بررسی تأثیر محیط رسوبی بر خواص مهندسی خاک‌های شهر کرمان با توجه به رفتار مقاومتی آن‌ها

محمدرضا امینی‌زاده بزنجانی؛
اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمان
ایمان آقاملایی، غلامرضا لشکری پور*، محمد غفوری؛
دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین‌شناسی
محمد بهرامی؛ اداره مکانیک خاک استان کرمان

تاریخ: دریافت ۹۳/۲/۱ **پذیرش** ۹۳/۱۱/۲۱

چکیده

شهر کرمان و شهرک‌های اطراف آن روی دشت مسطح قرار دارد که شیب بسیار ملایم آبرفتی ریزدانه دارد و مصالح عمدتاً سیلت و رس است. خاک‌های طبیعی معمولاً با گذشت زمان و تأثیر عوامل محیطی دارای ساختار می‌شوند. در آبرفت‌های ریزدانه شهر کرمان نیز عوامل زمین‌شناسی باعث ایجاد ساختار بعد از رسوب‌گذاری شده است. در این پژوهش ابتدا به‌اختصار حوضهٔ رسوبی کرمان و خصوصیات کانی‌شناسی و ژئوتکنیکی نهشته‌های این حوضه بررسی شده است. سپس به‌منظور بررسی تأثیر محیط رسوبی و تاریخچهٔ زمین‌شناسی بر ویژگی‌های مهندسی این نهشته‌ها، آزمایش‌های سه‌محوری روی خاک‌های بازسازی‌شده با رطوبتی بیش‌تر از حدروانی و با فشارهای همه جانبه مختلف در حالت تحکیم یافته زهکشی شده و زهکشی نشده انجام شد. به‌منظور بررسی میزان انطباق رفتار خاک‌ها در حالت‌های طبیعی و بازسازی شده منحنی‌های تنش- کرنش مقایسه شد و حساسیت ساختاری خاک با استفاده از معیار حساسیت مقاومتی بررسی شد. از بررسی نتایج آزمایش‌های سه‌محوری می‌توان می‌توان در تفسیر محیط رسوبی و تاریخچه زمین‌شناسی استفاده کرد. مقایسه منحی‌های تنش- کرنش نمونه‌های طبیعی و بازسازی‌شده نشان می‌دهد که در خیلی موارد رفتار خاک‌های دست‌نخورده

* **نویسنده مسئول** lashkaripour@um.ac.ir

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

و بازسازی شده مشابه بوده و سیمان‌شدگی و ساختار خاک توسعه زیادی نداشته است. هم‌چنین نتایج آنالیز نمونه‌ها نشان داد که کانی‌های موجود در نهشته‌های این شهر عمدتاً شامل ایلیت، کلریت، اسمکتیت و کلسیت هستند. مقایسهٔ تصاویر میکروسکپ الکترونی از نمونه‌های بازسازی شده و دست‌نخورده، آرایش تصادفی، نبود ساختار مشخص و فشردگی خاک‌های محدودهٔ شهر را تأیید می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که این خاک‌ها از تأثیرپذیری محیط رسوبی و تاریخچه زمین‌شناسی نسبتاً مشابه و یک‌نواختی برخوردارند و ساختار و سیمان‌شدگی در آن‌ها توسعهٔ زیادی نداشته و عموماً فشرده و پیش تحکیم هستند.

واژه‌های کلیدی: حوضهٔ رسوبی، خاک‌های ریزدانه، خصوصیات زمین‌شناسی، کرمان

مقدمه

ارتباط ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌ها با نوع و شرایط محیط رسوبی تشکیل آن‌ها گام مفیدی در بررسی خصوصیات نهشته‌های رسوبی محسوب می‌شود. ارتباط شرایط زمین‌شناسی و تاریخچهٔ تشکیل نهشته‌ها با ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و خصوصیات ژئوتکنیکی آن‌ها، در تحقیقات گذشته کم‌تر مد نظر بوده است. خاک‌های طبیعی معمولاً با گذشت زمان و تأثیر عوامل محیطی، دارای ساختار می‌شوند. این ساختار بر مقاومت برشی افزوده و تأثیر به‌سزایی بر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک می‌گذارد [۱]. پژوهش‌های انجام شده در پنجاه سال گذشته نشان داده‌اند که رفتار مکانیکی خاک‌های ریزدانه به فابریک و آرایش دانه‌های آن‌ها بستگی دارد [۲]. با پیدایش ساختار در خاک مشکلات مربوط به نمونه‌گیری و انجام آزمایش‌های آزمایشگاهی بیش‌تر می‌شود. جنز و نووا از خاک‌های دارای ساختار به عنوان موادی که هنوز به‌خوبی شناخته نشده‌اند یاد کرده‌اند و تعیین متغیرهای مهندسی این‌گونه خاک‌ها را مشکل می‌دانند [۳].

در مورد خصوصیات ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی مهندسی مصالح سنگی و خاکی تحقیقات بسیاری وجود دارد. با این وجود به ارتباط این ویژگی‌ها با تاریخچه زمین‌شناسی و به‌طور واضح‌تر با محیط رسوبی تشکیل این نهشته‌ها کم‌تر توجه شده و به‌جز موارد معدود، عملاً تحقیقات زیادی در دنیا انجام نشده است. از کارهای انجام شده در ایران می‌توان به بررسی

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

رابطهٔ محیط رسوبی با خواص مهندسی خاک‌های ریزدانه جنوب تهران [٤]، ارتباط ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌های عهد حاضر با محیط رسوبی آن‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در رسوبات دشت خوزستان [٥] اشاره کرد.

در تحقیقات خارجی نقش محیط رسوبی بر خواص مهندسی خاک در قالب بررسی ساختار و سیمان شدگی خاک‌ها بررسی شده است. در برخی از تحقیقات انجام شده ویژگی مربوط به ساختار میکروسکپی خاک ریزدانه رسی با استفاده از رفتار مکانیکی آن‌ها استخراج شده و شواهد زمین‌شناسی هم این ارتباط را تقویت کرده است [٦]، [٧]. در مورد نهشته‌های ریزدانه مانند رس‌ها که که عمده ترین رسوبات بررسی شده در تحقیق حاضر را تشکیل می‌دهند، می‌توان به تحقیقات بل [٨]، جاکسا [٩] و بنت و همکاران [١٠] اشاره کرد که با تشکیل بانک داده‌های ژئوتکنیکی و بررسی‌های آماری به تشریح خصوصیات نهشته‌های ریزدانه نواحی مختلف پرداخته‌اند. در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر محیط رسوبی بر خواص مهندسی خاک‌های ساختگاه شهر کرمان سعی شده است شرایط اولیه خاک‌ها در حوضه رسوبی شبیه‌سازی شود، برای این منظور نمونه‌های با رطوبتی بیش‌تر(۱/۲۵ تا ۱/٥ برابر) از حد روانی بازسازی شده است. خاک بازسازی شده در آزمایشگاه به‌گونه‌ای تحت شرایط تحکیم و برش قرار داده شده که رفتار خاک پیش تحکیم شده و عادی تحکیم شده در آن مدل شده است. در این پژوهش از بررسی نتایج آزمایش‌های سه‌محوری در تفسیر محیط رسوبی و تاریخچه زمین‌شناسی استفاده شده است. در این رابطه از مقایسهٔ آزمایش‌های سه‌محوری انجام شده روی خاک های طبیعی و دست‌نخورده با خاک‌های بازسازی شده کمک گرفته شده است.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی حوضهٔ رسوبی بررسی شده

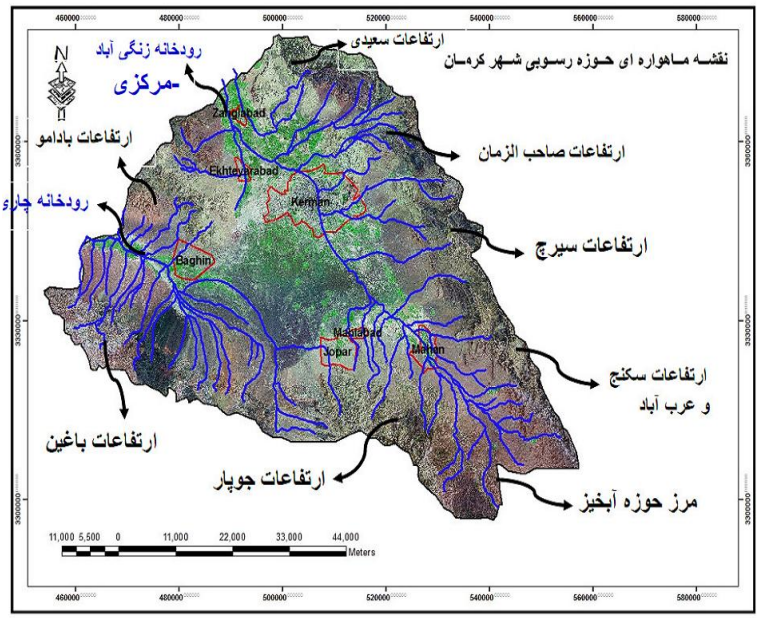
دشت کرمان در میان دو رشته کوه در شمال شرق و جنوب غرب دشت قرار گرفته است. این دشت از جنوب به کوهستان جوپار، از شمال به دشت زرند، از شرق به کوه‌های سیرچ و از غرب به دشت باغین و کوه‌های باداموئیه محدود می‌شود و این ارتفاعات مرزهای طبیعی دشت را تشکیل می‌دهند (شکل۱).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

