

# تأثیر الیاف بر رفتار مکانیکی خاک تثبیت شده با آهک

مریم مختاری<sup>۱</sup>، رضا پورحسینی<sup>۲</sup>، نادر عبدلی<sup>۳</sup>  
دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه یزد، ۰۳۵۱۸۱۲۲۴۶۱

mokhtari.ma@yahoo.com

## خلاصه

بهبود پارامترهای مقاومتی خاک های ریزدانه همواره مورد توجه مهندسین عمران بوده است. یکی از روش های قدیمی و متداول تثبیت و بهبود بخشی پارامترهای مقاومتی خاک های ریزدانه، تثبیت با آهک می باشد. در این تحقیق تأثیر افزودن الیاف پلی پروپیلن بر رفتار مکانیکی مخلوط خاک- آهک مورد بررسی قرار می گیرد. افزودن الیاف باعث افزایش مقاومت و شکل پذیری مخلوط خاک- آهک گردیده و آن را از حالت ترد و شکننده خارج می سازد. برای این منظور از آهک به میزان ۲ و ۶ درصد وزنی استفاده شده و الیاف با مقادیر ۰/۵ و ۱/۵ درصد برحسب وزن خشک خاک و طول های ۱۲ و ۱۹ میلی متر به مخلوط خاک- آهک اضافه شده و پس از عمل آوری، آزمایش های ظرفیت باربری (CBR) و تراکم بر روی آن انجام شده است. نتایج نشان می دهد افزودن الیاف تا ۲ درصد وزنی باعث افزایش ظرفیت باربری (CBR) خاک تثبیت شده با آهک می گردد. همچنین افزایش الیاف باعث افزایش رطوبت بهینه و کاهش دانسیته خشک حداکثر می گردد.

کلمات کلیدی: الیاف پلی پروپیلن، تثبیت، آهک، CBR، تراکم

## مقدمه

هم اکنون روش های مختلف بهسازی خاک به طور گسترده ای مورد استفاده مهندسین عمران می باشد. بهسازی خاک باعث افزایش و بهبود پارامترهای ژئوتکنیکی خاک و کاهش هزینه های عمرانی می گردد. تاکنون روش های مختلفی نظیر تراکم، زه کشی، تحکیم، ستون های سنگی، شمع و فرآیندهای شیمیایی نظیر تثبیت و یا عناصر مسلح کننده، مورد استفاده قرار گرفته است.

یکی از روش هایی که از قدیم متداول بوده است، استفاده از آهک می باشد. هنگامی که به خاک رس دار، آهک اضافه می شود واکنش های متعددی بسته به نوع کانی های رسی، آهک، شرایط و زمان عمل آوری به وقوع می پیوندد که شامل تبادل کاتیونی، واکنش پوزولانی و کرناسیون می باشد. این واکنش ها به ویژه واکنش پوزولانی باعث تغییر بافت کریستالی خاک رس و ترکیب شیمیایی کانی ها شده و در نتیجه تغییرات قابل توجهی در خواص فیزیکی و رفتار مکانیکی خاک ایجاد می کند [۱].

به کارگیری عناصر مسلح کننده جهت افزایش پایداری و مقاومت خاک نیز از هزاران سال پیش مورد استفاده بوده است. به طور مثال می توان از کاه به عنوان المان مسلح کننده در ملات کاهگل نام برد. عملکرد عناصر مسلح کننده با خاک باعث افزایش شکل پذیری، ظرفیت باربری و مقاومت خاک می گردد. مصالحی که به طور معمول در تسلیح خاک استفاده می شوند، عبارتند از: الیاف، عناصر فلزی، تسمه ها، ژئوتکستایل ها و اجزاء گیاهان. هنگام استفاده از الیاف، معمولاً خاک را با الیاف مخلوط کرده و در نتیجه الیاف در محیط خاک به صورت تصادفی

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی

۲ - استادیار دانشگاه

۳ - استادیار دانشگاه

[Randomly Distributed Fiber- reinforced Soil] توزیع می شود. در سیستم های با توزیع تصادفی (RDFS)، خاک در تمام جهات تقویت شده و صفحات ضعیف حذف می گردد [۲].

