بهسازی ماسه های بادی با استفاده از پسماندهای نفتی حاصل از پالایش نفت خام

البرز حاجیان‌نیا[۱]، غیاث‌الدین یاری[۲]، شهرزاد کسائیان[۳]

۱- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد

۳- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه صنعتی اصفهان

Ghias.yari@gmail.com

خلاصه

با توجه به پراکندگی نسبتاً زیاد ماسه‌های ریزدانه بادرفتی در ایران و ظرفیت باربری پایین آن‌ها مطالعه بر روی تثبیت و بهسازی این ماسه‌ها به‌گونه-ای که هزینه انجام پروژه‌ها را به حداقل برساند، ضروری به نظر می‌رسد. از طرفی با توجه به گستردگی صنایع وابسته به نفت مانند پالایشگاه‌ها در ایران، می‌توان از پسماندها و تفاله‌های حاصل از فرآیند پالایش نفت خام در پایین برج تقطیر، برای این منظور استفاده‌کرد. در این تحقیق کارایی این مواد در بهبود خواص مقاومتی ماسه‌های بادرفتی موجود در شهرستان خور و بیابانک واقع در استان اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. از این‌رو نمونه‌گیری در ناحیه‌ای به مساحت تقریبی ۱۰ کیلومتر مربع صورت‌گرفت. سپس بعد از تعیین ویژگی‌های ماسه و پسماند نفتی، برای تعیین اثر مواد پسماند روی مقاومت ماسه‌های بادافتی، بر روی نمونه‌های تثبیت شده با درصدهای مختلف از پسماند نفتی، آزمون‌های متعدد مقاومت فشاری تک محوری(UCS) انجام شد. در نهایت نمونه‌هایی که بیشترین مقاومت را داشتند انتخاب گردیده و آزمایش‌های مقاومت فشاری سه محوری(TCT) برای تعیین پارامترهای مقاومتی بر روی آن‌ها صورت گرفت. نتایج نشان داد که با افزودن پسماند نفتی به ماسه‌های بادی محل مقاومت نمونه‌ها افزایش یافته و مقدار بهینه برای تثبیت ۷ درصد می‌باشد. همچنین چسبندگی نمونه تثبیت شده نسبت به ماسه محل ۲۱ برابر افزایش یافته و زاویه اصطکاک مقداری کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: تثبیت، ماسه بادی، پسماند نفتی، مقاومت فشاری تک‌محوری، مقاومت فشاری سه‌محوری

۱. مقدمه

بخش وسیعی از سطح منطقه خاورمیانه و به‌ویژه 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 دارای گستردگی فراوانی در این مناطق باشد[۱]. می‌توان گفت که بیش از ۱۰٪ از سطح کشور را ماسه‌های ریزدانه بادی تشکیل می‌دهد[۲].

ماسه‌های بادی با توجه به خصوصیات دانه‌بندی و نوع تشکیل دارای خصوصیات مقاومتی پائین می‌باشد. از این رو ساخت راه‌ها و پروژه‌های عمرانی بر روی این خاک‌ها با توجه به خواصشان میسر نمی‌باشد. از طرف دیگر هزینه جای‌گزینی این خاک با مصالح مرغوب بسیار زیاد می‌باشد. در نتیجه برای بهبود خواص این خاک‌ها نیاز به بهسازی و تثبیت آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد. از این رو روش‌های مختلفی به‌منظور بهسازی و اصلاح ماسه‌های بادرفتی مورد بررسی قرار گرفته است، که از آن میان می‌توان به تثبیت با قیر و مواد هیدروکربنی اشاره کرد.

---

[۱] استادیاردانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، اصفهان

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد، اصفهان

[۳] کارشناس ارشد سازه، دانشگاه صنعتی اصفهان

تا کنون تحقیقات متعددی در زمینه اصلاح خصوصیات ژئوتکنیکی خاک‌های ماسه‌ای با استفاده از مواد هیدروکربنی و مشتقات نفت خام صورت گرفته‌است.

