

طبقه‌بندی خاک‌های کربناته از دیدگاه مهندسی ژئوتکنیک (مطالعه موردی: خاک مارن دار شهر تبریز)

امیرعلی ماهوتی^۱ و هوشنگ کاتبی^{۲*}

^۱ دانشجوی دکترای عمران- خاک و پی، پردیس بین‌المللی ارس دانشگاه تبریز

^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران، گروه ژئوتکنیک، دانشگاه تبریز

(دریافت: ۹۵/۷/۱۰، پذیرش: ۹۶/۲/۳۱، نشر آنلاین: ۹۶/۳/۱)

چکیده

توسعه تبریز به صورت کریدوری و به سمت شرق و شمال شرقی باعث شده تا ساخت و سازهای جدید بیشتر بر روی لایه‌های مارن صورت پذیرد و به علت افزایش ارتفاع ساختمان و عمق گودبرداری، شناخت بیشتر این لایه‌ها، ناگزیر می‌نماید. بررسی تحقیقات و مطالعات ژئوتکنیک پروژه‌ها نشان می‌دهد که شناخت کافی از مارن تبریز وجود نداشته و طبقه‌بندی آن بیشتر بر اساس رنگ مارن صورت می‌پذیرد. مارن‌های تبریز رسوبات کربناته دریاچه‌ای هستند که در نواحی شرقی، شمالی و جنوبی شهر برونزد داشته، در بیشتر نواحی تشکیل دهنده سنگ بستر بوده و در زیر رسوبات آبرفتی قرار دارند. این مطالعه تلاش دارد با انجام آزمایشاتی، حدود مشخصات پارامترهای مختلف این خاک‌ها را مشخص و نسبت به شناخت بیشتر آن و نشان دادن موقعیت قرارگیری در میان تعاریف و طبقه‌بندی‌های خاک‌های کربناته در جهان اقدام نموده و این مقدمه‌ای باشد برای تعریف یک سیستم توصیف و طبقه‌بندی که خصوصیات بیشتری از این خاک را در برداشته و تعریف کامل‌تری از آن را ارائه کند. به این منظور حدود ۸۰ نمونه از نقاط مختلف تبریز مورد آزمون قرار گرفت. این آزمون‌ها شامل حدود اتربرگ، وزن مخصوص، درصد رطوبت، تک محوری، برش و تحکیم برای اکثر نمونه‌ها و درصد کربنات کلسیم، مواد آلی، PH، پراش اشعه ایکس، پرتو ثانویه اشعه ایکس، گرما وزن‌سنجی و آزمون ژئوفیزیکی دان‌هول برای دسته‌ای از نمونه‌ها می‌باشد. این نتایج در نمودارها و جداول بررسی شده، پارامترهای مهم برای توصیف و طبقه‌بندی خاک تخمین و یک نام‌گذاری یکسان برای توصیف خاک‌های مارن‌دار تبریز پیشنهاد گردید.

کلیدواژه‌ها: مارن تبریز، خاک‌های کربناته، طبقه‌بندی خاک، آزمایشات فیزیکی و مکانیکی مارن، کانی‌شناسی.

۱- مقدمه

عمیق، شناخت کامل لایه‌های خاک و مشخصات مکانیکی و رفتار در برابر نیروهای وارده، ناگزیر می‌نماید. بررسی مقالات علمی و مطالعات ژئوتکنیک انجام یافته در سطح منطقه برای پروژه‌های مختلف عمرانی نشانگر آن است که در توصیف مارن تبریز توجه کافی به شناخت، توصیف و طبقه‌بندی آن نگردیده و عموماً به ذکر نام "مارن" و توصیف رنگ آن اکتفا می‌گردد. این مطالعه تلاش دارد با انجام آزمایشاتی، حدود مشخصات پارامترهای مختلف مارن‌ها را مشخص کرده و نسبت به شناخت بیشتر مارن تبریز و نشان دادن موقعیت قرارگیری آن در میان تعاریف عمومی مارن در جهان اقدام نموده و این مقدمه‌ای باشد برای تعریف یک سیستم توصیف و طبقه‌بندی مجزا که خصوصیات بیشتری از این خاک را در برداشته و تعریف کامل‌تری از آن را ارائه کند.

هسته اولیه شهر تبریز در سطوح توپوگرافی هموار و بسترهای آبرفتی شکل گرفته ولی با رشد و توسعه کریدوری شهر در جهت شرقی، بخش وسیعی از توسعه شهر در مناطقی مانند کوی ولیعصر، باغمیشه، رشديه، مرزداران و امتداد آن تا جاده اهر، در یک بستر توپوگرافی ناهموار و بیشتر بر روی مارن (چه در سطح و چه در عمق) قرار گرفته است.

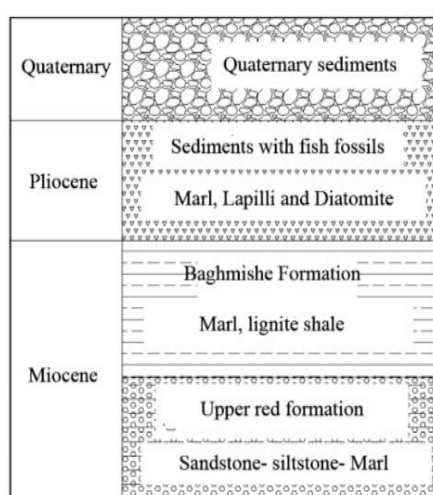
با توجه به توسعه شهر بر روی لایه‌های مارن و تمایل به ساخت ساختمان‌های بلند مرتبه و نیاز به قرارگیری پی در لایه‌های با عمق بیشتر، گودبرداری‌های عظیمی در این لایه‌ها پیش آمده و در آینده بیش از حال مورد نیاز خواهد بود. برای طراحی پی سازه‌های بلند و همچنین سازه‌های نگهبان ایمن در گودهای

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۴۱-۳۳۳۹۲۵۵۳

آدرس ایمیل: amirali_mahouti@yahoo.com (ا. ع. ماهوتی)، katebi@tabrizu.ac.ir (ه. کاتبی).

مقدار کربنات موجود در مارن، خصوصیات ژئوتکنیکی آن را تغییر می‌دهد و به ویژه تأثیر زیادی را در حدود اتربرگ، حساسیت، زاویه اصطکاک پیک و باقی‌مانده، چسبندگی مؤثر و نفوذپذیری دارد (Tsiambaos ۱۹۹۱). در حالت کلی افزایش مقدار کربنات‌ها، موجب کاهش خواص پلاستیک خاک می‌گردد. این نتایج بیشتر برای خاک‌های مارن بدون مواد آلی بوده و آلی بودن خاک می‌تواند تأثیرات دیگری را در خاک به‌جا گذارد. خامه‌چیان و همکاران (۱۳۷۹)، در تحقیق بر روی سازند آب تلخ نشان دادند که با افزایش کربنات کلسیم در سنگ‌های مارنی، میزان تورم‌پذیری آنها کاهش می‌یابد. همچنین یک تحقیق بر روی ۵۰ نمونه سنگ مارن به دست آمده از ساختمان سد صفا نشان داده است کانی‌های رسی و درصد کربنات کلسیم از عوامل مؤثر و تأثیرگذار بر ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی این نوع سنگ‌هاست (لشکری‌پور و همکاران، ۱۳۹۲).

مارن‌های تبریز رسوبات کربناته دریاچه‌ای هستند که در نواحی شرقی، شمالی و جنوبی شهر برونزد داشته، در بیشتر نواحی شهر تشکیل دهنده سنگ بستر بوده و در زیر رسوبات آبرفتی قرار دارند. این مارن‌ها به رنگ‌های مختلفی از جمله زرد، زیتونی (سبز)، قهوه‌ای (به ندرت) و خاکستری دیده می‌شوند که لایه‌های زرد و زیتونی در سطح و قهوه‌ای و خاکستری در عمق قرار دارند. از نظر مکانیک خاک کلاسیک، این مواد از نوع رسی یا سیلتی با خاصیت خمیری بالا طبقه‌بندی می‌شوند و استعداد هوازدگی زیادی دارند و هرچه از سطح به عمق پیش برویم وضعیت آنها از لحاظ استقامت بهتر می‌شود. شکل (۱) مقطع چینه‌شناسی شهر تبریز را نشان می‌دهد (Ghobadi و Babazadeh، ۲۰۱۳).



شکل ۱- مقطع چینه‌شناسی تبریز طبقه‌بندی خاک‌های کربناته (Ghobadi و Babazadeh، ۲۰۱۳)

به این منظور حدود ۸۰ نمونه اخذ شده از نقاط مختلف تبریز مورد بررسی و آزمون قرار گرفت. این آزمون‌ها بر اساس شناسایی مارن و موارد لازم برای توصیف و طبقه‌بندی آن می‌باشد. آزمون‌های انجام شده عموماً شامل حدود اتربرگ، وزن مخصوص، درصد رطوبت، تک محوری، برش و تحکیم می‌باشند. بر روی دسته‌ای از نمونه‌ها آزمون‌های تعیین درصد کربنات کلسیم و درصد مواد آلی و PH نیز انجام یافت. همچنین ۵ نمونه منتخب از میان این نمونه‌ها برای بررسی دقیق‌تر جهت انجام آزمون پراش اشعه ایکس، پرتو ثانویه اشعه ایکس و گرما وزن سنجی انتخاب شدند. تعداد ۶ گمانه نیز تحت آزمون ژئوفیزیکی دان‌هول قرار گرفت.

۲- تعریف مارن

مارن یک اصطلاح کلی برای خاک‌های کربناته بوده ولی اصطلاح محلی مارن تبریز، رده خاصی از این خاک‌ها را در بر می‌گیرد. با توجه به خاصیت رسوبی و دریاچه‌ای، مارن گاه‌ها در رده خاک‌های ارگانیک نیز طبقه‌بندی شده است (INDOT، ۲۰۰۸).

Terzaghi و Peck (۱۹۶۷)، مارن را نوعی خاک کربناته دریایی سفت تا بسیار سفت به رنگ سبز تعریف کرده‌اند. Sowers و Sowers (۱۹۷۹)، مارن را به عنوان نهشته ماسه-ای با سیلت و رس شامل کلسیت به رنگ خاکستری یا سبز معرفی کرده و McCarthy (۱۹۷۷)، عنوان کرده که مارن یک سنگ آهک نرم است.

Mitchell (۱۹۸۵)، مارن را مصالحی نرم، کربناته و غنی از رس دانسته و Bell (۱۹۸۱)، اشاره کرده است که مارن یک اصطلاح با معانی مختلف است که برای سنگ‌های با ۳۵ الی ۶۵ درصد کربنات و مقدار زیادی از رس به کار می‌رود.

Qahwash (۲۰۰۸)، رسوبات آهکی با ۵۵ الی ۸۰ درصد کربنات را مارن معرفی کرده است. در زمین‌شناسی مهندسی و مهندسی ژئوتکنیک، عباراتی همچون خاک‌های رنگی، خاک‌های کربناته و خاک مارن برای مشخص کردن ترکیب خاک ریزدانه با کانی‌های کربناته به کار می‌رود.