مطالعات و آزمایش های انجام شده، نشان داده است که استفاده از الیاف به طور قابل توجهی خواص فیزیکی و مکانیکی خاک ها را بهبود می بخشد: ختاک و اندرسلند تأثیر افزودن نوعی الیاف سلولزی بر مقاومت برشی و رفتار تنش - کرنش رس کائولینیت را با استفاده از آزمایش سه محوری مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که افزودن الیاف باعث افزایش مقاومت برشی و شکل پذیری مخلوط گردیده و جاذبه بین ذرات رس و الیاف، باعث ایجاد پیوندی مناسب جهت انتقال بار می گردد [۳]. بنسون و خایر با انجام آزمایش های برش مستقیم و CBR به مطالعه تسلیح خاک با نوارهای پلی اتیلن پرداختند [۴]. کومار و همکاران با بررسی تأثیر الیاف پلی استر بر روی رس دریافتند که افزایش طول و مقدار الیاف، به طور قابل توجهی باعث افزایش مقاومت فشاری این خاک ها می گردد [۵]. کانیراج و گایاتری با آزمایش بر روی خاکستر بادی مسلح به الیاف پلی استر، نشان دادند که الیاف مقاومت نمونه های خاکستر بادی مسلح را افزایش داده و رفتار آنها را از حالت ترد به شکل پذیر تغییر می دهد [۶]. مک گوون و همکاران [۷]، مصباح و همکاران [۸] نیز با انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی ماسه، تأثیر مثبت الیاف را بر روی افزایش مقاومت و شکل پذیری ماسه مسلح شده به الیاف گزارش نموده اند. لی و همکاران به بررسی رفتار خاک های ماسه ای مسلح شده به الیاف تحت بار سیکلی پرداختند [۹]. با توجه به این که تحقیقات کمتری بر روی تأثیر الیاف بر روی خاک های ریزدانه و همچنین مخلوط های مرکب مانند خاک تثبیت شده با آهک یا سیمان صورت گرفته است، در این تحقیق تأثیر الیاف بر روی خاک تثبیت شده با آهک مورد بررسی قرار گرفته است.

## مصالح

### ۱- خاک

خاک مورد مطالعه در این تحقیق از خاک های ریزدانه شهر یزد می باشد که خصوصیات فنی آن در جدول شماره ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فنی خاک مورد آزمایش

حدود اثر برگ (%)			درصد رطوبت	چگالی (GS)	درصد عبوری از الک ۲۰۰	درصد ذرات کوچکتر از ۲ میکرون	رده خاک برحسب سیستم یونیفاید
P.I.	P.L.	L.L.					
۱۹/۲	۱۲/۸	۳۲	۲	۲/۶۳	۷۳	۱۵	CL

### ۲- آهک

آهک مصرفی در این پروژه، از نوع شکفته می باشد و جهت استفاده در آزمایش از آهک رد شده از الک نمره ۲۰۰ استفاده شده است و میزان آهک مصرفی ۶ و ۲ درصد وزن خشک خاک می باشد.

### ۳- الیاف

الیاف مورد استفاده از نوع پلی پروپیلن، به رنگ سفید با سطح جانبی صاف و بدون انحنا می باشد. قطر الیاف در حدود ۰/۳ میلی متر و به چگالی ۰/۹ با مقاومت کششی  $5/9 \times 10^5$  کیلوپاسکال می باشد. طول الیاف مورد استفاده ۱۹ و ۱۲،۶ میلی متر می باشد.

## مطالعات آزمایشگاهی

برای بررسی تأثیر الیاف بر رفتار مکانیکی خاک تثبیت شده با آهک، از آزمایش های استاندارد ذکر شده در جدول ۲ استفاده گردیده است [۱۰].

