# تثبیت خاکهای سست در بستر جاده ها با مصالح نوین

اسماعیل معصومی کاوه استاد علی عسکری*

*نویسنده مسئول Kaveh_Oaa2001@YAHOO.COM

## چکیده

به منظور اجرای خطوط راه های آسفالتی در یک منطقه جغرافیایی همواره شرایط ایده آل وجود ندارد و در بسیاری از مواقع نیاز به تصحیح وکار فراوان بر روی زمین های مورد نظر از جمله تثبیت خاک می باشد. تفاوت شرایط جوی، شرایط جغرافیایی و از این دسته همگی باعث می شود که شیوه اجرا مسیرها متفاوت باشد. یکی از مشکلات، اجرای بهینه ی خطوط راه های آسفالتی بر روی خاک های سست و زمین های باتلاقی است. مطالعات زیادی توسط متخصصین راه و ژئوتکنیک در این زمینه انجام گرفته است. یکی از روش های موجود برای اجرای خطوط، در چنین مناطقی استفاده از الیاف و رزینهای پلی مری در تثبیت خاک است. استفاده از الیاف یکی از روش های متداول برای مسلح کردن خاک واقع بر روی بسترهای سست است که باعث کاهش نرخ نشست خطوط و متعاقب آن افزایش دوره نگهداری می شود. در این مقاله پس از معرفی الیاف مصنوعی و رزینهای پلی مری به بررسی و کاربرد آن ها در بهسازی خطوط راه و مسلح کردن خاک های سست در حالات خشک و اشباع پرداخته شده است.

**واژگان کلیدی**: تثبیت خاک،خاک های سست،الیاف مصنوعی،رزینهای پلی مری،تست CBR

## ۱. مقدمه

امروزه اهمیت راهها، بزرگراهها و آزاد راهها در توسعه جوامع بشری بر کسی پوشیده نیست. نقش بسیار مهم راهها در ارتباط بین روستاها، شهرها و کشورها و نیز جابه جایی انسان و کالا، غیرقابل انکار است و به جرأت می توان گفت که میزان راههای موجود در هر کشوری از مظاهر توسعه یافتگی آن کشور به شمار می رود .به این علت در کشورهای مختلف سرمایه گذاری زیادی در توسعه و ساخت راهها و نیز نگهداری راههای موجود انجام می شود .آمارها نشان می دهند که در طول ۵۰ سال گذشته بیشترین سرمایه گذاری در مقایسه با سایر بخشهای زیربنایی عمومی، جهت احداث راهها انجام شده است.

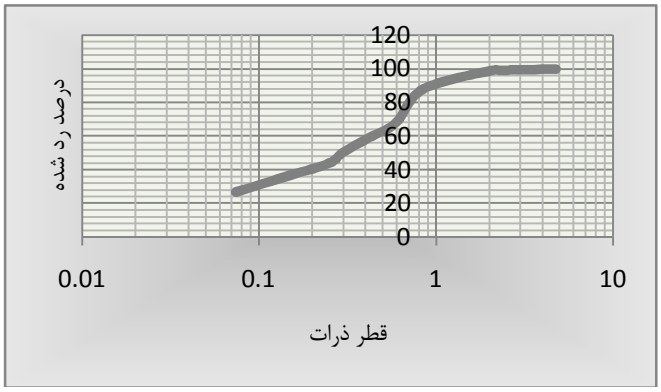
بررسی های تحقیقاتی بر روی تثبیت خاک به وسیله مصالح سنتی به زمان جنگ جهانی دوم باز می گردد. پس از آن ارتش ایالات متحده تحقیقات وسیعی جهت تثبیت خاک برای جاده سازی و فرودگاهها آغاز کرد که نتیجه آن در آئین نامه جاده سازی ایالات متحده فصل ۹ شماره ۵۴۱۰ آورده شده است.[۱]. در روشهای اخیر و سنتی از موادی همچون سیمان، آهک، قیر[ ۲-۵]. سرباره زغال سنگ[۶] و خاکستر[۷] استفاده می کنند. از سال ۱۹۸۰ تثبیت با مواد شیمیایی نوین آغاز و در سال ۱۹۹۰ وارد مرحله جدیدی شد. برای مثال در تحقیقات و آزمایش هایی که توسط خانم دکتر الهه

