

بررسی حذف یون‌های فلزی مس و کبالت از پساب صنایع معدنی با استفاده از نانوجاذب بنتونیت مگنتیت سنتز شده

غلامحسین نورمحمدی^۱، غلامرضا کریمی^{۲*}

۱- دانشجوی دکترا گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی سهند تبریز
۲- استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)

(دریافت ۱۳۹۳/۱۱/۱۵، پذیرش ۱۳۹۴/۰۴/۰۷)

چکیده

حذف آلودگی فلزات سنگین از پساب یکی از نگرانی‌های مهم به دلیل اثرات مضر آن‌ها بر سلامت انسان و محیط زیست است. این پژوهش به بررسی جذب یون‌های فلزی مس و کبالت از پساب با استفاده از نانوجاذب بنتونیت مگنتیت سنتز شده (20-40 nm) می‌پردازد. ابتدا نانوجاذب مورد نظر به روش هم‌رسوبی تولید و با روش‌های میکروسکوپ الکترونی (SEM)، پراش اشعه ایکس (XRD) و طیف سنجی مادون قرمز و به کمک تبدیل فوریه (FT-IR) آنالیز و ارزیابی شد، سپس به عنوان جاذب کننده در تصفیه پساب مورد استفاده قرار گرفت. برای طراحی و آنالیز نتایج آزمایشات از روش CCD استفاده شد. اثر متغیرهای مقدار جاذب، زمان تماس، غلظت یون فلزی و pH در میزان بازیافت فلز مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه با استفاده از مدل شرایط بهینه برای حداکثر میزان جذب یون‌های مس و کبالت تعیین شد. در شرایط بهینه به دست آمده، میزان جذب یون فلزی مس ۹۴ درصد و یون کبالت ۹۵ درصد از محلول ساخته شده آزمایشگاهی پیش‌بینی می‌شود. در نهایت با تعیین شرایط بهینه، بر روی پساب معدنی (معدن مس سرچشمه) آزمایشات مورد نظر انجام شد و نتیجه بیانگر جذب یون مس به میزان ۳۰ درصد و یون کبالت ۵۰ درصد بود.

کلمات کلیدی

نانوذره مغناطیسی، بنتونیت مگنتیت سنتز شده، تصفیه پساب، طرح CCD برای انجام آزمایش، آلایندگی فلزی.

۱- مقدمه

(معدن مس سرچشمه) مورد بررسی قرار گرفت. در این کار تحقیقاتی از طرح آزمایش Central composite Design برای انجام آزمایش‌ها و تحلیل نتایج حاصل استفاده شده است. همچنین بهینه‌سازی شرایط جذب یون‌ها با استفاده از مدل ریاضی طرح آزمایش فوق مدنظر قرار گرفته است. اثر متغیرهای مستقل بررسی شده عبارت از pH (x_1) وزن نانو جاذب مغناطیسی (x_2) زمان تماس (x_3) و غلظت یون فلزی (x_4) است. در این کار پژوهشی اثرات اصلی و برهم کنش آن‌ها بر روی حذف Cu^{2+} و Co^{2+} مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- تهیه نانو ذره

برای ساخت نانوذرات مغناطیسی مگنتیت با اندازه مناسب، از روش شیمیایی پایین به بالای هم‌رسوبی استفاده شد. برای انجام این فرآیند از منابع شیمیایی مثل کلریدهای آهن (II) و (III) به عنوان پیش‌ماده و آمونیاک به عنوان عامل رسوب‌دهنده، استفاده شد [۱۵،۱۴]. به این ترتیب که ابتدا کلرید آهن (II) و کلرید آهن (III) با نسبت مولی ۲:۱ به ترکیب بنتونیت - آب مقطر (۱۰ گرم بنتونیت ۷۵ μm در ۵۰۰ سانتی‌متر مکعب آب) اضافه شد. محلول کلریدهای آهن حل شده در بالن ته گرد سه دهانه در دمای محیط قرار گرفت. محلول فوق تحت جریان ثابتی از گاز نیتروژن قرار داشت تا مقدار اکسیژن حل شده در محلول به حداقل برسد. در ادامه محلول آمونیاک (۲۰ ml) موجود به وسیله قیف ته‌نشین‌ساز از یکی از دهانه‌های بالن به صورت قطره‌ای و به مدت ۴۵ دقیقه به طور کامل وارد محلول و از دهانه دیگر به وسیله همزن عمودی با سرعت بالا، با میله شیشه‌ای برای کمک به تولید نانو ذرات همزده شد.

