نشریه زمین شناسی ژئوتکنیک
سال ۱۰ (۱۳۹۳)، شماره ۴: ۳۰۱-۲۸۹
WWW.appliedgeology.ir

بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی خاک های باقیمانده در جنوب همدان به عنوان منابع قرضه

رضا آزادی قطار*، محمد حسین قبادی، مجتبی حیدری

گروه زمین شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

Razadi67@gmail.com

دریافت: ۹۳/۷/۲۱؛ دریافت اصلاح شده: ۹۳/۱۰/۵؛ پذیرش: ۹۳/۱۱/۳؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۴/۹/۱۵

چکیده

خاک های باقی مانده به طور معمول در اثر فرآیند هوازدگی سنگ بستر تشکیل شده و بر روی آن قرار می گیرند و بسیاری از ویژگی های کانی شناسی سنگ مادر را حفظ می کنند. این خاک ها در بسیاری از نقاط جهان یافت می شوند و به طور گسترده به عنوان مصالح ساختمانی مورد استفاده هستند. در این پژوهش، جهت تعیین خصوصیات زمین شناسی مهندسی خاک های باقی مانده جنوب همدان، چهار ایستگاه (شهرستانه، فقیره، محل سد اکباتان و حیدره) مشخص و در مجموع از ۱۴ نقطه برداشت نمونه انجام شد. بر اساس نتایج آزمایش دانه بندی نمونه ها در رده های CL، SC و SM قرار می گیرند. خصوصیات فیزیکی و مکانیکی نمونه ها با انجام آزمایش های تعیین درصد رطوبت، دانه بندی، هیدرومتری، تعیین pH، کلسیمتری، حدود آتربرگ، تعیین Gs، تراکم استاندارد، برش مستقیم، مقاومت فشاری تک محوری، تحکیم و نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) معین گردید. جهت تعیین مناسب بودن خاک ها به عنوان منابع قرضه در سدسازی و راه سازی از استانداردهای موجود استفاده شد و خصوصیات ژئوتکنیکی نمونه ها جهت استفاده در بخش های هسته، فیلتر (زهکش) و پوسته سد خاکی و در بخش های اساس، زیر اساس و روسازی راه مورد ارزیابی قرار گرفت.

بر اساس بازدیدهای صحرایی انجام شده از محل ایستگاه های مورد مطالعه ضخامت خاک های باقی مانده در ایستگاه های فقیره و حیدره در مقایسه با ایستگاه های شهرستانه و سد اکباتان بیشتر بوده که این به علت تفاوت درسنگ شناسی، مورفولوژی و توپوگرافی حاکم بر منطقه بوده است. با توجه به گستردگی و ضخامت این خاک ها و همچنین بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش های مختلف، نمونه های مورد مطالعه برای استفاده در ساخت سدهای خاکی و بخش های روسازی و زیراساس راه مناسب می باشند.

کلید واژه: خاک باقی مانده، منابع قرضه، خصوصیات زمین شناسی مهندسی، جنوب همدان.

۱-مقدمه

خاک ها محصول نهایی تجزیه و تخریب سنگ ها هستند؛ بنابراین منشاء اولیه خاک ها مواد سخت و سنگ های مختلفی می باشند که به سه دسته آذرین، دگرگونی و رسوبی تقسیم می شوند. برای تشکیل خاک ها سه عامل نقش عمده دارند که جنس سنگ مادر، آب و هوا و زمان می باشند (به نقل از قبادی ۱۳۸۱).

بر اساس محل و نحوه تشکیل، خاک ها به دو دسته خاک های انتقالی و خاک های باقیمانده تقسیم می شوند. خاک های انتقالی به واسطه

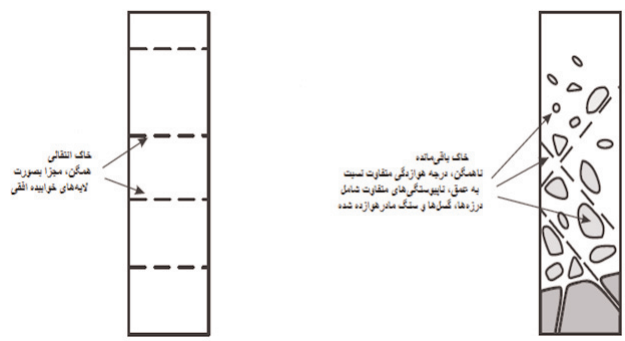
عواملی مانند آب، باد و یخچال‌ها از محل تشکیل به مکان دیگری انتقال یافته و رسوب کرده‌اند. چنین خاک‌هایی عموماً دارای لایه‌بندی هستند و ضخامت نسبتاً زیادی دارند. در عوض خاک‌های باقیمانده یا برجا، بر اثر تجزیه و هوازدگی سنگ‌ها در محل خود ایجاد می‌شوند و عموما فاقد لایه بندی و ضخامت کمتری دارند (تصویر۱) (معماریان ۱۳۸۷).

خاک‌های باقیمانده در اکثر مناطق دنیا تشکیل می‌شوند؛ اما در مناطق گرم و مرطوب دارای عمق و وسعت بیشتری هستند. در این مناطق شرایط تشکیل خاک بسیار سریع است و توسعه هوازدگی بسیار تندتر از عامل فرسایش می‌باشد (Azlan 2006).

در کشور ما به دلیل نبود چنین شرایط اقلیمی، وسعت و ضخامت خاک‌های باقیمانده، محدود و کم می‌باشد؛ که این خود دلیلی بر مطالعات کم صورت گرفته در مورد این خاک‌ها است.

خاک‌های باقیمانده در بسیاری از نقاط جهان یافت می‌شوند، و به طور گسترده به عنوان مصالح ساختمانی استفاده می‌شوند. این خاک‌ها به طور معمول بسیاری از ویژگی‌های سنگ مادر را حفظ می‌کنند. در مناطق حاره‌ای، لایه‌های خاک باقی مانده می‌تواند بسیار ضخیم، گاهی اوقات به صدها متر نیز گسترش یابد. خواص و رفتار مهندسی خاک باقی مانده گرمسیری ممکن است به طور گسترده از جایی به جای دیگر بسته به سنگ منشاء و آب و هوای محلی متفاوت باشد (Bujang & Huat 2012).

ویژگی‌های خاک‌های باقی‌مانده به درجه هوازدگی و ماهیت سنگ مادر بستگی دارد. می‌توان اظهار داشت که خاک باقیمانده، نتیجه هوازدگی شیمیایی است و در نتیجه ویژگی‌های مهندسی آنها به عواملی از قبیل آب و هوا، مواد خام اولیه، توپوگرافی، جریان و سن وابسته است؛ بنابراین ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک با توجه به درجه هوازدگی متفاوت است. اهمیت خواص ژئوتکنیکی خاک (وزن مخصوص، اندازه ذرات، درصد محتوای رسی و مقاومت برشی) در تعیین قابلیت کاربری خاک برای ساخت و ساز اهمیت زیادی دارد.



تصویر۱- مشخصات پروفیل خاک در خاک‌های باقی مانده و انتقالی (لورنس ۲۰۱۰)

۲-مروری بر مطالعات پیشین

درمورد خصوصیات زمین شناسی مهندسی خاک‌های باقی‌مانده در بیشتر نقاط دنیا به خصوص در کشورهای دارای آب و هوای گرم و مرطوب مانند تایلند، استرالیا، برزیل، سنگاپور، نیجریه و ... که بهترین شرایط را جهت تشکیل خاک‌های باقیمانده با ضخامت زیاد دارند، مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته است. اما در کشور ما به علت وجود آب و هوای سرد و خشک به ویژه در منطقه مورد مطالعه ضخامت و گسترش این خاک‌ها کم بوده که این خود دلیلی بر مطالعات کم خصوصیات زمین شناسی مهندسی این خاک‌ها می‌باشد.

