

## بررسی امکان استفاده از مخلوطهای خاک و سیمان برای ساخت بند های خشکه چین

آرام صامت زاده<sup>۱\*</sup>، نظام اصغری پور دشت بزرگ<sup>۲</sup>، عزیز ارشم<sup>۳</sup> فریدون سلیمانی<sup>۴</sup>

۱- کارشناس پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (*Aram\_sametzadeh@yahoo.com*)

۲- کارشناس پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (*nasgharipour@gmail.com*)

۳- عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (*Azizarsham2006@yahoo.com*)

۴- کارشناس پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان (*Frsolaimani@gmail.com*)

### چکیده

با توسعه پروژههای حفاظت خاک و آبخیزداری برای انجام بندهای خشکه چین در مناطق کوهستانی و صعب العبور همواره تهیه و حمل سنگ علاوه بر هزینه های زیاد، موجب تخریب عرصه های منابع طبیعی و تشدید فرسایش خاک در دیگر مناطق حوضه می شود. خاک و سیمان چندین دهه است که به عنوان مصالح مناسب و ارزان در پروژه های عمرانی استفاده شده است لذا این پژوهش به منظور بررسی امکان استفاده از مخلوط های خاک و سیمان به عنوان جایگزین سنگ برای ساخت بندهای خشکه چین انجام شد. خاک و آب مورد استفاده از بالادست سد کرخه تهیه شد. آزمایش های مشخصات فیزیکی، مکانیکی و شیمیایی خاک و آب انجام شد. نمونه های مختلف خاک-سیمان با ۷، ۹، ۱۱ و ۱۳ درصد سیمان نسبت به وزن خشک خاک و به روش آشتو اصلاحی ساخته شد. آزمایش های مختلف مقاومت فشاری و تر و خشک شدن طبق استانداردهای ASTM انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش سیمان موجب افزایش مقاومت و بهبود دوام مخلوط می شود و حداقل مقاومت های لازم از نظر ضوابط و استانداردهای مختلف برای کاربرد در پروژه های عمرانی بدست آمد. لذا امکان استفاده از خاک و سیمان با استفاده از خاک حاصل از خاکبرداری محل اجرای سازه به عنوان جایگزین سنگ برای ساخت بندهای خشکه چین وجود دارد.

واژه های کلیدی: خشکه چین، خاک و سیمان، مقاومت فشاری، تر و خشک شدن

## مقدمه

با توسعه پروژه‌های حفاظت خاک و آبخیزداری در کشور برای احداث بندهای خشک‌چین در پروژه‌های کنترل فرسایش و رسوب در مناطق کوهستانی و صعب‌العبور نیاز به هزینه‌های زیاد تهیه و حمل سنگ از منابع محدود آن می‌باشد. برداشت سنگ نیز که معمولاً از دیگر مناطق مجاور انجام می‌شود خود موجب تشدید فرسایش خاک و افزایش رسوب در حوضه می‌شود. لذا در صورتی که امکان استفاده از مخلوط‌های متراکم شده خاک و سیمان برای ساخت بندهای خشک‌چین امکان‌پذیر باشد علاوه بر کاهش هزینه‌های اجرایی پروژه، عرصه‌های منابع طبیعی کمتر دچار تخریب می‌شود.

کاربرد خاک و سیمان برای اولین بار در سال ۱۹۱۷ میلادی توسط T.H. Amies با نام خاک‌آمیز (soilamies) به عنوان یک اختراع در فیلادلفیا آمریکا به ثبت رسید (ICOLD, ۱۹۸۶). (Fares, ۲۰۰۷) بر روی حفاظت بالادست خاکریزهای مخازن ذخیره آب با خاک و سیمان در مقابل امواج تحقیق کرد. وی گزارش کرد استفاده از مخلوط‌های خاک و سیمان بسیار ارزانه‌تر از ریپ ریپ خواهد شد. (Ajourloo, ۲۰۱۰) بر روی بهبود رفتار و خصوصیات مکانیکی ماسه‌های سست در ترکیب با سیمان به روش اختلاط عمیق تحقیق کرد. او نتیجه گرفت که ترکیب ماسه‌های سیلیسی با مقدار کمی سیمان، آهک و میکروسیلیس موجب افزایش سریع مقاومت برشی مخلوط می‌شود.

