Archive of SID

مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی
جلد چهاردهم، شماره اول، فروردین ـ اردیبهشت ۱۳۸٦
www.sid.ir
www.magiran.com/jasnr

تعیین ضریب فشردگی خاک‌های رسی نرم با استفاده از مشخصات فیزیکی آنها جهت استفاده در طراحی سازه‌های آبیاری

***نادر عباسی[۱]، علی فاخر[۲] و حسن رحیمی[۳]**

[۱]دانشجوی دوره دکتری و عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، [۲]عضو هیات علمی گروه عمران دانشگاه تهران،
[۳]عضو هیات علمی گروه آبیاری دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۸۳/٦/۱۸ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۳/۳۰

چکیده

تعیین مقدار نشست ناشی از تحکیم لایه‌های رسی اشباع یکی از مسائل مهم و غیرقابل اجتناب در طراحی و احداث سازه‌های آبیاری نظیر کانال‌ها، لوله‌ها، بندها و نظایر آن می‌باشد. پتانسیل نشست تحکیمی لایه‌های رسی با ضریبی به نام ضریب فشردگی (C_c) ارزیابی می‌گردد که مقدار این ضریب تابع عوامل مختلفی از جمله خواص فیزیکی خاک‌ها بوده و معمولاً براساس نتایج آزمایش تحکیم (ادومتری) تعیین می‌گردد. در این تحقیق به‌منظور بررسی چگونگی تأثیر خصوصیات فیزیکی خاک‌های رسی نرم در مقدار ضریب فشردگی آنها، آزمایش تحکیم برروی ۵ نوع خاک با خواص خمیری و رطوبت‌های اولیه متفاوت انجام گردید. براساس نتایج به‌دست آمده از این آزمایش‌ها و تحلیل آماری صورت گرفته، مشخص گردید که مقدار ضریب فشردگی در سطح معنی‌داری متأثر از دو عامل خواص خمیری و شرایط اولیه نمونه بوده و در نتیجه روابط تجربی متکی به تنها یک مشخصه از خاک، برای تخمین ضریب فشردگی از دقت کمتری برخوردار می‌باشند. همچنین در این تحقیق با استفاده از روش رگرسیون خطی چند متغیره یک مدل خطی برای تعیین ضریب فشردگی ارائه و با سایر روش‌های موجود مقایسه گردید.

واژه‌های کلیدی: ضریب فشردگی، تحکیم یک بعدی، نشست خاک، رس نرم

مقدمه

احداث سازه‌های آبی به منظورهای مختلف بویژه در بخش کشاورزی و در شبکه‌های آبیاری و زهکشی به‌منظور استفاده بهینه از منابع آب و نهایتاً افزایش تولید از ضروریات اجتناب‌ناپذیر می‌باشد ولی اغلب این سازه‌ها که بیشتر با صرف وقت و هزینه‌های زیاد احداث می‌شوند در مراحل مختلف بهره‌برداری دچار مسائل و مشکلات عدیده‌ای می‌گردند که متأسفانه در اثر این مشکلات اهداف اولیه این طرح‌ها مورد مخاطره قرار می‌گیرند. این مسائل که اغلب به‌صورت تخریب سازه‌ها بروز می‌نمایند معلول عوامل متعددی می‌باشند. نتایج مطالعات و تحقیقات انجام شده در این خصوص

* - مسئول مکاتبه: nader_iaeri@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

نشان داده‌اند که عوامل مربوط به شرایط ژئوتکنیکی بستر این گونه سازه‌ها بیشتر از سایر موارد نمود داشته و عدم توجه به آنها نه تنها باعث تخریب سازه‌ها در سال‌های اول بهره‌برداری گردیده، بلکه امکان اصلاح و بازسازی را مشکل و غیراقتصادی می‌نماید (رحیمی، ۱۳۷۹). یکی از مسائل مهم و غیرقابل اجتناب در طراحی و احداث تأسیسات و ابنیه‌های مربوط به کانال‌های آبیاری، تعیین مقدار و چگونگی نشست خاک زیر بستر سازه می‌باشد. نشست ایجاد شده در لایه خاک معمولاً در قالب دو نوع نشست الاستیک (آنی) و نشست ناشی از تحکیم (دراز مدت) ارزیابی می‌گردند. نشست ناشی از تحکیم لایه‌های خاک، در خاک‌های رسی بسیار قابل ملاحظه بوده و به دلیل ماهیت تدریجی و طولانی مدت آن به‌عنوان یک خطر برای سازه‌های آبیاری محسوب می‌گردد. از این رو، تعیین مقدار نشست تحکیمی از گام‌های اساسی و مهم در ارزیابی‌های ژئوتکنیکی سازه‌های آبی می‌باشد. همچنین نشست تحکیمی در اثر برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی نیز بروز می‌نماید که ممکن است باعث ایجاد خسارات جبران‌ناپذیری گردد. بدین ترتیب در مدیریت بهره‌برداری از چاه‌های کشاورزی نیز ارزیابی و مطالعه نشست تحکیمی نقش بسیار مهم و مؤثری را ایفا می‌نماید.

