

Laboratory Investigation of GCL Moisture Absorption from Leachate-Contaminated Subsoil

Hamed Ghanbari¹  | Mohammad Reza Boroomand^{2*}  | Hamid Reza Saba³ 

¹Geotechnical Engineering Group, Department of Civil Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran

²Geotechnical Engineering Group, Department of Civil Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran

³Geotechnical Engineering Group, Department of Civil Engineering, Tafresh University, Tafresh, Iran

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Objective: Before making contact with leachate, GCL must be sufficiently hydrated. In other words, it must absorb enough moisture to create sealing properties. In doing so, it prevents the penetration of leachate into the subsoil. GCL absorbs moisture from the subsoil; then it swells and gets sealing properties. Therefore, investigating the moisture absorption behavior of GCL from the subsoil is important, thereby turning it into the subject of research for some researchers. This research seeks to study the moisture absorption behavior of GCL from the subsoil contaminated with leachate and the effects of leachate presence on the hydration of GCL and its sealing properties. Methods: This research investigated the moisture absorption behavior of GCL in three types of soils: sandy soil, mixed, and fine-grained were studied. Each of these soils had three different initial moisture percentages: sandy soil including 8%, 13%, and 23% while mixed soil and Fine-grained soil contained 2.4%, 12.4%, and 17.4%. Then the research studied the moisture absorption behavior of GCL in the leachate presence in three types of soils while the soils were contaminated with 3 % leachate. Results: The results of investigating the moisture absorption behavior of GCL demonstrated that in the presence of leachate, the amount of moisture absorbed by GCL in the tested period was less than the expected value. Conclusions: Leachate presence had a significant negative effect on GCL hydration reducing its amount from two times to six times.
Article history: Received 10 January 2024	
Received in revised form 14 February 2024	
Accepted 17 February 2024	
Published online 29 January 2024	
Keywords: GCL, leachate, hydration, subsoil.	

*Corresponding Author, Email: boroomand@tafreshu.ac.ir

Cite this article: Ghanbari, H., Boroomand, M.R., Saba, H.R. (2024). Laboratory Investigation of GCL Moisture Absorption from Leachate-Contaminated Subsoil, *Journal of New Approaches in Water Engineering and Environment*, <http://doi.org/>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/nawee.2024.463822.1090>

Publisher: Gonbad Kavous University.



بررسی آزمایشگاهی رفتار جذب رطوبت GCL از خاک زیرین آلوده به شیرابه

حامد قنبری^۱، محمد رضا برومند^{۲*}، حمیدرضا صبا^۳

^۱گروه مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران

^۲گروه مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران

^۳گروه مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تفرش، تفرش، ایران

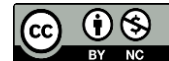
اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: GCL قبل از تماس با شیرابه باید به اندازه کافی هیدراته یا به عبارتی جذب رطوبت داشته باشند تا خاصیت آببندی پیدا کنند و مانعی در برابر نفوذ شیرابه به خاک زیرین باشند. GCL از خاک زیرین رطوبت جذب کرده، متورم شده، خاصیت آببندی پیدا می‌کند؛ از این رو بررسی رفتار جذب رطوبتی GCL از خاک زیرین اهمیت پیدا کرده و موضوع پژوهش برخی از محققان واقع شده است. هدف از این پژوهش بررسی رفتار جذب رطوبتی GCL از خاک زیرین آلوده به شیرابه و تأثیر حضور شیرابه بر هیدراتاسیون GCL و خاصیت آببندی آن است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۵	مواد و روش‌ها: در این پژوهش رفتار جذب رطوبتی GCL از سه نوع خاک ماسه‌ای، مخلوط و ریزدانه، برای هر یک از این خاک‌ها در سه درصد رطوبت اولیه متفاوت، برای خاک ماسه‌ای شامل ۸٪، ۱۳٪ و ۲۳٪، برای خاک مخلوط و خاک ریزدانه شامل ۴٪، ۲۴٪، ۱۲٪ و ۴٪، ۱۷٪ بررسی شد و نتایج آن ارائه گردید؛ سپس به بررسی رفتار جذب رطوبتی GCL در حضور شیرابه برای هر سه نوع خاک در شرایطی که خاک‌ها با سه درصد مختلف شیرابه آلوده شده بودند، پرداخته شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۷/۱۱	نتایج: نتایج بررسی رفتار جذب رطوبت GCL نشان می‌دهد که در حضور شیرابه مقدار رطوبت جذب‌شده توسط GCL در بازه زمانی مورد آزمایش کمتر از مقدار مورد انتظار بوده است.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۰	نتیجه‌گیری: وجود شیرابه تأثیر منفی به‌سزایی روی هیدراتاسیون GCL دارد که بیش از ۲ الی ۶ برابر کاهش را به همراه دارد.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۱۱/۱۰	
کلیدواژه‌ها: GCL، شیرابه، هیدراتاسیون، خاک زیرین.	

*نویسنده مسئول، Email: boroomand@tafreshu.ac.ir

استناد: قنبری، حامد، برومند، محمدرضا، صبا، حمیدرضا. (۱۴۰۳). بررسی آزمایشگاهی رفتار جذب رطوبت GCL از خاک زیرین آلوده به شیرابه.

رویکردهای نوین در مهندسی آب و محیط زیست،

<http://doi.org/10.22034/nawee.2024.463822.1090>



© نویسنده‌گان.

ناشر: دانشگاه گنبد کاووس.

مقدمه

خاک به عنوان خارجیتترین بخش کره زمین همراه مورد توجه ویژه مهندسان زمینشناس و عمران بوده است. رشد جمعیت در کنار انواع پارامترهای آلودهکننده کره زمین، از جمله آلودگی خاک و منابع آب زیرزمینی باعث گردیده است تا توجه به مسائل و مشکلات محیط زیست بیش از پیش مورد توجه جامعه مهندسی دنیا واقع شود. امروزه در بسیاری از کشورها از GCL در مراکز دفن زباله برای جلوگیری از آلودگی خاک و منابع آب زیرزمینی به دلیل نشت شیرابه استفاده میشود. موضوع هدایت هیدرولیکی مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته است که از جمله آن Ruhl و همکاران بودند که در سال ۱۹۹۷ به بررسی GCL نفوذ داده شده با محلولهای شیمیایی و شیرابهها پرداختند. Shackelford و همکاران در سال ۲۰۰۰ هدایت هیدرولیکی GCL نفوذ داده شده با مایعات غیراستاندارد را بررسی کردند. Shan و همکاران در سال ۲۰۰۲ تاثیر مایع هیدراتاسیون روی خواص هیدرولیکی GCL را بررسی کردند. Philips و همکاران (۲۰۰۲) استفاده از GCL در برنامههای مهار از دیدگاه استرالیایی را بررسی کردند. Rowe و همکاران در سال ۲۰۰۳ تاثیر GCL و نوع خاک زیرین روی فرسایش داخلی GCL ها تحت گرا دیانهای بالا را بررسی نمودند. Thiel و همکاران در سال ۲۰۰۳ به بررسی هدایت هیدرولیکی GCL تحت فشارهای محدودکننده مختلف برای سه نوع مختلف شیرابه پرداختند. Barroso و همکاران در سال ۲۰۰۶ به بررسی آزمایشگاهی سرعت جریان در لاینرهای مرکبی که متشکل از یک ژئوممبرین، یک GCL و یک لاینر مرکب است، پرداختند. Touse و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی رفتار هیدرولیکی GCL ها در تماس با شیرابه به عنوان قسمتی از لاینر مرکب پرداختند. Ishimori و همکاران (۲۰۱۲) تاثیرات دما روی ظرفیت تورمی و عملکرد GCL های نفوذ داده شده با محلولهای سدیم کلراید را بررسی کردند. Francesco و همکاران در سال ۲۰۱۳ نفوذ شیرابه مصنوعی غنی از فلز اسیدی از دو GCL مختلف را بررسی کردند. Rowe و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی آزمایشگاهی عملکرد GCL به عنوان پوشش زباله های معدنی آلوده به شیرابه پرداختند. Aldaeef و همکاران (۲۰۱۴) عملکرد هیدرولیکی CCL ها تحت دما و مواجهه با شیرابه را به طور همزمان بررسی کردند. Acikel و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی نفوذ شیرابه مصنوعی غنی از فلز اسیدی از دو GCL مختلف پرداختند. Weerasinghe و همکاران (۲۰۲۰) عوامل موثر بر عملکرد هیدرولیکی قسمت همپوشانی GCL را بررسی نمودند.

