

تعیین شاخص فشردگی، C_c ، خاک‌های منطقه اهواز

عضو هیئت علمی، دانشگاه شهید چمران اهواز	جواد احدیان
استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز	رضا ابن جلال
استاد دانشگاه شهید چمران اهواز	محمود شفاعی بجستان

چکیده

فشردگی خاک که به علت تغییر شکل فشاری ناشی از احداث سازه‌های مختلف رخ می‌دهد، موجب خارج شدن هوا و آب از خاک و نشست آن می‌گردد. در رس‌های اشباع وقوع نشست مستلزم خروج آب از خاک است (نشست تحکیمی). در زمان طراحی، برای بررسی پایداری سازه‌ها، برآورد نشست نهایی امری ضروری است؛ این عمل با استفاده از شاخص‌های فشردگی و تورم، که از آزمایش تحکیم بدست می‌آیند، صورت می‌گیرد. به دلیل طولانی و پرهزینه بودن آزمایش تحکیم، بهتر است تا این شاخص‌ها را با پاره‌ای از خصوصیات فیزیکی خاک مرتبط گردند. تحقیق حاضر با هدف تعیین رابطه بین شاخص‌های تحکیم و خصوصیات فیزیکی خاک در منطقه اهواز انجام گرفته است. در این تحقیق، از مناطق مختلف شهر اهواز نمونه‌های دست نخورده تهیه گردید و شاخص‌های یاد شده از طریق ترسیم منحنی آزمایشگاهی $e-\log\sigma$ و بازسازی منحنی صحرایی تخمین زده شد. این نمونه‌ها عموماً رس بیش تحکیم یافته با خاصیت خمیری کم تا متوسط بودند. پارامترهای فیزیکی خاک برای این نمونه‌ها نیز اندازه‌گیری و محاسبه شدند. با استفاده از برازش داده‌ها مشخص گردید که بین شاخص فشردگی و نسبت پوکی اولیه خاک همبستگی بیشتری در مقایسه با سایر پارامترها وجود دارد. کلمات کلیدی: تحکیم، شاخص فشردگی خاک، نسبت پوکی اولیه خاک.

Determination of Soil Compression Index, C_c , in Ahwaz Region

J. Ahadiyan	Department of water science Eng., Shahid chamran Uni
R. Ebne Jalal	Department of water science Eng., Shahid chamran Uni
M. Shfae Bajestan	Department of water science Eng., Shahid chamran Uni

Abstract

Construction of hydraulic structures or other structures compact the soils layers and create hydrostatic pressure (excess pore water pressure) in saturated fine grained soils. While the excess pore water pressure dissipates, stresses on the soil skeleton (effective stress) gradually increase; thus soil undergoes deformation or strain in vertical direction (consolidation settlement). By the use of compression index, C_c , which is obtained from consolidation test, one can estimate the among of field settlement. These expressions correlate C_c to the soil properties or physical indices such as Atterberg limits, void ratio and specific gravity. In this research we have attempted to find some expressions for the soils of Ahwaz region. To do this, consolidation tests and tests for determination of soil physical properties and Atterberg limit have been carried out on 29 undisturbed samples which were prepared from different locations and depths.. The results showed that there is a good correlation between C_c and initial void ratio.

Key words: Consolidation, Settlement, Void ratio.

۱- مقدمه

فشردگی رابطه اسکمپتون (Skempton:1944) می‌باشد که ارتباط C_c را با رطوبت حد روانی، w_L ، مشخص نموده است. رابطه وی بر اساس ۲۵ داده آزمایشگاهی بدست آمده است. از بین کلیه روابط ارائه شده در جدول (۱) تنها رابطه نیشیدا (Nishida:1956) دارای پایه تئوریک می‌باشد که با استفاده از تئوری تنش کرنش و قانون هوک نتیجه‌گیری شده است. نیشیدا (Nishida:1956) مبنای تئوری خود را چنین بیان کرده است: "اگر بر روی توده خاکی که در گذشته تحت تنش قرار داشته است، تنش بزرگتری وارد گردد، تغییر شکل کمتری در خاک، نسبت به حالت قبل (تغییر شکل ایجاد شده در اثر بارگذاری گذشته)، ایجاد می‌شود؛ دلیل آن، کاهش نسبت پوکی در اثر بارگذاری قبلی است". وی فرض نمود که کاهش کرنش مورد انتظار در قانون هوک به زمان ایجاد تغییر شکل وابسته است.

