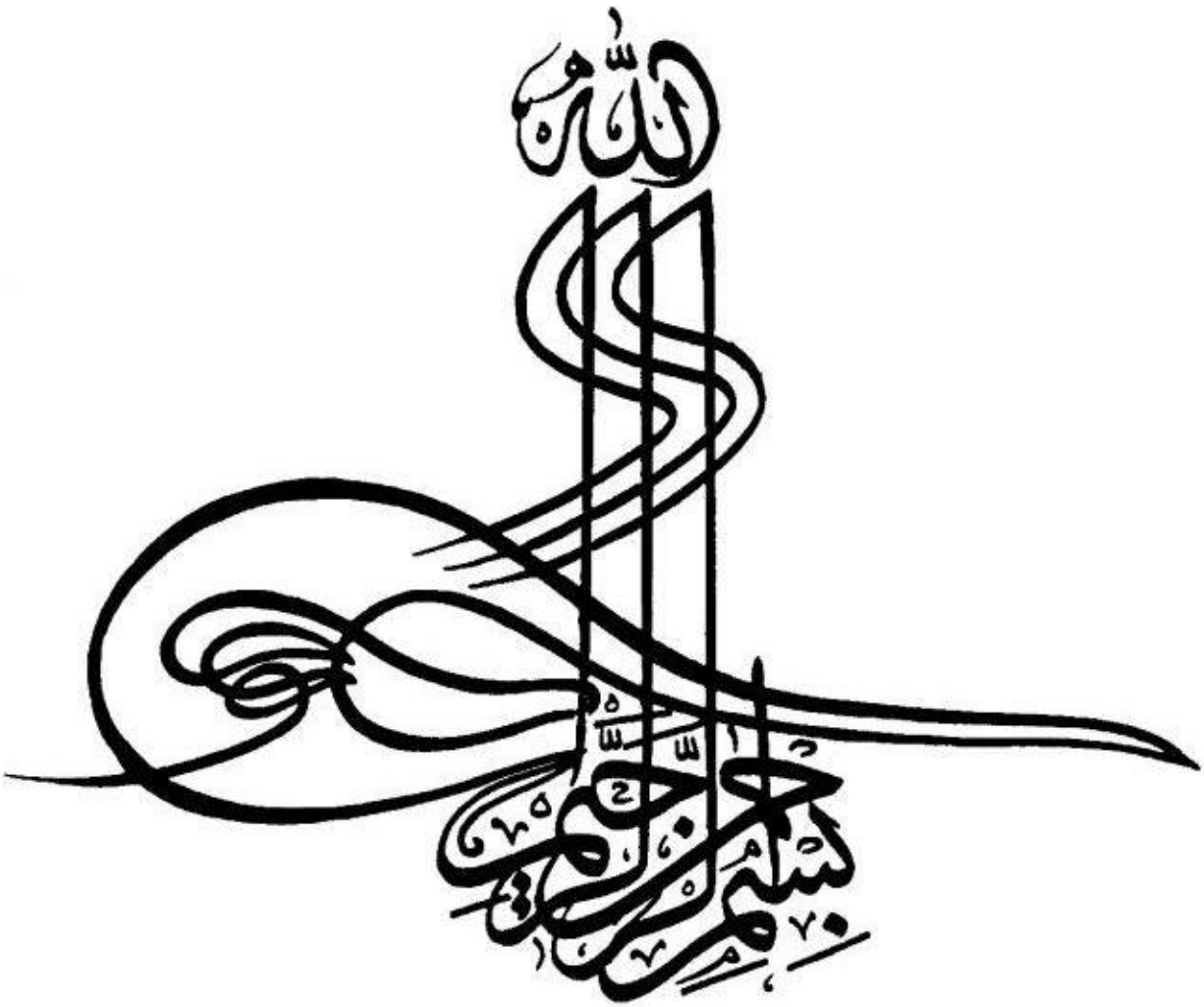
الله
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه اراک

دانشکده فنی و مهندسی

کارشناسی ارشد مهندسی شیمی

حذف آرسنیک از آب توسط نانو کامپوزیت هیدروژل

پژوهشگر

شقایق جهانگیری

استاد راهنما

دکتر سید تقی میری

اساتید مشاور

دکتر ابوالفضل براتی

دکتر مصطفی دلاور

تابستان ۱۳۹۱

بسم ا... الرحمن الرحیم

حذف آرسنیک از آب توسط نانو کامپوزیت هیدروژل

توسط:

شقایق جهانگیری

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ

درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی شیمی

از

دانشگاه اراک

اراک-ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه.....