از معدود پژوهشهایی که درباره موضوع رفتار جذب رطوبتی GCL از خاک زیرین صورت گرفته است، میتوان به مواردی که در ادامه آورده شده است اشاره کرد. Rayhani و همکاران در سال ۲۰۱۱ به بررسی هیدراتاسیون سه نوع مختلف GCL از آب منفذی خاک زیرین تحت شرایط همدمايي پرداختند. همچنین Chevrier و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی مقدار رطوبت و سرعت هیدراتاسیون GCL در تماس با بسترهای مختلف پرداختند. آزمایشها در شرایط آزمایشگاهی و مقیاس میدانی انجام گرفت. Anderson و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی آزمایشگاهی هیدراتاسیون GCL از خاک ماسه رسی (SC) پرداختند. Sarabian و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی هیدراتاسیون دو GCL که در تماس با خاک رس زیرین قرار دارند، در درصد رطوبتهای اولیه گوناگون تحت شرایط دمایی ثابت اتاق و همچنین تحت سیکلهای حرارتی روزانه پرداختند. Rowe و همکاران در سال ۲۰۱۹ به بررسی تاثیر مقدار سیلت، چگالی تراکم و مقدار رطوبت خاک بستر روی هیدراتاسیون پنج GCL مختلف بر اساس مجموعههای از آزمایش ستونهای آزمایشگاهی انجام گرفته در یک دوره شش ساله پرداختند. در این پژوهش سعی شده است رفتار جذب رطوبتی GCL از خاکی که آلوده به شیرابه است در شرایط دمایی ثابت بررسی شود.

بدو و همکار (۱۳۹۲) با انجام یک سری آزمایشهای آزمایشگاهی، گزینه های مختلف لایه های مانع انتقال آلودگی (لاینر) را در مدفن زباله ارزیابی کردند. مصالح انتخاب شده لاینر، برای خصوصیات انتشار مولکولی مورد آزمایش قرار گرفته و ضریب انتشار مولکولی یون کلر تعیین گردید. با استفاده از ضرایب انتشار مولکولی تعیین شده در آزمایشگاه و سرعت جریان آب رو به پائین در مدلها، انتقال آلودگی مشاهده شده یون کلر به طریقه انتشار مولکولی - فرارفت با انتقال آلودگی پیشبینی شده با استفاده از مدل نظری، در گزینههای مختلف لاینرها مورد ارزیابی قرار گرفته و به عنوان لاینر موثر و مناسب در مدفن زباله برای کاهش انتقال آلودگی باهم مقایسه شدند. مقایسه غلظتهای مشاهدهای و نظری مدل شده نشان داد که توافق خوبی بین آنها وجود داشته و

مدل نظری استفاده شده قادر است به خوبی رفتار مدلهای آزمایشگاهی را پیشبینی کند. مقایسه غلظتهای مشاهده شده در سفره آب زیرزمینی شبیهسازیشده در کف لاینرهای مدلشده نشان داد که برای شرایط آزمایشگاهی در نظر گرفته شده در این مطالعه، هر سه گزینه لاینر انتخابی موانع خوبی از نظر کنترل انتقال آلودگی هستند، تفاوت معنیداری بین آنها وجود ندارد، و دارای عملکرد مشابهی هستند.

خدابنده و همکاران (۱۳۹۵) برای ارزیابی ظرفیت رمبندگی خاک رسی منطقه کلاله استان گلستان در اثر اشباعشدگی ناشی از نفوذ آلایندههایی از قبیل شیرابه ها مطالعاتی انجام دادند و در آن به بررسی خواص خمیری و رفتار فروریزی این نوع خاک با متغیر گرفتن درصد شیرابه و عامل زمان پرداختند. نتایج آزمایشها نشان داد که شیرابه طبیعی نسبت به آب فروریزش بیشتری در خاک ایجاد میکند و با افزایش درصد شیرابه طبیعی و گذشت زمان بیش از ۳۰ روز میزان فروریزش خاک افزایش مییابد. در این راستا محققین بسیاری به تحقیق در این زمینه پرداختند. Mohammadi و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی اثر یک ماده باز یافتی از جنس گچ بر بهبود پارامترهای مقاومتی خاک پرداختند. آنها دریافتند که با افزودن باسائیت (همراه با سیمان و آهک)، مقاومت فشاری محصور نشده خاک های تثبیت شده به طور قابل توجهی از ۳۷ کیلو پاسکال به ۶۰۳ کیلو پاسکال افزایش یافت. همچنین Mohammadi و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی تغییر خصوصیات ژئوتکنیکی خاک و ظرفیت باربری پرداختند.

فروغالدین و همکاران (۱۳۹۶) با توجه به ضرورت در نظر گرفتن توامان ملاحظات محیط زیستی و اقتصادی مطالعاتی انجام دادند. در این مطالعه برای جلوگیری از نفوذ شیرابه، چهار متغیر ارتفاع ترانشه دفن، عمر ترانشه دفن، قیمت زمین و فاصله از منبع قرضه خاک به عنوان متغیرهای موثر بر هزینه ساخت لاینر رسی منظور گردید. تغییرات ارتفاع ترانشه بین ۱۰ تا ۳۰ متر، تغییرات طول عمر ترانشه بین یک ماه تا دو سال و تغییرات فاصله از محل قرضه بین صفر تا ۱۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شد. مطالعه آنان نشان داد که افزایش ارتفاع ترانشه دفن در بخشهای مختلف منجر به کاهش هزینههای ساخت شد و تغییرات هزینه ساخت لاینر در طول عمرهای مختلف ترانشه، ابتدا روندی نزولی و در ادامه روند صعودی داشت. روند تغییرات هزینه کل متاثر از تغییرات هزینه زمین و نشاندهنده اهمیت قیمت زمین در ارزیابی هزینههای کلی احداث لاینر بوده، افزایش فاصله از محل قرضه منجر به افزایش چشمگیر هزینههای ساخت لاینر رسی میشود. استفاده از لاینرهای رسی ژئوسنتتیک نسبت به لاینر رسی متراکم شدهای (که از معدن قرضه به فاصله بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر حمل شود) صرفه اقتصادی بیشتری دارد. عمر ترانشه دفن متغیری است که محدودیت کمتری برای طراح ایجاد میکند؛ لذا بررسی هزینهها در بخشهای مختلف ساخت لاینر رسی متراکم شده حاکی از آن است که تغییرات پارامترهای مختلف به شکل معنیداری در تغییرات هزینه ساخت لاینر موثر بوده، برای تعیین حد بهینه برای هر پارامتر باید با استفاده از یک مدل اقتصادی، توابع هزینه استخراج و نسبت به بهینهسازی آن در هر منطقه اقدام شود.