یکی از روش‌های محاسبه نشست تحکیمی، استفاده از ضرایبی است که از طریق آزمایش تحکیم بدست می‌آیند. این ضرایب عبارتند از: شاخص فشردگی، C_c ، و شاخص تورم، C_s . برای یک خاک مشخص، با نسبت پوکی اولیه ثابت، شاخص فشردگی مقدار ثابتی می‌باشد؛ ولی مقدار آن برای انواع خاک‌های چسبنده، متفاوت است. به دلیل این که مشخص نمودن مقادیر C_c و C_s با استفاده از آزمایش تحکیم، مدت زمان زیادی نیاز دارد (معمولاً در حدود ۱۰ روز)، متخصصین مکانیک خاک سعی بر این داشته‌اند که این شاخص را به خصوصیات فیزیکی دیگر خاک ارتباط دهند در جدول (۱) معادلات تجربی مختلفی که در گذشته استخراج شده‌اند، آمده است. در این جدول علاوه بر ارائه هر فرمول محدودیت کاربرد آن نیز مشخص شده است. اولین معادله تجربی ارائه شده در خصوص شاخص

جدول ۱- روابط تجربی مربوط به ارتباط شاخص فشردگی، C_c و پارامترهای فیزیکی خاک

معادله	مرجع	محدوده کاربرد
$C_c = 0.007 (w_L - 10)$	Skempton (1944)	رس‌های دست خورده، تحکیم عادی یافته با حساسیت کم
$C_c = 1.15(e_0 - 0.35)$	Nishida (1956)	همه رس‌ها خاک‌های تحکیم عادی یافته با حساسیت کم
$C_c = 0.009 (w_L - 10)$	Terzaghi & Peck (1967)	رس تحکیم عادی یافته و دست نخورده و با حساسیت نسبتاً بالا
$C_c = 0.0115 w_c$	Bowles (1979)	خاک‌های آلی، تورب‌ها، لای آلی و رس، خاک‌های تحکیم یافته با حساسیت کم
$C_c = 0.0046 (w_L - 9)$	Bowles (1979)	رس‌های برزیلی، رس‌های بیش تحکیم یافته دست خورده
$C_c = 0.156 (e_0 + 0.0107)$	Bowles (1979)	تمام رس‌ها، رس‌های بیش تحکیم یافته دست خورده
$C_c = \frac{1}{2} \left(\frac{\gamma_w}{\gamma_d} \right)^{2.4} = \frac{1}{2} \left(\frac{1+e_0}{G_s} \right)^{2.4}$	Oswald (1980)	برای هر نوع خاک چسبنده بدون محدودیت کاربرد
$C_c = -0.1143 + 0.008 w_c + 0.0037 C_p$	Koppula (1981)	رس‌های ایالت آلبرتا، رس‌های تحکیم عادی یافته
$C_c = 0.01 w_c$	Koppula (1981)	رس‌های تحکیم عادی یافته با حساسیت کم
$C_c = 0.141 G_s^{1.2} \left(\frac{1+e_0}{G_s} \right)^{2.38}$	Rendon- Herrero (1983)	تمام رس‌ها بدون محدودیت
$C_c = 0.61 e_0 - 0.17$	Tan., Gue (2000)	خاک‌های مالزی، ذرات خاک غیر چسبنده، آلی و تورب‌ها

