

بررسی کانی‌های رسی خاک بستر شهر مشهد با توجه به حدود اتربرگ آن‌ها

عفت یوسفی^{۱*}، محمد غفوری^۲، غلامرضا لشکری‌پور^۳، سیده لیلا طالبیان^۴

۱- شرکت مهندسین مشاور جهدازما

۲- دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- استاد گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

E-mail: e_yousefi80@yahoo.com

چکیده

شناخت خواص فیزیکی-شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌ها در عملیات سازه‌ای نقش مهمی دارد. با توجه به مطالعات انجام شده در محدوده شهر مشهد، خاک‌های سیلتی و رسی پراکندگی زیادی در سطح شهر به خصوص در مناطق مرکزی و شمال شهر دارند. در این مقاله ابتدا با توجه به تاریخچه زمین‌شناسی منطقه و تعیین سنگ منشا رسوبات شهر مشهد، نوع کانی‌های رسی موجود در محدوده پیش‌بینی شده است. با توجه به شاخص خمیری حاصل از آزمایشات انجام شده بر روی ۳۹۱۲ نمونه ریزدانه در نقاط مختلف در بستر خاک محدوده، نوع کانی-های رسی موجود، کاتولینیت و ایلیت تشخیص داده شد. به طور کلی شاخص خمیری خاک‌های ریزدانه بستر شهر مشهد بین صفر تا ۲۰ متغیر بوده که نشان دهنده خاک با حساسیت و فعالیت کم می‌باشد. به طور کلی در سطح شهر از شمال به جنوب و از سطح به عمق شاخص خمیری رس‌ها افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: کانی رسی، حدود اتربرگ، مشهد

مقدمه

شناخت خواص فیزیکی-شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌ها به خصوص خاک‌های ریزدانه در یک پهنه وسیع در بسیاری از بررسی‌ها، مطالعات و تصمیم‌گیری‌ها در عملیات خاکی در رابطه با سازه‌های مختلف نقش مهمی دارد. با توجه به مطالعات صورت گرفته بر روی رسوبات آبرفتی شهر مشهد، بخش وسیعی از این رسوبات ریزدانه و از نوع سیلت و رس می‌باشند. همچنین این رسوبات ریزدانه در قسمت‌هایی از بستر شهر که بافت غالب خاک درشت‌دانه است نیز به صورت لندهای بین لایه‌ای به چشم می‌خورند. بنابراین مطالعه و بررسی خواص مهندسی این نوع خاک‌ها با توجه به وسعت و پراکندگی آن‌ها در بستر شهر بزرگی چون مشهد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

از آن جا که مسایل زمین‌شناسی نقش مهمی بر خواص مهندسی مصالح دارد، در این تحقیق ابتدا با توجه به زمین‌شناسی منطقه، نوع رس‌های موجود در بستر شهر مشهد پیش‌بینی شده و سپس با بررسی برخی آزمایشات انجام شده بر روی این مصالح، خواص مهندسی آن‌ها معرفی می‌گردد.

از سال‌های قبل همواره ضرورت گردآوری نتایج مطالعات ژئوتکنیک پروژه‌هایی که در نقاط مختلف شهر مشهد انجام شده و تهیه بانک اطلاعاتی آن به منظور استفاده در پروژه‌های جدید، به عنوان یک نیاز و خواسته عمومی مشاورین و مهندسین طراح مطرح بوده است؛ در راستای این امر فعالیت‌هایی از قبیل زون بندی خاک بستر شهر مشهد



(یوسفی، ۱۳۸۳)، بررسی زمین شناسی مهندسی نواحی جنوب مشهد (شارکی، ۱۳۸۴)، ارزیابی اثرات ساختگاهی آبرفت در پاسخ لرزه‌ای گستره جنوب مشهد (علیزاده، ۱۳۸۵) و مطالعات ریزپهنه‌بندی شهر مشهد (حافظی مقدس، ۱۳۸۶) را می‌توان نام برد.

از جمله کارهای دیگری که بر روی شناسایی رس‌ها انجام شده است شناسایی منشأ کانی‌های رسی با توجه به آزمایشات XRD و شناسایی نوع کانی‌های رسی می‌باشد (Hein et al., 2003).