۳- آزمایش جذب

انجام آزمایش‌ها بر اساس طرح ترکیب مرکزی^۱ است. برای هر آزمایش، به ۵۰ میلی‌لیتر از پساب حاوی یون‌های Cu ، نانو جاذب مغناطیسی افزوده شد. این مخلوط با همزن مکانیکی (سر شیشه) با سرعت ثابت و در دمای محیط همزده شد. درصد حذف یون‌های فلزی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$\%R = \left(\frac{C_0 - C_t}{C_0} \right) * 100 \quad (1)$$

حفاظت از محیط زیست که نسل‌های امروز و آتی باید در آن حیات اجتماعی رو به رشدی داشته باشند یک وظیفه عمومی تلقی می‌شود. وجود آلودگی‌ها در محیط زیست یکی از مشکلات جوامع بشری به حساب می‌آید [۱]. از مهم‌ترین آلودگی‌ها، پساب‌های صنعتی است که آلاینده‌های مختلفی از جمله فلزات سنگین را وارد محیط می‌کنند. حذف آلودگی فلزات سنگین از پساب یکی از نگرانی‌های مهم به دلیل اثرات مضر آن‌ها بر سلامت انسان و محیط زیست است [۳،۲]. متداولترین فلزات سنگین یافت شده در پساب‌ها سرب، مس، روی، کادمیم، کبالت، نیکل، کروم هستند که به دلیل سمیت و سرطان‌زا بودن در غلظت‌های پایین و عدم تخریب زیستی نه تنها برای گیاهان و حیوانات بلکه برای انسان هم ایجاد مشکل کرده و در بافت‌های زنده و در نهایت در زنجیره غذایی تجمع می‌یابند [۴]. فلزات سنگین به طور عمده از صنایع، معادن، دستگاه‌های برقی، آبکاری فلزی و نظایر آن تولید می‌شوند [۶،۵]. روش‌های مختلفی برای حذف فلزات سنگین از پساب‌های صنعتی به کار رفته است که از جمله می‌توان به روش‌های رسوب شیمیایی، تعویض یون، جذب سطحی و اسمز معکوس اشاره کرد. به تازگی نانو ذرات مغناطیسی به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است [۸،۷].

بررسی نانو ذرات (Fe_3O_4) و سوپر ذرات مگنتیتی در زمینه‌های گوناگون مانند زیست‌شناسی، فیزیک، پزشکی، علم مواد به علت خواصی از قبیل سمیت پایین، اندازه کوچک، زیست‌سازگاری و نظایر آن در مقایسه با سیستم‌های تصفیه سنتی مانند روش رسوب شیمیایی، تبادل یونی، انعقاد، الکترولیز و نظایر آن نشان از برتری نانو ذرات مگنتیتی دارد [۱۰،۹]. انواع متعددی از نانو ذرات مغناطیسی برای حذف فلزات سنگین مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته‌اند از جمله سنتز و توصیف نانو ذره بنتونیت - آهن و کاربرد آن در جذب یون کبالت [۱۱].

باردار کردن تفاله چای به وسیله نانو ذرات مگنتیتی برای حذف نیکل محلول آبی ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-WT}$) به کار برده شده است [۱۲]. لی‌نا شی و همکارانش به بررسی حذف کروم از پساب، با استفاده از بنتونیت تقویت شده با آهن صفر ظرفیتی در مقیاس نانو پرداختند [۱۳].

