

استفاده از آهک و ماسه در تثبیت خاک‌های کربنات‌دار

هوشنگ کاتبی استادیار دانشکده فنی، مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

چکیده

مقاله حاضر تثبیت یک نوع خاک کربنات‌دار را با آهک و ماسه (هم بطور جدا و هم به صورت ترکیبی از هر دو) توضیح می‌دهد. هدف از انجام تثبیت بالا بردن مقاومت خاک جهت استفاده در لایه اساس و یا زیراساس جاده‌های آسفالتی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. خاک مورد نظر متعلق به منطقه ولیعصر شهر تبریز می‌باشد. برای بررسی مقاومت از نتایج آزمایش فشار محدود نشده (تک محوری UCS) و آزمایش CBR استفاده گردید. مقدار بهینه آهک جهت تثبیت خاک به میزان ۶ درصد تعیین گردید. با این میزان آهک CBR تر خاک مورد نظر به ۳۵ درصد ارتقاء می‌یابد که با معیار ارزیابی تعیین شده (۳۲٪) برای لایه زیر اساس قابل قبول می‌باشد و این نوع خاک را با این میزان آهک می‌توان به عنوان مصالح زیر اساس مورد استفاده قرار داد. اضافه شدن ۲۰ الی ۵۰ درصد ماسه هرچند باعث افزایش مقاومت خاک می‌گردد ولی به معیارهای ارزیابی حتی برای استفاده در لایه زیر اساس نزدیک نمی‌گردد. ترکیبی از آهک-ماسه به عنوان تثبیت کننده هرچند معیارهای ارزیابی را برای لایه زیراساس جوابگو می‌باشد ولی کاهش میزان آهک به میزان ۲ درصد و جایگزین نمودن بیست درصد ماسه از نظر اقتصادی احتمالاً گزینه بهتری نسبت به استفاده از ۶ درصد آهک نخواهد بود.

کلمات کلیدی: تثبیت، خاک‌های کربنات دار، آهک، ماسه.

The Use of Lime and Sand in Stabilisation of Calcareous Soils

H. Katebi The Faculty of Civil Engineering, Tabriz University

Abstract

This paper describes the stabilisation of a calcareous soil with lime and sand (independently and combined) to be used as a road base or sub-base material in the study area. The material was collected from Vali-Asr suburb of Tabriz, East Azarbaijan Province, Iran. The strength is investigated by CBR and UCS test results. The soil stabilised with 6% lime can be utilised as a sub-base material as its soaked CBR value of 35% and UCS of 450 kPa complies with the evaluation criteria (CBR = 32%, UCS = 430 kPa) for the sub-base layer. The addition of 20%-50% sand improves the soil strength, however the evaluation criteria are not fully satisfied. The combined lime-sand as stabiliser agent has shortcomings in terms of strength. This method decreases the lime content to 4%.

Key words: Stabilisation, Calcareous soil, Lime, Sand.

۱- مقدمه

هدف اصلی این بررسی عبارت از احتمال استفاده از خاک‌های منطقه ولی عصر تبریز به عنوان مصالح اساس و زیر اساس در پروژه‌های راهسازی با استفاده از بهبود خصوصیات این خاک توسط آهک، ماسه و یا ترکیبی از این دو، می‌باشد معیار ارزیابی جهت بهبود این خاک مقاومت و دوام نمونه‌های اصلاح شده تعیین گردید (Aysen و همکاران). مقاومت نمونه‌ها براساس نتایج آزمایش (CBR) و آزمایش مقاومت فشاری محدود نشده (UCS) سنجیده شده و آزمایش دوام بر روی نمونه‌های غوطه‌ور CBR انجام گرفت.

۲- مصالح و روش آزمایش

ماده اصلی مورد بررسی خاک منطقه ولیعصر تبریز می‌باشد که حد روانی اکثر نمونه‌های به دست آمده از این منطقه بالای ۶۰٪ می‌باشد، ضریب خمیری PI نمونه‌ها ۳۵٪ یا بیشتر تعیین گردید. براساس نمودار رفتار خمیری خاک‌ها (ASTM . D-2487) این خاک در ناحیه CH قرار می‌گیرد. آهک مورد استفاده، نمونه‌ای از آهک‌های عرضه شده تجاری می‌باشد. خصوصیات عمومی خاک مورد مطالعه و آهک مورد استفاده در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- کانی‌های اصلی تشکیل دهنده خاک ولی عصر و عناصر موجود در آهک