تاریخچه تشکیل دشت مشهد

دشت مشهد بصورت دره وسیع و نسبتاً بزرگی بین دو زون کپه داغ در شمال و بینالود در جنوب قرار دارد. مرزهای شمالی و جنوبی این دشت گسله و فروافتاده است و شهر مشهد در بخش جنوبی این دشت و در پای ارتفاعات بینالود واقع شده است.

ارتفاعات بینالود که در اثر کوهزایی سیمیرین پیشین شکل گرفته است (آقاناتی، ۱۳۸۳) و چندین مرحله گرانیته-زایی و دگرگونی را در طی کوهزایی‌های هرسینین و سیمیرین پیشین تحمل کرده است، بیشتر از کنگلومرا، شیل و ماسه‌سنگ دگرگون شده به همراه فیلیش، افیولیت، توده‌های گرانیته‌ای و گرانودیوریتی تشکیل یافته است (Alavi, 1991).

از اواخر دوران سوم و اوایل دوران چهارم همزمان با فازهای پایانی آلپین، دوره فرسایشی شدیدی شروع شده که رسوبات آن، مناطق پست و دره‌ها را پر کرده که دشت‌های امروزی نتیجه آنهاست. شهر مشهد بر روی نهشته‌های آبرفتی جوان دشت مشهد بنا شده است. مهمترین عارضه فیزیوگرافی دشت مشهد، رودخانه کشف‌رود با طول حدود ۳۰۰ کیلومتر و روند تقریباً شرقی-غربی است که از ارتفاعات هزارمسجد و بینالود سرچشمه گرفته است (بربریان و همکاران، ۱۳۷۸) و نهشته‌های آبرفتی دشت مشهد نیز حاصل فعالیت این رودخانه و سیلاب‌های فصلی رودخانه‌های فرعی از کوه‌های هزارمسجد و بینالود می‌باشد. ضخامت آبرفت در نقاط مختلف متفاوت است؛ طبق گزارشات موجود حداکثر ضخامت آبرفت در محدوده مورد نظر حدود ۲۵۰ متر و ضخامت متوسط آن حدود ۱۲۰ متر است.

از آن جا که شهر مشهد در بخش جنوبی رودخانه کشف‌رود واقع است به نظر می‌رسد رودخانه‌هایی که از بالادست مشهد و از بینالود سرچشمه گرفته‌اند، نقش بیشتری در شکل‌گیری آبرفت شهر مشهد داشته‌اند؛ بنابراین رودخانه‌هایی چون طرقله، مایان، دهبار و شان‌دیز که از شیل، فیلیت خاکستری (فیلیت مشهد)، اسلیت، ماسه سنگ و کنگلومرا عبور کرده‌اند بایستی نقش مهمی در اندازه و جنس رسوبات محدوده داشته باشند. به طور کلی در دشت مشهد از جنوب و جنوب غرب به طرف شمال شرق آن بافت خاک دانه ریزتر و قلیائیت آن زیادتر می‌گردد.

نقش زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه بر نوع کانی‌های رسی

مطالعات زمین‌شناسی همواره نقش بسیار مهمی در تصمیم‌گیری و مکان‌یابی پروژه‌های عمرانی ایفا می‌کند. براساس مطالعات زمین‌شناسی محدوده شهر مشهد، خاک بستر شهر به گروه‌های شنی، ماسه‌ای و رسی تقسیم بندی شده که این امر دیدی کلی از بستر خاک را در نقاط مختلف شهر به دست می‌دهد و نشان می‌دهد که خاک‌های رسی، بخش-های زیادی از محدوده شهر را پوشش می‌دهند.

از طرفی سنگ‌های دگرگونی از نوع فیلیت و اسلیت که در بخش جنوبی و غربی مشهد گسترش دارند، سنگ منشأ اصلی خاک‌های رسی، سیلتی و ماسه‌ای بستر مشهد را تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها غالباً از کانی‌های کوارتز،

فلدسپات، ایلیت، کائولینیت، سریسیت و به طور کلی کانی‌های آلومین دار تشکیل شده‌اند. سنگ‌های غنی از آلومنیوم در شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب در سطح زمین تحت تاثیر هوازدگی شیمیایی تشکیل کائولین را می‌دهند؛ بنابراین با توجه به عواملی چون سنگ منشاء غنی از آلومنیوم، بالا بودن خلل و فرج و درزه و شکستگی سنگ‌های منشاء، زمان کافی برای فرسایش، پایین بودن سطح آب زیرزمینی و محیط رودخانه‌ای (رودخانه کشف رود) تشکیل کانی‌های گروه کائولینیت و تا حدودی ایلیت در محدوده مورد مطالعه بسیار محتمل است.