دشت کرمان، یک چاله تکتونیکی از نوع گرابن فشاری است به‌گونه‌ای که تحت تأثیر حرکت گسل‌های معکوس موجود در مرزکوه با دشت و بالا رفتن کوهستان ایجاد شده است [۱۱].. با توجه به مدل حوضه رسوبی کرمان [۱۲] شکل‌گیری دشت رسوبی کرمان در اواخر کواترنر اتفاق افتاده است. فرآیند تشکیل آن چنان‌که ذکر شد ناشی از عمل‌کرد توأمان فعالیت‌های دینامیکی و ایجاد ساختمان زمین‌شناسی جوان و پرانرژی همراه با دوره‌های پرباران بین‌یخچالی در منطقهٔ کرمان طی دورهٔ کواترنری بوده است. دشت کرمان در طول پلیستوسن که اشکوب اصلی کواترنر است به‌گونهٔ حوضه‌ای بسته کم ژرفا دریافت‌کننده همه جریان‌های سیلابی صادره از زمین‌های مرتفع حواشی دشت بوده است. در بعضی از مقاطع زمانی کوتاه مانند دوره یخچالی ورم، قریب صدمتر رسوب در چالهٔ رسوبی کرمان نهشته شده و تحت فشار سربار اعمال شده از طرف لایه‌های رویی فشرده و تحکیم شده‌اند. شواهد زمین ریخت‌شناسی نشان می‌دهند در برخی مقاطع زمانی، شرایط محیط‌های تبخیری و دریاچه‌ای فصلی نیز حاکم است و ذرات ریزدانه وارد محیط کم ژرفای دریاچه‌ای شده و در آب معلق شده‌اند تا بتدریج رسوب کنند. حوضه بسته رسوبی شهر کرمان به‌علت جنبش‌های پراهمیت پلیستوسن زبرین، شرایط حوضه بسته را از دست داده و به‌آرامی به‌سوی شمال و شمال باختری و دره زرند–کرمان شیب بر داشته است و حجم چشم‌گیری از رسوبات انباشته شده در دوره‌های قبل را که سالیان طولانی در تحکیم کردن لایه‌های زیرین نقش داشته‌اند، از دست داده ولی تأثیر آن‌ها که همان پیش تحکیم کردن رسوبات زیرین بوده باقی مانده است. به این معنی که در حال حاضر بدون این‌که سربار چشم‌گیری روی رسوبات شهر کرمان وجود داشته باشد، خاک‌ها حالت تحکیم یافتگی خود را حفظ کرده‌اند.

شهر کرمان با ارتفاع ۱۷۵۰ تا ۱۸۰۰ متر از سطح دریا در حاشیه شمالی دشت کرمان واقع شده است و بخشی از گسترهٔ آن را کفه‌های نمکی یا پلایای سیلتی–رسی می‌پوشانند. رسوبات نهشته شده در محدودهٔ شهر کرمان عموماً ریزدانه است و متأثر ازسرنوشت زمین‌شناسی و مدل رسوبی حوضهٔ آن هستند.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]



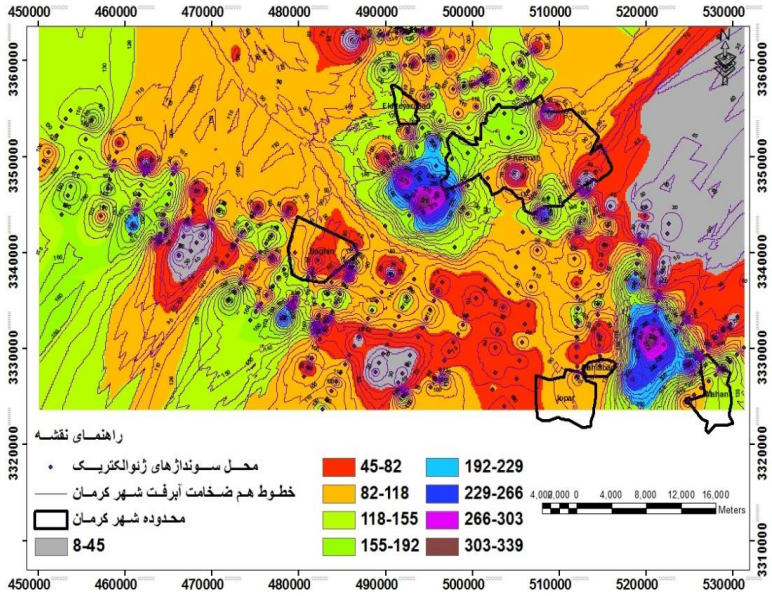
شکل ۱. محدودهٔ حوضهٔ رسوبی دشت کرمان

بی‌شک عمق سنگ کف و ضخامت رسوبات دشت از موارد مهم در شناخت مدل رسوبی حوضه است. مدل حوضه رسوبی مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در شکل‌گیری نوع رسوبات و ضخامت است و موجب نهشته شدن ضخامت زیاد رسوبات در طی چهار دورهٔ بین‌یخچالی در گسترهٔ دشت کرمان شده است [۱۲]. این نهشته‌ها به‌تناسب انرژی سیلاب و توپوگرافی و هندسه سنگ کف نهشته شده و در نقاط مختلف دشت دارای ضخامت متفاوت هستند. برای تعیین ضخامت آبرفت و عمق سنگ کف دشت کرمان نتایج و داده‌های مربوط به بررسی‌های گذشته گردآوری شده و بر اساس آن‌ها و با استفاده از داده‌های موجود نقشه‌های مورد نیاز در این خصوص به‌وسیله نرم‌افزار GIS ترسیم و قضاوت نهایی صورت گرفته است (شکل۲).

نتایج حاصل از روش‌های مختلف در ارزیابی عمق سنگ کف نشان‌دهندهٔ تغییرات ضخامت آبرفت در دشت کرمان بین صفر تا ۳۵۰ و در محدودهٔ شهر کرمان بین ۳۰ تا ۳۵۰ متر برآورد شده است. این تغییرات نشأت گرفته از مدل رسوبی و تاریخچهٔ زمین‌شناسی آن است. تنش‌های فشاری و پالس‌های شدید تکتونیکی اعمال شده به حوضهٔ کرمان از نئوژن تا به‌امروز موجب

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

فعال کردن و یا ایجاد گسل‌های بزرگ و کوچک در آن ناحیه شده است که فعالیت این گسل‌ها موجب جابه‌جایی، شکستگی، ایجاد فرورفتگی یا بالا آمدگی در سنگ کف شده است.



شکل ۲. نقشه توپوگرافی و کلاس‌های ارتفاع ضخامت آبرفت دشت کرمان

روش کار

برای بررسی میزان همگنی رسوبات و تأثیر محیط رسوبی بر خواص مهندسی نهشته‌ها، محدودهٔ پژوهش بر اساس روند رودخانه‌ها و مسیر رسوب‌گذاری‌ها به سه ناحیه تقسیم شد. سپس با گردآوری خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌ها از ۱۵٤ گمانه در سطح شهر، اخذ نمونه در نقاط مختلف و انجام آزمایش‌های متعددی از جمله آزمایش تحکیم، آزمایش سه محوری و ... روی نمونه‌های اخذ شده، خصوصیات مهندسی این نهشته‌ها بررسی شده است.

از آن‌جا که محوریت پژوهش حاضر تأکید بر نتایج آزمایش سه‌محوری است. برای این منظور تعداد ۱۷ آزمایش سه‌محوری روی خاک‌های طبیعی و بازسازی شده با رطوبتی بیش‌تر (۱/۲۵ تا ۱/۵ برابر) از حد روانی و با فشارهای همه جانبه مختلف در حالت تحکیم یافته

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

زهکشی شده و تحکیم یافته زهکشی نشده، به‌منظور بررسی میزان انطباق رفتار خاک‌ها در حالات طبیعی و بازسازی شده با دستگاه سه محوری دارای تجهیزات ثبت الکترونیکی داده‌ها در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان کرمان انجام شد که به نتایج برخی از آن‌ها در ادامه اشاره شده است.

قطر نمونه‌های آزمایش شده ۳۸ و ارتفاع آن‌ها ۷۶ میلی‌متر بوده است. مقدار فشار مؤثر هم‌سان قبل از مرحلهٔ برش نمونه‌ها به‌نحوی انتخاب شد که برخی از نمونه‌ها شرایط فوق تحکیم یافته و برخی شرایط تحکیم یافته عادی پیدا کنند.

