

## تعیین مدول برش الاستیسیته خاک برای به کارگیری در مدل Plaxis<sup>۱</sup>

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

مهدی جعفری باری<sup>۲</sup>

### 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 مشخصه ای برای هر لایه تعیین گردید. صحت مقادیر مشخصه و مناسب ترین روش تعیین مدول برش، کالیبراسیون تنش‌ها و کرنش‌ها که هر دو منجر به مقادیری بیش از مقادیر مشخصه مدول برش شد. مقایسه نتایج کالیبراسیون با نتایج روش‌های قبلی نشان دادند 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:

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

۱- برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده [۹] و تحقیقات تکمیلی بر روی مدل مورد بحث

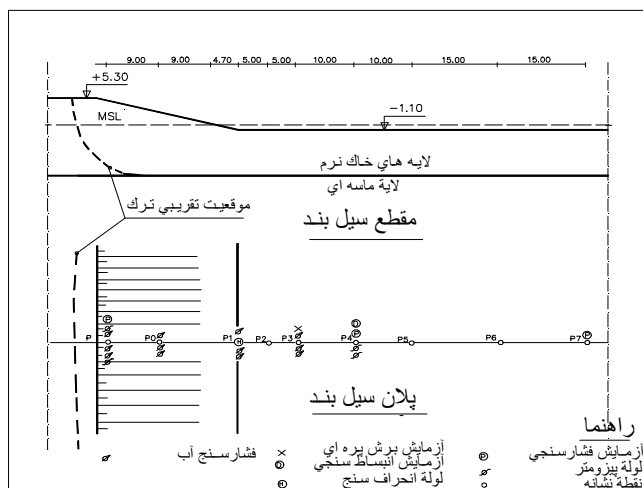
۲- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، ارومیه- کیلومتر ۳ جاده سلماس- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی- صندوق پستی ۳۶۵، تلفن: ۰۴۴۱-۲۷۷۱۹۶۸، دورنگار: ۰۴۴۱-۲۷۶۴۱۸۴، پست الکترونیکی: jafaribari2002@noavar.com.

## ۳- پیشگفتار:

خاکی مدت های 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 لایه های رسی)، لوله انحراف سنج<sup>۲</sup> به ترتیب برای اندازه گیری تغییر طول، سطح آب زیرزمینی و تغییر شکل‌های عمقی نصب شدند. آزمایش های نفوذ مخروط<sup>۳</sup>، فشارسنجی منارد<sup>۴</sup>، برش پره‌ای<sup>۵</sup>، انبساط سنجی<sup>۶</sup> 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<sup>۱</sup> عملیات حفاری، نمونه برداری، آزمایش های صحرایی و آزمایشگاهی متعددی انجام پذیرفت. این سیل بند



شکل شماره ۱- مقطع سیل بند و موقعیت آزمایش های 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، Bowles, J. E استفاده از آمار و احتمالات را در برآورد مقدار واقعی پارامترهای خاک توصیه کرده است [۳]. این محقق 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<sup>۱</sup> پارامترهای مواد از روش ضرایب جزئی قابل استنتاج است. در این روش، ابتدا مقداری به عنوان نماینده<sup>۲</sup> 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 براساس 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 گیریهای 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 پارامترهای مواد می-انجامد

روی نمونه های دست خورده آزمایشهای 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  $\nu$ ، و ضریب فشار جانبی خاک در حالت سکون  $K_0$ ، پارامترهای پلاستیسیته شامل زاویه اصطکاک داخلی  $\phi$ ، چسبندگی C، و زاویه انبساط خاک  $\Psi$ <sup>۱</sup> 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<sup>۲</sup> هیچگونه روش استاندارد در آیین نامه های بریتانیا برای تفسیر نتایج آزمایش های خاک برای برآورد مقادیر مشخصه<sup>۳</sup> 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

Leonards, 1972 به کارگیری مدول دوباره بارگذاری را پس از ۵ یا ۶ بار تکرار بارگذاری و باربرداری<sup>۲</sup> در این آزمایش توصیه کرده اند [۱۳]. در این تحقیق، برای ارزیابی صحت داده ها و برآورد مقادیر طراحی ابتدا با استفاده از قضاوت مهندسی و روش آماری مقدار مشخصه ای برای هر لایه تعیین و سپس روش ابتکاری کالیبراسیون تنش-ها و کرنش ها<sup>۳</sup> در مدل Plaxis و با استفاده از اندازه گیری های انجام گرفته در محل به کار گرفته شد [۹].

