مجله مهندسی بهداشت محیط، تابستان ۱۳۹۸، سال ٦، شماره ٤: ۳۷۵-۳۸٤

# بررسی کارایی غلظت‌های مختلف ترکیبات آلی در فرایند زیست افزایی به منظور پالایش کروم ۶ ظرفیتی از خاک

روشنک رضایی کلانتری[۱]، احمد جنیدی جعفری[۲]، علی اسرافیلی[۲]، نیلوفر بهاری[۳*]

[۱] عضو هیات علمی مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط و هیات علمی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[۲] هیات علمی گروه مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
[۳] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران

**تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۸/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۹**

## چکیده

**سابقه و هدف:** کروم ٦ ظرفیتی آلاینده ای بسیار سمی و سرطانزا است و در صنایع تولید فولاد و دیگر صنایع شیمیایی مانند صنعت چرم، تولید رنگدانه‌ها ، آبکاری فلزات و تولید ترکیبات ضد خورندگی مورد استفاده قرار می‌گیرند و زائدات آن وارد محیط زیست می‌شود و متعاقبا وارد منابع آبی و مواد غذایی می‌شود. لذا به منظور حفظ سلامت محیط زیست و همچنین انسان ها، حذف این آلاینده از محیط زیست از جمله خاک با استفاده از روش‌های مناسب ضروری به نظر می‌رسد.

**مواد و روش‌ها:** باکتری‌های مقاوم در برابر کروم ٦ ظرفیتی از محیط خاک آلوده به کروم جداسازی شده و توسط کشت سریالی در غلظت‌های ۵۰ تا ٤۰۰ میلیگرم بر لیتر با آلاینده آداپته شده و میزان رشد میکروارگانیسم و کاهش کروم (VI) مورد سنجش قرار گرفت. سپس خاک مورد نظر به صورت مصنوعی و در آزمایشگاه توسط ترکیب کروم ٦ ظرفیتی ($CrO_3$) آلوده شده و مواد آلی در مقدار مورد نظر به خاک افزوده شد و در نهایت مخلوط باکتریایی جداسازی شده، جهت آغاز فرایند زیست افزایی به خاک افزوده شد.

**یافته‌ها:** پس از ۳ مرحله نمونه برداری پس از تلقیح باکتری و تحلیل داده ها، نتایج مطالعه نشان داد که راندمان کاهش کروم ٦ ظرفیتی در راکتورهایی که حاوی مخلوط باکتریایی بودند، با افزایش غلظت آلاینده کاهش می‌یابد. به طوری که تحت شرایط مشابه راندمان کاهش کروم (VI) خاک، در غلظت ۵۰ میلیگرم در لیتر حدود ۸٦ درصد، در غلظت ۲۰۰ میلیگرم در لیتر حدود ۵۱ درصد و در غلظت ۳۵۰ میلیگرم در لیتر حدود ۲٦ درصد می‌باشد. افزودن ترکیبات آلی نیز موجب افزایش راندمان فرایند زیست پالایی گردید.

**نتیجه‌گیری:** نتایج این مطالعه نشان داد که بهینه سازی شرایط خاک می‌تواند منجر به بهبود فرایند زیست افزایی به ویژه در غلظت‌های اندک آلاینده شود.

**کلمات کلیدی**: کروم ٦ ظرفیتی – خاک- زیست افزایی- ترکیبات آلی.

[*] **نویسنده مسئول:** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران
ایمیل: bahari.nilou@gmail.com - تلفن تماس: ۰۹۳۷۸۰۲۴۰۳۵

## مقدمه

فلزات سنگین به عناصری گفته می‌شود که دانسیته آنها از ۵ بزرگتر باشد[۱]. کاربرد گسترده فلزات سنگین در صنایع ، کشاورزی، مصارف خانگی، در راستای پیشرفت تکنولوژی، پزشکی و ... منجر به پراکنش گسترده آنها در محیط زیست شده است.[۲] فلزات سنگین از طریق دفع پسماندهای مایع و جامد صنعتی وارد منابع آب، خاک، رسوبات، هوا و در نتیجه بدن موجودات زنده می‌شوند و می‌توانند موجب مشکلات زیست محیطی عدیده ای نیز شوند.[۳،٤]

در کل جهان [۷] ۱۰ تن کروم سالانه تولید می‌شود و چیزی حدود ٦۰ تا ۷۰ درصد آن در آلیاژ فولاد ضد زنگ و مابقی آن در فرایندهای شیمیایی صنعتی مانند صنعت چرم، تولید رنگدانه‌ها ، کود، قارچ کش، آبکاری فلزات و تولید ترکیبات ضد خورندگی مورد استفاده قرار می‌گیرند.[۵،٦]

عواملی که در سمیت فلزات برای موجودات زنده اهمیت دارد شامل میزان جذب، مسیر ورود به بدن و مدت زمان مواجهه و تماس با آلاینده می‌باشد[۷].

