

## تأثیر نفوذ شیرابه بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل دفن زباله شهری (مطالعه موردی: محل دفن تنکابن)

داریوش یوسفی کبریا\*<sup>+</sup>، مریم تقی‌زاده، غلامرضا درویشی

بابل، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، دانشکده عمران - محیط زیست

**چکیده:** در این پژوهش میزان آلودگی  $BOD_5$ ،  $COD$ ، غلظت عنصرهای گوناگون معدنی با اندازه‌گیری پارامترهای گوناگون شیمیایی از جمله کلرید، بی‌کربنات،  $pH$ ،  $EC$ ،  $TDS$  و میزان فلزهای سنگین ( $Pb$ ،  $Cd$ ،  $Cr$ )،  $Mn$ ،  $Fe$ ،  $Zn$  در نمونه‌های شیرابه و همچنین درصد رطوبت، بی‌کربنات، کلرید، پتاسیم و  $pH$  ناشی از تأثیر نفوذ شیرابه در عمق‌های گوناگون خاک‌های آلوده محل دفن زباله و خاک‌های تمیز مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتیجه‌های به دست آمده از نسبت  $BOD_5$  به  $COD$  برابر ۰٫۳۵ نشان می‌دهد که شیرابه از نظر زیستی قابل تجزیه بوده و این محل در زمره‌ی محل‌های دفن قدیمی به شمار می‌آید. تغییر  $pH$  خاک در عمق‌های گوناگون نشان می‌دهد که به علت تجزیه مواد آلی شیرابه در خاک و تولید ترکیب‌های اسیدهای آلی ضعیف و کربن دی‌اکسید مقدار آن در عمق ابتدا کاهش یافته و در نتیجه حد روانی افزایش می‌یابد ولی در میزان حد خمیری خاک تغییر چندانی به وجود نمی‌آورد و در نتیجه دامنه خمیری خاک افزایش می‌یابد ولی در عمق بیشتر مقدار آن افزایش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** شیرابه، حد خمیری، حد روانی، محل دفن، زباله، خاک، آلانده‌های معدنی.

**KEY WORDS:** Leachate, Plastic limit, Liquid limit, Landfill, Solid waste, Soil.

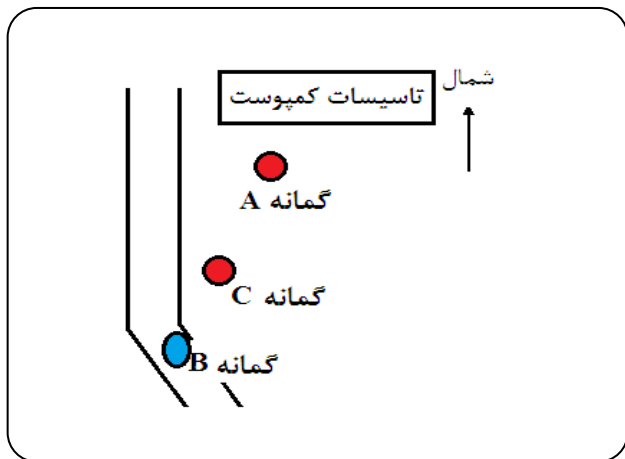
### مقدمه

کاهش می‌یابد [۱، ۲]. شیرابه می‌تواند دارای غلظت بالایی از چندین آلانده خطرناک به صورت هم‌زمان باشد و همچنین مقدارهای زیادی از ترکیب‌های آروماتیک، هالوژنه، فنول، فلزهای سنگین و آمونیاک است که این ترکیب‌ها حتی در مقدار کم هم خطرناک هستند ممکن است در زباله وجود داشته باشد [۳-۵]. بیشترین مشکل محل دفن زباله شهری، میزان تولید و انتشار شیرابه و گاز تولید شده در اثر تجزیه زباله‌های دارای ترکیب‌های آلی است که از جمله مهمترین عامل آلودگی خاک در محل دفن مواد زاید جامد به شمار می‌آید [۶، ۷]. مواد آلی مقاوم به تجزیه زیستی

