تحقیقات بتن
سال پانزدهم، شمارهٔ سوم
پائیز ۱۴۰۱
ص ۴۳ – ۳۱
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۸

# بررسی اثر هم‌افزایی استفاده از سیمان، دوغاب پلیمری و الیاف تایر بازیافتی در بهبود ویژگی‌های مکانیکی و ژئوتکنیکی ماسه بادی

**پیام زنگانه رنجبر ***
**گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.**
**حمیدرضا طالبی مامودان**
**گروه مهندسی عمران، واحد لنگرود، دانشگاه آزاد اسلامی، لنگرود، ایران.**
**رضا موسی زاده مقدم پور**
**گروه مهندسی عمران، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران**
**مصطفی قربانی زرکامی**
**گروه مهندسی عمران، واحد لنگرود، دانشگاه آزاد اسلامی، لنگرود، ایران.**

## چکیده

**امروزه پژوهش در زمینهٔ به‌سازی خاک‌ها با توجه به محدودیت‌های بسیار زیاد در خصوص وجود زمین‌های با ویژگی‌های مهندسی مناسب، یکی از موارد پیش‌رو در مهندسی ژئوتکنیک می‌باشند. روش‌های مختلفی نظیر روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی، هیدرولیکی، الکتریکی و بیولوژیکی برای به‌سازی خاک‌ها بکار گرفته می‌شوند. اساس روشهای فیزیکی و شیمیایی برای به‌سازی خاک‌ها مبتنی بر افزودن یک ماده به خاک و اصلاح و بهبود خواص مکانیکی خاک است. در این پژوهش به بررسی تأثیر دوغاب پلیمری به همراه سیمان به‌عنوان تلفیق روش‌های فیزیکی و شیمیایی بر ویژگی‌های مکانیکی و ژئوتکنیکی ماسه بادی پرداخته می‌شود. به همین منظور، یک مطالعه آزمایشگاهی برای بررسی تأثیر افزودن ماده پلیمر پلی‌وینیل الکل به همراه الیاف بازیافتی تایر خودرو و سیمان روی خواص مکانیکی و ژئوتکنیکی ماسه بادی انجام گرفت. نتایج حاصل از آزمایش‌های تراکم، CBR و آزمایش برش مستقیم نشان داد که افزودن درصدهای مختلف وزنی پلیمر، تأثیرات مستقیمی روی وزن مخصوص خشک و مقاومت برشی نمونه‌ها دارد. همچنین نتایج آزمایش‌های تک‌محوری نیز نشان می‌دهند که افزودن پلی‌وینیل الکل مقاومت فشاری و برشی خاک را افزایش داده و ترکیب همزمان پلیمر، سیمان و الیاف به خاک بیشترین تأثیر را در اصلاح خصوصیات ماسه بادی دارد. به‌عنوان نمونه نتایج پژوهش نشان داد، در ترکیب ۰/۴ درصد پلی‌وینیل الکل، ۱ درصد سیمان و ۰/۶ درصد الیاف تایر بازیافتی با ماسه، مقاومت فشاری به حدود $15\ kg/cm^2$ رسید. درحالی‌که مقاومت فشاری برای مخلوط ۱٪ سیمان و ماسه تنها حدود $0/3\ kg/cm^2$ بوده است.**

**واژه‌های کلیدی: دوغاب پلیمری، ماسه بادی، الیاف تایر بازیافتی، سیمان، تثبیت خاک.**

* نویسنده مسئول: p.zanganeh@guilan.ac.ir

## ۱- مقدمه

خاک‌های ماسه‌ای و رسی بخش وسیعی از خاک‌های شمال کشور را تشکیل می‌دهند. خاک‌های ماسه‌ای مناطق ساحلی که به ماسه بادی معروفند، در حالت محدود شده قابلیت باربری قابل‌توجهی دارند، ولی در حالت محدود نشده در صورتی که در مسیر جریان آب قرار بگیرند، به‌دلیل دانه‌بندی یکنواخت و نداشتن چسبندگی، شسته می‌شوند. [۱]

نظر به اهمیت باربری خاک به‌عنوان یکی از مسائل اساسی در طراحی سازه‌ها، به‌سازی خاک جهت بهبود خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن مدت‌های طولانی مورد علاقه متخصصین ژئوتکنیک بوده است. در این خصوص روش‌های مختلفی از جمله مخلوط کردن خاک بامصالح دیگر مانند آهک یا سیمان مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اینکه مخلوط کردن خاک، تنها با آهک یا سیمان ممکن است خصوصیات مقاومتی مورد نظر جهت اصلاح و افزایش مقاومت باربری را در بر نداشته باشد، لذا امروزه علاوه بر این مصالح، استفاده از سایر مواد افزودنی مورد توجه قرارگرفته است. [۳-۲]

یکی از روش‌های مقابله با خاک‌های مساله دار نظیر ماسه بادی که موضوع این پژوهش می‌باشند، به‌سازی خاک است. به‌سازی خاک یکی از شاخه‌های ژئوتکنیک است که با اصول علمی و استفاده از تکنولوژی‌های جدید، مواد و مصالح مناسب را در تقویت خاک به‌کار گرفته و مشخصات مهندسی و خواص مکانیکی از جمله مقاومت، سختی یا ضریب کشسانی، شکل پذیری و ظرفیت باربری آن را بهبود می بخشد. عناصری که در این زمینه به کار می روند از جنس فلزات، مواد پلیمری و حتی الیاف گیاهان هستند. مکانیزم عمل و رفتار خاک مسلح مبتنی بر اثرات متقابل بین خاک و عنصر مسلح کننده بوده و در این رابطه پدیده اصطکاک بین خاک و عنصر تسلیح نقش اساسی را دارد[ ۴]

برای نخستین بار در سال ۱۹۱۷ مخلوط خاک- سیمان به‌عنوان یک اختراع در فیلادلفیای آمریکا به ثبت رسید و پس از آن در سال ۱۹۲۲ سازمان بزرگراه‌های ایالت داکوتای جنوبی و آیووا و متعاقب آن در سال ۱۹۳۲ اداره راه کارولینای جنوبی این مخلوط را در تثبیت مسیر جاده‌ها و احداث بزرگراه‌ها به‌کار گرفته شد. [۵] Gray و همکاران در سال ۱۹۹۶ با انجام آزمایش‌های فشاری سه محوری بر روی ماسه مسلح با الیاف میزان تأثیر مسلح‌کننده‌ها را سنجیدند [۶]. Oldham و همکاران در سال ۱۹۹۷ تحقیقات کاملی بر روی پایدارسازهای شناخته شده از قبیل اسیدها، آسفالت، سیمان، آهک، رزین‌ها، نمک‌ها، سیلکات‌ها و دیگر محصولاتی که دارای پتانسیل پایدارسازی هستند، انجام دادند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که رزین‌های پلیمری بیشترین افزایش را در مقاومت مواد ماسه‌ای دارا می‌باشند [۷]. Dupas & Pecker در سال ۱۹۹۹، با مطالعه خواص مکانیکی ماسه-سیمان به منظور بهسازی در مقابل خطر روانگرایی نشان دادند که با افزودن مقدار ۵ درصد سیمان میزان چسبندگی خاک ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوپاسکال افزایش می‌یابد [۸]. Rourke و همکاران در سال ۲۰۰۰ مشخصات مقاومت برشی سطح تماس ماسه و الیاف را با بیش از ۴۵۰ مورد آزمایش برش مستقیم مورد مطالعه قرار دادند [۹].

