

بررسی کارایی آهک بر بهسازی خاک‌های آلوده شده با مواد نفتی در محدوده پالایشگاه تبریز

سید داود محمدی^{۱*}، خلیل محرم زاده سرای^۲

۱- استادیار زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

۲- کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

d.mohammadi@basu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۴/۳/۷]

تاریخ دریافت: [۹۳/۳/۲]

چکیده- در این پژوهش تاثیر آهک زنده بر رفتار مهندسی خاک‌های سطحی آلوده به مواد نفتی محدوده پالایشگاه نفت تبریز بررسی شده است. آلودگی خاک مورد مطالعه بیشتر از نوع هیدروکربن های آلكالی با بیش از ۱۴ اتم کربن بوده و در دسته هیدروکربن های جامد قرار می‌گیرند. آزمایش‌های آزمایشگاهی انجام شده در این راستا شامل آزمایش‌های تعیین pH، تعیین حدود آتربرگ، تراکم استاندارد، مقاومت فشاری تک محوری و برش مستقیم است. آهک زنده در مقادیر ۱، ۳، ۵، ۷ و درصد وزنی به نمونه‌ها اضافه و نتایج آزمایش‌ها در دوره‌های عمل آوری ۱، ۳، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز بررسی شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از بهسازی نمونه‌های آلوده به مواد نفتی مشخص شد که با افزودن آهک زنده، خواص خمیری خاک کاهش یافته و پارامترهای مقاومتی (چسبندگی و اصطکاک داخلی) افزایش می‌یابد. در این راستا، نمونه‌های خاک رسی محدوده پالایشگاه تبریز با بیش از ۶۶/۴ mg/kg آلودگی با ۳ درصد وزنی آهک زنده و نمونه های با کمتر از ۶۶/۴ mg/kg با ۵ درصد آهک زنده، بیشینه مقاومت فشاری را نشان می‌دهند. مقدار آهک بهینه برای خاک‌های ماسه‌ای سیلتی تحت تاثیر آلودگی قرار نداشته و به میزان ۳ درصد وزنی رسیده است. به شکل کلی بررسی نتایج به دست آمده از این پژوهش بیانگر کارایی آهک زنده بر بهسازی خاک‌های آلوده به مواد نفتی در محدوده پالایشگاه تبریز است.

واژگان کلیدی: خاک آلوده، آهک زنده، مواد نفتی، هیدروکربن، پارامترهای مقاومتی.

۱- مقدمه

سیلیکا هستند، افزایش مقداری آهک زنده^۱ (Cao) یا آهک شکفته^۲ (Ca(OH)₂) و آب، برای به وجود آوردن یک ترکیب پایدار، بسیار موثر است [۳]. به طور کلی افزایش آهک به خاک موجب بروز فعل و انفعالاتی می‌شود که از نظر مهندسی، عملاً بهبود کیفیت و مشخصه‌های خاک را در پی خواهد داشت.

تاکنون پژوهشی در مورد تاثیر آهک بر بهسازی خاک‌های آلوده به مواد نفتی صورت نگرفته است، اما، پژوهش‌های

آلودگی خاک با مواد نفتی در محدوده پالایشگاه‌ها به روش‌های مختلف (بیشتر تصادفی) اتفاق می‌افتد [1]. آلودگی نفتی باعث تغییر رفتار مهندسی خاک شده، به این ترتیب که پارامترهای مقاومتی خاک تغییر کرده و میزان نشست خاک در اثر آلودگی به مواد نفتی تغییر می‌یابد و امکان ایجاد نشست نامتقارن به دلیل ویژگی‌های متفاوت تراکم پذیری در اثر نشست آلاینده‌ها محتمل می‌شود [۲]. آهک یکی از مواد شیمیایی است که معمولاً برای بهسازی خاک استفاده می‌شود. از آنجایی که بیشتر خاک‌ها، دارای ترکیبات سیلیکا و آلومین

1 quicklime
2 hydrated lime

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱ روش نمونه‌برداری و آنالیز دانه‌بندی

نمونه‌های آلوده محدوده پالایشگاه تبریز از ۱۱ نقطه در حاشیه مخازن مواد نفتی به گونه‌ای نمونه‌برداری شده‌اند که نقاط نمونه‌برداری تقریباً بر روی گوشه‌های یک شبکه مربعی شکل با فواصل یکسان قرار می‌گیرند (شکل ۱). دانه‌بندی خاک با استاندارد ASTM D 422-63 [7] انجام شده است. مطابق طبقه‌بندی یونیفاید، خاک‌های آلوده منطقه از دو نوع خاک شامل ماسه سیلت‌دار (SM) (نمونه‌های G, F, E, C و H) و رس لاغر (CL) (نمونه‌های B, I, J, A, D و K) است که رنگ ظاهری، وضعیت جذب آب و درصد ذرات تشکیل دهنده هر یک از نمونه‌ها در جدول (۱) آمده است.

۳-۲ روش آنالیز آلودگی در نمونه‌ها

بعد از نمونه برداری از محل، برای تعیین درصد و نوع مواد نفتی آلوده کننده، نمونه‌ها مورد آزمایش کروماتوگرافی گاز-جامد قرار گرفتند که نتایج آن در جدول (۲) آورده شده است. همچنین، نمودار تغییرات درصد آلودگی و نوع هیدروکربن-های آلوده کننده برای هر یک از نمونه‌ها در شکل (۲) آمده است. نتایج به دست آمده از آزمایش کروماتوگرافی نشان می‌دهد که بیشترین درصد آلودگی مربوط به هیدروکربن‌های آلکانی با بیش از ۱۴ اتم کربن است که جزء هیدروکربن‌های جامد است. این هیدروکربن‌ها با فرمول شیمیایی C_nH_{2n+2} شناخته می‌شوند [8]. این هیدروکربن‌ها اطراف ذرات خاک را گرفته و به صورت یک عایق درمقابل نفوذ آب عمل می‌کنند. در این حالت نمونه‌ها به سختی با آب مخلوط شده و قطره-های آب به صورت معلق روی خاک‌های آلوده قرار می‌گیرند.

۳-۳ برنامه آزمایش‌های مهندسی خاک

علاوه بر آزمایش‌های کروماتوگرافی و دانه‌بندی که نتایج آن‌ها گفته شد؛ آزمایش‌های، آزمایشگاهی دیگری به منظور بررسی تاثیر آهک زنده بر رفتار مهندسی خاک‌های مورد مطالعه و تعیین درصد بهینه آهک زنده انجام شده که تعداد و مشخصات آن‌ها در جدول (۳) آورده شده است.