خاک‌های کربناته در مناطق وسیعی از جهان یافت می‌شوند و معمولاً در مناطق گرمسیری و دارای منابع نفتی قابل مشاهده‌اند. چرخه‌های آب و هوایی در ۵۰۰۰ سال اخیر در کل جهان اتفاق افتاده و لایه‌های آهکی معمولاً در دوره اقلیم نیمه خشک شکل یافته‌اند (Hansen و Beckwith، ۱۹۸۲). اقلیم نیمه خشک یا اقلیم استپ، به آب و هوایی گفته می‌شود که امکان تعریق و تبخیر آب در حد متوسط در آن وجود دارد. برخی تحقیقات نشان می‌دهد مقدار متفاوت در درجات سیماناسیون این خاک‌ها به علت تغییرات آب و هوایی در طول دوران‌های نیمه خشک است.

Goudie در سال ۱۹۸۳ این طبقه‌بندی را بر اساس خاک‌های جنوب آفریقا اصلاح و بازنگری کرده است (Goudie, ۱۹۸۳). دپارتمان حمل و نقل ایالت ایندیانا در ایالات متحده نیز در مطالعات و گزارشات خود بر اساس آزمایشات ساده‌ای اقدام به شناسایی و طبقه‌بندی مارن‌های ایالت در دو گروه خاک‌های آلی و کربناته کرده و هر گروه را بر اساس آزمایشات به چهار بخش تقسیم نموده است (El Howayek, ۲۰۰۸; INDOT, ۲۰۱۲). بررسی موارد بالا و نگاه به تاریخچه مطالعات انجام یافته بر روی خاک‌های کربناته نشان می‌دهد طبقه‌بندی‌های ارائه شده معمولاً برای یک محدوده جغرافیایی و منظور خاص بوده و به راحتی قابل تعمیم به هر منطقه‌ای نیستند.

۳- برداشت نمونه‌های خاک

نمونه‌های مارن اخذ شده برای این مطالعه از محدوده تبریز مطابق شکل (۲) و از اعماق مختلف می‌باشند. در یک نگاه کلی به تمامی نمونه‌ها، عمق آنها از ۱ الی ۸۰ متری سطح زمین، رنگ آن‌ها شامل زرد، زیتونی (سبز) و خاکستری، رطوبت بین ۱۲ الی ۶۶٪، وزن مخصوص خشک بین ۹۷۰ الی ۱۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، حد روانی بین ۳۲ و ۸۳، حد خمیری بین ۱۵ و ۵۸، شاخص خمیری بین ۱۷ و ۴۶، درصد کربنات بین ۱۱ و ۳۳ و درصد مواد آلی بین ۲ و ۶ می‌باشد.



شکل ۲- نقشه پراکندگی نمونه‌های اخذ شده در شهر تبریز

۴- کانی‌شناسی

کانی‌های تشکیل دهنده مارن‌های تبریز در ۵ نمونه بررسی شده یکسان نیستند و این مسأله نشانگر تفاوت نحوه شکل‌گیری آنها با توجه به زمان شکل‌گیری، نحوه رسوب، ارتفاع لایه، شرایط آب و هوایی، همچنین شرایط خاک میزبان و موارد مشابه می‌باشد. بنابراین تعریف واحدی از کانی‌های تشکیل دهنده مارن تبریز قابل ارائه نخواهد بود و می‌توان گفت مشخصات کانی ارائه شده برای این مارن‌ها در مراجع مختلف بیشتر برای یک نمونه خاص بوده و قابل تعمیم نیست.

هدف از طبقه‌بندی خاک، تعیین یک چهارچوب کلی برای تخمین رفتار و مشخصات کلی خاک بر اساس رده تعریف شده است. طبقه‌بندی‌های تعریف شده در مکانیک خاک کلاسیک که عمومیت یافته‌اند، معمولاً بر اساس دانه‌بندی خاک (ابعاد) و مشخصات پلاستیک آن (حدود اتربرگ) شکل گرفته‌اند. از آن جمله می‌توان به سیستم طبقه‌بندی یونیفاید، سیستم استاندارد انگلیس، سیستم آشو و سیستم طبقه‌بندی اداره کشاورزی آمریکا اشاره کرد. طبقه‌بندی‌های مورد اشاره برای خاک‌های طبیعی پایه (شن، ماسه، سیلت و رس) کاربرد داشته و معمولاً برای خاک‌های کربناته که دارای ذات متفاوت هستند، کاربرد ندارند.

با توجه به گستردگی خاک‌های کربناته، طبقه‌بندی یکسانی برای آنها تعریف نشده است و معمولاً پارامترهایی همچون مشخصات سایت، منشأ زمین‌شناسی، کانی‌های تشکیل دهنده، دانه‌بندی، درجه سیمان‌تاسیون، درصد مواد آهکی، مشخصات ظاهری از قبیل بافت و رنگ و نهایتاً مشخصات مهندسی برای بررسی رفتار این خاک‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند. البته طبقه‌بندی واحدی که مورد قبول هر دو طرف مهندسين ژئوتکنیک و زمین‌شناسان باشد تعریف نشده است و معمولاً زمین‌شناسان بر اساس کانی‌های تشکیل دهنده اقدام به طبقه‌بندی می‌نمایند در حالی که مهندسان ژئوتکنیک پارامترهای مقاومتی خاک را در سیستم طبقه‌بندی دخالت می‌دهند. درس مهمی که از حل مسائل مربوط به خاک‌های کربناته گرفته شده است، گسترده بودن دامنه خصوصیات آنها به اندازه خاک‌های غیرکربناته می‌باشد.

از اولین سیستم‌های طبقه‌بندی که مشخصات فیزیکی و ژئوتکنیکی در آن آورده شده است، سیستم Fookes و Higginbottom (۱۹۷۵)، می‌باشد که مارن را ترکیب ساده دوگانه‌ای از رس و کربنات کلسیم و مارلیت و سنگ مارن را ترکیب سخت‌شده آنها معرفی کرده‌اند. ایشان به نتیجه رسیدند که اندازه ذرات و تغییرات پس از رسوب‌گذاری بر مشخصات این خاک‌ها تأثیرگذارند.

Datta و همکاران (۱۹۸۲)، سیستم تغییر یافته‌ای را نسبت به این طبقه‌بندی ارائه داده است. این سیستم بر اساس چهار پارامتر منشأ زمین‌شناسی، مقدار کربنات، اندازه ذرات و درجه سیمان‌تاسیون می‌باشد.

Beckwith و Hansen (۱۹۸۲)، یک سیستم طبقه‌بندی که خاک‌های کربناته جنوب غربی ایالات متحده را بر اساس فاکتورهای مرتبط با رفتار مهندسی به ۵ بخش تقسیم می‌کند، ارائه نمودند. این فاکتورها شامل زاویه اصطکاک، چسبندگی، مدول الاستیسیته و مقاومت تک محوری خاک می‌باشد.

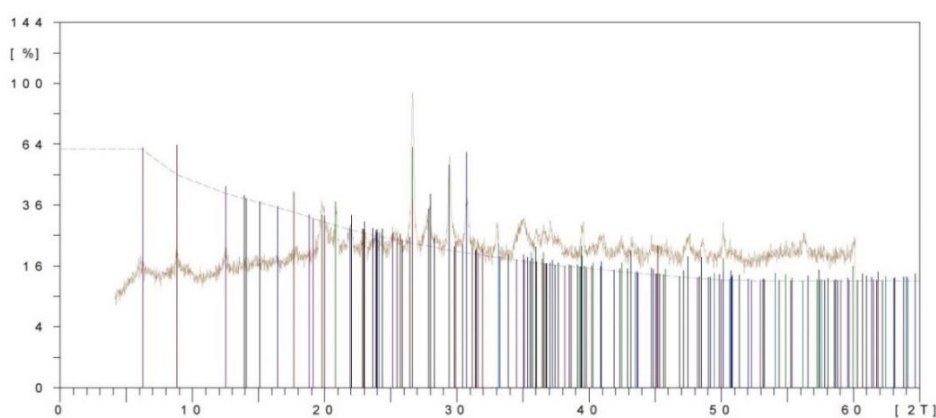
Netterberg (۱۹۶۹)، یک سیستم طبقه‌بندی بر اساس ریخت‌شناسی را برای خاک‌های کربناته بسته به ابعاد دانه‌ها و میزان سیمان‌تاسیون آنها برای خاک‌های جنوب آفریقا ارائه کرده است.

جدول ۱- کانی‌های اصلی و فرعی نمونه‌های مارن بررسی شده

شماره نمونه	کانی‌های اصلی	کانی‌های فرعی
۷	کوارتز- البیت- کلسیت	ایلپت- کلینوکلر- آنکرت- هماتیت
۱۲	کوارتز- ایلپت- چاموسیت	آراگونیت- البیت- کلسیت
۲	کوارتز- کلسیت- دولومیت	ایلپت- مونت موریلونیت- البیت
۵	کوارتز- البیت- کلسیت	کانولینیت
۱۴	کلسیت- آنورتیت- کوارتز	مونت موریلونیت- هماتیت

جدول (۱) کانی‌های اصلی و فرعی نمونه‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهد. بر این اساس کانی‌های غالب مارن تبریز عموماً شامل کوارتز، ایلپت، کلسیت و آلبیت می‌باشد. شکل (۳) نیز یک نمونه از پراش نگاشت حاصل از آزمون پراش اشعه ایکس را نشان می‌دهد.

پنج نمونه مذکور برای شناسایی اکسیدهای تشکیل دهنده تحت آزمون پرتو ثانویه اشعه ایکس قرار گرفته‌اند. نتایج در جدول (۲) قابل مشاهده بوده و مشخصاً با توجه به میانگین تمامی نمونه‌ها، مقادیر SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO (از چپ به راست) بیشتر اکسیدهای موجود در مارن می‌باشند.



