

بررسی ارتباط بین خصوصیات ذاتی تحکیم‌پذیری خاک‌های ریزدانه بازسازی شده و طبیعی منطقه جنوب تهران

اسماعیل افلاکی^۱؛ رضا رحیم نژاد^۲

چکیده

در این مقاله خصوصیات مقاومتی و تحکیم‌پذیری رس‌های بازسازی شده به عنوان چهارچوب اصلی و مرجعی برای تفسیر خصوصیات مشابه نهشته‌های رس طبیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ویژگی‌های رس‌های بازسازی شده وقتی با نام ویژگی‌های "ذاتی" بیان می‌شوند که برای خاک لاینفک و به حالات طبیعی خاک نیز وابسته نباشند. پارامتری که شاخص تخلخل نامیده می‌شود، به برقراری ارتباط بین خصوصیات ذاتی خاک‌های رسی گوناگون کمک می‌کند. مسئله اصلی به دست آوردن آن دسته از پارامترهایی است که بر اساس خواص تحکیم‌پذیری خاک بنا شده‌اند. شاید خواص ذاتی رس‌ها در حالت طبیعی با خواص آنها در حالت بازسازی شده متفاوت باشد و این بخاطر تاثیر بافت میکروسکوپی و ماکروسکوپی خاک است که در اثر دست خوردگی بافت طبیعی به وجود می‌آید. در این تحقیق نمونه‌ها با رطوبتی معادل ۱۵۰ درصد رطوبت حد روانی بازسازی شده‌اند. مقدار آب اضافه شده به نمونه‌ها، به نوع رس و گستردگی لایه مضاعف کانی رس بستگی دارد. ترسیم نتایج در چهارچوب ارائه شده توسط برلند و قرارگرفتن خط فشار رسوبی (SCL)، زیر خط فشار ذاتی (ICL) بیانگر شدت سیلاب‌های جاری شده از رشته کوه البرز است که در هنگام تشکیل رسوب، نهشته‌ای غیرحساس را در منطقه تهران و به‌ویژه در جنوب تهران از خود برجای گذاشته‌اند.

کلمات کلیدی:

رس، نمونه بازسازی شده، خصوصیات ذاتی، شاخص فشردگی، آماده سازی نمونه

Study the Relationship between Intrinsic Compression Characteristics of Reconstituted and Intact Fine Grained Soils for South of Tehran Region

ABSTRACT

The compressibility characteristics of reconstituted clays are used as a basic frame for interpreting the corresponding characteristics of natural sedimentary clays. Intrinsic properties are especially used for reconstituted soil which, are independent of natural state. Void index is a parameter which relates the reconstituted parameters of different clay soils. Burland 1990 suggested that the natural properties of clay soil may be different from that of reconstituted ones due to the influence of soil microscopic and macroscopic texture (fabric and bonding).

In this research, clay specimens from Tehran region were prepared by water to 1.5 times the liquid limit and then reconstituted. The amount of additional water depends upon the clay content and the development of adsorbed water (diffuse double layer).

Plotting the results in Burland's framework, show the SCL lies well below the ICL. This is related to the rates and modes of deposition of alluvium when, a freshet (high water) from wide valleys of Alborz

^۱ استادیار؛ دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست؛ دانشگاه صنعتی امیرکبیر eaflaki@aut.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد؛ دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست؛ دانشگاه صنعتی امیرکبیر Email_ahimnejad.reza@gmail.com



Mountain spread out the flood plain providing deposits of low to insensitive clay soil. In this study the compressibility parameters were correlated as an aid to site investigation interpretation.

KEYWORDS:

Clay, Reconstituted Sample, Intrinsic Properties, Compression Index

تاریخچه تنش خاک مورد آزمایش و رفتار خاک در طول آزمایش که به تاریخچه تنش آن باز می‌گردد، از اهداف دیگر این تحقیق است. روابطی که در این مقاله ارائه می‌گردد، مربوط به خاک منطقه جنوب تهران بوده و به همین منظور و برای داشتن روابطی دقیق لازم است تا مطالعه‌ای جامع روی رسوبات و زمین شناسی خاک منطقه جنوب تهران انجام گیرد.

برای رسیدن به اهداف مورد نظر، نمونه‌های خاک از نقاط مختلف منطقه جنوب تهران جمع‌آوری شده است. تعدادی از نمونه‌ها دست‌خورده و بافت آنها گسیخته گردید. با اضافه کردن آب به نمونه‌های دست‌خورده، درصد رطوبت به مقدار ۱/۵ برابر حد روانی افزایش یافت. این نمونه‌ها به نام نمونه‌های بازسازی شده شناخته می‌شوند. پس از آماده‌سازی نمونه و قرارگیری در قالب دستگاه تحکیم یک بعدی، عمل تحکیم طبق بارگذاری استاندارد انجام گرفت.

رفتار نمونه‌های بازسازی شده در برابر فشار به‌عنوان چهارچوبی برای توصیف خصوصیات ذاتی در نظر گرفته شده است. از آنجا که این خصوصیات برای خاک‌ها لاینفک و مستقل از حالت طبیعی آنهاست، چهارچوبی ارزشمند برای به دست آوردن پارامترهای طبیعی متناظر حاصل می‌شود [۷]. رسم خصوصیات ذاتی در نمودار شاخص تخلخل در مقابل لگاریتم فشار وارده، $I_v - \log \sigma'_v$ ، معرف خط واحدی بنام خط فشار ذاتی (ICL: Intrinsic Compression Line)، است. منحنی نشست نمونه‌های دست‌خورده، $e - \log \sigma'_v$ ، نیز رسم شده است. خصوصیات طبیعی با رسم منحنی‌های نشست در مختصات $I_v - \log \sigma'_v$ ، معرف خط فشار رسوبی (SCL: Sedimentation compression Line)، است. می‌توان گفت که خط فشار رسوبی به دست آمده از این روش، بیانگر تحکیم‌پذیری درجای رسوبات طبیعی است اما، تأثیر بافت خاک و ذرات ریز و درشت آن باید مورد مطالعه قرارگیرد.

پارامترهای طراحی براساس روابط تجربی است که از همبستگی بین خصوصیات ژئوتکنیکی نمونه‌های بازسازی شده و نمونه‌های طبیعی همان لایه رسوبی بدست آمده‌اند و در ادبیات فنی طیف گسترده‌ای از این همبستگی‌ها وجود دارد.