نتایج تحقیقی در بررسی خاک‌های تثبیت شده با مواد قیری نشان داد که با افزایش مقدار قیر، میزان رطوبت بهینه برای به دست آوردن حداکثر چگالی کاهش می‌یابد. در صورتی که در واقع مقدار کل متناظر مایع اضافه شده (آب و قیر) افزایش می‌یابد[۳]. تحقیقی دیگر در منطقه اوهایو آمریکا، در خصوص تثبیت ماسه با قیر، نشان‌دهنده اهمیت درجه خلوص ماسه می‌باشد. افزایش درجه خلوص می‌تواند استحکام خاک را افزایش دهد و آغشته‌شدن ماسه با املاح و مواد آلی باعث کاهش عمده چسبندگی بین خاک و قیر می‌شود [۴]. 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 طوری‌که با افزایش نمک، نتایج حاصل از اصلاح با قیر افت می‌کند[۵]. علاوه بر این، نتایج تحقیقی دیگر بیان‌گر آن است که در میزان قیر ۳٪، افزایش در وزن واحد خشک ماکزیمم، ظرفیت باربری کالیفرنیا[1] و مقاومت فشاری تک‌محوری[2] ایجاد می‌شود و با افزایش قیر از این مقادیر کاسته می‌شود. همچنین بررسی‌ها نشان داده‌است که استفاده از تثبیت کننده‌های مرکب (قیر- آهک و قیر- سیمان) که هر دو به نسبت ۴ به ۱ آماده شده باشند، باعث افزایش مقاومت ماسه تثبیت شده می گردد[۶].

در تثبیت با قیر، اگر در ماسه مقدار کمی مصالح ریزدانه موجود باشد، مقاومت خاک تثبیت شده بیشتر بوده و نتیجه عمل تثبیت بهتر خواهدبود. ولی افزایش میزان ریزدانه به بیش از ۲۵ درصد در ماسه، منجر به نتیجه خوبی نخواهدشد[۵]. یانگ[3] و محمد[4] 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[۷]. در تحقیقی دیگر، نتایج نشان دهنده بهبود نفوذپذیری ماسه تثبیت شده با پسماندهای نفتی می‌باشد. همچنین مشخص شد که رطوبت تاثیر نامطلوبی روی مقاومت نمونه‌های تثبیت شده با پسماند نفتی دارد[۸].

تحقیقات مختلفی نیز بر روی اثرات زیست محیطی خاک‌های تثبیت شده با مواد نفتی انجام شده‌است.

سالم[5] و همکاران در سال ۱۹۸۵ نشان دادند که افزودن قیر به ماسه پایداری خاک را افزایش می‌دهد و باعث کاهش آزادسازی عناصر شیمیایی مثل مواد معدنی و فلزات سنگین می‌شود[۹]. مطالعات دیگری توسط یارون[6] 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[۱۰]. 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[۱۱]. تحقیقات انجام گرفته توسط الاطیبی[7] در سال ۲۰۰۶ بر روی تثبیت نمونه‌های ماسه حاشیه جنوبی خلیج فارس با پسمانده نفتی، نشان داد که حمل و جابه‌جایی مواد نفتی از بطن نمونه‌های تثبیتی کمتر از حد مجاز استاندارد برای کلیه نمونه‌ها بوده است [۱۲]. نتایج بررسی‌های انجام شده توسط محققین مختلف نیز نشانگر عملکرد مناسب زیست محیطی پسماند نفتی در خاک می‌باشد[۷و۸].

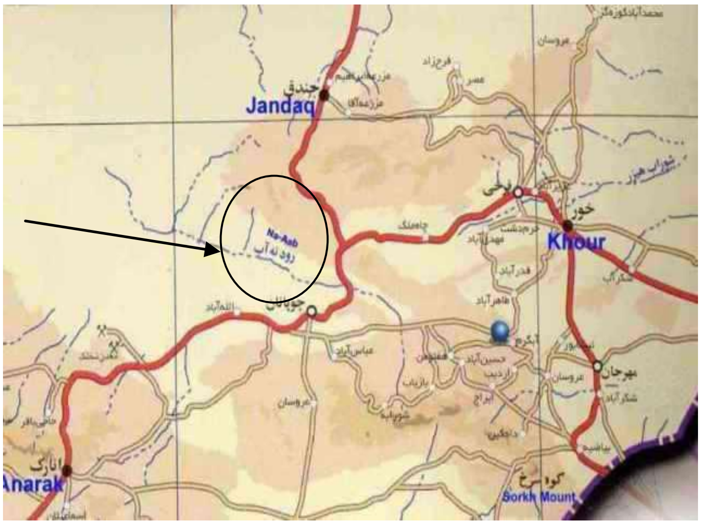
در بررسی‌های مختلف دامنه محدودی از اثرات زیست محیطی انواع مختلف هیدروکربن‌ها گزارش شده‌است که نشان می دهد هیدروکربن‌های سنگین‌تر با توجه به نوع ترکیبات غیر قطبی پتانسیل آلودگی زیست محیطی کمتری دارند.