دکتر سید تقی میری (استاد راهنما و رئیس کمیته)..... استادیار

دکتر ابوالفضل براتی (استاد مشاور)..... دانشیار

دکترمصطفی دلاور (استاد مشاور)..... هیئت علمی

دانشگاه علوم پزشکی اراک-گروه فارماکولوژی)

دکتر صادق مرادی (دانشگاه اراک)..... استادیار

تابستان ۱۳۹۱

سپاس بی پایان خود را تقدیم می کنم به:

استاد ارجمندم جناب آقای دکتر میری که در انجام کلیه مراحل این پروژه از راهنمایی های ارزشمند ایشان استفاده بردم

استادان مشاور گرامی جناب آقایان دکتر براتی که در انجام این پروژه راهنمایی های ارزشمندی ارائه فرمودند و از نظرات ایشان بهره فراوان بردم و جناب آقای دکتر مصطفی دلاور که در مراحل مختلف این پروژه مرا یاری نمودند

جناب آقای دکتر صادق مرادی که با قبول داوری این پایان نامه مرا سرفراز نمودند.

و

تمامی اساتید محترم گروه مهندسی شیمی

در پایان از جناب آقای عبدالهی مسئول آزمایشگاه آنالیز سم شناسی که آزمایش های اینجانب در این بخش انجام گرفت تشکر ویژه می کنم.

چکیده :

آرسنیک فلزی سمی و متداول است که از طریق منابع طبیعی و همچنین صنعتی وارد منابع آب شده و منجر به بسیاری از بیماری ها می شود. گزارش شده است که استفاده طولانی مدت از آب ها و غذای آلوده به آرسنیک منجر به بسیاری از مشکلات از جمله بیماری های معده و روده و پوست و کبد و آسیب های بافت عصبی می شود. آرسنیک در طبیعت هم به صورت آلی و هم غیر آلی وجود دارد. فرم آلی آرسنیک در غذاهای دریایی وجود دارد که کمتر خطرناک است و به آسانی از بدن انسان خارج می شود. اما آرسنیک غیر آلی عمدتا به صورت آرسنیت (As^{+3}) و آرسنات (As^{+5}) می باشد که برای انسان بسیار سمی است. سازمان سلامت جهانی (WHO) ماکزیمم میزان مجاز آرسنیک در آب خوراکی را ۱۰ ppb اعلام کرده است.

هدف این پروژه حذف آرسنیک در فرآیندهای تصفیه پساب های صنعتی است. در این پروژه، ابتدا پس از مطالعات کتابخانه ای نانو کامپوزیت هیدروژل های کلینوپتیلولیت ، کلینوپتیلولیت تصحیح شده (SMZ)، مونت موریلونیت و اکسید سریم (IV) به عنوان بهترین کاندیدهای حذف آرسنیک معرفی و فرموله گردید و درصد های وزنی ۱ ، ۲ ، ۳ و ۴ از نانو ذرات مذکور ساخته شد. در گام بعدی این ساختار برای دستیابی به ماکزیمم حذف بهینه سازی شد. با تعیین ساختار بهینه نانو کامپوزیت هیدروژل از چهار نوع نانو ذره مذکور، میزان جذب یون آرسنیک و همچنین میزان تورم هیدروژل در بازه های زمانی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در این پروژه تاثیر شرایط آزمایشگاهی مانند pH و غلظت نیز بررسی گردید. نتایج جذب آرسنیک توسط هر چهار نوع نانو کامپوزیت هیدروژل مورد بررسی بیانگر این مطلب است که به صورت مقایسه ای برای نانو کامپوزیت هیدروژل های زئولیتی ،زئولیتی تصحیح شده و اکسید سریم (IV) سینتیک درجه اول کاذب و برای نانو کامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی سینتیک درجه دوم کاذب مناسب می باشد.