در زیر به مواردی از مطالعات صورت گرفته و نتایج به دست آمده از آنها در خصوص ویژگی‌های زمین شناسی مهندسی خاک‌های باقی‌مانده در دنیا و در منطقه مورد مطالعه اشاره شده است:

- جورچان (Jworchan 2006) بر روی ویژگی‌های شیمیایی و کانی‌شناسی خاک‌های باقیمانده گرانیتی در جنوب تایلند مطالعه‌ای انجام داد. ولی دریافت که، با افزایش درجه هوازدگی مقدار SiO_2 افزایش یافته و از مقادیر Al_2O_3، Fe_2O_3 و MgO در این خاک‌ها کاسته می‌شود. همچنین محتوی کانی بیوتیت با افزایش درجه هوازدگی، کاهش یافته و مقدار فلدسپار افزایش می‌یابد.
- لئونگ و همکاران (Leong et al. 2003) در مورد ارتباط بین تنش و کرنش خاک‌های باقیمانده مطالعه‌ای انجام داد. بر پایه نتایج مطالعه آنها، افزایش ناچیز مدول برشی و کاهش جزئی نسبت رطوبت با افزایش تعداد سیکل‌های بارگذاری ایجاد می‌شود.

فیتیوس و اشمیت (Fityus & Smith 2004) توسعه پروفیل خاک‌های باقیمانده تولید شده از گل سنگ را در آب و هوای معتدل مورد بررسی قرار داده‌اند. طبق نتایج مطالعات آنها، تأثیر هوازدگی بر روی ساختار این خاک‌ها اهمیت زیادی نسبت به تأثیر هوازدگی بر روی کانی شناسی این خاک‌ها دارد.

- قبادی و همکاران (۱۳۸۸) ویژگی‌های زمین شناسی مهندسی خاک‌های باقیمانده‌ی جنوب غرب همدان (مسیر جاده گنج‌نامه -

شهرستانه) را مورد بررسی قرار داده‌اند. بر پایه نتایج آنها، افزایش درصد کانی‌های رس به افزایش میزان رطوبت بهینه در تراکم استان دارد منجر شده و مقاومت تراکمی تک محوری در خاک‌های باقیمانده با منشأ هورنفلسی را کاهش می‌دهد.

- قبادی و همکاران (۱۳۸۸) خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های باقیمانده هورنفلسی در منطقه گنج‌نامه، جنوب غرب همدان را مورد مطالعه قرار دادند. طبق نتایج پژوهش، خاک‌های منطقه از نوع SM (ماسه سیلتی) بوده و دارای هدایت هیدرولیکی متوسطی است. همچنین به دلیل دارا بودن دانه‌های تیز و زاویه دار و درصد کم رس و ارزش ماسه نسبتاً خوب می‌توان این خاک‌ها را به عنوان منابع قرضه در بتن و آسفالت استفاده نمود.
- قبادی و همکاران (۱۳۸۸) خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های باقیمانده حاصل از سنگ‌های آواری در منطقه سد اکباتان (جنوب شرق همدان) را مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس نتایج پژوهش، خاک‌های منطقه از نوع SP (ماسه بد دانه بندی شده) بوده و دارای ضریب تراکم پذیری و تورم پذیری پایینی میباشند که بر این اساس می‌توان از آنها در اساس و زیر اساس راه استفاده کرد.

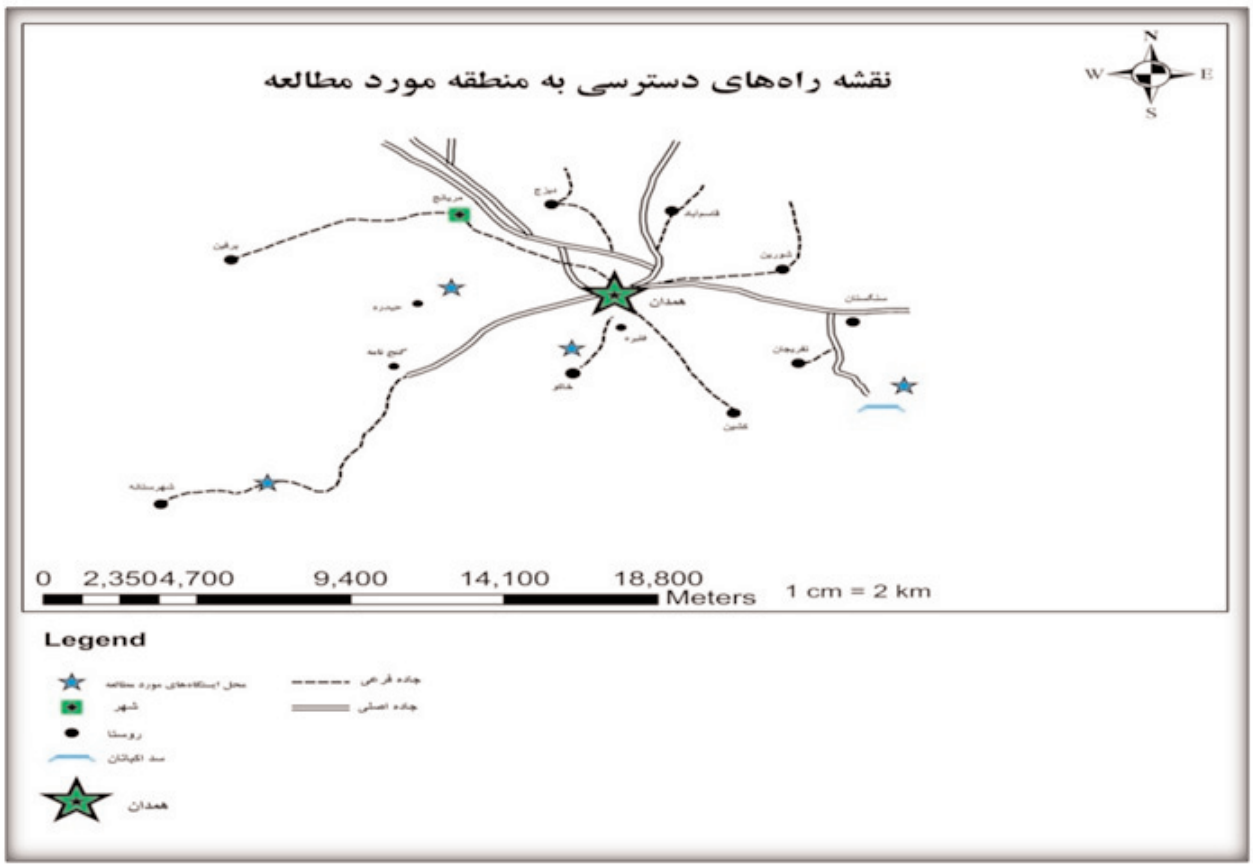
بر اساس موارد گفته شده در بالا تاکنون مطالعاتی جامع تحت عنوان بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی خاک‌های باقی‌مانده با تأکید بر منابع قرضه انجام نشده است؛ لذا این پژوهش اولین پژوهش زمین شناسی مهندسی است که به منظور مطالعه خاک‌های باقی‌مانده از دیدگاه منابع قرضه در این منطقه صورت می‌گیرد.

۳-موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

این مناطق به صورت یک کمان در حاشیه جنوبی شهر همدان گسترش یافته اند که همگی تقریبا در فاصله ۵ الی ۸ کیلومتری شهر قرار دارند. همچنین نقشه راه‌های دسترسی به مناطق مورد مطالعه در تصویر (۲) قرار دارند.

۴-زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در محدوده زون سنندج - سیرجان واقع شده است و بخش کوچکی از این زون را تشکیل می‌دهد. مطالعات زمین شناسی و زمین ساختی این منطقه حاکیست که کلیه نهشته‌های متعلق به قبل از سنوزوئیک که در منطقه مورد مطالعه و پیرامون آن گسترش



تصویر۲- نقشه راه‌های دسترسی به مناطق مورد مطالعه به اقتباس از نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ همدان.

دارند، دگرگون شده باشند. گسترده‌ترین آنها معروف به شیست‌های همدان است که پی سنگ کلیه تشکیلات زمین شناسی منطقه را تشکیل می دهد، این سری سنگ های دگرگونی از نظر درجه حرارت، در حد رخساره شیست سبز می باشند.

بر اساس پیمایش‌های صحرایی و مطالعاتی انجام شده مشاهده می گردد که کلیه نهشته های مزوزوییک و یا قدیمی تر جزء سنگ های دگرگونی بشمار می روند. بخش های چند مرحله دگرگونی ناحیه ای و همچنین دگرگونی مجاورتی را تحمل نموده‌اند. تشکیلات چینه ای جوان تر هر چند که دست خوش تحولات فازهای تکتونیکی گردیدند، لیکن هیچ گونه دگرگونی در آنها مشاهده نمی گردد (درویش زاده ۱۳۷۰) (تصویر۳).

