



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



بررسی عملکرد مدل یان برای مدل سازی اثر pH و نرخ جریان بر حذف نیترات با استفاده از ستون های زئولیت اصلاح شده

زهرا باقری خلیلی

دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

Zahrabagheri587@gmail.com

محمدعلی غلامی سفیدکوهی

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

Magholamis@yahoo.com

مجتبی خوش روش

استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

khoshravesht_m24@yahoo.com

جمال عباس پلنگی

دانشجوی دکترا آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

jamalpalangi@yahoo.com

خلاصه

آلودگی منابع آبی به یون نیترات یکی از مهم ترین مسائل بهداشتی و زیست محیطی که در حال حاضر جهان با آن روبرو است. یکی از منابع اصلی ورود نیترات به محیط زیست، زه آب کشاورزی می باشد. در این پژوهش امکان حذف نیترات از زه آب کشاورزی با استفاده از ستون های بستر ثابت از زئولیت اصلاح شده مطالعه و کارایی مدل یان در پیش بینی منحنی شکست ارزیابی شد. برای بررسی اثر pH و نرخ جریان بر جذب نیترات به وسیله زئولیت اصلاح شده به صورت پیوسته، از ستون های پی وی سی با قطر اسمی ۶۳ میلی متر و ارتفاع ۵۵ سانتی متر به عنوان راکتورهای با جریان بالا رونده و بستر ثابت استفاده شد. زه آب کشاورزی با غلظت ۸۰ میلی گرم بر لیتر نیترات، به صورت مصنوعی با حل کردن نمک پتاسیم نیترات در آب مقطر در آزمایشگاه تهیه شد. با توجه به پارامترهای آماری (RMSE و R²)، مدل یان تغییرات نرخ جریان را بهتر از تغییرات pH پیش بینی نموده و در مجموع توانسته منحنی رخنه برای جذب نیترات از زئولیت اصلاح شده را با دقت نسبتاً قابل قبول توصیف کند.

کلمات کلیدی: نیترات، منحنی شکست، مدل یان، رگرسیون غیر خطی، ضریب تبیین



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی به یون نیترات همواره از سوی محققین و پژوهشگران به‌عنوان یک مسئله نگران‌کننده مطرح است. وجود بیش از حد این یون در منابع آب‌های سطحی باعث پدیده تغذیه گرایبی و در آب آشامیدنی می‌تواند سبب بیماری‌هایی نظیر کودک‌کوبی در نوزادان، سرطان معده و اختلالات تیرئید در بزرگسالان شود [۱ و ۲]

زه‌آب کشاورزی با داشتن نمک‌ها و یون‌های مختلف، عناصر کمیاب سمی و آلاینده‌های کشاورزی در خود، به‌عنوان یکی از منابع اصلی ورود نیترات به محیط‌زیست به‌شمار می‌رود. نیاز فزاینده به غذا و افزایش تولید محصولات کشاورزی و در نتیجه آن افزایش تقاضا برای آب از یک سو و اثرات منفی زه‌آب‌های کشاورزی بر زیست‌بوم‌های طبیعی و منابع آبی پذیرنده از سوی دیگر، جهانیان را بر آن داشت که در جستجوی روش‌ها و فنونی باشند که همراه با کاهش پیامدهای زیانبار و ناگوار زه‌آب‌ها، امکان استفاده مجدد از آن‌ها را برای تامین بخشی از نیازهای انسانی، فراهم آورد [۳].

نیترات یک آنیون پایدار، با حلالیت بالا می‌باشد بنابراین استفاده از فرایندهای مانند انعقاد، لخته‌سازی یا فیلتراسیون، این آلاینده را از آب حذف نخواهد کرد [۴]. فناوری‌های دیگر شامل دینتریفیکاسیون، تعویض یونی، اسمز معکوس، الکترودیالیز و جذب سطحی به‌منظور حذف نیترات مطالعه یا به‌کار برده شده است [۵]. که در این میان جذب سطحی و کاربرد جاذب‌های طبیعی و ارزان‌قیمت به دلیل سادگی طراحی، سهولت در عملیات و به‌صرفه بودن از لحاظ اقتصادی همواره مورد توجه است [۴ و ۶].

