

# بررسی اثر مواد آلی، کی‌لیت‌کننده‌ها و سورفکتانت‌ها بر واجذب

## فناثرن و فلزات سنگین از خاک رسی:

## مخلوط کائولن، مونتموریلونیت و ماسه

محسن سعیدی<sup>۱</sup>، افسانه ملاحسینی<sup>۲</sup>، میلاد آیتی نیا<sup>۳\*</sup>، طاهره قربانیان<sup>۴</sup>، محمد رستگاری<sup>۵</sup>

۱- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- استادیار دانشکده شیمی، دانشگاه علم و صنعت ایران

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران، و محیط زیست دانشگاه علم و صنعت ایران

۴- کارشناس ارشد مهندسی عمران، و محیط زیست دانشگاه علم و صنعت ایران

۵- کارشناس ارشد مهندسی عمران، و محیط زیست دانشگاه علم و صنعت ایران

aiatynia\_milad@yahoo.com

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۸/۱۳]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۱۱/۲۶]

**چکیده** - درک بهتر اندرکنش‌های ترکیبی مواد آلی خاک (SOM)، سورفکتانت‌ها و کی‌لیت‌کننده‌ها بر رفتار هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs) و فلزات سنگین در سیستم آبی-خاکی، برای پیش‌بینی دقیق‌تر بازدهی سورفکتانت‌ها و کی‌لیت‌کننده در افزایش بازدهی پاکسازی خاک از این ترکیبات ضروری به‌نظر می‌رسد. در این مقاله اثر میزان مواد آلی خاک و حضور سورفکتانت‌ها و کی‌لیت‌کننده‌ها بر واجذب PAHs و فلزات سنگین و همچنین اثر حضور و عدم حضور فلزات سنگین بر واجذب PAHs بررسی شد. در حضور تریتون ایکس ۱۰۰ (Triton X 100) و تویین ۸۰ (Tween 80) به عنوان سورفکتانت و EDTA به عنوان کی‌لیت‌کننده در محلول پایه، واجذب PAHs و فلزات سنگین افزایش قابل ملاحظه‌ای نسبت به حالت محلول پایه بدون استفاده از سورفکتانت‌ها و کی‌لیت‌کننده ( $0.01M CaCl_2$ ) داشته است و این در حالی است که تریتون ایکس ۱۰۰ هم در واجذب PAHs و هم در واجذب فلزات سنگین بهتر از تویین ۸۰ عمل کرده است. همچنین نتایج نشان‌گر این بودند که مواد آلی خاک باعث کاهش واجذب PAHs و فلزات سنگین می‌شود و با افزایش محتوای ماده آلی خاک، واجذب این ترکیبات از خاک کمتر شد. همچنین در این مطالعه مشاهده شد که حضور فلزات سنگین در خاک می‌تواند موجب کاهش واجذب PAHs از خاک شود.

**واژگان کلیدی:** سورفکتانت، کی‌لیت‌کننده، کائولینیت، فناثرن، فلز سنگین

در سال‌های اخیر روش‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی مختلفی برای پاکسازی این آلاینده‌ها از خاک ارائه شد [۱۳، ۱۴]. که بازدهی این روش‌ها به میزان دسترسی این ترکیبات در بخش آبی سیستم آبی-خاکی دارد [۱۱]. افزایش بازدهی تصفیه خاک با استفاده از سورفکتانت‌ها و کی‌لیت‌کننده‌ها از طریق افزایش حلالیت ترکیبات آبرگریز مانند PAHs و ترکیب فلزها سنگین، یک روش کاملاً ثابت شده و مناسب به‌شمار می‌آید [۸، ۱۳ و ۱۵]. پژوهش‌های مختلفی کارآمد بودن سورفکتانت‌هایی مانند

در سال‌های گذشته پاکسازی خاک‌های آلوده به فلزهای سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای به‌طور گسترده بررسی شد [۶-۱۰]. آلودگی همزمان این دو دسته آلاینده بیشتر در مکان‌هایی مانند پمپ بنزین‌ها، جاده‌های اصلی و معادن فلزی دیده می‌شود و این نوع سایت‌های آلوده، به‌ویژه در مناطق شهری در حال افزایش است [۱۱]. سمیت بالای این فلزهای سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای باعث شده تا پاکسازی سایت‌های آلوده به این دو دسته آلاینده از مسائل با اهمیت زیست محیطی محسوب شود [۱۲].

سورفکتانت‌های مختلف و کی لیت کننده هنوز صورت نگرفته است، بنابراین اهداف این مطالعه عبارت‌اند از: ۱- بررسی اثر فلزهای سنگین بر واجذب PAHs از خاک با میزان مواد آلی متفاوت ۲- بررسی اثر مواد آلی در واجذب PAHs و فلزهای سنگین از خاک در حضور و عدم حضور سورفکتانت‌ها و کی- لیت کننده ۳- بررسی اثر سورفکتانت‌ها و کی لیت کننده بر واجذب PAHs و فلزها سنگین از خاک.

## ۲- مواد و روش پژوهش

### ۲-۱- خاک

خاک استفاده شده در تمامی آزمایش‌ها، ترکیبی از رس کائولن، مونتموریلونیت و ماسه است. رس کائولن از شرکت ایترنشنال لابراتوری ایندیانا<sup>۷</sup> خریداری شده، برای اضافه کردن رس مونتموریلونیت از خاک بتونیت استفاده شده که از معدن بتونیت سلفچکان تهیه شده و ماسه مورد استفاده در پژوهش‌های، ماسه اتاوا است که نهایتاً برای ساخت خاک مورد نیاز این سه خاک با درصد وزنی ۴۳٪ کائولن، ۱۵٪ بتونیت و ۴۲٪ ماسه با هم مخلوط و هموژن شدند و تشکیل خاک پایه S<sub>0</sub> را دادند.

لازم به گفتن است که تمامی آزمایش‌های پایه برای تعیین اجزای خاک و مشخصات فیزیکی، برای هر سه نوع خاک به طور جداگانه انجام شده است. همچنین برای اطمینان از عدم آلودگی خاک به فلزها سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای به ترتیب آزمایش‌های هضم اسیدی و سوکسله با استفاده از روش‌های ارائه شده به استانداردهای USEPA 3050B [۲۵] و USEPA 3540C [۲۶] روی هر سه نوع خاک به طور جداگانه انجام شد.

آنالیز XRD به منظور تعیین اجزای خاک به وسیله دستگاه PHILIPS PW1800 با زاویه اسکن (۲θ) از ۴ تا ۵۹ درجه با گام‌های ۰/۰۴ انجام شد که فلز پایه استفاده شده مس (Cu) بوده و نتایج به دست آمده به وسیله نرم افزار APD مورد تحلیل قرار گرفت.

برای تعیین میزان ماده آلی (TOM) موجود در خاک آزمایش LOI انجام شد و همچنین تعیین میزان کربن آلی (TOC)

تویین ۸۰ (Tween 80)، تریتون ایکس ۱۰۰ (Triton X 100) و همچنین کی لیت کننده‌ای مانند ا. د. ت. آ. (EDTA)<sup>۱</sup> را ثابت کرده است [۱۹، ۱۸، ۱۷]. فونسکا<sup>۲</sup> [۱۱] و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که تویین ۸۰ و EDTA، بازدهی حذف همزمان و جداگانه فناترن و فلز سنگین سرب را افزایش می‌دهند.

