

## بهینه سازی حذف کادمیم (II) از محلول آبی توسط نانوذره‌های کبالت اکسید با استفاده از مدل تاگوچی

نیوشا جوادنیا، عبدالهادی فرخ‌نیا\*، زهرا عباسی

گروه شیمی فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

**چکیده:** مدل تاگوچی مدلی برای تحلیل آزمایش‌ها می‌باشد که با استفاده از تعداد معینی آزمایش میزان تأثیر و سطح‌های بهینه عامل‌های مؤثر را پیش‌بینی می‌نماید. این مطالعه با هدف بهینه‌سازی فرایند جذب کادمیم توسط نانوذره‌های کبالت اکسید با استفاده از مدل تاگوچی انجام شد. نانو ذره‌های سنتز شده  $Co_3O_4$  توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM)، الگوی پراش پرتو ایکس (XRD) و طیف بینی فروسرخ تبدیل فوریه (FT-IR) مشخصه‌یابی شد. به منظور بهینه‌سازی فرایند جذب کادمیم توسط نانوذره‌های کبالت اکسید، ۴ پارامتر تأثیرگذار در فرایند جذب: دما، مقدار جاذب، زمان و pH به عنوان آرایه انتخاب شدند. هر کدام از این آرایه‌ها دارای ۴ سطح بودند که سطح‌های انتخاب هر یک از آن‌ها برای طراحی آزمایش به روش تاگوچی ارزیابی شد. بهینه‌سازی فرایند جذب با مدل تاگوچی نشان داد که عامل‌های مورد نظر برای بهینه‌سازی شرایط به ترتیب: مقدار جاذب ۲۵ میلی‌گرم،  $pH=8$ ، زمان تماس ۲۰ دقیقه و دما ۱۵ درجه سلسیوس می‌باشد. راندمان جذب کادمیم بر روی نانوذره‌های کبالت اکسید در شرایط بهینه برابر با ۹۶٫۲۱ درصد تعیین شد.

**واژه‌های کلیدی:** نانوذره‌ها؛ مدل سینتیکی؛ مدل تاگوچی؛ روش سل - ژل؛ جذب سطحی.

**KEYWORDS:** Nanoparticles; Kinetic model; Taguchi model; Sol-gel method; Adsorption.

### مقدمه

هم‌رسوبی، احتراقی، نشانیدن بخار شیمیایی، میکروامولسیون، روش‌های هیدروترمال و سنتز در شعله اشاره کرد [۱]. روش سل - ژل بیش از ۱۵۰ سال پیش برای ساخت سرامیک‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌است. این روش طی دو دهه گذشته اهمیت بسیاری در کاربردهای گوناگون یافته و موضوع پژوهش‌های بسیاری بوده است [۲]. فلزهای سنگین مانند سرب، کرم، روی و کادمیم افزون بر خطرناک بودن برای سلامتی انسان‌ها جز منابع تجدید ناپذیر به شمار می‌آیند. امروزه فناوری‌های پیشرفته‌ای برای حذف فلزهای سنگین از پساب‌های صنعتی به منظور کاهش تأثیر آن‌ها

نخستین گام در تولید ساختارهای نانو، یافتن روش‌های ساده و قابل کنترل و همچنین قابلیت تجاری کردن روش‌ها برای تولید مواد با کیفیت و خلوص بالا است. روش‌های گوناگونی که برای تولید اکسید فلزها در مقیاس نانو به کار می‌روند منجر به ایجاد ساختارهای متفاوت و در نتیجه ویژگی‌های گوناگون می‌شوند. روش‌های ساخت نانو ذره‌ها به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌شوند. از روش‌های فیزیکی می‌توان به تبخیر با استفاده از قوس الکتریکی، تبخیر لیزری، تبخیر گرمایی و تبخیر با پلاسما اشاره کرد. از روش‌های شیمیایی نیز می‌توان به روش‌های سل - ژل،

\*عهدہ دار مکاتبات

+E-mail: ab.farrokhnia@gmail.com

## بخش تجربی

## سنتز نانوذرات اکسید کبالت به روش سل-ژل

در یک بشر ۲۵۰ میلی لیتری محلول کبالت نیترات تهیه شد و سیتریک اسید ۱ مولار قطره قطره به آن افزوده شد. پس از افزایش اسید به محلول کبالت نیترات، بشر در حمام روغن و بر روی همزن مغناطیسی قرار گرفت و دمای حمام در ۸۰ درجه سلسیوس ثابت نگه داشته شد تا یک ژل ضخیم تشکیل شود [۶]. برای بیرون آوردن مگنت در پایان تشکیل ژل، از یک آهنربای بسیار قوی کمک گرفته شد. ژل تهیه شده به مدت ۲۰ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس در کوره گذاشته شد و سپس به منظور خالص سازی بیش تر، اکسید تشکیل شده به مدت ۵ ساعت در دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفت.

