پژوهنده (مجله پژوهشي دانشگاه علوم پزشكي شهيد بهشتي)
سال دوازدهم, شماره ۴, پي در پي ۵۸ ، صفحات ۲۸۳ تا ۲۹۲
مهر و آبان ۱۳۸۶

تاريخ دريافت مقاله ۸۵/۱۰/۱۳
تاريخ پذيرش مقاله ۸۶/۳/۷

# طراحي و بررسی کارآيي يک روش عملي براي احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي سرطان زا در پسماند جامد آجرهاي سوخته کوره کارخانجات سيمان

دکتر منصور رضازاده آذری *

## چکيده

سابقه و هدف: *کارخانجات سيمان از صنايع استراتژيک کشور و داراي اثرات زيست محيطي بسيار جدي مي باشند که توجه بيش تري را به ويژه در ارتباط با مديريت پسماند کوره با مقادير متنابهي از ترکيبات کروم شش ظرفيتي سرطانزا را مي طلبد. در مطالعات قبلي خنثي سازي ترکيبات کروم شش ظرفيتي در فاز مايع مورد بررسي قرار گرفته شده است، ولي با توجه به ويژگي مشکلات صنايع سيمان ايران در مورد دفن پسماند کوره در زمين هاي اطراف کارخانجات سيمان کشور، هدف اصلي اين تحقيق بر اساس طراحي يک روش خنثي سازي ترکيبات کروم شش ظرفيتي در فاز جامد در نظر گرفته شد.*

مواد و روش ها: *احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي در پسماند کوره ( فاز جامد) در شرايط آزمايشگاهي، راکتورهاي محيط و با امکانات محلي براي تامين مواد آلي احياء کننده به صورت تفاله چغندر و مقادير جزئي ترکيب آهن دوظرفيتي انجام گرديد. آناليز ترکيبات کروم شش ظرفيتي محلول و غيرمحلول به روش شماره ۷۶۰۰ NIOSH انجام و راندمان احياء کروم شش ظرفيتي محلول محاسبه گرديد.*

يافته ها: *راندمان احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي در پسماند جامد کوره در راکتور هاي آزمايشگاهي و در راکتورهاي شبيه ساز دفن محيطي در دماي هواي زمستاني حداقل۶- و حداکثر ۱۰ درجه سانتيگراد براي يک دوره زماني ۱۱ به ترتيب ۱۰۰% و۸۰% اندازه گيري شد. با توجه به سميت ترکيبات کروم شش ظرفيتي و نياز به حصول راندمان بهتر راکتورهاي شبيه ساز دفن محيطي با سيستم برگشت شيرابه، بهنيه سازي گرديد و راندمان احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي در اين راکتورهاي در دماي محيطي نزديک به صد در صد اندازه گيري شد. راندمان در شيرابه تمام راکتورها آزمايشگاهي و محيطي در حد ۱۰۰% مشاهده گرديد.*

نتيجه گيري: *به نظر می‌رسد روش ارائه شده در اين مطالعه براي احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي در فاز جامد با توجه به در دسترس و ارزان بودن تفاله چغندر، مي تواند به عنوان يک روش عملي براي حل معضل زيست محيطي پسماندهاي جامد حاوي ترکيبات مخاطره آميز سرطان زای کارخانجات سيمان به کار گرفته شود. با توجه به راندمان مطلوب احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي در اين مطالعه پسماند جامد کوره نيز مي تواند براي ساخت آجرهاي کرواميت بازيابي گردد.*

واژگان کليدي: *ترکيبات کروم شش ظرفيتي ، خنثي سازي ترکيبات سرطان زا ، آجر کرواميت ، تفاله چغندر ، آهن دو ظرفيتي*

## مقدمه

کروم يکي از فراوان ترين عناصر پوسته زمين است. اين ماده به صورت عنصر در محيط زيست يافت نمي شود و با ظرفيت هاي مختلف در طبيعت وجود دارد که پايدار ترين اشکال آن کروم دو ظرفيتي يا سه ظرفيتي مي باشد. ترکيب

* . نويسنده مسؤول: دانشيار، گروه بهداشت حرفه اي، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکي شهيد بهشتي.آدرس براي مکاتبه: تهران، بزرگراه شهيد چمران، اوين، بلوار دانشجو، دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکي شهيد بهشتي . تلفن: ۲۲۴۳۲۰۴۰. پست الکترونيک: mrazari@hotmail.com

[ Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2026-10-13 ]

سه ظرفيتي آن در مقدار کم به صورت ريز مغذي براي متابوليسم گلوکز، چربي و پروتئين پستانداران مورد نياز است ولي از طرف ديگر مقادير زياد آن براي جانوران و گياهان مخاطره آميز است. ترکيبات کروم شش ظرفيتي به صورت محلول و غير محلول در آب به عنوان ترکيبات سرطان زا و محرک قوي براي پوست، چشم و مخاط مجاري تنفسي طبقه بندي شده اند (۱).