بخش مهم دیگر که می‌تواند بر واجذب PAHها و فلزهای سنگین تاثیر گذار باشد ماده آلی موجود در سیستم است. ماده آلی می‌تواند به صورت محلول وجود داشته باشد (DOM<sup>۳</sup>) و در کنار سورفکتانت‌ها و کی لیت کننده‌ها بر واجذب ترکیبات تاثیرگذار باشد. در سال‌های گذشته پژوهش‌هایی در این زمینه نیز انجام شده است. چو<sup>۴</sup> [۲۰] و همکاران (۲۰۰۲) دریافتند که افزایش حلالیت ترکیبات آلی آبریز در حضور توام ماده آلی محلول (DOM) و تریتون ایکس ۱۰۰ افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته که این میزان به اندازه‌ی افزایشی بوده که مجموع حضور جداگانه DOM و تریتون ایکس ۱۰۰ ایجاد کرده است. چنگ و ونگ<sup>۵</sup> [۱۸] نیز دریافتند که در حضور هم‌زمان تویین ۸۰ و DOM حلالیت ترکیبی مانند فناترن و پیرن افزایش پیدا کرده که مقدار این افزایش بیشتر از مقدار افزایش مجموع حضور تویین ۸۰ و DOM بوده است. ماده آلی خاک (SOM)<sup>۶</sup> نیز بخش مهمی از خاک است و پژوهشگران پیش‌تر ثابت کردند که این بخش تاثیر زیادی بر سرنوشت و انتقال ترکیبات آبریز مانند PAHs و همچنین ترکیب فلزهای سنگین در خاک دارد [۲۱، ۲۲]. ماده آلی خاک نه تنها باعث کاهش تحرک PAHs در سیستم آبی-خاکی می‌شود بلکه همچنین قابلیت جذب سورفکتانت‌ها را نیز دارد [۲۳، ۲۴] پس در نتیجه می‌تواند موجب کاهش بازدهی سورفکتانت‌ها شود. به عبارت دیگر ماده آلی خاک (SOM) در واجذب ترکیب PAHها و فلزها سنگین، اثری معکوس اثر DOM دارد که در پژوهش‌های گذشته کمتر به آن پرداخته شده است.

به دانش مولفان این مقاله، بررسی اثر محتوای ماده آلی خاک (SOM) بر واجذب هم‌زمان PAHs و فلزها سنگین در حضور

1 Ethylene diamine tetraacetic acid

2 Fonseca

3 Dissolved organic matter

4 Cho

5 Cheng and Wong

6 Soil organic matter

برای انجام این آزمایش، در هر نمونه ۲ گرم خاک به همراه مقادیر مشخصی از ماده آلی (۰، ۰/۲۵، ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ گرم) به همراه ۱ لیتر محلول پایه آب مقطر  $0.1\text{ M NaCl}$  به بشر ۲ لیتری اضافه شد و pH آن به وسیله  $\text{HCl}$  و  $\text{NaOH}$  به مقدار ۵/۵ رسانده و به منظور جلوگیری از تبخیر نمونه‌ها، درب بشر به وسیله فویل آلومینیومی پوشانده شد. در مرحله بعد مخلوط بالا به مدت ۲۴ ساعت زیر دستگاه جار تست قرار گرفت و با سرعت ۲۵۰ دور در دقیقه مخلوط شد تا به تعادل برسد. سپس ابتدا با فیلتر کردن نمونه‌ها و در مرحله بعد با استفاده از سانتریفیوژ با سرعت ۴۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۳۰ دقیقه، آب و خاک نمونه‌ها به طور کامل از هم جدا شدند. در انتها خاک حاصل از نمونه‌ها روی هیتر در دمای ۳۵ درجه سیلسیوس خشک شد و به مدت ۴۸ ساعت در مجاورت هوا و در دمای ۲۵ درجه سیلسیوس (دمای محیط آزمایشگاه) قرار گرفت تا به رطوبت طبیعی خود باز گردد، سپس روی خاک به دست آمده از نمونه‌ها آزمایش LOI انجام گرفت و نهایتاً ایزوترم<sup>۱۰</sup> تغییرات LOI در مقابل افزایش مواد آلی ترسیم شد. از نتیجه این ایزوترم، بیشترین میزان و میزان میانگین جذب ماده آلی به دست آمده است و میزان کربن آلی خاک حاصل از این دو نقطه اندازه‌گیری شد. در ادامه برای ساختن خاک دارای دو میزان انتخاب شده از مواد آلی (بیشترین میزان و میزان میانگین)، آزمایش‌های جذب در دو نقطه انتخاب شده تکرار شد و خاک حاصل از آن دو نقطه برای ادامه آزمایش‌ها نگهداری شد. به این ترتیب در انتهای این آزمایش علاوه بر خاک پایه ( $S_0$ ) دو خاک با میزان مواد آلی متفاوت ( $S_1$  و  $S_2$ ) از همان خاک پایه به دست آمد. لازم به گفتن است که به منظور جلوگیری از به‌وجود آمدن هرگونه تفاوت و همچنین یکسان سازی خطاهای حاصل از آزمایش‌های گفته شده، تمامی مراحل بالا روی خاک پایه (بدون اضافه کردن مواد آلی) نیز انجام شده.

#### ۲-۴- چگونگی ساخت خاک آلوده به فلزهای سنگین

برای انجام این آزمایش خاک‌های ( $S_0$ ،  $S_1$  و  $S_2$ ) به همراه مقادیر مشخصی از هر سه فلز سنگین سرب، روی و نیکل به صورت

موجود در خاک به وسیله دستگاه ANATOC Analyzer SGE series 2 صورت گرفت.

pH خاک با استفاده از روش آب مقطر [۲۷]  $0.1\text{ M CaCl}_2$  اندازه‌گیری شد و رطوبت خاک با استفاده از روش ارائه شده در استاندارد [۲۸] ASTM D2216 اندازه‌گیری شده است. همچنین میزان ظرفیت تبادل کاتیون (CEC) خاک با استفاده از استاندارد USEPA 9081 [۲۹] اندازه‌گیری شد.

#### ۲-۲- مواد شیمیایی

فنانترن (PHE)<sup>۱</sup>، اسنافتن (ACN)<sup>۲</sup>، فلورن (FLU)<sup>۳</sup>، فلورانتن (FLO)<sup>۴</sup>، پیرن (PYR)<sup>۵</sup> و آنتراسن (ANT)<sup>۶</sup> از شرکت مرک<sup>۷</sup> خریداری شده و دارای خلوص بالای ۹۸٪ است. نمک فلزهای سنگین شامل: سرب  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  با خلوص ۹۹/۵٪، روی  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  با خلوص ۹۸٪ و نیکل  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  با خلوص ۹۹٪ از شرکت سیگما آلدریج<sup>۸</sup> خریداری شدند. ماده آلی استفاده شده در این مطالعه Humax 95- WSG High Quality Humic Acid بوده و از شرکت JH Biotech, Ventura, California, USA خریداری شده و دارای ۸۰٪ هیومیک اسید، ۱۵٪ فولویک اسید و ۱۲٪ اکسید پتاسیم در مولکول هیومیک اسید است. برای مشخص کردن ویژگی‌های این ماده، از آن طیف FTIR گرفته شد که این کار به وسیله دستگاه FTIR 8400S Shimadzu, Kyoto, Japan انجام شده است. همچنین درصد رطوبت و میزان ماده آلی آن به وسیله روش مشخص شده در استاندارد ASTM D2974 [۳۰] به دست آمده است. لازم به گفتن است که تمامی اسیدها و حلال‌های آلی استفاده شده از شرکت مرک آلمان خریداری شده و از درجه اچ. پی. ال. سی<sup>۹</sup> است.