برای طراحی بهینه سیستم‌های جذب در مقیاس صنعتی لازم است تا اطلاعاتی از فرآیند جذب، مانند عملکرد جاذب و یا توانایی آن در جذب، در اختیار باشد که این اطلاعات با انجام آزمایشات جذب سطحی به‌دست خواهد آمد. فرآیند جذب سطحی معمولاً با سیستم‌های پیمانه‌ای (نایپوسته) و ستونی (پیوسته) تحت آزمایش قرار می‌گیرند. آزمایش‌ها پیمانه‌ای بسیار ساده هستند و در مقیاس تجاری و بزرگ اجرا نمی‌شوند با توجه به این محدودیت استفاده از سامانه‌های ستونی نسبت به سیستم‌های نایپوسته برتری دارد [۷]. لازمه طراحی صحیح و خالی از نقص فرآیندهای ستونی جذب سطحی، پیش‌بینی پروفیل غلظت-زمان یا همان منحنی شکست برای جریان خروجی از ستون است [۸].

از مدل‌هایی که برای مدلسازی فرآیند جذب در ستون‌های بستر ثابت استفاده می‌شود می‌توان به مدل توماس [۹]، بوهارت-آدامز [۱۰]، عمق بستر و زمان سرویس [۱۱]، یون-نلسون [۱۲] و یان [۱۳] را نام برد.

یان و همکاران در پژوهشی مدلی برای جذب فلزات سنگین به‌وسیله ستون‌هایی با جاذب بیولوژیکی، ارائه کردند که این مدل توانست منحنی رخنه در این ستون‌ها را بهتر از مدل توماس پیش‌بینی کند [۱۳]. در مطالعه‌ای دیگر جذب استرانسیم توسط جاذب آگروژل با سیستم‌های پیوسته و بستر ثابت بررسی شد. در این مطالعه نیز مدل یان نسبت به مدل توماس از تطابق بیشتری بر داده‌های آزمایشگاهی برخوردار بود [۱۴]. سیمها و همکاران در پژوهشی امکان جذب و استفاده مجدد نیتروژن از ادرار انسان را با استفاده از ستون بستر ثابت از بیوجار (کربن حاصل از پوسته نارگیل) بررسی کردند و از مدل‌هایی که برای پیش‌بینی منحنی شکست استفاده کردند مدل یان از بهترین برازش بین داده‌های پیش‌بینی شده و داده‌های تجربی برخوردار بود [۱۵].

۲- مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر از ژئولیت‌های معادن استان سمنان به‌عنوان جاذب نیترات استفاده شد. ژئولیت‌ها به اندازه ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر به وسیله الک جداسازی و به‌منظور حذف گردوغبار و یون‌های موجود در سطح ژئولیت چندین بار با آب مقطر شسته شد و در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک گردید.



شرکت آب فاضلاب کوز، پدین فن و مهندسی شهید باهنر

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



نتایج پژوهش‌های گذشته نشان داد که درصد حذف نیترات از محلول‌های آبی توسط زئولیت اصلاح‌شده ۵ تا ۲۰ برابر بیش‌تر از زئولیت طبیعی می‌باشد [۱۶ و ۱۷]. بنابراین به‌منظور اصلاح خصوصیات جذبی زئولیت‌های مورد استفاده در این پژوهش از محلول هگزادسیل‌تری‌متیل‌آمونوم بر مایند با غلظت ۲۵ میلی‌مولار استفاده شد. برای این منظور، ۴۰۰ گرم از زئولیت خام با ۱/۲ لیتر محلول اصلاحی در ارلن ۲ لیتری به مدت ۱۲ ساعت روی شیکر قرار گرفت. بعد از این مرحله زئولیت‌ها با آب مقطر شسته و در هوا خشک شد.