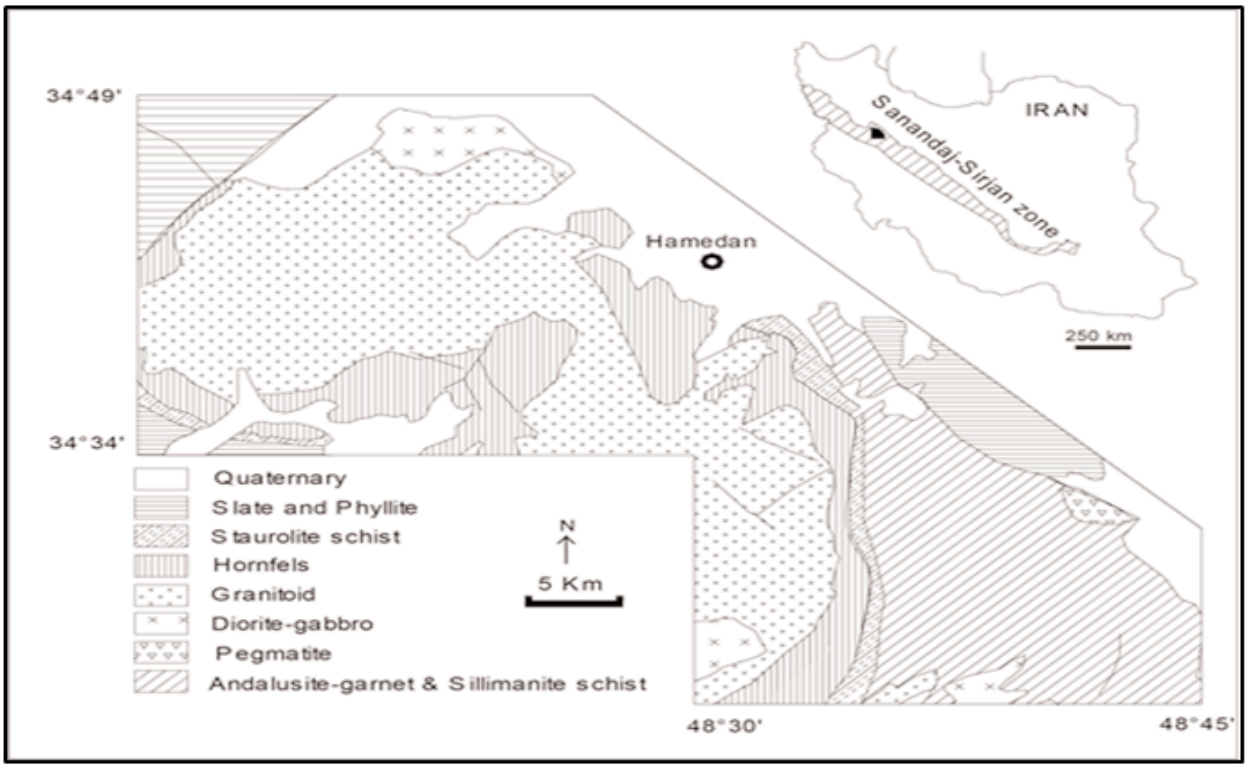
۵-نقشه پراکندگی خاک ها

به منظور تعیین خصوصیات زمین شناسی مهندسی خاک ها، جهت استفاده به عنوان منابع قرضه در سدسازی و راهسازی، با استفاده از نقشه زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ و نقشه های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ مناطق مورد مطالعه، محل های مناسب جهت برداشت نمونه مشخص گردیدند. همچنین با پیمایش های صحرایی مرز بین خاک باقی مانده و سنگ مادر مشخص شد و سپس گسترش سطحی و ضخامت (عمق) خاک به صورت تقریبی تخمین زده شد که به صورت میانگین ۳۵۰۰۰ متر می باشد. همچنین محل ایستگاههای مورد مطالعه بر روی نقشه توپوگرافی در تصویر (۴) آورده شده است.

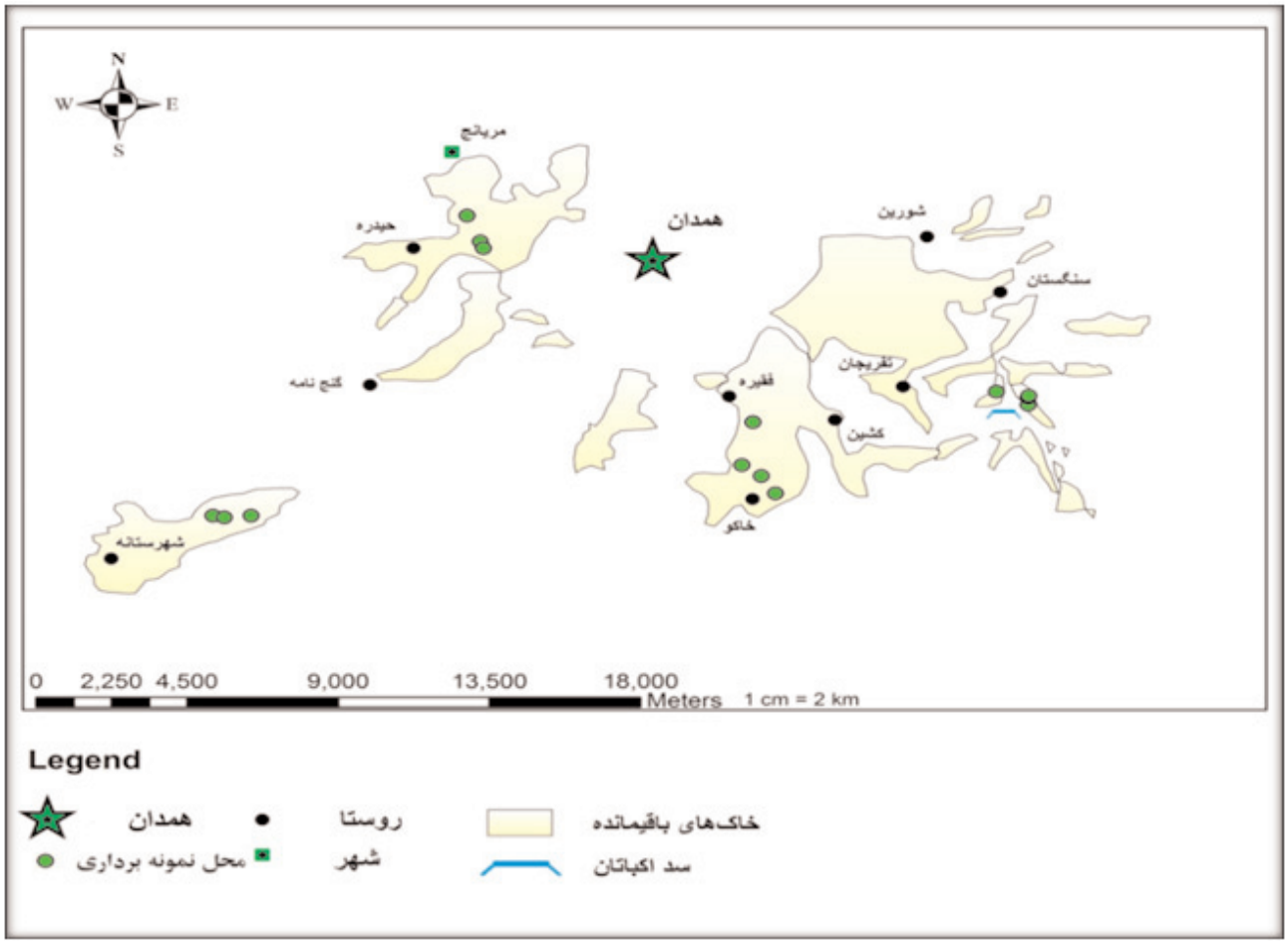
۶-سنگ شناسی

به منظور مطالعه کانی ها، شناخت منشأ، سیمان شدگی و جورشدگی ذرات تشکیل دهنده خاک، اقدام به تهیه مقاطع نازک از سنگ مادر و از نمونه های دست خورده خاک های باقیمانده هر چهار ایستگاه تهیه شد.

