دانشگاه سمنان

دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

مطالعه‌ی رفتار تعادلی و سینتیکی جذب توریم با استفاده از جاذب پلی‌آنیلین

سارا عبدی

اساتید راهنما

دکتر مسعود نصیری

دکتر محمدحسن خانی

شهریور ۱۳۹۳

تشکر و قدردانی

به نام یگانه خالق هستی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند و سلام و درود بر محمّد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است و نفرین پیوسته بر دشمنان ایشان تا روز رستاخیز... .

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، والاتر از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین می‌کند؛ بر حسب وظیفه و از باب " من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر اللّه عزّ و جلّ ":

از پدر و مادر عزیزم...این دو معلم بزرگوارم... که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یاوری بی‌چشم‌داشت برای من بوده‌اند؛

از زحمات استاد راهنمای گرامی‌ام، جناب آقای دکتر مسعود نصیری که در کمال سعه‌ی صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند؛

از استاد راهنمای ارجمندم، جناب آقای دکتر محمدحسن خانی به‌خاطر راهنمایی‌ها و مساعدت‌هایی که به اینجانب داشته‌اند؛

و هم‌چنین از جناب آقای دکتر مهدی عسگری که در طول انجام این پروژه اینجانب را همراهی نمودند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده

توریم یکی از عناصر رادیواکتیو موجود در پساب‌های صنعتی است که به علت داشتن خاصیت پرتوزایی و نیمه‌عمر طولانی، به یک نگرانی عمده‌ی زیست‌محیطی تبدیل شده‌است. هدف از این مطالعه، حذف توریم از محلول‌های آبی با استفاده از نانوکامپوزیت‌های سنتز شده‌ی پلی‌آنیلین می‌باشد. به‌منظور بررسی شکل، ساختار، پایداری حرارتی و میزان تخلخل ذرات پلیمر به ترتیب از آنالیزهای SEM، FTIR، TGA/DSC و BET استفاده شد. در میان پلیمرهای سنتز شده، نانوکامپوزیت‌های پلی‌آنیلین حاوی دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید، اکسنده‌ی پتاسیم‌یدات و پایدارکننده‌ی سدیم دو دسیل بنزن سولفونات ذرات ریزتر و میزان جذب توریم بیشتری داشتند. با استفاده از جاذب فوق، اثر پارامترهای مهمی همچون pH، زمان‌تماس، مقدارجاذب، غلظت اولیه‌ی محلول توریم و دما بر میزان حذف توریم از محلول‌های آبی مطالعه گردید. نتایج نشان داد که مقدار بهینه‌ی جذب در pH=3.2 روی می‌دهد و مقدار بهینه‌ی جاذب و زمان تعادل جذب به ترتیب ۰/۲ گرم و ۳۰۰ دقیقه بدست آمد. طبق نتایج بدست‌آمده، حداکثر میزان حذف توریم از محلول ٪۹۹/۶۲ می‌باشد. ایزوترم‌های مختلفی ازجمله لانگمویر، فرندلیچ، تمکین و دوبینین - رادوشکویچ جهت آنالیز داده‌های تعادلی در دمای ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد مورد استفاده قرار گرفت که از میان آنها، مدل لانگمویر تطابق بیشتری با داده‌های تجربی داشت. ماکزیمم ظرفیت جذب این جاذب با استفاده از مدل لانگمویر ۶۸/۴۹ میلی‌گرم برگرم بدست آمد. داده‌های سینتیکی با ضریب همبستگی ۰/۹۹۹ از مدل شبه مرتبه دوم پیروی کرده و پارامترهای ترمودینامیکی جذب همچون انرژی آزاد گیبس(ΔG°)، آنتالپی(ΔH°) و آنتروپی(ΔS°) محاسبه شدند. مقادیر منفی بدست‌آمده برای انرژی آزاد گیبس بیانگر خودبه‌خودی بودن فرآیند جذب و مقدار مثبت آنتالپی نشان‌دهنده‌ی گرماگیر بودن آن است. نتایج بدست‌آمده از روش تاگوچی و آنالیز ANOVA درستی آزمایشات کلاسیک جذب را تایید کرده و نشان داد که pH محلول با درصد مشارکت ۴۵/۷۰۷ موثرترین پارامتر در جذب توریم از محلول‌های آبی است و غلظت اولیه‌ی محلول، مقدار جاذب و زمان تماس به ترتیب در جایگاه‌های بعدی قرار دارند.