برای بررسی اثر pH و نرخ جریان بر جذب نیترات به‌وسیله زئولیت اصلاح‌شده به‌صورت پیوسته، از ستون‌های پی وی سی با قطر اسمی ۶۳ میلی‌متر و ارتفاع ۵۵ سانتی‌متر به‌عنوان راکتورهای با جریان بالا رونده و بستر ثابت استفاده شد. برای بررسی اثر pH بر جذب نیترات، محلول نیترات با غلظت اولیه ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر با pHهای ۴، ۶ و ۸ با نرخ جریان ۸ میلی‌لیتر بر دقیقه در ستون تزریق شد و همچنین برای بررسی اثر نرخ جریان، محلول نیترات با غلظت اولیه ۸۰ میلی‌گرم بر لیتر و pH برابر ۸ با سه نرخ جریان ۸، ۱۱ و ۱۶ میلی‌لیتر بر دقیقه به بستر زئولیت اصلاح‌شده پمپ شد. برای جلوگیری از خروج جاذب، در ابتدا و انتهای ستون از پشم شیشه استفاده شد. در تمامی آزمایش‌ها عمق بستر جاذب در ستون در ۵۰ سانتی‌متر ثابت نگه‌داشته شد. در تمام آزمایش‌ها، از خروجی ستون در فواصل زمانی معین نمونه‌برداری شد. غلظت نیترات با استفاده از روش استاندارد و دستگاه اسپکتروفتومتر مدل Cary-Eclipse اندازه‌گیری شد [۱۸].

مدل یان

مدل یان از مدل‌های مورد استفاده برای بررسی عملکرد ستون جذب می‌باشد استفاده از این مدل ممکن است خطاهای حاصل از مدل توماس را کاهش دهد، به‌خصوص در بازه‌های زمانی پایین‌تر و یا بالاتر از منحنی شکست (یان و همکاران، ۲۰۰۱). تابع ریاضی مدل یان به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{C_t}{C_0} = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{Q_0 t}{b}\right)^n} \quad (1)$$

$$q_0 = \frac{b C_0}{M} \quad (2)$$

که در آن a و b پارامترهای تجربی مدل یان، C_t غلظت خروجی نیترات در زمان t برحسب میلی‌گرم در لیتر و t زمان برحسب دقیقه، C_0 غلظت اولیه (۸۰ میلی‌گرم بر لیتر)، q_0 مقدار نیترات جذب شده به ازای واحد جرم جاذب بر حسب میلی‌گرم بر گرم، M جرم زئولیت اصلاح‌شده در ستون، Q دبی حجمی بر حسب میلی‌لیتر در دقیقه، است.

پارامترهای مدل یان با استفاده از رگرسیون غیر خطی برآورد شده است. رگرسیون غیر خطی یک روش تکراری است که در آن پارامترهای مدل بر اساس یک الگوریتم، برای به حداقل رساندن تابع خطای از پیش تعریف شده به‌عنوان تابع هدف (R^2 حداکثر شود) تعیین می‌شود [۱۹]. برای تطبیق مدل از نرم افزار متلب استفاده شد و از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R^2) برای تایید مدل و تعیین مقدار خطای برازش مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (q_{exp} - q_{cal})^2} \quad (3)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (q_{cal} - \bar{q}_{exp})^2}{\sum_{i=1}^n (q_{cal} - \bar{q}_{exp})^2 + \sum_{i=1}^n (q_{cal} - q_{exp})^2} \quad (4)$$

که در آن q_{cal} مقدار پیش‌بینی شده از مدل و q_{exp} مقدار به دست آمده از آزمایش هستند.