(رحیمی و فکور، ۱۳۷۳) استفاده از سیمان پرتلند را در تثبیت خاک‌های واگرا مورد مطالعه قرار دادند و نتایج آن را با کاربرد امولسیون قیر و سیمان مقایسه کردند. آنها تثبیت خاک‌های واگرا را با ۵ درصد سیمان توصیه نمودند. افزودن سیمان و میکروسیلیس به خاک‌های رسی موجب کاهش نشست، بهبود مقاومت فشاری و برشی خاک می‌شود (باراتان و همکاران، ۲۰۱۷)

## مواد و روش‌ها

### نحوه نمونه‌برداری و آزمایش‌های مقدماتی

پس از تعیین محل قرصه مناسب از مجاورت سازه‌های کنترل فرسایش و رسوب و دور ریختن خاک سطحی، از عمق ۱۵ تا ۸۰ سانتیمتری خاک، نمونه‌برداری انجام شد. آزمایش‌های دانه‌بندی هیدرومتری (ASTM D422) و حدود آتربرگ خاک (ASTM D423, 424, 427) انجام شد و خاک مورد آزمایش طبق استانداردهای یونیفاید<sup>۱</sup> و آشتو<sup>۲</sup> طبقه‌بندی شد. آزمایش‌های مشخصات شیمیایی خاک و آب مصرفی (طبق استانداردهای مختلف ASTM) و تراکم مخلوط‌های خاک و سیمان به روش آشتو اصلاحی (AASHTO T180-70, ASTM D1557-70) در ۵ سطح (۷، ۹، ۱۱، ۱۳ و ۱۵) درصد سیمان نسبت به وزن خشک خاک، انجام شد. از آب رودخانه فصلی در منطقه اجرای طرح و سیمان تیپ ۲ خوزستان برای ساخت نمونه‌ها استفاده شد. برای اختلاط خاک با سیمان ابتدا خاک لازم جهت ساخت نمونه‌ها با مقدار سیمان مورد نظر مخلوط شد و سپس حدود ۸۰ درصد مقدار آب لازم طبق رطوبت بهینه مخلوط بر روی خاک و سیمان پخش شد و پس از ورز دادن با دست مجدداً ۲۰ درصد آب باقی‌مانده بر روی مخلوط پخش شده و همان عملیات تکرار شد. برای جلوگیری از تبخیر و جافتادن، مخلوط حاصل به مدت ۱۵ دقیقه در پلاستیک محبوس شد و سپس برای ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی استفاده شد. شکل (۱) نمایی از موقعیت برداشت نمونه خاک در مجاورت محل احداث بند خشک‌چین برای ساخت نمونه‌های خاک-سیمان را نمایش می‌دهد.

1 - Unified Soil Classification System, ASTM-D-2487-85

2- AASHTO – M145, ASTM – D – 3282



شکل ۱- نمایی از موقعیت برداشت نمونه خاک در مجاورت محل احداث بند خشکه چین

### آزمایش مقاومت فشاری تک محوری

این آزمایش به منظور ارزیابی مقاومت فشاری مخلوطهای خاک و سیمان به عنوان مهم‌ترین پارامتر مقاومتی انجام شد. نمونه‌های ساخته شده در ابعاد استوانه‌ای به قطر (cm) ۱۰ و ارتفاع (cm) ۱۱/۶۴ طبق استاندارد (ASTM D1633-A) در ۴ سطح مختلف (۷، ۹، ۱۱ و ۱۳) درصد سیمان نسبت به وزن خشک خاک مطابق با رطوبت بهینه مخلوط طبق روش آشتو اصلاحی ساخته شدند و در سن ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه با ۳ تکرار تحت آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری قرار گرفتند. نمونه‌ها در دمای محیط آزمایشگاهی (۲۴ درجه سانتیگراد) به مدت ۷ و ۱۴ روز در شرایط اشباع از رطوبت نگهداری شدند. برای تامین این شرایط نمونه‌ها ۲ ساعت پس از ساخته شدن و گیرش اولیه با گونی مرطوب پوشانده شده و در پلاستیک در بسته محبوس می‌شدند. شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب نمایی از نمونه ساخته شده و تامین شرایط اشباع از رطوبت را نمایش می‌دهد.



شکل ۲- نمایی از نمونه ساخته شده با مصالح خاک-سیمان



شکل ۳- نمایی از تامین شرایط اشباع از رطوبت برای عمل آوری نمونه های خاک-سیمان

### آزمایش تر و خشک شدن

این آزمایش به منظور بررسی دوام نمونه های خاک و سیمان در برابر پدیده تر و خشک شدن (طبق استاندارد ASTM D559-57) بر روی نمونه های ۷ روزه در شرایط نگهداری در اطاق مرطوب با ۴ سطح سیمان و ۱۲ سیکل تر و خشک شدن با ۳ تکرار انجام شد. حداکثر مقدار مجاز افت وزنی طبق ضوابط USBR<sup>۳</sup> معادل ۶ درصد می باشد.