Park در سال ۲۰۰۰ با مطالعه بر روی پلیمر پلی وینیل استات و ترکیب آن با ماسه پیش‌بینی کرد که مقدار محلول لازم برای رسیدن به یک دانسیته ماکزیمم برای خاک ماسه روان بین ۱۰ تا ۱۵ درصد وزن ماسه باشد [۱۰]. Gopal و همکاران در سال ۲۰۰۳ مطالعات مقایسه‌ای را برای استفاده از اوره فرمالدئید و پلیمرهای هم‌خانواده آن برای پایدارسازی ماسه بادی انجام دادند. آنها استفاده از ۹ درصد رزین و ۳ درصد کاتالیست اسیدی را برای پایدارسازی ماسه بادی پیشنهاد کردند [۱۱]. Attom در سال ۲۰۰۵ با استفاده از آزمایشات برش مستقیم نشان داد افزودن خرده‌های لاستیک باعث افزایش زاویه اصطکاک داخلی و مقاومت برشی ماسه‌ها می‌گردد. [۱۲]

در سال‌های اخیر برخی بررسی‌های آزمایشگاهی توسط Wartman و همکاران صورت گرفته است که امکان استفاده از شیشه خرد شده را برای بهبود خواص مهندسی ذرات درشت دانه و ماسه‌های ساحلی مانند کائولین و ماسه بادی مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعات نشان داده شد مقاومت اصطکاکی ذرات دانه‌ای خاک با افزودن شیشه خرد شده به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافته و افزودن شیشه خرد شده برای بهبود خواص مهندسی خاک‌های ساحلی به‌صورت یک راهکار پیشنهاد گردید. [۱۳]

در سال ۲۰۰۶ Grubb و همکاران به بررسی برخی از پارامترهای مکانیکی مخلوط خاک رسوبی و شیشه خرد شده پرداختند. [۱۵-۱۴] در سال ۲۰۰۶ به منظور بررسی تقویت ماسه، Foose و همکاران، با استفاده از آزمایشات برش مستقیم بر روی مخلوط‌های ماسه و

خرده تایر فرسوده نشان دادند که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر مقاومت برشی مخلوط، درصد خرده‌های لاستیک و وزن واحد حجم مخلوط می‌باشند. [۱۶]

Wang و همکاران در سال ۲۰۱۰ طی انجام آزمایش‌های تک محوری و سه محوری تأثیر افزودن تراشه‌های پلیمری را به خاک در بهبود رفتار مکانیکی خاک‌های ماسه‌ای رس دار مطالعه نموده و نتیجه گرفت که اضافه نمودن این الیاف به خاک ضمن افزایش مقاومت برشی نمونه‌ها شکل پذیری آنها را نیز بهبود می‌بخشد. [۱۷]

در سال ۲۰۱۰ مهران نیا و وفاییان با استفاده از ترکیب الیافی از جنس نایلون که جزء ضایعات کارخانه لاستیک سازی بوده و خاک ماسه ای سعی در بهبود رفتار این نوع خاک داشتند. [۱۸]

Pamukcu & Akbullut در سال ۲۰۱۳ با استفاده از آزمایشات دینامیکی در کرنش‌های کم نشان دادند می توان مدول برشی و ضریب میرایی ماسه به ازای یک حجم بهینه از خرده‌های لاستیک را افزایش داد. این مسئله در مطالعات Hataf و همکاران نیز نشان داده شد. [۱۹-۲۰]

Michalowski & Germak در سال ۲۰۱۴ با انجام ۴ سری آزمایش‌های سه محوری به بررسی اثر الیافهای پلی آمید، سیم گالوانیزه فولادی و پلی‌پروپیلن روی گسیختگی و سخت شوندگی نمونه‌های ماسه‌ای پرداختند. [۲۱]

Ochi و همکاران در سال ۲۰۱۵ روشی را برای تولید الیاف پت از بطری‌های باطله نوشابه به منظور تسلیح بتن با این الیاف ارائه نمودند و گزارش نمودند که مقاومت فشاری و مقاومت خمشی نمونه‌ها بهبود می‌یابند. [۲۲]

در تحقیقی که توسط Costas در سال ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ انجام گرفته است، به بررسی آزمایشگاهی تزریق دوغاب پلیمری شامل اکریلیک رزین و متیل متا اکریلات در خاکهای ماسه‌ای و رسی پرداخته شد و نتیجه‌گیری شد که ترکیب مقداری مواد با سیمان برای اهداف تزریقی با نسبت مناسب آب به سیمان، به میزان قابل توجهی به بهبود خواص تزریق کمک میکند. [۲۴-۲۳]

Anagnostopoulos و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک ماسه‌ای با دوغاب پلیمری پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان دهنده تأثیر قابل ملاحظه رزین اپوکسی محلول در آب، بر روی مشخصات فیزیکی و مکانیکی ماسه داشت. [۲۵]

در سال ۱۳۹۵ ملاعباسی و شوش پاشا اثر زئولیت بر مقاومت خاک ماسه ای بابلسر تثبیت شده با سیمان را با استفاده از آزمایش مقاومت فشاری تک محوری مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج نشان داد که با جایگزینی ۳۰ درصد زئولیت به جای سیمان، مقاومت فشاری تک محوری، به میزان ۲۰ تا ۷۸ درصد افزایش می‌یابد. [۲۶]

در سال ۱۳۹۵ عابدی کوپایی و همکاران اثر الیاف پلی‌پروپیلن بر ویژگی‌های مکانیکی ماسه بادی را مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان داد هیچ یک از طول‌های الیاف پلی‌پروپیلن تغییر معنی‌داری بر روی رطوبت بهینه، بیش ترین وزن واحد حجم خاک و چسبندگی خاک ایجاد نکردند. در حالی که هر دو طول الیاف نامبرده باعث افزایش معنی‌دار زاویه اصطکاک داخلی و ظرفیت باربری خاک شدند. [۲۷]

در کنار مواد تثبیت کننده اشاره شده با توجه به نفت خیز بودن کشور و وجود صنایع وابسته به نفت مانند پالایشگاه‌ها در نقاط مختلف کشور می‌توان از مواد تولیدی، پسمانده‌های موجود در پالایشگاه‌ها و محصولاتی که در پایان برج تقطیر در پالایشگاه‌ها باقی می‌مانند استفاده نموده و خواص ژئوتکنیکی ماسه‌ها را اصلاح نمود. [۲۸-۲۹-۳۰]

یکی از این مواد پلیمر پلی‌وینیل الکل می‌باشند که در این پژوهش در کنار سیمان و الیاف تایر بازیافتی به منظور تثبیت خاک‌های ماسه‌ای سواحل دریای خزر به کار گرفته شده است.

## ۲-مواد و روش‌ها

هدف از انجام این پژوهش استفاده از دوغاب پلیمری شامل سیمان، پلیمر پلی‌وینیل الکل که ماده پلیمری محلول در آب است به همراه یک ماده سخت‌کننده مانند الیاف تایر بازیافتی و بررسی میزان تأثیر آنها روی وزن مخصوص خشک، رطوبت بهینه، CBR، مقاومت فشاری و برشی خاک ماسه‌ای بد دانه‌بندی شده (ماسه بادی) می‌باشند.

### ۲-۱- دستگاه‌ها

-دستگاه لرزاننده و مجموعه الک‌ها جهت دانه‌بندی خاک

-دستگاه آزمایش تراکم استاندارد

-دستگاه آزمایش CBR

-دستگاه آزمایش برش مستقیم

- دستگاه آزمایش تک محوری

## ۲-۲-مواد و مصالح مورد استفاده

-خاک ماسه بد دانه‌بندی شده (ماسه بادی)

- الیاف تایر بازیافتی

- پلیمر پلی‌وینیل الکل

- سیمان پرتلند نوع ۲

در این تحقیق از مخلوط ماسه بادی با درصدهای مختلف محلول پلیمر پلی‌وینیل الکل، الیاف تایر بازیافتی و سیمان پرتلند نوع ۲ مورد استفاده قرار گرفت. ماسه بادی ماسه ای است که در نزدیکی سواحل دریای خزر منطقه شهرستان رامسر جمع آوری شد. خاک مورد استفاده در این تحقیق ماسه بادی با دانه بندی یکنواخت است. پلی‌وینیل الکل ماده‌ای است آلی که در حالت خشک پایدار، بدون بو، غیررسمی و برای حمل با دست ایمن و دوستدار محیط زیست است. از پلی‌وینیل الکل می‌توان برای ساخت فیلم و پوشش‌هایی استفاده کرد که دارای قدرت کششی و انعطاف پذیری بالا هستند و در برابر نفوذ اکسیژن، دی اکسید کربن و دیگر بخارها مقاومند. در این تحقیق از پلیمر پلی‌وینیل الکل (گرید ۲۰) با درصدهای مختلف استفاده شد. برای افزایش شکل پذیری نمونه‌های خاک در تحقیق و جلوگیری از شکست ناگهانی الیاف تایر به مخلوط اضافه شد. این الیاف‌ها از بازیافت تایر حاصل می‌شود و از نظر جنس جزء دسته پلیمرها هستند.