۲- مواد و روش‌ها

به دلیل این که ساختمان و نوع خاک‌ها از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌کند، پتانسیل خاک از نظر مقدار نشست تحکیمی در مناطق مختلف بسیار متفاوت است؛ بنابراین، ارائه یک مقدار متوسط برای این نوع نشست عملی نیست. با این توصیف محاسبه مقدار متوسط آن برای خاک یک منطقه، به آزمایش و تجربه زیادی نیاز دارد. در این تحقیق مراحل رسیدن به چنین هدفی (شامل نمونه‌برداری، آزمایش‌های مربوط به تخمین C_c و پارامترهای فیزیکی خاک و بحث و بررسی نتایج آماری) برای خاک منطقه اهواز طی شده است. هدف از نمونه برداری در منطقه اهواز تهیه نمونه‌های دست نخورده از خاک منطقه، جهت انجام آزمایش تحکیم است؛ از این رو، در نمونه برداری سعی شد که پراکندگی محل نمونه‌برداری رعایت گردد. به عبارت دیگر از مناطق مختلف شهر اهواز، که فواصل مختلفی با رودخانه کارون دارند (از ۵۰ متر تا ۸ کیلومتر)، خاک دست نخورده تهیه شد. نمونه‌برداری (نمونه دست نخورده) بدین صورت انجام گرفت که در مناطق مختلف، با حفر گمانه به وسیله اگر دستی پس از تشخیص لایه‌های مختلف خاک، از لایه‌های خاک چسبنده تا عمق ۵/۰ متری نمونه‌های دست نخورده تهیه گردید. این نمونه‌ها، با استفاده از استوانه‌هایی که بدین منظور ساخته شدند و همچنین استفاده از یک کوبه دستی، تهیه گردیدند. مطابق استانداردهای نمونه برداری، ASTM، برای تهیه نمونه دست نخورده باید استوانه‌هایی که بدین منظور ساخته می‌شوند، دارای شرط اساسی زیر باشند:

$$A_R = \frac{D_o^2 - D_i^2}{D_i^2} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه A_R مقدار دست خوردگی در هنگام نمونه برداری می‌باشد، D_o قطر خارجی و D_i قطر داخلی استوانه نمونه‌گیر است. بر اساس استاندارد یاد شده، اگر نسبت سطح کوچکتر یا مساوی ۱۰ درصد باشد نمونه دست نخورده تلقی می‌گردد؛ بنابراین، در تهیه و ساخت استوانه‌های نمونه‌گیری، در این تحقیق این مورد کاملاً رعایت گردید؛ به طوری که، مقدار آن در حدود ۸ درصد می‌باشد. جمعاً ۲۹ نمونه دست نخورده از مناطق و عمق‌های مختلف، تا ۵ متری، تهیه شد و آزمایش تحکیم و دیگر پارامترهای فیزیکی بر روی آنها انجام گردید.

۳- نتایج و استخراج داده‌ها

داده‌های جمع آوری و محاسبه شده در این تحقیق را می‌توان در سه دسته زیر تقسیم کرد:

- ۱- محاسبات مربوط به شاخص فشردگی صحرایی و آزمایشگاهی از طریق آزمایش تحکیم
- ۲- محاسبات مربوط به پارامترهای فیزیکی خاک با استفاده از آزمایش‌های مربوطه و روابط وزنی و حجمی خاک.
- ۳- تعیین همبستگی‌های آماری بین شاخص فشردگی صحرایی و پارامترهای فیزیکی خاک از طریق نرم‌افزار آماری SPSS (Nie et al: 1975)

با استفاده از مقادیر محاسبه شده نسبت پوکی در پایان هر مرحله بارگذاری در آزمایش تحکیم و همچنین مقادیر تنش کاربردی بر روی نمونه‌ها در مراحل مختلف، نمودارهای لگاریتم تنش-نسبت پوکی ($e-\log \sigma$) برای کلیه نمونه‌ها ترسیم گردیدند. مقادیر واقعی شاخص فشردگی، C_c ، از طریق بازسازی این نمودارها و ترسیم منحنی بکر صحرایی تخمین زده شد.

پارامترهای فیزیکی خاک از قبیل رطوبت حد روانی، w_l ، رطوبت حد خمیری، w_p ، رطوبت حد انقباض، w_s ، رطوبت طبیعی، w ، چگالی نسبی، G_s ، نسبت پوکی اولیه خاک، e_0 ، و شاخص خمیری، I_p ، با استفاده از روش‌های استاندارد جهت اندازه‌گیری آنها، برای کلیه نمونه‌ها نیز تخمین زده شد. از طرفی برای هر نمونه فشار مؤثر درجا با استفاده از وزن خاک بالای آن نیز محاسبه گردید.