مهدویان و همکاران در روی تغییر مقاومت خاک سابگرید تثبیت شده با یک محلول آنزیمی صورت پذیرفت، میزان تاثیر آنزیم روی مقاومت (CBR) و صلبیت و مدول خاک بررسی گردید. این آزمایشات روی ماسه (SP) ، رس (CL) و مخلوط ماسه رسی (SC) انجام گرفت. حضور آنزیم در خاک های با ریز دانه بالا تغییر ناچیز در (CBR) ایجاد نموده است و خاکهای با تقریباً ۳۰٪ ریز دانه، (CBR) تا ٪ ۱۶۰ افزایش یافته است.[۸]. در چین برای تثبیت تپه های ماسه ای روان و کنترل فشار ماسه بادی متورم در امتداد یک بزرگراه در صحرای Taklimalan به وسیله تثبیت کننده های پلی مری مانند امولسیون پلی وینیل استات (lvp) و امولسیون (LVA) توسط هان و همکارانش آزمایشات و تحقیقات آزمایشگاهی و میدانی در محل برای ارزیابی مقاومت گسیختگی، مقاومت در برابر فرسایش باد، مقاومت در برابر یخ زدگی، مقاومت در برابر افزایش عمر ماسه تثبیت شده با این مواد انجام پذیرفت. نتایج نشان داد مقاومت گسیختگی تا حدود ۱۲ Mpa افزایش یافته که بسیار بزرگتر از آنچه که مورد نیازاست (۱Mpa) می باشد. مقاومت در برابر یخ زدگی بسیار مطلوب بوده به طوری که کاهش وزن نمونه ها صفر بود. شاخص افت مقاومت در برابر افزایش عمر نشان داد که LVP کم ترین افت مقاومت را دارد و کاهش مقاومت آن صفر است و در یک دوره ۴ ساله جوابگو می باشد[۹].

## ۲. مواد مصرفی:

خاک مورد استفاده در این پژوهش یک نوع ماسه سیلت دار می باشد. این نمونه از منطقه بیابانی سگزی واقع در شمال شرقی اصفهان تهیه شده است. منحنی دانه بندی آن (ASTM D422-87) در شکل(۲) آمده است. قطر متوسط دانه ها (D50) ۰/۲ میلیمتر می باشد. در تراکم به روش پروکتور استاندارد ASTM D698-91 رطوبت بهینه آن برابر ۱۳/۸ درصد و وزن مخصوص خشک حداکثر ۱/۵ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد. بر اساس استاندارد ASTM D854-92 چگالی دانه های خاک (Gs) ۲/۹۴ تعیین گردید.

شکل ۱- محل خاک برداری (سگزی اصفهان)

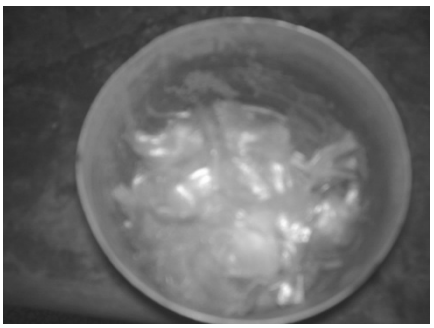



شکل۲- منحنی دانه بندی ماسه

جدول ۱- مشخصات خاک مورد آزمایش

| مشخصات | مقدار | استاندارد |
|---|---|---|
| نوع خاک | (A-2-4) | AASHTO |
| طبقه بندی | SM بر حسب طبقه بندی یونیفاید | ASTM-D2487 |
| جنس ذرات | ماسه سیلتی | |
| چگالی توده ویژه | ۲/۹۴ گرم برسانتیمتر مربع | ASTM 854 |
| حد روانی | ٪۳۴/۶۷ | |
| حد خمیری | ٪۲۷/۰۴ | ASTM-D4318 |
| شاخص خمیری | ٪۷/۶۳ | ASTM-D4318 |

الیاف مورد استفاده جهت تسلیح، الیاف پلی پروپیلن با اندازه های ۱۲ و ۱۹ میلیمتری و درصدهای وزنی ۰/۰۵و۰/۱ و ۰/۱۵و ۰/۲۵ مورد بررسی قرار گرفت. مشخصات الیاف مذکور در جدول ۲ ارائه گردیده است.