## ۲-۳-آماده سازی و عمل‌آوری نمونه‌ها

محلول همگن با استفاده از انحلال پلیمر پلی‌وینیل الکل در آب و رسیدن محلول به دمای ۶۰ درجه سلسیوس با استفاده از گرمکن آزمایشگاهی ایجاد شد. با توجه به این که این پلیمر در آب قابل حل است، به منظور حفاظت از پلیمر در برابر آبشستگی حین انجام آزمایش از سیمان استفاده شد. برای این منظور، قبل از اختلاط محلول با خاک، مقدار سیمان مورد نیاز را در محلول حل کرده و سپس به خاک اضافه می‌گردد. برای افزایش مقاومت برشی مخلوط، از الیاف تایر بازیافتی به منظور شکل پذیرتر کردن نمونه استفاده شد. در این حالت همزمان با اضافه کردن محلول، الیاف تایر بازیافتی نیز به خاک اضافه شد.

در آزمایش CBR مخلوط خاک و پلیمر در سه لایه در قالب ریخته شد و هر لایه در ۵۶ ضربه با چکش با وزن ۴/۵ کیلوگرم از ارتفاع ۳۰ سانتیمتری کوبیده شد. در آزمایش برش مستقیم، مخلوط خاک پلیمر و الیاف نیز مخلوط پس از قرار دادن در قالب در سه لایه با وسیله مخصوص متراکم شد. در این تحقیق برای ساخت نمونه‌ها، قالبهای آزمایش به دلیل اینکه نمونه‌ها شرایط دمایی و رطوبتی یکسان را داشته باشند و همچنین با توجه به اینکه پلیمر مورد استفاده تنها با از دست دادن رطوبت به مقاومت میرسد، مخلوط‌ها به مدت ۴۸ ساعت داخل گرمکن با دمای ۶۵ درجه سانتیگراد نگهداری و عمل آوری شدند.

## ۲-۴- روش انجام آزمایش

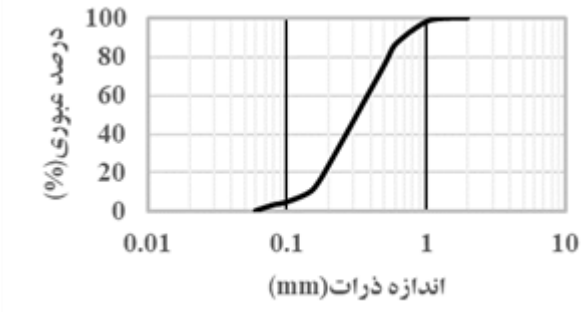
به منظور بررسی تأثیر افزودنی‌ها بر ویژگی‌های ژئوتکنیکی ماسه بادی آزمایش‌های دانه‌بندی، تعیین درصد رطوبت، تراکم، CBR، برش مستقیم و تک‌محوری بر اساس استانداردهای ASTM-C136، ASTM-D2216، ASTM-D698، ASTM-D1883، ASTM-D3080، ASTM-D2850 انجام گرفتند.

## ۳- نتایج

در این تحقیق تأثیر مقادیر مختلف ماده پلیمر پلی‌وینیل الکل به همراه الیاف تایر و سیمان روی خواص مکانیکی و ژئوتکنیکی ماسه بادی انجام گرفته است.

## ۳-۱-تعیین دانه‌بندی ماسه بادی

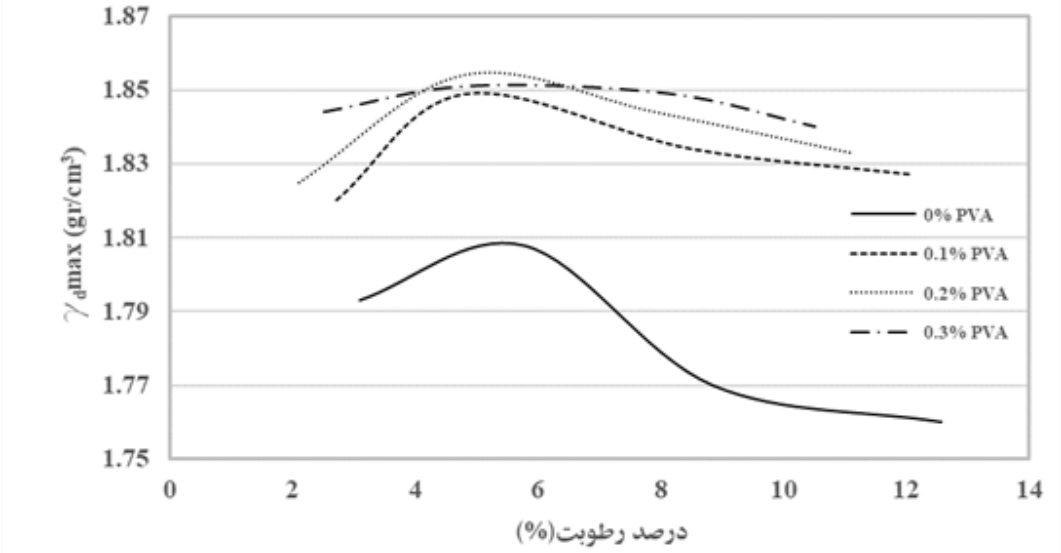
جهت تعیین خصوصیات فیزیکی ماسه بادی در این تحقیق، دانه‌بندی خاک به روش خشک انجام شد که نتایج آن به‌صورت نمودار شکل ۱ بوده و خاک مورد آزمایش در سیستم طبقه بندی متحد از نوع ماسه بد دانه‌بندی شده با $G_s$ برابر۲/۶۶، $D_{50}$ برابر ۰/۲۶ میلیمتر و $e_{max}$ و $e_{min}$ به ترتیب برابر ۰/۸۷۵ و ۰/۵۴۲ می‌باشد.




شکل۱- منحنی دانه بندی ماسه بادی

### ۳-۲-نتایج آزمایش‌های تراکم

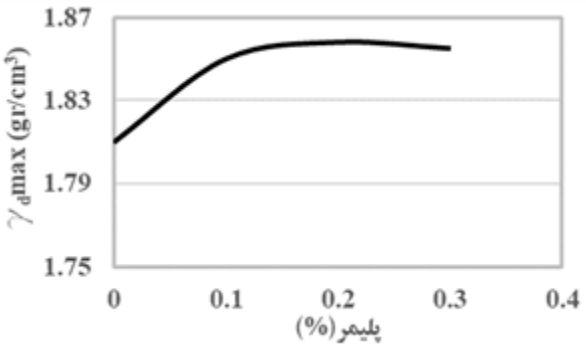
آزمایش تراکم برای تعیین وزن خشک حداکثر و مقدار رطوبت بهینه در حالت‌های مختلف برای نمونه‌های ماسه بادی بدون استفاده از مواد افزودنی، ۰/۱، ۰/۲ و ۰/۳ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل در شکل ۲ ارائه شده است. وزن مخصوص خشک و رطوبت بهینه در حالت‌های مذکور به ترتیب ۱/۸۱ $gr/cm^3$ و ۵/۷۵ درصد، ۱/۸۵ $gr/cm^3$ و ۴/۸ درصد، ۱/۸۶ $gr/cm^3$ و ۴/۸ درصد و ۱/۸۵ $gr/cm^3$ و ۴/۸۴ درصد می‌باشند.



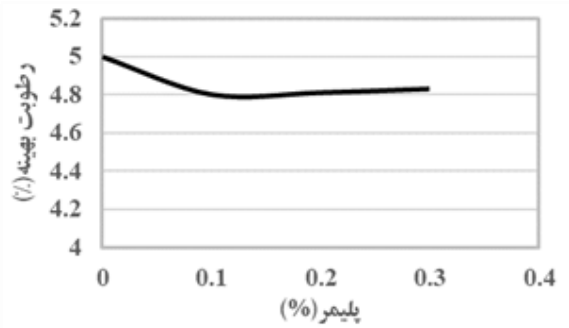

شکل۲- منحنی تراکم خاک با مقادیر مختلف پلیمر پلی‌وینیل الکل

### ۳-۲-۱-تفسیر نتایج آزمایش‌های تراکم

شکل‌های ۳ و ۴ خلاصه‌ای از تغییرات وزن مخصوص حداکثر و رطوبت بهینه را با مقادیر مختلف پلیمر را نشان می‌دهند. با مشاهده نمودارها مشخص است که با اضافه شدن پلیمر به خاک تا ۰/۲ درصد، وزن مخصوص خشک حداکثر افزایش یافته و با بیشتر شدن مقدار پلیمر از ۰/۲ درصد وزن مخصوص خشک حداکثر روند کاهشی به خود می‌گیرد. دلیل این امر می‌تواند چگالی کمتر پلیمر نسبت به خاک و همچنین زیاد شدن اندازه مولکولی فیلم فیبرها نسبت به فضای بین صفحه ای ذرات باشد. لازم به ذکر است که با افزودن پلیمر عملاً رطوبت بهینه تغییر محسوسی نداشته است.