۲- زمین شناسی تهران

رسوبات تهران نتیجه حمل و رسوب گذاری رودخانه و

۱- مقدمه

به‌عنوان بخشی از مرحله تحقیقات صحرایی، نمونه‌های بدست آمده از اعماق مختلف برای طبقه‌بندی خاک و تعیین پارامترهای طراحی، در آزمایشگاه مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نمونه‌ها تحت تأثیر عواملی مانند هندسه نمونه‌گیر، سرعت نفوذ آن، نوع خاک و غیره، مقداری دست‌خوردگی پیدا می‌کنند که منجر به پراکندگی چشمگیر اطلاعات و به دست آمدن نتایج نابرابر می‌گردد. پس بدلیل وجود کاستی و ضعف اطلاعات ژئوتکنیکی به دست آمده، استفاده از نمونه‌های بازسازی شده به منظور دستیابی به مقادیر قابل قبول پارامترهای طراحی، مورد توجه قرار گرفته است.

تئوری رفتار خاک برای نمونه‌های بازسازی شده توسط برلند در سال ۱۹۹۰ با عنوان "خصوصیات ذاتی" ارائه شد که می‌تواند رابطه‌ای قابل قبول بین خصوصیات ژئوتکنیکی رس‌های بازسازی شده و رس‌های طبیعی برقرار سازد.

پارامتر جدیدی که شاخص تخلخل نامیده می‌شود، به برقراری ارتباط خصوصیات ذاتی خاک‌های رسی متنوع کمک می‌کند. بحث مربوط به تحکیم‌پذیری خاک‌های رسی از دیرباز توسط محققین مورد توجه قرار گرفته است. ترزاقی در سال ۱۹۲۵ آزمایشاتی روی خاک‌های طبیعی و بازسازی شده انجام داد. وی پارامترهای e_{100}^* و C_c^* را ثابت‌های تحکیم‌پذیری نامید. این نتایج به دست آمده تنها برای مقایسه استفاده می‌شد. پس از او، اسکمپتون (۱۹۴۴)، لئونارد و رامیا (۱۹۵۹) آزمایش‌هایی روی رس‌های بازسازی شده انجام دادند. از نتیجه آزمایش‌های این دو محقق جدولی به دست آمده که خصوصیات ژئوتکنیکی رس‌های مناطق مختلف جهان به همراه کار خودشان را در آن جمع آوری کرده‌اند. ناکاس و همکاران (۱۹۸۸) نیز جدولی مشابه برای رس‌های دریایی در ژاپن ارائه کرده است.

هدف این تحقیق، مشخص نمودن رفتار خاک بازسازی شده و مقایسه آن با خاک‌های دست‌خورده منطقه جنوب تهران و نتایج جمع‌آوری شده از دیگر محققین است. در این طرح، اساس کار به دست آوردن نمودارهای تخلخل- فشار برای خاک‌های بازسازی شده و دست‌خورده در آزمایشگاه و مقایسه آنها با یکدیگر می‌باشد. استخراج روشی مناسب برای توصیف



آبراهه‌های مختلف دامنه جنوبی البرز بوده که در زمان‌های مختلف وبا شرایط متفاوت تشکیل شده‌اند و از نظر فرم دانه‌ها، ابعاد و چگونگی گسترش به سازندهای (A)، (B)، (C) و (D) تقسیم شده‌اند [۳]، [۴].

سازند (A) قدیمی‌ترین رسوبات ضخیم و چین‌خورده پای رشته‌کوه البرز را تشکیل می‌دهد و سازند (D)، جدیدترین رسوبات محسوب شده که رسوبات کنونی بستر رودخانه‌ها را تشکیل می‌دهد. بین این دو سازند، سری (B) و (C) مشهور به سازندهای کهریزک و تهران، قرار گرفته‌اند. با توجه به این توضیحات، می‌توان یک نتیجه‌گیری اجمالی ارائه داد:

رسوبات (A) در کوهپایه‌های البرز به صورت یک نوار موازی با امتداد البرز (شرقی-غربی)، می‌سازد و به صورت تپه‌ماهورهای مرتفعی ظاهر شده‌اند.

رسوبات (B)، از شمال به جنوب ضخامتش زیادتر شده و روی رسوبات (A) قرار گرفته‌اند. رسوبات (B)، تا جنوبی‌ترین نقطه تهران و تا نزدیکی‌های کهریزک دیده می‌شود (رخنمون‌های رسی کوره‌های آجرپزی). تهران مرکزی روی رسوبات جوان و ریزدانه (D) بنا و رسوبات درشت‌دانه و منفصل (C) بستر کنونی رودخانه‌ها را می‌سازد. در جنوب تهران، رسوبات (D) به صورت ریزدانه نمایان هستند. خاک مناسب برای انجام آزمایش تحکیم خاک ریزدانه است، که آبرفت‌های (D) بهترین گزینه برای تهیه نمونه‌های مورد نظر است. مناطق انتخاب شده برای نمونه‌گیری با دایره توپر در نقشه شماره ۱ (ضمیمه) نشان داده شده‌اند.

۳- روش آزمایش تحکیم یک بعدی

برای انجام این آزمایش از استاندارد ASTM D2435-80، استفاده شده است. دستگاه تحکیم به یک LVDT مجهز شده که تغییر مکان‌های اندازه‌گیری شده به وسیله آن، توسط کامپیوتر ثبت شده است.

در این آزمایش گام بارگذاری با نسبت افزایش بار ۱ در هر ۲۴ ساعت دنبال شده تا اینکه به فشار نهایی ۱۶۰۰ کیلوپاسکال رسید. در ابتدای آزمایش فشار سرباری معادل ۲ کیلوپاسکال و حلقه تحکیم به قطر ۵ سانتیمتر و ارتفاع ۲ سانتیمتر برای همه نمونه‌ها در نظر گرفته شد.

