

مقاومت کششی دونیم شدن ماسه‌ی تثبیت شده با سیمان و مسلح شده با الیاف ماسک صورت جراحی

حسین ملاعباسی (استادیار)

دانشکده‌ی فنی مهندسی مینودشت، دانشگاه گنبدکاووس، گلستان

با توجه به همه‌گیری بیماری کرونا از سال ۱۳۹۸، استفاده از ماسک‌های صورت یکبار مصرف در میان عموم رواج یافته است. تا جایی که دفن یا استفاده‌ی مجدد از آنها به یکی از معضلات زیست‌محیطی تبدیل شده است. در این راستا، نمونه‌های ماسه‌ی سیمانی مسلح شده با مقادیر متفاوت الیاف ماسک صورت جراحی در تراکم نسبی‌های گوناگون آماده و بعد از ۷ روز عمل‌آوری، مقاومت کششی غیرمستقیم آنها با استفاده از آزمایش دونیم شدن برزیلی مطالعه شدند. نتایج به دست آمده نشان دادند که افزودن درصد سیمان و تراکم نسبی، تأثیر قابل توجهی در بهبود شاخص مقاومت کششی ماسه‌های سیمانی دارد. درصد الیاف ماسک صورت جراحی ۲۵٪، مقدار بهینه‌ی الیاف اضافه شده است، که مقاومت کششی در درصد ذکر شده‌ی الیاف، بیشینه هستند. در نهایت، پارامتر کلیدی (نسبت پوکی و درصد سیمان) تعریف و چند رابطه‌ی تجربی برای تخمین مقاومت کششی نمونه‌های تثبیت و تسلیح شده با دقت بسیار خوب ارائه شده است.

واژگان کلیدی: ماسه‌ی سیمانی، الیاف ماسک صورت جراحی، مقاومت کششی، روابط تجربی.

مهندسی عمران شریف، (بهار ۱۴۰۳)
دوره‌ی ۴۰، شماره‌ی ۱، صص. ۱۲۵-۱۳۳، (پنداشت فنی)

hma@gonbad.ac.ir

۱. مقدمه

تثبیت خاک با سیمان برای طیف وسیعی از خاک‌ها به‌ویژه خاک‌های مسئله‌دار، مانند ماسه‌ی شل اشباع، توسط مهندس‌های ژئوتکنیک در کاربردهای گوناگون پی‌های سطحی،^[۱] بستر راه‌ها،^[۲] خاک ریزهای پشت دیوار حائل،^[۳] تریقی دوغاب در سیستم‌های ریزشمع^[۴] و کانال‌ها،^[۵] استفاده می‌شود. به‌کار بردن سیمان به‌عنوان تثبیت‌کننده‌ی ماسه در محل، در مقایسه با سایر روش‌های بهسازی، از جمله جایگزینی خاک با مصالح مرغوب به‌عنوان یکی از روش‌های مقرون‌به‌صرفه، مطرح است.^[۶] رفتار ماسه‌های سیمانی متأثر از درصد و نوع ماده‌ی سیمانی، تراکم، رطوبت نمونه‌های آزمایشی، شرایط بارگذاری و همچنین زمان و نحوه‌ی عمل‌آوری است.^[۷] با مرور ادبیات فنی مرتبط با موضوع، می‌توان دریافت که افزودن سیمان سبب بهبود خواص مکانیکی ماسه‌ها، از جمله: تراکم،^[۸] مقاومت کششی،^[۹] مقاومت فشاری محصور نشده،^[۱۰] چرخه‌های ترو و خشک،^[۱۱] و رفتارهای زهکشی شده و زهکشی نشده،^[۱۲] می‌شود. یکی از معضلات ماسه‌های بهسازی شده با سیمان در طی

سابقاً مطالعات بسیاری در خصوص استفاده از الیاف به‌صورت بافته شده (از جمله ژئوسنتتیک‌ها) و مجزا برای تسلیح ماسه‌های سیمانی انجام شده‌اند، که می‌توان به مطالعات مرتبط با پارامترهای مقاومت برشی،^[۱۶] کششی،^[۱۷] دوام،^[۱۸] و رفتارهای زهکشی شده و زهکشی نشده در دستگاه سه‌محوری،^[۱۹-۲۱] اشاره کرد. در اواخر سال ۱۳۹۸، با توجه به همه‌گیری بیماری کرونا، الزام استفاده از لوازم

تاریخ: دریافت ۱۴۰۲/۱/۲۶، اصلاحیه ۱۴۰۲/۳/۱۴، پذیرش ۱۴۰۲/۳/۲۸.

استناد به این مقاله:

ملاعباسی، حسین، ۱۴۰۳. مقاومت کششی دونیم شدن ماسه‌ی تثبیت شده با سیمان و مسلح شده با الیاف ماسک صورت جراحی. مهندسی عمران شریف، ۴۰(۱)، صص. ۱۲۵-۱۳۳.

DOI:10.24200/J30.2023.62194.3210

را بررسی کردند و دریافتند که افزودن الیاف ذکر شده‌ی ماسک به مخلوط آسفالت، عملکرد آسفالت را بهبود می‌بخشد و الیاف ۱۲ میلی‌متری، نتایج بهتری نسبت به الیاف ۸ میلی‌متری به دست آورده است.

صمدزاده و همکاران (۲۰۲۲)،^[۲۱] با استفاده از ۳۶ آزمایش برشی چرخه‌یی سه‌محوری زهکشی نشده به بررسی افزودن الیاف ماسک به خاک پرداختند و نشان دادند که افزودن الیاف ماسک به نمونه‌های ماسه‌ی سیلتی منجر به بهبودی‌های پایدار، مانند: رفتار اتساع بیشتر و اتلاف فشار آب منفذی اضافی و افزایش مقاومت در برابر روان‌گرایی می‌شود. همچنین، مدول برشی ماسه‌های تمیز و سیلتی با افزودن الیاف ماسک بهبود می‌یابد.

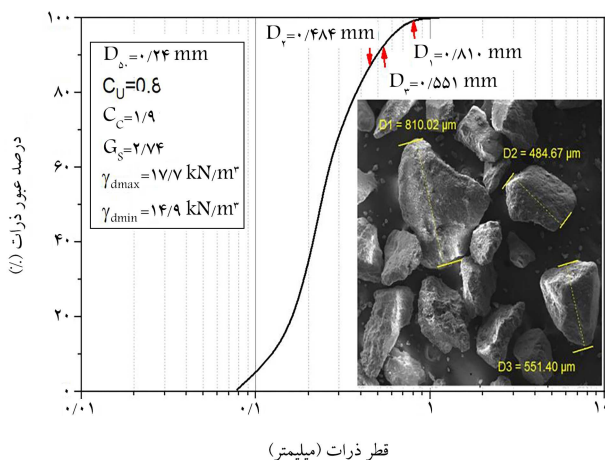
در پژوهش حاضر، هدف بر این بوده است که در ادامه‌ی بررسی‌های پیشین، از الیاف ماسک‌های صورت جراحی به صورت بهینه در ماسه‌های سیمانی استفاده شود، تا علاوه بر جلوگیری از انتشار آلودگی، با توجه به دفن و جامدسازی آنها، از ضایعات و زباله‌های تولید شده‌ی ماسک‌ها به نحوی امن استفاده شود. در این راستا، رفتار کششی ماسه‌های سیمانی مسلح شده با الیاف ماسک تحت آزمایش کششی غیرمستقیم دژنیم شدن برزیلی بررسی شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. مصالح استفاده شده