شکل ۳- پراش نگاشت اشعه ایکس برای یک نمونه از مارن تبریز

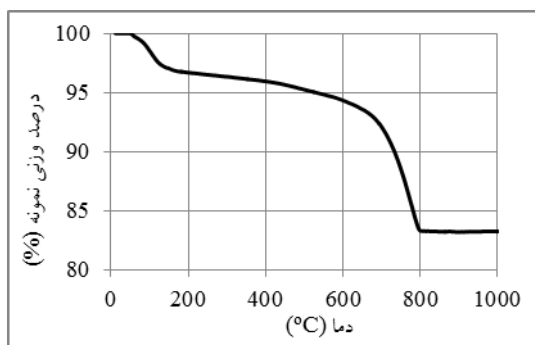
جدول ۲- درصد اکسیدها در نمونه‌های مارن

نمونه	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	MgO	K_2O	TiO_2	MnO	CaO	P_2O_5	Fe_2O_3	SO_3
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
۷	۴۸/۵۵	۱۲/۸۵	۰/۶۱	۴/۳۴	۲/۳۷	۰/۵۷	۰/۰۷	۷/۲۲	۰/۱	۵/۶۷	۲/۸
۱۲	۴۳/۷۷	۱۲/۴۱	۰/۶۴	۳/۹	۲/۹۱	۰/۶	۰/۰۷	۱۳/۰۴	۰/۱	۵/۱۲	۱/۹۹
۲	۳۵/۴۸	۹/۱۳	۰/۷۱	۶/۶۷	۲/۴۷	۰/۴۳	۰/۰۹	۱۶/۴	۰/۱۲	۴/۷	۱/۷۶
۵	۵۱/۱	۱۲/۶۱	۰/۸۹	۳/۲۸	۲/۳۶	۰/۷۲	۰/۰۸	۱۰/۱۳	۰/۱۳	۴/۶۷	۱/۲۷
۱۴	۴۲/۳۳	۱۱/۰۷	۰/۸	۲/۸۹	۲/۳۳	۰/۵	۰/۰۷	۱۷/۳۷	۰/۱۴	۴/۵۱	۰/۰۵

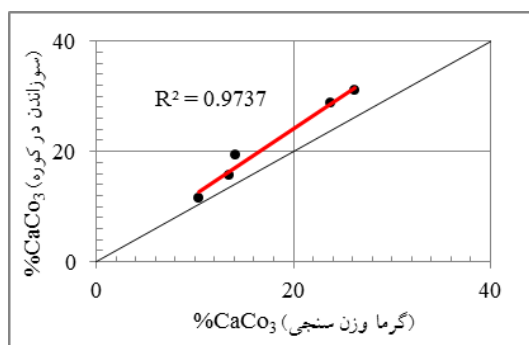
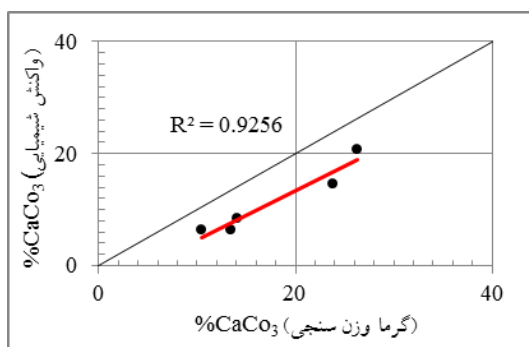
جدول ۳- نتایج آزمون‌های تعیین مواد آلی در نمونه‌های مارن

نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
درصد آزمایش کوره	۵/۹	۵/۶	۵/۲	۵/۷	۴/۳	۲/۲	۶/۲	۶/۰	۲/۹	۲/۲
رنگ‌سنجی	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳
نسبت حد روانی	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۹
نمونه	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
درصد آزمایش کوره	۳/۱	۴/۷	۴/۱	۲/۸	۳/۳	۴/۲	۵/۱	۴/۵	۴/۳	۵/۹
رنگ‌سنجی	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳	<۳
نسبت حد روانی	۰/۹۸	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۷	۰/۹۸	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۵

گردد. شکل (۴) نمودار یک مورد از آزمایشات گرما وزن سنجی را نشان می‌دهد که روند سوختن کانی‌ها و مواد مختلف داخل خاک در دماهای مختلف در آن قابل مشاهده و با توجه به اطلاع از بازه سوختن کربنات کلسیم، مقدار آن در نمونه‌ها محاسبه شده است. نمودارهای شکل (۵) مقایسه این سه نتیجه را با هم نشان می‌دهد و مشاهده می‌شود که این نتایج روند یکسانی را داشته و با هم رابطه نسبتاً خطی دارند و همبستگی نتایج بسیار مناسب است و می‌توان از نتایج آزمون سوزاندن در کوره برای تخمین درصد کربنات بهره برد.



شکل ۴- نمودار گرما وزن سنجی بر روی یک نمونه مارن تبریز



شکل ۵- مقایسه نتایج روش سوزاندن در کوره و واکنش شیمیایی نسبت به گرما وزن سنجی در محاسبه درصد کربنات‌ها

۷- آزمون‌های مشخصات فیزیکی

۵- بررسی درصد مواد آلی

با توجه به شرایط تشکیل مارن‌ها و مشاهده فسیل انواع ماهی‌ها، جانداران دریایی، گیاهان و ریشه درختان در مارن تبریز، بررسی احتمال وجود مواد آلی در مارن‌ها لازم تشخیص داده شد. Jung و همکاران (۲۰۱۱)، ضمن بررسی مارن‌های ایالت ایندیانا، وجود مواد آلی در مارن و تأثیر آن بر خصوصیات ژئوتکنیکی مارن‌ها را نشان داده است. سیستم طبقه‌بندی مارن دپارتمان حمل و نقل ایالت ایندانا نیز بررسی و طبقه‌بندی مارن‌ها را بر اساس مقدار مواد آلی آنها ارائه کرده است (INDOT، ۲۰۰۸) و (El Howayek، ۲۰۱۲).

در دیدگاه ژئوتکنیک، وجود مواد آلی تأثیر منفی بر مشخصات خاک دارند. به عنوان مثال باعث کاهش مقاومت‌های مکانیکی خاک شده و نشست و خزش آن را افزایش می‌دهند. برای تشخیص مواد آلی در خاک مارن تبریز سه آزمایش بر روی نمونه‌ها انجام شد. این آزمایش‌ها شامل سوزاندن در کوره، رنگ‌سنجی و نسبت حد روانی می‌باشد. نتایج این آزمون‌ها در جدول (۳) آورده شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، حداکثر درصد افت وزنی در آزمون سوزاندن در کوره برای مواد آلی ۶/۲٪ است. با توجه به این که احتمال سوختن برخی کانی‌های رسی تا دمای ۴۵۵ درجه سانتیگراد وجود دارد، مقدار واقعی شاید از این هم کمتر باشد. بنابراین با در نظر داشتن آزمون‌های نسبت حد روانی با حداقل مقدار ۰/۹۵ و رنگ‌سنجی کمتر از شماره ۳ مرجع رنگ نیز می‌توان نتیجه گرفت درصد مواد آلی در مارن تبریز بسیار کم بوده و تأثیر زیادی در خواص خاک نخواهد داشت و لذا طبقه‌بندی مارن تبریز بر اساس مقدار مواد آلی معنی‌دار نخواهد بود (El Howayek، ۲۰۱۲).

۶- آزمایش درصد کربنات

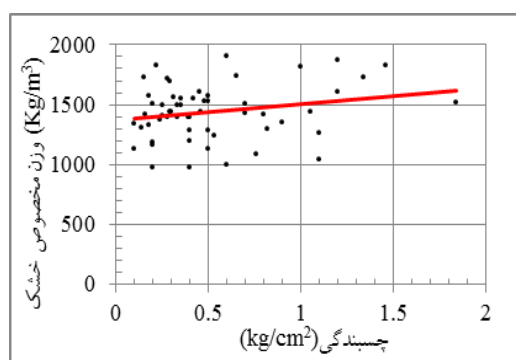
با توجه به تعریف ساده و عمومی مارن که ترکیب خاک میزبان (عمدتاً رس) با کربنات کلسیم می‌باشد، تعیین مقدار کربنات کلسیم می‌تواند نقش مهمی را در طبقه‌بندی مارن ایفا کند. مقدار کربنات کلسیم می‌تواند بر مشخصات خمیری خاک، زاویه اصطکاک داخلی خاک، پاسخ تنش- کرنش، نفوذپذیری، چسبندگی و تورم آن تأثیرگذار باشد. کربنات‌ها در خاک عموماً شامل کربنات کلسیم و کربنات منیزیم هستند که یکی از ساده‌ترین روش‌های تعیین مقدار آنها، روش سوزاندن در کوره می‌باشد. آزمایشات دیگری نیز برای تعیین مقدار کربنات تعریف شده‌اند که آزمایش گرما وزن سنجی و آزمایش واکنش شیمیایی با اسید کلریدریک (روش تیتراسیون) از آن جمله‌اند.

در این مطالعه سعی شده مقدار درصد کربنات خاک مارن تبریز با هر سه روش محاسبه شده و نتایج حاصله با هم مقایسه

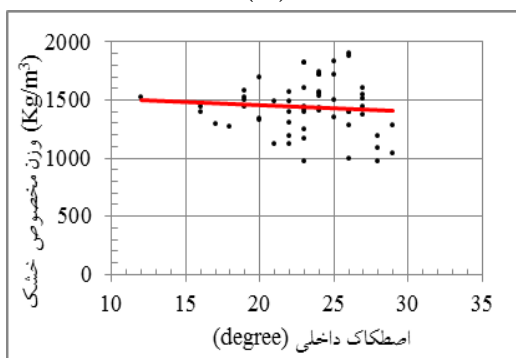
و پارامترهای برشی مارن وجود نداشته و عملاً بر خلاف اکثر خاک-های دانه‌ای و ریزدانه، تخلخل و وزن مخصوص خاک تأثیر زیادی بر پارامترهای اصطکاک داخلی و چسبندگی ندارد. با توجه به عدم وابستگی پارامترهای برشی به وزن مخصوص و تخلخل، به نظر می‌رسد سیمان‌تاسیون بین دانه‌ها، تاریخیچه تنش لایه‌های خاک، کانی‌های تشکیل دهنده و مواردی از این قبیل بر پارامترهای مقاومتی و برشی مارن تأثیر داشته باشند. بنابراین اگر مقاومت تک محوری را نمادی از تأثیر این عوامل بپنداریم، مقایسه بین مقاومت تک محوری و سایر پارامترها می‌تواند جالب توجه باشد.

جدول ۵- خلاصه نتایج آزمون‌های مکانیکی نمونه‌های مارن

آزمون	تعداد آزمون	حد بالا	حد پایین	میانگین
ضریب اصطکاک (ϕ°)	۶۳	۲۹	۱۲	۲۳
چسبندگی (kg/cm^2)	۶۳	۱/۸	۰/۱	۰/۵
تحکیم (Cc)	۴۵	۰/۴۶۲	۰/۰۴۱	۰/۱۷۱
تحکیم (Cs)	۴۵	۰/۰۴۲	۰/۰۰۳	۰/۰۲
تک محوری (kg/cm^2)	۶۹	۱۱/۳	۰/۸	۴/۴
مدول الاستیسیته تک محوری (kg/cm^2)	۶۹	۳۳۰	۹۰	۲۱۰



(الف)



(ب)

شکل ۷- مقایسه وزن مخصوص خشک و پارامترهای برشی در مارن

شکل (۸) این مقایسه‌ها را در دو نمودار نشان می‌دهد و مشخص است که علی‌رغم پراکندگی داده‌ها و عدم وجود رابطه

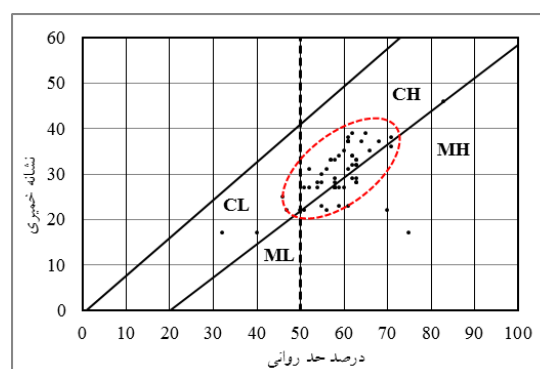
آزمایشات فیزیکی که بر روی اکثر نمونه‌ها انجام یافته است، شامل حدود اتربرگ، چگالی ویژه و وزن مخصوص طبیعی و خشک آنها می‌باشد. جدول (۴) تعداد نمونه‌های مورد آزمون، حد بالا، حد پایین و میانگین نتایج به دست آمده را نشان می‌دهد. همچنین شکل (۶) نتایج حاصل از آزمون‌های حدود اتربرگ را در چارت پلاستیسیته نشان می‌دهد. بررسی شکل نشان می‌دهد که بیشتر نمونه‌های مورد آزمون در رده CH و MH قرار دارند و پراکندگی در محدوده CH بیشتر است.

