اصلاح ماسه‌های بادرفتی به‌کمک پسماند مواد نفتی برای ساخت لاگون‌های تصفیه فاضلاب

البرز حاجیان‌نیا[1] اسماعیل افلاکی[2]

(دریافت ۸۹/۷/۲۷ پذیرش ۹۰/۱/۱۶)

چکیده

در این مقاله بر اساس مطالعات آزمایشگاهی، تحقیق بر روی اصلاح و بهسازی ماسه‌های بادی به‌منظور ایجاد بستر مناسب و استفاده از آن در کف‌سازی و جداره‌سازی لاگون‌های فاضلاب انجام شد. موادی که برای اصلاح این خاکها در نظر گرفته شدند پسماندها و تفاله‌های مواد نفتی باقیمانده در برج تقطیر پالایشگاه‌ها بود. برای تأیید صلاحیت کاربرد پسماندهای نفتی در ماسه منطقه، نمونه‌های مختلفی از ترکیب این مواد نفتی با ماسه محل ساخته شد و آزمایش‌های ژئوتکنیکی و محیطزیستی انجام گرفت. نتایج بررسی‌ها نشان داد که نمونه‌های ساخته شده با ۵ درصد مواد نفتی، بالاترین مقاومت فشاری را داشتند. همچنین در این نمونه‌ها در مقایسه با نمونه‌های طبیعی، چسبندگی و ظرفیت باربری افزایش قابل ملاحظه و همچنین نفوذپذیری کاهش چشم‌گیری داشت. در این تحقیق اثرات میزان پسماند مواد نفتی، درصد مواد ریزدانه، رطوبت اولیه و همچنین ماندگاری این مواد در ماسه های مذکور ارزیابی شد. همچنین اثر فاضلاب بر روی مقاومت نمونه‌های ساخته شده و همچنین اثرات محیطزیستی آن بررسی گردید.

واژه‌های کلیدی: ماسه‌های بادرفتی، پسماند نفتی، بهسازی خواص ژئوتکنیکی، اثرات محیط‌زیستی، لاگون

Improvement of Dune Sands by Residual Oil in Order to Use in Construction of Lagoons

Alborz Hajian nia [1] *Esmaeel Aflaki* [2]

(Received Oct. 19, 2010 Accepted Apr. 18, 2011)

Abstract

This research which is based on experimental work, devoted to study the improvement and stabilization of dune sands in order to create strong layer and stabilize slope and floor construction of sewage Lagoons. Materials used stabilizing these soils are residual oil from the refinery. To confirm the effectiveness of the use of residual oil to improve the mechanical properties of the sand, various samples with different percentages were tested. In besides, the geotechnical and environmental tests were done. Results demonstrate that samples made with 5% oil have highest shear and unconfined compaction strength. It revealed that in compare with natural samples, cohesion and loading capacity highly increased and permeability decrease well. Percentage of fine aggregate, minerals and durability of oil in soil material were also investigated. Finally, effects of sewage on the samples were analyzed, and performance the oils were evaluated in order to use in lagoons.

Keywords: Dune Sand, Residual Oil, Improvement of Geotechnical Properties, Geo-Environment Impact, Lagoon.

۱- دانشجوی دکترای خاک و پی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران
(نویسنده مسئول)۶۳۰۰۰۰۳ (۰۳۱۱) Alborz@aut.ac.ir
۲- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

1. Ph.D. Student of Soil and Fondation, Dept. of Civil Eng., Amir Kabir Unviersity of Tech., Tehran (Corresponding Author) (+98 311) 6300003 Alborz@aut.ac.ir
2. Assist. Prof., Dept. of Civil Eng., Amir Kabir University of Tech., Tehran

۱- مقدمه

در ساخت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، ایجاد بستر مناسب و همچنین کف‌سازی و جداره‌سازی با مصالح مناسب، یکی از نیازهای اساسی به‌شمار می‌رود. به‌منظور ساخت پروژه‌های مذکور، اصلاح خاک عمدتاً با هدف دستیابی به اهداف ذیل انجام می‌گردد [۱و۲] :

۱- اصلاح خاکهای نرم و کم مقاومت بستر و در نتیجه بالا بردن ظرفیت باربری خاک

۲- جلوگیری از نفوذ آبهای زیرزمینی و صدمه زدن به این سازه‌ها

۳- کاهش نفوذپذیری به‌منظور آب‌بند کردن کف و جداره لاگون.

در تمامی موارد بالا انتخاب صحیح نوع ماده اصلاح‌کننده بسیار مهم است. در بسیاری از موارد انتخاب نادرست روش اصلاح، نتایج نامناسب مقاومتی و محیط‌زیستی را در برداشته و سبب افزایش هزینه‌ها و همچنین صدمات جبران ناپذیر می‌شود [۳].

برای دستیابی به اهداف مذکور، در این تحقیق با توجه به نفت‌خیز بودن کشور و وجود صنایع وابسته به نفت مانند پالایشگاهها در نقاط مختلف، با استفاده از پسماندهای موجود در پالایشگاهها اقدام به اصلاح ماسه‌های ریزدانه بادی گردید.