در مسائل عملی برای محاسبه مقدار نشست تحکیمی از رابطه ۱ استفاده می‌گردد (ابن جلال و همکاران، ۱۳۷۱):

$$\Delta H = C_c \frac{H}{1+e_0} Log \frac{P+\Delta P}{P} \qquad (۱)$$

که درآن:

ΔH = مقدار نشست تحکیمی، H = ضخامت لایه مورد نظر، P = تنش مؤثر قبل از بارگذاری، ΔP = اضافه تنش ایجاد شده بر اثر اعمال بار، e_0 نسبت پوکی اولیه و C_C ضریب فشردگی خاک می‌باشند. در این رابطه e_0 و C_c بی‌بعد بوده و بعد سایر پارامترها به دلخواه ولی متناسب انتخاب می‌شوند. برای مثال، اگر واحد فشار ($p, \Delta p$) برحسب Kg/cm^2 باشد واحد ضخامت لایه و نشست برحسب cm خواهد بود ولی اگر فشار برحسب kN/m^2 انتخاب شود واحد نشست و ضخامت متر m خواهد بود.

بدین ترتیب ملاحظه می‌گردد که برای تعیین مقدار تحکیم شناخت سه عامل پروفیل لایه‌های خاک، تنش اعمال شده و مشخصات تحکیمی خاک ضروری می‌باشند که در این میان مهمترین مسئله برآورد مناسب مشخصات تحکیمی خاک‌های ریزدانه یعنی ضریب فشردگی می‌باشد. ضریب فشردگی شیب منحنی تغییرات نسبت پوکی ـ لگاریتم تنش مؤثر بوده و بیانگر پتانسیل کاهش نسبت پوکی خاک به ازای تغییر معین ایجاد شده در تنش مؤثر وارده به خاک می‌باشد و به‌عبارت دیگر نشان دهنده پتانسیل نشست تحکیمی خاک است. به‌طوری که هرچه مقدار این ضریب بزرگ‌تر باشد میزان نشست تحکیمی ایجاد شده در آن خاک بیشتر خواهد بود.

مشخصات تحکیمی خاک‌ها از جمله ضریب فشردگی (C_C) معمولاً با انجام آزمایش تحکیم و با استفاده از تئوری ترزاقی (۱۹۴۳) تعیین می‌گردند. از آنجایی که آزمایش تحکیم بسیار وقت‌گیر و پر هزینه بوده و شرایط تهیه نمونه آزمایشی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نتایج به‌دست آمده دارد و همچنین با توجه به این که تئوری مورد استفاده در این آزمایش برای تعیین ضریب تحکیم خاک‌های رسی نرم مناسب نمی‌باشد (عباسی و همکاران، ۱۳۸٤)، محققین در طول سال‌های اخیر سعی نموده‌اند تا تأثیر عوامل مختلف بر این ضرائب را مشخص نموده و بدون انجام آزمایش مقدار آنها را با استفاده از سایر مشخصات فیزیکی خاک برآورد نمایند. برخی از تحقیقات برجسته انجام شده در خصوص ارائه رابطه تجربی برای تعیین ضریب فشردگی به شرح زیر می‌باشد:

اسکمپتون (۱۹٤٤) برای اولین بار رابطه تجربی زیر را برای تخمین ضریب فشردگی خاک‌ها ارائه نمود:

$$C_c = 0.007(LL-10) \qquad (۲)$$

محققین دیگری نیز در طول سال‌های گذشته روابط متعددی را براساس خواص مختلف خاک‌ها و برای مناطق مختلف ارائه نموده‌اند که بعضی از این روابط در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- روابط ارائه شده توسط محققین مختلف در خصوص ضریب فشردگی خاک‌های رسی.

مرجع	کاربرد	رابطه
کوزولینو[1]، ۱۹۶۱	رس‌های برزیل	$C_c = 0.0046(LL-9)$
ترزاقی و پک[1]، ۱۹۶۷	رس‌های عادی تحکیم یافته	$C_c = 0.009(LL-10)$
ورث و وود[1]، ۱۹۷۸	رس‌های عادی تحکیم یافته	$C_c = 0.5 I_p G_s$
کاپولا[1]، ۱۹۸۱	همه رس‌ها	$C_c = 0.001(\omega_n - 5)$
هررو[1]، ۱۹۸۳	همه رس‌ها	$C_c = 0.01\omega_n$
باولز[1]، ۱۹۸۹	همه رس‌ها	$C_c = 0.15e_0 + 0.0107$
برلند[1]، ۱۹۹۰	همه رس‌ها	$C_c = 0.256e_L - 0.04$
سوشیدا[1]، ۱۹۹۱	رس‌های توکیو	$C_c = 0.009LL$
ناگاراج[1] و همکاران، ۱۹۹۵	مخلوط ماسه ورس	$C_c = 0.27e_L$
شریدهاران[1] و ناگاراج، ۲۰۰۰	همه رس‌ها	$C_c = 0.007(I_s + 18)$
کوموتو[1] و پارک[1]، ۱۹۸۸	رس‌های طبیعی	$C_c = 0.302(e_0 - e_p) + 0.064$
پارک وکوموتو، ۲۰۰۴	رس‌های طبیعی	$C_c = n_0 /(555.5 - 6.05n_0)$

در این تحقیقات خواص فیزیکی متعددی به‌منظور تخمین ضریب فشردگی مورد استفاده قرار گرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به حد روانی (LL)، رطوبت طبیعی نمونه (ω_n)، نسبت پوکی اولیه در محل (e_0)، تخلخل اولیه (n_0)، دامنه خمیری (I_p)، شاخص انقباض (I_s)، نسبت پوکی در حد روانی (e_L)، چگالی ذرت جامد خاک (G_s) و نسبت پوکی در حد خمیری (e_p) اشاره نمود.

