



ارزیابی اثر سیکل ذوب و یخ‌بندان بر مقاومت فشاری تک‌محوری ماسه بادرفتی تثبیت شده با پسماند نفتی

البرز حاجیان‌نیا^۱، غیاث‌الدین یاری تل‌زالی^{۲*}، شهرزاد کسائیان^۳

۱- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد، اصفهان، ایران؛

۲- کارشناس ارشد خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج، باشگاه پژوهشگران جوان، یاسوج، ایران؛

۳- دانشجوی دکترای عمران، دانشگاه کوئینزلند، استرالیا؛

Ghias.yari@gmail.com

چکیده

ماسه‌های بادرفتی موجود در کویر از جمله خاک‌های مسئله‌داری می‌باشند که تثبیت آن‌ها همواره مورد توجه محققین بوده‌است. از جمله تثبیت‌کننده‌های نوین این ماسه‌ها می‌توان به پسماندهای نفتی اشاره نمود. با توجه به این‌که اکثر اوقات در زمستان دمای هوای کویر در شب به زیر صفر درجه سانتی‌گراد رسیده و اختلاف دمای شب و روز قابل توجه می‌باشد؛ در این تحقیق ضمن تعیین مقدار بهینه پسماند نفتی برای تثبیت ماسه-های بادرفتی ناحیه جندق اصفهان، اثر سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان بر روی نمونه‌های تثبیت شده مورد ارزیابی قرار گرفت. از این‌رو نمونه ماسه بادرفتی تهیه شده و با درصدهای مختلف از پسماند نفتی تثبیت گردید. سپس نمونه‌های تثبیت شده به دو دسته تقسیم شدند؛ که یک دسته از نمونه‌ها تحت ۷ سیکل ذوب و یخ‌بندان قرار گرفت و دسته دیگر در شرایط آزمایشگاه به مدت ۷ روز نگهداری شد. نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری تک-محوری انجام شده روی نمونه‌ها نشان داد که میزان بهینه پسماند نفتی برای تثبیت ماسه‌های منطقه ۷ درصد بوده و سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان بر روی نمونه‌های تثبیت شده اثر منفی دارد؛ به‌گونه‌ای که در درصد بهینه اختلاط مقاومت نمونه‌هایی که سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان را تجربه کرده بودند، در حدود ۱۷/۵ درصد کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: تثبیت، ماسه بادرفتی، پسماند نفتی، سیکل ذوب و یخ‌بندان، مقاومت فشاری تک‌محوری

۱- مقدمه

بخش قابل توجهی از بیابان‌های ایران را ماسه‌های بادرفتی پوشانده است که مانع از توسعه پروژه‌های عمرانی در این مناطق شده است. بنابراین تحقیقات وسیعی برای تثبیت و بهسازی این خاک‌ها صورت گرفته است. بررسی‌های انجام شده نشان داده است که هیدروکربن‌های سنگین بهترین تثبیت‌کننده‌های این ماسه‌ها می‌باشند (حاجیان‌نیا، ۱۳۹۰)؛ که از میان آن‌ها پسماندهای نفتی از لحاظ اقتصادی کارایی بیشتری از خود نشان داده‌اند. از این‌رو تا کنون تحقیقات معدودی در زمینه تثبیت انواع خاک‌های ماسه‌ای با پسماندهای نفتی صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود.



نتایج بررسی‌های زیست محیطی سالم 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 (Salem et.al, 1985). 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 (Mohammed, 1995). نتایج بررسی‌های دیگر نیز نشانگر عملکرد مناسب زیست محیطی پسماند نفتی در خاک می‌باشد (حاجیان‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲).

