

تأثیر مواد زائد حاصل از پالایش نفت خام بر برخی ویژگی‌های فیزیکی خاک

پری اسدی‌الاسوند* - احمد حیدری^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۰۴

چکیده

آلودگی خاک و آب‌های زیرزمینی به مواد آلی و سموم یک مشکل شایع زیست محیطی است. در این میان مشتقات نفتی یکی از مهم‌ترین آلوده‌سازهای محیط زیست محسوب می‌شوند. در اثر فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی که بین آلاینده و خاک رخ می‌دهد، رفتار خاک تغییر می‌کند. جهت بررسی برخی از این تغییرات چهار نیمرخ آلوده و دو نیمرخ غیرآلوده مجاور با خاک‌های آلوده با مواد زائد حاصل از پالایش نفت خام مورد مقایسه قرار گرفتند. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی و میکرومورفولوژیکی نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده خاک طبق روش‌های استاندارد بررسی شدند. اثرات قابل توجه مواد آلاینده در خاک شامل کاهش pH و افزایش کربن آلی و قابلیت هدایت الکتریکی می‌باشد. حد روانی و حد خمیری در خاک‌های آلوده به ترکیبات زائد نفتی نسبت به خاک‌های غیرآلوده افزایش یافته است. با افزایش مواد آلاینده در خاک‌های آلوده به نفت، شاخص خمیری کاهش یافت. نتایج میکرومورفولوژی و کانی‌شناسی رس خاک نیز نشان داد افزایش آلاینده در خاک موجب افزایش فضای بین لایه‌ای کانی‌های خاک می‌گردد. بعلاوه ثابت دی الکتریک پایین نفت، نه تنها خاک دیسپرس نشده بلکه باعث فلوکوله شدن و تشکیل خاکدانه‌های گرانولار شده است. خاک‌های مورد مطالعه از نظر شاخص فعالیت کانی‌های رسی، غیرفعال بود. نتایج نشان داد این خاک‌ها حتی جهت بهره‌برداری جنبی دارای محدودیت هستند بطوری که در خاک‌های آلوده به نفت بدلیل محدوده کمی که بین حد خمیری و روانی وجود دارد امکان لغزنده شدن آن‌ها سریع‌تر از خاک‌های غیرآلوده است و باید از ساخت و ساز اجتناب شود.

واژه‌های کلیدی: حدود اتربرگ، خاک‌های آلوده، میکرومورفولوژی

مقدمه

خاک‌های سالم، خاک‌های آلوده به نفت را از جای خود انتقال داده و در امور جاده‌سازی و یا ساختن پارکینگ برای ماشین‌ها استفاده می‌کنند. ولی در اغلب موارد به ناچار اقدام به اصلاح خاک‌های آلوده نموده و پس از رفع یا کاهش آلودگی برای اهداف جنبی و منطقه‌ای استفاده می‌شوند (۳). برای بهره‌برداری صحیح از چنین خاک‌هایی لازم است که ویژگی‌های و رفتار فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن‌ها بیشتر و دقیق‌تر مطالعه شود. پیچیده بودن محیط خاک و ویژگی‌های بسیار متنوع اجزاء تشکیل دهنده آن (موجودات زنده، ترکیبات آلی و معدنی، نوع کانی‌های سازنده و تخلخل و نفوذپذیری، قابلیت انتقال آلاینده‌ها در خاک، ساختمان خاک، تراکم) همگی موجب بروز رفتار و عکس‌العمل‌های متفاوت خاک‌های آلوده در مقابل آلاینده‌های نفتی و میزان جذب و سهولت تحرک آن‌ها در خاک می‌شود. مطالعه این ویژگی‌های و شناسایی نحوه برهم‌کنش آن‌ها با آلاینده‌ها مبنای مدیریت صحیح و علمی چنین خاک‌هایی را فراهم می‌آورد. وجود ترکیبات نفتی در محیط زیست هم باعث تخریب اراضی و ایجاد ظاهر نامناسب و هم سبب ایجاد بیماری‌های گوناگون در انسان و سایر

ترکیبات نفتی گروهی از مواد آلی هستند که به‌صورت آلاینده‌های محیطی وارد محیط زیست شده‌اند. گسترش جهانی بهره‌برداری از منابع نفتی در صنایع مختلف، حمل و نقل، مصارف خانگی تقریباً در کلیه جوامع اعم از کشورهای تولیدکننده و مصرف‌کننده، پیشرفته و در حال توسعه امری اجتناب‌ناپذیر است. همگام با توسعه بهره‌برداری از منابع نفتی، آلودگی‌های ناشی از آن (اعم از مواد زائد فرایندهای پالایش، مواد زائد مصرفی، نشت از مخازن و منابع ذخائر، تصادفات و غیره) هم گسترش یافته و موجبات ایجاد نگرانی و تخریب محیط زیست را فراهم آورده است (۱۷). با توجه به توسعه آلودگی‌ها، پاکسازی مناطق آلوده نیز به یک امر ضروری تبدیل شده است. در برخی موارد برای کاهش و یا رفع آلودگی‌ها، به جای استفاده از

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار دانشکده فناوری و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
* - نویسنده مسئول: (Email: pasadi@ut.ac.ir)

مواد آلی و رس‌ها بر هم اثر می‌گذارند مواد آلی به خاکدانه‌ها ملحق می‌شوند و در نتیجه ویژگی‌های آن‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند. مطالعات محدودی در ارتباط با خواص فیزیکی و شیمیایی خاک‌های آلوده به نفت در شرایط طبیعی انجام شده است. الساناد و همکاران (۳) در کارهای آزمایشگاهی خود سعی کردند اثر آلودگی‌های نفتی و مدت زمان آلودگی را بر روی ویژگی‌های فیزیکی و رفتار خاک‌های ماسه‌ای کویت بررسی کنند. آن‌ها ماسه‌ها را بطور مصنوعی با درصد‌های متفاوتی از نفت مخلوط کردند و اثر آلودگی نفتی را بر روی پارامترهای نیروی برشی، تراکم‌پذیری و نفوذپذیری بررسی کردند. تراکم‌پذیری دو نوع خاک ریز دانه، یکی دارای رس با خمیری بالا و دیگری با رس دارای خمیری پایین نیز توسط میگودا و رانتانورا (۱۶) بررسی گردید. در این مطالعه نمونه‌ها به طور مصنوعی با گلیسرول و پروپانول تلقیح شدند و فاکتورهای فیزیکوشیمیایی و مکانیکی اندازه‌گیری شده، نشان داد که تراکم‌پذیری در این خاک‌ها افزایش یافت. خامه‌چیان و همکاران (۱۳) نیز با افزودن ۲، ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ درصد نفت خام به خاک‌های با بافت مختلف به این نتیجه دست یافتند که با افزایش مقدار نفت در نمونه‌ها، نیروی برشی، نفوذپذیری، چگالی خشک حداکثر، مقدار مطلوب آب و حدود اتربرگ کاهش یافتند. در مطالعات فوق شرایط ورود نفت خام به خاک بطور آزمایشگاهی انجام شده است هرچند سعی بر آن بوده است که به شرایط طبیعی نزدیک باشد.