گیل لیم یون و همکاران (۲۰۰۴) رابطه بین ضریب فشردگی و مشخصات فیزیکی خاک‌های رسی سواحل کره را مورد بررسی قرار داده‌اند. براساس نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مشخص گردید روابط تجربی ارائه شده در مراجع قابل استفاده برای خاک‌های رسی سواحل کره نمی‌باشند و تنها روابطی که متکی بر درصد رطوبت طبیعی خاک هستند می‌توانند ضریب فشردگی را با دقت مناسب پیش‌بینی نمایند.

آیدلیک و همکاران (۱۹۹۹) با انجام آزمایش تحکیم با کرنش زیاد برروی نمونه‌های آزمایشی به‌صورت دوغاب و با رطوبت‌های اولیه متفاوت نشان دادند که تغییرات نسبت پوکی با تنش مؤثر به ازای مقادیر مختلف نسبت پوکی اولیه یکسان نمی‌باشد ولی تغییرات تفاضل نسبت پوکی (Δe) از نسبت پوکی اولیه (e_0) نسبت به تنش‌های مختلف خطی بوده و رابطه آن به شرح زیر است:

$$\Delta e = 1.402 Log(\sigma') - 0.058 \qquad (۳)$$

که در آن σ' تنش مؤثر برحسب کیلوپاسکال می‌باشد.

تنوع روابط تجربی ارائه شده در خصوص تعیین ضریب فشردگی بیانگر این حقیقت است که هیچ یک از این روابط نمی‌توانند از دقت و قابلیت اعتماد مناسبی برخوردار باشند. در این تحقیق به‌منظور ارزیابی کارایی روابط تجربی موجود و همچنین ارائه رابطه تجربی مناسب‌تر، چگونگی تأثیر مشخصات فیزیکی خاک‌ها در مقدار ضریب فشردگی با انجام آزمایش‌های مختلف تحکیم یک بعدی برروی نمونه‌های خاک مختلف، مورد مطالعه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه‌های آزمایشی: اصولاً خواص فیزیکی خاک‌ها تابع دو گروه عوامل ترکیبی و محیطی است. عوامل ترکیبی شامل نوع و مقدار کانی‌های تشکیل‌دهنده، شکل، اندازه و نحوه توزیع اندازه ذرات و همچنین مشخصات شیمیایی آب منفذی بوده و مستقل از دست خوردگی،

www.SID.ir

Archive of SID

جابجایی و میزان رطوبت خاک می‌باشند. این عوامل در خاک‌های ریزدانه بویژه رس‌ها از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و تعیین کننده خواص خمیری آنها می‌باشند که این خواص با حدود اتربرگ[1] ارزیابی می‌گردند. گروه دیگر یا عوامل محیطی نیز برای تعیین دقیق‌تر خواص خاک‌ها ضروری می‌باشند که از جمله آنها می‌توان به میزان رطوبت، وزن واحد حجم، نسبت پوکی[2] و ساختمان خاک اشاره نمود که در حقیقت بیانگر وضعیت ظاهری می‌باشند. از آنجایی که هدف این پژوهش بررسی و ارزیابی نقش مشخصات فیزیکی نمونه‌های مورد آزمایش در ضریب فشردگی خاک‌های رسی نرم بود، در انتخاب نمونه‌های خاک سعی گردید که نمونه‌های مورد بررسی از نظر شیمیایی نرمال بوده و عاری از نمک‌های محلول، مواد آلی، گچ و آهک باشند. بدین منظور ۵ نمونه خاک با خصوصیات شیمیایی عادی و حد روانی‌های متفاوت و از اعماق پایین‌تر از عمق خاک زراعی انتخاب گردیدند. همچنین به‌منظور ارزیابی تأثیر عوامل محیطی، هر یک از خاک‌ها با ۳ وضعیت اولیه متفاوت مورد آزمایش قرار گرفتند. از آنجایی که رطوبت خاک به تنهایی بیانگر وضعیت مقاومتی خاک نمی‌باشد و همچنین با توجه به این که خاک‌های مختلف در رطوبت معادل حد روانی و یا نسبتی از آن، دارای وضعیت مقاومتی یکسانی می‌باشند (برلند، ۱۹۹۰)، در این پژوهش از نسبت رطوبت اولیه به حدروانی ($\frac{\omega}{LL}$) برای بیان شرایط اولیه نمونه استفاده گردید که برای هر یک از این نسبت‌ها مقدار نسبت پوکی نمونه محاسبه و به‌عنوان متغیر عوامل محیطی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین صورت که هر نمونه خاک با سه مقدار رطوبت اولیه؛ برابر، بیشتر و کمتر از حد روانی آن، به‌طور مصنوعی در آزمایشگاه ساخته شد و پس از محاسبه نسبت پوکی اولیه، مورد آزمایش تحکیم یک بعدی قرار گرفتند.