کروم ۳ ظرفیتی در تنظیم مقدار گلوکز، کلسترول و تری گلیسیرید نقش دارد و به عنوان یک ماده مغذی ضروری شناخته می‌شود(٦) اما کروم ٦ ظرفیتی سمیت زیادی دارد و جز آلاینده‌های دارای الویت و به عنوان سرطانزای قطعی برای انسان توسط U.S.EPA معرفی شده و موجب زخم و التهاب بینی، واکنش الرژیک شدید و درماتیت پوستی، برونشیت مزمن و آمفیزم، اسیب به کبد و کلیه، خونریزی داخلی، سرطان ریه و پوست و اسیب به DNA می‌شود[۳،٦].

از جمله روش‌های فیزیکی در دسترس برای حذف کروم (به طور کلی) می‌توان به جذب، تعویض یونی،فیلتراسیون غشایی، اسمز معکوس، کربن فعال دانه ای، الکتروسینتیک، فرسایش خام در محل، خاکشویی و جداسازی و الکترودیالیز، از روش‌های شیمیایی می‌توان به کاربرد الکترون دهنده‌ها نظیر سولفید هیدروژن، سدیم دی تیونید، متابی سولفید سدیم،متابی سولفیت کلسیم، سولفات فروس و فتوکاتالیز اشاره کرد. از روش‌های بیولوژیکی هم می‌توان به جذب بیولوژیکی، تبدیل بیولوژیکی، تجمع زیستی، تثبیت بیولوژیکی و ترسیب بیرون سلولی توسط گیاهان، قارچ ها، جلبک و باکتریها اشاره نمود[۸،۹].

سمیت کروم ٦ ظرفیتی به فرایند احیای آن به ظرفیت‌های پایینتر و نه لزوما احیا به کروم ۳ ظرفیتی (که طی آن رادیکال‌های آزاد تولید می‌شود) مربوط می‌شود[۱۰]. از دیگر عوامل کاهنده درون سلولی کرومات ، ویتامین C، ویتامین $B_{12}$ ، سیتوکروم P450 و زنجیره تنفسی میتوکندری می‌باشد[۱۱]. برخی محققان معتقدند کروم ٦ ظرفیتی توسط عوامل احیاگر غیر آلی نظیر آهن ۲ ظرفیتی و گوگرد می‌توانند احیا شوند[۱۲].

در سال ۲۰۱۱ در آرژانتین Marta A. Poltia و همکاران به بررسی اثر هم افزایی آکتینوباکترها و گیاه پرداختند. تلقیح گونه Streptomyces sp. MC1 موجب شد تا ۷۳ درصد فراهمی زیستی کروم کاهش یابد[۱۳]. مطالعه دیگری که در سال ۲۰۱٦ در چین به مطالعه توانایی احیای دو سوش میکروبی G1 (Geotrichum sp.) و B2 (Bacillus sp.) پرداخت که نشان داد این دوگونه با افزودن مقدار بهینه ۵ گرم بر لیتر گلوکز راندمان ۸/۹٤ درصدی در احیای کروم ٦ ظرفیت دارند[۱٤]. در سال ۲۰۱۷ در هند Pratishtha Gupta و همکارانش به بررسی پتانسیل حذف کروم توسط Klebsiella sp. strain 1 CPSB4 جدا شده از خاک‌های کشاورزی آلوده به کروم پرداختند. تحت شرایط بهینه میزان احیای کروم ٦ ظرفیتی ۹۳ درصد در محیط براث و تا ۹۵ درصد در خاک راندمان داشته است.[۱۵] در سال ۲۰۱۸ در ایتالیا A. Bianco Prevot و همکارانش به بررسی و مقایسه احیای شیمیایی و بیولوژیکی کروم پرداختند. هر دو رویکرد اصلاح بیولوژیک و شیمیایی منجر به کاهش کروم ٦ ظرفیتی از خاک آلوده شد[۱٦]. در سال ۲۰۰۹ در چین Liyuan Chai و همکارانش به حذف کروم توسط باکتری‌های بومی خاک آلوده شده به لجن حاوی

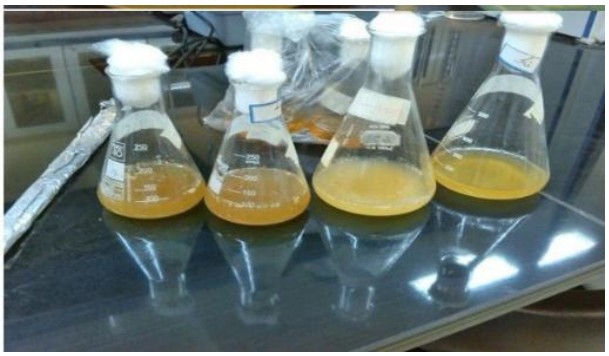
کروم (مرتبط با کارخانه آلیاژ فولاد) پرداختند. نتایج نشان داد زمانی که مواد مغذی کافی به خاک آلوده اضافه شود، غلظت کل کروم ٦ ظرفیتی با راندمان ۸/۹۷ درصد حذف شد[۱۷].