بر اساس نتایج بدست آمده در این تحقیق، مشاهده شد که تمام نمونه‌های تهیه شده، رس بیش تحکیم یافته بودند. بنابراین، با احتساب این موضوع که نمونه‌ها اولاً از مکان‌های مختلف شهر اهواز و ثانیاً به فواصل مختلفی از رودخانه کارون (۵۰ متر تا ۸ کیلومتر) تهیه گردیدند، می‌توان نتیجه گرفت که خاک‌های چسبنده موجود در این منطقه، رس با خاصیت خمیری کم تا متوسط هستند. بنابراین در بازسازی منحنی $e-\log \sigma$ و استخراج منحنی بکر صحرایی، از روش تزرزاقی و پک (Terzaghi & Peck: 1967) و همچنین روش اشمرتمن (Schmertman: 1953) استفاده گردید. جدول (۲) براساس محاسبات و نتایج آزمایش‌های مختلف بر روی نمونه خاک‌های دست نخورده از مناطق مختلف در این تحقیق تنظیم شده است.

جدول ۲- حدود مشخصات فیزیکی اندازه‌گیری شده در کلیه نمونه‌های مناطق مختلف شهر اهواز

چگالی نسبی G_s	نسبت پوکی اولیه e_0	رطوبت طبیعی w	رطوبت حد انقباض، w_s	رطوبت حد خمیری، w_p	رطوبت حد روانی، w_l	شاخص تورم C_s	C_c (صحرایی)
۲/۷۵	۰/۹۵	۳۲/۲۲	۱۹/۱۸	۲۶/۱۵	۵۲/۰	۰/۰۸۱	۰/۳۴
۲/۶۸	۰/۷۲	۲۳/۳۶	۱۳/۷۶	۲۰/۰۶	۳۶/۴	۰/۰۳۴	۰/۱۹۱
۲/۶۲	۰/۵۳	۱۳/۱	۶/۶۷	۱۵/۱۴	۲۶/۵	۰/۰۰۹	۰/۱۳۴

طریق نرم افزار آماری SPSS مشخص و ضرایب β_i تعیین گردید. برای اطلاعات بیشتر از محاسبات و داده‌ها به احادیان (۱۳۸۳) مراجعه شود. با توجه به مقادیر ضریب رگرسیون در جدول بالا، ارتباط آماری مهمی بین C_c صحرایی و نسبت پوکی اولیه خاک وجود دارد و عملاً با رطوبت حد انقباض، شاخص خمیری و چگالی نسبی در ارتباط نمی‌باشد؛ بنابراین در رگرسیون چند متغیره خطی از آنها استفاده نشد. معادله رگرسیونی C_c و نسبت پوکی اولیه خاک در منطقه مورد مطالعه به شکل زیر است:

$$C_c = -0.015 + 0.287e_0 \quad (4)$$

$$R^2 = 47.1\%$$

بر اساس نتایج بدست آمده از رگرسیون چند متغیره خطی مشخص گردید که ارتباط بین شاخص فشردگی و نسبت پوکی اولیه خاک، به تنهایی، نسبت به مجموع پارامترهای فیزیکی نتایج رضایت بخش تری می‌دهد. از طرفی با توجه به فعالیت‌های صورت گرفته در گذشته توسط محققین مختلف از جمله کوپولا (Koppula:1981) ضریب رگرسیون بدست آمده مناسب بوده و نتایج خوبی حاصل شده است. معادله رگرسیونی چند متغیره خطی بین C_c و دیگر پارامترهای فیزیکی به شکل زیر می‌باشد:

$$C_c = -0.023 + 0.001w_l + 0.271e_0 \quad (5)$$

$$R^2 = 48\%$$

۴- نتایج رگرسیون به روش منحنی برازش

روش منحنی برازش فقط می‌تواند بین یک متغیر وابسته و یک متغیر مستقل رابطه‌ای برقرار کند؛ از این رو، روش‌های مختلف رگرسیونی در این خصوص مورد تحلیل آماری قرار گرفتند. بر اساس نتایج بدست آمده، بهترین همبستگی آماری،

در این جدول مشاهده می‌گردد که حداقل و حداکثر اندیس فشردگی ۰/۱۳۴ و ۰/۳۴ می‌باشد. از طرفی حداقل و حداکثر شاخص خمیری، ۷/۴۷ و ۲۸/۶۱ درصد و حداقل و حداکثر رطوبت حد روانی ۲۶/۵ و ۵۲ درصد است. بنابراین، با توجه به مقادیر یاد شده و نمودار A کاساگرانده (Casagrande:1939)، نمونه‌ها رس با خاصیت خمیری کم تا متوسط هستند.