ویژگی‌های خاص ترکیب پسماند شهری در ایران از جمله درصد بالای مواد فسادپذیر، رطوبت و همچنین شرایط خاص اقلیمی همچون بارندگی کم و تبخیر زیاد سبب شده است که شیرابه به دست آمده دارای بار آلودگی بالایی در مقایسه با کشورهای صنعتی باشد. فراورده‌ی تجزیه زیستی زباله‌ها در محل دفن به صورت یک فرایند طبیعی مایع آلوده‌ای است به نام شیرابه که ویژگی‌های آن به ترکیب مواد زائد جامد و فرایندهای زیستی و شیمیایی که در داخل مرکز دفن رخ می‌دهد، وابسته است و غلظت ترکیب‌ها در شیرابه، در نتیجه پیشرفت تجزیه زباله

\*E-mail: dy.kebria@nit.ac.ir

\*عهده دار مکاتبات



شکل ۱- موقعیت گمانه‌های محل دفن زباله.

نامگذاری شده‌اند که در طبقه‌بندی خاک‌ها مورد نیاز می‌باشد [۱۴]. تعداد ۲۱ نمونه خاک با در نظر گرفتن ترکیب معدنی آنها و ویژگی‌های مکانیزم خاک تحلیل شد. آزمایش‌ها نشان می‌دهد که رس دارای حد روانی متوسط و حد خمیری به ترتیب ۵۷،۳۵ و ۳۴،۰۳ درصد بوده است.

### نمونه‌گیری خاک

ابتدا عملیات نمونه برداری صحرائی براساس شیب طبیعی منطقه با حفر سه عدد گمانه در عمق‌های متفاوت به ترتیب ۱۰ متری (گمانه A)، ۱۵ متری (گمانه B) و ۲۰ متری (گمانه C) در منطقه‌ای به مساحت تقریبی ۳۰۰۰ متر مربع انجام شد. شکل ۱ موقعیت گمانه‌ها را نشان می‌دهد.

به منظور مقایسه میزان آلودگی در عمق خاک، محل گمانه‌ها را در سه منطقه با آلودگی زیاد در مرکز محل دفن (گمانه A)، آلودگی متوسط در پایین دست (گمانه C) و در خاک تمیز در سمت چپ محل دفن (گمانه B) انتخاب شد. در زمان حفاری تغییر لایه‌ها و سطح آب زیرزمینی در عمق‌های گوناگون ثبت شد. همچنین شیرابه از پایین دست محل دفن زباله تهیه شد و همراه با سایر نمونه‌های خاک در شرایط آزمایشگاهی به آزمایشگاه محیط زیست منتقل و درون یخچال ویژه در دمای ۴ درجه سلسیوس نگهداری شد.

ویژگی‌های گوناگون pH، BOD<sub>5</sub>، COD، TDS، EC و کلرید و بی‌کربنات نمونه شیرابه و pH درصد رطوبت، بی‌کربنات، کلر و پتاسیم در نمونه‌هایی خاک به روش استاندارد اندازه‌گیری شد [۱۵].

و فلزهای سنگین از اجزای اصلی شیرابه زباله‌اند که به طور معمول باعث ایجاد اثرهای نامطلوب بر انسان و محیط زیست می‌شود [۸، ۱]. بنابراین به دلیل اثرهای مخربی که این‌گونه آلاینده‌ها دارند بررسی حرکت آلاینده‌های موجود در شیرابه و خاک ضروری به نظر می‌رسد [۹].

حرکت شیرابه با بررسی میدانی، آزمون‌های آزمایشگاهی و مدل‌سازی عددی در خاک محل دفن و خاک‌های رسی طبیعی و تحکیم شده توسط پژوهشگران زیادی مورد مطالعه قرار گرفت [۱۰، ۱۱]. در مطالعه حرکت آلاینده‌ها در خاک‌های رسی طبیعی و تحکیم شده، سطح شیرابه در محل‌های دفن، زیر ارتفاع معین (بر طبق USEPA<sup>(۱)</sup> ارتفاع ۳۰ سانتی متر) است، بدین معنی که، هدایت هیدرولیکی پایین (کمتر از  $10^{-9}$  متر در ثانیه) در رس طبیعی یا لایه‌های رس کاهش می‌دهد. هرچند در حال حاضر، هزاران محل دفن کنترل نشده در آسیا وجود دارد که فاقد مدیریت مناسب در زمینه کنترل شیرابه هستند. بنابراین در این محل‌ها به ویژه در مناطق مرطوب میزان تولید شیرابه بسیار بالاست [۱۲، ۱۳].