زیادی در مورد تاثیر آهک بر ویژگی‌های مهندسی خاک‌ها مخصوصاً خاک‌های ریزدانه صورت گرفته است. گلستانی [۴] در مورد بهسازی و افزایش مقاومت خاک‌های آلی جنگل شهید زارع ساری مطالعاتی انجام داد. در این پژوهش آهک زنده و شکفته برای بهسازی خاک آلی انتخاب شده است. بر اساس نتایج این پژوهشگر، آهک زنده و آهک شکفته در افزایش مقاومت فشاری تک محوری و مدول الاستیسیته خاک آلی مورد مطالعه تاثیر چشم‌گیری داشته و رده مقاومتی خاک را از متوسط به خیلی سفت ارتقا می‌دهد. همچنین، موجب افزایش عدد CBR و کاهش میزان تورم و شاخص خمیری خاک آلی شده است. هاشمی طباطبایی و آقای [۵] اثر افزودن آهک زنده و شکفته را بر خاک رس با پلاستیسیته پایین (CL) از خاک‌های شهرستان گرمی از توابع استان اردبیل بررسی نمودند و نشان دادند که بیشینه وزن واحد حجم خشک خاک اصلاح شده با آهک شکفته کاهش و رطوبت بهینه افزایش می‌یابد. دورایسمی و همکاران [6] مطالعات آزمایشگاهی روی بهسازی خاک تورب مناطق گرمسیری با استفاده از آهک و سیمان را انجام دادند. در بررسی آن‌ها با افزایش درصد آهک و سیمان و نیز دوره عمل آوری مقاومت برشی زهکشی نشده و چگالی ویژه خاک تورب افزایش یافته و مقدار حد روانی و درصد رطوبت آن کاهش یافته است. با توجه به گسترش آلودگی نفتی در محدوده پالایشگاه تبریز و اینکه امکان توسعه محدوده پالایشگاه وجود دارد، در این پژوهش به بررسی کارایی آهک زنده بر بهسازی خاک‌های سطحی آلوده به مواد نفتی محدوده پالایشگاه تبریز پرداخته شده است.

۲- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

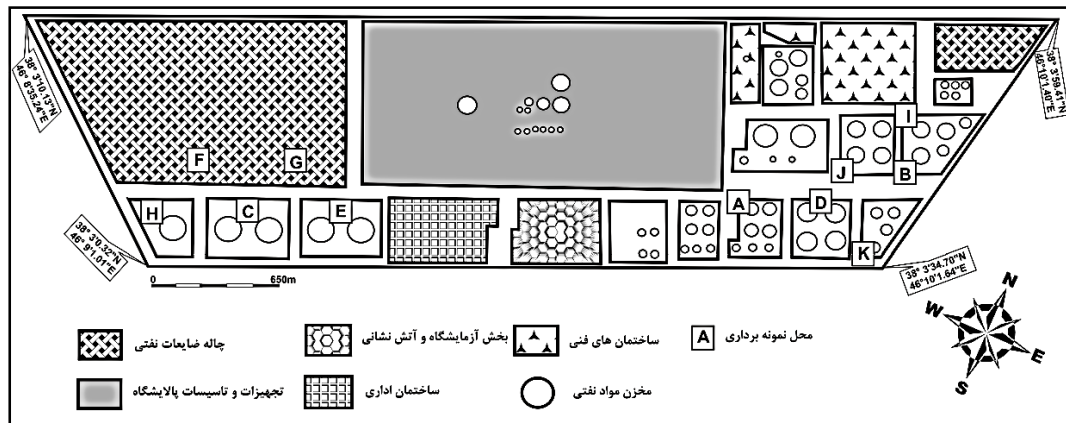
پالایشگاه نفت تبریز در بخش جنوب غربی تبریز (جاده تبریز- سردرود) قرار گرفته است. برای دسترسی به محدوده پالایشگاه، مسیرهای متعددی وجود دارد که مسیر مستقیم آن از مرکز شهر تبریز به طرف خیابان ۲۲ بهمن و به سمت بلوار ملت است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱ نتایج آزمایش تعیین pH

اضافه کردن آهک به خاک باعث می‌شود که کاتیون Ca^{2+} و آنیون OH^- به محیط وارد شوند. کاتیون Ca^{2+} به وسیله بار منفی موجود در سطح ذرات رس جذب شده و آنیون OH^- در

محیط باقی مانده و باعث افزایش شرایط قلیایی محیط می‌شوند [۸،۹]. این تغییرات در همان مراحل اولیه اضافه کردن آهک به خاک انجام می‌شود و نشان دهنده تاثیر آهک بر خاک و شروع واکنش در خاک



شکل ۱: تصویر شماییک محدوده پالایشگاه تبریز ترسیم شده از نقشه ماهواره‌ای تهیه شده از Google Earth

جدول ۱: درصد ذرات تشکیل دهنده هر یک از نمونه‌ها (شن=G، ماسه=S، سیلت=M و رس=C)

نمونه	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
G%	۴/۰۲	۲/۱۴	۲/۷۶	۳/۵۶	۲/۳۵	۲/۲۶	۳/۱۲	۳/۴۹	۳/۱۸	۲/۶۸	۳/۴۷
S%	۳۰/۹۶	۲۸/۹۴	۵۷/۱۲	۳۳/۴۴	۵۷/۴۵	۵۲/۷۳	۵۲/۷۶	۵۸/۳۸	۲۹/۸۱	۳۱/۳۹	۳۵/۸۵
M%	۵۷/۱۶	۶۳/۱۶	۳۳/۸	۵۵/۱۶	۳۴/۳۶	۴۰/۲۷	۳۹/۹۹	۳۰/۴۹	۶۰/۷۸	۵۹	۵۱/۴۳
C%	۷/۴۲	۵/۷۶	۶/۳۲	۷/۸۵	۵/۸۴	۴/۷۴	۵/۱۳	۷/۶۴	۶/۲۳	۶/۹۳	۹/۲۵
رده	CL	CL	SM	CL	SM	SM	SM	SM	CL	CL	CL
رنگ ظاهری	قهوه‌ای	قهوه‌ای تیره	قهوه‌ای - کم‌رنگ	زرد قهوه‌ای	زرد قهوه‌ای	قهوه‌ای تیره	زرد نخودی	خاکستری	خاکستری تیره	قهوه‌ای	قهوه‌ای
جذب آب	کم	خیلی کم	حالت آبریز	کم	حالت آبریز	حالت آبریز	حالت آبریز	حالت آبریز	کم	کم	کم