1- Atterberg Limits
2- Void Ratio

آزمایش‌های شناسایی: قبل از انجام آزمایش‌های اصلی ابتدا به‌منظور شناسایی اولیه و طبقه‌بندی نمونه‌ها، کلیه مشخصات فیزیکی و شناسایی نمونه‌های مورد بررسی به شرح زیر تعیین گردیدند:

- دانه‌بندی نمونه‌ها با الک و هیدرومتری
- تعیین وزن مخصوص حقیقی
- تعیین حدود اتربرگ
- طبقه‌بندی نمونه‌ها
- تعیین خصوصیات شیمیایی

از آنجایی که آزمایش‌های یاد شده مطابق با استاندارد ASTM[3] و به‌صورت معمول در آزمایشگاه‌های مکانیک خاک انجام می‌شوند، در این پژوهش از پرداختن به جزئیات مربوط به روش انجام آنها خودداری و فقط به ذکر شماره استانداردهای مربوطه در لیست مراجع اکتفا گردیده است.

آزمایش تحکیم یک بعدی: در این تحقیق مشخصات تحکیمی نمونه‌های مورد بررسی با استفاده از روش B آزمایش تحکیم استاندارد (ASTM D 2435-96) که طی آن نمونه در جهت جانبی محصور شده و تغییر شکل و همچنین زهکشی نمونه فقط در امتداد قائم صورت می‌گیرد، تعیین گردیدند. در این آزمایش میزان تغییر شکل نمونه که معمولاً با نسبت پوکی ارزیابی می‌گردد، نسبت به تنش‌های اعمال شده و همچنین نسبت به زمان به ازای هر افزایش تنش قرائت و یادداشت می‌گردد. سپس با ترسیم منحنی تغییرات نسبت پوکی در مقابل لگاریتم تنش مؤثر، مقدار ضریب فشردگی که همان شیب این منحنی می‌باشد، تعیین می‌گردد. شکل ۱ دستگاه تحکیم یک بعدی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد. از آنجایی که این آزمایش نیز مطابق با استاندارد و به‌صورت معمول در آزمایشگاه‌های مکانیک خاک انجام می‌شود در این پژوهش از پرداختن به جزئیات مربوط به روش انجام آن خودداری می‌گردد.

3- American Standards for Testing Materials

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

قبل از انجام آزمایش تحکیم، نمونه‌های خاک مورد مطالعه تحت آزمایش‌های شناسایی و اولیه نظیر دانه‌بندی, حدود اتربرگ, وزن مخصوص حقیقی، تعیین مواد آلی، تجزیه شیمیایی و طبقه‌بندی قرار گرفتند که نتایج به‌دست آمده از این آزمایش‌ها در جدول ۲ ارائه گردیده‌اند. نمونه‌های خاک علاوه‌بر طبقه‌بندی براساس مثلث بافت، با استفاده از سیستم طبقه‌بندی متحده[1] (USCS) نیز طبقه‌بندی گردیدند که بر این اساس نمونه شماره ۱ از نوع CH (رس با پلاستیسیته بالا) و بقیه نمونه‌ها از نوع CL (رس با پلاستیسیته پایین) تشخیص داده شدند. همان‌طوری که قبلاً نیز اشاره گردید نمونه‌های مورد بررسی از اعماق پایین‌تر از خاک زراعی تهیه شده بودند و نتایج آزمایش‌های انجام شده نیز نشان دادند که همه نمونه‌ها عاری از مواد آلی هستند.

پس از انجام آزمایش‌های شناسایی، به‌منظور تعیین ضریب فشردگی نمونه‌ها، آزمایش تحکیم استاندارد معمولی (ادومتری) برروی هر یک از خاک‌های مورد بررسی با شرایط اولیه مختلف انجام گرفت. سپس با استفاده از نتایج به‌دست آمده، منحنی‌های تغییرات نسبت پوکی در مقابل تنش مؤثر برای هر یک از نمونه‌های آزمایشی ترسیم گردیدند. شکل ۲ یک نمونه از این منحنی‌ها را برای خاک شماره ۱ با سه وضعیت رطوبت اولیه ۱/۵، ۱/۱ و ۰/۵ برابر حد روانی آن نشان می‌دهد. همچنین چگونگی تغییرات نسبت پوکی در مقابل تنش مؤثر برای نمونه‌های مختلف با شرایط اولیه یکسان ولی مشخصات خمیری (حد روانی) متفاوت ترسیم گردیده‌اند که یک نمونه از این منحنی‌ها برای نمونه‌های با رطوبت اولیه حدود ۱/۳ برابر حد روانی آنها ($\frac{w}{LL}=1.3$) در شکل ۳ ارائه گردیده است. همانطوری که در شکل‌های ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود، منحنی تغییرات نسبت پوکی (e) به ازای تنش مؤثر در مقیاس نیمه لگاریمی برای خاک‌های رسی نرم همواره خطی بوده و شیب این خط که ضریب فشردگی نامیده می‌شود، تابعی از مشخصات خمیری (حد روانی) و شرایط اولیه نمونه می‌باشد. مقادیر شیب (C_c) و ضریب تبیین (r^2) مربوط به خطوط رسم شده برای همه نمونه‌های آزمایشی به همراه مشخصات فیزیکی آنها نظیر نسبت پوکی اولیه (e_0)، مقدار نسبت رطوبت اولیه به حد روانی ($\frac{w}{LL}$) و حد روانی (LL) در جدول ۳ ارائه گردیده‌اند.