## بهینه سازی فرایند حذف کادمیوم به روش طراحی آزمایش های

## تاگوچی

در مطالعه حاضر به منظور بهینه سازی فرایند جذب کادمیوم توسط نانوذرات اکسید کبالت ۴ پارامتر تاثیرگذار در دما، مقدار جذب، زمان و pH فرایند جذب به عنوان آرایه انتخاب شدند. هر کدام از این آرایه ها دارای ۴ سطح می باشد که سطح های انتخاب هر یک از آن ها برای آرایه به روش تاگوچی آرایه شده است. در روش تاگوچی برای تحلیل آماری و دقیق تر نتیجه ها، از یک تابع پاسخ تبدیل یافته که به اثرهای ناشی از (S) به صورت نسبت علامت هر اثر تعریف می شود، استفاده می شود. برتری (N) خطا استفاده از این پاسخ جدید در تحلیل آماری، نسبت به شکل اولیه پاسخ، مقایسه بزرگی اثرهای ناشی از هر عامل اصلی با اثرهای ناشی از عامل های خطا و اغتشاش در اندازه گیری است که منجر به برداشت دقیق تری از تأثیر واقعی عامل ها بر سامانه خواهد شد. در این مطالعه پاسخ در نظر گرفته شده درصد حذف کادمیوم به صورت معادله (۱) محاسبه S/N می باشد.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \frac{(\sqrt{y_1^2} + \sqrt{y_2^2} + \dots + \sqrt{y_n^2})}{n} \quad (1)$$

مقدار جذب اندازه گیری شده برای  $y_n$  در این معادله تعداد تکرار آزمایش ها  $n$  هر آزمایش در هر آزمون و برابر  $n$  در اینجا برابر ۳ می باشد. پس از انجام ۲۵ آزمایش پیشنهادی توسط مدل تاگوچی، سرانجام میانگین نتیجه ها ۳ بار تکرار آزمایش ها، به منظور طراحی آزمایش ها توسط نرم افزار Minitab 16 به روش تاگوچی

بر محیط زیست به کار گرفته شده است که از آن جمله می توان به روش های همچون رسوب شیمیایی، صاف کردن و جذب سطحی اشاره کرد. که از بین روش های نام برده فرایندهای جذب سطحی به دلیل به صرفه بودن پرکاربردترین روش به شمار می آید [۳]. به طور معمول جاذب ها موادی بسیار متخلخل هستند و جذب سطحی بیش تر روی دیواره ها و یا مکان هایی در درون ذره اتفاق می افتد [۴]. شناسایی و حذف مواد شیمیایی سمی، امری ضروری در حفاظت محیط زیست است. آلاینده های سمی مانند یون های فلزهای سنگین، به شدت برای ارگانیسم های زنده و محیط زیست خطرناک هستند. کادمیم یکی از فلزهای سنگین سمی است که از راه های گوناگون مانند پساب های صنعتی، خانگی، کشاورزی و مکان های دفن غیر بهداشتی مواد زاید شهری و صنعتی وارد منابع آب می شود [۵]. کادمیم باعث آسیب های کبدی و ریوی، فشار خون، از کار افتادن کلیه، و سرطان زایی می شود. در نتیجه لازم است این آلاینده از محیط زیست حذف شود [۶]. در سال ۲۰۱۲ میلادی، نجفی و همکاران، حذف فلزهای سنگین دو ظرفیتی از جمله کادمیم با استفاده از جاذب های  $\text{NH}_2\text{-SNH}$  و  $\text{NH}_2\text{-SG}$  سنتز شده را مورد بررسی قرار دادند. نتیجه های به دست آمده نشان می دهد که بیش ترین همبستگی برای همدمای جذب سطحی لانگمویر - فرنلینش و مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم برای این روش وجود دارد [۷]. در سال ۲۰۱۲ میلادی، یانگ و همکاران همدمای جذب سطحی و سینتیک واکنش حذف فلز کادمیم را با استفاده از  $\text{TiO}_2$  مورد بررسی قرار دادند. نتیجه های به دست آمده سینتیک شبه مرتبه اول و همدمای جذب سطحی لانگمویر را برای حذف صورت گرفته نشان دادند [۸]. در سال ۲۰۱۳، خسروی و همکاران با استفاده از زئولیت طبیعی استان آذربایجان غربی موفق به حذف کاتیون های دو ظرفیتی از جمله کادمیم شدند. نتیجه های این بررسی نشان داد که زئولیت ها توانایی بالایی در حذف این فلزهای از پساب ها دارند. ظرفیت جذب مقدار  $1.179 \text{ mg/g}$  و راندمان حذف ۹۸٪ به دست آمد [۹]. در سال ۲۰۱۳ میلادی، عثمان و همکاران حذف فلز کادمیم توسط روزنامه باطله را مورد بررسی قرار دادند [۱۰]. حسین زاده و همکاران (۲۰۱۳ میلادی) برای حذف یون کادمیم از محیط آبی با کربن فعال تولیدی از تیرهای فرسوده استفاده کرده اند [۱۱]. این مطالعه با هدف بهینه سازی فرایند جذب یون کادمیم بر روی نانوذره کبالت اکسید با بررسی مهم ترین عامل های مؤثر بر فرایند یعنی مقدار جذب، pH، دما و زمان تماس با استفاده از مدل تاگوچی انجام شد.