عناصر شیمیایی	در صد وزنی	عناصر شیمیایی	در صد وزنی	عناصر شیمیایی	در صد وزنی
خاک ولیعصر					
Sio ₂	۴۷/۱۰	MgO	۴/۰۰	SO ₃	۰/۱۰
Al ₂ O ₃	۱۲/۸۰	TiO ₂	۰/۵۰	Na ₂ O	۰/۲۰
Fe ₂ O ₃	۵/۳۰	P ₂ O ₅	۰/۱۹	K ₂ O	۲/۰۰
CaO	۱۴/۷۰	MnO	۰/۱۰	کاهش در اثر حرارت	۱۸/۴۰
آهک شکفته					
Sio ₂	۴/۱۱	CaCO ₃	۳/۸۰	CaSO ₄	۱/۶۲
Al ₂ O ₃	۳/۱۱	CaO	۶۳/۷۰	کاهش در اثر حرارت	۱۵/۸۲
Fe ₂ O ₃	۰/۰۰	MnO	۰/۰۰		

انجام گرفت (Aysen ۲۰۰۲). میزان تورم نمونه‌ها و همچنین دوام نمونه‌ها براساس کاهش مقاومت در نمونه‌های CBR غوطه‌ور اندازه‌گیری گردید. آزمایش‌های CBR براساس ۱۹۹۲ و ASTM. ۱۸۸۳-۸۷ انجام گرفت.

۳- شاخص‌های ارزیابی و برنامه آزمایش‌ها

براساس نظریات ارزشمند Ingles , Metcalf (۱۹۷۲)، Millard (۱۹۹۳) و از طرف دیگر توصیه‌های Osula (۱۹۸۹) مبنی بر کاهش حداکثر ۲۵٪ از مقاومت در نمونه‌های غوطه‌ور CBR و همچنین معیارهای طراحی در منطقه، شاخص‌های ارزیابی برای مطالعه حاضر انتخاب شدند که در جدول (۲) ارائه گردیده‌اند.

میزان بهینه آهک برای اصلاح خاک با تعیین نقطه LFP و نقطه ICL مشخص گردید.

میزان مناسب آهک که موجب حداکثر افزایش در حد خمیری خاک می‌گردد، به عنوان نقطه LFP تعریف می‌گردد (۱۹۹۳ و

علت انتخاب ماسه درشت دانه برای بهبود این خاک توصیه‌های انجام شده و مطالعات Qahwash (۱۹۸۹) و Leelani و همکاران (a) و (b) (۱۹۹۲) بود که در خاکی با شرایط مشابه منجر به نتایج مفید گردیده بود. ماسه درشت مورد نیاز از معادن طبیعی موجود در منطقه تهیه گردیده که از درصد‌های زیر تشکیل یافته است:

۰/۶ mm تا ۰/۲ mm	۱۰٪
۰/۸۵ mm تا ۰/۶ mm	۶۰٪
۴/۶ mm تا ۰/۸۵ mm	۳۰٪

آزمایش‌های انجام یافته عبارت بودند از آزمایش استاندارد تراکم (۱۹۹۲ و ASTM ۱۵۵۷) و CBR و UCS (۱۹۹۲ و ۹۱-۲۱۶۶ ASTM) که این آزمایش‌ها بر روی خاک طبیعی و خاک بهبود یافته انجام گردید. هرچند آزمایش UCS در بررسی‌های مربوط به تثبیت خاک‌ها رایج نمی‌باشد ولی در این بررسی جهت اطمینان از صحت درصد ماده تثبیت کننده و بررسی نتایج با معیارهای ارزیابی عده‌ای از محققین این آزمایش نیز به موازات آزمایش CBR بر روی نمونه‌ها

در خاک‌های مستعد تورم به طور چشمگیری کنترل نموده است، لذا در مطالعه حاضر نمونه‌هایی با استفاده از ترکیب آهک و ماسه به صورت جدول (۴) مورد آزمایش قرار گرفتند.