تثبیت و بهسازی ماسه‌ها به وسیله مواد نفتی و همچنین اثرات محیط‌زیستی آن توسط محققان مختلف بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که ماسه‌ها به خوبی با قیر قابل تثبیت شدن هستند. علاوه بر pH ماسه، میزان نمک محلول در ماسه نیز در انجام واکنش مکانیکی مربوط به قیر و خاک مؤثر است [۴]. در تحقیق دیگری اصلاح با قیر برای ماسه‌های با درجه خلوص بالا بهترین کاربرد را نشان داده است. افزایش مقدار درجه خلوص می‌تواند استحکام این نوع ماسه‌ها را افزایش دهد [۵]. مطالعات دیگری نشان داده است که هیدروکربن‌های سبک نسبت به مشتقات سنگین‌تر، بیشترین قابلیت جذب به سطح ماسه را دارند. همچنین با کاهش مقدار اجزای فعال در ماسه، میزان جذب هیدروکربن افزایش و در نتیجه چسبندگی افزایش چشمگیری می‌یابد [۶]. بررسی‌ها بر روی ترکیب و خواص پسماند مواد نفتی نشان می‌دهد که نمونه پسماند نفت از ترکیبات هیدروکربن‌های سنگین که دارای وزن مولکولی و نیمه عمر بالا هستند، تشکیل شده است[۷]. یانگ[1] و محمد، تحقیقی بر روی تثبیت و بهسازی لوم‌های ماسه‌ای به‌وسیله پسماند مواد نفتی انجام داده‌اند. نتایج این تحقیقات نشان می‌دهد که چسبندگی به‌صورت قابل توجهی بالا رفته است. نتایج همین تحقیق نشانگر عملکرد محیط‌زیستی مناسب این مواد نفتی در خاک بوده است [۸ و ۹].

با توجه به مرور مطالعات انجام گرفته، در این تحقیق بررسی‌های آزمایشگاهی بر روی ماسه‌های چابهار و همچنین پسماندهای نفتی پالایشگاه اصفهان انجام گرفت. سپس نمونه‌هایی از اختلاط این مواد نفتی و ماسه‌ها ساخته شد و در نهایت آزمایش‌های فیزیکی، مکانیکی و محیط‌زیستی بر روی این نمونه‌ها انجام شد. در این مطالعه تأثیر میزان پسماند نفتی، رطوبت، درصد ریزدانه و همچنین فاضلاب بر روی مقاومت نمونه‌ها بررسی شد. در نهایت ارزیابی محیط‌زیستی به‌منظور کاربرد این مواد نفتی در ماسه‌های منطقه انجام گرفت.

۲- مواد و روشها

۲-۱- نمونه ماسه

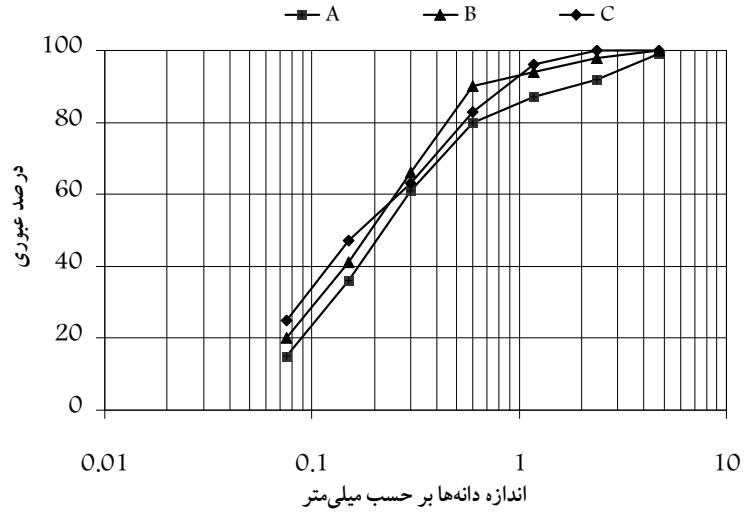
ماسه‌های منطقه عمدتاً نمکدار و قلیایی هستند. منشأ پیدایش ماسه‌های این منطقه بیشتر از سنگ بستر دولومیت وآهکی است. سفره آب زیرزمینی عموماً در اعماق کم بوده و مشخصه آن شوری زیاد به‌دلیل وجود نمک تبخیری حل شده از سنگ بستر محلی یا آب دریا است. مقدار مواد ریزدانه و مقدار نمک با توجه به شرایط آب و هوایی متغیر است. ماسه مورد آزمایش در سطح وسیعی (۲ km × ۲ km) از منطقه و از عمق ۰/۵ متری نمونه‌برداری گردید. از ۱۲ نقطه در این محل نمونه‌های دست‌خورده‌ی ماسه تهیه گردید. با توجه به میزان ریزدانه، نمونه‌ها به سه گروه A ، B و C دسته‌بندی شدند.

مشخصات فیزیکی و مکانیکی ماسه در جدول ۱ و همچنین منحنی دانه‌بندی ماسه در شکل ۱ نشان داده شده است.

