

ارزیابی اثر جنس خاک بر روی خواص ژئوتکنیکی ماسه‌های بادرفتی تثبیت شده با پسماندهای نفتی

غیاث‌الدین یاری^{۱*}، البرز حاجیان‌نیا^۲، مریم هددهدی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد، Ghias.yari@gmail.com

۲- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد، Alborzhn@yahoo.com

۳- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد، Hodhodi1355@gmail.com

چکیده

بیش از ۱۰٪ از سطح کشور ایران را ماسه‌های ریزدانه بادی تشکیل می‌دهد. خصوصیات مقاومتی ماسه‌های بادرفتی با توجه به دانه‌بندی و نوع تشکیل آن‌ها پائین بوده و ساخت راه‌ها و پروژه‌های عمرانی بر روی این خاک‌ها با توجه به خواصشان میسر نمی‌باشد. در نتیجه برای بهبود خواص این خاک‌ها نیاز به بهسازی و تثبیت آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. از جمله جدیدترین موادی که در سال‌های اخیر به این منظور استفاده شده، پسماندهای نفتی پالایشگاه‌ها می‌باشد که به وفور در کشور یافت می‌شوند. از این‌رو تعیین مقدار بهینه پسماند برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی مناطق مختلف ایران و بررسی عوامل موثر بر آن لازم به نظر می‌رسد. به این جهت در این تحقیق ضمن تثبیت ماسه‌های بادرفتی ورزنه به بررسی اثر جنس آن‌ها بر خواص تراکمی و مقاومت نمونه‌های تثبیت شده پرداخته شده است. به این منظور دو نمونه ماسه از شمال (سیلیسی) و جنوب (کربناته) ماسه‌های بادرفتی ورزنه تهیه شده و بعد از انجام بررسی‌های اولیه بر روی آن‌ها، مشخصاتی از دو خاک که متاثر از جنس نمی‌باشند (رطوبت، دانه‌بندی و نمک) برای استفاده در تحقیق یکسان گردید. بررسی خواص تراکمی نمونه‌های تثبیتی حاکی از وزن واحد بیش‌تر ماسه‌های کربناته نسبت به سیلیسی می‌باشد. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری تک‌محوری نیز نشان داد که اولاً مقدار بهینه تثبیت برای خاک‌های شمال شرقی منطقه برابر ۹ درصد بوده و ثانیاً جنس ماسه‌های بادرفتی بر روی مقاومت نمونه‌های تثبیت شده تاثیر قابل توجهی داشته است؛ به طوری که در میزان بهینه تثبیت، مقاومت نمونه سیلیسی ۸ درصد بیش از نمونه کربناته می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ماسه بادرفتی، پسماند نفتی، ورزنه، جنس، سیلیس، کربنات کلسیم

۱- مقدمه

بخش وسیعی از سطح منطقه خاورمیانه و به ویژه کشور ایران دارای بیابان‌های وسیع می‌باشد. اکثر خاک‌های این مناطق ماسه‌های ریزدانه (ماسه بادی) می‌باشد. گرمای زیاد و شرایط اقلیمی باعث می‌شود که رسوبات بادی، ماسه‌های ریزدانه و تپه‌های ماسه‌ای گسترده‌ای فراوانی در این مناطق داشته باشند [۱]. می‌توان گفت که بیش از ۱۰٪ از سطح کشور را ماسه‌های ریزدانه بادی تشکیل می‌دهد [۲].

خصوصیات مقاومتی ماسه‌های بادی با توجه به دانه‌بندی و نوع تشکیل آن‌ها، بسیار پائین است. از این‌رو ساخت راه‌ها و پروژه‌های عمرانی بر روی این خاک‌ها با توجه به خواصشان میسر نبوده و هزینه جای‌گزینی آن‌ها با مصالح مرغوب بسیار زیاد

می‌باشد. در نتیجه برای بهبود خواص این خاک‌ها نیاز به بهسازی و تثبیت آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. روش‌های مختلفی به‌منظور بهسازی و اصلاح ماسه‌های بادرفتی مورد بررسی قرار گرفته است، که از آن میان می‌توان به تثبیت با مواد هیدروکربنی سنگین نظیر قیر و پسماندهای نفتی اشاره کرد. در این میان پسماندهای نفتی که از جدیدترین تثبیت‌کننده‌ها می‌باشند، به علت این که از ضایعات نفتی به شمار رفته و استفاده خاصی از آن‌ها نمی‌شود، نسبت به قیر اقتصادی‌تر می‌باشند. شایان ذکر است که این مواد به دلیل تعدد صنایع وابسته به نفت مانند پالایشگاه‌ها، به وفور در ایران یافت می‌شوند.

از طرفی بیابان‌هایی که ماسه‌های بادرفتی در آن شکل می‌گیرند، معمولاً از لحاظ ارتفاعی در مناطق پست کره زمین قرار داشته و حوزه آبریز رودخانه‌های دائمی و فصلی متفاوتی می‌باشند که از جهات مختلف به این مناطق منتهی می‌شوند. این رودخانه‌ها رسوباتی را از نواحی مختلف به این مناطق منتقل می‌کنند، که در فصل‌های گرم سال به علت پایین رفتن آب زیرزمینی، آب و هوای گرم و خشک، و فرسایش بادی، ماسه‌های بادرفتی را تشکیل می‌دهند. بنابراین می‌توان گفت که ماسه‌های بادرفتی موجود در هر بیابان از دانه‌های با جنس متفاوت تشکیل شده‌اند یا به عبارتی منشا کانی‌های تشکیل دهنده آن متفاوت بوده و جنس غالب کانی‌های تشکیل دهنده آن در قسمت‌های مختلف این بیابان‌ها متغیر خواهد بود.

مرور مطالعات گذشته نشان می‌دهد که تاکنون اثر جنس دانه‌های خاک بر روی خواص مقاومتی ماسه‌های بادرفتی تثبیت شده با پسماندهای نفتی مورد بررسی قرار نگرفته است. از این‌رو در این تحقیق ضمن بررسی کارایی پسماند نفتی برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی دشت ورزنه، اثر جنس ماسه بادرفتی بر روی خواص ژئوتکنیکی نمونه‌های تثبیت شده مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در ادامه ابتدا مروری بر مطالعات قبلی صورت گرفته و به موقعیت جغرافیایی و وضعیت زمین‌شناسی دشت ورزنه نیز اشاره خواهد شد. سپس ضمن تشریح مواد و روش‌های مورد استفاده در تحقیق، نتایج و بحث بر روی آن‌ها ارائه گردیده و در نهایت نتیجه‌گیری از تحقیق صورت خواهد گرفت.

۲- مروری بر مطالعات گذشته

تا کنون تحقیقاتی در زمینه اصلاح خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های ماسه‌ای با استفاده از مواد هیدروکربنی سنگین نظیر قیر و پسماندهای نفتی؛ و همچنین صلاحیت زیست محیطی آن‌ها صورت گرفته‌است که در ادامه به بخشی از آن‌ها اشاره می‌شود.

نتایج بررسی‌های زیست محیطی سالم^۱ و همکاران در سال ۱۹۸۵ نشان داد که افزودن قیر به ماسه پایداری خاک را افزایش می‌دهد و باعث کاهش آزادسازی عناصر شیمیایی مثل مواد معدنی و فلزات سنگین می‌شود [۳]. نتایج بررسی یانگ^۲ و همکاران نیز نشانگر عملکرد مناسب زیست محیطی پسماند نفتی در خاک می‌باشد [۴]. مطالعات دیگری توسط یارون^۳ در سال ۱۹۸۹ بر روی رفتار واجذبی هیدروکربن‌های نفت خام از خاک‌هایی با اختلاط مواد آلی و خاک رس صورت گرفته است که نشان داد رفتار واجذبی هیدروکربن‌ها از سطح خاک‌های مورد بررسی، شدیداً تحت تأثیر نوع خاک و هیدروکربن می‌باشد [۵]. همچنین نتایج تحقیقی نشان می‌دهد قابلیت اغلب مواد مرکب موجود در پسماند نفتی برای حل شدن در آب پایین می‌باشد. در نتیجه در حالت محلول در آب، پتانسیل جابه‌جایی کمی در محیط اطراف دارند [۶].