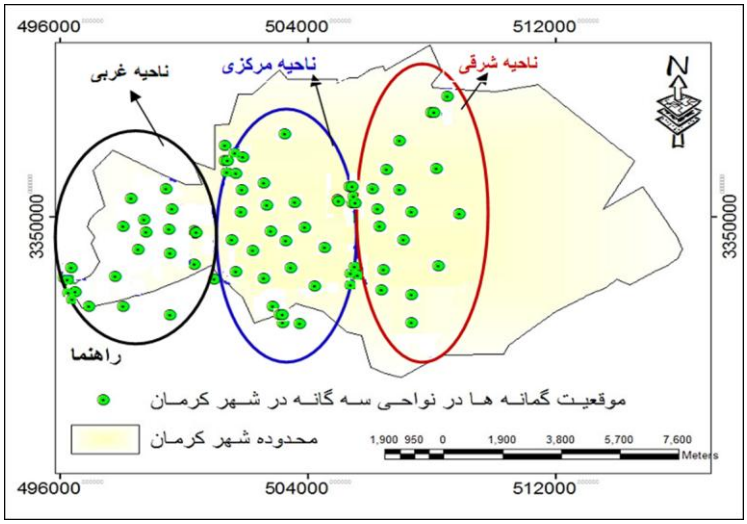
از مهم‌ترین مزایای این آزمایش می‌توان به امکان کنترل تنش‌های اصلی، کنترل زهکشی و امکان اندازه‌گیری فشار آب حفره‌ای و تغییر حجم نمونه حین انجام آزمایش اشاره کرد. هم‌چنین در طول آزمایش سه‌محوری می‌توان انواع مسیرهای تنش را بر نمونه خاک اعمال نمود، تغییر مکان‌ها و تنش‌های وارده را کنترل کرد و رفتار خاک را در سطوح تنش مختلف مشاهده کرد. برای انجام آزمایش از دستگاه‌های سه‌محوری ساخت شرکت ELE انگلیس استفاده شده است. در این دستگاه‌ها سیستم اعمال نیرو مکانیکی است و تأمین فشار سل پنوماتیکی است و برای اندازه‌گیری فشارها از فشارسنج جیوه‌ای استفاده می‌شود. وجود بورت دو قلو در سیستم، امکان اندازه‌گیری تغییر حجم و هم‌چنین بررسی روند زهکشی حین انجام آزمایش را برای آزمایش‌گر فراهم می‌آورد و بار با اعمال کرنش کنترل شده بر نمونه اعمال می‌شود.

بررسی خصوصیات مهندسی خاک‌های ریزدانه شهر کرمان

محدودهٔ بررسی شده برای بررسی میزان همگنی رسوبات و تأثیر محیط رسوبی بر خواص مهندسی نهشته براساس روند رودخانه‌ها و مسیر رسوب‌گذاری‌ها به سه ناحیه تقسیم شد. سپس ویژگی‌های مهندسی خاک در مناطق سه گانه فوق مقایسه شدند. در شکل۳ نواحی سه‌گانه در قالب سه محدودهٔ شرقی، مرکزی و غربی معرفی شده‌اند. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، تعداد گمانه‌های حفر شده در بخش مرکزی شهر با توجه به قدمت و سابقه ساخت و سازها بیش‌تر از دیگر نواحی است. در ناحیهٔ شرقی به‌دلیل محدوده بافت قدیم شهر

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

و وجود ارتفاعات و مناطق صخره‌ای حاشیهٔ شهر، اطلاعات کم‌تری تولید شده است. در ناحیهٔ غربی ساخت سازها و توسعهٔ شهر در سال‌های اخیر شروع شده و هنوز اطلاعات کافی تولید نشده است.



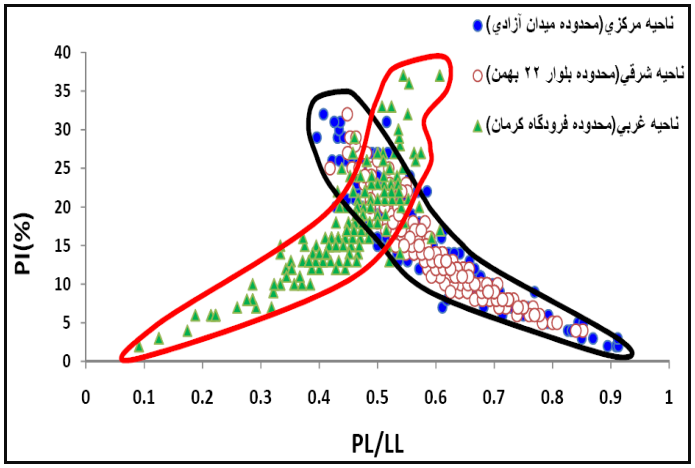
شکل۳. موقعیت نواحی سه گانه در شهر کرمان

بررسی منشأ رسوبات در نواحی سه‌گانه

بعضی از پارامترهای خاک مثل چگالی دانه‌ها (Gs) تأثیرپذیری کم‌تری از محیط رسوبی دارند ولی عمده پارامترهای فیزیکی و مکانیکی و شیمیایی خاک تا حدود زیادی تابع ویژگی‌های محیط رسوبی و تاریخچهٔ زمین‌شناسی هستند. خصوصیات فیزیکی نهشته‌های محدودهٔ شهر کرمان نیز به منشأ زمین‌شناسی و مدل رسوبی حوضه بستگی دارند و در عین حال ممکن است تغییرات ناشی از شرایط محیط رسوبی را نشان دهند. نمودار PI در مقابل LL/PL به‌عنوان شاخصی برای ارزیابی اختلاف شرایط نهشته‌های رسوبی مربوط به محیط‌های رسوبی مختلف کاربرد دارد [۵]. این نمودار برای خاک‌های محدوده شهر کرمان ترسیم و در شکل ٤ نشان داده شده است. از بررسی این نمودار نتیجه می‌شود که برای محدودهٔ شهر دو دسته از رسوبات قابل تفکیک هستند که احتمالاً تفاوت آن‌ها ناشی از عامل حمل کننده رسوبات و سیستم‌های

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

زهکشی است. با توجه به شکل ٤ احتمال داده می‌شود که رسوبات مناطق شرقی و مرکزی که مجاور هم هستند از یک منبع و منشأ تأمین شده و طی مکانیزم واحدی نهشته شده باشند. ولی در رسوبات غرب شهر کرمان مکانیزم حمل و ته نشست و همچنین منبع تأمین آن‌ها با نواحی دیگر متفاوت باشد. این احتمال وجود دارد که نهشته‌های نواحی شرقی و مرکزی با سیستم زهکشی مرکزی و رودخانه سه کنج و رسوبات ناحیهٔ غربی به‌وسیلهٔ رودخانه چاری حمل شده و ته نشست کرده باشند (شکل ۱). بنا براین محیط رسوبی تأمین‌کننده رسوبات هر ناحیه موجب تفاوت در خصوصیات پلاستیسته آن نهشته‌ها شده است. با استفاده از نتایج این تحقیق شاید بتوان محیط رسوبی گستره شهر کرمان را به دو ناحیه تقسیم کرد.



شکل٤. بررسی تأثیر محیط رسوبی در نهشته های دشت کرمان

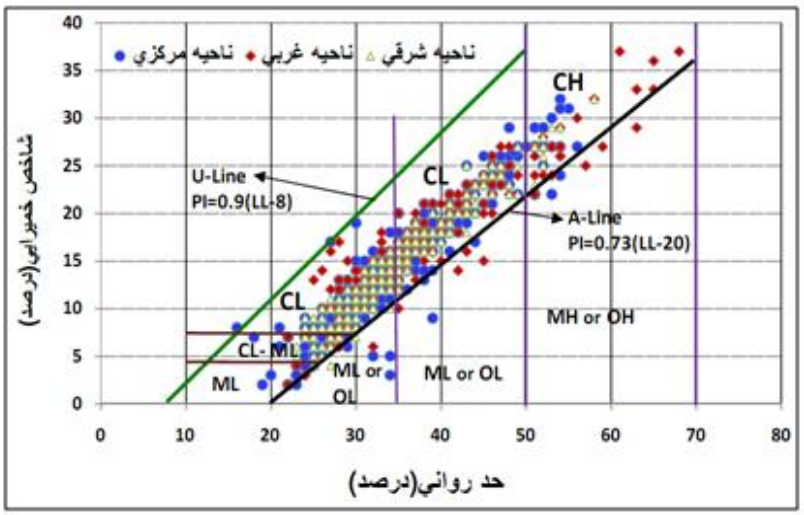
خواص خمیری خاک در نواحی سه‌گانه

خاصیت خمیری خاک در نواحی سه‌گانه بررسی شد. نمودار پلاستیسیته نهشته‌های زیرپهنه شهر کرمان مربوط به نواحی سه‌گانه در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشخص می‌شود که موقعیت نمونه‌ها در نمودار خمیری خاک در نواحی سه‌گانه از یک حالت همگنی و یک‌نواختی نسبی برخوردارند و تنها تعدادی از نمونه‌های مربوط به ناحیه غربی (محدوده فرودگاه کرمان) دارای خاصیت خمیری بیش‌تر از دو ناحیه دیگر هستند. دلیل این

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

موضوع احتمالاً منشأ تولید رسوبات است که گمان می‌رود منبع تأمین آن‌ها رودخانه چاری باشد.