[1] Yong

جدول ۱- مشخصات عمومی خاک

نمونه	عمق نمونه‌گیری (m)	ماسه (٪)	ریزدانه (٪)	حد روانی	شاخص خمیری	درصد رطوبت	وزن مخصوص خشک (KN/m^3)	چسبندگی (C) (KN/m^2)	زاویه اصطکاک (درجه)	نمک محلول (٪)	pH
A	۰/۵	۸۵	۱۵	۳۲	۶/۵	۸	۱۵/۸	۶	۲۸	۳/۱	۷/۸
B	۰/۵	۸۰	۲۰	۳۷	۱۰	۱۲	۱۶/۵	۱۷	۲۵/۶	۴/۹	۸
C	۱/۵	۷۵	۲۵	۴۱	۱۱	۲۸	۱۷/۷	۲۹	۲۴/۵	۷/۳	۷/۸



شکل ۱- نمودار دانه‌بندی ماسه محل تصفیه‌خانه چابهار

همچنین آزمایش‌های انجام شده بر روی خاک محل نشان می‌دهد که این ماسه عمدتاً از رسوب‌گذاری سنگ‌های آهکی و دولومیتی منطقه است و بیشتر از کلسیت، دولومیت، سیلیس، فلدسپار و کربنات‌ها و مقدار کمی کانی‌های رسی تشکیل شده است.

۲-۲- نمونه پسماند نفتی

پسماند مواد نفتی، مواد باقیمانده در انتهای برج تقطیر پالایشگاه بوده که اغلب شامل ترکیبات سنگین مواد اشباع، هیدروکربن‌های آروماتیک (معطر)، مقدار جزئی آسفالتین و رزین‌ها هستند. تحقیقات پیشین نشان می‌دهد که نمونه پسماند نفت، دارای نقطه جوش بالا، لزجت (گران روی) زیاد، وزن مخصوص نزدیک به ۱ و وزن مولکولی بالا هستند[۹]. در این تحقیق از نمونه پسماند مواد نفتی (لجن‌های باقیمانده در انتهای برج تقطیر) موجود در پالایشگاه اصفهان استفاده شد. نتایج آزمایش‌های فیزیکی، شیمیایی و فیزیکوشیمیایی بر روی نمونه پسماند نفتی پالایشگاه در جدولهای ۲ و ۳ آمده است.

۲-۳- نمونه محلول

در این تحقیق از دو نوع محلول برای شستشوی نمونه‌ها استفاده گردید:

۱- آب مقطر (شبیه‌سازی آب باران)

۲- فاضلاب شهری (بررسی تأثیرات محیط‌زیستی فاضلاب بر روی نمونه تثبیت شده در شرایط هوازی و بی‌هوازی)

مشخصات کیفی آب مقطر و فاضلاب شهری به ترتیب در جدولهای ۴ و ۵ ارائه شده است.

۲-۴- روش تحقیق

در ابتدا برای انجام آزمایش‌ها، نمونه‌هایی از اختلاط ماسه محل با درصدهای مختلفی از پسماند نفتی (۳، ۰/۵ و ۷درصد) ساخته شد. این نمونه‌ها بر طبق روش ASTM D4223 مخلوط گردیدند. نمونه‌ها، همان‌گونه که مخلوط‌های ماسه تثبیت شده با قیر درست می‌شوند، تهیه گردیدند. در این مطالعه بیش از ۱۰۰ نمونه ساخته شد که این نمونه‌ها در قالبهایی برای آزمایش مقاومت تک محوری، برش مستقیم، نفوذپذیری و پس از آن آزمایش‌های محیط‌زیستی آماده گردیدند. در ابتدا آزمایش‌های مقاومتی بر روی نمونه‌ها انجام گردید و بهترین نمونه از نظر مقاومت برای انجام آزمایش‌های دیگر و همچنین بررسی اثرات آب و نمک بر روی نمونه تثبیتی مد نظر قرار گرفت. سپس آزمایش‌های محیط‌زیستی بر روی این نمونه‌ها (نمونه با بالاترین مقاومت فشاری تک‌محوری) انجام شد.

جدول ۲- خصوصیات و ترکیبات پسماند ماده نفتی پالایشگاه

چگالی ویژه	ویسکوزیته (CS) در ۱۰۰°C	نقطه جوش (سلسیوس)	کربن (٪)	هیدروژن (٪)	سولفور (٪)	اکسیژن (٪)	نیتروژن (٪)
۰/۹۶	۲۰	۳۹۰	۸۲	۱۰	۴	۳	۱

جدول ۳- خصوصیات فیزیکوشیمیایی پسماند نفتی

مشخصات			مقدار	دامنه تغییرات
شیمیایی	فلزات (ppm)	وانادیم	۴۰	۲۰ - ۱۱۰
		نیکل	۱۵	۶ - ۲۸
		آهن	۱۰	۶ - ۲۰
	انواع هیدروکربنی (w٪)	اشباع	۲۶	۱۵ - ۳۵
		آروماتیک	۴۹	۴۵ - ۵۳
		رزین	۱۵	۱۳ - ۱۸
		آسفالتین	۱۰	۳ - ۱۲
فیزیکو شیمیایی		غلظت هیدروکربنی	۹۳	
		حلالیت در آب	۱۰	حلالیت کم
		ضریب جداشوندگی	۶/۳	
		نسبت آب-اکتانول (log)	۳/۴	جداشوندگی بالا
		نسبت تبخیر (w٪)	۵	
		فشار بخار (Hg mm)	۳۱۰-۳	

جدول۴- مشخصات کیفی آب مقطر

پارامتر	pH	EC(µs/cm)	TDS(mg/L)	Si(ppb)
مقدار	۵/۵-۶/۰	۰/۳-۱	در حدود ۰	۱۰

جدول۵- مشخصات کیفی فاضلاب شهری

پارامتر	BOD_5 (mg/L)	COD (mg/L)	TSS (mg/L)	N (mg/L)	Tp (mg/L)
مقدار	۲۷۰	۵۴۰	۳۱۰	۴۰	۷