مطالعاتی نیز در خصوص ارزیابی ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک‌های ماسه‌ای تثبیت شده با مواد هیدروکربنی صورت گرفته است. نتایج یک بررسی نشان داده است که در تثبیت لوم‌های ماسه‌ای با پسماند نفتی چسبندگی افزایش قابل توجهی یافته، اما زاویه اصطکاک تغییرات چندانی نداشته است (Yong et.al, 1994). تحقیقی دیگر بر روی ماسه‌های جنوب شرق کشور (چابهار) نشان داد که میزان بهینه پسماند نفتی برای تثبیت آن‌ها ۵ تا ۷ درصد بوده و افزایش میزان نمک باعث کاهش مقاومت فشاری نمونه‌های تثبیتی می‌شود (حاجیان‌نیا و افلاکی، ۱۳۹۰). هم‌چنین در شرایط اشباع به دلیل کاهش زاویه اصطکاک و چسبندگی نمونه‌های تثبیت شده با پسماند نفتی، مقاومت آن‌ها به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد (حاجیان‌نیا و همکاران، ۱۳۹۲). در تحقیقی دیگر، نتایج نشان دهنده بهبود نفوذپذیری ماسه تثبیت شده با پسماند نفتی می‌باشد. 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 (حاجیان‌نیا و افلاکی، ۱۳۹۰)، که مشابه نتایجی است که در زمینه تثبیت خاک با قیر به دست آمده است (طباطبایی، ۱۳۸۰). هم‌چنین بررسی‌های انجام شده توسط یاری و همکاران نشان دهنده اثر قابل توجه جنس دانه‌های ماسه بر مقاومت ماسه‌های تثبیت شده با پسماند نفتی می‌باشد (یاری، ۱۳۹۲).

از طرفی در مناطق کویری معمولاً اختلاف دمای شب و روز قابل توجه می‌باشد و به خصوص در فصل‌های سرد سال، دمای هوا از چندین درجه زیر صفر در شب‌ها تا چندین درجه بالای صفر در روز متغیر می‌باشد. یا به عبارتی ماسه‌ها سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان متوالی را در زمستان تجربه می‌کنند، که این امر می‌تواند بر خواص ماسه‌های تثبیت شده تاثیر گذار باشد. از آن‌جا که مرور تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که تا کنون اثر سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان بر روی ماسه بادرفتی تثبیت شده با پسماند نفتی مورد بررسی قرار نگرفته است، در این تحقیق با انتخاب ماسه‌های بادرفتی منطقه جندق، اثر سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان بر روی مقاومت فشاری تک‌محوری آن‌ها مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در ادامه ضمن اشاره به شرایط آب و هوایی منطقه مورد بررسی، مواد و روش‌های مورد استفاده، نتایج و بحث بر روی آن‌ها و سپس نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

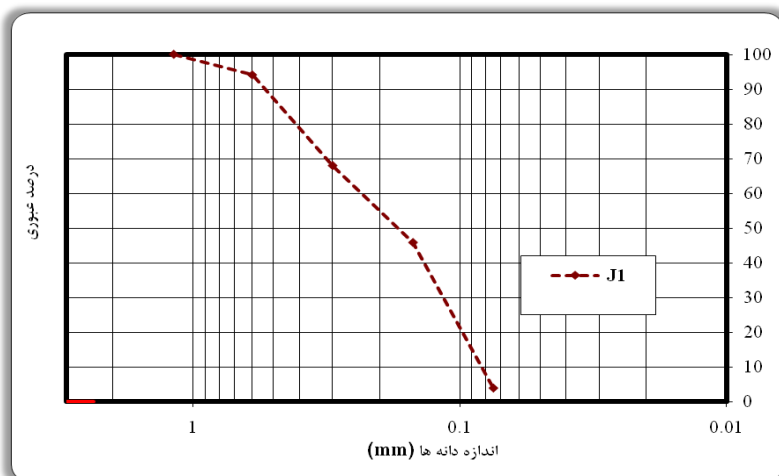
۲- شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه

در منطقه جندق، دمای هوا مابین ۱۲- درجه سانتی‌گراد در زمستان و ۴۷+ درجه سانتی‌گراد در تابستان متغیر است. میانگین دما در سردترین ماه (دیماه) ۲- و در گرم‌ترین ماه (تیرماه) ۴۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در فصول گرم (خرداد تا شهریور) میانگین دما ۲۷ و در فصول سرد (دی تا اسفند) میانگین دما ۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (حاجیان‌نیا، ۱۳۹۰).