جدول ۴- خلاصه نتایج آزمون‌های فیزیکی نمونه‌های مارن

آزمون	تعداد آزمون	حد بالا	حد پایین	میانگین
حد روانی	۶۳	۸۳	۳۲	۵۹
حد خمیری	۶۳	۵۸	۱۵	۲۹
شاخص خمیری	۶۳	۴۶	۱۷	۳۰
رطوبت طبیعی (%)	۷۲	۶۶	۱۲	۳۰/۴
وزن مخصوص طبیعی (kg/m^3)	۷۲	۲۱۵۹	۱۵۱۵	۱۸۷۷
وزن مخصوص خشک (kg/m^3)	۷۲	۱۹۰۱	۹۷۰	۱۴۵۷
چگالی ویژه (Gs)	۴۹	۲/۸۵	۲/۴۲	۲/۶۲
تخلخل	۴۹	۱/۸۹	۰/۳۶	۰/۸۵

۸- آزمون تعیین مشخصات مکانیکی

آزمایشات مکانیکی شامل برش مستقیم، تک محوری و تحکیم بر روی نمونه‌ها انجام یافته است. جدول (۵) تعداد نمونه‌های مورد آزمون، حد بالا، حد پایین و میانگین نتایج به دست آمده را نشان می‌دهد.



شکل ۶- نتایج آزمون‌های حدود اتربرگ مارن در نمودار خمیری

بررسی دو نمودار شکل (۷) و پراکندگی زیاد نتایج نشان می‌دهد رابطه مستقیمی بین وزن مخصوص خشک (یا به عبارتی تخلخل)

جدول ۶- خلاصه نتایج آزمون سرعت موج برشی (m/s) با روش دان هول در مارن تبریز

نوع خاک	تعداد آزمون	حد بالا	حد پایین	میانگین
مارن زیتونی	۳۲	۶۰۴	۲۴۵	۳۸۲
مارن خاکستری	۳۹	۱۱۸۷	۳۶۶	۶۶۲
مجموع نمونه‌ها	۷۱	۱۱۸۷	۲۴۵	۵۳۵

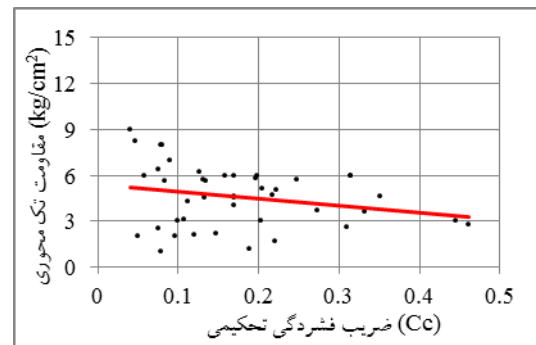
۱۰- بررسی خصوصیات مارن‌های منطقه بر اساس رنگ

مارن خاکستری به عنوان بستر سنگی تبریز شناخته می‌شود و تا اعماق ۱۰۰ متر و بیشتر ادامه دارد ولی مارن زیتونی و زرد عموماً شامل لایه‌های سطحی خاک می‌باشد. تجربیات عملی نشان داده است که مارن خاکستری مشخصات مناسب‌تری را از لحاظ مقاومتی نسبت به مارن زیتونی داراست. به همین دلیل مقایسه‌ای بین نتایج حاصل از آزمایشات این مطالعه از دید رنگ مارن انجام یافته و خلاصه یافته‌ها در جدول (۷) آورده شده است.

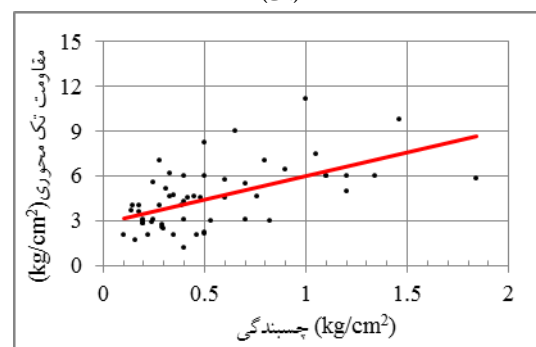
بررسی جدول (۷) نشان می‌دهد که در نگاه کلان، تغییر رنگ مارن تأثیری در حدود اتربرگ ندارد. وزن مخصوص خشک مارن خاکستری بیشتر از زیتونی و آن هم بیشتر از زرد است و برعکس، درصد رطوبت در مارن زرد بیشتر از زیتونی و آن هم بیشتر از خاکستری است. پس در مجموع مارن خاکستری وزن مخصوص بالا و رطوبت پایین‌تری دارد.

در مورد مقاومت تک محوری، اختلاف فاحشی بین مارن‌های خاکستری با زیتونی و زرد وجود دارد و میانگین مقاومت تک محوری مارن خاکستری حدود ۱/۵ برابر مارن زیتونی و مارن زیتونی هم حدود ۱/۵ برابر مارن زرد است. مقدار بیشینه مقاومت تک محوری در مارن‌های خاکستری بیشتر از زیتونی و آن هم بیشتر از زرد است. نگاهی به نتایج آزمایش برش مستقیم نشان می‌دهد مقادیر میانگین اصطکاک داخلی خاک در مارن‌های با رنگ متفاوت تفاوت چندانی ندارد ولی مشابه با مقاومت تک محوری، مقادیر چسبندگی در مارن‌های خاکستری بسیار بیشتر از مارن‌های زرد و زیتونی است. با توجه به تمام موارد بالا می‌توان نتیجه گرفت مارن خاکستری عموماً دارای وزن مخصوص خشک بالاتر، رطوبت کمتر، مقاومت تک محوری و چسبندگی بیشتر نسبت به مارن زیتونی و زرد بوده و سرعت موج برشی آن نیز بیشتر است. مشخصات مقاومتی مارن زیتونی نیز در کل مناسب‌تر از مارن زرد می‌باشد. در این مقایسه نیز همانند مقایسات قبل بهبود مقاومت تک محوری نشانه‌ای از وضعیت مناسب‌تر خاک بوده و عموماً رابطه مستقیم با چسبندگی، وزن مخصوص خشک، سرعت موج برشی و رابطه عکس با رطوبت و ضریب فشردگی تحکیمی دارد و جالب این که اکثر پارامترهای خاک عموماً رابطه‌ای با ضریب اصطکاک داخلی و حدود اتربرگ ندارند.

مستقیم بین آن‌ها، روند افزایشی چسبندگی و کاهش ضریب فشردگی در برابر افزایش مقاومت تک‌محوری مارن تبریز کاملاً محسوس بوده و نهایتاً افزایش مقاومت تک‌محوری نشانه‌ای از بهبود تمامی پارامترهای مقاومتی مارن می‌باشد.



(الف)



(ب)

شکل ۸- مقایسه چسبندگی و ضریب فشردگی تحکیمی با مقاومت تک‌محوری در مارن

۹- آزمون‌های ژئوفیزیکی (دان هول)

تعداد پنج گمانه حفاری شده در این مطالعه تحت آزمون ژئوفیزیکی دان هول قرار گرفته و سرعت موج برشی در لایه‌های مارن تا اعماق حداکثر ۴۰ متری (که قابل قرائت بود) اندازه‌گیری شد. جدول (۶) تعداد اندازه‌گیری‌ها، حد بالا، حد پایین و میانگین نتایج به دست آمده را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد چنانچه تراز پایه سازه‌ای بر روی مارن خاکستری باشد، احتمال نوع ۲ بودن آن از دید آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله ایران بسیار بالا و در صورت قرارگیری بر مارن زیتونی یا زرد، بایستی آزمایشات کامل‌تری انجام داده و احتمال قرارگیری آن در نوع ۲ یا ۳ وجود دارد (کمیته دائمی بازنگری ۱۳۹۳) به عبارت دیگر، سرعت موج برشی در مارن خاکستری بیشتر از مارن زیتونی است.

جدول ۷- مقایسه مشخصات فیزیکی و مکانیکی در مارن‌های خاکستری، زیتونی و زرد

نوع مارن	آمار	حدود اتربرگ			وزن مخصوص خشک Kg/m ³	رطوبت %	مقاومت تک محوری Kg/cm ²	برش مستقیم		تحکیم
		PI	PL	LL				C (Kg/cm ²)	ϕ^0	
سبز	تعداد	۱۴	۱۴	۱۴	۱۹	۱۹	۱۹	۱۷	۱۷	۱۱
	حد بالا	۳۷	۳۵	۶۳	۱۹۰۱	۴۰	۱۱/۲	۱/۴۶	۲۶	۰/۰۳
	حد پایین	۲۳	۲۴	۵۵	۱۲۶۸	۱۵	۲/۵	۰/۲۹	۱۶	۰/۰۰۵
	میانگین	۲۹/۶	۲۸/۶	۵۸/۹	۱۵۸۸	۲۵/۴	۶/۲	۰/۷۵	۲۲/۶	۰/۰۱۶
زرد	تعداد	۳۷	۳۷	۳۷	۴۱	۴۱	۳۸	۳۴	۳۴	۲۶
	حد بالا	۴۶	۵۸	۸۳	۱۸۲۶	۶۶	۹	۱/۸۴	۲۹	۰/۰۴۱
	حد پایین	۱۷	۱۵	۳۲	۹۷۰	۱۲	۱	۰/۱	۱۲	۰/۰۰۳
	میانگین	۲۹/۸	۲۹/۴	۵۹/۲	۱۴۲۶	۳۱/۱	۴	۰/۴۳	۲۲/۹	۰/۰۲
زیتونی	تعداد	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱۰	۱
	حد بالا	۳۹	۳۰	۶۲	۱۴۹۳	۴۶	۴/۶	۰/۲۸	۲۸	۰/۰۲۳
	حد پایین	۲۲	۲۳	۵۰	۱۱۸۸	۲۵/۶	۰/۸	۰/۲	۲۱	۰/۰۲۳
	میانگین	۳۱/۷	۲۶/۵	۵۸/۲	۱۳۶۸	۳۳/۹	۲/۵	۰/۲۴۵	۲۵/۲	۰/۰۲۳

۱۱- آزمایشات مدول تغییر شکل در مارن تبریز

نتایج اندازه‌گیری مدول تغییر شکل مماسی از آزمایشات تک محوری انجام یافته، نشان داد که این عدد در مارن‌های زیتونی حدود ۹۰ الی ۲۵۰ و در مارن‌های خاکستری حدود ۱۲۰ الی ۳۳۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد که با یافته‌های قره‌گل و همکاران، در آزمایشات تک محوری که بر روی مارن‌های تبریز انجام داده‌اند و مدول تغییر شکل مماسی مارن‌های سبز را در حدود ۸۰ الی ۲۰۰ و مدول تغییر شکل مماسی مارن‌های خاکستری را در حدود ۱۰۰ الی ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع به دست آورده‌اند، هم‌خوانی دارد (سلیمانی و همکاران، ۱۳۸۹). در مطالعه حاضر آزمایشات مدول تغییر شکل در محل از قبیل بارگذاری صفحه و پرسیومتری انجام نشده ولی نتایج برخی مطالعات در این راستا مورد بررسی قرار گرفته است. هوشمند و همکاران با انجام آزمایشات در محل پرسیومتری و بارگذاری صفحه در مارن‌های شرق تبریز نشان داده‌اند که با افزایش عمق بر مدول تغییر شکل این مارن‌ها افزوده می‌شود. همچنین ایشان مدول تغییر شکل حاصل از آزمایشات پرسیومتری را در حدود ۴۵۰ الی ۷۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع و مدول تغییر شکل نتیجه گرفته شده از آزمایشات بارگذاری صفحه را در حدود ۴۰۰ الی ۷۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع گزارش کرده‌اند (هوشمند و همکاران، ۱۳۸۵).

