

تخمین پارامترهای مقاومت برشی زهکشی شده خاکهای ریزدانه جنوب تهران با استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی

علی قربانی، فرزین کلانتری، مازیار ظهوری

چکیده:

همواره تعیین دقیق پارامترهای مقاومت برشی خاک های ریزدانه با مشکلاتی همراه است. یکی از مهمترین این مشکلات، تهیه نمونه دست نخورده با کیفیت مناسب برای انجام آزمایش به منظور تعیین پارامترهای مکانیکی خاک می باشد. لذا محققین مختلفی در طی چند دهه گذشته سعی نموده اند تا با ایجاد ارتباطی بین پارامترهای مقاومتی با خصوصیات فیزیکی خاک ها در یک منطقه مشخص، امکان تخمین پارامترهای مقاومتی را بر اساس خصوصیات فیزیکی خاک ها فراهم نمایند.

هدف از تحقیق حاضر تخمین پارامترهای مقاومتی یک منطقه وسیع با خاکهای آبرفتی ریزدانه در جنوب شهر تهران می باشد. این تخمین بر مبنای تحلیل آماری داده های گردآوری شده از این منطقه صورت پذیرفته است. بر این اساس، ابتدا اطلاعات ژئوتکنیکی شامل پارامترهای فیزیکی و مقاومتی ۲۹۴ گمانه حفر شده در این منطقه گردآوری گردیده است. سپس این داده ها بطور مستقل مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته است و بر اساس این تحلیل ها، برآوردی از پارامترهای ژئوتکنیکی خاکها در اعماق مختلف و با سطح اطمینان قابل قبول ارائه گردیده است. علاوه بر تجزیه و تحلیل مستقل داده ها، بر پایه داده های گردآوری شده از این گمانه ها، مدل رگرسیونی غیرخطی جهت تخمین پارامترهای مقاومت برشی برحسب خصوصیات فیزیکی شاخص خاکهای ریزدانه (درصد رطوبت و شاخص خمیری) ارائه گردیده است. مدل ارائه شده با دقت قابل قبولی قادر به پیش بینی پارامترهای مقاومت برشی زهکشی شده خاک منطقه مورد مطالعه و سایر مناطق مشابه می باشد.

کلمات کلیدی: خاک ریزدانه - مقاومت برشی زهکشی شده - تحلیل آماری - مدل

رگرسیون غیرخطی

1- مقدمه

هدف نهایی از شناسایی ویژگی های ژئوتکنیکی هر محل، تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی مورد نیاز برای طراحی در آن محل می باشد. مهمترین پارامترهای طراحی مورد نیاز در یک محل، پارامترهای فیزیکی و پارامترهای مقاومتی آن محل می باشند. بر این اساس در شناسایی ویژگی های ژئوتکنیکی خاکهای ریزدانه، همواره تعیین پارامترهای فیزیکی نظیر میزان رطوبت خاک (w)، شاخص خمیری (PI) و پارامترهای مقاومتی نظیر چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی از اهمیت ویژه ای برخوردارند.

در تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی خاک يك محل دلایل متعددی از جمله تفاوت در روش نمونه گیری از خاک، انتخاب روش های متفاوت اندازه گیری (آزمایشگاهی و برجا)، تفاوت در روش های انجام آزمایش، عوامل انسانی موثر در آزمایش ها و محدودیت در تعداد نمونه گیری، باعث ایجاد تغییرات فراوان در نتایج مطالعات می شوند و لذا نمی توان مقادیر مشخص و یکسانی را برای پارامترهای خاکها تعیین نمود. از سوی دیگر به دلایل مختلف از جمله وسعت قابل توجه منطقه، ناهمسانی لایه های خاک، تفاوت در سازندهای تشکیل دهنده خاک، تفاوت در موقعیت، ضخامت و بطورکلی وضعیت هندسی لایه های خاک، پارامترهای خاکهای منطقه از الگوهای تصادفی تبعیت می کنند [۱]. لذا همواره در پیش بینی رفتار خاک یک محل، تحلیل آماری پارامترهای خاک آن محل امری اجتناب ناپذیر است.

تخمین پارامترهای ژئوتکنیکی یک محل همواره بر مبنای تحلیل آماری داده های گردآوری شده از آن محل استوار است. در تحلیل داده های یک محل، داده ها می توانند بطور مستقل و یا از طریق ارتباطی که هر داده با سایر داده ها دارد مورد بررسی قرار گیرند.

در تحلیل مستقل داده ها، میزان تمرکز و پراکندگی داده ها با استفاده از شاخص های آمار توصیفی مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار می گیرند و بر این اساس نحوه توزیع داده ها تعیین می شود. سپس در یک سطح اطمینان مشخص، برآوردی از پارامترهای خاکها ارائه می گردد. مهمترین شاخص تعیین تمرکز داده ها، میانگین داده ها می باشد. اما مسئله مهم در تفسیر آماری، بررسی تغییرات موجود در داده ها می باشد. میزان این تغییرات با شاخص های پراکندگی بیان می شود. مهمترین شاخص های تعیین پراکندگی داده ها، واریانس و ضریب تغییرات داده ها می باشند [۲].

بر اساس شاخص های تمرکز و پراکندگی داده ها، نحوه توزیع داده ها نیز می تواند مشخص شود. نحوه توزیع داده ها با دو معیار چولگی و کشیدگی تعیین می شود. چولگی در حقیقت معیاری از وجود یا عدم وجود تقارن در تابع توزیع می باشد. برای یک توزیع کاملاً متقارن چولگی صفر، توزیع

نامتقارن با کشیدگی به سمت مقادیر بالاتر، چولگی مثبت و برای توزیع نامتقارن با کشیدگی داده ها به سمت مقادیر کوچکتر، مقدار چولگی منفی می باشد. کشیدگی نیز معیاری از میزان تیزی منحنی در نقطه ماکزیمم است. مقدار این معیار برای توزیع کاملاً نرمال برابر ۳ می باشد. روش دیگری که در تخمین پارامترهای خاک یک محل می تواند مورد استفاده قرارگیرد، تخمین یک پارامتر بر اساس دیگر پارامترهای محل می باشد. در این روش ابتدا پارامترهای تاثیرگذار بر پارامتر مورد نظر تعیین می گردد و سپس پارامتر مورد نظر بر اساس پارامترهای تاثیرگذار بر آن برآورد می شود. معمولاً این ارتباط با استفاده از مدلسازی های رگرسیونی صورت می پذیرد. نوع و درجه مدل رگرسیونی نیز بر اساس پراکندگی داده ها و تعداد پارامترهای مستقل تاثیرگذار، تعیین می شود. هدف از تحقیق حاضر تخمین پارامترهای مقاومتی محدوده ای از جنوب شهر تهران است که با آبرفت ریزدانه پوشیده شده است و بر این اساس، امکان مقایسه خصوصیات این منطقه با سایر مناطق نیز فراهم گردیده است. جهت بررسی آماری پارامترهای ژئوتکنیکی این منطقه، ابتدا نتایج آزمایشهای فیزیکی و مکانیکی این منطقه در بانک اطلاعات گردآوری شده است. سپس این داده ها که شامل نتایج آزمایشهای فیزیکی و مکانیکی می باشند بر اساس شاخصهای آماری توصیف شده اند. همچنین برآوردی از پارامترهای فیزیکی و مقاومتی منطقه جنوب تهران نیز ارائه گردیده است. در نهایت ضمن بررسی میزان همبستگی بین پارامترهای مختلف این منطقه، مدل های رگرسیون چند متغیره درجه دوم جهت تخمین پارامترهای مقاومتی بر اساس میزان رطوبت و شاخص خمیری خاک ارائه گردیده است.

2- مرور مطالعات گذشته

تاکنون مناطق متعددی که با خاکهای ریزدانه پوشیده شده اند توسط محققین مورد بررسی و تحلیل آماری قرارگرفته اند. در جدول (۱) ضریب تغییرات مهمترین پارامترهای ژئوتکنیکی برخی از این مناطق نشان داده شده اند. لمب (Lumb,1966) تغییرات خصوصیات چهار نوع خاک شامل رس دریایی، رس ماسه دار آبرفتی، ماسه لای دار و لای ماسه دار را بررسی نمود و نشان داد که پارامترهای حد روانی و حد خمیری، شاخص تراکم، لگاریتم ضریب تحکیم، ضریب چسبندگی زهکشی شده خاک های چسبنده و تانژانت زاویه اصطکاک داخلی زهکش شده ماسه، از توزیع نرمال پیروی می کنند [۳]. از طرف دیگر لمب (Lumb,1971) در تحقیقات بعدی خود نشان داد که زاویه اصطکاک داخلی و ضریب چسبندگی بیشتر از توزیع بتا پیروی می کنند [۴]. سینگ و لی (Singh&Lee,1970) با تحقیقات خود بر روی لای رس دار لس آنجلس نشان دادند که مقاومت برشی خاک ها تقریباً از توزیع نرمال پیروی می کند و در

نهایت مقادیر ضریب تغییرات برای پارامترهای حد روانی و حد خمیری، میزان رطوبت و پارامترهای مقاومتی خاک را بیان نمودند [۵]. علاوه بر مطالعات ذکر شده، تحلیل های آماری وسیعی توسط لاکاس و ندیم (Lacasse & Nadim, 1996) در خصوص شاخص های آماری شامل ضریب تغییرات، میانگین و نوع توزیع احتمالی پارامترهای مهم خاک ها از جمله پارامترهای مقاومتی، حد روانی و خمیری، پارامتر های تحکیمی خاک انتشار یافته است [۶]. با توجه به اهمیت فراوانی که داده های حاصل از آزمایشهای برجا در مطالعات تعیین خصوصیات منطقه دارند، مطالعات آماری متعددی توسط (Phoon & Kulhawy, 1999) در خصوص نتایج آزمایش های برجا شامل آزمایشهای نفوذ استاندارد (SPT)، نفوذ مخروط (CPT)، برش پره (VST)، اتساع سنجی (DMT) و پرسیومتر (PMT) بر روی خاک های ریزدانه و ماسه ای صورت پذیرفت و میزان میانگین و ضریب تغییرات برای نتایج آزمایش های فوق ارائه گردید. هرچند دقت نتایج آزمایش های برجا وابستگی مستقیم به نوع خاک مورد آزمایش دارد، لیکن بر اساس مطالعات آنان، تغییرات در نتایج آزمایش های برجا برای خاک های ماسه ای بیشتر از تغییرات برای خاک های رسی می باشد [۷]. بیچر (Baecher, 2003) منطقه مربوط به ۴۱ معدن واقع در آمریکای شمالی، آفریقا و ژاپن را بر اساس نتایج آزمایش های نفوذ مخروط (CPT) و نفوذ استاندارد (SPT) بررسی نمود و میزان میانگین و ضریب تغییرات عدد نفوذ بدست آمده از این آزمایش ها را برای منطقه های فوق ارائه نمود. وی همچنین با بررسی زاویه اصطکاک داخلی موثر ه نوع آبرفت مختلف، به توصیف آماری این پارامتر و نوع تابع برازش شده بر آنها پرداخت. بر اساس مطالعات وی، تابع توزیع احتمال برای زاویه اصطکاک داخلی در اکثر موارد از توزیع نرمال پیروی می نمایند. وی همچنین نتیجه گرفت که تغییرات در نتایج آزمایش های آزمایشگاهی کمتر از تغییرات در آزمایش های برجا می باشد. او علت اصلی این موضوع را دقت بیشتر در حین انجام آزمایش های آزمایشگاهی می دانست [۸].

علاوه بر تحقیقات ذکر شده که پارامترهای خاک بطور مستقل مورد بررسی قرار گرفته اند، مطالعات متعدد دیگری جهت تخمین پارامترهای خاک بر اساس پارامترهای فیزیکی نیز صورت پذیرفته است. اسکمپتون (Skempton, 1957) جهت تعیین چسبندگی زهکشی نشده برای رسوبات تحکیم عادی یافته طبیعی رابطه (۱) را ارائه نمود و بر اساس آن چسبندگی زهکشی نشده (S_U) را به فشار موثر سربار و نشانه خمیری مرتبط نموده است [۸]:

$$S_U = (0.11 + 0.0037PI) \times P' \quad (1)$$

ایگناتووا (Ignatova, 2000) نتایج آزمایشهای برشی زهکشی نشده ۲۵۵ نمونه از خاک رس دوره ژوراسیک شهر مسکو را جمع آوری و مورد تحلیل آماری قرار داد. وی در این منطقه از مدل های رگرسیون خطی چند متغیره برای برقراری روابط همبستگی بین پارامترهای مقاومت برشی خاک و پارامترهای فیزیکی خاک شامل حد روانی (LL)، شاخص خمیری (PI) و نسبت تخلخل (e) استفاده نمود. بر این اساس، رابطه (۲) برای تعیین زاویه اصطکاک داخلی زهکشی نشده خاک و رابطه (۳) برای تعیین ضریب چسبندگی زهکشی نشده (KPa) ارائه گردیده اند [۹]:

$$\varphi = 31.29 - 0.14PI - 3.75e - 8.66LL \quad R = 0.805 \quad (2)$$

$$\text{Log } C = 1.662 + 0.014PI - 0.3361e - 0.3193LL \quad R = 0.819 \quad (3)$$

بوراک (Burak, 2007) و همکارانش نیز با انجام آزمایش سه محوری CU بر روی ۷۹ نمونه دست نخورده از خاک ریزدانه نوع CL-ML در محلی در شهر آنتالیا ترکیه، از مدل های رگرسیونی چند متغیره درجه دو جهت تخمین پارامترهای مقاومتی زهکشی نشده بر اساس میزان رطوبت و شاخص خمیری استفاده نمودند. بر اساس نتایج مطالعات آنان، در صورت استفاده از مدل رگرسیونی غیرخطی، میزان خطا به میزان قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. بر این اساس روابط (۴) و (۵) به ترتیب برای تخمین زاویه اصطکاک در حالت زهکشی نشده و ضریب چسبندگی در حالت زهکشی نشده ارائه گردیدند [۱۰]:

$$\varphi = 0.0077\omega^2 + 0.1305\omega - 0.0125PI^2 + 0.4242PI - 0.00012\omega PI - 2.3490 + \varepsilon \quad R^2 = 0.73 \quad (4)$$

$$C = 0.0006\omega^2 - 0.0737\omega - 0.0002PI^2 - 0.0282PI + 0.001\omega PI + 2.3071 + \varepsilon \quad R^2 = 0.90 \quad (5)$$

در این روابط ε نمایانگر انحراف استاندارد تخمین حول منحنی رگرسیون است که نشان دهنده میزان خطای استاندارد در تخمین حاصل شده از مدل ها می باشد. بر اساس مطالعات آنان میزان خطا در مدل خطی برای زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی به ترتیب ۲/۸۷ و ۰/۰۹ می باشد.

3- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در جنوب شهر تهران قرار دارد. شهر تهران در حد فاصل طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه شرقی تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی تا ۳۵ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی گسترده شده است. در تحقیق حاضر، بخش جنوبی این شهر مورد مطالعه قرار گرفته است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در سیستم مختصات جهانی (UTM) در محدوده مختصاتی (524000, 3952000) و (544000, 3936000) درجه قرار دارد. این منطقه از نظر تقسیمات شهری در برگیرنده مناطق ۹ تا ۲۰

شهر تهران می باشد. موقعیت جغرافیایی شهر تهران و منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نمایش داده شده است.

گستره شهر تهران در کوهپایه جنوبی کوههای البرز مرکزی قرار داشته و شمالی ترین فرونشست ایران مرکزی به حساب می آید. این شهر بر روی نهشته های آبرفتی جوان بنا شده است و این نهشته ها که از کوهپایه های البرز تا کناره کویر جنوبی تهران گسترش دارند، حاصل فعالیت رودخانه ها و سیلابهای فصلی جریان یافته از کوههای البرز می باشند. بر اساس مطالعات زمین شناسی انجام شده، نهشته های آبرفتی دشت تهران از شمال به جنوب از نظر خصوصیات زمین شناسی به چهار بخش متمایز تقسیم شده اند. این چهار بخش با علائم D,C,B,A مشخص گردیده است. در شکل (۱) مرز بین این آبرفت ها بصورت تقریبی نشان داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می شود این بخشها تقریباً "به صورت نوارهای شرقی- غربی بوده که به ترتیب از شمال به جنوب تهران گسترده شده اند. رسوبات شمال شهر تهران از آبرفت نوع A بوده که متشکل از شن و ماسه ی قلوه سنگ دار با دانسیته زیاد و سیمانتاسیون نسبتاً گسترده می باشد. بر این اساس اکثر مقادیر حاصل از نتایج آزمایش SPT در این آبرفت ، بیش از عدد ۵۰ می باشد.

عموماً "مقاومت مکانیکی و دانسیته خاک در بخش میانی شهر تهران نسبت به بخش شمالی این شهر کمتر است. بخش میانی شهر تهران از آبرفت های نوع B,C تشکیل یافته است. آبرفت نوع B خود به دو بخش شمالی (B_n) و جنوبی (B_s) تفکیک شده است. بخش شمالی این آبرفت (B_n) بصورت مخلوطی از شن و ماسه و قلوه سنگ و گاهی هم به همراه قطعه سنگهای درشت و پراکنده می باشد که بطور ناهمگون با رس و ماسه همراه است. این در حالی است که بخش جنوبی (B_s) نسبت به بخش شمالی (B_n) همگن تر بوده و میزان رس در آن افزایش می یابد [۱۱ و ۱۲].

یکی دیگر از آبرفت های تشکیل دهنده بخش میانی شهر تهران آبرفت نوع C می باشد. این آبرفت که گستره قابل ملاحظه ای از شهر تهران را نیز پوشانده است همگن تر از سایر آبرفت های تشکیل دهنده شهر تهران می باشد. بطور کلی رسوبات در بخش میانی شهر تهران از رسوبات دانه درشت منفصل (قلوه سنگ و شن گرد شده بدون سیمان) و در بخش جنوبی شهر تهران از رسوبات دانه ریز (سیلت و رس) تشکیل شده است.

رسوبات بخش جنوبی شهر تهران از نوع آبرفت D می باشد. این آبرفت متشکل از جوانترین نهشته های رودخانه ای یا سیلابی است و در بستر رودخانه ها، مسیل ها و مخروط افکنه های جوان بر جای گذاشته شده است. آبرفت نوع D خود به دو بخش D_1 و D_2 تفکیک شده است. بخش D_1 (منطقه مورد

مطالعه) این آبرفت در قسمت های جنوبی شهر تهران قرار دارد و همانگونه که اشاره شد عموماً از رسوبات ریزدانه ای (سیلت و رس) تشکیل شده است. بخش D_2 این آبرفت نیز که قسمت هایی از شمال شهر تهران را پوشانده است از رسوباتی با اندازه شن و قلوه سنگ تشکیل شده است و دارای عدسیههایی از نوع لای و ماسه نیز می باشد [۱۱]. در شکل (۱) علاوه بر مشخص شدن موقعیت هر یک از آبرفت های تشکیل دهنده شهر، تراز آب زیرزمینی در این آبرفت ها نیز مشخص شده است [۱۲]. با توجه به این شکل مشخص می شود در منطقه مورد مطالعه (آبرفت نوع D_1) تراز آب زیرزمینی نسبت به سطح زمین از عمق ۵ تا ۴۵ متر در نوسان است.

4- بانک اطلاعات ژئوتکنیک مورد استفاده در تحقیق

تحقیق حاضر بر اساس داده های موجود در بانک اطلاعات ژئوتکنیک ایران صورت پذیرفته است [۱۳]. این داده های بر مبنای نتایج ارائه شده توسط مشاوران ژئوتکنیک صلاحیت دار از طرف سازمان مدیریت کشورگردآوری شده است [۱۴، ۱۵، ۱۶]. علاوه برکنترل هایی که در هنگام ورود داده ها به بانک بر روی داده ها صورت پذیرفته است، با هدف کاهش میزان خطا موجود در داده ها، محدودیت های زیر نیز بر داده های استفاده شده در تحقیق، مد نظر قرار گرفته است:

- تمامی داده های انتخاب شده از شرایط یکسان آزمایشگاهی (از جمله ابعاد قالب، نوع نمونه) برخوردار بوده اند.
- تمامی داده ها با استفاده از روش های آماری پالایش شده و داده های پرت حذف شده اند.

این داده های در برگیرنده اطلاعات ۲۹۴ گمانه حفر شده در منطقه جنوب تهران می باشند. نمونه ای از نحوه گردآوری اطلاعات در این بانک در شکل (۲) نشان داده شده است [۱۳]. مقادیر پارامترهای فیزیکی این ۲۹۴ گمانه در شکل (۳) و موقعیت جغرافیایی و پراکنندگی آنها در شکل (۴) نمایش داده شده است.

به دلیل اهمیت پارامترهای مقاومتی خاک از یک سو و ناکافی بودن تعداد نتایج آزمایش های تک محوری، سه محوری و برش مستقیم زهکشی نشده از سوی دیگر، در بررسی پارامترهای مقاومتی، تحقیق حاضر تنها نتایج آزمایش های برش مستقیم انجام شده بر روی نمونه ها در حالت زهکشی شده مورد تحلیل قرار گرفته است.

5- تحلیل آماری پارامترهای منطقه مورد مطالعه و مقایسه با محلهای

مشابه

جهت شناسایی منطقه جنوب تهران، مطالعه کاملی بر اساس داده های موجود در بانک اطلاعات ژئوتکنیک ایران توسط نگارندگان صورت پذیرفته است.

نتایج این مطالعات در جداول (۲) تا (۴) تحقیق حاضر ارائه شده است [۱۷]. در جدول (۲) مقادیر فراوانی نسبی طبقه بندی نوع خاک در نمونه های اخذ شده از منطقه جنوب تهران ارائه شده است. توزیع آماری این مقادیر نیز در شکل (۵) نمایش داده شده است. بر اساس این شکل مشاهده می شود، رس با پلاستیسیته کم (CL) با فراوانی ۴۰/۳ % دارای بیشترین فراوانی نسبی بوده و پس از آن ماسه رسی (SC) با فراوانی ۹/۱ % ، رس و لای با پلاستیسیته پایین (CL-ML) با فراوانی ۸/۵ % و شن رسی (GC) با فراوانی ۶/۲ % دارای بیشترین فراوانی نسبی در نمونه های استخراج شده می باشند. بر اساس این نمودار می توان نتیجه گیری نمود که خاک تشکیل دهنده این منطقه عمدتاً ریزدانه می باشد و در برخی مناطق عدسیه‌هایی از خاک های درشت دانه نیز وجود دارد.

جهت شناسایی خصوصیات فیزیکی و مقاومتی آبرفتهای ریزدانه جنوب تهران، ابتدا پارامترهای فیزیکی و مقاومتی این آبرفت از دیدگاه آماری مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج این بررسی در جدول (۳) ارائه شده است. در این جدول مقادیر پارامترهای مقاومت برشی (در دو حالت زهکشی شده و زهکشی نشده) و همچنین پارامترهای فیزیکی (از جمله شاخص خمیری ، حد روانی و درصد رطوبت) منطقه با استفاده از شاخص های آماری توصیف شده اند.

میزان تمرکز پارامترهای فیزیکی منطقه جنوب تهران، براساس شاخص میانگین مورد بررسی قرار گرفته است. این شاخص براساس رابطه (۶) تعیین شده است. بررسی میزان پراکندگی پارامترهای فیزیکی منطقه مورد مطالعه نیز بر اساس شاخص های واریانس و ضریب تغییرات مورد بررسی قرار گرفته است. این شاخص ها به ترتیب بر اساس روابط (۷) و (۸) تعیین شده اند. نحوه توزیع پارامترهای فیزیکی منطقه مورد مطالعه نیز بر اساس دو معیار چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفته است. این دو معیار به ترتیب براساس روابط (۹) و (۱۰) محاسبه شده اند.

$$\mu = E(X) = \frac{\sum X}{n} \quad (6)$$

$$\sigma^2 = E(X - \mu)^2 \quad (7)$$

$$CV = \frac{S}{\mu} \quad (8)$$

$$SK = \frac{E(X - \bar{X})^3}{S^3} \quad (9)$$

$$K = \frac{E(X - \bar{X})^4}{S^4}$$

)
۱۰
(

در این روابط X متغیر تصادفی ، $E(X)$ امید ریاضی X ، S جذر واریانس (انحراف استاندارد) و n تعداد داده ها می باشد.

مقادیر میانگین زاویه اصطکاک داخلی موجود در جدول (۳) مشخص می نماید که خاکهای منطقه عمدتاً ریزدانه می باشد. این موضوع با توجه به متوسط بودن مقادیر میانگین چسبندگی نیز قابل تایید است. در این منطقه میانگین حد روانی کمتر از ۵۰ درصد بوده و این امر نشان می دهد که این منطقه از خاک ریزدانه و با پلاستیسیته کم تشکیل شده است. با توجه به زیاد بودن مقادیر انحراف استاندارد و ضریب تغییرات برای تمامی پارامترهای این منطقه ، مشخص می شود این منطقه یک منطقه کاملاً ناهمسان می باشد. علاوه بر نتایج فوق با توجه به میزان کشیدگی و چولگی پارامترهای ژئوتکنیکی این منطقه، می توان نتیجه گیری نمود که هیچ کدام از پارامترهای خاک این منطقه از توزیع نرمال پیروی نمی کنند.

در جدول (۱) علاوه بر ارائه نتایج شناسایی محل‌های مختلف در سایر نقاط دنیا ، ضریب تغییرات (بر اساس رابطه ۸) برای پارامترهای آبرفت ریزدانه جنوب تهران نیز ارائه گردیده است. مقایسه ضریب تغییرات پارامترهای ژئوتکنیکی آبرفتهای ریزدانه جنوب تهران با سایر منطقه های مشابه نشان می دهد که برای پارامترهای مقاومتی، حداکثر ضریب تغییرات مربوط به منطقه جنوب تهران می باشد. علاوه بر این، ضریب تغییرات پارامترهای فیزیکی منطقه جنوب تهران نیز مقادیر نسبتاً بالاتری در مقایسه با سایر مناطق دارند. به این ترتیب می توان نتیجه گرفت پراکندگی پارامترهای ژئوتکنیکی منطقه مورد مطالعه در تحقیق حاضر نسبت به سایر مناطق نسبتاً بیشتر می باشد. این موضوع نشان دهنده وجود ناهمسانی فراوان در خاکهای تشکیل دهنده این منطقه می باشد.