انتشار ترکيبات کروم در هوا و آب در نتيجه فرآيندهايي چون دباغي، صنايع توليد مواد شيميايي (مانند رنگ نقاشي، لاستيك و مواد پلاستيکي) صنايع فلزي (آبکاري کروم)، فرآيند توليد دارو، سنگ، شيشه، توليد لوازم و قطعات الکتريکي، هواپيما، پسماند آجرهاي نسوز عايق کننده داخل کوره سيمان، احتراق فرآورده هاي نفتي و زغال سنگ، فاضلاب و خاکستر زباله ها گزارش شده است. انتشار کروم از طريق فرآيندهاي فوق الذکر باعث ايجاد آلودگي در آب، خاك و هوا شده است (۲و۳). کروم هاي شش ظرفيتي محلول و نامحلول از اکسيداسيون ترکيبات کروم با ظرفيت هاي دو و سه در فرآيندهاي صنعتي از قبيل جوشکاري و کوره سيمان توليد مي شوند. بر اساس يک مطالعه اخير مقادير قابل ملاحظه ترکيبات کروم هاي شش ظرفيتي محلول و نامحلول در محصول نهايي کارخانجات سيمان ايران به لحاظ فرسايش آجرهاي نسوز کروميت در کوره سيمان گزارش شده است (٤).

انتشار ترکيبات کروم شش ظرفيتي در هوا و آب در نتيجه فرآيندهاي صنعتي توليد سيمان، نيروگاه هاي سوخت فسيلي و زباله سوزهاي شهري گزارش شده است (۲). به لحاظ انتشار گسترده کروم در محيط زيست، گياهان از طريق مکانيسم جذب سولفات و آهن (مواد اساسي مورد نياز) ترکيبات مذکور را از خاک دريافت و اثرات نامطلوب آن به صورت پراکسيداسيون ليپيدي سلول ها (۵ و٦) در ريشه ها، شاخه ها، برگ ها و نهـايتاً در ميزان توليـد گياهان مشاهده شده است (۷).

از مصارف مهم ترکيبات کروم در صنعت، می توان توليد آجرهاي عايق کننده داخل کوره را نام برد. مدت عمر مفيد آجر در کوره هاي دوار سيمان با توجه به مديريت فرآيند پخت، ۳ الي ۶ ماه مي باشد و پس از اين مدت، آجرهاي سوخته برداشته شده و آجر هاي نو، کار گذاشته مي شود. در کشور آمريکا مقادير متنابهي پسماند آجر سوخته کوره توليد مي شود و از اين مقدار فقط جزئي از آن بازيافت و مابقي در زمين دفن مي شود (۸). در کشور ژاپن دفع پسماندهاي صنعتي به ويژه ضايعات کوره ها به منظور حفاظت منابع طبيعي تحت مديريت ويژه اي انجام مي پذيرد و دفن مستقيم آن به صورت قانوني ممنوع اعلام شده است و در اين کشور دفن پسماند هاي مخاطره آميز فقط پس از تصفيه و تثبيت وضعيت، مجاز است (۹). دفن پسماندهاي صنعتي در زمين به لحاظ ارزاني آن، در کشورهاي مختلف بسيار متداول است. روش دفن در چين نيز در حد بسيار گسترده اي انجام مي شود و آلودگي آب هاي زير زميني توسط شيرابه پسماند دفن شده در چندين استان آن کشور گزارش شده است و گفته شده است که فقط کيفيت آب هاي زير زميني در ۶ شهر از ۲۷ شهر بزرگ چين با استاندارد آن کشور برابري مي نمايد (۱۰).

به طور کلي با توجه به رواج تفکر زيست محيطي در مجامع صنعتي دنيا، تصفيه و خنثي سازي پسماند هاي صنعتي قبل از دفع در منابع محيطي، به عنوان يک اصل پذيرفته شده است و روش هاي متعددي براي تصفيه ترکيبات شش ظرفيتي کروم در پساب هاي صنعتي ارائه شده است. براي مثال Daneshvar امکان احياء کروم شش ظرفيتي توسط تفاله سويا را در فاز مايع در pH اسيدي به شرح فرمول ۱ را مورد مطالعه قرار مي دهد و بهترين راندمـان را در حـدود ۹۰% و در شـرايط ۰/۷ گـرم سويا براي ۷۵ ميلي متر مکعب محـلول با غلـظت ۵۰ppm و ۱ >pH در دماي ۲۰ درجه سانتيگراد گزارش مي گردد (۱۱).

1) $2Cr_3^{+} + 7H_2O \rightarrow Cr_2O_7^{2-} + 6e^{-} + 14H^{+}$

[ Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2026-10-13 ]

Soner و همکاران نيز امکان احياء کروم شش ظرفيتي در پساب هاي صنعتي را توسط مواد آلي را مورد بررسي قرار داده اند. در مطالعه ايشان نقش ترکيبات آلي به عنوان عوامل اهدا کننده الکترون در شرايط اسيدي به شرح فرمول ۲ به شرح ذيل گزارش شده است (۱۲).