در بازه ی ۲-۱۲ تنظیم شد. میزان جرمی ۰,۳ گرم از نانوذره های کبات اکسید در هر کدام از ارلن ها افزوده شد. سپس در انکوباتور شیکر گذاشته و به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۲۵ درجه سلسیوس هم زده شد. پس از سپری شدن ۴۸ ساعت pH پایانی هریک از ارلن ها یادداشت شد. نقطه  $pH_{zpc}$  از رسم مقدرهای جاذب اولیه در برابر مقدرهای نهایی pH تعیین شد. میزان  $pH_{zpc}$  برای نانوذره های کبات اکسید ۷,۲ به دست آمده است.

### بهینه سازی فرایند حذف یون کادمیم Cd(II) با مدل تاگوچی

آزمایش های طراحی شده با مدل تاگوچی شامل ۲۵ آزمایش بود. با توجه به استفاده از روش  $L_{25}$  آگوچی در این مطالعه نتیجه های به دست آمده از اندازه گیری درصد حذف یون کادمیم، با سه بار اندازه گیری گزارش شد و نتیجه های بهتر و بررسی دقیق تری از نتیجه ها به دست آمد و با استفاده برای هر آزمایش محاسبه شد که S/N از آن ها نسبت های در جدول های ۲ و ۳ ارایه شده است برای رسم نمودارها از نرم افزار Sigmaplot11 استفاده شده است.

با توجه به نمودار رسم شده مقدرهای بهینه برای pH مقدار جاذب دما و زمان به ترتیب ۸ و ۲۵ میلی گرم و ۱۵ درجه سلسیوس و ۲۰ دقیقه می باشد.

می بینیم که عامل pH با سطح اطمینان ۹۹,۹۹٪ مؤثرترین عامل و زمان با سطح اطمینان ۹۵,۱۷٪ کمترین عامل مؤثر شناخته شد.

### محاسبه ی متغیرهای ترمودینامیکی

متغیرهای ترمودینامیکی جذب سطحی Cd(II) در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر،  $pH=8$ ، ۲۵ میلی گرم جاذب و در مدت زمان ۳۰ دقیقه در دماهای ۲۷۸، ۲۸۳، ۲۸۸، ۲۹۳، ۲۹۸ و ۳۰۳K محاسبه شد. انتاپی استاندارد ( $\Delta H^\circ$ ) و انتروپی استاندارد ( $\Delta S^\circ$ ) با استفاده از معادله زیر و انرژی آزاد استاندارد گیبس محاسبه شد. با توجه به داده های ارایه شده در جدول زیر داده شده و با رسم نمودار  $\ln K_c$  بر حسب  $1/T$  می توان مقدار  $\Delta H^\circ$  را با استفاده از شیب نمودار رسم شده به دست آورد. با توجه به اطلاعات نشان داده شده، شیب نمودار با احتمال ۹۹,۹۲٪ مقدار (-۲۶۹۲) خواهد بود.

از آنجایی که در بازه ی دمایی مورد نظر، با افزایش دما میزان حذف افزایش یافته، مثبت بودن مقدار  $\Delta H_{ads}^\circ$  با این پدیده،

بررسی و شرایط بهینه حذف مشخص شد. حاصل طراحی آزمایش ها یک جدول با ۲۵ آزمایش بوده است.

به منظور به دست آوردن میزان حذف یون کادمیم، جذب محلول باقی مانده توسط دستگاه جذب اتمی مطالعه شد و سپس درصد یون های کادمیم حذف شده توسط جاذب کبات اکسید از معادله ی (۲) به دست آمد:

$$\% \text{ Removal} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

که در آن  $C_0$  غلظت اولیه کادمیم و  $C_e$  غلظت تعادلی محلول کادمیم پس از جذب می باشد.