جهت روشن تر شدن خصوصیات ژئوتکنیکی آبرفت ریزدانه جنوب تهران، شاخص میانگین برای هر یک از پارامترهای فیزیکی و مکانیکی این آبرفت نیز در سطح اطمینان ۹۵٪ برآورد شده و در جدول شماره (۴) ارائه شده است. در این جدول علاوه بر این که برآوردها بصورت مستقل از عمق نمونه گیری (و به صورت کلی از سطح تا عمیق ترین عمق، ۳۰ متر) ارائه شده است ، بر اساس اعماق مختلف نمونه گیری (به عنوان مثال ۰ تا ۵ متر ، ۵ تا ۱۰ متر و ..) نیز مورد بررسی قرارگرفته اند. به عبارت دیگر با اطمینان ۹۵ درصد، میانگین پارامترهای ژئوتکنیکی در منطقه جنوب تهران در محدوده های ذکر شده در این جدول قرار دارند.

جهت مقایسه مقادیر پارامترهای فیزیکی و مقاومتی منطقه جنوب تهران با سایر مناطق، در جدول شماره (۴) مقادیر پارامترهای فیزیکی و مکانیکی برخی از مناطق مشابه نیز ارائه شده است. در این جدول، با توجه به ناهمسانی زیاد در آبرفتهای ریزدانه جنوب تهران و همچنین با توجه به این موضوع که نوع خاک این منطقه عمدتاً ریزدانه و از نوع رس با پلاستیسیته کم (CL) می باشد، برآورد شاخص میانگین برای نمونه های رس با پلاستیسیته کم نیز به طور جداگانه ارائه شده است.

۶- ارائه مدل رگرسیونی جهت تعیین پارامترهای مقاومت برشی زهکشی شده در هر محل اندازه گیری پارامترهای مقاومت برشی همواره پرهزینه، وقت گیر و با خطای فراوان همراه می باشد. این در حالی است که اندازه گیری پارامترهای فیزیکی به آسانی، با هزینه پایین و اتلاف زمان کمتری قابل انجام است. به این دلیل محققین مختلفی سعی نموده اند تا با ایجاد ارتباطی بین پارامترهای مقاومتی با خصوصیات فیزیکی خاک ها در یک محل مشخص، امکان تخمین پارامترهای مقاومتی را بر اساس خصوصیات فیزیکی خاک ها فراهم نمایند.

مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر مقاومت برشی خاک های دانه ای، تنش همه جانبه، نسبت تخلخل و میزان رطوبت می باشند. پارامترهای اصلی موثر بر مقاومت برشی در خاک های ریزدانه نیز شاخص خمیری و میزان رطوبت می باشند [۱۹]. بر این اساس معمولاً مدل های رگرسیونی پیشنهاد شده برای تخمین پارامترهای مقاومتی خاک ها به پارامترهای فوق وابسته می باشند.

در تحقیق حاضر از مدل رگرسیونی غیرخطی جهت ایجاد رابطه بین پارامترهای مقاومت برشی و پارامترهای فیزیکی خاکهای منطقه جنوب تهران، استفاده شده است.

۱-۶- بررسی همبستگی بین پارامترهای ژئوتکنیکی

باتوجه به ریزدانه بودن خاکهای منطقه جنوب تهران، ابتدا میزان همبستگی پارامترهای مقاومتی با پارامترهای شاخص خمیری و میزان رطوبت مورد بررسی قرار گرفته است و سپس بر این اساس، مدل رگرسیونی جهت تخمین پارامترهای مقاومتی پیشنهاد گردیده است. جهت بررسی میزان همبستگی بین دو پارامتر از نمودار پراکندگی استفاده می گردد. نوع همبستگی (مستقیم یا معکوس) و شدت همبستگی (ضعیف یا قوی) بین دو پارامتر نیز با استفاده از ضریب همبستگی تعیین می شود. این ضریب که با r نشان داده می شود برای دوسری متغیر تصادفی X_i, Y_i بر اساس رابطه (۶) محاسبه می شود:

$$r = \frac{\sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \bar{X})^2 \sum (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (۱۱)$$

در این رابطه \bar{X} و \bar{Y} به ترتیب مقادیر میانگین برای پارامتر X_i و Y_i می باشد. ضریب همبستگی همواره در محدوده $-1 \leq r \leq +1$ قرار دارد. نزدیک بودن این ضریب به اعداد ± 1 نشان داده شدت همبستگی و علامت این ضریب نشان داده نوع همبستگی بین دو پارامتر می باشد.

در شکل (۶) نمودار پراکنندگی و مقادیر ضریب همبستگی پارامترهای مقاومتی زهکشی شده خاک بر حسب میزان رطوبت و شاخص خمیری خاک برای منطقه جنوب تهران نشان داده شده است. بر این اساس مشاهده می شود در منطقه مورد مطالعه، بین ضریب چسبندگی خاک با میزان رطوبت و شاخص خمیری خاک همبستگی مستقیم وجود دارد. ضریب این همبستگی بین چسبندگی با میزان رطوبت نسبتاً خوب و با شاخص خمیری نسبتاً کم می باشد. در خصوص زاویه اصطکاک داخلی خاک این منطقه نیز بین زاویه اصطکاک داخلی خاک با میزان رطوبت و شاخص خمیری خاک همبستگی معکوس وجود دارد. شدت این همبستگی بین زاویه اصطکاک داخلی با میزان رطوبت قوی و با شاخص خمیری متوسط می باشد. به عبارت دیگر می توان نتیجه گیری نمود در منطقه جنوب تهران با افزایش میزان رطوبت خاک، عموماً میزان چسبندگی زهکشی شده خاک افزایش و میزان زاویه اصطکاک داخلی زهکشی شده خاک کاهش می یابد.

لازم به توضیح است عوامل متعدد دیگری مانند نسبت تخلخل، عمق نمونه و ... نیز می تواند بر پارامترهای مقاومتی تاثیر داشته باشد که در تحقیق حاضر به دلایل گوناگون از جمله مشاهده عدم رابطه همبستگی بین داده های گرد آوری شده و یا عدم کفایت داده های موجود در بانک اطلاعات، این داده ها در ساخت مدل مورد استفاده قرار نگرفته است.

۶-۲- معادلات رگرسیون خاکهای منطقه جنوب تهران

با توجه به همبستگی که بین پارامترهای مقاومتی خاکهای جنوب تهران با میزان رطوبت و شاخص خمیری این منطقه وجود دارد، مدل های رگرسیونی خطی و غیرخطی متعدد مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور از ۲۹۴ گمانه موجود در بانک اطلاعات منطقه، ۲۰۴ گمانه جهت ساخت مدل ها مورد استفاده قرار گرفتند. در نهایت مناسبترین روابط برای پیش بینی پارامترهای مقاومت برشی زهکشی شده خاک این منطقه بر اساس میزان رطوبت و شاخص خمیری خاک (با در نظر گرفتن محدوده های ذکر شده در جدول شماره ۳) به شرح زیر بدست آمدند:

$$C' = 0.0188\omega^2 - 0.329\omega + 0.00180PI^2 + 0.0834PI - 0.0107\omega * PI + 1.61 \quad)$$

$$\varphi' = -0.178\omega^2 - 3.11\omega - 0.0649PI^2 + 0.93PI + 0.189\omega * PI + 74.6$$

۱۳

همچنین با توجه به این که خاک منطقه جنوب تهران عمدتاً ریزدانه و از نوع رس با پلاستیسیته کم (CL) می باشد، مدل های رگرسیون جداگانه ای برای تخمین پارامترهای مقاومت برشی خاک CL در این منطقه ارائه گردیده است (روابط ۱۴ و ۱۵):

$$C' = 0.0219\omega^2 - 0.382\omega + 0.00214PI^2 + 0.113PI - 0.0134\omega * PI + 1.8$$

۱۴

$$\varphi' = -0.186\omega^2 - 3.86\omega - 0.0826PI^2 + 0.465PI + 0.263\omega * PI + 80.3$$

۱۵

در این روابط واحد شاخص خمیری و میزان رطوبت، درصد و واحد ضریب چسبندگی (Kg/cm²) می باشد. همچنین جهت استفاده از این روابط میزان رطوبت می بایست بصورت مقدار رطوبت (و نه درصد رطوبت) استفاده شود.

معمولاً ارزیابی دقت مدل رگرسیون، از طریق تعیین شاخص هایی صورت می پذیرد. هدف از محاسبه ای این شاخص ها آشکار شدن تفاوت "مقادیر مشاهده شده (مقادیر واقعی)" و "مقادیر برآورده شده توسط مدل رگرسیون" می باشد. این تفاوت همان خطای موجود در تخمین می باشد. در تحقیق حاضر ارزیابی دقت مدل پیشنهادی در روابط (۱۲) تا (۱۵) با استفاده از روش های زیر مورد بررسی قرار گرفته است:

الف- بررسی میزان خطای باقیمانده مدل رگرسیون. با استفاده از این آماره که بر اساس رابطه (۱۶) مشخص می گردد میزان خطا یا اریبی (Bias) برای هر یک از داده ها تعیین می شود.

ب- بررسی میزان خطای استاندارد تخمین مدل (ϵ). این آماره بر اساس رابطه (۱۷) محاسبه می شود و پراکندگی داد ها را حول منحنی رگرسیون مشخص می نماید. واحد این شاخص همان واحد پارامتر می باشد.

ج- بررسی ضریب تشخیص مدل (CD). این ضریب که با R^2 نیز نمایش داده می شود مشخص می نماید چه مقدار از تغییرات متغیر های مستقل بر اساس مدل قابل توجیه است. حداکثر مقدار این آماره ۱ می باشد. هرچه مقدار این آماره به عدد ۱ نزدیکتر باشد پراکندگی بین مقادیر برآورد شده و مقادیر اندازه گیری شده کمتر است. ضریب تشخیص در مدل رگرسیون خطی همان مربع

ضریب همبستگی می باشد که در رابطه (۱۱) به آن اشاره شد. در حالت کلی ضریب تعیین بر اساس رابطه (۱۸) محاسبه می شود.

د- جذر میانگین مربع خطا (RMSE). این آماره بر اساس رابطه (۱۹) محاسبه می شود. بر اساس این رابطه، هرچه مقادیر برآورد شده به مقادیر اندازه گیری شده نزدیکتر باشد، مقدار این آماره کمتر می شود. حداقل این آماره صفر می باشد و این حالتی است که تمامی مقادیر برآورد شده بر مقادیر اندازه گیری شده منطبق باشد. واحد این شاخص همان واحد پارامتر می باشد.

همچنین جهت ارزیابی دقت مدل رگرسیون پیشنهادی علاوه بر بررسی شاخص های فوق، نمودارهای مقادیر مشاهده شده و مقادیر برآورده شده توسط مدل رگرسیون نیز ترسیم گردیده است.

$$e = \hat{Y}_i - Y_i \quad (16)$$

$$\varepsilon = \left[\frac{\sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N - K - 1} \right]^{0.5} \quad (17)$$

$$DC = R^2 = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y}_i)^2}{\sum (Y_i - \bar{Y}_i)^2} \quad (18)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{N} \right]^{0.5} \quad (19)$$

در روابط فوق \hat{Y}_i مقادیر برآورده شده توسط مدل رگرسیون، Y_i مقادیر اندازه گیری شده، N تعداد مشاهدات و K تعداد متغیرهای مستقل می باشد. شاخص های ارزیابی دقت مدل های ارائه شده در روابط (۱۲) تا (۱۵) در جدول (۵) ارائه شده است. همچنین در شکل های (۷) و (۸) نمودار پراکنش بین مقادیر اندازه گیری شده و مقادیر برآورده شده از این روابط نمایش داده شده است. همان گونه که در شکل ۷- الف مشاهده می شود مقدار خطا باقیمانده برای ضریب چسبندگی عمدتاً کمتر از $0.1 \pm \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$ می باشد که این مقدار در مقایسه با تغییرات ضریب چسبندگی در این منطقه ناچیز است. میزان حداکثر این خطا نیز تنها برای برخی از تخمین ها به بیشتر $0.2 \pm \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$ می رسد. همچنین نسبت مقادیر پیش بینی شده به مقادیر اندازه گیری شده (شکل ۷- ب) نیز عموماً در بین محدوده های ۰.۶ تا ۱.۴ قرار دارد. این موضوع برای رابطه (۱۳) (شکل های ۷- ج، ۷- د) از روند بهتری برخوردار است. همان گونه که در شکل ۷- ج مشاهده می شود

باقیمانده خطا برای زاویه اصطکاک داخلی آبرفت ریزدانه جنوب تهران نیز عمدتاً "کمتر از ± 3 درجه می باشد. به همین دلیل در اکثر مقادیر نسبت مقادیر پیش بینی شده به مقادیر اندازه گیری شده در محدوده ۲۰٪ اختلاف (0.8 تا 1.2) قرار دارد (شکل ۷-د). در مجموع بر اساس نمودار های ارائه شده در شکل (۷) می توان نتیجه گیری نمود مدل ارائه شده برای برآورد مقادیر زاویه اصطکاک داخلی (رابطه ۱۳) از خطای کمتری نسبت به مدل برآورد ضریب چسبندگی (رابطه ۱۲) برخوردار است. افزایش شاخص R^2 برای رابطه (۱۳) نسبت به رابطه (۱۲) نیز تایید کننده این موضوع است. علت اصلی وجود خطا در این دو رابطه پراکندگی و ناهمسانی مقادیر در آبرفت جنوب تهران می باشد. در مجموع با توجه به این که مقادیر خطای باقیمانده در مقایسه با مقادیر اندازه گیری شده در این منطقه ناچیز می باشد، می توان نتیجه گرفت مدل های ارائه شده از دقت قابل قبولی برخوردار می باشند.