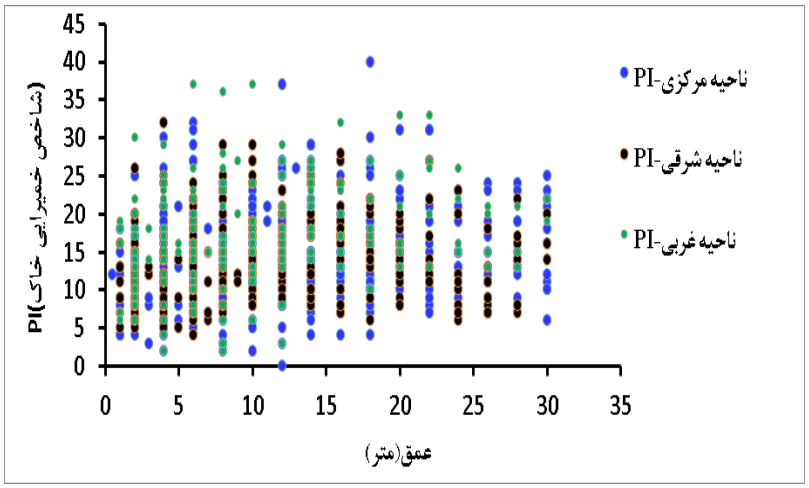
در شکل ٦ نیز رابطهٔ شاخص خمیری خاک با عمق برای نواحی سه‌گانه در محدودهٔ شهر کرمان نشان داده شده است. چنان‌که ذکر شد در ناحیهٔ غربی شدت افزایش خاصیت خمیری با عمق کمی بیش‌تر از دو ناحیه دیگر است که نشان‌دهندهٔ این است که رسوبات در این بخش از شهر دارای درصد بیش‌تری از مواد ریزدانه و کانی‌های رسی هستند.



شکل۵. نمودار پلاستیسیته نهشته‌های زیرپهنهٔ شهر کرمان مربوط به نواحی سه‌گانه

به‌منظور ارائهٔ اطلاعات کلی از خواص مهندسی خاک، نمودارهای مربوط به میانگین هر کدام از پارامترها در نواحی سه‌گانه ترسیم شده است. شکل ۷ مقایسه مقادیر متوسط شاخص پلاستیسیته، حد روانی و درصد رطوبت خاک در نواحی سه‌گانه شهر کرمان (ناحیهٔ غربی، مرکزی، غربی) را نشان می‌دهد. شاخص پلاستیسیته و حد روانی در ناحیهٔ غربی نسبت به سایر نواحی افزایش کمی را نشان می‌دهد که این موضوع نتیجه‌گیری‌های قبلی در این خصوص را تأیید و پشتیبانی می‌کند. اما میزان رطوبت در نواحی سه‌گانه تغییر محسوسی نشان نمی‌دهد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]



شکل٦. بررسی تغییرات شاخص پلاستیسیته در نواحی سه‌گانه در زیرپهنهٔ شهر کرمان

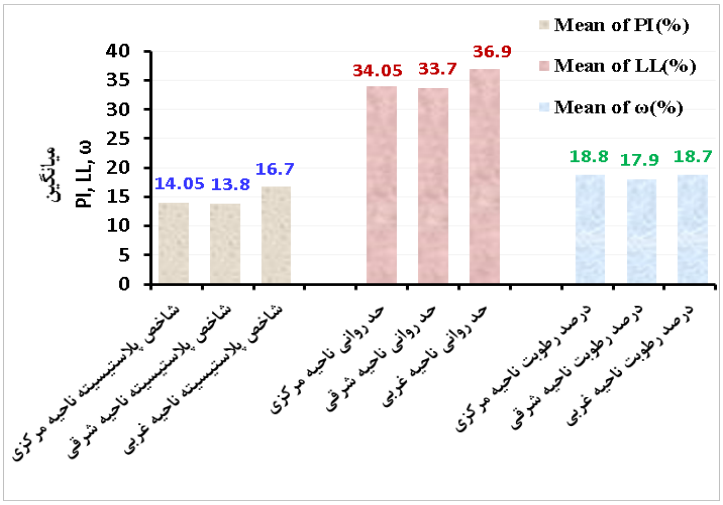
مقایسهٔ نتایج نشانهٔ فشردگی خاک با عمق شکل ۸ نشان می‌دهد که رابطهٔ ضعیفی بین نشانه فشردگی با عمق در نواحی سه‌گانه وجود دارد. این امر نشان می‌دهد که خاک‌های محدودهٔ شهر کرمان حداقل تا عمق ۳۰ متر که بررسی شده‌اند، دارای فشردگی نسبی یک‌سان هستند و می‌توان نتیجه گرفت که به‌دلیل پدیده پیش تحکیمی خاک این شرایط ایجاد شده است. مقایسه نتایج چسبندگی و نشانه فشردگی با عمق مشخص می‌کند که در ناحیهٔ شرقی که رابطهٔ چسبندگی با عمق شدیدتر است رابطهٔ نشان فشردگی با عمق ضعیف‌تر است، این موضوع می‌تواند اشباع بودن فضاهای خالی خاک و کم شدن پتانسیل فشردگی را تبیین کند.

مقایسهٔ میانگین نتایج مربوط به چسبندگی، نشانه تحکیم و نشانه تورم خاک‌های گستره شهر کرمان در نواحی سه‌گانه در شکل ۹ نشان داده شده است. نتایج حاصل از این شکل نشان می‌دهد که همگنی و یک‌نواختی نسبی که در سایر پارامترهای مهندسی خاک وجود دارد در اینجا نیز تأیید شده است.

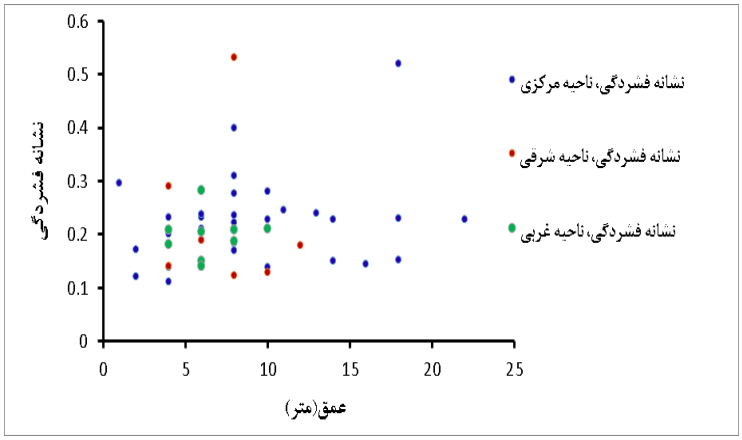
برای این منظور داده‌های مربوط به ۹٦۱ مورد عدد نفوذ استاندارد گردآوری و به سه گروه تقسیم‌بندی شدند. سپس رابطهٔ عدد نفوذ استاندارد با عمق در نواحی سه‌گانه ترسیم شد (شکل ۱۰). نتایج نشان می‌دهند که بین عمق و عدد نفوذ استاندارد هم‌بستگی مشخصی وجود

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

ندارد. از طرفی بر اساس معیار کانیراج [۱۳]، که در جدول ۱ نشان داده شده است، خاک‌های زیرپهنهٔ شهر کرمان عموماً بسیار سفت تا سخت هستند. از این رو، از حالت همگن و یک‌نواختی نسبی خاک است

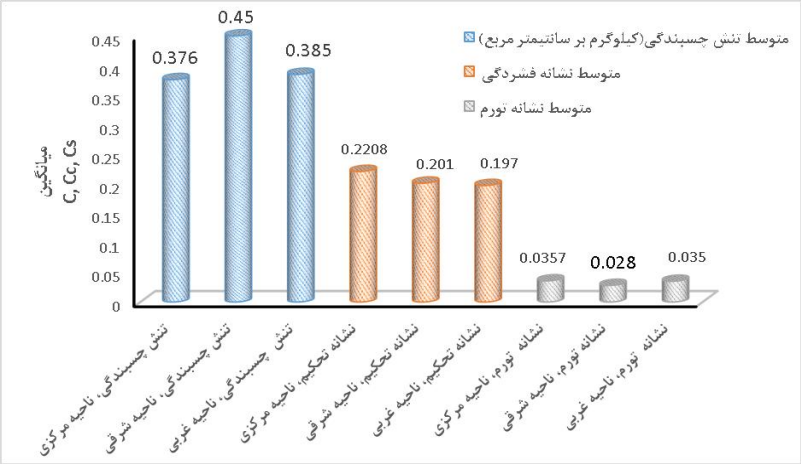


شکل۷. متوسط شاخص پلاستیسیته، حد روانی و درصد رطوبت خاک در نواحی سه‌گانه شهر کرمان



شکل۸. رابطهٔ نشانهٔ فشردگی با عمق در نواحی سه‌گانه در محدودهٔ شهر کرمان

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]



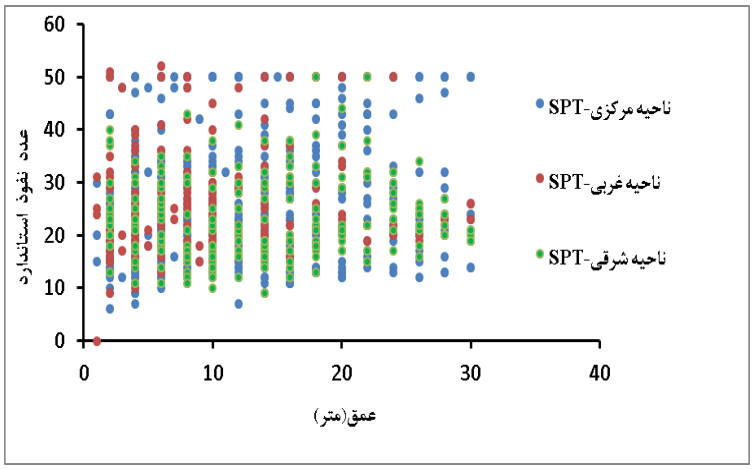
شکل ۹. میانگین چسبندگی، نشانهٔ تحکیم و نشانهٔ تورم خاک‌های شهر کرمان در نواحی سه‌گانه بررسی داده‌های عدد نفوذ استاندارد در نواحی سه‌گانه