در این پژوهش، ویژگی‌های گوناگون شیرابه شامل BOD<sub>5</sub>، COD، pH، EC، TDS، بی‌کربنات، کلرید و فلزهای سنگین تعیین و تاثیر آنها بر روی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل دفن زباله شهری تنکابن (رطوبت، فسفر، نیترات، کلر، پتاسیم، pH) مورد بررسی قرار گرفته است.

### بخش تجربی

#### ویژگی‌های محل دفن زباله

محل دفن زباله انتخاب شده در حاشیه جنوبی دریای خزر و در ناحیه البرز مرکزی، در ضلع جنوب غربی و در ۱۳ کیلومتری شهر تنکابن واقع شده است و زمان شروع دفن زباله از سال ۱۳۷۸ گزارش شد. با توجه به آزمایش‌های انجام شده محل دفن بر روی لایه رسی بنا شده است.

#### آزمایش حد روانی و حد خمیری

خاک‌های ریزدانه بر حسب مقدار آب جذب شده حالت‌های گوناگون مایع، خمیری، نیمه جامد و جامد به خود می‌گیرند که درصد رطوبت بین حالت مایع و خمیر به حد روانی و درصد رطوبت بین حالت خمیری و نیمه جامد به حد خمیری و ...

(۱) United States Environmental Protection Agency

جدول ۱- حد روانی و خمیری گمانه‌های A، B و C.

عمق (متر)	حد روانی	حد خمیری	دامنه خمیری
گمانه A			
۱-۱٫۵	۴۶٫۶	۳۰٫۲	۱۶٫۳
گمانه B			
۱۲٫۵	۵۲	۳۱	۲۱
گمانه C			
۲-۵٫۵	۵۷٫۸	۳۵٫۷	۲۲٫۱
۶-۱۰	۶۰	۳۵٫۹	۲۴٫۱
۱۲٫۵-۱۵	۶۲٫۴	۳۴٫۹	۲۷٫۴
۱۷٫۵-۲۰	۶۵٫۳	۳۶٫۵	۲۸٫۸

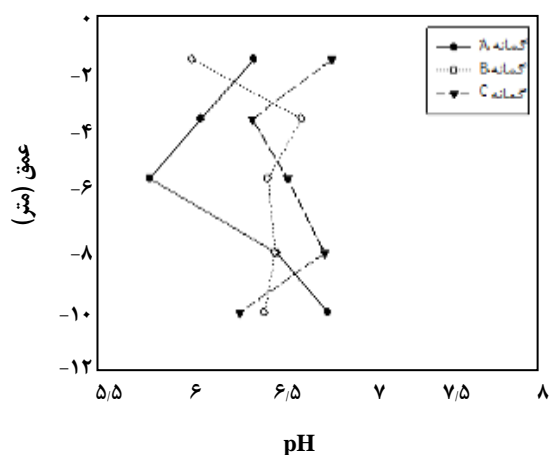
جدول ۲- ویژگی‌های شیرابه محل دفن.

مقدار	واحد	ویژگی‌ها
۱۵۰	mg/L	BOD5
۴۲۵	mg/L	COD
۶٫۴	-	pH
۸۷۱۷	mg/L	EC
۵۵۰	mg/L	TDS
۱۶٫۲۴	mg/L	بی کربنات
۲۲	mg/L	کلراید
۰	ppm	Cr
۰	ppm	Cd
۰٫۷۷	ppm	Pb
۰٫۱۲	ppm	Zn
۲٫۰۹	ppm	Fe
۰	ppm	Mn

