Archive of SID

اولین کنفرانس ملّی مکانیک خاک و مهندسی پی
دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی تهران
۱۲ و ۱۳ آذرماه۱۳۹۳

ارزیابی اثر سرباره فولاد سازی کارخانه ذوب آهن اصفهان و الیاف اکریلیک روی تراکم‌پذیری خاک رس بنتونیت

مریم شهبازی[۱] ، محمد علی روشن ضمیر[۲] ، سید محمد مهدی ابطحی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک وپی، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- استادیار گروه ژئوتکنیک، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشیار گروه ژئوتکنیک، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

Maryam.shahbazi@gmail.com

خلاصه

در پروژه‌های عمرانی مواجه شدن با خاک رسی مسئله‌دار امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. در اکثر موارد برای بهبود این نوع خاک از تثبیت و تسلیح استفاده می شود. از آن‌جا که در پروژه‌های راهسازی اولین گام، تراکم خاک می‌باشد، در این تحقیق با افزودن درصدهای مختلف سرباره و الیاف اکریلیک با طول‌های مختلف به‌عنوان تثبیت کننده و تسلیح کننده در خاک رس بنتونیت، اثر این دو افزودنی در تراکم‌پذیری این خاک بررسی شده است. در تحقیق پیش رو از تراکم پروکتور استاندارد برای به‌دست آوردن حداکثر وزن مخصوص خشک خاک و رطوبت بهینه استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزودن سرباره رطوبت بهینه کاهش و وزن مخصوص حداکثر خشک افزایش می‌یابد اما در صورت استفاده از الیاف نتیجه کاملاً برعکس می‌باشد.

کلمات کلیدی: تراکم بنتونیت، سرباره، الیاف اکریلیک

۱. مقدمه

با توجه به افزایش فعالیت‌های عمرانی و راهسازی و افزایش روزافزون ساخت و سازها و نیاز به زمین مناسب، استفاده از زمین‌های با خاک‌های مسئله دار را اجتناب ناپذیر کرده است. خاک‌های متورم‌شونده که ازجمله خاک‌های مسئله‌دار محسوب می‌شوند، درسراسر جهان به طور وسیعی پراکنده شده‌اند و از نظر مهندسی منشاء صدمات بزرگی برای پروژه‌ها و سازه‌ها هستند که در این تحقیق بهبود تراکم پذیری این نوع خاک مورد بررسی قرار می گیرد.

تراکم خاک به منظور بهبود شرایط خاک اعم از افزایش مقاومت و کاهش پتانسیل تورم از طریق کاهش نسبت تخلل، به عنوان اولین اقدام برای ساخت راه‌ها و بزرگراه‌ها، خاکریزها و ساخت سدهای خاکی انجام می‌شود. تراکم فرآیند مکانیکی است که در آن انرژی دینامیکی برای فشرده‌تر شدن خاک بکار گرفته می‌شود. عمل تراکم باعث خروج هوا از فضای خالی حفره‌ای خاک می گردد و در نتیجه ذرات خاک را به یکدیگر نزدیک می‌سازد.اگرچه عمل تراکم با اضافه کردن رطوبت همراه است ولی هیچگونه آبی از خاک خارج نمی‌گردد. عمل تراکم خاک در محل با وسیله‌های مختلفی از جمله غلتک چرخ صاف، غلتک پاچه بزی و یا غلتک مشبک و غلتک لرزان بسته به نوع خاک، امکان پذیر می‌باشد[۱].

---

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک خاک وپی
[۲] استادیار دانشکده عمران و محیط زیست
[۳] دانشیار دانشکده عمران و محیط زیست

www.SID.ir

Archive of SID

در دهه‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای روی تجهیزات تراکم به عمل آمده است و روز به روز پیشرفته‌تر شده‌اند[۲]. Tarantina و De Col در سال ۲۰۰۸ روی ریز ساختار خاک متراکم شده در درصد رطوبت‌های مختلف تحقیق کردند و مدل مکانیکی یک بعدی را به منظور گزارش رفتار خاک در حال تراکم اتخاذ کردند[۳].