جدول ۲: نتایج حاصل از آزمایش کروماتوگرافی گاز- جامد

نمونه	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	نوع ماده نفتی
Carbon	۰	۱۹/۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۲	۵/۴	۰	۰	N-Tetradecane
Carbon	۱۲/۸	۳۹/۲	۴/۶	۴/۵	۴/۱	۵/۶	۶/۸	۷/۲	۱۹/۲	۱۳/۶	۳/۲	N-Hexadecane
Carbon	۱۱/۵	۱۴/۷	۵/۳	۵/۱	۵/۸	۶/۴	۷/۶	۶/۶	۱۳/۲	۱۳/۵	۴/۸	N-Octadecane
Carbon	۱۰/۳	۱۳	۵/۳	۵/۱	۵/۷	۷/۴	۸/۴	۶/۲	۱۱/۵	۱۲/۷	۴/۷	N-Eicosane
Carbon	۹/۴	۶/۹۹	۵/۵	۵/۵	۵/۸	۷/۶	۷/۸	۵/۷	۹/۸	۱۱/۲	۵/۱	N-Docosane
Carbon	۷/۸	۲/۵۱	۶/۳	۶/۴	۶/۴	۷/۸	۸/۶	۰	۹/۴	۹/۳	۰	N-Tetracosane
Carbon	۵/۳	۲/۲۷	۳/۸	۰	۴/۲	۵/۷	۶/۱	۰	۵/۸	۶/۱	۰	N-Hexacosane
Carbon	۰	۱/۳۱	۰	۰	۰	۴/۷	۰	۰	۰	۰	۰	N-Octacosane
غلظت کل (mg/kg)	۵۷/۱	۹۹/۳۸	۳۰/۹	۲۶/۹	۳۲	۴۵/۴	۴۵/۴	۲۵/۹	۷۴/۵	۶۶/۴	۱۷/۹	-

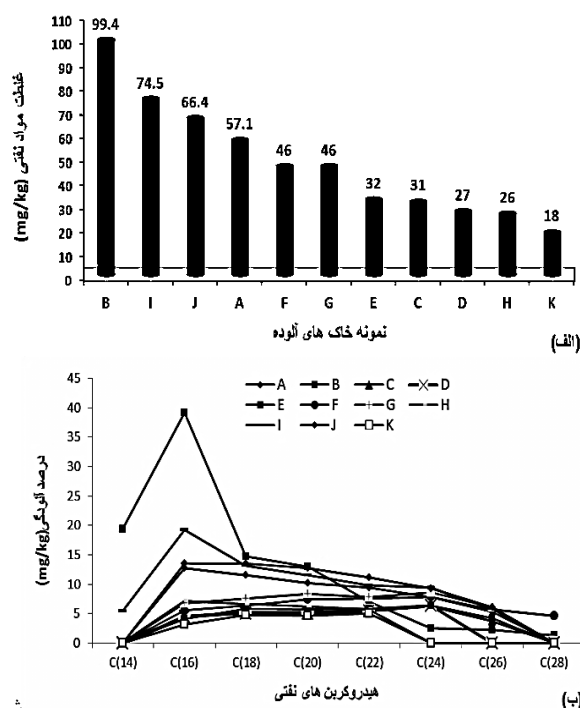
مانده و تغییری در مقدار pH مشاهده نشد، که نشان دهنده توقف واکنش‌های تبادل یونی است. مقادیر pH نمونه‌ها برای مقادیر ۱، ۳ و ۵ درصد وزنی آهک، برای نمونه‌های رسی آلوده (CL) به ترتیب برابر ۱۰/۵۶، ۱۱/۸۷ و ۱۲/۵۲ و برای نمونه‌های ماسه سیلتی آلوده (SM) به ترتیب برابر ۱۰/۱۲، ۱۱/۶۳ و ۱۲/۱۷ به دست آمد. با توجه به این که pH برابر ۱۲/۴ مقدار لازم برای حل شدن سیلیکا و آلومینای خاک و شروع واکنش پوزولانی است [13، 14]. بنابراین نشان دهنده مناسب بودن اضافه کردن آهک بر نمونه‌های آلوده به مواد نفتی برای بهسازی است.

۴-۲ نتایج آزمایش حدود آتبرگ

تأثیر آهک بر خواص خمیری خاک‌ها بستگی به میزان پیشروی واکنش‌های تبادل یونی بین آهک و ذرات رس موجود در خاک دارد. این واکنش جزء واکنش‌های کوتاه مدت است که در همان مراحل اولیه اضافه کردن آهک به خاک اتفاق می‌افتد و باعث تغییر خواص خمیری خاک می‌شود [15]. بنابراین، بررسی تأثیر آهک بر خواص خمیری نمونه‌ها تنها برای دوره عمل آوری یک روزه مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که افزایش زمان عمل آوری به علت پیشرفت واکنش‌های سم‌تاسیونی آهک و خاک تأثیر بیشتری روی خواص خمیری خاک خواهد داشت [14]. این آزمایش تنها روی نمونه‌های رسی آلوده (CL) با خاصیت خمیری انجام شده و روی نمونه‌های ماسه سیلتی آلوده (SM) انجام نشده است. نتایج این تغییرات مطابق جدول ۴ است.

نتایج این آزمایش نشان می‌دهد که با افزودن آهک زنده به نمونه‌های CL، مقدار حدود روانی و خمیری برای نمونه‌های B، I، J، A و ۳ تا ۵ درصد وزنی کاهش یافته و برای ۵ درصد وزنی خاصیت خمیری خود را از دست داده‌اند، ولی برای مقادیر بیش از ۷ درصد وزنی خاصیت خمیری دوباره افزایش یافته است.

در این راستا نمونه‌های D و K برای ۷ درصد وزنی خاصیت خمیری خود را از دست داده‌اند و برای ۹ درصد وزنی، دوباره شاخص خمیری افزایش یافته است.