نیاز به مطالعات جامع و همه جانبه در شرایط طبیعی بر روی ترکیبات نفتی وارد شده به محیط زیست کاملاً ملموس است تا بتوان از طریق این نتایج واقعی اثرات مواد نفتی در خاک را بیشتر مورد بررسی قرار داد و در صورت نیاز به اصلاح این اراضی، اطلاعات کافی در مورد ویژگی‌های آن‌ها در خاک و انجام عملیات و طریقه برخورد با آن‌ها وجود داشته باشد. از آنجایی که اراضی آلوده به نفت از نظر کاربری کشاورزی تقریباً غیرقابل بهره‌برداری هستند و در صورت نیاز جهت عمران و ساختمان سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند، نتایج این تحقیق همچنین می‌تواند کمکی به تحقیقات مهندسی در بررسی رفتار خاک در حضور ترکیبات نفتی و بیان کاهش مقاومت خاک در حضور مقادیر زیاد این ترکیبات و عدم ساختمان سازی در این اراضی می‌باشد.

هدف این مقاله بررسی تاثیر مواد زائد پالایشگاهی نفت خام بر ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های آلوده شده با این مواد در دوره زمانی طولانی با بافت‌ها و درصد‌های آلودگی نفتی متفاوت در شرایط طبیعی و مقایسه آن با نمونه خاک منطقه مجاور غیرآلوده می‌باشد. علاوه بر این امکان استفاده از این ویژگی‌های در اصلاح و بهره‌برداری از این خاک‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

موجودات زنده می‌شوند (۱۷). به همین دلیل نیاز به انجام مطالعات بیشتر در این زمینه احساس می‌شود. بطور کلی مطالعات وسیعی جهت پاکسازی اراضی آلوده به نفت، بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی توسط این ترکیبات (۹) و اثرات مواد نفتی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی مانند حدود اتربرگ توسط عده‌ای از محققین داخلی و خارجی صورت گرفته است که در زیر به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌گردد. اما تعداد وسیعی از این مطالعات در شرایط مصنوعی و تعبیه شده توسط خود افراد انجام شده است که شاید انطباق نتایج به دست آمده از این شرایط با شرایط طبیعی در محیط کمی سخت باشد چون در محیط واقعی اثرات متقابلی از عوامل مختلف وجود دارد که روی سایر ویژگی‌های خاک اثر می‌گذارد.

بسته به میزان رطوبت موجود، خاک می‌تواند چهار حالت مختلف (جامد، نیمه‌جامد، خمیری و روان) داشته باشد. در هر یک از حالات، پایداری و رفتار خاک و در نتیجه ویژگی‌های مهندسی آن متفاوت است. بنابر این می‌توان مرز بین هر حالت با حالت دیگر را بر اساس تغییر در رفتار خاک تعریف نمود. برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک (از قبیل حد روانی (LL)، حد خمیری (PL)، شاخص روانی (۱) $LI = \frac{(W-PL)}{(LL-PL)}$ ، مقدار رطوبت در شرایط طبیعی است)، شاخص خمیری (۲) $PI = (LL - PL)$ و فعالیت (۳) $A = \frac{PI}{Clay\%}$ در بیان رفتارهای مهندسی خاک بسیار حائز اهمیت می‌باشند (۱۸). حدود اتربرگ شامل حد خمیری (۴)

(۱۰) $\left(\frac{\text{رطوبت حد شکل پذیری}}{\text{وزن خاک خشک}} \right) * 100$ ؛ حد روانی (۵)

و $LL = \theta m \left(\frac{N}{25} \right)^{0.12}$ که (۶) $\left(\frac{\text{رطوبت حد روانی}}{\text{وزن خاک خشک}} \right) * 100$

N تعداد ضربات لازم است (۱۸).

ثبات و پایداری ساختمان خاک به تغییرات تنش‌های محیطی و محیط شیمیایی، حساس می‌باشند. وقتی رس‌های معمولی در اثر تغییرات فیزیکی و شیمیایی (نیمه پایدار شدن ساختمان، سیمانی شدن، هوادهی، آبشویی، تبادل یون، و تغییر در نسبت کاتیون‌های یک ظرفیتی به دو ظرفیتی، تشکیل و افزایش عوامل جدا کننده ذرات خاک) به رس‌های حساس یا رس‌های فعال (دارای بار الکتریکی و سطح ویژه بالا) تبدیل می‌شوند، حد روانی، شاخص خمیری و فعالیت آن‌ها کاهش می‌یابد. نتیجه این تغییرات افزایش شاخص روانی و تنش موثر می‌باشد. حد روانی رس‌های بسیار فعال معمولاً کمتر از ۴۰ درصد است و به ندرت به بیش از ۵۰ درصد می‌رسد. حد خمیری نیز معمولاً حدود ۲۰ درصد است و فعالیت بسیاری از کانی‌های رسی غیر آلی حدود ۰/۵ تا ۱ می‌باشد در حالی که در رس‌های فعال این عدد به ۰/۱۵ کاهش می‌یابد (۱۸).

ترکیبات آلی اثرات شگرفی بر ویژگی‌های رس‌ها دارند. همچنان‌که

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه با مساحتی معادل ۶۰ هکتار در پالایشگاه نفت تهران بین ۳۵ درجه و ۳۰/۲۹۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۰/۸۱۴ دقیقه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۲۵/۶۸۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۶/۲۹۶ دقیقه طول شرقی واقع در جنوب تهران قرار دارد. نمونه‌برداری خاک‌های آلوده و غیر آلوده از محوطه اطراف پالایشگاه نفت تهران، که لاگون‌هایی برای دفع مواد زائد پالایشگاهی ایجاد شده و مواد زائد در درون آن‌ها دفع می‌شود تا مقادیری از آن‌ها تبخیر شده و مابقی در

درون خاک نفوذ یابد انجام گرفت. دفع مواد زائد در این لاگون‌ها حداقل در طی ۲۰ سال اخیر ادامه داشته و مدت زمان کافی برای به تعادل رسیدن مواد نفتی با خاک و محیط مجاور وجود داشته است. بدین منظور ۴ پروفیل آلوده به نفت (پروفیل‌های شماره ۱، ۳، ۴ و ۶) دارای ترکیبات زائد نفتی مشابه با درجه آلودگی متفاوت و ۲ پروفیل غیر آلوده (پروفیل‌های شماره ۲ و ۵) در مجاور آن‌ها با موقعیت زمین‌شناسی یکسان حفر گردیدند (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در نقشه

Figure 1- Location of the studied area

اشباع به ترتیب توسط دستگاه EC متر و pH متر (۲۷)، گچ به روش استون، کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری، و سدیم و پتاسیم به روش فلیم فتومتری، کلر به روش تیتراسیون با نیترات نقره، کربنات و بی‌کربنات به روش تیتراسیون با اسید سولفوریک، سولفات به روش استون (۲۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (۴) و درصد رطوبت اشباع با استفاده از گل اشباع اندازه‌گیری شدند. حدود اتربرگ براساس روش مک برد (۱۵)، آنالیزهای کانی‌شناسی براساس روش دکارتو (۷) تهیه گردید، دیفراکتوگرام‌های مربوط به لام‌های تهیه شده توسط دستگاه X-Ray، D5000 زیمنس تهیه و تجزیه و تحلیل آن‌ها به