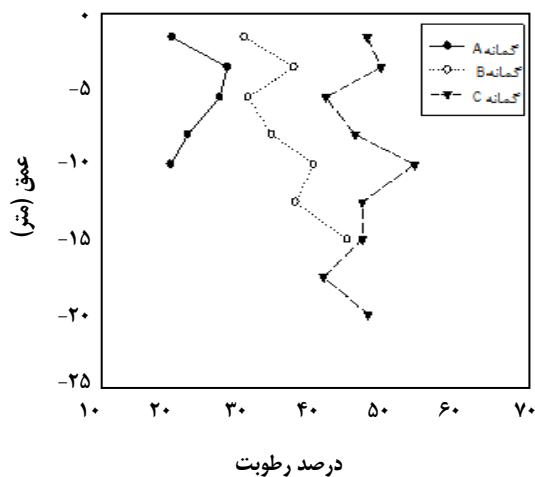
### نتیجه‌ها و بحث

همان‌گونه که در نمودارها دیده می‌شود، تغییر pH خاک در اثر تغییر در میزان اسید یا باز، باعث افزایش حد روانی می‌شود ولی تغییر چندانی در حد خمیری خاک به وجود نمی‌آورد و در نتیجه دامنه خمیری خاک را افزایش می‌دهد. همچنین نتیجه‌ها نشان می‌دهد که خاک محل تا عمق حدود ۳ متر ریزدانه و بعد از آن درشت دانه ماسه و بعد از عمق ۱۵ متر ریزدانه در حد سیلت با حد روانی پایین می‌باشد. پارامترهای شیمیایی و زیستی شیرابه محل دفن تعیین و در جدول ۲ نشان داده شده است.

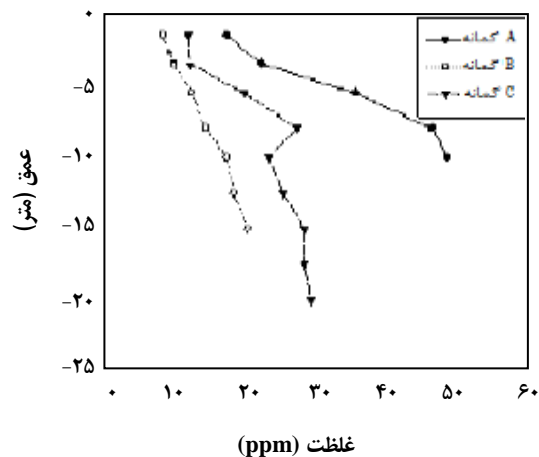
چکیده نتیجه‌های آزمایش‌های تعیین حدود اتربرگ برای مطالعه تأثیر تغییرهای pH بر ویژگی‌های خمیری و روانی خاک محل دفن در جدول ۱ نشان داده شده است. طبق استاندارد USEPA حداقل دامنه خمیری پوشش رسی مورد استفاده در محل‌های دفن زباله باید برابر ۱۰ باشد، اما ممکن است وجود مواد شیمیایی در شیرابه باعث کاهش دامنه خمیری به میزان کمتر از حد استاندارد بشود که این امر نیاز به بررسی تغییرهای حدود اتربرگ را بیان می‌کند [۱۶].



شکل ۲- تغییرهای pH در عمق مشترک ۱۰ متری خاک برای گمانه‌های A، B و C.



شکل ۳- تغییر درصد رطوبت در گمانه‌های A، B و C.



شکل ۴- تغییر غلظت میزان پتاسیم در گمانه‌های A، B و C.

نتیجه‌های به دست آمده از اندازه گیری pH، درصد رطوبت و عناصر موجود خاک در سه گمانه A، B و C در شکل‌های ۱ تا ۷ نشان داده شده است. نتیجه‌ها نشان می‌دهد pH در هر سه گمانه با افزایش ارتفاع از سطح زمین در حال تغییر است و ثابت نمی ماند. شکل تغییرهای pH بر حسب عمق، برای هر سه گمانه (تا عمق مشترک ۱۰ متر) در شکل ۲ نشان داده شده است.

به‌طور کلی نتیجه‌های به دست آمده از شکل pH نشان می‌دهد که کاهش pH تا عمق ۵،۵ متر در گمانه A و C را می‌توان به نفوذپذیری بالای خاک و واکنش‌های شیمیایی خاک تا این عمق با شیرابه نسبت داد و خاک برای لایه‌های پایین تر از ۵،۵ متر، با جذب آلاینده‌ها به خود نقش صافی را ایفا می کند. بنابراین می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که به دلیل تراکم زیاد خاک در عمق بیش‌تر از ۵،۵ متر، کاهش نفوذپذیری و جداسازی آلاینده‌های شیرابه به دلیل نقش صافی خاک، pH از این عمق به بعد در این دو گمانه افزایش می یابد.

تغییر درصد رطوبت نیز در ۳ گمانه موجود در شکل ۳ و تغییر غلظت عنصرهای موجود در خاک در ۳ نمونه موجود در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است.