با توجه به اعداد محاسبه شده برای نسبت پوکی اولیه خاک، حداقل ۰/۵۳ و حداکثر ۰/۹۵، می‌توان دریافت که خاک‌های چسبنده منطقه مورد مطالعه عموماً خاک‌های فشرده، با نسبت پوکی اولیه پایین می‌باشند؛ بنابراین میزان کل نشست تحکیمی اولیه این خاک‌ها چندان بالا نیست. در ادامه، نتایج رگرسیون آماری برای مشخص کردن بیشترین همبستگی آماری بین شاخص فشردگی و دیگر خصوصیات فیزیکی خاک آمده است.

۳- نتایج رگرسیون خطی

شیوه برآورد در روش‌های رگرسیونی، روش کمترین مربعات است. بهترین معادله برازنده خطی بین n مجموعه مشاهدات $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ به شکل زیر است:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad (2)$$

در این رابطه β_0 و β_1 ضرایب ثابت و ε_i انحراف از مقدار واقعی می‌باشد. رگرسیون خطی بین دو متغیر به مفهوم تعیین ضرایب β_0 و β_1 است؛ به طوری که، مجموع انحراف‌ها، $\sum \varepsilon_i^2$ ، حداقل باشد.

با توجه به توضیحات بالا، بین C_c صحرایی اندازه‌گیری شده در این تحقیق و هر یک از پارامترهای فیزیکی برآورد شده و همچنین مجموعه‌ای از پارامترهای فیزیکی، ارتباط آماری از

عموماً رس با خاصیت خمیری کم تا متوسط بودند. بنابراین در بازسازی منحنی e - $\log \sigma'$ و استخراج منحنی بکر صحرایی، از روش ترزاقی و پک (Terzaghi and Peck:1967) و همچنین روش اشمرتمن (Schmertman:1953) استفاده گردید.

۱- حداقل و حداکثر شاخص فشردگی صحرایی $0/134$ و $0/34$ و نسبت پوکی اولیه خاک، حداقل $0/53$ و حداکثر $0/95$ می‌باشد، بنابراین می‌توان دریافت که پتانسیل نشست تحکیمی اولیه خاک‌های چسبنده منطقه مورد مطالعه چندان بالا نیست.

۲- معادله رگرسیون خطی C_c و e_0 بر اساس دلایل ذکر شده در قسمت‌های قبل، به عنوان بهترین معادله C_c برای این منطقه معرفی می‌شود.

منابع

- [۱] ابن جلال، رضا و شفافی بجستان، محمود (۱۳۸۳) " اصول نظری و عملی مکانیک خاک " چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز ، ۷۲۹ صفحه.
- [۲] اطمینانی، اردشیر، مترجم (۱۳۸۲) " اصول مهندسی ژئوتکنیک، مکانیک خاک " ویرایش پنجم، نشر کتاب دانشگاهی ، ۶۲۸ صفحه.
- [۳] احدیان، جواد (۱۳۸۳) " برآورد شاخص فشردگی با استفاده از خصوصیات فیزیکی خاک در منطقه اهواز ". پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۵۶ صفحه.
- [4] Bowles, J. W (1979). "Physical and Geotechnical Properties of Soil" New York: McGraw Hill.
- [5] Casagrande, A. and Fadum, R. E. (1939). "Notes on Soil Testing for Engineering Purposes", Harvard University Graduate school of Engineering Publication No. 8 coated by Braja, M, Das in fifth version (1999). "Principle of Geotechnical Engineering"
- [6] Gue, S. S. (1999). "Selection of Geotechnical Parameters for Design" Short course on soil Investigation and Design for Slope (SCOF99), 11 & 12th, Kuala Lumpur.
- [7] Helenelund, K. V. (1951). "One Consolidation and Settlement of Loaded Soil – Layers", P. 31, Helsingfors.