جدول ۲- آزمایش های انجام شده و استاندارد مربوطه

آزمایش	استاندارد
درصد رطوبت	ASTM D 2216-90
حدود اتربرگ	ASTM D 4318-87
هیدرومتری	ASTM D 422-63
چگالی نسبی	ASTM D 854-87
تراکم اصلاح شده	ASTM D 1557-91
ظرفیت باربری (CBR)	ASTM D 1883-87

روش تهیه نمونه

در این پروژه جهت تثبیت خاک با آهک، از دوغاب آهک استفاده شده است. پس از تهیه دوغاب آهک با توجه به درصدهای وزنی مورد نظر (۲ و ۶ درصد آهک) و میزان رطوبت بهینه، ابتدا خاک با کمی دوغاب آهک مرطوب گشته و سپس الیاف با طول و مقدار مورد نظر به خاک اضافه گردیده و سپس توسط یک همزن برقی، مخلوط گردیده است. مخلوط حاصل به مدت ۴۵ دقیقه داخل یک کیسه پلاستیکی قرار گرفته، تا بدون از دست دادن رطوبت، واکنش های آنی (تبادل کاتیونی) و پخش رطوبت در مخلوط به خوبی صورت گیرد. پس از این مدت نمونه ها داخل قالب CBR متراکم گشته و پس از قرارگیری در یک کیسه پلاستیکی برای جلوگیری از هدر رفتن رطوبت، به مدت ۴۸ ساعت در گرمخانه با دمای ۵۰ درجه سانتی گراد عمل آوری گردیدند و پس از این مدت آزمایش ظرفیت باربری (CBR) بر روی آنها انجام شد.

بررسی و ارائه نتایج آزمایش ها

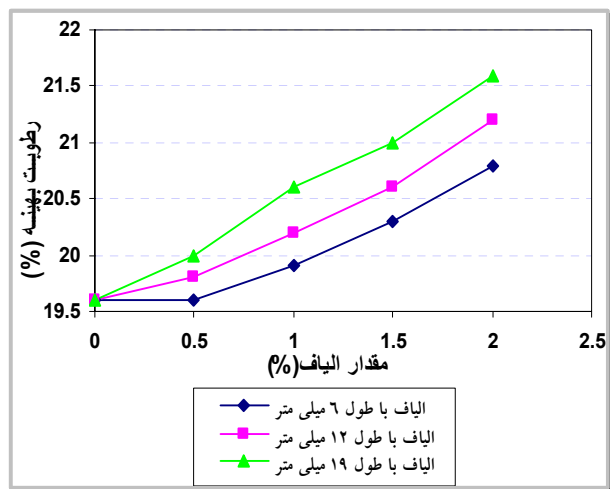
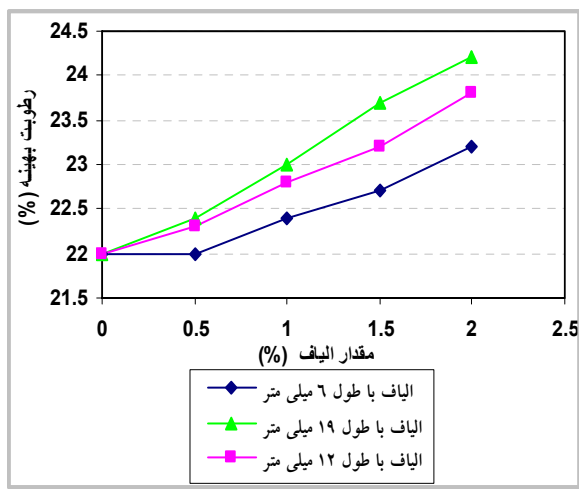
۱- تراکم

جهت بررسی تأثیر الیاف بر رطوبت بهینه و دانسیته خشک حداکثر از آزمایش تراکم اصلاح شده استفاده شده است. همانطور که انتظار می رود، افزودن آهک به خاک، باعث افزایش رطوبت بهینه و کاهش دانسیته خشک حداکثر می گردد (جدول ۳). همچنین، افزودن الیاف به مخلوط خاک- آهک نیز باعث افزایش رطوبت بهینه و کاهش دانسیته خشک حداکثر می گردد. همانطور که در شکل ۱ و ۲ نشان داده شده است، با افزایش طول و درصد وزنی الیاف، رطوبت بهینه افزایش و دانسیته خشک حداکثر کاهش یافته است. حداکثر افزایش در رطوبت بهینه حدوداً ۱۰ درصد و حداکثر کاهش در دانسیته نیز تقریباً ۶ درصد می باشد.