کلمات کلیدی: یون آرسنیک، هیدروژل، نانو زئولیت، نانو کلینوپتیلولیت، کامپوزیت

نحوه تنظیم پایان نامه

این پایان نامه در سه فصل تنظیم شده است. در فصل اول در ابتدا به عنوان مقدمه به ضرورت حذف آرسنیک از آب ، عوامل ایجاد کننده آرسنیک در منابع آب ، عوارض و پیامدهای وجود آرسنیک در آب برای انسان و منابع طبیعی و غیر طبیعی آرسنیک در آب اشاره شده است. سپس به روش های مختلف حذف آرسنیک و در ادامه به بررسی دو فرآیند تعویض یونی و فیلتراسیون غشایی پرداخته شده است. فصل دوم مشتمل بر شرح روش های آزمایشگاهی تولید هیدروژل و نانو کامپوزیت هیدروژل می باشد و توضیح مختصری در خصوص نحوه اندازه گیری غلظت آرسنیک باقیمانده در محلول پس از انجام آزمایش های جذب، توسط دستگاه جذب اتمی ارائه شده است. فصل سوم مشتمل بر کلیه نتایج و دستاوردهای تحقیق شامل موارد زیر می باشد:

- تعیین میزان جذب آب توسط ۱۶ هیدروژل مورد بررسی در بازه های زمانی مختلف
- انتخاب ترکیب درصد بهینه برای ماده زمینه نانو کامپوزیت هیدروژل
- تاثیر درصد وزنی ۴ نانو ذره مورد بررسی در این پروژه در زمان های مختلف
- تاثیر pH بر جذب یون آرسنیک
- تاثیر غلظت بر جذب یون
- بررسی ایزوترم های لانگمیر و فروندلیچ برای جذب آرسنیک
- بررسی سینتیک جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل ها
- و نهایتا بررسی ریز ساختار و مورفولوژی نانو ذرات و نانو کامپوزیت هیدروژل های سنتز شده

در فصل چهارم نتیجه گیری کلی پروژه و پیشنهادات برای ادامه

فهرست مطالب

فصل اول..... ۱
۱-۱ مقدمه..... ۲
۱-۲ تعویض یونی..... ۷
۱-۲-۱ تبادل کننده های کاتیونی..... ۸
۱-۲-۲ تبادل کننده های آنیونی..... ۹
۱-۳ زئولیت ها..... ۱۰
۱-۳-۱ تاریخچه اولیه..... ۱۰
۱-۳-۲ مشخصات مهم زئولیت ها..... ۱۱
۱-۳-۳ کاربردهای زئولیت..... ۱۳
۱-۳-۳-۱ فیلتر ملکولی..... ۱۳
۱-۳-۳-۲ کنترل آلودگی..... ۱۳
۱-۳-۳-۳ تولید اکسیژن..... ۱۴
۱-۳-۳-۴ تصفیه گاز..... ۱۴
۱-۳-۳-۵ انرژی خورشیدی..... ۱۴
۱-۳-۳-۶ کشاورزی..... ۱۴
۱-۳-۳-۷ زئولیت به عنوان کاتالیزور..... ۱۴
۱-۳-۳-۸ مصارف دیگر..... ۱۵
۱-۴ ژل های پلیمری..... ۱۵
۱-۴-۱ هیدروژل ها و تقسیم بندی آن ها..... ۱۸
۱-۴-۱-۱ دسته بندی هیدروژلها بر اساس ساختمان مونومر اصلی آنها..... ۲۰