2) $CrO_4^{2-}/Cr_2O_7^{2-}$+Organic Matter+ $H^+ \rightarrow$
$H_2O + CO_2$ (and/or Oxidized Organic Matter)

به طور کلي کارخانجات سيمان به عنوان يکي از منابع آلوده کننده محيط زيست به ترکيبات شش ظرفيتي کروم شناخته شده اند و غلظت کروم در نمونه هاي خاک و گياه برداشت شده از مناطق نزديک کارخانه به طور معني داري بيش تر از مناطق شاهد اندازه گيري و تفاوت غلظت کروم خون ساکنين محل نيز تفاوت معني دار در قياس با منطقه شاهد نيز گزارش شده است (۱۳).

با توجه به روش هاي موجود در متون علمي براي خنثي سازي ترکيبات کروم شش ظرفيتي در فاضلاب هاي صنعتي، هدف اين مطالعه بررسي امکان خنثي سازي يا احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي در پسماندهاي جامد کوره در نظر گرفته شد.

## مواد و روش ها

روش احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي در فاز جامد (پسماند کوره سيمان) با توجه به مطالعات مشابه گذشته در فاز مايع (۱۲-۱۱) با استفاده از تفاله چغندر و آهن دو ظرفيتي به شرح زير در چند مرحله طراحي و به مرحله اجرا گذاشته شد؛

*۱- بررسي روش احياء کروم شش ظرفيتي آجر هاي سوخته در سيستم شبيه ساز دفن محيطي در شرايط دماي آزمايشگاه؛*

مرحله يک: صد گرم آجر سوخته همراه با مقادير مختلف آهن دو ظرفيتي نسبت ۱ ، ۲، ۳، ۴ و ۵ برابر توازن فرمولي و ميزان آب به ارتفاع ۶۰ ميلي متر (ميانگين ماهيانه ارتفاع نزولات جوي در منطقه آذربايجان شرقي) در يک ظرف ۱/۵ ليتري بر اساس تصوير ۱ آماده سازي و ترکيبات کروم شش ظرفيتي موجود درآجر سوخته و شيرابه آن قبل و بعد از فرآيند احياء آناليز شد.

مرحله دو: آجر سوخته همانند بخش پيش و مقادير مختلف تفاله چغندر (۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲، ۲/٤و ۳ برابر وزن آجر سوخته) آماده سازي و ترکيبات کروم شش ظرفيتي موجود درآجر سوخته و شيرابه آن قبل و بعد از فرايند احياء آناليز شدند.

مرحله سه: با توجه به مطالعات قبلي در مورد بهينه سازي روش احياء کروم شش ظرفيتي (مراحل يک و دو)، احياء کروم شش ظرفيتي موجود در آجر هاي سوخته با مقدار ثابت آهن دوظرفيتي و مقادير متغير تفاله چغندر (۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲، ۲/٤ و۳ برابر وزن آجر سوخته) در چهار لايه (تصوير۱) و آب در حد ثابت (مرحله يک) در يک ظرف استوانه اي به حجم ۱۵۰۰ ميلي متر مکعب در داخل آزمايشگاه مورد بررسي قرار داده شدند.

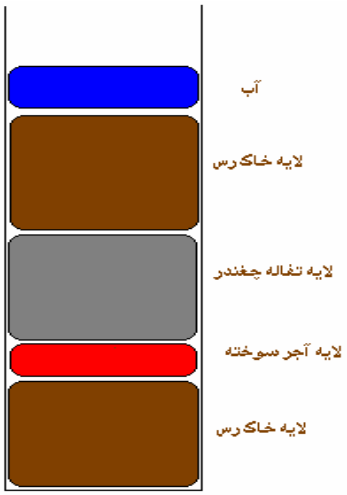
*۲- بررسي ميزان احياء کروم شش ظرفيتي در آجرهاي سوخته و شيرابه در سيستم راکتورهاي محيطي؛*

۲-۱- با توجه به مراتب قبلي آزمايشات يک راکتور محيطي براي احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي در پسماند آجرهاي سيمان و شيرابه آن، به صورت يک استوانه با قطر ۲۰ سانتي متر و ارتفاع ۱۴۰ سانتي متر ساخته شد. در بخش هاي مختلف از بالا تا پايين لايه مواد رسي (۵۰ سانتي متر)، مواد آلي(۵۰ سانتي متر)، پسماند آجر کوره به اضافه ترکيبات فرو (۱۰ سانتي متر) و خاک رس (۳۰ سانتي متر) قرار داده شد. در لايه هاي مختلف يک دريچه براي نمونه برداري از مواد جامد و شيرابه در نظر گرفته شد. ضمناً يک سيستم ساده در دو لايه (شامل پسماند کوره و