میزان رطوبت در گمانه A، از عمق ۵ تا ۱۰ متر کاهش می‌یابد و دلیل آن را می توان به نفوذ کمتر شیرابه و کاهش تجزیه زیستی نسبت داد. درحالی که در گمانه C افزایش رطوبت از عمق ۵ تا ۱۰ متری نشان دهنده آن است که شیرابه در گمانه C تا عمق ۱۰ متر نفوذ داشته و علت آن می‌تواند افزایش تجزیه زیستی و همچنین بالابودن نفوذ پذیری خاک باشد

براساس نتیجه‌های به‌دست آمده در شکل ۴، غلظت پتاسیم با افزایش ارتفاع از سطح زمین در هر سه گمانه افزایش می یابد. تغییرهای پتاسیم را می‌توان ناشی از حرکت کاتیون‌ها و فرسایش خاک در لایه‌های بالایی دانست [۱۶].

در شکل ۵ غلظت کلر در هر سه گمانه تغییرهای افزایشی بسیار کمی دارد و به طور کلی با عمق ثابت است، دلیل این ثابت ماندن را می‌توان به جذب کم کلراید توسط خاک نسبت داد [۱۶، ۱۷].

در شکل ۶ و ۷ تغییرهای آمونیاک و نیترات در دو گمانه A و C نشان داده شده است.

بر اساس نمودار ۶ غلظت نیترات در گمانه A بیشتر از گمانه C است و در هر دو گمانه غلظت نیترات در حال افزایش است. بر اساس شکل ۷، غلظت آمونیاک در گمانه A بیشتر از گمانه C است و در هر دو گمانه غلظت آمونیاک در حال افزایش است.

بر اساس شکل ۶ و ۷، آمونیاک و نترات با عمق افزایش می‌یابد، میزان این افزایش در گمانه A بیشتر است که نشان دهنده میزان بیشتر شیرابه در این گمانه می‌باشد و این گمانه نسبت به دو گمانه دیگر آلوده تر است.

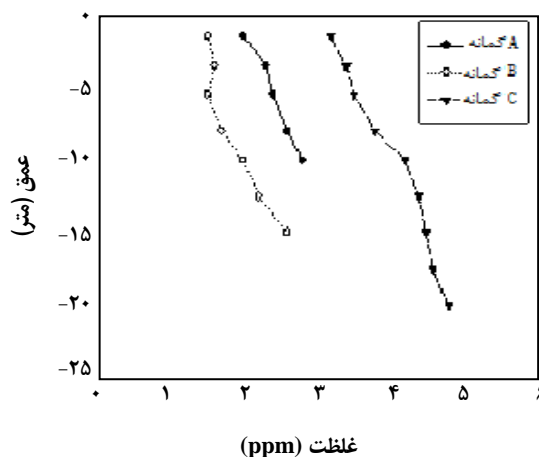
### نتیجه‌گیری

$BOD_5$  و COD شیرابه محل دفن تنکابن به ترتیب ۱۵۰ و ۴۲۵ است در نتیجه این محل جزو محل‌های قدیمی دفن زباله به شمار می‌رود. با توجه به اینکه تجزیه‌پذیری زیستی شیرابه (نسبت  $BOD_5/COD$ ) بین ۰،۴ تا ۰،۶ بیانگر آن است که شیرابه به آسانی به روش زیستی تجزیه می‌شود (در محل‌های قدیمی دفن زباله این نسبت اغلب در حدود ۰،۵ تا ۰،۲ می‌باشد) این نسبت در شیرابه محل دفن زباله تنکابن ۰،۳۵ است [۱۸].