کلید واژه‌ها: ایزوترم جذب، تاگوچی، ترمودینامیک جذب، توریم، جذب‌سطحی، نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین.

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه ۱

۱- ۱عناصر رادیواکتیو ۱

۱- ۲ توریم و تاریخچه‌ی آن ۲

۱- ۲- ۱منابع توریم ۳

۱- ۲- ۲خطرات زیست‌محیطی توریم ۴

۱- ۲- ۳کاربردهای توریم ۴

۱- ۲- ۴توریم‌نیترات و ایمنی کار با آن ۵

۱- ۳روش‌های حذف فلزات سنگین ۶

۱- ۳- ۱رسوب‌دهی شیمیایی ۶

۱- ۳- ۲ انعقاد و لخته‌سازی ۷

۱- ۳- ۳تبادل‌یون ۸

۱- ۳- ۴شناورسازی ۹

۱- ۳- ۵تصفیه‌ی الکتروشیمیایی ۹

۱- ۳- ۶استخراج با حلال ۱۰

۱- ۳- ۷فیلتراسیون غشایی ۱۰

۱- ۳- ۷- ۱ میکروفیلتراسیون ۱۱

۱- ۳- ۷- ۲ اولترافیلتراسیون ۱۱

۱- ۳- ۷- ۳ نانوفیلتراسیون ۱۲
۱- ۳- ۷- ۴ اسمزمعکوس ۱۲
۱- ۳- ۸جذب‌سطحی ۱۲
۱- ۳- ۹روش‌های بیولوژیکی ۱۳
۱- ۳- ۹- ۱ حذف فلزات سنگین به کمک میکروب‌ها ۱۳
۱- ۳- ۹- ۲ استفاده از گیاهان‌آبزی ۱۴
فصل دوم تئوری تحقیق ۱۷
۲- ۱جذب‌سطحی ۱۷
۲- ۱- ۱تاریخچه‌ی جذب‌سطحی ۱۸
۲- ۱- ۲کاربردهای صنعتی جذب‌سطحی ۱۸
۲- ۱- ۲- ۱پالایش گاز ۱۸
۲- ۱- ۲- ۲ جداسازی و احیای گازها ۱۹
۲- ۱- ۲- ۳ کاتالیست‌ها ۱۹
۲- ۱- ۳ ویژگی‌های یک جاذب ۱۹
۲- ۱- ۴ نیروهای جذب‌سطحی ۲۱
۲- ۱- ۵ مکانیسم کنترل‌کننده‌ی سرعت جذب ۲۳
۲- ۱- ۶ عوامل موثر بر جذب‌سطحی ۲۳
۲- ۱- ۶- ۱ مساحت سطح جاذب ۲۳