مطالعاتی نیز در خصوص ارزیابی ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک‌های ماسه‌ای تثبیت شده با مواد هیدروکربنی صورت گرفته است. یانگ و محمد نیز در سال ۱۹۹۴ نشان دادند که در تثبیت لوم‌های ماسه‌ای با پسماند نفتی چسبندگی افزایش قابل توجهی یافته، اما زاویه اصطکاک تغییرات چندانی نداشته است [۴]. حاجیان‌نیا و همکاران با بررسی ماسه‌های بادرفتی منطقه جندق اصفهان نشان دادند که اگرچه با افزایش پسماند نفتی به خاک زاویه اصطکاک کمی کاهش می‌یابد، اما افزایش ۲۱ برابری چسبندگی در مقدار بهینه ۷ درصد، باعث افزایش مقاومت آن‌ها خواهد شد [۷]. تحقیقی دیگر بر روی ماسه‌های بادرفتی

¹Salem

²Yong

³Yaron

جنوب شرق کشور نشان داده است که میزان بهینه پسماند نفتی برای تثبیت آن‌ها ۴ درصد بوده و افزایش میزان رطوبت و نمک باعث کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های تثبیتی می‌شود [۸].

حاجیان‌نیا و همکاران با ارزیابی اثر گذشت زمان بر ماسه‌های بادرفتی تثبیت شده با پسماندهای نفتی به این نتیجه رسیدند که گذشت زمان به مقاومت فشاری نمونه‌ها افزوده می‌شود. به گونه‌ای که تغییرات افزایش مقاومت تا مدت زمان ۷ روز زیاد بوده و بعد از آن تغییرات مقاومت کاهش می‌یابد [۹]. در تحقیقی دیگر، نتایج اثر توام پسماندهای نفتی و الیاف پلیمری در تثبیت ماسه‌های بادی نشان داد که در میزان بهینه پسماند ۶ درصد و ۰/۱ درصد وزنی الیاف، مقدار مقاومت نمونه‌های تهیه شده افزایشی در حدود ۱۹ برابر نسبت به نمونه‌های بدون الیاف نشان داده است [۱۰]. همچنین افزایش ریزدانه در ماسه‌های بادرفتی باعث افزایش درصد بهینه پسماند نفتی و مقاومت گردیده است. اگر درصد ریزدانه از مقداری بیش‌تر شود به دلیل کاهش چسبندگی بین ماسه و پسماند نفتی، باعث افت مقاومت نمونه‌ها خواهد شد [۸]. همچنین تحقیقات نشان داده است که علاوه بر PH خاک، میزان نمک خاک نیز در انجام واکنش مکانیکی مربوط به قیر و خاک مؤثر می‌باشد. به طوری که با افزایش نمک، نتایج حاصل از اصلاح با قیر افت می‌کند [۱۱].

از آن‌جا که مکانیسم اصلی افزایش مقاومت با افزودن پسماندهای نفتی به دلیل افزایش قابل توجه در چسبندگی نمونه‌های تثبیت شده است، بنابراین هر عاملی که بتواند بر میزان چسبندگی تاثیرگذار باشد بر مقاومت نهایی خاک تثبیت شده نیز مؤثر خواهد بود. به دلیل این که شباهت تقریبی ترکیبات پسماندهای نفتی با قیر به برخی از مطالعات انجام شده در زمینه مخلوط‌های قیری (آسفالت) پرداخته می‌شود. خلاصه نتایج بررسی‌ها به شرح زیر می‌باشند:

پایداری مخلوط‌های آسفالتی با افزایش گوشه‌داری مصالح دانه‌ای افزایش می‌یابد [۱۲]. خاصیت اسیدی یا بازی سنگ‌دانه‌ها نیز بر روی چسبندگی مؤثر است؛ از آن‌جا که هیدروکربن‌های سنگین نفتی عموماً دارای خواص اسیدی می‌باشند [۱۳]، بنابراین با سنگ‌دانه‌های اسیدی به دلیل بارهای هم‌نام آن‌ها چسبندگی مناسبی ایجاد نخواهند کرد [۱۴]؛ از این‌رو برخی از بررسی‌ها نشان دهنده پیوندهای ترمودینامیکی با استحکام بالا بین دانه‌های کربناته (کلسیت) با مواد قیری می‌باشند. همچنین گوشه‌داری بیش‌تر، بافت سطحی زبرتر و هوازدگی بیش‌تر نیز منجر به افزایش انرژی سطحی سنگ‌دانه‌ها و تمایل بالاتر به برقراری پیوند با مواد قیری خواهد شد. انرژی سطحی دانه‌های سیلیسی بیش از دانه‌های کربناته می‌باشد [۱۵]. برخی از تحقیقات نیز نشان دهنده تاثیر قابل توجه گوشه‌داری بر استحکام پیوندهای بین قیر و سنگ‌دانه‌ها می‌باشد. از دیگر عوامل مؤثر می‌توان به آلودگی (ذرات با اندازه رسی) و رطوبت روی سنگ‌دانه‌ها اشاره نمود، که با افزایش آن‌ها از میزان چسبندگی کاسته می‌شود [۱۶]. مطالعات نشان می‌دهد که قابلیت جذب سطحی قیر به خاک‌ها به صورت زیر می‌باشد [۱۷]:

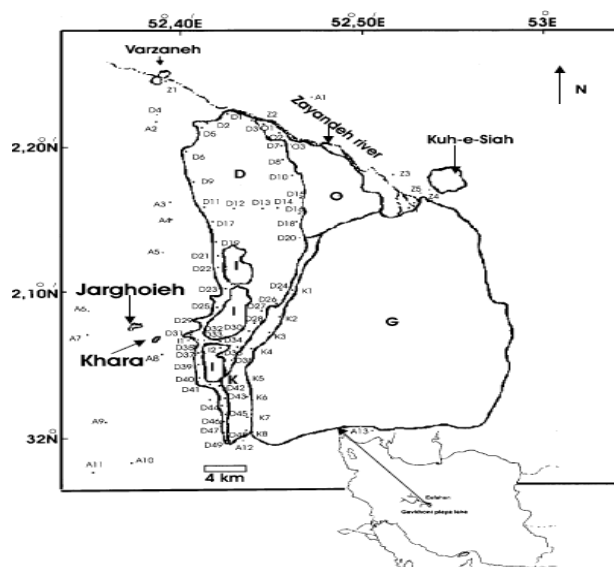
سنگ ماسه > سنگ آهک > سیلیکا > آلومین

از مرور مطالعات قبلی مشخص می‌شود که تا کنون تاثیر اثر جنس ماسه‌های بادرفتی بر روی تثبیت آن‌ها با استفاده از پسماند نفتی صورت نگرفته است. از طرفی برخی از عوامل تاثیرگذار بر روی چسبندگی متاثر از جنس بوده و برخی نیز مستقل از آن می‌باشند. از این عوامل رطوبت، نمک، آلودگی و دانه‌بندی مستقل از جنس خاک می‌باشند. کانی‌های تشکیل دهنده، انرژی سطحی، خاصیت اسیدی یا بازی (PH)، جذب سطحی و گوشه‌داری [۱۸] ماسه‌های بادرفتی نیز متاثر از جنس خاک می‌باشند. از این‌رو برای بررسی اثر جنس خاک بر تثبیت، باید عوامل مستقل از آن تا حد امکان یکسان شوند که تاثیر آن‌ها بر تثبیت حداقل شود.

۳- منطقه مورد مطالعه (ورزنه)

۳-۱- موقعیت جغرافیایی

دشت ماسه‌های بادی ورزنه در نواحی مرکزی ایران و در جنوب شرقی اصفهان، بین محدوده ۳۲°،۰۰' تا ۳۲°،۲۳' شمالی و ۵۲°،۴۰' تا ۵۲°،۴۷' شرقی، با مساحت تقریباً ۱۴۰ کیلومتر مربع واقع شده است (شکل ۱). این ماسه‌ها در ناحیه‌ای واقع



شکل ۱: گستردگی ماسه‌های بادی ثابت در ناحیه ورزنه، (D): تپه‌های ماسه بادی، (G): باتلاق گاوخونی (نقاط علامت گذاری شده مربوط به نقاط شاخص برای مطالعات زمین‌شناسی منطقه بوده است) [۱۸]

گردیده‌اند که طول آن از شمال تا جنوب ۴۵ کیلومتر، و حداکثر عرض آن حدود ۱۱ کیلومتر در شمال منطقه می‌باشد. وسعت ماسه‌های بادی در ورزنه از شمال به جنوب کاهش می‌یابد. این منطقه توسط کوه‌هایی محصور شده است که بیش‌ترین ارتفاع از سطح دریا مربوط به کوه‌های شمالی (۳۳۳۰ متر) می‌باشد. باتلاق گاوخونی با ۱۴۷۴ متر ارتفاع از سطح دریا، پست‌ترین بخش منطقه است که در شرق دشت ماسه‌های بادی واقع شده است.