### نتیجه ها و بحث

طیف فروسرخ نانوذره های کبات اکسید (شکل ۱) پیک های چشمگیری را در ناحیه های  $567 \text{ cm}^{-1}$  و  $661 \text{ cm}^{-1}$  نشان داده است که به ترتیب مربوط به ارتعاش کششی Co-O و ارتعاش پیوند پل ساز O-Co-O می باشند. همچنین پیک دیده شده در ناحیه  $1600 \text{ cm}^{-1}$  را می توان مربوط به ارتعاش خمشی H-O-H دانست که در واقع به دلیل جذب رطوبت توسط نانوذره ها هنگام طیف گیری می باشد [۱۳، ۱۲].

الگوی XRD گرفته شده از نانوذره های اکسید کبات خشک شده در دمای  $250^\circ \text{C}$  در شکل ۲ نشان داده شده است که بیانگر ساختار مکعبی این نانوذره ها می باشد. همچنین پیک های نمایان شده در موقعیت های  $2\theta$  گوناگون ( $19.37^\circ$ ،  $31.57^\circ$ ،  $37.17^\circ$ ،  $45.09^\circ$ ،  $55.80^\circ$ ،  $59.65^\circ$ ،  $65.45^\circ$ ،  $77.64^\circ$ ) از خود نشان دادند.

شکل های ۳ تصویرهای به دست آمده از SEM و TEM نانوذره های کبات اکسید تهیه شده در دمای  $250^\circ \text{C}$  را نشان می دهد که براساس آن اندازه نانوذره ها در حدود ۳۰ تا ۴۶ نانومتر تعیین شده است. تصویرهای به دست آمده از نانوذره های اکسید کبات سنتز شده در دمای  $250^\circ \text{C}$  را نشان می دهد.

### تعیین $pH_{zpc}$ نانوذره های اکسید کبات

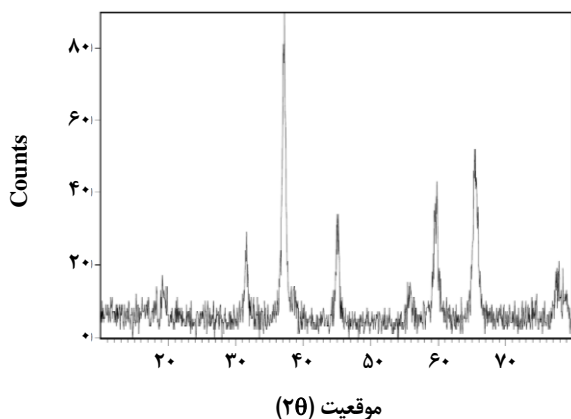
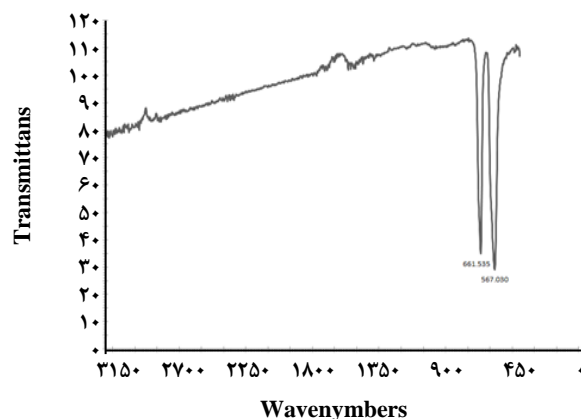
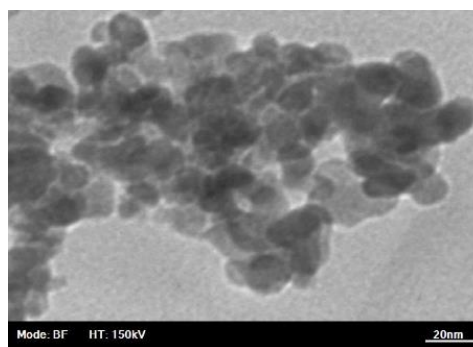
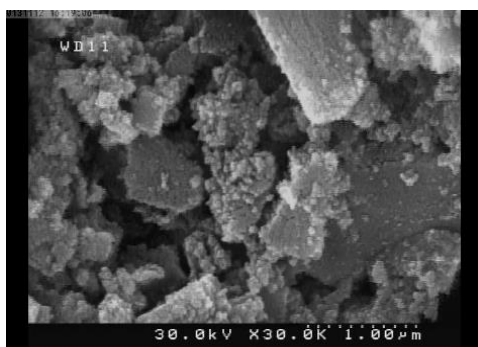
برای تعیین این پارامتر از محلول نمک طعام ۰,۰۱ مولار به عنوان الکترولیت و از محلول های سود و هیدروکلریک اسید ۰,۱ مولار به عنوان عامل کنترل کننده pH استفاده شد. مقدار ۵۰ میلی لیتر از محلول الکترولیت در ۱۱ ارلن ریخته شده و pH محلول ها با استفاده از اسید و سود با مولاریته یاد شده

جدول ۱- نتیجه‌های به دست آمده از طراحی آزمایش‌های تاگوچی با آرایه ی L25 در سه بار تکرار آزمایش.