۴- نتایج آزمایش بر روی سری تثبیت شده با آهک

شکل (۱) نشانگر ارتباط بین چگالی خشک و درصد آهک اضافه شده برای خاک تثبیت نشده و خاک تثبیت شده با ۴٪ و ۶٪، ۱۰٪ آهک می‌باشند. چنانکه ملاحظه می‌گردد که با افزایش آهک حداکثر چگالی خشک کاهش یافته ولی رطوبت بهینه متناظر با چگالی فوق، افزایش می‌یابد، هر قدر میزان آهک مصرفی افزایش می‌یابد میزان کاهش در چگالی خشک حداکثر نیز به تناسب کاهش می‌یابد؛ در صورت استفاده از ماسه برای بهبود خاک روند تغییرات برعکس بوده و با افزایش درصد ماسه حداکثر چگالی خشک افزایش یافته ولی رطوبت بهینه متناظر کاهش می‌یابد.

Bell (۱۹۸۸). علاوه می‌نماید که هر مقدار آهکی که اضافه بر مقادیر تعیین شده فوق‌الذکر به مخلوط اضافه گردد صرف مرحله سیمان‌تاسیون می‌گردد که این مرحله موجب افزایش مقاومت مخلوط می‌شود. برای خاک مورد مطالعه میزان ۳٪ آهک برای نقطه (LFP) به دست آمد که تعیین آن توسط معدل‌گیری از چند آزمایش حاصل گردید. میزان آهک اولیه (ICL) که با استفاده از روش PH تعیین گردید در جدول (۳) خلاصه گردیده است.

با توجه به جدول (۴) ملاحظه می‌گردد که میزان ۵٪ آهک می‌تواند میزان مناسبی برای شروع مرحله سیمان‌تاسیون باشد. با مقایسه نتایج حاصل از دو روش LFP, ICL برای بررسی مساله قابلیت تثبیت خاک مورد مطالعه مقادیر ۴٪، ۶٪ و ۱۰٪ آهک برای مرحله بررسی انتخاب گردید. براساس مطالعات و تحقیقات انجام یافته توسط Qahwash (۱۹۸۹)، برای خاک‌های حاوی رس، ماسه درشت می‌تواند به عنوان تثبیت کننده به کار رود. برای بررسی حاضر مقادیر ۲۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪ از ماسه درشت با خاک مورد مطالعه مخلوط و مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که در بررسی‌های انجام یافته توسط Frempong (۱۹۹۶) استفاده از ترکیبی از آهک و ماسه (۶ درصد آهک + ۳۰٪ ماسه) موجب اصلاح خاک گردیده و تورم را

جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی تعیین شده برای بررسی حاضر

مورد استفاده	خاک تثبیت شده با آهک % حداقل CBR	خاک تثبیت شده با سیمان UCS / حداقل kpa
لایه اساس	۸۰ / ۱۱۰	۱۰۲۰ / ۱۳۸۰
لایه زیراساس	۳۲ / ۴۵	۴۳۰ / ۵۸۰

جدول ۳- مقدار آهک اولیه برای خاک منطقه‌ای ولی‌عصر

PH	درصد آهک	PH	درصد آهک
۱۲/۴۴	۵	۱۱/۲۹	۲
۱۲/۷۸	۶	۱۱/۵۵	۳
		۱۱/۸۶	۴

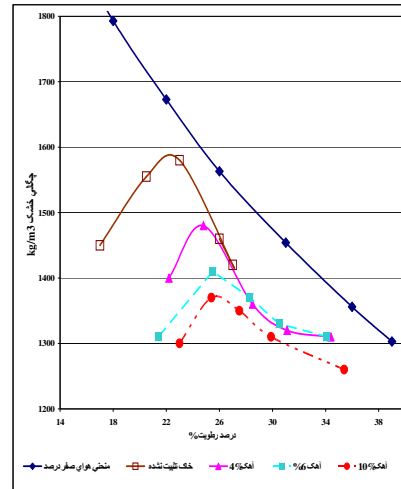
جدول ۴- ماتریس آزمایشات تثبیت در مطالعه حاضر

ترکیبی از آهک و ماسه	ماسه (S)	آهک (L)
(۴٪، ۶٪، ۱۰٪) L + ۲۰٪ S + ۸۰٪ خاک	۲۰٪ ماسه + ۸۰٪ خاک	L ۴٪
(۴٪، ۶٪، ۱۰٪) L + ۳۰٪ S + ۷۰٪ خاک	۳۰٪ ماسه + ۷۰٪ خاک	L ۶٪
(۴٪، ۶٪، ۱۰٪) L + ۵۰٪ S + ۵۰٪ خاک	۵۰٪ ماسه + ۵۰٪ خاک	L ۱۰٪