در جداول (۱) و (۲) به ترتیب ترکیب کانی شناسی خاک ها و سنگ مادرهای مربوطه گزارش شده و تصاویر میکروسکوپی آن ها در تصویر های نشان داده شده است. بر اساس مطالعه مقاطع میکروسکوپی می توان نتیجه گرفت که ترکیب کانی شناسی خاک های باقیمانده با سنگ مادر آنها ارتباط نزدیکی داشته و کانی های شاخص (کوارتز، گارنت، کوردیوریت و ...) سنگ مادر در خاک تولید شده نیز حفظ شده‌اند.



تصویر۳- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در زون سنندج - سیرجان و سنگ های تشکیل دهنده منطقه (آقانباتی ۱۳۸۳)



تصویر ۴- نقشه پراکندگی خاک های باقیمانده مورد مطالعه به اقتباس از نقشه های ۱/۱۰۰۰۰۰ همدان و تویسرکان

جدول ۱: نتایج مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی خاک های مورد مطالعه

ایستگاه	شماره نمونه	کانی های موجود
شهرستانه	A1	بیوتیت، موسکویت، کوارتز، پلاژیوکلاز و کانی اوپک
	A2	کواریز، آمفیبول، پلاژیوکلاز، بیوتیت و موسکویت
	A3	کوارتز، بیوتیت، موسکویت، کوردیوریت و پلاژیوکلاز
فقیره	B1	بیوتیت، موسکویت، کوارتز، پلاژیوکلاز، و کانی اوپک
	B2	کوارتز، موسکویت، بیوتیت، آمفیبول و فلدسپات
	B3	کوارتز، فلدسپات، بیوتیت، موسکویت، آمفیبول
	B4	کوارتز، فلدسپات، بیوتیت، موسکویت، آمفیبول
محل سد اکباتان	C1	خرده سنگ زیاد، کوارتز، آمفیبول، فلدسپات، بیوتیت و کلسیت
	C2	خرده سنگ های آهکی، کوارتز، فلدسپات و کلسیت
	C3	خرده های آهکی و دگرگونی، کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت و کلسیت
	C4	اکسید آهن، کوارتز، گارنت، خرده سنگ آهکی و بیوتیت
حیدره	D1	کوارتز، بیوتیت، موسکویت، گارنت، کلسیت و کانی های رسی
	D2	کوارتز، پلاژیوکلاز، بیوتیت، گارنت، کلسیت و کانی های رسی
	D3	کوارتز، بیوتیت، موسکویت، پلاژیوکلاز، گارنت و کلسیت

جدول ۲- مشخصات سنگ مادر خاک های مورد مطالعه و کانی های موجود در آن

ایستگاه	کانی های موجود	نام سنگ مادر
شهرستانه	کوردیورت، کوارتز، بیوتیت، فلدسپات و موسکویت	کردیریت هورنفلس
فقیره	گارنت، کوارتز، بیوتیت، پلاژیوکلاز و موسکویت	گارنت میکا هورنفلس
سد اکباتان	کوارتز، کلسیت و پلاژیوکلاز	ماسه سنگ فلدسپات آرنایت
حیدره	گارنت، کوارتز، بیوتیت، فلدسپات و موسکویت	گارنت میکا شیست

۷-خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک ها

مطالعات صحرایی خاک ها منجر به انجام آزمایش های برجا می شود و یا نمونه هایی تهیه و برای بررسی به آزمایشگاه ارسال می گردد. اندازه گیری ویژگی خاک ها جهت شناسایی، رده بندی و تعیین رابطه بین ویژگی های مختلف خاک است و برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی های مهندسی استفاده می شود. ویژگی قابل اندازه گیری خاک ها را به چهار گروه ویژگی های اساسی، ویژگی های شاخص، ویژگی های هیدرولیکی، ویژگی های مکانیکی تقسیم می شود بررسی های آزمایشگاهی بیشتر به منظور تعیین ویژگی های اساسی

خاک‌ها می باشد (معماریان ۱۳۸۷).

در این رابطه با مطالعات صحرایی از ۴ ایستگاه شهرستانه، فقیره، پایین دست سد اکباتان و حیدره نمونه برداری به صورت دست‌خورده انجام شد. که نتایج حاصل از این آزمایش ها در جدول (۳) آورده شده است. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می شود، عمده خاک‌های تولید شده، رسی و ماسه‌ای بوده و براساس تقسیم بندی یونیفاید در رده CL و SC قرار دارند؛ و با توجه به جنس سنگ مادر و افزایش میزان رس، افزایش رطوبت به طور نسبی در نمونه ها مشاهده می شود همچنین نمودارهای دانه‌بندی و نمودارهای تنش و کرنش حاصل از آزماش برش مستقیم نمونه های مورد مطالعه به ترتیب در تصویر (۵) و (۶) آورده شده است.

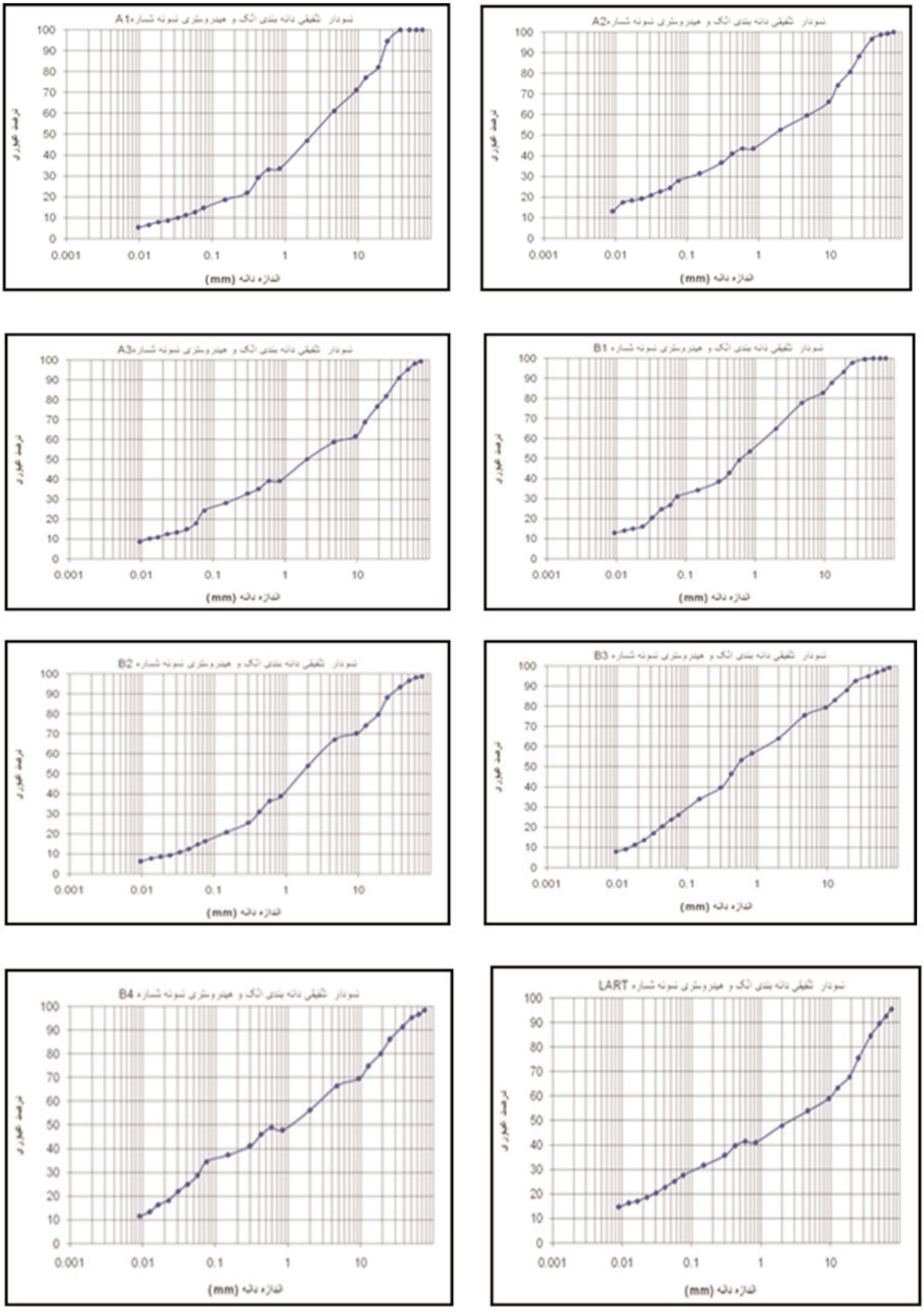
میزان تراکم تک محوره در خاک‌های باقیمانده تولید شده از سنگ های هورنفلسی نیز به دلیل افزایش مقدار رس و میزان رطوبت، کاهش آشکاری را نسبت به سایر نمونه ها نشان می دهد. مقادیر C و $ حاصل از آزمایش برش مستقیم نیز ارتباط مستقیمی با درصد های رس و ماسه دارد. به طوری که افزایش رس در خاک ها، افزایش C و کاهش $ را به دنبال دارد و افزایش ماسه در خاک‌ها، با افزایش $ و کاهش C همراه می باشد.