با مرور مطالعات صورت گرفته، مشاهده می‌شود که موادهیدروکربنی سنگین در تثبیت و بهسازی ماسه‌ها کارایی مناسبی را نشان داده‌اند. از طرفی با توجه به اینکه ایران یکی از سرزمین‌های نفت‌خیز جهان به‌شمار می‌رود که دارای میدان‌های عظیم نفتی است، تعدد و گستردگی صنایع وابسته به نفت مانند پالایشگاه‌ها و در نتیجه فراورده‌های حاصل از آن‌ها در کشور قابل توجه می‌باشد. از این‌رو در این تحقیق که بر اساس بررسی‌های آزمایشگاهی استوار می‌باشد، سعی شده‌است تثبیت و بهسازی ماسه‌های ریزدانه بادرفتی موجود در شهرستان خور و بیابانک، با استفاده از تفاله‌ها و پسماندهای نفتی پالایشگاه‌ها که در فرآیند تقطیر نفت خام، در انتهای برج تقطیر باقی می‌مانند مورد ارزیابی قرار گیرد. در ادامه، ضمن اشاره‌ای به موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد بررسی، مواد و روش‌های مورد استفاده در تحقیق تشریح می گردد. سپس با ارائه نتایج بحث بر روی آن‌ها و نتیجه‌گیری صورت می گیرد.

---
[1] California Bearing Ratio(CBR)
[2] Uniaxial Compression Strenght(UCS)
[3] Yong
[4] Mohammed
[5] Salem
[6] Yaron
[7] AL-Otaibi

۲. موقعیت جغرافیائی منطقه مورد مطالعه

محل مورد بررسی در شهرستان خور و بیابانک، مابین چوپانان و جندق، در مرکز ایران و در شمال شرق اصفهان واقع شده است که موقعیت تقریبی آن در شکل ۱ مشخص گردیده‌است. اطراف این محل را کوه‌ائی با ارتفاع کم پوشانده است، که منشأ اصلی کوه‌ها عمدتاً رسوبی هستند. ارتفاع محل مورد مطالعه در بلندترین نقطه آن که در قسمت جنوبی واقع شده است، از سطح آب برابر ۲۴۳۰ متر در پائین‌ترین محل برابر ۱۴۷۴ متر می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیائی محل مورد بررسی واقع در شهرستان خور و بیابانک

۳. مواد و روش‌ها

۳.۱. نمونه ماسه

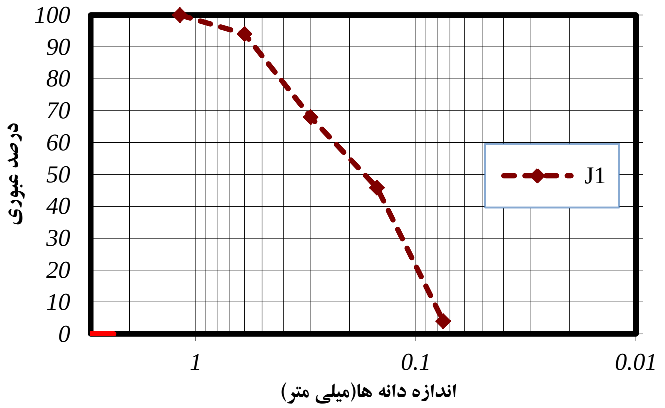
برای نمونه‌گیری منطقه وسیعی به مساحت تقریبی ۱۰ کیلومتر مربع در نظر گرفته‌شد. با بررسی و تشخیص صحرایی و نمونه‌گیری اولیه که در منطقه صورت‌گرفت، سعی شد که نمونه‌های ماسه به گونه‌ای انتخاب شود که معرف خاک ناحیه مورد بررسی باشد. سپس نمونه‌ها در شش محل مختلف انتخاب شده برای نمونه‌گیری، از عمق‌های ۰/۲ الی ۱/۵ متری از سطح زمین تهیه گردید. برای تعیین مشخصات عمومی ماسه‌های بادرفتی منطقه، بررسی‌های فیزیکی و مکانیکی متعددی بر روی نمونه‌ها انجام شد.