علیرغم مطالعات نسبتاً گسترده داخلی و خارجی در خصوص موضوع مقاله حاضر در مطالعه دیگر محققان کمتر به موضوع هیدراتاسیون GCL پرداخته شده است. مقاله حاضر به بررسی رفتار جذب رطوبتی GCL از خاک زیرین آلوده به شیرابه پرداخته و در آن تاثیر حضور شیرابه بر روی هیدراتاسیون GCL و خاصیت آب بندی ایجاد شده با توجه به عامل زمان مورد توجه قرار گرفته است. برای بررسی رفتار جذب رطوبتی GCL از سه نوع خاک ماسه‌ای، مخلوط و ریزدانه استفاده شده و برای هر یک از این خاک ها سه درصد رطوبت اولیه متفاوت منظور شده است. درصد رطوبت برای خاک ماسه‌ای شامل ۰.۸٪، ۱.۳٪ و ۲.۳٪، برای خاک مخلوط و خاک ریزدانه شامل ۰.۲/۴٪، ۱.۲/۴٪ و ۱.۷/۴٪ اعمال شده است. عامل زمان نیز تا ۴،۰۰۰ ساعت به عنوان یک متغیر در مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL مورد توجه قرار گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

GCL . ۱،۲

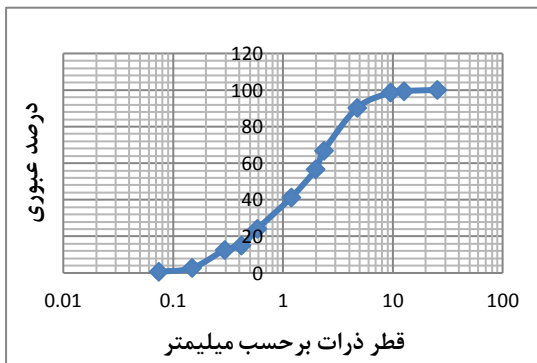
GCL بکار رفته در آزمایشات از شرکت کامپوزیت مکرر تهیه شده و از نوع نفاخته^۱ بوده که توسط نیدل پانچینگ^۲ دولایه ژئوتکستایل آن بهم متصل شده اند. پارامترهای مربوط به GCL بکار رفته درون آن در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات فنی و استاندارد های مربوط به GCL مورد استفاده

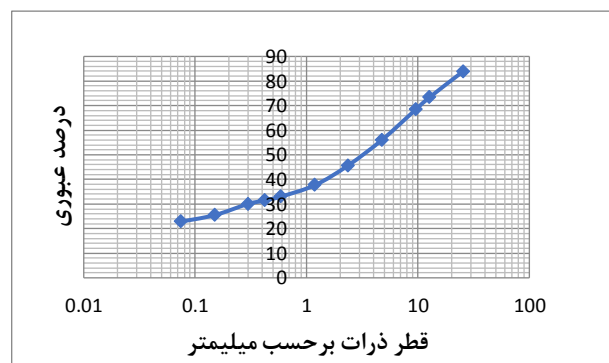
مشخصات GCL	استاندارد مربوطه	واحد اندازه گیری	
Thickness	ASTM 5994	mm	6
Mass per unit area	ASTM D5993	g/m ²	5000
Moisture content	ASTM D5993	%	≤35
Permeability	ASTM D5887	m/s	≤5*10 ⁻¹¹

۲-۲- خاک زیرین

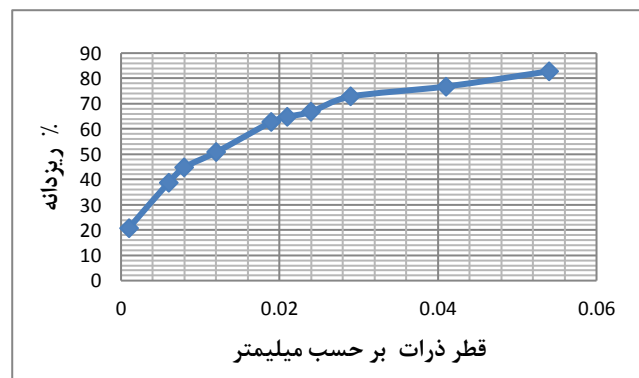
نمونه خاک بکار رفته در آزمایش از خاک طبیعی و مصالح موجود در شهرستان تفرش تهیه شده است. سه نوع خاک ماسه رسی (SC)، ماسه از نوع خوب دانه بندی شده (SW) و خاک ریزدانه از نوع رس و لای با خاصیت خمیری کم (CL-ML) در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت که منحنی دانه بندی آن ها در شکل های ۱ و ۲ و ۳ آورده شده است. بیشینه وزن مخصوص خشک ماسه رسی (SC) و ماسه (SW) به ترتیب برابر ۱/۹۷g/m³ و ۱/۶۸g/m³ و برای خاک ریزدانه برابر ۱/۹۲g/m³ است و رطوبت بهینه ماسه رسی و خاک ریزدانه برابر ۱۲/۴٪ و حدشباع ماسه (SW) برابر ۲۳٪ است.



شکل ۱- نمودار دانه بندی ماسه (SW)



شکل ۲- نمودار دانه بندی ماسه رسی (SC)



شکل ۳- نمودار هیدرومتری خاک ریزدانه

^۱ Non woven

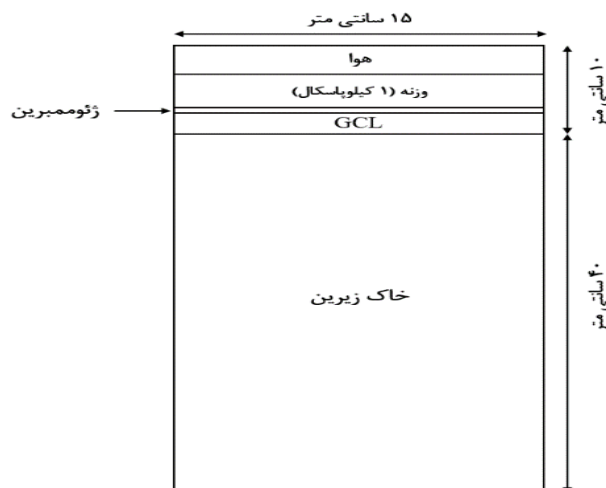
^۲ Needlepunching

۲-۳ - شیرابه

شیرابه مورد نظر از محل جمع آوری زباله های شهری در شهر تفرش تهیه شده است.

۲-۴ - روش تحقیق

در این پژوهش از ۹ سیلندر از جنس PVC که دارای قطر داخلی ۱۵cm و ارتفاع ۵۰cm بوده و اطراف آن توسط فوم پوشیده شده تا شرایط ایزوله برای نمونه و خاک درون سیلندر ایجاد کند استفاده گردید. ابتدا هر سه نمونه خاک (خاک ریزدانه، ماسه، مخلوط) بدون حضور شیرابه هر یک در سه سلول با درصد رطوبت های مختلف و وزن مخصوص مشخص در لایه های ۵cm و تا ارتفاع ۴۰cm سیلندر متراکم شدند. برای خاک مخلوط و ریزدانه در رطوبت های ۱۲/۴٪، ۱۷/۴٪ و ۲۴٪ که رطوبت ۱۲/۴٪ مربوط به رطوبت بهینه هردو خاک که طبق آزمایش تراکم استاندارد بدست آمده و درون سیلندر عمل تراکم صورت گرفت. خاک ماسه ای هم در سه محفظه و در رطوبت های ۲۳٪، ۱۳٪ و ۸٪ که رطوبت ۲۳٪ مربوط به رطوبت حد اشباع ماسه میباشد درون سیلندر قرار داده شد. نمونه GCL پس از قرارگیری خاک ها درون سیلندر ها روی نمونه خاک قرار گرفته و یک لایه ژئوممبرین و سپس یک وزنه دو کیلویی برای تماس بهتر GCL با خاک و همچنین شبیه سازی شرایط کف لندفیل روی آن قرار داده می شود. محفظه ها درون آزمایشگاه و در دمای اتاق نگهداری شدند. وزن GCL ها قبل از قرار گیری اندازه گیری شده و پس از قرارگیری روی خاک در بازه های زمانی ۲۴، ۴۸، ۷۲، ۹۶ ساعت و بعد هر ۳ الی ۴ روز یکبار اندازه گیری شدند و نتایج آن روی نمودار رسم گردید. در شرایط حضور شیرابه مقدار شیرابه اضافه شده به هر نمونه خاک برابر با همان مقدار رطوبتی است که در شرایط عدم حضور شیرابه به خاک اضافه شده است. برای خاک ریزدانه و مخلوط مقدار شیرابه اضافه شده برابر ۱۲/۴٪، ۱۷/۴٪ و ۲۴٪ و برای ماسه برابر ۲۳٪، ۱۳٪ و ۸٪ است. برای ایجاد شرایط همگن نمونه خاک ها قبل از قرار گیری درون محفظه ها کاملاً با شیرابه مخلوط گردیدند و مانند قبل پس از قرارگیری GCL روی نمونه خاک های آلوده وزن GCL در بازه های زمانی مشخصی اندازه گیری شده و نتایج آن روی نمودارهای مربوطه مشخص گردید.