حدول۱. مقایسهٔ میزان سفتی و عدد نفوذ استاندارد در خاک‌های محدودهٔ شهر کرمان با توجه به معیار کانیراج [۱۳]

SPT	کمتر از ۲	۲–٤	٤–٦	۸–۱٦	۱٦–۳۲	بیشتر از ۳۲
سفتی	بسیار نرم	نرم	متوسط	سفت	بسیار سفت	سخت
درصد	۰	۰	۰	۱٥/۸	٦٤/۹	۱۹/۳۰

بررسی خواص خمیری، درصد ذرات عبور کرده از الک ۲۰۰، تغییرات وزن واحد حجم چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک داخلی در نواحی سه گانه تأیید می‌کند که رسوبات محدودهٔ شهر کرمان تا حدود زیادی یک‌نواخت و مشابه هستند. بررسی داده‌های عدد نفوذ استاندارد نیز نشان داده است که خاک گسترهٔ شهر کرمان در نواحی سه‌گانه تقریباً یک‌نواخت و عموماً در گروه خاک‌های بسیار سفت تا سخت هستند. مقایسهٔ میانگین پارامترها نیز یک‌نواختی تقریبی خاک را تأیید کرده است. شاید دلیل یک‌نواختی خاک در قسمت سطحی آن نهشته شدن رسوبات در یک دورهٔ زمانی نسبتاً کوتاه و تحت تأثیر شرایط اقلیمی یک‌سان در محیط آرام و دریاچه‌ای باشد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]



شکل ۱۰. بررسی تغییرات عدد نفوذ استاندارد در نواحی سه‌گانه در زیر پهنهٔ شهر کرمان

بحث و بررسی

چنان‌که اشاره شد محدودهٔ شهر کرمان و شهرک‌های اطراف آن از نظر ریخت‌شناسی، شامل دشت مسطح آبرفتی ریزدانه با مصالح عمدتاً سیلت و رس هستند که شیب بسیار ملایم دارند. برای تعیین خصوصیات مهندسی این نهشته‌ها و در راستای هدف این پژوهش ضمن گردآوری اطلاعات پیشین و با توجه به همگنی نسبی این خاک‌ها، پراکنش نقاط مربوط به اخذ نمونه و انجام آزمایش ها به‌گونه‌ای طراحی شده که پوشش قابل قبولی در شهر کرمان داشته باشند برای این منظور در طول انجام این پژوهش از سایت‌های جدیدی که حفاری می‌شدند نمونه‌گیری و روی آن‌ها آزمایش‌های متعددی انجام شد (جدول ۲).

خصوصیات ژئوتکنیکی گردآوری شده از نهشته‌های دشت کرمان، شامل مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک هستند. این ویژگی‌ها از آزمایش‌های انجام شده در محل و یا آزمایش‌های آزمایشگاهی روی نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده، از عمق صفر تا ۳۰ متری (تعداد کمی از گمانه‌ها تا عمق ٤٠ متری هم ادامه داشته‌اند) به‌دست آمده‌اند.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

خصوصیات ژئوتکنیکی عمده نهشته‌های دشت کرمان، به‌عنوان نمونه در چند نقطه از ساختگاه شهر در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول۲. آزمایش‌های انجام شده روی خاک‌های ساختگاه شهر کرمان

نام پارامتر	USCS	حدود اتربرگ	درصد رطوبت	فتومیکروگراف و آنالیز EDX	SPT	آزمایش تک محوری	آزمایش سه محوری	آزمایش تحکیم
		LL / PI						
تعداد	۱۲۹۷	۱۱۵۷ / ۱۱۵۷	٦٤۲	۱۵	۹٦۰	۹	۱۷	**۳۷**

جدول ۳. خصوصیات ژئوتکنیکی عمده نهشته‌ها در چند نقطه از شهر کرمان

موقعیت گمانه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	عمق (m)	کلاس	LL(%)	PL(%)	SPT	Y_b (gr/cm^3)	(degree)ϕ	C (kg/cm^2)	C_c	C_S
شهرک الهیه	٤۹۹٦۰	۳۳٤۸٦۱	٤	CL	۳٦	۱۷	۱۹	۱/۹٤	۱۲/۲	۰/۲٦	۰/۱۸	۰/۰۲
هتل پارس	۵۰۲۳۷	۳۳٤۹٦٤	۸	CL	٤۳	۲۲	۲۳	۱/۸۹	۱۵/۹	۰/۳۳	۰/۲۷	۰/۰۳
دانشگاه آزاد	۵۰۷۸۱	۳۳٤۵۲۱	٤	CL	۲۸	۱۱	۱٤	۱/٦۵	۱٤/۳	۰/۳۵	۰/۲۹	۰/۰۳
چهار راه بازرگانی	۵۰٤٦۹	۳۳٤۷۷۱	٤	CL	٤۰	۱۸	۱٤	۱/۹۳	۸/۷	۰/٤۷	۰/۱۳	۰/۱٦
چ. باقدرت	۵۰٦٦٦	۳۳٤۷۷۹	۱۰	CL	۳٦	۱۷	۱۷	۱/۹۸	۱۱/۱	۰/٤٤	۰/۱۲	۰/۰۲

بر اساس نتایج به‌دست آمده این رسوبات ریزدانه عموماً شامل دو گروه CL و CL-ML هستند. منشأ کانی‌های رسی به ترکیب سنگ منشأ شیمی محیط، هوازدگی، فرآیندهای اقلیمی حاکم بر مناطق منشأ وابسته است [۱٤]. شرایط آب و هوایی، ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های منشأو میزان هوازدگی آن و هم‌چنین فرآیندهای حمل و نقل و رسوب‌گذاری نقش مهمی در تشکیل انواع کانی‌های رسی دارند [۱۵]. مکانیزم نهشته شدن رسوبات گسترهٔ شهر بر اساس مدل رسوبی این نهشته‌ها بدین‌صورت است که در ابتدا سیلاب‌های فصلی شدید باعث حمل قطعات و ذرات خاک و نهشته شدن آن‌ها در ایستاب‌های محدودهٔ فعلی شهر کرمان شده‌اند. بعد از نهشته شدن رسوبات در تالاب رسوبی فرایندهایی بر ساختار و فابریک خاک اثر گذاشته است. بنابراین خاک در مرحلهٔ اولیه نهشته شدن به‌صورت خاکی تحکیم یافته عادی و فاقد ساختار بوده است که در طی زمان تحت اثر فرایندهای رسوبی به شرایط فعلی رسیده است. طبق مدل‌های ارائه شده اسفوندرینی [٤] احتمال این است که فابریک اولیه خاک در حوضهٔ رسوبی شهر کرمان به‌صورت خانه کتابی بوده است که در طی تراکم بکر و تأثیر سربار

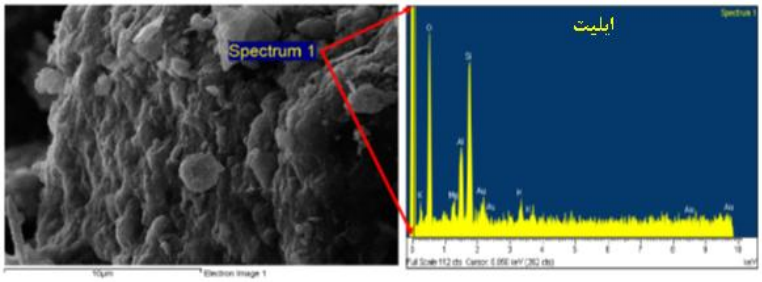
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

به‌صورت خانه کتابی فشرده درآمده است. سپس این نهشته‌ها در طی زمان و تحت تأثیر پدیدهٔ دیاژنز فشار و دما فابریک متفاوتی پیدا کرده و پیوندهای جدیدی بین ذرات آن‌ها ایجاد شده است. از این رو، خاک در این مرحله حساسیت ساختاری جدیدی کسب کرده که این نقطه آغاز تفاوت بین رفتار خاک طبیعی و بازسازی شده است. برای بررسی رفتار نهشته‌های شهر کرمان و تأثیر تاریخچهٔ زمین‌شناسی بر فابریک و ساختار خاک از تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM) و روش پراکنش طیف انرژی اشعهٔ ایکس (EDX) استفاده شده است (شکل‌های ۱۱ و ۱۲). نتایج بررسی کانی‌شناسی رسوبات زیر پهنهٔ دشت کرمان نشان می‌دهد که کانی‌های موجود در این نهشته‌ها شامل ایلیت، کلریت، اسمکتیت، هالوزیت، ایلیت–اسمکتیت وکلسیت هستند. کانی‌های ایلیت، اسمکتیت و کلریت دارای نسبت فراوانی تقریباً یکسانند و بخش عمدهٔ کانی‌های تشکیل دهندهٔ رسوبات شهر کرمان را همین کانی‌ها تشکیل می‌دهند. کلسیت در بعضی جاها به‌صورت سیمان کلسیتی در بین دانه‌ها، گاهی به‌صورت تک بلور و بعضی مواقع به شکل گرهک‌های آهکی در درون خاک‌های شهر کرمان دیده می‌شود. نتایج بررسی عکس‌های میکروسکپ الکترونی در گسترهٔ شهر کرمان مؤید آرایش فشرده و متراکم ذرات خاک هستند. دانه‌های خاک عموماً دارای اتصال گوشه به گوشه است و در ساختار آن‌ها نظم مشخصی دیده نمی‌شود و آرایش ذرات تصادفی و بی‌نظم است. وضعیت جهت‌یافتگی مشخص کم‌تر به‌چشم می‌خورد. علاوه بر ذرات خاک حفره‌ها و فضاهای خالی خاک نیز توزیع تصادفی و بی‌نظم دارند و اندازهٔ حفرها نیز کوچک است که تأییدی بر تراکم و فشردگی خاک است. پیوند بین ذرات که بخشی از مقاومت خاک و حساسیت آن را ایجاد کرده است، به‌صورت سیمان کلسیتی است.