نتایج آزمایش‌های طبقه‌بندی خاک‌های منطقه جندق نشان می‌دهد که ماسه‌های این محل عمدتاً یکنواخت بوده و ماسه‌های مربوط به هر ۶ محل (محل‌های نمونه‌گیری) نشان می‌دهد که این خاک‌ها عمدتا از نوع SP می‌باشند. نتایج آزمایش هیدرومتری نیز نشان می‌دهد که ریزدانه‌های این خاک‌ها عمدتاً از نوع سیلت، میزان آن‌ها ناچیز و از ۱٪ الی ۵٪ می‌باشد. همچنین ذرات در حد شن به ندرت در ماسه‌های این منطقه یافت می‌شود. از خصوصیات بارز دیگر این ماسه‌ها آن است که این ماسه‌ها در رده‌ی خاک‌های بدون پلاستیسته (NP) می‌باشد. از طرفی این ماسه‌ها دارای چسبندگی بسیار ناچیز می‌باشند و ظرفیت باربری پایین آن‌ها از طریق اصطکاک بین دانه‌ها تامین می‌شود. به طور کلی نتایج آزمایشات صورت گرفته بر روی نمونه‌ها نشان داد که ماسه‌های بادرفتی منطقه خصوصیات مشابهی دارند. از این‌رو نمونه J_1 به عنوان نماینده خاک منطقه جهت بررسی اثر پسماند نفتی در تثبیت ماسه بادرفتی انتخاب شد.

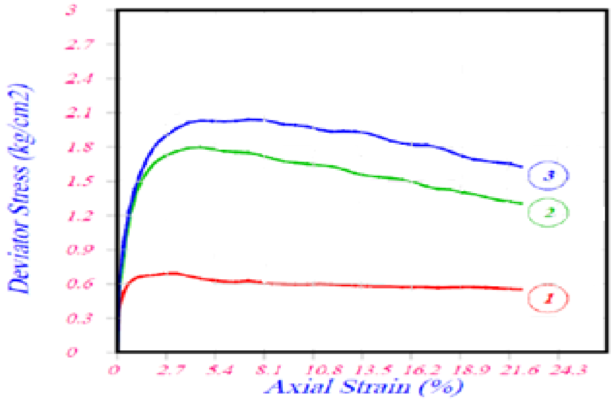
نموداردانه‌بندی ماسه بادرفتی در شکل ۲ و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی آن در جدول ۱ نشان داده شده‌است. نتایج مربوط به آزمایش‌های سه محوری انجام شده برای تعیین پارامتر های مقاومتی (چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی) ماسه محل نیز در نمودار شکل‌های ۳ و ۴ ارائه گردیده

است. تعیین خواص خاک طبق استانداردهای ASTM به شرح زیر انجام شده است:

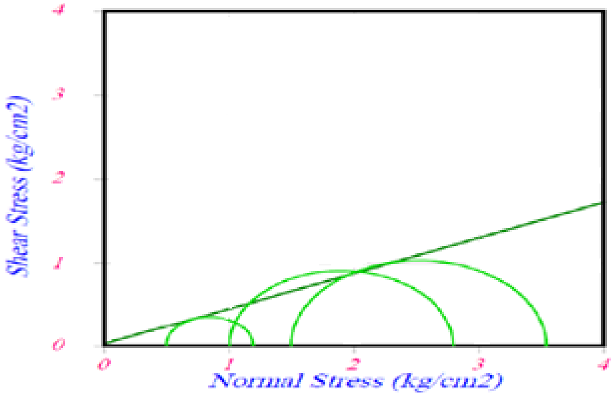
آزمایش تعیین چگالی ویژه ماسه بر اساس استاندارد ASTM D854؛ آزمایش تعیین حد روانی و حد خمیری و شاخص‌خمیری براساس استاندارد ASTM D4318؛ آنالیز اندازه ذرات خاک بر اساس استاندارد ASTM D422؛ اندازه‌گیری درصد رطوبت خاک‌ها مطابق استاندارد ASTM D2216؛ اندازه‌گیری پارامترهای نفوذپذیری خاک‌های دانه‌ای براساس استاندارد ASTM D2434؛ اندازه‌گیری پارامترهای مقاومتی خاک با انجام آزمایش سه‌محوری[1] مطابق استاندارد ASTM D2850؛



