

مقایسه پارامترهای بدست آمده از آزمایش پرسیومتری با پارامترهای استخراج شده از آزمایش سه محوری CU در خاک های ریزدانه شهر مشهد

دانیال منصوریان^{۱*}، محمد غفوری^۲، ناصر حافظی مقدس^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

در این تحقیق دو آزمایش پرسیومتری و سه محوری به عنوان دو آزمایش برجا و آزمایشگاهی مهم در اندازه گیری پارامترهای مقاومتی خاک مورد مقایسه قرار می گیرند. از آنجایی که مقاومت برشی خاک یکی از راه های آنالیز مقدار مدول الاستیسیته نیز می باشد (Fawaz و همکاران، ۲۰۰۲) نتایج بدست آمده حاکی از ارتباط بسیار نزدیک این دو آزمایش و داده های خروجی آن ها بود. بصورتی که پارامترهای ϕ و LP حاصل از سه محوری و پرسیومتری به عنوان پارامترهای مقاومتی با یکدیگر مقایسه شده و مشخص گردید که نسبت های تغییرات مقاومتی در دو آزمایش یکسان می باشند. با افزایش زاویه اصطکاک داخلی، LP نیز به همان مقدار افزایش می یابد. پارامتر چسبندگی نیز با پارامترهای تغییر شکلی آزمایش پرسیومتری مقایسه گردیده و نتیجه یکسانی را مشخص می کند. هر دو آزمایش کاملاً قابل برآزش بوده و پارامترهای مشابه در آن دو بصورت موازی در شرایط مختلف تغییر می نمایند.

کلمات کلیدی: پرسیومتری، سه محوری، زاویه اصطکاک داخلی، مقاومت برشی

مقدمه:

امروزه مطالعات ساختگاهی پیش از احداث سازه های مهندسی اهمیت بسزایی دارند. پیش از احداث یک سازه مهندسی، اطلاع داشتن از ویژگی های بافتی و مهندسی خاک های زیر آن سازه تاثیر بسزایی در روند اجرا خواهد داشت. از میان ویژگی هایی که اطلاع داشتن از آن ها برای یک مهندس سازه یا مهندس زمین شناس مهم می باشد می توان به پارامترهای مقاومتی خاک اشاره نمود. این پارامترها را می توان در داخل آزمایشگاه مکانیک خاک و در شرایط کنترل شده محاسبه نمود و یا می توان شرایط طبیعی خاک را لحاظ کرده و آزمایش های صحرایی را برای محاسبات انتخاب کرد. در همه مسائل مربوط به پایداری خاک از قبیل طراحی پی ها، دیوارهای حائل و خاکریزهای داشتن اطلاعات کافی راجع به مقاومت خاک ضروری است. اندازه گیری مقاومت خاک بویژه خاک های چسبنده که در مباحث پایداری خاک اهمیت بسیار زیادی دارند یکی از مباحث پیچیده و داری اهمیت در مکانیک خاک می باشد. در حالت کلی مقاومت یک ماده بیشترین تنش است که ماده می تواند قبل از گسیختگی تحمل کند (Atkinson, 1942).

* dmansourian@yahoo.co.uk

مقاومت خاک، این مقاومت برشی خاک تاثیر بسزایی در تعیین رفتار خاک ها دارا می باشد و عمده ترین عامل تعیین ویژگی های رفتاری یک خاک بشمار می رود. این مقاومت مقاومت داخلی ذرات خاک در واحد سطح آن ها می باشد. به بیانی دیگر این مقاومت مقاومتی است که ذرات خاک می توانند در برابر هر نیرو که در جهت گسیختگی و لغزش به آن ها وارد می شود در امتداد هر صفحه ای از خود نشان دهند. در بخش آزمایش های آزمایشگاهی، آزمایش سه محوری مطمئن ترین روش برای محاسبه پارامتر های مقاومتی خاک می باشد. این آزمایش که با دقت بالایی طراحی گشته است از این قابلیت بهره مند می باشد که زاویه اصطکاک داخلی خاک و چسبندگی را در شرایط کوتاه مدت و بلند مدت یا غیراشباع و اشباع محاسبه نماید. از آزمایش های صحرایی نیز می توان به آزمایش پرسیمتری اشاره نمود که امروزه در حال تبدیل شدن به یکی از بهترین روش های صحرایی برای محاسبه پارامتر های مهندسی خاک می باشد. در این پژوهش ارتباط بین پارامتر های خروجی آزمایش سه محوری و پرسیمتری پرداخته شده و نقاط ضعف و قوت هر یک مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