۲-۳- آزمایش جذب ماده آلی به خاک و نحوه ساخت خاک دارای مواد آلی

- 1 Phenanthrene
- 2 Acenaphthene
- 3 Fluorene
- 4 Fluoranthene
- 5 Pyrene
- 6 Anthracene
- 7 Merck
- 8 Sigma Alderich
- 9 HPLC grade

ذکر شده در سایچک و ردی ۲۰۰۴ [۳۱]، ۴ میلی لیتر از مایع شناور جدا شده از خاک، برداشته شده و در ۱۲ میلی لیتر دی-کلرومتان ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت روی لرزاننده در ۳۰۰rpm قرار داده شد تا تمام PAHs موجود در فاز آبی به فاز آلی انتقال پیدا کنند. پس از آن ۱ میکرولیتر از دی کلرومتان ته نشین شده در ته ظرف به وسیله سرنگ همپلتون برداشته شد و برای آنالیز به دستگاه کروماتوگرام گازی  $3 \times 10^3$  تزریق شد. به منظور آنالیز فلزها سنگین، ۲ میلی لیتر از مایع شناور جدا شده و به اندازه لازم رقیق شده و به وسیله دستگاه جذب اتمی آنالیز شد.

آزمایش‌های واجذب بر شش نوع خاک معرفی شده در سه حالت انجام شد. در حالت اول، محلول پایه شامل آب مقطر M  $CaCl_2$  ۰/۰۱، در حالت دوم محلول پایه شامل آب مقطر M  $CaCl_2$  ۰/۰۱ و ۷/۵ درصد حجمی توپین ۸۰ به اضافه M EDTA ۰/۰۱، و در حالت سوم محلول پایه شامل آب مقطر M  $CaCl_2$  ۰/۰۱ و ۷/۵ درصد حجمی تریتون ایکس ۱۰۰ و M EDTA ۰/۰۱ بوده است.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- مشخصات خاک

نتایج آنالیز XRD انجام شده روی خاک‌های کائولن، ماسه و بتونیت نشان‌گر این است که تنها کانی تشکیل دهنده خاک کائولن، کائولینیت است و همچنین ماسه نیز به طور کامل از کوارتز تشکیل شده و در خاک بتونیت کانی رسی غالب مونتموریونیت بوده (۵۴ درصد) و دیگر کانی رسی که به میزان بسیار کمی در بتونیت حضور داشته، کانی ایلیت (۳ درصد) بوده است. شکل (۱) نشانگر الگوی XRD خاک‌های کائولن و بتونیت است. مشخصات مهم خاک پایه (ترکیب سه خاک کائولن، بتونیت و ماسه) در (جدول ۱) آورده شده است. نتایج آزمایش هضم اسیدی و سوکسله بیانگر این بودند که میزان فلزها سنگین و هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای در خاک پایه در حد ناچیز بودند. و تنها مقدار کمی روی در حدود ۹/۸۱ میلی گرم بر کیلو گرم در خاک مشاهده شده است.

هم‌زمان و با مولار برابر در انجام آزمایش‌های ناپیوسته‌ی جذب، به فلزها سنگین آلوده شدند. سپس مجموع خاک‌های به دست آمده از آزمایش‌های ناپیوسته‌ی جذب ( $S_0$ ،  $S_1$  و  $S_2$  هر کدام جداگانه)، بعد از جدا سازی آب از خاک به وسیله‌ی فیلتر، خشک شده، کوبیده شدند و کاملاً هموزن شدند و با نام-های  $S_0M$ ،  $S_1M$  و  $S_2M$  معرفی شدند. در انتها با انجام آزمایش هضم اسیدی، میزان واقعی فلزها سنگین موجود در خاک، به وسیله‌ی دستگاه جذب اتمی رابلی<sup>۱</sup> خوانده شدند.

#### ۲-۵- آزمایش واجذب فنانترن و فلزهای سنگین و چگونگی

##### آماده سازی خاک‌های آلوده به فنانترن

در این آزمایش درصد واجذب فنانترن، اسنافتن، فلئورن، فلورانن، پیرن و آنتراسن و فلزها سنگین سرب، نیکل و روی در ۶ نوع خاک به دست آمده از خاک پایه شامل خاک‌ها با درصد ماده آلی متفاوت در دو حالت آلوده به فلزهای سنگین و PAHs و آلوده به PAHs تنها  $\{S_0\}$ ،  $\{S_1\}$ ،  $\{S_2\}$ ،  $\{S_0M\}$ ،  $\{S_1M\}$  و  $\{S_2M\}$  بررسی شد. برای آلوده کردن خاک‌ها به شش PAHs گفته شده مطابق روش به کار برده شده به وسیله‌ی سایچک<sup>۲</sup> و ردی ۲۰۰۴ [۳۱]، ابتدا ۴۰ ml از حلال آلی استن حاوی ۱۰۰ ppm از هر PAHs بر روی ۸ گرم خاک ریخته شد. بعد از تبخیر کامل استن خاک آلوده شده به میزان ۵۰۰ ppm از هر PAH به دست آمده و سپس کوبیده شده تا هموزن شود و به مدت ۳ روز برای کامل شدن پیوندها به خاک زمان داده شد. به این ترتیب تمام خاک‌های معرفی شده به ۵۰۰ ppm از هر شش PAHs آلوده شدند و برای آزمایش واجذب آماده شدند. برای انجام آزمایش واجذب ۲ گرم از هر خاک به همراه ۱۰ میلی لیتر محلول پایه آب مقطر  $CaCl_2$  ۰/۰۱M (به همراه کی لیت کننده و سورفکتانت) در ظروف شیشه‌ای تیره دارای سرپوش پلاستیکی با ظرفیت ۱۸ میلی لیتر ریخته شد و به مدت ۲۴ ساعت روی لرزاننده با سرعت ۳۰۰rpm تکان داده شد. سپس برای جدا سازی خاک از فاز آبی مخلوط به دست آمده به مدت ۳۰ دقیقه با سرعت ۴۰۰۰rpm سانتریفیوژ شد پس از آن برای آنالیز PAHs استخراج مایع به مایع طبق روش

1 Rayleigh spectrophotometer

2 Saichek

جدول ۲ مشخصات اولیه ماده آلی (هیومیک اسید)

Characteristics	Moisture content (%)	Organic matter content (%)
Measured value	14.03	50.6

Table. 2. Characteristics of Organic matter

همان گونه که در شکل (۳) نشان داده شده میزان LOI خاک، هنگامی که غلظت اولیه ۱/۵ گرم بر لیتر بوده بیشترین مقدار را داشته است که این مقدار حدود ۱۲٪ برآورد شده و این در حالی است که LOI اولیه خاک پایه که با اسم  $S_0$  معرفی شده (بدون اضافه کردن ماده آلی)، ۶،۵۵٪ بوده و میانگین این دو مقدار ۹/۲۷۵٪ (۹،۳٪) بوده است. بنابراین در ادامه با تکرار فرایندی مشابه با آزمایش انجام شده (آزمایش جذب ماده آلی با غلظت‌های اولیه مشخص)، دو خاک با درصد متفاوتی از ماده آلی ساخته شده و این در حالی است که خاک نوع اول با نام  $S_1$  دارای میانگین مقدار ماده آلی قابل جذب (LOI=۹/۳) و خاک نوع دوم با نام  $S_2$  دارای ماکسیمم مقدار ماده آلی قابل جذب است (LOI=۱۲٪). (جدول ۳) نشانگر برخی از مشخصات اندازه‌گیری شده خاک پایه بدون اضافه کردن ماده آلی و همان خاک بعد از جذب ماده آلی است.