هدف از انجام آزمایش تراکم کاهش میزان تخلخل خاک است. آب سبب تسهیل تراکم می‌گردد. به‌دست آوردن این حد رطوبت و وزن مخصوص حداکثر خشک متناظر با به‌کار بردن میزان انرژی معین، هدف این آزمایش می‌باشد.

بنابراین مقدار بهینه آب، بالاترین درصد رطوبتی است که افزایش رطوبت بیشتر از آن باعث می‌شود آب انرژی وارده را جذب کند ولی به دانه‌های خاک منتقل نکند و مانع از حرکت آن‌ها و تراکم شود.

Mitchel و همکاران با تحقیق خود روی تراکم نشان دادند که بافت و ساختار خاک در قابلیت فشرده شدن رس‌های متراکم نیز تأثیرگذار می‌باشند. به عبارت دیگر رس متراکم شده در رطوبتی کمتر از رطوبت بهینه نسبت به رسی که با رطوبتی بیشتر از رطوبت بهینه تراکم یافته، سخت‌تر می‌باشد[۴و۵].

سال ها است که از آهک جهت بهبود خصوصیات خاک‌های ضعیف استفاده می‌شود. تاکنون مطالعات بسیاری به‌روی اصلاح خاک متورم شونده با آهک و سیمان انجام شده است[۶]. ولی سرباره به عنوان یک زباله صنعتی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. سرباره فولادسازی یکی از مواد زائد در فرایند تولید فولاد محسوب می‌شود و به همین دلیل استفاده از آن به عنوان یک ماده افزودنی برای تثبیت خاک‌ها، می‌تواند سبب کاهش هزینه‌های پروژه در مقایسه با کاربرد مواد اصلاح کننده تجاری مانند آهک گردد. از آنجایی که اکثر محصولات جانبی و پسماند کارخانه‌ها از فرآیندهای صنعتی ایجاد می‌شوند، مدیریت پسماند یکی از معضلات زیست‌محیطی به‌شمار می‌آید. با افزایش دانش زیست‌محیطی و هزینه بالای دفن پسماندها، استفاده از محصولات جانبی و پسماند، بجای دفن کردنشان افزایش یافته است. راهسازی یکی از صنایعی است که به مصالح زیادی نیاز دارد بنابراین هم از نظر اقتصادی و هم به‌دلیل مسائل زیست‌محیطی ، به‌کارگیری محصولات جانبی و باطله کارخانه‌ها در راهسازی کاربرد فراوانی دارد[۷].

ارزیابی پتانسیل سرباره دانه‌ای دم کوره (GBS) برای تثبیت خاک سست، تحقیقی است که Yadu و Tripathi در سال ۲۰۱۳ به آن پرداختند. مقادیر مختلف این سرباره ۳، ۶، ۹ و ۱۲ درصد به‌کار گرفته شد. از آزمایش تراکم نتیجه گرفته شده که سرباره دانسیته خشک ماکزیمم را افزایش و رطوبت بهینه را کاهش می‌دهد[۸].

Akinmusuru اثر سرباره دانه‌ای (GGBS) را روی خصوصیات تراکم و مقاومتی خاک بررسی کرد. مقدار سرباره از ۰ تا ۱۵ درصد وزن خشک خاک تغییر داده شد. نتیجه نشان داد با افزایش سرباره، چسبندگی و تراکم و نسبت باربری کالیفرنیای خاک افزایش یافت و همچنین زاویه اصطکاک داخلی با افزایش سرباره کاهش یافت[۹].

در این تحقیق اثر افزودن سرباره در تراکم و خصوصیات تراکمی خاک بنتونیت بررسی شده است. بدین منظور آزمایش تراکم استاندارد با درصدهای مختلف سرباره و الیاف با طول های متفاوت انجام شده و درصد رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک بیشینه خاک در این حالت‌ها با خاک خام مقایسه گردیده است.

