

اصلاح ماسه‌های بادرفتی به کمک پسماند مواد نفتی برای ساخت لاگون‌های تصفیه فاضلاب

البرز حاجیان نیا^۱ اسماعیل افلاکی^۲

(دریافت ۸۹/۷/۲۷ پذیرش ۹۰/۱/۱۶)

چکیده

در این مقاله بر اساس مطالعات آزمایشگاهی، تحقیق بر روی اصلاح و بهسازی ماسه‌های بادی به منظور 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 ماسه‌های 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 nia¹

Esmael Aflaki²

(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.

1. Ph.D. Student of Soil and Foundation, Dept. of Civil Eng., Amir Kabir University 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- دانشجوی دکتری 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

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 [۱ و ۲]:

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 جبران‌ناپذیر 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 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^۱ 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 چاهبار 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

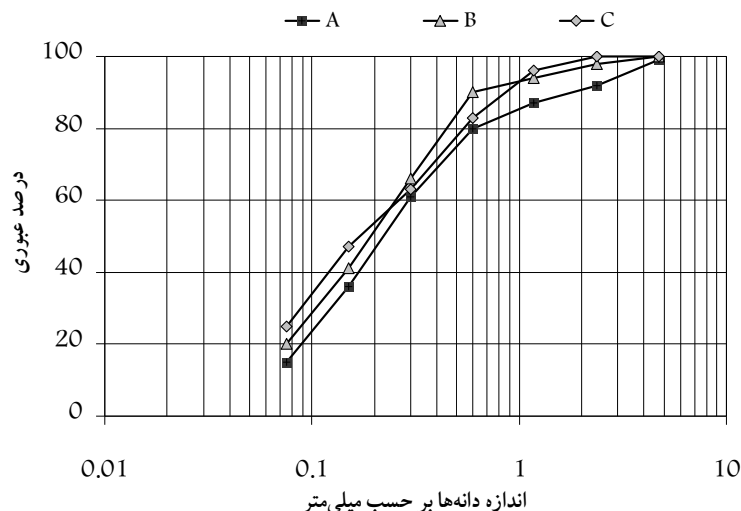
ماسه‌های منطقه عمدتاً نمک‌دار و قلیایی هستند. منشأ پیدایش ماسه‌های این منطقه بیشتر از سنگ بستر دولومیت و آهکی است. سفره آب زیرزمینی عموماً در اعماق کم بوده و مشخصه آن شوری زیاد به دلیل وجود نمک تبخیری حل شده از سنگ بستر محلی یا آب دریا است. مقدار مواد ریزدانه و مقدار نمک با توجه به شرایط آب و هوایی متغیر 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.

^۱ 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)	زوایه 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 دانه بندی ماسه محل تصفیه خانه چابهار

۱- آب مقطر (شبه سازی آب باران)
 ۲- فاضلاب شهری (بررسی تأثیرات محیط زیستی فاضلاب بر روی نمونه تثبیت شده در شرایط هوایی و بی هوایی)
 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 آزمایش ها، نمونه هایی از اختلاط ماسه محل با درصدهای مختلفی از پسماند نفتی (۳، ۵/۰ و ۷ درصد) ساخته شد. این نمونه ها بر طبق روش ASTM D4223 مخلوط گردیدند. نمونه ها، همان گونه که مخلوط های ماسه تثبیت شده با قیر درست می شوند، تهیه گردیدند. در این مطالعه بیش از ۱۰۰ نمونه ساخته شد که این نمونه ها در قالبهایی برای آزمایش مقاومت تک محوری، برش مستقیم، نفوذ پذیری و پس از آن آزمایش های محیط زیستی آماده گردیدند. در ابتدا آزمایش های مقاومتی بر روی نمونه ها انجام گردید و بهترین نمونه از نظر مقاومت برای انجام آزمایش های دیگر و همچنین بررسی اثرات آب و نمک بر روی نمونه تثبیتی مد نظر قرار گرفت. سپس آزمایش های محیط زیستی بر روی این نمونه ها (نمونه با بالاترین مقاومت فشاری تک محوری) انجام شد.