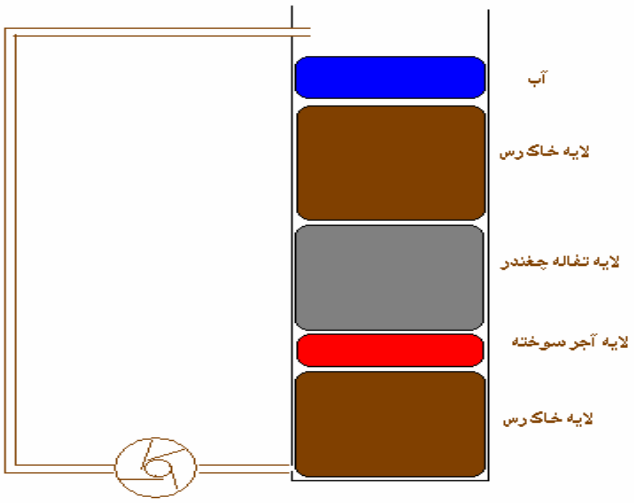
[ Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2026-10-13 ]

خاک رس) به عنوان کنترل راکتور محيطي منظور گرديد. سيستم هاي ياد شده در فضاي آزاد قرار داده شدند و همانند مراحل قبلي آزمايشات (بخش۱)، راندمان خنثي سازي ترکيبات کروم شش ظرفيتي در يک دوره دو ماهه زمستان (دي و بهمن) در شرايط طبيعي دماي محيط مورد بررسي قرار گرفت. در اين بخش از مطالعه، نمونه برداري ها از دولايه هاي پسماند کوره و شيرابه براي آناليز ترکيبات کروم شش ظرفيتي انجام شد و از دو سيستم مذکور به طور روزانه، به مدت زمان ۱۱ روز نمونه برداشته شد.

۲-۲- راکتور محيطي بخش ۱-۲ با سيستم برگشت شيرابه روزانه، براي احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي در پسماند آجر هاي سيمان و شيرابه مورد استفاده قرار داده شد (تصوير۲).




تصوير ۱- سيستم شبيه ساز دفن محيطي




تصوير ۲- راکتور محيطي با سيستم برگشت شيرابه

*۳-/اعتبار بخشي روش هاي آناليز نمونه*

در اين مطالعه نمونه ها به صورت توده اي، پس از آماده سازي آن ها از نظر اندازه ذرات جهت انجام آناليز به آزمايشگاه انتقال يافت. با توجه به احتمال احياء کروم شش ظرفيتي به صورت کروم سه ظرفيتي، نمونه ها در اسرع وقت (حداکثر طي ۱۲ روز) مورد آناليز قرارگرفت. آجرهاي سوخته مناطق مختلف کوره در ۳۲ متر اول همراه با آجر هاي استفاده نشده از کارخانجات سيمان ايران دريافت گرديد. ميزان ترکيبات کروم شش ظرفيتي در آجرهاي عايق کاري کوره استفاده نشده و سوخته کوره به روش هاي NIOSH انستيتو ملي بهداشت حرفه اي آمريکا شماره ۷۶۰۰ اندازه گيري گرديد (۱۴). براي سنجش ترکيبات کروم شش ظرفيتي روش رنگ سنجي (Colorimetric) و جذب کمپلکس کروم شش ظرفيتي در۵٤۰ نانومتراستفاده گرديد.

براي اعتبار بخشي يافته ها به صورت اعتبار داخلي در هر سري از نمونه ها، از يک نمونه چندين بار در يک روز و در چند روز براي آناليز استفاده و CV آن محاسبه شد. براي اعتبار بخشي يافته ها به صورت اعتبار خارجي در هر سري از نمونه ها، آزمايش بازيافت (Recovery) که طي آن مقادير معيني از کروم شش ظرفيتي به چند نمونه اضافه و

[ Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2026-10-13 ]

ميزان بازيافت به صورت درصد محاسبه شد.

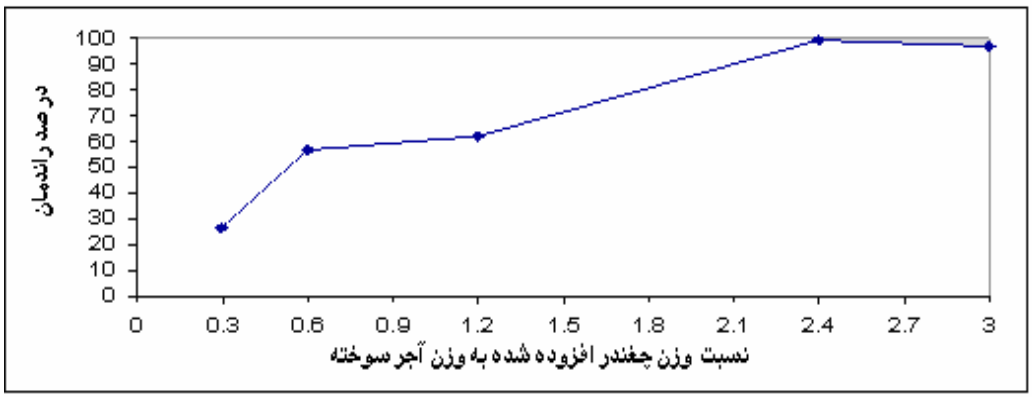
## يافته ها

الف) نتايج احيا كروم شش ظرفيتي آجر هاي سوخته در سيستم شبيه ساز آزمايشگاهي دفن پسماند كوره در سه مرحله به شرح زير ارائه مي شود:

الف-۱- نتايج راندمان احياء كروم شش ظرفيتي در آجرهاي كروميت سوخته شده (فاز جامد) توسط تفاله چغندر در مقادير مختلف (۰/۳، ۰/٦، ۰/۹، ۱/۲، ۲/٤ و ۳ برابر وزن آجر سوخته) در جدول ۱ و نمودار ۱ تنظيم گرديد. همان طوري كه در نمودار۱ مشاهده مي شود راندمان احياء كروم شش ظرفيتي آجر سوخته ( فاز جامد) با مقادير مختلف تفاله چغندر افزوده شده متغير است و بهترين راندمان در حد ۹۹% براي تفاله چغندر افزوده شده در نسبت وزني ۲/۴ برابر به وزن آجر سوخته حاصل گرديد. راندمان احياء شيرابه با توجه به مقدار كروم شش ظرفيتي در نمونه كنترل (راكتور فاقد تفاله چغندر) در حد ۱۰۰% براي تمامي مقادير افزوده شده تفاله چغندر مشاهده گرديد.

جدول ۱- نتايج حاصل از اندازه گيري راندمان احياءكروم شش ظرفيتي آجر هاي سوخته توسط تفاله چغندر در مقادير مختلف

| شماره نمونه | تراكم تركيبات كروم شش ظرفيتي قبل از فرايند احيا بر حسب mg/kg | مقدارتفاله چغندر افزوده شده برحسب وزن آجر سوخته | تراكم تركيبات كروم شش ظرفيتي بعد از احياء بر حسب mg/kg | درصد راندمان احيا |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۷۳/۰۲ | ۰/۳ | ۱۲۷/۲۲ | ۲۶/۵۷ |
| ۲ | ۱۷۰/۸۵ | ۰/۶ | ۷۳/۹۲ | ۵۶/۷۳ |
| ۳ | ۱۷۱/۶۵ | ۱/۲ | ۶۴/۹۵ | ۶۲/۱۷ |
| ۴ | ۱۷۰/۸۰ | ۲/۴ | ۱/۰۲ | ۹۹/۳۹ |
| ۵ | ۱۷۸/۹۶ | ۳ | ۴/۷۸ | ۹۷/۳۲ |




نمودار ۱- راندمان احيا تركيبات كروم شش ظرفيتي توسط تفاله چغندر

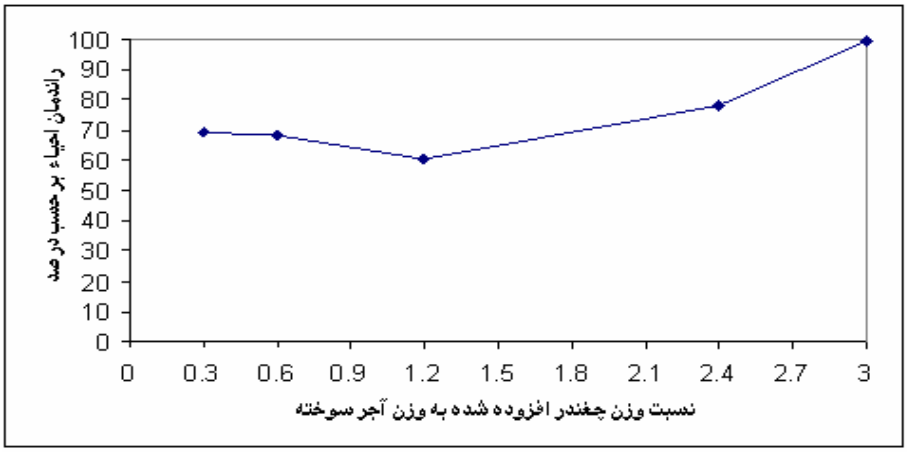
[ Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2026-10-13 ]

الف-۲- نتایج راندمان احیاء کروم شش ظرفیتي آجرهاي سوخته در راکتورهاي محیطي توسط آهن دو ظرفیتي (فرمول ۲) در میزان توازن فرمولي یک و بیش تر در حد صددرصد مشاهده گردید.

الف-۳- نتایج راندمان احیاء کروم شش ظرفیتي در آجرهاي کرومیت سوخته شده (فاز جامد) توسط مقدار ثابت آهن دو ظرفیتي (یک برابر توازن فرمولي)، آب در مقدار ثابت (بخش اول) و تفاله چغندر در مقادیر مختلف (۰/۳، ۰/٦، ۰/۹، ۱/۲، ۲/٤و۳/۰ برابر وزن آجر سوخته) در جدول ۲ و نمودار ۲ تنظیم گردید. همانطوري که در جدول و نمودار ۲ مشاهده مي شود راندمان احیاء کروم شش ظرفیتي آجر سوخته (فاز جامد) در مقادیر کم تفاله چغندر افزوده شده (۰/۳ و ۰/٦ برابر وزن آجر سوخته) و آهن دو ظرفیتي در حد ثابت یک برابر توازن فرمولي بهتر از شرایط آزمایش قبلي مشاهده مي گردد.

