تحقیقات بتن
سال سیزدهم، شمارهٔ دوم
تابستان ۹۹
ص ۱۴۳ – ۱۳۵
تاریخ دریافت: ۹۸/۴/۲۴
تاریخ پذیرش: ۹۹/۳/۱۹

یادداشت پژوهشی

حذف فلز سنگین کروم از پساب صنعتی با استفاده از بتن اختلاط سبز اصلاح‌شده با بنتونیت

الهام اسراری *
دانشیار گروه فنی و مهندسی ، دانشگاه پیام نور.
جهانشیر نریمانی
دانشجوی کارشناسی ارشد عمران ،محیط‌زیست دانشگاه پیام نور.

چکیده

امروزه بازیافت نخاله‌های ساختمانی و ساخت بتن‌های همسو با محیط‌زیست طرفداران بسیاری پیدا کرده است. از طرفی فلزات سنگین ازجمله کروم، یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌باشد. در این پژوهش از مصالح ب شیشه و آجر که از تخریب ساختمان‌ها حاصل می‌شود جهت ساخت بتن استفاده‌شده است. این بتن، خصوصیات بتن استاندارد غیر سازه‌ای را دارا می‌باشد که با اضافه شدن جاذب بنتونیت جهت حذف کروم از فاضلاب‌های صنعتی ، استفاده گردید . حداکثر جذب در غلظت کروم ۲۵ میلی‌گرم در لیتر، زمان تماس ۸ ساعت، دوز جاذب ۸ درصد و pH برابر با ٦ اتفاق می‌افتد. حداکثر جذب در شرایط بهینه ۹۵/٦۵ درصد و ظرفیت جذب ۰/۱۲۳ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. میزان جذب ۹۷/۲۸ درصد روی نمونه واقعی فاضلاب صنعتی به دست آمد. جذب فلز کروم از مدل شبه درجه دوم و ایزوترم جذب از مدل فروندلیچ پیروی می‌کند. مقاومت ۲۸ روزه قبل از تماس با فلز کروم برابر ۱۱٤ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، پس از تماس با محلول حاوی کروم با پارامترهای بهینه آزمایشگاهی۱۰۱/۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و پس از تماس با نمونه واقعی فاضلاب حاوی کروم ۱۲۷/٤ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع به دست آمد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در این روش با استفاده از ضایعات ساختمانی شیشه و آجر در بتن اختلاط سبز (بدون نیاز به شن و ماسه) و با استفاده از بنتونیت به‌عنوان جاذب ارزان‌قیمت ، جهت حذف فلز سنگین کروم از فاضلاب، روشی مؤثر است.

واژه‌های کلیدی: **کروم، بنتونیت، اختلاط سبز، بتن.**

* نویسنده مسئول: e_asrari@pnu.ac.ir

۱- مقدمه

حضور فلزات سنگین در فاضلاب‌های صنعتی، مشکلی عمده در تخلیه آن‌ها به آب‌های سطحی به‌حساب می‌آید. برخی از فلزات سنگین مانند جیوه، سرب، کادمیوم، مس، کروم و نیکل حتی در مقادیر بسیار جزئی نیز سمی می‌باشند. فلزات سنگین عناصری هستند که به علت پایداری و خاصیت تجمع بیولوژیکی، اثرات مضری بر سلامتی انسان داشته و به‌عنوان آلاینده‌های خطرناک، توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالت-متحده لیست شده‌اند[۱].

امروزه یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی، تصفیه فاضلاب‌های صنعتی است که شامل فلزات سنگین نظیر کروم، می‌باشد[۲]. پژوهش‌های متعددی درزمینهٔ حذف و پاک‌سازی فلز سنگین کروم از پساب‌های صنعتی و محیط‌های آبی صورت گرفته است. روش‌های متداول حذف این فلزات شامل روش‌های تبادل یونی، اکسایش و کاهش شیمیایی، اسمز معکوس، ترسیب شیمیایی، الکترو دیالیز، ، استخراج با حلال، جذب سطحی،و غیره می‌باشد[۳].در میان تکنولوژی‌های موجود ، فرایند جذب سطحی به دلیل راحتی، سهولت عمل و سادگی طراحی، مناسب‌تر است[۴]. واژه جذب سطحی به تجمع ماده در رابط بین دو فاز از قبیل جامد و مایع یا جامد و گاز اشاره دارد. به‌طورکلی فرآیند جذب عمدتاً برای حذف حل شونده از محلول و گازها از هوا استفاده می‌شود[۱]. در سال‌های اخیر استفاده از جاذب‌های ارزان‌قیمت موردتوجه بسیاری از محققین قرارگرفته است[۷،۶،۵] .

استفاده از ضایعات آجرهای سفالی در بتن، نشان داد که با توجه به برخی اثرات مثبت این ماده ازجمله کاهش وزن مخصوص بتن و مصرف ضایعات بدون استفاده در بتن و از سوی دیگر کاهش حداقلی مقاومت فشاری و عدم‌تغییر محسوس در جذب آب، ضایعات آجر می‌تواند گزینه مناسبی جهت استفاده در بتن، به مصرف آجر سفالی بالا، باشد[۸].