۲- ۱- ۶- ۲ میزان تخلخل جاذب..... ۲۴
۲- ۱- ۶- ۳ اندازه‌ی ذرات جاذب..... ۲۴
۲- ۱- ۶- ۴ pH محلول..... ۲۴
۲- ۱- ۶- ۵ زمان‌تماس..... ۲۵
۲- ۱- ۶- ۶ مقدار جاذب..... ۲۵
۲- ۱- ۶- ۷ غلظت اولیه‌ی محلول..... ۲۵
۲- ۱- ۶- ۸ دما..... ۲۵
۲- ۱- ۷ نحوه‌ی انجام عملیات جذب‌سطحی..... ۲۶
۲- ۱- ۷- ۱ فرآیند ناپیوسته..... ۲۶
۲- ۱- ۷- ۲ فرآیند پیوسته..... ۲۶
۲- ۱- ۸ ایزوترم‌های جذب..... ۲۶
۲- ۱- ۸- ۱ ایزوترم فرندلیچ..... ۲۷
۲- ۱- ۸- ۲ ایزوترم لانگمویر..... ۲۷
۲- ۱- ۸- ۳ ایزوترم تمکین..... ۲۹
۲- ۱- ۸- ۴ ایزوترم دوبینین– رادوشکویچ (D-R)..... ۲۹
۲- ۱- ۸- ۵ ایزوترمBET..... ۳۰
۲- ۱- ۹ مدل‌های سینتیکی جذب..... ۳۳
۲- ۱- ۹- ۱مدل سینتیکی شبه مرتبه اول..... ۳۳
۲- ۱- ۹- ۲ مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم..... ۳۳

۲- ۱- ۹- ۳ مدل نفوذ درون ذره‌ای ۳۴
۲- ۱- ۱۰ پارامترهای ترمودینامیکی جذب ۳۴
۲- ۲معرفی پلیمرهای هادی ۳۵
۲- ۲- ۱دوپه‌کردن پلیمرهای رسانا ۳۷
۲- ۳پلی‌آنیلین ۳۸
۲- ۳- ۱ روش‌های سنتز پلی‌آنیلین ۳۹
۲- ۳- ۱- ۱ سنتز پلی‌آنیلین به روش شیمیایی ۳۹
۲- ۳- ۱- ۲ سنتز پلی‌آنیلین به روش الکتروشیمیایی ۴۰
۲- ۳- ۱- ۳ سنتز پلی‌آنیلین به روش کلوئیدی ۴۰
۲- ۳- ۲ استفاده از پلی‌آنیلین در حذف فلزات سنگین ۴۲
۲- ۴ اهداف پروژه ۴۲
۲- ۵ مروری بر مطالعات صورت‌گرفته در زمینه‌ی حذف توریم از محلول‌های آبی ۴۲
فصل سوم بخش تجربی ۵۰
۳- ۱مواد و تجهیزات لازم ۵۰
۳- ۲آماده‌سازی جاذب ۵۲
۳- ۲- ۱روش تهیه‌ی پلی‌آنیلین ۵۲
۳- ۲- ۲ روش تهیه‌ی نانوکامپوزیت‌های پلی‌آنیلین با استفاده از پایدارکننده‌ها ۵۳
۳- ۳ آنالیزهای انجام شده جهت شناسایی جاذب و تعیین غلظت محلول ۵۴

۳- ۴ روش اندازه‌گیری متوسط اندازه‌ی ذرات جاذب‌های سنتزشده ۵۵
۳- ۵ بررسی جذب فلزات سنگین توسط پلی‌آنیلین و نانوکامپوزیت‌های آن ۵۵
۳- ۵- ۱ تهیه‌ی محلول‌ها ۵۶
۳- ۵- ۲ نحوه‌ی محاسبه‌ی درصد حذف و میزان جذب توریم ۵۶
۳- ۵- ۳ مقایسه‌ی عملکرد پلی‌آنیلین و نانوکامپوزیت‌های آن ۵۶
۳- ۵- ۴ بررسی اثر pH بر میزان حذف توریم از محلول ۵۷
۳- ۵- ۵ بررسی اثر زمان تماس بر میزان حذف توریم از محلول ۵۷
۳- ۵- ۶ بررسی اثر مقدار جاذب بر میزان حذف توریم از محلول ۵۷
۳- ۵- ۷ بررسی اثر غلظت اولیه‌ی محلول توریم بر میزان حذف آن ۵۷
۳- ۵- ۸ بررسی اثر دما بر میزان حذف توریم از محلول ۵۸
۳- ۶ بررسی اثر پارامترهای عملیاتی بر روی جذب‌سطحی توریم به کمک روش تاگوچی ۵۸
۳- ۶- ۱ آنالیز واریانس ۶۰
فصل چهارم نتایج و بحث ۶۴
۴- ۱نتایج حاصل از آنالیز جاذب‌های سنتز شده ۶۴
۴- ۱- ۱ نتایج آنالیز SEM ۶۴
۴- ۱- ۲ نتایج آنالیز FTIR ۶۸
۴- ۲ انتخاب جاذب مناسب ۷۴
۴- ۲- ۱بررسی میزان جذب توریم توسط هریک از پلیمرهای سنتزشده ۷۵