همچنین آزمایش های انجام شده بر روی خاک محل نشان می دهد که این ماسه عمدتاً از رسوب گذاری سنگ های آهکی و دولومیتی منطقه است و بیشتر از کلسیت، دولومیت، سیلیس، فلدسپار و کربنات ها و مقدار کمی کانی های 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، هیدروکربن های آروماتیک (معطر)، مقدار جزئی آسفالتین و رزین ها هستند. تحقیقات پیشین نشان می دهد 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 (لجن های باقیمانده در انتهای برج تقطیر) موجود در پالایشگاه اصفهان استفاده شد. نتایج آزمایش های 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 نمونه ها استفاده گردید:

جدول ۲- خصوصیات و ترکیبات پسماند ماده نفتی پالایشگاه

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

جدول ۳- خصوصیات فیزیکی شیمیایی پسماند نفتی

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

جدول ۴- 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

جدول ۵- مشخصات کیفی فاضلاب شهری

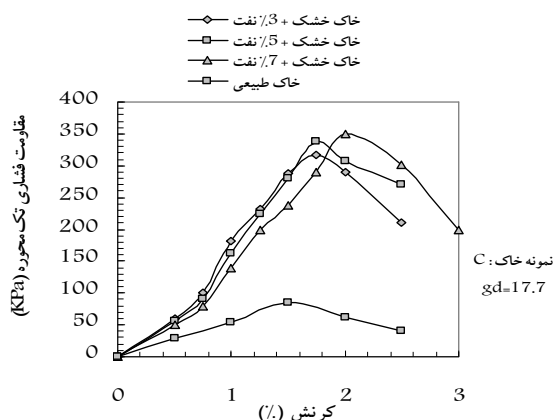
پارامتر	BOD ₅ (mg/L)	COD(mg/L)	TSS(mg/L)	N(mg/L)	TP(mg/L)
مقدار	۲۷۰	۵۴۰	۳۱۰	۴۰	۷

نوع مواد نفتی پیش بینی گردید [۱۰]. آزمایش های انجام شده در این تحقیق عبارت اند از تعیین میزان نگهداشت پسماند نفتی در خاک، تعیین میزان فلزات سنگین در نمونه محلول خروجی و اندازه گیری میزان مواد نفتی شسته شده در محلول خروجی.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج آزمایش های ژئوتکنیکی بر روی نمونه های ساخته شده
شکل های ۲ و ۳ نشان می دهند که نمونه های ساخته شده با ۵ درصد پسماند مواد نفتی، بیشترین مقاومت فشاری را نشان می دهند. با

برای انجام این آزمایش ها سلول هایی ساخته شد و آزمایش ها با قرار دادن نمونه در این سلول ها و در دمای ۲۵ درجه سلسیوس انجام گردید. سلول ها از جنس پلاستیک شفاف با قطر ۵۰ میلی متر و ارتفاع ۳ متر بودند. نمونه ها به حد مناسب متراکم و پس از آن شستشو با آب مقطر و فاضلاب شهری در شرایط هوازی و بی هوازی صورت گرفت. با شستشوی مداوم نمونه ها به مدت ۴۰ روز با آب مقطر و فاضلاب، رفتار دراز مدت محیط زیستی پسماندهای نفتی درون این نوع ماسه ها با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده توسط محققان بر روی بررسی اثرات محیط زیستی این



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

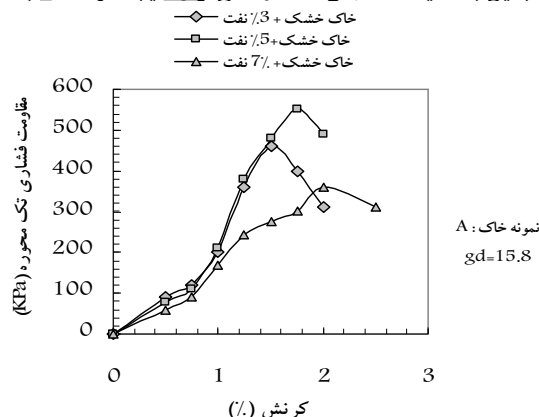


شکل ۵- تأثیر رطوبت اولیه ماسه‌ها (نمونه B) بر روی مقاومت فشاری نمونه‌های اصلاح شده