نمونه‌های دست‌خورده و دست‌نخورده خاک از افق‌های مختلف برداشته شده و جهت انجام آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. پس از آماده سازی نمونه‌ها و عبور دادن آن‌ها از الک ۲ میلی‌متری آزمایش‌های لازم روی آن‌ها انجام گرفت. بافت خاک به روش‌های هیدرومتري (۸) و با پوشش کلرید باریم (۱۱) اندازه‌گیری شد. جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه (۱۰) و کربن آلی به روش والکلی و بلاک (۳۲) اندازه‌گیری شد و مواد آلاینده نفتی از روی مقدار کربن آلی به دست آمده برآورد گردید، آهک به روش کلسیمتری (۲۰)، قابلیت هدایت الکتریکی و pH در عصاره

جدول ۱ - طبقه‌بندی خاک‌های مورد مطالعه به روش (USDA, 2011) و (WRB, 2006) و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های منتخب مورد مطالعه
Table1-classification of studied soils according to USDA (2011) and WRB (2006) and Physicochemical properties of the studied pedons

عمق (cm)	افق	ساختار	تخلخل	چگالی خاکام	چگالی خاک (g/cm ³)	کربن آلی (OM) (%)	ماده آلی (C _{org}) (%)	عماره آلی (SF) (%)	قابلیت تبادل الکتریکی (EC) (mS/cm)	قابلیت هایت الکتریکی (pH)	واکنش خاک	کاتیون‌ها و آنیون‌ها معماره آلی (Saturated Extract Anions & Cations meq/l)	نسبت جذب SAR	ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC) (cmol/kg)	جیب			
Depth (cm)	Horizon	structure	Porosity (%)	(g/cm ³)	(g/cm ³)	OM (%)	C _{org} (%)	SF (%)	EC (mS/cm)	pH	کاتکس	Ca ²⁺ Mg ²⁺ K ⁺ Na ⁺ Cl ⁻ HCO ₃ ⁻ SO ₄ ²⁻	SAR	CEC (cmol/kg)	جیب			
0-18	Ap	Massive+leakb	47.55	1.39	14.84	10.65	49.04	8.56	6.97	7.71	6.97	37.25	21.00	27.30	90.86	1.03		
18-30	AC	Massive+leakb	48.87	1.36	17.42	6.17	52.79	8.67	7.71	7.81	7.81	37.25	21.00	27.30	90.86	1.03		
30-70	Cy1	Massive+leakb	45.66	1.44	20.32	5.42	50.74	6.83	7.81	8.05	8.05	19.75	22.00	8.30	51.99	1.52		
70-120	Cy2	Massive	54.34	1.21	18.38	2.76	57.72	6.83	8.05	8.05	8.05	22.25	25.50	8.80	47.02	1.46		
0-10	Ap	Massive	45.47	1.45	12.90	9.60	42.29	5.60	7.55	7.55	7.55	31.25	6.50	16.30	80.06	2.62		
10-28	AC	Massive	37.36	1.66	18.06	7.45	66.89	5.02	7.88	7.88	7.88	30.00	42.75	7.50	5.80	67.54	1.88	
28-43	C1	Massive	-	1.6	19.67	8.00	58.94	4.87	7.80	7.80	7.80	10.49	24.75	38.25	3.75	4.30	58.99	1.87
43-70	C2	Massive	43.40	1.50	17.74	8.82	49.43	5.97	7.72	7.72	7.72	15.45	19.50	54.25	6.50	3.50	70.32	2.54
0-20	Ap	Massive	50.19	1.32	14.84	0.50	36.35	3.86	7.96	7.96	7.96	20.75	10.25	4.25	0.50	42.08	4.56	
20-40	By	Massive	45.70	1.44	15.16	0.17	48.68	8.49	8.10	8.10	8.10	16.50	21.00	23.50	3.20	70.33	14.26	
40-67	Bk	leakb	49.25	1.35	17.09	0.08	61.36	20.00	8.57	8.57	8.57	17.14	20.00	50.50	4.30	190.83	50.48	
67-120	2Bk	leakb+leakb	58.11	1.04	24.51	0.08	39.20	8.31	8.31	8.31	8.31	17.50	8.75	60.00	2.50	193.00	64.01	

leakb: l = grade, c = size and abk = shape of structural units

کمک نرم‌افزار Spectrom Viewer و FitYK انجام شد. مقاطع میکرومورفولوژیکی توسط میکروسکوپ پلاریزان (Olympus) petrological microscope در نور عادی (PPL) و نور پلاریزه (XPL) براساس روش استویس (۲۹) آنالیز گردیدند (۲۱).

نتایج و بحث

پس از اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ۳۰ نمونه خاک تهیه شده از پروفیل‌های مورد مطالعه ۲۴ نمونه از آن‌ها (شامل یک پروفیل غیرآلوده و دو پروفیل آلوده به مواد زائد پالایشگاهی) که نماینده کل نمونه‌ها بودند برای آزمایش‌های تکمیلی انتخاب شده و ویژگی‌های فیزیکی خاک در آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مربوط به طبقه‌بندی خاک‌های مورد مطالعه به روش (USDA, 2010) (۳۱) و (WRB, 2006) (۳۳) و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده نمونه‌های منتخب مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود خاک‌های مورد مطالعه با دو روش آمریکایی و جهانی طبقه‌بندی شده‌اند در دو نمونه خاک آلوده به نفت بلورهای گچ به مقدار بیش از ۵ درصد در صحرا تشخیص داده شدند و وجود آنیون غالب سولفات در محلول عصاره اشباع نیز موید آن می‌باشد لیکن در اندازه‌گیری گچ به روش استون میزان گچ نسبتاً پایین برآورد شده است که می‌تواند مربوط به اشکالات روش استون در تعیین گچ نسبت داده شود. با توجه به محرز بودن وجود افق جیبسیک در تشخیص صحرائی و وجود افق کلسیک همراه آن در پروفیل خاک‌های فوق در روش (USDA, 2010) در زیر گروه Typic Calcigypsis و Fluventic Aquicambids در رده‌بندی (WRB, 2006) تحت عنوان Calcaric, Toxic, Humic طبقه‌بندی شدند. در حالی که خاک غیرآلوده مورد مطالعه در رده‌بندی (USDA, 2010) و (WRB, 2006) به ترتیب تحت عنوان Sodic Haplocalcids و Salic Solonetz (Aridic) طبقه‌بندی شدند.

در مقایسه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی پروفیل‌های آلوده به نفت (پروفیل ۳ و ۴) با پروفیل غیرآلوده (پروفیل ۵) آنچه مشهود است برآورد بسیار زیاد مواد آلی در آن‌ها در مقایسه با پروفیل غیرآلوده است که این روند از سطح خاک تا اعماق ادامه دارد و حاکی از نفوذ عمقی مواد آلاینده بوده و احتمال رسیدن آن‌ها به منابع آب‌های زیرزمینی را نشان می‌دهد؛ که در مواردی هم موجب ایجاد آلودگی‌هایی در آب‌های زیرزمینی منطقه شده است (۹). قابلیت هدایت الکتریکی (EC) خاک‌های آلوده در افق‌های سطحی نسبت به خاک غیرآلوده، افزایش نشان می‌دهد که می‌تواند مربوط به افزایش املاح محلول موجود در مواد آلاینده و تجمع آن‌ها در سطح خاک باشد.