۴- ۲- ۲ محاسبه‌ی متوسط اندازه‌ی ذرات پلیمرهای سنتز شده ۷۶
۴- ۳ نتایج حاصل از آنالیز جاذب منتخب ۷۷
۴- ۳- ۱نتایج آنالیز BET ۷۷
۴- ۳- ۲ نتایج آنالیز TGA/DSC ۷۸
۴- ۳- ۳ نتایج آنالیز FTIR نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین بعد از انجام جذب ۸۰
۴- ۳- ۴ نتایج آنالیز کروماتوگرافی (IC) ۸۱
۴- ۴ بهینه‌کردن پارامترهای جذب‌سطحی توریم ۸۲
۴- ۴- ۱ تعیین pH بهینه ۸۲
۴- ۴- ۲ تعیین زمان تماس بهینه ۸۲
۴- ۴- ۳ تعیین مقدار بهینه‌ی جاذب ۸۳
۴- ۴- ۴ تاثیر غلظت اولیه‌ی محلول توریم بر میزان جذب آن ۸۴
۴- ۴- ۵ تاثیر دما بر میزان حذف توریم از محلول ۸۵
۴- ۴- ۶ بررسی ایزوترم‌های جذب توریم ۸۶
۴- ۴- ۷ بررسی سینتیک جذب ۸۹
۴- ۴- ۸ بررسی ترمودینامیک جذب ۹۲
۴- ۵ نتایج حاصل از مدلسازی جذب توریم به روش تاگوچی ۹۳
۴- ۵- ۱نتایج حاصل از آنالیز واریانس ۹۵
فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۹۸

۵- ۱نتیجه‌گیری کلی ۹۸

۵- ۲پیشنهاداتی برای ادامه‌ی این موضوع ۱۰۰

پیوست ۱۰۲

مراجع ۱۰۶

فهرست اشکال

شکل ۲-۱. a) پوشش کم (هیچ جاذبه‌ای بین یون‌ها یا مولکول‌های فلزی جذب‌شونده وجود ندارد، تحرک زیاد، بی‌نظم)، b) پوشش متوسط(وجود جاذبه بین یون‌ها یا مولکول‌های فلزی جذب‌شونده، تحرک کمتر، بی‌نظم)، c) پوشش زیاد(وجود نیرویی قوی بین اتم‌ها یا مولکول‌های جذب‌شونده، بدون تحرک، بسیارمنظم) (العنبر، ۲۰۱۱) ۱۷

شکل ۲-۲. انتقال جرم داخلی و خارجی جذب‌شونده (پوول، ۲۰۰۳) ۲۳

شکل ۲-۳. ساختار برخی پلیمرهای هادی(پارک و لی ، ۲۰۰۵) ۳۶

شکل ۲-۴. مقایسه‌ی رسانایی پلیمرهای هادی با مس و جیوه مایع(واشیما و همکاران، ۱۹۹۹) ۳۶