بنابراین با توجه به خواص این گروه کانی رسی مانند پیوند هیدروژنی قوی و سطح مخصوص کم، خاک‌های رسی موجود در محدوده مورد مطالعه دارای فعالیت و حساسیت کم بوده و غیرواگرا و غیر متورم یا با تورم پذیری پایین می‌باشند.

از طرفی رس کائولینیتی دارای درصد تورم آزاد منفی است (Sidharan et al., 1985; Sivapullaiah et al., 1987) و حجم آن در آب کمتر از هواست (Erguler et al., 2003). بنابراین احتمال نشست در چنین گروهی از خاک‌ها دور از انتظار نمی‌باشد.

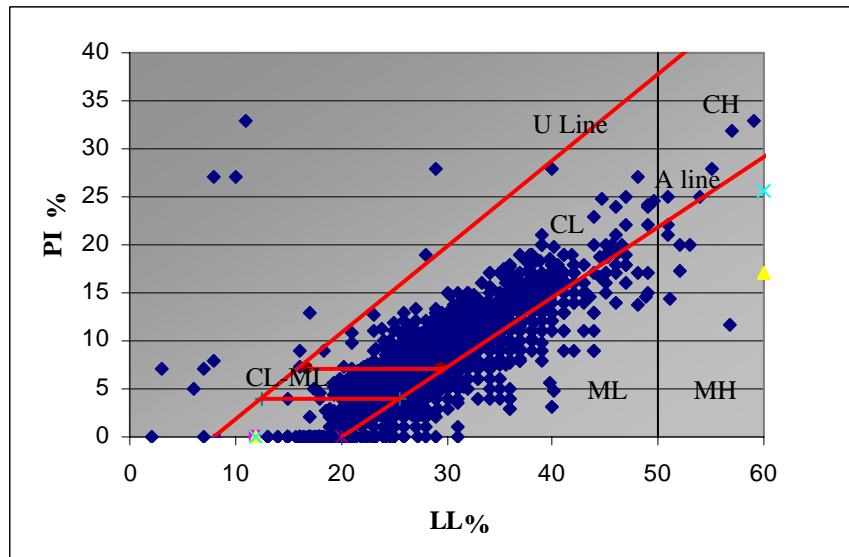
بررسی کانی‌های رسی با توجه به حدود اتربرگ آن‌ها

به طور کلی حالت خمیری (Plasticity) یکی از خصوصیات مهم خاک‌های ریزدانه محسوب می‌شود و این حالت ناشی از وجود کانی‌های رسی یا مواد آلی در خاک می‌باشد. ویژگی خمیری، میزان قابلیت یک خاک را برای تغییر شکل غیر قابل برگشت نشان می‌دهد. ویژگی خمیری مواد چسبنده توسط حدود اتربرگ که شامل حد روانی LL، حد خمیری PL و حد انقباض SL است و نیز شاخص خمیری PI تعیین می‌شود. مقادیر بالاتر PI و LL نمایشگر تمایل بیشتر خاک به انقباض بر اثر خشک شدن و تورم بر اثر مرطوب شدن است.

به طور کلی وجود کانی‌های رسی، درصد سیلت و ماسه ریزدانه و مواد آلی نقش مهمی در حدود پایداری خاک دارند.

با توجه به اهمیت حدود اتربرگ در شناسایی نوع کانی‌های رسی و خواص آن‌ها و با توجه به این‌که این آزمایشات هزینه بسیار کمی داشته و در کلیه پروژه‌ها جهت تعیین نوع خاک انجام می‌شود، اقدام به جمع‌آوری این اطلاعات در محدوده شهر مشهد گردید. نتایج زیر با توجه به حدود اتربرگ ۳۹۱۲ نقطه اطلاعاتی (data) از ۲۰۰ گمانه پراکنده در سطح شهر مشهد به دست آمده است.