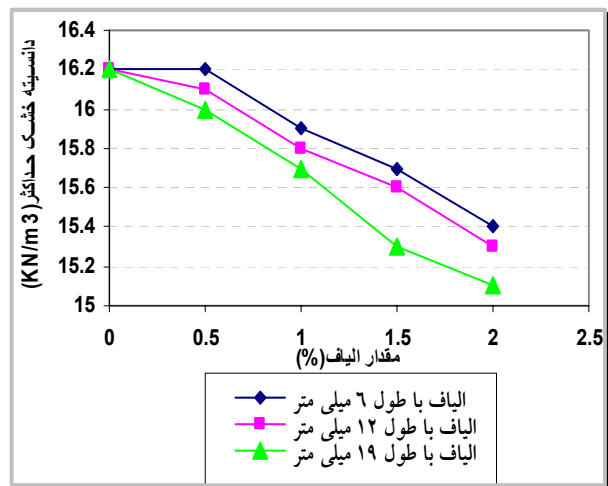
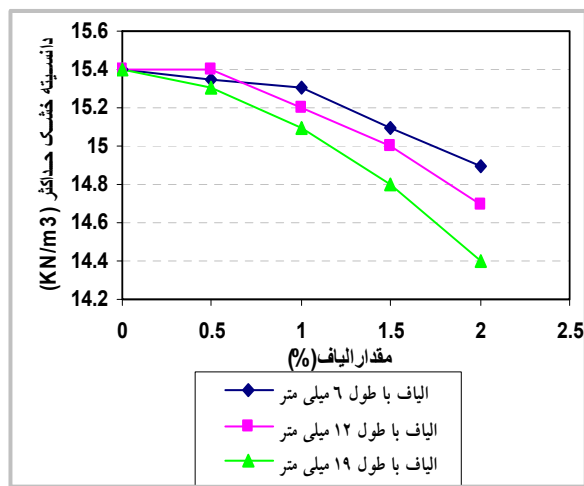
جدول ۳- رطوبت بهینه و وزن مخصوص خشک حداکثر برای خاک و درصدهای مختلف آهک

وزن مخصوص خشک حداکثر ( $\text{KN/m}^3$ )	رطوبت بهینه (%)	مصالح
۱۶/۸	۱۷/۵	خاک
۱۶/۲	۱۹/۶	خاک + ۲ درصد آهک
۱۵/۴	۲۲	خاک + ۶ درصد آهک

به دلیل جایگزینی الیاف با دانه های خاک و کمتر بودن چگالی الیاف نسبت به خاک، حداکثر دانسیته خشک کاهش می یابد. همچنین الیاف تخلخل خاک را بالا برده و باعث افزایش رطوبت بهینه می گردد، عواملی چون جنس و میزان جذب آب الیاف نیز بر رطوبت بهینه تأثیر گذار می باشد.



شکل ۱- الف) تاثیر طول و مقدار الیاف بر میزان رطوبت بهینه نمونه های تثبیت شده با ۲ درصد آهک و ب) ۶ درصد آهک.



شکل ۲- الف) تاثیر طول و مقدار الیاف بر دانشیته خشک حداکثر نمونه های تثبیت شده با ۲ درصد آهک و ب) ۶ درصد آهک.