شکل ۲- نمودار دانه‌بندی ماسه محل(نمونه نمونه J_1)



شکل۳- نتایج آزمایش فشاری سه محوره برای نمونه‌های ماسه محل(نمونه نمونه J_1)



شکل۴- نتایج آزمایش فشاری سه محوره برای نمونه‌های ماسه محل(نمونه نمونه J_1)

---

[1] Triaxial Compression Test

جدول ۱- مشخصات عمومی خاک محل(نمونه J_1)

زاویه اصطکاک (degree)	چسبندگی(C) (Kg/cm^2)	PI	$\gamma_{d\,max}$ (kN/m3)	ω_{opt} (٪)	G_s در شده از الک ۴۰	GS در شده از الک ۱۰۰	درصد رطوبت طبیعی(٪)	عمق نمونه-گیری(m)	طبقه بندی خاک	نمونه
۲۴/۳	۰/۰۳	NP	۱۸	۸/۱	۲/۶۴	۲/۷۴	۲	۰/۷	SP	J_1

۲.۲. 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 و هیدروکربن‌های آروماتیک (معطر) می‌باشد و حاوی مقدار جزیی 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 جانشین آلکیل باشند. رزین‌ها نیز از حلقه‌های جوش خورده آروماتیک با آلکیل و سایر جانشین‌های قطبی، تشکیل شده‌اند. آسفالتین‌ها از مقادیر زیادی آروماتیک های چند حلقه‌ای متراکم شده تشکیل شده‌اند که ممکن است حاوی ترکیبات آلی- فلزی باشند [۱۲]. 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.[۷].

در این تحقیق از پسماند نفتی پالایشگاه اصفهان جهت تثبیت ماسه‌های منطقه مورد بررسی استفاده شده‌است. برای تعیین خصوصیات پسماند نفتی، آزمایش‌های مختلف فیزیکی و شیمیایی بر روی آن انجام گردید که نتایج آن در جدول ۲ ارائه گردیده‌است.

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی پسماند نفتی

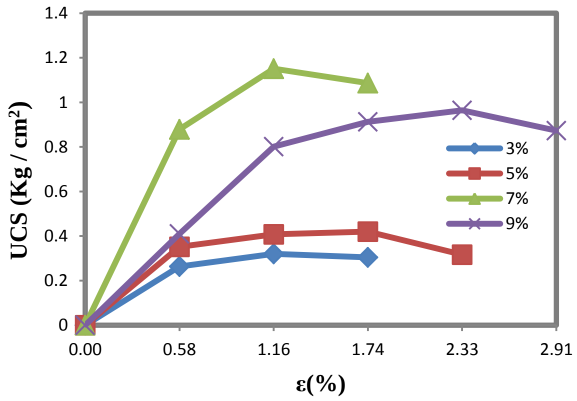
وزن‌مولکولی (g/mole)	هیدروکربن آروماتیک(٪)	هیدروکربن-های اشباع(٪)	آسفالتین (٪)	رزین (٪)	نیکل (ppm)	وانادیوم (ppm)	نقطه جوش (˚c)	گران‌روی در ۱۰۰ ˚c (cs)	وزن واحد
>۹۰۰	۴۹	۲۶	۱۰	۱۵	۱۵	۴۰	>۳۷۰	۵۵	۰/۹۶