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- ماسه بادرفتی

در این تحقیق از ماسه‌های بادرفتی منطقه جندق استفاده شده است. برای نمونه‌گیری منطقه وسیعی به مساحت ۱۰ کیلومتر مربع انتخاب شد. سپس با بررسی‌های میدانی و آزمایشگاهی انجام شده مشخص گردید که ماسه‌های منطقه دانه‌بندی تقریباً یکسانی دارند. از این‌رو نمونه J₁ برای استفاده در تحقیق به عنوان نماینده خاک منطقه انتخاب شد. نمودار دانه‌بندی آن در شکل ۱ و مشخصات کلی آن در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- نمودار دانه بندی ماسه بادرفتی (نمونه J_1)

جدول ۱- مشخصات کلی ماسه بادرفتی (نمونه J_1)

نمونه	طبقه بندی خاک	عمق نمونه-گیری (m)	درصد رطوبت طبیعی (%)	G_s رد شده از الک ۱۰۰	G_s رد شده از الک ۴۰	W_{opt} (%)	γ_d^{max} (kN/m ³)	PI
J_1	SP	۰/۷	۲	۲/۷۴	۲/۶۴	۸/۱	۱۸	NP

۳-۲- پسماند نفتی

به طور کلی تحقیقات قبلی نشان می دهد که پسماند مواد نفتی دارای نقطه جوش بالا، لزجت زیاد، وزن مخصوص نزدیک به ۱ و وزن مولکولی بالا هستند (Yong et al, 1994). قطبیت پسماند نفتی نیز پایین می باشد. که دو قطبی های لحظه ای کم و ثابت های دی اکتریک پایین (کم تر از ۳) اغلب اجزای تشکیل دهنده ی پسماند نفتی، عامل این مسأله می باشد. علاوه بر آن درصد محدودی از اکسیژن، نیتروژن و گوگرد در پسماند نفتی وجود دارد (در حدود ۷٪ از وزن کل پسماند نفتی) (Yong and Rao, 1991). مشخصات پسماند نفتی مورد استفاده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات کلی پسماند نفتی مورد استفاده

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

۳-۳- روش تحقیق

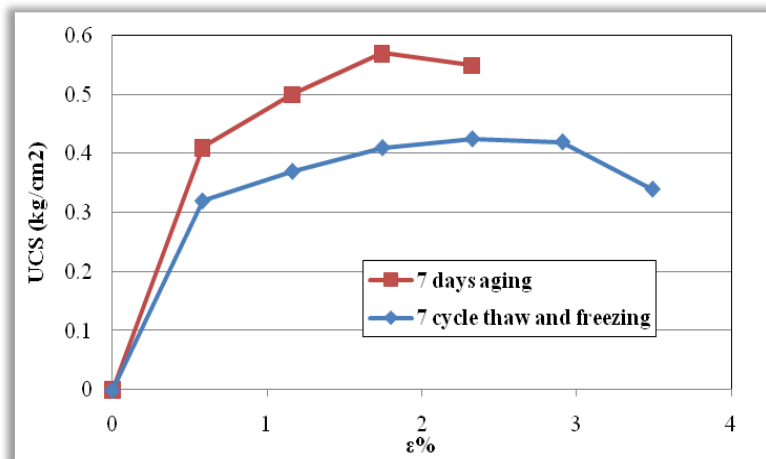
جهت تعیین مقدار بهینه پسماند نفتی برای تثبیت، بررسی اثر سیکل های متوالی ذوب و یخبندان، نمونه ماسه با درصدهای مختلف (۵٪، ۷٪ و ۹٪) از پسماند نفتی، طبق استاندارد ASTM D4223 مخلوط گردید. سپس نمونه های تثبیت شده در درجه حرارت آزمایشگاهی (۲۲ درجه سانتی گراد)، با میزان انرژی مصرفی برابر با تراکم استاندارد (AASHTO-T99)، متراکم و ساخته شد. سپس نمونه های تثبیت شده به دو دسته تقسیم شدند؛ که یک دسته از نمونه ها تحت ۷ سیکل ذوب و یخبندان (بین دماهای ۲۰- الی ۲۰ درجه سانتی گراد) قرار گرفت و دسته دیگر در شرایط آزمایشگاه به مدت ۷ روز نگهداری