از آنجاییکه کاربرد روش‌های فیزیکی و شیمیایی حذف و کاهش کروم ٦ ظرفیتی از خاک هزینه نسبتا بالاتری نسبت به روش‌های بیولوژیکی دارد، کاربرد این روش‌ها مقرون به صرفه می‌باشد. همچنین در روش بیولوژیکی ماده شیمیایی به خاک اضافه نمی شود که برتری دیگری نسبت به روش شیمیایی محسوب می‌شود[۹،۱۸]. لذا در این پژوهش سعی بر آن بوده است که تاثیر مخلوط باکتریایی جدا شده از محیط آلوده به فلزات سنگین بر خاک آلوده شده به کروم ٦ ظرفیتی در شرایط آزمایشگاهی و تحت تاثیر مقادیر مختلف ترکیبات آلی مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

برای بدست آوردن نمونه‌های میکروبی مقاوم به کروم، نمونه خاک مجاور تصفیه خانه فاضلاب شهرک صنعتی چرمشهر برداشته شد که به مدت طولانی توسط پساب این تصفیه خانه مورد آبیاری قرار گرفته است که طبق اندازه گیری صورت گرفته دارای غلظت زمینه ای کروم ٦ ظرفیتی معادل ۳۰۰ میلیگرم بر کیلوگرم می‌باشد. طبق مطالعات انجام شده در پساب تصفیه خانه این شهرک غلظت کروم کل به طور میانگین نزدیک به ۱۳۰۰ میلیگرم در لیتر به دست آمده است[۱۹]. مقداری از نمونه خاک به محلول رینگر استریل منتقل و سپس به مدت ٢٤ ساعت روی شیکر قرار گرفت و بعد از این مدت ۵۰ سی سی از محلول به ۱۵۰ سی سی محیط کشت نوترینت براث منتقل شد. برای مقاوم سازی و بررسی توانایی احیای میکروارگانیسم‌های موجود در نمونه بدست آمده از خاک مجاور تصفیه خانه چرمشهر، کشت سریالی به همراه پاساژ دادن انجام گرفت. در کشت سریالی غلظت آلاینده از ۵۰ تا ٤۰۰ میلیگرم در لیتر افزایش یافت و در هر مرحله، رشد میکروارگانیسم به واسطه اندازه گیری دانسیته نوری و نیز راندمان کاهش کروم ٦ ظرفیتی مورد بررسی قرار گرفت. میزان pH محیط کشت در محدوده خنثی (۲/۷ – ۷) تنظیم شد و مدت زمان انکوباسیون ۷۲ ساعت در دمای ۳۵ درجه می‌باشد[۱۷و۱۸و۲۰]. در شکل ۱ نمایی از مراحل کشت باکتری در طول زمان آداپتاسیون مشاهده می‌کنید.

به دلیل اینکه خاک آلوده منطقه چرمشهر به مدت طولانی با فاضلاب صنعتی در تماس بوده و احتمال حضور آلاینده‌های آلی و معدنی دیگر در این خاک وجود دارد و همچنین بررسی تاثیر غلظت‌های مختلف کروم ٦ ظرفیتی در میزان حذف این آلاینده مورد نظر بوده است، لذا خاک مورد نیاز برای فرایند زیست پالایی از مجاورت زمین کشاورزی واقع در مهرشهر کرج تهیه و با الک با منافذ ۲ میلی متر غربال شد. خاک مورد نظر که فاقد ترکیبات کروم بوده، (پس از آزمایش و تعیین خصوصیات) با غلظت‌های ۵۰، ۲۰۰ و ۳۵۰ میلیگرم بر کیلوگرم توسط کروم ٦ ظرفیتی ($CrO_3$) آلوده شد. ترکیب آلی به واسطه افزودن کود آلی در غلظت مورد نظر تنظیم شد. میزان زمینه ترکیبات آلی خاک ۲/۱ درصد می‌باشد که با افزودن کود آلی (حاوی اسید هیومیک،اسید فولویک و اسید آمینه) به ٤/۲ و ٦/۳ درصد رسید.



**شکل ۱:** نمایی از مراحل کشت باکتری

**شکل ۲:** نمایی از راکتورهای زیست افزایی

این کار به منظور بررسی اثر کل مواد آلی (TOM) بر فرایند زیست پالایی انجام گرفت. سپس کنسرسیوم میکروبی آماده با غلظت $10^4$ cfu/g تلقیح شد. به مدت ٦ هفته با فاصله زمانی ۲ هفته نمونه برداری انجام شد و میزان کاهش کروم ٦ ظرفیتی مورد بررسی قرار گرفت. در شکل ۲ نمایی از راکتورهای مورد مطالعه را مشاهده می‌کنید.

برای اندازه گیری کروم ٦ ظرفیتی، ابتدا نمونه خاک به روش 3060a ارائه شده توسط EPA هضم و سپس به روش دیفنیل کاربازاید (دستورالعمل 7196a ارائه شده توسط EPA) توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ٥٤٠ نانومتر اندازه گیری شد[۲۱،۲۲].