۳-۲- ویژگی‌های زمین‌شناسی ورزنه

مطالعات زمین‌شناسی باتلاق گاوخونی برای اولین بار در سال ۱۹۷۲ میلادی توسط کرینزلی انجام گردید [۱۹]. مطالعات جامع‌تر و تهیه نقشه حوزه آبریز زاینده رود، چند سال بعد توسط شرکت ملی نفت ایران، در فاصله بین سال‌های ۱۹۷۵ تا ۱۹۷۷ میلادی انجام گردید. مطابق این مطالعات، از نظر زمین‌ساخت کلی، حوزه آبریز زاینده‌رود در سه زون زاگرس، سنندج-سیرجان و ارومیه - دختر واقع شده است؛ ولی بخش وسیعی از آن در زون سنندج - سیرجان قرار می‌گیرد. فعالیت‌های تکتونیکی شدید در این زون‌ها در طی دوران‌های مختلف، به ویژه پلیو- پلیستوسن، چهره فعال منطقه را به وجود آورده است. دشت‌های این حوزه عمدتاً متأثر از فعالیت گسل‌ها می‌باشند [۲۰]. بدین ترتیب باتلاق گاوخونی (منطقه ورزنه) یک منطقه فرورفته کویری است و از جمله گودال‌های جداکننده زون زمین‌ساختی سنندج - سیرجان از ایران مرکزی است.

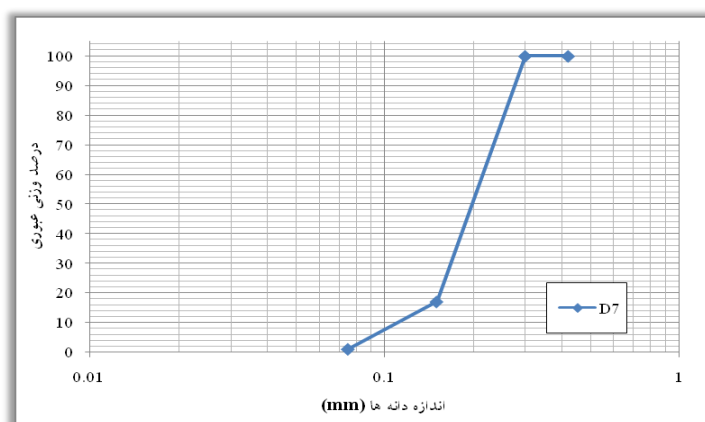
هم‌چنین مطالعات نشان داده است که ماسه‌های این منطقه تحت تاثیر زاینده‌رود در شمال و جریان‌های فصلی در جنوب منطقه می‌باشد. زاینده‌رود دانه‌های با منشأ آذرین را به این منطقه منتقل می‌کند. در حالی که جریان‌های جنوبی اغلب حامل دانه‌های با منشأ رسوبی است. دانه‌های رسوبی اغلب از جنس کربناته می‌باشند و فراوانی آن‌ها از جنوب به شمال کاهش یافته و بر فراوانی دانه‌های آذرین افزوده می‌شود [۱۸].

۴- مواد و روش‌ها

۴-۱- نمونه ماسه‌های بادرفتی

از آن‌جا که یکی از اهداف تحقیق حاضر تثبیت ماسه‌های بادرفتی ورزنه بوده و از طرفی بررسی‌های اولیه در قسمت‌های شمال شرقی دشت ورزنه نشان دهنده توزیع تقریباً یکنواخت اندازه دانه‌ها می‌باشد، یک نمونه ماسه بادرفتی از شمال شرقی

این ناحیه (D7) به عنوان نماینده انتخاب شده و یک نمونه ماسه بادرفتی نیز با منشا رسوبی از جنوب منطقه برای بررسی اثر جنس انتخاب گردید. بررسی‌های اولیه نشان داد که ماسه‌ها از لحاظ دانه‌بندی و رطوبت متفاوت، اما از نظر مقدار نمک وضعیت آن‌ها تقریباً یکسان بوده و آلودگی (ذرات رسی) بر روی دانه‌ها وجود ندارد. بنابراین دانه‌بندی خاک D7 مبنای قرار گرفته و D35 مانند آن سنتز گردید. رطوبت هر دو نیز با گرما دادن به صفر رسید. نمودار دانه‌بندی مورد استفاده در تحقیق در شکل ۲ و ۱ مشخصات عمومی خاک‌های نهایی آماده شده برای استفاده در آزمایش‌ها، در جدول ۱ نشان داده شده است. نتایج آزمایش XRF بر روی دو نمونه خاک نیز در جدول ۲ ارائه گردیده است. بررسی‌های صورت گرفته بر روی منطقه ورزنه نشان دهنده گوشه‌داری قابل توجه ماسه‌های شمالی (D7) نسبت به ماسه‌های جنوبی (D35) بوده و از لحاظ بافت سطحی دارای شرایط یکسانی می‌باشند [۱۸]. لازم به ذکر است که آزمایش‌های صورت گرفته بر روی هر دو نمونه ماسه، مطابق استانداردهای موجود در ASTM بوده است. همچنین رطوبت اولیه نمونه D7 و D35، به ترتیب کم‌تر از یک و بیش از سه درصد بود.



شکل ۲: منحنی دانه بندی ماسه بادرفتی سیلیسی، D7 (مورد استفاده در آزمایش‌ها)

جدول ۱: مشخصات عمومی نمونه‌های ماسه بادرفتی سیلیسی D7 و کربناته D35

نمونه	D7	D35
طبقه‌بندی خاک	SP	SP
C_c	۱/۱۲	۱/۱۷
C_u	۱/۹۶	۱/۹۲
عمق نمونه گیری (cm)	>۲۰	>۲۰
درصد رطوبت طبیعی	≈ ۰	≈ ۰
G_s رد شده از الک ۱۰۰	۲/۶۷	۲/۶۸
G_s رد شده از الک ۴۰	۲/۶۵	۲/۶۳
w_{opt}	۱۲/۵	۱۲/۴
$\gamma_d Max (KN/m^3)$	۱۶/۵	۱۷/۰۵
PI	NP	NP
PH	۶/۶۳	۷/۴۶
NaCl(%)	۰/۱۶	۰/۱۳
CaSO ₄ (%)	۱/۲۳	۱/۳۶

جدول ۲: نتایج آزمایش XRF نمونه‌های ماسه بادرفتی D7 و D35

نمونه D7		نمونه D35	
ترکیبات	درصد وزنی	ترکیبات	درصد وزنی
SiO ₂	۴۱/۸۸	CaO	۳۲/۵۹
CaO	۲۸/۰۲	SiO ₂	۲۶/۶۶
Al ₂ O ₃	۵/۶۵	Al ₂ O ₃	۴/۹
Fe ₂ O ₃	۱/۸۹	Na ₂ O	۳/۴۴
Na ₂ O	۱/۰۲	Cl	۲/۴۴
MgO	۰/۹۴۱	MgO	۱/۷
K ₂ O	۰/۸۸۴	Fe ₂ O ₃	۱/۳۶
TiO ₂	۰/۲۵۴	SO ₃	۰/۹۹۷
SO ₃	۰/۱۱۰	K ₂ O	۰/۸۳۶
SO ₃	۰/۱۱۰	TiO ₂	۰/۱۸
P ₂ O ₅	۰/۰۶۵	SrO	۰/۰۸
SrO	۰/۰۶۳	BaO	۰/۰۵۸
MnO	۰/۰۴۸	P ₂ O ₅	۰/۰۴۲
BaO	۰/۰۴۱	MnO	۰/۰۴۱
ZrO ₂	۰/۰۱۹	Cr ₂ O ₃	۰/۰۲۱
CuO	۰/۰۱۸	CuO	۰/۰۲۰
ZnO	۰/۰۱	ZnO	۰/۰۰۸
LOI ¹	۱۹/۰۲	LOI	۲۵/۱۲
مجموع	۹۹/۹۳	مجموع	۱۰۰/۴۹