شکل ۳- تغییرات وزن مخصوص حداکثر با مقادیر مختلف پلیمر




شکل ۴- تغییرات رطوبت بهینه با مقادیر مختلف پلیمر

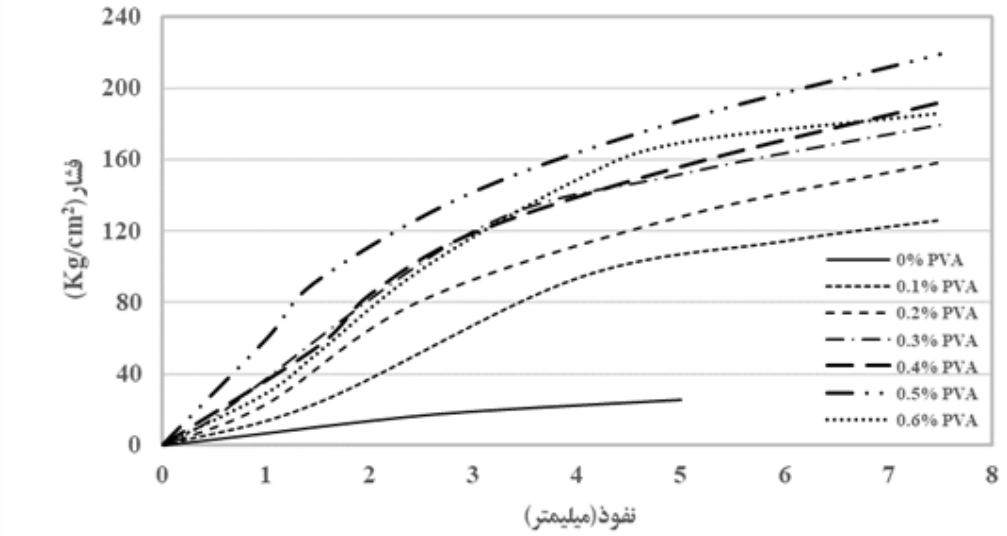
### ۳-۳-نتایج آزمایش‌های CBR

آزمایش CBR برای حالتهای مختلف برای نمونه‌های ماسه بادی بدون استفاده از مواد افزودنی ۰/۱ تا ۰/۶ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل انجام شده که نتایج آن در شکل ۵ تصویر شده است. CBR در حالتهای مذکور به ترتیب ۲۵/۵۰، ۱۲۶/۲، ۱۵۸/۶ و ۱۷۹/۲ و ۱۹۱/۷، ۲۱۹/۲ و ۱۸۶/۱ می‌باشند.

### ۳-۳-۱-تفسیر نتایج آزمایش‌های CBR

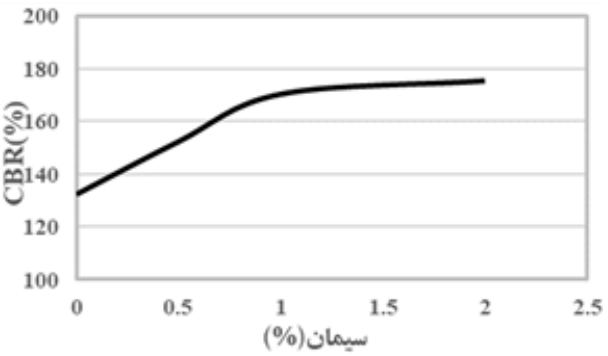
با توجه به شیب نمودارها و مقادیر CBR در شکل ۵ مشاهده می‌شود که اضافه کردن مقدار حداقل پلیمر به نمونه‌ها (۰/۱

درصد)، سبب ایجاد یک جهش در مقاومت نمونه‌های تثبیتی نسبت به نمونه‌های فاقد پلیمر شده است. حداکثر مقاومت نمودارها و مقادیر همچنین افزایش درصد پلیمرها تا ۰/۵ درصد، باعث ایجاد حداکثر مقاومت CBR در نمونه‌ها می‌شود که نشان دهنده یک حد نهایی برای مصرف پلیمرها می‌باشند. بنابراین اثر افزودن پلیمر و ایجاد پیوند فیزیکی بین ذرات تا محدوده‌ای دارای نتیجه مثبت می‌باشند، اما با عبور از یک محدوده، افزیش پلیمر، اثر منفی در نمونه‌های تثبیتی با پلیمر پلی‌وینیل الکل داشته که میتواند در نتیجه زیاد شدن اندازه مولکولی فیلم فیبرها نسبت به فضای بین صفحه ای ذرات باشد. دلیل دیگر ماهیت این پلیمر بوده که در هنگام مخلوط کردن با ایجاد حباب سبب کاهش مقاومت شده و با افزایش غلظت این پلیمر به صورت تصاعدی خاصیت کفزایی آن افزایش می‌یابد. در نتیجه مقدار ۰/۵ درصد پلیمر جهت تثبیت ماسه بادی، مقدار بهینه‌ای به نظر می‌رسد.




شکل۵- نمودار فشار-نفوذ برای خاک برای مقادیر متفاوت پلیمر پلی‌وینیل الکل

همچنین به منظور حفاظت خاک تثبیت شده با پلیمر پلی‌وینیل الکل در برابر آب شستگی از سیمان با درصدهای وزنی ۰/۵، ۱ و ۲ درصد استفاده شد. سیمان قبل از اضافه شدن به ماسه در محلول ۰/۲ درصد پلی‌وینیل الکل حل و سپس به ماسه بادی اضافه شد. شکل ۶ تغییرات CBR را در برابر تغییرات درصد سیمان در محلول ۰/۲ درصد پلی‌وینیل الکل را نشان می‌دهد.



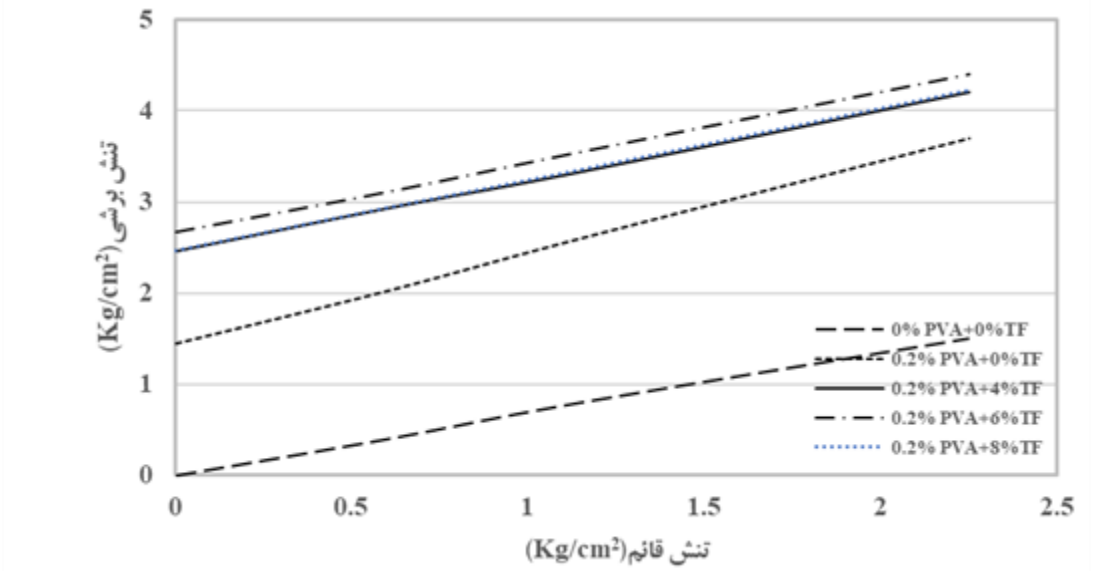

شکل ۶- تغییرات CBR با مقادیر مختلف سیمان

با توجه به نمودار شکل ۶ مشاهده می‌شود که با اضافه شدن سیمان به محلول هم در مقاومت CBR افزایش دیده می‌شود و هم از مخلوط ماسه و پلیمر در برابر رطوبت محافظت می‌شود. با اضافه شدن سیمان کماکان به مقاومت CBR اضافه می‌گردد ولی به نظر می‌رسد با توجه به شیب نمودار مقدار ۱ درصد سیمان مقدار بهینه‌ای باشد. دلیل این امر میتواند عمل‌آوری سیمان باشد چرا که سیمان باید با دریافت رطوبت به مقاومت بالاتر برسد حال آن که با قرار دادن نمونه‌ها در آون و خشک کردن آنها از این امر جلوگیری می‌شود.