شکل ۳ تغییرات LOI در مقابل افزایش غلظت ماده آلی

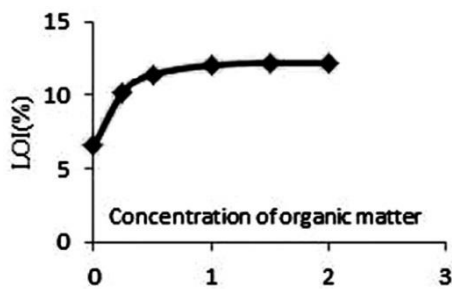


Fig. 3. LOI differentiation versus increasing organic matter concentration

از اطلاعات (جدول ۳) می‌توان پی برد که CEC خاک پایه بدون اضافه کردن ماده آلی به میزان ۲۲/۹۳ mEq/100gr است که به طور کلی این میزان بالاتر از CEC معمول در رس کائولینیت است. این پدیده می‌تواند به علت وجود کانی رسی مونتوریلونیت باشد، زیرا کانی رسی مونتوریلونیت به طور کلی CEC بالاتری از رس کائولینیت دارد.

همچنین نتایج دانه بندی نشان‌گر این بود خاک پایه شامل: ۳۳/۸۸ درصد رس، ۲۴/۱۲ درصد لای و ۴۲ درصد ماسه است.

شکل ۱ طیف XRD (a) خاک کائولن (b) خاک بنتونیت

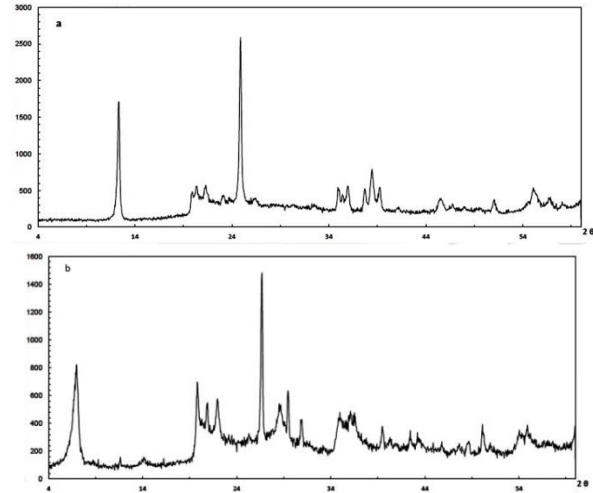


Fig. 1. XRD spectrum a- Kaolinite b- Bentonite

جدول (۱) سایر مشخصات خاک پایه (ترکیب سه خاک کائولن، بنتونیت و ماسه)

TOC(%)	CEC mEq/100gr	LOI(%)	Soil pH	Moisture content
0.33	22.93	6.55	7.42	1.55

Table. ۱. Characteristics of the basic soil (mixture of kaolinite, bentonite, and sand)

۲-۳- ماده آلی و جذب آن در خاک

(جدول ۲) بیانگر مشخصات اولیه ماده آلی مورد استفاده در این مطالعه است. همچنین (شکل ۲) نشانگر طیف FTIR به دست آمده از ماده آلی است.

شکل ۲ طیف FTIR ماده آلی (هیومیک اسید)

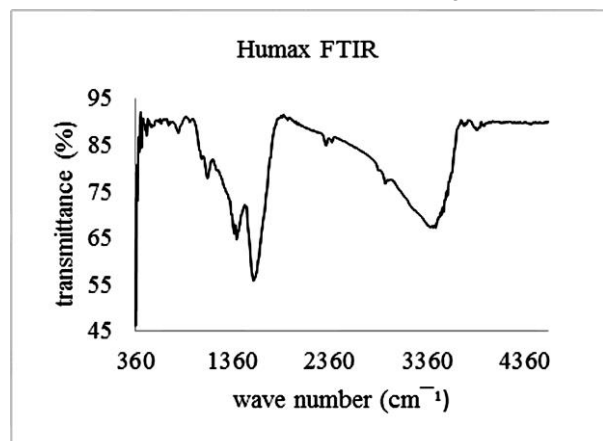
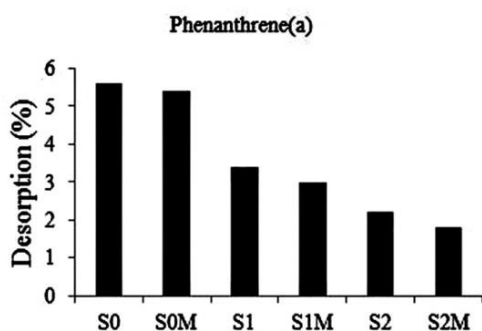


Fig. 2. FTIR spectrum of organic matter

با توجه به (جدول ۵) می‌توان دریافت که درصد واجذب فناترن در حالتی که از  $0.1\text{ M CaCl}_2$  به عنوان محلول پایه استفاده شده، در خاک‌های مختلف بین  $(1/8-5/6)$  درصد بوده است در حالی که این مقادیر پس از استفاده از کی لیت کننده و سورفکتانت‌ها افزایش قابل ملاحظه‌ای داشته است. به طوری که با استفاده از ترکیب Tween 80+EDTA در محلول پایه این مقادیر به  $(72-91)$  درصد رسیده و همچنین پس از استفاده از Triton X100+EDTA در محلول پایه این مقادیر به  $(74-95)$  درصد رسیده است. به طور کلی در اغلب خاک‌های آزمایش شده، نتایج بیانگر این بودند که ترکیب Triton X100+EDTA در محلول پایه، بازده بالاتری نسبت به ترکیب Tween+EDTA 80 داشته است.

همچنین درصد واجذب فناترن در حضور فلزها سنگین در هر سه حالت مختلف محلول پایه، بین خاک‌های مختلف کاهش محسوسی داشته است که این پدیده می‌تواند دارای دو سازوکار احتمالی باشد. سازوکار احتمالی اول شکل‌گیری پیوندهای کاتیون-پی بین فلزهای سنگین و فناترن در سطح خاک و کاهش متعاقب واجذب فناترن از خاک است [۳۲]. ژنگ<sup>۱</sup> [۵] و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ی خود به نتیجه‌ای مشابه دست یافتند که علت آن را پیوند قوی و نسبتاً برگشت ناپذیر سرب با فناترن دانستند.