که می‌تواند ناشی از وجود ترکیبات آلی حاوی هیدروژن قابل تفکیک در مواد زائد پالایشگاهی باشد (۱۴). ظرفیت تبادل کاتیونی خاک نیز در پروفیل‌های آلوده نسبت به پروفیل غیر آلوده افزایش نسبی نشان داده است. هرچند اختلاف بین دو خاک آلوده نیز قابل توجه می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۲ برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

در عین حال قابلیت هدایت الکتریکی در اعماق زیادتر خاک‌های آلوده بسیار کمتر از خاک غیرآلوده بوده و نوع کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آن‌ها نیز به خوبی گویای تاثیر مواد آلاینده بر خاک می‌باشد. نسبت جذب سدیم (SAR) در خاک‌های آلوده همواره کمتر از ۱۰ است در حالی که در اعماق خاک غیرآلوده مجاور آن‌ها به بیش از ۶۰ افزایش یافته است. همچنین در خاک‌های آلوده مقدار آنیون بی‌کربنات به شدت افزایش پیدا کرده است. pH در خاک‌های آلوده نسبت به خاک غیر آلوده به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی خاک‌های مورد مطالعه (پروفیل شماره ۳ و ۴ (آلوده) و پروفیل ۵ (غیرآلوده))

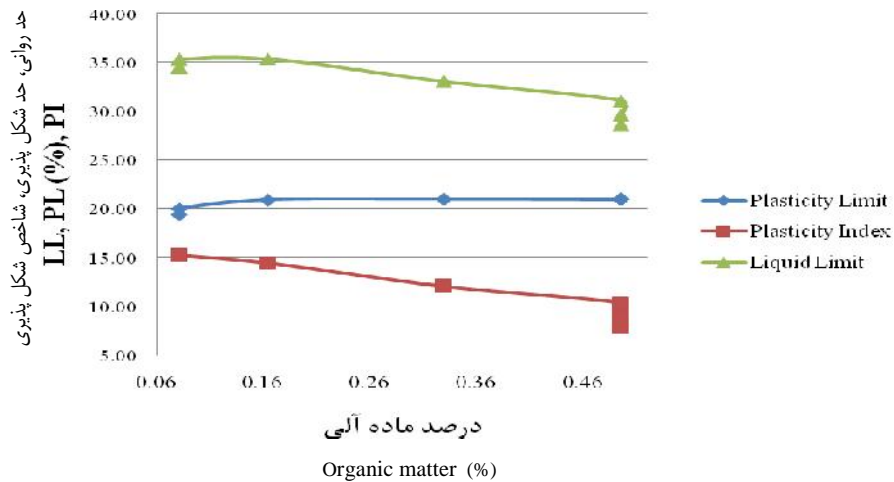
Table 2- Some of physical properties of studied soil (profile 3 and 4 (polluted)- profile 5 (unpolluted))

شماره پروفیل Profile. N	عمق Depth (cm)	درصد رس Clay (%)	فعالیت A ^a	شاخص روانی LI [#]
پروفیل ۳ Profile 3	0-18	12.16	0.06	3
	18-30	10.16	0.80	0.84
	30-70	12.16	0.84	1.15
	70-120	10.72	0.59	1.20
پروفیل ۴ Profile 4	0-10	14	0.23	0.68
	10-28	30	0.52	0.94
	28-43	32.72	0.44	0.96
	43-70	18.27	0.40	0.86
پروفیل ۵ Profile 5	0-20	21	0.33	0.95
	20-40	38	0.38	0.88
	40-67	28.72	0.53	0.92
	67-120	42.16	0.36	0.92

[#]LI=Liquid index; ^aA=Activity

پروفیل‌های ۴ و ۵ می‌باشد که این افزایش در مقدار ظرفیت تبادل کاتیونی باعث افزایش حد شکل‌پذیری خاک این پروفیل شده است. این در حالی است که درصد رس پروفیل ۳ کمتر از پروفیل ۴ بوده ولی حد شکل‌پذیری بالاتری دارد. حد شکل‌پذیری با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی و مواد آلی افزایش نشان می‌دهد اما با مقدار رس خاک همبستگی نشان نداد، این بدین معنی است که در حد شکل‌پذیری، مینرالوژی خاک مهم‌تر از محتوای رس خاک می‌باشد (۲۶). در پروفیل ۵ حد شکل‌پذیری با افزایش ماده آلی ابتدا افزایش یافته و سپس کاهش می‌یابد که روندی مانند حد روانی در خاک‌های آلوده دارد.

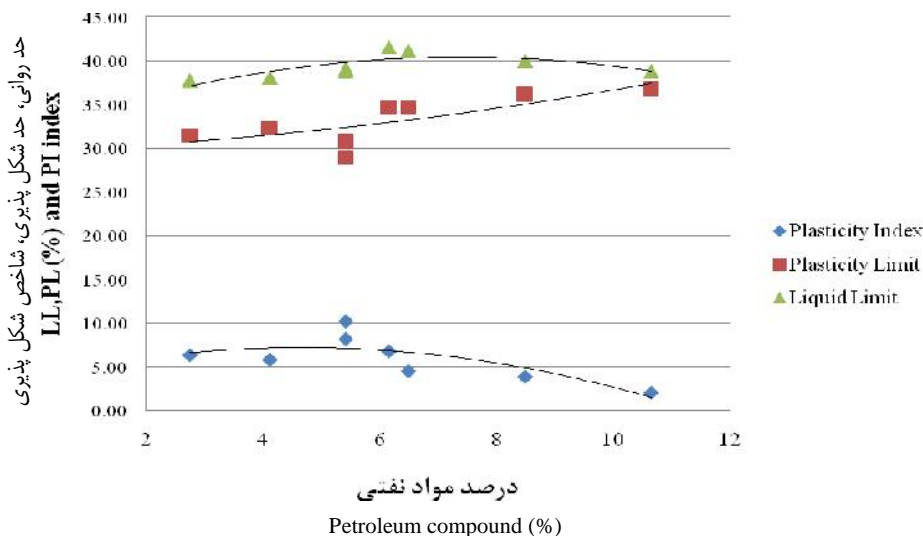
با توجه به (شکل‌های ۱ و ۲)، حد شکل‌پذیری در خاک‌های نفتی بیشتر از خاک شاهد می‌باشد و با افزایش درصد نفت در خاک‌های آلوده به نفت، حد شکل‌پذیری نیز افزایش می‌یابد. حد شکل‌پذیری رابطه خیلی قوی با مقدار ماده آلی دارد. این امر به علت افزایش فضای بین لایه‌ای در رس‌ها است که در مورد حد روانی توضیح داده می‌شود. همچنین با توجه به معادله‌ای که توسط کتی و همکاران (۵) ارائه گردید، حدود آتربرگ می‌توانند متأثر از عواملی مانند مقدار آب هیگروسکوپ، ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان رس خاک باشند. ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد رس بیشترین همبستگی را با حدود آتربرگ دارند. ظرفیت تبادل کاتیونی در پروفیل ۳ بیشتر از



شکل ۱- رابطه بین حدود اتبرگ و درصد ماده آلی پروفیل ۵ (پروفیل شاهد)
 Figure 1- correlation between atterberg limit and organic matter in profile 5

ماده آلی کم (کمتر از ۱۰ درصد) شاخص شکل پذیری خاک به تدریج افزایش می‌یابد و با افزایش بیشتر در ماده آلی، در شاخص شکل پذیری روند کاهشی مشاهده می‌گردد. این محدوده در خاک‌های ما، حدود ۶ درصد است و ممکن است در خاک‌های دیگر نیز متفاوت باشد. در پروفیل شاهد حد روانی و شاخص شکل پذیری روند کاهشی دارند و حد شکل پذیری ابتدا با افزایش ماده آلی افزایش می‌یابد که به خاطر افزایش فضای بین لایه‌ای کانی‌ها در ابتدای ورود نفت است و سپس کاهش می‌یابد زیرا نفت همه منافذ خاک را پر کرده و مقدار آب ورودی کاهش می‌یابد.