## نتایج و بحث

نتایج مشخصات فیزیکی، مکانیکی و رده بندی خاک در جدول (۱) و مشخصات شیمیایی خاک و آب مصرفی در جدول (۲) ارائه شده است. در جدول های (۳) و (۴) به ترتیب نتایج آزمایش تراکم به روش آشتو اصلاحی و تر و خشک شدگی برای مخلوط های مختلف خاک و سیمان ذکر شده است. نمودار مقاومت فشاری مخلوط خاک با سطوح مختلف سیمان، مدت زمان و دمای عمل آوری مورد نظر در شکل (۴) ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی، مکانیکی و رده بندی نمونه خاک مورد آزمایش

| رده بندی خاک |          | رطوبت بهینه<br>(درصد) | حد خمیری<br>(درصد) | حد روانی<br>(درصد) | مشخصه خمیری<br>(درصد) | رس<br>(درصد) | لای<br>(درصد) | ماسه<br>(درصد) |
|--------------|----------|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------|---------------|----------------|
| آشتوو        | یونیفاید |                       |                    |                    |                       |              |               |                |
| A-4          | SM       | ۹/۵                   | ۱۸                 | ۲۲/۲               | ۴/۲                   | ۱۷/۴۷        | ۲۵/۴۲         | ۵۷/۱۱          |

جدول ۲- نتایج آزمایش مشخصات شیمیایی نمونه خاک مورد آزمایش

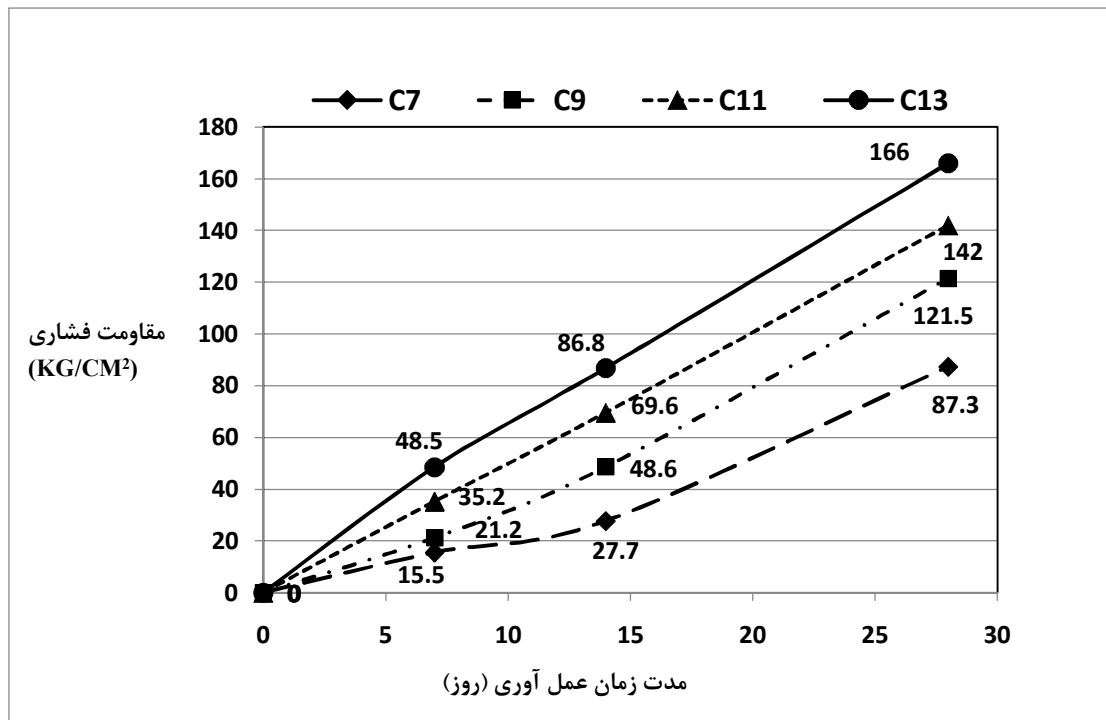
| PH   | شوری<br>میکروموس بر<br>سانتی متر | آنیون ها (میلی اکی والان بر لیتر) |        |       |          |        | کاتیون ها (میلی اکی والان بر لیتر) |        |      |                   | نمونه      |
|------|----------------------------------|-----------------------------------|--------|-------|----------|--------|------------------------------------|--------|------|-------------------|------------|
|      |                                  | مجموع                             | سولفات | کلرید | بیکربنات | کربنات | مجموع                              | پتاسیم | سدیم | کلسیم و<br>منیزیم |            |
| ۷/۵۸ | ۱۱۰۴                             | ۱۶/۶۹                             | ۱/۹۸   | ۳/۷۱  | ۱۱       | ---    | ۱۱/۰۷                              | ۰/۷۲   | ۱/۷۵ | ۸/۶               | خاک        |
| ۸    | ۰/۴۷                             | ۵/۳۷                              | ۲/۳۷   | ۱/۲   | ۱/۸      | ---    | ۵/۳۷                               | ---    | ۱/۵۷ | ۳/۸               | آب رودخانه |