شکل ۳- الیاف پلی پروپیلن مصرفی

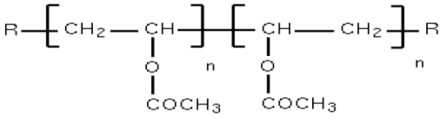
جدول ۲- مشخصات الیاف مورد استفاده

| مشخصات | مقدار |
|---|---|
| رنگ ظاهری | سفید |
| وزن مخصوص(g/cm3) | ۱ |
| قطر(میکرن) | ۲۳ |
| مقاومت کششی(MPa) | ۴۰۰ |
| محدوده ذوب ($0^c$) | ۱۶۰-۱۶۵ |
| مقاومت در برابر اسیدها و قلیاها | بالا |
| مقاومت در برابر نمک | بالا |

**رزینهای پلی مری مورد استفاده**

۱- رزین پلی وینیل استات (PVA):

پلی وینیل استات یک ماده پلی مری است که از پلی مراسیون رادیکالهای آزاد وینیل با منشا مونومر وینیل استات بدست می آید. این ماده برای اولین بار توسط فریتز کالاته در آلمان در سال ۱۹۱۲ کشف و ساخته شد. این ماده در تجارت و صنعت با نام اختصاری PVAc شناخته می شود. فورمولاسیون PVAc در شکل ۳ نشان داده شده است[۱۰].



شکل ۳ – فرمولاسیون پلی وینیل استات

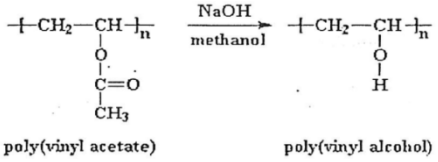
جدول ۲- خصوصیات پلی وینیل استات (PVAc) [9]

| | |
|---|---|
| شکل ظاهری | سفید و مرطوب |
| چگالی در ۲۵ درجه سانتیگراد ($gr/cm^3$) | ۱/۱۹ |
| PH | ۴-۶ |
| ویسکوزیته (Pas) | در دما و وزن مولکولی مختلف متفاوت است |
| اندازه ذرات(میکرون) | ۰/۱-۳ |
| حجم مخصوص در دمای ۲۸ درجه (L/Kg) | ۰/۸۴ |
| دمای تجزیه (درجه سانتیگراد) | ۱۵۰ |
| مدول کشسانی(GPa) | ۱/۲۷۵-۲/۲۵۶ |
| استحکام کششی (MPa) | ۲۹/۴-۴۹ |
| درصد ازدیاد طول تا حد پارگی در ۲۰ درجه | ۱۰-۲۰ |
| دمای تبدیل شیشه ای (درجه سانتیگراد) Tg | ۲۸-۳۱ |

تحقیقات بیشتر نشان داد که کاربرد این ماده چسبناک، سبب ارتقای ساختار خاک ، افزایش نفوذ آب و ازدیاد استحکام دانه بندی خاک می گردد و به طور خلاصه، کاربرد این ماده سبب جلوگیری از فرسایش ناشی از اثر آب و باد است [۱۱].

۲- رزین پلی وینیل الکل (PVA):

پلی وینیل الکل که نام اختصاری آن PVA می باشد در سال ۱۹۲۴ توسط هرمان و هانل با هیدرولیز پلی وینیل استات در متانول با حضور هیدروکسید پتاسیوم ساخته شد. گروه استات با جایگزینی استرس با متانول در حضور هیدروکشسید سدیم آبدار هیدرولیز و پلی وینیل الکل بوجود آید در شکل ۴ فرمولاسیون پلی وینیل الکل نشان داده شده است. پلی وینیل الکل ماده ای بی بو، نیمه شفاف یا مات و دارای بلورهای سفید یا کرم رنگ می باشد. ساختار مولکولی آن بی آرایش است که حالت آن بلوری می باشد. با درجه هیدرولیز کامل باعث انحلال پذیری آن فقط در دمای بیشتر از ۸۵ درجه سانتی گراد می شود. دارای مقاومت و سختی بالا است و خصوصیات مقاومتی آن به مقدار رطوبت بستگی دارد که افزایش آن باعث کاهش مقاومت کششی آن می شود.برخی مشخصات آن در جدول ۳ آمده است[۱۲]،[۱۳]. از خصوصیات این ماده می توان به غیر سمی بودن، عدم خورندگی، عدم آلوده کنندگی آب اشاره کرد[۱۴]،[۱۵]. در سال ۱۹۷۴ سفانسون طی تحقیقاتی با استفاده از پلی وینیل الکل خاک لوم ماسه ای ریز دانه را بدون هیچ اثر زیان بار بر محیط زیست و رشد گیاهان تثبیت نمود[۱۶].