۲. مواد و روش‌ها

در این تحقیق از خاک بنتونیت تهیه شده از شرکت اراک‌پودر استفاده شده است. استفاده از این خاک به منظور بررسی مشکل‌سازترین خاک رس بود. مشخصات این خاک در جدول۱ در ادامه آمده است. سرباره مصرفی در این تحقیق، سرباره کنورتور کارخانه ذوب آهن اصفهان بود. سرباره مصرفی رد شده از الک ۲۰۰ و دارای چگالی ۲/۶۹ بوده است. درصد ترکیبات این سرباره در جدول ۲ آورده شده است. به منظور تسلیح خاک از الیاف اکریلیک که به‌صورت دولا به نخ تبدیل شده‌اند، با طول‌های متفاوت استفاده شد، که مشخصات آن در جدل۳ اشاره شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول۱- خواص مهندسی خاک بنتونیت

وزن مخصوص خشک حداکثر (gr/cm^3)	رطوبت بهینه (٪)	حدود خمیری(٪)			طبقه‌بندی خاک طبق روش متحد	چگالی نسبی دانه‌ها (Gs)
		PI	PL	LL		
۱/۱۸	۳۲/۲	۱۸۳/۷	۴۴/۸۱	۲۲۸/۵۱	CH	۲/۵۵

جدول۲- ترکیب شیمیایی سرباره

ترکیب شیمیایی	P_2O_5	V_2O_5	K_2O	TiO_2	MnO	MgO	SiO_2	Al_2O_3	CaO	FeO & Fe_2O_3
میزان موجود(٪)	۳	۲/۵	۰/۰۳۵	۰/۹	۴	۲	۱۶	۴/۵	۴۸/۵	۱۴

جدول۳- خصوصیات الیاف

جنس	نمره TEX	درصد افزایش طول تا حد پارگی (٪)	مقاومت نخ تا حد پارگی (gr/tex)
اکریلیک	۱۶۳/۶۸	۱۷/۴	۱۵/۵۲

به منظور بررسی تأثیر سرباره و الیاف اکریلیک روی تراکم‌پذیری خاک بنتونیت، ۹ آزمایش تراکم استاندارد بر اساس ضوابط ASTM698 با درصدهای مختلف سرباره و الیاف با طول‌های مختلف انجام شد. در ابتدا برای هر آزمایش با میزان افزودنی مشخص که سرباره و الیاف بودند به‌صورت خشک به خاک اضافه شدند سپس آب با درصدهای مختلف (۵ مقدار مختلف)، به منظور به‌دست آوردن رطوبت بهینه به خاک و افزودنی‌ها اضافه شد. پس از اختلاط کامل خاک و تثبیت کننده وآب، آزمایش تراکم انجام شد و سپس از هر درصد رطوبت نمونه گیری صورت گرفت که در نهایت منجر به نمودارهای تراکم برای هر میزان مشخص تثبیت کننده شد.

۳. نتایج و بحث

در این تحقیق تغییرات رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک خاک در حضور سرباره و الیاف اکریلیک بررسی شد. مقادیر متغیر سرباره و الیاف و طول‌های مختلف الیاف به‌کارگرفته شده در آزمایش‌های انجام شده، در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- نمونه‌های ساخته شده به منظور انجام آزمایش تراکم

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
سرباره(٪)	۰	۰	۰	۰	۰	۲۵	۲۵	۲۵	۲۵
الیاف(٪)	۰	۰/۲	۰/۲	۳	۳	۰/۲	۰/۲	۳	۳
نسبت طول به قطر الیاف	۰	۵	۴۵	۵	۴۵	۵	۴۵	۵	۴۵