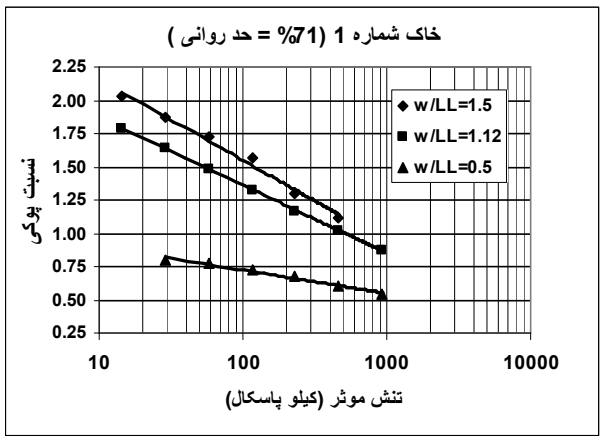
جدول ۲- مشخصات فیزیکی خاک‌های مورد بررسی.

شماره نمونه	محل نمونه‌برداری	G_s	pH	آنیون وکاتیونهای محلول (meq/lit)				حدود اتربرگ(٪)			طبقه‌بندی (مثلث بافت)
				Na^+	$Ca^{+2}+Mg^{+2}$	So_4^{2-}	Hco_3^-	LL	PL	SL	
۱	اکستر[1](انگلستان)	۲/۷۵	۷/۰٤	۲/۵۹	۱۲/۰	٦/٤۳	۲/۰	۷۱	۳۱	۲٦	رس
۲	مغان	۲/۷۵	۷/٦۱	۹/٦	۱۰/۰	۱۲/۵	۳/٦	٤۲	۲٤	۱٦/۵	رس سیلتی
۳	پلی موث[1] (انگلستان)	۲/۷۰	۷/٤۱	۹/٦۱	۱۲/۰	۸/٤٤	٤/۰	۳۸	۲۳	۱٤	لوم رسی سیلتی
٤	کرج	۲/٦٦	۷/۱۰	۱۳/۵٦	۲۱/۰	۱۹/٦٤	۲/٤	۳۰/۵	۲۲	۱۵/۵	لوم سیلتی
۵	اهواز	۲/۷۱	۸/۳۰	۱۷/۱۵	۱۸/۲۳	۱٤/٤٦	۳/٦	۲٦/۵	۲۰/۵	۱٤/۰	لوم سیلتی

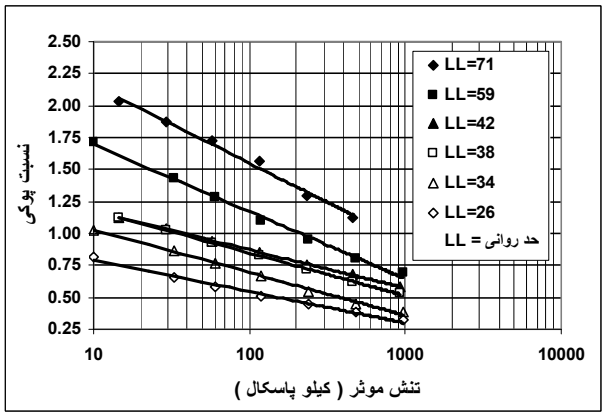
1- Unified Soil Classification System

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- تغییرات نسبت پوکی نسبت به تنش مؤثر به ازای شرایط اولیه مختلف و برای خاک شماره ۱.



شکل ۳- تغییرات نسبت پوکی نسبت به تنش مؤثر برای خاک‌های مختلف با شرایط اولیه یکسان.

جدول ۳- مشخصات فیزیکی و ضریب فشردگی کلیه نمونه‌های مورد بررسی.