نتایج بدست آمده توسط نرم افزار Excel 2013 مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

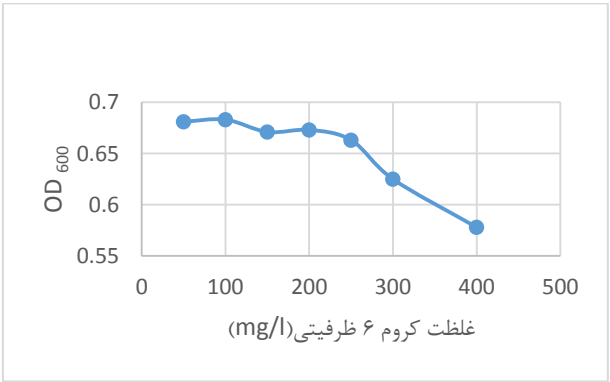
## یافته‌ها

نتایج به دست آمده از نمونه برداری‌های مختلف از محیط کشت و محیط خاک مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد باکتری‌های جدا شده از محیط‌های آلوده راندمان بسیار خوبی در حذف کروم ٦ ظرفیتی از محیط کشت و نیز محیط خاک دارند. همچنین افزودن مواد آلی باعث افزایش راندمان حذف کروم ٦ ظرفیتی از محیط خاک شده است.

بررسی روند رشد باکتریایی در غلظت‌های مختلف کروم توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ٦٠٠ نانومتر و همچنین مقدار کروم ٦ ظرفیتی باقیمانده بعد از ۷۲ ساعت پس از کشت میکروارگانیسم‌ها در محیط کشت نیز توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ٥٤٠ نانومتر مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج آنها به شرح زیر می‌باشد:

**جدول ۱:** راندمان کاهش کروم ٦ ظرفیتی در محیط کشت با غلظت‌های مختلف آلاینده پس از ۷۲ ساعت

| غلظت اولیه کروم (VI) برحسب (mg/l) | ٥٠ | ١٠٠ | ١٥٠ | ٢٠٠ | ٢٥٠ | ٣٠٠ | ٤٠٠ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| راندمان حذف بر حسب درصد | ٧٧/٩٩ | ٦٢/٩٩ | ٦٩/٩٩ | ٨٣/٩٥ | ٠١/٩٥ | ١٤/٠٢ | ٩٣/٨٨ |




**نمودار ۱:** میزان کاهش رشد باکتری در محیط کشت با افزایش غلظت کروم ٦ ظرفیتی

**جدول ۲:** تعیین بافت خاک و ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک

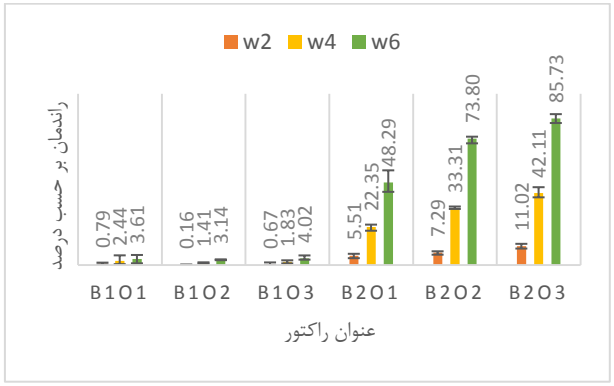
| | pH | EC (Ds/m) | کل N (٪) | P (ppm) | کل K (ppm) | OM (٪) | S (٪) | رطوبت (٪) | رس (٪) | سیلت (٪) | ماسه (٪) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| خاک | ۳/۷ | ۵۵/۲ | ۰۷/۰ | ٤۸ | ٦/۲۳٦ | ۲/۱ | ۰۸/۰ | ۲/۱ | ۲٤ | ۳۲ | ٤٤ |

نتایج آنالیز خاک نیز به شرح جدول ۲ می‌باشد.

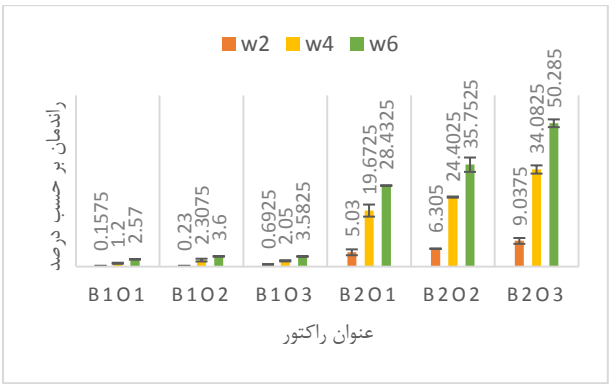
پس از تلقیح باکتری و نمونه برداری و اندازه گیری کروم، میزان تاثیر تلقیح باکتری و ترکیبات آلی افزوده شده بر زیست پالایی غلظت‌های مختلف کروم در طول بازه زمانی بررسی شد.

در نمودارهای زیر راندمان حذف کروم ٦ ظرفیتی را در تمام راکتورها ملاحظه می‌فرمایید.