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی و ژئوتکنیکی خاکهای باقیمانده

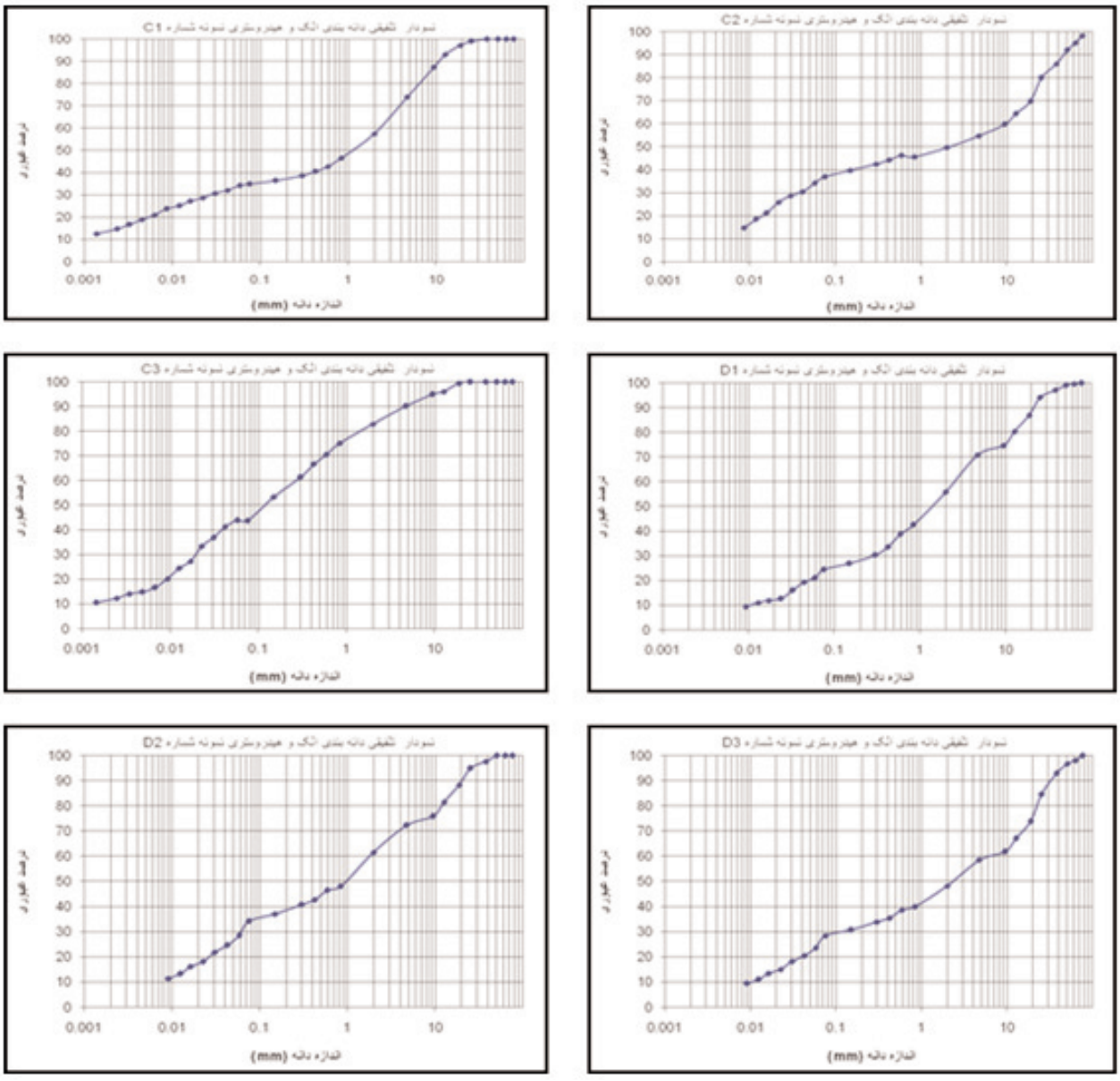
نام ایستگاه	شماره نمونه	دانه بندی خاک (رده خاک)	تعیین درصد رطوبت (%)	وزن مخصوص ذرات	حدود آتربرگ (%)		
					LL	PL	PI
شهرستانه	A1	SM	12.5	2.73	0	0	0
	A2	CL	17.7	2.82	31	21.8	9.2
	A3	SM	12.3	2.74	0	0	0
فقیره	B1	CL	14	2.75	32.5	18	14.5
	B2	CL	15.5	2.8	31	19.3	11.7
	B3	CL	14.5	2.73	35.5	18.7	16.8
	B4	CL	15	2.68	32	17.9	14.1
سد اکباتان	C1	SC	11.5	2.71	36.5	26.2	10.3
	C2	CL	17.5	2.59	45	33.5	11.7
	C3	CL	14.8	2.6	29.2	19.5	9.7
	C4(LART)	SC	11.5	2.71	26.2	20.3	5.9
حیدره	D1	SC	11	2.76	30	18.5	11.5
	D2	SC	10.5	2.8	29.5	17.7	11.8
	D3	SC	10	2.77	29.3	16.8	12.5

ادامه جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی و ژئوتکنیکی خاکهای باقیمانده

نفوذپذیری	تراکم استاندارد		دانسیته در محل (g/cm3)	تراکم تک محوره	برش مستقیم	
(cm/min)	حداکثر وزن مخصوص خشک (g/cm2)	درصد رطوبت بهینه		(Kpa)	C (KN/m2)	Φ_0
6.35×10^{-4}	1.73	11	1.54	80	0.33	36
4.68×10^{-7}	1.7	12.3	1.53	338	0.82	30
5.63×10^{-5}	1.75	11.5	1.55	110	0.31	38
5.12×10^{-6}	1.69	12.5	1.57	285	0.802	27.9
3.12×10^{-6}	1.7	10.6	1.51	270	0..90	30.9
3.56×10^{-6}	1.68	11.2	1.53	320	0.92	30.5
4.72×10^{-6}	1.75	10	1.52	268	0.95	32
3.42×10^{-5}	1.71	11	1.50	185	0.54	34
4.56×10^{-7}	1.7	14.5	1.48	215	0.87	27
4.39×10^{-7}	1.7	12.5	1.46	235	0.91	29
4.35×10^{-5}	1.76	13	1.51	60	0.5	35
3.87×10^{-5}	1.76	10	1.48	192	0.57	34
4.78×10^{-5}	1.71	9.5	1.47	185	062	33
5.12×10^{-5}	1.74	11.7	1.49	175	0.65	33.5