ماسه‌ی استفاده شده در پژوهش حاضر به عنوان خاک پایه، از ناحیه‌ی ساحلی دریای خزر در نزدیکی شهر بابلسر بوده است. آزمایش‌های شناسایی اولیه‌ی انجام شده بر روی ماسه نشان داد که خاک پایه، ماسه‌ی بددانه‌بندی شده براساس سیستم طبقه‌بندی متحد،^[۳۰] است. سایر ویژگی‌های فیزیکی خاک، شامل: چگالی دانه‌های جامد خاک $(G_s) = 2.74$ کیمنه و بیشینه‌ی وزن مخصوص خشک ماسه، $\gamma_{d \min} = 14/9$ و $\gamma_{d \max} = 17/7$ کیلو نیوتن بر مترمکعب براساس استانداردهای به ترتیب ASTM D ۸۵۴،^[۳۱] ASTM D ۴۲۵۳^[۳۲] و ASTM D ۴۲۵۴^[۳۲] به دست آمده است. منحنی دانه‌بندی ماسه‌ی بابلسر همراه با عکس ریزساختاری آن در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

در پژوهش حاضر، از سیمان پرتلند تیپ II کارخانه‌ی نکا واقع در استان مازندران، نزدیک‌ترین کارخانه‌ی سیمان به محل خاک پایه (بابلسر)، به عنوان عامل تثبیت‌کننده استفاده شده است.



شکل ۱. دانه‌بندی ماسه‌ی استفاده شده در پژوهش حاضر به همراه عکس ریزساختاری.

بهداشتی یکبار مصرف از جمله ماسک صورت و دستکش در میان عموم جامعه رواج یافت. بر اساس هدف اصلی استفاده از ماسک‌ها، می‌توان آنها را به چند دسته‌ی کلی تقسیم کرد: سه لایه از نوع کش‌دار و بنددار (معروف به ماسک جراحی)، سوپاپ‌دار FFP۲ و N۹۵ و بدون سوپاپ FFP۲ و N۹۵ به‌طور عمده، ماسک‌های تنفسی از چند لایه‌ی ناپاقه، متشکل از اسپان باند و ملت بلون ساخته می‌شوند، که معمولاً جنس هر اسپان باند و ملت بلون عمدتاً از جنس الیاف ناپاقه‌ی پلی‌پروپیلن هستند و لایه یا لایه‌های ملت بلون، نقش اصلی فیلتر کردن هوا از ذرات معلق و غبار را به عهده دارند. اسپان باند در نقش محافظت از لایه‌های مذکور به‌کار می‌رود. از رایج‌ترین انواع ماسک‌ها می‌توان به ماسک جراحی اشاره کرد. یک ماسک جراحی از حدود ۱۵ گرم مواد پلاستیکی، مانند: پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن، پلی‌اورتان، پلی‌استایرن، پلی‌کربنات و پلی‌اکریلونیتریل تشکیل شده است.^[۲۲]

امروزه راه‌سازی ماسک‌های صورت در طبیعت باعث آسیب‌های زیست‌محیطی بسیاری شده است. مثلاً در دو موج اول و دوم کرونا، در استان ویکتوریا استرالیا، ۲۶۴ تن ماسک صورت یکبار مصرف تولید شد، که غیرقابل تجزیه هستند و صدها سال برای تجزیه‌ی آنها زمان صرف می‌شود.^[۲۳] با توجه به اینکه تقریباً تمامی ماسک‌ها، یکبار مصرف هستند و از الیاف غیرقابل تجزیه تولید می‌شوند؛ لذا دفن، یا بازتولید و استفاده‌ی مجدد از آنها به یکی از مشکلات زیست‌محیطی کنونی جوامع بشری تبدیل شده است. از این رو، در دو سال اخیر، برخی پژوهشگران در خصوص استفاده‌ی مجدد و بهره‌گیری از الیاف ماسک صورت مطالعات مقدماتی داشته‌اند، که در ادامه به آنها اشاره شده است.

بروجنی و همکاران (۲۰۲۱)، مطالعات امکان‌سنجی استفاده از الیاف ریز شده‌ی ماسک صورت در بتن‌های بازیافتی جهت ساخت پیاده‌روها را انجام دادند و دریافتند که اضافه کردن ماسک‌های یکبار مصرف به بتن‌های بازیافتی، باعث بالاتر رفتن مقاومت کششی و انعطاف‌پذیری روسازی شده است. الیاف ریز شده‌ی ماسک صورت در قیاس با ذرات بتن‌های بازیافتی، انعطاف‌پذیری بالاتری داشتند. در نهایت آنها اشاره داشتند که برای ساخت یک پیاده‌رو دوطرفه به مسافت ۱ کیلومتر، حدوداً ۳ میلیون ماسک بازیافتی مصرف شده است.^[۲۴]

رحمان و خلیف (۲۰۲۱)، در جهت کنترل پویایی تولید زباله‌ی روزافزون ماسک صورت و بهسازی خاک‌های رسی با خاصیت خمیری زیاد (CH) ، روش نوینی بر پایه‌ی تسلیح با الیاف ماسک و تثبیت با دوده‌های سیلیسی پیشنهاد دادند، که علاوه بر تسلیح خاک، بهبود خواص مهندسی خاک را نیز در بر داشته است.^[۲۵]

لینچ^۱ و همکاران (۲۰۲۱)، روشی نوآورانه برای استفاده از زباله‌های همه‌گیر بیماری کرونا در ساخت‌وساز بتن با تمرکز اصلی بر روی ماسک‌های صورت یکبار مصرف را بررسی کردند. ایشان ماسک‌های یکبار مصرف را با برداشتن حلقه‌های گوش و سیم داخلی بینی به اندازه‌های گوناگون در ۵ طرح مختلف مخلوط کردند و سپس فواید و کاربردهای احتمالی آنها را در بتن با تمرکز بر روی مقاومت فشاری، مقاومت کششی غیرمستقیم، مدول کشسانی و سرعت موج فشاری برای آزمایش کیفیت بتن تولید شده تحلیل کردند. استفاده از ماسک‌های صورت یکبار مصرف منجر به افزایش خواص مقاومتی نمونه‌های بتن ساخته شده و همچنین افزایش کیفیت کلی بتن شده بود.^[۲۶]

سیو^۲ و همکاران (۲۰۲۳)،^[۲۷] نیز به مرور روش‌های مرسوم استفاده‌ی مجدد از ماسک‌های یکبار مصرف به عنوان راهنمایی برای به‌کار بردن منابع ماسک زباله با توجه به مسائل انتشار آلودگی برای طرح‌های آتی پرداختند.

گلی و صادقی (۲۰۲۳)،^[۲۸] در نوشتارشان با انجام آزمایش‌های مارشال، مدول ارتجاعی، کشش غیرمستقیم و خستگی، افزودن الیاف ماسک صورت به آسفالت

جدول ۱. مشخصات نمونه‌های پژوهش حاضر.