کل ۲: نمودارهای الف: درصد آلودگی نمونه‌ها و ب: نوع هیدروکربن‌های آلوده کننده

جدول ۳: برنامه آزمایش‌های مهندسی خاک

تعداد آزمایش‌ها	استاندارد انجام آزمایش	نوع آزمایش
۳۳	[7] ASTM E 7097	pH
۳۰	[7] ASTM D4318	حدود آتبرگ
۱۷۶	[7] ASTM D698	تراکم استاندارد
۲۱۶	[7] ASTM D698	مقاومت فشاری تک محوری
۲۱۶	[7] ASTM D3080	برش مستقیم
۶۷۱	مجموع آزمایش‌ها	

است [10]. با توجه به این که شروع واکنش‌های سم‌تاسیون مستلزم حل شدن سیلیکا و آلومینای خاک است، شروع واکنش‌های تبادل یونی pH محیط را افزایش داده و واکنش‌های سم‌تاسیون را ممکن می‌کند [۱۱، ۱۲]. به این منظور، برای اطمینان از تأثیر آهک بر نمونه‌های آلوده به مواد نفتی، بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، pH آن‌ها اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج، مشاهده شد که تا ۵ درصد اضافه کردن آهک pH نمونه‌ها افزایش یافته و با اضافه کردن آهک بیشتر، ثابت

جدول ۴: تغییرات حدود آتربریگ نمونه‌های CL تثبیت شده با آهک زنده برای دوره عمل آوری یک روزه

نمونه حدود آتربریگ	B	I	J	A	D	K
LL ₀ *	۲۴	۲۵/۶	۲۶/۷	۲۸/۸	۳۱/۴	۳۳/۶
PL ₀	۱۴/۳	۱۵	۱۵/۲	۱۶	۱۸/۲	۱۹/۶
PI ₀	۹/۷	۱۰/۶	۱۱/۵	۱۲/۸	۱۳/۲	۱۴
حد روانی						
LL ₁	۲۲/۸۳	۲۴/۲	۲۶	۲۷/۳۲	۳۰/۶	۳۳
LL ₃	۲۲/۳	۲۳/۱۴	۲۵/۳۶	۲۶/۱۲	۲۸/۹۳	۳۱/۶
LL ₅	-	-	-	-	۲۷/۹	۳۰/۸۲
LL ₇	۲۴/۸۲	۲۵/۷	۲۶/۱۵	۲۷/۲۵	-	-
LL ₉	۲۴/۹	۲۵/۷۶	۲۶/۳۲	۲۷/۳	۲۷/۸۳	۲۸/۲
حد خمیری						
PL ₁	۱۳/۶۳	۱۴	۱۴/۸۸	۱۵	۱۷/۷۴	۱۹/۷۴
PL ₃	۱۳/۳۷	۱۳/۴۹	۱۴/۵۶	۱۴/۲۹	۱۷/۱۳	۱۹
PL ₅	-	-	-	-	۱۷	۱۸/۹۶
PL ₇	۱۷/۴	۱۸/۲	۱۸/۳۲	۱۹/۰۵	-	-
PL ₉	۱۷/۲۸	۱۸/۱۳	۱۸/۴۶	۱۹	۱۹/۷۱	۱۹/۹۴
شاخص خمیری						
PI ₁	۹/۲	۱۰/۲	۱۱/۱۲	۱۲/۳	۱۲/۸۶	۱۳/۲۶
PI ₃	۸/۹۳	۹/۶۵	۱۰/۸	۱۱/۸۳	۱۱/۸	۱۲/۶
PI ₅	NP	NP	NP	NP	۱۰/۹۱	۱۱/۸۶
PI ₇	۷/۴۲	۷/۵	۷/۸۳	۸/۲	NP	NP
PI ₉	۷/۶۲	۷/۶۳	۷/۸۶	۸/۳۱	۸/۱۲	۸/۲۶

* اندیس‌ها درصد وزنی آهک می باشد.

درصد وزنی آهک زنده آماده سازی شدند. بعد از آماده سازی، نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی نگاه‌داری شدند و سپس آزمایش برای دوره‌های زمانی ۱، ۷، ۱۴ و ۲۸ روز انجام شد. نتایج این آزمایش در شکل ۳ برای دوره عمل آوری یک روزه آورده شده است. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش مشاهده شد که با افزایش درصد آهک زنده مقادیر وزن واحد حجم خشک بیشینه کاهش و درصد رطوبت بهینه افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که این موضوع برای دوره‌های عمل آوری بالاتر، بیشتر بوده است. این نتایج، با نتایج پژوهشگرانی که روی خاک‌های غیر آلوده مطالعه کردند، مشابهت زیادی دارد. در این راستا می‌توان به نتایج فاتحی و حسنی [۱۸] اوسینوبای و چارلز [۱۹] اشاره نمود.

دلایل تغییرات به وجود آمده در آزمایش‌های تراکم استاندارد را می‌توان این‌گونه بیان کرد، وزن مخصوص سنگ آهک زنده بین

به طور کلی دلایل این تغییرات را می‌توان به این صورت بیان کرد که در نمونه‌های B، I، J و A به دلیل آلودگی بیشتر، مواد نفتی تقریباً سطح تمام ذرات خاک را پوشانده و مانع از پیشرفت واکنش تبادل یونی در درصدهای بالای آهک شده است. بنابراین، خاک در ۵ درصد وزنی آهک زنده ویژگی‌های خمیری خود را از دست داده‌اند و با افزایش بیشتر آهک زنده خاصیت خمیری افزایش یافته است. در این راستا نمونه‌های D و K آلودگی کمتری داشته‌اند و تقریباً تمام ذرات در واکنش تبادل یونی شرکت کرده‌اند که مستلزم آن مصرف درصد وزنی بیشتر از آهک بوده است و با ۷ درصد وزنی آهک زنده خاصیت خمیری خود را از دست داده‌اند [۱۷، ۱۶].

۴-۳ نتایج آزمایش تراکم استاندارد

به منظور انجام این آزمایش، نمونه‌ها با مقادیر ۱، ۳، ۵ و ۷

قابل توجهی در مقادیر مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌ها با اضافه کردن آهک زنده مشاهده گردید. در خاک های رسی (CL) مقادیر مقاومت فشاری تک محوری در نمونه‌های با آلودگی بیشتر از 66 mg/kg یعنی نمونه‌های B, I و J با ۳ درصد وزنی آهک زنده به بیشترین مقاومت فشاری تک محوری رسیده‌اند و با افزایش بیشتر آهک زنده مقاومت فشاری نمونه‌ها حداکثر مقاومت فشاری تک محوری را نشان می‌دهند. در نمونه‌های ماسه سیلتی (SM) بیشترین مقاومت فشاری تک محوری برای ۳ درصد وزنی آهک زنده بوده است. با مقایسه مقادیر مقاومت فشاری تک محوری، نمونه‌های با آلودگی کمتر، بیشترین مقاومت را از خود نشان داده‌اند. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش دوره عمل‌آوری، مقادیر مقاومت فشاری تک محوری رو به افزایش است. به شکل کلی دلایل این نتایج را می‌توان به این صورت بیان نمود که با پیشرفت واکنش تبادل یونی، ذرات تشکیل دهنده خاک مجتمع شده و با تغییر بافت خاک به بافت دانه‌ای موجب اصلاح مقاومت خاک می‌شود [۱۱]. در این راستا در دوره‌های عمل‌آوری بیشتر، با پیشرفت واکنش‌های یونی، pH افزایش یافته و باعث حل شدن سیلیکا و آلومینای خاک و شروع واکنش‌های پوزولانی می‌شود. این واکنش بین آب، آهک و مواد سیلیس و آلومین دار خاک صورت گرفته و باعث تشکیل سیلیکات کلسیم هیدراته (CSH) و آلومینات کلسیم هیدراته (CAH) می‌شود. این ترکیبات با سیمانی کردن ذرات تشکیل دهنده خاک باعث افزایش مقاومت خاک می‌شود [23]. همچنین اضافه کردن آهک موجب افزایش غلظت یون‌های فلزی در خاک شده که به نوبه خود موجب تشکیل ترکیبات هیدروکربنی پایدار با فلز می‌شود و به این ترتیب باعث کاهش میزان آلودگی خاک به مواد نفتی می‌شود [24].