شکل ۲-۵. فرآیند اکسیداسیون مونومر آنیلین ۳۸

شکل ۲-۶. ساختار پلی‌آنیلین(انصاری، ۲۰۰۶) ۳۹

شکل ۲-۷. a) گروه کینوئید دی ایمین b) گروه فنیل دی آمین(نظرزاده زارع، ۱۳۸۹) ۳۹

شکل ۳-۱. دستگاه تقطیر ۵۲

شکل ۳-۲. همزن مغناطیسی ۵۲

شکل ۳-۳. pH متر ۵۲

شکل ۳-۴. شیکر ۵۲

شکل ۳-۵. نمونه‌ی سنتز شده‌ی نانوکامپوزیت‌های پلی‌آنیلین..... ۵۳
شکل ۳-۶. تصویری از دستگاه SEM..... ۵۵
شکل ۳-۷. محیط نرم‌افزار ImageJ..... ۵۵
شکل ۴-۱. تصویر میکروسکوپی پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید و KIO_3..... ۶۴
شکل۴-۲. تصویر میکروسکوپی پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید و $(NH_4)_2S_2O_8$..... ۶۵
شکل ۴-۳. تصویر میکروسکوپی نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید، KIO_3 و SDBS..... ۶۵
شکل ۴-۴. تصویر میکروسکوپی نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید، $(NH_4)_2S_2O_8$ و SDBS..... ۶۵
شکل ۴-۵. تصویر میکروسکوپی نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید، KIO_3 و HPC..... ۶۶
شکل ۴-۶. تصویر میکروسکوپی نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید، $(NH_4)_2S_2O_8$ و HPC..... ۶۶
شکل ۴-۷. تصویر میکروسکوپی پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید و KIO_3..... ۶۶
شکل ۴-۸. تصویر میکروسکوپی پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید و $(NH_4)_2S_2O_8$..... ۶۷
شکل ۴-۹. تصویر میکروسکوپی نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید، KIO_3 و SDBS..... ۶۷
شکل ۴-۱۰. تصویر میکروسکوپی نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید، $(NH_4)_2S_2O_8$ و SDBS..... ۶۷

شکل ۴-۱۱. تصویر میکروسکوپی نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید، KIO_3 و HPC ۶۸
شکل ۴-۱۲. تصویر میکروسکوپی نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید، $(NH_4)_2S_2O_8$ و HPC ۶۸
شکل ۴-۱۳. طیف FTIR پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید و KIO_3 ..... ۶۹
شکل ۴-۱۴. طیف FTIR پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید و $(NH_4)_2S_2O_8$. ۶۹
شکل ۴-۱۵. طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید، KIO_3 و SDBS ۷۰
شکل ۴-۱۶. طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید، $(NH_4)_2S_2O_8$ و SDBS ۷۰
شکل ۴-۱۷. طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید، KIO_3 و HPC ۷۱
شکل۴-۱۸. طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید، $(NH_4)_2S_2O_8$ و HPC ۷۱
شکل ۴-۱۹. طیف FTIR پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید و KIO_3 ..... ۷۲
شکل ۴-۲۰. طیف FTIR پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید و $(NH_4)_2S_2O_8$ ۷۲
شکل ۴-۲۱. طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید، KIO_3و SDBS ۷۳
شکل ۴-۲۲. طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید، $(NH_4)_2S_2O_8$ و SDBS ۷۳
شکل ۴-۲۳. طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید، KIO_3 و