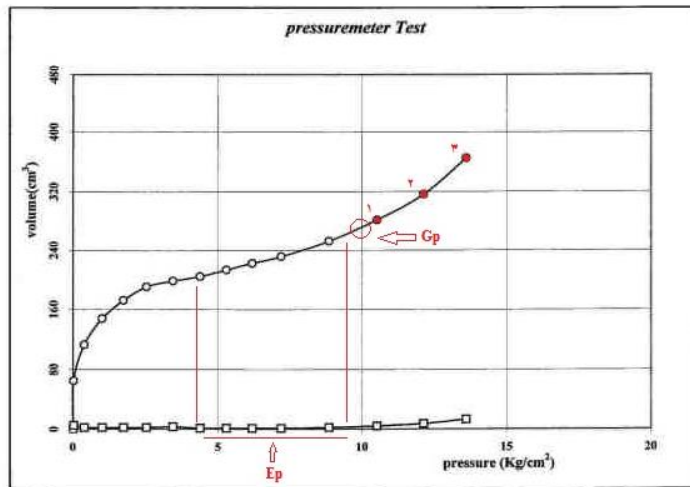
کلیات دو آزمایش:

- آزمایش پرسیمتری:

این آزمایش به عنوان آزمایشی برجا برای محاسبه پارامتر های مقاومتی خاک و همچنین کرنش های موجود در مصالح عمیق کاربرد دارد. بطور کلی این آزمایش درون یک گمانه عمیق انجام می شود. پرسیمتری که امروزه به عنوان روشی پر کاربرد در مکانیک خاک صحرایی به کار گرفته می شود برآورد تغییر شکل پذیری و سختی خاک استفاده می شود (Clarke, 1995). سه نوع آزمایش پرسیمتری متداول بصورت پرسیمتر های پیش حفار، خود حفار و تغییر مکانی می باشند:

پرسیمتر های پیش حفار: این دسته از پرسیمتر ها که پر کاربرد ترین نوع پرسیمتر می باشند توسط منارد ساخته شدند و در گمته های از قبل حفاری شده استفاده می باشند. این نوع پرسیمتر در خاک و سنگ های سست که امکان حفر گمانه در آن ها وجود داشته باشد قابل استفاده می باشند و خود به دو دسته تغییر حجمی و تغییر شعاعی تقسیم می شوند (قنبری و معجزی، ۱۳۸۶).

پرسیمتر پیش حفار منارد (دستگاه مورد استفاده در این پژوهش) از نوع تغییر حجمی بوده و نوع آن GC قابل استفاده در خاک می باشد. قطر ۷۴ میلی متری این نوع به صورتی است که سوند دستگاه درون غلافی قرار می گیرد که با آب تحت فشار قرار گرفته و سپس سلول های محافظ با گاز پر می گردند. در این روش غشای سوند که به داخل گمانه وارد شده است بوسیله فشار وارد شده از طرف سیال منبسط گشته و سپس به دیواره چاهک فشار وارد می نماید. پس از فشرده شده غشا به دیواره چاهک قرائت های تغییر شکل و گسیختگی از روی نمایشگر های دستگاه قابل مطالعه می باشند. در شکل شماره ۱ نمودار تغییرات فشار نسبت به تغییر حجم در این نوع دستگاه به تصویر کشیده شده است.



شکل ۱ - (نمودار فشار - تغییر حجم) پرسیومتری

پارامتر E_p که مدول پرسیومتر می باشد مربوط به تغییر شکل ناشی از فشار وارده به دیواره گمانه است. این پارامتر از قسمت نیمه خطی نمودار قابل محاسبه است. این قسمت که به عنوان منحنی اولیه نمودار شناخته میشود بهترین قسمت نمودار برای محاسبه مدول پرسیومتر می باشد (Fawaz و همکاران، ۲۰۱۴) این مدول با مدول الاستیسیته خاک که یک پارامتر ذاتی هر خاک می باشد کمی متفاوت است (Fawaz و همکاران، ۲۰۱۴) پارامتر G_p همان مدول برشی خاک است. این پارامتر نشان دهنده لحظه ای می باشد که خاک دچار گسیختگی گشته است. در روی نمودار قسمتی که از حالت خطی به حالت غیر خطی تبدیل می شود نشاندهنده مدول برشی می باشد. L_p یا فشار حدی پارامتر مقاومتی خاک می باشد. این پارامتر جهت محاسبه مقاومت برشی زهکشی نشده قابل استفاده می باشد.