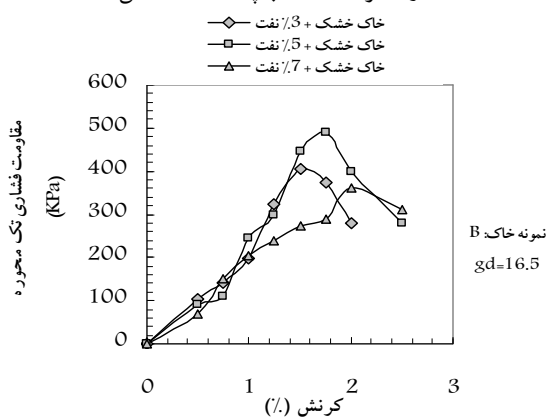
افزایش میزان ریزدانه داخل ماسه به میزان ۱۰ درصد، مقاومت فشاری ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. اثر تغییر در درصد رطوبت در ماسه‌ها بر روی مقاومت تک محوری نمونه‌ها در شکل ۵ مشخص شده است.

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 به میزان 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.

افزایش پسماند مواد نفتی، مقاومت فشاری به میزان حداقل ۲۰ درصد 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 ۲۵ درصد، 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 ۶- نتایج آزمایش فشاری تک محوری برای نمونه‌های ساخته شده از مخلوط ماسه A با پسماند ماده نفتی



شکل ۷- نتایج آزمایش فشاری تک محوره برای نمونه‌های ساخته شده از مخلوط ماسه B با پسماند ماده نفتی

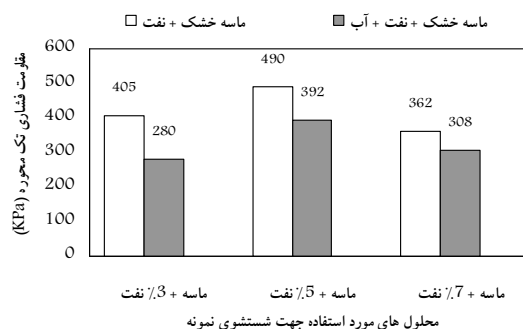
در زاویه اصطکاک به علت کاهش درگیری بین ذرات و به عبارتی کاهش تماس بین ذرات است.

از مقایسه بین نتایج به دست آمده از آزمایش برش مستقیم و تک محوری این طور مشخص است که آزمایش برش مستقیم نتایج اصلاح را پایین تر نشان می دهد که این موضوع به تغییر در تکنیک آزمایش و سطح برش غیر واقعی در این 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.

همان گونه که در جدول نیز مشخص است، پسماندهای نفتی باعث گردیدند که نفوذپذیری ماسه تا حد بسیار زیادی کاهش یابد. نتایج آزمایش ها نشان می دهد که میزان ۵ درصد پسماند نفتی در ماسه تثبیت شده، نفوذپذیری را به صورت قابل توجهی نسبت به ماسه محل کاهش می دهد. نتایج همچنین نشان داد که با افزایش میزان سیلت و رس به حدود ۲۵ درصد در خاک ماسه ای، اصلاح این ماسه ها با پسماند نفتی تأثیر قابل توجهی در نفوذ ناپذیر شدن این ماسه ها دارد.

۳-۲- بررسی اثرات محیط زیستی بر روی نمونه های ساخته شده

پس از شستشوی نمونه ها با آب مقطر و فاضلاب شهری، مقدار پسماندهای نفتی و سایر آلوده کننده ها در آب خروجی از نمونه ها محاسبه گردید و با توجه به مقدار آنها، درجه آلاینده ای این مواد در دراز مدت تخمین زده شد. همچنین تأثیرات محیط زیستی این مواد به لحاظ تجزیه بیولوژیک، فراریت و همچنین انحلال در نمونه های ساخته شده و آب خروجی از نمونه ها بررسی گردید.