شکل ۴ واجذب فناترن در هر شش خاک (محور افقی نوع خاک است) (a) محلول پایه آب مقطر  $0.1\text{ M CaCl}_2$  (b) محلول پایه آب مقطر M EDTA  $0.1\text{ M}$  و  $7.5\%$  تویین ۸۰ (c) محلول پایه آب مقطر EDTA  $0.1\text{ M}$  و  $7.5\%$  تریتون ایکس ۱۰۰



جدول (۳) مشخصات اندازه‌گیری شده خاک پایه بدون اضافه کردن ماده آلی و همان خاک بعد از جذب ماده آلی

Soil	CEC(mEq/100gr)	LOI(%)	TOC(%)
S <sub>0</sub>	22.93	6.55	0.33
S <sub>1</sub>	31.34	9.3	1.29
S <sub>2</sub>	49.06	12	2.11

Table. 3. Measured characteristics of basic soil before and after addition of organic matter

### ۳-۳- میزان جذب فلز در خاک

روی خاک به دست آمده از آزمایش ناپیوسته‌ی جذب فلز سنگین آزمایش هضم اسیدی انجام شد و میزان فلزها سنگین سرب، روی و نیکل وارد شده به خاک به وسیله‌ی دستگاه جذب اتمی قرائت شد. (جدول ۴) بیانگر غلظت اندازه‌گیری شده فلزها سنگین وارد شده به هر شش نوع خاک است.

### ۳-۴- واجذب هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای و فلزهای سنگین تر از خاک

در این بخش واجذب شش PAHs (اسنافتن، فلئورن، فناترن، فلورانتن، پیرن و آنتراسن) به طور همزمان در شش نوع خاک ( $S_0$ ،  $S_1$ ،  $S_2$ ،  $S_0M$ ،  $S_1M$ ،  $S_2M$ ) به طور جداگانه در حضور و عدم حضور کی لیت کننده و سورفکتانت بررسی شده است و نتایج فناترن به عنوان آلاینده هدف بررسی شد. (شکل ۴) نشان‌گر درصد واجذب فناترن در حضور پنج PAHs دیگر است که تمامی این ترکیب‌ها در خاک دارای غلظت  $500\text{ mg/kg}$  است و همچنین (شکل ۵) نشانگر واجذب فلزها سنگین سرب، نیکل و روی از خاک است. جزییات واجذب فناترن از خاک، طبق (جدول ۳) است.

جدول ۴ میزان آلاینده‌های فلزها سنگین (mg/kg) و درصد کربن آلی خاک‌ها برای آزمایش‌های واجذب

Soil	Organic carbon	Lead	Zinc	Nickel
S <sub>0</sub>	0.33	-	-	-
S <sub>0</sub> M	0.33	4930	1055	1043
S <sub>1</sub>	1.29	-	-	-
S <sub>1</sub> M	1.29	4973	1076	1039
S <sub>2</sub>	2.11	-	-	-
S <sub>2</sub> M	2.11	4966	1088	1052

Table. 4. Concentration of heavy metals (mg/kg) and organic carbon content of soils in desorption experiments

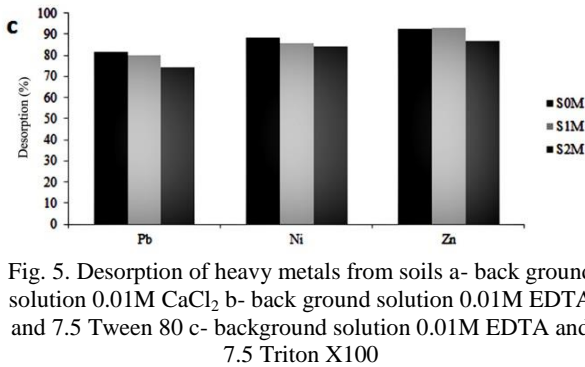


Fig. 5. Desorption of heavy metals from soils a- back ground solution 0.01M CaCl<sub>2</sub> b- back ground solution 0.01M EDTA and 7.5 Tween 80 c- background solution 0.01M EDTA and 7.5 Triton X100

بحث قابل توجه دیگر کاهش درصد واجذب فنانترن با افزایش مواد آلی خاک، در هر سه حالت محلول پایه، بین خاک‌های مختلف است. پژوهش‌ها به طور گسترده ثابت کرده است که مواد آلی موجود در خاک توانایی بالایی در پیوند با PAHs دارند و از این طریق از واجذب آن‌ها جلوگیری می‌کنند [۳۴]. و این تئوری می‌تواند گویای کاهش واجذب فنانترن با افزایش محتوای ماده آلی خاک در حالت بدون استفاده از سورفاکتانت‌ها و کی لیت کننده‌ها باشد. همچنین نتایج چند مطالعه بیانگر رخ دادن پیوند بین سورفاکتانت‌ها و مولکول‌های مواد آلی بودند که دلیل آن می‌تواند به خاطر حضور بخش‌های آبگریز و آبدوست در هر دو ترکیب سورفاکتانت‌ها و مواد آلی باشد [۱۷، ۱۸]. به همین خاطر افزایش محتوای ماده آلی خاک احتمالاً باعث بوجود آمدن سایت‌های بیشتری برای جذب سورفاکتانت‌ها به خاک و در نتیجه کم شدن غلظت این ترکیبات در فاز آبی و متعاقباً کاهش واجذب فنانترن از خاک شده است. همچنین میزان کاهش واجذب در هر حالت محلول پایه، در هر خاک نسبت به خاک پایه بررسی شد و نتایج کاهش واجذب در خاک‌ها، زمانی که محلول پایه ۰/۰۱M CaCl<sub>2</sub> بوده به این شرح است: درصد کاهش از S<sub>0</sub>M، S<sub>1</sub>M، S<sub>1</sub>M، S<sub>2</sub>M نسبت به خاک پایه (S<sub>0</sub>) به ترتیب برابر است با: ۱۶/۹ درصد، ۴۷/۶۹ درصد، ۵۸/۳۳ درصد، ۶۹/۲۳ درصد و ۷۲/۳۰ درصد. و این مقادیر در حالتی که EDTA و Tween 80 در محلول پایه داشتیم با همان ترتیب برابر است با: ۵/۴ درصد، ۹/۸ درصد، ۱۳/۱۸ درصد، ۱۷/۵۸ درصد و ۲۰/۸۷ درصد. و این مقادیر در حالتی که Triton X 100 در محلول پایه داشتیم با همان ترتیب برابر است با: ۸/۴ درصد، ۱۲/۶۳ درصد، ۱۸/۹۴ درصد، ۲۰ درصد،