مشخصات	ملاحظات
خاک پایه	ماسه‌ی بابلسر
تثبیت‌کننده	سیمان کارخانه‌ی نکا با مقادیر ۲، ۴، ۶ و ۸ درصد جایگزین ماسه
تسلیح‌کننده	الیاف ریز شده‌ی ماسک صورت با ابعاد ۲۰ میلی‌متر طول و ۳ میلی‌متر عرض با درصدهای جایگزینی مصالح صفر، ۲۵٪، ۵٪ و ۷۵٪.
تراکم نمونه‌ها	معادل با تراکم نسبی (D_r) ۳۵، ۵۰ و ۷۰ درصد خاک پایه
زمان و شرایط عمل‌آوری	۷ روزه در دمای حدود ۲۴ درجه و رطوبت بالای ۹۰٪
آزمایش مقاومتی	کشش غیرمستقیم دینیم شدن برزیلی

ماسه به ابعاد کوچک‌تر از ۱ میلی‌متر است)، ابعاد نمونه‌سازی 38×76 میلی‌متر (ارتفاع \times قطر) برای تهیه‌ی نمونه‌های مناسب استفاده شده است.^[۲۸] براساس طرح اختلاط فهرست شده در جدول ۱، ابتدا با توجه به پارامترهای γ_{dmax} و γ_{dmin} و G_s ماسه، که قبلاً در بخش ۱.۲ ارائه شده است، نسبت پوکی (e) معادل با تراکم نسبی‌های مدنظر به دست آمده و سپس وزن مخصوص خشک مربوط به هر طرح اختلاط (γ_{dmix}) مطابق رابطه‌ی ۱ محاسبه شده است:

$$\gamma_{dmix} = \frac{G_{save} \gamma_w}{1 + e} \quad (1)$$

دلیل استفاده از پارامترهای γ_{dmax} و γ_{dmin} در نتیجه‌ی آن تراکم نسبی به جای پارامترهای حاصل از آزمایش تراکم استاندارد (وزن مخصوص خشک بیشینه و درصد رطوبت بهینه) این بوده است که درصد ریزدانه‌ی (سیمان) مخلوط شده در نمونه‌ها کمتر از ۱۵٪ بوده است، که طبق استانداردهای ASTM D ۴۲۵۳^[۲۹]، ASTM D ۴۲۵۴^[۳۰]، روش تراکم نسبی در اولویت قرار می‌گیرد. از سویی دیگر، در مطالعات مربوط به ماسه‌ی سیمانی و سیمانی الیافی، از جمله: کنسولی و همکاران (۲۰۱۹)^[۳۱]، ملاعباسی و همکاران (۲۰۱۹)^[۳۲] و کنسولی و همکاران (۲۰۰۹)^[۳۳] از روش تراکم نسبی استفاده شده است.

برای در نظر گرفتن اثر سیمان و الیاف در وزن مخصوص نمونه‌ها مطابق با نوشتار ملاعباسی و همکاران (۲۰۱۹)^[۳۴]، در رابطه‌ی ۱، برای G_{save} ، مقادیر میانگین G_s مخلوط (سیمان، الیاف، و ماسه) با توجه به درصد مشارکت مصالح در مخلوط استفاده شده است.

با در دست داشتن حجم نمونه و γ_{dmix} ، وزن خشک مصالح به دست می‌آید. مقدار آب موردنیاز برای تهیه‌ی نمونه‌ها، مطابق مطالعات ملاعباسی و همکاران (۲۰۱۹)^[۳۵]، درصد رطوبت بهینه (درصد رطوبتی که در آن بیشترین مقاومت فشاری محصور نشده به دست می‌آید) معادل ۱۰٪ در نظر گرفته شده است. شایان ذکر است که در مطالعات مشابه اسفندیاری‌پور و همکاران (۱۹۷۷)^[۳۶]، برای ماسه‌ی بابلسر سیمانی و مسلح شده با الیاف پروپیلن، درصد رطوبت بهینه‌ی ۱۰٪ برای نمونه‌سازی استفاده کردند.

در نهایت، به صورت خلاصه، این مراحل برای ساخت نمونه‌های همگن طی شده است:

- وزن کردن مصالح خشک (ماسه و سیمان) مطابق با طرح اختلاط ارائه شده

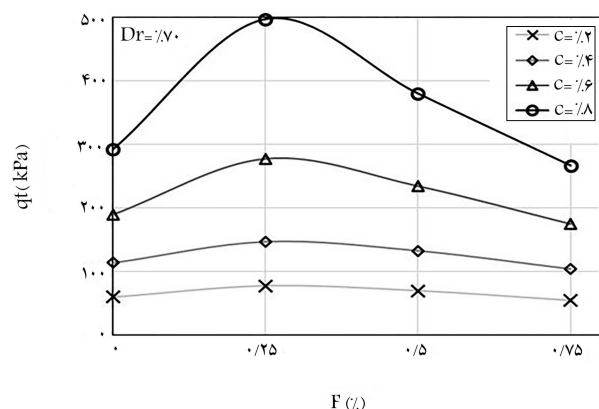
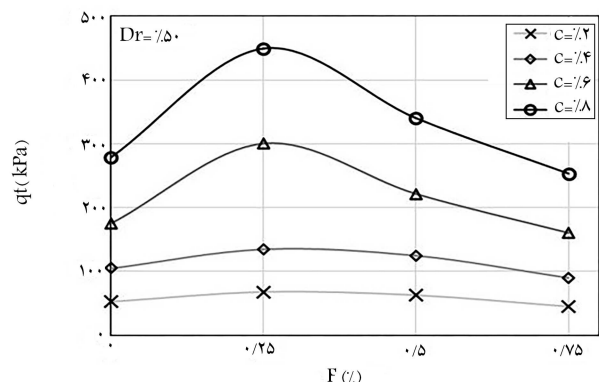
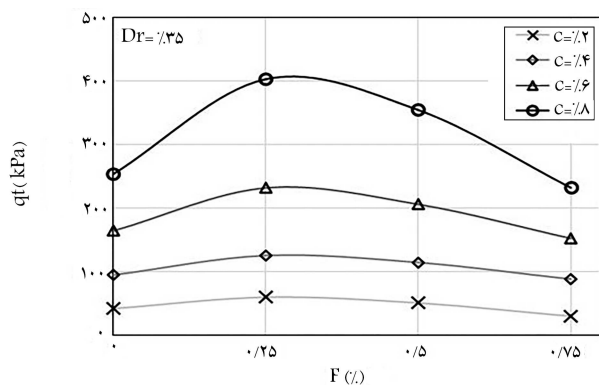
برای تسلیح ماسه‌های سیمانی از الیاف ماسک‌های صورت جراحی استفاده شده است. وزن مخصوص، مقاومت کششی و ضخامت ماسک‌های صورت به ترتیب مقادیر ۹۱٪، کیلونیوتن بر مترمکعب، ۴۰۰ کیلوپاسکال و ۴۳ میکرون در مطالعات صابریان و همکاران (۲۰۲۱)^[۳۷] گزارش شده و در پژوهش حاضر مدنظر قرار گرفته است. شایان ذکر است که به دلیل در نظر گرفتن خطر ابتلا به بیماری کرونا، از الیاف ماسک‌های نو استفاده شده است. ماسک‌ها به قطعاتی به ابعاد ۲۰ میلی‌متر طول و ۳ میلی‌متر عرض بریده و به مخلوط اضافه شده است. دلیل انتخاب ابعاد مذکور ایجاد مقاومت کششی و فشاری بیشتر ناشی از استفاده از الیاف کوتاه بوده است، که برای کسب اطلاعات بیشتر توجه خوانندگان به مطالعه‌ی نوشتارهای خیریز و همکاران (۲۰۱۹)^[۳۸]، کنسولی (۲۰۰۹)^[۳۹] و بن صلاح (۲۰۲۰)^[۴۰] جلب می‌شود.