شکل ۶- تأثیر شستشوی ۴۰ روزه بر روی مقاومت فشاری نمونه های اصلاح شده

شکل ۶ نشان می دهد که با شستشوی مداوم این نمونه ها به مدت ۴۰ روز و با گرا دیان هیدرولیکی بالا، مقاومت فشاری نمونه ها در حدود ۱۵ تا ۳۰ درصد کاهش داشته است. از مقایسه شکلهای ۵ و ۶ این طور استنباط می شود که وجود رطوبت در ماسه قبل از اختلاط تأثیر بیشتری در کاهش مقاومت فشاری دارد و اثر شستشو پس از تثبیت نمونه ها بسیار کم رنگ تر است. نتایج آزمایش ها همچنین نشان داد که در اثر شستشو با گرا دیان پایین به مدت ۴۰ روزه، کاهش در مقاومت فشاری بسیار ناچیز و قابل اغماض است، در جدول ۶ نتایج آزمایش برش مستقیم برای نمونه های اصلاح شده با پسماند نفتی نشان داده شده است.

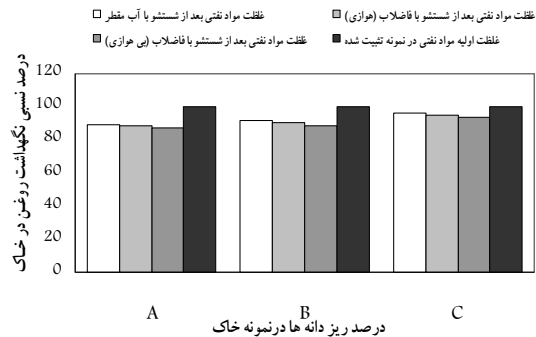
نتایج جدول ۶ نشان می دهد که چسبندگی به مقدار قابل ملاحظه ای نسبت به حالت طبیعی افزایش یافته است ولی زاویه اصطکاک تغییر قابل ملاحظه ای نداشته است و حتی در بعضی مواقع کاهش را نشان می دهد. علت افزایش در چسبندگی را می توان این طور توجیه کرد که هیدروکربن های مواد نفتی ماهیتاً خاصیت چسبندگی دارند (ترکیبات رزین دار) و علت کاهش جزئی

جدول ۶- نتایج آزمایش برش مستقیم بر روی نمونه های تثبیت شده

ماسه + A 5% پسماند نفتی	ماسه + B 5% پسماند نفتی	ماسه + C 7% پسماند نفتی	
۵۴	۶۱	۶۴	چسبندگی (c) (KN/m ²)
۲۴	۲۶	۲۶	زاویه اصطکاک (Ø)

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

نام نمونه	ماسه طبیعی	ماسه + 5% پسماند مواد نفتی
A	۱/۵ × ۱۰ ^{-۵}	۲/۱ × ۱۰ ^{-۷}
B	۸/۲ × ۱۰ ^{-۶}	۱/۱ × ۱۰ ^{-۷}
C	۴/۶ × ۱۰ ^{-۶}	۵/۵ × ۱۰ ^{-۹}



شکل ۷- 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 به علت 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 به دلیل 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 ۰/۶۴، 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 شست‌وشوی 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 شست‌وشوی کم مواد نفتی با دو محلول در نمونه‌های مختلف خواهد شد. درصد کل پسماند نفتی در آب خروجی از نمونه‌ها بعد از ۱۰ مرحله شست‌وشو به شرح جدول ۸ است.