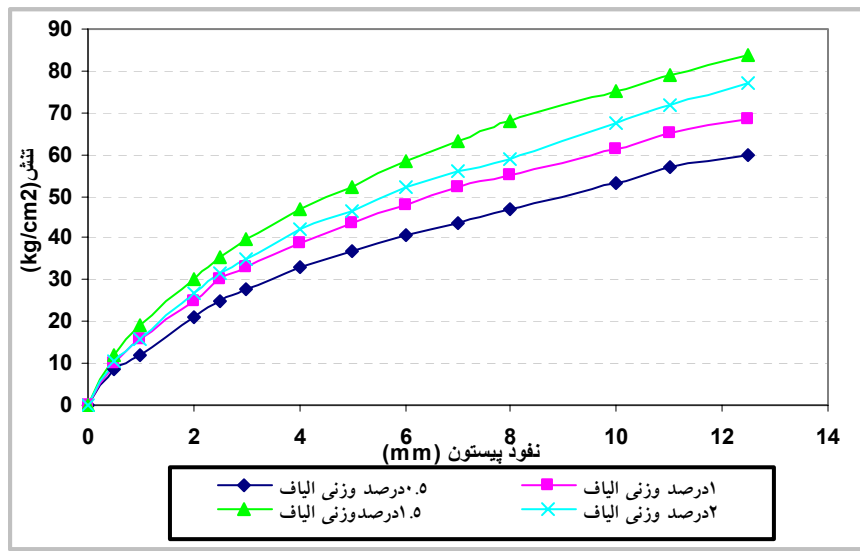
## ۲- ظرفیت باربری (CBR)

آزمایش CBR بر روی نمونه های خاک، خاک تثبیت شده با آهک و همچنین مخلوط خاک- آهک و الیاف انجام شده است. تمامی نمونه ها در قالب های استوانه ای به قطر ۱۵۱ میلی متر و ارتفاع ۱۷۲ میلی متر و با استفاده از یک چکش ۴/۵ کیلوگرمی در ۵ لایه متراکم شدند و نمونه های آهک دار پس از عمل آوری مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان می دهد که افزودن آهک به خاک باعث افزایش قابل توجهی در میزان CBR می گردد (جدول ۴).

جدول ۴- میزان ظرفیت باربری خاک و خاک تثبیت شده با ۲ و ۶ درصد آهک

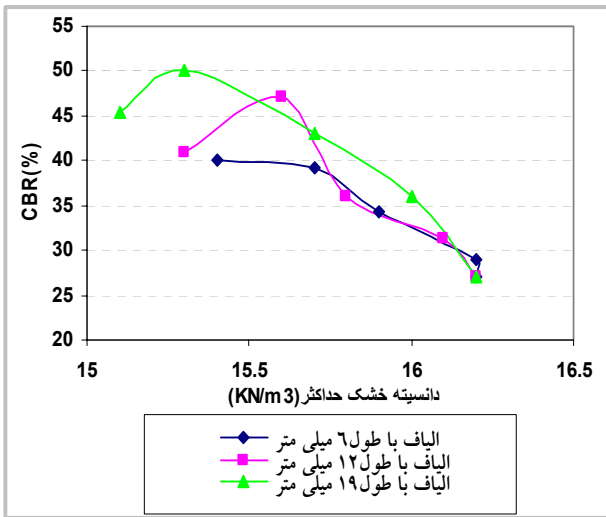
مصلح	CBR (%)
خاک	۱۴
خاک تثبیت شده با ۲ درصد آهک	۲۷
خاک تثبیت شده با ۶ درصد آهک	۴۳

افزودن الیاف به مخلوط خاک-آهک نیز باعث افزایش CBR می گردد. با توجه به فراوانی داده ها، به عنوان نمونه نمودار تغییرات CBR برای خاک تثبیت شده با ۲ درصد آهک و الیاف با طول ۱۹ میلیمتر در شکل ۶ ارائه شده است.