علاوه بر آزمایش XRF، نتایج آزمون XRD انجام شده بر روی دو نمونه ماسه نیز نشان داد که مقدار سیلیس و کربنات کلسیم در خاک D7 به ترتیب برابر ۵۲/۶ و ۲۴ درصد، و در خاک D35 به ترتیب برابر ۱۴/۵ و ۶۴/۶ درصد بوده و دیگر ترکیبات تشکیل دهنده آن‌ها نیز در مقایسه با مقادیر سیلیس و کربنات کلسیم قابل چشم‌پوشی می‌باشند. بنابراین با توجه به این که درصد بالایی از خاک‌های D7 و D35 را به ترتیب مواد سیلیسی و کربناته تشکیل می‌دهد، در ادامه تحقیق آن‌ها ماسه‌های سیلیسی و کربناته نامیده خواهند شد. به این ترتیب، عوامل تاثیرگذار بر مقاومت که متاثر از جنس نمی‌باشند، در هر دو خاک یکسان شده و نمونه‌های خاک برای استفاده در تحقیق آماده گردید.

¹Loss on Ignition

۴-۲- نمونه پسماند نفتی

به طور کلی پسماند مواد نفتی، مواد باقیمانده در قسمت انتهایی و پایینی برج تقطیر نفت می‌باشد. این ماده یک ترکیب کمپلکس است که اغلب شامل ترکیبات سنگین، مواد اشباع، هیدروکربن‌های آروماتیک (معطر) و مقدار جزئی آسفالتین و رزین‌ها هستند. گروه‌های اشباع شده شامل پارافین‌های مرکب (شاخه‌دار) و با زنجیرهای طولانی و هم‌چنین سیکلوپارافین‌ها می‌باشند. اغلب هیدروکربن‌های آروماتیک موجود در پسماند نفت به وسیله انواع پلی‌آروماتیک‌ها جوش خورده‌اند و ممکن است حاوی گروه‌های جانبی آلکیل باشند. رزین‌ها نیز از حلقه‌های جوش خورده آروماتیک با آلکیل و سایر جانبی‌های قطبی تشکیل شده‌اند. آسفالتین‌ها از مقادیر زیادی آروماتیک‌های چند حلقه‌ای متراکم شده تشکیل شده‌اند که ممکن است حاوی ترکیبات آلی-فلزی باشند [۲۱]. به طور کلی تحقیقات قبلی نشان می‌دهد که پسماند مواد نفتی دارای نقطه جوش بالا، لزجت زیاد، وزن مخصوص نزدیک به ۱ و وزن مولکولی بالا هستند [۴]. در این تحقیق از پسماند نفتی پالایشگاه اصفهان جهت تثبیت ماسه‌های منطقه مورد بررسی استفاده شده است. برای تعیین خصوصیات پسماند نفتی، آزمایش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی بر روی آن صورت گرفت که نتایج آن در جدول ۳ ارائه گردیده است.

جدول ۳: مشخصات فیزیکی و شیمیایی پسماند نفتی

وزن واحد	گران‌روی در ۱۰۰°C (cs)	نقطه جوش (°C)	وانادیوم (ppm)	نیکل (ppm)	رزین (%)	آسفالتین (%)	هیدروکربن های اشباع (%)	هیدروکربن- آروماتیک (%)	وزن مولکولی (g/mole)
۰/۹۶	۵۵	<۳۷۰	۴۰	۱۵	۱۵	۱۰	۲۶	۴۹	<۹۰۰

۴-۳- روش تحقیق

۴-۳-۱- تعیین خصوصیات تراکمی

برای بررسی خواص تراکمی ماسه‌های بادرفتی، نمونه‌های ماسه با مقادیر مختلف آب، جهت تعیین مقدار رطوبت بهینه و وزن واحد خشک حداکثر، مخلوط و متراکم گردید. هم‌چنین برای تعیین ویژگی‌های تراکمی ماسه بادرفتی تثبیت شده با پسماند نفتی، ماسه‌ها با درصد‌های متفاوت از پسماند نفتی مخلوط و متراکم شد. انجام آزمایش تراکم طبق روش تراکم استاندارد AASHTO-T99 انجام گردید.

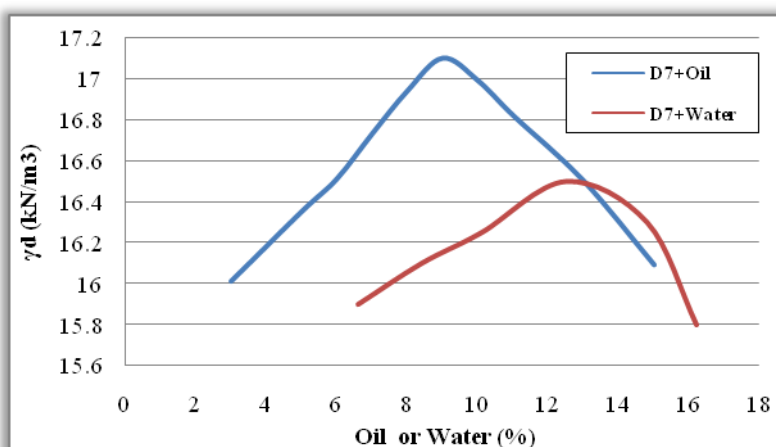
۴-۳-۲- تعیین مقدار بهینه پسماند برای تثبیت و بررسی اثر جنس

جهت تعیین مقدار بهینه پسماند نفتی برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی و تاثیر آن بر روی مقاومت فشاری خاک، نمونه ماسه با درصد‌های مختلف از پسماند نفتی، طبق استاندارد ASTM-D4223 مخلوط گردید. مقدار پسماند نفتی در نظر گرفته شده در این آزمایش‌ها ۵٪، ۷٪، ۹٪ و ۱۱٪ درصد می‌باشد. نمونه‌های تثبیت شده با میزان انرژی مصرفی برابر با تراکم استاندارد متراکم و ساخته شد. این نمونه‌ها در درجه حرارت آزمایشگاهی ساخته شده‌اند (۲۲ °C). با گذشت مدت زمان ۲۴ ساعت از ساخت نمونه‌ها، آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری بر روی نمونه‌ها صورت گرفت. هدف از انجام این آزمایش تعیین اثر مقدار پسماند نفتی در تهیه نمونه‌های تثبیت شده، تعیین مقدار بهینه آن برای فرایند تثبیت و بررسی اثر جنس بر مقاومت نمونه‌ها می‌باشد. آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری مطابق استاندارد ASTM-D2166-87 انجام شد.

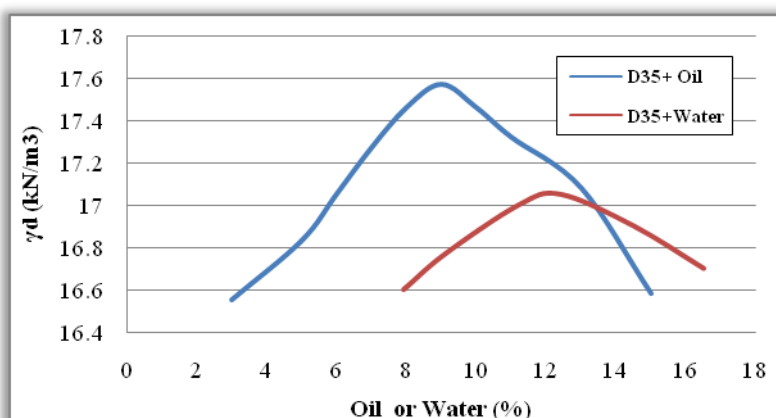
۵- نتایج و بحث

۵-۱- تعیین خصوصیات تراکمی

نتایج حاصل از آزمایش تراکم استاندارد انجام شده بر روی دو نمونه خاک سیلیسی و کربناته مخلوط شده با آب و پسماند نفتی در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است.