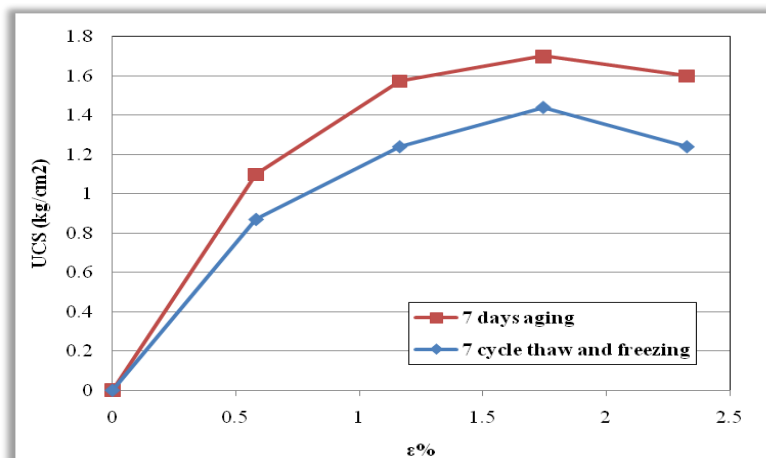
شد. در نهایت بعد از گذشت ۷ روز، آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری مطابق استاندارد ASTM D2166-87 بر روی آن‌ها صورت گرفت. لازم به ذکر است که سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان طبق استاندارد ASTM D560 اعمال شده است.

۴- نتایج و بحث

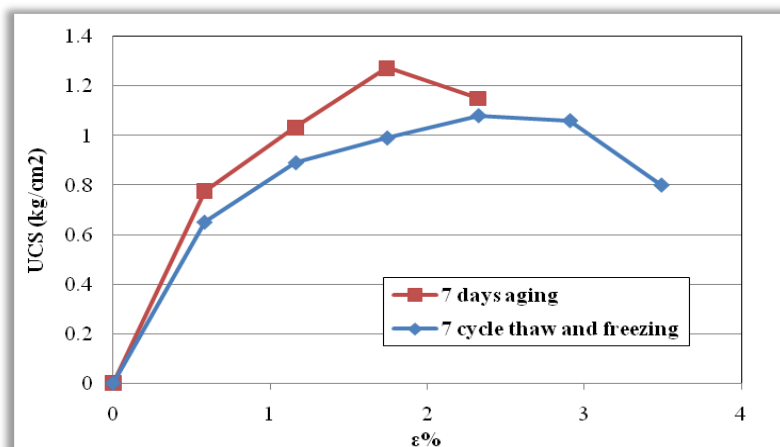
همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، برای تعیین مقدار بهینه پسماند نفتی و تعیین اثر سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان، تعدادی آزمایش مقاومت فشاری تک‌محوری بر روی نمونه‌های تثبیت شده با درصد‌های مختلف صورت گرفت که نتایج آن در شکل-۲ الی ۴ ارائه شده است. همچنین مقایسه مقاومت فشاری حداکثر ماسه تثبیت شده با درصد‌های مختلف پسماند نفتی در دو حالت مورد بررسی در شکل ۵، و درصد افت مقاومت به ازای اعمال ۷ سیکل ذوب و یخ در شکل ۶ ارائه شده است.



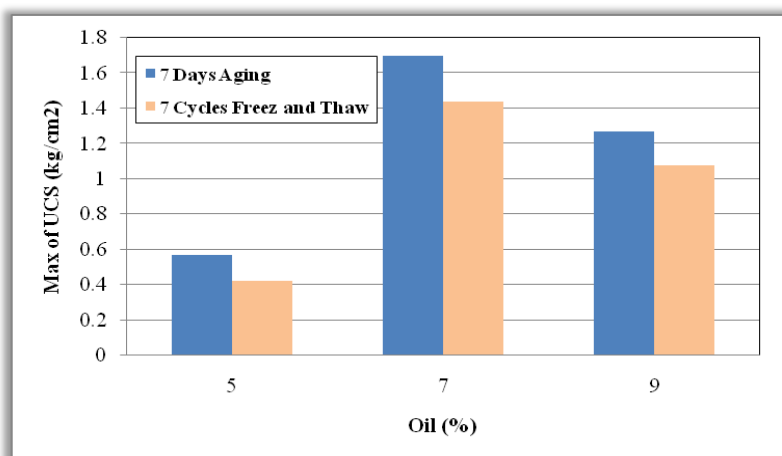
شکل ۲- مقایسه مقاومت فشاری تک‌محوری ماسه بادرفتی تثبیت شده با ۵ درصد پسماند نفتی، برای نمونه‌هایی که تحت ۷ سیکل ذوب و یخ قرار گرفته‌اند و نمونه‌های نگهداری شده در شرایط آزمایشگاه