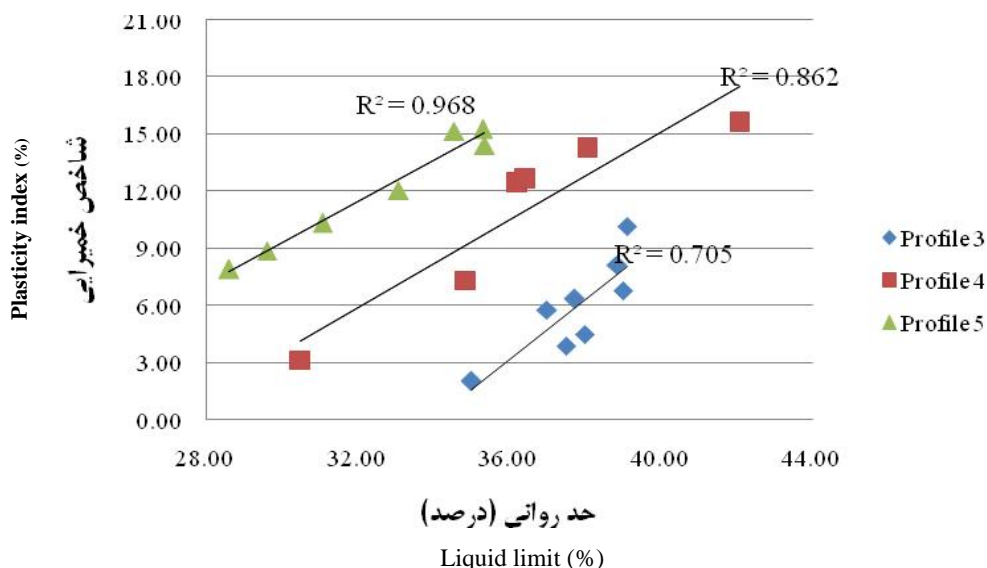
وجود آلاینده‌های نفتی در خاک باعث افزایش حد شکل پذیری و روانی می‌گردد به نحویکه حد روانی و شاخص شکل پذیری با افزایش ماده آلاینده ابتدا روند افزایشی داشته و سپس روند کاهشی نشان می‌دهند اما حد شکل پذیری روند عکس آن‌ها را طی می‌کند (شکل ۲). عبدالله و همکاران (۱) به این نتیجه رسیدند که در حضور ماده آلی کمتر از ۱۵ درصد ذرات خاک فلکوله می‌شوند ولی افزایش ماده آلی به مقادیر زیادتر باعث مجزا شدن ذرات خاک می‌گردد و سطح ویژه خاک افزایش می‌یابد. این افزایش در سطح ویژه همراه با افزایش در ماده آلی باعث افزایش در حد شکل پذیری خاک می‌گردد. در حضور



شکل ۲- رابطه بین حدود اتبرگ با درصد مواد آلاینده در پروفیل آلوده به نفت (R² از بالا به پایین: ۰/۳۳ - ۰/۵۷ - ۰/۴۵)
 Figure 2- correlation between atterberg limit and pollutant matter in polluted profile

یعنی با افزایش حد سیلان، شاخص شکل پذیری به سمت صفر تمایل پیدا می کند. تفاوت شاخص شکل پذیری میان دو خاک آلوده را می توان به تفاوت در نوع و مقدار کانی های موجود، مقدار مواد آلاینده، مقدار گچ و نوع کاتیون های تبادلی نسبت داد.

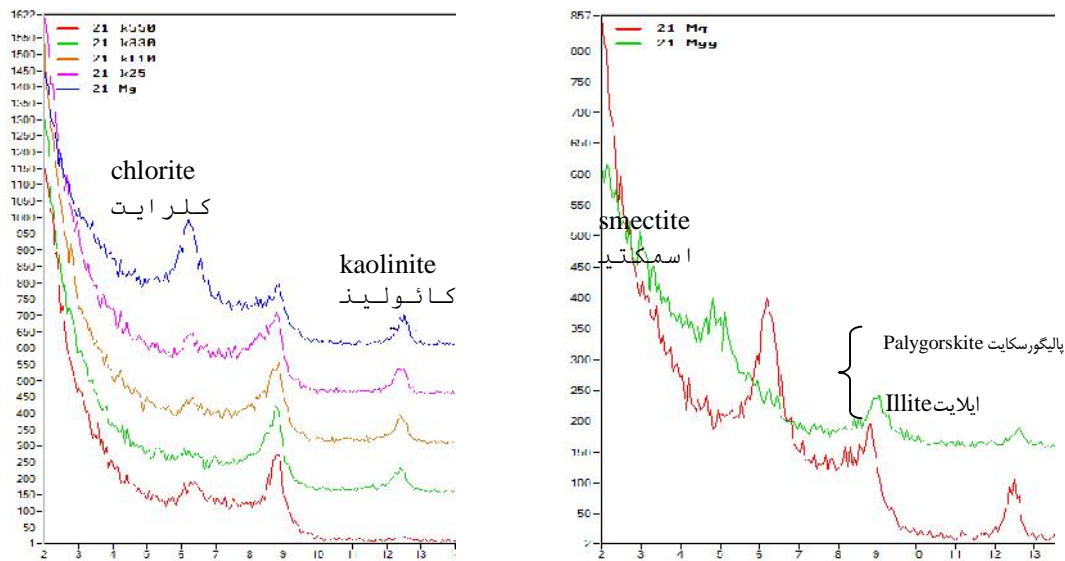
شکل ۳ همبستگی مثبت شاخص شکل پذیری را با حد روانی در نمونه های خاک سه پروفیل مورد مطالعه نشان می دهد. مقایسه نمودارها نشان می دهد که خاک غیر آلوده در شاخص شکل پذیری معین مقدار رطوبت کمتری دارد در حالی که در خاک های آلوده در همان شاخص شکل پذیری مقدار رطوبت بالاتری در خاک وجود دارد.



شکل ۳- رابطه بین شاخص خمیری و حد روانی در خاک های آلوده به نفت (پروفیل ۳ و ۴) و خاک غیر آلوده (پروفیل ۵)
 Figure 3- correlation between plasticity index and liquid limit in polluted profiles (3 and 4) and unpolluted profile (5)

نفوذ می کند، اسمکتیت نفت را جذب کرده و با ورود نفت به فضای بین لایه ای کانی، کانی انبساط می یابد. در نمونه های پودری پروفیل های آلوده به نفت در تیمارهای دمایی ۲۵ و ۵۰ و ۱۰۰ درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار گرفتند و نتایج نشان داد که با افزایش حرارت، نفت موجود در فضای بین لایه ای رس ها خارج شده و پیک های موجود در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد، در تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ درجه به پیک های با d-spacing کوچک تر تبدیل شدند. این موضوع بیانگر آن است که مقادیر قابل توجهی نفت در فضای بین لایه ای رس های آلوده به نفت وجود دارد. به عبارت دیگر کانی های رسی موجود در خاک قابلیت نسبتاً زیادی در حفظ و نگهداشت آلاینده های نفتی دارند (دیفراکتوگرام های مربوط به نمونه های پودری در مقاله آورده نشده است).