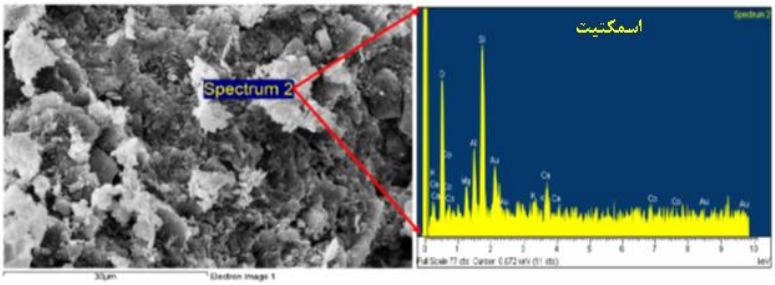
بررسی کلی تصاویر میکروسکپ الکترونی (SEM) نشان می‌دهد که سیمان‌شدگی در خاک‌های محدودهٔ شهر کرمان توسعه زیادی نداشته است اگر چه در بعضی از مقاطع آثاری از سیمان در بین دانه‌ها دیده می‌شود و دانه بیش‌تر فشرده و در تماس با هم هستند. هم‌چنین در متن تودهٔ خاک ذرات کلسیتی به‌صورت گرهک‌های آهکی دیده می‌شوند که در تشریح

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

نمونه‌های دستی این گرهک‌های آهکی برای بعضی از نقاط شهر دیده می‌شوند. این گرهک‌ها احتمالاً به‌علت پدیده موئینگی و صعود آب شعریه حاصل شده‌اند.



شکل ۱۱. فتومیکروگراف SEM و آنالیز نیمه کیفی EDX سایت الماس حنوب شرق عمق ٤٠ متر



شکل ۱۲. فتومیکروگراف SEM و آنالیز نیمه کیفی EDX سایت خیابان عباس صباحی عمق ١٤ متر

آزمایش‌های سه‌محوری

آزمایش‌های سه‌محوری زهکشی شده روی خاک‌های بازسازی شده

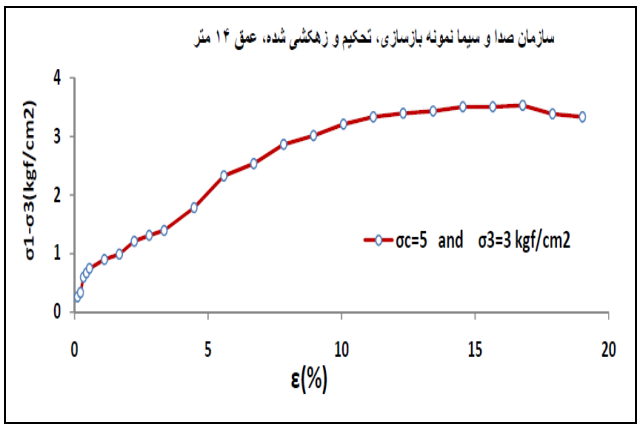
تعداد ۱۷ آزمایش سه‌محوری زهکشی شده روی خاک‌های بازسازی شده با رطوبتی بیش‌تر از حد روانی (۱/۲۵ تا ۱/۵ برابر حد روانی) و با فشارهای همه جانبه مختلف به‌روش بارگذاری پله‌ای انجام شد که فقط نتایج برخی در این پژوهش آورده شده است. در این خصوص شرایط خاک‌های عادی تحکیم یافته و فوق تحکیم مدل شده است، تا بر اساس نتایج حاصل بتوان وضعیت ساختاری و تحکیم‌پذیری خاک‌های گسترهٔ شهر را بررسی کرد.

در رابطه با تعداد آزمایش‌های سه‌محوری لازم به ذکر است که نتایج این آزمایش‌ها در کنار نتایج سایر آزمایش‌های مهندسی خاک ملاک تصمیم‌گیری قرار گرفته است. با توجه به تحقیق

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

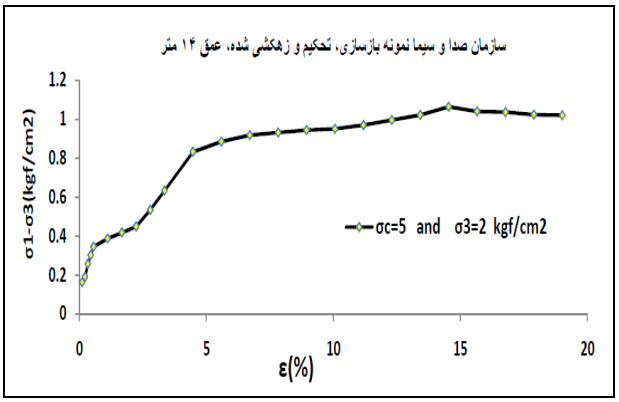
و بررسی خواص مهندسی خاک‌ها در زیرپهنهٔ شهر کرمان و همگنی نسبی این خاک‌ها، پراکنش نقاط مربوط به این آزمایش‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده که پوشش قابل قبولی در شهر کرمان داشته باشند. بنابراین تعداد آزمایش‌های انجام شده در حد نیازهای تحقیقاتی این پژوهش است.

برای سایت سازمان صدا و سیمای مرکز کرمان (عمق ۱۴/۴۵-۱۴ متر)، نمونه‌های خاک تحت فشار ایزوتروپ ۵۰۰ کیلو پاسکال تحکیم یافته و سپس در مرحله برش، نمونه‌های خاک تحت فشارهای ایزوتروپ ۳۰۰ و ۲۰۰ و کیلوپاسکال گسیخته شده‌اند (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). در این حالت نمونه‌های خاک به‌ترتیب YSR ۵ و ۲/۵ دارند. برای سایت دانشگاه علوم پزشکی کرمان در عمق ۱۴ متر، فشار تحکیم ۴/۲ و فشار برش ۱ کیلو نیوتن بر مترمربع در نظر گرفته شده است، از این رو، نسبت تنش تسلیم (YSR) ۴/۲ است (شکل ۱۵). در آزمایش‌های بارگذاری پله‌ای مقدار YSR، نقش تعیین کننده‌ای بر رفتار خاک دارد. نمونه‌هایی که YSR بزرگ‌تر از یک داشته و شرایط خاک فوق تحکیم را القا می‌کنند، تقریباً یک نقطه اوج دارند و خاک تا قبل از نقطهٔ اوج به‌صورت انقباضی رفتار می‌کند و بعد از آن خاک رفتار نرم شونده از خود نشان می‌دهد.



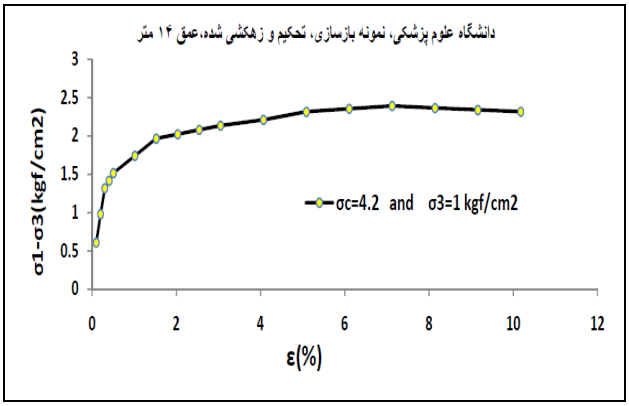
شکل۱۳. منحنی تغییرات تنش- کرنش محوری نمونه بازسازی و زهکشی شده، سایت سازمان صدا و سیما عمق ۱۴،۴۵-۱۴متر

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]



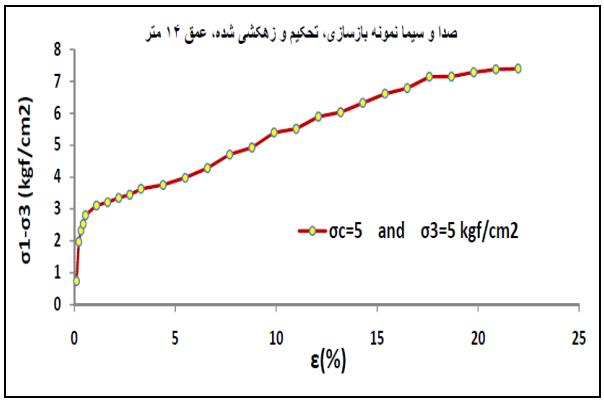
شکل ١٤. منحنی تغییرات تنش-کرنش محوری نمونه بازسازی و زهکشی شده، سایت سازمان صدا و سیما عمق ١٤,٤٥-١٤متر

مقدار مقاومت خاک با افزایش کرنش محوری کاهش می‌یابد و به مقدار ثابتی می‌رسد. برای حصول شرایط تحکیم یافتگی عادی برای بعضی از نمونه‌ها فشار تحکیمی برابر و یا کم‌تر از فشار مرحله برش در نظر گرفته شده است. نمونه‌هایی که YSR کوچک‌تر یا مساوی یک داشته باشند شرایط خاک عادی تحکیم را القا می‌کنند (شکل ١٦). در نمونه‌های عادی تحکیم یافته هر چه مقدار فشار جانبی در مرحله تحکیم خاک بالاتر باشد، مقدار مقاومت بالاتر خواهد بود.