شکل ۴ – فرمول شیمیایی پلی وینیل الکل[۱۲]

جدول ۳ – خصوصیات پلی وینیل الکل (PVA) [۱۳]

| | |
|---|---|
| شکل ظاهری | بلورهای سفید رنگ |
| چگالی غیر متبلور($gr/cm^3$) | ۱/۲۶ |
| چگالی متبلور($gr/cm^3$) | ۱/۳۵ |
| PHدر محلول ۵ درصد | ۵-۶/۵ |
| PHدر محلول آب دار | خنثی یا کمی اسیدی |
| ویسکوزیته(m.Pas) | ۲۸±۴ |

**۳. آزمایش نسبت باربری (CBR) :**

این روش که توسط شخصی بنام پورتر در سال ۱۹۲۶ بوجود آمد متداول ترین روش تعیین مقاومت نسبی خاکها برای راهسازی است.

این روش در سالهای بعد کاملتر شد تا اینکه در سال ۱۹۴۰ توسط گروه مهندسین و سپس سال ۱۹۶۱ توسط انجمن آزمایش و مصالح ایالات متحده (ASTM) بعنوان یک روش استاندارد تعیین مقاومت خاکها مورد قبول قرار گرفت. در حال حاضر این روش برای ارزیابی قدرت باربری خاک بستر روسازی راهها و فرودگاهها و نیز تعیین قدرت باربری مصالح سنگی استفاده می شود. در این پژوهش از استاندارد (ASTM.D698-B) جهت انجام آزمایشات استفاده شد.نمونه ها در یک قالب فلزی استوانه ای است با قطر داخلی۰/۰۲۶ ± ۶ اینچ و ارتفاع آن ۰/۱۶± ۷ اینچ در ۳لایه و۵۶ ضربه تحت رطوبت بهینه متراکم می شود. [۱۷].