۲.۲. طرح اختلاط

زمان عمل‌آوری در مطالعه‌ی حاضر، همانند بسیاری از مطالعات تثبیت با سیمان، ۷ روزه انتخاب شده است، تا رفتار ماسه‌ی سیمانی و آثار الیاف ماسک در کوتاه‌مدت بررسی شود. در این حالت واکنش‌های بلندمدت پوزولانی سیمان و آب موردنظر نبوده و فقط واکنش‌های هیدراسیونی در زمان ۷ روزه ملاک قرار گرفته است. محدوده‌ی بررسی تراکم نسبی (D_r) نمونه‌ها، ۳۵ تا ۷۰ درصد تراکم نسبی خاک پایه انتخاب شده است. دلیل انتخاب تراکم نسبی‌های پایین‌تر این است که خاک ماسه‌یی بابلسر در تراکم‌های نسبی بالاتر از ۷۰٪، خصوصیات مقاومتی خوبی داشته و معضلات روانگرایی و یا انزوال ظرفیت باربری را نداشته است.^[۴۱] لذا خاک متراکم نیازمند تثبیت و تسلیح نبوده و از اولویت انتخاب برای بررسی خارج شده است. درصدهای سیمان ۲ تا ۸ درصد، که براساس طبقه‌بندی اسماعیل و همکاران (۲۰۰۰)^[۴۲]، محدوده‌ی بین ماسه‌های سیمانی ضعیف تا متوسط است، مدنظر قرار گرفته و درصدهای الیاف ماسک جراحی ریز شده‌ی صفر تا ۷۵٪ به کار برده شده است. به صورت خلاصه، طرح اختلاط مربوط به نمونه‌های تحت آزمایش مقاومت کششی غیرمستقیم انجام شده در جدول ۱ ارائه شده است.

۳.۲. نمونه‌سازی و انجام آزمایش کشش غیرمستقیم

با توجه به بیشینه‌ی اندازه‌ی ذرات موجود در مخلوط اشاره شده در شکل ۱ (ذرات



شکل ۳. مقاومت کششی نمونه‌های سیمانی و سیمانی مسلح شده با الیاف ماسک در تراکم‌های نسبی گوناگون.

و مسلح با افزایش درصد الیاف ماسک جراحی تا ۲۵٪، مقاومت کششی افزایش و سپس کاهش یافته است. بنابراین ۲۵٪ الیاف ماسک جراحی، درصد بهینه بوده است، که در آن بهترین کارایی را از نظر واکنش‌های هیدراسیونی سیمان، کشش الیاف و اثر پرکنندگی در مخلوط نشان داده است. از سویی دیگر، باید خاطر نشان ساخت که افزایش الیاف بیش از درصد بهینه، سبب کاهش مقاومت بیشینه به علت افزایش مقدار الیاف می‌شود، چرا که ابعاد الیاف سطح اتصال بین ذرات ماسه‌ی سیمانی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، درصد الیاف بیش از ۲۵٪، امکان تجمع یا افزایش سطح مشترک الیاف به جای برهمکنش مخلوط ماسه، سیمان، و الیاف را بیشتر می‌کند؛ لذا سبب لغزش دانه‌های سیمانی روی سطح الیاف به واسطه‌ی اصطکاک، کمتر می‌شود، که سبب کاهش مقاومت می‌شود.^[۴۶] برای بررسی تأثیر افزودن الیاف ماسک بهینه، نرخ بهبود مقاومت (IR) به صورت رابطه‌ی ۲ تعریف شده است:



شکل ۲. نحوه‌ی قرارگیری نمونه‌ها و انجام آزمایش کشش غیرمستقیم برزیلی. در جدول ۱ و اختلاط مصالح با الیاف ریز شده‌ی ماسک و اضافه کردن آب موردنیاز تا حصول نمونه‌ی یکنواخت و همگن.

- ساخت نمونه‌ها به روش تراکم مرطوب با تراکم استاتیکی نمونه‌ها در ۳ لایه با در نظرگرفتن روش تراکم کاهش‌یافته مطابق با مطالعات لد^[۴۴] (۱۹۷۷).
- کنترل ظاهری ساخت نمونه‌ها و توزین مجدد نمونه به جهت اطمینان از تکرارپذیری بودن آزمایش؛
- قرار دادن نمونه‌ها در پلاستیک زبیبی برای حفظ رطوبت نمونه‌ها به مدت ۷ روز برای انجام آزمایش کشش غیرمستقیم دو نیم شدن برزیلی.

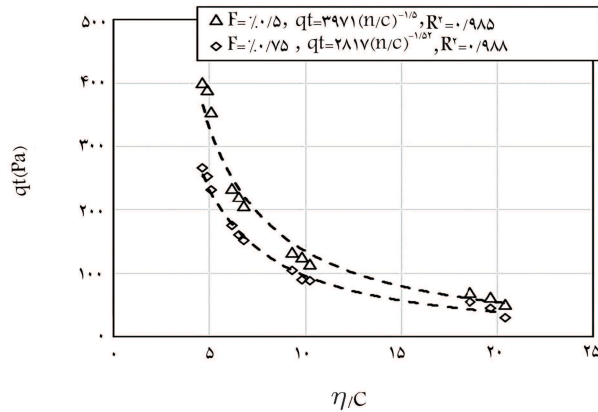
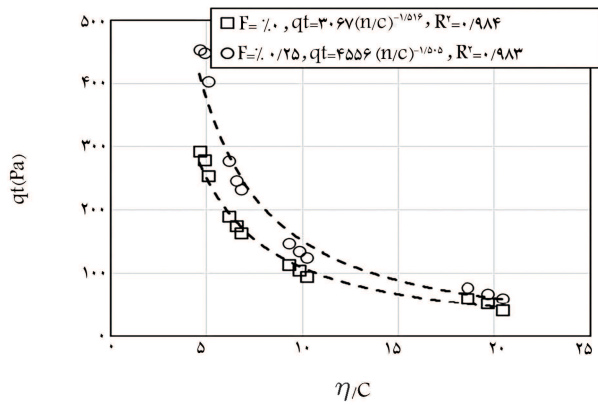
در مطالعه‌ی حاضر، تعداد ۴۸ آزمایش کشش غیرمستقیم دو نیم شدن برزیلی براساس استاندارد ASTM D ۳۹۶۷^[۴۳] انجام شده است. بدین ترتیب که قبل از انجام آزمایش، نمونه‌ها بعد از ۷ روز زمان عمل‌آوری از پلاستیک زبیبی خارج شد ندو در مدت ۲۴ ساعت در آب به حالت اشباع در آمدند و سپس خشک شدند تا از امکان وجود پتانسیل ماتریک در حین نمونه‌سازی جلوگیری شود.^[۴۴] در نهایت، نمونه‌ها به صورت افقی در دستگاه بارگذاری قرارگرفتند (شکل ۲) و بیشینه‌ی مقاومت آن برای دو نیم شدن به دست آمده و مقاومت کششی آن با توجه به روابط اشاره شده در استاندارد مرتبط محاسبه شده است.