در شکل ۸ نمودارهای ارزیابی دقت روابط (۱۴) و (۱۵) ارائه شده است. در شکل های ۸-الف، ۸-ب مقادیر باقیمانده خطا و نسبت مقادیر برآورد شده به مقادیر اندازه گیری شده برای پارامتر ضریب چسبندگی نشان داده شده است. همان گونه که در این شکل ها نیز مشخص است، حداکثر خطای باقیمانده حدود $0.15 \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$ می باشد. همچنین به جز چند داده معدود، نسبت مقادیر برآورد شده به مقادیر اندازه گیری شده در محدوده 0.8 تا 1.2 قرار دارند. در خصوص تخمین زاویه اصطکاک داخلی (شکل های ۸-ج، ۸-د) حداکثر خطای باقیمانده عمدتاً کمتر از ± 2.5 درجه می باشد و نسبت مقادیر برآورد شده به مقادیر اندازه گیری شده تقریباً برای تمامی مقادیر در محدوده 0.8 تا 1.2 قرار دارند.

مقایسه شاخصهای ارزیابی دقت روابط (۱۲) با (۱۴) در جدول (۵) نشان می دهد مقدار خطای تخمین مرتبط با رابطه (۱۴) نسبت به رابطه (۱۲) کاهش داشته است زیرا در رابطه (۱۴) آماره های ϵ و $RMSE$ به طور قابل ملاحظه ای کاهش داشته اند (نسبت به رابطه ۱۲) و آماره R^2 نیز از 82% به 90% افزایش یافته است. این موضوع در خصوص مقایسه روابط (۱۳) با (۱۵) نیز صادق است. بر این اساس میزان خطای تخمین در رابطه (۱۵) کمتر از خطای تخمین انجام شده بر اساس رابطه (۱۳) می باشد.

در مجموع با توجه به شاخص های ارزیابی خطا موجود در جدول (۵) و همچنین مقایسه شکل های (۷) و (۸) مشخص می شود علت اصلی وجود خطا در مدل های (۱۲) و (۱۳)، ناهمگنی خاک منطقه می باشد و هنگامی که مدل سازی به طبقه خاصی از خاک منطقه (بطور مثال CL) محدود شود، میزان خطای تخمین به طور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

۳-۶-۲- اعتبار سنجی مدل های رگرسیونی پیشنهادی

سنجش اعتبار مدل رگرسیون پیشنهادی در روابط (۱۲) تا (۱۵) بر اساس دو سری داده متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است.

۱-۳-۶- اعتبار سنجی روابط ارائه شده برای منطقه جنوب تهران

جهت سنجش اعتبار مدل رگرسیونی پیشنهادی در روابط (۱۲) و (۱۳)، از ۹۰ گمانه حفر شده در منطقه جنوب تهران که قبلاً در این مدل ها لحاظ نشده بود، استفاده شده است. این گمانه ها به طور تصادفی انتخاب شده اند و پراکنندگی جغرافیایی مناسبی نیز در این منطقه دارند. مقادیر پارامترهای فیزیکی این گمانه ها در شکل (۹) و موقعیت جغرافیایی آنها در شکل (۴) نشان داده شده است. جهت اعتبار سنجی روابط (۱۲) و (۱۳) ابتدا پارامترهای مقاومتی این گمانه ها با جایگذاری میزان رطوبت و شاخص خمیری نمونه ها در این روابط برآورد گردیده است. سپس مقادیر برآورد شده با مقادیر واقعی مورد مقایسه قرار گرفته است. در شکل (۱۰) نمودار مقایسه مقادیر برآورد شده و مقادیر واقعی ترسیم شده است. شاخص های اعتبار سنجی نیز برای این داده ها در جدول (۶) ارائه شده است. با توجه به این که ۹۰ گمانه انتخاب شده جهت اعتبارسنجی، یک نمونه کاملاً تصادفی از منطقه می باشد، مشاهده می شود در جدول (۷) مقادیر شاخصهای DC و RMSE تفاوت چندانی با آماره های صحت سنجی بدست آمده در روابط (۱۲) و (۱۳) در جدول (۵) ندارند. بر این اساس می توان نتیجه گرفت روابط (۱۲) و (۱۳) می توانند با دقت قابل قبولی مقادیر پارامترهای مقاومتی منطقه جنوب تهران را برای سایر نمونه های نیز برآورد نمایند. همان گونه که در شکل (۱۰) نیز مشاهده می شود مقادیر پیش بینی شده (بر اساس روابط ۱۲ و ۱۳) و مقادیر اندازه گیری شده از روند یکسانی برخوردار هستند و به جز چند مورد محدود، انطباق مناسبی بین این مقادیر وجود دارد.

۲-۳-۶- اعتبار سنجی روابط ارائه شده برای خاک های رسی نوع CL

همانگونه که اشاره شد مدل های رگرسیونی پیشنهاد شده در روابط (۱۴) و (۱۵) جهت برآورد پارامترهای مقاومتی خاک های رسی نوع CL جنوب شهر تهران پیشنهاد شده اند. در ادامه سنجش اعتبار این روابط در تخمین پارامترهای مقاومتی خاک رسی نوع CL برای تمامی گستره شهر تهران مورد بررسی قرار گرفته است. جهت سنجش اعتبار این روابط، ابتدا منطقه ای متفاوت با منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. منطقه انتخاب شده در برگزیده تمامی مناطق ۲۲ گانه شهر تهران می باشد. سپس بانک اطلاعاتی

شامل اطلاعات ۴۵ نمونه اخذ شده از خاک رسی نوع CL از منطقه انتخاب شده، گردآوری شده است [۲۱]. مقادیر این داده ها در شکل (۱۱) نمایش داده شده است. براساس روابط (۱۴) و (۱۵) و با جایگذاری مقادیر حد خمیری و میزان رطوبت، پارامترهای مقاومت برشی این نمونه ها برآورد شده است. در نهایت جهت ارزیابی میزان دقت این روابط برای کل شهر تهران، مقادیر برآورد شده از روابط (۱۴) و (۱۵) با مقادیر واقعی اندازه گیری شده در آزمایشگاه مورد مقایسه قرار گرفته است.

در شکل (۱۲) مقادیر برآورد شده از مدل و مقادیر اندازه گیری شده هر یک از نمونه ها نمایش داده شده است. همچنین آماره های اعتبار سنجی این روابط در جدول (۶) ارائه شده است. مقایسه مقادیر جدول (۶) با شاخص های اعتبار سنجی محاسبه شده از روابط (۱۴) و (۱۵) (جدول ۵) نشان می دهد که با استفاده از روابط (۱۴) و (۱۵) در برآورد پارامترهای مقاومتی نمونه های رسی برای کل شهر تهران میزان خطای برآورد افزایش می یابد. این افزایش خطا باعث کاهش ۱۰ درصدی در شاخص CD شده است. در نهایت با توجه کاهش قابل قبول شاخص CD و با توجه به اینکه مقادیر شاخص RMSE افزایش محسوسی نداشته است، استفاده از روابط (۱۴) و (۱۵) جهت تخمین پارامترهای مقاومت برشی خاک رسی نوع CL کل شهر تهران همچنان از دقت قابل قبول برخوردار است. میزان انطباق مقادیر برآورد شده و اندازه گیری شده برای خاک های رسی نوع CL (شکل ۱۲) نیز نشان دهنده این موضوع می باشد.

۷- نتیجه گیری

در این تحقیق تخمین پارامترهای مقاومتی خاکهای ریزدانه منطقه جنوب تهران مد نظر بوده است. در این راستا با توجه به وسعت قابل توجه منطقه جنوب تهران و همچنین فرضیات مبتنی بر تصادفی بودن طبیعت خاک، پردازش داده ها موجود از این منطقه بر اساس تحلیل آماری مد نظر قرار گرفت. بر این اساس مشخص گردید که نوع خاک تشکیل دهنده این منطقه عمدتاً "ریزدانه با پلاستیسیته کم (CL) می باشد. سپس نتایج آزمایشهای فیزیکی و مقاومتی این آبرفتها مورد بررسی قرار گرفت. با مقایسه شاخص های آماری این خاکها با مناطق مختلف مشخص گردید که تغییرات پارامترهای خاک در این منطقه بیش از تغییرات پارامترهای برخی مناطق در سایر نقاط جهان می باشد. همچنین مقایسه پارامترهای فیزیکی و مقاومتی این رسوبات با مشخصات برخی مناطق دیگر نشان داد که در آبرفتهای ریزدانه جنوب تهران عموماً "پارامترهای فیزیکی خاک (LL, PI) مقادیر کمتری از پارامترهای فیزیکی سایر مناطق دارند. بالعکس پارامترهای مقاومتی عموماً" از پارامترهای مقاومتی سایر مناطق

ریزدانه، مقادیر بالاتری دارند. همچنین در این تحقیق مدل سازی رگرسیونی چند متغیره پارامترهای مقاومتی خاک بر اساس شاخص خمیری و میزان رطوبت خاک ارائه گردید. براساس اعتبارسنجی های انجام شده مشخص گردید که مدلسازی رگرسیونی چند متغیره درجه دو می تواند با دقت قابل قبول، تخمین مناسب از پارامترهای مقاومتی این منطقه را ارائه نماید. علاوه بر موارد فوق مشخص گردید که مدل های رگرسیونی پیشنهادی برای خاکهای رسی با پلاستیسیته کم (CL) آبرفتهای ریزدانه جنوب شهر تهران، می تواند با دقت قابل قبولی در تخمین پارامترهای مقاومتی این نوع خاک در کل گستره شهر تهران نیز مورد استفاده قرار گیرد.

مراجع

- [1] Baecher . B. Gregory & T. Christian . John , “ Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering” John Wiley and Sons, London and New York, 605pp., 2003
- [۲] حسنی پاک، علی اصغر. ۱۳۷۷. زمین آمار (ژئواستاتیک). چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران. ۳۱۵ صفحه.
- [3] Lumb, P., “Variability of Natural Soils”, Canadian Geotechnical Journal, 3(2), May 1966, 74 - 97.
- [4] Lumb, P., “Precision & Accuracy of Soil Tests”, Proceedings, First International Conference on Applications of Statistics & Probability to Soil & Structural Engineering, Hong Kong, 1971, 329 – 345.
- [5] Singh, A. & Lee, K. L., “Variability in Soil Parameters”, Proceedings, Eighth Annual Engineering Geology & Soils Engineering Symposium, Idaho, 1970, 159 - 185
- [6] Lacasse, S., and Nadim, F. 1996, “Uncertainties in characterising soil properties, Uncertainty in the Geologic Environment” GSP No. 58, ASCE, pp. 49–75, reproduced by permission of the American Society of Civil Engineers
- [7] Phoon, K. K., and Kulhawy, F. H. (1999), “Characterization of geotechnical variability”, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 36, No. 4, pp. 612-624.
- [8] Skempton, A. W. 1957. “ Discussion: The Planning and Design of New Hong kong Airport” Proceedings, Institute of Civil engineers, London. Vol. 7, 305-307
- [9] Ignatova. O. I , 2000, “Moscow Jurassic clayey soils as a medium for the installation of underground structures and deep trenches”, soil mechanics and Foundation Engineering Journal , 37:49-52
- [10] Burak Goktepe. A & Altum. S & Altintas . G & Tan . O , 2007, “ Shear strength estimation of plastic clays with statistical and neural approaches”, Building and Environment Journal
- [۱۱] بربریان، مانوئل؛ قریشی، منوچهر؛ ارژنگ روش، بهرام و مهاجر اشجعی، ارسلان. ۱۳۷۱. پژوهش و بررسی ژرف نوزمینساخت، لرزه زمینساخت و خطر زمینلرزه- گسلس در گستردهی تهران و پیرامون. چاپ دوم. سازمان زمینشناسی کشور. گزارش شماره ۵۶. ۳۱۳ صفحه.
- [۱۲] مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ با همکاری آژانس همکاری های بین الملل ژاپن (JICA). ۱۳۸۰. گزارش ریز پهنه بندی لرزه ای تهران بزرگ . ۳۸۱ صفحه
- [۱۳] www.bhrc.ac.ir/geobank (بانک اطلاعات ژئوتکنیک ایران - مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان)
- [۱۴] کلانتری، فرزین و هاشمی طباطبایی، سعید. بانک اطلاعات ژئوتکنیک ایران. ۱۳۸۱. مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان

[۱۵] کلانتری، فرزین و هاشمی طباطبایی، سعید و کشفی، سید مجتبی . ۱۳۸۲ . گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی طرح بانک اطلاعات ژئوتکنیک ایران . مرکز تحقیقات مسکن و ساختمان

[16] Kalantary . F & Ardalan .H & Nariman-Zadeh .N ,2009, “An investigation on the Su–NSPT correlation using GMDH type neural networks and genetic algorithms ” Engineering Geology Journal , P:144-155

[۱۷] قربانی، علی- کلانتری، فرزین و ظهوری ، مازیار - ۱۳۹۰- گردآوری و تحلیل آماری پارامترهای مقاومتی آبرفت نوع " D" تهران به کمک داده های بانک اطلاعات ژئوتکنیک ایران- پایان نامه کارشناسی ارشد - دانشگاه گیلان - دانشکده فنی - ۱۸۴ صفحه.