۴- خصوصیات ذاتی

۴-۱- خط فشار ذاتی

نتایج به دست آمده از آزمایش تحکیم روی نمونه‌های بازسازی شده در شکل (۱-الف) نشان داده شده است. این

منحنی‌ها نشان‌دهنده منحنی‌های ذاتی فشار خاک‌های مختلف است که تمامی آنها با محتوی آب ω_L ۱/۵ بازسازی شده‌اند. کمیت‌های e_{100}^* و e_{1000}^* ، نسبت‌های تخلخل ذاتی متناظر با kPa $\sigma'_v = 1000$ هستند. شاخص فشردگی ذاتی، C_c^* از شیب قسمت خطی نمودار تحکیم بدست می‌آید:

$$C_c^* = \frac{e_{100}^* - e_{1000}^*}{\log 1000 - \log 100} = \frac{e_{100}^* - e_{1000}^*}{\log(1000/100)} = e_{100}^* - e_{1000}^* \quad (1)$$

منحنی‌های تحکیم را که در شکل (۱-الف) رسم شده‌اند، می‌توان با مقادیر ثابت e_{100}^* و e_{1000}^* نرمال‌سازی نمود. این نمودارها از نظر شکل و تقعر شبیه به هم هستند ولی، در جهت محور e باهم تفاوت دارند [۷]. برای این مهم، پارامتری با عنوان شاخص تخلخل، I_v ، معرفی می‌گردد و با استفاده از این پارامتر نرمال‌سازی انجام می‌شود:

$$I_v = \frac{e - e_{100}^*}{e_{100}^* - e_{1000}^*} = \frac{e - e_{100}^*}{C_c^*} \quad (2)$$

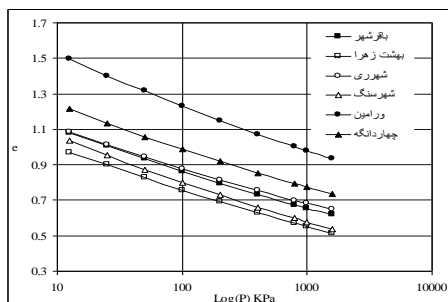
این منحنی‌ها نرمال سازی شده و در مختصات $I_v - \log(\sigma'_v)$ ترسیم شده‌اند. همانطور که دیده می‌شود، این منحنی‌ها تا اندازه‌ای بر روی یکدیگر قرار می‌گیرند، شکل (۱-ب). از بین این منحنی‌ها توسط نرم افزار MINITAB خطی برازش داده شده و معادله این خط به صورت رابطه (۳) است:

$$I_v = 2/393 - 1/225x - 0/0199x^2 + 0/0172x^3 \quad (3)$$

که در آن $x = \log \sigma'_v$ می‌باشد.

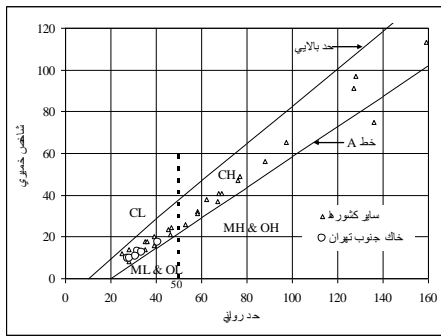
در شکل (۲) این خط با خط به دست آمده توسط برلند (رابطه ۴) مقایسه شده است. دیده می‌شود این دو خط بر روی یکدیگر قرار دارند و تفاوتی که بین این خطوط وجود دارد ناشی از خطاهای آزمایشگاهی است.

$$I_v = 2/45 - 1/285x + 0/015x^3 \quad (4)$$



شکل (۱-الف) منحنی تحکیم نمونه‌های بازسازی شده

نقاط دایره توخالی مربوط به خاک منطقه جنوب تهران بوده و بالای خط A و در محدوده خاک‌های CL قرار می‌گیرند.



شکل (۱) خواص خمیری رس‌های معرفی شده در جدول (۱)

نتایج به دست آمده از خاک منطقه جنوب تهران، با یکدیگر و بار دیگر برای اینکه فراوانی داده‌ها نیز بیشتر باشد و نتیجه بهتری به دست آید، با نتایج سایر کشورها مقایسه شده‌اند. در شکل (۴-الف) ارتباط بین ثابت تحکیم‌پذیری e_{100}^* با نشان تخلخل در حد روانی، e_L نشان داده شده است. از شکل (۴-الف)، منحنی درجه یک با تقریب خوب و ضریب همبستگی $R^2 = 0.98$ و از شکل (۴-ب)، منحنی درجه ۳ با ضریب همبستگی $R^2 = 0.93$ به دست می‌آید:

$$e_{100} = 1/188e_L - 0/1012 \quad (۵)$$

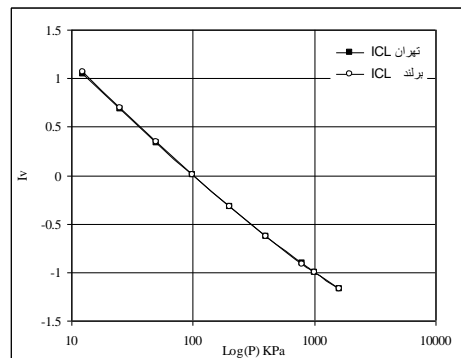
$$e_{100} = 0/5065 + 0/207e_L + 0/086e_L^2 - 0/0036e_L^3 \quad (۶)$$

در شکل (۴-الف) برخلاف اینکه رابطه (۵) از برآزش تعداد کمی نقاط حاصل شده است ولی از ضریب همبستگی بالاتری برخوردار است. در شکل (۴-ب) دیده می‌شود که جهت‌گیری نقاط مربوط به خاک منطقه جنوب تهران (نقاط تو خالی) با سایر نقاط (نقاط توپر) متفاوت است و خطی که از مجموعه کل نقاط برآزش شده است پاسخ خوبی به جهت‌گیری نقاط مربوط به خاک جنوب تهران نمی‌دهد. چنین استنباط می‌شود که خاک‌های استفاده شده از سایر منابع از نظر طبقه‌بندی در رده CL-CH بوده، در نمودار پلاستیسیته شکل (۳) بالای خط A قرار می‌گیرند. حد روانی آنها بسیار وسیع می‌باشد $160 < \omega_L < 25$ و $0/6 < e_L < 4/5$ و رابطه (۶) برای آنها صادق می‌باشد. درحالی‌که خاک منطقه جنوب تهران فقط از رده CL بوده که حد روانی آن محدودتر بین $60 < \omega_L < 25$ و $1/5 < e_L < 0/6$ می‌باشد و در نتیجه رابطه (۵) در مورد آنها صادق بوده و همبستگی بهتری بین e_{100}^* و e_L مربوط به خاک جنوب تهران برقرار می‌سازد.