با توجه به نتایج جدول ۸ می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش درصد ریزدانه‌ها به دلیل افزایش چسبندگی، درصد مواد نفتی شسته شده از نمونه کاهش می‌یابد. همچنین درصد پسماند نفتی در آب خروجی از نمونه هنگام شست‌وشو با فاضلاب به دلیل دارا بودن بار آلی و تجزیه بیولوژیکی هیدروکربن‌ها، کمتر است. درصد پسماند نفتی در آب خروجی در شرایط بی‌هوازی به دلیل تولید گازهای متان و سولفید هیدروژن و واکنش آنها با هیدروکربن‌ها نسبت به شرایط هوازی کمتر می‌باشد. البته لازم به ذکر است که شست‌وشوی پسماند نفتی به این میزان، بیشتر به علت دبی نسبتاً بالای آب بر روی نمونه‌های موجود در آزمایشگاه در مقایسه با شرایط واقعی بود. به طوری 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 شست‌وشو 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 شست‌وشوی نمونه‌ها با آب مقطر و فاضلاب تحت شرایط هوازی و بی‌هوازی نشان داده شده است. با توجه به اینکه آهنگ تبخیر پسماندهای نفتی از آهنگ واکنش‌های سینتیک درجه اول پیروی می‌کند، پایین بودن آهنگ تبخیر به علت 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 سیکلופارافین‌ها می‌باشند. رزین‌ها از حلقه‌های جوش خورده آروماتیک با آلکیل و سایر جانشین‌های قطبی تشکیل شده‌اند. آسفالتین‌ها نیز از مقادیر زیادی آروماتیک‌های چند

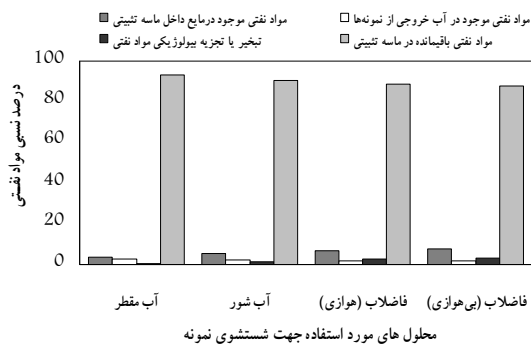
جدول ۸- درصد کل مواد نفتی در آب خروجی پس از ۱۰ بار شستشوی نمونه‌ها

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

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 این طور می‌توان استنباط کرد که با اختلاط صحیح خاک با این مواد می‌توان از این روش اصلاح، در بسترسازی استفاده نمود. از طرف دیگر با در نظرگیری 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 زنجیره‌های 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 این طور مشخص می‌شود که میزان نگهداشت مواد نفتی در این نمونه‌ها بسیار بالا است و از این رو با مقایسه این نتایج با نتایج تحقیقات دیگر می‌توان استنباط کرد که خطرات محیط‌زیستی کاربرد این مواد در این نوع ماسه‌ها بسیار ناچیز است. به دلیل 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 به علت 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 به دلیل وجود مواد آلی و مواد مغذی پرمصرف، حذف پسماندهای نفتی به روش تجزیه بیولوژیک در مقایسه با تبخیر بیشتر بود. نرخ تجزیه بیولوژیک در شرایط بی‌هوازی به دلیل تولید گازهای متان و سولفید هیدروژن و واکنش آنها با برخی از هیدروکربن‌های چند حلقه‌ای در مقایسه با شرایط هوازی بیشتر بود. در مجموع مقدار تجزیه به علت عدم وجود میکروارگانیسم‌های مناسب برای تجزیه پسماندها پایین و حدود ۳/۱ درصد بود.



شکل ۸- موازنه جرمی مخلوط ماسه+آب+ پسماند نفتی

حلقه‌ای متراکم شده تشکیل شده‌اند، لذا این ترکیبات به کندی تجزیه می‌شوند که این امر به دلیل قابلیت انحلال کم آنها در آب است. همچنین با توجه به ساختار پیچیده، امکان یافتن محلی برای حمله آزمیمی توسط میکروارگانیسم‌های موجود در فاضلاب مشکل است. به همین منظور هیدروکربن‌های اشباع و آروماتیک چند حلقه‌ای به علت 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 به دلیل 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 به دلیل 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 به علت عدم وجود میکروارگانیسم‌های مناسب به منظور 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

- 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.