تصویر۵: نمودارهای دانه بندی نمونه های مورد مطالعه



ادامه تصویر۵-نمودارهای دانه بندی نمونه های مورد مطالعه

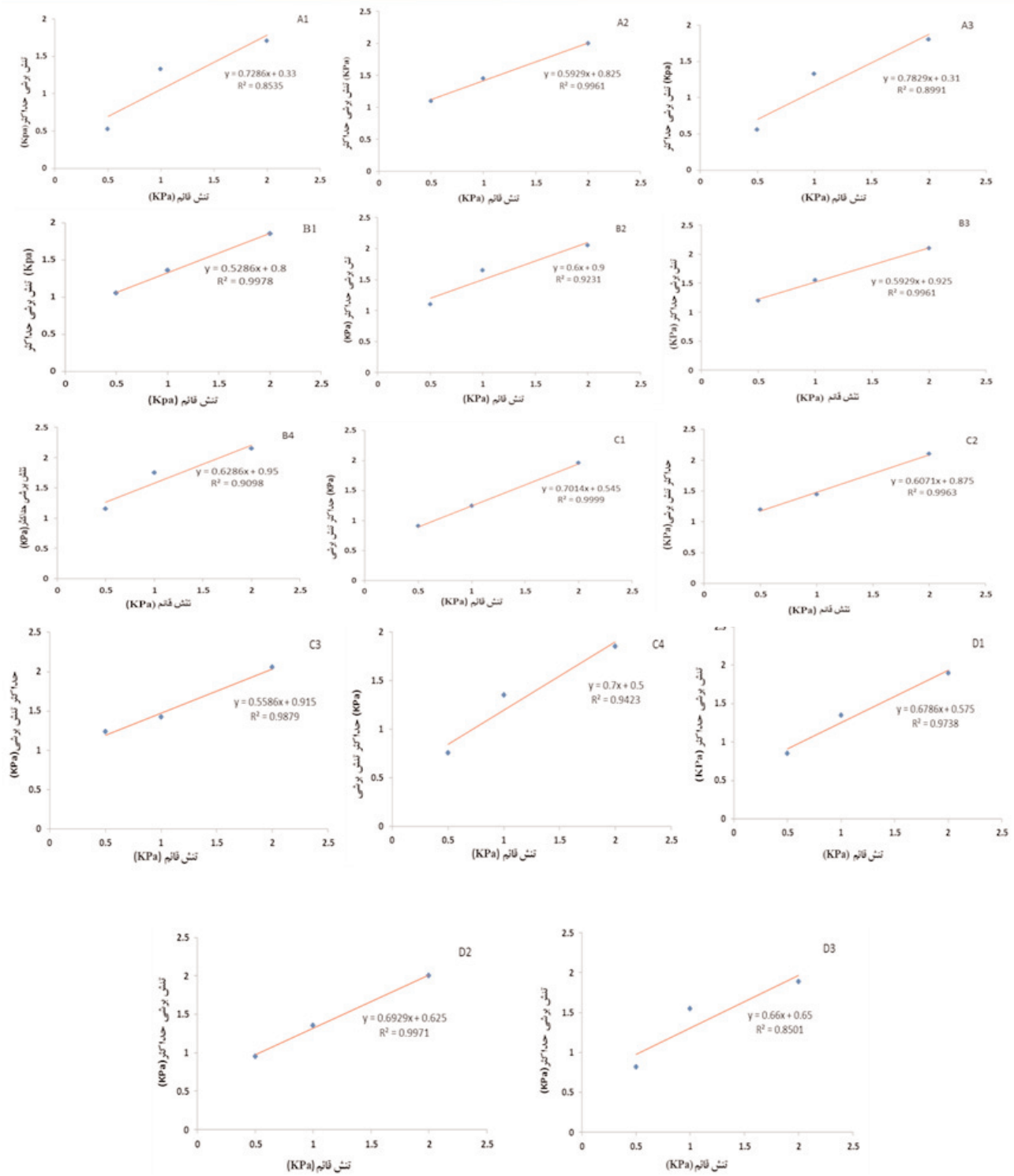
۸-استفاده از خاک‌های مورد مطالعه به عنوان منابع قرضه در سدسازی و راه سازی

به منظور شناسایی و بررسی مشخصات فنی منابع قرضه مورد نیاز در پروژه‌های راه‌سازی، سدسازی و غیره یک برداشت یا پی جویی ژئوتکنیکی از منطقه پروژه و یا محدوده های اطراف آن در صورتیکه فاصله حمل مصالح توجیه اقتصادی داشته باشد، مورد نیاز است.

به منظور مطالعه خصوصیات زمین شناسی مهندسی خاک‌های باقی‌مانده در منطقه جنوب همدان مطالعات دفتری و پیمایش‌های صحرایی از منطقه مورد مطالعه صورت گرفت و در نهایت ۱۴ نقطه برداشت از ۴ ایستگاه با توجه به ضخامت و گستردگی قابل قبول مشخص شد. همچنین خاک‌های مورد مطالعه را براساس استانداردهای موجود برای مصالح استفاده شده به عنوان منابع قرضه در ساخت زیراساس و اساس راه و در بخش‌های مختلف یک سد خاکی از قبیل هسته، قشر زهکش یا فیلتر و پوسته مورد مطالعه قرار گرفته است.

۹-سدهای خاکی

سدهای خاکی از همه نوع مواد زمین شناسی به استثنای مواد آلی و پیت ها ساخته می شوند. اکثر سدهای خاکی بر اساس اقتصادی بودن و در دسترس بودن مواد در محل برای بخش عمدای از ساخت و ساز،



تصویر ۶- نمودارهای تنش - کرنش حاصل از آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه خاک‌های مورد مطالعه

طراحی و اجرا می‌شوند. منابع قرضه قسمت‌های ویژه و خاص سدها شامل فیلترها، زهکش‌ها و ریپ راپ ممکن است خارج از محل آورده شود. مصالح خاکی مورد استفاده در سدهای خاکی به طور معمول از منابع قرضه محلی و همچنین از حفاری مورد نیاز در جاهایی که مناسب است، به دست می‌آید (USSD 2011).

۱۰-خصوصیات مصالح مورد استفاده در هسته

۱۰-۱- نفوذ پذیری

میزان نفوذ مطلوب برای مصالح مورد استفاده در هسته می تواند از ۵-۱۰ تا ۱۰-۱۰سانتی متر بر ثانیه متغیر باشد (وفائیان، ۱۳۸۴). هر چه میزان رس و پلاستیسیته خاک بیشتر باشد، میزان نفوذپذیری آن کاهش

می یابد. بهتر است که ذرات رسی (ذرات کوچکتر از ۰۰۲/میلیمتر)، در حدود ۵۰ - ۲۵ در صد وزن کل مصالح هسته باشد، زیرا درصد زیادتر مواد ریزدانه، هزینه عملیات اجرای سد را افزایش می دهد. همچنین، با افزایش درصد آب، غیرقابل استفاده شده و یا حداقل کار کردن با آن مشکل خواهد شد. البته مناسب‌ترین مصالح خاک‌هایی هستند که مقدار رس آنها بیشتر از ۳۰ درصد باشد (رحیمی ۱۳۸۲).

۱۰-۲- دانسیته

دانسیته تراکمی بالا موجب بهبود مقاومت برشی مصالح و مقاومت در مقابل فرسایش در هسته میشود و همچنین نفوذپذیری را کاهش می دهد. مناسب‌ترین دانسیته خشک ماکزیمم در محدوده ۱/۸۴ gr/cm2 و بیشتر می باشد (وفائیان ۱۳۸۴).

۱۰-۳- انعطاف پذیری

احتمال ترک خوردگی مصالح انعطاف پذیر در مقابل تغییر تصویر کمتر است. مصالح دانه‌ای هنگام تغییر شکل ترک‌های بازی را در خود برجا نمی گذارد، اما آنها برای استفاده در هسته سدهای خاکی بسیار نفوذپذیر هستند. خاک‌های ریزدانه با پلاستیسیته پایین در برابر ترک خوردگی بسیار مستعد هستند. انعطاف پذیری با افزایش پلاستیسیته در خاک‌ها بهبود می یابد. معمولا شاخص خمیری (PI) بین ۲۵- ۱۵ را مناسب‌ترین پلاستیسیته برای مصالح رسی می دانند. اگرچه با افزایش پلاستیسیته انعطاف پذیری بهبود می یابد اما تراکم‌پذیری نیز افزایش می یابد. پس باید یک نوع تعادل برقرار شود. بنابراین درصد رطوبت موجود حین تراکم نقش مهمی را در متعادل کردن انعطاف پذیری و تراکم پذیری بازی می کند.

با توجه به مطالب مذکور، مطلوب‌ترین ماده جهت استفاده در هسته، خاکی است که علاوه بر داشتن حالت خمیری، خوب دانه‌بندی شده باشد. علی رغم تمام نکات مذکور در هنگام اجرا، گستره وسیعی از مواد شامل رس‌ها، ماسه رسی، ماسه سیلتی، سیلت و رسوبات یخچالی برای استفاده در هسته به کار رفته است.در برخی از موارد که، مواد و مصالح مورد استفاده نسبتاً تراوا بوده ولی از نظر سایر جهات برای هسته مناسب بوده‌اند با مخلوط شدن با بنتونیت بهسازی شده‌اند و از لحاظ انعطاف پذیری و تراوایی به حد مطلوب نزدیکتر شده‌اند.