همچنین وجود مواد نفتی و احاطه شدن ذرات خاک با مواد نفتی، کارایی آهک بر بهسازی نمونه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل نمونه‌های B, I و J با ۳ درصد و نمونه‌های A, D و K با ۵ درصد آهک زنده بهسازی شدند. در نمونه‌های سیلتی علاوه بر تاثیر مواد نفتی، به دلیل کمبود سیلیکا و آلومینای کافی، نمونه‌ها با ۳ درصد آهک زنده به بیشترین مقاومت فشاری تک محوری رسیده‌اند.

۳/۱ تا ۳/۳ گرم بر سانتی متر مکعب بوده و در مقایسه با آهک شکفته تغییر حجم بیشتری دارد. تبدیل آهک زنده به آهک شکفته همراه با تغییر وزن مخصوص آن انجام می‌شود، به گونه‌ای که، پس از شکفته شدن، حجم آن افزایش یافته و وزن مخصوص آن به حدود ۲/۲ تا ۲/۴ گرم بر سانتی متر مکعب کاهش می‌یابد. افزایش حجم آهک زنده در اثر آبگیری از یک طرف میزان ذرات در واحد حجم را کاهش داده و از طرف دیگر وزن مخصوص خود آهک نیز کمتر می‌شود و باعث کاهش وزن واحد حجم خشک حداکثر نمونه‌ها می‌شود [۲۰]. همچنین واکنش کاتیونی (جانشینی Ca^{2+} به جای Na^+) باعث تغییر ساختار خاک به ساختار مجتمع می‌شود و اندازه ذرات را افزایش داده و ذرات رس رفتار دانه‌ای نشان می‌دهند. در این حالت نمونه‌ها کمترین تراکم را دارند [21].

در این راستا با گذشت زمان و افزایش pH، سیلیکا و آلومینای خاک حل شده و با آهک زنده واکنش می‌دهد. شروع واکنش‌های سم‌تاسیون باعث تشکیل سیلیکات و آلومینات کلسیم هیدراته (C-A-S-H) شده و تراکم خاک را کاهش می‌دهد [22].

۴-۴ نتایج آزمایش مقاومت فشاری تک محوری

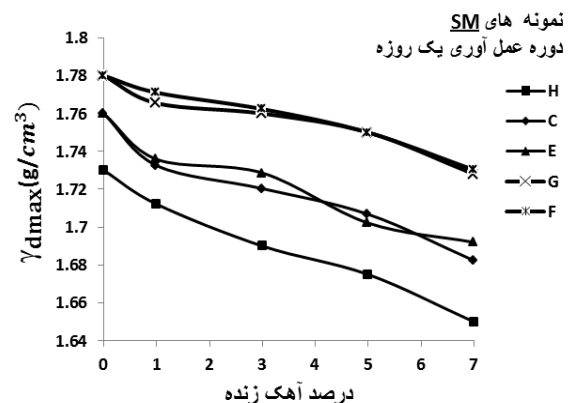
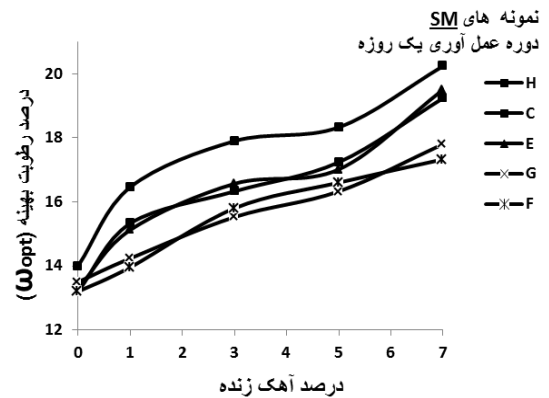
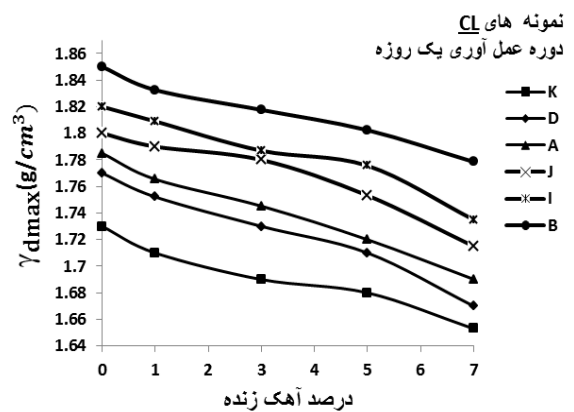
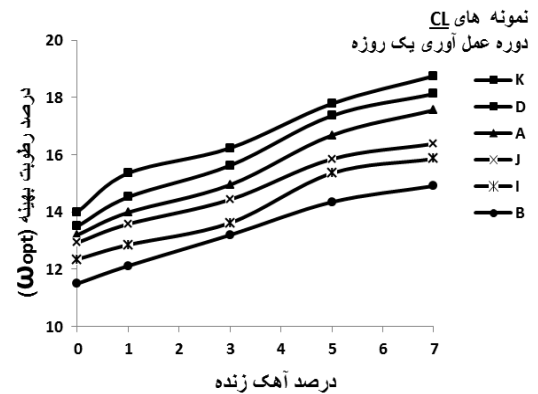
این آزمایش برای مقادیر ۱، ۳، ۵ و ۷ درصد وزنی آهک زنده و برای دوره‌های عمل‌آوری ۱، ۳، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز انجام شده است. آماده سازی نمونه‌ها بر اساس مقادیر وزن واحد حجم خشک بیشترین و درصد رطوبت بهینه به دست آمده از آزمایش تراکم استاندارد روی نمونه‌های آلوده انجام شده است. برای این کار نمونه‌ها در قالب استوانه‌ای آزمایش مقاومت فشاری تک محوری کوبیده شده و در داخل کیسه‌های نایلونی در شرایط آزمایشگاهی برای دوره‌های عمل‌آوری مشخص نگهداری شدند. نتایج این آزمایش‌ها در شکل ۴ برای مقادیر بیشینه مقاومت فشاری تک محوری برای درصدهای مختلف آهک زنده و دوره‌های عمل‌آوری مشخص آورده شده است. همچنین، برای مشخص شدن درصد آهک بهینه، نمودار مقاومت فشاری، بیشینه نمونه‌های آلوده در برابر درصد آهک زنده برای دوره عمل‌آوری یک روزه در شکل ۵ آورده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمایش، افزایش