۳. نتایج و بحث

نتایج پژوهش حاضر، در سه بخش تأثیر سیمان و الیاف ماسک در مقاومت کششی، تأثیر تراکم در مقاومت کششی و روابط تجربی برای پیش‌بینی مقاومت کششی ارائه شده است. در شکل‌های ارائه شده در بخش حاضر، qt ، F ، C ، و Dr به ترتیب نماینده‌ی مقاومت کششی، درصد سیمان، درصد الیاف و تراکم نسبی هستند.

۳.۱. تأثیر سیمان و درصد الیاف ماسک در مقاومت کششی

بیشینه‌ی استحکام یا همان مقاومت کششی نمونه‌های سیمانی حاوی الیاف ماسک جراحی در طی آزمایش دو نیم شدن در شکل ۳ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، مقاومت کششی با افزایش درصد سیمان افزایش یافته است، که می‌توان آن را در میزان تولید پیوندهای بین ذرات تشکیل شده ردیابی کرد.^[۴۵] در نمونه‌های تثبیت شده

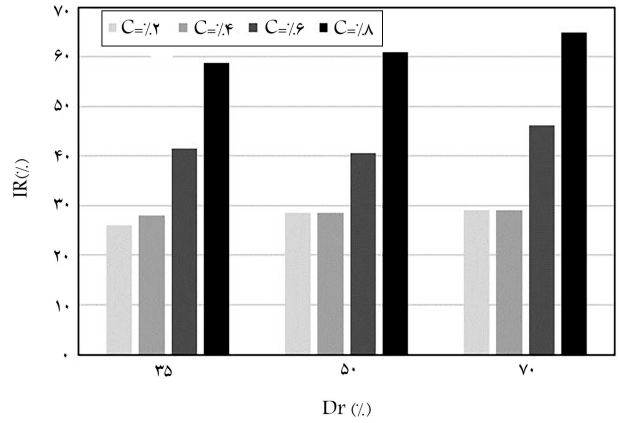


شکل ۶. مقاومت کششی در برابر (η/C) به ازاء مقادیر گوناگون الیاف ماسک.

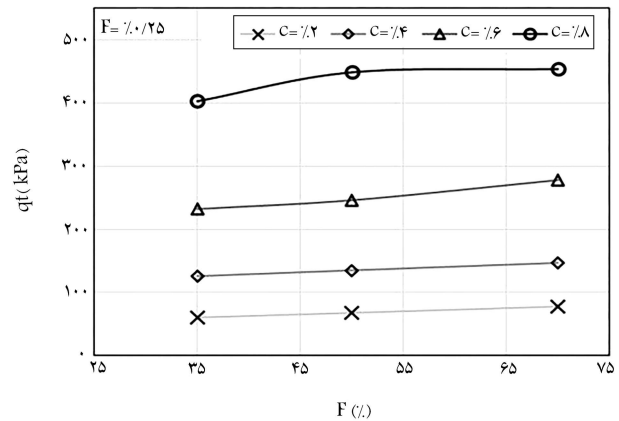
برای پیش‌بینی پارامترهای مقاومتی است، تا با استفاده از مقادیر کمیته‌ی پارامترهای مقاومتی بتوان طرح اختلاط بهینه مربوط به بهسازی خاک را پیشنهاد داد. کنسول و همکارانش (۲۰۱۲)، از پیشگامان ارائه‌ی روابط تجربی و پارامترهای کلیدی در ماسه‌های سیمانی و سیمانی الیافی هستند. ایشان و همکارانش، با معرفی پارامتر کلیدی (η/C) (η پوکی و C درصد سیمان) و استفاده از روابط توانی (به فرم $a(\eta/C)^b$ و a و b اعداد ثابت هستند)، توانستند مقاومت نمونه‌های سیمانی را با دقت بسیار خوب تخمین بزنند. [۲۷] کاربرد پارامترهای کلیدی به این نحو است که به‌عنوان مثال مقدار کمیته‌ی مقاومت فشاری محصور نشده، 1450 کیلوپاسکال برای مقاومت لایه‌های زیراساس موردنیاز است، که با توجه به فرم توانی پارامترهای کلیدی نسبت (η/C) برابر $(\frac{1450}{a})^{(\frac{1}{b})}$ به دست می‌آید. در نتیجه، به ازاء مقادیر مختلف تراکم یا همان پارامتر پوکی می‌توان بهینه‌ترین درصد سیمان موردنیاز را برآورد کرد. در شکل ۶، مقادیر مقاومت کششی در برابر η/C به ازاء مقادیر مختلف الیاف ماسک ارائه شده است. شایان ذکر است که برای محاسبه‌ی پارامتر η نمونه‌های سیمانی الیافی از رابطه‌ی ۳ استفاده شده است.

$$\eta(\%) = 100 - \frac{100}{V_{spec}} \left[\frac{\left\{ \frac{\rho_d V_{spec}}{1 + (\frac{C}{\gamma_s})} \left[1 + (\frac{F}{\gamma_s}) \right] \right\}}{G_{S,C}} + \frac{\left\{ \frac{\rho_d V_{spec}}{1 + (\frac{C}{\gamma_s})} \left[1 + (\frac{F}{\gamma_s}) \right] \right\}}{G_{S,C}} \left(\frac{C}{\gamma_s} \right) + \frac{\left\{ \frac{\rho_d V_{spec}}{1 + (\frac{C}{\gamma_s})} \left[1 + (\frac{F}{\gamma_s}) \right] \right\}}{G_{S,F}} \left(\frac{F}{\gamma_s} \right) \right] \quad (3)$$

که در آن، V_{spec} حجم نمونه و ρ_d وزن مخصوص خشک است. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است، با افزایش η و کاهش C ، نسبت η/C افزایش یافته است؛



شکل ۴. نرخ IR به ازاء مقادیر مختلف سیمان و تراکم نسبی.



شکل ۵. مقاومت کششی در برابر تراکم نسبی به ازاء مقادیر درصد‌های گوناگون سیمان و الیاف ماسک 0.25% .

$$IR = \frac{q_{t,C,F} - q_{t,C}}{q_{t,C}} \times 100 \quad (2)$$

که در آن، $q_{t,C}$ و $q_{t,C,F}$ به ترتیب مقاومت کششی نمونه‌های تثبیت شده با سیمان و نمونه‌های سیمانی حاوی 0.25% الیاف هستند.