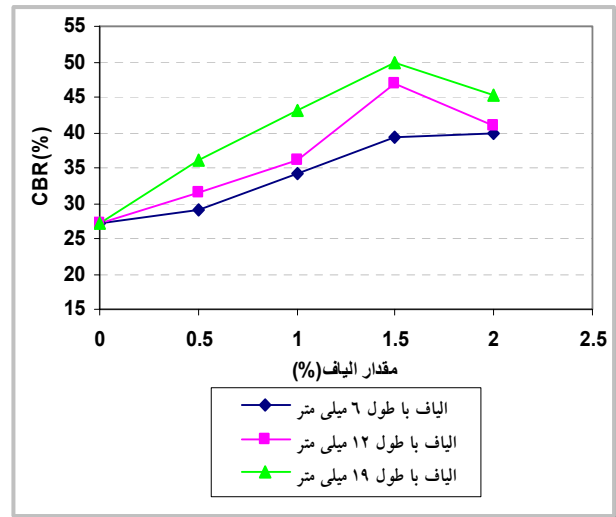


شکل ۶- تغییرات CBR برای خاک تثبیت شده با ۲ درصد آهک و درصدهای مختلف الیاف با طول ۱۹ میلیمتر.

با افزایش مقدار و طول الیاف، مقدار CBR افزایش می یابد اما نرخ افزایش روندی نزولی دارد. به عبارتی درصد بهینه ای از الیاف وجود دارد که پس از آن با افزودن الیاف نه تنها مقاومت افزایش نیافته، بلکه به علت جایگزینی دانه های خاک با الیاف کاهش پیدا می کند. همانطور که در قسمت های قبلی اشاره شده افزایش الیاف باعث کمی افت در دانسیته و افزایش CBR می گردد. اشکال ۷ و ۸، نشان دهنده تغییرات CBR با درصدهای مختلف الیاف و همچنین رابطه بین دانسیته خشک حداکثر، CBR و طول الیاف در پروژه حاضری باشد.

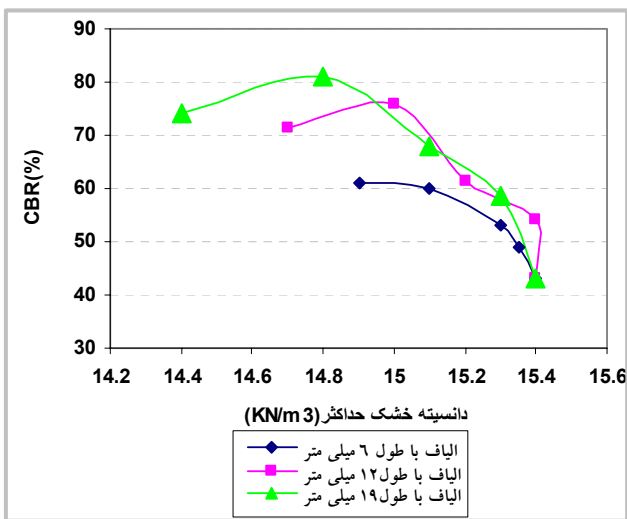


ب

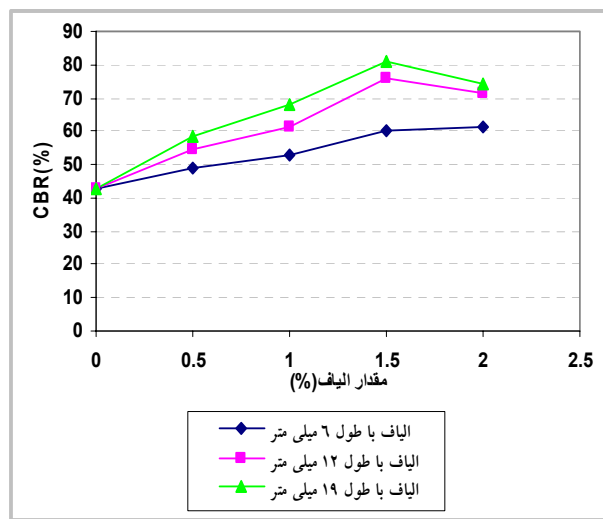


الف

شکل ۷- (الف) تاثیر طول و مقدار الیاف بر روی CBR در خاک تثبیت شده با ۲ درصد آهک (ب) رابطه بین دانسیته خشک حداکثر و CBR در طول های مختلف الیاف در خاک تثبیت شده با ۲ درصد آهک.