- آزمایش سه محوری:

آزمایش سه محوری یکی از مهمترین آزمایشات انجام شده در گرایش مکانیک خاک است. بطور کلی در این آزمایش نمونه خاک در ابعاد و شکل استاندارد درون یک محفظه شیشه ای استاندارد قرار می گیرد و به کمک نیروی فشار باد یا آب از تمام جهات به آن نیروی همه جانبه وارد می گردد. برای جلوگیری از تخریب نمونه خاک در داخل محفظه هنگام برخورد با سیال؛ اطراف نمونه خاک با غشای لاستیکی استاندارد پوشیده می شود و توسط حلقه های لاستیکی کشسان آب بندی می گردد تا مسیر اشباع (Back pressure) و مسیر فشار همه جانبه (63) از یکدیگر جدا شوند. پس از اینکه مراحل اشباع سازی و تحکیم نمونه بر اساس نوع آزمایش مورد نظر تکمیل شد نمونه مورد اعمال تنش محوری قرار می گیرد که توسط یک بازوی قائم به آن وارد می شود. این تنش تنش انحرافی (Devitone stress) نام دارد. با توجه به شرایط موجود و سرعت عمل در این پژوهش از آزمایش سه محوری نوع CU استفاده شده است.



شکل ۲ - دستگاه سه محوری به کار گرفته شده در پژوهش

آزمایش های پرسیومتری و سه محوره انجام شده:

در این پژوهش ابتدا با حفاری ۱۳ عدد گمانه ماشینی در شهر مقدس مشهد شرایط برای اجرای آزمایش پرسیومتری محیا گردید. از محل گمانه های حفاری شده نمونه دست نخورده تهیه شده و برای استفاده در آزمایش سه محوری CU مورد استفاده قرار گرفت. تغییرات حجم در زمان های ۱۲۰، ۶۰، ۳۰، ۱۵ ثانیه پس از اعمال هر فشار ثبت شدند. این تست در اعماق بالای ۵ متری و با پله های ۵ متری تا فشار حداکثری ۴۸ بار اجرا گردید. قرائت ها با زمان های ۳۰ و ۶۰ ثانیه ثبت شده اند. زمان گسیختگی هنگامی مشخص شد که حجم آب افت کرده در دستگاه به صورت تصاعدی بالا رفت. این لحظه به عنوان لحظه گسیختگی شناخته می شود. پس از اجرای آزمایش های پرسیومتری، نمونه های دست نخورده خاک که بصورت نمونه شلبی می باشند برای آزمایش سه محوری استفاده شدند و برای عمق هایی که آزمایش پرسیومتری در آن ها بخوبی اجرا شده بود یک آزمایش سه محوری (هر آزمایش شامل سه نمونه) انجام گرفت. تنش های ۱ و ۲ و ۳ کیلوگرم بر سانتی متر مربع برای هر مرحله از بارگذاری آزمایش سه محوری انتخاب گردیدند. نمونه های سه محوری در ابعاد ۳۸*۷۶ میلی متر و بصورت دست نخورده ساخته شدند. سرعت بارگذاری بصورت کند و ۰٫۳ میلی متر بر دقیقه انتخاب گردید و لحظه شکست در تغییر طول ۰٫۱۵٪ نمونه طبق استاندارد ASTM ثبت گردید. در این پژوهش آزمایش های پرسیومتری از عمق ۵ متری آغاز شده و با هر ۵ متر افزایش عمق تکرار شده اند. مشخصات دستگاه منارد استفاده شده در این پژوهش به شرح زیر می باشد:

- قطر سوند دستگاه: 45mm

- حجم سوند: 520cc

- قطر گمانه اکتشافی در این تحقیق: 65mm

- ارتفاع گیج از زمین: 1m

- حداکثر فشار: 60bar

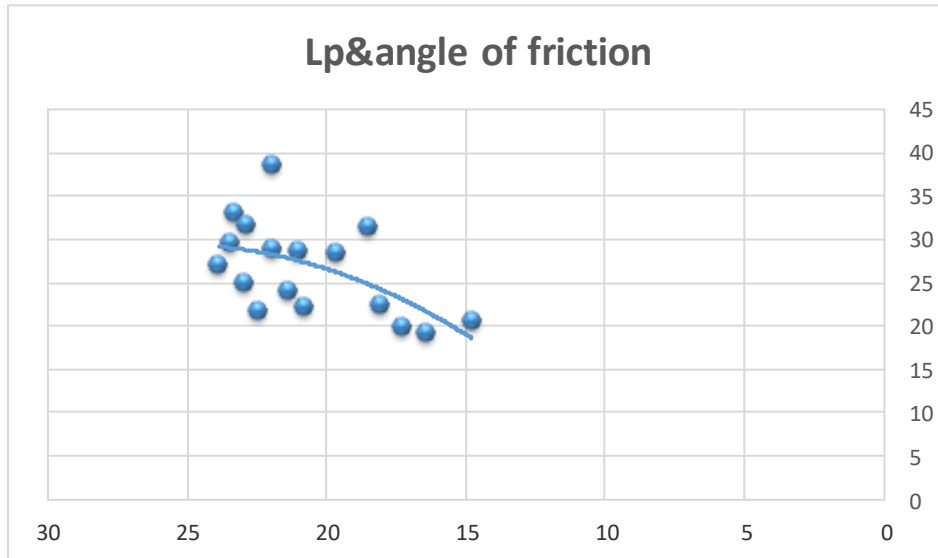
نتایج آزمایش های پرسیومتری و سه محوری در جدول ۱ آرایه گردیده است.

جدول ۱- نتیجه های آزمایش های سه محوری و پرسیومتری انجام گرفته در گمانه های مختلف

ردیف	گمانه	جنس خاک	عمق	پرسیومتری			سه محوری	
				PL(kg/cm ²)	Ep(kg/cm ²)	Gp(kg/cm ²)	∅(degree)	C(kg/cm ²)
1	PT1	CL-ML	23-25	19/1	273/2	102/7	16/4	0/319
		CL	27/5-30	20/6	211/3	79/4	14/8	0/414
2	PT2	ML	28-31	33	461/3	173/4	23/3	0/159
3	PT3	CL	23/5-25	28/7	355/2	133/5	21	0/423
		CL	28/5-30	25	340/9	128/1	23	0/455
4	PT4	ML	17-20	31/6	580/7	218/3	22/9	0/231
5	PT5	CL	32-35	22/4	235	88/3	18/1	0/529
6	PT6	CL-ML	23-25	23/9	251/7	94/6	21/4	0/349
7	PT7	CL	22-24	22/2	244/2	91/8	20/8	0/402
8	PT8	CL	30-35	29/5	401/6	151	23/5	0/352
9	PT9	ML	24-26	19/7	365/8	137/5	17/3	0/498
10	PT10	CL-ML	28-32	27/1	225/1	84/6	23/9	0/387
		CL	36-40	21/7	213/6	80/3	22/5	0/483
11	PT11	CL	28-32	31/4	319/8	120/2	18/5	0/403
12	PT12	CL-ML	34-36	38/5	510/8	192	22	0/348
		CL	41-44	28/4	404/2	152	19/7	0/343
13	PT13	CL	11-15	28/8	395/6	148/7	22	0/512