در همه خاک ها با افزایش مقدار میزان مواد آلی در خاک، حد روانی سیر نزولی دارد اما در خاک های آلوده به مواد نفتی، حد روانی بالاتر (بطور میانگین ۳۶/۷۹ درصد) از خاک شاهد (بطور میانگین ۳۳/۴ درصد) می باشد. افزایش شاخص خمیری و حد روانی در خاک های آلوده نسبت به خاک غیر آلوده، مربوط به افزایش ضخامت لایه پخشیده دوگانه در سطح کانی های رسی می باشد که با جذب مواد نفتی در فضای بین لایه ای کانی های رسی، فضای لازم جهت ورود ملکول های آب به فضای بین لایه ای فراهم می گردد. هم چنین خاک های آلوده دارای محدوده تغییرات وسیعتری از حد روانی هستند که به خاطر توزیع غیر یکنواخت نفت در خاک می باشد (۲۴، ۲۵، ۳۰). دیفراکتوگرام های بدست آمده از دستگاه XRD نوع کانی های رسی موجود در خاک های مورد مطالعه را شامل اسمکتیت، کائولینیت، پالیگورسکایت، کلرایت، ایلایت نشان داده است (شکل ۴). کانی غالب خاک ها اسمکتیت است که بعلاوه دارا بودن قابلیت انبساط و انقباض بالا می توان چنین استدلال کرد که وقتی نفت در خاک های آلوده

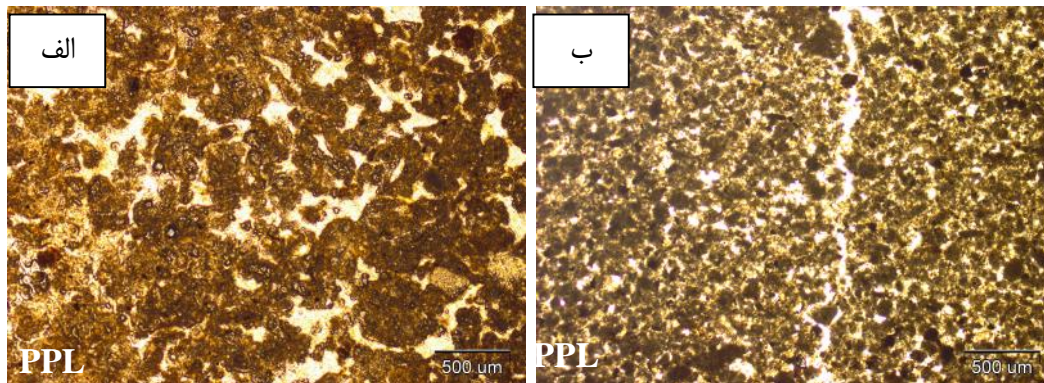


شکل ۴- دیفرآکتوگرام‌های X-Ray مربوط به پروفیل آلوده به نفت شماره ۴ (عمق ۲۸-۴۳ سانتی‌متری)
Figure 4- X- Ray Diffractograms of polluted profiles (No.4) in depth 28-43 cm

درصد نفت با استدلال‌های دیگری هم بیان شده است. حضور نفت در خاک باعث کاهش مقدار رطوبت خاک می‌شود زیرا حضور آب در اطراف ذرات رسی باردار، کمتر از خاک‌های نفتی است که منافذ خاک را اشغال می‌کند. نفت زودتر از آب می‌تواند با سطوح باردار رسها ارتباط برقرار کند و آب موجود روی سطح ذرات را دفع نموده و خودش در فضای بین لایه‌ای رس‌ها قرار می‌گیرد (۲۳ و ۱۳). با افزایش درصد نفت در خاک امکان لغزش ذرات رس روی همدیگر افزایش یافته و ذرات ریز در بین فضای ذرات بزرگ‌تر فرو رفته و باعث کاهش منافذ خاک شده و با مقدار آب کمتری، خاک به حد روانی می‌رسد (۲۳).

شاخص خمیری با افزایش درصد نفت خاک کاهش می‌یابد (جدول ۲). خاک شاهد بطور کلی شاخص خمیری بالاتری نسبت به خاک‌های آلوده دارد یعنی حد فاصل بین حد خمیری تا حد روانی بیشتر است و مدت زمان و آب بیشتری لازم است تا خاک از حالت خمیری به حد روانی و لغزندگی برسد. این مسئله می‌تواند در بررسی استحکام خاک‌ها جهت عمران و سازه مورد بررسی قرار گیرد و از ساخت و ساز روی خاک‌های به شدت آلوده به نفت باید اجتناب کرد. شاخص خمیری همبستگی مثبتی با مقدار رس و سیلت خاک، درصد رطوبت اشباع داشته و با درصد شن خاک همبستگی منفی دارد. با توجه به جدول ۲ مشاهده می‌شود که به ترتیب درصد رس پروفیل ۵ < پروفیل ۴ < پروفیل ۳ می‌باشد و این اثر مستقیمی روی شاخص خمیری گذاشته و با افزایش درصد رس و سیلت در خاک، شاخص خمیری افزایش یافته است.

در خاک‌های نفتی، با افزایش درصد نفت در خاک، حد روانی خاک کاهش می‌یابد. ثابت دی‌الکتریک آب بالاتر از نفت است و این باعث افزایش لایه دوگانه پخشیده در کانی می‌شود و ذرات را دیسپرس می‌کند (۶). در حالی که نفت به خاطر ثابت دی‌الکتریک پایین وارد منافذ بین ذرات شده و ضخامت لایه پخشیده دوگانه را کاهش می‌دهد. نفت با ثابت دی‌الکتریک پایین باعث کاهش نیروی دافعه و جاذبه در بین ذرات خاک می‌شود ولی نتیجه این کاهش افزایش خالص نیروی جاذبه در بین ذرات می‌یابد و باعث نزدیک شدن ذرات خاک به همدیگر شده و ذرات را فلوکوله می‌کند و رس مانند سیلت و شن ریز رفتار می‌کند (۱۲). بنابراین بخش عمده حد روانی خاک که مربوط به رس خاک می‌باشد در اثر فلوکوله شدن رس کمتر شده (رس آب زیادتری نسبت به سیلت و شن جذب می‌کند) و حد روانی کاهش می‌یابد (۱۶ و ۲۸). مطالعات میکرومورفولوژیکی انجام گرفته (شکل ۵) موید دانه‌بندی ذرات و تشکیل خاکدانه‌های در ابعاد شن و سیلت را به خوبی اثبات نموده است. در این تصاویر لکه‌های مواد نفتی جامد (O) با رنگ‌های سیاه تا قهوه‌ای روشن باعث چسباندن ذرات خاکدانه و فلوکوله شدن آنها شده است قابل رویت می‌باشند. تشکیل خاکدانه‌های گرانولار (G) با افزایش مواد نفتی، تخلخل درشت خاک را افزایش داده و مقدار رطوبت مورد نیاز جهت روان شدن خاک‌های آلوده را کاهش می‌دهد (۲۲). وقتی نفت در بین ذرات حضور دارد خاکدانه‌سازی افزایش پیدا می‌کند و ذرات کوچک‌تر مرتباً به سمت ذرات بزرگ‌تری که نفت در بین آنها حضور دارد حرکت می‌کنند (۱۹). کاهش در حد روانی خاک‌های نفتی با افزایش