HPC ۷۴
شکل ۴-۲۴. طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید، $(NH_4)_2S_2O_8$ و HPC ۷۴
شکل ۴-۲۵. آنالیز TGA نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین ۷۸
شکل ۴-۲۶. آنالیز DSC نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین ۷۹
شکل ۴-۲۷. پیوند عرضی بین زنجیره‌های پلیمری پلی‌آنیلین (ایلماز، ۲۰۰۷) ۸۰
شکل ۴-۲۸. طیف FTIR نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین سنتز شده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک اسید، KIO_3 و SDBS بعد از انجام جذب ۸۰
شکل ۴-۲۹. تاثیر pH بر میزان حذف توریم (زمان تماس ۲۴ ساعت، ۰/۲۵ گرم جاذب،۱۰۰میلی‌لیتر محلول توریم با غلظت اولیه‌ی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و دمای محیط) ۸۲
شکل ۴-۳۰. تاثیر زمان تماس بر میزان حذف توریم (pH=3.2، ۰/۲۵ گرم جاذب، ۱۰۰میلی‌لیتر محلول توریم با غلظت اولیه‌ی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و دمای محیط) ۸۳
شکل۴-۳۱. تاثیر مقدار جاذب بر میزان حذف توریم (pH=3.2، زمان تماس ۳۰۰ دقیقه، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول توریم با غلظت اولیه‌ی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و دمای محیط) ۸۴
شکل ۴-۳۲. اثر غلظت اولیه‌ی محلول توریم روی ظرفیت جذب و درصد حذف آن ازمحلول(pH=3.2، زمان تماس ۳۰۰ دقیقه، ۰/۲ گرم جاذب، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول توریم و دمای محیط) ۸۵
شکل ۴-۳۳. تاثیر دما بر میزان حذف توریم از محلول(pH=3.2، زمان تماس ۳۰۰ دقیقه، ۰/۲گرم جاذب، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول توریم با غلظت اولیه‌ی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) ۸۵
شکل ۴-۳۴. مقایسه‌ی داده‌های تجربی با ایزوترم لانگمویر (۱۰۰ میلی‌لیتر محلول توریم با غلظت‌های۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در pH=3.2، زمان تماس ۳۰۰ دقیقه، ۰/۲ گرم جاذب و دمای محیط) ۸۶

شکل ۴-۳۵. مقایسه‌ی داده‌های تجربی با ایزوترم فرندلیچ (۱۰۰ میلی‌لیتر محلول توریم با غلظت‌های ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در pH=3.2، زمان تماس ۳۰۰ دقیقه، ۰/۲ گرم جاذب و دمای محیط)..... ۸۶
شکل ۴-۳۶. مقایسه‌ی داده‌های تجربی با ایزوترم تمکین (۱۰۰ میلی‌لیتر محلول توریم با غلظت‌های ۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در pH=3.2، زمان تماس ۳۰۰ دقیقه، ۰/۲ گرم جاذب و دمای محیط)..... ۸۷
شکل ۴-۳۷. مقایسه‌ی داده‌های تجربی با ایزوترم D-R (۱۰۰ میلی‌لیتر محلول توریم با غلظت‌های ۲۰، ۵۰ ، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در pH=3.2، زمان تماس ۳۰۰ دقیقه، ۰/۲ گرم جاذب و دمای محیط)..... ۸۷
شکل ۴-۳۸. مدل سینتیکی شبه مرتبه اول برای جذب‌سطحی توریم (pH=3.2، ۰/۲۵ گرم جاذب، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول توریم با غلظت اولیه‌ی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و دمای محیط)..... ۹۰
شکل ۴-۳۹. مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم برای جذب‌سطحی توریم (pH=3.2، ۰/۲۵ گرم جاذب، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول توریم با غلظت اولیه‌ی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و دمای محیط)..... ۹۰
شکل ۴-۴۰. مدل سینتیکی نفوذ درون ذره‌ای برای جذب‌سطحی توریم (pH=3.2، ۰/۲۵ گرم جاذب، ۱۰۰ میلی‌لیتر محلول توریم با غلظت اولیه‌ی ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر و دمای محیط)..... ۹۱
شکل ۴-۴۱. تغییرات $\ln K_c$ برحسب $\frac{1}{T}$ برای جذب‌سطحی توریم بر روی نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین..... ۹۳