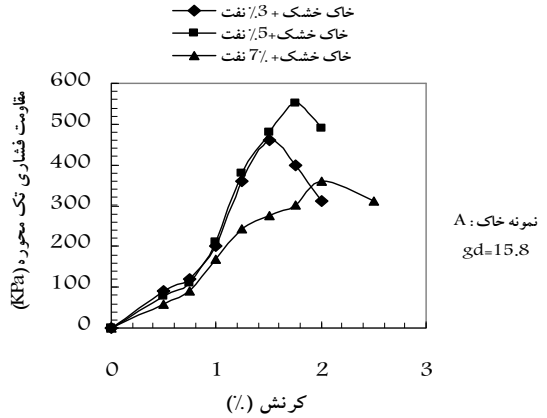
برای انجام این آزمایش‌ها سلول‌هایی ساخته شد و آزمایش‌ها با قرار دادن نمونه در این سلول‌ها و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس انجام گردید. سلول‌ها از جنس پلاستیک شفاف با قطر ۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳ متر بودند. نمونه‌ها به حد مناسب متراکم و پس از آن شستشو با آب مقطر و فاضلاب شهری در شرایط هوازی و بی‌هوازی صورت گرفت. با شستشوی مداوم نمونه‌ها به مدت ۴۰ روز با آب مقطر و فاضلاب، رفتار دراز مدت محیط‌زیستی پسماندهای نفتی درون این نوع ماسه‌ها با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده توسط محققان برروی بررسی اثرات محیط‌زیستی این نوع مواد نفتی پیش‌بینی گردید [۱۰]. آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق عبارت‌اند از تعیین میزان نگهداشت پسماند نفتی در خاک، تعیین میزان فلزات سنگین در نمونه محلول خروجی و اندازه‌گیری میزان مواد نفتی شسته شده در محلول خروجی.

۳- نتایج و بحث

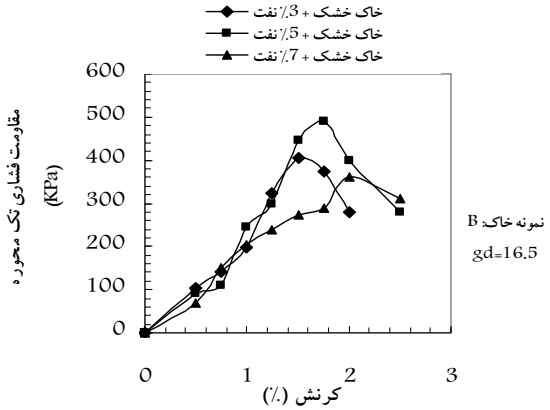
۳-۱- نتایج آزمایش‌های ژئوتکنیکی بر روی نمونه‌های ساخته شده

شکلهای ۲ و ۳ نشان می‌دهند که نمونه‌های ساخته شده با ۵ درصد پسماند مواد نفتی، بیشترین مقاومت فشاری را نشان می‌دهند. با

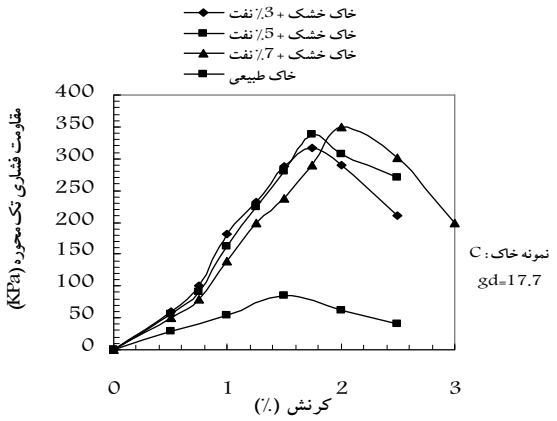
افزایش پسماند مواد نفتی، مقاومت فشاری به میزان حداقل ۲۰درصد کاهش می‌یابد. علت این کاهش در مقاومت را می‌توان به کاهش اصطکاک بین دانه‌های این ماسه‌ها نسبت داد، زیرا افزایش پسماند نفتی باعث می‌شود که سطح تماس بین دانه‌ها کاهش یافته و در نتیجه کاهش در کل مقاومت حاصل شود. از طرفی با مقایسه شکلهای ۲ و ۳ با شکل ۴ این‌طور استنباط می‌شود که با افزایش مقدار مواد ریزدانه داخل خاک، مصرف پسماند نفتی برای رسیدن به حداکثر مقاومت بیشتر خواهد شد. نتایج موجود در شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش مقدار ریز دانه (سیلت) در این ماسه‌ها به میزان ۲۵درصد، مقدار پسماند نفتی مصرفی برای رسیدن به حداکثر مقاومت فشاری، به ۷ درصد رسیده است. علت این افزایش در مصرف مواد پسماند نفتی را می‌توان به افزایش سطح مخصوص نسبت داد زیرا با افزایش سطح مخصوص در نمونه‌های ماسه مقدار مواد نفتی بیشتری برای احاطه سطح دانه‌ها نیاز است. همچنین با مقایسه شکلهای ۲، ۳ و ۴ می‌توان نتیجه گرفت که با