شکل ١٥. منحنی تغییرات تنش-کرنش محوری نمونه بازسازی و زهکشی شده، دانشگاه علوم پزشکی کرمان عمق ١٠,٤٥-١٠متر

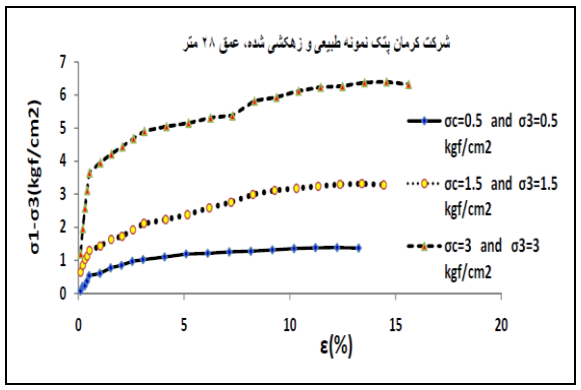
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]



شکل۱٦. منحنی تغییرات تنش - کرنش محوری نمونه بازسازی و زهکشی شده، سایت سازمان صدا و سیما عمق ۱٤،٤٥-۱٤متر

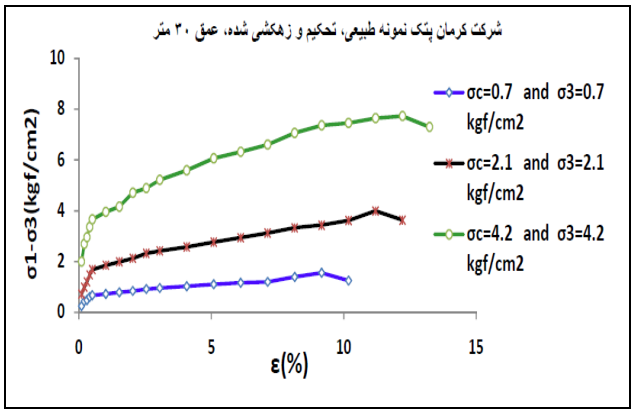
آزمایش سه‌محوری زهکشی شده بر روی خاک‌های طبیعی

خاک‌های طبیعی و دست‌نخورده منعکس کننده تاریخچهٔ زمین‌شناسی و شرایط محیط رسوبی هستند. بدین‌منظور تعداد ۱۷ آزمایش سه‌محوری در شرایط زهکشی شده روی خاک دست‌نخورده در نقاط مختلف شهر انجام شده است شکل‌های ۱۷ و ۱۸ که تفسیر نتایج آن‌ها می‌تواند نقش محیط رسوبی دیرینه در تحول ویژگی‌های مهندسی خاک در گسترهٔ شهر کرمان را نشان دهد.



شکل ۱۷. منحنی تغییرات تنش-کرنش محوری نمونه‌های طبیعی زهکشی شده، سایت شرکت کرمان پتک عمق ۲۸،٤٥-۲۸متر

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]



شکل ۱۸. منحنی تغییرات تنش-کرنش محوری نمونه‌های طبیعی زهکشی شده، سایت شرکت کرمان پتک عمق ۳۰,۴۵-۳۰متر

مقایسه منحنی‌های تنش– کرنش طبیعی و بازسازی شده در حالت زهکشی شده

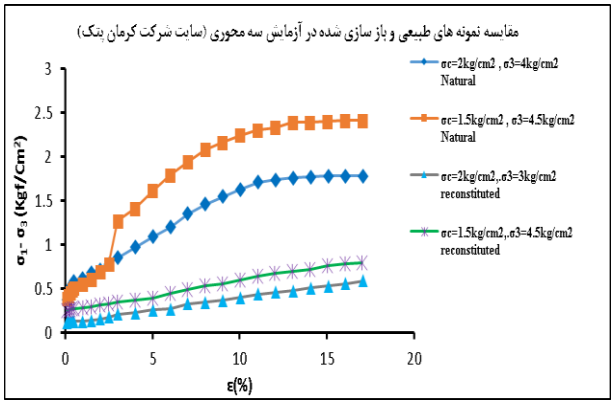
نتایج حاصل از مقایسه منحنی‌های تنش- کرنش خاک‌ها در حالت زهکشی شده نشان داد که برای نمونه‌های بازسازی شده، منحنی‌ها در بخش ابتدایی حالتی انقباضی و بالارونده و با شیب تند داشته و با افزایش استرین محوری حالت صعودی و بالارونده منحنی با شیب ملایم‌تر ادامه می‌یابد و در نهایت به نقطهٔ اوج رسیده که بعد از آن خاک رفتار نرم‌شونده از خود نشان می‌دهد.

مقدار مقاومت خاک با افزایش کرنش محوری کاهش می یابد و به مقدار ثابتی می‌رسد. در آزمایش‌های بارگذاری پله‌ای مقدار YSR، نقش تعیین‌کننده‌ای بر رفتار خاک دارد. در حالتی که YSR خاک بزرگ‌تر از یک باشد، منحنی تنش– کرنش خاک دارای نقطه اوج مشخص‌تر است. در نمونه‌های عادی تحکیم یافته هر چه مقدار فشار جانبی در مرحله تحکیم خاک بالاتر باشد، مقدار مقاومت بالاتر خواهد بود. کرنش حجمی خاک نیز با افزایش کرنش محوری اضافه می‌شود. با ترسیم تخمینی مماس بر بخش اولیه خطی منحنی تنش-کرنش، می‌توان مشاهده کرد که با افزایش فشار همه جانبه، مقدار مدول الاستیسیته خاک افزایش می‌یابد.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

مقایسهٔ رفتار تنش- کرنش نمونه‌های طبیعی و دست‌نخورده مشابهت و هماهنگی نسبی خوبی با نمونه‌های بازسازی شده دارد و تفاوت اندک آن‌ها در میزان شیب بخش‌های بالارونده قسمت‌های ابتدایی منحنی‌ها است. شاید دلیل این امر وجود سیمان‌شدگی کم و تأثیر ساختار ضعیفی باشد که در خاک شکل گرفته است. این مقایسه هم نشان می‌دهد که در خاک‌های محدودهٔ شهر کرمان سیمان‌شدگی، ساختار و فابریک خاک توسعه و تکامل زیادی نداشته و مقاومت خاک ناشی از فشردگی و تحکیم آن است.

بررسی منحنی‌های تنش- کرنش حجمی در نمونه‌های طبیعی و بازسازی شده نشان می‌دهد که تفاوت رفتار نمونه‌های طبیعی و بازسازی شده این است که به‌دلیل ساختار جزئی شکل گرفته در نمونه‌های طبیعی، شیب منحنی‌ها در محدودهٔ تغییر شکل‌های ۲ تا ۵ درصد تندتر است. این آزمایش‌ها در شرایط زهکشی نشده نیز انجام شده که نتایج در شکل‌های ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۲ نشان داده شده است.