### ۳-۴-نتایج آزمایش‌های برش مستقیم

آزمایش برش مستقیم برای هر نمونه در حالت‌های مختلف بار قائم ۲۰، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم برای نمونه‌های ماسه بادی بدون استفاده از مواد افزودنی، ۰/۲ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل، ۰/۲ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل و ۰/۴ درصد الیاف تایر، ۰/۲ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل و ۰/۶ درصد الیاف تایر و ۰/۲ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل و ۰/۸ درصد الیاف تایر به صورت شکل ۷ به دست می آید. مقدار

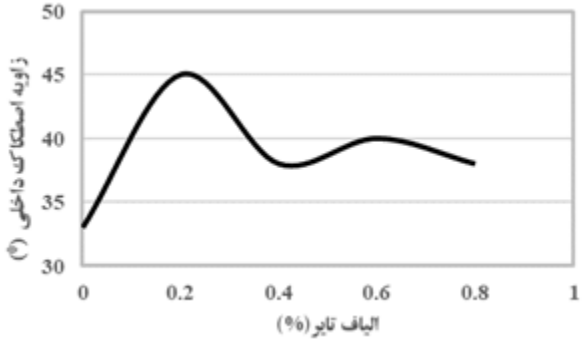
زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک در حالتهای مذکور به ترتیب برابر با ۳۳ درجه و صفر ، ۴۵ درجه و $1/44\ Kg/cm^2$، ۳۸ درجه و $2/44\ Kg/cm^2$ ، ۴۰ درجه و $2/67\ Kg/cm^2$ و ۳۸ درجه و $2/46\ Kg/cm^2$ می‌باشند.




شکل۷- نمودار تنش برشی-تنش قائم برای خاک ماسه برای مقادیر متفاوت مواد افزودنی

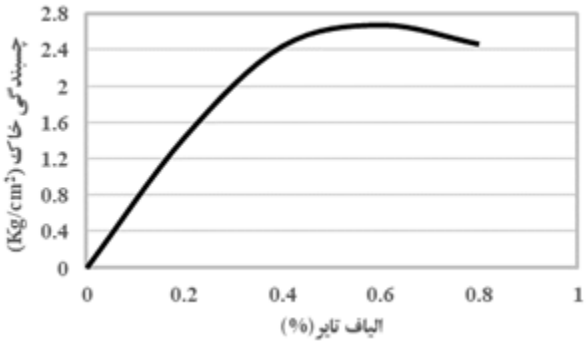
### ۳-۴-۱-تفسیر نتایج آزمایش‌های برش مستقیم

شکل‌های ۸ و ۹ رابطه بین تغییرات زاویه اصطکاک و چسبندگی خاک با مقادیر مختلف الیاف تایر و ۰/۲ درصد پلیمر را نشان می‌دهند. با توجه به این نمودارها مشاهده می‌شود که استفاده از ترکیب پلیمر و الیاف تایر تأثیر بسیار خوبی در بهبود خواص مکانیکی ماسه بادی داشته و هم زاویه اصطکاک داخلی و هم چسبندگی خاک را افزایش می دهد.




شکل ۸- تغییرات زاویه اصطکاک داخلی خاک با مقادیر مختلف الیاف تایر

با استفاده از الیاف هم از شکست ناگهانی خاک جلوگیری شده و هم چسبندگی آن رشد قابل ملاحظه ای می‌کند. بیشترین افزایش زاویه اصطکاک داخلی در مقدار ۰/۲ درصد الیاف تایر به همراه ۰/۲ درصد محلول پلیمر خواهد بود و افزایش بیشتر الیاف نه تنها تأثیری در افزایش زاویه اصطکاک نخواهد داشت بلکه این روند تا حدودی کاهشی است. مقدار ۰/۶ درصد الیاف تایر به همراه ۰/۲ درصد محلول پلیمر جهت افزایش چسبندگی آن، مقدار بهینه‌ای به نظر می‌رسد.



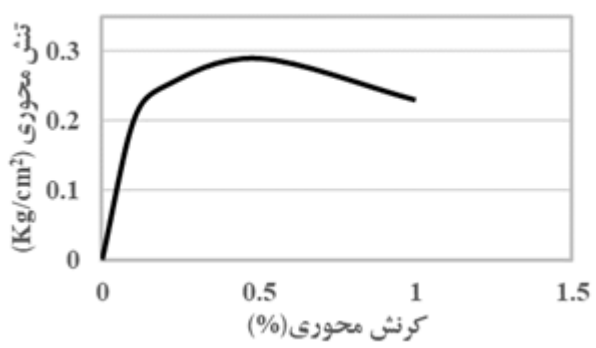

شکل ۹- تغییرات چسبندگی خاک با مقادیر مختلف الیاف تایر

### ۳-۵-نتایج آزمایش‌های تک محوری

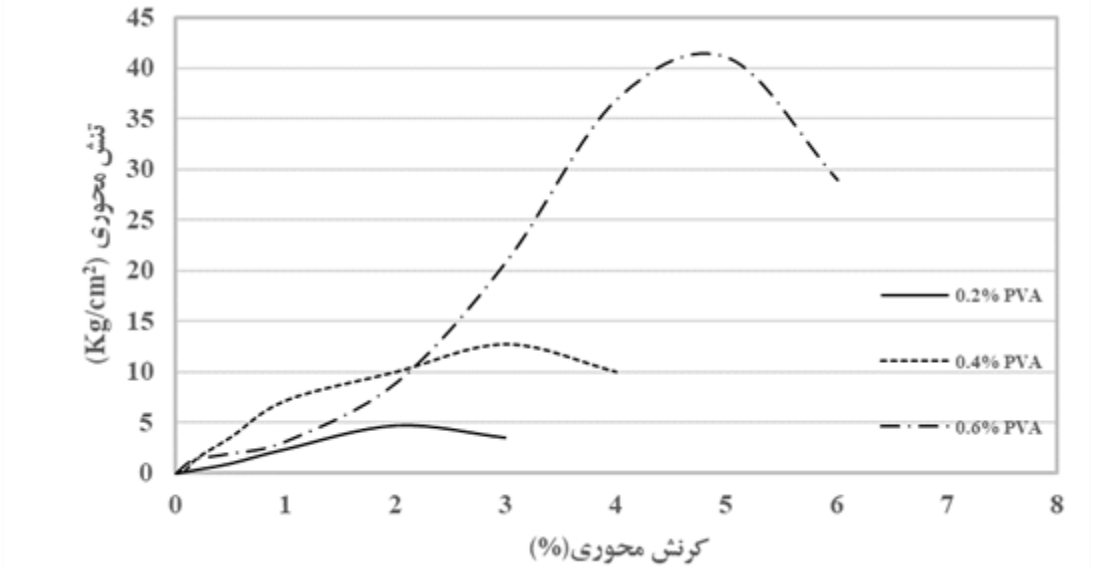
آزمایش تک محوری برای خاک‌های چسبنده کاربرد دارد، زیرا خاک‌های دانه‌ای را نمی‌توان بدون محصورشدگی به فرم یک استوانه در آورد. چون پلیمر مورد استفاده در آزمایش پس از ترکیب با ماسه بادی ، خاک را تا حدودی چسبنده می‌کند لذا

می‌توان این آزمایش را برای خاک مذکور به کار برد. از آنجا که انجام آزمایش برای ماسه بادی بدون مواد افزودنی امکان پذیر نبود، برای آنکه بتوان نتایج آزمایش خاک تثبیت شده با پلیمر را با خاک بدون پلیمر مقایسه کرد، در ابتدا آزمایش تک محوری با ماسه بادی و ۱ درصد سیمان انجام شد که نتایج آن در شکل ۱۰ مشاهده می‌گردد. مقدار مقاومت فشاری حداکثر در این حالت برابر با ۰/۲۹ $Kg/cm^2$ بدست آمده است.