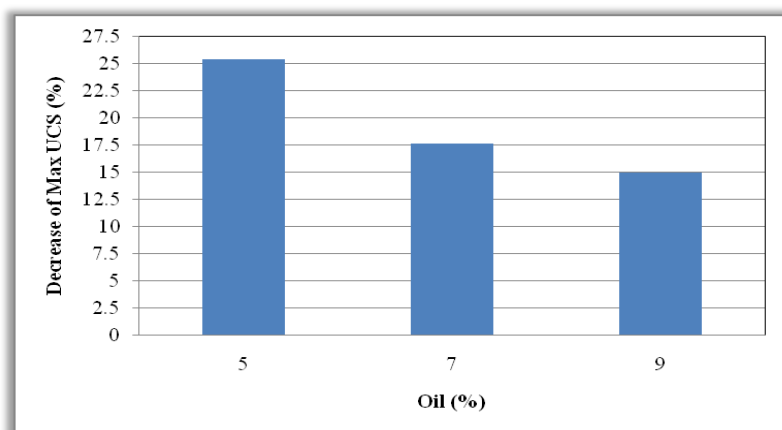
شکل ۳- مقایسه مقاومت فشاری تک‌محوری ماسه بادرفتی تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی، برای نمونه‌هایی که تحت ۷ سیکل ذوب و یخ قرار گرفته‌اند و نمونه‌های نگهداری شده در شرایط آزمایشگاه



شکل ۴- مقایسه مقاومت فشاری تک محوری ماسه بادرقتی تثبیت شده با ۹ درصد پسماند نفتی، برای نمونه‌هایی که تحت ۷ سیکل ذوب و یخ قرار گرفته‌اند و نمونه‌های نگهداری شده در شرایط آزمایشگاه



شکل ۵- مقایسه حداکثر مقاومت فشاری تک محوری ماسه بادرقتی تثبیت شده با درصد‌های مختلف پسماند نفتی، برای نمونه‌هایی که تحت ۷ سیکل ذوب و یخ قرار گرفته‌اند و نمونه‌های نگهداری شده در شرایط آزمایشگاه



شکل ۶- درصد کاهش مقاومت فشاری حداکثر ماسه‌های تثبیت شده با درصد‌های مختلف پسماند نفتی، در اثر اعمال ۷ سیکل ذوب و یخ‌بندان



با توجه به نمودارهای شکل ۲ الی ۵ می‌توان ملاحظه کرد که برای نمونه‌های مورد آزمایش، حداکثر مقاومت فشاری مربوط به نمونه‌های تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی است. به طوری که برای نمونه‌های نگهداری شده در شرایط آزمایشگاه مقاومتی در حدود ۱/۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع از خود نشان داد. این در حالی است که برای نمونه‌های تثبیت شده با ۵ و ۹ درصد پسماند نفتی، به ترتیب مقاومتی به میزان ۰/۵۷ و ۱/۲۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع مشاهده شد. این مقادیر به میزان قابل توجهی کمتر از مقاومت حداکثر به ازای ۷ درصد پسماند نفتی می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که برای نمونه‌هایی که سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان بر روی آن‌ها اعمال شده است، همچنان مقاومت نمونه‌های تثبیت شده با ۷ درصد پسماند نفتی بیش از دیگر نمونه‌های مورد آزمایش است. بنابراین می‌توان گفت که مقدار بهینه پسماند نفتی برای تثبیت ماسه‌های جندق برابر با ۷ درصد وزنی خاک می‌باشد.

همچنین نمودارهای ۲ الی ۵ نشان می‌دهد که سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان بر روی مقاومت نمونه‌های تثبیت شده تاثیر منفی داشته و باعث افت قابل توجه آن‌ها خواهد گردید. به طوری که با توجه به نمودار ۶ می‌توان دید که درصد افت مقاومت برای نمونه‌های تثبیت شده با ۵، ۷ و ۹ درصد پسماند نفتی، به ترتیب برابر با ۲۵، ۱۷/۵ و ۱۵ درصد می‌باشد. همچنین نمودار ۶ بیان می‌کند که با افزایش مقدار پسماند نفتی در نمونه تثبیت شده، افت مقاومت کمتر، و به عبارتی حساسیت نمونه‌های تثبیت شده به سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان کاهش می‌یابد.