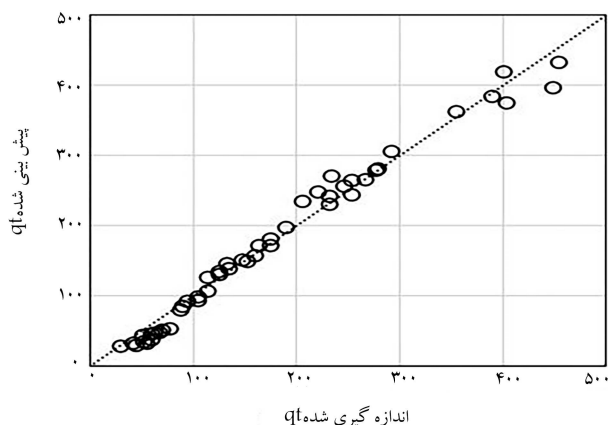
در شکل ۴، نرخ بهبود مقاومت برای نمونه‌ها با درصد‌های گوناگون سیمان و تراکم نسبی مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، نرخ بهبود مقاومت در تراکم نسبی 0.7% و سیمان 0.8% ، درصد بالاتری است. دلیل این مطلب را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که درصد‌های بالاتر سیمان و تراکم بیشتر، به ترتیب مقاومت باندهای سیمانی و تماس ذرات را بیشتر و در نتیجه، آثار آن در مقاومت کششی نمونه‌ها را بیشتر می‌کند. [۱۳]

۲.۳. تأثیر تراکم نسبی در مقاومت کششی

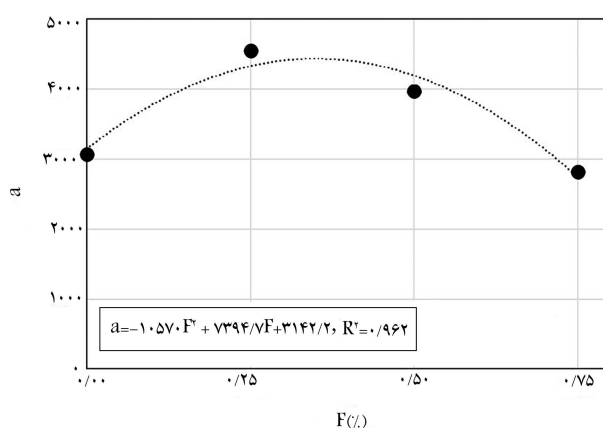
مقاومت کششی نمونه‌های تثبیت شده با سیمان و مسلح شده با 0.25% الیاف در ازاء تغییرات تراکم نسبی به‌صورت نمونه در شکل ۵ مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، با افزایش درصد سیمان مقاومت کششی به‌واسطه‌ی افزایش مقاومت باندهای سیمانی افزایش یافته است. از سویی دیگر، با افزایش درصد تراکم نسبی، مقاومت کششی نمونه‌ها نیز افزایش یافته است، که دلیل آن کاهش تخلخل نمونه‌ها بوده است. [۱۴]

۳.۳. روابط تجربی برای پیش‌بینی مقاومت کششی

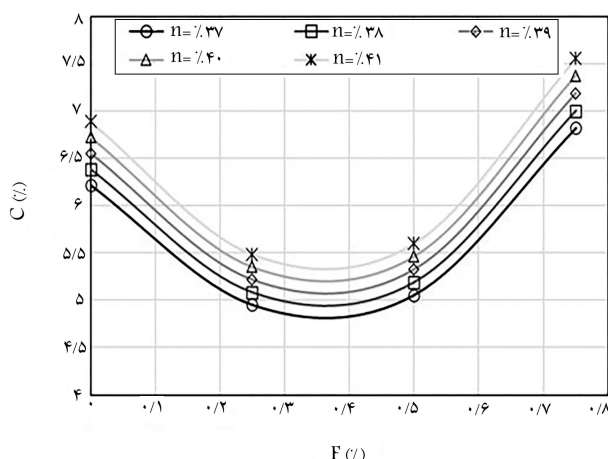
یکی از موضوعات به‌روز و مطرح در بحث‌های بهسازی خاک، ارائه‌ی روابط تجربی



شکل ۸. مقادیر پیش بینی شده در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده q_t .



شکل ۷. ضریب ثابت α در برابر درصد الیاف ماسک.



شکل ۹. کمینه‌ی درصد سیمان موردنیاز برای بهسازی لایه‌ی زیراساس.

در شکل ۹، مقادیر کمینه‌ی درصد سیمان برای رسیدن به مقاومت مدنظر لایه‌ی زیراساس (مقاومت کششی 203 کیلوپاسکال) برای استفاده‌ی پژوهشگران مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، درصد الیاف 35% ، درصد بهینه‌ی الیاف ماسک از نقطه‌نظر مقاومتی و هزینه‌ی است؛ چرا که در آن درصد، به کمترین مقدار سیمان در مخلوط نیاز است. به عبارت دیگر، برای رسیدن به مقدار مقاومت کششی 203 کیلوپاسکال مدنظر برای مصالح زیراساس، می‌توان درصد الیاف بیشتری از 25% بهینه‌ی اشاره‌شده در بند 1.3 ، استفاده کرد.

۴. نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر، امکان استفاده از الیاف ماسک یکبارمصرف در تسلیح ماسه‌ی سیمانی از طریق انجام مجموعه‌ی آزمایش‌های مقاومت کشش غیرمستقیم دو نیم شدن برزیلی با در نظر گرفتن 7 روز زمان عمل‌آوری، ارزیابی صورت گرفته و این نتایج به‌دست آمده است:

- به‌وضوح مشاهده می‌شود که استفاده از الیاف در تثبیت ماسه‌های سیمانی، آثار مثبتی در مقاومت کششی نمونه‌ها می‌گذارد؛
- درصد الیاف ماسک بهینه برای افزایش مقاومت کششی مخلوط، 25% است. نسبت افزایش مقاومت کششی با افزایش درصد سیمان و تراکم نسبی نمونه‌ها افزایش می‌یابد؛

که حاکی از کم شدن محصولات تولید شده‌ی سیمانی و تراکم خاک تثبیت شده بوده و در نتیجه از مقاومت کششی کاسته شده است. با بررسی دقیق‌تر شکل ۶ مشخص است که تغییرات q_t با η/C به‌صورت توانی (با توان تقریبی $-1/51$) با دقت بسیار خوبی تقریب زده شده است. برای ارائه‌ی رابطه‌ی جامع‌تر، که به‌توان درصد الیاف ماسک را نیز در خود داشته باشد، ضرایب ثابت‌های ارائه شده (a) در اراء مقادیر مختلف درصد ماسک در شکل ۷ رسم شده و رابطه‌ی همبستگی به‌صورت رابطه‌ی چندجمله‌یی به‌دست آمده است. درنهایت، با رگرسیون‌گیری مجدد، رابطه‌ی ۴ به‌عنوان یک رابطه‌ی بسیار مناسب برای پیش‌بینی مقاومت کششی ارائه شده است.

$$q_t = 17.2 \left(\frac{\eta}{C} \right)^{-1/516} (-665F^2 + 467F + 182) \quad (4)$$

در شکل ۸، مقادیر پیش‌بینی شده در برابر مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی پژوهش حاضر مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، رابطه‌ی ۴ دقت بسیار خوبی برای پیش‌بینی q_t با دقت بالای 98% دارد.

