روش های مختلف با مشخصات واقعی لایه های خاک استفاده از روابط مربوط به بعضی از خاک های خاص است.

- چون لایه های خاک همگن نیستند و عدسی هایی از انواع دیگر خاک ها در بین آنها یافت می شود و اجرای همه آزمایش ها و نمونه برداری ها در یک نقطه خاص امکان پذیر نیست، وجود اختلاف تا حدودی در نتیجه آزمایش ها طبیعی است.

- دلیل حذف بعضی از نتایج آزمایش ها، عدم امکان چنین مشخصه ای در آن نوع خاک با توجه به تجربیات موجود و سایر مشخصات خاک بوده است.

روش، با اندک تفاوتی که ناشی از اختلاف محل اندازه گیری های تنش ها و کرنش ها در عمق و موقعیت است، نزدیک به هم بوده می توان مقدار متوسطی را برای هر یک از لایه ها محاسبه و در مدل از آن استفاده کرد [۸].

۷- نتیجه گیری:

براساس مجموعه نتایج به دست آمده از ایسن تحقیق می توان موارد زیر را عنوان کرد.

- در محاسبات با نرم افزار Plaxis با مدل موهر-کولمب در سازه های خاکی، مدول برش الاستیسیته نقش تعیین کننده ای در نتایج تنش ها و کرنش ها دارد و لازم است در برآورد آن دقت لازم و کافی شود.

- اکتفا کردن به یک نوع آزمایش و یا روش برآورد ممکن است همراه با خطای بزرگ باشد و لذا لازم است از روش های کنترلی مانند کالیبراسیون تنش ها و کرنش ها بهره جست.

- محاسبات مدل نشان داد مقادیر مشخصه که از روش آماری به دست آمدند صرفاً نقش راهنمایی برای نزدیک شدن به مقادیر واقعی مدول برش دارد و از آنها نمی توان در محاسبات طراحی استفاده کرد.

- از مقایسه مقادیر به دست آمده از روش های

۸- مراجع:

- 1- Baalen, M. V. 1988. Prediction of the stability and deformation of embankments under uplift conditions. Delft geotechnics.
- 2-Bonnier, P. G. 1991. Total stress analysis & effective stress analysis. Computational geomechanics Plaxis II Course. Delft.

- 3- Bowles, J. E. 1979. Physical and geotechnical properties of soils. McGraw-Hill Inc.
- 4- Bowles, J. E. 1982. Foundation analysis and design, McGraw-Hill Inc.
- 5- CIRIA Report, No. 63. 1977. Rationalisation of safety and serviceability factors in structural codes. Construction industry research and information, London.
- 6-Deutekom, J. R. 1990. Bergambacht lekdijk-oost proefvak tau. Grondmechanica. Delft (in Dutch).
- 7- European Communities. 1987. Draft model for Euro Code 7, Common unified rules for geotechnics design.
- 8- Heynen, Field testing of soils. Lecture notes, IHE, Delft.
- 9- Jafari Bari, M. 1991. Stabilization of river dikes under uplift conditions. M. Sc. Thesis. IHE Delft.
- 10- Plaxis, B. V. 2002. Plaxis version 8, material model manual.
- 11-Termaat, R. J., Vergeer, G. J. H. and Vermeer, P. A. 1985. Failure by large deformations. 11th Int. Conf. Soil Mech. And Found. Eng.
- 12- USBR. 1986. Earth manual. U. S. department of the interior bureau of reclamation.
- 13- Vermeer, P. A. 1990. Plaxis user manual. Balkema. Rotterdam.
- 14- Vermeer, P. A. 2000. Column Vermeer. Plaxis Bulletin. Issue 9.
- 15- Winterkorn H. F., Fang H. Y. 1975. Foundation engineering handbook. VNR company.

Determination of Shear Modulus of Elasticity of Soils for Application in Plaxis Model

M. Jafari Bary

One of the important parameters of soil properties for application in the Plaxis, to analyse the behavior of earth structures and their failure mechanisms, is shear modulus of elasticity. An intensive geotechnical survey, field and laboratory tests were executed to estimate the values of this parameter and other soil properties in the body of dike and polder. To determine this parameter, 9 different methods were used. Because of large differences among the given values, characteristic values for each layers of soil, were calculated by using a statistical procedure. Then, calibration of stresses and strains were used to verify the characteristic values and appropriate soil test. Both of the calibrations resulted in values more than characteristic values of shear modulus which were close together. The comparison of results of calibrations with foregoing methods showed that the characteristic values were not reliable because of the shortage of data and utilization of triaxial test to determine the shear modulus was better than others.

Key words: Calibration of Stresses and Strains, Characteristic Values, Design Values, Plaxis, Shear Modulus of Elasticity.