۴-۵ نتایج آزمایش برش مستقیم

این آزمایش برای مقادیر ۱، ۳، ۵ و ۷ درصد وزنی آهک زنده و دوره‌های عمل آوری ۱، ۳، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز و در شرایط تحکیم نیافته - زهکشی نشده انجام شده است. آماده سازی نمونه‌ها بر اساس مقادیر وزن واحد حجم خشک حداکثر، و درصد رطوبت بهینه به دست آمده از آزمایش تراکم استاندارد بر روی نمونه‌های آلوده انجام شده است. نمونه‌ها پس از گذراندن دوره عمل‌آوری مشخص، مورد آزمایش برش مستقیم قرار گرفتند. نتایج این آزمایش به صورت نمودارهای زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی حاصل از بهسازی نمونه‌های آلوده به مواد نفتی در برابر درصد آهک زنده فقط برای دوره عمل آوری یک روزه در شکل ۶ آورده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمایش، پارامترهای مقاومت برشی (C و ϕ) نمونه‌ها پس از اضافه کردن آهک زنده بهبود یافته و برای دوره‌های عمل آوری مشخص شده در حال افزایش است. درصد بهینه آهک زنده حاصل از آزمایش‌های برش مستقیم همان مقادیر به دست آمده از آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری است. دلایل این موضوع نیز همان دلایلی است که برای مقاومت فشاری تک محوری بیان شد.

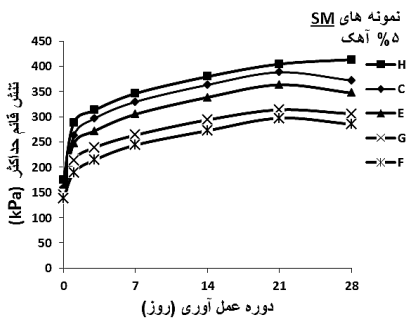
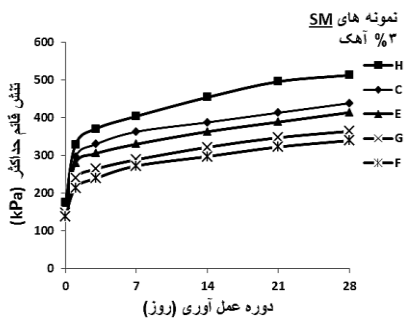
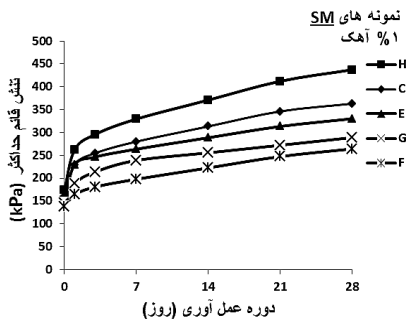
۴-۵ نتایج آزمایش برش مستقیم

این آزمایش برای مقادیر ۱، ۳، ۵ و ۷ درصد وزنی آهک زنده و دوره‌های عمل آوری ۱، ۳، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز و در شرایط تحکیم نیافته - زهکشی نشده انجام شده است. آماده سازی نمونه‌ها بر اساس مقادیر وزن واحد حجم خشک حداکثر، و درصد رطوبت بهینه به دست آمده از آزمایش تراکم استاندارد بر روی نمونه‌های آلوده انجام شده است. نمونه‌ها پس از گذراندن دوره عمل‌آوری مشخص، مورد آزمایش برش مستقیم قرار گرفتند. نتایج این آزمایش به صورت نمودارهای زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی حاصل از بهسازی نمونه‌های آلوده به مواد نفتی در برابر درصد آهک زنده فقط برای دوره عمل آوری یک روزه در شکل ۶ آورده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از

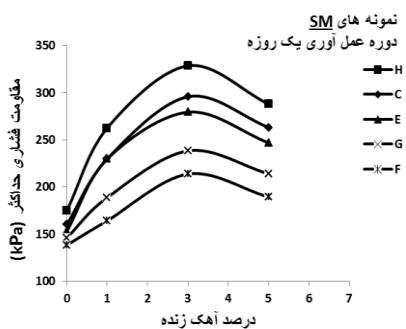
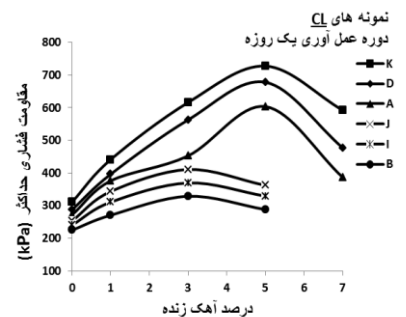
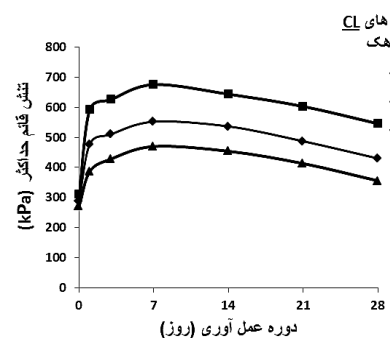
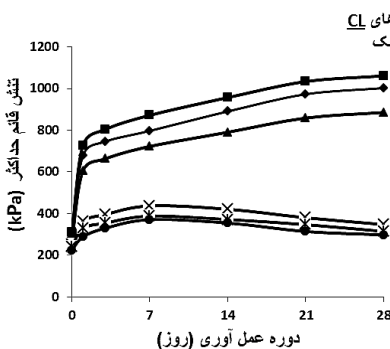
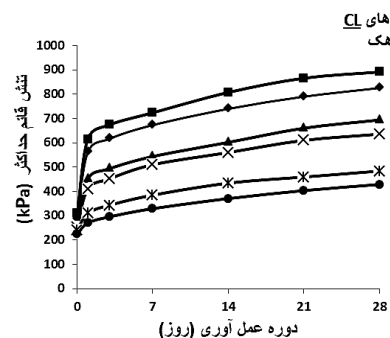
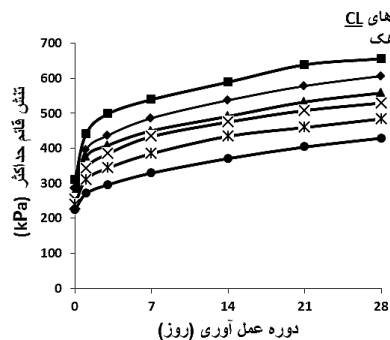