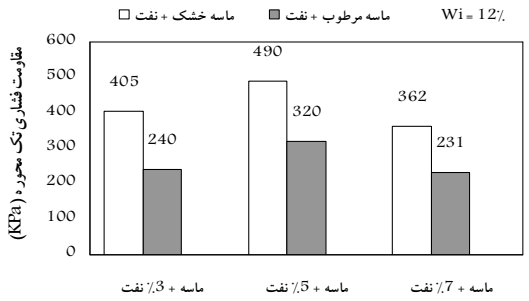
شکل ۲- نتایج آزمایش فشاری تک محوری برای نمونه‌های ساخته شده از مخلوط ماسه A با پسمانده ماده نفتی



شکل ۳- نتایج آزمایش فشاری تک محوره برای نمونه‌های ساخته شده از مخلوط ماسه B با پسماند ماده نفتی



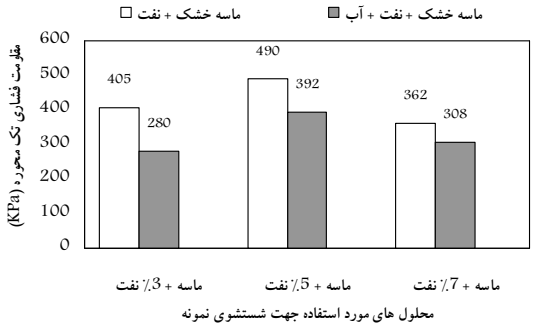
شکل ۴- نتایج آزمایش فشاری تک محوره برای نمونه‌های ساخته شده از مخلوط ماسه C با پسماند ماده نفتی



شکل ۵- تأثیر رطوبت اولیه ماسه‌ها(نمونه B) بر روی مقاومت فشاری نمونه‌های اصلاح شده

افزایش میزان ریزدانه داخل ماسه به میزان ۱۰درصد، مقاومت فشاری ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. اثرتغییر در درصد رطوبت در ماسه‌ها بر روی مقاومت تک محوری نمونه‌ها در شکل ۵ مشخص شده است.

نتایج شکل ۵ نشان می‌دهد که رطوبت اولیه در ساخت نمونه، تأثیر بسزایی در مقاومت فشاری نمونه دارد. با توجه به این شکل، وجود ۱۲ درصد رطوبت اولیه در ماسه، مقاومت فشاری نمونه را به‌میزان ۳۰ تا ۴۵ درصد کاهش می‌دهد. علت این کاهش در مقاومت را می‌توان این‌طور توجیه کرد که وجود آب در سطح ماسه باعث می‌شود که چسبندگی مناسب بین مواد نفتی و خاک حاصل نشود. در این حالت آب مانع چسبیدن مولکول‌های هیدروکربنی به سطح خاک می‌شود. آب در زنجیره‌های چسبنده بین ذرات وارد شده و بنابراین کاهش در مقاومت نمونه حاصل می‌گردد. در شکل ۶ تأثیر شستشو توسط آب بر روی مقاومت تک محوری نمونه‌های اولیه ساخته شده از ماسه B نشان داده شده است.



شکل ۶- تأثیرشستشوی ۴۰ روزه بر روی مقاومت فشاری نمونه‌های اصلاح شده

شکل ۶ نشان می‌دهد که با شستشوی مداوم این نمونه‌ها به‌مدت ۴۰ روز و با گرادیان هیدرولیکی بالا، مقاومت فشاری نمونه‌ها در حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد کاهش داشته است. از مقایسه شکلهای ۵ و ۶ این‌طور استنباط می‌شود که وجود رطوبت در ماسه قبل از اختلاط تأثیر بیشتری در کاهش مقاومت فشاری دارد و اثر شستشو پس از تثبیت نمونه‌ها بسیار کمرنگ‌تر است. نتایج آزمایش‌ها همچنین نشان داد که در اثر شستشو با گرادیان پایین به مدت ۴۰ روز، کاهش در مقاومت فشاری بسیار ناچیز و قابل اغماض است. درجدول ۶ نتایج آزمایش برش مستقیم برای نمونه‌های اصلاح شده با پسماند نفتی نشان داده شده است.

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که چسبندگی به مقدار قابل ملاحظه‌ای نسبت به حالت طبیعی افزایش یافته است ولی زاویه اصطکاک تغییر قابل ملاحظه‌ای نداشته است و حتی در بعضی مواقع کاهش را نشان می‌دهد. علت افزایش در چسبندگی را می‌توان این‌طور توجیه کرد که هیدروکربن‌های مواد نفتی ماهیتاً خاصیت چسبندگی دارند (ترکیبات رزین‌دار) و علت کاهش جزئی در زاویه اصطکاک به علت کاهش درگیری بین ذرات و به‌عبارتی کاهش تماس بین ذرات است.

از مقایسه بین نتایج به‌دست آمده از آزمایش برش مستقیم و تک محوری این‌طور مشخص است که آزمایش برش مستقیم نتایج اصلاح را پایین‌تر نشان می‌دهد که این موضوع به تغییر در تکنیک آزمایش و سطح برش غیر واقعی دراین آزمایش ارتباط دارد.

برای تعیین پارامتر نفوذپذیری ماسه طبیعی و نمونه اصلاح شده از آزمایش نفوذپذیری بار افتان در آزمایشگاه استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۷ خلاصه گردیده است.