جدول۲- راندمان احیا کروم شش ظرفیتي آجر کرومیت توسط تفاله چغندردر مقادیر مختلف و آهن دو ظرفیتي در حد ثابت یک برابر توازن

| شماره نمونه | تراکم ترکیبات کروم شش ظرفیتي قبل از فرایند احیا بر حسب mg/kg | نسبت وزن تفاله چغندر افزوده شده به وزن آجر سوخته | تراکم ترکیبات کروم شش ظرفیتي بعد از احیا بر حسب mg/kg | در صد راندمان احیاء |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۶۸/۵۶ | ۰/۳ | ۵۱/۸۴ | ۶۹/۲۴ |
| ۲ | ۱۷۰/۳۴ | ۰/۶ | ۵۴/۳۹ | ۶۸/۰۶ |
| ۳ | ۱۷۳/۷۶ | ۱/۲ | ۶۹/۱۰ | ۶۰/۲۲ |
| ۴ | ۱۷۰/۶۵ | ۲/۴ | ۳۷/۰۸ | ۷۸/۲۶ |
| ۵ | ۱۷۴/۱۷ | ۳ | ۰/۷۷ | ۹۹/۵۵ |




نمودار ۲- راندمان احیاء ترکیبات کروم شش ظرفیتي آجر سوخته توسط تفاله چغندردر مقادیر مختلف و آهن دو ظرفیتي در حد ثابت

[ Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2026-10-13 ]

ب) نتايج راندمان احياء کروم شش ظرفيتي آجرهاي سوخته در راکتورهاي محيطي در دو بخش زير ارائه مي شود:

ب-۱- نتايج اين بخش از مطالعه که از راکتورهاي محيطي مورد و شاهد (فاقد تفاله چغندر و آهن دو ظرفيتي) در فصل زمستان (حداقل و حداکثر حرارت در روز هاي سرد ماه هاي دي و بهمن زمستان ٦- الي ۸ درجه سانتيگراد) در جدول ۳ تنظيم گرديد. راندمان احياء کروم شش ظرفيتي آجر سوخته در وضعيت افزودن تفاله چغندر در حد ۲ برابر وزن آجر سوخته و ۱ برابر توازن فرمولي براي آهن دو ظرفيتي در سه روز اول، صفر درصد و از روز چهارم تا يازدهم، حد اکثر نزديک به ۸۰ درصد اندازه گيري شد. ضمناً راندمان احياء کروم شش ظرفيتي درشيرابه راکتورهاي مورد و کنترل بخش ۱-۲ توسط ترکيبات آلي (تفاله چغندر) و آهن دو ظرفيتي در روزهاي ۱، ۳، ۴، ۷ و ۱۱ در گستره ۹۰ تا ۹۸ درصد مشاهده گرديد.

ب-۲- احيا ترکيبات کروم شش ظرفيتي توسط ترکيبات آلي راکتور محيطي از بخش ۱-۲ و با سيستم برگشت شيرابه به صورت روزانه مورد مطالعه قرار گرفت. راندمان احيا ترکيبات کروم شش ظرفيتي در راکتورهاي مورد و شاهد (فاقد تفاله چغندر و آهن دو ظرفيتي) در جدول ٤ تنظيم گرديد و راندمان احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي آجر سوخته در وضعيت افزودن تفاله چغندر در حد ۲ برابر وزن آجر سوخته و ۱ برابر توازن فرمولي براي آهن دو ظرفيتي در روز اول، هفتاد و سه درصد و در روز دوم و سوم نزديک به صد درصد ديده مي شود.

جدول۳- راندمان احياءکروم شش ظرفيتي در راکتور محيطي توسط تفاله چغندر به مقدار ثابت دو برابر وزن آجر سوخته و ۱ برابر توازن فرمولي براي آهن دو ظرفيتي

| شماره نمونه | تراکم ترکيبات کروم شش ظرفيتي قبل از فرايند احيا بر حسب mg/kg | زمان ماند بر حسب روز | تراکم ترکيبات کروم شش ظرفيتي بعد از احيا بر حسب mg/kg | در صد راندمان احياء |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۷۵/۲۲ | ۱ | ۱۷۵/۲۰ | ۰ |
| ۲ | ۱۶۸/۱۶ | ۳ | ۱۶۸/۰ | ۰ |
| ۳ | ۱۶۳/۱۱ | ۴ | ۶۱/۴۹ | ۶۲/۳۰ |
| ۴ | ۱۷۷/۸۶ | ۷ | ۳۷/۱۳ | ۷۹/۱۲ |
| ۵ | ۱۷۴/۷۷ | ۱۱ | ۳۵/۳۵ | ۷۹/۷۷ |

