Archive of SID

نهمین کنگره ملّی مهندسی عمران، ۲۱ و ۲۲ اردیبهشت ماه ۱۳۹۵
دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

ارزیابی همبستگی بین ضریب فشردگی خاک و نسبت تخلخل اولیه

داود اکبری مهر[۱]، اسماعیل افلاکی[۲]

۱و۲- دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر

akbarimehr@aut.ac.ir

خلاصه

تعیین پارامترهای اولیه تراکم پذیری در خاک از جمله ضریب فشردگی (C_c) بااستفاده از آزمایش تحکیم مستلزم صرف وقت و هزینه بالایی می باشد. پارامترهای فیزیکی خاک پارمترهایی هستند که با آزمایش به سادگی و با هزینه کم محاسبه می شوند. در گذشته جهت تعیین پارامترهای تراکم پذیری خاک روابط مختلفی توسط محققین مختلف ارائه شده است. این روابط برای شرایط مختلفی ارائه شده و در شرایط مشابه قابل استفاده می باشند و در بسیاری از موارد روابط بومی شده اند. نتایج تحقیقات نشان می دهد همبستگی از نوع رگرسیون خطی یکی از روشهای مناسب در ایجاد این نوع همبستگی در تعیین ضریب فشردگی خاک می باشد. در این مقاله با استفاده از رگرسیون خطی همبستگی بین ضریب فشردگی خاک و نسبت تخلخل اولیه در خاکهایی با پلاستیسیته پایین جمع آوری شده از نقاط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج حاصل شده از این تحقیق همبستگی خوبی بین ضریب فشردگی خاک و نسبت تخلخل اولیه در خاکهای با پلاستیسیته پایین برقرار می باشد.

کلمات کلیدی: ضریب فشردگی، تراکم پذیری، آزمایش تحکیم، حدود اتربرگ

۱. مقدمه:

یکی از پارامترهای مهمی که از آزمایش تحکیم حاصل می شود، ضریب فشردگی خاک است. این پارامتر در ارزیابی تراکم پذیری خاک مورد استفاده قرار می گیرد. با استفاده از منحنی e-logp خاکهای ریزدانه در آزمایش تحکیم می توان این پارامتر را محاسبه نمود. با استفاده از پارامتر یاد شده نشست خاک ریزدانه قابل ارزیابی و محاسبه می باشد. آزمایش تحکیم پر هزینه و زمان بر می باشد. بنابراین اگر بتوان پارامتر ضریب فشردگی خاک را با استفاده از آزمایشات ساده تر و ارزان تر محاسبه نمود، حتی اگر این رابطه جهت تخمین اولیه نیز قابل استفاده باشد برای ما مطلوب است. نسبت تخلخل اولیه خاک از پارامترهای مهم خاک در زمینه ارزیابی تراکم پذیری می باشند. در این تحقیق با استفاده از انجام آزمایش در نمونه های مختلف، همبستگی بین ضریب فشردگی خاک و نسبت تخلخل اولیه مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج مطلوبی حاصل شده است.

۲. پیشینه تحقیق:

شیب قسمتی از منحنی e-logp حاصل از آزمایش تحکیم مطابق شکل ۱ ضریب فشردگی خاک نامیده می شود. این ضریب جهت محاسبه نشست تحکیمی خاکهای ریزدانه مورد استفاده قرار می گیرد. در یک خاک عادی تحکیم یافته، نشست کلی از رابطه ۱ محاسبه می شود:

$$S_t = \frac{C_c}{1+e_o} H \log \frac{P_o^{'} + \Delta P}{P_o^{'}} \qquad (۱)$$

---

[۱] دانشجوی دکتری ژئوتکنیک
[۲] دانشیار دانشکده عمران و محیط زیست

www.SID.ir

Archive of SID

در رابطه فوق، e_o نسبت تخلخل اولیه ، H ضخامت لایه، P'_o فشار موثر سربار و C_c ضریب فشردگی و S_t نشست کلی تحت سربار Δp می باشد.
آزمایش تحکیم یکی از آزمایشهای متعارف مکانیک خاک برای بررسی رفتار خاکهای ریزدانه رسی است. وجود ۲ ویژگی در این آزمایش سبب شده است محققین متعددی در طی سالیان متمادی در جستجوی ایجاد همبستگی بین پارامترهای حاصل از آزمایش تحکیم و سایر آزمایشهای مکانیک خاک باشند. یکی از این موارد که مهمترین عامل نیز می باشد، عامل زمان است. آزمایش تحکیم زمانبر بوده و یک آزمایش کامل تحکیم در حدود یک هفته به طول می انجامد. از طرفی این آزمایش جزء آزمایشهای پر هزینه می باشد. در طرف مقابل تعیین خصوصیات فیزیکی خاک به سرعت و از طرف دیگر با صرف هزینه پایین قابل تعیین هستند. پارامترهای مختلفی از جمله درصد رطوبت اولیه، نشانه خمیری، حد روانی، نسبت تخلخل اولیه، پوکی پارامترهایی هستند که برای پیش‌بینی مقدار ضریب فشردگی خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از مهمترین این پارامترها نسبت تخلخل اولیه می‌باشد. بنابراین در صورتی که بتوان رابطه بین پارامترهای حاصل از آزمایش تحکیم و پارامترهای فیزیکی خاک برقرار نمود حتی در صورتی که این روابط برای تقریب اولیه نیز مورد استفاده قرار گیرند، مطلوب است. روابط مختلفی بین ضریب فشردگی خاک و خصوصیات فیزیکی خاک از جمله نسبت تخلخل اولیه توسط محققین مختلف ارائه شده است که تعدادی از این روابط در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول شماره ۱- روابط تجربی موجود

مرجع	رابطه تجربی
Nishida (1956)[2]	$C_C = 0.54(e_0 - 0.35)$
Nishida (1956)[2]	$C_C = 0.5217(e_o - 0.2)$
Hough(1957)[3]	$C_C = 0.4049(e_o - 0.3216)$
Azzouz(1976)[4]	$C_C = 0.4(e_o - 0.25)$
Sridharan and Nagaraj (2000)[5]	$Cc = 0.008(LL - 12)$
Sridharan and Nagaraj (2000)[6]	$Cc = 0.014(PI + 3.6)$
Koumoto and Park 2004[7]	$\frac{Cc}{n_0} = 0.011Cc + 0.00269$
Aflaki and Akbarimehr (2008)[8]	$\frac{Cc}{e_0} = 0.58\frac{Cc}{n_0} + 0.0065$
افلاکی و اکبری مهر (۱۳۹۴)[۹]	$C_r = 0.5376\ C_C + 0.0085$

در این تحقیق با استفاده از مقادیر حاصل از آزمایش تحکیم بر روی نمونه خاکهای رسی برخی از مناطق استان تهران و همچنین با توجه به نتایج آزمایشهای فیزیکی همبستگیهایی ارائه شده است.

۳. مدل رگرسیون خطی:

روش رگرسیون خطی از روشهای آماری برای ارزیابی رابطه بین ۲ پارامتر است. این روش شامل دو گروه پارامتر می باشد. پارامترهای مستقل و پارامترهای وابسته. پارامترهای مستقل با استفاده از پارامترهای وابسته تعیین می شوند. معادله رگرسیون خطی بصورت رابطه ۲ می باشد:

$$y=ax+b \qquad (۲)$$

در رابطه فوق y پارمتر مستقل و x پارامتر وابسته است. هدف در رگرسیون خطی یافتن پارامترهای a و b می باشد. با استفاده از این روش بهترین خط نماینده داده ها با روش کمترین مجموع مربعات فواصل قائم بین خط و داده های موجود تعیین می شود[۱].

www.SID.ir

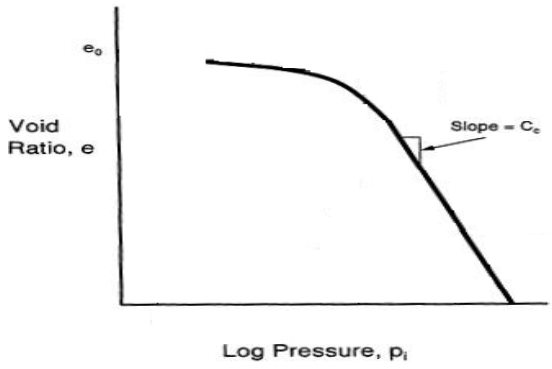
Archive of SID

ارزیابی همبستگی توسط پارامتر ضریب همبستگی (R^2) می باشد. این پارامتر بین صفر تا یک متغیر بوده و ضریب همبستگی نزدیک به یک همبستگی بهتری را نشان می دهد.

همبستگی با استفاده از رگرسیون خطی در مهندسی ژئوتکنیک نیز حائز اهمیت بوده و همبستگیهای متعددی با استفاده ازاین روش مورد بررسی قرار گرفته است. در این خصوص می توان به همبستگیهای ارائه شده جهت ارزیابی رفتار تراکم پذیری خاکهای عادی تحکیم اشاره نمود که تراکم پذیری خاک را نسبت به روابط موجود به خوبی ارزیابی می کند. از موارد دیگر می توان به تحقیقی اشاره نمود که نسبت باربری کالیفرنا (CBR) را با این روش ارزیابی نموده و بخوبی جواب گرفته اند [۱]. با توجه به گستردگی روابط موجود در خصوص ضریب همبستگی خاک به نظر می رسد استفاده از این روش جهت ایجاد همبستگی می تواند مفید واقع شود.