از ۶ درصد آهک سطح استفاده را ارتقا نداده، فقط باعث افزایش هزینه خواهد گردید و نرخ رشد مقاومت در حدی نخواهد بود که قابل اعتنا باشد. با استفاده از اجرای آزمایش CBR قابلیت تورم خاک مورد مطالعه نیز بررسی گردید. که استفاده از ۴ درصد آهک موجب کاهش تورم تا حد ۸۰ درصد می‌گردد (درصد نسبت به حالت خاک اصلاح شده). با استفاده از ۱۰ درصد آهک کاهش تا حدود ۱۰۰ درصد در خاک ملاحظه گردید. Lea (۱۹۷۰) گزارش نموده که واکنش‌های شیمیائی آهک-خاک مشابه واکنش‌های انجام یافته بین خاک و سیمان می‌باشد. ظهور کربنات‌های کلسیم از اولین محصولات این واکنش‌ها بوده و فرمهای مختلفی از هیدرات‌های سیلیکات کلسیم، هیدرات‌های آلومینات کلسیم و هیدرات‌های سیلیکا آلومینات کلسیم در این واکنش‌ها ظاهر می‌گردند. آزمایشات XRD بروی خاک‌های اصلاح شده با ۴٪ و ۶٪ آهک انجام گرفت. با مقایسه نمودارهای حاصل از XRD برای خاک اصلاح نشده و خاک‌های بهبود یافته ملاحظه می‌گردد که بعضی از نقاط پیک در منحنی ناپدید شده یا شدیداً کاهش یافته و در مقابل پیک‌های جدید تولید شده است. آزمایش XRD روشی است که اطلاعات کیفی را در زمینه نمونه‌ها در اختیار قرار می‌دهد حال اینکه برای بررسی قطعی نیاز به بررسی از نظر کمی هم وجود دارد، لذا بروی نمونه‌های تثبیت شده آزمایش تجزیه شیمیائی به عمل آمد. نتایج این آزمایش در جدول (۵) منعکس گردیده است. مقایسه جدول (۶) با جدول (۱) روشن می‌کند که در اثر واکنش‌های شیمیائی اکثر کانی‌ها به علت شرکت در تبادل با کاهش درصد روبرو بوده و فقط به علت ایجاد کربنات‌های جدید درصد CaO افزایش نشان می‌دهد.

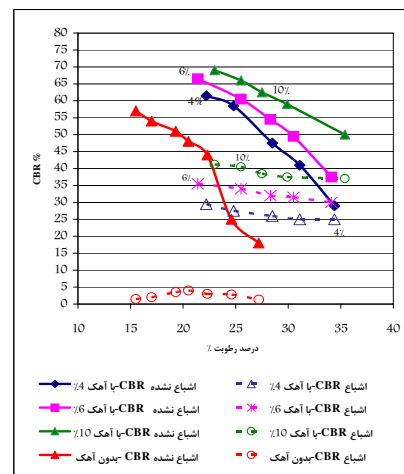
۵- نتایج آزمایش تثبیت با ماسه

تغییرات حداکثر چگالی خشک در برابر تغییرات رطوبت برای خاک بهبود نیافته و خاک اصلاح شده با ۲۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪ ماسه درشت نیز مورد بررسی قرار گرفت. جهت اطمینان خاطر از صحت تمایل مشاهده شده در منحنی‌های حاصل از ۲۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪، مخلوط ۲۰٪ خاک با ۸۰٪ ماسه فقط در مورد آزمایش CBR مورد بررسی قرار گرفت، البته بدیهی است که حتی در صورت پاس‌خگو بودن هم استفاده از ۸۰٪ ماسه برای بهبود خاک قابل توصیه نخواهد بود.



شکل ۱- منحنی تراکم برای خاک تثبیت شده با آهک

شکل (۲) نشانگر تغییرات CBR در برابر تغییرات رطوبت و تغییر درصد آهک به کار رفته برای بهبود خاک می‌باشد. شکل (۲) تفاوت CBR تر و CBR خشک را در تبادل تغییرات درصد آهک نشان می‌دهد. چنانکه از شکل (۲) می‌توان نتیجه گرفت با استفاده از ۶ درصد آهک میزان CBR تر به حدود ۳۵٪ می‌رسد که شاخص‌های ارزیابی تعیین شده برای لایه زیر اساس را پوشش می‌دهند. (جدول (۳)).