#### ۴- مواد و روش ها:

##### ۱- سازه مورد آزمایش

در هلند که بخش های زیادی از مساحت آن در زیر تراز متوسط سطح دریا قرار دارد در کنار دریای شمال و کناره رودخانه ها سیل بندهایی خاکی به طور وسیع ساخته شده است. پروفیل خاک در این قسمت ها از لایه های خاک رس و خاک آلی هولوسن به ضخامت ۸-۱۰ متر تشکیل شده که بر لایه ضحیمی از ماسه پلیستوسن قرار دارد [۱]. در شکل شماره ۲، لایه بندی 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 ضحیم ماسه، تشکیل شده است.

زیرا این مقادیر بیشتر به ارزیابی طراح از شرایط صحرایی بستگی دارند [۷].

USBR ضمن توصیه به اجرای آزمایش های دقیق برای تعیین خصوصیات مهندسی خاک ها، مقادیر متوسط تقریبی، برای گروه های مختلف خاک، به عنوان راهنمای کیفی در مراحل اولیه طراحی، را از تحلیل آماری نتایج تعداد زیادی از نمونه های آزمایشگاهی به دست آورده است [۱۲]. استاندارد ISO 2394 برای رسیدن به سطح اعتماد لازم در بررسی پایداری سازه ای، ضمن معرفی ضرایب اطمینان جزئی<sup>۱</sup>، برای بارها و پارامترهای مقاومت، مقدار مشخصه یک متغیر اصلی  $X$  که دارای احتمال عدم تجاوز  $p$  باشد به صورت زیر تعریف نموده است.

$$x_k = \bar{x} - k \sigma_x$$

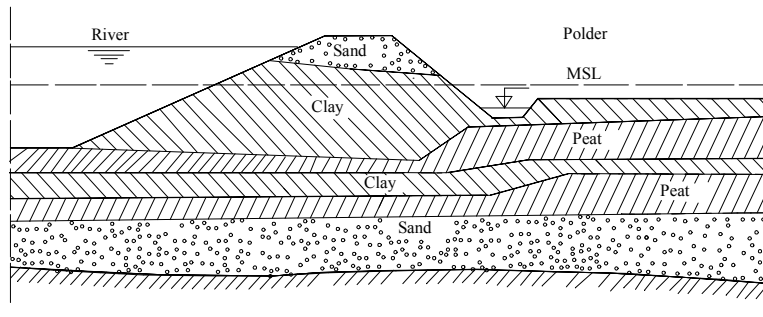
که در آن،  $x_k$  مقدار مشخصه،  $\bar{x}$  مقدار متوسط متغیر اصلی،  $\sigma_x$  انحراف معیار آن و  $k$  ضریبی است که به توزیع احتمال برای رسیدن به احتمال  $p$  بستگی دارد [۵].

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 محققین مختلف Ladd, 1964; Hanna & Adams, 1968; Soderman *et al.*, 1968; Bozozuk &

1- Partial Safety Factors

2- Cyclic loading

3- Calibration of Stresses and Strains



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

همین دلیل در این نسخه به جای مدول الاستیسیته  $E$  از مدول برش  $G$  استفاده شده است. در نسخه های جدید، به دلیل ضمیمه شدن مدل های دیگر به آن، اطلاعات ورودی برای هر یک از دو مدول اختیاری است [۱۰]. این دو پارامتر با رابطه زیر با یکدیگر ارتباط پیدا می کنند که در آن  $\nu$  نسبت پواسون است:

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

در تشکیل ماتریس سختی الاستیک Plaxis دو پارامتر به کار می رود که عبارت اند از مدول الاستیسیته مؤثر  $E'$  و نسبت پواسون مؤثر  $\nu'$ . 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

جهت بررسی رفتار لایه های 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<sup>۱</sup> الاستیک سازه نقش اساسی دارد که پایه محاسبات پلاستیک نیز قرار می گیرد [۱۳] و چنان که بعداً اشاره خواهد شد هرگونه خطا در برآورد آن موجب ایجاد تغییر شکل های غیر واقعی در سیستم می شود.