۱-۴-۱-۱-۱ هیدروژلهای بر پایه متااکریلیک و آکریلیک استرها..... ۲۰
۱-۴-۱-۱-۲ هیدروژلهای بر پایه آکریل آمید (متاکریل آمید)..... ۲۲
۱-۴-۱-۱-۳ هیدروژلهای بر پایه N-وینیل ۲-پیرولیدون..... ۲۳
۱-۴-۱-۱-۴ هیدروژلهای بر پایه پلی وینیل الکل..... ۲۴
۱-۴-۲ مشخصه هیدروژل..... ۲۴
۱-۴-۳ روش تهیه هیدروژل ها..... ۲۶
۱-۴-۳-۱ پلیمریزاسیون سه بعدی..... ۲۷
۱-۴-۳-۱-۱ پلیمریزاسیون مونومرهای گروه آکریل آمید..... ۲۷
۱-۴-۳-۲ پلیمریزاسیون پیوندی..... ۲۹
۱-۴-۴ خصوصیات شیمیایی و فیزیکی هیدروژلها..... ۲۹
۱-۵ فیلتراسیون غشایی..... ۳۲
۱-۵-۱ غشاء..... ۳۵
۱-۵-۲ انواع جریانهای موجود در فرآیندهای غشایی..... ۳۶
۱-۵-۳ تقسیم بندی غشاها..... ۳۶
۱-۵-۳-۱ تقسیم بندی بر اساس مکانیسم حاکم بر جداسازی..... ۳۶
۱-۵-۳-۲ تقسیم بندی بر اساس جنس غشاء..... ۳۶
۱-۵-۳-۲-۱ غشاهای پلیمری..... ۳۷
۱-۵-۳-۲-۲ غشاهای مایع..... ۳۷
۱-۵-۳-۲-۳ غشاهای سرامیکی..... ۳۸
۱-۵-۳-۲-۴ غشاهای فلزی..... ۳۸

۱-۵-۳-۳ تقسیم بندی بر اساس شکل هندسی غشاء..... ۳۹
۱-۵-۳-۴ تقسیم بندی بر اساس ساختار غشاء..... ۳۹
۱-۶ انتخاب سیستم جذب آرسنیک..... ۴۰
فصل دوم..... ۴۱
۲-۱ مقدمه..... ۴۲
۲-۲ مواد مورد استفاده..... ۴۲
۲-۳ تجهیزات مورد استفاده..... ۴۳
۲-۴ تهیه هیدروژل و بررسی خواص آن..... ۴۴
۲-۴-۱ تهیه هیدروژل..... ۴۴
۲-۴-۲ بررسی خواص تورمی هیدروژل..... ۴۷
۲-۴-۳ بررسی خواص جذبی هیدروژل..... ۴۸
۲-۴-۴ اندازه گیری میزان آرسنیک با روش جذی اتمی هیدریدی..... ۴۹
۲-۴-۴-۱ مواد شیمیایی..... ۴۹
۲-۴-۴-۲ تهیه محلولها..... ۵۰
۲-۴-۴-۳ آماده سازی استانداردها و نمونه ها..... ۵۱
۲-۴-۵ تهیه نانو کامپوزیت هیدروژل..... ۵۵
۲-۴-۶ بررسی ساختار هیدروژل و نانو کامپوزیت هیدروژل سنتز شده..... ۵۶
۲-۴-۶-۱ پراش پرتو X..... ۵۶
۲-۴-۶-۲ روش طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR)..... ۵۷
۲-۴-۶-۳ روش میکروسکوپ الکترون روبشی (SEM)..... ۵۷

فصل سوم.....۵۹

۳-۱ نتایج تورم دینامیک و تعادلی هیدروژل.....۶۰

۳-۲ انتخاب ترکیب درصد بهینه برای ماده زمینه نانوکامپوزیت هیدروژل.....۷۱

۳-۳ بررسی نتایج جذب یون آرسنیک از ساختار نانو کامپوزیت هیدروژل.....۷۳

۳-۳-۱ اثر درصد وزنی نانو ذرات کلینوپتیلولیت بر جذب یون آرسنیک.....۷۳

۳-۳-۲ اثر درصد وزنی نانو ذرات کلینوپتیلولیت تصحیح شده توسط فعال کننده سطحی کاتیونی بر جذب یون آرسنیک.....۷۳