اما در مورد ارتباط تحکیم‌پذیری نمونه بازسازی شده، C_c^* با e_L ، با توجه به شکل (۵-الف)، همبستگی برای خاک جنوب



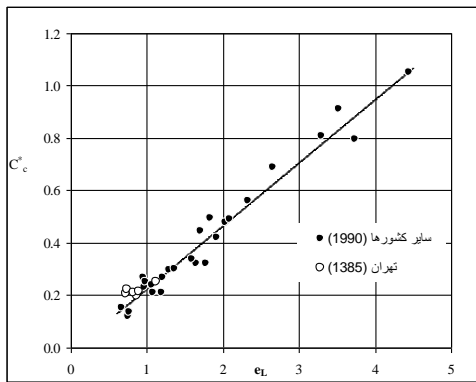
شکل (۱-ب) نرمال سازی نمودارهای تحکیم



شکل (۲) مقایسه ICL به دست آمده در این تحقیق و ICL به دست آمده توسط برلند

۴-۲- ارتباط بین ثابت‌های تراکم‌پذیری ذاتی و حدود اتربرگ

اگر رابطه (۲) بر حسب e مرتب گردد، رابطه دیگری به دست خواهد آمد که با استفاده از آن می‌توان نمودار تحکیم هر خاکی را رسم نمود. I_v از رابطه (۳) به دست می‌آید اما دو پارامتر دیگر یعنی C_c^* و e_{100}^* مجهول هستند که بایستی از برقراری ارتباط بین خصوصیات تحکیم‌پذیری به دست آیند. البته این سه پارامتر را به صورت مستقیم از آزمایش می‌توان به دست آورد که این روش دقیق‌تر است و در عین حال به زمان بیشتری نیاز دارد. طبق گفته برلند، چون خط ICL به دست آمده منحصر به فرد است پس برای به دست آوردن پارامترهای تحکیم‌پذیری می‌توان از خصوصیات خاک‌های دیگر نقاط دنیا نیز بهره‌گرفت و این پارامترها را تخمین زد. خط به دست آمده در مورد خاک منطقه جنوب تهران با خطی که برلند به دست آورده همخوانی دارد پس از پارامترهای ژئوتکنیکی که برلند از مقاله‌های گوناگون جمع‌آوری کرده است [۸]، در این تحقیق استفاده می‌گردد. این پارامترها به همراه خصوصیات ژئوتکنیکی خاک منطقه جنوب تهران در جدول (۱ ضمیمه) و نمودار خمیری آنها در شکل (۳) نشان داده شده است. همانگونه که دیده می‌شود



شکل (ب) خاک تهران به همراه خاک سایر کشورها

شکل (ه) ارتباط بین ثابت C_c^* با e_L

۳-۴- مقایسه شاخص تحکیم‌پذیری طبیعی و ذاتی (C_c^* , C_c)

برای مقایسه خواص ذاتی و طبیعی، از ۲۷ طرح در جنوب تهران از کارگاه‌های وزارت راه و ترابری و متروی تهران که مجری بخش ژئوتکنیکی این طرح‌ها بوده‌اند، اطلاعات مورد نیاز جمع آوری شده است. با استفاده از رابطه (۷)، C_c^* مربوط به هر نمونه طبیعی محاسبه شده و C_c مربوط به همان نمونه‌ها نیز از روی نمودار $e - \text{Log}(\sigma'_v)$ به دست آمده است. با توجه به نتایج بدست آمده، نسبت تحکیم‌پذیری $\frac{C_c^*}{C_c}$ بین ۰/۵ تا ۳/۵ متغیر می‌باشد.

تلاش شده است تا همبستگی بین این دو پارامتر مورد مطالعه قرارگیرد. به همین منظور، شاخص تحکیم‌پذیری ذاتی C_c^* در مقابل شاخص تحکیم‌پذیری طبیعی C_c در نمودار شکل (۶) نشان داده شده است. نقاط پراکنده در شکل (۶) معرف C_c^* ها و C_c های متناظر هستند که از میان آنها خط برازش داده شده توسط رابطه (۸) مشخص شده است.

$$C_c^* = 0/219 C_c + 0/092 \quad (۸)$$

به دلیل اینکه پراکندگی نقاط زیاد است، از اینرو نقاط به دو قسمت تقسیم شده‌اند. پایین خط برازش ناحیه (۱) و بالای آن، ناحیه (۲) نامیده شده است. از بین نقاط این نواحی نیز بطور جداگانه خط‌های ۱ و ۲ برازش داده شده‌اند که به ترتیب با روابط (۹) و (۱۰) ارائه شده‌اند.

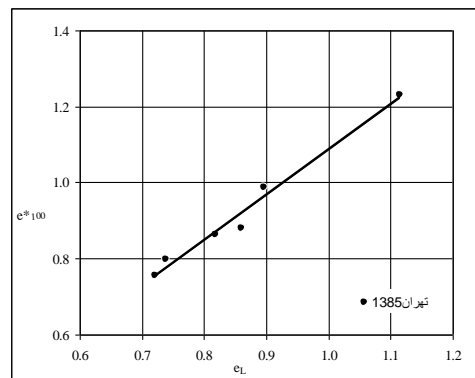
$$C_c^* = 0/219 C_c + 0/054 \quad (۹)$$

$$C_c^* = 0/219 C_c + 0/13 \quad (۱۰)$$

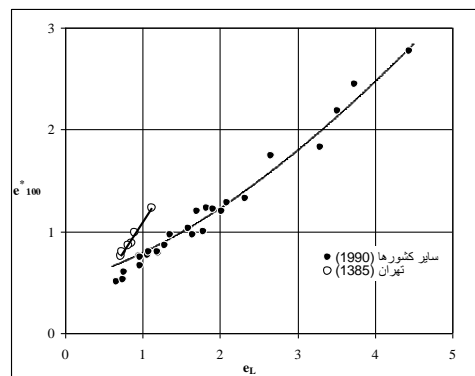
حال برای دانستن اینکه کدام یک از خطوط شکل (۶) برای چه خاکی استفاده می‌شود، بهتر است ملاک انتخاب حدروانی نمونه‌ها در نظر گرفته شود. رابطه (۷) ارتباط بین ثابت‌های e_L و C_c^* را نشان می‌دهد که برای خاک‌های رس سایر کشورها