شکل ۳: نمودار مقایسه‌ای تراکم سبک با پسماند نفتی و آب برای ماسه سیلیسی، (D7)

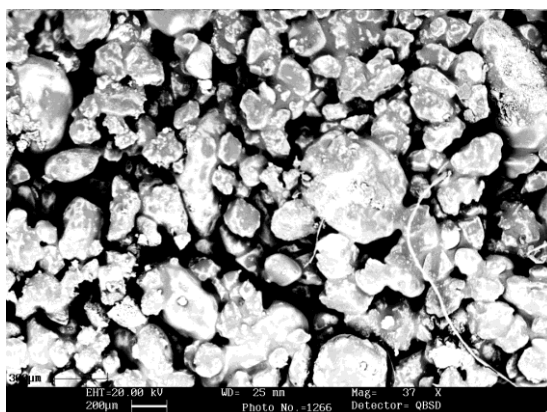


شکل ۴: نمودار مقایسه‌ای تراکم سبک با پسماند نفتی و آب برای ماسه کربناته، (D35)

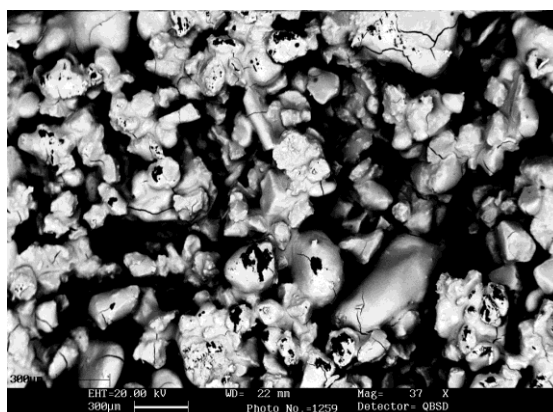
همان‌گونه که در نمودار شکل ۳ مشاهده می‌شود، میزان حداکثر تراکم (ماکزیمم وزن واحد خشک) نمونه ماسه سیلیسی به ازای ۹ درصد پسماند نفتی حاصل می‌شود که برابر ۱۷/۱ کیلو نیوتن بر متر مکعب می‌باشد. هنگامی که پسماند نفتی اضافه شده به نمونه‌ها کم‌تر از میزان پسماند بهینه (۹ درصد) باشد، سطح کمتری از دانه‌های ماسه‌ای را پوشش داده و بنابراین اصطکاک بین دانه‌ها بیش‌تر خواهد بود. این امر سبب می‌شود که دانه‌ها کمتر بتوانند در یکدیگر فرو رفته و در نتیجه وزن واحد کم‌تری به دست خواهد آمد. وزن واحد خشک در میزان پسماند نفتی ۳ درصد برابر ۱۶/۰۱ کیلو نیوتن بر متر مکعب بوده و با افزایش آن به میزان ۵ درصد، با توجه به این‌که سطح دانه‌ها بیش‌تر از پسماند نفتی پوشیده می‌شود، اصطکاک بین دانه‌های خاک کاهش یافته و میزان فشردگی آن‌ها بیش‌تر می‌شود. در نتیجه تخلخل نمونه کاهش و مقدار وزن واحد خشک افزایش یافته و به ۱۶/۳۵ کیلو نیوتن بر متر مکعب خواهد رسید.

به همین ترتیب وزن واحد خشک افزایش پیدا خواهد کرد تا میزان پسماند نفتی برابر ۹ درصد شود. در این هنگام وزن واحد خشک حداکثر برای ماسه سیلیسی برابر ۱۷/۱ کیلو نیوتن بر مترمکعب خواهد رسید. ولی پس از آن با افزایش میزان

پسماند، کاهش در وزن واحد اتفاق می‌افتد. این امر را می‌توان این‌گونه استنباط کرد که در ۹ درصد پسماند نفتی فضاهای خالی بین دانه‌های آغشته به مواد نفتی به بهترین شکل پر شده (شکل ۵) و پس از آن با افزایش میزان پسماند نفتی، به علت این‌که فضاهای خالی با ماده‌ای با چگالی کم‌تر پر می‌شود، انرژی تراکم به جای دانه‌های خاک، به سیال نفتی وارد شده و در نتیجه وزن واحد دچار کاهش خواهد شد (شکل ۶).



شکل ۵: عکس SEM از ماسه سیلیسی مخلوط شده با ۹ درصد پسماند نفتی



شکل ۶: عکس SEM از ماسه سیلیسی مخلوط شده با ۱۱ درصد پسماند نفتی

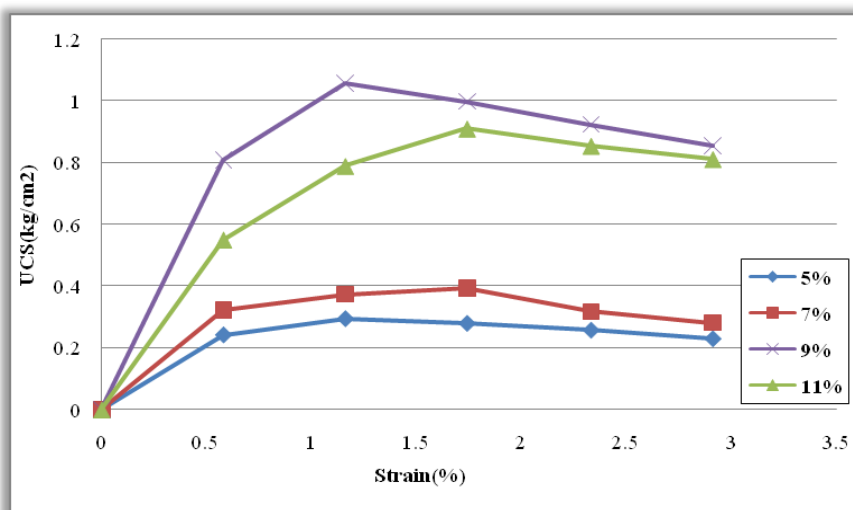
با توجه به شکل ۴، چنین وضعیتی نیز برای مخلوط متراکم شده ماسه کربناته و پسماند نفتی مشاهده می‌شود. به این ترتیب که حداکثر وزن واحد خشک آن ۱۷/۵۷ کیلونیوتن می‌باشد و به ازای ۹ درصد پسماند نفتی حاصل خواهد شد. با مقایسه مقادیر دو شکل ۳ و ۴ به وضوح مشاهده می‌شود که اگرچه مقدار پسماند بهینه برای تراکم هر دو نوع ماسه سیلیسی و کربناته برابر ۹ درصد وزنی است، اما وزن واحد خشک حداکثر آن‌ها متفاوت می‌باشد. به طوری که مقدار وزن واحد حداکثر ماسه کربناته به میزان ۲۷/۵ درصد بیش از ماسه سیلیسی می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توصیف کرد که گردی بیش‌تر دانه‌های کربناته باعث خواهد شد ذرات خاک آغشته به پسماند نفتی بهتر در هم فرو رفته و نسبت به دانه‌های سیلیسی فضای خالی کم‌تری بین آن‌ها وجود داشته باشد. بنابراین اختلاف در وزن واحد هر دو نمونه ماسه را می‌توان به خواص ظاهری دانه‌ها (گردی دانه‌های کربناته و گوشه‌داری دانه‌های سیلیسی که وابسته به جنس می‌باشند) نسبت داد. لازم به ذکر است که علاوه بر حالت بهینه اختلاط، در همه حالات وزن واحد نمونه‌های کربناته بیش از نمونه‌های سیلیسی بوده است.