بررسی مقدار نشست پدهای بتنی به ابعاد ۱۲۰ سانتی‌متر در ۱۲۰ سانتی‌متر در آزمایشات بارگذاری انکرها در گروتی در مارن تبریز که توسط نویسندگان این مقاله انجام و نتایج آنها منتشر شده، نیز مقادیر مشابهی را با آزمایشات صحرایی فوق برای مدول تغییر شکل نشان داده‌اند.

نتایج فوق و تجربیات عملی در پروژه‌های عمرانی نشان می‌دهد که استفاده از نتایج آزمایشات تک محوری برای محاسبه مدول تغییر شکل مارن بسیار محافظه‌کارانه بوده و آزمایشات صحرایی نتایج به مراتب بهتر و نزدیک به واقعیتی را (البته برای پی‌های کم‌عرض) حاصل می‌کنند. همچنین کاملاً واضح است که مدول تغییر شکل در مارن خاکستری به مراتب بیشتر از مارن زیتونی است و این موضوع اطمینان بالا در قرارگیری پی سازه‌های سنگین در لایه‌های مارن خاکستری را موجب خواهد شد.

۱۲- طبقه‌بندی مارن تبریز بر اساس روش‌های مختلف

Pettijohn (۱۹۴۹)، نمودار نسبتاً ساده‌ای را بر اساس درصد کربنات برای رسوبات رسی- کربناته سخت شده ارائه داده است. مارن تبریز در این نمودار عموماً در جایگاه (Marly Claystone) و (Clayey Marlstone) قرار خواهد گرفت و البته مقاومت خاک جایگاهی در این طبقه‌بندی ندارد.

Fookes و Higginbottom (۱۹۷۵)، در سیستم طبقه‌بندی معروفی که با مطالعه رسوبات خلیج فارس برای رسوبات کربناته نزدیک سواحل ارائه داده‌اند، علاوه بر پارامترهای زمین‌شناسی، پارامترهای دیگری از قبیل اندازه دانه‌ها، مقدار کربنات و مقاومت را در طبقه‌بندی دخیل کرده‌اند. در این سیستم مارن تبریز در رده (Carbonate Mud) یا (Carbonate Silt) قرار خواهد گرفت در حالی که در مقاله مذکور مارن‌ها (با توجه به ترکیب دوگانه رس و کربنات در آن‌ها) در طبقه‌بندی (Clayey limestone and Calcareous clayston) معرفی شده‌اند که با در نظر داشتن مقاومت تک محوری کم مارن تبریز، با جدول ارائه شده توسط فوکس و هیگن‌باتم در تناقض است و به عبارت دیگر مارن مورد نظر این محققین، مقاومت بالایی را داراست.

نام (Calcareous Silica) خوانده خواهد شد و سایر مشخصات آن شامل سایز دانه‌ها، درجه سختی، درجه سیمان‌تاسیون، ضخامت لایه، منشأ کربنات، رنگ و بخش کمینه، همراه با نام مذکور قابل ذکر خواهد بود.

با بررسی طبقه‌بندی Hansen و Beckwith (۱۹۸۲)، که برای خاک‌های کربناته جنوب غربی ایالات متحده ارائه شده و آنها را به ۵ کلاس مختلف تقسیم می‌کند، با وجود مهندسی بودن این طبقه‌بندی، مشاهده می‌شود مشخصات مکانیکی مارن تبریز به طور مشخص و قطعی در هیچ یک از گروه‌ها قرار نمی‌گیرد و قابل طبقه‌بندی نیست زیرا در این طبقه‌بندی اصطکاک داخلی خاک بزرگ‌تر از ۳۰ درجه و مقاومت تک محوری بالای ۴/۷۹ کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع آورده شده است در حالی که پارامترهای مارن تبریز بر اساس آزمایشات پیش گفته می‌توانند کم‌تر باشند. حدود بالای مقاومت تک محوری در این جدول برابر ۳۴۵۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است که برای مارن تبریز، بسیار بسیار بالاست.

اداره حمل و نقل ایالت ایندیانا مارن‌های آن ایالت را از دو دیدگاه مورد بررسی قرار داده است که یکی با توجه به درصد مواد آلی و دیگری با توجه به درصد کربنات می‌باشد و در نام‌گذاری مارن‌ها هر دو معیار به طور هم‌زمان مورد استفاده قرار گرفته‌اند (INDOT، ۲۰۰۸) و (El Howayek، ۲۰۱۲).

برای طبقه‌بندی مارن تبریز در این معیار تعدادی آزمایش انجام شده است که به نتایج آنها قبلاً اشاره شده و گفته شد که درصد مواد آلی در مارن تبریز ناچیز بوده و با توجه به سایر آزمایشات تکمیلی در این مورد، این خاک در رده خاک‌های غیر آلی قرار گرفته و فقط بر اساس درصد کربنات کلسیم مورد طبقه‌بندی قرار خواهد گرفت. جدول (۹) این طبقه‌بندی ساده را برای مارن نشان می‌دهد. با توجه به آزمایشات درصد کربنات کلسیم که با سه روش مختلف انجام و با هم مقایسه شد، مارن‌های منطقه تبریز می‌تواند در یکی از ۳ رده میانی این جدول قرار گیرد و جالب است که در این مطالعه هیچ مقدار بالای ۴۰٪ برای درصد کربنات مارن تبریز اندازه‌گیری نشده است و بنابراین ذکر عنوان مصطلح "مارن" برای خاک مورد مطالعه بر اساس این طبقه‌بندی جایز نمی‌باشد.

جدول ۹- رده‌بندی مارن‌های ایالت ایندیانا بر اساس درصد

کربنات (INDOT ۲۰۰۸)

درصد کربنات	نام‌گذاری اداره حمل و نقل ایالت ایندیانا
$CaCO_3 < 1\%$	خاک با آثاری از مارن
$1\% < CaCO_3 < 11\%$	خاک با کمی مارن
$11\% < CaCO_3 < 25\%$	خاک همراه با مارن
$25\% < CaCO_3 < 40\%$	خاک مارنی
$CaCO_3 > 40\%$	مارن

Netterberg (۱۹۶۹) و در ادامه آن Goudie (۱۹۸۳) یک سیستم طبقه‌بندی را برای کلکریته‌ها در ناحیه جنوب آفریقا توسعه داده‌اند. براساس تعریف نتربرگ، کلکریته مصالحی است که با سیمان‌تاسیون در محل یا جابجایی (یا هر دو) هرگونه خاک موجود (خاک میزبان) با کربنات کلسیم (و به ندرت کربنات منیزیم) حاصل از آب زیرزمینی یا خاک تشکیل شده است. با توجه به این تعریف شاید بتوان مارن مورد مطالعه را در این طبقه‌بندی جا داد. بر اساس هر دو این طبقه‌بندی‌ها مارن تبریز در گروه (Calcified soil) از گروه‌های ششگانه قرار می‌گیرد.

Netterberg مقاومت این گروه را از درجه سفت تا سخت و گودی در رده ضعیف و سست تعریف کرده است که با توجه به میانگین نتایج آزمون مارن‌ها، تعریف Netterberg به مشخصات آنها نزدیک‌تر است. در این رده‌بندی خاک میزبان می‌توان در هر رده‌ای از قبیل ماسه، سیلت یا رس باشد که دارای ۱۰ الی ۵۰ درصد کربنات کلسیم است. با توجه به گستره بزرگ تعاریف این رده‌بندی، نمی‌توان مشخصات ژئوتکنیکی تعریف شده‌ای را برای آنها در نظر داشت.

در سیستم طبقه‌بندی Walker و Clark (۱۹۷۷)، که بر اساس ۳ پارامتر اندازه ذرات، مقاومت و مقدار کربنات پایه‌ریزی شده است، می‌توان برای مصالح با درصد کربنات ۰ الی ۱۰۰ تمایز قائل شد که با توجه به مقدار نسبتاً کم کربنات در مارن تبریز (که می‌تواند در بازه ۱۰ الی ۳۵٪ در نظر داشت) می‌تواند طبقه‌بندی مناسب‌تری باشد. در این سیستم، مارن تبریز با توجه به اندازه ذرات، مقاومت و مقدار کربنات می‌تواند در ۴ رده از ۴۸ رده پیشنهادی این روش قرار گیرد. از آنجایی که مقدار کربنات مارن تبریز بیش از ۵۰ و کمتر از ۱۰٪ نیست، تغییر نام با توجه به مقدار کربنات پیش نمی‌آید و در نتیجه فقط اندازه ذرات و مقاومت تک محوری است که در این نام‌گذاری دخیل خواهد بود. بنابراین جدول (۸) که برشی از جدول ارائه شده توسط Walker و Clark (۱۹۷۷)، است قابل توجه است.

جدول ۸- برشی از سیستم طبقه‌بندی Walker و Clark

(۱۹۷۷)، که برای مارن تبریز کارایی دارد (کربنات بین ۱۰ الی ۵۰ درصد)

مشخصات خاک	۰/۰۰۲ میلی‌متر >	۰/۰۰۲ میلی‌متر <
اندازه ذرات	اندازه ذرات	اندازه ذرات
تک محوری $> 3 \text{ kg/cm}^2$	Calcareous Silt	Calcareous Clay
تک محوری $< 3 \text{ kg/cm}^2$	Calcareous Siltstone	Calcareous Claystone

در طبقه‌بندی King و همکاران (۱۹۸۰)، که تغییر یافته طبقه‌بندی Walker و Clark است، خاک بر اساس ۷ مشخصه طبقه‌بندی می‌شود که مارن تبریز با توجه به درصد کربنات آن با

سیستم استاندارد و بین‌المللی یونیفاید و آشتو برای این منظور قابل استفاده هستند که به علت استفاده و آشنایی بیشتر مهندسان در منطقه مورد مطالعه از سیستم یونیفاید، ردیف (۱) جدول (۱۰) طبقه‌بندی به نام‌گذاری خاک بر اساس آن اختصاص یافت.