۳. مواد و روشها:

در این تحقیق از مناطق مختلف استان تهران نمونه هایی تهیه شده است. آزمایشات تحکیم انجام گرفته و نتایج آنها مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایشهای دیگری از جمله تعیین درصد رطوبت، تعیین وزن مخصوص، توده ویژه، درجه اشباع و حدود اتربرگ (حد روانی، حد خمیری و حد انقباض) با استفاده از استانداردهای ASTMانجام شده است و جهت ارزیابی خصوصیات خاک مورد استفاده قرار گرفته است. ضریب فشردگی خاک با استفاده از آزمایش تحکیم قابل محاسبه می باشد. آزمایش تحکیم با استفاده از روش استاندارد و معمول آن بر اساس استاندارد ASTM 243 بر روی نمونه های دست نخورده انجام شده است. از رینگ ۵۰ میلیمتری با عمق ۲۰ میلیمتر جهت انجام آزمایش استفاده شده است. بالا و پایین نمونه سنگهای متخلخل و کاغذ فیلتر قرار گرفته و جهت اشباع کامل، نمونه ها به مدت ۲۴ ساعت در آب قرار گرفته اند. در مرحله بعد فشار قائم به نمونه وارد شده و تغییر مکان قرائت شده است. فشارهای مختلف ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ کیلوپاسکال به ترتیب و هر فشار به مدت حدود ۲۴ ساعت به نمونه وارد شده و در هر مرحله قرائت ها انجام گرفته است. پس از انجام آزمایشات، ضریب فشردگی خاک با اندازه گیری شیب نمودار لگاریتم فشار در برابر نسبت تخلخل به طریقی که در شکل ۱ نشان داده شده است حاصل می شود.



شکل۱- روش تعیین مقدار C_c

۴. ارزیابی نتایج با رگرسیون خطی:

در جدول شماره ۲ حدود پارامترهای ارزیابی شده نشان داده شده است. با توجه به این جدول مشاهده می شود که مقدار نسبت تخلخل اولیه برای خاک مورد نظر و برای نمونه های دست‌نخورده از ۰.۵۸ تا۱.۰۸ متغیر است. همچنین مشاهده می شود که نسبت تخلخل برای نمونه های دست‌خورده از مقدار ۰.۵۳ تا ۰.۸۳ متغیر می باشد. ضریب فشردگی خاک برای نمونه های دست‌نخورده از حدود ۰.۱۴ تا حدود ۰.۳۱ متغیر است. برای نمونه های دست‌نخورده ضریب فشردگی خاک از حدود ۰.۱۳ تا ۰.۲۱ متغیر است.