تهران و دیگر بار برای خاک منطقه جنوب تهران و خاک سایر منابع ایجاد می‌گردد. در شکل (۵-الف)، به علت پراکندگی نقاط، معادله‌ای برای نمودار $e_L - C_c^*$ نمی‌توان به دست آورد. برای رفع این مشکل، می‌توان نتایج به دست آمده از سایر نقاط دنیا را در این نمودار وارد کرده تا در نتیجه با گستردگی بیشتر حدروانی (بین ۲۵ تا ۱۶۰) همبستگی بهتری به دست آید. در شکل (۵-ب)، برای C_c^* و e_L^* معادله درجه ۱ به صورت رابطه (۷) ارائه شده است:

$$C_c^* = 0/240 e_L - 0/0125 \quad (۷)$$

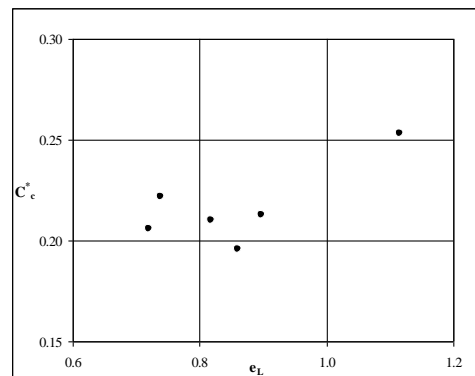


شکل (الف) خاک تهران



شکل (ب) خاک سایر کشورها

شکل (۴) ارتباط بین ثابت e_{100}^* با e_L



شکل (الف) خاک تهران

شده همان خاک یا با استفاده از روابط (۵) و (۷) به دست می‌آیند. تخلخل اولیه e و عمق نمونه مشخص است. رابطه $I_v = (e - e_{*..}) / C_c^*$ برای رس‌های طبیعی به صورت $I_{v0} = (e_0 - e_{*..}) / C_c^*$ ظاهر می‌شود.

نمودار $I_v - \text{Log}(\sigma'_{v0})$ برای این رسوبات طبیعی توسط نقاط دایره توخالی نشان داده شده است، شکل (۷). از بین این نقاط خطی برازش داده شده که معرف خط فشار رسوبی SCL است. این خط منحصر به فرد نیست و برای هر منطقه متفاوت است بنابراین، رابطه‌ای مانند خط فشار ذاتی برای آن نمی‌توان به دست آورد.

همان‌طوریکه در شکل (۷) دیده می‌شود، نقاط به دست آمده بیشتر زیر خط ICL قرار می‌گیرند. این به دلیل داشتن تخلخل کم و تحکیم‌پذیری پائین این رسوبات است. خط‌های ICL و SCL بین فشار ۱۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوپاسکال با هم موازیند. به عبارت دیگر در یک نسبت e مشخص روی SCL، چون خاک تنش بیشتری را نسبت به خط ICL تحمل کرده بنابراین خاک طبیعی تحکیم‌پذیری کمتری دارد و اتصال بین دانه‌ها در بافت خاک طبیعی نسبت به خاک بازسازی شده در آزمایشگاه قویتر است [۲۰]. می‌توان این‌طور استدلال نمود که رسوبات منطقه جنوب تهران سیلابی بوده و در یک دوره کوتاه توسط سیلاب‌های فصلی و با سرعت زیاد حمل و در دشت تهران رسوب کرده‌اند [۵]. در هنگام فرایند رسوبی، این رسوبات فرصت کافی برای آرایش یافتن نداشته و به صورت تصادفی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. علاوه بر این با توجه به تخلخل بیشتر نمونه‌های بازسازی شده نسبت به نمونه‌های طبیعی، تشکیل پیوند نهشته‌های جنوب تهران بدون حضور آب قابل توجه (۱/۵ برابر حدروانی) صورت گرفته است. بدیهی است که اگر این مقدار آب در موقع تشکیل رسوب وجود می‌داشت، دانه‌های خاک از یکدیگر فاصله گرفته و پس از خشک شدن، خاکی با تخلخل بالاتر به وجود می‌آمد. در نتیجه به علت شدت این سیلاب‌ها بافتی متراکم در این رسوبات به وجود آمده است. با استفاده از روش تصویر میکروسکوپ الکترونیک (SEM Scanning Electron Microscope)، خاک ریزدانه منطقه جنوب تهران با بافت بسیار متراکم معرفی شده است [۵].

نیز درست است. از این رابطه استفاده شده و به کمک رابطه (۸)، رابطه (۱۱) حاصل می‌گردد.

$$C_c = 0/053e_L + 0/09 \quad (11)$$

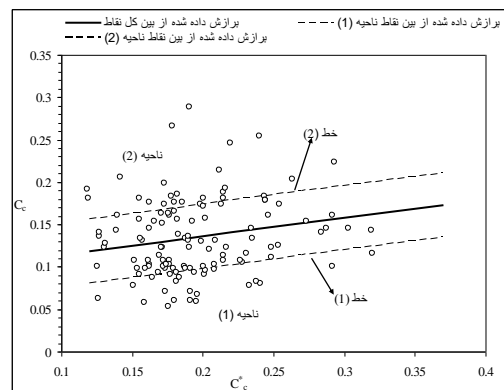
در روابط قبل و طبق رابطه $e_L = \frac{G_s \times w_L \%}{100}$ در حد روانی، اشباع در نظر گرفته شده است. لذا با جایگذاری در رابطه (۱۱)، رابطه (۱۲) به دست می‌آید:

$$C_c = 0/053G_s \times \frac{\omega_L \%}{100} + 0/09 \quad (12)$$

در رابطه (۱۲) وزن مخصوص خاک‌های ریز دانه، G_s در محدوده ۲/۷۵ تا ۲/۷۵ تغییر می‌کند. اگر بطور میانگین برابر ۲/۷۵ در نظر گرفته شود، رابطه (۱۲) به صورت رابطه (۱۳) ارائه می‌گردد.

$$C_c = 0/14w_L + 0/09 \quad (13)$$

رابطه (۱۳) متناظر با رابطه (۸) یا خط توپر در شکل (۶) می‌باشد. از رابطه (۱۳) و با داشتن درصد رطوبت حدروانی ω_L مقدار شاخص تحکیم‌پذیری C_c به دست می‌آید. برای استفاده از خطوط ۱ و ۲ (شکل ۶) و یافتن روابط متناظر با روابط ۹ و ۱۰ به ترتیب روابط ۱۴ و ۱۵ حاصل می‌شوند. رابطه ۱۴ برای خاک‌های با پلاستیسیته کم و رابطه ۱۵ برای خاک‌های با پلاستیسیته بالا بکار می‌روند.