۱۱-تجزیه و تحلیل نتایج

با توجه به مطالب گفته شده در بالا این نتیجه حاصل می شود که بعضی از مصالح خاکی مورد مطالعه به دلایل زیر جهت استفاده به عنوان منابع قرضه در هسته سدهای خاکی مناسب نبوده و برخی دیگر بنا به دلایل ذکر شده مناسب می باشند.

۱-شاخص خمیری در خاک‌های مورد مطالعه از ۹ تا ۱۶ متغیر بوده و به طور میانگین ۱۲/۵ بوده که در محدوده استاندارد (۲۵ - ۱۰) می باشد لذا بسیاری از خاک‌های مورد مطالعه جهت استفاده در هسته سدهای خاکی مناسب می باشد (به استثنای نمونه‌های شماره A1, A2, A3 و C3).

۲-با توجه به درصد رطوبت بهینه خاک‌ها، نمونه‌های شماره A2، A3، B1، C2، C3 و C4 جهت استفاده در هسته سد خاکی مناسب می باشند.

۳-با توجه به نتایج آزمایش تراکم استاندارد هیچ یک از خاک‌های مورد نظر دارای دانسیته خشک ماکزیمم مناسب برای هسته مناسب نمی باشند.

۴- با توجه به نتایج آزمایش برش مستقیم همه خاک‌های مورد نظر چسبندگی مناسب دارند.

۵-با توجه به نتایج آزمایش برش مستقیم همه خاک‌های مورد نظر به استثنای نمونه‌های شماره B1 و C3، دارای زاویه اصطکاک داخلی مناسب می باشند.

۶-با توجه به نفوذناپذیری استاندارد (10^{-5} cm/s تا 10^{-10}) مصالح هسته، همه نمونه خاک‌های مورد مطالعه برای استفاده به عنوان مصالح هسته مناسب می باشند (به استثنای نمونه‌های A1 و A3).

۱۲-منابع قرضه در راهسازی

عملیات احداث راه شامل دو قسمت عمده زیرسازی و روسازی می باشد. هدف از زیرسازی راه انجام عملیات خاک برداری تا رسیدن به سطح بستر به عنوان خط پروژه با احداث ابنیه فنی آن (شامل تونل، زهکش، پلو ...) بوده و روسازی راه نیز شامل احداث لایه‌هایی بر روی سطح بستر نهایی راه می باشد. روسازی راه شامل دو لایه زیر اساس و اساس می باشد.

۱۳-تمیزی مصالح

مصالحی که برای لایه‌های اساس، زیراساس و رویه شنی به کار می‌رود باید تمیز و عاری از هر گونه مواد خارجی و مضر از قبیل موادآلی، سنگ‌های نرم و کم‌دوام باشد. برای تعیین تمیزی مصالح از آزمایش هم ارز ماسه (ارزش ماسه‌ای) استفاده می‌شود. در این آزمایش مقدار نسبی خاک رس و مواد ریزدانه مصالح تعیین میشود.

هر اندازه مصالح سنگی تمیزتر بوده و مقدار مواد رسی و ریزدانه آن کمتر باشد، مقدار هم ارز ماسه مصالح بیشتر خواهد بود. در آئین نامه‌های فنی مقادیر حداقلی برای هم ارز ماسه مصالح اساس و زیراساس تعیین کرده‌اند. در جدول (۴) مقادیر حداقل هم ارز ماسه طبق آئین نامه سازمان برنامه نشان داده شده است (به نقل از طباطبائی ۱۳۸۵).

۱۴-آزمایش CBR

از نتایج آزمایش CBR معمولاً برای ارزیابی خاک بستر روسازی و در برخی موارد برای ارزیابی مصالحی که در لایه‌های مختلف روسازی به کار می‌روند، استفاده می‌شود. هر اندازه CBR خاکی بیشتر باشد کیفیت آن خاک بهتر است. در اغلب روش‌های متداول طرح روسازی‌ها چه به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم از نتایج این آزمایش استفاده می‌شود. در جدول (۶) موارد استفاده خاک‌های با CBR مختلف به عنوان خاک بستر و لایه‌های روسازی نشان داده شده است همچنین نتایج این آزمایش بر روی خاک‌های مورد مطالعه در تصویر (۷) نشان داده شده است.

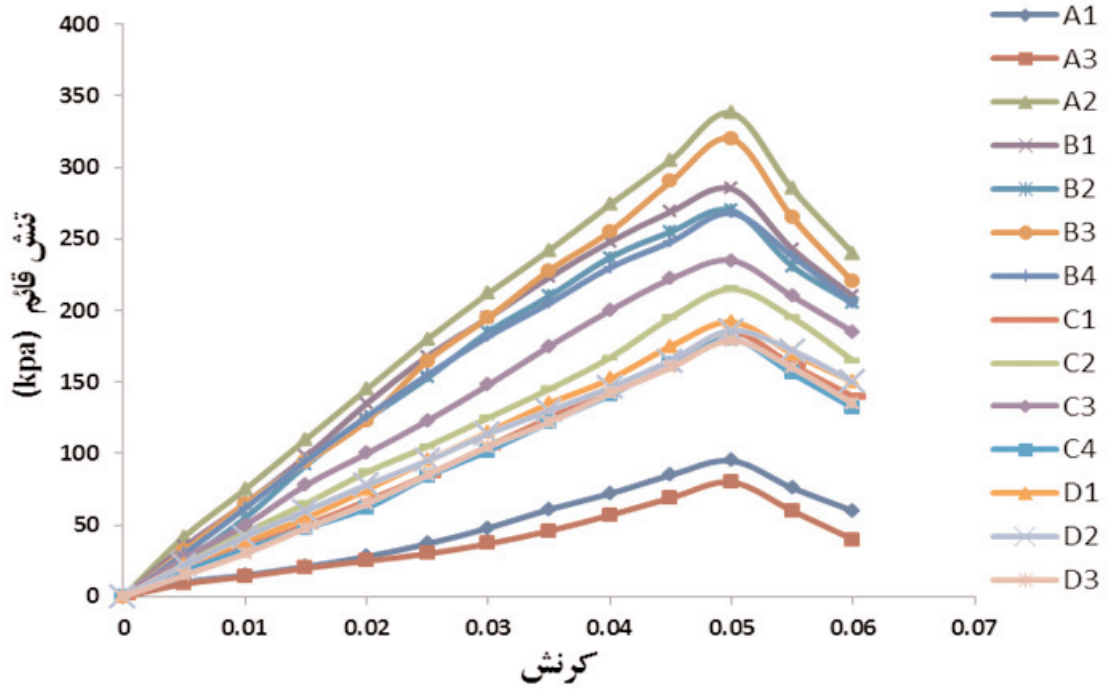
ظرفیت باربری خاک‌ها (CBR) تابعی از جنس، میزان رطوبت و وزن مخصوص خاک و نحوه انجام آزمایش است. ظرفیت باربری خاک‌های درشت دانه از ظرفیت باربری خاک‌های ریزدانه بزرگتر است. هر اندازه خاکی بیشتر کوبیده و متراکم‌تر شده باشد، CBR آن بیشتر خواهد بود. رطوبت تأثیر منفی بر مقدار CBR خاک‌ها (به خصوص خاک‌های ریزدانه) دارد و با افزایش میزان رطوبت خاک از مقدار CBR آن کاسته می‌شود (Bowelz 1990).

۱۵-تحلیل نتایج به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده:

۱-بر اساس آزمایش دانه‌بندی انجام شده بر روی خاک‌های مورد مطالعه می‌توان اظهار داشت که نمونه خاک‌های مورد مطالعه برای

جدول ۴- مقادیر حداقل هم‌ارز ماسه مصالح لایه‌های اساس و زیراساس (مشخصات فنی و عمومی راه ۱۳۸۲)

نوع راه	حداقل هم ارز ماسه (٪)	
	لایه اساس	لایه زیراساس
راه‌های اصلی	۳۵	۲۵
راه‌های فرعی	۳۵	۲۵



تصویر۷- نتایج آزمایش CBR بر روی نمونه های مورد مطالعه

جدول ۵- توصیف محدوده کاربرد انواع خاک‌ها بر اساس مقادیر CBR (به نقل از باولز، ۱۹۹۰)

مقادیر CBR	توصیف	سیستم طبقه بندی	کاربرد
۰-۳	خیلی بد	OH, CH, MH, OL	Sub-grade
۳-۷	بد تا نسبتاً خوب	OH, CH, MH, OL	Sub-grade
۷-۲۰	نسبتاً خوب	OL, CL, ML, SC,SM, SP	Sub-grade
۲۰-۵۰	خوب	GM, GC, SW, SM, SP, GP	Base, Sub-grade
>۵۰	عالی	GW, GM	Base

زیر اساس راه و اساس راه مناسب نیستند.