۳-۳-۳ اثر درصد وزنی نانو ذرات مونت موریلونیت بر جذب یون آرسنیک (نانو رس).....۷۵

۳-۳-۴ اثر درصد وزنی نانو ذرات اکسید سریم (IV) بر جذب یون آرسنیک.....۷۶

۳-۴ نتایج تورم دینامیک و تعادلی نانو کامپوزیت هیدروژل.....۷۷

۳-۴-۱ اثر درصد وزنی نانو ذرات کلینوپتیلولیت و کلینوپتیلولیت تصحیح شده.....۷۷

۳-۴-۲ تاثیر درصد وزنی نانو ذرات مونت مورینولیت (نانو رس).....۷۹

۳-۴-۳ تاثیر درصد وزنی نانو ذرات اکسید سریم (IV).....۸۰

۳-۵ بررسی تاثیر pH بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل.....۸۱

۳-۵- ۱ تاثیر pH بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی.....۸۱

۳-۵-۲ تاثیر pH بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده(SMZ).....۸۲

۳-۵-۳ تاثیر pH بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی (رسی).....۸۳

۳-۵-۴ تاثیر pH بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV).....۸۵
۳-۶ بررسی تاثیر غلظت بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل.....۸۵
۳-۶-۱ اثر تغییر غلظت بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی.....۸۶
۳-۶-۲ اثر تغییر غلظت بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده (SMZ).....۸۷
۳-۶-۳ اثر تغییر غلظت بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی.....۸۸
۳-۶-۴ اثر تغییر غلظت بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV).....۸۹
۳-۷ بررسی ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل.....۹۰
۳-۷-۱ بررسی ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی.....۹۱
۳-۷-۲ بررسی ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده (SMZ).....۹۳
۳-۷-۳ بررسی ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانو مونت موریلونیت هیدروژل.....۹۵
۳-۷-۴ بررسی ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانو اکسید سریم (IV) هیدروژل.....۹۷
۳-۸ بررسی سینتیک جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل.....۱۰۰
۳-۸ -۱ بررسی سینتیک درجه اول کاذب جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل.....۱۰۲

۳-۸ -۲ بررسی سینتیک درجه دوم کاذب جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل.....۱۰۴
۳-۹ بررسی ریز ساختار و مورفولوژی هیدروژل / نانوکامپوزیت سنتز شده.....۱۰۶
۳-۹-۱ شناسایی توسط الگوی پراش اشعه ایکس (XRD).....۱۰۶
۳-۹-۱-۱ بررسی الگوی XRD نانو ذرات کلینوپتیلولیت و نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیت.....۱۰۷
۳-۹-۱-۲ بررسی الگوی XRD نانو ذرات کلینوپتیلولیت تصحیح شده و نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده.....۱۰۸
۳-۹-۱-۳ بررسی الگوی XRD نانو ذرات مونت موریلونیت و نانو کامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی (رسی).....۱۱۰
۳-۹-۱-۴ بررسی الگوی XRD نانو ذرات اکسید سریم (IV) و نانو کامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV).....۱۱۱
۳-۹-۲ شناسایی توسط طیف مادون قرمز.....۱۱۲
۳-۹-۲-۱ بررسی طیف مادون قرمز هیدروژل بهینه (هیدروژل ۳).....۱۱۲
۳-۹-۲-۲ بررسی طیف مادون قرمز نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی یا ۱٪ وزنی کلینوپتیلولیت.....۱۱۳
۳-۹-۲-۳ بررسی طیف مادون قرمز نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده یا ۲٪ وزنی SMZ.....۱۱۴
۳-۹-۲-۴ بررسی طیف مادون قرمز نانو کامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی (رسی) یا ۲٪ وزنی مونت موریلونیت.....۱۱۵