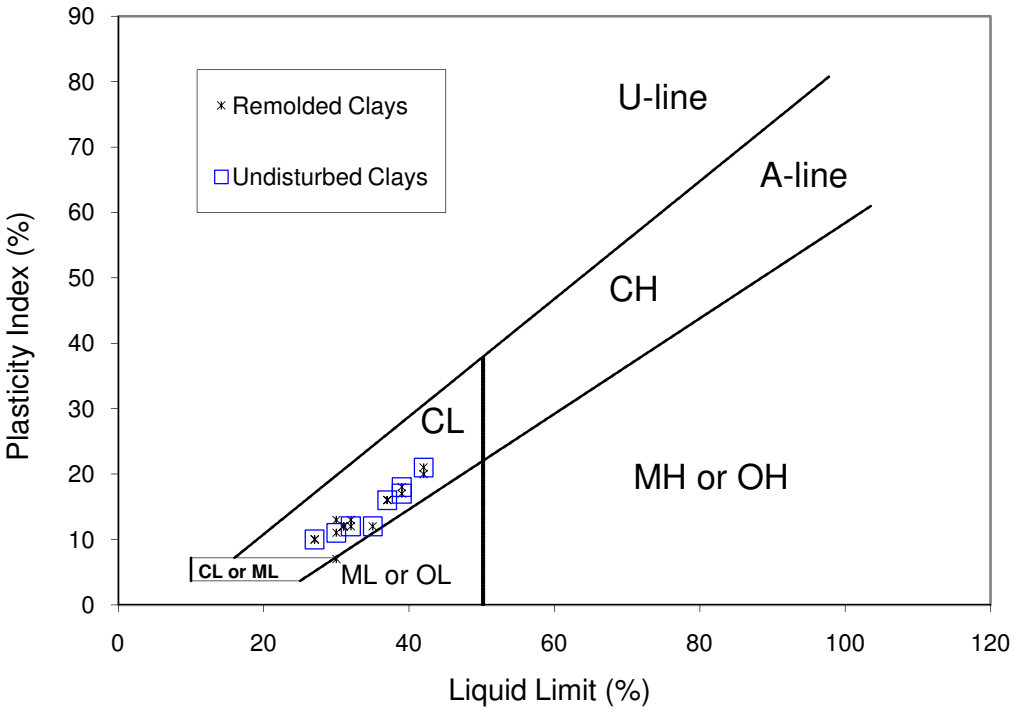
www.SID.ir

Archive of SID

جدول شماره ۲-حدود متغیرها

متغیر	e_o (remolded)	e_o (undisturbed)	C_c (remolded)	C_c (undisturbed)
کمینه	۰.۵۳	۰.۵۸	۰.۱۳	۰.۱۴
بیشینه	۰.۸۳	۱.۰۸	۰.۲۱	۰.۳۱

با توجه به اهمیت نمودار خمیری کاساگرانده در ارزیابی های مربوط به خاکهای رسی، در شکل شماره ۲ این نمودار در خاک منطقه مورد ارزیابی نشان داده شده است. با توجه به نمودار مشاهده می شود خاکهای مورد بررسی در منطقه در حد خاکهای از نوع CL قرار دارند.



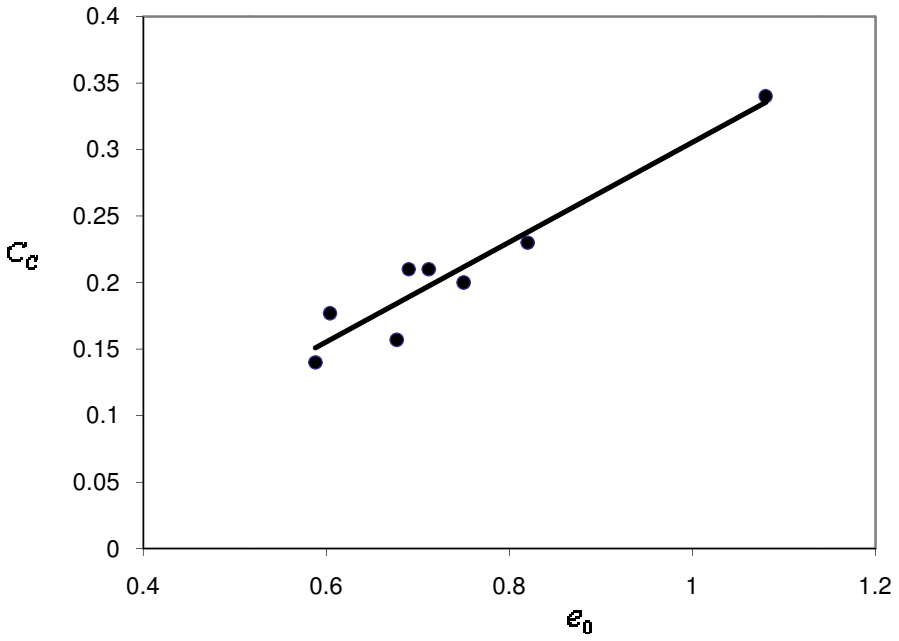
شکل۲- نمودار خمیری کاساگرانده مربوط به داده های مورد آزمایش

جهت ارزیابی همبستگی بین ضریب فشردگی خاک و نسبت تخلخل اولیه، همبستگی بین این دو پارامتر برای نمونه های دست‌نخورده در شکل ۳ نشان داده شده است. رابطه زیر برای این همبستگی برقرار می باشد:

$$C_c=0.375e_o-0.07\ ,\quad R^2=0.92 \qquad (۲)$$

www.SID.ir

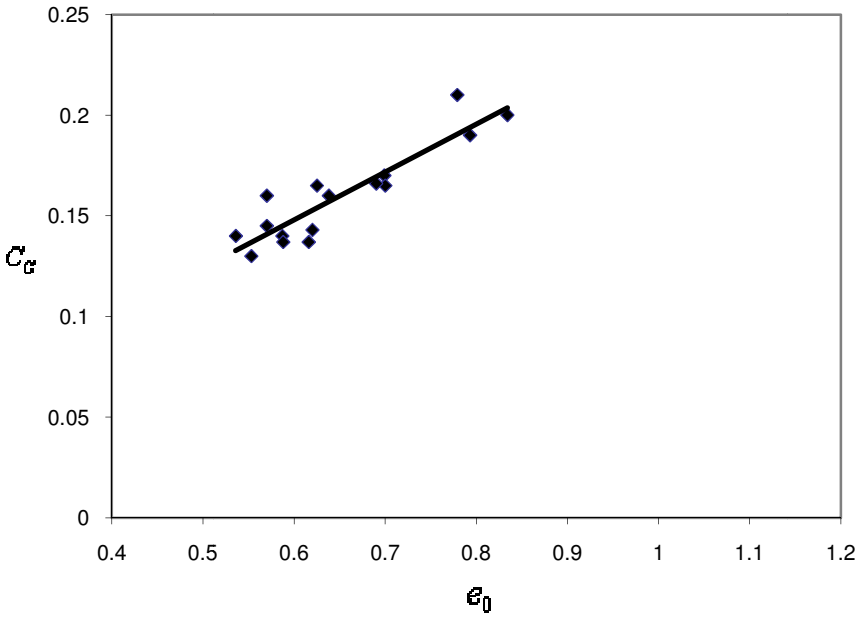
Archive of SID



شکل۳- همبستگی بین C_c و e_o برای نمونه دستنخورده

جهت ارزیابی همبستگی بین ضریب فشردگی خاک و نسبت تخلخل اولیه در نمونه های دست‌خورده، نمودار مربوطه در شکل شماره ۴ نشان داده شده است. این همبستگی در مقایسه با همبستگی در خاک دست‌نخورده از دقت پایین تری برخوردار بوده و رابطه زیر برقرار می باشد:

$$C_C=0.2378e_0+0.0053 , \quad R^2=0.82 \qquad (۳)$$



شکل٤- همبستگی بین C_c و e_o برای نمونه دست‌خورده

www.SID.ir

Archive of SID

۵. نتیجه گیری:

ضریب فشردگی خاک پارامتری است که جهت ارزیابی تراکم پذیری خاک مورد استفاده قرار می گیرد. این پارامتر از آزمایش تحکیم حاصل می شود. همبستگی بین ضریب فشردگی خاک و نسبت تخلخل اولیه در مقالات متعددی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است، در این تحقیق با استفاده از خاک ریزدانه منطقه تهران تعدادی آزمایش تحکیم انجام شده و پارامترها ارزیابی شده است. با استفاده از نمودار خمیری کاساگراند مشاهده می شود که در خاک مورد ارزیابی که از نوع CL یعنی خاک ریزدانه با پلاستیسیته پایین می باشد، همبستگی خوبی بین ضریب فشردگی خاک و نسبت تخلخل اولیه وجود دارد.

جهت ارزیابی رابطه بین ضریب فشردگی خاک در نمونه های دستخورده و دستنخورده ۲ رابطه پیشنهاد شده است که در خاکهای با پلاستیسیته پایین قابل استفاده می باشند.

۶. مراجع:

1- Bartlett S. F., Lee Hap Sok, (2004), Estimation of Compression Properties of Clayey Soils of Salt Lake Utah. Utah Department of Transportation Research Division. Available on line at www.civil.utah.edu/bartlett/CVEEN6340/compressionratio.pdf

2-Nishida,Y. (1956), “A Brief Note on Compression Index of Soils”, Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 82, SM3, 1027-1-1027-14, 195

3-Hough, B.K.,(1957),’’Basic Soils Engineering’’, The Ronald Press Company, New York, 114-115, 1957

4-Azzous, A.S., Krizek, R.J., and Corotis, R.B., “Regression Analysis of Soil Compressibility”, Soils and Foundations, 16(2), 19-29, 1976.

5-Sridharan, A., and Nagaraj, H.B. 2000. Compressibility Behaviour of Remoulded, Fine-Grained Soils and Correlation With Index Properties. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 37, pp. 712-722.

6- Koumoto, T. and Park, J. H. (2004) “New compression index equation” Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol.130, No. 2, pp. 223-226

7- Aflaki, E., Akbarimehr, D. "Equations for estimation of soil compressibility", 8th international Congress on Advances in Civil Engineering, 15-17 Septamber 2008, Eastern Mediterranean University, Famagusta, North Cyprus.

۸-اسماعیل افلاکی، داود اکبری مهر، (۱۳۹۴)، " ارزیابی همبستگی بین ضریب فشردگی خاک و نسبت فشردگی خاک"، دومین کنفرانس ملی مکانیک خاک و مهندسی پی، دانشگاه صنعتی قم، قم، ایران، ۲۲-۲۳ مهر.

www.SID.ir