همان‌گونه که در جدول نیز مشخص است، پسماندهای نفتی باعث گردیدند که نفوذپذیری ماسه تا حد بسیار زیادی کاهش یابد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که میزان ۵ درصد پسماند نفتی در ماسه تثبیت شده، نفوذپذیری را به‌صورت قابل توجهی نسبت به ماسه محل کاهش می‌دهد. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش میزان سیلت و رس به حدود ۲۵ درصد در خاک ماسه‌ای، اصلاح این ماسه‌ها با پسماند نفتی تأثیر قابل توجهی در نفوذ ناپذیر شدن این ماسه‌ها دارد.

۳-۲- بررسی اثرات محیط‌زیستی بر روی نمونه‌های ساخته شده

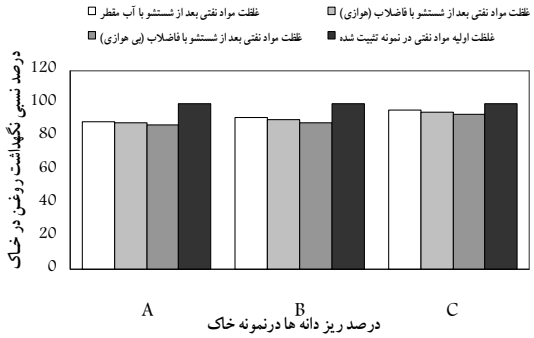
پس از شستشوی نمونه‌ها با آب مقطر و فاضلاب شهری، مقدار پسماندهای نفتی و سایر آلوده‌کننده‌ها در آب خروجی از نمونه‌ها محاسبه گردید و با توجه به مقدار آنها، درجه آلایندگی این مواد در دراز مدت تخمین زده شد. همچنین تأثیرات محیط‌زیستی این مواد به لحاظ تجزیه بیولوژیک، فرارّیت و همچنین انحلال در نمونه‌های ساخته شده و آب خروجی از نمونه‌ها بررسی گردید.

جدول ۶- نتایج آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه‌های تثبیت شده

	ماسه A+ ۵% پسماند نفتی	ماسه B + ۵% پسماند نفتی	ماسه C + ۷% پسماند نفتی
چسبندگی $(KN/m^2)(c)$	۵۴	۶۱	۶۴
زاویه اصطکاک $(\emptyset)$	۲۴	۲۶	۲۶

جدول ۷- میزان نفوذپذیری (m/s) برای ماسه طبیعی و نمونه‌های ساخته شده

نام نمونه	ماسه طبیعی	ماسه + ۵٪ پسمانده مواد نفتی
A	$۱/۵\times۱۰^{-۵}$	$۲/۱\times۱۰^{-۷}$
B	$۸/۲\times۱۰^{-۶}$	$۱/۱\times۱۰^{-۷}$
C	$۴/۶\times۱۰^{-۶}$	$۵/۵\times۱۰^{-۹}$



شکل۷- میزان نگهداشت نفت در نمونه تثبیت شده

۳-۲-۱- تعیین میزان نگهداشت پسماندهای نفتی در نمونه‌های تثبیت شده

با توجه به مطالعات انجام گرفته، وجود ترکیبات سنگین و زنجیرهای مولکولی بزرگ در نمونه پسماند نفتی و همچنین ویسکوزیته بالا باعث می‌شود میزان نگهداشت فاز غیر محلول نفت در نمونه‌های تثبیت شده بسیار بالا باشد [۱۰]. در شکل ۷ میزان پسماند نفتی باقیمانده در فاز جامد ماسه تثبیت شده (ماسه+ ۵ درصد پسماند) پس از ۱۰ بار شست‌وشوی نمونه‌ها با آب مقطر و فاضلاب نشان داده شده است.

با توجه به شکل ۷ مشخص می‌گردد که در ماسه C میزان نگهداشت نفت در نمونه به‌علت سطح مخصوص بالاتر و نیز وجود نیروی چسبندگی زیاد بین ریزدانه‌ها و پسماند نفتی بالاتر است.

۳-۲-۲- تعیین میزان فلزات سنگین در نمونه محلول

مطالعات انجام شده بر روی پسماند نفتی پالایشگاه نفت تهران نشان داد که فلزات سنگین در پسماندهای نفتی شامل وانادیم، نیکل و آهن هستند که مقدار آنها خیلی پایین است. همچنین غلظت فلزات سنگین در ماسه‌های تثبیت شده به‌دلیل pH نسبتاً بالای ماسه محل، پایین است. پس از انجام آزمایش‌ها بر روی نمونه‌های ساخته شده، غلظت فلزات سنگین شامل وانادیم، نیکل و آهن در این نمونه‌ها به ترتیب ۱/۶۴، ۰/۶۲ و ۰/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین شد. با توجه به pH این نوع خاک (۷/۸ تا ۸) و وجود محیط قلیایی- نمکی، حرکت فلزات سنگین کمتر بود. بنابراین با توجه به موارد ذکر شده پس از شستشوی نمونه‌های تثبیت شده، غلظت فلزات سنگین در آب خروجی جمع‌آوری شده، کمتر از حد اندازه‌گیری توسط دستگاه جذب اتمی بر حسب ppb بود.

۳-۲-۳- تعیین میزان مواد نفتی شسته شده در آب خروجی

با توجه به نتایج آزمایش‌ها بر روی پسماند نفتی که در جدولهای ۲ و ۳ نشان داده شده است حلالیت کم روغن در آب، ویسکوزیته بالای روغن، درصد پایین پسماند نفتی در نمونه‌های تثبیت شده (۵ درصد) و نیز نفوذپذیری پایین نمونه‌ها، باعث شستشوی کم مواد نفتی با دو محلول درنمونه‌های مختلف خواهد شد. درصد کل پسماند نفتی در آب خروجی از نمونه ها بعد از ۱۰ مرحله شستشو به شرح جدول ۸ است.