www.SID.ir

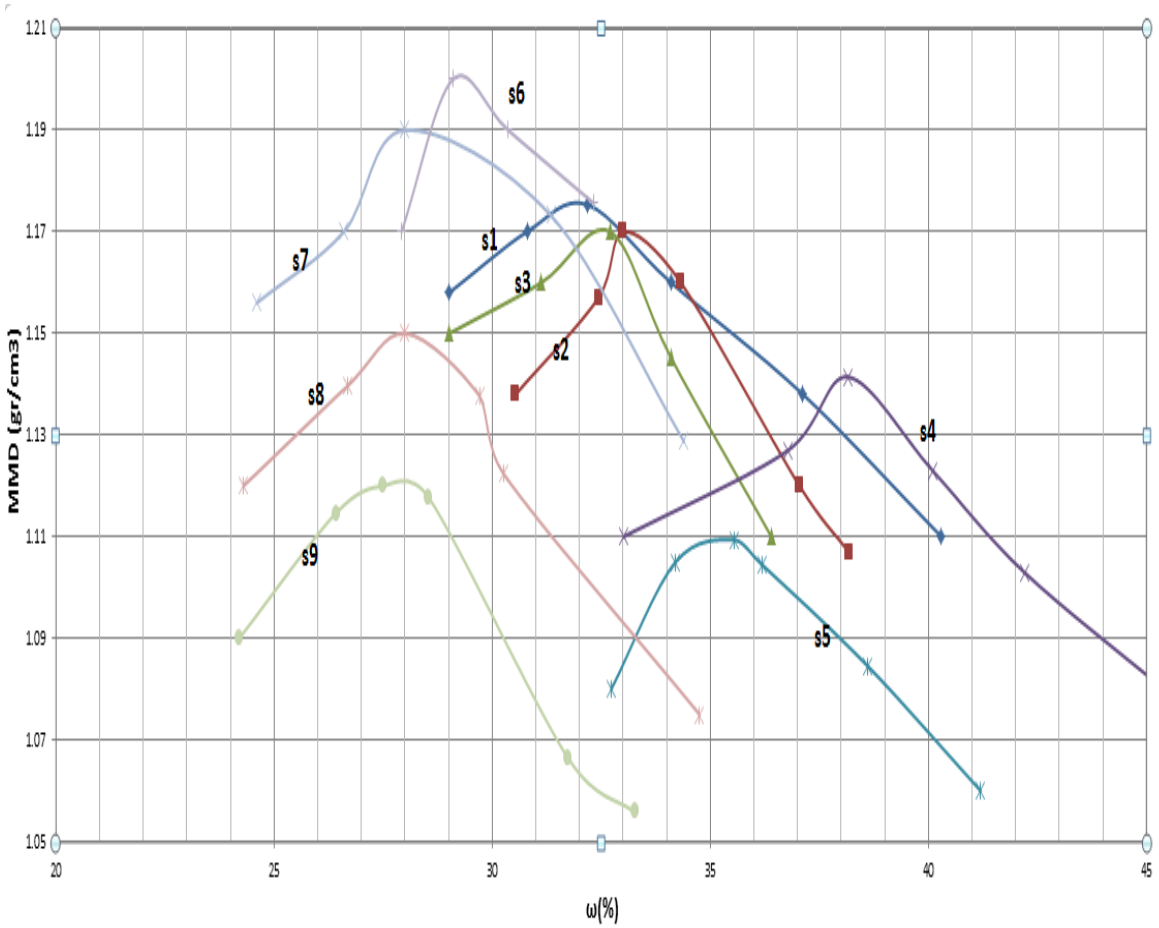
Archive of SID

نتایج به‌دست آمده از آزمایش تراکم روی بنتونیت در نمونه‌های ذکر شده در جدول۴، درشکل ۱ آورده شده است. این نمودار تغییرات درصد رطوبت در مقابل حداکثر وزن مخصوص خشک خاک را در نمونه‌های مختلف که در جدول ۴ آورده شد، را نشان می‌دهد.

در نمودار شکل۱ ملاحظه می‌شود که S6 و S7 با بیشترین میزان سرباره و کمترین میزان الیاف، بیشترین مقدار وزن خشک ماکزیمم را به‌دست داده اند. کمترین میزان رطوبت بهینه که از S6 و S7 و S8 و S9 حاصل شده است نیز مربوط به بیشترین میزان سرباره می‌باشد. بنابراین سرباره تأثیر موثر و مثبتی در خصوصیات تراکم خاک داشته است که کمترین میزان رطوبت و بیشترین وزن مخصوص خشک را حاصل می کند.