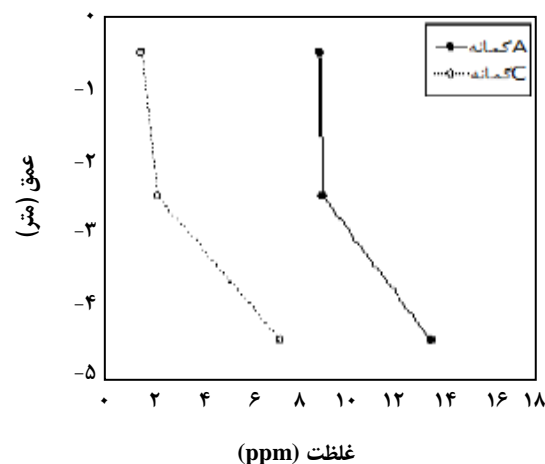
افزایش میزان رطوبت در گمانه A و C باعث افزایش تجزیه زیستی زباله می‌شود. همچنین این افزایش رطوبت نشان دهنده نفوذ مقدار زیاد شیرابه تا این ارتفاع است. گمانه A نسبت به گمانه C دارای آلودگی بیش تری است، نفوذپذیری خاک در نمونه A کمتر و همچنین رطوبت نیز کمتر از گمانه C است، بنابراین میزان تجزیه زیستی انجام شده کمتر خواهد بود و آلودگی شیرابه در این گمانه به صورت تجزیه نشده باقی می‌ماند.

غلظت آمونیاک و نترات در گمانه A و C افزایش یافته و باعث اسیدی شدن محیط می‌شود و pH خاک را کاهش می‌دهد. در سه گمانه A، B و C غلظت کلرید با عمق تغییر نمی‌کند، دلیل این ثابت ماندن را می‌توان به جذب کم کلرید توسط خاک نسبت داد [۱۹،۲۰]. این عنصر به سختی جذب خاک می‌شود و به راحتی نیز تجزیه نمی‌شود. کلرید یک ترکیب حل شده غیرفعال است. بنابراین انتقال آن سریع تر از انتقال سایر آلاینده‌ها مثل آلاینده‌های آلی و فلزهای سنگین است [۲۱، ۲۰].

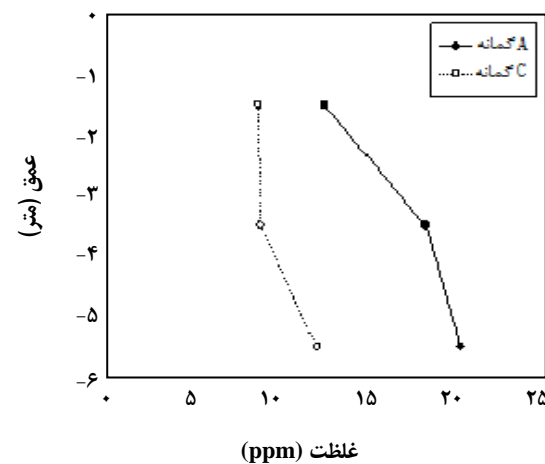
واکنش‌های شیمیایی و زیستی در محل دفن زباله باعث تولید مواد قابل حل آلی و غیر آلی می‌شود. شیرابه تولید شده باعث نشت و نفوذ غیریکنواخت رطوبت در داخل زباله می‌شود که خود باعث جداکردن و حمل این مواد قابل حل از مواد زائد و انحلال و معلق کردن آنها در خاک می‌شود. همچنین تشکیل شیرابه خود بیانگر افزایش رطوبت محل دفن و افزایش فعالیت و تجزیه زیستی آن می‌باشد. مواد جانبی به دست آمده از این فعالیت‌ها به طور گسترده‌ای بر وجود مواد آلی در شیرابه به ویژه در شیرابه اولیه پس از دفن زباله موثر هستند



نمودار ۵ - تغییر غلظت کلر در گمانه‌های A، B و C.



شکل ۶ - تغییر غلظت نترات در گمانه‌های A و C.



نمودار ۷ - تغییر غلظت آمونیاک در گمانه‌های A و C.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۱۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱/۲۵