در مطالعه حاضر جذب یون مس و کبالت با استفاده از جاذب بنتونیت/ مگنتیت‌دار از پساب ساخته شده و واقعی

جدول ۱: آزمایش‌های طراحی شده بر اساس الگوی CCD به همراه میزان حذف یون‌های مس و کبالت

pH	جاذب mg	زمان	فلز Mg/lit	درصد Co	درصد Cu
۱۰	۲۰	۶۰	۳۰	۹۸/۸۵	۹۹/۳۹
۴	۱۰۰	۶۰	۱۵۰	۹۷/۰	۳۳/۳۲
۷	۶۰	۳۷	۹۰	۱۱/۴۳	۹۹/۰۶
۷	۶۰	۳۷	۹۰	۴۴/۲۷	۹۹/۰۹
۴	۱۰۰	۶۰	۳۰	۵۰/۱۲	۷۲/۳۷
۴	۲۰	۱۵	۳۰	۵۷/۲	۳۱/۰۵
۷	۶۰	۳۷	۹۰	۴۳/۴۴	۹۹/۰۷
۷	۱۴۰	۳۷	۹۰	۵۹/۴۵	۹۹/۵۳
۱	۶۰	۳۷	۹۰	۸۹/۵	۷۶/۵۶
۴	۱۰۰	۱۵	۳۰	۶۵/۱۰	۵۸/۸۶
۷	۱۰	۳۷	۹۰	۴۱/۲۶	۹۶/۶۷
۷	۶۰	۳۷	۹۰	۲۸/۲۵	۹۹/۱۱
۴	۲۰	۶۰	۳۰	۳۰/۸	۴۸/۸۰
۱۰	۲۰	۶۰	۱۵۰	۹۹/۴۱	۹۹/۰۳
۱۳	۶۰	۳۷	۹۰	۸۶/۹۹	۹۹/۲۹
۷	۶۰	۳۷	۱۰	۵۱/۸۴	۹۸/۵۹
۱۰	۱۰۰	۱۵	۳۰	۹۹/۷۵	۹۹/۵۵
۷	۶۰	۳۷	۹۰	۴۳/۲۲	۹۸/۹۴
۱۰	۹۰	۱۵	۳۰	۹۹/۱۳	۹۹/۱۶
۴	۲۰	۱۵	۱۵۰	۳۲/۴	۱۶/۳۳
۷	۶۰	۳۷	۹۰	۱۳/۲۴	۹۸/۵۵
۱۰	۲۰	۱۵	۱۵۰	۹۹/۴۴	۹۹/۵۱
۱۰	۱۰۰	۶۰	۳۰	۹۹/۷۸	۱۰۰/۰۰
۴	۱۰۰	۱۵	۱۵۰	۳۶/۲	۳۴/۷۳
۱۰	۱۰۰	۱۵	۱۵۰	۹۹/۴۷	۹۹/۶۱
۷	۶۰	۳۷	۲۱۰	۲۱/۲۶	۹۹/۰۵
۷	۶۰	۸۲	۹۰	۹۷/۲۹	۹۸/۹۷
۱۰	۱۰۰	۶۰	۱۵۰	۹۹/۴۶	۹۹/۵۹
۴	۲۰	۶۰	۱۵۰	۷۰/۵	۱۸/۲۱
۷	۶۰	۵	۹۰	۱۹/۲۹	۹۹/۴۳

که در آن Co و Ct غلظت اولیه و غلظت ثانویه یون Cu^{2+} و Co^{2+} (mg/ lit) است.

در جدول ۱ آزمایشات طراحی شده و میزان جذب یون مس و کبالت از پساب آمده است.

۴- مشخصه یابی جاذب

۴-۱- آنالیز SEM

تصویر الکترونی روبشی نانوذرات مگنتیت و بنتونیت مگنتیت‌دار با مقیاس ۵۰۰ نانومتر در شکل ۱ نمایش داده شده است.