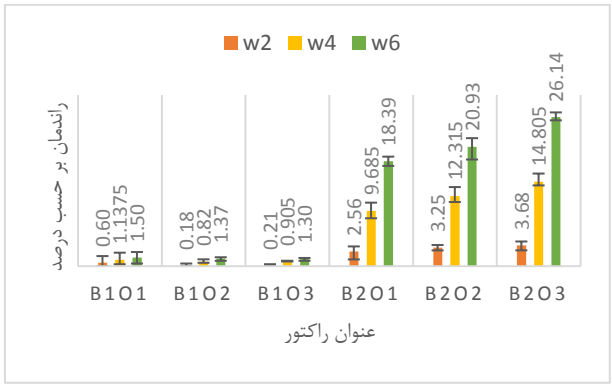
در نمودارهای ۲ تا ٤ راندمان حذف کروم ٦ ظرفیتی را طی هفته‌های دوم، چهارم و ششم در راکتورهای حاوی ۵۰، ۲۰۰ و ۳۵۰ mg/kg کروم (VI) مشاهده می‌کنید. نمودار شماره ۵ راندمان کاهش آلاینده در سه غلظت مورد مطالعه در پایان فرایند زیست افزایی را نشان می‌دهد.



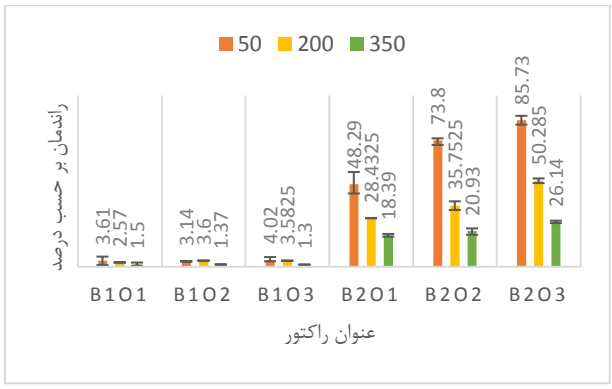

**نمودار ۲:** راندمان حذف کروم (VI) در هفته ۲، ٤ و٦ در غلظت ۵۰ mg/kg




**نمودار ۳:** راندمان حذف کروم (VI) در هفته ۲، ٤ و٦ در غلظت ۲۰۰ mg/kg




**نمودار ٤:** راندمان حذف کروم (VI) در هفته ٢، ٤ و٦ در غلظت ٣٥٠ mg/kg




**نمودار٥:** راندمان کاهش کروم (VI) در راکتورهای حاوی ٥٠،٢٠٠ و ٣٥٠ mg/kg آلاینده در پایان فرایند

| | | | |
|---|---|---|---|
| B1O1 | بدون تلقیح باکتری، میزان ترکیب آلی ٢/١ ٪ | B2O1 | تلقیح کنسرسیوم باکتری ، میزان ترکیب آلی ٢/١ ٪ |
| B1O2 | بدون تلقیح باکتری، میزان ترکیب آلی ٤/٢ ٪ | B2O2 | تلقیح کنسرسیوم باکتری ، میزان ترکیب آلی ٤/٢ ٪ |
| B1O3 | بدون تلقیح باکتری ، میزان ترکیب آلی ٦/٣ ٪ | B2O3 | تلقیح کنسرسیوم باکتری ، میزان ترکیب آلی ٦/٣ ٪ |

## بحث

در طول دوره فرایند کاهش بیولوژیکی کروم ٦ ظرفیتی از خاک بیشترین راندمان (٨٦ درصد) در غلظت ٥٠ میلیگرم بر کیلوگرم کروم (VI) و با تلقیح کنسرسیوم باکتریایی و ترکیب آلی ٦/٣ درصد مشاهده شده است. حداکثر راندمان در غلظت کروم ٦ ظرفیتی ٢٠٠ و ٣٥٠ میلیگرم بر کیلوگرم به ترتیب ٥١ و ٢٦ درصد در غلظت ٦/٣ درصد ترکیبات آلی و تلقیح کنسرسیوم باکتریایی مشاهده شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهد، تلقیح کنسرسیوم باکتریایی، غلظت مواد آلی و نیز غلظت آلاینده تاثیر زیادی در راندمان کاهش کروم ٦ ظرفیتی داشته است.

با افزایش غلظت سمیت کروم برای باکتری‌ها تلقیح شده افزایش یافته و پایایی و زایایی میکروارگانیسم‌ها کاهش می‌یابد و در نتیجه توانایی آنها در فرایند کاهش کروم ٦ ظرفیتی نیز کاهش می‌یابد[٢٣]. به این دلیل است که با افزایش غلظت آلاینده راندمان کاهش کروم ٦ ظرفیتی کاهش پیدا کرده است. مطالعه ای در سال ٢٠١١ در مراکش انجام شد که در آن غلظت‌های ١٠٠،٢٠٠ و ٣٠٠ میلیگرم بر کیلوگرم کروم

٦ ظرفیتی با کنسرسیوم باکتری مورد پالایش قرار گرفت. در این پژوهش نیز با افزایش غلظت راندمان کاهش یافته است که همسو با نتایج به دست امده نیز می‌باشد[۲۳].