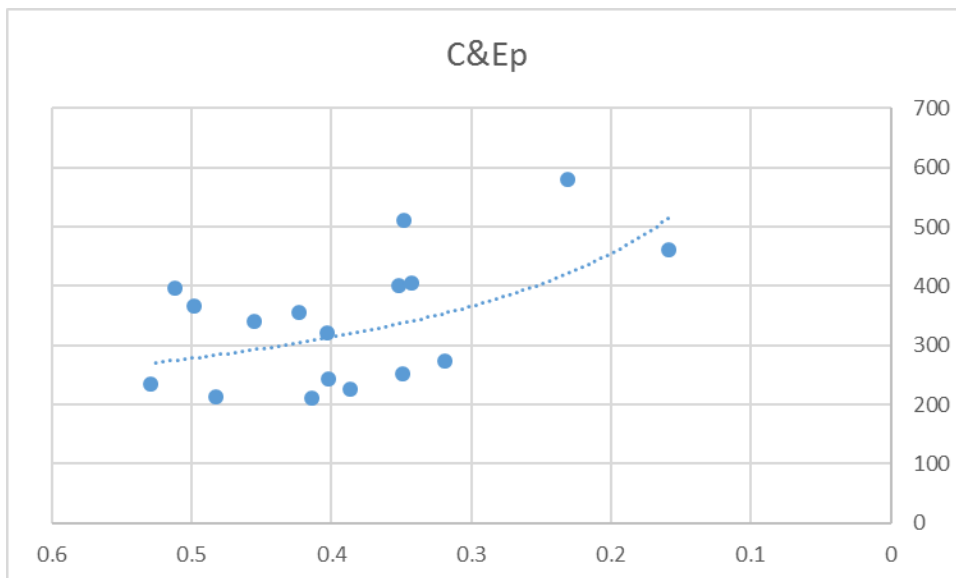
در این پژوهش سعی شده است که داده های محاسبه شده از دو آزمایش در عمق های یکسان و بر روی لایه های یکسان انجام شده باشند. پس از بدست آوردن داده های مختلف سعی گردید تا بین داده های حاصل از آزمایش در محل و آزمایش های آزمایشگاهی ارتباط برقرار شده و رابطه آن ارایه گردد بدین منظور بین زاویه اصطکاک و چسبندگی بدست آمده از آزمایش سه محوری و پارامتر های بدست آمده از آزمایش پرسیومتری (مانند: Ep, Lp, Gp) ارتباط برقرار گردد که نتیجه آن در شکل های ۶، ۴، ۵، ۷ ارایه شده است.

مقایسه نتایج:

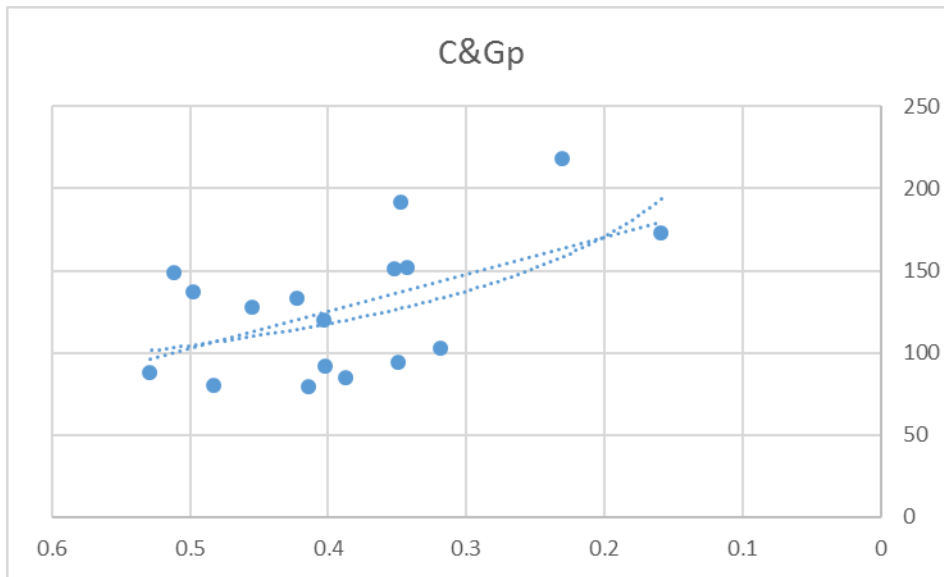


شکل ۴ - ارتباط بین زاویه اصطکاک داخلی و فشار حدی

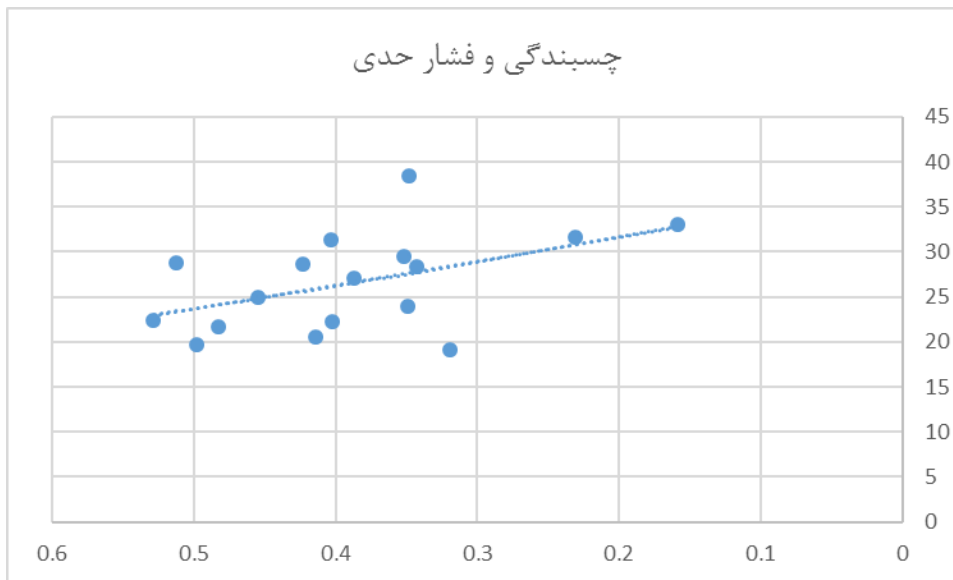
همانطور که در شکل ۴ مشاهده می شود با افزایش میزان زاویه اصطکاک داخلی خاک مقدار L_p افزایش می یابد و طبق شکل های ۵ و ۶ با افزایش مقدار چسبندگی مقدار L_p, E_p, G_p کاهش می یابد.



شکل ۵ - ارتباط بین چسبندگی و پارامتر مدول پرسیومتر



شکل ۶ - ارتباط بین چسبندگی و پارامتر Gp



شکل ۷ - ارتباط بین چسبندگی و پارامتر فشار حدی

نتیجه گیری:

۱- در این پژوهش مشخص گردید که پارامترهای زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی نسبتی مشابه با پارامترهای مقاومتی آزمایش پرسیمتری دارند. بصورتی که با افزایش ϕ و LP نیز افزایش می یابد که

این نشاندهنده این است که تغییر مکان آزمایش در ماهیت پارامترهای مقاومتی خاک اثرگذاری ندارد و این پارامترها واکنش مشابه در برابر تنش های مختلف نشان می دهند.

۲- آزمایش پرسیومتری دارای داده هایی مطمئن و مناسب می باشد و حضور این آزمایش در روند محاسبات می تواند نیاز به آزمایش های سنتی تر را مرتفع کند.

۳- هریک از دو آزمایش به نوبه خود از توانمندی و دقت بالایی برخوردار می باشند ولی نتایج آن ها به دلیل همجنس نبودن داده ها قابلیت مقایسه کلی دارند و به دلیل کاربری متفاوت دستگاه ها در شرایط متفاوت هریک در جایگاه خود دارای اهمیت می باشند.

منابع:

- ۱- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، دفتر امور فنی و تدوین معیارها (۱۳۸۰)، دستورالعمل آزمایش پرسیومتری (در مطالعات ژئوتکنیک)، نشریه شماره ۲۲۳
- ۲- گریوانی، ه.، نیکودل، م.، پهلوان، ب.، ۱۳۸۴، مقایسه پارامترهای مقاومتی و تغییرشکل پذیری حاصل از آزمایش های پرسیومتری و تک محوره در سنگ های نرم سازند آغا جاری جزیره خارک، چهارمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.
- ۳- قنبری، ع.، معجزی، م.، ۱۳۸۶، آزمایش پرسیومتری در مهندسی ژئوتکنیک
- ۴- پهلوان، ب.، فاخر، ع.، ۱۳۸۲، مقایسه متغیرهای تغییرشکل پذیری آبرفت درشت دانه تهران با استفاده از پرسیومتر، فصلنامه پژوهشی علوم زمین، شماره ۴۷.
- ۵- اتکینسون، ج.، ۱۹۴۲، مکانیک خاک و پی، ترجمه میثم بیات، انتشارات سیمای دانش

6- Clarke B.G.(1995), "Pressuremeters in Geotechnical design", Chapman & Hall publications, Cambridge, UK.

7- Fawaz A., Hagechade F., Farah E. "a study of the pressuremeter Modulus and its Comparison to the Elastic Modulus of Soil" Science and engineering Pu, (2014)

8- Fawaz A., Boulon M., Flavigny E. "Parameters deduced the pressuremeter test" Canadian Geotechnical Journal, Volume 39, N06, pp.1333-1340, (2002)

(Fawaz et al., 2002)