سپس این آزمایش برای نمونه‌های ماسه بادی با مقادیر ۰/۲ ، ۰/۴ و ۰/۶ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل انجام شد که نتایج آن در شکل ۱۱ بیان شده است. بر اساس نتایج مقدار مقاومت فشاری حداکثر در حالتهای مذکور به ترتیب برابر با ۴/۷ $Kg/cm^2$، ۱۲/۷۲، ۴۱/۱ $Kg/cm^2$ به دست آمده است که بیانگر افزایش قابل ملاحظه میزان مقاومت فشاری حداکثر با بیشتر شدن مقدار به کار بستن پلیمر پلی‌وینیل الکل می‌باشند.




شکل ۱۰- نمودار تنش-کرنش برای ماسه بادی با ۱ درصد سیمان




شکل ۱۱- نمودار تنش-کرنش برای ماسه بادی با مقادیر مختلف پلیمر پلی‌وینیل الکل

همچنین آزمایش تک‌محوری برای برای نمونه‌های ماسه بادی حاوی مقادیر ۰/۲ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل و ۱ درصد سیمان، ۰/۴ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل و ۱ درصد سیمان، ۰/۲ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل و ۰/۶ درصد الیاف تایر، ۰/۴ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل و ۰/۶ درصد الیاف تایر، ۰/۲ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل و ۰/۶ درصد الیاف تایر و ۱ درصد سیمان و ۰/۴ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل و ۰/۶ درصد الیاف تایر و ۱ درصد سیمان انجام شد که نتایج آن در شکل ۱۲ ارائه شده است. مقدار مقاومت فشاری حداکثر در حالتهای مذکور به ترتیب برابر با ۳/۶۸ $Kg/cm^2$ ، ۱۰/۱۸ $Kg/cm^2$ ، ۱۰ $Kg/cm^2$ ، ۱۷/۲۲ $Kg/cm^2$ ، ۶/۶۶ $Kg/cm^2$ ، ۱۴/۴۸ $Kg/cm^2$ به دست آمده است.

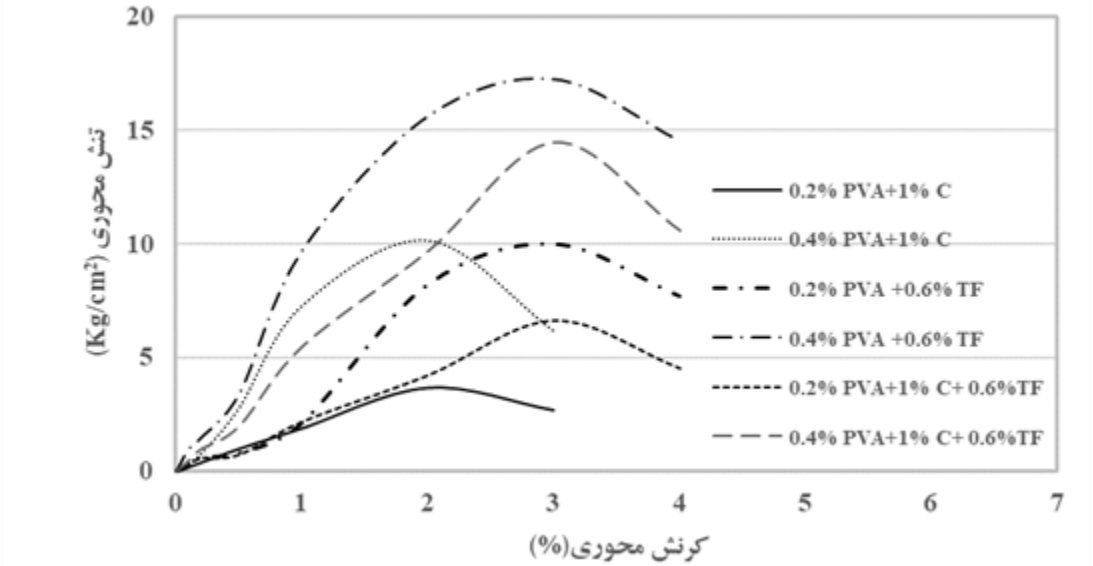
### ۳-۵-۱-تفسیر نتایج آزمایش‌های تک محوری

مقایسه نتیجه حاصل از شکل ۱۰ با نتایج مشاهده شده در شکل ۱۱ بیانگر این مطلب است که افزودن پلیمر پلی‌وینیل الکل به تنهایی به ماسه بادی، مقاومت فشاری را به میزان بسیار قابل توجهی افزایش می‌دهد. این افزایش با افزودن درصدهای بیشتر پلیمر همچنان روند صعودی دارد.

برای حفاظت از مخلوط خاک و پلیمر در برابر آبشستگی، از ۱ درصد سیمان که از آزمایش CBR به‌عنوان حد بهینه به‌دست آمده بود، استفاده شد که مشاهده نتایج آن در شکل۱۲ نشان می‌دهد که افزودن سیمان به مخلوط خاک و پلیمر، در عین محافظت پلیمر در برابر رطوبت و آبشستگی تأثیر مثبتی روی

مقاومت فشاری و برشی خاک ندارد و باعث کاهش ۱۰ درصدی در مقاومت می‌گردد.

در ادامه تحقیق در ادامه برای افزایش شکل پذیری و نرم کردن شکست خاک از ۰/۶ درصد الیاف تایر که از آزمایش برش مستقیم به‌عنوان حد بهینه برای افزایش چسبندگی به دست آمده بود، استفاده شد.




شکل ۱۲- نمودار تنش-کرنش برای ماسه بادی با مقادیر مختلف پلیمر پلی‌وینیل الکل

از بررسی نتایج آزمایش‌های انجام شده مشخص می‌شود که افزودن الیاف تایر به مخلوط ماسه بادی، مقاومت برشی و فشاری نمونه را تا ۲۵۰ درصد افزایش می‌دهد؛ که این رقم بسیار قابل توجه است. لازم به ذکر است که با افزودن الیاف علاوه بر افزایش مقاومت، شکست نمونه نیز از حالت شکست ترد به شکست نرم تغییر می‌یابد.

در پایان به مخلوط ماسه بادی، ۰/۲ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل، ۱ درصد سیمان و ۰/۶ درصد الیاف تایر اضافه شد، تا نمونه هم در برابر رطوبت مقاوم باشد و هم شکل پذیری بیشتری داشته باشد. با توجه به نتایج آزمایش‌ها ترکیب همزمان پلیمر، سیمان و الیاف به خاک بیشترین تأثیر را در اصلاح خصوصیات ماسه بادی دارد؛ چرا که در این حالت هم بر مقاومت فشاری نمونه افزوده شده و هم شکل پذیری نمونه بیشتر بوده و شکست نمونه نرمتر است مضاف به اینکه نمونه‌ها در برابر رطوبت نیز مقاوم می‌باشند.

## ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی چند فرضیه در راستای بررسی تأثیر الیاف تایر و دوغاب پلیمری به همراه سیمان روی ویژگی‌های مکانیکی و ژئوتکنیکی ماسه بادی پرداخته شد.

فرضیه اصلی: با افزودن پلیمر پلی‌وینیل الکل به خاک، وزن مخصوص خشک افزایش و رطوبت بهینه کاهش می‌یابد.

در آزمایش تراکم، با اضافه شدن پلیمر به خاک تا ۰/۲ درصد، وزن مخصوص خشک حداکثر افزایش یافته و با بیشتر شدن مقدار پلیمر از ۰/۲ درصد وزن مخصوص خشک حداکثر روند کاهشی به خود می‌گیرد. دلیل این امر میتواند چگالی کمتر پلیمر نسبت به خاک و در نتیجه زیاد شدن اندازه مولکولی فیلم فیبرها نسبت به فضای بین صفحه ای ذرات باشد. لازم به ذکر است که با افزودن پلیمر عملاً رطوبت بهینه تغییر محسوسی نداشته است.

فرضیه ۱- افزودن پلیمر پلی‌وینیل الکل به ماسه بادی مقاومت CBR را افزایش می‌دهد.

با توجه به نمودارها و مقادیر CBR، اضافه کردن مقدار حداقل پلیمر به نمونه‌ها (۰/۱ درصد) باعث ایجاد یک جهش در مقاومت نمونه‌های تثبیتی نسبت به نمونه‌های فاقد پلیمر شده است. همچنین افزایش درصد پلیمر تا ۰/۵ درصد، باعث ایجاد حداکثر مقاومت CBR در در نمونه‌ها می‌شود که نشان دهنده یک حد نهایی برای مصرف پلیمر می‌باشند. بنابراین اثر افزودن پلیمر و ایجاد پیوند فیزیکی بین ذرات تا یک محدوده‌ای دارای نتیجه مثبت می‌باشند، اما با عبور از یک محدوده، نتیجه منفی در نمونه‌های تثبیتی با پلیمر

پلی‌وینیل الکل مشاهده می‌گردد، که میتواند در نتیجه زیاد شدن اندازه مولکولی فیلم فیبرها نسبت به فضای بین صفحه ای ذرات باشد، دلیل دیگر ماهیت این پلیمر است که در هنگام مخلوط کردن با ایجاد حباب از مقاومت کاسته می‌شود و هر چه غلظت این پلیمر بیشتر باشد به صورت تصاعدی خاصیت کفزایی آن افزایش میابد.