[18] Terzaghi. K&Peck.R.B&Mesri.G, 1996.“Soil Mechanics in engineering Practice,3rd Edition”.John Wiley &Sons,Inc,549

[19] Bardet,J.P,1997. “Experimental Soil mechanics,1st Edition”.Prentice-Hall.Simon&Schuster,584p.

[20] William Lambe. T. W & Whitman. R. V , 1969, “ Soil Mechanic,1st Edition”,John Wiley &Sons,Inc,478p.

[۲۱] شریعتمداری، نادر- نوری زاد، علی و سکه چی ، مهدی - ۱۳۸۸ - پهنه بندی ژئوتکنیکی تهران با استفاده از GIS - پایان نامه کارشناسی ارشد - دانشگاه علم و صنعت . دانشکده عمران - ۲۱۹ صفحه.

[22] Victor Li . K.S & Robert Lo .S, 2006, “Characteristic and design soil parameters use of statistics Geo technical Engineering” Issue GE3, P:141-146

[23] Hashemi. Siamak , 2002, “The design of a relational database on the geotechnical properties of Northern England Glacial Till” UNIVERSITY OF NEWCASTLE

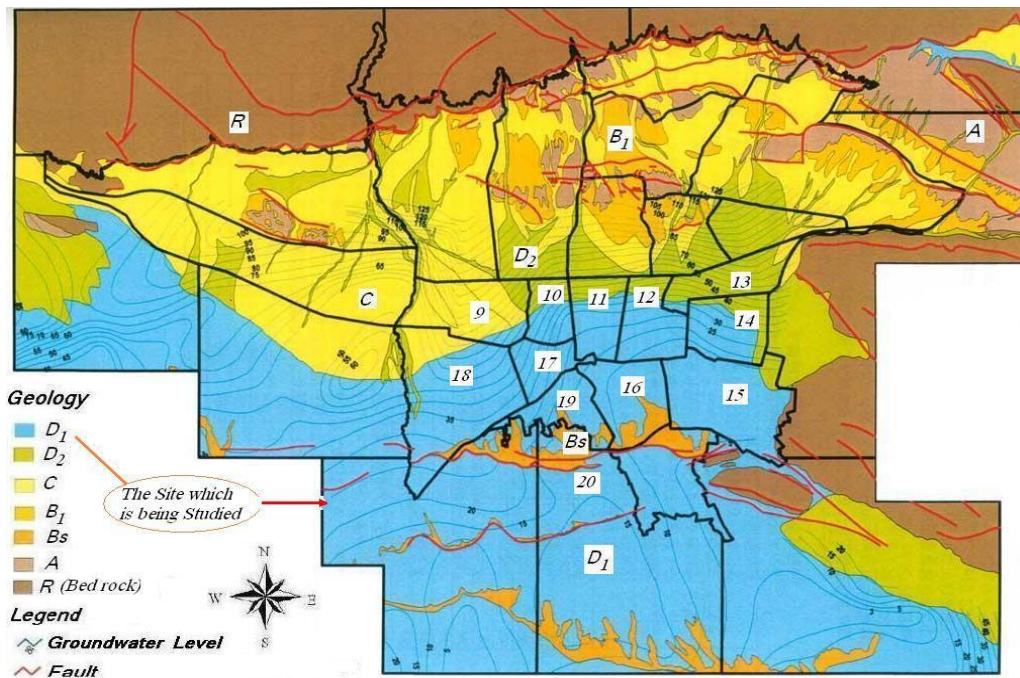
[24] Nagaraj .T.S & Miura. N. 1998, “ Soft clay Behavior , Analysis and Assessment” , pp 240-247

[25] Hirata S & Yao S & Nishida K ,1990, “ Multiple regression analysis between the mechanical and physical properties of cohesive soils”, Soils and Foundations Journal,30:91-108

[26] Yoon. G. & Tak Kim. B & Soo Jeon. S , 2004 , “ Empirical correlations of compression index for marine clay from regression analysis”, Canadian Gotechnical Journal

[27] Abdullah A. Sabtan, 2004, “ Geotechnical properties of expansive clay shale in Tabuk, Saudi Arabia”, Journal of Asian Earth Sciences

[28] N. El Amrani Paaza & F. Lamas & C. Irigaray & J. Chacon, 1997, “ Engineering geological characterization of Neogene marls inthe Southeastern Granada Basin”, Spain, Engineering Geology Journal



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و محدوده تقریبی آبرفت های تشکیل دهنده ، تراز آب زیرزمینی و مناطق شهری مورد مطالعه [۱۲]

http://www.bhrc.ac.ir/geobank/main.aspx

بانک اطلاعات ژئوتکنیک ایران

سیستم جستجوی اطلاعات

کاربر تستی

خروج

دریافت

جستجو

صفحه خانه

تماس با ما

درباره ما...

Geotechnical LOG

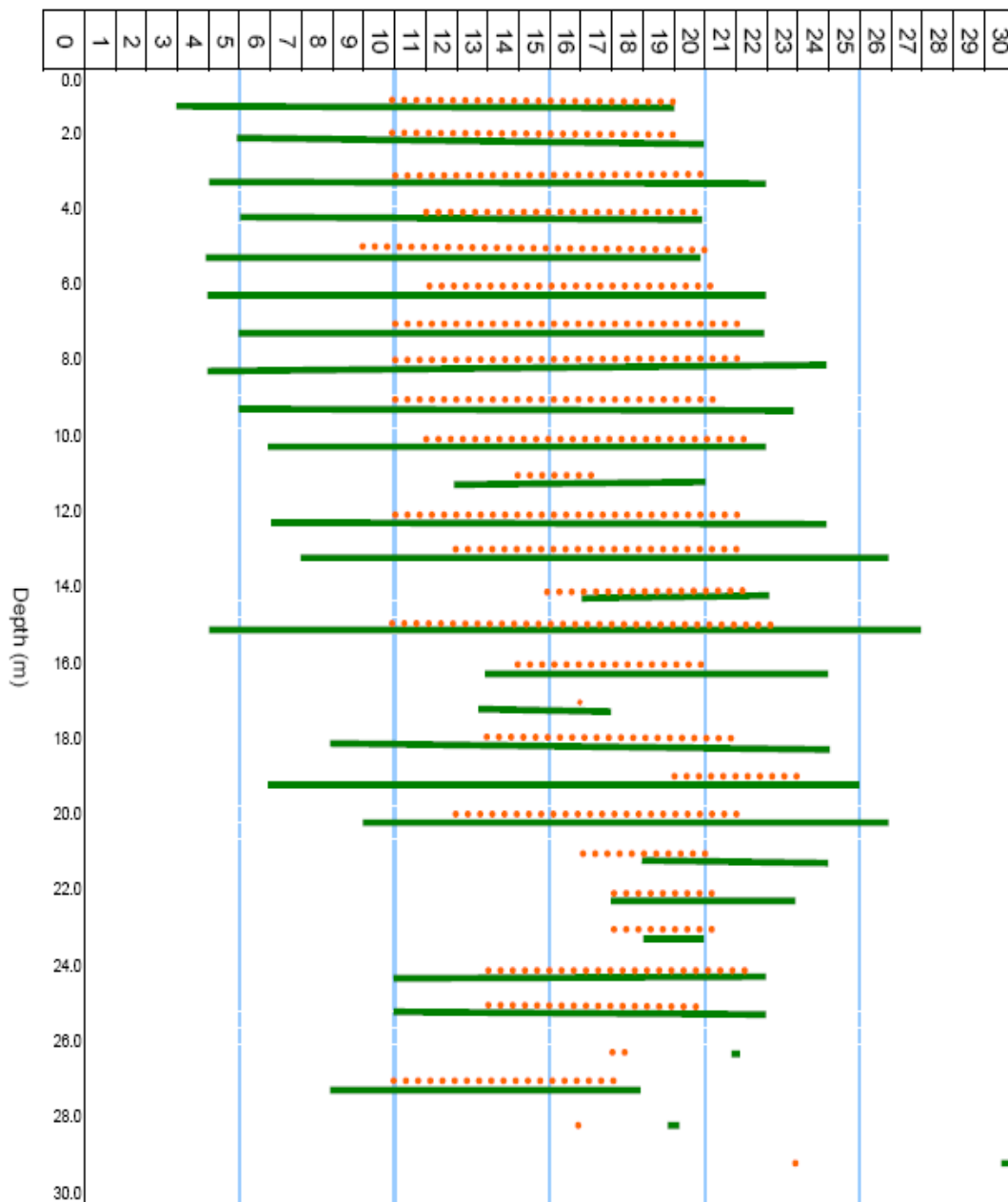
گمانه: ۱ از ۲ [انقره] [بسته] [قبل] [اول]

| | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|---|-------------|----------------------------|--------------------|-----------|-------------------|--|-------------------|------|-------------|------------|--------------|-------------|
| Project Name: | Ge : Ee | Client: | شرکت تولید مسکن | Commencement Date: | 1382/11/1 | Drilling Company: | | Bore Inclination: | | Coordinate: | | Water Table: | 19.6 |
| | ژئوتکنیک پروژه ساختمانی فاز ۳ نواب بوجهای | Consultant: | مطالعات ژئوتکنیک و محاسبات | Complete Date: | | Head Drilling: | | Bore Orientation: | | X | Y | Z | Cave: |
| Location: | تهران | Contractor: | | Test Pit No: | 9 | Drilling Machine: | | Depth: | 19.6 | 534541.73 | 3947932.14 | 1040.51 | Checked By: |

● Identification ● Physical Test ● In-Situ Test ● Mechanical ● Chemical Test

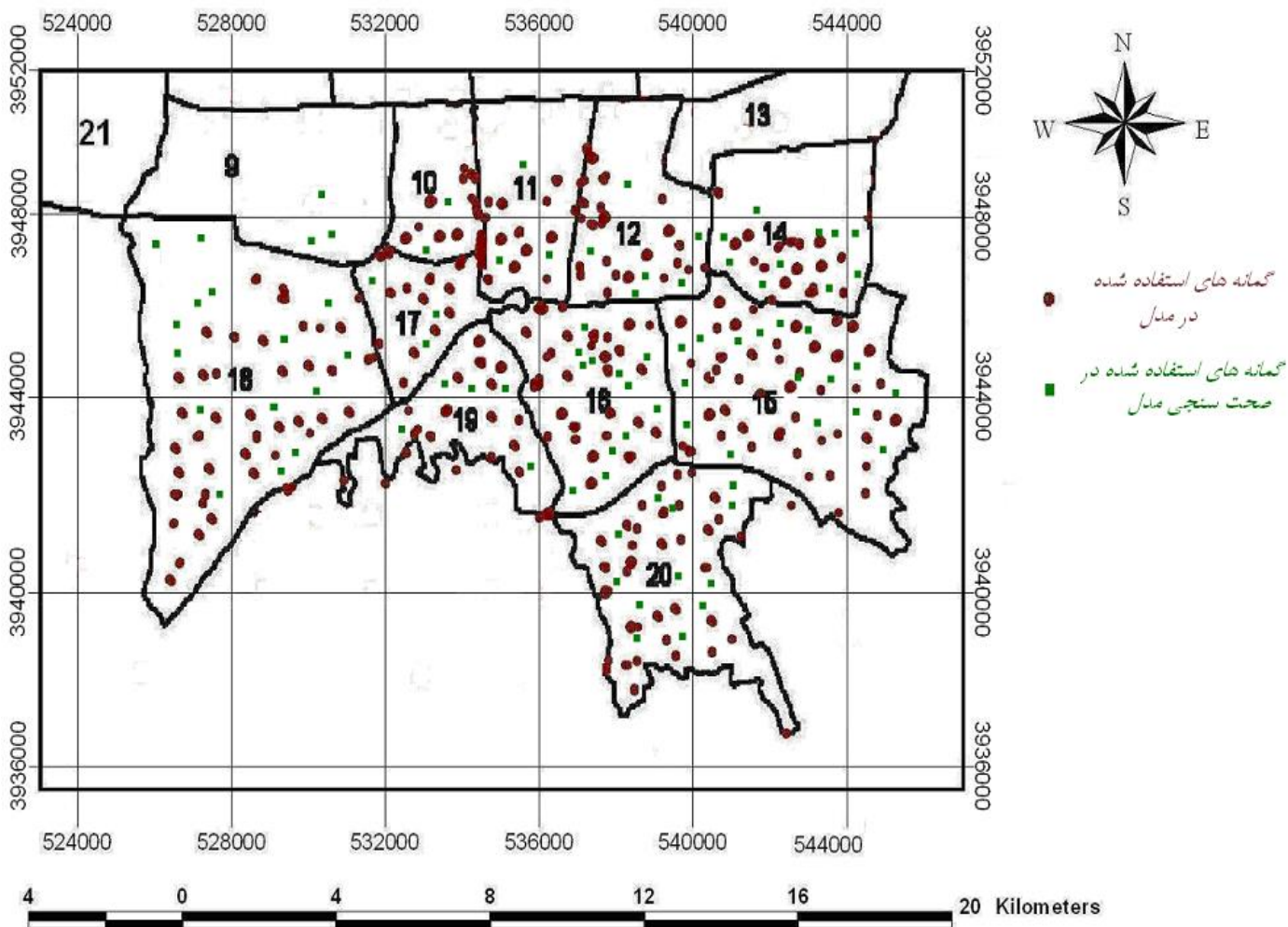
| Depth | | Sample | | Soil | |
|-------|------|--------|------|---|--------|
| From | To | No | Type | Desc | Symbol |
| 1.7 | 1.9 | | D | Well graded gravel with silt and sand, Brown. | GW-GM |
| 2.2 | 2.4 | | D | Lean clay with sand, Brown. | CL |
| 3.2 | 3.4 | | D | Well graded gravel with sand, Light Grey. | GW |
| 5.2 | 5.4 | | D | Silty sand with gravel, Light Grey. | SM |
| 7 | 7.2 | | D | Sandy silt, Light Brown. | ML |
| 9 | 9.2 | | D | Sandy silt, Light Brown. | ML |
| 9.7 | 9.9 | | D | Poorly graded gravel with sand, Light Grey. | GP |
| 11.5 | 11.7 | | D | Well graded gravel with sand, Light Grey. | GW |
| 13.2 | 13.4 | | D | Silty clay with sand, Brown. | CI-MI |