به منظور بررسی اثر میزان الیاف می‌توان نمونه‌های S2 و S4 را با هم و نمونه‌های S6 و S8 را نیز با هم مقایسه کرد، زیرا در این نمونه‌ها میزان سرباره و نسبت طول /قطر الیاف ثابت است. از این مقایسه نتیجه می‌شود که هرچه میزان الیاف بیشتر می شود وزن مخصوص خشک حداکثر خاک کم می‌شود ولی در خصوص تأثیر در میزان رطوبت بهینه، حضور سرباره و میزان آن تأثیرگذار است به‌طوری که بدون حضور سرباره هرچه میزان الیاف بیشتر شده است، رطوبت بهینه افزایش یافته ولی در صورت وجود سرباره (مقایسه S6 با S8)، رطوبت بهینه تغییر چندانی نکرده بلکه کاهش نیز یافته است، که در این حالت می توان نتیجه گرفت تأثیر مثبت سرباره بیشتر از تأثیر منفی میزان الیاف است. برای توجیه این نتیجه، همچنین می‌توان نمونه‌های S3 و S5 را با هم و نمونه‌های S7 و S9 را با هم مقایسه کرد که نتایج دقیقا برابری را می‌دهد.

از مقایسه نمونه‌های S2 با S3، S4 با S5، S6با S7، S8 با S9 می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش نسبت طول به قطر الیاف، وزن مخصوص خشک حداکثر ماکزیمم کاهش می‌یابد. همچنین افزایش نسبت طول به قطر الیاف باعث کاهش جزئی در رطوبت بهینه می‌گردد، که به‌نظر می‌رسد می‌توان از این تأثیر چشم‌پوشی کرد.

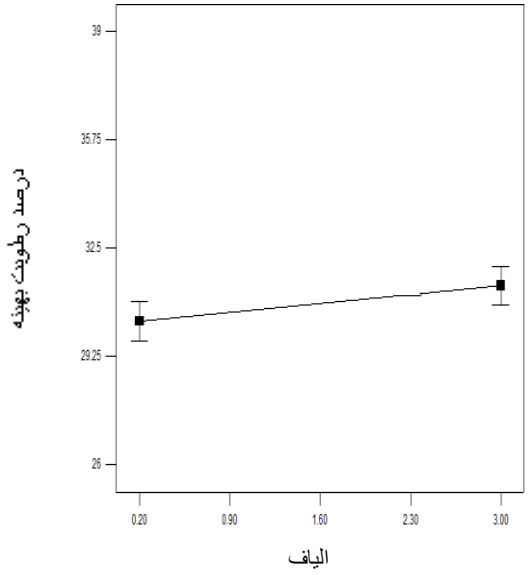


شکل ۱- نتایج به‌دست آمده از آزمایش تراکم در حضور افزودنی‌های سرباره فولادسازی و الیاف اکریلیک