۳.۲. روش تحقیق

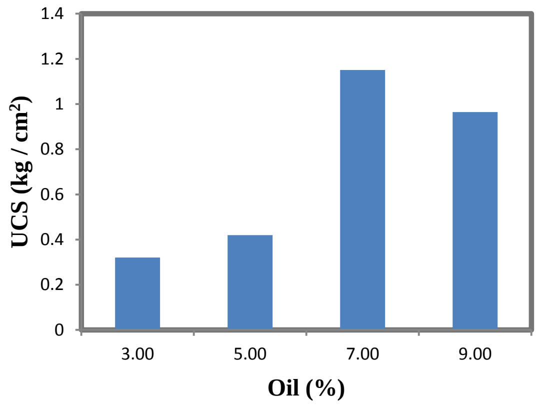
جهت ارزیابی تاثیر پسماند نفتی بر روی مقاومت فشاری و پارامترهای مقاومت برشی ماسه بادرفتی تثبیت شده، نمونه ماسه با درصدهای مختلف از پسماند نفتی، طبق استاندارد ASTM D4223 مخلوط گردید. مقدار پسماند نفتی در نظر گرفته شده در این آزمایش‌ها ٪۳، ٪۵، ٪۷ و ٪۹ می‌باشد. نمونه‌های تثبیت شده با میزان انرژی مصرفی برابر با تراکم استاندارد (مطابق AASHTO-T99) متراکم و ساخته‌شد. این نمونه‌ها در درجه حرارت آزمایشگاهی ساخته شده‌اند (22^oC). با گذشت مدت‌زمان 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 تثبیت‌شده و در نتیجه تعیین مقدار بهینه آن برای فرآیند تثبیت می‌باشد. در نهایت نمونه‌هایی که بالاترین مقاومت را داشتند انتخاب شده و آزمایش مقاومت فشاری سه‌محوره برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی(چسبندگی و زاویه اصطکاک)، بر روی آن‌ها صورت گرفت. در این تحقیق جهت انجام آزمایش مقاومت فشاری تک محوری و سه محوری به ترتیب از استانداردهای ASTM D2166-87 و ASTM D2850 استفاده شد.

۴. نتایج و بحث

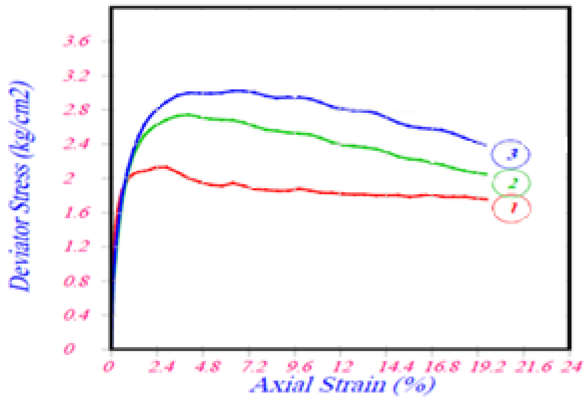
در شکل‌های ۵ و ۶ نمودارهای مربوط به مقاومت فشاری تک‌محوری ماسه بادرفتی تثبیت شده با درصدهای مختلف پسماند نفتی ترسیم شده است. نتایج آزمایش مقاومت فشاری سه محوره بر روی نمونه‌های با ٪۷ پسماند نفتی(نمونه‌های با حداکثر مقاومت) نیز در شکل‌های ۷ و ۸ و مقادیر چسبندگی و زاویه اصطکاک نیز در جدول ۳ ارائه شده‌است. پارامترهای مقاومتی ماسه محل برای مقایسه بهتر دوباره در این جدول ذکر شده‌است.



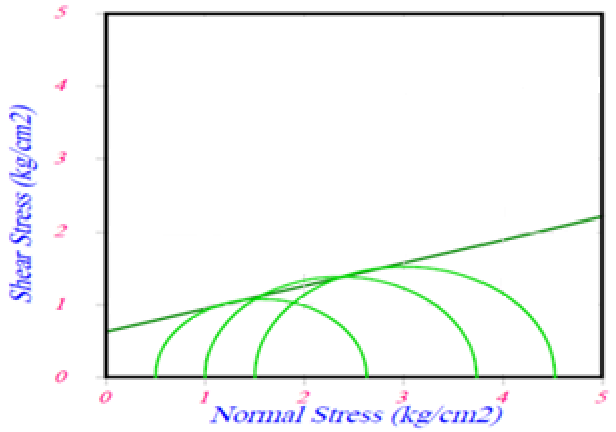
شکل۵- نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوری برای نمونه‌های تثبیت شده از ماسه بادی محل



شکل ۶- مقایسه تاثیر میزان پسماند نفتی بر روی مقاومت نمونه‌های تثبیت شده از ماسه بادی محل