جدول ۴- راندمان احيا ترکيبات کروم شش ظرفيتي در راکتور محيطي با سيستم برگشتي شيرابه

| شماره نمونه | تراکم ترکيبات کروم شش ظرفيتي قبل از فرايند احيا بر حسب mg/kg | زمان ماند بر حسب ساعت | تراکم ترکيبات کروم شش ظرفيتي بعد از احيا بر حسب mg/kg | در صد راندمان احياء |
|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۶۹/۰۹ | ۲۴ | ۴۴/۸۰ | ۷۳/۵ |
| ۲ | ۱۷۴/۸۲ | ۴۸ | * | ۱۰۰ |
| ۳ | ۱۷۵/۴۳ | ۷۲ | * | ۱۰۰ |

** زير حد آشکارسازي روش اندازه گيري کروم شش ظرفيتي*

[ Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2026-10-13 ]

## بحث

کارخانجات سيمان از صنايع استراتژيک کشور، مي تواند تهديد جدي براي محيط زيست از طريق دفع غير اصولي پسماندهاي جامد کوره حاوي ترکيبات کروم شش ظرفيتي تلقي گردد. از اين رو صنعت ياد شده نيازمند به مديريت اصولي در زمينه دفع پسماند کوره مي باشند. با توجه به مطالعات قبلي در زمينه فن آوري فاضلاب هاي صنعتي، در اين مطالعه ابداع يک روش خنثي سازي ترکيبات کروم شش ظرفيتي در فاز جامد درآسان ترين شکل ممکنه با امکانات محلي مورد بررسي قرار گرفته شد. بر اساس نتايج به دست آمده از راکتورهاي شبيه ساز دفن محيطي اين مطالعه، احياء مطلوب ترکيبات کروم شش ظرفيتي، با ترکيب آهن دو ظرفيتي در يک برابر توازن فرمولي و تفاله چغندر در ميزان بيش تر از دو برابر وزن آجر سوخته، همانند مطالعات قبلي (۱۵و۱۶) امکان پذير مشاهده گرديد. لازم به ذکر است گزارش هاي مستندي در زمينه استفاده از مواد آلي (تفاله سويا، سوکروز و ويتامين C ) به عنوان تنها عامل احياء کننده ترکيبات کروم شش ظرفيتي شرايط pH اسيدي در دماي ۲۰ درجه سانتيگراد براي احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي در فاضلاب ارائه شده است (۱۸-۱۱) و استفاده از تفاله چغندر براي اولين بار در اين مطالعه، به لحاظ دسترسي آسان و ارزان بودن آن در نظر گرفته شد. علي رغم سهولت روش ابداع شده براي احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي در آجرهاي سوخته با راندمان مطلوب، سرعت عمل آن به مراتب کند تر از روش هاي مشابه براي تصفيه فاضلاب هاي صنعتي است (۱۸-۱۵). لازم به يادآوري است کندي واکنش هاي شيميايي احياء کروم شش ظرفيتي مي تواند به علت عدم کنترل پارامترهايي از قبيل pH و دماي راکتورهاي شبيه ساز دفن محيطي اين مطالعه باشد.

روش احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي در اين مطالعه که به صورت دفن بهداشتي پسماند جامد است بسيار آسان تر و فاقد پيچيدگي هاي روش هاي معمول تصفيه فاضلاب هاي صنعتي حاوي ترکيبات کروم شش ظرفيتي گزارش شده در متون علمي است (۱۸-۱۵). نيز براي حصول راندمان بهتر و زمان کوتاه تر براي خنثي سازي ترکيبات شش ظرفيتي کروم، سيستم اوليه اين مطالعه از طريق برگشت روزانه شيرابه به سطح بستر راکتور محيطي بهينه سازي شد.

علي رغم اثر مثبت آهن دو ظرفيتي در خنثي سازي ترکيبات کروم شش ظرفيتي آجرهاي سوخته کوره، احياء ترکيبات ياد شده مي تواند بدون آهن دو ظرفيتي نيز در سيستم هاي دفن محيطي انجام پذيرد، زيرا تخمير بي هوازي مواد آلي همراه با افزايش pH، به عنوان عامل تسهيل کننده فرآيند احياء ترکيبات ياد شده گزارش شده است (۱۹). ضمناً فرآيند بي هوازي تخمير ترکيبات آلي، عامل احياء ترکيبات آهن سه ظرفيتي به ترکيبات دو ظرفيتي نيز گزارش شده است (۲۰) و با توجه به اين که در اين مطالعه احياء ترکيبات کروم شش ظرفيتي توسط تفاله چغندر و ترکيب آهن دو ظرفيتي انجام مي پذيرد، تخمير تفاله چغندر، مي تواند نقش بسيار ارزنده اي در تثبيت آهن دو ظرفيتي و خنثي سازي ترکيبات کروم شش ظرفيتي سرطان زا داشته باشد. از اين رو روش خنثي سازي ترکيبات کروم شش ظرفيتي موجود آجرهاي سوخته کوره سيمان بر اساس نتايج اين مقاله پيشنهاد مي گردد. ضمناً روش پيشنهادي دفن بهداشتي آجرهاي سوخته کروميت کوره هاي سيمان، مي تواند به عنوان روش خنثي سازي ترکيبات کروم شش ظرفيتي و بازيافت کروم نيز مورد استفاده قرار داده شود.