شماره آزمایش	جذب ۱	جذب ۲	جذب ۳	درصد حذف ۱	درصد حذف ۲	درصد حذف ۳	میانگین درصد حذف
۱	۱۳۶۵/۰	۱۴۳۲/۰	۱۳۶۶/۰	۲۸۹/۴۸	۲۶۵/۴۵	۸۹۲/۴۷	۱۴۸/۴۷
۲	۲۷۷۶/۰	۲۵۹۹/۰	۲۹۳/۰	۳۶۱/۷۸	۰۲۱/۷۹	۰۲۱/۷۹	۰۴۸/۷۹
۳	۳۳۲۵/۰	۳۴۴۹/۰	۳۲۶۶/۰	۹۷۲/۷۳	۰۰۱/۷۳	۴۵۸/۷۴	۸۱۰/۷۳
۴	۳۱۹۴/۰	۳۱۹۶/۰	۳۳۴۳/۰	۰۱۵/۷۵	۷۶۹/۷۵	۶۴۳/۷۴	۱۴۲/۷۵
۵	۳۸۶۵/۰	۴۰۳۲/۰	۳۹۶۱/۰	۶۹۷/۶۹	۳۶۵/۶۸	۹۳۱/۶۸	۹۹۷/۶۸
۶	۲۹۳۲/۰	۳۱۱۰/۰	۲۹۴۱/۰	۱۲/۷۷	۶۹۸/۷۵	۰۴۷/۷۷	۶۲۱/۷۶
۷	۲۲۵۶/۰	۲۱۵۷/۰	۲۲۴۴/۰	۴۲۸/۸۲	۲۷۸/۸۳	۵۹/۸۲	۷۸۸/۸۲
۸	۱۳۸۲/۰	۱۳۸۲/۰	۱۴۹۵/۰	۴۵۱/۸۹	۳۲۶/۸۹	۵۴۸/۸۸	۱۰۸/۸۹
۹	۱۳۸۴/۰	۱۳۸۱/۰	۱۳۵۱/۰	۴۵۵/۸۹	۱۲۶/۹۰	۶۹۴/۸۹	۷۵۸/۸۹
۱۰	۲۵۵۷/۰	۲۶۷۴/۰	۲۵۱۲/۰	۱۰۳/۸۰	۱۶۷/۷۹	۴۵۷/۸۰	۱۴۲/۸۰
۱۱	۲۶۸۵/۰	۲۷۶۶/۰	۲۶۹۴/۰	۰۸۵/۷۹	۴۳۵/۷۸	۰۱۲/۷۹	۸۴۴/۷۸
۱۲	۱۸۱۵/۰	۱۷۶۶/۰	۱۸۴۹/۰	۰۰۶/۸۶	۳۸۹/۸۶	۷۳۴/۸۵	۰۴۲/۸۶
۱۳	۲۰۸۵/۰	۲۰۵۴/۰	۲۱۱۷/۰	۸۵۳/۸۳	۱۰۵/۸۴	۵۹۸/۸۳	۸۵۲/۸۳
۱۴	۱۵۳۲/۰	۱۵۳۲/۰	۱۵۷۱/۰	۲۵۷/۸۸	۵۶۳/۸۸	۹۴۶/۸۷	۲۵۵/۸۸
۱۵	۱۲۷۶/۰	۱۲۰۳/۰	۱۱۳۲/۰	۴۳۸/۹۰	۸۷۵/۹۰	۴۳۷/۹۱	۹۱۶/۹۰
۱۶	۲۵۷۵/۰	۲۶۳۷/۰	۲۵۲۳/۰	۹۶/۷۹	۴۶۱/۷۹	۳۶۸/۸۰	۹۲۹/۷۹
۱۷	۱۷۸۳/۰	۱۸۱۸/۰	۱۷۷۱/۰	۲۶/۸۶	۹۷۹/۸۵	۳۵۴/۸۶	۱۹۷/۸۶
۱۸	۱۰۲۶/۰	۱۰۶۱/۰	۱۱۰۲/۰	۲۸۳/۹۲	۰۰/۹۲	۶۷۴/۹۱	۹۸۵/۹۱
۱۹	۰۶۵۶/۰	۰۶۱۴/۰	۰۷۰۲/۰	۲۲۶/۹۵	۵۵۶/۹۵	۸۵۳/۹۴	۲۱۱/۹۵
۲۰	۰۸۰۹/۰	۰۸۱۹/۰	۰۷۷۷/۰	۰۰۹/۹۴	۹۲۳/۹۳	۲۵۷/۹۴	۰۶۳/۹۴
۲۱	۰۸۵۸/۰	۰۸۷۴/۰	۰۸۰۴/۰	۶۱۹/۹۳	۴۸۶/۹۳	۰۴۵/۹۴	۷۱۶/۹۳
۲۲	۰۴۸۵/۰	۰۳۸۷/۰	۰۴۳۶/۰	۵۸۷/۹۶	۳۶۴/۹۷	۸۹/۹۶	۹۴۷/۹۶
۲۳	۰۲۹۸/۰	۰۲۵۵/۰	۰۳۳۸/۰	۰۷۴/۹۸	۴۱۳/۹۸	۷۴۹/۹۷	۰۷۸/۹۸
۲۴	۰۱۸۳/۰	۰۲۳۶/۰	۰۱۳۸/۰	۹۸۹/۹۸	۵۶۸/۹۸	۳۴۲/۹۹	۹۶۶/۹۸
۲۵	۰۱۶۵/۰	۰۱۱۰/۰	۰۱۸/۰	۱۳۲/۹۹	۵۶۸/۹۹	۸۶۹/۹۸	۱۸۹/۹۹