جدول ۳- نتایج آزمایش تراکم برای مخلوط های مختلف خاک و سیمان

| بیشترین دانسیته خشک<br>(گرم بر سانتی متر مکعب) | رطوبت بهینه (درصد) | سیمان (درصد) |
|--|--------------------|--------------|
| ۲/۰۱   | ۹/۳                | ۰            |
| ۱/۹۵   | ۱۰                 | ۷            |
| ۲/۰۰   | ۹/۷                | ۹            |
| ۱/۹۶   | ۱۱                 | ۱۱           |
| ۱.۹۴   | ۱۲/۳               | ۱۳           |

جدول ۴- نتایج آزمایش تر و خشک شدن برای مخلوط های مختلف خاک و سیمان

| کنترل | حداکثر مقدار افت وزنی طبق<br>ضوابط USBR (درصد) | میانگین افت وزنی<br>(درصد) | سیمان (درصد) |
|-------|--|----------------------------|--------------|
| Ok    | ۶  | ۲/۸                        | ۷            |
| Ok    | ۶  | ۲/۳                        | ۹            |
| Ok    | ۶  | ۱/۸۵                       | ۱۱           |
| Ok    | ۶  | ۱/۶                        | ۱۳           |



شکل ۴- منحنی مقاومت فشاری مخلوطهای مختلف خاک-سیمان در دمای ۲۴ درجه سانتیگراد (C7 یعنی مخلوط خاک با ۷ درصد سیمان)

بررسی جدول (۱) نشان می‌دهد که خاک مورد آزمایش طبق سیستم رده بندی متحد و آشتو به ترتیب در گروه SM و A-4 قرار گرفته است. این خاک بدلیل داشتن حدود ۴۳ درصد رس و لای جهت ساخت بتن و یا ملات ماسه و سیمان به هیچ عنوان مناسب نیست لیکن برای کاربرد در مخلوطهای خاک و سیمان نتایج مناسبی نشان داده است. بررسی جدول (۲) نشان می‌دهد که مجموع آنیون‌ها و کاتیون‌های آب و خاک از مقدار پائینی برخوردار است که می‌تواند در مقاومت و دوام مخلوطهای خاک و سیمان اثر مثبت ایجاد کند. همچنین جدول (۳) نشان می‌دهد که به طور کلی با افزایش مقدار سیمان در مخلوط، ماکزیمم دانسیته خشک خاک کاهش یافته است. بررسی جدول (۴) مربوط به نتایج آزمایش تر و خشک شدن حاکی از آن است که کلیه نمونه‌های ساخته شده با سطوح مختلف سیمان طبق ضوابط USBR، نه تنها درحد مجاز (یعنی افت وزنی کمتر از ۶ درصد) قرار دارند بلکه از فاصله نسبی قابل توجهی تا مقدار حداکثر مجاز نیز برخوردار می‌باشند. به طوری که به نظر می‌رسد حتی با مقدار سیمان کمتر از ۷ درصد هم ممکن است حداقل افت وزنی لازم طبق ضوابط تامین شود. بررسی شکل (۴) مربوط به نتایج مقاومت فشاری نشان می‌دهد که افزایش درصد سیمان و مدت زمان عمل آوری موجب افزایش مقاومت فشاری نمونه‌های ساخته شده می‌شود. در این پژوهش کمترین و بیشترین مقاومت فشاری ۲۸ روزه به ترتیب مربوط به ۷٪ و ۱۳٪ سیمان به مقدار ۸۷/۳ و ۱۶۶ کیلوگرم بر سانتی متر مربع بدست آمد که از حداقل مقدار مقاومت لازم برای کاربرد در پروژه‌های عمرانی مطابق با ضوابط USBR که معادل ۶۱ کیلوگرم بر سانتی متر مربع می‌باشد بیشتر است. بیشترین و کمترین رشد مقاومت معادل ۳۹/۱٪ (۳۴/۱ kg/cm<sup>2</sup>) و ۱۶/۷٪ (۲۳/۷ kg/cm<sup>2</sup>) به ترتیب مربوط به افزایش سیمان از ۷٪ به ۹٪ و ۱۱٪ به ۱۳٪ می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که از قطعات درشت متراکم شده مخلوطهای خاک و سیمان که به روشهای مختلف قابل ساخت می‌باشد (مانند ریختن مخلوط خاک-سیمان مرطوب طبق ضوابط فنی و اجرایی در گونی کفی و تراکم و مهار بندی آن) می‌توان به عنوان جایگزین سنگ‌لاشه در ساخت بندهای خشکه چین استفاده کرد. مقایسه نتایج این تحقیق با حداقل مقاومت‌های فشاری لازم طبق دیگر استانداردهای معتبر مانند AASHTO برای مصالح اساس تثبیت شده با سیمان (طباطبایی، ۱۳۷۳) و همچنین (نشریه شماره ۲۶۸ سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۸۲) نشان می‌دهد که تمامی نمونه‌های ساخته شده، حداقل مقاومت لازم را جهت کاربرد در پروژه‌های عمرانی دارا می‌باشند. شکل (۵) نمونه ای از بندهای خشکه چین اجرا شده در حوضه بالادست سد کرخه توسط مدیریت آبخیزداری استان می‌باشد که با استفاده از مخلوط خاک-سیمان و از