۳-۹-۳ شناسایی توسط آنالیز SEM (تصاویر میکروسکوپ الکترونی)..... ۱۱۶
۳-۹-۳-۱ بررسی آنالیز SEM یا تصاویر میکروسکوپ الکترونی از پودر نانومتری کلینوپتیلولیت و نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی..... ۱۱۶
۳-۹-۳-۲ بررسی آنالیز SEM یا تصاویر میکروسکوپ الکترونی از پودر نانومتری کلینوپتیلولیت تصحیح شده و نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده..... ۱۱۸
۳-۹-۳-۳ بررسی آنالیز SEM یا تصاویر میکروسکوپ الکترونی از پودر نانومتری کلینوپتیلولیت تصحیح شده و نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده..... ۱۱۹
۳-۹-۳-۴ بررسی آنالیز SEM یا تصاویر میکروسکوپ الکترونی از پودر نانومتری اکسید سریم (IV) و نانو کامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV)..... ۱۲۱
فصل چهارم..... ۱۲۳
پیشنهادات..... ۱۲۵
منابع و مراجع..... ۱۲۶

فهرست اشکال

عنوان.....صفحه

شکل ۱-۱ شمای یک واحد غشایی.....۳۵

شکل ۲-۱ نمایی از دستگاه جذب اتمی مدل VARIAN.....۴۹

شکل ۳-۱ میزان جذب آب هیدروژل ۱ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف.....۶۱

شکل ۳-۲ میزان جذب آب هیدروژل ۲ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف.....۶۱

شکل ۳-۳ میزان جذب آب هیدروژل ۳ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف ۶۲

شکل ۳-۴ میزان جذب آب هیدروژل ۴ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف..... .....۶۲

شکل ۳-۵ میزان جذب آب هیدروژل ۵ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف.....۶۳

شکل ۳-۶ میزان جذب آب هیدروژل ۶ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف.....۶۳

شکل ۳-۷ میزان جذب آب هیدروژل ۷ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف.....۶۴

شکل ۳-۸ میزان جذب آب هیدروژل ۸ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف..... ۶۴
شکل ۳-۹ میزان جذب آب هیدروژل ۹ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف..... ۶۵
شکل ۳-۱۰ میزان جذب آب هیدروژل ۱۰ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف..... ۶۵
شکل ۳-۱۱ میزان جذب آب هیدروژل ۱۱ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف..... ۶۶
شکل ۳-۱۲ میزان جذب آب هیدروژل ۱۲ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف..... ۶۶
شکل ۳-۱۳ میزان جذب آب هیدروژل ۱۳ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف..... ۶۷
شکل ۳-۱۴ میزان جذب آب هیدروژل ۱۴ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف..... ۶۷
شکل ۳-۱۵ میزان جذب آب هیدروژل ۱۵ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف..... ۶۸
شکل ۳-۱۶ میزان جذب آب هیدروژل ۱۶ بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف..... ۶۸
۳-۱۷ مقایسه درصد جذب یون آرسنیک توسط هیدروژل های تهیه شده جهت تعیین هیدروژل بهینه..... ۷۲

۳-۱۸ اثر درصد وزنی نانو ذرات کلینوپتیلولیت بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل.....۷۴
۳-۱۹ اثر درصد وزنی نانو ذرات کلینوپتیلولیت تصحیح شده بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل.....۷۵
۳-۲۰ اثر درصد وزنی نانو ذرات مونت موریلونیت بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت.....۷۶
۳-۲۱ اثر درصد وزنی نانو ذرات اکسید سریم (IV) بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل.....۷۷
شکل ۳-۲۲ میزان جذب آب نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف.....۷۸
شکل ۳-۲۳ میزان جذب آب نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف.....۷۹
شکل ۳-۲۴ میزان جذب آب نانو کامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی (رسی) بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف.....۸۰
شکل ۳-۲۵ میزان جذب آب نانو کامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV) بر حسب گرم آب به ازای گرم ژل خشک در بازه های زمانی مختلف.....۸۰
۳-۲۶ تاثیر pH بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کلینوپتیلولیت هیدروژل.....۸۲
۳-۲۷ تاثیر pH بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کلینوپتیلولیت هیدروژل تصحیح شده(SMZ).....۸۳