شکل ۲- نمونه ای از داده های موجود در بانک اطلاعات ژئوتکنیک ایران [۱۲]

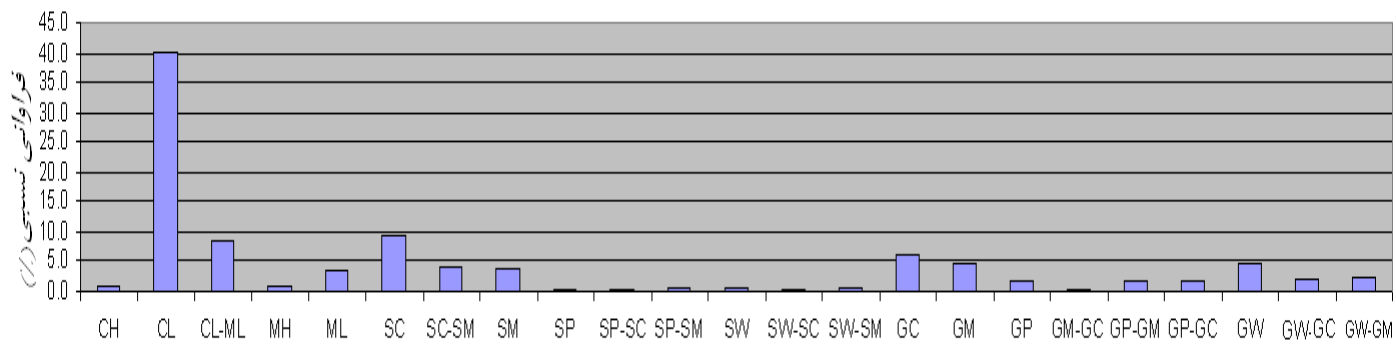


ω
 PI —————

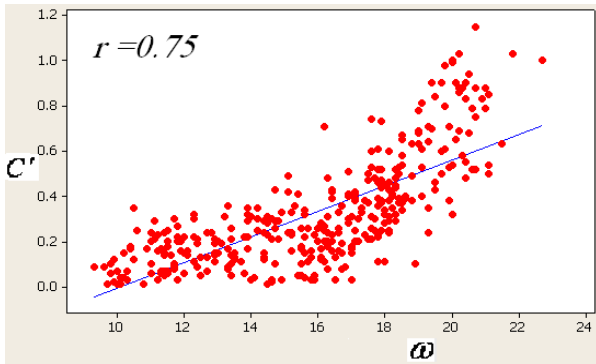
شکل ۳- مقادیر پارامترهای فیزیکی استفاده شده در مدل سازی رگرسیون منطقه (درصد رطوبت و شاخص خمیری) برحسب عمق



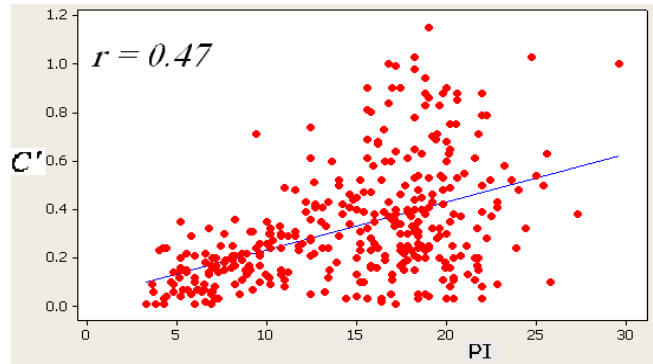
شکل ۴- موقعیت جغرافیایی گمانه های استفاده شده در تحقیق بر اساس مختصات جهانی (UTM)



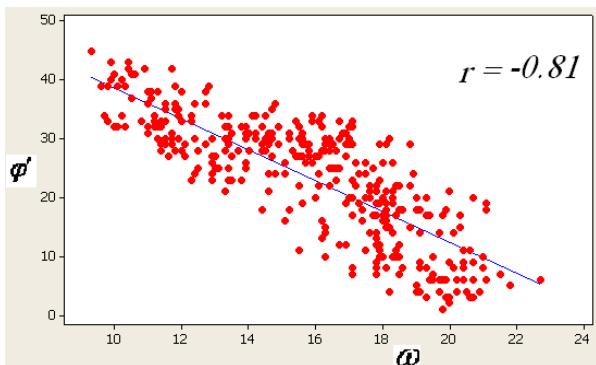
شکل ۵- نمودار توزیع آماری طبقه بندی نمونه های اخذ شده از آبرفت های ریزدانه جنوب تهران



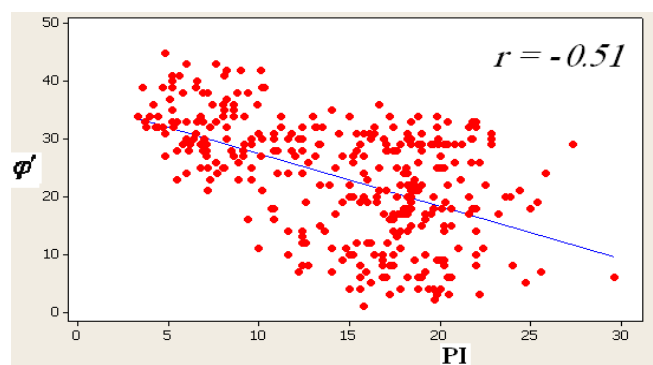
(ب)



(الف)

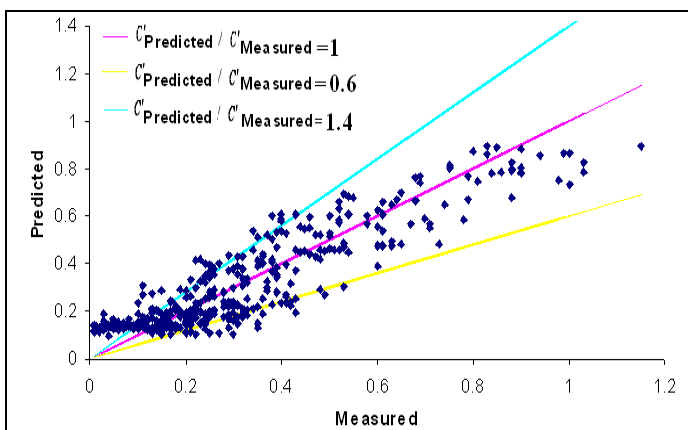


(د)

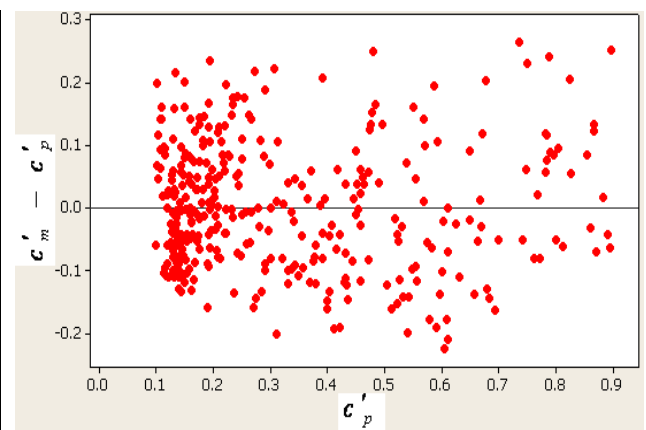


(ج)

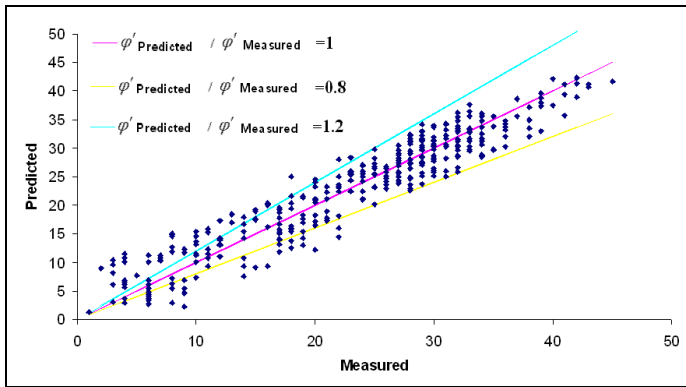
شکل ۶- نمودارهای همبستگی بین پارامترهای مختلف خاکهای ریزدانه جنوب تهران
 (الف) همبستگی بین میزان چسبندگی (زهکشی شده) و شاخص خمیری (ب) همبستگی
 بین میزان چسبندگی (زهکشی شده) و میزان رطوبت (ج) همبستگی بین زاویه
 اصطکاک داخلی (زهکشی شده) و شاخص خمیری (د) همبستگی بین زاویه اصطکاک
 داخلی (زهکشی شده) و میزان رطوبت



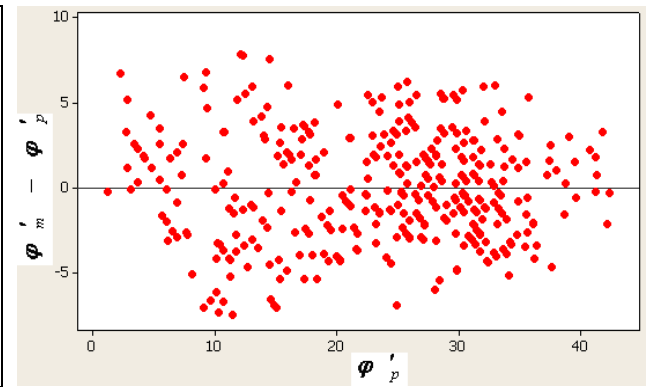
(ب)



(الف)

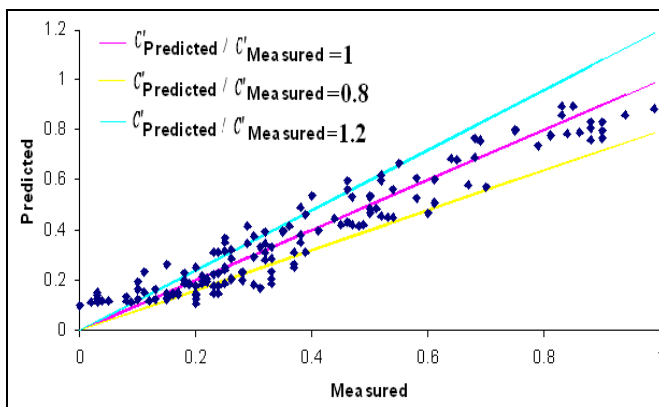


(د)

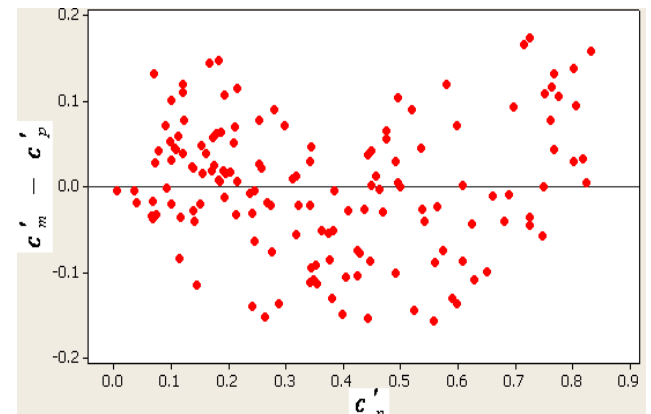


(ج)

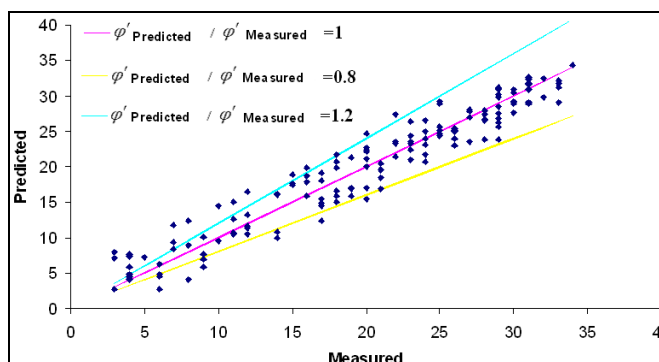
شکل ۷- نمودار ارزیابی میزان خطای برآورد برای خاکهای منطقه جنوب تهران در حالت زهکشی شده (بر اساس روابط ۱۲ و ۱۳) (الف) مقادیر چسبندگی برآورد شده و میزان خطای باقیمانده مرتبط با هر برآورد (ب) نسبت مقادیر چسبندگی برآورد شده به مقادیر چسبندگی اندازه گیری شده شده (ج) مقادیر زاویه اصطکاک داخلی برآورد شده و میزان خطای باقیمانده مرتبط با هر برآورد (د) نسبت مقادیر زاویه اصطکاک داخلی برآورد شده به مقادیر زاویه اصطکاک داخلی اندازه گیری شده