۲-تغییرات حد روانی برای نمونه های مورد مطالعه از ۲۶٪ تا ۴۵٪ بوده که به طور میانگین این مقدار ۳۰/۵٪ می باشد، و تغییرات شاخص خمیری نیز از ۹٪ تا ۱۶٪ بوده و به طور میانگین ۱۲/۵٪ می باشد. بر این اساس و بر اساس داده های حدود آتربرگ به دست آمده، خاک های مورد مطالعه جهت استفاده در بخش های مختلف راه مناسب نیستند.

۳-آزمایش هم ارز ماسه آزمایشی است که مناسب بودن مصالح شن و ماسه را برای بخش های مختلف راه مشخص می سازد. این آزمایش بر روی نمونه های ماسه ای انجام شد؛ ولی به دلیل ریز بودن خاک ها و داشتن درصد زیاد ذرات رس و سیلت، آزمایش نتیجه نداشت.

۴-تغییرات عددی مقادیر آزمایش CBR بر روی نمونه های مورد مطالعه از ۱۰٪ تا ۲۳٪ بوده که به طور میانگین ۱۱/۵٪ به دست آمده، بر این اساس مقادیر به دست آمده و تقسیم بندی باولز جدول (۵)، این خاک ها جهت روسازی راه ها مناسب هستند.

۵-بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش تعیین حدود آتربرگ، تغییرات شاخص خمیری (PI) برای خاک های مورد مطالعه از ۶٪ تا ۱۷٪ بوده است که به طور میانگین ۱۱/۵٪ می باشد، که از این جهت برای بستر راه و زیرسازی راه مناسب می باشند.

۱۶-نتیجه گیری

هدف اصلی این تحقیق مطالعه خصوصیات زمین شناسی مهندسی خاک های باقی مانده در جنوب همدان، جهت دستیابی به یکسری نتایج علمی است که بتوان از این منابع خاکی به عنوان منابع قرضه در پروژه های عمرانی شهرستان همدان (اداره صنایع و معادن، اداره مسکن و شهر سازی) و مراکز خصوصی (شرکت های مهندسین مشاور) استفاده کرد. بطور کلی نتایج زیر از این تحقیق بدست آمده است:

۱-بر اساس مطالعات انجام شده بر روی نقشه های زمین شناسی، توپوگرافی و پیمایش های صحرایی، ایستگاه های فقیره و حیدره نسبت به ایستگاههای شهرستانه و سد اکباتان گسترده گی، ضخامت و عمق قابل توجهی جهت برداشت به عنوان منابع قرضه را دارا هستند.

۲-سنگ مادر خاک های مورد مطالعه، سنگ های دگرگونی (هورنفلس، شیست و ..) و آواری بوده که هوازده شده و خاک های ریزدانه رسی، ماسه سیلتی و ماسه رسی را تولید کرده اند.

۳-عمده خاک های مورد مطالعه بر اساس طبقه بندی یونیفاید در گروه خاک های CL و SC قرار می گیرند که از زمره خاک های مناسب برای اجرای هسته سدها می باشند.

۴-نسبت باربری کالیفرنیا (CBR) با افزایش درصد ذرات ریزدانه رس نسبت معکوس داشته و در تمامی نمونه ها با افزایش درصد رس، کاهش می یابد. بر این اساس، نمونه های رسی کمترین عدد CBR را دارا هستند، لذا استفاده از این خاک ها در راهسازی توصیه نمی شود.

۵-فاصلهٔ این منابع قرضه نسبت به شهر همدان نزدیک می باشد که استفاده از این منابع را برای توسعه شهری در بخش ساخت و ساز مقرون به صرفه خواهد بود.

۶-مقاومت تراکمی تک محوری، تحت تاثیر دو عامل کانی شناسی و درصد رطوبت خاک ها می باشد. به همین دلیل مقاومت تراکمی تک محوری در خاک های با منشا سنگ دگرگونی (هورنفلس، اسلیت و شیست) که رس زیادی و رطوبت بیشتری دارند (ایستگاه شهرستانه، حیدره و فقیره)، نسبت به خاک های ایستگاه سد اکباتان که سنگ مادر آواری دارند، بیشتر است.

۷- نتایج مطالعات مقاطع میکروسکوپی نمونه های مورد مطالعه نشان می دهد که کانی های کوارتز، بیوتیت، موسکویت و تقریباً فلدسپات ها (پلاژیکلاز و ارتوز) در همه مقاطع وجود داشته و کانی های رسی و کلسیت بیشتر زمینه را تشکیل می دهند.

منابع

آقانباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، چاپ اول.

درویش زاده. ع.، ۱۳۷۰. زمین شناسی ایران. انتشارات نشر دانش امروز.

رحیمی، ح.، ۱۳۸۲. سدهای خاکی. انتشارات دانشگاه تهران.

سیدی،ح،ا.،قبادی،م،ح.،۱۳۸۸. ویژگی‌های زمین شناسی مهندسی خاک‌های باقیمانده جنوب همدان (مسیر جاده گنج نامه - شهرستانه). ششمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

طباطبائی،ا،م.، ۱۳۷۹. رو سازی راه و فرودگاه. انتشارات دانشگاه تهران.

طباطبائی،ا،م.،۱۳۸۵. روسازی راه. مرکز نشر دانشگاهی.

قبادی،م،ح.،۱۳۸۱.زمین شناسی مهندسی (یک راهنمای آزمایشگاهی). انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان.

قبادی،م،ح.،کارگریان،س.،رسولی فرح،م،ر.،عبدالوند،ر.، ۱۳۸۸. مطالعه خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های باقیمانده حاصل از سنگ‌های آواری در منطقه سد اکباتان (جنوب شرق همدان). ششمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

قبادی،م،ح.،ترابیکاوه،م.،سرشاری،ب.،صالحی،ط.، ۱۳۸۸. مطالعه خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های باقیمانده هورنفلسی در منطقه گنج نامه، جنوب غرب همدان. ششمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

معماریان،ح.، ۱۳۸۷. زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیک. انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۹۹۰ صفحه.

مشخصات فنی و عمومی راه، نشریه ۱۰۱ راهسازی.، ۱۳۸۲. انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور.

نیکودل،م. ر.،تاجیک،ح.،باغبانیان،ع.، ۱۳۸۲. کاربرد کائولن و بنتونیت در بهسازی خاک های مورد استفاده در هسته سدهای خاکی. سومین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران.

وفائیان،م.، ۱۳۸۴. اطلاعات اجرایی در موردسدهای خاکی. انتشارات ارکان.

Azlan A., ChoongFoong, H., Thamer, A. M., Bujang, B., Huat, K.,2006. Collapsibility and volume change Behavior of unsaturated residual soil. *American Gournal of Environmental Sciences 2(4), PP: 161-166.*

Bowles, J. E., 1990. Physical and Geotechnical Properties of Soil (2nd ed). *McGraw -Hill, Inc. p.478.*

Bujang, B.K., Huat, D. G., 2012. Hand book of tropical residual soils engineering. **CRC Press, PP: 536.**

Fityus, S. G., Smith, D, W., 2004. The development of a soil profile from a mudstone in a temperate climate. *Engineering Geology 74, Pp: 39 - 56.*

Jworchan, I., 2006. Minerology and chemical of residual soils. *LAEG Paper number 21, PP: 1 - 7.*

Laurence, D. W., 2010. Geotechnical engineering in residual soils. *published by John Wiley & Sons,Inc. PP: 270.*

Leong, E. C., Rahardjo, H., Cheong, H. K., 2003. Stiffness - strain relationship of Singapor residual soils. *Earthquake Engineering. PP: 160 - 169.*

USSD, 2011. Materials for Embankment Dams. *United States Society on Dams, pp: 145.*