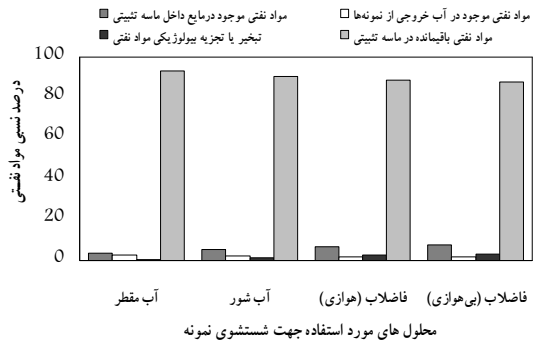
با توجه به نتایج جدول ۸ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش درصد ریزدانه‌ها به‌دلیل افزایش چسبندگی، درصد مواد نفتی شسته شده از نمونه کاهش می‌یابد. همچنین درصد پسماند نفتی در آب خروجی از نمونه هنگام شستشو با فاضلاب به‌دلیل دارا بودن بار آلی و تجزیه بیولوژیکی هیدروکربن‌ها، کمتر است. درصد پسماند نفتی در آب خروجی در شرایط بی‌هوازی به‌دلیل تولید گازهای متان و سولفید هیدروژن و واکنش آنها با هیدروکربن‌ها نسبت به شرایط هوازی کمتر می‌باشد. البته لازم به‌ذکر است که شستشوی پسماند نفتی به این میزان، بیشتر به‌علت دبی نسبتاً بالای آب بر روی نمونه‌های موجود در آزمایشگاه در مقایسه با شرایط واقعی بود. به‌طوری که در شرایط آزمایشگاهی، گرادیان هیدرولیکی تقریباً برابر ۱۴ بود در حالی که در شرایط طبیعی، گرادیان هیدرولیکی کمتر از ۰/۵ است. این تفاوت باعث کاهش مواد نفتی در پساب خروجی از نمونه‌ها خواهد شد.

۳-۲-۴- موازنه جرمی

نتایج موازنه جرمی در نمونه‌های تثبیت شده نشان می‌دهد که بخش اعظم نفت در نمونه نگهداشته می‌شود و بخش کمی از آن در آب خروجی جمع‌آوری شده در انتهای مرحله شستشو وجود دارد. پس از مقایسه درصد پسماند نفتی اولیه با مجموع غلظت نفت اندازه‌گیری شده در نمونه آب خروجی جمع‌آوری شده و مایع داخل نمونه مشخص گردید که تساوی برقرار نبوده و بخشی از پسماندهای نفتی به سبب تبخیر و یا تجزیه بیولوژیکی از بین رفته است. در شکل ۸ نتایج موازنه جرمی در حالت شستشوی نمونه‌ها با آب مقطر و فاضلاب تحت شرایط هوازی و بی‌هوازی نشان داده شده است. با توجه به اینکه آهنگ تبخیر پسماندهای نفتی از واکنش‌های سینتیک درجه اول پیروی می‌کند، پایین بودن آهنگ تبخیر به‌علت جذب سطحی نفت بر روی خاک و همچنین دانسیته پایین آن هنگام ترکیب با ماسه است. پسماند مواد نفتی شامل ترکیبات سنگین مواد اشباع و هیدروکربن‌های آروماتیک، همچنین حاوی مقدار جزئی آسفالتین و رزین‌ها هستند. گروههای اشباع شده شامل پارافین‌های مرکب (شاخه‌دار) و با زنجیره‌های طولانی و همچنین سیکلوپارافین‌ها می‌باشند. رزین‌ها از حلقه‌های جوش خورده آروماتیک با آلکیل و سایر جانشین‌های قطبی تشکیل شده‌اند. آسفالتین‌ها نیز از مقادیر زیادی آروماتیک‌های چند

جدول ۸- درصد کل مواد نفتی در آب خروجی پس از ۱۰ بار شستشوی نمونه‌ها

پارامتر / نمونه	A	B	C
آب مقطر ٪	۲/۹	۲/۶	۲/۲۵
فاضلاب (هوازی) ٪	۲/۰۵	۱/۹	۱/۶۷
فاضلاب (بی هوازی) ٪	۱/۷۸	۱/۷۵	۱/۴۶