استفاده از ضایعات صنعتی و بازیافت زباله‌ها در بتن سبز و مقایسه با بتن معمولی که با استفاده از شن و سنگ ساخته می‌شود، نشان داد که بتن سبز با توجه به ارزان بودن و استفاده از مواد زائد، جایگزین بسیار خوبی برای بتن معمولی می‌باشد[۹].نتایج جایگزین کردن سنگ‌های طبیعی در تولید بتن با زباله‌های صنایع محلی (لجن لیمو و خاکستر از خاک زیست توده)، کاهش مقاومت فشاری بتن را نشان داد.[۱۰].

آجر و شیشه از ضایعات عمده ساختمانی می‌باشند که پس از تخریب هر ساختمانی وارد محیط‌زیست شده و باعث آلودگی آن می‌گردد بتن یکی از اصلی‌ترین مواد مورداستفاده در این صنعت است. میلیاردها تن مواد معدنی برای ساخت و تهیه بتن از زمین خارج می‌شوند که این موضوع محیط‌زیست را به خطر می‌اندازد. امروزه بازیافت نخاله‌های ساختمانی و ساخت بتن‌های هم‌سو با محیط‌زیست طرفداران بسیاری پیدا کرده است. به این نوع بتن که از مواد بازیافتی تهیه می‌شود، بتن سبز گفته می‌شود. البته نام‌گذاری آن ربطی به رنگ آن ندارد؛ بلکه به دلیل لحاظ کردن محیط‌زیست در جنبه‌های مختلف تولید و استفاده از بتن، این نام روی آن گذاشته‌شده است. بتن سبز بسیار ارزان‌قیمت است؛ زیرا برای تولید آن از نخاله‌های ساختمانی استفاده می‌شود و از طرف دیگر، لازم نیست برای دفع نخاله‌ها هزینه‌ای صرف شودد [۱۱].

در این پژوهش به بررسی استفاده از مصالح بازیافتی شیشه و آجر ناشی از ضایعات ساختمانی به‌عنوان سنگ‌دانه در تولید بتن هم سو با محیط‌زیست (بتن اختلاط سبز) و با استفاده از جاذب بنتونیت در بتن جهت حذف فلز سنگین کروم پرداخته‌شده است. این بتن به‌عنوان بتن غیر سازه‌ای (رویه) در حوضچه‌های ته‌نشینی و آرامش فاضلاب، می‌تواند فلز سنگین کروم را از فاضلاب‌های صنعتی جذب خود نماید و در پروژه‌های جمع‌آوری، انتقال و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب‌های صنعتی، مورداستفاده قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش که هدف ساخت بتن غیر سازه‌ای (رویه) با ضایعات ساختمانی (اختلاط سبز) و اصلاح آن با جاذب بنتونیت در جهت استفاده در حوضچه‌های ته‌نشینی و کانال‌های انتقال فاضلاب و... و به‌منظور حذف فلز سنگین کروم از فاضلاب می‌باشد، با استفاده از شیشه و آجر حاصل از ضایعات ساختمانی، آب و سیمان و جاذب بنتونیت با طرح اختلاط تعیین‌شده بر اساس استاندارد که تأمین‌کننده مقاومت و روانی (اسلامپ) موردنظر بود، بتن ساخته و در قالب‌های پلاستیکی جهت ساخت نمونه ریخته شد. نمونه‌های تهیه‌شده در محلول‌هایی با غلظت‌های مختلف (بازه ۵ تا ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر)و pH های متفاوت (بازه ۲ تا ۱۰) و در زمان‌های تماس مختلف قرار داده شد و پارامترهای بهینه جهت جذب حداکثری فلز کروم تعیین گردید.

۲-۱- دستگاه‌های مورداستفاده

- دستگاه shaker (مجموعه الک‌ها) جهت الک و دانه‌بندی مصالح.
- دستگاه بتونیر جهت ساخت بتن.
- دستگاه اندازه‌گیری اسلامپ بتن.
- قالب‌های مکعبی استاندارد جهت تهیه نمونه آزمایش مقاومت.
- جک هیدرولیکی جهت شکستن نمونه‌ها و تعیین مقاومت بتن.
- دستگاه جذب اتم (اسپکترومتر) مدل Sens AA ساخت ایتالیا مجهز به لامپ دوتریم جهت تصحیح جذب نمونه و لامپ کاتدی کروم برای اندازه‌گیری جذب با شعله هوا-استیلن.
- دستگاه pH متر pHS-3F
- دستگاه سانتریفیوژ ساخت شرکت بهداد Model LBH-1200,Code 3480
- ترازوی دیجیتال مدل ED224S ساخت آلمان با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم
- دستگاه همزن برقی مغناطیسی

۲-۲- مواد و مصالح مورداستفاده

- شیشه ساختمانی ضایعاتی به‌عنوان درشت‌دانه
- آجر ضایعاتی به‌عنوان ریزدانه
- سیمان پرتلند نوع ۲
- نمک نیترات کروم با جرم مولی ۴۰۰/۱۵ گرم بر مول مربوط صنایع شیمیایی ایران شیمی با درصد خلوص ۱۰۰.
- بنتونیت (جاذب)
- آب آشامیدنی جهت تهیه بتن
- آب مقطر جهت رقیق‌سازی محلول‌ها
- اسیدکلریدریک محصول شرکت مرک آلمان
- سود سوزآور محصول شرکت مرک المان
- نمونه فاضلاب صنعتی واقعی تهیه‌شده از شهرک صنعتی شیراز(میزان کروم ۲ میلی‌گرم در لیتر).