فرضیه ۲- استفاده هم‌زمان از پلیمر پلی‌وینیل الکل و سیمان سبب افزایش در مقاومت CBR می‌شود.

با اضافه شدن سیمان به محلول هم در مقاومت CBR افزایش ایجاد می‌شود و هم از مخلوط ماسه و پلیمر در برابر آب شستگی محافظت می‌شود. با اضافه شدن سیمان کماکان بر مقاومت CBR اضافه می‌شود ولی به نظر میرسد با توجه به شیب نمودار مقدار ۱ درصد سیمان مقدار بهینه‌ای باشد. دلیل این امر می‌تواند عمل آوری سیمان باشد چرا که سیمان باید با دریافت رطوبت به مقاومت بالاتر برسد حال آن که با قراردادن نمونه‌ها در اون و از دست رفتن رطوبت از این امر جلوگیری می‌شود.

فرضیه ۳- افزودن پلی‌وینیل الکل، مقاومت فشاری و برشی خاک را بهبود میبخشد.

با توجه به نتایج آزمایش برش مستقیم، زاویه اصطکاک داخلی خاک برابر با ۳۳ درجه و چسبندگی آن برابر با ۱/۴۴ $Kg/cm^2$ می‌باشند. استفاده از پلیمر به تنهایی، خواص مکانیکی ماسه بادی را به میزان بسیار قابل توجهی بهبود می‌بخشد ولی شکست خاک در این حالت شکست ترد و ناگهانی می‌باشند. برای رفع این مشکل و شکل پذیرتر کردن نمونه‌ها از الیاف تایر با درصدهای مختلف در کنار پلیمر استفاده شد. در مورد مقاومت فشاری و برشی خاک می توانیم از نتایج آزمایش تک محوری نیز استفاده کنیم؛ افزودن پلی‌وینیل الکل به خاک، مقاومت فشاری و برشی خاک را به میزان بسیار قابل توجهی افزایش می‌دهد. این افزایش با افزودن درصدهای بیشتر پلیمر همچنان روند صعودی دارد.

فرضیه ۴- ترکیب هم‌زمان پلیمر پلی‌وینیل الکل، سیمان و الیاف به خاک تأثیر مثبتی در اصلاح خصوصیات ماسه بادی دارد.

نتایج آزمایش تک محوری نشان می‌دهد: ۱- افزودن پلی‌وینیل الکل به خاک مقاومت فشاری و برشی خاک را به میزان بسیار قابل توجهی افزایش می‌دهد ۲- افزودن سیمان به مخلوط خاک و پلیمر، تأثیر مثبتی روی مقاومت فشاری و برشی خاک ندارد و باعث کاهش ۱۰ درصدی در مقاومت می‌گردد. ولی باید توجه داشت که اضافه کردن سیمان، مخلوط خاک و پلیمر را تا حد قابل قبولی در برابر رطوبت و آبشستگی محافظت میکند ۳- افزودن الیاف تایر به مخلوط مقاومت برشی و فشاری نمونه را تا ۲۵۰ درصد افزایش می‌دهد؛ که این رقم بسیار قابل توجه است. لازم به ذکر است که با افزودن الیاف علاوه بر افزایش مقاومت، شکست نمونه نیز از حالت شکست ترد به شکست نرم تغییر می‌یابد.

مطالعه حاضر مبتنی بر تحلیل‌های آزمایشگاهی بوده و به منظور بررسی اثر پلیمر پلی‌وینیل الکل در بهبود خواص مکانیکی و ژئوتکنیکی ماسه بادی انجام گرفته است. آزمایش‌ها به منظور یافتن مقدار بهینه پلیمر برای بهبود مقاومت CBR و همچنین بهبود مقاومت فشاری و برشی انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده می توان موارد ذیل را بیان کرد.

۱- طبق نتایج آزمایش‌های تراکم، با افزودن پلیمر فوق به خاک تا ۰/۲ درصد وزنی، وزن مخصوص خشک حداکثر افزایش و رطوبت بهینه کاهش میابد. با افزایش مقدار درصد پلیمر، وزن مخصوص خشک حداکثر روند کاهشی به خود میگیرد و بر رطوبت بهینه افزوده می‌شود.

۲- آزمایش‌های CBR نشان دادند که افزودن پلی‌وینیل الکل به ماسه بادی مقاومت CBR را افزایش قابل‌توجهی داده و افزایش مقاومت در مقادیر بیشتر از ۰/۵ درصد وزنی پلیمر سیر نزولی به خود می‌گیرد.

۳- به منظور حفاظت مخلوط خاک و پلیمر در برابر آب شستگی از سیمان استفاده شد. استفاده هم‌زمان از پلیمر و سیمان همچنین سبب افزایش در مقاومت CBR نیز می‌گردد.

۴- با انجام آزمایش‌های برش مستقیم مشخص شد افزودن ۰/۲ درصد پلیمر پلی‌وینیل الکل، شاخص‌های مقاومت فشاری خاک را بهبود می‌بخشد ولی شکست خاک در این حالت شکست ترد است. برای رفع این مشکل از الیاف تایر بازیافتی استفاده شد. استفاده از الیاف تایر بازیافتی نیز پارامترهای مقاومت برشی خاک را افزایش می‌دهد هم نمونه را شکل پذیرتر میکند. درصد بهینه الیاف برای این حالت ۰/۶ درصد وزنی خاک برآورد شده است.

۵- آزمایش‌های فشاری تک‌محوری نشان دادند که افزودن پلی‌وینیل الکل، مقاومت فشاری خاک را بهبود می‌بخشد. همچنین مشخص شد ترکیب هم‌زمان پلیمر، سیمان و الیاف به خاک

بیشترین تأثیر را در اصلاح خصوصیات ماسه بادی دارد؛ چرا که در این حالت هم بر مقاومت فشاری و برشی نمونه افزوده شده، هم شکل‌پذیری نمونه بیشتر است و شکست نمونه نرم بوده و همچنین در برابر رطوبت مقاوم می‌باشند.

## ۵- مراجع


[۱] ملاعباسی، حسین؛ شوش پاشا، عیسی، (۱۳۹۵)، "بررسی اثر زئولیت بر مقاومت خاک ماسه ای بابلسر تثبیت شده با سیمان با استفاده از آزمایش مقاومت فشاری تک محوری"، مهندسی عمران (فنی و مهندسی مدرس)، دوره ۱۶، شماره۴

[۲] قهرمان، بیژن، کاهکش، اسماعیل، اسماعیلی، کاظم،(۱۳۹۸)، "تحلیل آزمایشگاهی تأثیر افزودن نانو مواد مونت‌موریلونیت بر افزایش مقاومت سطوح شیروانی سد خاکی و زمان تخریب سازه"، فصلنامه علوم و مهندسی آبیاری، شماره ۴۳

[۳] شوش پاشا، عیسی، روشن، علیرضا، (۱۳۹۷)، "بررسی اثر تثبیت خاک رس با خرده لاستیک بر عملکرد فونداسیون‌های رادیه-شمع"، مهندسی عمران و محیط زیست (دانشکده فنی) دوره ۴۸، شماره۴ ، ص ۳۵-۴۱

[۴] شریفی اسدی، داریوش، اردکانی، علیرضا، گروسی، قاسمعلی، (۱۳۹۷)، "بررسی عوامل مؤثر بر عملکرد بهسازی خاک به روش بیولوژیکی در خاک‌های ماسه‌ای با درصد ریزدانه متفاوت"، مهندسی عمران (فنی و مهندسی مدرس)، دوره ۱۸، شماره۲، ص ۱۲۷-۱۳۷

[5] Baxter C. D. P., King J. W., Silva A. J., Page M., and Calabretta V. V., (2005). "Site characterization of dredged sediments and evaluation of beneficial uses", Recycled materials in geotechnics, A. H. Aydilek and J. Wartman, eds., ASCE, New York, 150–161.