با دقت به نمودارهای فوق می‌توان مشاهده کرد که به طور کلی وقتی پسماند نفتی به خاک اضافه شده، شیب شاخه خشک و تر نمودار تراکم هر دو نوع خاک، به طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به زمانی که آب به ماسه‌های بادرفتی اضافه شده است بیش‌تر می‌باشد. هم‌چنین نمودارهای تراکم خاک و پسماند نفتی تقریباً حالتی بسته‌تر نسبت به نمودارهای مربوط به

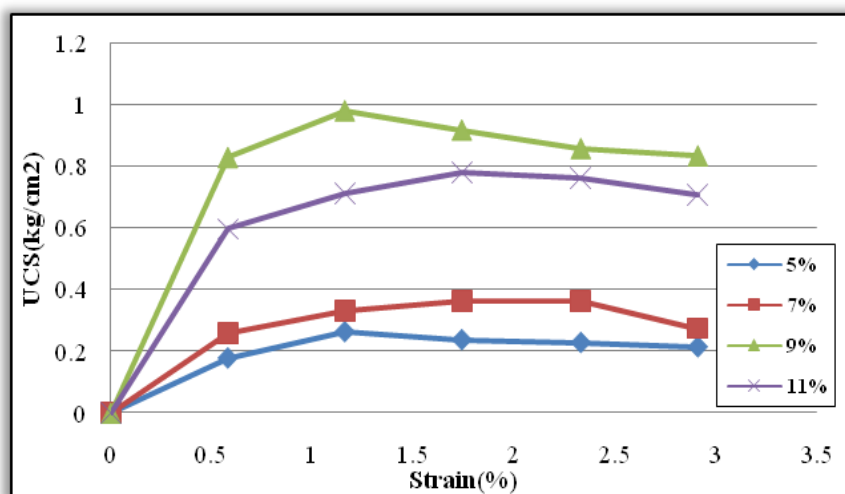
تراکم آب و پسماند نفتی دارند. از طرفی با دقت در نمودارهای موصوف ملاحظه می‌شود که با اضافه کردن پسماند نفتی به خاک‌های ماسه‌ای، شکل نمودار تراکم به سمت چپ و بالای نمودار تراکم مخلوط ماسه و آب منتقل می‌شود. دلیل این شرایط را می‌توان به خاصیت روغن کاری قوی‌تر پسماندهای نفتی نسبت به آب مرتبط دانست که اولاً باعث فشردگی بیش‌تر نمونه‌های ماسه بادی‌رفتی به ازای افزایش درصدهای مشابه آب و پسماند خواهد گردید؛ ثانیاً مقدار کم‌تری از پسماند برای رسیدن به بهترین حالت تراکم لازم خواهد بود؛ به طوری که مقدار پسماند نفتی بهینه برای هر دو نوع خاک برابر ۹ درصد می‌باشد که نسبت به مقدار بهینه آب (۱۲/۵ درصد)، ۳/۵ درصد کاهش نشان می‌دهد.

۵-۲- تعیین مقدار بهینه پسماند برای تثبیت و بررسی اثر جنس

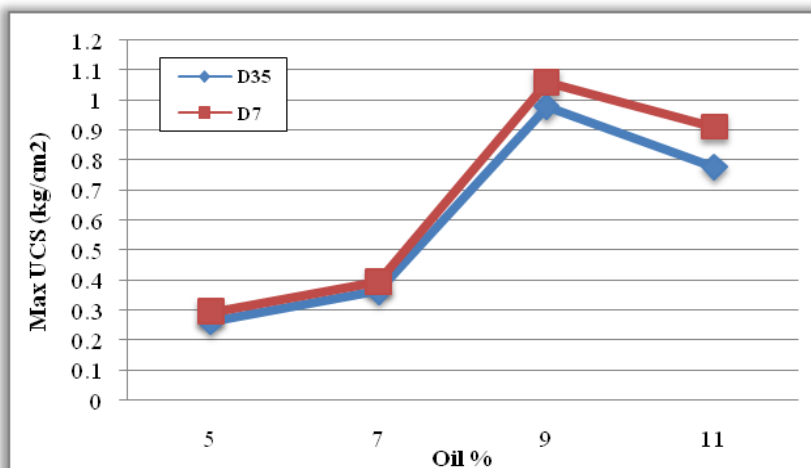
نتایج مربوط به آزمایش‌های مقاومت فشاری تک‌محوری بر روی دو خاک سیلیسی و کربناته در شکل‌های ۷ الی ۹ نشان داده شده است. با توجه به نتایج شکل ۷، ملاحظه می‌شود که حداکثر مقاومت ماسه سیلیسی تثبیت شده برابر ۱/۰۵ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد که به ازای ۹ درصد پسماند نفتی ایجاد خواهد گردید. هم‌چنین مقاومت نمونه‌های تثبیت شده با ۵



شکل ۷: نمودار مقاومت فشاری تک‌محوری ماسه سیلیسی (D7) تثبیت شده با پسماند نفتی



شکل ۸: نمودار مقاومت فشاری تک‌محوری ماسه کربناته (D35) تثبیت شده با پسماند نفتی



شکل ۹: مقایسه مقاومت فشاری تک‌محوری حداکثر ماسه سیلیسی (D7) و کربناته (D35)

و ۷ درصد پسماند نفتی تفاوت زیادی نداشته و به طور کلی مقاومت نسبتاً کمی از خود نشان می‌دهند. اما به ازای افزایش ۹ درصد پسماند نفتی به ماسه سیلیسی، افزایش ناگهانی در مقدار مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌های تثبیتی ایجاد می‌شود. برای مقادیر بیش از ۹ درصد، یعنی برای نمونه‌های تثبیت شده با ۱۱ درصد پسماند نفتی، کاهش قابل توجهی در مقاومت حداکثر نمونه‌ها حاصل شده و مقدار آن به ۰/۹ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع خواهد رسید.

دلیل افزایش مقاومت نمونه‌های تثبیت شده با مقادیر ۵ تا ۹ درصد پسماند نفتی را می‌توان این‌گونه استنباط کرد که با افزایش مقدار پسماند نفتی روغن کاری و پوشش بهتری بر روی دانه‌ها صورت خواهد گرفت و در نتیجه تراکم نمونه افزایش خواهد یافت. بنابراین چون تراکم نمونه افزایش یافته و توزیع بهینه پسماند بین دانه‌های خاک حاصل خواهد شد، در نتیجه چسبندگی بهتری توسط پسماند ایجاد شده و در نهایت باعث خواهد شد که مقاومت نمونه‌های تثبیتی افزایش یابد. اما کاهش ایجاد شده در مقاومت نمونه‌های تثبیت شده با ۱۱ درصد پسماند نفتی را می‌توان به این امر نسبت داد که پسماند اضافه شده بیش از مقدار مورد نیاز برای رسیدن به بهترین حالت تراکمی بوده و باعث ایجاد فاصله بین دانه‌ها خواهد گردید (شکل ۶). این فاصله ایجاد شده که توسط پسماند نفتی پر می‌شود، باعث کاهش اصطکاک بین دانه‌ها خواهد شد. از این‌رو بخشی از تنش ایجاد شده در نمونه تثبیت شده، به پسماند وارد شده و در نهایت باعث کاهش مقاومت و افزایش شکل‌پذیری نمونه‌ها خواهد شد. این نتیجه را به‌گونه‌ای دیگر نیز می‌توان استدلال نمود، به این ترتیب که در مقدار پسماند نفتی ۱۱ درصد، به علت این که ضخامت لایه پسماند اطراف دانه‌ها بیش از مقدار بهینه خواهد بود، بخشی از گسیختگی در لایه پسماند نفتی اطراف دانه‌های ماسه تثبیت شده صورت خواهد گرفت و شکل‌پذیری نمونه افزایش خواهد یافت. اما برای حالات دیگر گسیختگی در سطوح پیوستگی بین دانه‌های خاک و پسماند نفتی صورت خواهد گرفت؛ که بهترین حالت آن برای نمونه‌های تثبیت شده با ۹ درصد پسماند نفتی می‌باشد. این نتایج مطابق تحقیقات صورت گرفته در زمینه قیر و آسفالت می‌باشد، به طوری که اگر ضخامت قیر اطراف مصالح دانه‌ای از مقداری بیش‌تر شود، گسیختگی در لایه نازک قیر صورت خواهد گرفت [۲۳].

از مجموع مطالب ارائه شده و شکل‌های ۳ و ۷ می‌توان این‌گونه استنباط کرد که مقدار بهینه پسماند نفتی برای تثبیت ماسه‌های سیلیسی ۹ درصد می‌باشد. بنابراین با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در منطقه، مبنی بر این که خاک‌های شمال شرقی منطقه ورزنه عموماً دارای مقادیر بالای سنگ‌های آذرین می‌باشند [۱۸] و اندازه نسبی دانه‌های خاک تقریباً یکسان است، می‌توان از مقدار بهینه به دست آمده در این تحقیق برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی شمال شرقی دشت ورزنه استفاده کرد. لازم به ذکر است که رطوبت اولیه ماسه‌های سیلیسی محل کم‌تر از یک درصد بود. بنابراین تفاوت چندانی از نظر میزان

رطوبت، با ماسه مورد استفاده در این تحقیق (بدون رطوبت) نداشته و تاثیری بر روی میزان بهینه پسماند، برای تثبیت ماسه-های منطقه نخواهد داشت.