در این تحقیق از مخلوط آجرهای ضایعاتی ساختمانی (سفالی، فشاری، نما و ...) با درصد بیشتر آجر فشاری (گری) مورداستفاده قرار گرفت. جهت این منظور ابتدا آجرها با استفاده از سمباده تمیز شده و سایر مصالح چسبیده به آن مانند گچ، سیمان و... جدا گردید. سپس خردشده و با استفاده از الک دانه‌بندی شدند و مورداستفاده قرار گرفتند.

شیشه از مواد مصنوعی غیرفلزی و غیرآلی است. شیشه دارای ساختار آمورف و جسمی سخت، ترد، شفاف، نورگذر، سختی۷-۶ موس و جرم مخصوص ۴ -۲/۲۰ گرم بر سانتی مترمکعب است[۱۲]. در این تحقیق شیشه‌های ساختمانی مختلفی مورد آزمایش قرار گرفت و درنتیجه شیشه سکوریت به علت داشتن مقاومت و سختی بالاتر در برابر ضربه و فشار نسبت به سایر شیشه‌ها به‌عنوان یکی از مصالح مورداستفاده جهت ساخت نمونه بتنی انتخاب گردید.

به‌منظور دستیابی به یک دانه‌بندی مناسب از شیشه و آجر انتخابی، هرکدام از مصالح فوق با اندازه‌های مختلف و درصدهای متفاوت، هم به‌صورت ریزدانه و هم به‌صورت درشت‌دانه به روش سعی و خطا مورد آزمایش قرار گرفت و درنهایت از آجر به‌عنوان ریزدانه با اندازه‌های ۵-۰ میلی‌متر و از شیشه به‌عنوان درشت‌دانه با اندازه حداکثر ۱۵ میلی‌متر جهت ساخت نمونه انتخاب گردید.

بنتونیت نوعی رس ریزدانه است که حداقل ۸۵ درصد رس مونتموریلونیت داشته باشد و در این تحقیق به‌عنوان جاذب استفاده گردید. بنتونیت یک ماده از دسته رس‌ها و از کانی‌های متورم شونده تشکیل‌شده است. بنتونیت دارای ساختمان آلومینوسیلیکاتی است و در دسته سیلیکات‌های سه لایه قرار می‌گیرد . بنتونیت دارای دولایه چهاروجهی و یک‌لایه هشت‌وجهی می‌باشد[13]. بنتونیت تمایل زیادی برای جذب آب در بین لایه‌های خود دارد و به دلیل برخورداری از ویژگی‌هایی همچون نرم بودن، تورم پذیری، کلوئیدی بودن و قابلیت مخلوط شدن با آب، خمیری شدن و چسبندگی و چسبانندگی، به‌عنوان جاذب فلزات سنگین به شکل وسیعی در دو دهه اخیر مورداستفاده قرارگرفته است[14] .

۲-۳- طرح اختلاط

برای رسیدن به مقاومت موردنیاز، تأمین دوام کافی و داشتن روانی (اسلامپ) موردقبول می‌بایست اجزای تشکیل‌دهنده بتن به نسبت‌های مشخصی باهم ترکیب گردند که به این نسبت‌ها طرح اختلاط گفته می‌شود. در این تحقیق با توجه به این‌که به‌جای مصالح سنگی (شن و ماسه) شیشه و آجر کار می‌شود جهت رسیدن به یک طرح اختلاط مناسب، طرح‌های مختلف موردبررسی قرار گرفت. آزمایش‌های تعیین مقاومت بر اساس نمونه مکعبی به ابعاد ۱۵*۱۵*۱۵ سانتی‌متر انجام گرفت.(جدول۱)

جدول ۱- طرح اختلاط بتن

شیشه (kg)	838
آجر (kg)	503
سیمان (kg)	350
آب(kg)	502
بنتونیت (kg)	194
مقاومت ۷ روزه kg/cm^2	87
مقاومت۲۸ روزه kg/cm^2	114
روانی(اسلامپ) cm	5
وزن کلkg/m^3	2387

۲-٤- روش انجام آزمایش

جهت انجام آزمایش ابتدا ظرف‌هایی برای قرار گرفتن نمونه‌ها تهیه گردید. به‌طوری‌که پس از قرارگیری نمونه در آن از هر طرف (افقی و عمودی) حداقل به‌اندازه ۲ سانتی‌متر فضا جهت غوطه‌ور شدن نمونه در آن و تماس حداکثری نمونه با محلول ایجاد گردد. حجم محلول موردنیاز جهت هر نمونه محاسبه گردید. (۲۵۰ میلی‌لیتر). محلول‌های حاوی کروم با غلظت‌های مختلف در بازه ۵ تا ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر و با pH های متفاوت، تهیه گردید. سپس نمونه‌ها که با درصدهای متفاوت از جاذب تهیه گردیده بودند در زمان‌های مختلف در بازه ۳۰ دقیقه تا ۲۴ ساعت در تماس با محلول قرار داده شدند. درنهایت پس از اتمام زمان مربوط به هر آزمایش، نمونه موردنظر از محلول خارج گردید. قابل‌ذکر است که قبل از اندازه‌گیری نمونه با دستگاه جذب اتم ، ابتدا محلول استاندارد با غلظت‌های کروم ۱ ، ۳، ۵ و ۱۰ تهیه و پس از کالیبراسیون دستگاه، نمونه‌ها موردراندازه‌گیری قرار گرفتند. درنهایت اعداد اندازه‌گیری شده توسط دستگاه جذب اتم با استفاده از روابط و معادله‌های زیر محاسبه و مقادیر بهینه پارامترهای موردنیاز به دست آمد.