تجزیه و تحلیل ارتباط و همبستگی در مطالعات نشان داد که نرخ احیای کروم به الکترون دهنده و دسترس پذیری زیستی آن، و همچنین میزان ترکیبات آلی، آهن دو ظرفیتی، مقدار رس خاک و تنوع جامعه باکتریایی خاک وابسته است. کنسرسیوم باکتریایی قادر است از ترکیبات مختلف به عنوان الکترون دهنده و نیز منبع کربن و انرژی استفاده کند[۲۳]. و ۹۸ از انحاییکه زنجیره انتقال الکترون از جمله مسیرهای اصلی احیای کروم ٦ ظرفیتی می‌باشد و ترکیبات آلی خاک به عنوان الکترون دهنده در خاک عمل می‌کنند.

در مطالعه ای که در سال ۲۰۱۲ در چین انجام شده بود به بررسی ارتباط بین ویژگی‌های خاک و میزان احیای کروم پرداخته بودند. این مطالعه نیز همبستگی مثبت معنی داری بین میزان احیای کروم ٦ ظرفیتی و مقدار کل مواد آلی موجود در خاک را تائید می‌کند[۲٤].

بجز احیا روش‌های بیولوژیکی دیگری نیز برای کاهش کروم از خاک محتمل است. از جمله آن می‌توان به جذب بیولوژیکی (biosorption) اشاره نمود. در مطالعات انجام شده برخی باکتری‌ها که قادر به جذب بیولوژیکی کروم ٦ ظرفیتی هستند شناسایی شدند که برخی از آنها عبارتند از B. circulans ، B. megaterium و B. coagulans که به ترتیب توانایی آنها در جذب کروم به صورت ٥/٣٤ ، ۳۲ و ۹/۳۹ میلی‌گرم به ازای هر گرم وزن باکتری می‌باشد[۸]. اما همانطور که نتایج نیز نشان می‌دهد، با افزایش غلظت مواد آلی خاک، راندمان احیای کروم (VI) نیز افزایش یافته است، در نتیجه مکانیسم احتمالی در این پژوهش فرایند احیا می‌باشد[۲٥].

پژوهش‌های صورت گرفته نیز این نتیجه را تائید می‌کند. در سال ۲۰۰۳ Bolan و همکاران در نیوزلند مطالعه در خصوص تاثیر مواد آلی در فرایند احیای کروم ٦ ظرفیتی در خاک انجام دادند. این مطالعه نشان داد که ارتباط خطی مستقیم و قابل توجهی بین میزان احیای کروم ٦ ظرفیتی و میزان کربن آلی محلول در خاک وجود دارد[۲٦].

احیای کروم توسط باکتری‌ها در زنجیره انتقال الکترون و در حضور ترکیبات آلی به عنوان الکترون دهنده در خاک صورت می‌گیرد که در آن ترکیبات مختلف از جمله مواد آلی به عنوان الکترون دهنده بوده و کروم ٦ ظرفیتی با دربافت الکترون در نهایت به کروم ۳ طرفیتی احیا می‌شود[۲۷]. مکانیسم احتمالی دیگر احیای کروم در خاک توسط باکتری‌ها به صورت خلاصه بدین شرح است: کروم ٦ ظرفیتی با تشکیل پیوند شیمیایی با مولکول‌های سطح سلول که گروه‌های عاملی خاصی دارند، به سلول باکتری متصل می‌شود. ممکن است کروم ٦ ظرفیتی جذب شده توسط انزیم کروم رداکتاز به کروم ۳ ظرفیتی تبدیل شود و یا کروم ٦ ظرفیتی به واسطه سیستم جذب، وارد سلول باکتریایی می‌شود (انتقال دهنده سولفات). کروم ٦ ظرفیتی در داخل سلول با تولید ترکیبات ناپایدار کروم ٤ و ٥ ظرفیتی به کروم ۳ ظرفیتی تبدیل می‌شود. جایگیری داخل سلولی کروم ٦ ظرفیتی با کمک پروتئین‌های متصل به فلزات صورت می‌گیرد[۸]. با تواجه به ارتباط مستقیم غلظت مواد آلی و میزان احیای کروم (VI) می‌توان گفت که مکانیسم غالب در این پژوهش احیای کروم ٦ ظرفیتی در زنجیره انتقال الکترون می‌باشد.

از جمله معایب روش زیست پالایی فلزات در خاک می‌توان به طولانی بودن فرایند اشاره کرد. همانطور که قبلا نیز گفته شد برای افزایش راندمان در سیستم‌های زیست افزایی خاک نیاز به زمان بیشتری می‌باشد به خصوص زمانی که غلظت آلودگی نیز زیاد باشد. از آنحایی که یکی از مسیرهای اصلی احیای کروم زنجیره انتقال الکترون می‌باشد، لذا افزودن ترکیباتی که بتواند سرعت انتقال الکترون را در زنجیره انتفال الکترون افزایش دهد می‌تواند در افزایش راندمان و سرعت بخشیدن به فرایند موثر باشد. در پژوهشی که در همین راستا

در سال ۲۰۱۸ در چین انجام شد از ترکیب آنتراکوئینون ٦-۲- دی سولفونات (AQDS) به عنوان الکترون شاتل استفاده شد. افزودن این ترکیب به تنهایی موجب افزایش نرخ احیای کروم ٦ ظرفیتی در خاک شد[۲۸].