با توجه به اطلاعات جمع‌آوری شده و نمودار Casagrande (۱۹۳۲) و محدوده‌های تعریف شده در آن، کل خاک‌های ریزدانه محدوده شهر در گروه‌های CL، ML و CL-ML قرار می‌گیرند و خاک‌های گروه CH و MH تقریباً به چشم نمی‌خورند (شکل ۱). همچنین می‌توان گفت فراوانی خاک‌های گروه CL بسیار بیشتر از گروه ML می‌باشد.

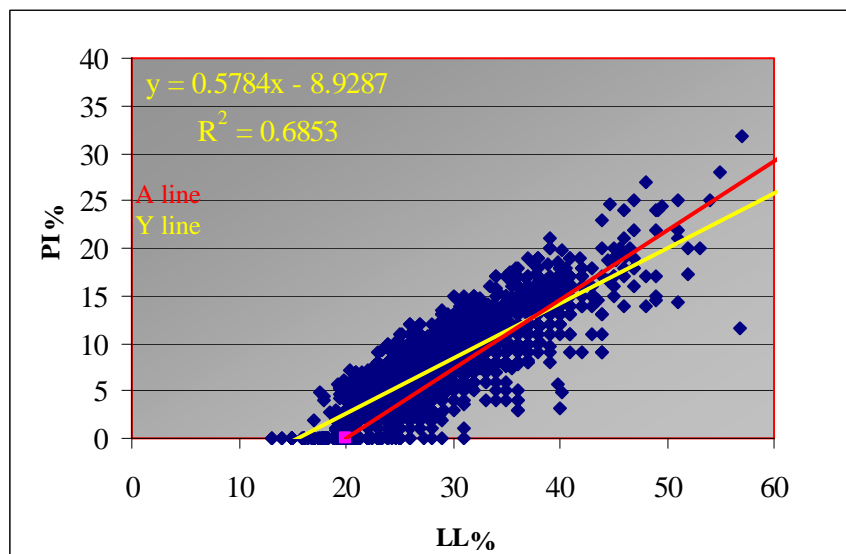


شکل ۱) پراکندگی حدود اتربرگ خاکهای ریزدانه شهر مشهد

همچنین روند تغییرات PI و LL خاکها در محدوده شهر مشهد (خط Y در شکل ۲) تقریباً موازی خط A می-باشد و روند این تغییرات از معادله زیر تبعیت می کند:

$$PI = (0.58LL - 8.9) \pm 10$$

$$R^2 \approx 0.70$$



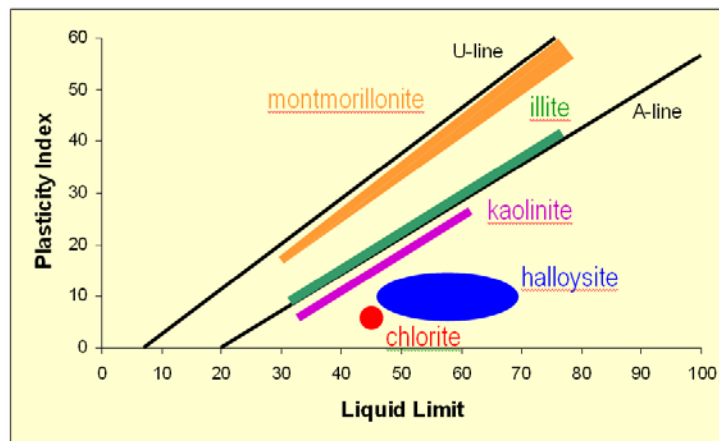
شکل ۲) خط Y روند تغییرات حدود اتربرگ خاکهای ریزدانه شهر مشهد

حد روانی و شاخص خمیری به طور گسترده برای ارزیابی پتانسیل تورم-انقباض استفاده می شود (Thomas et al., 2000). جدول ۱ ارتباط بین پلاستیسیته و پتانسیل تورم را نشان می دهد (Harison et al., 2003).