۳- نتایج و بحث

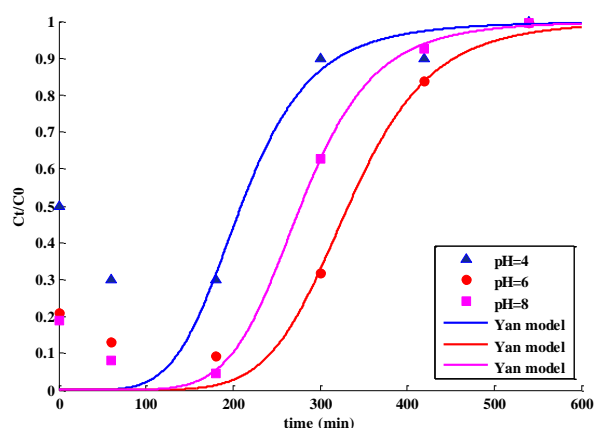
با توجه به شکل‌های ۱ و ۲ نسبت C_t/C_0 ‌های به دست آمده از شرایط مختلف، در ابتدای هر آزمایش از مقدار صفر فاصله قابل ملاحظه‌ای دارد، بنظر می‌رسد دلیل این اتفاق بزرگ بودن سائز ستون‌های جاذب می‌باشد. درحالی‌که با توجه به رابطه ۱ در مدل یان، وقتی زمان به سمت صفر میل کند، نسبت C_t/C_0 نیز به سمت صفر میل می‌کند بنابراین منحنی شکست بدست آمده از داده‌های تجربی تفاوت قابل توجهی با منحنی‌های شکست ایده‌آل حاصل از مدل یان که به شکل S هستند، دارند.

در جدول ۱ مقدار پارامترهای آماری حاصل از برازش مدل یان بر نتایج آزمایش‌ها به همراه پارامترهای دینامیکی فرآیند جذب ارائه شده است. با توجه به پارامترهای آماری مندرج در این جدول، به جز آزمایش pH برابر با ۴، به جهت بالا بودن مقادیر ضریب تبیین و همچنین مقادیر نسبتاً پایین RMSE می‌توان گفت که مدل‌سازی با دقت قابل قبول انجام شد. از مدل یان در پیش‌بینی منحنی رخنه بر طبق شکل ۳ و جدول ۱ اثر تغییرات نرخ جریان را با R^2 بین ۰/۹۴ تا ۰/۹۵ و RMSE بین ۰/۱ تا ۰/۱۲، نسبتاً خوب شبیه‌سازی نموده است اما در پژوهش‌های پیشین مقدار ضریب تبیین در برازش مدل یان بر منحنی‌های شکست بدست آمده از فرآیند جذب در ستون‌های بستر ثابت از مقدار بدست آمده در این مطالعه بیش‌تر بود [۱۳، ۱۴ و ۱۵]. در مطالعه‌ای دیگر برای پیش‌بینی منحنی شکست حاصله از این آزمایش‌ها مدل توماس برازش داده شد که مقدار R^2 و RMSE برای برازش مدل توماس به ترتیب ۰/۹۴ تا ۰/۹۷ و ۰/۰۸۵ تا ۰/۱۲ به دست آمد [۲۰]. نشان از انطباق بیش‌تر مدل توماس نسبت به مدل یان در این آزمایش‌ها می‌باشد.

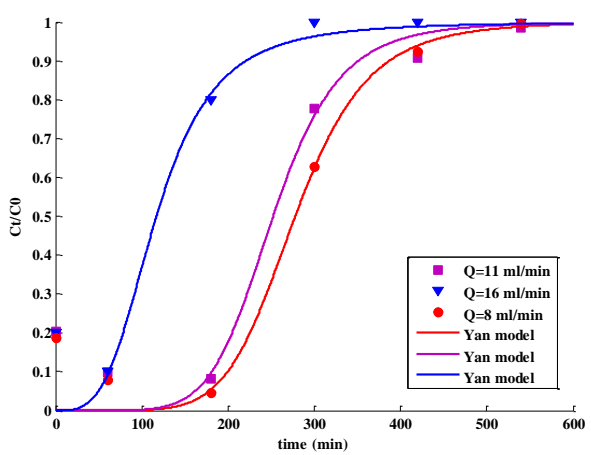
با توجه به شکل ۲ و جدول ۱، با افزایش pH از ۴ تا ۶، ظرفیت جذب نیترات (q_0) و ثابت‌های مدل یان (a و b) افزایش یافت. اما با افزایش pH از ۶ تا ۸، به دلیل افزایش یون هیدروکسید در محلول به عنوان رقیب نیترات برای جذب، ظرفیت جذب نیترات و ثابت‌های مدل یان کاهش یافت. شکل ۳ نشان می‌دهد که با افزایش نرخ جریان، ستون با شیب تندتری به اشباع می‌رسد و ثابت‌های یان کاهش می‌یابد (جدول ۱). با توجه به مدل یان بیش‌ترین ظرفیت جذب در نقطه رخنه برای ستون بستر ثابت در نرخ جریان ۱۱ میلی‌لیتر بر دقیقه اتفاق افتاد و با کم شدن نرخ جریان ظرفیت جذب کاهش پیدا کرد، ماسکوم و همکاران (۲۰۱۱) دلیل کم شدن ظرفیت جذب در نرخ جریان کمتر را افزایش مقاومت در مقابل انتقال جرم بیان کردند [۲۱]. به دلیل زیاد شدن سرعت جریان و کم شدن زمان تماس در نرخ جریان ۱۶ میلی‌لیتر بر دقیقه، مدل یان کاهش ظرفیت جذب در زئولیت اصلاح‌شده را نشان می‌دهد که با نتیجه پژوهش گالی و یویدحیایولا (۲۰۱۶) مطابقت دارد [۲۲].