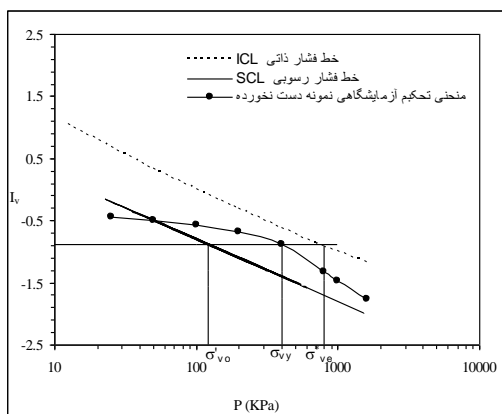
شکل (۶): ارتباط بین شاخص‌های تراکم‌پذیری ذاتی و طبیعی

$$C_c = 0/14w_L + 0/51 \quad (14)$$

$$C_c = 0/14w_L + 0/127 \quad (15)$$

۵- تحکیم‌پذیری رسوبات طبیعی

با استفاده از رابطه به دست آمده برای شاخص تخلخل، این امکان وجود دارد تا بتوان منحنی‌های تحکیم رسوبی به دست آمده از ۲۷ نقطه منطقه جنوب تهران را با خط ICL متناظر مقایسه کرد. برای این کار، ثابت‌های تحکیم‌پذیری ذاتی هر خاک با استفاده از آزمایش تحکیم روی نمونه بازسازی



شکل (۸): مقایسه منحنی‌های تحکیم آزمایشگاهی با ICL و SCL

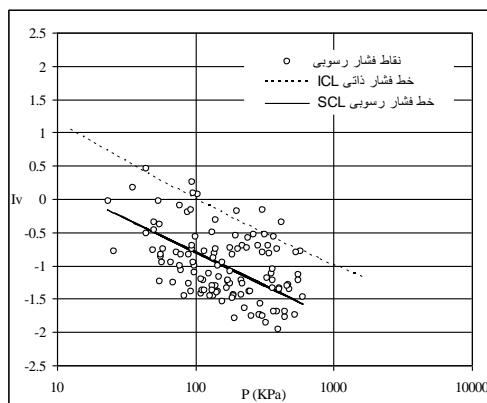
۶- نتیجه‌گیری

نمونه‌های بازسازی شده در این تحقیق با محتوی آب ω_L ۱/۵ بازسازی شده‌اند. مقدار آبی که بلید برای بازسازی به‌رس اضافه شود، به‌مقدار رس خالص موجود در نمونه‌ها بستگی دارد. کمترین مقدار آن ω_L و بیشترین مقدار آن $2\omega_L$ است.

رابطه خط فشار ذاتی به‌دست آمده برای خاک‌های منطقه جنوب تهران و رابطه‌ای که توسط برلند ارائه شد، نزدیک به هم و یکسان هستند و این بر منحصر به‌فرد بودن ICL تأکید دارد. همانطوریکه دیده می‌شود این دو خط برهم منطبق هستند، شکل (۲).

ثابت‌های تحکیم‌پذیری ذاتی خاک منطقه تهران برای حد روانی بین ۲۵ تا ۶۰ از رابطه (۷) محاسبه می‌شود. با داشتن ثابت‌های تحکیم‌پذیری و شاخص تخلخل، منحنی تحکیم نمونه‌های بازسازی شده خاک‌های رسی منطقه جنوب تهران ترسیم شده‌اند.

همان‌طوریکه دیده می‌شود خط فشار رسوبی طبیعی SCL زیر خط فشار رسوبی ذاتی ICL قرار می‌گیرد. استنباط می‌گردد که به‌دلیل تخلخل بالاتر نمونه‌ها بازسازی شده باشند. این واقعیت نشان دهنده حساسیت پایین نهشته‌های آبرفتی منطقه جنوب تهران می‌باشد. بالا یا پایین قرارگرفتن SCL نسبت به ICL بیانگر شرایط رسوب‌گذاری و نوع رسوبات می‌باشد. برای تحلیل این مسئله منحنی تحکیم آزمایشگاهی، انجام شده روی نمونه‌های طبیعی، در نمودار $I_v - \log(\sigma'_{v0})$ ترسیم و نسبت $\sigma'_{vy}/\sigma_{v0}^*$ محاسبه شده است. مقدار این نسبت درجه افزایش مقاومت خاک در برابر فشردگی است که در نتیجه با بافت طبیعی خاک رابطه مستقیم دارد. بنابراین مقدار عددی نسبت یادشده نشان دهنده حساسیت کم و وجود پیوندهای محکم بین دانه‌ای در خاک می‌باشد.