## نتیجه‌گیری

به طور کلی فلزات سنگین از جمله کروم ٦ ظرفیتی از آلاینده‌های مهم محیط زیست از جمله خاک بوده که خاصیت تجمع پذیری در بافت زنده را داشته و اثرات بهداشتی بسیار شدیدی از جمله سرطانزایی را دارا می‌باشد. برای پالایش خاک از این آلاینده‌ها روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی وجود دارد که گاهی راندمان مناسبی نداشته و یا هزینه‌های بالایی را به همراه دارند، همچنین این روش‌ها موجب افزودن برخی ترکیبات شیمیایی به خاک می‌شوند که خود می‌تواند اثرات منفی به همراه داشته باشد. به این دلیل امروزه کاربرد روش‌های مختلف بیولوژیکی از جمله زیست افزایی مورد توجه قرار گرفته است.

در این پژوهش با استفاده از روش زیست افزایی کنسرسیوم باکتریایی قادر به احیای کروم ٦ ظرفیتی به حذف این آلاینده از محیط خاک پرداخته شد. با توجه به نتایج به دست آمده افزایش ترکیبات آلی خاک موجب افزایش راندمان احیای این آلاینده توسط کنسرسیوم باکتریایی تلقیح شده در خاک می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که افزایش غلظت کروم ٦ ظرفیتی تاثیر منفی در توانایی مخلوط باکتریایی در فرایند احیای آلاینده دارد.

امید است که این قبیل مطالعات راهی نو در مسیر پالایش محیط زیست از آلاینده‌ها را فراهم سازد.

## تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل بخشی از پایان نامه با عنوان "بررسی تاثیر زیست افزایی باکتری‌های جدا شده از خاک آلوده به کروم ٦ ظرفیتی بر کشت گیاه در خاک حاوی کروم ٦ ظرفیتی" مصوب معاونت آموزشی و دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی ایران در سال ۹۵ بوده که با حمایت آن معاونت محترم و راهنمایی اساتید بزرگوار دانشکده بهداشت فوق الذکر به انجام رسیده است و بدین وسیله از تمامی بزرگواران تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

## References

1. Abdu N, Abdullahi AA, Abdulkadir A. Heavy metals and soil microbes. Environ Chem Lett 2016:1-20.
2. Tchounwou PB, Yedjou CG, Patlolla AK, Sutton DJ. Heavy metal toxicity and the environment. Molecular, clinical and environmental toxicology: Springer; 2012. p. 133-64.
3. Alvarez A, Saez JM, Davila Costa JS, Colin VL, Fuentes MS, Cuozzo SA, et al. Actinobacteria: Current research and perspectives for bioremediation of pesticides and heavy metals. Chemosphere 2017;166:41-62.
4. Kang C-H, Kwon Y-J, So J-S. Bioremediation of heavy metals by using bacterial mixtures. Ecol Eng 2016;89:64-69.
5. Cheung K, Gu J-D. Mechanism of hexavalent chromium detoxification by microorganisms and bioremediation application potential: a review. Int Biodeter Biodegr 2007;59(1):8-15.
6. Vendruscolo F, da Rocha Ferreira GL, Antoniosi Filho NR. Biosorption of hexavalent chromium by microorganisms. Int Biodeter Biodegr 2017;119: 7-95.
7. Martin S, Griswold W. Human health effects of heavy metals. Environ Sci Technol 2009;15:1-6.
8. Jobby R, Jha P, Yadav AK, Desai N. Biosorption and biotransformation of hexavalent chromium [Cr (VI)]: a comprehensive review. Chemosphere 2018;207:255-66.
9. Weigand H, Müller R, Marb C, editors. In-situ

reduction of Cr (VI) in a contaminated aquifer assessed by lab-scale column tests and a field trial. Proceeding of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology CEST 2013; 2013.

10. Shi X, Dalal N. On the hydroxyl radical formation in the reaction between hydrogen peroxide and biologically generated chromium (V) species. Arch Biochem Biophys 1990;277(2):342-50.

11. Cervantes C, Campos-García J, Devars S, Gutiérrez-Corona F, Loza-Tavera H, Torres-Guzmán JC, et al. Interactions of chromium with microorganisms and plants. FEMS Microbiol Rev 2001;25(3):335-47.

12. Dhal B, Thatoi H, Das N, Pandey B. Chemical and microbial remediation of hexavalent chromium from contaminated soil and mining/metallurgical solid waste: a review. J. Hazard. Mater 2013;250:272-91.

13. Polti MA, Atjián MC, Amoroso MJ, Abate CM. Soil chromium bioremediation: synergic activity of actinobacteria and plants. Int Biodeter Biodegr 2011;65(8):1175-81.

14. Qu M, Chen J, Huang Q, Chen J, Xu Y, Luo J, et al. Bioremediation of hexavalent chromium contaminated soil by a bioleaching system with weak magnetic fields. Int Biodeter Biodegr 2016;128:41-47.

15. Gupta P, Kumar V, Usmani Z, Rani R, Chandra A. Phosphate solubilization and chromium (VI) remediation potential of Klebsiella sp. strain CPSB4 isolated from the chromium contaminated agricultural soil. Chemosphere 2018;192:318-27.