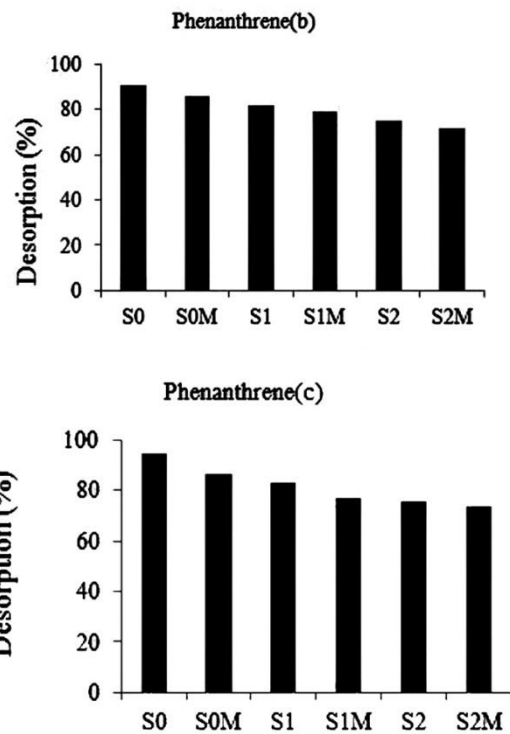
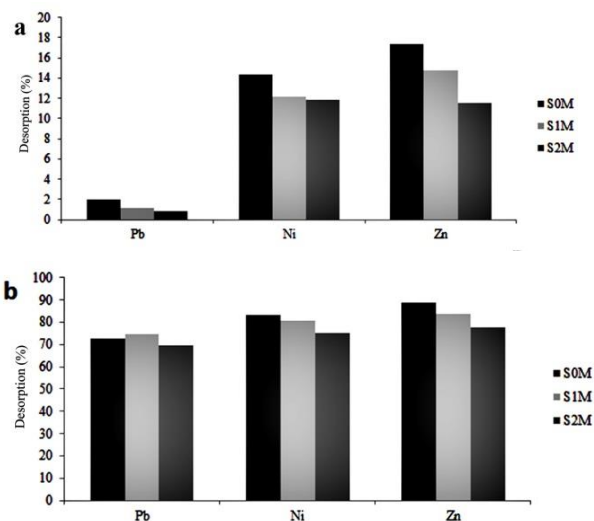


Fig. 4. Desorption of phenanthrene from soils a- back ground solution 0.01M CaCl<sub>2</sub> b- back ground solution 0.01M EDTA and 7.5 Tween 80 c- background solution 0.01M EDTA and 7.5 Triton X100

در سازوکار احتمالی دوم فلزها با تشکیل پل کاتیونی بین ذرات رس با بارهای منفی و مواد آلی باعث کاهش حل شدن مواد آلی خاک به درون فاز آبی شدند و از این طریق موجب کاهش واجذب فنانترن از خاک شدند [۳۳].

شکل ۵ واجذب فلزها سنگین در هر سه خاک S<sub>0</sub>M، S<sub>1</sub>M و S<sub>2</sub>M (a) محلول پایه آب مقطر ۰/۰۱M CaCl<sub>2</sub> (b) محلول پایه آب مقطر ۰/۰۱M EDTA و ۷/۵ تریتون ۱۰۰ (c) محلول پایه آب مقطر ۰/۰۱M EDTA و ۷/۵ تریتون ۱۰۰





۲۲/۱ درصد.

سورفکتانت‌ها به دلیل قابلیت افزایش حلالیت و اثر شست‌وشو می‌توانند باعث تغییر بارهای سطحی و انرژی جذب، یا تعویض فلزها سنگین از سطح خاک شوند و متعاقباً موجب افزایش واجذب این ترکیبات از خاک شوند [۳۷]. همچنین با وجود ثابت بودن غلظت EDTA در آزمایشها، می‌توان ملاحظه کرد که نمونه‌هایی که شامل ترکیب EDTA و Triton X 100 بودند، میزان واجذب هر سه فلز سنگین در آنها بیشتر از نمونه‌هایی بود که شامل Tween 80 و EDTA بودند که این مشاهده می‌تواند گویای بازدهی بالاتر Triton X100 در واجذب فلزها سنگین از Tween 80 در این مطالعه باشد.

همچنین می‌توان ملاحظه کرد که در هر سه حالت محلول پایه، با افزایش ماده آلی خاک میزان واجذب هر سه فلز سنگین کاهش پیدا کرده‌است. دلیل احتمالی این مشاهده حاکم شدن پیوندهای بین مواد آلی خاک و فلزها سنگین در سیستم آبی خاکی است. احتمالاً پیوندهای مواد آلی خاک و فلزها سنگین باعث تغییرات در حلالیت فلزها سنگین شدند [۲۱]. و متعاقباً موجب کاهش واجذب فلزها سنگین از خاک شدند. دلیل احتمالی حاکم شدن این پیوندها می‌تواند، میزان بالای مواد آلی خاک به‌ویژه در خاک S<sub>2</sub>M و pH نمونه‌ها که نزدیک به pH خنثی است، باشد. ردی<sup>۳</sup> [۳۸] و همکاران (۱۹۹۵) دریافتند که میزان بالای مواد آلی خاک و pH نزدیک به خنثی، تاثیر مواد آلی را در پیوند با فلزها تشدید می‌کند.

#### ۴- نتیجه گیری

در این مقاله اثر مواد آلی، سورفکتانت‌ها و کی لیت کننده‌ها بر واجذب هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای از خاک، در حضور و عدم حضور فلزها سنگین بررسی شدند. نتایج واجذب فنانترن از خاک نشان‌گر این بود که افزایش محتوای ماده آلی خاک منجر به کاهش میزان واجذب این ترکیب از خاک می‌شود که علت احتمالی این پدیده توانایی بالای مواد آلی خاک در تشکیل پیوند با هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای است که در نتیجه‌ی آن میزان واجذب فنانترن از خاک کم می‌شود. همچنین مشاهدات بیانگر این بودند که حضور فلزها سنگین در خاک نیز باعث کاهش واجذب فنانترن

در ادامه همان‌گونه که در جدول (۵ و شکل ۵) مشخص شده است واجذب فلز سنگین سرب در سه حالت مختلف محلول پایه 0.01M CaCl<sub>2</sub> + EDTA و Tween 80 + EDTA و Triton X100 به ترتیب برابر است با (۲/۰۱۳-۰/۸۸۲)، (۷۲/۴۳-۶۹/۶۶) و (۸۱/۸۵-۷۴/۱۲) است. در مورد فلز سنگین نیکل این مقادیر با همان ترتیب برابر است با (۱۱/۸۷-۱۴/۳۷)، (۷۵/۱۱-۸۳/۴۴) و (۸۴/۴۷-۸۸/۴۷) و همچنین برای فلز سنگین روی مقادیر به دست آمده با همان ترتیب برابر است با (۱۱/۵۹-۱۷/۳۶)، (۷۷/۶۹-۸۸/۹۲) و (۸۶/۹۶-۹۲/۷۸). با توجه به این نتایج می‌توان دریافت که فلز سنگین سرب که بالاترین میزان جذب را در میان سه فلز سنگین داشته است پایین‌ترین میزان واجذب را داشته است اما در مقایسه دو فلز نیکل و روی می‌توان مشاهده کرد که فلز نیکل میزان واجذب بیشتری نسبت به فلز روی داشته است و هر دو فلز روی و نیکل واجذب بیشتری نسبت به سرب داشته‌اند.