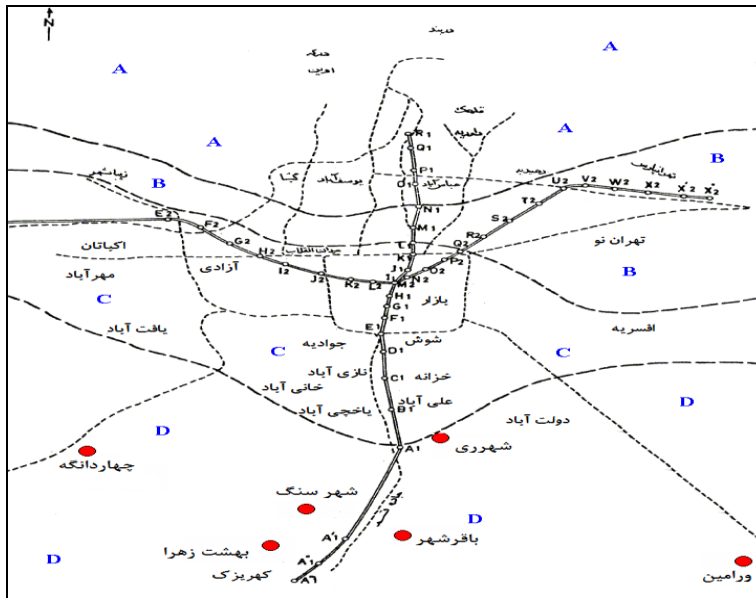
شکل (۷): ترسیم خط فشار رسوبی

بطور کلی چهارچوب اصلی برلند برای تفسیر خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های ریزدانه و ارزیابی بافت این نوع خاک‌ها بکار می‌رود. به‌عنوان مثال در شکل (۸) منحنی آزمایشگاهی نمونه دست‌نخورده به‌همراه خط ICL و خط SCL نشان داده شده‌است. در این شکل محل تنش تسلیم σ'_{vy} و تنش σ_{ve}^* است روی ICL معادل σ_{ve} (فشار پیش تحکیمی) روی خاک طبیعی در یک نسبت تخلخل مشخص و σ'_{v0} تنش درجا می‌باشد. در این شکل دیده می‌شود که منحنی تحکیم خاک طبیعی جنوب تهران خط SCL را قبل از رسیدن به تنش تسلیم قطع کرده است و پس از نقطه تسلیم با آن متقارب شده است. یعنی خاک به‌تحکیم عادی خود رسیده است. بنابراین نسبت $\sigma'_{vy}/\sigma_{ve}^*$ پارامتر اندازه‌گیری افزایش مقاومت خاک در برابر تحکیم‌پذیری است که بر اثر اتصال دانه‌ها در بافت میکروسکوپی خاک به‌وجود می‌آید. در مورد خاک جنوب تهران این نسبت کمتر از یک می‌باشد و بیانگر مطلب یاد شده می‌باشد. از طرف دیگر اگر تنش تسلیم σ'_{vy} خاک بالاتر از خط ICL قرارگیرد، گفته می‌شود که خاک از حساسیت بالاتری برخوردار است و از نظر حساسیت عنوان درجه ۱ به آن گفته می‌شود. به‌همین منوال اگر تنش تسلیم بین ICL و SCL قرار گیرد حساسیت درجه ۲ و اگر تنش تسلیم نمونه زیر SCL باشد، حساسیت خاک درجه ۳ خواهد بود. درجه حساسیت با نسبت σ'_{vy}/σ_{v0} بیان می‌شود. نسبت $\sigma'_{vy}/\sigma_{v0} > 8$ بیانگر حساسیت بالا و شکننده بودن بافت خاک است. در شکل (۸)، تنش تسلیم برای این نمونه بین ICL و SCL قرار می‌گیرد پس، از نظر حساسیت نسبی درجه ۲ به آن گفته می‌شود. مطالب گفته شده را می‌توان به‌صورت رابط (۵) نیز نشان داد.

$$\begin{cases} \sigma'_{vy}/\sigma_{v0}^* \geq 8 & \rightarrow \text{Sensitivity Grade ۱} \\ 1 \leq \sigma'_{vy}/\sigma_{v0}^* < 8 & \rightarrow \text{Sensitivity Grade ۲} \\ \sigma'_{vy}/\sigma_{v0}^* < 1 & \rightarrow \text{Sensitivity Grade ۳} \end{cases} \quad (۱۵)$$

- Skempton, A.W. (1970), "The Consolidation of Clays by Gravitational Compaction", Geot. Soc. London, Q.J., No.125, pp.373-412.
- Skempton, A.W., (1944), "Notes on the compressibility of clays", Geol. Soc. London Q. J., Vol. 100, pp.119-136.
- Terzaghi, K. (1925). "Principals of Soil Mechanics", Engineering News-Record, Vol. 95,no.20.
- Tsuchida, T. (1994), "A unified concept of e-Log P relationship of clays", Proc., 13th ICSMFE, pp.71-74.
- Tsuchida, T. and Gomyo, M. (1995), "Unified model of e-Log(p) relationship with the consideration of the effect of void ratio", Proc. Int. Symp. on Compression and Consolidation of Clayey Soils, Department of Civil Engineering, Hiroshima, Japan, pp.379-384.
- Veniale, F. (1985). "The role of microfabric in clay soil stability", Miner. Petrogr. Acta, Vol.29-A, pp.101-119.
- Wroth, C. P., and Wood, D. M. (1976), "The correlation of some basic properties of soils, and its implication in the assessment of poor quality data", Res. Rep. CUED/C-soils TR31, University of Cambridge.
- [۱۴] همانطوریکه دیده شد از لحاظ ساختمانی و فیزیکی خاک ریزدانه تهران حساسیت بسیار کمی دارد که این مهم خود نمایانگر تغییر شکل کم و در نتیجه تحکیم‌پذیری کم این خاک تحت بار وارده می‌باشد.
- [۱۵]
- [۱۶]
- [۱۷]
- [۱۸]
- [۱۹]
- [۲۰]
- [۱] افلاکی، اسماعیل؛ (۱۳۷۴). آزمایشگاه مکانیک خاک، انتشارات پرهام.
- [۲] ابن جلال، ر؛ شفاعی بجستان، م؛ (۱۳۷۰)، اصول نظری و عملی مکانیک خاک، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- [۳] امینی، م؛ (۱۳۶۸)، دانسته‌های مهندسی خاک تهران، مدیریت بخش ژئوتکنیک متروی تهران.
- [۴] امینی، م؛ ارژنگ روش، ب؛ یوسفی، ک؛ (۱۳۵۶)، گزارش مقدماتی مطالعات رسوبات آبرفتی اطراف تهران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی کشور.
- [۵] حیدری، م؛ (۱۳۸۰)، "بررسی ارتباط بین خصوصیات مکانیکی و ساختار خاکهای ریزدانه جنوب تهران"، پایان نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- [۶] Aflaki, E. (1996), "Intrinsic Properties of Glacial Till: An Aid to Site Investigation Interpretation", Ph.D Thesis, University of Newcastle upon Tyne.
- [۷] Burland, J. B. (1990), "On the Compressibility and Shear Strength of Natural Clays", J. Geotech. & Geoenvironmental Engrg. ASCE, Vol.40, No.3, pp.329-378.
- [۸] Burland, J. B., Rampello, S. and Georgiannou, V. N. (1994), "A Laboratory Study of the Strength of Four Clays", Imperial College of Science, Technology and Medicine, London.
- [۹] Cerato, A.B. and Lutenegeger, A.J. (2004), "Determining the Intrinsic Compressibility of Fine-Grained Soils", J. Geotech. & Geoenvironmental Engrg. ASCE, Vol.130, No.8, pp.872-877.
- [۱۰] Katagiri, M. (1995), "Effect of clay water content on the consolidation of a sediment layer", Proc. Int. Symp. on Compression and Consolidation of Clayey Soils, Department of Civil Engineering, Hiroshima, Japan, pp.261-266.
- [۱۱] Leonards, G.A. and Ramaiah, B.K. (1959). "Time effects in consolidation of clays". ASTM Spec. Tech. Publ. 254, pp.116-130.
- [۱۲] Nakase, A., Kamei, T. and Kusakabe, O., (1988), "Constitutive parameters estimated by plasticity index", Proceeding of the ASCE, J. of Geotechnical Engineering Division, Vol. 114, GT 7, pp.844-858.
- [۱۳] Nash, D. F .T, Sills, G. C. and Davison, L. R. (1992), "One-Dimensional Consolidation Testing of Soft Clay From Bothkennar", J. Geotech. & Geoenvironmental Engrg. ASCE, Vol.42, No.2, pp.241-256.