شکل ۲- منحنی تغییرات CBR در برابر تغییر درصد رطوبت برای درصد‌های مختلف آهک

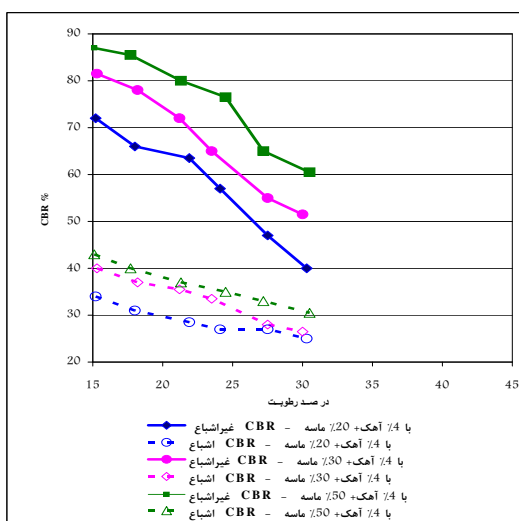
استفاده از ۱۰٪ آهک مقاومت لایه را به شاخص موردنظر برای لایه اساس نمی‌رساند، لذا می‌توان نتیجه گرفت که استفاده بیش

توجهی ایجاد می‌نماید، لذا براساس درصد‌های ذکر شده در جدول (۴) (با انجام ۳۶ سری آزمایش) اثر این گونه تثبیت بر مقاومت خاک منطقه مورد آزمایش تحت بررسی قرار گرفت. جهت صرفه‌جویی در ارائه اشکال و نمودارها، منحنی‌های تأثیر ۴٪ آهک بر مخلوط‌هایی با ۲۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪ ماسه که تحت آزمایش CBR قرار گرفته‌اند در شکل (۴) ارائه گردیده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که تمامی ترکیب‌ها از نظر شاخص‌های ارزیابی برای لایه زیراساس مورد قبول می‌باشند ولی هیچیک از ترکیب‌های فوق با شاخص‌های ارزیابی لایه اساس مورد قبول نخواهند بود (حداکثر CBR تر حاصل از این آزمایش‌ها ۵۲٪ می‌باشد)، نتایج آزمایش UCS در این سری قدری کمتر از شاخص‌های ارزیابی جدول (۳) به دست آمد.

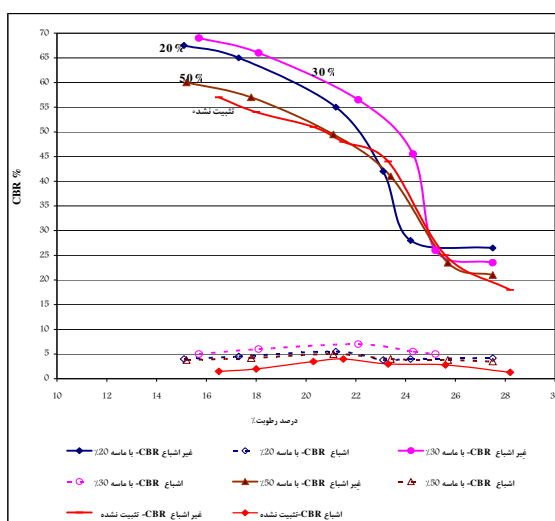
با مقایسه نتایج حاصل از آزمایش CBR در شکل (۳) ملاحظه می‌گردد که افزایش ماسه ولو درحد ۲۰٪ باعث افزایش قابل توجه در نتیجه آزمایش CBR خشک می‌گردد (۶۷٪) درحالی‌که افزایش حتی ۸۰٪ ماسه درشت مانع از سقوط قابل توجه میزان CBR نمی‌گردد، لذا می‌توان نتیجه گرفت که در خاک منطقه مورد مطالعه بر خلاف مطالعات محققین ذکر شده افزایش ماسه تأثیر قابل توجهی در مقاومت خاک تحت نفوذ آب نمی‌نماید.