16. Prevot AB, Ginepro M, Peracaciolo E, Zelano V, De Luca D. Chemical vs bio-mediated reduction of hexavalent chromium. An in-vitro study for soil and deep waters remediation. Geoderma 2018;312:17-23.

17. Chai L, Huang S, Yang Z, Peng B, Huang Y, Chen Y. Cr (VI) remediation by indigenous bacteria in soils contaminated by chromium-containing slag. J Hazard Mater 2009;167(1-3):516-22.

18. Khan MS, Zaidi A, Wani PA. Chromium–plant-growth-promoting rhizobacteria interactions: toxicity and management. Toxicity of Heavy Metals to Legumes and Bioremediation: Springer; 2012. p. 67-88.

19. Mehdiabadi, Kardar, Alipour, sadroddin. Study and Determination of Causes of High Chromium Concentrations Produced by Charmshahr Industrial Township in Tehran. Saf Health Work 2016;6(1):71-80.

20. Patra RC, Malik S, Beer M, Megharaj M, Naidu R. Molecular characterization of chromium (VI) reducing potential in Gram positive bacteria isolated from contaminated sites. Soil Biol Biochem 2010;42(10):1857-63.

21. 3060a. Alkaline Digestion for Hexavalent Chromium. EPA. 1996.

22. 7196a. Chromium, Hexavalent (Colorimetric). EPA. 1992.

23. Joutey NT, Bahafid W, Sayel H, Abed SE, Ghachtouli NE. Remediation of hexavalent chromium by consortia of indigenous bacteria from tannery waste-contaminated biotopes in Fez, Morocco. Int J Environ 2011;68(6):901-12.

24. Xiao W, Zhang Y, Li T, Chen B, Wang H, He Z, et al. Reduction kinetics of hexavalent chromium in soils and its correlation with soil properties. J Environ Qual 2012;41(5):1452-58.

25. Murugavelh S, Mohanty K. Isolation, identification and characterization of Cr (VI) reducing Bacillus cereus from chromium contaminated soil. Chem Eng J 2013;230:1-9.

26. Bolan NS, Adriano D, Natesan R, Koo B-J. Effects of organic amendments on the reduction and phytoavailability of chromate in mineral soil. J Environ Qual 2003;32(1):120-28.

27. Choppala G. Reduction and bioavailability of chromium in soils [dissertation]. University of South Australia; 2011.

28. Meng Y, Zhao Z, Burgos WD, Li Y, Zhang B, Wang Y, et al. Iron (III) minerals and anthraquinone-2, 6-disulfonate (AQDS) synergistically enhance bioreduction of hexavalent chromium by Shewanella oneidensis MR-1. Sci Total Environ 2018;640:591-98.

*Journal of Environmental Health Engineering, August 2019; Vol. 6, No. 4: 375-384*

# Investigation of the Efficiency of Various Concentration of Organic Compounds in the Bioaugmentation Process for Reduction of Hexavalent Chromium in Soil

**Roshanak Rezaei Kalantary[1], Ahmad Jonidi Jafari[2], Ali Esrafili[2], Niloufar Bahari[3*]**

*1. Faculty Member of Environmental Health Technology Research Center, Faculty member of Environmental Health Engineering group, faculty of health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
*2. Faculty member of Environmental Health Engineering group, faculty of health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
*3. Master of science of environmental health engineering, Iran University of Medical Science, Tehran, Iran*

**** E-mail: bahari.nilou@gmail.com***

***Received:3 Nov 2018; Accepted:18 Feb 2019***

**ABSTRACT**

**Background:** Cr (VI) is a highly toxic and carcinogenic contaminant and that are used in the steel industry and other chemical industries such as the leather industry, pigment production, electroplating of metals and the production of anticorrosive compounds. Its waste enters the environment and subsequently enters the water and food sources. Therefore, in order to protect the environment as well as human health, it is necessary to remove this pollutant from the environment, including soil, using appropriate methods.

**Material and Methods:** Chromium resistant bacteria were isolated from the chromium contaminated soil and adapted by serial culture in Cr (VI) concentrations of 50-400 mg/L and microorganism growth and Cr (VI) reduction were measured. Then the soil was artificially contaminated at the laboratory by Cr (VI) compound ($CrO_3$) and Organic compounds were added to soil at the Specified amount. Finally, a separated bacterial mix was added to the soil to initiate the bioaugmentation process.

**Results:** After 3 stages of sampling and data analysis, the results of the study showed that Cr (VI) reduction efficiency by the bacterial mix reduced decrease by Cr (VI) concentration increase. So, under similar conditions, the efficiency of Cr (VI) reduction of soil, at a concentration of 50 , 200 and 350 mg / l, is about 86%, 51% ,and 26% respectively .Organic compound adding also increase bioaugmentation efficiency.

**Conclusion:** The results of this study showed that optimizing soil conditions could improve the biodegradation process, especially in low concentrations of contaminants.

**Keyword**: Cr (VI), soil, bioaugmentation, organic compound