تعیین درصد جذب:

$$R=100\times(C_0 - C_e) / C_0 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

R = درصد جذب

C_0 = غلظت اولیه

C_e = غلظت ثانویه

این مراحل برای تمام نمونه‌ها در شرایط آزمایشگاهی(دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد) انجام و درصدهای جذب محاسبه گردید.

۳- نتایج

در این تحقیق در شرایط آزمایشگاهی به‌منظور بررسی حذف فلز کروم توسط بتن اختلاط سبز اصلاح‌شده با بنتونیت، با در نظر گرفتن مقادیر متفاوت یک متغیر و ثابت نگه‌داشتن پارامترهای، دیگر هر متغیر به‌طور مجزا بهینه می‌گردد.محدوده عددی متغیرها بامطالعه مقالات مشابه به‌طور تخمینی دست آمده است.

۳-۱- تعیین اثر pH بر فرایند جذب

جهت بررسی اثرpH بر میزان جذب با غلظت محلول ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و دوز جاذب پیش‌فرض ۸ درصدی (که درروش انجام آزمایش به نحوه انتخاب آن‌ها اشاره شد) و زمان تماس یک ساعت محلول‌هایی با pH های در محدوده ۲ تا ۱۰ (۲، ۴ ، ۶ ، ۸ و ۱۰) تهیه و نمونه‌ها در آن قرار گرفتند. با توجه به نتایج مشاهده گردید که با افزایش از ۲ تا ۴ میزان جذب افزایش و پس‌ازآن میزان جذب کاهش می‌یابد. در این مرحله بیشترین میزان جذب در pH ۴ و به میزان ۶۳/۱۰ درصد مشاهده گردید. (جدول ۲).

جدول ۲-درصد جذب در pH های مختلف محلول با غلظت اولیه ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر

pH	درصد جذب
۲	۵۴/۱۴
۴	۶۳/۱۰
۶	۶۲/۴۱
۸	۵۹/۳۱
۱۰	۵۷/۲۴

لازم به ذکر است با توجه به اهداف این پژوهش که مورداستفاده بتن سبز اصلاح‌شده با بنتونیت در حوضچه‌های آرامش فاضلاب، تصفیه‌خانه‌ها و ... می‌باشد و با توجه به اینکه در pH برابر با ۴ محیط کاملاً اسیدی گشته و ایجاد خورندگی و تخریب می‌نماید و با توجه به تفاوت نسبتاً ناچیز بین درصد جذب در pH ۶ و ۴ ، pH برابر با ۶ به‌عنوان pH بهینه انتخاب گردید.

۳-۲- تعیین اثر زمان تماس بر میزان جذب

با توجه به pH برابر با ۶ انتخاب‌شده و با غلظت محلول ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و دوز جاذب پیش‌فرض ۸ درصدی(با توجه به مقاومت نمونه‌های بتنی ساخته‌شده)، اثر زمان تماس بر فرایند

جذب درزم آن‌های تماس ۳۰ دقیقه، یک ساعت، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۲ و ۲۴ ساعت بررسی گردید. نتایج نشان داد که با افزایش مدت‌زمان تماس، مقدار جذب نیز افزایش می‌یابد. بیشترین درصد جذب در زمان تماس ۲۴ ساعت و به مقدار۹۶/۷۲ درصد به دست آمد اما با توجه به اینکه معمولاً در حوضچه‌های ته‌نشینی و آرامش، ماندگاری فاضلاب بین ۶ تا حداکثر ۸ ساعت می‌باشد و با توجه به تفاوت اندک درصد جذب بین ۸ تا ۲۴ ساعت (کمتر از یک درصد)، لذا زمان بهینه تماس ۸ ساعت با درصد جذب ۹۵/۸۲ انتخاب گردید.

جدول ۳- میزان جذب کروم در زمان‌های تماس مختلف با محلول با غلظت اولیه ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و pH ۶

زمان تماس (دقیقه)	درصد جذب R
۳۰	۵۷/۹۱
۶۰	۶۰/۶۰
۱۲۰	۸۸/۳۶
۲۴۰	۹۰/۷۵
۳۶۰	۹۱/۶۴
۴۸۰	۹۵/۸۲
۷۲۰	۹۶/۱۲
۱۴۴۰	۹۶/۷۲

۳-۳- بررسی مقدار غلظت اولیه کروم

جهت این منظور محلول‌هایی با غلظت‌های کروم در بازه ۱۰ تا ۱۰۰ (۱۰، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰) میلی‌گرم در لیتر تهیه و نمونه‌ها به مدت ۸ ساعت با pH برابر ۶ و دوز جاذب پیش‌فرض ۸ درصد در تماس با محلول‌ها قرار گرفتند. با افزایش غلظت کروم در محلول ابتدا درصد جذب افزایش و سپس کاهش یافت . که درنهایت بیشترین درصد جذب در غلظت ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و به میزان ۹۵/۵۹ درصد به دست آمد. قابل‌ذکر است که جهت بررسی و استفاده از دستگاه جذب اتمی از نمودار کالیبراسیون کروم که با محلول استاندارد با غلظت‌های ۱، ۳، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر تهیه‌شده بود استفاده گردید.