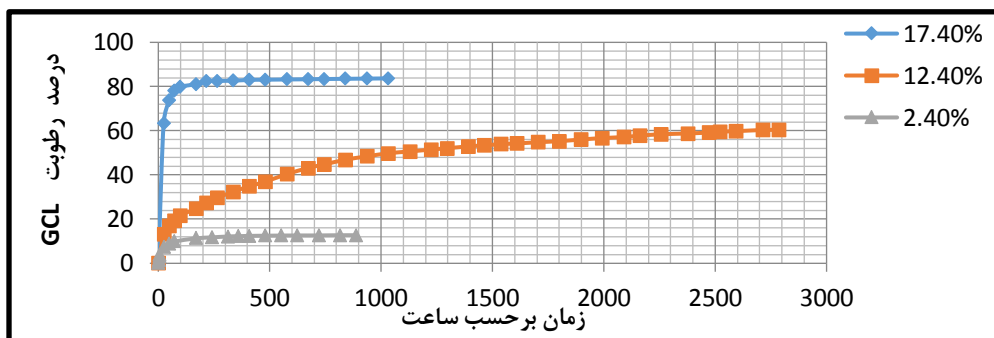
شکل ۴ - تصویری شماتیک از محفظه انجام آزمایش

۳- نتایج و بحث

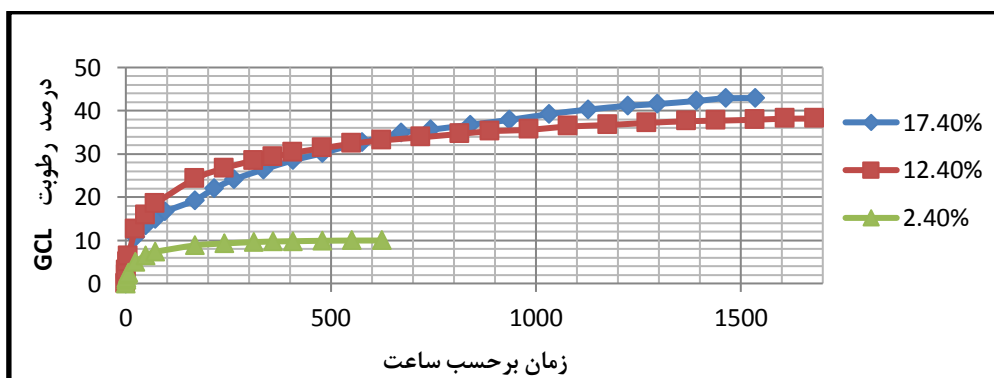
۳-۱- نتایج آزمایش بدون حضور شیرابه

برای خاک مخلوط (SC) و ریزدانه (CL-ML) مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL در رطوبت های اولیه ی ۱۲/۴٪، ۱۷/۴٪ و ۲۴٪ و برای ماسه (SW) در رطوبت های ۸٪، ۱۳٪ و ۲۳٪ نسبت به زمان به تفکیک در نمودارهای شکل های ۵ و ۶ و ۷ نمایش

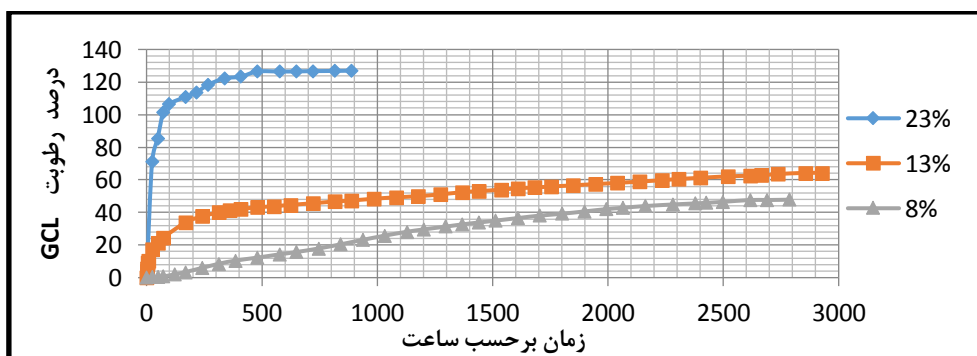
داده شده است. همانطور که انتظار می‌رفت برای هر سه نوع خاک بکاررفته با افزایش درصد رطوبت اولیه مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL افزایش پیدا کرد. در خاک مخلوط برای رطوبت اولیه ۱۷/۴٪ GCL زودتر از همه به شرایط پایدار رسید و بعد از آن رطوبت‌های ۱۲/۴٪ و ۲/۴٪ به ترتیب به تعادل رسیدند. در خاک ریزدانه GCL ابتدا در رطوبت اولیه ۲/۴٪ و بعد از آن در درصد رطوبت‌های اولیه ۱۷/۴٪ و ۱۲/۴٪ به شرایط پایدار رسید و در خاک ماسه‌ای GCL قرار گرفته روی نمونه خاکی که دارای رطوبت اولیه ۲۳٪ بوده زودتر از بقیه به شرایط تعادل رسیده و بعد از آن رطوبت‌های ۸٪ و ۱۳٪ هستند و GCL قرار گرفته روی این دو نمونه خاک تقریباً همزمان باهم به شرایط تعادل رسیدند.



شکل ۵ - نمودارهای مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از خاک مخلوط در رطوبت‌های اولیه متفاوت



شکل ۶ - نمودارهای مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از خاک ریزدانه در رطوبت‌های اولیه متفاوت

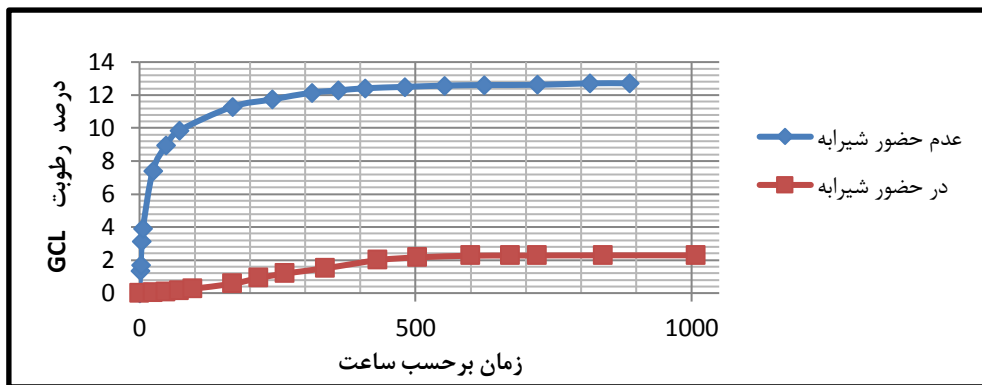


شکل ۷ - نمودارهای مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از خاک ماسه‌ای در رطوبت‌های اولیه متفاوت

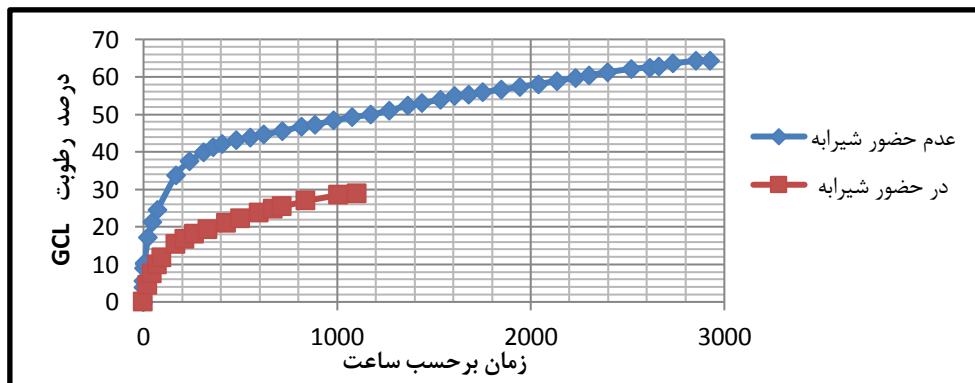
۲-۳- نتایج آزمایش در حضور شیرابه

برای هر سه نمونه خاک مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL در حضور شیرابه در مقایسه با رطوبت جذب شده GCL بدون حضور شیرابه در همان درصد رطوبت اولیه به تفکیک نسبت به زمان در شکل‌های ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ نمایش داده شده است. در حضور شیرابه نیز با افزایش مقدار شیرابه خاک زیرین برای هر سه نمونه خاک درصد رطوبت جذب شده افزایش می‌یابد، ولی در مقایسه با نمونه خاک‌هایی که فاقد شیرابه هستند مقدار رطوبت نهایی که توسط GCL جذب می‌شود به طور قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. بیشترین مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL مربوط به خاک مخلوط (SC) در رطوبت‌های اولیه ۱۲/۴٪ و ۱۷/۴٪ است؛ این در حالی است که رطوبت اولیه ماسه (SW) بیشتر از این مقادیر بوده ولی مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL کمتر از خاک مخلوط (SC) است. در شرایط بدون حضور شیرابه قضیه کاملاً فرق می‌کند و بیشترین مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL مربوط به ماسه (SW) در رطوبت‌های اولیه ۱۳٪ و ۲۳٪ است.