با توجه به رابطه‌ی ۴ مشخص است که تغییرات الیاف ماسک مستقلاً در مقاومت کششی اثر می‌گذارد و به‌صورت رابطه‌ی چندجمله‌یی است. با برابر قرار دادن مقاومت نمونه‌های فقط سیمانی و الیاف ماسک در رابطه‌ی ۴ می‌توان دریافت که مقاومت نمونه‌های حاوی 1% الیاف برابر با مقاومت نمونه‌های سیمانی می‌شود. این بدین معناست که با جایگزین کردن مخلوط خاک و سیمان با وزن 1% مصالح الیافی ماسک، مقاومت کششی نمونه‌ها تغییری نمی‌کند. لذا روش ذکر شده می‌تواند در جامدسازی حجم زیادی از الیاف ماسک آلوده، راهگشا باشد. به عبارت دیگر، ماسک‌های آلوده در طرح بهسازی خاک ماسه‌یی با سیمان، تثبیت می‌شود و امکان انتشار آلودگی آنها به میزان کمینه می‌رسد. لذا می‌توان گفت که آثار منفی احتمالی مرتبط به استفاده‌ی مجدد الیاف ماسک‌های آلوده کاهش می‌یابد.

یکی دیگر از استفاده‌های رابطه‌ی ۴ این است که مقاومت متناظر با کمینه‌ی مقاومت فشاری محصورشده‌ی مصالح زیراساس، 1450 کیلوپاسکال در نظر گرفته شود و مقادیر مصالح مربوط به طرح اختلاط به‌دست آید. ملاعباسی و همکاران (۲۰۱۹)، با بررسی مقاومت کششی و فشاری محصور نشده‌ی ماسه‌ی سیمانی پیشنهاد دادند که مقاومت کششی برابر با 14% مقاومت فشاری محصور نشده بوده و مستقل از درصد‌های سیمان و تراکم خاک بهسازی شده است. در نتیجه با توجه به مواردی که اشاره شد، کمینه‌ی مقاومت کششی 203 کیلوپاسکال، ملاک موردنظر برای کاربرد مصالح به‌عنوان زیراساس در نظر گرفته شد.

تثبیت شده با سیمان، آثار متعدد مثبتی در رفتار کششی دارد. همچنین، با توجه به امکان کنترل آلودگی‌های ماسک‌ها و نیز دفن و جامدسازی آنها، شایستگی‌های زیادی نسبت به استفاده‌ی سایر روش‌های تثبیت خاک در مهندسی ژئوتکنیک به همراه دارد. برای پژوهش‌های آتی، بررسی آثار درصد قطعات ماسک در تغییرات رطوبت لازم برای شروع واکنش‌های پوزولانی و بررسی رفتار بلندمدت نمونه‌های سیمانی الیافی پیشنهاد می‌شود.

-- پارامتر درصد پوکی به درصد سیمان (η/C)، پارامتر مناسبی برای تخمین مقاومت کششی نمونه‌هاست. با ادغام پارامتر اخیر و مدل چندجمله‌یی درجه‌ی دوم، رابطه‌ی جامع (رابطه‌ی ۴) برای محاسبه‌ی مقاومت کششی ماسه‌های سیمانی مسلح شده با الیاف ماسک با دقت بسیار زیاد به دست آمده است؛ -- در نهایت، می‌توان دریافت که افزودن الیاف ماسک یکبارمصرف به ماسه‌ی

پانویس‌ها

1. Lynch
2. Cui
3. Benessalah
4. Ladd

منابع (References)

1. Rattley, M.J., Lehane, B.M., Consoli, N.C. and Richards, D.J., 2007. Uplift of shallow foundations with cement-stabilised backfill. *Proceedings of the ICE-Ground Improvement*, 161(2), pp. 103-110. doi.org/10.1680/grim.2008.161.2.103.
2. Yadav, A.K., Gaurav, K., Kishor, R. and Suman, S.K., 2017. Stabilization of alluvial soil for subgrade using rice husk ash, sugarcane bagasse ash and cow dung ash for rural roads. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(3), pp. 254-261. doi.org/10.1016/j.ijprt.2017.02.001.
3. Chu, C., Deng, Y., Zhou, A., Feng, Q., Ye, H. and Zha, F., 2018. Backfilling performance of mixtures of dredged river sediment and iron tailing slag stabilized by calcium carbide slag in mine goaf. *Construction and Building Materials*, 189, pp.849-856. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.049.
4. Pastor, J.L., Ortega, J.M., Flor, M., López, M.P., Sanchez, I. and Climent, M.A., 2016. Microstructure and durability of fly ash cement grouts for micropiles. *Construction and Building Materials*, 117, pp.47-57. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.154.
5. Farouk, A. and Shahien, M.M., 2013. Ground improvement using soil-cement columns: Experimental investigation. *Alexandria Engineering Journal*, 52(4), pp.733-740. doi.org/10.1016/j.aej.2013.08.009.
6. Consoli, N.C., Dalla Rosa Johann, A., Gauer, E.A., Dos Santos, V.R., Moretto, R.L. and Corte, M.B., 2012. Key parameters for tensile and compressive strength of silt-lime mixtures. *Geotechnique Letters*, 2(3), pp.81-85. doi: 10.1680/geolett.12.00014. doi.org/10.1680/geolett.12.00014.
7. Clough, G.W., Sitar, N., Bachus, R.C. and Rad, N.S., 1981. Cemented sands under static loading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 107(ASCE 16319 Proceeding). doi.org/10.1061/AJGEB6.0001152.
8. Kenai, S., Bahar, R. and Benazzoug, M., 2006. Experimental analysis of the effect of some compaction methods on mechanical properties and durability of cement stabilized soil. *Journal of Materials Science*, 41(21), pp.6956-6964. doi.org/10.1007/s10853-006-0226-1.
9. Consoli, N.C., Cruz, R.C., Floss, M.F. and Festugato, L., 2009a. Parameters controlling tensile and compressive strength of artificially cemented sand. *Journal of Geotechnical and Geoenviron. Engineering*, 136(5), pp.759-763. doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000278.
10. Cardoso, R., Ribeiro, D. and Néri, R. 2017. Bonding effect on the evolution with curing time of compressive and tensile strength of sand-cement mixtures. *Soils and Foundations*, 57(4), pp.655-668. doi.org/10.1016/j.sandf.2017.04.006.
11. Consoli, N.C. and Tomasi, L.F., 2017. The impact of dry unit weight and cement content on the durability of sand-cement blends. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, 171(2), pp.96-102. doi.org/10.1680/jgrim.17.00034.
12. Amini, Y. and Hamidi, A., 2014. Triaxial shear behavior of a cement-treated sand-gravel mixture. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(5), pp.455-465. Available at: doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.07.006.
13. MolaAbasi, H., Saberian, M., Semsani, S.N., Li, J. and Khajeh, A., 2018. Triaxial behaviour of zeolite-cemented sand. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Ground Improvement*, pp. 1-11. doi.org/10.1680/jgrim.18.00009.
14. MolaAbasi, H. and Shooshpasha, I., 2017. Polynomial Models Controlling Strength of Zeolite-Cement Sand Mixtures. *Scientia Iranica*, 24(2), p.526. doi.org/10.24200/SCI.2017.2415.
15. Ng, K.S., 2018. Tensile behavior of fiber reinforced cemented soil: A short review. In: *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, p.20001. doi.org/10.1063/1.5062627.
16. Consoli, N.C., Prietto, P.D.M. and Ulbrich, L.A., 1998. Influence of Fiber and Cement Addition on Behaviour of Sandy Soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 124(1211-1214), pp.197-210. doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1998)124.