بررسی سایر سیستم‌های طبقه‌بندی و مطالعات انجام یافته بر روی خاک‌های کربناته نشان می‌دهد که درصد کربنات در این گروه از خاک‌ها بسیار مهم و همواره مد نظر بوده است و هر جا که حدود تعریف این بازه وسیع‌تر انتخاب گردیده، سیستم طبقه‌بندی ناقص و فقط مختص نوع خاصی از مصالح شده است. همچنین اهمیت مقدار کربنات‌ها در رفتار رسوبات کربناته توسط Demars مورد تأکید قرار گرفته و اشاره شده است که معمولاً با بیش از ۴۰٪ کربنات، رفتار خاک، به شکل درشت دانه و برای کمتر از آن، رفتار خاک، به شکل ریزدانه خواهد بود (Demars, ۱۹۷۶). ایشان همچنین توصیه کردند که درصد کربنات به عنوان شاخص خاک همراه با شاخص‌های دیگر اندازه‌گیری شود. با توجه به موارد بالا و تأثیری که مقدار کربنات می‌تواند بر مشخصات خاک داشته باشد ردیف ۲ جدول (۱۰) طبقه‌بندی بر اساس مقدار کربنات و با الهام از روش طبقه‌بندی ایالت ایندیانا (INDOT, ۲۰۰۸) توصیه می‌شود. استفاده از طبقه‌بندی مذکور به علت نزدیکی مشخصات مارن مورد اشاره در آن به مارن مورد مطالعه و همچنین بخش‌بندی آن در محدوده مقادیر کربنات مارن تبریز می‌باشد. با توجه به ناچیز بودن مقدار مواد آلی در آزمایشات، جایگاهی برای آن در سیستم پیشنهادی در نظر گرفته نشد.

ردیف ۳ جدول (۱۰) با توجه به عرف جامعه مهندسی در منطقه که مارن‌ها را با رنگ آنها طبقه‌بندی می‌کنند در نظر گرفته شده است. همچنین مشاهده شد که مارن‌های با رنگ مختلف از لحاظ مقاومتی با هم فرق داشته و ذکر رنگ آنها در سیستم طبقه‌بندی مهم خواهد بود. King و همکاران نیز در طبقه‌بندی پیشنهادی خود از رنگ استفاده کرده اند (King و همکاران، ۱۹۸۰)، البته رنگ مورد استفاده توسط ایشان بر اساس دفترچه مانسل، ولی رنگ مورد توصیه در این مطالعه بر اساس عرف مهندسی در منطقه می‌باشد.

مقاومت خاک در تمامی طبقه‌بندی‌ها جایگاه داشته و سیستم مورد پیشنهاد نیز از این موضوع مستثنی نیست. نتایج آزمایشات انجام یافته نیز نشان داد که مقاومت تک محوری بیشترین هم‌خوانی را با سایر پارامترهای مقاومتی داشته و می‌تواند همچون بسیاری از سیستم‌های طبقه‌بندی دیگر مورد استفاده قرار گیرد. البته محدوده تعریف مقاومت‌ها نه بر اساس سایر سیستم‌ها، بلکه بر اساس نتایج آزمایشات واقعی برای مارن مورد مطالعه در منطقه و حدود نتایج آن می‌باشد که مختص این مصالح در نظر گرفته می‌شود. ردیف ۴ جدول (۱۰) این طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

بررسی نتایج آزمایشات ژئوتکنیکی انجام یافته بر روی مارن-های ایالت ایندیانا (Jung, ۲۰۱۱) نشان می‌دهد که مشخصات این مارن بسیار نزدیک به مارن مورد مطالعه بوده و بنابراین بر خلاف طبقه‌بندی‌های قبلی که گستره بزرگی از انواع خاک را در بر می‌گرفتند، طبقه‌بندی اخیر می‌تواند تا حدی برای مارن تبریز قابل استفاده باشد. البته مقاومت خاک جایگاهی را در این طبقه‌بندی ندارد.

بررسی موارد بالا نشان می‌دهد برخی طبقه‌بندی‌ها فقط از دید زمین‌شناسی بوده و برای کاربردهای مهندسی مناسب نیستند و برخی دیگر صرفاً در حد یک نام‌گذاری می‌باشند. تعدادی نیز محدوده وسیعی از دانه‌بندی را شامل می‌شوند و برای مارن تبریز که ریزدانه است مناسب نخواهند بود. از دید مقاومتی نیز عموماً خاک‌های کربناته مقاومت بالایی داشته و در رده‌بندی‌های سنگ قرار دارند در حالی که مقاومت مارن تبریز بسیار کمتر از سنگ-هاست. برخی طبقه‌بندی‌ها، مارن را سنگ دیده و مقاومت بالایی برای آن متصورند و برخی مارن را همراه با پیت و مواد آلی دانسته و جزو خاک‌های مشکل‌آفرین طبقه‌بندی کرده‌اند. تناقضات فوق بیشتر به این علت است که اکثر طبقه‌بندی‌ها برای یک منطقه خاص ارائه شده‌اند و بنابراین ارائه طبقه‌بندی ویژه مارن‌های تبریز غیر منطقی خواهد بود. در نتیجه با در نظر داشتن تمامی موارد بالا تلاش برای ارائه یک سیستم طبقه‌بندی خاص مارن‌های منطقه که کاربردی بوده و با آزمایشات ساده و در دسترس قابل انجام باشد مورد پیشنهاد است. برای این منظور پارامترهای مهم و تأثیرگذار برای توصیف مارن تبریز بررسی می‌شود.

۱۳- پارامترهای مهم برای توصیف و طبقه‌بندی مارن تبریز

با توجه به مجموع تجربیات عملی در مواجهه با مارن تبریز، بررسی سایر سیستم‌های طبقه‌بندی و در نظر داشتن تمامی آزمایشات انجام شده بر روی مارن در این مطالعه و نتایج به دست آمده از آنها، یک سیستم توصیفی جهت استفاده در کارهای مهندسی در سطح منطقه برای خاک مارن تبریز مطابق با جدول (۱۰) پیشنهاد می‌گردد که در ادامه به توضیح و توجیه هر ردیف پرداخته می‌شود. این جدول می‌تواند الگویی برای رسیدن به یک سیستم طبقه‌بندی مناسب بوده و با توصیف تعداد زیادی از نمونه-های مارن با این روش، امکان دسته‌بندی و طبقه‌بندی مارن تبریز و نهایتاً مقایسه بین انواع نمونه‌ها با استناد به یک الگوی یکسان فراهم شود.

با توجه به مقدار نسبتاً کم کربنات در مارن تبریز، مشخصات خاک میزبان می‌تواند در رفتار خاک تأثیرگذار بوده و مهم باشد. از طرفی نیز ابعاد دانه‌ها در سیستم‌های طبقه‌بندی جایگاه بالایی دارند و در طبقه‌بندی یک خاک بایستی به ابعاد آن اشاره کرد. دو

هواز دگی منجر گردد. همچنین تهیه نمونه‌های آزمایشگاهی دست‌نخورده از لایه‌های متورق بسیار مشکل و حتی ناممکن است و آزمایش‌های انجام یافته بر روی نمونه‌های درزه‌دار همواره مواجه با خطا خواهد بود. ردیف ۸ نیز واحدهای جزئی مخلوط شده با مارن را توصیف می‌کند و در حقیقت برای بیان مشاهدات چشمی است.

برای رسیدن به یک سیستم طبقه‌بندی کارآمد و مختص مارن تبریز و پیدا کردن رابطه‌هایی معقول بین پارامترهای مختلف خاک لازم است یک بانک اطلاعاتی کامل از آزمایشات نمونه‌های مختلف و پراکنده شامل تمامی پارامترهای مذکور در جدول (۱۰) تهیه شده و سپس اقدام به بررسی بیشتر در این مورد گردد.

با توجه به این که مهندسین عموماً مارن تبریز را بر اساس رنگ‌بندی مورد طبقه‌بندی قرار می‌دهند، حدود مشخصات محتمل پارامترهای جدول (۱۰) بر اساس رنگ مارن، در جدول (۱۱) آورده شده است.

همان طور که قبلاً نیز اشاره شد، انتخاب نوع زمین از دیدگاه آیین‌نامه زلزله ۲۸۰۰ ایران بسیار مهم بوده و تأثیر زیادی را در تخمین نیروی زلزله وارده به سازه داراست و بنابراین سرعت موج برشی به دست آمده از آزمون دان‌هول در ردیف ۵ این طبقه‌بندی لحاظ شده است. حدود هر رده نیز منطبق بر آیین‌نامه مذکور می‌باشد (کمیته دائمی بازنگری، ۱۳۹۳) بدیهی است که این رده به طور غیر مستقیم نشانه‌ای از مقاومت و تخلخل خاک نیز خواهد بود.

ردیف ۶ بر اساس رطوبت مارن است که حدود آن بر اساس مقادیر به دست آمده از آزمایشات تعیین شده است.

ردیف‌های ۷ و ۸ عموماً بر اساس مشاهدات صحرایی و آزمایشگاهی از خاک می‌باشند. در ردیف ۷ نحوه لایه‌بندی خاک و وجود درزه و ترک در آن قابل ذکر است که در شناخت رفتار توده خاک می‌تواند اهمیت داشته باشد و وجود درزه و ناخالصی در داخل مارن می‌تواند به کاهش مقاومت و افزایش سرعت

جدول ۱۰- پیشنهاد سیستم توصیفی برای مارن تبریز

ردیف	پارامتر	حدود مشخصات	نام‌گذاری
۱	طبقه‌بندی	نام‌گذاری بر اساس سیستم یونیفاید انجام شود	
		$CaCO_3 < 1\%$	با آثاری از مارن
		$1\% < CaCO_3 < 17\%$	با کمی مارن
۲	درصد کربنات	$18\% < CaCO_3 < 25\%$	همراه با مارن
		$26\% < CaCO_3 < 40\%$	مارنی
		$CaCO_3 > 40\%$	مارن
۳	رنگ	زرد، زیتونی، خاکستری (به ندرت قهوه‌ای دیده شده است)	
		$q < 1 \text{ kg/cm}^2$	بست
۴	مقاومت	$1 \text{ kg/cm}^2 < q < 2 \text{ kg/cm}^2$	متوسط
		$2 \text{ kg/cm}^2 < q < 6 \text{ kg/cm}^2$	سفت
		$q > 6 \text{ kg/cm}^2$	سخت
		$V_s > 750 \text{ m/s}$	نوع ۱
۵	سرعت موج برشی	$375 \text{ m/s} < V_s < 750 \text{ m/s}$	نوع ۲
		$175 \text{ m/s} < V_s < 375 \text{ m/s}$	نوع ۳
		$V_s < 175 \text{ m/s}$	نوع ۴
		$W < 20\%$	کم
۶	رطوبت	$20\% < W < 40\%$	متوسط
		$W > 40\%$	زیاد
۷	لایه‌بندی	مشاهداتی از توده خاک	لایه لایه (متورق) درزه‌دار همگن
۸	واحدهای کوچک‌تر	مشاهداتی از توده خاک	به عنوان مثال: با آثار ژپیس، با آثار ماسه، با آثار فسیل‌های ماهی، با آثار فسیل - های گیاهان، سایر مشاهدات و ...
مثال		CH همراه با مارن، زیتونی، سفت، نوع ۲، رطوبت متوسط، همگن، با آثار ژپیس	

جدول ۱۱- حدود مشخصات و نامگذاری بر اساس سیستم

توصیفی برای مارن های منطقه			
مشخصات	مارن خاکستری	مارن زیتونی	مارن زرد
طبقه بندی	CH و MH	محتمل تر، CL و ML ممکن و سایر رده ها به	
یونیفاید	ندر	ندر	ندر
درصد	رابطه ای بین رنگ و درصد کربنات یافت نشد ولی تمامی مارن ها در سه رده "با کمی مارن"، "همراه با مارن" و "مارنی" قرار دارند.		
مقاومت	در رده سفت تا سخت	در رده متوسط تا سفت، به ندرت	در رده سست تا متوسط، به ندرت
نوع زمین بر	نوع ۲ یا نوع ۱	نوع ۲ یا نوع ۳	اطلاعات کافی
اساس سرعت	نوع ۲ یا نوع ۱	نوع ۲ یا نوع ۳	در دسترس
موج برشی	کم تا متوسط	کم تا زیاد	متوسط تا زیاد
رطوبت	کم تا متوسط	کم تا زیاد	متوسط تا زیاد

۱۴- نتیجه گیری

با توجه به مطالعات و آزمایشات انجام شده، موارد زیر نتیجه گیری می شود:

- توسعه آتی تبریز بیشتر بر روی مناطقی است که بر روی لایه های مارن قرار دارند و بنابراین شناخت بیشتر این خاک و بررسی رفتار واقعی آن بسیار با اهمیت خواهد بود.