جدول ۱) ارتباط بین پلاستیسیته و پتانسیل تورم خاک

Liquid Limit (%)	Plasticity Index (%)	Expansive Potential (%)
<50	<25	Low
50-60	25-35	Moderate
>60	>35	High

با توجه به شکل ۲ که در آن محدوده LL و PI در غالب نمونه‌ها به ترتیب کمتر از ۴۵ و کمتر از ۲۰ است و مقایسه نتایج با جدول ۱، خاک‌های رسی شهر مشهد دارای پتانسیل تورمی بسیار پایینی می‌باشند. از عوامل مهم خواص مهندسی یک خاک، کانی شناسی آن می‌باشد. این تاثیر توسط Grim (۱۹۶۲) بررسی شد. وی در نمودار شاخص خمیری در برابر حدروانی، محدوده هر کانی را مشخص نمود. سپس این نمودار توسط Raymond (۱۹۹۷) بازسازی و اصلاح گردید (شکل ۳). با مقایسه شکل ۲ و ۳ می‌توان گفت در محدوده شهر مشهد کانی‌های رسی خانواده کلریت، هالوزیت و مونت-موریونیت دیده نمی‌شوند و فقط خانواده‌های کائولینیت و ایلیت موجود می‌باشند.



شکل ۳) محدوده کانی‌ها در نمودار کاساگراند (Raymond, 1997)

طبق تحقیقات Tsohis-Katagas و همکاران (۲۰۰۴) در منطقه لوکوجیا (Leucogia) در یونان بازه مقادیر LL و PI کائولین به ترتیب بین ۲۰/۵۳-۳۵/۲۲ و ۹/۰۵-۱۷/۱۹ می‌باشد. از مقایسه این نتایج با شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت غالب کانی‌های رسی بستر شهر مشهد نیز متعلق به این خانواده (کائولین) می‌باشند. جهت بررسی توزیع انواع کانی‌های رسی در محدوده شهر اقدام به پیاده کردن نقاط اطلاعاتی PI (۳۹۱۲ داده) در سطح شهر (در محل ۲۰۰ گمانه) با توجه به مختصات و عمق هر داده گردید. لازم به توضیح است که توزیع گمانه‌ها در سطح شهر یکنواخت نبوده و اکثر این نقاط در محدوده‌های جنوبی و مرکزی شهر هستند و غالب گمانه‌ها نیز در امتداد بلوارها و یا در طول کمربندی صد متری اطراف شهر می‌باشند. همچنین در حدود ۴۰ گمانه از کل گمانه‌ها، کانی غالب کائولینیت یا ایلیت را نمی‌توان در گمانه‌ها مشخص نمود.

از طرفی در شکل ۳، محدوده دو خانواده کائولینیت و ایلیت نزدیک هم بوده و با توجه به خط‌های آزمایش (نوع نمونه‌برداری، خطا و تجربه آزمایشگر، خطا در ارائه نتایج و ...) امکان این که این دو خانواده با هم اشتباه شوند دور از انتظار نیست و بنابراین نمی‌توان این دو خانواده را در سطح مشهد به دقت از یکدیگر متمایز نمود. بنابراین جداسازی



رس های سطح مشهد بر اساس PI آنها امکانپذیر است و نه خانواده آنها. با توجه به توزیع گمانه ها و PI نمونه ها می توان گفت در سطح شهر مشهد از شمال به جنوب PI رسها بیشتر می شود. از طرفی با بررسی تغییرات PI با عمق، مشاهده گردید این تغییرات تا حدی به عمق نیز بستگی دارد. هرچند با افزایش عمق، تعداد داده ها هم طبق جدول ۲ کمتر می شود طوری که حدود ۵۰ درصد داده ها مربوط به اعماق کمتر از ۱۰ متر و حدود ۳۵ درصد در عمق ۲۰-۱۰ متر می باشد ولی به طور کلی با افزایش عمق، PI نیز افزایش می یابد. بنابراین با توجه به PI رسها و تغییرات آن در اعماق مختلف می توان گفت در اعماق کمتر از ۱۰ متر کانی گروه کائولینیت، و در اعماق پایین تر از ۲۰ متر کانی گروه ایلیت فراوان تر است.