## مراجع

- [1] Christensen T.H., Kjeldsen P., Bjerg P.L., Jensen D.L., Christensen J.B., Baun A., Albrechtsen H.J., Heron G., [Biogeochemistry of landfill leachate plumes](#), *Applied Geochemistry*, **16**(7-8): 659-718 (2001).
- [2] Freyssinet P., Piantone P., Azaroual M., Itard Y., Clozel-Leloup B., Guyonnet D., Baubron J.C., [Chemical changes and leachate mass balance of municipal solid waste bottom ash submitted to weathering](#), *Waste Management*, **22**(2): 159-172 (2002).
- [3] Timur H., Öztürk I., Anaerobic Sequencing Batch Reactor Treatment of Landfill Leachate, *Water Research*, **33**(15): 3225-3230 (1999).
- [4] Kang Y.W., Hwang K.Y., [Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process](#), *Water research*, **34**(10): 2786-2790 (2000).
- [۵] احرامپوش، محمد حسن، ابراهیمی، اصغر، ختاری، مهدی، بررسی استفاده از فرآیند اکسایش پیشرفته در حذف ترکیب های نیتروژن دار از شیرابه کارخانه کمپوست اصفهان، نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، (۴:۳) ۳۱ تا ۳۸ (۱۳۹۱).
- [۶] شکوه، علیرضا؛ صفری، ادوین؛ هاشمی، حسین؛ بررسی کیفیت شیرابه حاصل از محل دفن زباله شهری و کارخانه کمپوست، مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، (۴) ۹۵ تا ۱۰۵ (۱۳۹۲).
- [7] Asadi A., Shariatmadari N., Moayedi H., Huat B.K., [Effect of MSW Leachate on Soil Consistency under Influence of Electrochemical Forces Induced by Soil Particles](#), *Int. J. Electrochem. Sci*, **6**(7): 2344-2351 (2011).
- [8] Varank G., Demir A., Top S., Sekman E., Akkaya E., Yetilmezsoy K., Bilgili M.S., [Migration Behavior of Landfill Leachate Contaminants Through Alternative Composite Liners](#), *Science of the Total Environment*, **409**(17): 3183-3196 (2011).
- [9] Xie H., Chen Y., Zhan L., Chen R., Tang X., Ke H., [Investigation of Migration of Pollutant at the Base of Suzhou Qizishan Landfill without a Liner System](#), *Journal of Zhejiang University-Science A*, **10**(3): 439-449 (2009).
- [10] King K.S., Quigley R.M., Fernandez F., Reades D.W., Bacopoulos A., [Hydraulic conductivity and diffusion monitoring of the Keele Valley Landfill liner](#), Maple, Ontario, *Canadian Geotechnical Journal*, **30**(1): 124-134 (1993).
- [11] Chen Y.M., Xie H.J., Ke H., Tang X.W., [Analytical solution of contaminant diffusion through multi-layered soils](#), *Yantu Gongcheng Xuebao (Chinese Journal of Geotechnical Engineering)*, **28**(4): 521-524 (2006).
- [12] Lake C.B., Rowe R.K., [The 14-year performance of a compacted clay liner used as part of a composite liner system for a leachate lagoon](#), *Geotechnical and Geological Engineering*, **23**(6): 657-678 (2005).

- [13] Goodall D.C., Quigley R., [Pollutant Migration from Two Sanitary Landfill Sites Near Sarnia, Ontario](#). *Canadian Geotechnical Journal*, **14**(2): 223-236 (1977).
- [14] [ASTM, Soil and Rock](#). American Society for Testing and Materials, Designation, Sec.4, V.04.08 (1994).
- [15] USEPA (United States Environmental Protection Agency), ["Solid Waste Disposal Facility Criteria- Technical Manual, EPA."](#), EPA.. 530-R-93-017 (1993).
- [16] Johansen O.J., Carlson D.A., [Characterization of sanitary landfill leachates](#). *Water research, Water Research*, **10**(12): 1129-1134 (1976).
- [17] Chen P.H., Wang C.Y., [Investigation Into Municipal Waste Leachate in the Unsaturated Zone of Red Soil](#), *Environment International*, **23**(2): 237-245 (1997).
- [18] Christensen T.H., Kjeldsen P., Heron G., Nielsen P.H., Bjerg P.L., Holm P.E., [Attenuation of Landfill Leachate Pollutants in Aquifers](#), *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, **24**(2): 119-202 (1994).
- [19] Tchobanoglous G., O'leary P., ["Hand Book of Solid Waste Management"](#), McGraw- Hill, New York, USA, Vol. **14**: 34-35 (2002).
- [20] Johnson R.L., Cherry J.A., Pankow J.F., [Diffusive Contaminant Transport in Natural Clay: A Field Example and Implications for Clay-Lined Waste Disposal Sites](#), *Environmental Science & Technology*, **23**(3): 340-349 (1989).
- [21] Kugler H., Ottner F., Froeschl H., Adamcova R., Schwaighofer B., [Retention of Inorganic Pollutants in Clayey Base Sealings of Municipal Landfills.](#), *Applied Clay Science*, **21**(1-2): 45-58 (2002).