شماره خاک	LL	e_0	$\frac{\omega}{LL}$	r^2	C_c
۱	۷۱	۲/۹۲	۱/۵	۰/۹۹۰۲	۰/۶۱
	۷۱	۲/۱۸	۱/۱۲	۰/۹۹۹۷	۰/۵۱
	۷۱	۰/۹۷	۰/۵	۰/۹۷۸۳	۰/۱۷
۲	٤۲	۱/٤۰	۱/۲۱	۰/۹۹۹۷	۰/۳۲
	٤۲	۱/۳۱	۱/۱٤	۰/۹۹۹۲	۰/۳۰
	٤۲	۰/٦۰	۰/۵۲	۰/۹۷۸۸	۰/۱۸
۳	۳۸	۱/٤۳	۱/٤	۰/۹۹۹۸	۰/۳۳
	۳۸	۱/۱۸	۱/۱۵	۰/۹۸۷۷	۰/۳۱
	۳۸	۰/۷۷	۰/۷۵	۰/۹۷۰٤	۰/۱۵
٤	۳٤	۱/۲۷	۱/۵۸	۰/۹۹٤۹	۰/۳۳
	۳٤	۰/۸۱	۱	۰/۹۹۷۹	۰/۲۵
	۳٤	۰/٦۸	۰/۸۲	۰/۹۹٦٤	۰/۲۲
۵	۲٦/۵	۰/۹٤	۱/۳۱	۰/۹۸۰۵	۰/۳۳
	۲٦/۵	۰/۷۸	۱/۱	۰/۹۹۷۷	۰/۱٤
	۲٦/۵	۰/٦۰	۰/۸٤	۰/۹۹۲٤	۰/۱۲

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ و همچنین داده‌های جدول ۳ می‌توان دریافت که برای یک نمونه خاک با مشخصات خمیری معین، ضریب فشردگی (C_c) با افزایش مقدار رطوبت و یا نسبت پوکی اولیه، افزایش می‌یابد. همچنین این ضریب برای نمونه‌های مختلف با شرایط اولیه ($\frac{w}{LL}$) یکسان، با افزایش خمیری خاک (حد روانی) نیز روند افزایشی دارد. بدین ترتیب ملاحظه می‌گردد که ضریب فشردگی یک نمونه خاک تابع خواص خمیری و همچنین شرایط اولیه آن می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از آنالیز همبستگی و آنالیز رگرسیون چند متغییره، تأثیر این متغییرها بر مقدار ضریب فشردگی به کمک نرم افزار آماری SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در بررسی‌های مربوط به تعیین همبستگی بین متغییرها، مشخص گردید که مشخصات مختلف خمیری خاک نظیر حد روانی (LL)، حد خمیری (PL)، حد انقباض (SL)، دامنه خمیری (I_p) و شاخص انقباض (I_s) همبستگی تقریباً یکسان و معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ با ضریب فشردگی دارند. همچنین از مشخصات مربوط به شرایط اولیه نمونه، نسبت پوکی اولیه همبستگی معنی‌داری در سطح ۰/۰۱ با ضریب فشردگی نشان داد. به‌منظور دستیابی به یک مدل تجربی برای برآورد ضریب فشردگی، از دو متغییر مستقل حد روانی (به لحاظ متداول‌تر بودن آن نسبت به سایر مشخصه‌های خمیری) به‌عنوان مشخصه خمیری خاک و نسبت پوکی اولیه به‌عنوان شاخص شرایط اولیه نمونه استفاده گردید. بدین منظور از روش رگرسیون خطی چند متغییره استفاده و مدل خطی به شرح زیر ارائه گردید:

$$C_c = 0.23e_0 - 0.002LL + 0.1 \qquad (۵)$$

که در آن:

LL = حد روانی، e_0 = نسبت پوکی اولیه و C_c ضریب فشردگی می‌باشند.

ضریب تبیین (r^2) این مدل ۰/۹۳ بوده و نتایج مربوط به تجزیه واریانس و آنالیز رگرسیون مدل نیز به‌ترتیب در جدول‌های ٤ و ۵ ارائه گردیده‌اند.

مطابق جدول ٤ و با توجه به آزمون F ملاحظه می‌گردد که سطح معنی‌داری مدل کمتر از ۰/۰۰۱ می‌باشد و این نشان‌دهنده کارآیی مدل به احتمال بیش از ۹۹/۹ درصد می‌باشد.

همچنین جدول ۵ نشان می‌دهد که تأثیر نسبت پوکی اولیه و حد روانی در مقدار ضریب فشردگی معنی‌دار بوده و تأثیر نسبت پوکی اولیه در مقایسه با حد روانی به مراتب بیشتر است.

برای ارزیابی صحت رابطه پیشنهاد شده در این تحقیق و همچنین مقایسه آن با روابط سایر محققین، از داده‌های ارائه شده در مراجع استفاده گردید (پارک وکوموتو، ۲۰۰٤). بدین منظور ضریب فشردگی نمونه‌های مختلف با استفاده از روش پیشنهادی این تحقیق و همچنین چند مورد از مرسوم‌ترین و جدیدترین روش‌های ارائه شده در این خصوص مطابق جدول ٦ برآورد گردیدند. سپس به‌منظور مقایسه دقت روش‌های مختلف، آنالیز همبستگی بین مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر برآورد شده براساس روش‌های مختلف انجام گرفت که نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۷ ارائه گردیده‌اند.