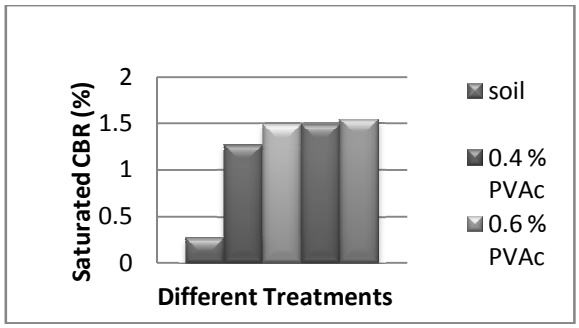
شکل۵- قالبهای آماده آزمایش CBR

شکل۶– قالبها در زیر دستگاه CBR

شکل۷– حل کردن رزین در آب

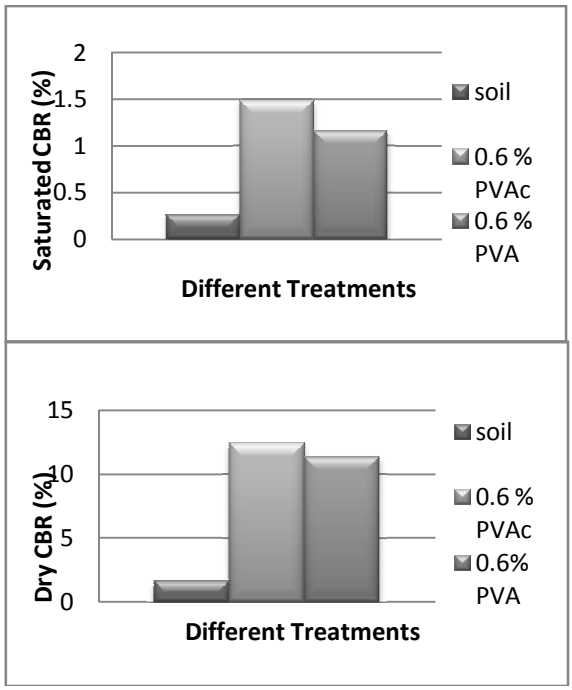
**۴. تحلیل نتایج :**

با انجام آزمون های تراکم بر روی نمونه خاک مشخص گردید آب بهینه مورد نیاز ۱۳/۸ می باشد. رزین پلی وینیل استات را با درصدهای وزنی ۰و۰/۴و۰/۶ و۰/۸و۱ پس از ۴۸ ساعت مورد آزمایش قرارگرفت. همانطور که در شکلهای ۸ و ۹ مشخص می باشد بهینه پلی وینیل استات ۰/۶٪ وزنی می باشد، از رزین های دیگر پلی وینیل الکل را با درصد وزنی ۰/۶٪ استفاده شد و پس از ۴۸ ساعت مورد آزمایش قرار گرفت، که در شکل ۱۰ و ۱۱ مقایسه بین خاک تثبیت شده با پلیمرها در حالت خشک و اشباع بیان شده است.



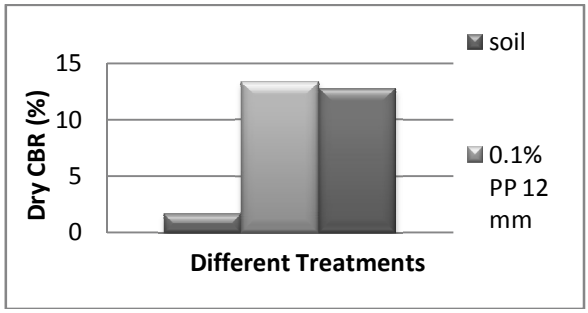

شکل۸ – تاثیر تغییر مقدار PVAc بر درصد CBR خشک

شکل۹– تاثیرتغییر مقدار PVAc بر درصد CBR اشباع

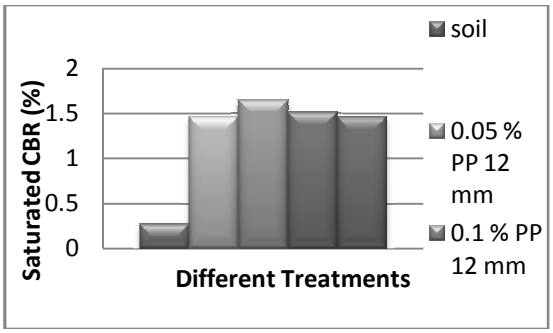



شکل ۱۰– تاثیر تغییر رزین بر درصد CBR خشک

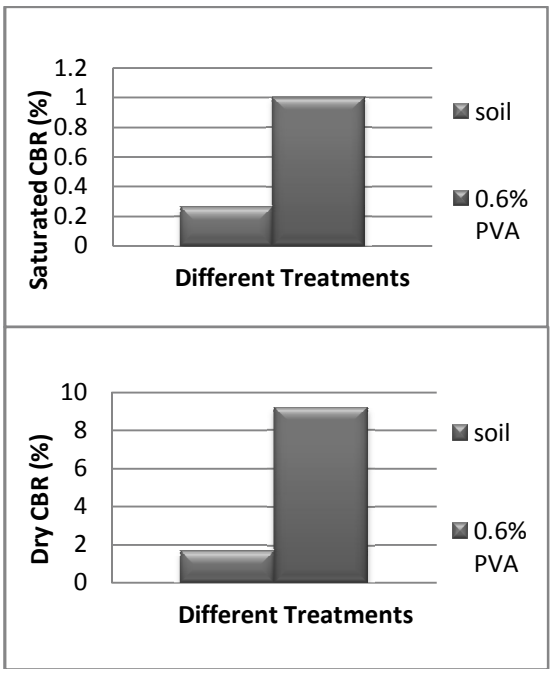
شکل ۱۱– تاثیر تغییر رزین بر درصد CBR اشباع