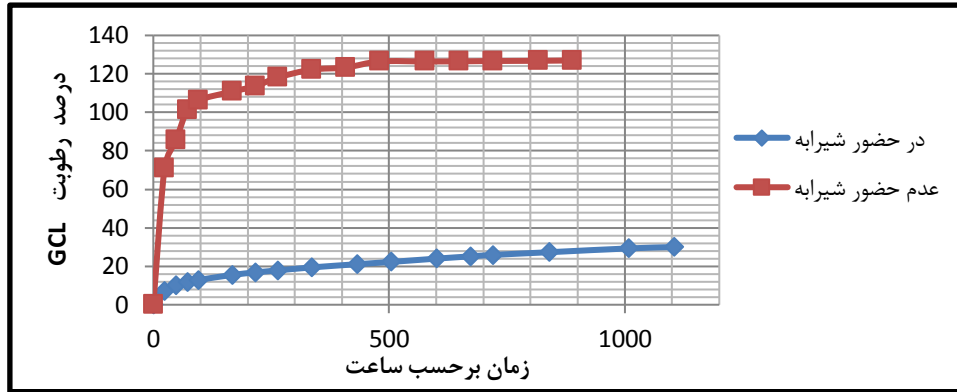
در شرایط عدم حضور شیرابه برای هر سه نوع خاک بکار رفته با افزایش درصد رطوبت اولیه مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL افزایش پیدا کرد. در خاک مخلوط برای رطوبت اولیه ۱۷/۴٪ GCL زودتر از همه به شرایط پایدار رسید و بعد از آن رطوبت‌های ۲/۴٪ و ۱۲/۴٪ به ترتیب به تعادل رسیدند. در خاک ریزدانه GCL ابتدا در رطوبت اولیه ۲/۴٪ و بعد از آن در رطوبت‌های اولیه ۱۷/۴٪ و ۱۲/۴٪ به شرایط پایدار رسید و در خاک ماسه‌ای GCL قرارگرفته روی نمونه خاکی که دارای رطوبت اولیه ۲۳٪ هست زودتر از بقیه به شرایط تعادل رسیده و بعد از آن رطوبت‌های ۸٪ و ۱۳٪ هستند و GCL قرار گرفته روی این دو نمونه خاک تقریباً همزمان باهم به شرایط تعادل رسیدند. زمانی که GCL روی خاک‌های الوده به شیرابه قرار گیرد مقداری هیدراته می‌شود که این مقدار رطوبت بسیار کم و در بهترین حالت در بازه زمانی مورد آزمایش برای خاک مخلوط نزدیک به ۳۰٪ می‌رسد.



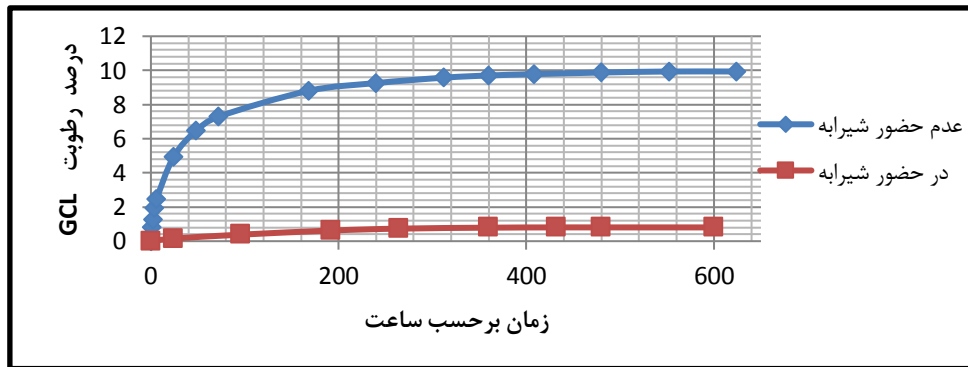
شکل ۸- نمودارهای مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از خاک مخلوط با رطوبت اولیه ۲/۴٪ در حضور و عدم حضور شیرابه



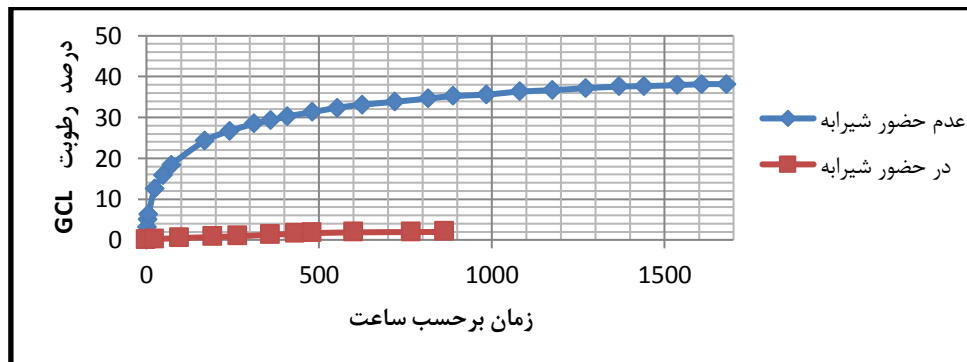
شکل ۹- نمودارهای مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از خاک مخلوط با رطوبت اولیه ۱۲/۴٪ در حضور و عدم حضور شیرابه



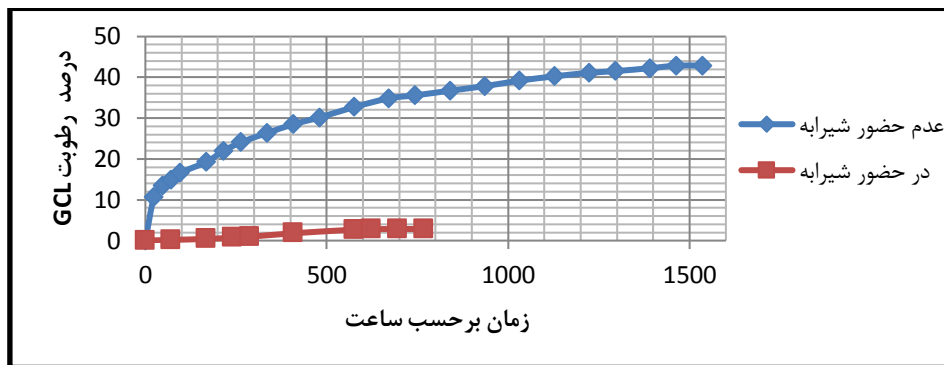
شکل ۱۰- نمودارهای مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از خاک مخلوط با رطوبت اولیه ۱۷/۴٪ در حضور و عدم حضور شیرابه