۷- مراجع



نقشه شماره ۱ (ضمیمه): حدود مرزبندی تقریبی نهشته‌های رسوبی منطقه تهران بر اساس تغییرات سازندهای آبرفتی [۳]

جدول (۱ ضمیمه) پارامترهای آزمایشگاهی مربوط به خاک رس در چند کشور دنیا [۷]

خاک	W_L	W_P	G_s	e_L	e_{100}^*	C_c^*	مرجع
Lower Cromer Till	۲۵	۱۳	۲/۶۵	/۶۶۳	/۵۰۳	/۱۵۴	Gens (1982)
Boulder clay	۲۸	۱۴	۲/۶۹	.	.	.	Skempton (1944)
Silty clay	۲۸	۲۰	۲/۷۲	/۷۵۳	۰/۵۲	۰/۱۲	Ramiah (1959)
Magnus Clay	۳۵	/۲	۲/۷۳	.	/۶۰۳	/۱۳۶	Jardine (1985)
Grangemouth	۳۵	۱۷	۲/۷۸	/۷۶۲	.	.	Burland (1990)
Ton V	۳۶	۲۱	۲/۷۱	.	۰/۷۶	۰/۳۷	Skempton (1944)
Weald clay	۳۹	۱۸	۲/۷۳	/۹۵۶	/۶۵۹	/۳۲۹	Skempton (1944)
Boston blue clay	۳۹	۱۹	۲/۷۸	.	.	.	Skempton (1944)
Red soil	۴۵/۳	۲۳	/۶۶۷	/۹۷۳	۰/۷۴	۰/۳۵	Nagaraj et al. (1986)
River S. alluvium	۴۶	۲۲	۲	.	۰/۷۷	۰/۳۴	Skempton (1944)
Wiener Tegel	۴۶/۷	۲۵	۲/۵۹	/۹۷۶	۰/۸	۰/۳۱	Hvorslev (1937)
Oxford clay	۵۳	۲۲	۲/۷۶	.	/۷۸۵	۰/۳۷	Skempton (1944)
Ton IV	۵۸	۲۷	۲/۵۷	/۰۶۵	.	۰/۳۱	Skempton (1944)
Residual clay	۵۸	۲۶	۲/۸۵	۱	۰/۸	/۲۹۷	Ramiah (1959)
London clay	۶۲/۳	۲۷	۲/۷۴	/۰۸۴	/۸۵۹	.	Jardine (1985)
Belfast estuarine clay	۶۷	/۳	۲/۷۳	۱	.	۰/۳	Skempton (1944)
London clay	۶۷/۵	۲۴	۲/۶۶	/۲۰۸	۰/۹۶	۰/۳۲	Som (1968)
Ganges delta clay	۶۹	۳۰	۲/۷۱	۱	۰/۹۷	/۳۳۷	Skempton (1944)
Gosport clay	۷۶	/۵	۲/۷۷	/۱۹۱	/۰۲۴	.	Skempton (1944)
London clay	۷۷	۲۶	۲/۶۷	۱	۱	/۴۴۶	Skempton (1944)
Brown London clay	۸۸	۲۸	۲/۷۱	/۲۸۸	۱/۲	.	Skempton (1944)
Black cotton clay	۹۷/۳	۲۹	۲/۶۵	۱	۱	۰/۳۲	Nagaraj et al. (1986)
Kleinbelt Ton	۱۲۷	۲۸	۲/۷۳	/۳۶۲	/۲۲۷	/۴۹۴	Hvorslev (1937)
Argile plastique	۱۲۸	۳۲	۲/۷۷	۱	۱	.	Skempton (1944)
Whangamarino clay	۱۳۶	۳۲	۲/۵۸	/۶۵۳	۱/۲۲	۰/۴۲	Newland & Allely (1956)
SAIL	/۳	۳۶	۲/۷۸	۱	۱/۲	۰/۴۸	Nagaraj et al. (1986)
منطقه تهران	۱۵۹	۳۱	/۸۲۶	/۵۸۹	۱/۲۸	۰/۴۹	رحیم‌نژاد، تحقق حاضر (۱۳۸۵)
ورامین		۶۱	۲	۱	۱/۳۲	۰/۵۶	رحیم‌نژاد، تحقق حاضر (۱۳۸۵)
شهرری		۴۶		۱	/۷۴۴	۰/۶۹	رحیم‌نژاد، تحقق حاضر (۱۳۸۵)
بهبشت زهرا		۴۱	۲/۷۲	۱	۱	۰/۹۱	رحیم‌نژاد، تحقق حاضر (۱۳۸۵)
شهرسنگ		۳۲	۲/۶۹	/۷۸۲	۲/۱۸	۰/۸۱	رحیم‌نژاد، تحقق حاضر (۱۳۸۵)
باقرشهر		۲۸/۳	۲/۶۳	۱	۱/۸۲	/۷۹۷	رحیم‌نژاد، تحقق حاضر (۱۳۸۵)
چهار دانگه		۳۱	۲/۶۱	/۸۲۹	۲/۴۴	.	رحیم‌نژاد، تحقق حاضر (۱۳۸۵)
		۳۳/۶	۱۹	۲/۶۴	۱	/۷۶۹	۱/۰۵

		۶/۶	۶۶/۲	۱۱/۹	۲		
		۱۷		۱		۲۳۱/	
		۷/۱		۲۹/۰	۲۵۲/		۱
		۱۸		۲	.	۸۸/۰	
		۵/۱		۸۷/۰	۱۹۶/	۷۵۶/	
		۲۰		۲	.	.	
		۲/۱		۳۳۲/	۲۰۶/	۱۸/۰	
		۲۱		۲	.	۸۶۳/	
				۶۵۶/	۲۲۲/	.	
				۲	.	۹۸۶/	
				۵۱۸/	۲۱۰/	.	
				۳	.		
				۳۰۲/	۲۱۳/		
				۳	.		
				۳/۷۴			
				۴۴۳/			
				۴			
				۱/۱۲			
				۸۶/۰			
				۷۲/۰			
				۷۴/۰			
				۸۲/۰			
				۹/۰			