[6] Gray, D.H and Al-Refeai, T, (1996), "Behavior of fabric versus fiber reinforced sand", Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 112, No. 8, PP. 809-820.

[7] Oldham J.C Eaves R.C, and White D.W. (1997) "Materials Evaluated as Potential Soil Stabilizers". Miscellaneous Paper S-77-15, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.

[8] Dupas J., Pecker, A., (1999), "Static and dynamic properties of sand-cement", Journal of Geotechnical Engineering, 105(3), 419-436.

[9] Rourke, T.D, Druschel, S.J and Netravali, A.N, (2000), "Shear strength characteristics of sand-polymer interface", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 116, No. 3, PP. 451-469.

[10] Park, S. S., (2009), "Effect of fiber reinforcement and distribution on unconfined compressive strength of fiber-reinforced cemented sand," Journal of Geotextiles and Geomembranes, Vol. 27, pp 162–166.

[11] Gopal R, Singh J, and Das G. (2003) "Chemical Stabilisation of Sand Comparative Studies On Urea-Formaldehyde Resins As Dune Sand Stabiliser and Effect Of Compaction OnStrength" (Part IV). In Transactions of Indian Society of Desert Technology and University Centre of Desert Technology, Jodhpur, India, pp.13-19,.

[12] Attom, M. F., (2005), "The Use of Shredded Waste Tires to Improve the Geotechnical Engineering Properties of Sands", Journal of Environmental Geology, Springer Berlin/Heidelberg, Vol. 49, No. 4, Feburary, pp. 497-503.

[13] Wartman, J., D. G. Grubb, and A. S. M. Nasim. (2004). "Select engineering characteristics of crushed Glass". Journal of Materials in Civil Engineering 16(6), 526 - 539, American Society of Civil Engineers.

[14] Grubb, D. G., Davis, A., Sands, S. C., Carnivale, M., III, Wartman, J.,and Gallagher, P. M. (2006). "Field evaluation of crushed glassd redged material blends." J. Geotech. Geoenviron. Eng., 132_5_, 577-590.

[15] Grubb, D. G., Davis, A., Sands, S. C., Carnivale, M., III, Wartman, J., and Gallagher, Yigang Liu, P. M. (2006). "Laboratory Evaluation of Crushed Glass–Dredged Material Blends." J. Geotech. Geoenviron.Eng., 132:5_562_576.

[16] Foose, G. J., Benson, C. H. and Bosscher P. J., (2006), "Sand Reinforced with Shredded Waste Tires", Journal of Geotechnical Engineering (ASCE), Vol. 122, No. 9, September, pp. 760-767.

[17] Wang, Y., Frost, J.D. and Murray, J., (2010), Utilization of recycled fiber for soil stabilization., Proceedings of the Fiber Society Meeting., May 17-19. Guimaraes. Portugal, 59-62.

[۱۸] مهران نیا، نیما؛ وفاییان، محمود؛ (۲۰۱۰)، "ارزیابی نقش الیاف کارخانه لاستیک سازی در تسلیح خاک ماسه ای"، اصفهان، ایران.

[19] Hataf, N. and Rahimi, M. M., (2014), "Experimental Investigation of Bearing Capacity of Sand Reinforced with Randomly Distributed Tire Shreds", Construction and Building Materials, (Elsevier, Ltd.), 20, 910-916.

[20] Pamukcu S. and Akbullut S., (2013), "Thermoelastic Enhancement of Damping of Sand

using Synthetic Ground Rubber", J. Geotech. and Geoenvir. Engrg., Vol. 132, Issue 4, pp. 501-510.
[21] Michalowski, L. and Germak, J, (2014), Triaxial compression of sand reinforced with fibers, Jour.Geotechnical and Geoenviromental Engineering, Vol. 129, No. 2, PP. 125-136.
[22] Ochi, T., Okubo, S., and Fukui, K., (2015). "Development of recycled pet fiber and its application as concrete reinforcing fiber." Journal of Cement and Concrete Composites, 29, 448-455.
[23] Costas A. Anagnostopoulos. (2014) "Laboratory study of an injected granular soil with polymer grouts", Tunnelling and Underground Space Technology 20, pp 525–533.
[24] Costas A. Anagnostopoulos, (2015) "Cement–clay grouts modified with acrylic resin or methyl methacrylate ester: Physical and mechanical properties" Construction and Building Materials 21 (2007) 252–257.
[25] C.A. Anagnostopoulos, T. Papaliangas, S. Manolopoulou, T. Dimopoulos. (2016) "Physical and mechanical properties of chemically grouted sand", Tunnelling and Underground Space Technology 26, pp 718–724.
[۲۶] ملاعباسی، حسین؛ شوش پاشا، عیسی، (۱۳۹۵)، "بررسی اثر زئولیت بر مقاومت خاک ماسه ای بابلسرتثبیت شده با سیمان با استفاده از آزمایش مقاومت فشاری تک محوری"، مجله علمی-پژوهشی مهندسی عمران مدرس، دوره شانزدهم، شماره ۴.
[۲۷]-عابدی کوپایی، جهانگیر؛ سلطانیان، سمانه؛ قیصری، مهدی، (۱۳۹۴)، "تأثیر الیاف پلی‌پروپیلن بر ویژگی‌های مکانیکی ماسه بادی"، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۹، صص ۲۲-۳۱.
[28] Yong, R.N., Mohammed, L.F., Mohamed, A.M.O., O'Shay, T.A., Hoddinott, K.B., (2004), "Retention and transport of oil residue in a loamy soil. ın: Analysis of Soils Contamined with Petroleum Constituent", pp 89-101, Philadelphia.
[۲۹]یازی، یونس؛ (۲۰۰۱)، "تثبیت خاک‌های منتخب از حاشیه کویر با آهک و سیمان"، دانشگاه فردوسی مشهد.
[30] Reed Jr, R., Moore, K. L., & Meyers, G. W. (1981). "Soil stabilization materials and methods" (No. US 4277203).

# Investigating the synergistic effect of using cement, polymer slurry, and recycled tire fibers in improving the mechanical and geotechnical properties of dune sand

**Payam Zanganeh Ranjbar** *
**Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, Guilan University, Rasht, Iran.**
**Hamidreza Talebi Mamoudan**
**Department of Civil Engineering, Langroud Branch, Islamic Azad University, Langroud, Iran.**
**Reza Mousazadeh Moghadampour**
**Department of Civil Engineering, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran.**
**Mostafa Ghorbani**
**Department of Civil Engineering, Langroud Branch, Islamic Azad University, Langroud, Iran.**

## Abstract

This study aimed to investigate the effect of polymer slurry, Portland cement, and recycled tire fibers on the mechanical and geotechnical properties of dune sands. Since one of the major problems is these sands, its low resistance to natural moisture and saturation conditions, a laboratory study was conducted to investigate the effect of adding polyvinyl alcohol polymer to improve the mechanical and geotechnical properties of dune sands. The results of the densification experiments revealed that the addition of this polymer up to 0.2 weight percent increases the maximum dry weight and does not significantly change in optimal moisture. The experiments also showed that by increasing the polymer content, the CBR resistance of the samples increased significantly, so in samples made with 0.5 % of the polymer, the CBR value reached 185; this amount is more than 7.5 times the CBR for neat soil. Due to the solubility of the above polymer in water, to protect the mixture of soil and polymer against scouring, Portland cement was used. Experiments showed that by adding 2% cement to the mixture, the resistance of the samples was increased, and their resistance to scouring increased. The direct shear test results indicated that the addition of polymer also significantly increased the shear strength of the samples. However, the failure of the soil, in this case, was seen as a sudden failure. Tire fibers were used to prevent this condition and made the samples more ductile. The optimum amount of fiber needed was 0.6% in this case. The results of single-axial tests also showed that adding polyvinyl alcohol increases the compressive strength and shear strength of the soil considerably. It was also found that applying a combination of polymer, cement, and fiber to soil had the most significant impact on repairing dune sand geotechnical characteristics. For example, in a combination of 0.4% polyvinyl alcohol, 1% cement, and 0.6% tire fiber with sand, the compressive strength reached approximately 15 $kg/cm^2$, while the compressive strength for 1% sand cement was about 0.29 $kg/cm^2$.

**Keywords:** polymer slurry, dune sand, recycled tire fiber, mechanical and geotechnical characteristics.

* Corresponding Author: p.zanganeh@guilan.ac.ir