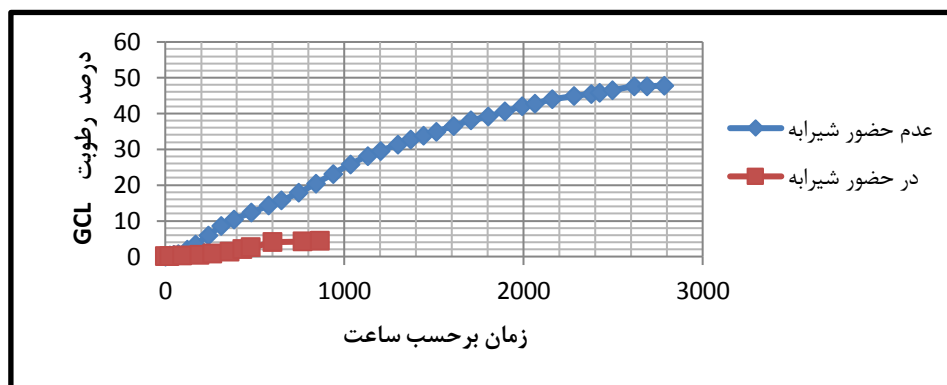
شکل ۱۱- نمودارهای مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از خاک ریزدانه با رطوبت اولیه ۲/۴٪ در حضور و عدم حضور شیرابه



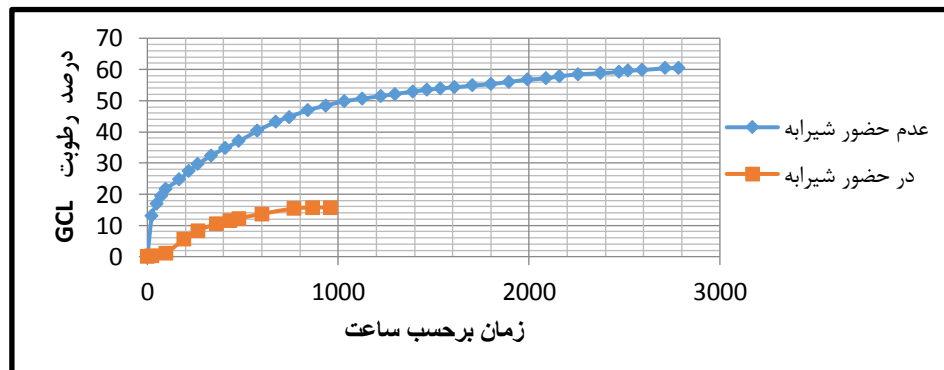
شکل ۱۲- نمودارهای مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از خاک ریزدانه با رطوبت اولیه ۱۲/۴٪ در حضور و عدم حضور شیرابه



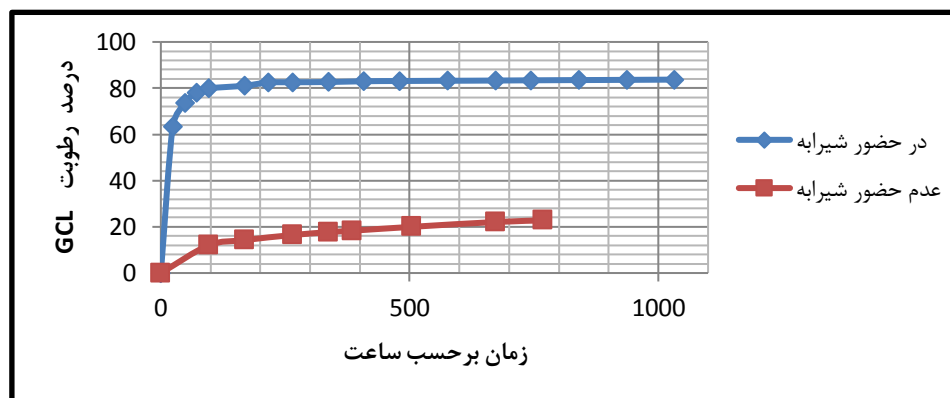
شکل ۱۳- نمودارهای مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از خاک ریزدانه با رطوبت اولیه ۱۷/۴٪ در حضور و عدم حضور شیرابه



شکل ۱۴- نمودارهای مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از خاک ماسه‌ای با رطوبت اولیه ۸٪ در حضور و عدم حضور شیرابه

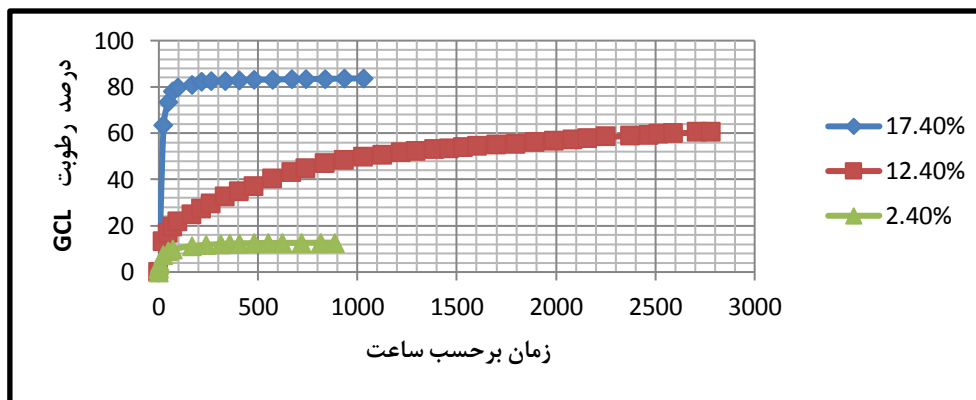


شکل ۱۵- نمودارهای مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از خاک ماسه‌ای با رطوبت اولیه ۱۳٪ در حضور و عدم حضور شیرابه

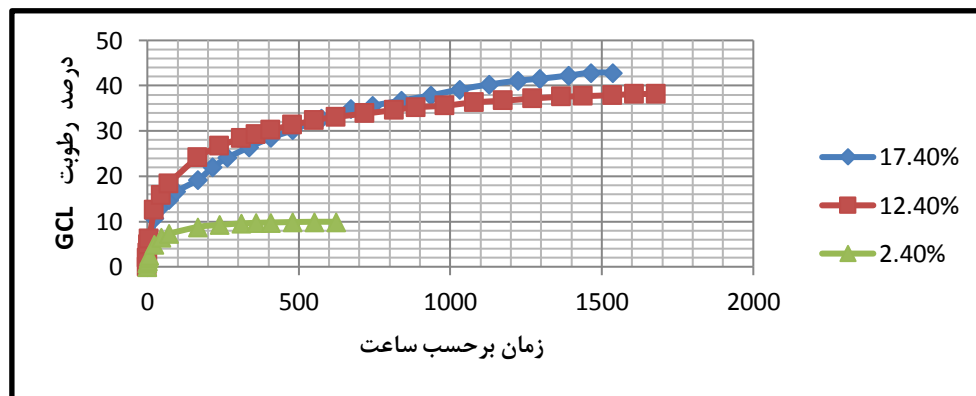


شکل ۱۶- نمودارهای مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از خاک ماسه‌ای با رطوبت اولیه ۲۳٪ در حضور و عدم حضور شیرابه

مطابق نمودار شکل‌های ۱۷ و ۱۹ در خاک‌های مخلوط (SC) و ماسه (SW) بدلیل نوع دانه‌بندی که ناشی از حضور قابل توجه ماسه در آن‌ها است، در رطوبت‌های اولیه ۱۷/۴٪ برای خاک مخلوط و ۲۳٪ برای خاک ماسه‌ای، جهش قابل توجهی در جذب رطوبت GCL در روزهای اولیه رخ داده است که دلیل آن خاصیت پایین نگهدارندگی ماسه در حد مشخصی از رطوبت است که باعث افزایش قابل توجه جذب رطوبت GCL در زمان‌های اولیه می‌گردد.