جدول ۲- تحلیل واریانس (ANOVA) جهت حذف Cd(II) به روش طراحی آزمایش های تاگوچی.

عامل	درجه آزادی	واریانس	سطح معنی داری	درصد تاثیر عامل
pH	۴	۲۲۳/۱۶۳	۰۰۰/۱/۰<	۱۱۳/۷۳
مقدار جاذب (میلی گرم)	۴	۹۶۵/۴۶	۰۰۰/۰<	۸۸۵/۲۰
دما (°C)	۴	۰۱۴/۱۰۲	۰۰۰/۰<	۵۵۲/۴
زمان (دقیقه)	۴	۴۶۹/۳۲	۰۴۸۳/۰	۴۴۹/۱

شکل ۲- طیف XRD گرفته شده از Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> سنتز شده.شکل ۱- طیف FT-IR گرفته شده از Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub> سنتز شده.شکل ۳- تصویر SEM و TEM گرفته شده از نانوذرات Co<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

و نتیجه های به دست آمده در جدول ۴ نشان داده شده است.

$$\Delta S_{\text{ads}}^{\circ} = \frac{\Delta H_{\text{ads}}^{\circ} - \Delta G_{\text{ads}}^{\circ}}{T}$$

مقدارهای مثبت  $\Delta S_{\text{ads}}^{\circ}$  نشان دهنده ی افزایش بی نظمی یا به عبارتی افزایش درجه های آزادی در سطح مشترک فاز جامد- محلول باشد.

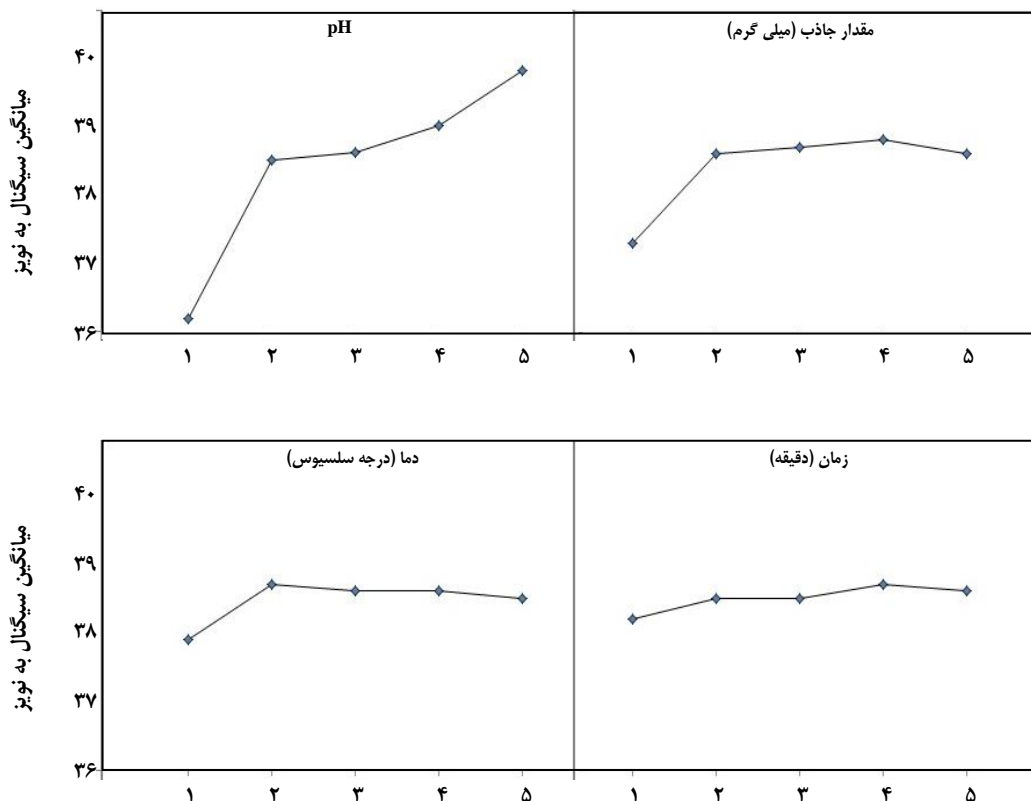
همخوانی دارد. با توجه به معادله زیر، انرژی آزاد استاندارد گیبس به دست آمد. نتیجه های محاسبه شده در جدول ۳ ارائه شده است.