## تشکر و قدرداني

از شوراي پژوهشي دانشگاه علوم پزشکي و خدمات بهداشتی درماني شهيد بهشتي و شرکت سيمان اردبيل و

[ Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2026-10-13 ]

آهک آذرشهر براي تأمين بودجه اين پروژه تشکر و قدرداني مي گردد. ضمناً از مقامات دفتر آموزش و تحقيقات شرکت احداث صنعت براي رفع مشکلات اجرايي اين طرح سپاسگزاري مي شود.

## *REFERENCES*

1. Mukherjee AB. Chromium in the environment of Finland. Sci Total Environ 1998;217(1-2):9-19.
2. Fryzek JP, Mumma MT, McLaughlin JK, Henderson BE, Blot WJ. Cancer Mortality in Relation to Environmental Chromium Exposure. J Occup Environ Med 2001; 43(7):635-40.
3. 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 May;25(3):335-47.

٤. رضا زاده آذري منصور، خرم زاده محمد رضا. بررسي ميزان کروم کل و شش ظرفيتي محلول و غير محلول سيمان تيپ ۱ و ۲ در سيمان کارخانجات کشور. پژوهنده، سال يازدهم، شماره ۱ پي درپي ۴۹، ۱۳۸۵، صفحات ۴۹ تا ۵۴.

5. Sinha S, Saxena R, Singh S. Chromium induced lipid peroxidation in the plants of Pistia stratiotes L.: role of antioxidants and antioxidant enzymes. Chemosphere. 2005;58(5):595-604.
6. Rai V, Vajpayee P, Singh SN, Mehrotra S. Effect of chromium accumulation on photosynthetic pigments, oxidative stress defense system, nitrate reduction, proline level and eugenol content of Ocimum tenuiflorum L. Plant Sci 2004; 167(5):1159-69.
7. Shanker AK, Cervantes C, Loza-Tavera H, Avudainayagam S. Chromium toxicity in plants. Environ Int 2005 ;31(5):739-53.
8. Fang H, Smith JD, Peaslee KD. Study of spent refractory waste recycling from metal manufacturers in Missouri. Resour Conserv Recyc 1999; 25:111-24.
9. Shimaoka T, Hanashima M. Behavior of stabilized fly ashes in solid waste landfill. Waste Manage 1996; 16(5-6): 545-54.
10. Orloff K, Falk H. An International perspective on Hazardous waste practices. Int J Hyg Environ Health. 2003;206(4-5):291-302.
11. Daneshvar N, Salari D, Aber S. Chromium adsorption and Cr(VI) reduction to trivalent chromium in aqueous solutions by soya cake. J Hazard Mater. 2002 Sep 2;94(1):49-61.
12. Altundogan HS. Cr(VI) removal from aqueous solution by iron (III) hydroxide-loaded sugar beet pulp. Process Biochem 2005; 40(3-4): 1443-52.
13. Burhanettin Işıklı B, Demir TA, Akar T, Berber A, Ürer SM, Kalyoncu C. Effects of chromium exposure from a cement factory. Environ Res 2003; 91: 113-8.
14. NIOSH [1994] Chromium, Hexavalent; Method 7600. Eller PM, Cassinelli ME, editors. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), 4th ed. Cincinnati, OH: National institute for occupational safety and health, DHHS(NIOSH) Publication No.94-113.
15. Erdem M, Gür F, Tümen F. Cr (VI) reduction in aqueous solutions by siderite. J Hazard Mater 2004;113: 217-22.

[ Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2026-10-13 ]

16. Mullet M, Boursiquot S, Ehrhardt JJ. Removal of hexavalent chromium from solutions by mackinawite, tetragonal FeS. Colloids surf, A Physicochem Eng Asp 2004; 244 : 77-85.

17. Xu XR, Li HB, Li XY, Gu JD. Reduction of hexavalent chromium by ascorbic acid in aqueous solutions. Chemosphere 2004; 57: 609–613.

18. Wang T, Li Z. High-temperature reduction of chromium (VI) in solid alkali. J Hazard Mater 2004; 112: 63-9.

19. Veeken A, Kalyuzhnyi S, Scharff H, Hamelers B. Effect of pH and VFA on hydrolysis of organic solid waste. J Environ Eng 2000;126(12):1076-81.

20. Lovley DR, Phillips EJ. Organic matter mineralization with reduction of ferric iron in anaerobic sediments. Appl Environ Microbiol 1986; 51: 683-9.

[ Downloaded from pajoohande.sbmu.ac.ir on 2026-10-13 ]