فهرست جداول

جدول ۱-۱. مشخصات فیزیکی توریم..... ۳

جدول ۱-۲. مقایسه‌ی روش‌های حذف فلزات سنگین (کادیرولو و گوئل، ۲۰۰۷)..... ۱۵

جدول ۲-۱. مقایسه ی جذب فیزیکی و شیمیایی..... ۲۲

جدول ۲-۲. مقادیر R_L..... ۲۹

جدول ۲-۳. ایزوترم‌های جذب‌سطحی (فو و حمید، ۲۰۱۰)..... ۳۲

جدول ۲-۴. رسانایی، پایداری و فرآیندپذیری برخی پلیمرهای هادی..... ۳۷

جدول ۳-۱. مواد شیمیایی مورد استفاده..... ۵۰

جدول ۳-۲. دستگاه‌های مورد استفاده..... ۵۱

جدول ۳-۳. لیست پلیمرهای سنتز شده..... ۵۴

جدول ۳-۴. آزمایش‌های طراحی شده با استفاده از روش تاگوچی..... ۶۲

جدول ۴-۱. درصد حذف توریم محاسبه شده با هر یک از جاذب‌های سنتزشده..... ۷۵

جدول ۴-۲. متوسط اندازه ذرات بدست آمده برای پلیمرهای سنتزشده با دوپه‌کننده‌ی سولفوریک اسید..... ۷۶

جدول ۴-۳. متوسط اندازه ذرات بدست‌آمده برای پلیمرهای سنتزشده با دوپه‌کننده‌ی فسفریک‌اسید ۷۷

جدول ۴-۴. نتایج بدست‌آمده از آنالیز BET..... ۷۷

جدول ۴-۵. نتایج آنالیز IC..... ۸۱

جدول ۴-۶. ثوابت و ضرایب همبستگی ایزوترم‌های جذب لانگمویر، فرندلیچ، تمکین و D-R..... ۸۸

جدول ۴-۷. مقایسه‌ی ماکزیمم ظرفیت جذب نانوکامپوزیت پلی‌آنیلین با سایر جاذب‌های مورد استفاده درحذف توریم..... ۸۹

جدول ۴-۸. ثوابت و ضرایب همبستگی مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و نفوذ

درون ذره‌ای..... ۹۲
جدول ۴-۹. مقادیر K_c در دماهای مختلف..... ۹۲
جدول ۴-۱۰. پارامترهای ترمودینامیکی جذب‌سطحی توریم..... ۹۳
جدول ۴-۱۱. نتایج آزمایشات بدست آمده از آرایه‌ی L16 تاگوچی..... ۹۴
جدول ۴-۱۲. مقادیر بهینه‌ی بدست آمده برای هر پارامتر در روش تاگوچی..... ۹۵
جدول ۴-۱۳. نتایج بدست آمده از آنالیز واریانس..... ۹۶

فهرست علائم

معادل فارسی	معادل انگلیسی	پارامتر
مقدار ماده‌ی جذب‌شده توسط هر گرم از جاذب در حالت تعادل	Adsorbed metal ion quantity per gram of adsorbent at equilibrium	$q_e(mg\ g^{-1})$
شدت جذب	Adsorption intensity	n
مقدارجاذب مصرفی در فرآیند جذب	Amount of adsorbent used in the adsorption process	M(g)
مقدار یون فلزی جذب‌شده در زمان t	Amount of metal ion adsorbed at time t	$q_t(mg\ g^{-1})$
عدد آووگادرو	Avogadro's number	$N_A(mol^{-1})$
ثابت مرتبط با گرمای جذب	Constant related to the heat of adsorption	c
درجه آزادی هر فاکتور	Degrees of freedom for each factor	f_m
چگالی مجذوب‌سطحی در دمای آزمایش	Density of the adsorbate at the test temperature	$\rho_L(g\ cm^{-3})$
ضریب توزیع	Distribution coefficient	$K_c(ml\ g^{-1})$
ثابت ایزوترم دوبینین-رادوشکویچ	Dubinin–Radushkevich isotherm constant	$k_{ad}(mol^2\ kJ^{-2})$
درجه آزادی خطا	Error degrees of freedom	f_e
واریانس خطا	Error variance	V_e