در شکل الف مشاهده می‌شود که ساختار این نانو ذرات بیشتر به صورت کروی یا شبه‌کروی است که این نوع شکل ساختاری و ابعاد باعث بالارفتن سطح مخصوص ذرات و افزایش

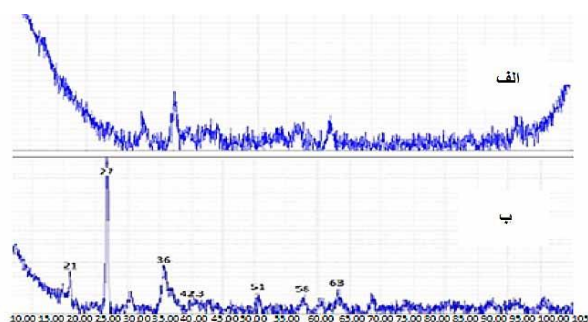
کارایی آن‌ها می‌شود. بین نانو ذرات مگنتیت بدون بنتونیت تا حدی تجمع ذرات به وجود آمده است. اما در شکل ب نانو ذرات با بنتونیت همچنان کروی و شبه‌کروی است که مشکل تجمع ذرات، با استفاده از بنتونیت حل شده است و ذرات دچار تجمع قابل توجهی نمی‌شوند.

۴-۲- آنالیز XRD

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، شش پیک پراش برای هر دو ترکیب دیده می‌شود. این پیک‌ها تایید می‌کنند که نانو ذرات مغناطیسی Fe_3O_4 دارای ساختار اسپینلی هستند. همچنین پیک‌ها نشان می‌دهند که بنتونیت منجر به تغییر فاز نانو ذرات مغناطیسی Fe_3O_4 نمی‌شود.



شکل ۱: تصویر SEM، الف: نانو ذره Fe_3O_4 و ب: بنتونیت - Fe_3O_4



شکل ۲: الف: Fe_3O_4 و ب: بنتونیت نانومگنتیت‌دار

۴-۳- آنالیز FT-IR

که در آن: X_1, X_2, X_3 و X_4 به ترتیب معرف pH، مقدار جاذب، زمان تماس و غلظت یون فلزی است.

۶- بحث و نتایج

۶-۱- تاثیر pH به میزان حذف یون های فلزی

نتایج تحلیل رگرسیون نشان می دهد که این پارامتر با اثر مثبت در معادله های رگرسیون ظاهر می شود و نشان می دهد که موثرترین عامل است. بررسی ها نشان داد که مقدار pH بهینه در حدود ۱۰ است که در این pH هم جاذب مگنتیت دار و هم یون فلزی مس به صورت کاملا فعال در محیط وجود دارند، با افزایش pH محیط و بازی شدن آن، مقدار جذب یون فلزی افزایش می یابد به طوری که در $pH=10$ بیشترین مقدار و به ترتیب در ۷ و ۴ روند کاهشی را دنبال می کند.

۶-۲- تاثیر مقدار جاذب به میزان حذف یون های فلزی

هر چقدر میزان جاذب بیشتر باشد فرآیند و کارایی جذب آلاینده بر روی بستر هم افزایش می یابد. نتایج رگرسیون هم نشان می دهد که این پارامتر با علامت مثبت ظاهر می شود که دومین عامل موثر بر بازیابی، مقدار جاذب است.

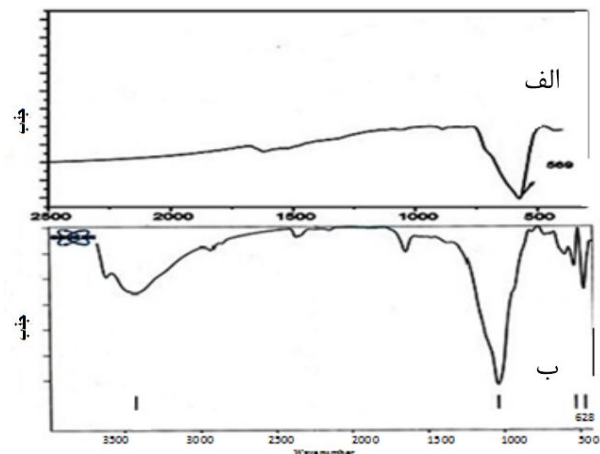
۶-۳- تاثیر غلظت یون فلزی به میزان حذف یون های فلزی

با توجه به مقدار $P\text{-value} = 0/005$ مشاهده می شود که این عامل دارای اثر قابل توجهی بعد از pH و مقدار جاذب بنتونیت نانومگنتیت است و مقدار جاذب بر روی این عامل تاثیر جدی دارد. ضریب این اثر منفی است، زیرا افزایش غلظت یون مس باعث کاهش میزان جذب برای یک مقدار ثابت جاذب می شود.