خاک محل خاکبرداری بند خشکه چین ساخته شده است. همان طوری که در شکل نمایان است پس از گذشت چند سال عملکرد خوبی از خود نشان داده است.



شکل ۵- نمایی از یک نمونه بند خشکه چین ساخته شده با استفاده از مخلوط خاک-سیمان در منطقه بالادست سد کرخه

### جمع‌بندی

به منظور کاربرد مخلوط‌های خاک و سیمان به عنوان مصالحی مناسب، ارزان و در دسترس برای ساخت بندهای خشکه‌چین در پروژه‌های کنترل فرسایش و رسوب در مناطق کوهستانی و صعب‌العبور این پژوهش انجام شد و نتایج زیر بدست آمد.

۱- همان‌طوری که انتظار می‌رفت افزایش درصد سیمان و مدت زمان عمل‌آوری در شرایط مرطوب باعث افزایش مقاومت فشاری مخلوط‌های متراکم شده خاک و سیمان شد.

۲- مقاومت فشاری و افت وزنی کلیه نمونه‌های ساخته شده طبق ضوابط USBR و دیگر ضوابط معتبر در حد مجاز قرار گرفت.

۳- بطور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که می‌توان از مخلوط‌های متراکم شده خاک و سیمان با رعایت ضوابط فنی، اجرایی و شرایط عمل‌آوری مناسب برای ساخت بندهای خشکه چین به عنوان جایگزین سنگ لاشه استفاده کرد و علاوه بر کاهش هزینه‌های اجرایی موجب کاهش فرسایش خاک و تخریب‌های زیست محیطی شد.

### قدردانی

از ریاست محترم مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و همچنین از مدیر کل محترم منابع طبیعی و آبخیزداری استان خوزستان و پرسنل آزمایشگاه مکانیک خاک این اداره کل بابت همکاری در انجام آزمایش‌ها تقدیر و تشکر می‌شود.

## منابع

- رحیمی، ح، و فکور، ک، (۱۳۷۳)، بررسی و مقایسه استحکام خاک-مالچ و خاک-سیمان در سازه های آبی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، نشریه شماره ۱۳، ۹۹ ص.
- سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، (۱۳۸۲)، دستورالعمل تثبیت لایه های خاکریز و روسازی راه ها، نشریه شماره ۲۶۸، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، تهران، ۲۲۴ ص.
- طباطبایی، ا. م، (۱۳۷۳)، روسازی راه، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، چاپ چهارم، ۱۴۳ ص.
- Ajorloo, A. M, (2010), Characterization of the Mechanical Behavior of Improved Loose Sand for Application in Soil-Cement Deep Mixing, Pour Obtenir Le Grade De Docteur, De I, Universite De Lille 1, 112 p.
- Fares, Y. A, (2007), Soil-Cement Protects Upstream Embankment of Reservoir Against Erosive Wave Action, Government Engineering, PP 1-3.
- ICOLD, (1986), Soil-Cement for Embankment Dams, Bulletin.
- Bhrathan, R., Giridharan, A., Saranya, P. (2017), Soil Stabilization Using Silica Fume and Cement, SSRG International Journal of Civil Engineering.