## ۲- روش های 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<sup>۲</sup> است و حتی در صورت استفاده از روش تحلیل تنش کل<sup>۳</sup> یا حالت زهکشی نشده، از پارامترهای مربوط به تنش مؤثر در ورودی برنامه باید استفاده شود [۲]. به

1- Stiffness Matrix

2- Effective Stress Analysis

3- Total Stress Analysis

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 می توان با این واقعیت بیان کرد که آب نمی تواند 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 می شود [۱۴].

$$G = 50 C_u / PI \quad (2)$$

نتایج محاسبات در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

### ۲- آزمایش فشار سنجی منارد

این آزمایش که مدول برش را مستقیماً به دست می دهد در نقاط  $P_4, P_3$  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 می آید.

### ۴- آزمایش سه محوری

در این روش ابتدا مقادیر  $\phi'$  و  $C'$  از نتایج آزمایش سه محوری تعیین و سپس با استفاده از رابطه شماره ۳، برای هر لایه مقادیر مقاومت برشی که برابر  $C_u$  است تعیین می شود که پس از آن مقادیر  $G$  از رابطه شماره ۲ قابل محاسبه است [۳].

$$\tau = C' \cos \phi' + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3) \sin \phi' = C_u \quad (3)$$

مدول های 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 آزمایش های مختلف اجرا شده در این تحقیق روش های متفاوتی به کار گرفته شده است که در زیر به آنها اشاره می شود:

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 اندازه گیری ها برای هر لایه به دست آمده است. مدول برش با استفاده از این دو پارامتر و به کارگیری رابطه شماره ۱ و ۲ به دست آمده از طریق ایجاد همبستگی بین

نمونه، مقدار  $C_u$  از رابطه ساده ۷ به دست می آید که در آن مقدار  $A = 15$  در هلند استفاده می شود [۶] و در سایر کشورها نیز با کمی تغییر اعداد دیگری توصیه شده است [۷].

$$C_u = q_c / A \quad (۷)$$

### ۵- یافته ها:

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

در این رابطه،  $\phi'$  و  $C'$  به ترتیب زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی در حالت موثر،  $\sigma'_1$  و  $\sigma'_3$  تنش های اصلی مؤثر در آزمایش سه محوری هستند.

### ۵- آزمایش تحکیم

در این آزمایش مقادیر شاخص فشردگی اولیه  $C_p$  و شاخص فشردگی ثانویه  $C_s$  و سپس شاخص فشردگی خاک  $C^3$  از رابطه ۴ به دست می آید که از روی آن مقدار مدول الاستیسیته  $E$  از رابطه شماره ۵ به دست آمده و سپس مدول برش از رابطه شماره ۱ قابل محاسبه است [۵].

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_p} + \frac{1}{C_s} \log 7} \quad (۴)$$

$$E = C \cdot \sigma' \quad (۵)$$

### 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  $\sigma'_v$  تنش مؤثر موجود در نقطه نمونه برداری است [۴]. با مشخص شدن این پارامتر مقدار مدول برش از رابطه ۲ به دست می آید.

$$C_u = \sigma'_v (0.11 + 0.0037 PI) \quad (۶)$$

### ۷- آزمایش نفوذ مخروط

بین نتایج آزمایش نفوذ مخروط  $q_c$  و سایر پارامترهای خاک رابطه همبستگی وجود دارد. برای

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 (KN/m <sup>2</sup> )								نسبت سنجی E	نسبت سنجی C <sub>u</sub>	فشار سنجی	برش پره دست نخورده	سه محوری	تحکیم	نفوذ مخروط	شاخص خمیری	نوع خاک و طبقه بندی USCS	عمق (متر)
			برش پره		سه محوری	تحکیم	نفوذ مخروط	شاخص خمیری												
			دست نخورده	دست خورده																
۴۰۰	۱۸۵	۴۷۷	۲۹۰	۶۸۰	۶۹۰	۵۷۸	۱۰۰۳*	۳۱۷۵*	۲۱۳	۱۸۹۶*	۴۱۱	خاک رس (CH)	۲-۱							
۲۶۰	۱۰۰	۳۰۳	۴۰۰	۴۶۵	۸۵	۳۷۰	۲۳۵	۶۰۰*	۱۸۵	۲۰۲	۲۶۵	خاک آلی (pt)	۵-۲							
۳۷۰	۱۷۴	۴۴۷	۳۳۰	۶۸۰	۱۵۰	۶۶۰	۳۶۰	۱۲۳۶*	۱۴۳*	۴۵۸	۴۹۳	خاک رس (CH)	۶-۵							
۲۷۰	۱۷۳	۳۴۳	۴۰۰	۶۶۵	۱۸۰	۴۹۵	۲۴۰	۶۹۰*	۱۵۰*	۱۲۰*	۲۷۷	خاک آلی (pt)	۹-۶							
۲۶۵۰	۱۰۹۲	۳۱۲۵	۱۳۰۰	۱۶۰۰۰*	۵۶۰*	۳۳۰۰	---	---	---	۳۷۹۷	۴۱۰۵	ماسه (S <sub>ϕ</sub> )	...۹							