همانطوری که از جدول ٦ قابل ملاحظه است، برای یک نمونه خاک با حد روانی معین ولی نسبت پوکی اولیه متفاوت (نمونه‌های شماره ۱، ۲ و ۳)، مقدار ضریب فشردگی به‌دست آمده براساس روش‌های ترزاقی و ناگاراج که تنها مبتنی بر حد روانی می‌باشند یکسان و برابر با ۰/۳٦ می‌باشند. در حالی که مقادیر اندازه‌گیری شده برای نمونه های مذکور از ۰/۲۳ تا ۰/۳۱ متغیر هستند. همچنین با توجه به جدول ۷ ملاحظه می‌گردد که روش پیشنهادی این تحقیق دارای بالاترین میزان همبستگی (۰/۹۸٦ = r) بوده و در مقایسه با سایر روش‌ها از کارآیی بیشتری برخوردار است.

لازم به ذکر است رابطه ارائه شده در این تحقیق در محدوده نمونه‌های با حد روانی ۲٦ تا ۷۰ قابل کاربرد و توصیه است و برای عمومیت دادن به رابطه نیاز به تحقیق بیشتر با استفاده از داده‌های زیادتر در حوزه تغییرات احتمالی متغییرهای مستقل می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- آنالیز واریانس مدل.

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	آزمون F	سطح معنی‌داری
رگرسیون	۰/۲۲۷	۲	۰/۱۱۳۳	۷۷/۵۷	۰/۰۰۰
باقیمانده	۰/۰۱۸	۱۲	۰/۰۰۱۵	–	–
کل	۰/۲٤٤	۱٤	–	–	–

جدول ٥- آنالیز رگرسیون مدل.

اجزای مدل	ضرایب استاندارد نشده	ضرایب استاندارد شده	آزمون t	سطح معنی‌داری
عرض از مبدا	۰/۱۰	–	۳/۲٤٤	۰/۰۰۷
نسبت پوکی اولیه	۰/۲۳	۱/۱۱	۱۰/۱۵۱	۰/۰۰۰۹
حد روانی	−۰/۰۰۲	−۰/۲۲٦	−۲/۰٦۷	۰/۰۵

جدول ٦- مقادیر ضریب فشردگی براساس روش‌های مختلف و با استفاده از داده‌های پارک و همکاران (۲۰۰٤).

شماره نمونه	حد روانی LL	حد خمیر PL	نسبت پوکی اولیه (e_0)	روش‌های مختلف تعیین ضریب فشردگی (C_c)					
				مقادیر اندازه‌گیری شده	روش پیشنهادی	پارک و کوموتو ۲۰۰٤	کوموتو وپارک ۱۹۹۸	ناگاراج و همکاران ۱۹۹۵	باولز ۱۹۸۹	ترزاقی وپک ۱۹٦۷
۱	۵۰/٤	۱۷/٦	۰/۹۰	**۰/۲۳**	۰/۲۱	۰/۱۸	۰/۲۰	۰/۳٦	۰/۱۵	۰/۳٦
۲	۵۰/٤	۱۷/٦	۱/۰۸	**۰/۲۷**	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۲۵	۰/۳٦	۰/۱۷	۰/۳٦
۳	۵۰/٤	۱۷/٦	۱/۲۰	**۰/۳۱**	۰/۲۸	۰/۲٤	۰/۲۹	۰/۳٦	۰/۱۹	۰/۳٦
٤	٦٦/۰	۳۳/۷	۱/٦۳	**۰/۳۵**	۰/۳٤	۰/۳٤	۰/۲۸	۰/٤۸	۰/۲٦	۰/۵۰
۵	۸۱/۷	٤۲/۰	۱/۵۹	**۰/۳۳**	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۲۲	۰/۵٦	۰/۲۵	۰/٦۵

جدول ۷- ضرائب همبستگی بین مقادیر ضریب فشردگی اندازه‌گیری شده و برآورد شده با روش‌های مختلف.

روش‌های مورد بررسی	ضریب همبستگی	سطح معنی‌داری
روش پیشنهادی	۰/۹۸٦	۰/۰۰۲
پارک وکوموتو	۰/۹٤۰	۰/۰۱۷
کوموتو و پارک	۰/٦۰٦	۰/۲۷۸
ناگاراج وهمکاران	۰/۷۱۲	۰/۱۷۷
باولز	۰/۹٤۱	۰/۰۱۷
ترزاقی و پک	۰/٦٦٦	۰/۲۲۰

ولی آنچه که مسلم است و از نتایج این تحقیق می‌توان نتیجه‌گیری نمود این است که مقدار ضریب فشردگی متأثر از دو عامل خواص خمیری و شرایط اولیه نمونه بوده و دقت روابط تجربی متکی به تنها یک مشخصه از خاک، محل تردید می‌باشد. همچنین از بین روش‌های متکی به یک مشخصه از خاک، روش‌هایی که براساس نسبت پوکی اولیه ارائه گردیده‌اند در مقایسه با روش‌هایی که براساس مشخصات پلاستیسیته خاک (حد روانی) می‌باشند، از دقت بیشتری برخوردار هستند.