۶-۴- اثرات متقابل موثر به میزان حذف یون های فلزی

تنها اثر متقابل موثر بر میزان بازیابی یون ها اثر همزمان pH و میزان غلظت یون فلزی است. منحنی صفحه ای اثر متقابل pH و میزان غلظت یون فلزی در شکل های ۴ و ۵ نشان داده شده است. افزایش pH سبب افزایش میزان جذب یون فلزی می شود. اثر این عامل به علت بزرگی ضریب آن در معادله رگرسیون یک عامل مهم محسوب می شود به طوری که حتی افزایش یون فلزی که اثری معکوس بر میزان جذب دارد در pH های بالا نتوانسته اثر خود را به خوبی نشان دهد.

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود برای نانو ذرات Fe_3O_4 فقط یک پیک وجود دارد. نانو مگنتیت - بنتونیت نیز فقط یک پیک در 528 Cm^{-1} دارد، که نشان دهنده نانو ذره مگنتیت است. این نتایج ثابت می کند که نانو مگنتیت در لایه لای لایه های بنتونیت جذب شده است.



شکل ۳: تصویر FT-IR: ب: نانو مگنتیت- بنتونیت و الف: نانو ذرات مگنتیت

۵- بررسی نتایج آنالیز

با انجام ۳۰ آزمایش تعیین شده با چهار عامل pH، مقدار جاذب، غلظت یون فلزی و زمان تماس در سه سطح نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

تحلیل نتایج آزمایش ها با استفاده از مدل CCD با توجه به اثرگذاری چهار عامل مذکور به روابط ریاضی منجر شد که نشان دهنده میزان تاثیر متغیرها به فرآیند حذف یون های مس و کبالت است. در نهایت مناسب ترین معادله های رگرسیون مربوط به حذف یون مس و کبالت در روابط ۲ و ۳ نشان داده می شود.

(۲)

$$Y_{Cu} = -25.493 + 14.066 X_1 + 0.861 X_2 + 1.175 X_3 - 0.751 X_{12} - 0.006 X_{22} - 0.014 X_{32} - 0.002 X_{42} + 0.039 X_1 X_4$$

(۳)

$$Y_{Co} = 96.307 - 15.138 X_1 - 1.027 X_3 + 1.481 X_{12} + 0.003 X_{22} + 0.015 X_{32} - 0.045 X_1 X_2 - 0.032 X_1 X_4 + 0.004 X_3 X_4$$

کانسارهای سولفیدی همراهی می‌کنند. عمده این عنصر عبارت از Ni, Cr, Co, Pb, Zn, Fe, Mn, Cd, As و S است، اما مقدار این عناصر با توجه به ویژگی‌های شیمیایی و خواص فیزیکی (انرژی پیوند، درجه آزادی و نظایر آن) متفاوت است [۱۵،۱۴]. همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود مقدار یون‌های فلزی در پساب واقعی پایین است.

اما با اعمال شرایط بهینه، میزان جذب مس ۳۰ درصد و یون کبالت ۵۰ درصد به دست آمد. در جذب یون‌های فلزی از پساب مورد نظر وجود عناصر مزاحم به خصوص یون‌های نیکل به دلیل نزدیک بودن شعاع یونی این یون‌ها و یون فلزی مس و کبالت، جذب نسبت به حالت بهینه کمتر است. علاوه بر آن خصوصیت مغناطیسی یون فلزی آهن مزید بر علت است [۱۶،۱۷].

جدول ۲: بهترین شرایط انتخاب شده از موارد پیشنهادی برای رسیدن به

حداکثر بازیابی

بازیابی پیش بینی شده (%)	غلظت یون فلزی (ppm)	مقدار نوع جاذب		PH	نوع عامل یون فلزی
		mg	Mg/lit		
۹۵	۳۰	۱/۹۷	۹۰/۸۷	۱۰	Co ²⁺
۹۴/۸۹	۳۰	۱/۸۰	۹۰/۲۸	۱۰	Cu ²⁺