$$\Delta G_{\text{ads}}^{\circ} = -RT \ln K_c$$

مقدارهای  $\Delta G_{\text{ads}}^{\circ}$  منحنی نشان دهنده ی فرایند جذب دلخواه در شرایط استاندارد می باشد. انتروپی استاندارد جذب محاسبه

جدول ۳- مقدارهای  $\Delta G_{ads}^o$  برای جذب سطحی Cd(II) در دماهای متفاوت.

دما(K)	۲۷۸	۲۸۳	۲۸۸	۲۹۳	۲۹۸	۳۰۳
$\ln K_c$	۱,۸۱۰	۲,۰۲۹	۲,۱۷۷	۲,۴۵۶	۲,۵۰۹	۲,۵۶۵
$\Delta G_{ads}^o$ (kJ/mol)	-۴,۱۸۳	-۴,۷۷۴	-۵,۲۱۳	-۵,۹۸۳	-۶,۲۱۶	-۶,۴۶۱

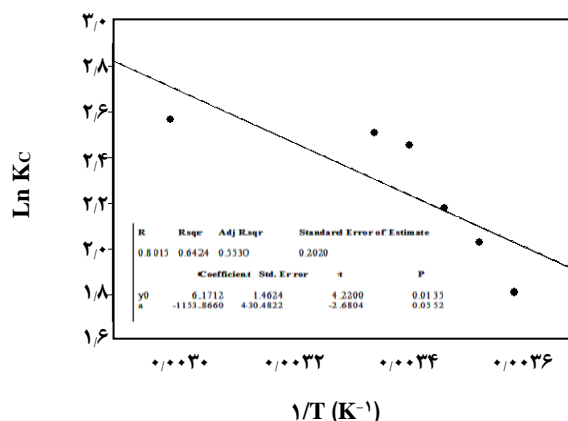


شکل ۴- نمودار سیگنال به نویز در روش تاگوچی با آرایه ی L25.

### نتیجه گیری

نانو ذره های کبالت اکسید به روش سل - ژل به عنوان جاذب فلز کادمیم سنتز شدند.

مهم ترین نتیجه های به دست آمده از این مطالعه عبارتند از: به کارگیری مدل تاگوچی برای تعیین شرایط بهینه فرایند جذب یون کادمیوم بر روی نانوذره کبالت اکسید نشان داد که زمان تماس مهم ترین عامل در افزایش کارایی حذف می باشد. در سطح های گوناگون S/N نتیجه های به دست آمده برای نرخ های عامل ها نشان داد که شرایط بهینه جذب به ترتیب برابر است با: مقدار جاذب ۲۵ میلی گرم، pH=۸، زمان تماس ۲۰ دقیقه و دما ۱۵ درجه سلسیوس می باشد.

شکل ۵ - منحنی  $\ln K_c$  برحسب  $1/T$  برای حذف Cd(II) توسط اکسید کبالت.

جدول ۳- مقادارهای  $\Delta G_{ads}^{\circ}$  برای جذب سطحی Cd(II) در دماهای متفاوت.

دما(K)	۲۷۸	۲۸۳	۲۸۸	۲۹۳	۲۹۸	۳۰۳
$\ln K_c$	۱٫۸۱۰	۲٫۰۲۹	۲٫۱۷۷	۲٫۴۵۶	۲٫۵۰۹	۲٫۵۶۵
$\Delta G_{ads}^{\circ}$ (kJ/mol)	-۴٫۱۸۳	-۴٫۷۷۴	-۵٫۲۱۳	-۵٫۹۸۳	-۶٫۲۱۶	-۶٫۴۶۱

با توجه به اطلاعات به دست آمده دمای ۱۵ درجه سلسیوس به عنوان دمای بهینه انتخاب شد.