شکل ۷- نتایج آزمایش فشاری سه محوره برای نمونه‌های تثبیت شده با ٪۷ پسماند نفتی



شکل ۸- نتایج آزمایش فشاری سه محوره برای نمونه‌های تثبیت شده با ٪۷ پسماند نفتی

جدول ۳- مقایسه پارامترهای مقاومت برشی ماسه بادرفتی محل با ماسه بادرفتی تثبیت‌شده

	ماسه بادی محل	ماسه بادی + ٪۷ پسماند نفتی
چسبندگی(C) (Kg/cm^2)	۰/۰۳	۰/۶۳
زاویه اصطکاک (degree)	۲۴/۳	۱۸/۳

با مقایسه مقادیر نمودارهای شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود که مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌های تثبیت شده با ٪۳ و ٪۵ پسماند نفتی تفاوت چندانی ندارد. اما به ازاء ٪۷ پسماند نفتی، مقاومت فشاری نهایی به دست آمده به طور ناگهانی افزایش یافته و به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد. این مقدار برابر با ۱/۱۶ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد که در مقایسه با نمونه‌های تثبیت شده با ٪۳ و ٪۵ پسماند نفتی در حدود سه برابر افزایش یافته‌است.

در این شکل‌ها همچنین مشاهده می‌شود که مقادیر بیش از ٪۷ پسماند نفتی، بر روی نمونه‌های تثبیت شده تاثیر منفی گذاشته و باعث کاهش مقاومت فشاری آن‌ها می‌گردد. مقاومت نمونه‌های تثبیتی با ٪۹ پسماند نفتی به میزان ۱۶ درصد کمتر از نمونه تثبیت شده با ٪۷ پسماند نفتی می‌باشد و به مقدار ۰/۹۷ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع خواهدرسید. علت کاهش در میزان مقاومت را می‌توان به کاهش اصطکاک دانه‌ها نسبت داد. زیرا افزایش مقدار پسماند نفتی بیش از مقدار ٪۷ باعث می‌شود که فضای خالی بین دانه‌ها بیش از مقدار مورد نیاز از پسماند نفتی پر شده و فاصله بین دانه‌ها افزایش یابد. از این‌رو سطح تماس موثر و اصطکاک بین دانه‌ها و در نتیجه مقاومت فشاری کل نمونه کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به شکل ۵ می‌توان استنباط نمود که با مقدار ٪۹ پسماند نفتی نمونه‌ها کرنش بیشتری را تا رسیدن به مقاومت نهایی تحمل می‌کنند که می‌توان آن را به خاصیت سیال‌گونه پسماند نفتی نسبت داد. از مجموعه نمودارها می توان استنباط نمود که مقدار بهینه پسماند نفتی برای تثبیت ماسه‌بادرفتی محل ٪۷ می‌باشد که باعث افزایش قابل توجه مقاومت فشاری نمونه‌ها می‌گردد. به این علت که در این میزان پسمانده، بهترین هم‌پوشانی مابین ماسه و پسمانده نفتی رخ می‌دهد.

منحنی‌های تنش-کرنش شکل (۷) نشان می‌دهد که این نمونه‌ها به‌هیچ عنوان حالت شکنندگی ندارند و به‌خصوص در σ_3های پائین رفتار خاک حالت تغییرشکل پذیر را نشان می‌دهد. هم‌چنین نمودارها بیانگر آن است که نمونه‌ها حالت خمیری داشته و پس از شکست، با افزایش کرنش، مقاومتی در حدود ٪۸۰ الی ٪۹۰ مقاومت ماکزیمم را از خود نشان می‌دهند.

با مقایسه پارامترهای مقاومت برشی نمونه تثبیت شده با نمونه ماسه محل (جدول ۳ و شکل‌های ۴ و ۸)، مشاهده می‌شود که چسبندگی خاک تقریبا ۲۱ برابر نسبت به حالت طبیعی افزایش می‌یابد. اگرچه زاویه اصطکاک مقداری کاهش یافته‌است ولی ظرفیت باربری نمونه‌های تثبیت شده در اثر افزایش چسبندگی به میزان قابل توجهی نسبت به ماسه محل افزایش می یابد. در سال ۱۹۹۴ یانگ و محمد در تحقیقی بر روی تثبیت لوم‌های ماسه‌ای با استفاده از پسماند نفتی به نتایجی مشابه رسیدند[۷].