به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که ذوب و یخ‌بندان بر روی نمونه‌های تثبیتی تاثیر منفی دارد. علت این امر را می‌توان چنین توجیه کرد که اولاً در دماهای پائین عمل‌آوری نمونه‌ها به کندی صورت می‌گیرد و ثانیاً انبساط و انقباض نمونه‌ها باعث می‌گردد که چسبندگی مناسب بین دانه‌های ماسه و پسمانده نفتی حاصل نگردد و تراکم نمونه‌های تثبیتی نیز در این حالت کمتر از نمونه‌های نگهداری شده در آزمایشگاه باشد؛ در نتیجه مقاومت نمونه‌ها کاهش خواهد یافت.

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق ضمن تثبیت ماسه‌های بادرفتی شمال شرقی اصفهان با استفاده از پسماندهای نفتی، تاثیر سیکل‌های متوالی ذوب و یخ‌بندان نیز بر مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌های تثبیت شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که مقدار بهینه پسماند نفتی برای تثبیت و بهسازی ماسه‌های منطقه برابر ۷ درصد وزنی بوده و سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان باعث افت قابل توجه مقاومت فشاری نمونه‌های تثبیت شده می‌شود؛ به طوری که برای نمونه‌های تثبیت شده با مقدار بهینه پسماند نفتی، افت مقاومت صورت گرفته برابر با ۱۷/۵ درصد می‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان داد که با افزایش مقدار پسماند نفتی در نمونه‌های تثبیت شده، حساسیت آن‌ها به سیکل‌های ذوب و یخ‌بندان کاهش می‌یابد.

۶- مراجع

- ۱- حاجیان‌نیا، البرز، (۱۳۹۰)، « تثبیت و بهسازی ماسه‌های بادرفتی با پسماندهای نفتی پالایشگاه‌ها و اثرات زیست محیطی آن»، پایان نامه دکترای عمران، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.
- ۲- حاجیان‌نیا، البرز، افلاکی، اسماعیل، (۱۳۹۰)، «اصلاح ماسه‌های بادرفتی برای ساخت لاگون‌های تصفیه فاضلاب»، مجله تخصصی آب و فاضلاب، شماره ۳، (۸۹-۸۱).
- ۳- حاجیان‌نیا، البرز، یاری، غیاث‌الدین و کسائی، شهرزاد، (۱۳۹۲)، « بررسی اثرات زیست محیطی پسماندهای نفتی به عنوان تثبیت کننده جدید ماسه‌های بادرفتی ریزدانه»، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار، تبریز، ایران.



- ۴- حاجیان نیا، البرز، یاری، غیث‌الدین. و کسائیان، شهرزاد، (۱۳۹۲)، «رزیابی اثر استفاده از ضایعات نفتی پالایشگاه‌ها برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی مناطق مرکزی ایران و تاثیر شرایط اشباع بر روی مقاومت آن‌ها»، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار، تبریز، ایران.
- ۵- طباطبایی، امیرمحمد. (۱۳۸۰)، «روسازی راه»، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ایران.
- ۶- یاری، غیث‌الدین، حاجیان نیا، البرز. و هددهدی، مریم، (۱۳۹۲)، «ارزیابی اثر جنس خاک بر روی خواص ژئوتکنیکی ماسه‌های بادرفتی تثبیت شده با پسماندهای نفتی»، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار، تبریز، ایران.
- ۷- یاری، غیث‌الدین. (۱۳۹۲)، «بررسی اثر جنس خاک بر پارامترهای مقاومتی ماسه بادرفتی تثبیت شده با پسماندهای نفتی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد، اصفهان، ایران.
- 8- Mohammed L. F., (1995), *Assessment of saline soil stabilization via oil residue and its geo-environmental implications*, PhD Thesis, Mc'gillUniversity, Canada.
- 9- Salem N., Verloo M., Deboodt M., (1985), *Effect of bituminous emulsions on retention and release of some chemical elements in two soil samples*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam, Vol. 35, No. 3, pp. 241-249.
- 10- Yong, R.N., Mohammed, L.F., Mohamed, A.M.O., O'Shay, T.A., Hoddinott, K.B., (1994), *Retention and transport of oil residue in a loamy soil in Analysis of Soils Contained with Petroleum Constituent*, Philadelphia, pp.89-101.
- 11-Yong RN. Rao SM. (1991), *Mechanistic evaluation of mitigation of petroleum hydrocarbon contamination by soil medium*, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 28, No. 1, pp. 84-91.