شکل ۳: مقادیر وزن واحد حجم خشک حداکثر و رطوبت بهینه در برابر درصد آهک زنده برای دوره عمل آوری یک روزه

این آزمایش، پارامترهای مقاومت برشی (C و q) نمونه‌ها پس از اضافه کردن آهک زنده بهبود یافته و برای دوره‌های عمل آوری مشخص شده در حال افزایش است. درصد بهینه آهک زنده حاصل از آزمایش‌های برش مستقیم همان مقادیر به دست آمده از آزمایش‌های مقاومت فشاری تک محوری است. دلایل این موضوع نیز همان دلایلی است که برای مقاومت فشاری تک محوری بیان شد.



ب) نمونه‌های ماسه سیلتی (از H به F آلودگی افزایش می‌یابد) شکل ۴: مقاومت فشاری حداکثر نمونه‌های آلوده، بهسازی شده با درصد و دوره عمل آوری مشخص با آهک زنده



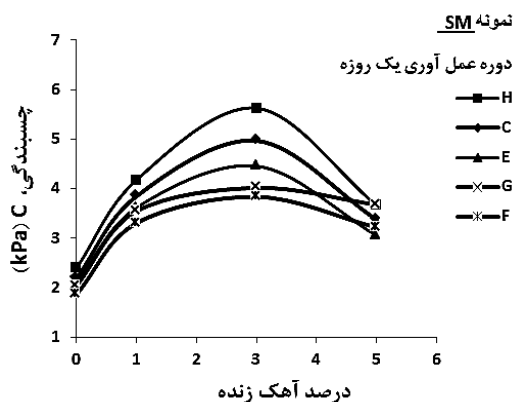
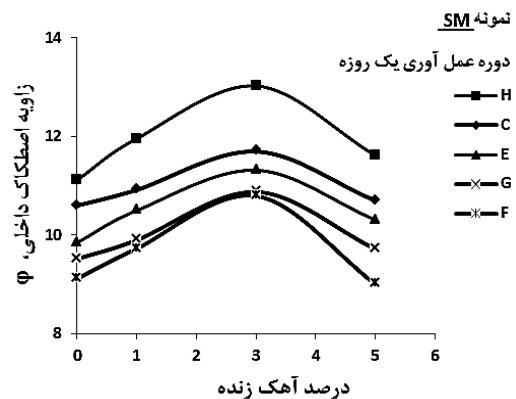
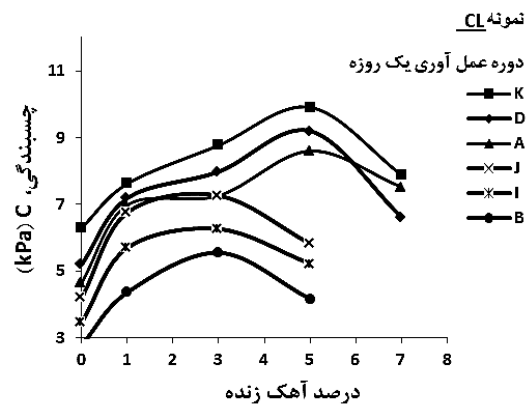
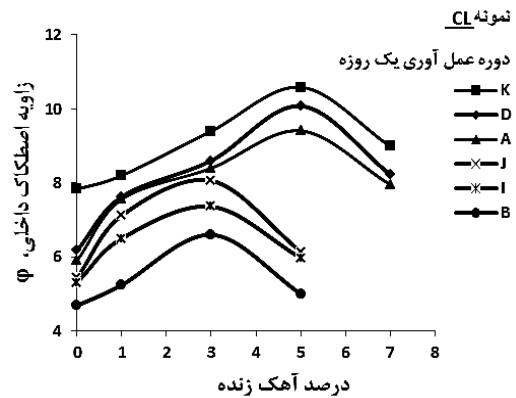
شکل ۵: مقاومت فشاری حداکثر نمونه‌های آلوده به مواد نفتی در برابر درصد آهک زنده برای دوره عمل آوری یک روزه

الف) نمونه‌های رسی (از K به B آلودگی افزایش می‌یابد)

۵- نتیجه گیری

به طور کلی با توجه به نتایج آزمایش‌های صورت گرفته برای بررسی کارایی آهک زنده بر بهسازی خاک‌های آلوده به مواد نفتی در محدوده پالایشگاه تبریز نتایج زیر به دست آمده است:

- با اضافه کردن آهک زنده pH خاک آلوده افزایش یافته و موجب ایجاد شرایط قلیایی در خاک می‌شود. شرایط قلیایی در حل شدن سیلیکا و آلومینای خاک موثر است.
- با افزودن آهک زنده تا ۳ درصد وزنی به نمونه‌های رسی با آلودگی بیشتر، خاصیت خمیری کاهش یافته و بیش از این مقدار آهک، خاصیت خمیری از بین می‌رود. برای نمونه‌های رسی با آلودگی کمتر، مقادیر بیش از ۷ درصد وزنی آهک زنده، باعث حذف خاصیت خمیری خاک خواهد شد.
- با افزایش درصد آهک زنده مقادیر وزن واحد حجم خشک بیشترین کاهش و درصد رطوبت بهینه افزایش یافته است. این تغییرات برای آهک با ۷ درصد وزنی و دوره عمل آوری ۲۸ روز بیشترین این تغییرات را داشته است.
- افزایش قابل توجهی در مقادیر مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌ها با اضافه کردن آهک زنده مشاهده شد. در نمونه‌های رسی مقادیر مقاومت فشاری تک محوری در نمونه‌های با آلودگی بیشتر از ۶۶/۴ mg/kg با ۳ درصد وزنی آهک زنده به بیشترین مقاومت فشاری تک محوری رسیده‌اند، و با افزایش بیشتر آهک زنده مقاومت فشاری تک محوری کاهش یافته است. در این راستا نمونه‌های با کمتر از ۶۶/۴ mg/kg آلودگی، با ۵ درصد وزنی از آهک زنده به بیشترین مقاومت فشاری تک محوری رسیده‌اند. در نمونه‌های سیلتی بیشینه مقاومت فشاری تک محوری در ۳ درصد وزنی آهک زنده به دست آمده است. با مقایسه مقادیر مقاومت فشاری تک محوری نمونه‌های بهسازی شده مشاهده می‌شود که نمونه‌های با آلودگی کمتر، بیشترین مقاومت را از خود نشان داده‌اند. همچنین با افزایش دوره عمل آوری، مقادیر مقاومت فشاری تک



شکل ۶: نمودارهای زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی حاصل از بهسازی نمونه‌های آلوده به مواد نفتی در برابر درصد آهک زنده برای دوره عمل آوری یک روزه

[7] American society for Testing and material, ASTM; "Annual Book of ASTM standards"; Philadelphia, Vol. 4, 08, 2000.