۳-٤- بررسی اثر میزان جاذب بر روند جذب

با توجه به تعیین پارامترهای pH، زمان مناسب تماس و غلظت محلول، اثر میزان جاذب بر روند جذب بررسی گردید. بدین منظور، نمونه‌های بتنی با درصدهای مختلف جاذب (۰، ۲، ۵، ۸، ۱۰ و ۱۵) تهیه و آزمایش با پارامترهای تعیین‌شده انجام گرفت .نتایج حاصله نشان می‌دهد که با افزایش میزان جاذب، درصد جذب نیز افزایش می‌یابد و بیشترین مقدار جذب با میزان جاذب ۱۵ درصد(۹۹/۱۳ درصد) می‌باشد. اما با افزایش میزان جاذب مقاومت بتن کاهش می‌یابد(جدول ۵) که قابل‌استفاده در محل‌های موردنظر نیست. درنهایت با توجه به مقامت بتن و درصد جذب فلز کروم، میزان جاذب همان مقدار پیش‌فرض یعنی ۸درصد (با جذب ۹۵/۶۵) درصد تعیین می‌گردد.

جدول ۴- درصد جذب در غلظت‌های مختلف محلول

نمونه	غلظت اولیه C_0 (ppm)	درصد جذب R
۱	۱۰	۷۲/۸۸
۲	۲۵	۹۵/۵۹
۳	۵۰	۸۵/۲۵
۴	۷۵	۸۲/۶۰
۵	۱۰۰	۸۱/۴۴

جدول ۵- اثر میزان جاذب در جذب فلز کروم از محلول با غلظت اولیه ۲۵ میلی‌گرم بر لیترpH برابر با ۶

درصد بنتونیت	درصد جذب R	مقاومت ۷ روزه بتن قبل از آزمایش kg/cm^2	مقاومت۲۸ روزه بتن قبل از آزمایش kg/cm2
۰	۵۸/۲۶	۱۰۵	۱۳۷
۲	۶۲/۶۱	۹۵	۱۲۷
۵	۷۹/۱۳	۹۱	۱۱۸
۸	۹۵/۶۵	۸۷	۱۱۴
۱۰	۹۷/۳۹	۷۷	۱۰۰
۱۵	۹۹/۱۳	۵۱	۶۷

۳-۵- سینتیک جذب

مدل‌های سینتیکی شبه درجه اول و دوم نیز برای تعیین ثابت سرعت فرآیند جذب با توجه به فرموله‌ای زیر بررسی شدند.

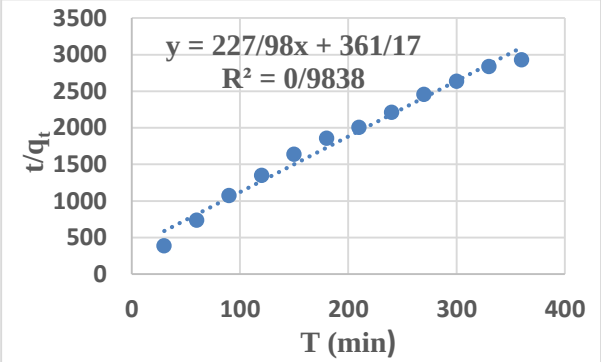
$$\ln(q_e - q_t) = ln(q_e) - \frac{tk_1}{2.303}$$

درجه اول

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$$

درجه دوم

برای بررسی نمودارهای سینتیک جذب شبه درجه اول و دوم برای فلز سنگین کروم، با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش، پارامترهای مربوط به سنتیک جذب محاسبه و نمودارهای سنتیک شبه درجه اول و درجه دوم رسم گردید. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، مشاهده شد که سنتیک جذب با داشتن ضریب همبستگی بالاتر $R^2 = 0/9838$، از مدل شبه درجه دوم پیروی می‌کند.



شکل ۱- سنتیک شبه درجه دوم کروم

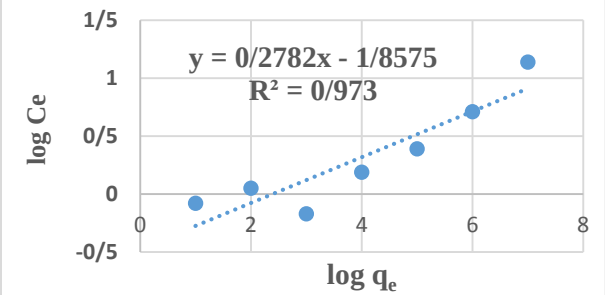
۳-۶- ایزوترم های جذب

از دو معادله لانگمویر و فروندلیچ جهت بررسی ایزوترم های جذب استفاده شد.

فروندلیچ $q_e = K_F C_e^{1/n}$

لانگمویر $qe = qmax \frac{KL\,Ce}{1+KL\,Ce}$

پارامترهای ایزوترم لانگمویر و فروندلیچ محاسبه و نمودارها رسم گردید. با بررسی نتایج به‌دست‌آمده مشاهده شد که ایزوترم جذب با داشتن ضریب همبستگی بالاتر R^2=۰/۹۷۳، از مدل فروندلیچ پیروی می‌کند.