جدول (۵) درصد واجذب فنانترن در خاک‌های مختلف

Soils						Back ground solution
S <sub>2</sub> M	S <sub>2</sub>	S <sub>1</sub> M	S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub> M	S <sub>0</sub>	
1.8	2.2	3	3.4	5.4	6.5	CaCl <sub>2</sub>
72	75	79	82	86	91	EDTA + Tween 80
74	76	77	83	87	95	EDTA + Triton x100

Table. 5. Desorption of phenanthrene from soils (%)

همچنین از نتایج بالا می‌توان دریافت که ترکیب سورفکتانت‌ها و EDTA واجذب فلزها سنگین را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش دادند. پولز<sup>۱</sup> [۳۵] و همکاران (۱۹۹۴) در مطالعه خود دریافتند که سورفکتانت آنیونی، سدیم دودسیل سولفات<sup>۲</sup> (SDS)، تحرک کروم شش ظرفیتی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داده است. همچنین مطالعه دیگری نشان داده است که اعمال همزمان سورفکتانت و EDTA واجذب کادمیوم و کروم را از لجن افزایش داده است [۳۶].

1 Puls  
2 Sodium dodecyl sulfate (SDS)



- [9] Cheng, K.Y. Wong, J.W.C. 'Effect of synthetic surfactants on the solubilization and distribution of PAHs in water/soil-water systems', *Environmental Technology*, 27, (2006), 835-844.
- [10] Alcantara, T. Pazos, M. Cameselle, C. Sanroman, M.A. 'Electrochemical remediation of phenanthrene from contaminated kaolinite', *Environmental Geochemistry Health*, 30, (2008), 89-94.
- [11] Fonseca, B. Pazos, M. Figueiredo, H. Tavares, H. Sanromán, M.A. 'Desorption kinetics of phenanthrene and lead from historically contaminated soil', *Chemical Engineering Journal*, 167, (2011), 84-90.
- [12] Wang, G. Zhou, Y. Wang, X. Chai, X. Huang, L. Deng, L. 'Simultaneous removal of phenanthrene and lead from artificially contaminated soils with glycine-β-cyclodextrin', *Journal of Hazardous Materials*, 184, (2010), 690-695.
- [13] Ortega-Calvo, J.J. Tejada-Agredano, M.C. Jimenez-Sanchez, C. Congiu, E. Sunthong, R. Niqui-Arroyo, J.L. Cantos, M. 'Is it possible to increase bioavailability but not environmental risk of PAHs in bioremediation?', *Journal of hazardous material*, 261, (2013), 733-745.
- [14] Gan, S. E. Lau, V. Ng, H.K. 'Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)', *Journal of Hazardous Material*, 172, (2009), 532-549.
- [15] Mulligan, C.N. Yong, R.N. Gibbs, B.F. 'Surfactant-enhanced remediation of contaminated soil: a review', *Eng. Geol.*, 60, (2001), 371-380.
- [16] Yang, X. Lu, G. She, B. Liang, X. Yin, R. Guo, C. Yi, X. Dang, Z. 'Cosolubilization of 4,40-dibromodiphenyl ether, naphthalene and pyrene mixtures in various surfactant micelles', *Chemical Engineering Journal*, 260, (2015), 74-82.
- [17] Wan, J. Wang, L. Lu, X. Lin, Y. Zhang, S. 'Partitioning of hexachlorobenzene in a kaolin/humic acid/surfactant/water system: Combined effect of surfactant and soil organic matter', *Journal of Hazardous Materials*, 196, (2011), 79-85.
- [18] Cheng, K.Y. Wong, J.W.C. 'Combined effect of nonionic surfactant Tween 80 and DOM on the behaviors of PAHs in soil-water system', *Chemosphere*, 62, (2006), 1907-1916.
- [19] Lestan, D. Luo, C.I. Li, X.d. 'The use of chelating agents in the remediation of metal-contaminated soils: a review', *Environmental Pollution*, 153, (2008), 3-13.
- [20] Cho, H.H. Choi, J. Goltz, M.N. Park, J.W. 'Combined effect of natural organic matter and surfactants on the apparent solubility of polycyclic aromatic hydrocarbons', *Journal of Environmental Quality*, 21, (2002), 275-280.
- [21] Antoniadis, V. Alloway, B.J. 'The role of dissolved organic carbon in the mobility of Cd, Ni and Zn in sewage sludge-amended soils', *Environmental pollution*, 117, (2002), 515-521.
- [22] Mader, B.T. Goss, K.U. & Eisenreich, S.J. 'Sorption of nonionic, hydrophobic organic chemicals to mineral surfaces', *Environmental Science and Technology*, 31, (1997), 1079-1086.
- [23] Salloum, M.J. Dudas, M.J. McGill, W.B. Murphy, S.M. 'Surfactant sorption to soil and geologic samples with varying mineralogical and chemical properties', *Environmental Toxicological Chemistry*, 19, (2000), 2436-2442.
- [24] Ochoa-Loza, F.J. Noordman, W.H. Janssen, D.B. Brusseau, M.L. Maier, R.M. 'Effect of clays, metal oxides, and organic matter on rhamnolipid biosurfactant sorption by soil', *Chemosphere*, 66, (2007), 1634-1642.
- [25] USEPA, *ACID DIGESTION OF SEDIMENTS, SLUDGES, AND SOILS*, in 3050B. 1996, SW-864: United States Environmental Protection Agency.
- [26] USEPA, *Soxhlet Extraction in 3540C*. 1996, SW-846: United States Environmental Protection Agency.
- [27] ASTM, *Standard Test Method for Laboratory, Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*, in D2216-10. 2010, ASTM International: West Conshohocken.
- [28] ASTM, *Standard Test Method for Laboratory, Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by*

از خاک می‌شود که این پدیده احتمالاً به دلیل پیوندهای قوی و برگشت ناپذیر مانند پیوند کاتیون پی بین فنانترن و فلزها سنگین موجود است. علاوه بر این در بررسی واجب فنانترن در سه حالت مختلف محلول پایه، وجود Triton X100+EDTA در محلول پایه، بالاترین میزان واجذب فنانترن را در پی داشت و پس از آن Tween 80+EDTA و 0.01 M CaCl<sub>2</sub> به ترتیب بیشترین میزان واجذب فنانترن از خاک را داشته‌اند.

نتایج واجذب فلزها سنگین از خاک هم نشان‌گر این است که فلز سنگین روی بیشترین میزان واجذب را داشته، و پس از آن فلزها سنگین نیکل و سرب به ترتیب بیشترین میزان واجذب را داشته‌اند. همچنین در سه حالت مختلف محلول پایه، وجود Triton X100+EDTA در محلول پایه، بالاترین میزان واجذب فلزها را در پی داشت و پس از آن Tween 80+EDTA و 0.01 M CaCl<sub>2</sub> به ترتیب بیشترین میزان واجذب را داشته‌اند. همچنین در هر سه فلز سنگین استفاده شده ملاحظه شد که در بیشتر مواقع افزایش محتوای مواد آلی خاک موجب کاهش واجذب این ترکیبات از خاک می‌شود.