[8] Praisler, M., Gosav, S., Van Bocxlaer, J., De Leenheer, A., Massart, D. L.; "Exploratory analysis for the identification of amphetamines using neural networks and GC-FTIR data"; The Annals of the University Dunarea de Jos, Fascicle II, 2002, pp. 83-96.

[۹] رضانی، ع.، غفاریان، د.، توکلی زاده، م.؛ "بررسی مقاومت فشاری و برخی دیگر از ویژگی‌های ملات شفته آهکی"؛ سومین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۳، ص. ۶۱-۷۴.

[10] Gronney, D., Croney, P.; "Design and performance of road pavement"; McGraw Hill, 1998.

[۱۱] عامری، م.؛ "راهنمای تثبیت لایه‌های خاکریز و روسازی راه‌ها"؛ وزارت راه و ترابری، معاونت آموزشی پژوهشات و فناوری پژوهشکده حمل و نقل، ۱۳۸۴، ۲۴۸ صفحه.

[۱۲] عبدی، م. ر.، و آذرفر، پ.؛ "تاثیر کلرید کلسیم بر مقاومت فشاری و خواص خمیری کائولینیت تثبیت شده با آهک"؛ ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۸۲، ص. ۳۶-۴۵.

[13] Yazici, V. ; "Stabilization of expansive clays using granulated blast furnace slag (GBFS)"; GBFS-Lime Combinations and GBFS Cement, Vol. 29, No. 2, 2004, pp. 147-158.

[۱۴] حیدری، س.، ضیایی موید، ر.، صیادی، م.؛ "شناسایی مشخصات رفتاری خاک‌های شور در منطقه طالقان و تثبیت آن به وسیله آهک مطالعه موردی جاده هشتگرد-طالقان"؛ چهارمین کنفرانس دانشجویان کشور و اولین کنفرانس بین‌المللی عمران، دانشگاه سمنان، ۱۳۸۷.

[15] Grim, R. E.; "Clay mineralogy"; McGraw Hill, New York, 1998.

[16] Bell, F. G., and Coulthard, J. M.; "Stabilization of clay soils with lime"; Engineering Geology, Vol. 7, 1990, pp. 125-140.

[۱۷] بهنیا، ک.، و طباطبایی، ا.؛ "مکانیک خاک"؛ چاپ یازدهم، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۴، ۴۵۷ صفحه.

[۱۸] فاتحی، ب.، حسنی، ا.؛ "ارائه روش بهینه تثبیت خاک-های باتلاقی منطقه پارس جنوبی"؛ هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، ۱۳۸۵، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

[19] Osinubi, K. J.; "Charles M. O., , Compaction delay effects on properties of lime-treated soil"; Journal of

محوری رو به افزایش بوده است.

- پارامترهای مقاومت برشی نمونه‌ها پس از اضافه کردن آهک زنده بهبود یافته و برای دوره‌های عمل آوری مشخص شده در حال افزایش است.
- در پایان نتایج به دست آمده بیانگر کارایی آهک زنده بر بهبود پارامترهای مقاومتی خاک‌های آلوده به مواد نفتی در محدوده پالایشگاه تبریز است.

۶- تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مدیر محترم پژوهش و فن‌آوری پالایشگاه تبریز جناب آقای مهندس رحیم غبرائی و همکاری صمیمانه جناب آقای مهندس محمد کاظم کنگری تشکر و قدردانی می‌شود.

۷- مراجع

[1] Khomehchiyan, M., Charkhabi, A. H., Tajik, M.; "Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils"; Engineering Geology 89, 2007, pp. 220-229.

[۲] محرم زاده سرای، خ.؛ "بررسی اثر آهک بر بهسازی رفتار مهندسی خاک‌های سطحی آلوده شده با مواد نفتی (در محدوده پالایشگاه تبریز)"؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، (به راهنمایی: محمدی، سید داود)، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ۱۳۹۲، ۱۸۰ صفحه.

[۳] طباطبایی، ا. م.؛ "روسازی راه و فرودگاه"؛ انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۹، ۲۳۱ صفحه.

[۴] گلستانی، ا.؛ "بررسی اثر آهک بر بهسازی خاک‌های آلی جنگل شهید زارع ساری"؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، (به راهنمایی: محمدی، سید داود)، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ۱۳۹۱، ۱۹۰ صفحه.

[۵] هاشمی طباطبائی، س.، آقایی، ع.؛ "مقایسه تاثیر آهک زنده و شکفته بر ویژگی‌های ژئوتکنیکی خاک اصلاح شده"؛ فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، سال هفدهم، شماره ۶۷، ۱۳۸۷، ص. ۱۴-۲۱.

[6] Duraisamy, Y., Arsat. K. A., and Gindal, T.; "Laboratory study on mass stabilization using lime and cement binders on tropical peat"; 8th International Congress on Civil Engineering, Shiraz university, 2009, pp. 247-256.

[23] Sanjay, J., Shah, A. V., Shroff, V., Patel, K. C., Ramakrishan, D.; "Stabilization of fuel oil contaminated soil case study"; Geotechnical and Geological Engineering 21, 2003, pp. 415-427.

[24] Rao, S. N., and Rajasekaran, G.; "Reaction products formed in lime-stabilized marine clays"; ASCE J. Geotechnical Engineering, 122(5), 1996, pp. 329-336.

Materials in Civil Engineering, Vol. 18, No. 2, 2006, pp. 250-258.

[۲۰] حامی، ا.؛ "مصالح ساختمانی"؛ چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۱، ۲۰۰ صفحه.

[21] Huat, B. K., Maail, S., Mohamed, T. A.; "Effect of chemical admixtures on the engineering properties of tropical peat soils"; American J. Applied Sci., 2(7), 2005, pp. 1113-1120.

[22] William, A., Wild, S., Richard, J.D.;" Mechanisms by which ground granulated blast furnace slag prevents sulphate attack of lime-stabilized kaolinite"; Cement and Concrete Research, Vol. 29, No. 7, 1999, pp. 975-982.