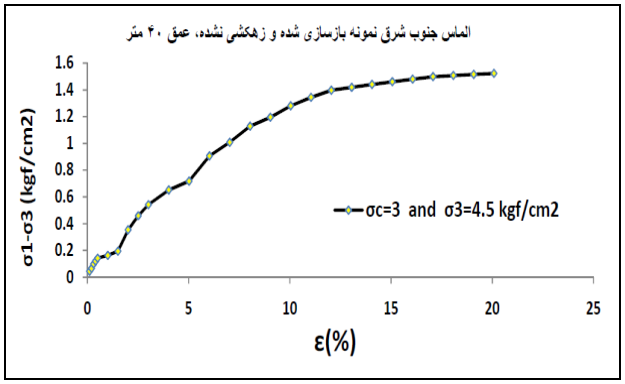
شکل۱۹. منحنی تغییرات تنش- کرنش محوری نمونه طبیعی و بازسازی شده و زهکشی نشده، شرکت کرمان پتک عمق ۸،۴۵- ۸ متر

نتیجه‌گیری

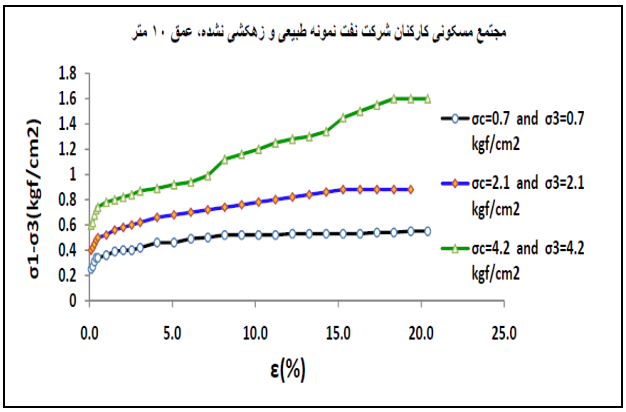
مدل رسوبی شهر کرمان نشان داد که سیلاب‌های فصلی شدید باعث حمل قطعه‌ها و ذرات خاک و نهشته شدن آن‌ها در ایستاب‌های محدودهٔ فعلی شهر کرمان شده‌اند. بعد از نهشته شدن رسوبات در تالاب رسوبی فرایندهایی بر ساختار و فابریک خاک اثر گذارده است. این

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

نهشته‌ها در مراحل اولیه به‌صورت خاکی تحکیم یافته عادی و فاقد ساختار است که طی زمان تحت اثر فرایندهای رسوبی به شرایط فعلی رسیده است. این نهشته‌ها عمدتاً ریزدانه است و در دو گروه CL و CL-ML قرار می‌گیرند. نتایج بررسی کانی‌شناسی این نهشته‌ها نشان‌دهندهٔ کانی‌های ایلیت، کلریت، اسمکتیت، هالوزیت، ایلیت–اسمکتیت و کلسیت هستند. در بررسی تصاویر میکروسکپ الکترونی در نهشته‌های گستره شهر آرایش فشرده و متراکم ذرات خاک مشاهده می‌گردد. ذرات عموماً دارای اتصال گوشه به گوشه است و در ساختار آن‌ها نظم مشخصی دیده نمی‌شود و آرایش ذرات تصادفی و بی‌نظم است.

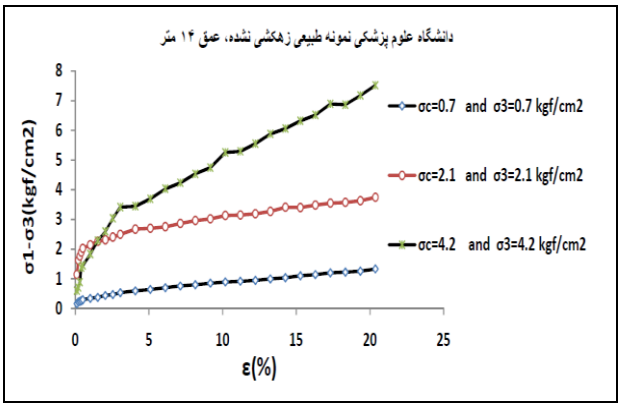


شکل ۲۰. منحنی‌های تنش- کرنش محوری نمونه بازسازی شده و زهکشی نشده، سایت الماس جنوب شرق عمق ٤٠ متر



شکل ۲۱. منحنی‌های تنش- کرنش نمونه‌های طبیعی زهکشی نشده، مجتمع مسکونی کارکنان شرکت نفت عمق ۱۰,٤٥-۱۰متر

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]



شکل۲۲. منحنی‌های تنش- کرنش محوری نمونه‌های طبیعی زهکشی نشده، دانشگاه علوم زشکی کرمان عمق ۱٤،٤٥-۱٤متر

مقایسه منحنی‌های تنش-کرنش نشان می‌دهند که مقدار سفتی خاک برای نمونه‌ها ناچیز است. علت این رفتار می‌تواند ناشی از وجود ترک های میکروسکوپی باشد. با افزایش تنش‌های ایزوتروپ در نمونه ها مقدار مقاومت و سفتی خاک افزایش می‌یابد، ولی حساسیت و شکنندگی آن تغییر نیافته و خاک به‌صورت غیرحساس رفتار می‌کند. مقایسه منحنی‌های تنش کرنش نمونه‌های بازسازی شده با نمونه‌های طبیعی و دست‌نخورده در حالت زهکشی نشده نشان می‌دهند که مطابقت و سازگاری قابل قبولی با یک‌دیگر دارند و رفتار خاک‌های دارای ساختار پایدار را از خود نشان می‌دهند. که مؤید این است که ساختار و فابریک در خاک‌های محدودهٔ شهر دارای توسعه چشم‌گیر نیست. مقایسه منحنی‌های بازسازی شده که مدل پیش تحکیمی در آن‌ها بازسازی شده است، با منحنی‌های تنش-کرنش در نمونه‌های طبیعی دست‌نخورده مبین پیش تحکیم بودن خاک کرمان در بسیاری از نقاط شهر است.

نتایج حاصل از مقایسه منحنی‌های تنش-کرنش خاک‌های بازسازی شده و نمونه‌های طبیعی و دست‌نخورده در حالت زهکشی شده نشان می‌دهد که مشابهت و هماهنگی نسبی خوبی بین نمونه‌های بازسازی شده و طبیعی وجود دارد. تفاوت اندکی در میزان شیب بخش‌های بالارونده قسمت‌های ابتدایی منحنی‌ها مشاهده می‌شود. دلیل این امر وجود

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

سیمان‌شدگی کم و تأثیر ساختار ضعیفی است که در خاک شکل گرفته است. بدیهی است که تأثیر محیط رسوبی و تداوم دوره‌های مختلف رسوب‌گذاری و فرسایش باعث شکل نگرفتن ساختار منسجم و پیشرفته در خاک‌های شهر کرمان شده است.

منابع

۱. اصغری ا.، *تأثیر سیمانی شدن بر مقاومت برشی و تغییر شکل‌پذیری خاک‌های درشت‌دانه با نگرشی به آبرفت‌های تهران*، پایان نامۀدکتری زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۱).

2. Fonseca J., O'sullivan C., Coop M.R., Lee P.D., "Quantifying the evolution of soil fabric during shearing using directional parameters", Geotechnique, 63(6) (2013) 487–499.

3. Gens A., Nova R., "Conceptual bases for a constitutive model for bonded soils and weak rocks, Proc. Int. Symp. on Geotech. Engere. of Hard Soils-Soft Rock", Balkema, Rotterdam 1 (1993) 485-494.

٤. حیدری م.، *بررسی ارتباط خصوصیات مکانیکی و ساختار خاک‌های ریزدانه جنوب تهران*، پایان نامۀ دکتری، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۰).

٥. مرادی هرسینی ک.، *ارتباط ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی نهشته‌های عهد حاضر با محیط رسوبی در دشت خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای*، پایان نامۀ دکتری دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۸۷).

6. Burland J. B., "On the compressibility and shear strength of natural clays", Geotechnique, 40(3) (1990) 329-378.

7. Coop M.R., Atkinson J.H., Taylor R.N., "Strength, yielding and stiffness of structured and unstructured soils", Pro. 11th Ecsmfe, Copenhagen, 1 (1995) 55-62.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]

8. Bell F.G., "The Speeton clay of North Yorkshire", England: an investigation of its geotechnical properties, Engineering Geology, 36 (1994) 257-266.
9. Jaksa M.B., "A database of geotechnical properties of Adelaids Keswick and Hindmarsh Clay", Department of Civil Engineering and Environmental Engineering, University of Adelaide (1993).
10. Bennet R.H., Curry C.W., Faas R.W., "Statistical database generation and geotechnical mine burial prediction maps for coastal shallow water fine-grained sediments", PI Seaprobe, Inc. (2004) 1-9.
۱۱. عباس نژاد، ا.، *حفرهٔ فروکش کارستی در اختیارآباد- شمال باختری کرمان*، نشریهٔ علوم زمین. بهار و تابستان، سال یازدهم شمارهٔ۵۱ (۱۳۸۳) ۳۵- ,۲۸
12. Kadjar M.H., Nazemzadeh M., Azizan H., Rowshanravan J., "The history of Kerman basin during the neogene and quaternary", Geological Survey of Iran, Regional Center for S.E.Iran (Kerman), (1996).
13. Kaniraj S., "Design aids in soil mechanics and foundation engineering", 3rd reprint, Indian Institute of Technology, Delhi. (1998).
14. Ehrmann W., Setti M., Marinoni L., "Clay minerals in Cenozoic sediments of Cape roberts (McMurdo Sound, Antarctica) reveal the paleoclimatic history Palaeogeography", palaeoclimatology, Palaeoecology, 229 (2005) 187-211.
۱۵. امجدی ص.، موسوی‌حرمی ر.، محمودی قرائی م.، محبوبی ا.، علیزاده کتک لاهیجانی ح.، *کانی‌شناسی رس‌های موجود در رسوبات فلات قاره دریای عمان ناحیه چابهار و ارتباط آن با برخاستگاه رسوبات*، مجلهٔ علمی پژوهشی اقیانوس‌شناسی، سال دوم، شماره ۸ (۱۳۹۰).

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-05-22]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1395.10.1.2.2]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.10.1.3245]