۳-۲۸ تاثیر pH بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی.....۸۴
۳-۲۹ تاثیر pH بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV).....۸۵
۳-۳۰ تاثیر تغییر غلظت بر جذب یون آرسنیک توسط نانوکامپوزیت هیدروژل زئولیتی.....۸۷
۳-۳۱ تاثیر تغییر غلظت بر جذب یون آرسنیک توسط نانوکامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده (SMZ).....۸۸
۳-۳۲ تاثیر تغییر غلظت بر جذب یون آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیت.....۸۹
۳-۳۳ تاثیر تغییر غلظت بر جذب یون آرسنیک توسط نانوکامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV).....۹۰
۳-۳۴ اثر غلظت های مختلف آرسنیک بر ظرفیت جذب آن توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی.....۹۲
۳-۳۵ ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی بر اساس مدل لانگمیر (pH= ۱/۶۶).....۹۳
۳-۳۶ ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانوکامپوزیت هیدروژل زئولیتی بر اساس مدل فروندلیچ (pH= ۱/۶۶).....۹۳
۳-۳۷ اثر غلظت های مختلف آرسنیک بر ظرفیت جذب آن توسط نانوکامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده(SMZ).....۹۴

۳-۳۸ ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده (SMZ) بر اساس مدل لانگمیر (pH= ۱/۶۶)..... ۹۵
۳-۳۹ ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده (SMZ) بر اساس مدل فروندلیچ (pH= ۱/۶۶)..... ۹۵
۳-۴۰ اثر غلظت های مختلف آرسنیک بر ظرفیت جذب آن توسط نانو کامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی..... ۹۶
۳-۴۱ ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی بر اساس مدل لانگمیر (pH= ۱/۶۶)..... ۹۶
۳-۴۲ ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی بر اساس مدل فروندلیچ (pH= ۱/۶۶)..... ۹۷
۳-۴۳ اثر غلظت های مختلف آرسنیک بر ظرفیت جذب آن توسط نانو کامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV)..... ۹۸
۳-۴۴ ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV) بر اساس مدل لانگمیر (pH= ۱/۶۶)..... ۹۹
۳-۴۵ ایزوترم جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV) بر اساس مدل فروندلیچ (pH= ۱/۶۶)..... ۹۹
۳-۴۶ سینتیک درجه اول کاذب جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی..... ۱۰۲
۳-۴۷ سینتیک درجه اول کاذب جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده (SMZ)..... ۱۰۳

۳-۴۸ سینتیک درجه اول کاذب جذب آرسنیک توسط نانوکامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی.....۱۰۳
۳-۴۹ سینتیک درجه اول کاذب جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV).....۱۰۳
۳-۵۰ سینتیک درجه دوم کاذب جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی.....۱۰۴
۳-۵۱ سینتیک درجه دوم کاذب جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده (SMZ).....۱۰۵
۳-۵۲ سینتیک درجه دوم کاذب جذب آرسنیک توسط نانوکامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی.....۱۰۵
۳-۵۳ سینتیک درجه دوم جذب آرسنیک توسط نانو کامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV).....۱۰۵
۳-۵۴ الگوی XRD از الف) نانو ذرات کلینوپتیلولیت ب) نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی.....۱۰۸
۳-۵۵ الگوی XRD از الف) نانو ذرات کلینوپتیلولیت تصحیح شده (SMZ) ب) نانو کامپوزیت هیدروژل زئولیتی تصحیح شده.....۱۰۹
۳-۵۶ الگوی XRD از الف) نانو ذرات مونت موریلونیت ب) نانو کامپوزیت هیدروژل مونت موریلونیتی (رسی).....۱۱۱و۱۱۰
۳-۵۷ الگوی XRD از الف) نانو ذرات اکسید سریم (IV) ب) نانو کامپوزیت هیدروژل اکسید سریم (IV).....۱۱۲