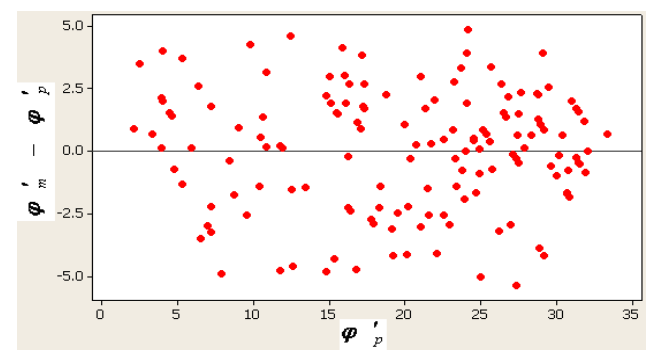
(ب)



(الف)

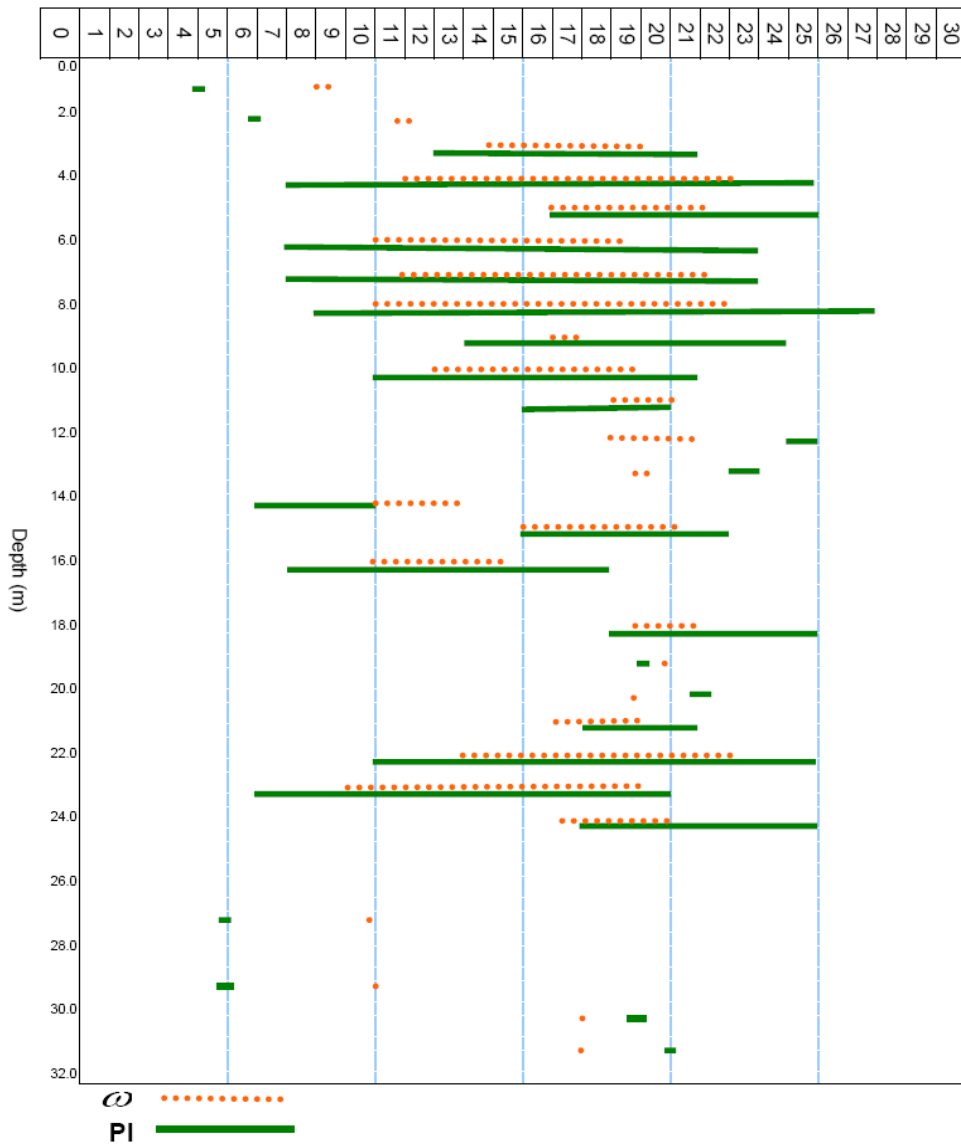


(د)

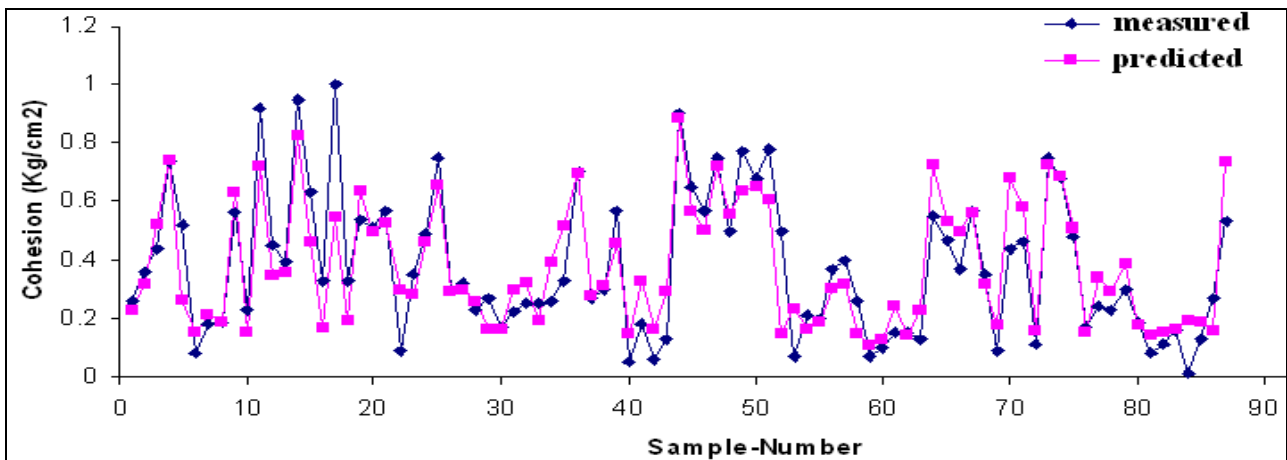


(ج)

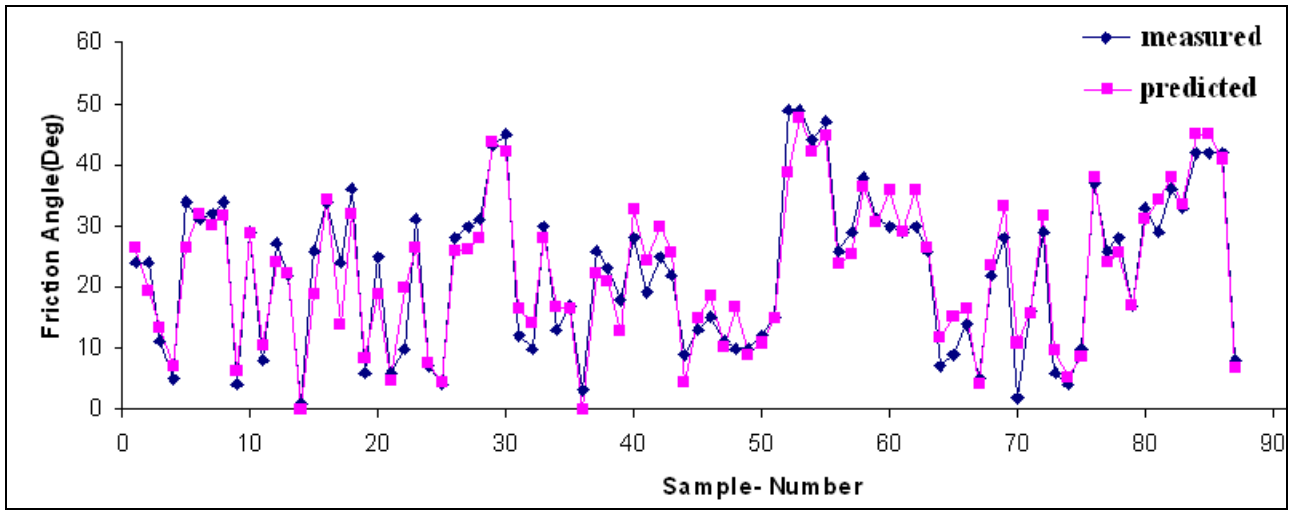
شکل ۸- نمودار ارزیابی میزان خطای برآورد برای خاکهای منطقه جنوب تهران حالت زهکشی شده (بر اساس روابط ۱۴ و ۱۵) (الف) مقادیر چسبندگی برآورد شده و میزان خطای باقیمانده مرتبط با هر برآورد (ب) نسبت مقادیر چسبندگی برآورد شده به مقادیر چسبندگی اندازه گیری شده شده (ج) مقادیر زاویه اصطکاک داخلی برآورد شده و میزان خطای باقیمانده مرتبط با هر برآورد (د) نسبت مقادیر زاویه اصطکاک داخلی برآورد شده به مقادیر زاویه اصطکاک داخلی اندازه گیری شده



شکل ۹- مقادیر پارامترهای فیزیکی استفاده شده در صحت سنجی مدل سازی رگرسیون منطقه برحسب عمق

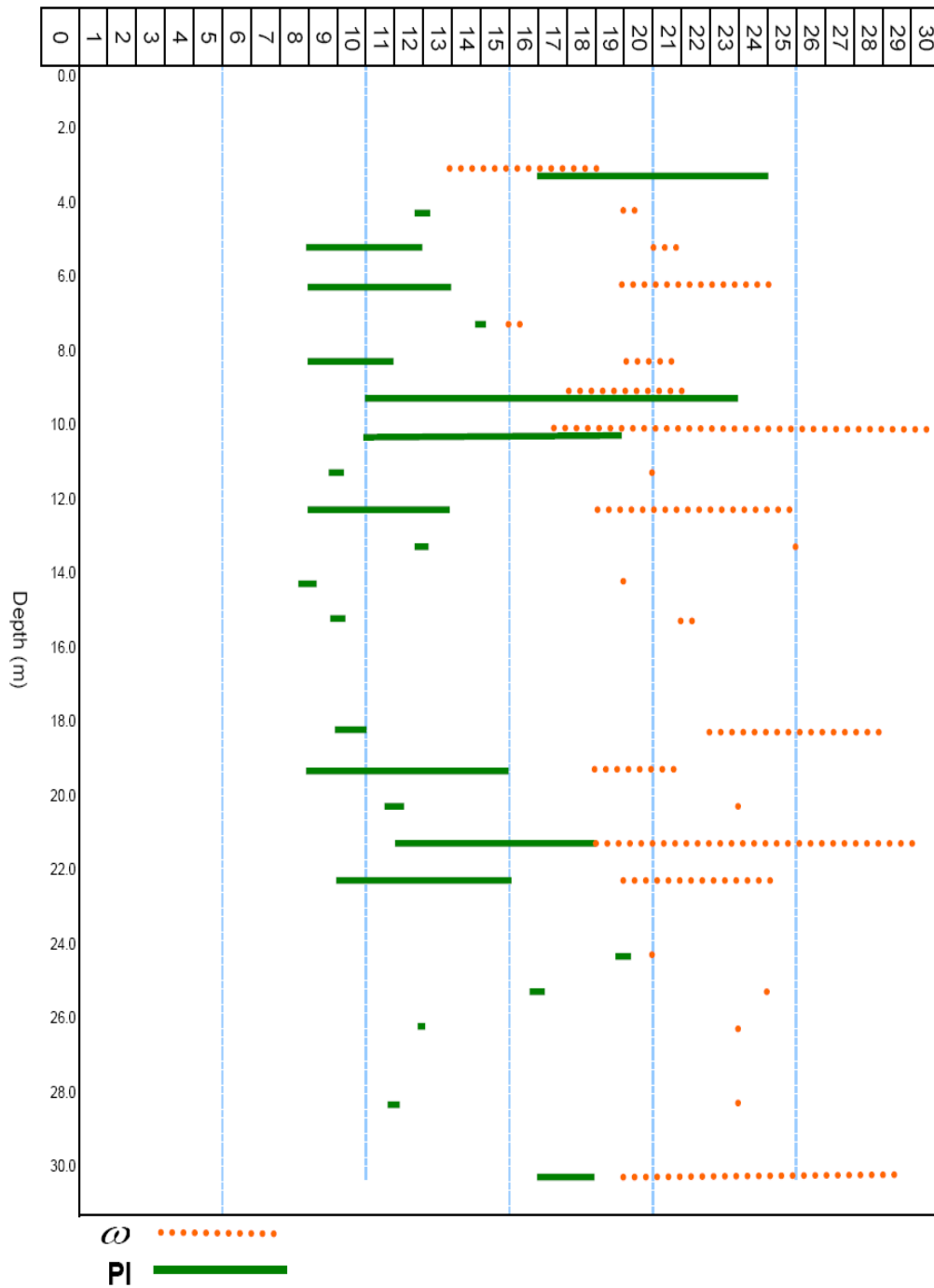


(الف)