می‌توان این‌گونه توجیه‌کرد که، ماهیت چسبناک هیدروکربن‌های (ترکیبات رزین‌دار) موجود در مواد نفتی علت افزایش قابل توجه در چسبندگی نمونه‌های تثبیت‌شده می‌باشد. همچنین علت کاهش زاویه اصطکاک این است که با افزودن پسماند نفتی درگیری بین ذرات کاهش می‌یابد.

۵. نتیجه‌گیری

خواص مقاومتی ماسه‌های بادرفتی به گونه‌ای است که امکان اجرای پروژه‌های عمرانی از قبیل راه و ساختمان بر روی آن‌ها میسر نمی‌باشد. از این‌رو در این تحقیق تثبیت و بهسازی این نوع خاک‌ها با استفاده از مواد پسماند نفتی پالایشگاه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج به دست آمده به شرح زیر می‌باشد:

- مقدار بهینه پسماند نفتی برای تثبیت ماسه‌های بادرفتی منطقه مورد بررسی ۷٪ می‌باشد.
- افزودن این میزان پسماند نفتی به ماسه بادرفتی باعث می‌شود که چسبندگی نمونه تثبیت شده نسبت به حالت طبیعی در حدود ۲۱ برابر افزایش یابد. زاویه اصطکاک خاک نیز مقداری کاهش می‌یابد اما ظرفیت باربری کلی نمونه به میزان قابل توجهی بیشتر می‌شود.
- با افزودن پسماند نفتی نمونه‌ها اغلب رفتار شکل پذیر از خود نشان می‌دهند. میزان شکل‌پذیری برای مقادیر بیش از ۷٪ افزایش می‌یابد.
- این تحقیق صلاحیت ژئوتکنیکی پسماند نفتی برای تثبیت و بهسازی ماسه‌های بادرفتی را تایید می‌کند. بنابراین با توجه به این که عملکرد مناسب زیست محیطی این مواد در تحقیقات دیگر تایید شده‌است، تثبیت ماسه‌های بادرفتی با استفاده از این مواد پیشنهاد می‌گردد.

۶. مراجع

۱. نیازی، ی. (۱۳۸۰)، "تثبیت *خاکهای منتخب ازحاشیه کویر با آهک و سیمان"*، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲. خسروی، ه. (۱۳۷۳)، "*تثبیت ماسه‌های ریزدانه در راهسازی*"، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

3. Kezdi, A., Ensley, Mitchel, j. k., (1989), “*Stabilized Earth Roads*”, Developments Geotechnical Engineering, No.19, Elsevier, Amesterdam.

4. Jeon, Y. W., Clapp, D. J., C. W., “Adsorption of asphalt functionalities and oxidized asphalts on aggregate surfaces”, Fuel science and technology international, VOL. 7, No. 9, pp 1225-1268.

۵. طباطبایی، ا، م. (۱۳۸۰)، "*روسازی راه*"، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ایران.

6. Mitchell, j. k., (1993),” *Fundamentals of soil behavior”*, 2nd ed., John and sons Inc., Newyork.

7. 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 PetroleumConstituent” ,Philadelphia, pp,89101

۸ حاجیان‌نیا، ا، افلاکی، ا، (۱۳۹۰)، "اصلاح ماسه‌های بادرفتی برای ساخت لاگون‌های تصفیه فاضلاب"، مجله تخصصی آب و فاضلاب، شماره ۳، (۸۹-۸۱).

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. Yaron, B., Gerstl, Z., Chen, Y. and Mingelgrin, U.,(1989), “On the Behavior of Petroleum Hydrocarbons in the Unsaturated Zone: A1'liotic Aspects”, Toxic Organic Chemical in Porous Media, Springer-Verlage, Berlin, pp. 211-230.

11. Mohammed L. F., (1995), “*Assessment of saline soil stabilization via oil residue and its geo-environmental implications*”, PhD Thesis, Mc’gill University,Canada.

12. AL-Otaibi Fahad, Prof H. R. Thomas and Dr. P. J. Cleall., (2006), “*Sabkha soil stabilization using Kuwait oil residues and its environmental impact*”, PhD thesis, Cardiff university.