داده های به دست آمده نشان می دهد که با افزایش دما تا ۲۰ درجه سلسیوس، میزان حذف یون کادمیم افزایش یافته است در نتیجه واکنش در این بازه دمای گرمایی می باشد همچنین کاهش حذف در دمای ۴۰ درجه سلسیوس، نشان دهنده گرمازا بودن واکنش در این دما می باشد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۲

## مراجع

- [1] Shayegan Mehr E., Sorbiun M., Ramazani A., Taghavi Fardood S., [Plant-Mediated Synthesis of Zinc Oxide and Copper Oxide Nanoparticles by Using Ferulago Angulata \(schlecht\) Boiss Extract and Comparison of Their Photocatalytic Degradation of Rhodamine B \(RhB\) under Visible Light Irradiation](#), *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, **29**(2): 1333-1340 (2018).
- [2] Kamran S., Amiri Shiri N., [A Comparative Study for Adsorption of Alizarin Red S from Aqueous Samples by Magnetic Nanoparticles of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and Ionic Liquid-Modified Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>](#), *Chemical Methodologies (Chem. Method.)*, **3**(1) 1-84, 24-38 (2018).
- [3] Rasouli N., Salavati H., Movahedi M., Rezaei A., [An Insight on Kinetic Adsorption of Congo Red Dye from Aqueous Solution Using Magnetic Chitosan Based Composites as Adsorbent](#), *Chemical Methodologies (Chem. Method.)*, **1**(1) 1-93: 79-93 (2017).
- [4] Modirshahla N., Behnajady M.A., Jangi Oskui M.R., [Investigation of the Efficiency of ZnO Photocatalyst in the Removal of p-Nitrophenol from Contaminated Water](#), *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, **28**(1): 49-55 (2009).
- [5] Sorbiun M., Shayegan Mehr E., Ramazani A., Taghavi Fardood S., [Green Synthesis of Zinc Oxide and Copper Oxide Nanoparticles Using Aqueous Extract of Oak Fruit Hull \(Jaft\) and Comparing Their Photocatalytic Degradation of Basic Violet 3](#), *International Journal of Environmental Research.*, **12**(1): 29-37 (2018).
- [6] Khatamian M., Daneshvar N., Sabae S., [Heterogeneous Photocatalytic Decolorization of Brown NG by TiO<sub>2</sub>-UV Process](#), *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering (IJCCE)*, **29**(3): 19-25 (2010).
- [7] Yang W-W, Miao A-J., Yang L-Y., [Cd<sup>2+</sup> Toxicity as Affected by Bare TiO<sub>2</sub> Nanoparticles and Their Bulk Counterpart](#), *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **85**: 44-51 (2012).

[۸] خسروی، ا.؛ اسم حسینی، م.؛ خضری، س.؛ حبیبی مهر، م.؛ حذف فلزات سنگین دو ظرفیتی (کادمیم، کبالت، روی، سرب و آمونیوم) از پساب ها با استفاده از زئولیت طبیعی استان آذربایجان غربی، *مجله اندیشه علوم شیمی کاربردی دانشگاه سمنان*، ۲۰: ۶۰ تا ۷۴ (۱۳۹۰).

[9] Ossman M., Mansour M., Removal of Cd(II) Ion from Wastewater by Adsorption onto Treated old Newspaper: Kinetic Modeling and Isotherm Studies, *Journal of Industrial Chemistry*, **4**: 13 (2013).

[۱۰] حسین‌زاده، ا.؛ رحمانی، ع.؛ بررسی کارایی حذف یونهای کادمیوم از محیط های آبی باکربن فعال تولیدی از تایرهای فرسوده، *دانشگاه علوم پزشکی سمنان*، ۴: ۵۶۶ تا ۵۷۷ (۱۳۹۲)

[۱۱] اسلامپور، غ.ر.؛ پارسا، غ.ع.؛ مقاری، ع.؛ نجفی، ب.؛ "شیمی فیزیک: ترمودینامیک محلول ها و سنتیک شیمیایی" تالیف ا. لواین، جلد دوم، انتشارات فاطمی، (۱۳۸۷).

[12] Sari A., Tuzen M., A Novel Bio-Adsorbent of Mint Waste for Dyes Remediation, *Applied Clay Science*, **88**: 63-72 (2014).

[13] Binitha N.N., Suraja P.V., Yaakob Z., Resmi M.R., Silija P.P., Simple Synthesis of  $\text{Co}_3\text{O}_4$  Nanoflakes Using a Low Temperature Sol-Gel Method Suitable for Photodegradation of Dyes, *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, **53**: 466-469 (2010).

[14] Ai L., Jiang J., Influence of Annealing Temperature on the Formation, Microstructure and Magnetic Properties of Spinel Nanocrystalline Cobalt Ferrites, *Current Applied Physics*, **10**: 284-288 (2010).