شکل ۱۲- درصد CBR خشک با تغییر اندازه الیاف




شکل ۱۳ – درصد CBR اشباع در طول ۱۲میلیمتر




شکل ۸ – درصد CBR خاک خشک با PVA

شکل ۹ – درصد CBR خاک اشباع با PVA

## ۵. نتیجه گیری:

در این تحقیق خلاصه ای از اجرای تکنولوژی جدید تثبیت خاک با الیاف پلیپروپیلن و رزین پلی مری پلی وینیل الکل مورد مطالعه قرار گرفته و نتایج زیر حاصل شده است:

۱- افزایش ۷۸۵ درصدی CBR خاک مسلح شده با الیاف ۱۲ میلیمتری پلیپروپیلن در حالت خشک وافزایش ۵۸۰ درصدی CBR در حالت اشباع می باشد.

۲- افزایش ۵۶۰ درصدی CBR خاک تثبیت شده با رزین PVA به مقدار ۰/۶ درصد وزنی در حالت خشک و افزایش ۳۸۴ درصدی CBR در حالت اشباع می باشد.

۳- افزایش ۱۴۰ درصدی خاک مسلح شده با الیاف ۱۲ میلیمتری پلیپروپیلن در حالت خشک نسبت به خاک تثبیت شده با رزین PVA.

۴- افزایش ۱۵۱ درصدی خاک مسلح شده با الیاف ۱۲ میلیمتری پلیپروپیلن در حالت اشباع نسبت به خاک تثبیت شده با رزین PVA.

۵- الیاف در حالت اشباع بهتر از رزین های پلیمری عمل می کنند و تا حدی رزین های پلیمری برگشت پذیر هستند.

## ۶. منابع:

علایی، ح" بررسی خصوصیات خاک تثبیت شده با مواد پلیمری،" پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد نجف آباد، اصفهان بهار ۱۳۸۸

Jin Liu , Bin Shi , Hongtao Jiang , He Huang , Gonghui Wang , Toshitaka Kamai, Research on the stabilization treatment of clay slope topsoil by organic polymer soil stabilizer, Engineering Geology 117 (2011) 114–120.

Raymond N. Yong , Vahid R. Ouhadi ,Experimental study on instability of bases on natural and lime/cement-stabilized clayey soils, Applied Clay Science, Volume 35, Issues 3-4, February 2007, Pages 238-249.

D.S. Liyanapathirana , R.B. Kelly, Interpretation of the lime column penetration test, Computers and Geotechnics 38 (2011) 69–79.

Rajasekaran, G. Sulphate Attack and Ettringite Formation in the Lime and Cement

Stabilized Marine Clays , Ocean Engineering, 32 (55), (2005), pp. 1133-1159.

M. BROOKS, Soil Stabilization With Flyash And Rice Huskash, International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences, 1, 3, . (2009), 209-217

S.Ayyappan, K.Hemalatha, M.Sundaram, Investigation of Engineering Behavior of Soil,

Polypropylene Fibers and Fly Ash -Mixtures for Road Construction, International Journal of Environmental Science and Development, Vol. 1, No. 2, June 2010,ISSN:2010-0264.

A.R Tolleson , F.M.Shantawi, N.E.Harman , E.Mahdavian, An evaluation of strength change on subgrade stabilized with an Enzyme Catalyst Solution using CBR and SSG comparisons , Final report to university Transportation Center Grant,USA, (2003).

http://en.Wikipedia.org/polyvinyl acetate and urea-formaldahed.

J.Croweley, D.Bell,B.K.Holtwieshe.,"Environmentally-favorable erosion control with a polyvinyl Acetate-based formulation "American Chemical

Society.www.kiwipower.com/pdf/Qei-Article.pdf.,pp.1806-1810,1988

M.Lahalih, G.Hovakeemian, Development of Novel Polymeric Soil Stabilizers, INd. Eng. Chem. Res.27 (1988),pp1806 – 1810

J.A.Brydso PLASTICS MATERIALS,Seventh edition,Butterworth-Heinemann 1999

S.K.Saxena, Poly vinyl Alcohol (PVA) ,Chemical and Technical Assessment (CTA), (2004) ,ppl-3,