از مقایسه نتایج این تحقیق با مطالعات قبلی صورت گرفته بر روی خاک‌های تثبیت شده با پسماندهای نفتی، ملاحظه می‌شود که مقدار بهینه به دست آمده در این تحقیق بیش از مقادیری است که در تحقیقات قبلی محاسبه شده است. به طوری که نتایج بررسی‌های انجام گرفته بر روی لوم‌های ماسه‌ای، حاکی از مقدار بهینه ۴ درصد پسماند نفتی [۶] و همین‌طور ۷ درصد برای ماسه‌های مناطق مرکزی ایران می‌باشند [۷]. دلیل افزایش مقدار بهینه پسماند را می‌توان این‌گونه استنباط کرد که ماسه سیلیسی مورد مطالعه ریزدانه‌تر می‌باشد. بنابراین با توجه به ریزتر بودن ذرات خاک، سطح ویژه دانه‌ها افزایش یافته و مقدار پسماند نفتی مورد نیاز برای پوشش بهتر دانه‌های ماسه و رسیدن به حداکثر مقاومت افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج به‌دست آمده از بررسی اثر مقدار ریزدانه بر مقاومت ماسه‌های تثبیت شده با پسماند نفتی مطابقت دارد [۸]. بخشی از این افزایش را نیز می‌توان به یکنواختی بیش‌تر دانه‌بندی خاک‌های مورد استفاده در این تحقیق مرتبط دانست.

بررسی و مشاهده نتایج موجود در شکل ۸ نشان می‌دهد که تاثیر پسماند بر روی مقاومت نمونه‌های ماسه با درفتی کربناته، مانند ماسه سیلیسی است. به این ترتیب که مقادیر ۵ و ۷ درصد پسماند تاثیر چندانی در افزایش مقاومت نمونه‌ها نداشته و با اضافه کردن ۹ درصد پسماند نفتی مقاومت به طور ناگهانی افزایش می‌یابد و به حداکثر مقدار خود برابر ۰/۹۸ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع خواهد رسید. افزایش بیش‌تر مقدار پسماند نیز باعث کاهش مقاومت می‌گردد. بنابراین مقدار بهینه برای تثبیت ماسه کربناته و سیلیسی یکسان بوده و می‌توان گفت که جنس ماسه‌های با درفتی بر روی مقدار بهینه تثبیت تاثیری ندارد. این نتیجه تایید کننده نتایج به دست آمده از آزمون تراکم می‌باشد. به طوری که حداکثر مقاومت و تراکم هر دو ماسه، به ازای ۹ درصد پسماند نفتی حاصل شده است.

اما همان‌گونه که در شکل ۹ ملاحظه می‌شود، مقاومت حداکثری که ماسه‌های کربناته و سیلیسی به ازای درصد‌های مشابه از پسماند نفتی به‌دست خواهند آورد، متفاوت خواهد بود. مشاهده نمودار موصوف نشان می‌دهد که به ازای ۵ و ۷ درصد پسماند تفاوت ایجاد شده در مقاومت تک‌محوری نمونه‌ها مقدار قابل توجهی نخواهد بود. اما با افزایش مقدار پسماند به ۹ درصد، اختلاف ایجاد شده در مقاومت حداکثر بیش‌تر خواهد شد. به طوری که مقاومت ماسه سیلیسی ۸ درصد بیش از ماسه کربناته خواهد گردید. اضافه کردن مقدار ۱۱ درصد پسماند نیز اگرچه باعث کاهش مقاومت حداکثر هر دو ماسه خواهد گردید، اما اختلاف ایجاد شده بین آن‌ها را بیش‌تر خواهد نمود. بنابراین به عنوان یک نتیجه کلی می‌توان گفت که جنس دانه‌های ماسه بر مقاومت نمونه‌های تثبیت شده از آن تاثیر خواهد داشت.

دلیل بیش‌تر شدن اختلاف مقاومت نمونه‌ها با افزایش مقدار پسماند را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که با نزدیک شدن به مقدار بهینه، دانه‌های خاک بهتر در هم فرو رفته و ضمن این که تراکم مناسب‌تری را فراهم می‌نمایند، شرایط برای ایجاد اندرکنش‌های مناسب بین پسماند و خاک مساعد خواهد شد. در این حالت، با توجه به نتایج تحقیق می‌توان گفت که اندرکنش صورت گرفته بین ماسه سیلیسی و پسماند به دلیل گوشه‌داری، جذب سطحی و انرژی سطحی بالاتر باعث ایجاد چسبندگی بهتر و در نهایت افزایش مقاومت ماسه سیلیسی نسبت به ماسه کربناته خواهد شد. نتایج این تحقیق می‌تواند به نوعی تایید کننده نتیجه برخی از تحقیقات در زمینه قیر و آسفالت باشد، مبنی بر این که گوشه‌داری بیش‌تر می‌تواند باعث افزایش انرژی سطحی [۱۵] و بیش‌تر شدن استحکام پیوندهای ایجاد شده بین مواد قیری و سنگ‌دانه‌ها شود [۱۶].

هم‌چنین با توجه به نمودار ۹ مشاهده می‌شود که با افزایش پسماند اختلاف مقاومت نمونه‌های تثبیت شده بیش‌تر خواهد گردید. می‌توان گفت دلیل این امر گوشه‌داری بیش‌تر دانه‌های سیلیسی (کرویت دانه‌های کربناته) می‌باشد؛ به طوری که اگرچه افزایش پسماند به بیش از مقدار بهینه باعث کاهش زاویه اصطکاک [۷] هر دو نمونه ماسه خواهد گردید؛ اما تاثیر آن بر روی زاویه اصطکاک ماسه سیلیسی کم‌تر از ماسه کربناته می‌باشد. از منظر دیگر می‌توان گفت که گوشه‌داری دانه‌های سیلیسی باعث خواهد شد که ضخامت ماکروسکپی لایه پسماند نفتی ایجاد شده در اطراف دانه‌های سیلیسی، تا حدودی کم‌تر از دانه‌های کربناته باشد. این امر باعث می‌شود که گسیختگی صورت گرفته در لایه نازک پسماند نفتی اطراف دانه‌های سیلیسی،

نسبت به دانه‌های کربناته کم‌تر بوده و در نهایت باعث افت کم‌تر مقاومت ماسه سیلیسی نسبت به ماسه کربناته گردد. بنابراین اختلاف مقاومت در میزان پسماند بیش از مقادیر بهینه افزایش می‌یابد. از این رو می‌توان این‌گونه نتایج را جمع‌بندی نمود که جنس ماسه‌های بادرفتی سیلیسی باعث گوشه‌داری بیش‌تر دانه‌ها و در نتیجه افزایش انرژی سطحی آن‌ها خواهد شد؛ که خود دلیل افزایش استحکام پیوندهای ایجاد شده می‌باشد. این عوامل به علاوه جذب سطحی بالاتر در مجموع باعث محکم‌تر شدن پیوندهای ایجاد شده بین دانه‌های سیلیسی و پسماند نفتی به نسبت دانه‌های کربناته و پسماند خواهد شد. بنابراین می‌توان گفت که اگرچه خاصیت اسیدی پسماند و خاصیت بازی دانه‌های کربناته، باعث ایجاد پیوندهای نسبتاً قوی بین آن‌ها خواهد شد، اما گوشه‌داری و جذب سطحی بالاتر دانه‌های سیلیسی باعث افزایش قابل توجه استحکام بین پیوندهای ایجاد شده (چسبندگی) و در نهایت افزایش مقاومت نمونه‌های سیلیسی نسبت به نمونه‌های کربناته خواهد گردید.