## References

## ۵- مراجع

- [1] Gallego, E. Roca, F.J. Perales, J.F. Guardino, X. Berenguer, M.J. 'VOCs and PAHs emissions from creosote-treated wood in a field storage area', *Science of Total Environmental*, 402, (2008), 130-138.
- [2] Chau Thuy, P. Kameda, T. Toriba, A. Hayakawa, K. 'Polycyclic aromatic hydrocarbons and nitropolycyclic aromatic hydrocarbons in particulates emitted by motorcycles', *Environmental Pollution*, 183, (2013), 175-183.
- [3] Bostrom, C.E. Gerde, P. Hanberg, A. Jernström, B. Johansson, C. Kyrklund, T. Rannug, A. Törnqvist, M. Victorin, K. Westerholm, R. 'Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air', *Environmental Health Perspect*, 110, (2002), 451.
- [4] Zhao, D. Liao, X. Yan, X. Huling, S.G. Chai, T. Tao, H. 'Effect and mechanism of persulfate activated by different methods for PAHs removal in soil', *Journal of Hazardous Material*, 254, (2013), 228-235.
- [5] Zhang, W. Zhuang, L. Yuan, Y. Tong, L. Tsang, D.C.W. 'Enhancement of phenanthrene adsorption on a clayey soil and clay minerals by coexisting lead or cadmium', *Chemosphere*, 83, (2011), 302-310.
- [6] Ik Chung, H. Kamon, M. 'Ultrasonically enhanced electrokinetic remediation for removal of Pb and phenanthrene in contaminated soils', *Eng. Geol.*, 77, (2005), 233-242.
- [7] Bamforth, S.M. Singleton, I. 'Bioremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons: current knowledge and future directions', *Journal of Chemistry Technology and Biotechnology*, 80, (2005), 723-736.
- [8] Zhang, W.H. Lo, I.M.C. 'EDTA-enhanced washing for remediation of Pb- and/or Zn-contaminated soils', *Journal of Environmental Engineering Asce*, 132, (2006), 1282-1288.

- [34] Liu, H. and Amy, G. 'Modeling partitioning and transport interactions between natural organic matter and polynuclear aromatic hydrocarbons in groundwater', *Environmental Science and Technology*, 27, (1993), 1553-1562.
- [35] Puls, R.W. Clark, D.A. Paul, C.J. and Vardy, J. 'Transport and transformation of hexavalent chromium through soils and into ground water', *Journal of Soil Contamination*, 3, (1994), 203-224.
- [36] Chen, Y. C. Guo, Y. and Wei, S. P. 'Removal of Cd and Cr from municipal sludge by complexing of chelators and surfactants', *China Environmental Science* (in Chinese), 24(1), (2004), 100-104.
- [37] Chen, Y.C. Xiong, Z.T. Dong, S.Y. 'Chemical Behavior of Cadmium in Purple Soil as Affected by Surfactants and EDTA', *Soil Science Society of China*, 16(1), (2006), 91-99.
- [38] Reddy, K.J. Wang, L. Gross, S.P. 'Solubility and mobility of copper, zinc and lead in acidic environments', *Plant and Soil*, 171, (1995), 53-58.
- Mass*, in *D2216-10*. 2010, ASTM International: West Conshohocken.
- [29] USEPA, *Cation Exchange Capacity of Soil (Sodium Acetate)*, in *9081*. 1986, SW-846: United State Environmental Protection Agency.
- [30] ASTM, *Standard Test Method for Moisture, Ash, and Organic Matter of Peat and Other Organic Soils*, in *D2974-87*. 2010, ASTM International: Philadelphia
- [31] Saichek, R.E & Reddy, K. R. 'Evaluation Of Surfactants/Cosolvents For Desorption/Solubilization Of Phenanthrene In Clayey Soils', *International Journal of Environmental Studies*, 61(5), (2004), 587-604.
- [32] Zhu, D.Q. Herbert, B.E. Schlautman, M.A. Carraway, E.R. and Hur, J. 'Cation- $\pi$  bond: a new perspective on the adsorption of PAH to mineral surfaces', *journal of Environmental Quality*, 33, (2004), 1322-1330.
- [33] Gao, Y. Xiong, W. Ling, W. Xu, J. 'Sorption of phenanthrene by soils contaminated with heavy metals', *Chemosphere*, 65, (2006), 1355-1361.

# effect of organic matter, chelatant and surfactants on desorption of phenanthrene and heavy metals from clayey soil: mixture of kaoline, montmorillonite and sand

M.Saeedi<sup>1</sup>, A.Mollahosseini<sup>2</sup>, M.Ayatynia<sup>3\*</sup>, T.Ghorbanian<sup>4</sup>, M.Rastegari<sup>5</sup>

1- Associate Prof., water Eng. Dept., Faculty of Civil and Environmental Eng., iran university of science and technology

2- Assistant Prof., Faculty of Chemistry., iran university of science and technology

3- M.Sc. of water Eng, Faculty of Civil and Environmental Eng., iran university of science and technology

4- M.Sc. of water Eng, Faculty of Civil and Environmental Eng., iran university of science and technology

5- M.Sc. of water Eng, Faculty of Civil and Environmental Eng., iran university of science and technology

aiatynia\_milad@yahoo.com

## Abstract:

Understanding the combined effect of soil organic matter (SOM), surfactants and chelatant on the partitioning of polycyclic aromatic compounds and in soil/water systems and on their desorption is important to predict the effectiveness of surfactant-chelatant-enhanced remediation systems. In this paper the effect of soil organic matter's content and presence of surfactants and a chelatant on desorption of six different polycyclic aromatic hydrocarbons namely acenaphthene, fluorine, phenanthrene, anthracene, fluoranthene, and pyrene was investigated and the results of phenanthrene was reported. It also investigates the effect of coexistence of three different heavy metals namely: lead, zinc and nickel on polycyclic aromatic hydrocarbons and their effects on desorption of these compounds. The basic soil was made from a mixture of kaolinite, montmorillonite and sand. Then this basic soil was spiked by two different level of organic matter through batch experiments to achieve three different soils named  $S_0$ ,  $S_1$  and  $S_2$  which has 0.33, 1.29 and 2.11 percent organic carbon, respectively. After that, this three different soils was spiked by heavy metals with the same way mentioned before (batch experiments). As a result, six different soils was created under the name of:  $S_0$ ,  $S_0M$ ,  $S_1$ ,  $S_1M$ ,  $S_2$ ,  $S_2M$ . and finally these six soils were spiked by mentioned polycyclic aromatic hydrocarbons. And finally the whole desorption experiments was done on these mentioned soils. Two surfactants chosen in this paper was triton x 100 and tween 80 and the chelatant was ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA). Results showed that, surfactants improved the desorption of both heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons and it also could be understood that triton x 100 had higher effectiveness than tween 80 in desorption of both heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. Furthermore it was found that soil organic matter had preventative effect on desorption of both heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons. Both soil organic matter and surfactants are amphiphilic substances and because of that it is possible that this result is due to the sorption of surfactants into soil organic matter and consequently caused a reduction in desorption effectiveness of polycyclic aromatic hydrocarbons. and further increase in soil organic matter content caused more reverse effect on surfactants productivity. It was also found that, presence of lead, zinc and nickel could have preventative effect on desorption of polycyclic aromatic hydrocarbons too, and this could be due to some specific interactions like cation  $\pi$  binding between heavy metals and phenanthrene while they coexist in the interface of soil and water. Another reason of heavy metals preventative effect on desorption of polycyclic aromatic hydrocarbons could be due to their indirect effect through which, heavy metals act as an cation bridge between clay particles and organic matter molecules and by this mean prevent soil organic matter molecules to be dissolved in water. On the other hand scientists have proved that polycyclic aromatic hydrocarbons have great affinity to partition in to soil organic matter. Therefore by retaining more organic matter in soil through cation bridge mechanism, desorption of phenanthrene was reduced.

**Keywords:** surfactant, chelatant, kaolinite, phenanthrene, heavy metal.