شکل۸- موازنه جرمی مخلوط ماسه+آب+ پسماند نفتی

حلقه‌ای متراکم شده تشکیل شده‌اند، لذا این ترکیبات به‌کندی تجزیه می‌شوند که این امر به‌دلیل قابلیت انحلال کم آنها در آب است. همچنین با توجه به ساختار پیچیده، امکان یافتن محلی برای حمله آنزیمی توسط میکروارگانیسم‌های موجود در فاضلاب مشکل است. به‌همین منظور هیدروکربن‌های اشباع و آروماتیک چند حلقه‌ای به‌علت پیچیدگی و قابلیت انحلال پایین آنها در آب در مقابل تجزیه بیولوژیکی مقاومت نشان داده و در محیط خاک باقی مانده و به آبهای زیرزمینی حرکت نمی‌کنند. با توجه به شکل ۸ می‌توان نتیجه گرفت که هنگام شستشوی نمونه‌ها با فاضلاب به‌دلیل وجود مواد آلی و مواد مغذی پرمصرف، حذف پسماندهای نفتی به روش تجزیه بیولوژیک در مقایسه با تبخیر بیشتر است. نرخ تجزیه بیولوژیک در شرایط بی‌هوازی به‌دلیل تولید گازهای متان و سولفید هیدروژن و واکنش آنها با برخی از هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای در مقایسه با شرایط هوازی بیشتر است. اما در مجموع مقدار تجزیه به‌علت عدم وجود میکروارگانیسم‌های مناسب به‌منظور تجزیه پسماندها پایین و حدود ۳/۱ درصد است.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق اختلاط ماسه‌ها با ۵ تا ۷ درصد پسماند مواد نفتی، حداکثر مقاومت فشاری را نشان داد. با افزایش ریزدانه (سیلت) در این ماسه‌ها مقدار مقاومت فشاری به میزان ۳۰ درصد کاهش یافت زیرا چسبندگی بین سطح ماسه و پسماند نفتی کمتر شد و مواد نفتی بیشتر جذب ریزدانه موجود در این ماسه‌ها شدند.

وجود پسماند مواد نفتی باعث افزایش چشمگیری در چسبندگی خاک می‌گردد و در نتیجه ظرفیت باربری خاک به مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. با در نظرگیری نتایج آزمایشگاهی این‌طور می‌توان استنباط کرد که با اختلاط صحیح خاک با این مواد می‌توان از این روش اصلاح، در بسترسازی استفاده نمود. از طرف دیگر با درنظرگیری نتایج آزمایش نفوذپذیری بر روی نمونه‌های تثبیتی می‌توان از آن در آب‌بند کردن کف و جداره لاگون‌ها استفاده نمود.

با توجه به وجود ترکیبات سنگین و زنجیرهای مولکولی بزرگ پسماند نفتی و ویسکوزیته بالای آنها، میزان نگهداشت نفت در خاک بالا است. با مقایسه نتایج این تحقیق با تحقیقات انجام گرفته در این زمینه این‌طور مشخص می‌شود که میزان نگهداشت مواد نفتی در این نمونه‌ها بسیار بالا است و از این‌رو با مقایسه این نتایج با نتایج تحقیقات دیگر می‌توان استنباط کرد که خطرات محیط‌زیستی کاربرد این مواد در این نوع ماسه‌ها بسیار ناچیز است.

به‌دلیل حلالیت کم نفت در آب، ویسکوزیته بالای نفت و همچنین نفوذپذیری پایین نمونه تثبیت شده، غلظت نفت در آب خروجی از نمونه‌ها پس از شستشو با آب مقطر و فاضلاب پایین بود. همچنین به‌علت وجود ترکیبات سنگین و زنجیره‌های مولکولی بزرگ پسماند نفتی در خاک، ویسکوزیته بالا و قابلیت حل پایین آنها در آب، هنگام شستشوی نمونه‌ها با فاضلاب به‌دلیل وجود مواد آلی و مواد مغذی پرمصرف، حذف پسماندهای نفتی به‌روش تجزیه بیولوژیک در مقایسه با تبخیر بیشتر بود. نرخ تجزیه بیولوژیک در شرایط بی‌هوازی به‌دلیل تولید گازهای متان و سولفیدهیدروژن و واکنش آنها با برخی از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای در مقایسه با شرایط هوازی بیشتر بود. در مجموع مقدار تجزیه به‌علت عدم وجود میکروارگانیسم‌های مناسب برای تجزیه پسماندها پایین و حدود ۳/۱ درصد بود.

۵- مراجع

1- Niazi, Y. (2002). "Stabilization of desert soils by lime and portland cement." M.Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad.

2- EPA. (2004). *Guideline wastewater and evaporation lagoon construction*, Environmental Protection Agency, Australia.

3- Tabatabai, A. M. (2000). *Pavement road,* Marakze Nashr Pub., Tehran. (In Persian)

4- Reed, Jr., Kenneth, R.R., and Meyers, M.G. (1981). *Soil stabilization materials and methods*, U.S. Patent Pub., USA.

5- Loehr, R.C., Rogers, L.A., and Erickson, D.C. (2001). "Mobility of residues at petroleum industry hazardous waste land treatment sites." *Water Science and Technology*, 25 (3), 191-196.

6- Kezdi, A. (1986). *Stabilized earth roads*, *developments in geotechnical engineering*, No.19, Elsevier, Amsterdam.

7- Mitchell, J. K. (1993). *Fundamentals of soil behavior*, 2nd Ed., John Wiley and Sons Inc., New York.

8- Yong, R. N., Mohammed, L.F., O'Shay, T.A., and Hoddinott, K.B. (1994). "Retention and transport of oil residue in a loamy soil." In: O'shay, T. A. and Hoddinott, K.B. (Eds) *Analysis of soils contained with petroleum constituent*, ASTM, Philadelphia.

9- Mohammed, L. F. (1995). "Assessment of saline soil stabilization via oil residue and its geo-environmental implications." Ph.D. Thesis, McGill University, Canada.

10- Fahad, A., Thomas, H. R., and Cleall, P.J. (2006). "An assessment of the possibility of stabilizing sabkha soils using oil lakes residue - reuse of waste materials." Ph.D. Thesis Nathingham University, UK.