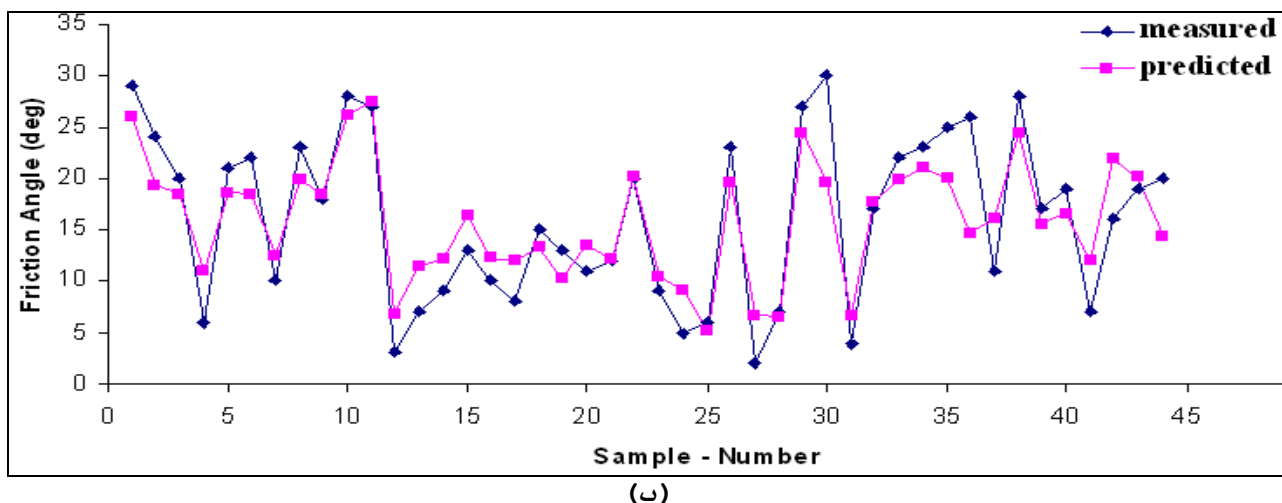
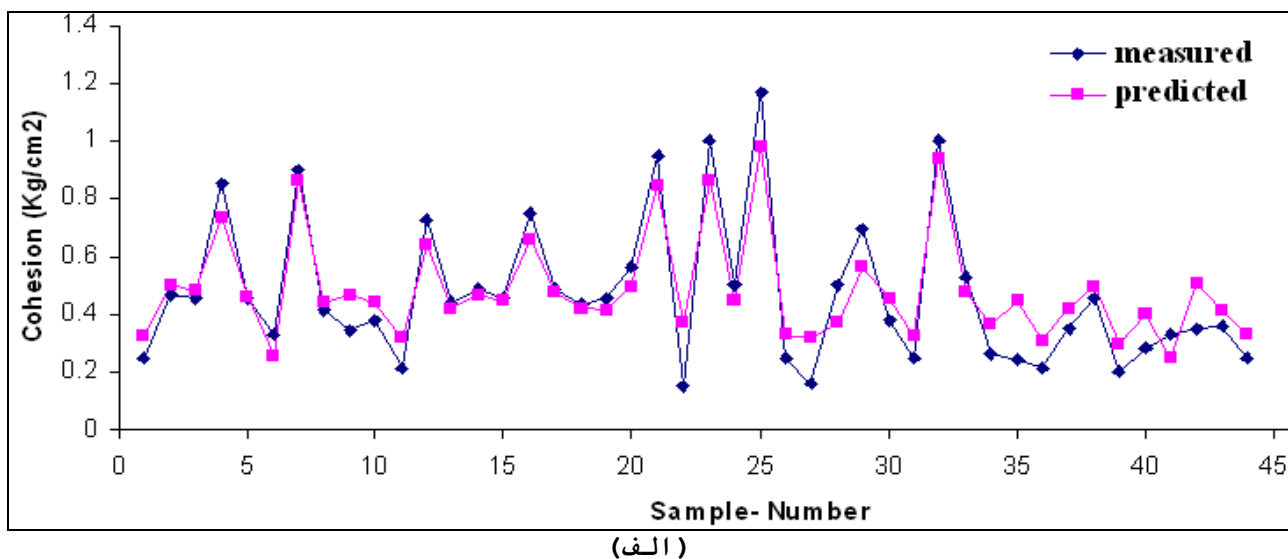


(ب)

شکل ۱۰- نمودار اعتبار سنجی مقادیر برآورد شده برای خاکهای منطقه جنوب تهران (الف) ضریب چسبندگی زهکشی شده (ب) زاویه اصطکاک داخلی زهکشی شده



شکل ۱۱- مقادیر پارامترهای فیزیکی استفاده شده در صحت سنجی مدل سازی رگرسیون خاکهای ریزدانه منطقه برحسب عمق



شکل ۱۲- نمودار اعتبار سنجی مقادیر برآورد شده برای خاکهای جنوب تهران (الف) ضریب چسبندگی زهکشی شده (ب) زاویه اصطکاک داخلی زهکشی شده

جدول ۱- مقایسه ضریب تغییرات پارامتر های شناسایی و مقاومتی خاکهای ریزدانه جنوب تهران با سایر نقاط جهان

| Coefficients of variation (% (ضریب تغییرات)) | | | | | |
|--|---------|------|------|--------------------|----------------|
| موقعیت منطقه | مرجع | PI | LL | Φu (درجه) | Cu (Kg/cm2) |
| - | [۳] | * | * | 5-15 | 20-50 |
| - | [۴ و ۵] | 7-79 | 2-48 | 12-56 | 20-50 |
| لای رس دار - لس آنجلس | [۵] | 8-18 | 6-11 | 10-20 | 20-40 |
| - | [۶] | 3-20 | 3-20 | * | 20-50 |
| رس - دوره ژوراسیک - مسکو | [۹] | 5-23 | 5-23 | 6-16 | 6-25 |
| رس و لای آنتالیا- ترکیه | [۱۰] | 37 | 37 | 48 | 39 |
| آبرفت ریزدانه - جنوب تهران | [۱۷] | 50 | 24 | 62 | 126 |

جدول ۲- فراوانی نسبی مقادیر طبقه بندی شده نمونه های اخذ شده از خاکهای جنوب تهران

| فراوانی نسبی (%) | طبقه خاک | فراوانی نسبی (%) | طبقه خاک | فراوانی نسبی (%) | طبقه خاک |
|------------------|----------|------------------|----------|------------------|----------|
| 1.1 | CH | 9.1 | SC | 6.2 | GC |
| 40.3 | CL | 4.1 | SC-SM | 4.7 | GM |
| 8.5 | CL-ML | 3.8 | SM | 1.9 | GP |
| 1.0 | MH | 0.5 | SP | 0.3 | GM-GC |
| 3.3 | ML | 0.3 | SP-SC | 1.7 | GP-GM |
| - | - | 0.6 | SP-SM | 1.6 | GP-GC |
| - | - | 0.5 | SW | 5.0 | GW |
| - | - | 0.2 | SW-SC | 2.0 | GW-GC |
| - | - | 0.7 | SW-SM | 2.6 | GW-GM |
| 54.2 | جمع | 19.8 | جمع | 26 | جمع |

جدول ۳- توصیف آماری پارامترهای ژئوتکنیکی خاکهای ریزدانه جنوب تهران

| آماره های توصیفی | Direct Shear | | | | Atterberg Test | | ω (%) |
|---|-----------------|-----------------------------|----------------|----------------------------|----------------|-------|--------------|
| | ϕ_u (درجه) | C_u (Kg/cm ²) | ϕ' (درجه) | C' (Kg/cm ²) | PI(%) | LL(%) | |
| Mean (میانگین) | 19.47 | 0.26 | 25.39 | 0.46 | 11.74 | 30.73 | 15.8 |
| Standard Deviation (انحراف استاندارد) | 12.09 | 0.33 | 10.93 | 1.82 | 5.89 | 7.24 | 3.11 |
| Coefficients of variation (% (ضریب تغییرات) | 62 | 126 | 43.03 | 391.54 | 50.15 | 23.56 | 19.7 |
| Maximum | 37.00 | 1.65 | 49.0 | 30.00 | 49.00 | 88.00 | 22.7 |
| Minimum | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.00 | 2.00 | 9.3 |
| Kurtosis (کشیدگی) | -1.15 | 4.87 | -0.62 | 161.13 | 1.48 | 2.39 | -0.21 |
| Skewness (چولگی) | -0.62 | 2.10 | -0.36 | 12.09 | 0.99 | 1.05 | -0.98 |

جدول ۴- مقایسه برآورد خصوصیات خاکهای ریزدانه جنوب تهران با مناطق مشابه

| ϕ (درجه) | C (Kg/cm ²) | ϕ' (درجه) | C' (Kg/cm ²) | q_u (Kg/cm ²) | PI (%) | LL (%) | عمق (m) | مرجع | نوع خاک- موقعیت منطقه |
|---------------|---------------------------|----------------|----------------------------|-----------------------------|--------|--------|---------|------|---|
| ۲۲-۱۶ | ۱۸.۰-۰.۳۵ | ۲۶-۲۴ | ۲۸.۰-۰.۳۲ | ۲.۱ - ۲.۲ | ۱۲ | ۳۰ | ۳۰-۰ | [۱۷] | آبرفت ریزدانه جنوب تهران* |
| ۲۲-۱۵ | ۱۸.۰-۰.۴۵ | ۲۷-۲۴ | ۲۵.۰-۰.۳۳ | | | | ۵-۰ | | |
| ۲۲-۱۵ | ۱۸.۰-۰.۴۵ | ۲۶-۲۴ | ۲۶.۰-۰.۳۲ | | | | ۱۰-۵ | | |
| ۲۶-۱۶ | ۱۰.۰-۰.۲۷ | ۲۷-۲۴ | ۲۷.۰-۰.۳۶ | | | | ۱۵-۱۰ | | |
| - | - | ۲۸-۲۴ | ۲۸.۰-۰.۳۶ | | | | ۳۰-۱۵ | | |
| - | - | ۲۰-۱۸ | ۰.۳۹-۰.۵۰ | | ۱۳-۱۲ | ۳۳-۳۱ | ۳۰-۰ | [۱۷] | رس جنوب تهران* |
| - | - | - | - | ۰.۸ | ۳۲ | ۴۶ | ۹-۶ | [۱۸] | رس نسبتا پیش تحکیم یافته با خاصیت خمیری و حساسیت بالا Leda/اوتواوا (کانادا) |
| - | - | - | - | ۰.۸۲ | ۲۵ | ۳۳ | ۱۲-۹ | | |
| - | - | - | - | ۰.۹۵ | ۲۵ | ۳۴ | ۱۵-۱۲ | | |
| - | - | - | - | ۰.۸۲ | ۲۲ | ۲۷ | ۱۸-۱۵ | | |
| - | - | - | - | ۰.۸۹ | ۱۰ | ۳۸ | ۲۱-۱۸ | | |
| - | - | - | - | - | ۳۰ | ۷۰ | ۱۲-۹ | [۱۹] | رس نرم دریایی آبی رنگ ایلیتی بوستون |
| - | - | - | - | ۰.۲۶ | ۸۰ | ۱۱۱ | ۶-۰ | | رس نرم خلیج مکزیک |
| - | - | - | - | ۰.۲۹ | ۵۰ | ۷۳ | ۳۲-۱۸ | | رس نسبتا نرم تا سفت خلیج مکزیک |
| - | - | - | - | ۰.۵۳ | ۶۵ | ۸۵ | ۵۰-۳۲ | | رس لای و ماسه دار خلیج مکزیک |
| - | - | ۲۰ | ۰.۰۷ | - | - | - | ۳-۲ | [۱۹] | رس لندن |
| - | - | ۲۰ | ۰.۱۵ | - | - | - | ۷-۳ | | |
| - | - | ۲۰ | ۰.۳۱ | - | - | - | ۱۰-۷ | | |
| - | - | ۳۰ | ۱.۰۰ | - | - | - | ۳۵ | | |

* مقادیر ارائه شده برآورد میانگین با سطح اطمینان ۹۵٪ می باشد.

جدول ۵- شاخصهای ارزیابی میزان دقت تخمین مرتبط با هریک از مدل های رگرسیون پیشنهادی

| رابطه | ε | R^2 (%) | RMSE |
|-------|---------------|-----------|------|
| (۱۲) | 0.10 | 81.8 | 0.10 |
| (۱۳) | 3.2 | 90.1 | 3.18 |
| (۱۴) | 0.08 | 89.8 | 0.07 |
| (۱۵) | 2.5 | 92.4 | 2.4 |

جدول ۶- شاخص های اعتبار سنجی مدل های رگرسیون پیشنهادی

| رابطه | DC (%) | RMSE |
|-------|--------|------|
| (۱۲) | 85.8 | 0.12 |
| (۱۳) | 89.6 | 3.8 |
| (۱۴) | 74.0 | 0.10 |
| (۱۵) | 70.0 | 3.07 |