جدول ۳: مقدار یون فلزی مس در نمونه پساب

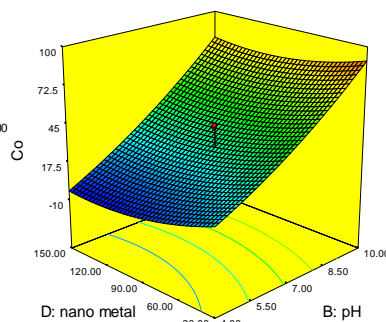
مقدار فلز Cu ²⁺ (ppm)	مقدار فلز Co ²⁺ (ppm)	یون فلزی
۰/۰۲	۰/۰۴۶	پیش از جذب
۰/۰۱۴	۰/۰۲۳	پس از جذب

۹- نتیجه‌گیری

در این مطالعه نانو جاذب بنتونیت مگنتیت سنتز شده تهیه شده بود که از آن برای حذف یون‌های فلزی مورد نظر از محلول آبی استفاده شد، حذف یون فلزی با بررسی پارامترهایی برای تعیین ویژگی عملکرد جاذب انجام گرفت، سپس با استفاده مدل CCD به تجزیه و تحلیل آماری پارامترهای موجود پرداخته شد و چهار عامل را در سه سطح مورد بررسی قرار داد. تجزیه و تحلیل برای چهار متغیر نشان می‌دهد که حذف فلزات می‌تواند در یک مدل چند جمله‌ای

Design-Expert® Software

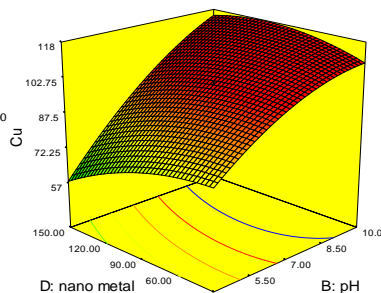
Co
99.86
-5.7
X1 = B: pH
X2 = D: nano metal
Actual Factors
A: Time = 37.50
C: Dose adsorbant = 60.00



شکل ۴: منحنی صفحه‌ای اثر متقابل pH و میزان غلظت یون فلزی بر میزان بازیابی Cu²⁺

Design-Expert® Software

Cu
100
16.3333
X1 = B: pH
X2 = D: nano metal
Actual Factors
A: Time = 37.50
C: Dose adsorbant = 60.00



شکل ۵: منحنی صفحه‌ای اثر متقابل pH و میزان غلظت یون فلزی بر میزان بازیابی Co²⁺

۷- تعیین شرایط بهینه

بهترین حالت هر عامل برای رسیدن به حداکثر میزان بازیابی یون فلزی با استفاده از جاذب‌های مورد نظر، پیشنهاد شد، همان‌طور که در جدول ۲ آمده است، زمان در همه موارد یکسان و غلظت یون فلزی برای یون‌های مس ppm ۳۰ انتخاب شده است بنابراین از بین انتخاب‌های تعیین شده برای یون فلزی با در نظر گرفتن مقادیر pH، جاذب و بازیابی، بهترین گزینه انتخاب شده و در جدول ۲ آورده شده است.

۸- آزمایش روی پساب واقعی

معدن مس سرچشمه از بزرگترین معادن روباز دنیا در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان و در ناحیه مرکزی رشته کوه زاگرس قرار دارد. پساب معدن مس سرچشمه حاوی عناصری است که با عنصر مس پاراژنز هستند و مس را در