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 $G$ ( $KN/m^2$ )	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 $G$ ( $KN/m^2$ )	مقدار تغییر شکل محاسبه شده با مقدار مشخصه (mm)	مقدار تغییر شکل اندازه گیری شده (mm)	مقدار تغییر شکل کالیبره شده (mm)	مقدار واقعی $G$ ( $KN/m^2$ )
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

### ۶- کاوش:

- محاسبه انحراف معیار و مقدار مشخصه مر بوط 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

روش، با اندک تفاوتی که ناشی از اختلاف محل

اندازه گیری های تنش ها و کرنش ها در عمق و

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:

- حذف مقادیر خیلی بزرگ و خیلی کوچک بر

اساس تجربه و قضاوت مهندسی،

- تعیین مقدار متوسط مقادیر مربوط به هر لایه،

- موقعیت است، نزدیک به هم بوده می‌توان مقدار متوسطی را برای هر یک از لایه‌ها محاسبه و در مدل از آن استفاده کرد [۸].
- ۱۰- براساس مجموعه نتایج به دست آمده از این تحقیق می‌توان موارد زیر را عنوان کرد.
- در محاسبات با نرم افزار Plaxis با مدل موهر-کولمب در سازه‌های خاکی، مدول برش الاستیسیته نقش تعیین کننده‌ای در نتایج تنش‌ها و کرنش‌ها 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 روش‌های کنترلی مانند کالیبراسیون تنش‌ها و کرنش‌ها 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 نمی‌توان در محاسبات طراحی استفاده کرد.
- از مقایسه مقادیر به دست آمده از روش‌های مختلف با مقادیر حاصل از کالیبراسیون می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع استفاده از نتایج آزمایش سه محوری برای محاسبه مدول برش قابل اعتمادتر است و پیشنهاد می‌شود که آزمایش به صورت Cyclic نیز اجرا شود.
- از میان روش‌های مختلف، مقادیر نتایج آزمایش‌های انحراف سنجی، فشارسنجی، برش پره‌ای در حالت دست خورده، تحکیم و شاخص الاستیسیته پایین است و آزمایش برش پره‌ای در حالت دست نخورده و نفوذ مخروط نتایج بالایی را به دست داده‌اند.
- یکی از علل عدم تطابق نتایج روش‌های مختلف با مشخصات واقعی لایه‌های خاک استفاده از روابط مربوط به بعضی از خاک‌های خاص است.
- چون لایه‌های خاک همگن نیستند و عدسی‌هایی از انواع دیگر خاک‌ها در بین آنها یافت می‌شود و اجرای همه آزمایش‌ها و نمونه برداری‌ها در یک نقطه خاص امکان پذیر نیست، وجود اختلاف تا حدودی در نتیجه آزمایش‌ها طبیعی است.
- دلیل حذف بعضی از نتایج آزمایش‌ها، عدم امکان چنین مشخصه‌ای در آن نوع خاک با توجه به تجربیات موجود و سایر مشخصات خاک بوده است.

## ۷- منابع:

- 1- Baalen, M. V., Prediction of the stability and deformation of embankments under uplift conditions, Delft geotechnics, 1988.
- 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 taw, 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, Mahdi, 1991. Stabilization of river dikes under uplift conditions, M. Sc. Thesis ,IHE Delft.
- 10- Plaxis BV., 2002. Plaxis Version 8, Material Model Manual.
- 11-Termaat, R. J., Vergeer, G. J. H., Vermeer, P. A., 1985. Failure by large deformations, 11<sup>th</sup> 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:** Shear Modulus of Elasticity, Calibration of Stresses and Strains, Plaxis, Characteristic Values, Design Values