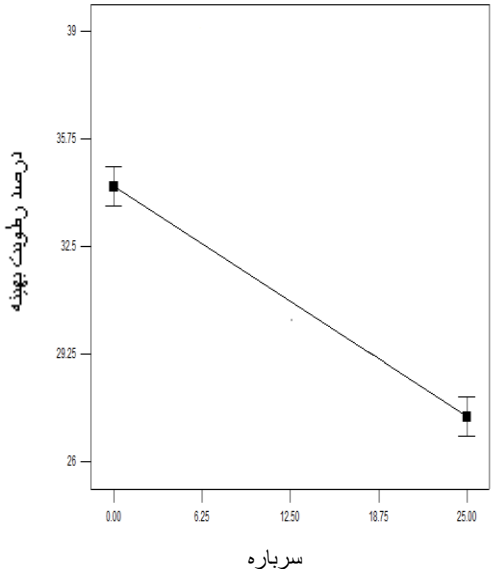
www.SID.ir

Archive of SID

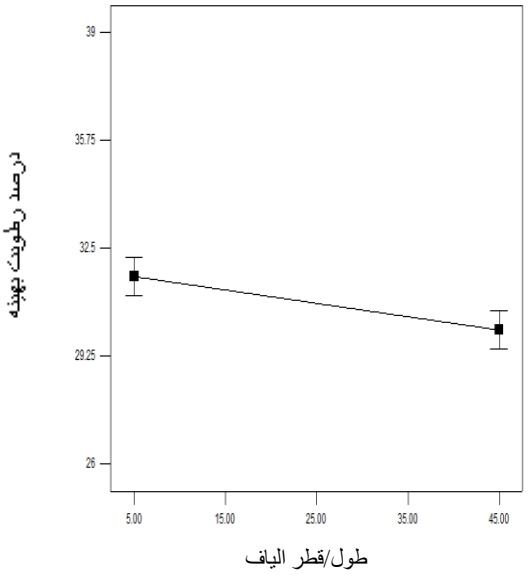
بصورت شماتیک و کلی و بدون درنظرگرفتن اندرکنش متغیرها(طول و مقدار الیاف و مقدار سرباره)، اثر تغییرات میزان سرباره و الیاف و نسبت طول به قطر الیاف را روی خصوصیات تراکم (درصد رطوبت بهینه و حداکثر وزن مخصوص خشک) بنتونیت می‌توان در شکل‌های ۲ تا ۷ ملاحظه کرد.



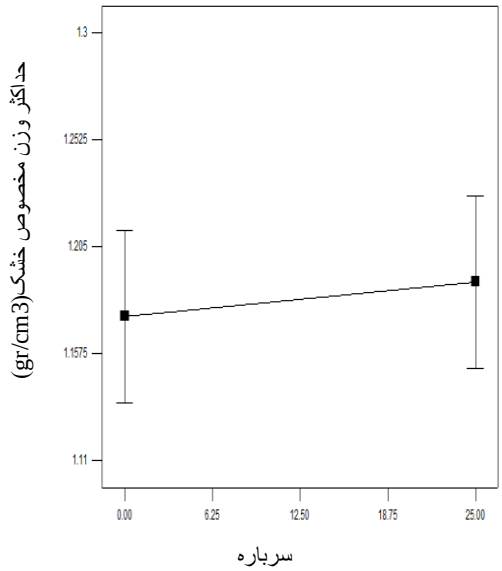
شکل۲- تغییرات درصد رطوبت بهینه در مقابل تغییرات الیاف



شکل۳- تغییرات درصد رطوبت بهینه در مقابل تغییرات سرباره



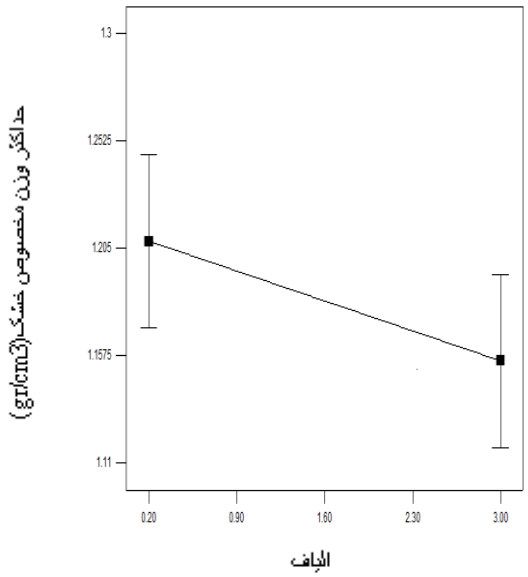
شکل۴- تغییرات درصد رطوبت بهینه در مقابل تغییرات نسبت طول به قطر الیاف



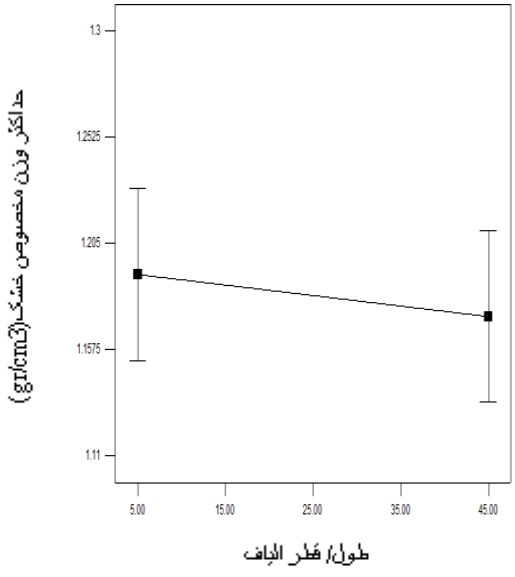
شکل۵- تغییرات حداکثر وزن مخصوص خشک در مقابل تغییرات سرباره