غلظت نهایی توریم در محلول	Final concentration of thorium ion in solution	$C_f(mg\ l^{-1})$
ثابت فرندلیچ	Freundlich isotherm constant	$K_f[(mg\ g^{-1})(l\ mg^{-1})^{1/n}]$
غلظت اولیه‌ی توریم در محلول	Initial concentration of thorium ion in solution	$C_i(mg\ l^{-1})$
ثابت لانگمویر	Langmuir isotherm constant	$b(l\ mg^{-1})$
ماکزیمم ظرفیت جذب تک‌لایه	Maximum monolayer sorption capacity	$Q_0(mg\ g^{-1})$
وزن مولکولی مجذوب سطحی	Molecular weight of the adsorbate	$M'(g\ mol^{-1})$
پتانسیل پولانی	Polanyi potential	$\varepsilon(kJ\ mol^{-1})$
ثابت سرعت مدل نفوذ درون ذره‌ای	Rate constant of intraparticle diffusion model	$K_{id}(mg\ g^{-1}\ min^{-1/2})$
فاکتور جداسازی	Separation factor	R_L
سطح ویژه	Specific surface area	$S_g(m^2\ g^{-1})$
مجموع مربعات خطا	Sum of squared errors	S_e
سطح پوشیده‌شده به ازای هر مولکول مجذوب‌سطحی	Surface area covered per adsorbed molecule	$\alpha(cm^2)$
دما	Temperature	T(K)
ثابت ایزوترم تمکین	Tempkin isotherm constant	b_T
ثابت پیوند تعادلی ایزوترم تمکین	Tempkin isotherm equilibrium binding constant	$A_T(l\ g^{-1})$
خروجی اسمی مطلوب	The desired nominal output	y_0

$C_e(mg\ l^{-1})$	The equilibrium metal ion concentration in solution	غلظت تعادلی یون فلزی موجود در محلول
y_i	The measured output	خروجی اندازه‌گیری شده
P_m	The percentage Contribution of each factor	درصد مشارکت هر فاکتور
P_e	The percentage Contribution of error	درصد مشارکت خطا
S'_m	The pure sum of squares of each factor	مجموع مربعات خالص هر فاکتور
S'_e	The pure sum of squares of error	مجموع مربعات خالص خطا
$k_1(min^{-1})$	The rate constant of pseudo-first-order kinetic model	ثابت سرعت مدل سینتیکی شبه مرتبه اول
$k_2(g\ mg^{-1}\ min^{-1})$	The rate constant of pseudo-second-order kinetic model	ثابت سرعت مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم
S_m	The sum of squares for each factor	مجموع مربعات هر فاکتور
n	The total number of experiments performed	تعداد کل آزمایشات انجام‌شده
$q_S(mg\ g^{-1})$	Theoretical isotherm saturation capacity	ظرفیت اشباع تئوری ایزوترم
f_T	Total degrees of freedom	درجه آزادی کل
P(mmHg)	Total pressure	فشارکل

مجموع مربعات کل	Total sum of squares	S_T
واریانس کل	Total variance	V_T
ثابت جهانی گازها	Universal gases constant	$R(8.314\ J\ mol^{-1}\ K^{-1})$
فشاربخار مجذوب سطحی در دمای آزمایش	Vapor pressure of adsorbate at test temperature	$P_0(mmHg)$
واریانس هر فاکتور	Variance of each factor	V_m
نسبت واریانس	Variance ratio	F_m
حجم گاز مجذوب سطحی در شرایط STP	Volume of gas adsorbed at STP	$\upsilon(l)$
حجم تک‌لایه‌ی گاز مجذوب‌سطحی در شرایط STP	Volume of mono layer of gas adsorbed at STP	$\upsilon_m(l)$
حجم محلول	Volume of the solution	$V(l)$