ب



الف

شکل ۸- (الف) تاثیر طول و مقدار الیاف بر روی CBR در خاک تثبیت شده با ۶ درصد آهک (ب) رابطه بین دانسیته خشک حداکثر و CBR در طول های مختلف الیاف در خاک تثبیت شده با ۶ درصد آهک.

بیشترین میزان افزایش در CBR در نمونه های حاوی ۱/۵ درصد وزنی الیاف با طول ۱۹ میلیمتر دیده می شود. این افزایش در نمونه های تثبیت شده در ۲ و ۶ درصد آهک به ترتیب ۸۸ و ۸۵ درصد می باشد.

### نتیجه گیری

- ۱- افزودن الیاف به خاک تثبیت شده با آهک باعث نرمی و شکل پذیری خاک تثبیت شده گشته و آن را از حالت تردی و شکنندگی خارج می سازد.
- ۲- افزایش طول الیاف و در یک طول ثابت افزایش درصد وزنی الیاف، باعث افزایش رطوبت بهینه و کاهش دانسیته خشک حداکثر می گردد.
- ۳- حداکثر افزایش در رطوبت بهینه و کاهش در دانسیته خشک حداکثر مربوط به خاک تثبیت شده با ۲ درصد آهک و ۲ درصد وزنی الیاف با طول ۱۹ میلی متر می باشد.
- ۴- افزایش طول و در یک طول ثابت، افزایش مقدار الیاف باعث افزایش CBR می گردد.
- ۵- بیشترین افزایش در ظرفیت باربری در تمامی طول ها در مقدار ۱/۵ درصد وزنی الیاف رخ می دهد. با توجه به نتایج به دست آمده در پروژه حاضر مقدار بهینه الیاف ۱/۵ درصد وزنی می باشد.

- [1] Eads, J.L., and Grim,R.E (1963) Reaction of Hydrated lime with pure clay minerals in Soil Stabilization, Highway Research Bulletin 262.
- [2] Maher, M.H., and Gray, D.H (1990) Static response of sands reinforced with randomly distributed fibers, Journal of Geotech: Eng., Vol. 166, No.11,pp 1661-1677.
- [3] Anderslan , O.B. and Khattak, A.S (1979) shear strength of kaolinite/ Fiber soil Mixture, Pro,1<sup>st</sup> int. conf.on Soil Reinforcement, Vol.1, Paris, France, pp.11-16.
- [4] Ben Son, H., and khire, v(1994) Reinforcing Sand with strips of reclaimed high-density polythylene, Jounal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 120, No.5, pp.838-855.
- [5] Kumar, A, walia, B.S., Mohan, J (2006) Compressive strength of fiber reinforced highly compressible clay, Jounal of Construction and Building Materials, No.20, pp. 1063-1068.
- [6] Kaniraj , R., Gayathri.(2003) Geotechnical behavior of fly ash mixed with randomly oriented fiber inclusions, Journal of Geotextiles and Geomembranes, No.21, pp.123-149.
- [7] Mc Gown, A.et.al (1978) Effect of inclusion properties on the behavior of sand, Jounal of Geotechnique, Vol,28, No.3, pp 327-346.
- [8] Mesbah, A., Morel, J.C., Walker, P., and Ghavami Hk. (2004) Development of direct tensile test for compacted earth blocks reinforced with natural fibers, Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 16, No.1, pp 95-98.
- [9] Li,J., Ding, D.W.(2002) Nonlinear elastic behavior fiber – reinforced soil under Cyclic Loading, Journal of Dynamics and Earthquake Engineering, 22, pp 977-983.
- [10] ASTM, Volume 04.08, March (2003) soil and Rock (I:D420-D5779).