17. Tang, C.S., Wang, D.Y., Cui, Y.J., Shi, B. and Li, J., 2016. Tensile strength of fiber-reinforced soil. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28(7), p.4016031. doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001546.
18. Roshan, K., Choobbasti, A.J. and Kutanaei, S.S., 2020. Evaluation of the impact of fiber reinforcement on the durability of lignosulfonate stabilized clayey sand under wet-dry condition. *Transportation Geotechnics*, p.100359. doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100359.
19. Hooresfand, M. and Hamidi, A., 2011. Influence of fiber reinforcement on triaxial. pp.1-7. doi.org/10.1016/j.geotextmem.2012.10.005.
20. Hamidi, A. and Hooresfand, M., 2013. Effect of fiber reinforcement on triaxial shear behavior of cement treated sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 36, pp.1-9. doi.org/10.1016/j.geotextmem.2012.10.005.
21. Kutanaei, S.S. and Choobbasti, A.J., 2015. Triaxial behavior of fiber-reinforced cemented sand. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 30(6), pp.579-593. doi.org/10.1080/01694243.2015.1110073.
22. Abbasi, S.A., Khalil, A.B. and Arslan, M., 2020. Extensive use of face masks during COVID-19 pandemic: (Micro-) plastic pollution and potential health concerns in the Arabian Peninsula. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(12), pp. 3181-3186. doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.09.054.
23. Boroujeni, M., Saberian, M. and Li, J., 2021. Environmental impacts of COVID-19 on Victoria, Australia, witnessed two waves of Coronavirus. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(11), pp.14182-14191. doi.org/10.1007/s11356-021-12556-y.
24. Rehman, Z. and Khalid, U., 2021. Reuse of COVID-19 face mask for the amelioration of mechanical properties of fat clay: A novel solution to an emerging waste problem. *Science of The Total Environment*, 794, p.148746. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148746.
25. Kilmartin-Lynch, S., Saberian, M., Li, J., Roychand, R. and Zhang, G., 2021. Preliminary evaluation of the feasibility of using polypropylene fibres from COVID-19 single-use face masks to improve the mechanical properties of concrete. *Journal of Cleaner Production*, 296, p.126460. doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126460.
26. Cui, J., Qi, M., Zhang, Z., Gao, S., Xu, N., Wang, X., Li, N. and Chen, G., 2023. Disposal and resource utilization of waste masks: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, pp.1-22. doi.org/10.1007/s11356-023-25353-6.
27. Goli, A. and Sadeghi, P., 2023. Evaluation on the use of COVID-19 single-use face masks to improve the properties of hot mix asphalt. *Road Materials and Pavement Design*, 24(5), pp.1371-1388. doi.org/10.1080/14680629.2022.2072376.
28. Samadzadeh, A., Ghadr, S., Bahadori, H. and Kheiri, G., 2022. Experimental study on the cyclic behavior of silty sands reinforced by disposal of shredded facemask. *Transportation Geotechnics*, 37, p.100871. doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100871.
29. ASTM D2487., 2011. Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System). doi.org/10.1520/D2487-17.
30. ASTM D854., 2005. Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005, DOI: 10.1520/D0854-05. doi.org/10.1520/D0854-23.
31. ASTM D4254., A. 2006. Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density. doi.org/10.1520/D4254-16.
32. ASTM, D4253., 2000. Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table. doi.org/10.1520/D4253-16E01.
33. Khebizi, W., Della, N., Denine, S., Canou, J. and Dupla, J.C., 2019. Undrained behaviour of polypropylene fibre reinforced sandy soil under monotonic loading. *Geomechanics and Geoengineering*, 14(1), pp.30-40. doi.org/10.1080/17486025.2018.1508855.
34. Consoli, N.C., Viana da Fonseca, A., Cruz, R.C. and Heineck, K.S., 2009c. Fundamental parameters for the stiffness and strength control of artificially cemented sand. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(9), pp.1347-1353. doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000008.
35. Benessalah, I., Sadek, M., Villard, P. and Arab, A., 2020. Undrained triaxial compression tests on three-dimensional reinforced sand: Effect of the geocell height. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, pp.1-12. doi.org/10.1080/19648189.2020.1728581.
36. MolaAbasi, H., 2016. Laboratory investigation on mechanical behavior of babolsar sand stabilized with cement and Zeolite. Babol Noshivani University.
37. Ismael, N.F., 2000. Influence of artificial cementation on the properties of Kuwaiti sands. *Kuwait Journal of Science and Engineering*, 27(1), pp.59-76. doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1998)124:10(997).
38. Head, K.H. and Epps, R., 1986. Manual of soil laboratory testing. Pentech Press London.
39. Consoli, N.C. and Foppa, D., 2014. Porosity/cement ratio controlling initial bulk modulus and incremental yield stress of an artificially cemented soil cured under stress. *Géotech Lett.* 4, pp. 22-26. doi.org/10.1680/geolett.13.00081.
40. MolaAbasi, H., Saberian, M. and Li, J., 2019. Prediction of compressive and tensile strengths of zeolite-cemented sand using porosity and composition. *Construction and Building Materials*, 202, pp.784-795. doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.065.
41. Consoli, N.C., Festugato, L. and Heineck, K.S., 2009. Strain-hardening behaviour of fibre-reinforced sand in view of filament geometry. *Geosynthetics International*, 16(2), pp.109-115. doi.org/10.1016/j.jrmge.2014.07.006.
42. EsfandyariPour, A., Lajevardi, S.H. and MolaAbasi, H., 2024. Preposition of a Key Parameter to Estimate the Compressive Strength of the Sand stabilized with cement-zeolite and Reinforced by Polypropylene Fibers. *AUT Journal of Civil Engineering*, doi.org/10.22060/AJCE.2024.18576.5685.
43. Ladd, R.S., 1977. Specimen preparation and cyclic stability of sands. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 103(6), pp.535-547.

44. ASTM, A., 1995. D3967. *Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Intact Rock Core Specimens*. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA. doi.org/10.1520/D3967-16.
45. Consoli, N.C., da Fonseca, A.V., Cruz, R.C. and Silva, S.R. 2011. Voids/cement ratio controlling tensile strength of cement-treated soils. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(11), pp.1126-1131. doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000524.
46. Tran, K.Q., Satomi, T. and Takahashi, H., 2018. Improvement of mechanical behavior of cemented soil reinforced with waste cornsilk fibers. *Construction and Building Materials*, 178, pp. 204-210. 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.104.
47. Consoli, N.C., Rotta, G. V and Prietto, P.D.M., 2000. Influence of curing under stress on the triaxial response of cemented soils. *Geotechnique*, 50(1), pp.99-105. doi.org/10.1680/geot.2000.50.1.99.