شکل ۵- تصاویر میکرومورفولوژی فلکوله شدن ذرات خاکدانه توسط نفت در خاک‌های آلوده به نفت؛ الف- پروفیل ۳ عمق ۴۰-۳۰ سانتی‌متر و ب- پروفیل ۴ عمق ۶۰-۵۰ سانتی‌متر در نور (PPL)

Figure 5- micromorphological images of follecolation of aggregates by petroleum compounds in polluted soils; a) profile 3 in depth 30-40 cm; b) profile 4 in depth 50-60 cm in PPL

نمونه‌های پروفیل ۳ در حد عادی طبقه‌بندی می‌شوند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج فوق نشان می‌دهد که ورود مواد نفتی به درون خاک موجبات بروز تغییرات قابل توجهی در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و فیزیکی خاک‌های آلوده می‌شود که به نحوی که استفاده و بهره‌برداری از این خاک‌ها حتی برای اهداف جنبی از قبیل استفاده از این خاک‌ها در ساختن راه و پارکینگ و غیره بدون توجه به این ویژگی‌های موجبات بروز خطرات زیست محیطی و بروز خسارات متعدد در سازه‌های احداث شده می‌شود. لذا بررسی هر چه دقیق‌تر ویژگی‌های این خاک‌ها قبل از هر گونه بهره‌برداری و حتی اصلاح این خاک‌ها ضروری می‌باشد.

رفتار خاک بسته به میزان آلودگی وارده و همچنین مدت زمان آلودگی متفاوت خواهد بود. وجود آلاینده‌های نفتی در خاک باعث افزایش حدود اتربرگ می‌گردد به نحویکه در خاک‌های آلوده به نفت، حد روانی و شاخص خمیری روند افزایشی نشان می‌دهد. روند افزایشی به علت ورود نفت به فضای بین لایه‌ای رس‌ها می‌باشد که ورود ملکول‌های آب را افزایش می‌دهد. وقتی که درصد نفت از حدی بالاتر رود، به علت ثابت دی‌الکتریک پایین نفت، ذرات به هم نزدیک شده و فلکوله می‌شوند و ذرات رس مانند سیلت و شن ریز عمل می‌کنند. حد خمیری همبستگی مثبت قوی با درصد ماده آلی و ظرفیت تبادل کاتیونی و مینرالوژی خاک دارد. خاک‌های مورد مطالعه براساس شاخص فعالیت رس، دارای فعالیت بسیار پایین هستند.

درصد رطوبت اشباع خاک (SP) نیز در پروفیل ۴ < پروفیل ۳ می‌باشد در نتیجه مقدار آب لازم جهت رسیدن به حد خمیری در پروفیل ۴ بیشتر از سایرین می‌باشد (۲).

دامنه تغییرات شاخص خمیرایی نمونه‌های مورد مطالعه (جدول ۲)، از ۰/۷۹ در افق سطحی پروفیل ۳ تا ۱۵ در پروفیل ۴ و ۵ متغیر است. براساس طبقه‌بندی (۱۸) در پروفیل ۵ اغلب نمونه‌های خاک در کلاس غیر خمیری و خمیری پایین قرار می‌گیرند. در پروفیل ۴، شاخص خمیری از خمیری اندک تا خمیری متوسط تغییر می‌کند در حالیکه پروفیل ۵ که دارای خاک‌های غیرآلوده است بیشترین شاخص خمیرایی را دارند.

شاخص روانی برآوردی از مقدار آب طبیعی موجود در نمونه‌های خاک است. وقتی که شاخص روانی برابر با یک باشد، خاک در حالت روانی قرار دارد و وقتی که شاخص روانی برابر صفر باشد خاک در حالت خمیری قرار دارد (۱۸). در خاک‌های مورد مطالعه در پروفیل ۴ و ۵، شاخص روانی تقریباً برابر یک است اما در پروفیل ۳ بیشتر از یک به دست آمده است.

فعالیت بیانگر رابطه بین ترکیب کانی‌ها، سطح ویژه، درصد رس و شاخص خمیرایی خاک می‌باشد (۱۸). انواع مختلف رس دارای سطح ویژه متفاوت هستند که تعیین می‌کند چه مقدار رطوبت لازم است تا خاک از یک فاز (حد خمیرایی) به فاز دیگر (حد روانی) تغییر کند. رس‌های با فعالیت زیاد دارای تغییرات قابل توجهی در هنگام مرطوب شدن و خشک شدن هستند. با توجه به فعالیت نمونه‌های مورد مطالعه (جدول ۲) و مقایسه آن با استانداردهای موجود عمده خاک‌های مورد مطالعه غیرفعال هستند و فقط تعداد اندکی از

- 1- Abdallah I., Ahmed S., and Osama T. 1999. Effects of organic matter on the physical and the physicochemical properties of an illitic soil. *Applied Clay Science*, 14: 257–278.
- 2- Ahmadi A., Talaie E., and Soukoti R. 2012. Pedotransfer functions for estimating atterberg limits in semi-arid areas. *International Journal of Agriculture: Research and Review*. Vol., 2 (4): 491-495.
- 3- Alsanad H.A., Eid w.k., and Ismael N.F. 1995. "Geotechnical properties of oil contaminated Kuwaiti sand," *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 121 (5), 407–412.
- 4- Bower C.A., ReiteMeier P.F., and Fireman, M. 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci*, Vol., 73: 251–261.
- 5- Cathy A., Seybold M., Elrashidi A., Robert J., and Engel M. 2008. Linear regression models to estimate soil liquid limit and plasticity index from basic soil properties. Vol. 173, No. I, 0038-075X/08/17301-25-34.
- 6- Das B.M. 2002. *Principles of Geotechnical Engineering, Fifth Edition*. Thomson Learning Academic Resource Center, USA, pp. 26–28.
- 7- Decarreau A. 1990. Les poudres : techniques expérimentales et interprétation des diagrammes – Facteurs déterminant le mode d'empilement. In *Structure, propriétés et applications*. Société Française de Minéralogie et cristallographie, Groupe Français des Argiles, 209–236.
- 8- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle-size analysis. In: Klute, A. (Ed.) *Methods of Soil Analysis*. Part 1 Physical and Mineralogical Methods American Society of Agronomy, 383–411.
- 9- Gitipour S., Nabi G.h., and Gorji M.A. 2004. Soils contaminated by leaking petroleum compounds in south of Tehran Refinery. *Jornal of ecology*. vol 34: 39-45.
- 10- Grossman R.B., and Reinsch T.G. 2002. Bulk Density In: Carter E.G. *Soil Sampling and Methods of Analysis Second Edition*, Edited by M.R. Gregorich.
- 11- Hesse P.R. 1976. Particle size distribution in gypsic soils. *Plant and Soil*, Vol., 44: 241-247.
- 12- Kaya A., and Fang H.Y. 2000. The effects of organic fluids on physicochemical parameters of fine-grained soils. *Canadian Geotechnical Journal* 37: 943–950.
- 13- Khamehchiyan M., Charkhabi A. H., and Tajik M. 2007. "Effects of crude oil contamination on geotechnical properties of clayey and sandy soils Method," *Engineering Geology* Vol., 89: 220–229.
- 14- Laurent F., Cebron A., Schwartz C and Leyval C. 2012. Oxidation of a PAH polluted soil using modified Fenton reaction in unsaturated condition affects biological and physico-chemical properties *Chemosphere*. 86: 659–664.
- 15- McBride R.A. 2002. University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada. Atterberg limits, In: Jacob H. Dane and G. Clarke Topp, Co-editors. *Methods of Soil Analysis, Part 4, Physical Methods, Vol 1*. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin, USA.
- 16- Meegoda N.J., and Ratnaweera P. 1994. Compressibility of contaminated fine grained soils. *Geotechnical Testing Journal* 17 (1): 101–112.
- 17- Minai-Tehrani D., Herfatmanesh A., Azari-Dehkordi F., and Minooi S. 2006. Effect of salinity on biodegradation of aliphatic fractions of crude oil in soil. *Pak.J.Biol.Sci* 9: 1531-1535.
- 18- Mitchell J.K., and Soga K. 2005. *Fundamental of Soil Behavior*, 3rd ed., Wiley, New York,.
- 19- Olgun M. 2008. The investigation of shear strength and consolidation behaviors of clay soils consolidated with chemicals of various concentrations. Ph.D. thesis, Selcuk University, Konya.
- 20- Pansu M., Jacques G. 2006. *Handbook of Soil Analysis Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*,.
- 21- Pansu M., Gautheyrou J., and Loyer J.Y. 2001. *Soil Analysis – Sampling, Instrumentation and Quality Control*, Balkema publishers, Lisse, Abington, Exton, Tokyo, 512 p.
- 22- Ratnaweera P., and Meegoda J.N. 2006. Shear strength and stress–strain behaviour of contaminated soils. *ASTM Geotechnical Testing Journal* 29 (2): 133–140.
- 23- Rahman Z., Hamzah U., and Taha M. 2010. Influence of Oil Contamination on Geotechnical Properties of Basaltic Residual Soil. *American Journal of Applied Sciences* 7 (7): 954-961.
- 24- Shah S.J., Shroff A.V., Patel J.V., Tiwari K.C., and Ramakrishnan D. 2003. Stabilization of fuel oil contamination soil-a case study. *Geotech. Geol. Eng.*, 21: 415-427.
- 25- Sivapulliah P.V. 1987. Effect of polluted water on the physico-chemical properties of clayey soils. In: *Environmental Geotechnica*, Balkema Press, Rotterdam.
- 26- Smith C.W., Hadas A., Dan J., and Koyumdjisky H. 1985. Shrinkage and Atterberg limits in relation to other properties of principal soil types in Israel. *Geoderma* Vol. 35: 47-65.
- 27- Sparks D. L. 1996. *Method of soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. American Society of Agronomy.
- 28- Sridharan A., El-Shafei A., and Miura N. 2000. A study on the dominating mechanisms and parameters influencing the physical properties of Ariake clay. *International Association of Lowland Technology Journal* 2: 55–70.
- 29- Stoops G. 2003. *Guidelines for the Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections*. SSSA, Madison,