- [8] Kurniawan, T. A., Chan, G. Y., and Babel, S. (2006). "comparison of low cost adsorbents for treating waste water laden with heavy metals: a review". Journal Science of the Total Environment, 1: 409-26.
- [9] Crini, G. (2005). "Recent developments in polysaccharide-based materials used as adsorbents in wastewater treatment". Progress in polymer science, 30: 38-70.
- [10] Huang, G. L., Yang, C., Zhang, K., and Shi, J. (2009). "aqueous solution using cross-linked magnetic chitosan bead". Chinese Journal of Chemical Engineering, 17: 960-966.
- [11] Shahwan, T., Üzüüm, Ç., and Eroğlu, A. E. (2010). "Lieberwirth Synthesis and characterization of bentonite/iron nanoparticles and their application as adsorbent of cobalt ions". Journal Applied Clay Science, 47: 257-262.
- [12] Panneerselvam, P., and Norhashimah, M. (2006). "Magnetic nanoparticle (Fe₃O₄) impregnated onto tea waste for the removal of nickel(II) from aqueous solution". Materials, 186: 160-168.
- [13] Li-na, S., Zhang, X., and Zu-liang, Ch. (2011). "Removal of Chromium (VI) from wastewater using bentonite-supported nanoscale zero-valent iron". Water Research, 45: 886-892.
- [۱۴] مرنندی، رضا؛ ابراهیمی زرنندی، محمدجواد؛ کوشش، محمد؛ ۱۳۸۹؛ "بررسی تصفیه بیولوژیکی حذف فلزات سنگین از آب زهکش اسیدی معدن مس سرچشمه بر پایه عملکرد راکتورهای ناپیوسته با عملیات متوالی"، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دوره ۱۲، شماره ۳، ص ۴۳-۳۵.
- [۱۵] کریمپور، محمدحسن؛ ۱۳۸۴؛ کتاب: "زمین شناسی اقتصادی کاربر-دی"، انتشارات ارسلان، ص ۵۳۶.
- [۱۶] ونیتر، مارک؛ ترجمه: بهشتی، علی؛ ۱۳۷۸؛ کتاب: "شیمی عناصر دسته d"، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۲۲۴.
- [۱۷] آقابزرگ، حسن؛ ۱۳۸۳؛ کتاب: "شیمی معدنی ۲"، انتشارات جهاد دانشگاهی تربیت معلم، ص ۵۱۶.
- با ضریب نسبتا بالایی شرح داده شود که بیان کننده تاثیر pH ، وزن جاذب و غلظت یون فلزی بر حذف یون مس و کبالت از پساب است. ضریب به دست آمده به ترتیب برای کبالت ($R^2 = ۹۲/۴۸$) و مس ($R^2 = ۸۹$) و حاکی از جذب بیشتر کبالت نسبت به مس است و این برتری را باید در الکترون-های لایه والانس پیدا کرد. همچنین با وجود بسیاری از عناصر مزاحم در پساب واقعی، میزان جذب قابل تامل و نشان دهنده قابلیت بالای جذب نانو جاذب بنتونیت مگنتیت سنتز شده حذف یون مس و کبالت است.

۱۰- مراجع

- [1] Shokouhi, M., Faghian, H., and Nourmoradi, H. (2010). "A survey on efficiency of modified silica aerogel to remove of heavy metals from aqueous solutions". Journal subscribes to the principles of the Committee on Publication Ethics (COPE), 6: 974-982.
- [2] Meena, A. K. (2005). "Studies on treatment of contaminated water containing heavy metals in Jaipur and Pali". Doctoral dissertation, Ph D Thesis, University of Rajasthan, Jaipur.
- [3] Li, N., and Bai, R. (2005). "Copper adsorption on chito- san-cellulose hydrogel beads: behaviors and mechanisms". Journal Separation Purification Technolo- gy, 42: 237-247.
- [4] Appel, C., and Mae, L. (2002). "Concentration, pH, and surface charge effects on cadmium and lead sorption in three tropical soil". Journal of Environmental Quality, 31: 581-589.
- [5] Liu, X., Hu, Q., Fang, Z., Zhang, X., and Zhang, B. (2009). "Magnetic chitosan nanocomposites: a useful recyclable tool for heavy metal ion removal". Langmuir, 25: 3-8.
- [6] Guilherme, M. R., Reis, A. V., Paulino, A. T., Fajardo, A. R., Muniz, E. C., and Tambourgi, E. B. (2007). "Superabsorbent hydrogel based on modified polysaccharide for removal of Pb²⁺ and Cu²⁺ from water with excellent performance". Journal Applied Polymer Science, 105: 2903-2909.
- [7] Vinodhini, R., and Narayanan, M. (2008). "Bioaccumulation of heavy metals in organs of fresh water fish Cyprinus carpio (Common carp)". International Journal of Environmental Science & Technology, 5: 179-182.

¹ Central Composite Designs(CCD)