شکل ۲- نمودار ایزوترم فروندلیچ

۳-۷ - مقاومت نمونه‌ها قبل و بعد از تماس با کروم

نمونه‌ها ازلحاظ تغییرات مقاومتی موردبررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که مقاومت فشاری نمونه بتنی پس از تماس با محلول آزمایشگاهی حاوی کروم با پارامترهای تعیین‌شده جذب ، کاهش یافت و مقاومت فشاری نمونه بتنی پس از تماس با فاضلاب واقعی حاوی فلز کروم افزایش یافت.

۳-۸- تعیین میزان جذب کروم در نمونه واقعی فاضلاب

با توجه به مقدار ناچیز فلز کروم در نمونه فاضلاب واقعی(۲ میلی‌گرم در لیتر)، و عدم دقت کافی دستگاه در مقیاس پایین، با اضافه کردن کروم به فاضلاب و رساندن غلظت آن به غلظت بهینه از پیش تعیین‌شده (۲۵ میلی‌گرم در لیتر)، آزمایش انجام گردید. با توجه به نتایج، مشخص گردید که میزان جذب کروم در نمونه واقعی فاضلاب با پارامترهای تعیین‌شده (غلظت ۲۵ ppm، pH برابر ۶، مدت‌زمان تماس ۸ ساعت و دوز جاذب ۸ درصد) برابر با ۹۷/۲۸ درصد می‌باشد.

جدول ۶- میزان تغییرات مقاومت فشاری نمونه بتنی قبل و بعد از تماس با محلول کروم

نمونه	شرایط نمونه	F max (kg)	مقاومت فشاری T (kg/cm²)
۱	قبل از تماس با محلول	۲۵۶۵۰	۱۱۴
۲	بعد از تماس با محلول آزمایشگاهی	۲۱۱۹۵	۱۰۱/۲
۳	بعد از تماس با محلول واقعی فاضلاب	۲۸۶۶۵	۱۲۷/۴

نتایج نشان داد که مقاومت فشاری نمونه بتنی پس از تماس با محلول آزمایشگاهی حاوی کروم با پارامترهای تعیین‌شده جذب، کاهش یافت و مقاومت فشاری نمونه بتنی پس از تماس با فاضلاب واقعی حاوی فلز کروم افزایش یافت .

٤- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش جهت کارایی بیشتر و بهینه‌سازی فرایند جذب، پارامترهای مؤثر مانند pH، میزان جاذب، غلظت اولیه آلاینده و زمان تماس و... موردبررسی و مطالعه قرار گرفتند.

در این تحقیق بر اساس نتایج حاصل از مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی قبل و بعد از تماس با محلول حاوی کروم آزمایشگاهی مشاهده گردید که فلز کروم موجود در محلول آزمایشگاهی باعث کاهش حدود ۱۱ درصدی مقاومت فشاری نمونه گردید. احتمالاً

این کاهش مربوط به اثر شیمیایی فلز کروم می‌باشد که باعث کاهش استحکام نمونه بتنی گردیده است. همچنین با مقایسه مقاومت فشاری نمونه بتنی که در تماس با فاضلاب واقعی حاوی کروم بود با نمونه‌های بتنی معمولی (بدون تماس با محلول)، مشاهده گردید که مقاومت نمونه‌های بتنی در تماس با نمونه واقعی فاضلاب افزایش یافته است. این می‌تواند به علت سایر ترکیبات شیمیایی موجود در فاضلاب واقعی و چسبندگی لجن فاضلاب باشد که باعث به هم چسبیدن یا نزدیک شدن مولکول‌ها شده و موجب افزایش مقاومت گردیده است.

در سایر تحقیقات انجام‌شده، مشاهده گردید که در حضور آلودگی فلزات سنگین مقاومت فشاری نمونه‌ها کاهش یافت. دلیل اصلی کاهش مقاومت فشاری را می‌توان حضور آلودگی فلز سنگین کروم که باعث کندگیر شدن سیمان و عدم تشکیل محصولات اصلی که توانایی تحمل نیروهای مکانیکی را دارند ، دانست [۱۵].

در این پژوهش نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش میزان غلظت اولیه کروم، ابتدا میزان جذب افزایش(تا غلظت ppm ۲۵) و سپس کاهش یافت. دلیل کاهش در کارایی جذب را می‌توان با افزایش غلظت آلاینده و به‌تبع آن اشباع شدن سایت‌های فعال جاذب توسط آلاینده مرتبط دانست[۱۶].

در بررسی اثر میزان جاذب (بنتونیت) در حذف کروم در این پژوهش، نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که هر چه میزان جاذب در بتن افزایش یابد میزان جذب فلز کروم نیز افزایش می‌یابد. از طرفی با افزایش میزان جاذب، مقاومت بتن کاهش می‌یابد که با توجه به محل کاربرد بتن و اهداف تحقیق مناسب نیست. لذا پیش‌فرض ۸ درصدی استفاده از جاذب در طرح اختلاط با توجه به میزان جذب و پارامترهای مقاومتی بتن به‌عنوان درصد بهینه انتخاب گردید. این موضوع را می‌توان با افزایش سطح تماس بین جاذب و ماده جذب‌شونده با افزایش مقدار جاذب از طریق افزایش در سایت‌های جذب سطحی و مکان‌های تبادلی در اختیار یون‌های فلزی، مرتبط دانست[۱۷].