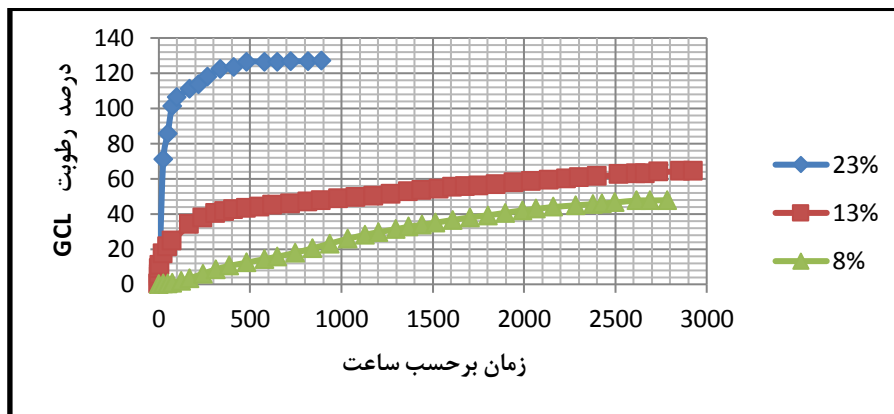


شکل ۱۷- رفتار جذب رطوبتی GCL از خاک مخلوط (SC) در سه درصد رطوبت مختلف

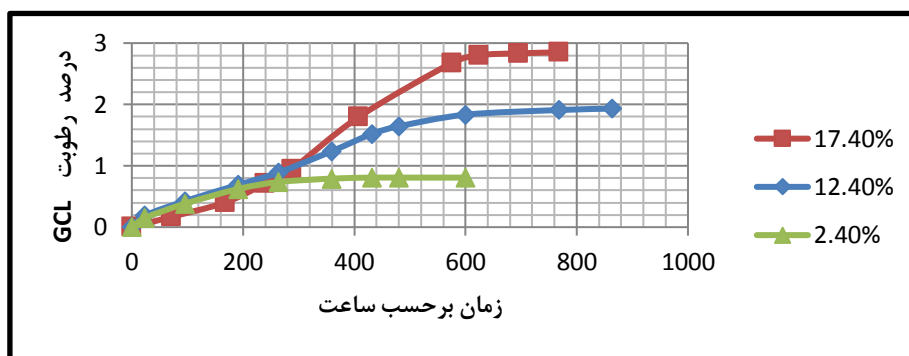


شکل ۱۸- رفتار جذب رطوبتی GCL از خاک ریزدانه (CL - ML) در سه درصد رطوبت مختلف

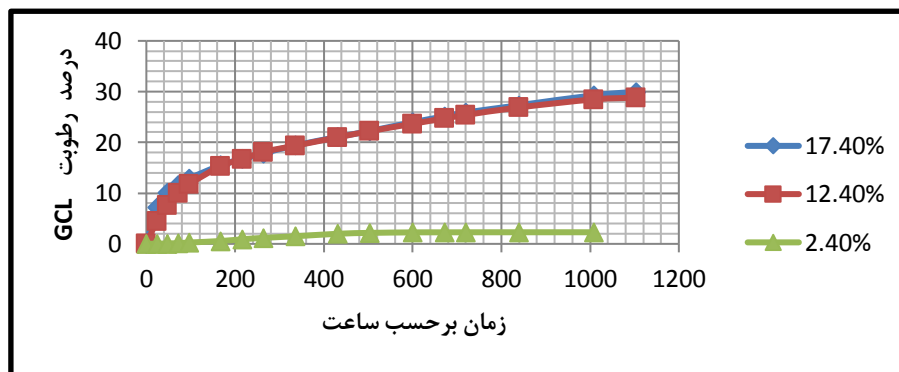
در شکل ۱۹ نمودار مربوط به جذب رطوبت GCL در رطوبت اولیه ۱۳٪ دارای نوساناتی است که دلیل آن می‌تواند تغییرات دمای محفظه انجام آزمایش در هنگام باز کردن و حمل نمونه GCL جهت اندازه‌گیری باشد. همان‌طور که از نمودار شکل‌های ۱۹ و ۲۰ و ۲۱ مشخص است، در حضور شیرابه با افزایش مقدار شیرابه خاک زیرین برای هر سه نمونه خاک درصد رطوبت جذب شده افزایش می‌یابد، ولی در مقایسه با نمونه خاک‌هایی که فاقد شیرابه هستند، این مقدار بسیار کمتر است. نکته قابل توجه این است که انتظار می‌رفت بیشترین مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از ماسه (SW) باشد؛ چراکه در شرایط بدون حضور شیرابه بیشترین مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL از ماسه (SW) است، ولی این اتفاق پیش نیامد.



شکل ۱۹- رفتار جذب رطوبتی GCL از ماسه (SW) در سه درصد رطوبت مختلف



شکل ۲۰- رفتار جذب رطوبتی GCL در حضور شیرابه از خاک ریزدانه (CL - ML) در سه درصد رطوبت مختلف



شکل ۲۱- رفتار جذب رطوبتی GCL در حضور شیرابه از ماسه (SC) در سه درصد رطوبت مختلف

برطبق نتایج به دست آمده توسط محققان قبلی از عوامل تعیین کننده در بررسی رفتار جذب رطوبتی GCL از خاک زیرین خاصیت موئینگی و ویژگی نگهدارندگی آب توسط خاک بستر است که با توجه به رفتار مشاهده شده توسط GCL قرار گرفته روی خاک ماسه‌ای آلوده به شیرابه برای این نمونه خاک نقش تعیین کننده‌ای نداشته و عوامل دیگری باعث اختلال در رفتار این خاک شده‌اند؛ چراکه دلیل اصلی این که خاک ماسه‌ای در شرایط بدون حضور شیرابه نسبت به دو نمونه دیگر درصد رطوبت بیشتری را نتیجه می‌دهد، خاصیت موئینگی بیشتر و ویژگی نگهدارندگی آب کمتر به دلیل نوع دانه‌بندی آن است که در حضور شیرابه چنین وضعیتی به وجود نمی‌آید.

بیشترین مقدار رطوبت جذب شده در حضور شیرابه از خاک مخلوط (SC) است که این امر نیز نشان دهنده تاثیر کم موینگی و خاصیت نگهدارندگی آب در حضور شیرابه است. برای ایجاد خاصیت آب بندی در لاینر مربوط GCL باید ۱۰۰٪ رطوبت جذب کند؛ از این رو نمی توان به تنهایی روی جذب رطوبت GCL از خاک آلوده حساب کرد و GCL باید حتما قبل از قرارگیری روی خاک الوده به اندازه کافی هیدراته شده باشند و حضور شیرابه در خاک زیرین تاثیر منفی قابل توجهی روی هیدراتاسیون GCL داشته و باید حتما خاک بستری که قرار است GCL روی آن قرار گیرد مورد بررسی و در صورت آلوده بودن در کوتاه ترین زمان ممکن اقدام به پاکسازی آن از الودگی های موجود و همچنین اقداماتی جهت پیش گیری از آلوده شدن خاک به شیرابه و سایر آلاینده ها تا مدت زمانی که GCL به اندازه کافی هیدراته شده باشد صورت گیرد.

نتیجه گیری

در این مقاله رفتار جذب رطوبتی GCL از خاک زیرین آلوده به شیرابه مورد مطالعه قرار گرفته و در آن تاثیر حضور شیرابه بر روی هیدراتاسیون GCL و خاصیت آب بندی ایجاد شده با توجه به عامل زمان بررسی شده است. مهمترین نتایج به دست آمده عبارت است از :