- طبقه بندی ها و تعاریف برای خاک مارن (در معنی عام) بسیار متفاوت از هم و به صورت سلیقه ای بوده و معمولاً برای یک محدوده جغرافیایی خاص تعریف شده است. همچنین تعاریف به عمل آمده و کاربرد این تعاریف نزد کشاورزان، دیرینه شناسان، زمین شناسان، زمین شناسان مهندسی و مهندسين ژئوتکنیک متفاوت از هم و هر کدام مختص نیاز ویژه خودشان می باشد. بنابراین تعریف یک سیستم توصیفی و طبقه بندی جدید برای کاربردهای مهندسی در مارن تبریز ضروری به نظر می رسد.

- مطالعات نشان می دهد که گستردگی دامنه خصوصیات خاک های کربناته چه از دیدگاه طبقه بندی و رفتار و چه از دیدگاه مشخصات فیزیکی و مکانیکی، حداقل به اندازه خاک های غیر کربناته می باشد.

- بر اساس آزمون های پراش اشعه ایکس، کانی های غالب مارن تبریز شامل کوارتز، ایلیت، کلسیت و آلبیت می باشد ولی این کانی ها در نمونه های مختلف یکسان نبوده و متفاوت از هم می باشند. همچنین بر اساس آزمون های پرتو ثانویه اشعه ایکس، مقادیر SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO (از چپ به راست) بیشترین اکسیدهای موجود در مارن می باشند.

- درصد مواد آلی مارن های تبریز محدود و عموماً کمتر از ۶٪ است و با توجه به دو آزمایش دیگر رنگ سنجی و نسبت حد روانی، از لحاظ طبقه بندی در گروه خاک های آلی قرار نمی گیرد.

- مقدار کربنات کلسیم در مارن تبریز در بازه ۱۰ تا ۳۵ درصد با روش های مختلف اندازه گیری شد و بنابراین مقدار کربنات تأثیر زیادی بر رفتار مارن نداشته و این رفتار بیشتر متأثر از خاک میزبان خواهد بود. همچنین با توجه به این مقدار کربنات، صرف عنوان مارن برای خاک مورد مطالعه از دیدگاه بسیاری از طبقه بندی های معتبر صحیح نبوده و عنوان هایی از قبیل رس مارنی یا رس همراه با مارن و موارد مشابه صحیح تر به نظر می رسد ولی در هر حال کلمه مارن در منطقه به صورت مصطلح مورد استفاده و در این مطالعه نیز به همین روال نام برده شده است.

- بررسی آزمون های فیزیکی بر روی مارن تبریز و چارت پلاستیسیته مربوطه نشان می دهد بیشتر نمونه های مورد آزمون در رده CH و MH قرار دارند و پراکندگی در محدوده CH بیشتر است.

- آزمون های مکانیکی بر روی نمونه ها نشان داد که افزایش مقاومت تک محوری نشانه ای از بهبود تمامی پارامترهای مقاومتی مارن می باشد و استفاده از مقاومت تک محوری برای تعریف استحکام مارن مناسب تر از استفاده از نتایج آزمون های برش، تحکیم و یا آزمون های فیزیکی خواهد بود.

- سرعت موج برشی در لایه های مارن عموماً زیاد بوده و با رفتن به عمق افزایش پیدا می کند. این مقدار در لایه های مارن زرد و مارن زیتونی همواره کمتر از مارن خاکستری است و لذا رفتار لرزه ای سازه ها با قرارگیری بر روی مارن خاکستری بسیار مناسب تر از قرارگیری آنها بر روی لایه مارن های زرد و زیتونی خواهد بود.

- مقایسه تمامی آزمایشات بر روی مارن های زرد، زیتونی و خاکستری نشانگر بهبود تمامی پارامترها در مارن های خاکستری نسبت به مارن های زرد و زیتونی است.

- بررسی مدول تغییر شکل مارن ها در آزمایشات این تحقیق و مطالعات سایر محققان نشانگر بالا بودن آن در مارن خاکستری نسبت به مارن های سطحی است و در آزمایشات بارگذاری صفحه (که بسیار نزدیک به رفتار واقعی پی هاست) اعداد تا ۷۰۰ کیلوگرم بر سانتی مترمربع نیز اندازه گیری شده است.

- طبقه بندی های معروف توسط محققان مختلف در سطح جهان مورد بررسی قرار گرفته و تلاش شد تا جایگاه مارن های منطقه تبریز در داخل آن ها مشخص شود و بر این اساس نام های مختلفی که برخی کاملاً نامانوس و غیر شناخته شده و برخی دیگر منطقی و نام آشنا به نظر می رسیدند، ملاحظه گردید. ولی در هر حال این طبقه بندی ها به دلایل مختلف مناسب برای مارن های این منطقه نبوده و مارن های مشاهده شده در منطقه را به دسته های متفاوت و نتایج کاربردی تر تقسیم نمی کردند و لذا نیاز به تعریف

- classification of such soils" In: Demars, K. R., Chaney R. (Eds.), ASTM STP vol. 777. ASTM, Philadelphia, 1982, 113-140.
- Demars KR, Nacci VA, Kelly WE, Wang MC, "Carbonate Content: An Index Property for Ocean Sediments", Proc. 8th OTC Conf., Houston, Paper OTC2627, 1976, 97-106.
- El Howayek A, Bobet A, Dawood S, Ferdon A, Santagata M, Siddiki NZ, "Classification of Organic Soils and Classification of Marls Training of INDOT Personnel", Publication FHWA/IN/JTRP-2012/22, Joint Transportation Research Program, Indiana Department of Transportation and Purdue University, West Lafayette, Indiana, 2012.
- Fookes PG, Higginbottom IE, "The classification and description of near-shore carbonate sediments for engineering purposes", *Geotechnique*, 2, 1975, 406-411.
- Ghobadi M, Babazadeh R, "Engineering geological investigations along the Tabriz subway extension focusing on ground surface settlement, northwestern Iran", *Journal of Engineering Geology*, Kharazmi University, Vol. 6, No. 2, 2013, 1501-1524.
- Goudie A, "Calcrete", In: A. Goudie and K. Pye (eds.), *Chemical Sediments and Geomorphology: Precipitates and Residua in the Near Surface Environment*, New York, Academic Press, 1983, 93-131.
- INDOT, "Geotechnical Manual", Indiana Department of Transportation, Indianapolis, (2008).
- Jung CM, Bobet A, Siddiki NZ, "Simple Method to Identify Marl Soils", *Transportation Research Record*, Vol. 2232, 2011, 76-84.
- King RW, Van Hooydon WR, Kolk HF, Windle D, "Geotechnical Investigations of Calcareous Sands on the North-West Shelf, Australia", Proc. 12th Annual OTC Conf., Houston, Paper OTC 3772, 1980.
- McCarthy DF, "Essentials of soil mechanics and foundations", Reston Publishing, 1977.
- Mitchell RS, "Dictionary of rocks", New York, Van Nostrand Reinhold, 1985.
- Netterberg F, "The geology and engineering properties of South African calcretes" CSIR Monograph, Pretoria, Ph.D. thesis, Univ. Witwatersrand, Johannesburg, 1969.
- Pettijohn FJ, "Sedimentary Rocks", 526. New York: Harper & Bros., 1949.
- Qahwash AA, "Geological properties of fine-grained calcareous sediments for engineering purposes", *Engineering Geology*, Vol 26, 1989, 161-169.
- Shaqr FM, Jarrar G, Hencher S, Kuisi M, "Geotechnical and Mineralogical characteristics of marl deposits in Jordan", *Environmental Geology*, Vol. 55, 2008, 1777-1783.
- Tsiambaos G, "Correlation of mineralogy and index properties with residual strength of Iraklion marls", *Engineering Geology*, Vol. 30, 1991, 357-369.
- Terzaghi k, Peck RB, "Soil Mechanics in Engineering Practice", John Wiley & Sons, N.Y., 1967.
- یک طبقه‌بندی و توصیف مستقل برای مارن‌های منطقه ضروری به نظر رسید.
- توصیف پیشنهادی برای مارن تبریز در این مطالعه شامل نام‌گذاری استاندارد بر اساس یونیفاید، مقدار کربنات، رنگ، مقاومت، سرعت موج برشی، رطوبت، لایه‌بندی و توصیف ظاهری واحدهای کوچک‌تر در میان مارن می‌باشد و در حقیقت تمامی اطلاعات لازم به ویژه از دیدگاه مهندسی و یک الگوی یکسان برای مقایسه انواع مختلف مارن‌های تبریز را ارائه می‌کند. توصیف محتمل بر اساس این پارامترها برای سه نوع مارن زرد، زیتونی و خاکستری بررسی و ارائه گردید.
- ### ۱۵- مراجع
- خامه‌چیان م، رضایی ح، نیکودل مر، "بررسی پتانسیل تورم‌پذیری سنگ‌های مارنی سازند آب تلخ"، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تبریز، انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تبریز، ۱۳۷۹.
- سلیمانی قره‌گل م، اصغری ا، کیانی م، "بررسی رفتار تنش- کرنش تک محوری مارن‌های تبریز"، چهارمین همایش بین‌المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، تهران، انجمن ژئوتکنیک ایران، ۱۳۸۹.
- کمیته دائمی بازنگری آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، "آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله استاندارد ۹۳-۲۸۰۰"، ویرایش چهارم، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۳.
- لشکری پور غ، آقاملایی ا، غفوری م، "بررسی خصوصیات زمین-شناسی مهندسی سنگ‌های مارنی ساختگاه سد صفا"، نشریه زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه خوارزمی، دوره ۷، شماره ۲، ۱۳۹۲.
- هوشمند ع، بهلولی ب، اصغری ا، "تعیین مدول تغییر شکل مارن-های شرق تبریز با آزمایشگاه درجا"، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، تهران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۵.
- Beckwith GH, Hansen LA, "Calcareous Soils of the Southwestern United States", In: Demars, K. R., Chaney R. (Eds.), ASTM STP vol. 777. ASTM, Philadelphia, 1982, 16-35.
- Bell FG, "A survey of the physical properties of some carbonate rocks", *Bulletin International Association Engineering Geology*, 24, 1981, 105-110.
- Clark AR, Walker BF, "A Proposed Scheme for the Classification and Nomenclature for use in the Engineering Description of Middle Eastern Sedimentary Rocks", *Geotechnique*, Vol. 27, No. 1, 1977, 93-99.
- Datta M, Gulhati SK, Rao GV, "Engineering behavior of carbonate soils of India and some observations on

EXTENDED ABSTRACT

Classification of Carbonated Soils from Geotechnical Point of View (Case study: Marly Soils of Tabriz)

Amirali Mahouti ^a, Hooshang Katebi ^{b,*}

^a *Aras international Campus, University of Tabriz, Tabriz 5166616471, Iran*

^b *Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz 5166616471, Iran*

Received: 01 October 2016; **Accepted:** 21 May 2017

Keywords:

Carbonated Soils, Classification of soils, Mineralogy, Physical and Mechanical tests for Marls, Tabriz Marl

1. Introduction

With the corridor development of the Tabriz city in the east direction, a large part of urban development is located in a context of uneven topography and more on marl soils, either on the surface or in the depth.