این پژوهش، به‌خوبی نشان می‌دهد که تغییرات pH محلول، در میزان جذب فلز کروم کاملاً محسوس است و در بازه‌ای از pH (۲-۴)، میزان جذب حداکثری اتفاق می‌افتد، هر چه بازه به محیط‌های بازی‌تر گردد، میزان جذب کاهش می‌یابد. در این تحقیق pH مناسب جهت کسب میزان جذب بیشتر با توجه به محیط‌های استفاده موردنظر این بتن برابر با ۶ انتخاب گردید.جذب بالای کروم در pH اسیدی را می‌توان با شکل غالب کروم و سطح جاذب و از طرفی کاهش جذب این عنصر در pH قلیایی را می‌توان با افزایش بارهای سطحی منفی و حضور یون‌های هیدروکسیل در محلول مرتبط دانست[۱۸].

نتایج نشان داد که با افزایش زمان هرچند به مقدار ناچیز، درصد جذب نیز افزایش یافت. به‌نحوی‌که در زمان ۲۴ ساعت بیشترین مقدار جذب حاصل‌شده است اما همچنان که مشاهده شد میزان جذب از زمان ۸ ساعت تا ۲۴ ساعت تغییرات کمی داشته است. لذا در این تحقیق مدت‌زمان مناسب جهت تماس محلول با جاذب با توجه به نوع استفاده از بتن، ۸ ساعت می‌باشد . این موضوع را می‌توان با افزایش برخورد ماده جذب‌شونده با سطح جاذب مرتبط دانست[۱۹].

در کل، از بررسی نتایج مشاهده گردید که حداکثر جذب در غلظت فاضلاب ۲۵ میلی‌گرم در لیتر، زمان تماس ۸ ساعت، دوز جاذب ۸ درصد وpH برابر با ۶ در دمای آزمایشگاه (۲۵ درجه سانتی‌گراد) اتفاق می‌افتد. حداکثر جذب در شرایط بهینه ۹۵/۶۵ درصد و ظرفیت جذب ۰/۱۲۳ میلی‌گرم بر گرم به دست آمد. آزمایش با پارامترهای بهینه به‌دست‌آمده روی نمونه واقعی فاضلاب صنعتی تکرار و میزان جذب ۹۷/۲۸ درصد حاصل شد. جذب فلز کروم از مدل شبه درجه دوم و ایزوترم جذب از مدل فروندلیچ پیروی می‌کند. مقاومت ۲۸ روزه نمونه بتنی با طرح اختلاط بهینه قبل از تماس با فلز کروم برابر ۱۱۴ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع، پس از تماس با محلول حاوی کروم با پارامترهای بهینه آزمایشگاهی۱۰۱/۲ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع و پس از تماس با نمونه واقعی فاضلاب حاوی کروم ۱۲۷/۴ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع به دست آمد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که در این روش با استفاده از ضایعات ساختمانی شیشه و آجر در بتن اختلاط سبز (بدون نیاز به شن و ماسه) و با استفاده از بنتونیت به‌عنوان جاذب ارزان‌قیمت ، جهت حذف فلز سنگین کروم از فاضلاب، روشی مؤثر است.

۵- مراجع

[۱] نیکنام ، شهبازی ، فرجلو ،(۱۳۹۳) کاربرد و کارایی پسماندهای کشاورزی در حذف فلزات سنگین و رنگ از آب و پساب: مطالعات جذب بهینه ، فصلنامه انسان و محیط‌زیست، شماره ۳۱ .

[۲] شکرائی ، روحانی ، نظری ، منافی . (۱۳۹۳)بررسی حذف کروم از آب با استفاده از جاذبهای پوست موز، پوست هندوانه، خاک اره و نانو ذرات اکسید آهن ، دو ماهنامه علمی پژوهشی دانشکده بهداشت یزد ، سال سیزدهم ، شماره سوم

[۳] مرشدی, سجاد؛ احسان بردست قوچانی و بهروز عادل کیا، (۱۳۹۴)، بررسی و مقایسه روش‌های حذف و کنترل کروم از آب و پساب، چهارمین همایش ملی فن آوری های نوین شیمی و مهندسی شیمی، قوچان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان .

[۴] غفاری ، ز ،داودی ، م ، شهبازی ، ک ، (۱۳۹۱) .اصلاح آبهای آلوده به کادمیوم با استفاده از نانو ذرات آهن صفر ، مجموعه مقالات اولین کنفرانس طی نانو فناوری و کاربرد آن در کشاورزی و منابع طبیعی.

[۵] طیبان،م ر. ترابی،ا – نجف پور،ع ا . علیدادی،ح .زولی،م ع .(۱۳۹۱) بررسی روش‌های بیوجذب فلزات سنگین کروم و کادمیوم از پساب‌های صنعتی با استفاده از زائدات کشاورزی (مطالعه مروری) ، شناسنامه علمی شماره، دوره ۱۶، شماره ۵۸.