بین C_c و e_0 با روش رگرسیون نمایی بدست آمد که معادله آن به شرح زیر است:

$$\ln C_c = -2.687 + 1.405e_0 \quad (۶)$$

$$R^2 = 50.6\%$$

معادله بالا نسبت به معادله‌های خطی ارائه شده از دقت بالاتری برخوردار است، ولی، به دلایل زیر رابطه خطی شاخص فشردگی، رابطه (۴)، نسبت به معادله‌های (۵) و (۶) ارجح می‌باشد:

- ۱- بر اساس تحلیل تئوری نیشیدا (Nishida:1956) ارتباط شاخص فشردگی و نسبت پوکی اولیه، خطی است.
- ۲- رابطه‌های خطی بسیار ساده‌تر از دیگر روابط می‌باشند.
- ۳- روابط تجربی ارائه شده در گذشته عموماً خطی بوده‌اند.
- ۴- تفاوت زیادی از نظر دقت، بین معادله‌های خطی و غیر خطی وجود ندارد.

۵ - نتیجه‌گیری

با توجه به آنچه که در این تحقیق گذشت، رابطه نهایی شاخص فشردگی با پارامترهای فیزیکی خاک در سه معادله (۴)، (۵) و (۶) خلاصه می‌شوند؛ البته، بر اساس دلایل ذکر شده، معادله خطی C_c ، معادله (۴)، برای منطقه مورد مطالعه به عنوان رابطه اصلی یا برتر پیشنهاد می‌گردد. همان طوری که دیده شد ضرایب این معادله با روابط تجربی دیگران، جدول (۱)، تفاوت دارد؛ بنابراین، مهندسیین طراح باید در محاسبات تقریبی نشست و استفاده از فرمول‌های تجربی گذشته با احتیاط عمل نموده و حتی‌الامکان در هر منطقه از روابط مربوط به آن منطقه استفاده کنند. خلاصه نتایج حاصل از این تحقیق را می‌توان در چند دسته زیر خلاصه کرد:

- ۱- با توجه به محاسبات تنش مؤثر درجا و تنش بیش تحکیمی با استفاده از روش کاساگراند (Casagrande:1936) بر روی نمونه‌های دست نخورده، این نمونه‌ها عموماً رس بیش تحکیم یافته بودند.
- ۲- اکثر نمونه‌ها دارای رطوبت حد روانی کمتر از ۵۰ درصد بودند؛ همچنین رطوبت حد روانی تعدادی از نمونه‌ها کمی بالاتر از ۵۰ درصد بود.
- ۳- باتوجه به رطوبت حد خمیری و روانی اندازه‌گیری شده، شاخص خمیری محاسبه شده و نمودار A کاساگراند، نمونه‌ها

- Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 10, 1349. Schmertmann, J. H. (1953). "Undisturbed Consolidation Behavior of Clays", Transactions, ASCE. Vol.120.1201.
- [14] Skempton, A. W. (1944). "Notes on the Compressibility of Clays," Quarterly Journal of the Geological Society of London, Vol. 100, PP. 119-135
- [15] Tan, Y. C & Gue, S.S. (2000) "Subsurface Investigation and Interpretation of Test Result for Foundation design in soft clay," Seminar on Ground Improvement - Soft Clay (SOGIS2000), 23rd & 24th, UTM, Kuala Lumpur.
- [16] Tan, Y.C & Gue, S.S. (2000) "Embankment over Soft Clay Design and Construction Control," Seminar on Geotechnical Engineering, 22 & 23 September, Penang.
- [17] Terzaghi, K, and Peck, R. B. (1967). "Soil Mechanic in Engineering Practice", John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [8] Hough, B.K (1957). "Basic soil Engineering", Ronald press, New York.
- [9] Koppula, S. D. (1981). "Statistical Estimation of compression Index," Geotechnical Testing journal, GTJODJ, Vol.4, No.2, PP. 68-73
- [10] Nie, N. H, Hull, C. H., Jenkins, J. G., Steinbrenner, K., and Bent. D. H. (1975). "Statistical package for the social sciences", McGraw Hill Book Co., New York.
- [11] Nishida, Y. (1956). "A Brief Note on Compression Index of Soil", Journal of the Soil Mechanics and Foundation Engineering Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Vol. 82, No. SM3, PP 1027-1-1027-14
- [12] Oswald, R.H (1980). "Universal Compression Index equation," Journal Geotechnical. Engineering Div. Am. Soc. Civil Engineering, 106, 1179-1199.
- [13] Rendon Herrero, O. (1983). "Universal Compression Index Equation". Discussion,