جدول ۲) فراوانی داده ها در اعماق مختلف

عمق (متر)	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	>۳۰
تعداد داده	۱۱۲۷	۹۲۶	۲۰۵۳	۱۲۹۸	۴۹۴
فراوانی (%)	۲۸/۸	۲۳/۷	۵۲/۵	۳۳/۲	۱۲/۶

بنابراین می توان گفت در سطح شهر مشهد از شمال به جنوب و از سطح به عمق خاک های رسی حساس تر، فراوان تر می شود.

نتیجه گیری

با توجه به مطالعات و بررسی آزمایشات انجام شده در محدوده شهر مشهد، نوع رس های موجود بیشتر در گروه کائولینیت و ایلیت می باشد که این امر گویای رفتار خاک به صورت یک خاک با فعالیت و حساسیت کم، غیر متورم و غیر واگرا می باشد.

فراوانی رس ها در سطح شهر از جنوب به شمال و با دور شدن از منشاء بیشتر شده و PI این خاکها در این مسیر کمتر می شود.

تغییرات PI در رس های منطقه تا حدودی به عمق نیز بستگی دارد. طوری که با افزایش عمق، PI نیز افزایش یافته است.

پیشنهاد می گردد جهت تشخیص انواع کانی های رسی، آزمایشات XRD بر روی چند نمونه منتخب از خاک رس در سطح شهر انجام پذیرد.

مراجع

- آقائباتی، سید علی (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران، چاپ اول، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- بربریان، مانوئل، قرشی، منوچهر، شجاع طاهری، جعفر و طالبیان، مرتضی (۱۳۷۸)، پژوهش و بررسی نوزمین ساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه - گسلش در گستره مشهد - نیشابور، چاپ اول، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، کتاب شماره ۷۲، ۲۳۳ صفحه.
- حافظی مقدس، ناصر (۱۳۸۶)، مطالعات ریزپهنه بندی شهر مشهد، سازمان مسکن و شهرسازی استان خراسان رضوی
- شارکی، نفیسه (۱۳۸۴)، بررسی زمین شناسی مهندسی نواحی جنوب مشهد، پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- علیزاده، سعید (۱۳۸۵)، ارزیابی اثرات ساختمانی آبرفت در پاسخ لرزه ای گستره جنوب مشهد، پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

- یوسفی، عفت (۱۳۸۳)، بررسی زمین شناسی مهندسی ژئوتکنیک مسیر قطار شهری مشهد، پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- Alavi, M. (1991), Sedimentary and structural characteristics of the Paleotethys remnants in northeastern Iran, Gs. Sec. of Amer. Tull, 103:982-992.
- Casagrande, A., (1932), Research on the Atteberg Limit of Soils, Public Roads.
- Erguler, Z.A., Ulusay, R. (2003), A simple test and predictive models for assessing swell potential of Ankara (Turkey) clay, Engineering Geology, 67:331-352.
- Grim, R.E. (1962), Applied clay mineralogy, McGraw-Hill Book Co., New York.
- Harison, W.J., Wendlandt, R.F. (2003), Weathering of igneous, metamorphic and sedimentary rocks in a semi-arid climate-An engineering application of petrology, Department of geology and geological engineering Colorado School of Mines, Golden Co 80401, Student lab guide.
- Hein, J.R., Dowling, J.S., Schuetze, A., Lee, H.J. (2003), Clay-mineral suites, sources and inferred dispersal routes: Southern California continental shelf, Marine Environmental Research, 56:79-102.
- Raymond, G.P. (1997), Soil fines- clay minerals, Geotechnical Engineering, 25-34.
- Sidharan, A., Prakash, K. (1998), Mechanism controlling the shrinkage limit of soils, Geotechnical Testing Journal ASTM, 21(3):240-250.
- Sivapullaiah, P.V., Sitharam, T.G., Rao, K.S.S. (1987), Modified free swell index for clays, Geotechnical Testing Journal, 10(2):80-85.
- Thomas, P.J., Baker, J.C., Zelazny, L.W. (2000), An expansive soil index for predicting shrink-swell potential, Soil Science Society of American Journal, 64:268-274.
- Tsolis-Katagas, P., Papoulis, D. (2004), Physical and chemical properties of some Greek Kaolines of different environment of origin, Bulletin of the Geological Society of Greece, 36:130-138.