سپاسگزاری

از آنجایی که تسهیلات مالی و تدارکاتی این تحقیق از طریق مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و همچنین معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران فراهم آمده است نویسندگان مقاله مراتب تقدیر و تشکرصمیمانه خود را اعلام می‌دارند.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

۱.ابن جلال، ر. و شفاهی بجستان، م. ۱۳۷۱. "اصول نظری و عملی مکانیک خاک"، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز. ۷۲٤ صفحه.

۲.رحیمی، ح. ۱۳۷۹. "مسائل احداث کانال‌های آبیاری در خاک‌های نامتعارف". کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، مجموعه مقالات کارگاه فنی: ساخت کانال‌های آبیاری، محدودیت‌ها و راه حل‌ها "نشریه شماره ۳۹. صفحه ۱۲۸ الی ١٦٤.

۳.عباسی، ن.، رحیمی، ح. و فاخر، ع. ۱۳۸٤. بررسی رفتار تحکیم‌پذیری خاک‌های رسی نرم با استفاده از دستگاه تحکیم هیدرولیکی. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. جلد ٦. شماره ۲۵.

4.ASTM. 2000. Annual book of ASTM standards. Vol. 04.08, Soil and Rock, D420-D5779

5.Aydilek, A.H., Uncer, B., and Fox, P. 1999. Consolidation characteristics of waste water sludge. Geotechnics of High Water Content Materials, ASTM STP 1374.

6.Bowles, J.E. 1989. Physical and geotechnical properties of soils. McGraw-Hill Book Company Inc., NewYork.

7.Burland, J.B. 1990. On the compressibility and shear strength of natural soils. Geotechnique, 40(3): 329-378.

8.Cozzolino, V.M. 1961. Statistical forecasting of compression index. In proceeding of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Paris, Vol. 1: 51-53.

9.Gil, L.Y., and Kim, B. 2004. Empirical correlations of compression index for marine clay from regression analysis. Canadian Geotechnical Journal. Vol. 41: 1213-1221.

10.Herrero, O.R. 1983. Universal compression index equation, closure. Journal of the geotechnical Engineering Division, ASCE, 109(5) : 755-761.

11.Koppula, S.D. 1981. Statistical estimation of compression index. Geotechnical Testing Journal, 4(2): 68-73.

12.Koumoto, T., and Park, J.H. 1998.Compression index equation for remolded clays. Trans. Japanese Soc. Irrigation Drainage Reclamation Eng.194, 59-63

13.Nagaraj, T.S., Pandian, N.S., and Vishnu Bhushan, T. 1995. Sress-stat-time-permeability relationship for saturated soils.In proceeding of the international symposium on compression and consolidation of clayey soils.10-12 may 1995, Hiroshima, Japan, 537-542.

14.Park, J.H., and Koumoto, T. 2004. New compression index equation. ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130 (2): 223-226

15.Sridharah, A., and Nagaraj, H.B. 2000. Compressibility behavior of remolded, fine-grained soils and correlation with index properties", Canadian Geotechnical Journal, 37(3), 712-722.

16.Terzaghi, K., and Peck, R.B. 1967. Soil Mechanics in Engineering Practice.2th edition, John Wiley and Sons, Inc., New York.

17.Tsuchida, T. 1991. A new concept of e-LogP relationship for clays.Proce.9th Asian regional Conference on soil mechanics and foundation Engineering, Bangkok, and Vol.1: 87-90.

18.Worth, C.P., and Wood, D.M. 1978. The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils. Canadian Geotechnical Journal, No.15:137-145.

www.SID.ir

Archive of SID

J. Agric. Sci. Natur. Resour., Vol. 14(1), Apr -May 2007
www.sid.ir
www.magiran.com/jasnr

Determination of compression index of soft clayey soils using their physical properties in designing of Irrigation structures

N. Abbasi[1], A. Fakher[2] and H. Rahimi[3]
[1]Ph.D. student, Irrigation and Drainage Engineering Department, Tehran University, Karaj, Iran, [2]Associate Professor, Geotechnical Engineering Dept., Tehran University, [3]Professor, Irrigation and Drainage Engineering Department, Tehran University, Iran

Abstract

Determination of the foundation settlement due to consolidation of bed material is one of the most important issues in designing and construction of different structures, particularly in hydraulic structures of canals. Consolidation potential of clayey soils is evaluated by Compression index, C_c, which depends on their physical characteristics. Compression index is normally determined using one-dimensional consolidation (Oedometer) test results. Some empirical relationships have been also developed for determination of the compression index using various physical properties of soils. In this research, the effects of different physical properties of soils on compression index were studied and also the reliability of the existing relationships was evaluated. For this purpose, one-dimensional consolidation tests were conducted on various soils with different initial water contents. The results showed that compression index is significantly affected by plasticity properties of the samples and also their initial conditions. Therefore, it has been concluded that the empirical relationships which have been proposed by former researchers using just one property of the sample may not estimate the value of C_c accurately. Also, in this research an empirical relationship was suggested which uses liquid limit and initial void ratio of sample for determination of the compression index. Statistical analyses demonstrated that the proposed relationship predicts the compression index accurately in comparison with the existing relationships.

Keywords: Consolidation; Compression index; one dimensional consolidation; Soil settlement; Soft soil

www.SID.ir