[۶] مریخ پور،ه . سبحان اردکانی،س،(۱۳۹۶). ارزیابی کارایی جاذب نانو رس بنتونیت در حذف کروم و کبالت از محلولهای آبی: مطالعه سینتیک و ایزوترم جذب ، مجله دانشکده علوم پزشکی نیشابور، دوره ۵ ،شماره ۳ ،پیاپی ۱۶ ،پاییز ۹.

[7] amou M, Hammou A , Mustapha A , Charaf EL A.(2018) . Performances of local chitosan andits nanocomposite 5% Bentonite/chitosan in the removal of choromium ions Cr(VI) from wastewater,international journal of Biological Macromolecules , Volume 108, pages 1063-1073.

[۸] توکلی ودوستان (۱۳۹۱) بررسی استفاده از ضایعات آجرهای سفالی در بتن . چهارمین کنفرانس ملی بتن ایران. صفحه۲.

[9]Shadab,M.,bdullah,M.,Amir,M.,Ahram khan,M. (2016). Green Concrete or Eco- Friendly Concrete. International Journal of Advance Research and Development.Volume2, Issue3.

[10] Bras,I., Cosriera silva,P., Almeida,R., Elizabete silva,M., Lourenco,C., (2017). Eco-toxicity assessment of concrete prepared with industrial wastes. 4th International Conference on Energy and Environment Research, ICEER 17-20. Porto.portugal.

[11] دیتا سازه ، مرجع تخصصی اطلاعات عمران ، معماری و شهرسازی.

[۱۲] مبحث پنجم مقررات ملی ساختمان ایران(۱۳۹۲) ، طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه ، ویرایش چهارم، نشر توسعه ایران

[۱۳] کیانوش ، ش .(۱۳۹۱)،بنتونیت، خاک با هزار نوع مصرف، ناشر : گنج هنر. ص ۱۹۶

[۱۴] مریخ پور،ه سبحان اردکانی،س،(۱۳۹۶). ارزیابی کارایی جاذب نانو رس بنتونیت در حذف کروم و کبالت از محلولهای آبی: مطالعه سینتیک و ایزوترم جذب ، مجله دانشکده علوم پزشکی نیشابور، دوره ۵ ،شماره ۳ ،پیاپی ۱۶ ،پاییز ۹

[۱۵] رجب پور اشکیکی،ع .گنجی دوست ،ح ،(۱۳۸۵)، جامدسازی و تثبیت خاک آلوده به فلزات سنگین با هدف کاهش آب شوئی آلاینده ها به منابع آب. کنفرانس مدیریت منابع آب ایران . دوره دوم

[16] Owlad M, Aroua, Wan Daud WM. MK (2010) Hexavalent chromium adsorption on impregnated palm shell activated carbon with olyethyleneimine. Bioresour Technol ; 01(14):5098-5103.

[17] Noroozifar M, Khorasani Motlagh M, Ahmadzadeh Fard P (2009). Cyanide uptake from wastewater by modified natrolite zeolite–iron oxyhydroxide system: Application of isotherm and kinetic models. J Hazard Mater; 166(2-3):1060-1066.

[18] Gupta S, Babu BV (2009). Removal of toxic metal Cr (VI) from aqueous solutions using sawdust as adsorbent: Equilibrium, kinetics and regeneration studies. Chemical Engineering Journal; 150(2-3):352-65.

[19] El-Ashtoukhy ES-Z, Amin NK, Abdelwahab O (2008). Removal of lead (II) and copper (II) from aqueous solution using pomegranate peel as a new adsorbent. Desalination; 223(1-3):162-173.

Removing Cr from industrial waste water by using modified green concrete by bentonite

Elham Asrari *
Payame Noor University, P.O.Box. 19395-3697, Tehran, I.R of Iran.
JahanShir Narimani
Payame Noor University, P.O.Box. 19395-3697, Tehran, I.R of Iran.

Abstract

Concrete is one of the main materials used in the industry. Today, the recycling of construction waste and the construction of concretes with the environment has found many fans. Heavy metals are among the most common pollutants commonly found in high concentrations in industrial wastewater, causing damage to aquatic environments and endangering the health of living beings, especially humans. Heavy metal chromium is one of the most important environmental pollutants. In this study, glass and bricks recycled from building demolition are used to build concrete (green mixing concrete). This concrete has non-structural standard concrete properties, which was added by adding bentonite adsorbent to remove chromium from industrial wastewater. The results showed that maximum adsorption in the concentration of sewage was 25 mg / L, contact time 8 hours, absorbent dose of 8% and pH, 6 in laboratory (25 ° C). Maximum adsorption in optimal conditions was 95.65% and the absorption capacity was 123.3 mg / g. Experiment with optimal parameters obtained on the actual sample of industrial wastewater was repeated and the rate of adsorption was 97.29%. Absorption of chromium from a quasi-second-order model and absorption isotherm follows the Freundlich model. 28-day resistance of concrete specimens with optimum mixing plan before contact with chromium metal at 114 kg / cm^2, after contact with chromium-containing solution with optimal laboratory parameters of 101.1 kg / cm^2 and after contact with the actual sample of sewage containing chromium 4 / 127 kg per square centimeter. This method is effective with the use of glass and brick construction waste in green concrete mixing (without the need for sand) and using bentonite as a cheap absorbent material to remove heavy metal from sewage.

Keywords: chrome, bentonite, green mixing, concrete.

* Corresponding Author: e_asrari@pnu.ac.ir