۶- نتیجه‌گیری

سطح وسیعی از منطقه خاورمیانه و ایران را سرزمین‌های گرم و خشک پوشانده است، که بخش قابل توجهی از خاک آن‌ها را ماسه‌های ریزدانه بادرفتی تشکیل می‌دهد. این ماسه‌ها به علت دانه‌بندی و نحوه تشکیل، دارای ظرفیت باربری بسیار پایین می‌باشند که این موضوع تثبیت و بهسازی آن‌ها را ضروری می‌نماید. از جمله جدیدترین موادی که اخیراً برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی مورد استفاده قرار گرفته پسماندهای نفتی پالایشگاه‌ها می‌باشد که کارایی آن‌ها از لحاظ ژئوتکنیکی و زیست محیطی به اثبات رسیده است. از آن‌جا که این ماده از ضایعات بدون استفاده صنعت نفت می‌باشد و کاربرد آن به عنوان تثبیت کننده خاک‌های مسئله‌دار کشور باعث صرفه‌جویی اقتصادی خواهد گردید، تعیین مقدار بهینه این ماده برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی مناطق مختلف کشور و همچنین بررسی عوامل موثر بر آن ضروری به نظر می‌رسید.

بنابراین استفاده از پسماندهای نفتی برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی شمال شرقی دشت ورزنه و بررسی اثر جنس ماسه‌های بادرفتی بر روی خواص تراکمی و مقاومتی نمونه‌های تثبیت شده از اهداف این تحقیق بود. برای این منظور یک نمونه ماسه سیلیسی از شمال شرقی (به عنوان نماینده خاک آن بخش از دشت ورزنه) و یک ماسه کربناته (برای بررسی اثر جنس) از جنوب منطقه انتخاب گردید. این خاک‌ها از لحاظ مقدار نمک یکسان بودند و برای ادامه تحقیق دانه‌بندی و رطوبت آن‌ها نیز یکسان گردید. در نهایت خاک‌های آماده شده با پسماند نفتی تثبیت شدند که نتایج آن به شرح زیر می‌باشد:

- پسماندهای نفتی باعث افزایش قابل توجه وزن واحد خشک حداکثر نمونه‌های ماسه گردید.
- اگرچه برای هر دو ماسه سیلیسی و کربناته حداکثر تراکم به ازای ۹ درصد پسماند نفتی حاصل شد، اما وزن واحد خشک حداکثر نمونه‌های کربناته بیش از نمونه‌های سیلیسی بوده است. دلیل این امر جنس ماسه‌های بادرفتی کربناته است که باعث کرویت بیش‌تر دانه‌های آن نسبت به دانه‌های سیلیسی شده و فشردگی بهتری ایجاد خواهند کرد.
- مقدار بهینه پسماند برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی شمال شرقی ورزنه برابر ۹ درصد به دست آمد.
- جنس ماسه بادرفتی بر روی مقدار بهینه پسماند نفتی برای تثبیت نمونه‌ها تأثیری نداشت و مقدار بهینه هر دو خاک یکسان (برابر ۹ درصد) می‌باشد.
- جنس ماسه بادرفتی بر مقاومت نمونه‌های تثبیتی تأثیرگذار می‌باشد. به طوری که نمونه‌های سیلیسی به علت گوشه‌داری بیش‌تر، انرژی سطحی بیش‌تر و همچنین جذب سطحی بالاتر نسبت به ماسه‌های کربناته، چسبندگی بهتری با پسماندهای نفتی ایجاد کرده و باعث خواهد شد که مقاومت نمونه‌های تثبیتی از آن در مقدار بهینه تثبیت، ۸ درصد بیش از ماسه‌های کربناته باشد.

۷- مراجع

- [۱] خسروی، ه. تثبیت ماسه‌های ریزدانه در راهسازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ۱۳۷۳.

- [۲] کلینسلی، د.، ترجمه پاشایی، ع. کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی آن، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ۱۳۷۰.
- [3] Salem N, Verloo M, Deboodt M. Effect of bituminous emulsions on retention and release of some chemical elements in two soil samples. Elsevier Science Publishers, Amsterdam, 35(3): 241-249, 1985.
- [4] Yong RN, Mohammed LF, Mohamed AM. O'Shay TA, Hoddinott KB. Retention and transport of oil residue in a loamy soil in Analysis of Soils Contained with Petroleum Constituent. Philadelphia, 89-101, 1994.
- [5] Yaron B, Gerstl Z, Chen Y, Mingelgrin U. On the Behavior of Petroleum Hydrocarbons in the Unsaturated Zone: A1'iotic Aspects. Toxic Organic Chemical in Porous Media, Springer-Verlage, Berlin, 211-230, 1989.
- [6] Mohammed LF. Assessment of saline soil stabilization via oil residue and its geo-environmental implications. PhD Thesis, Mc'gill University, Canada, 1995.
- [۷] حاجیان‌نیا، ا.، یاری، غ.، کسائیان، ش. بهسازی ماسه‌های بادی با استفاده از پسماندهای نفتی حاصل از پالایش نفت خام، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، اردیبهشت ۱۳۹۲.
- [۸] حاجیان‌نیا، ا.، افلاکی، ا. اصلاح ماسه‌های بادرقتی برای ساخت لاگون‌های تصفیه فاضلاب، مجله آب و فاضلاب، شماره ۳، ۱۳۹۰.
- [۹] حاجیان‌نیا، ا.، یاری، غ.، کسائیان، ش. بررسی اثر زمان بر مقاومت فشاری تک‌محوری ماسه بادرقتی تثبیت شده با پسماند نفتی پالایشگاه‌ها، کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی خمینی شهر، اصفهان، ایران، اسفندماه ۱۳۹۱.
- [۱۰] حاجیان‌نیا، ا. معصومی، ا. مدرس‌نیا، ا. تثبیت ماسه‌های بادرقتی توسط پسماندهای نفتی و الیاف مصنوعی، نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران، اردیبهشت ۱۳۹۱.
- [۱۱] طباطبایی، ا. م. روسازی راه، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ایران، ۱۳۸۰.
- [12] Ganapati NP, Adishesu S. Influence of coarse aggregate shape factors on bitumen mixtures, International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA), 1(4): 2013-2024, 2013.
- [۱۳] ابطیحی، م.، گلی، ا.، دیباجی، ح. قیر، اصلاح و نگهداری، انتشارات موسسه علمی دانش پژوهان برین، اصفهان، ۱۳۸۸.
- [14] Labib ME. Asphalt-aggregate interactions and mechanisms for water stripping. American Chemical Society, Fuel, 37:1472-1481, 1992.
- [15] Bhasin A, Little DN. Characterization of Aggregate Surface Energy Using the Universal Sorption Device. Journal of Materials in Civil Engineering, 19: 634-641, 2007.
- [16] Tarrer A, Wagh V. The effect of the physical and chemical characteristics of the aggregate on bonding. Technical Report SHRP-AUIR-91-507, Strategic Highway Research Program, National Research Council, 1991.
- [17] Curtis CW, Jeon YW, and Clapp DJ. Adsorption of Asphalt Functionalities and Oxidized Asphalts on Aggregate Surfaces. Fuel Science and Technology International, 7(9): 1225-1268, 1989.
- [18] Pakzad HR. Sedimentary facies associations of the lower reaches of the zayandeh rood and the gavkhoni plata lake basin (Esfahan province, Iran), Thesis of PhD, Isfahan University, 2003.
- [19] Krinsley DB. A Geomorphological and Paleoclimatological study of the playas of Iran, 1972.
- [۲۰] اجل لوئیان، ر.، پاکزاد، ح.، ر.، لشکری‌پور، غ. مطالعات زمین‌شناسی ماسه‌های بادی جنوب شرقی اصفهان با استفاده از پردازش داده‌های رقومی ماهواره لندست. مجله علوم انسانی دانشگاه سیستان و بلوچستان، ویژه‌نامه جغرافیا و توسعه، آبان‌ماه، ۱۳۸۰.
- [21] AL-Otaibi Fahad, Sabkha soil stabilization using Kuwait oil residues and its environmental impact, PhD thesis, Cardiff university, 2006.
- [22] Kezdi A. Mitchel JK. Stabilized Earth Roads, Developmentsgeotechnical Engineering, No.19, Elsevier, Amsterdam, 1989.
- [23] Little DN, Jones DR. Chemical and mechanical processes of moisture damage in hot mix asphalt pavements. A National Seminar, Amsterdam, 2006.