Review of scientific articles and geotechnical studies conducted at regional level indicate that in the description of Tabriz marls, no enough attention has been paid to recognize, describe and classify them; so that it is usually confined to mentioning the “marl” and describing its color. This study tries to specify some characteristics of various parameters of marls through conducting several tests in order to introduce the marl of Tabriz more and determine its position in the general definition of marl in the world; so that this study could be an introduction to a separate description and classification system that covers more distinct properties of this kind of soils and provides a more rigorous definition of it.

Marl is a simple binary mixture of clay and calcium carbonate. However, because of the vast differences in type, and origin, there is no unified definition for marl. Large volumes of lacustrine carbonate sediment outcrops, locally known as Tabriz Marl, surrounds eastern and southern regions of Tabriz city in the Azerbaijan province of Iran. Tabriz Marl is generally known as a plastic and sticky, difficult to handle, and a very poor quality subgrade and embankment material. For these reasons, considerable volumes of cut soil, produced due to numerous developing projects of urban area and industrial zones, are inevitably dumped over valleys, low-lying areas, and also on hillsides. This trend causes man-made settling and sliding soil masses, which are causing considerable property losses and damage.

2. Methodology

2.1. Experimental study

As shown in Figure 1, about 80 samples taken from different parts of Tabriz, were examined and subjected to physical and mechanical tests, such as Atterberg limits, density, moisture content, unconfined compression, direct shear and consolidation, CaCO_3 content, organic content, PH, XRD, XRF, TGA and geophysical downhole tests.

In a general look at all samples, the depth ranges from 1 to 80 meters above the ground level, the colors include yellow, green and gray, the moisture is between 12 to 66 percent, the dry density is between 970 to 1900 kg/m^3 , the liquid limit is between 32 and 83, the plastic limit is between 15 and 58, the plasticity index is between 17 and 46, the carbonate content is between 11 and 33, and the organic matter content is between 2 and 6.

* Corresponding Author

E-mail addresses: amirali_mahouti@yahoo.com (Amirali Mahouti), katebi@tabrizu.ac.ir (Hooshang Katebi).

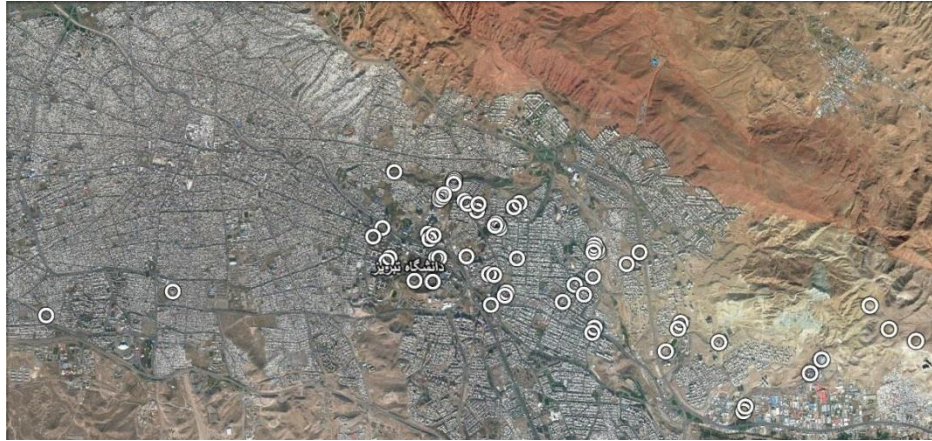


Fig. 1. Map of sampling from Tabriz City

3. Tabriz Marl Classification

Tabriz Marl was classified with regard to classification systems such as: Pettijohn (1949), Fookes and Higginbottom (1975), Netterberg (1983), Goudie (1983), Clark and Walker (1977), King (1980), Beckwith and Hansen (1982), and Indiana Department of Transportation (2016).

Review of what was mentioned above indicates that some classifications are only from geological perspective; and are not suitable for engineering applications; and some others are merely a nomenclature. Some of them encompass a wide range of grain size; therefore are not suitable for Tabriz Marl which is fine grain. As far as the strength is concerned, carbonate soils are generally with high strength and classified in the category of rocks; while Tabriz Marl strength is much less than the rocks. Some classifications consider marl as stone; and therefore a high strength is considered for marls based on these classifications. Some of them consider marl in the category of peat and organic materials; and therefore classify it in the category of problematic soils. These contradictions are mostly because of the fact that the majority of classifications have been developed for a particular area. Therefore, presenting a classified specifically for the Tabriz Marl is not unreasonable. As a result, taking into account all of the above, it is proposed to provide a specific and functional classification system for the marls of the region which can be performed with simple tests.

4. Results and discussion

Gray marl is known as the bedrock of Tabriz which is extended up to the depths of 100 meters and more; but green and yellow marls are generally found in surface layers of soil. Practical experience has shown that the gray marl has a better profile in terms of strength than green marl. For this reason, the results of the tests conducted in this study were compared based on the color of marl, the summary of which is shown in Table 1.

Table 1. Comparison of Physical and Mechanical Properties of Gray, Green and Yellow Marls

Color of Marl	Results	Atterberg Limits			Dry Density Kg/m ³	Moisture %	U.C.T. Kg/cm ²	Direct Shear		Consolidation	
		LL	PL	PI				Φ°	C (Kg/cm ²)	Cc	Cs
Grey	Count	14	14	14	19	19	19	17	17	11	11
	Max.	63	35	37	1901	40	11.2	26	1.46	0.314	0.03
	Min.	55	24	23	1268	15	2.5	16	0.29	0.058	0.005
	Average	58.9	28.6	29.6	1588	25.4	6.2	22.6	0.75	0.15	0.016
Green	Count	37	37	37	41	41	37	34	34	31	26
	Max.	83	58	46	1826	66	9	29	1.84	0.462	0.041
	Min.	32	15	17	970	12	1	12	0.1	0.041	0.003
	Average	59.2	29.4	29.8	1426	31.1	4	22.9	0.43	0.18	0.02
Yellow	Count	10	10	10	10	10	10	10	10	1	1
	Max.	62	30	39	1493	46	4.6	28	0.28	0.083	0.023
	Min.	50	23	22	1188	25.6	0.8	21	0.2	0.083	0.023
	Average	58.2	26.5	31.7	1368	33.9	2.5	25.2	0.245	0.083	0.023

According to what was mentioned, it can be concluded that the gray marl has generally lower moisture content, higher density, uniaxial strength, cohesion, and shear wave velocity than green and yellow marls. Also, strength properties of green marls are more suitable than that of yellow marl. In this comparison, similar to previous comparisons, high uniaxial strength is an indication of more suitable conditions of soil.

In general, it is directly related with cohesion, dry density, shear wave velocity and inversely related with moisture content and consolidation compression index; and, interestingly, most soil parameters are not generally related to the coefficient of internal friction and Atterberg Limits.

5. Conclusions

- Carbonated soil classifications are generally for a specific geographical area and purpose, which cannot be easily generalized to other areas.
- The range of carbonate soils properties is as expansive as non-carbonate soils.
- Dominant minerals of Tabriz Marl are generally Quartz, Illite, Calcite and Albite.
- With a look at LOI, liquid limit ratio, and colorimetry tests, it can be concluded that the organic matter content in Tabriz Marl is very low and do not have an effect on soil properties.
- The results of Atterberg Limits tests in the chart of plasticity shows that most of the test samples are classified CH and MH (with respect to Unified system) and dispersion is greater in the range CH.
- Mechanical soil tests on the samples showed that increased uniaxial strength from unconfined compression test is an indication of improved strength parameters of marl. Therefore the use of unconfined compression test to define the strength of marls is more appropriate than the use of the results of direct shear, consolidation or physical tests.
- Shear wave velocity of marls is generally high and increases with increased depth. It is always less in yellow and green marls than gray marls.
- Comparison of all tests conducted on yellow, green and gray marls shows that all parameters of gray marls have been improved more than those of yellow and green marls.
- Well-known classifications have been examined by various famous researchers and it was tried to determine the status of Tabriz Marl in these classifications. Accordingly, different names (some of which are quite bizarre and unfamiliar, and some others are known and logical names) were observed. However, these classifications are not suitable for the marls of the region for various reasons; because it was not possible to divide the marls observed in the region into different categories and more useful results. Therefore, it was needed to define an independent classification and description for the marls of region.
- The recommended description and classification for Tabriz Marl is to name this marl based on the Unified system, carbonate content, color, strength, shear wave velocity, moisture and physical description of minor fractions. In fact, this study presents all the necessary information, especially from an engineering perspective to compare different types of Tabriz marl and provide a specific and functional classification system for the marls of the region.

5. References

- Beckwith GH, Hansen LA, "Calcareous Soils of the Southwestern United States", ASTM STP, 1982, vol. 777.
- Clark AR, Walker BF, "A Proposed Scheme for the Classification and Nomenclature for use in the Engineering Description of Middle Eastern Sedimentary Rocks", *Geotechnique*, 1977, 27 (1), 93-99.
- Fookes PG, Higginbottom IE, "The classification and description of near-shore carbonate sediments for engineering purposes", *Geotechnique*, 1975, 2, 406-411.
- Goudie AS, "Calcrete", *Chemical Sediments and Geomorphology: Precipitates and Residua in the Near Surface* INDOT, "Geotechnical Manual," Indiana Department of Transportation, Indianapolis, 2016.
- King RW, Van Hooydonk WR, Kolk HF, Windle D, "Geotechnical Investigations of Calcareous Sands on the North-West Shelf, Australia", 12th Annual OTC Conf, Houston, 1980.
- Netterberg F, Caiger JH, "A Geotechnical classification of calcretes and other pedocretes", *Geological Society*, 1983, 11 (1), 235-243.
- Pettijohn FJ, "Sedimentary Rocks", N.Y. Harper & Bros, 1949.