۶- نتایج آزمایش تثبیت با مخلوطی از آهک و ماسه

با توجه به بررسی‌های به عمل آمده انتظار می‌رفت که با استفاده از مخلوطی از آهک و ماسه بتوان به نتایج بهتری دست یافت زیرا آهک موجب بهبود مقاومت خاک در حالت غوطه‌ور شده و ماسه هم در حالت خشک مقاومت قابل



شکل ۴- منحنی تغییرات CBR در برابر تغییر رطوبت برای درصد‌های مختلف ماسه بعلاوه ۴٪ آهک



شکل ۳- منحنی تغییرات CBR در برابر تغییر درصد رطوبت برای درصد‌های مختلف ماسه

جدول ۵- نتایج آزمایش تجزیه شیمیائی

عنصر شیمیائی	درصد وزنی	عنصر شیمیائی	درصد وزنی
SiO_2	۳۴/۸۰	CaO	۱۸/۲۰
Al_2O_3	۱۱/۶۰	MgO	۳/۰۰
Fe_2O_3	۵/۱۰	TiO_2	۰/۴۶
P_2O_5	۰/۲۰	MnO	۰/۱۰
SO_3	-	Na_2O	۰/۹۲
K_2O	۲/۰۰	کاهش در اثر حرارت	۲۱/۰۰

- Journal of the British Geotechnical Society, Vol. 21, No. 1, 10-15, No.2, 22-30.
- [4] Bell, F.G. 1993. Engineering treatment of soils. London: E & FN Spon.
- [5] Frempong, E.M. 1996. A comparative assessment of sand and lime stabilisation of residual micaceous compressible soils for road construction, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 33, No. 6.
- [6] Ingles, O.G. and Metcalf, J.B. 1972. Soil stabilization principles and practice. Sydney: Butterworths.
- [7] Lea, F.M. 1970. The chemistry of cement and concrete. Third edition, Glasgow: Edward Arnold Publishers Ltd.
- [8] Leelani P.T, Compton, P.V., Abdul-Baki, K. 1992a. Active clay stabilized by admixtures of fine and coarse sands. Proceedings of the 7th International Conference on Expansive Soils, Vol. 1, Dallas, Texas.
- [9] Leelani Pat T., Shaar Maen, M., Compton Phil, V. 1992b. Stabilized active clay by sand admixture. Proceedings of the 1992 ASCE Specialty Conference on Grouting, Soil Improvement and Geosynthetics, New York: ASCE.
- [10] Millard, R.S. 1993. Road building in the tropics. London: Transport Research Laboratory (TRL), HMSO.
- Osula, Douglas O.A. 1989. Evaluation of admixture stabilization for problem laterite. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 115, No.6, 674-687.
- [11] Qahwash, A.A. 1989. Geotechnical properties of fine-grained calcareous sediments for engineering purposes. Engineering Geology. 26, 161-160.

۷- نتیجه‌گیری

اضافه نمودن ۶ درصد آهک به خاک منطقه مورد مطالعه میزان تورم آن را به صفر رسانده و مقاومت و دوام آن را در حد شاخص‌های مورد قبول برای لایه زیر اساس می‌رساند. اضافه نمودن آهک بیش از این مقدار خصوصیات خاک را تا حد استفاده در لایه اساس ارتقاء نمی‌دهد، لذا استفاده بیش از ۶٪ آهک به هیچ وجه توصیه نمی‌گردد. استفاده از ماسه برای بهبود مشخصات فنی این نوع خاک در مناطقی که دارای بارندگی بسیار کم بوده یا سطح آب‌های زیرزمینی پائین باشد می‌تواند نتایج خوبی ببار آورد ولی در صورت نفوذ رطوبت به خاک اصلاح شده مقاومت در حد بسیار قابل توجه سقوط نموده و لایه توان باربری خود را از دست خواهد داد. همچنین مشاهده گردید استفاده از ترکیبی از آهک و ماسه دوام این خاک را چندان ارتقاء نمی‌دهد و استفاده از دو تثبیت کننده مختلف هم به غیر از بالا بردن هزینه‌های اجرا و تطویل عملیات نتیجه قابل اعتناء دیگری ندارد. لذا در مواجهه با این نوع بستر استفاده از ۶٪ آهک برای تثبیت خاک بهترین روش بهبود آن می‌باشد و از این خاک تثبیت شده فقط در لایه زیر اساس می‌توان استفاده نمود. البته جا دارد در مطالعات بیشتر و دقیق‌تر اثر تغییر دوره عمل آوردن و اثر دمای عمل آوردن مخلوط هم مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

- [1] Aysen, A. 2002. Soil mechanics: Basic concepts and engineering applications. Lisse: Balkema.
- [2] Aysen, A., Ayers, R., Ricks, J. 1996. Soil stabilisation with cement and aluminium hydroxide. Research Report No CE96/5, ISBN 0909756295. Toowoomba: The University of Southern Queensland.
- [3] Bell, F.G. 1988. Stabilisation and treatment of clay soils with lime. Ground Engineering,