WI.

- 30- Tuncan M., Tuncan A., and Koyunau H. 1996. Pilot field study of petroleum contaminated waste stabilization. Proc. Int. Symp. Environmental Geo technology, (Pennsylvania USA), Vol. 1 pp. 153.
- 31- United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. 2010. Keys to Soil Taxonomy By Soil Survey Staff. Eleventh Edition.
- 32- Walkley A., and Black I.A. 1934. An Examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and a Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. Soil Sci. 34: 29-38.
- 33- World Reference Base for Soil Resources. 2006. ISBN 92-5-105511-4. A Framework for International Classification, Correlation and Communication, Rome, Italy.

Impact of Waste Materials Resulting from the Refining of Crude Oil on Some Soil Physico-Chemical Properties

P. Asadi^{1*}- A. Heidari²

Received: 29-10-2014

Accepted: 25-05-2015

Introduction: Soil and ground water pollution with organic matter and toxic materials is an ordinary environmental problem. In this case, oil compounds are among the most important environmental pollutants. Tehran oil refinery is one of the largest and oldest refineries in Iran located south of Tehran city. Since the beginning of its activity in 1968, its waste materials (solid, semisolid and liquid) have been disposed in large lagoons next to the refinery site. During this long period, considerable changes in soil properties have occurred, which are of great research interests for soil and environmental scientists.

Materials and Methods: The studied area (about 60 ha) was located in the south of Tehran (latitude: 35°30.299' to 35°30.814' N and longitude: 51°25.682' to 51°26.296' E). Six pedons, including four Technosols developed on the oil refinery waste materials (pedons no. 1, 3, 4 and 6) and two reference pedons (pedons no. 2 and 5) were fully described and sampled. Particle size distribution (PSD) of gypsiferous samples was determined by the specific method for gypsiferous soils (Hesse, 1976). PSD of non-gypsiferous samples were determined according to the standard hydrometer method (Gee and Bauder, 1986), but the oil-polluted samples were analyzed according to the standard ultrasound method (Sawhny, 1996). Organic carbon content was determined by Walkley and Black (1934). pH and EC were measured in soil saturation extracts using EC and pH meter (Jenway). Gypsum and CaCO₃ contents were determined using acetone (Sparks, 1996), and calcimetry methods, respectively. Mineralogical analysis was done by Decarreau (1990). Micromorphological descriptions were carried out using the terminology of Stoops (2003). Diagnostic horizons were identified and finally the studied pedons were classified according to the Keys to Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014) and the World Reference Base (FAO, 2014).

Results and Discussion: Horizons of both polluted and unpolluted soils were mostly gypseous and/or calcareous especially in the middle parts. Considering the surface and subsurface diagnostic horizons and the aridic-thermic soil moisture and temperature regimes, the studied soils were classified as Gypsid, Calcids or Cambids (Soil Survey Staff, 2014). However, due to the added oil waste compounds and presence of impermeable geomembrane in some of the polluted pedons, they were classified as Technosols in the WRB system (FAO, 2014). Noticeable effects of Pollutants in the soil were decreasing pH and increasing OM and EC. The surface horizons of the unpolluted soils contained less than 2 percent organic matter which regularly decreased by depth. However, in some horizons of the polluted soils, soil organic matter exceeded 12 percent. pH decreased by increasing organic matter (oil waste compounds) possibly due to H⁺ dissociation from the oil compounds (Laurent et al., 2012). Electrical conductivity throughout the polluted soil horizons showed more limited variability than the unpolluted ones, probably due to their higher capability in water and liquid dynamics. Liquid limit and plasticity limit in polluted soils are higher than unpolluted soils. Plasticity index in polluted soils decreased with increasing the amount of pollutants. The results of mineralogical studies corroborated that dominant clay mineral in this soils is Smectite. Smectites have high swelling and shrinking capacity. So, the pollutants can intercalate between soil mineral layers and then increase d-spacing of clay minerals. The micromorphology of the polluted soils showed that low dielectric constant of petroleum caused flocculation and formation granular aggregates in soil. Studied soils are inactive in terms of activity of clay.

Conclusion: As observed in the studied soils, their physico-chemical properties such as pH and electrical conductivity (EC) of saturated paste extract, organic matter content, mineralogical and micro-morphological properties were severely affected by the oil wastes. These results show these soils have been limited and in use of these soils, considering these properties is required. In polluted soils, due to small differences between plasticity limit and liquid limit, it is possible to their sliding faster than unpolluted soils and then construction should be avoided.

Keywords: Oil waste, Polluted soil, Physico-chemical properties

1, 2- MSc. Student and Associate Professor of Soil Science Department, University of Tehran
(*-Corresponding Author Email: pasadi@ut.ac.ir)