- ۱- برای هر سه نوع خاک به کاررفته در شرایط عدم حضور شیرابه با افزایش درصد رطوبت اولیه، مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL افزایش می یابد.
- ۲- در خاک مخلوط با رطوبت اولیه ۱۷/۴٪ GCL زودتر از همه به شرایط پایدار رسید و بعد از آن رطوبت های ۲/۴٪ و ۱۲/۴٪ به ترتیب به تعادل رسیدند. در خاک ریزدانه GCL ابتدا در رطوبت اولیه ۲/۴٪ و بعد از آن در رطوبت های اولیه ۱۷/۴٪ و ۱۲/۴٪ به شرایط پایدار رسید و در خاک ماسه ای GCL قرار گرفته روی نمونه خاکی که دارای رطوبت اولیه ۲۳٪ هست زودتر از بقیه به شرایط تعادل رسیده و بعد از آن رطوبت های ۸٪ و ۱۳٪ هستند و GCL قرار گرفته روی این دو نمونه خاک تقریبا همزمان باهم به شرایط تعادل رسیدند.
- ۳- در شرایطی که GCL روی خاک های آلوده به شیرابه قرار گیرد مقداری هیدراته می شود که این مقدار رطوبت بسیار کم و در بهترین حالت در بازه زمانی مورد آزمایش برای خاک مخلوط نزدیک به ۳۰٪ می رسد.
- ۴- در خاک مخلوط (SC) در رطوبت اولیه ۱۷/۴٪ و در خاک ماسه ای (SW) در رطوبت اولیه ۲۳٪، جهش قابل توجهی در جذب رطوبت GCL در روزهای اولیه رخ داده است.
- ۵- در خاک ماسه ای (SW) جذب رطوبت GCL در رطوبت اولیه ۱۳٪ دارای نوساناتی بوده که مرتبط با تغییرات دمای محفظه انجام آزمایش در هنگام باز کردن و حمل نمونه GCL است.
- ۶- برای هر سه نمونه خاک در حضور شیرابه با افزایش مقدار شیرابه خاک زیرین، درصد رطوبت جذب شده افزایش می یابد ولی در مقایسه با نمونه خاک هایی که فاقد شیرابه هستند این مقدار بسیار کمتر است.
- ۷- در شرایط بدون حضور شیرابه بیشترین مقدار رطوبت جذب شده توسط GCL در ماسه ای (SW) است ولی چنین نتیجه ای با حضور شیرابه در این خاک حاصل نگردید.
- ۸- نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می دهد که مناسبترین شرایط در رفتار جذب رطوبت GCL از خاک زیرین آلوده به شیرابه مربوط به خاک ماسه ای (SW) است.

منابع

بدو، ک.، و نجف زاده، م. ۱۳۹۲. مقایسه عملکرد لایه های مانع انتقال آلودگی با استفاده از مدل های آزمایشگاهی. دانش آب و خاک مجله علمی پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز، دوره ۲۳: ۲(۲)، صفحه ۸۴-۷۱.

خدابنده، م.ع.، بشارتی نژاد، ع.، حسینی س.م. ۱۳۹۵. بررسی آزمایشگاهی تاثیر آلودگی شیرابه زباله های شهری بر رفتار خاک های فروریزی. چهارمین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری.

فروغ الدین، م.، جلیلی قاضی زاده، م.، میرابی، م.، نظری، م. ۱۳۹۶. ارزیابی پارامترهای موثر بر هزینه ساخت لاینر رسی مترکم در محل های دفن پسماند شهری- نشریه علوم محیطی، دوره ۱۵، شماره ۴، صفحات ۱۹۲-۱۷۷.

- Acikel, A.S. Gates, W.P., Singh, R.M., ouazza, A.B. Rowe, R.K. 2018. Insufficient initial hydration of GCLs from some subgrades: *Factors and causes* , 46 , 770-781.
- Aldaeef, A. A., & Rayhani, M. T. 2014. Hydraulic performance of Compacted Clay Liners (CCLs) under combined temperature and leachate exposures. *Waste Management*, 34(12), 2548-2560.
- Anderson, R., Rayhani, M. T., & Rowe, R. K. 2012. Laboratory investigation of GCL hydration from clayey sand subsoil. *Geotextiles and Geomembranes*, 31, 31-38.
- Badou K, Najafzadeh M. 2013. Comparing the performance of pollution barrier layers using laboratory models. *Soil and Water Science, Scientific Research Journal of the Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Volume 23, Issue 2, Serial Number 2, Pages 84-71. (in Persian)*
- Chevrier, B., Cazaux, D., Didier, G., Gamet, M., & Guyonnet, D. 2012. Influence of subgrade, temperature and confining pressure on GCL hydration. *Geotextiles and Geomembranes*, 33, 1-6.
- Forougheddin M., Jalili Ghazizadeh M., Mirabi M., Nazari M. R. 2017. Evaluation of effective parameters on the cost of constructing dense clay liners in urban waste landfills - *Journal: Environmental Sciences, Volume 15, Issue 4, Pages 192-177. (in Persian)*
- Ishimori, H., & Katsumi, T. 2012. Temperature effects on the swelling capacity and barrier performance of geosynthetic clay liners permeated with sodium chloride solutions. *Geotextiles and Geomembranes*, 33, 25-33.
- Jo, H. Y., Benson, C. H., Shackelford, C. D., Lee, J. M., & Edil, T. B. 2005. Long-term hydraulic conductivity of a geosynthetic clay liner permeated with inorganic salt solutions. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 131(4), 405-417.
- Khodabandeh M. A., Beshartanejad A, Hosseini S. M. 2016. Laboratory investigation of the effect of urban waste leachate pollution on the behavior of collapsing soils. Fourth National Conference on Applied Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Management. *(in Persian)*
- Madalena Barroso, Nathalie Touze-Foltz , Kent von Maubeuge , Patrick Pierson .2006. Laboratory investigation of flow rate through composite liners consisting of a geomembrane, a GCL and a soil liner , 24 , 139-155.
- Mazzieri, F., Gemmina Di, E., Evelina F., Marta Di S., Pasqualini, E. 2013. Permeation of two GCLs with an acidic metal-rich synthetic leachate, 40 , 1-11.
- Mohammadi, A. & Broomand, M. R. 2021, Strength and Durability of Soft Clay Stabilized with Recycled Gypsum (Bassanite), *Advances in Civil Engineering Materials* 10(1). 16-33. DOI: 10.1520/ACEM20190154
- Mohammadi A, Ebadi T, Broomand MR. 2019. Physical modelling of axial compressive bearing capacity of instrumented piles in oil-contaminated sandy soil. *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng*. <https://doi.org/10.1007/s40996-019-00279-7>
- Nathalie T. F , Christian D., Emeric G. 2006. Hydraulic and mechanical behavior of GCLs in contact with leachate as part of a composite liner, 24 , 188-197.
- Phillips, P., & Eberle, M. 2001. The use of Geosynthetic Clay Liners (GCL's) in containment applications-an Australian perspective. *Environmental Geotechnics*, 365-371.
- Rayhani, M.T, Rowe, R.K., Brachman, R.W.I., Take, W.A., Siemens, G., (2011). Factors affecting GCL hydration under isothermal conditions, 29, 525-533.
- Rowe, R. K., & Orsini, C. 2003. Effect of GCL and subgrade type on internal erosion in GCLs under high gradients. *Geotextiles and Geomembranes*, 21(1), 1-24.

- Rowe, R. K., & Hosney, M. S. 2013. Laboratory investigation of GCL performance for covering arsenic contaminated mine wastes. *Geotextiles and Geomembranes*, 39, 63-77.
- Rowe Kerry, R., Garcia, J. D. D., Brachman, R. W. I., & Honsey, M. S. 2019. Chemical interaction and hydraulic performance of geosynthetic clay liners isothermally hydrated from silty sand subgrade. *Geotextiles and Geomembranes*.
- Ruhl, J. L., & Daniel, D. E. 1997. Geosynthetic clay liners permeated with chemical solutions and leachates. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(4), 369-381.
- Sarabian, T., & Rayhani, M. T. 2013. Hydration of geosynthetic clay liners from clay subsoil under simulated field condition. *Waste Management*, 33, 67-73.
- Shackelford, C. D., Benson, C. H., Katsumi, T., Edil, T. B., & Lin, L. 2000. Evaluating the hydraulic conductivity of GCLs permeated with non-standard liquids. *Geotextiles and Geomembranes*, 18(2), 133-161.
- Shan, H. Y., & Lai, Y. J. 2002. Effect of hydrating liquid on the hydraulic properties of geosynthetic clay liners. *Geotextiles and Geomembranes*, 20(1), 19-38.
- Thiel, R.S., & Criley, K. 2003. Hydraulic Conductivity of a GLC Under Various High Effective Confining Stresses for Three Different Leachates. *Journal of Geosynthetics International*.
- Weerasinghe, I.A., Gallage, C., Dawes, L., Kendall, P. 2020. Factors affecting the hydraulic performance of a geosynthetic clay liner overlap. *Journal of Environmental Management* (vol.271).
- Weerasinghe, I.A., Gallage, C., Dawes, L., Kendall, P. 2021. Effect of overburden confining stress on hydraulic performance of geosynthetic clay liner, 49, 1451 – 1469.