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۶- تغییرات حداکثر وزن مخصوص خشک در مقابل تغییرات الیاف



شکل۷- تغییرات حداکثر وزن مخصوص خشک در مقابل تغییرات نسبت طول به قطر الیاف

۴. خلاصه و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از آزمایش تراکم روی خاک بنتونیت با درصدهای متغیر سرباره فولادسازی و الیاف با طول‌های متغیر در ادامه به‌طور خلاصه اشاره شده است:

-افزودن سرباره فولادسازی استفاده شده در این تحقیق (با مشخصات ذکر شده) به خاک بنتونیت، باعث کاهش رطوبت بهینه و افزایش حداکثر وزن مخصوص خشک خاک می‌شود. بنابراین سرباره در خصوصیات تراکم اثر مثبتی دارد. این اثر را می‌توان با توجه به دانه‌ای بودن سرباره توجیه کرد و در نتیجه رس باچسبندگی بالا را تراکم‌پذیر می‌نماید.

-هرچه میزان الیاف اکریلیک (با مشخصات ذکر شده) صرف نظر از طول آن و میزان سرباره، افزایش یابد، حداکثر وزن مخصوص خشک بنتونیت کاهش می‌یابد. ولی تأثیر آن روی رطوبت بهینه بستگی به میزان سرباره دارد، به‌طوری که افزودن الیاف به‌تنهایی رطوبت بهینه را افزایش می‌دهد ولی حضور سرباره (که کاهش رطوبت بهینه را سبب می‌شود) ممکن است این اثر را خنثی کرده و رطوبت بهینه را کاهش دهد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که میزان الیاف در رطوبت بهینه تأثیر کمتری نسبت به سرباره دارد. اینکه میزان الیاف اثر منفی در تراکم پذیری خاک دارد را می توان اینگونه توجیه کرد که الیاف، بین ذرات خاک قرار می‌گیرند و این فاصله باعث می‌شود ذرات خاک بطور مناسب در هم فرو نرفته و خوب متراکم نشوند و از طرف دیگر رطوبتی که قرار است باعث سهولت تراکم شود و نقش روغن‌کاری داشته باشد جذب الیاف اکریلیک شود.

- افزایش نسبت طول به قطر الیاف باعث کاهش حداکثر وزن مخصوص خشک و درصد رطوبت بهینه بنتونیت می‌شود؛ لازم به ذکر است که کاهش در رطوبت بهینه ناچیز می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

۵. مراجع

1 Wesley L. D. (2009), “Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils”, Wiley.
2 Kimmel, S. and Mooney, M. (2011), “Real-Time Soil Compaction Monitoring through Pad Strain Measurements, in: Proc. Smart Structures/Nondestructive Evaluation, San Diego, CA, USA.
3 Tarantino, A., De Col, E. (2008), “Compaction Behavior of Clay. Geotechnique”, Engineering Geology, Elsevier, Vol.58.
4 Hilf, J. W. (1975), “Chapter7: Compacted Fill”, Foundation Engineering Handbook, New York, PP. 244-311.
5 Lambe T. W. and Whitman R. V. (1969), “Soil Mechanics”, Wiley, New York.
6 Setra L., (2000). “Guide Technique, Traitement Des sols à La Chaux et / ou Liants Hydraliques”.
7 Sofilić, T. et.al. (2012), “The Significance of Iron and Steel Slang as by-product for Utilization in Road Construction”, 12th International Foundrymen Conference, Opatija, Croatia.
8 Yadu, L., et.al. (2013),”Effect of Granulated Blast Furnace Slag in the Engineering Behavior of Stabilized Soft Soil”, Chemical, Civil and Mechanical Engineering, Third Nirma University International Conference.
9 Akinmusuru, J. O. (1991), “Potential Beneficial Uses of Steel Slag Wastes for Civil Engineering Purposes”, Resources Conservation and Recycling Vol.5.PP73-80.

www.SID.ir