جدول ۱- شاخص‌های آماری و پارامترهای دینامیکی مدل یان برای جذب نیترات توسط زئولیت اصلاح شده

pH	Q(ml/min)	b (ml)	a	q_0 (mg/g)	RMSE	R^2
۴	۸	۱۶۷۶/۵۶	۵/۱۹۳	۰/۱۲۲	۰/۲۹۴۱	۰/۳۳
۶	۸	۲۶۶۲/۲۳	۷/۰۳۴	۰/۱۹۴	۰/۱۳۰۴	۰/۹۱
۸	۸	۲۲۲۳/۲۵	۶/۶۱۹	۰/۱۶۲	۰/۱۰۲۳	۰/۹۵
۸	۱۱	۲۷۷۶/۶۱	۶/۶۳۳	۰/۲۰۲	۰/۱۱۷۷	۰/۹۴
۸	۱۶	۱۸۷۲/۸۰	۳/۴۴۹	۰/۱۳۶	۰/۱۰۲۳	۰/۹۵



شکل ۱- اثر pH های مختلف بر میزان حذف نیترات در ستون بستر ثابت زئولیت اصلاح شده



شکل ۲- اثر نرخ جریان بر میزان حذف نیترات در ستون با بستر ثابت زئولیت اصلاح شده

۴- نتیجه گیری

زمان رخنه و اشباع با کاهش نرخ جریان افزایش می یابد و با افزایش نرخ جریان، ستون با شیب تندتری به زمان اشباع می رسد. نتایج بررسی منحنی های شکست به منظور تحلیل تاثیر پارامترهایی مانند pH و نرخ جریان نشان می دهد که منحنی های شکست بدست آمده در ستون های بزرگ مقیاس، تفاوت قابل توجهی با منحنی های شکست ایده آل که به شکل S هستند، دارند. با وجود اینکه مدل یان برای جذب فلزات سنگین در ستون بستر ثابت توسعه پیدا کرد، توانایی قابل قبولی برای پیش بینی فرایند جذب نیترات در ستون های



اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



بستر ثابت از خود نشان داده است اما مدل بان نسبت به مدل توماس برای پیش‌بینی منحنی رخنه برای این آزمایش‌ها دارای خطای بیش‌تری است. با توجه به پارامترهای آماری (R^2 و RMSE) مدل بان تغییرات نرخ جریان را بهتر از تغییرات pH پیش‌بینی نموده و در مجموع توانسته منحنی رخنه برای جذب نیترات از زئولیت اصلاح شده را با دقت نسبتاً قابل قبول توصیف کند.

۵- مراجع

۱. سلیمانی، م.، انصاری، آ.، حاج عباسی، م. ع. و عابدی کوپایی، ج. ۱۳۸۷. بررسی حذف نیترات و آمونیم از آبهای زیرزمینی با استفاده از فیلترهای کانساری. مجله آب و فاضلاب، ۶۷: ۱۸-۲۶.
۲. ملکوتیان، م.، یغمایان، ک.، طاهرگورابی، م. ۱۳۹۰. بررسی کارایی حذف نیترات در آب شرب با استفاده از نانوذره آهن و تعیین شرایط بهینه. مجله طلوع بهداشت، ۱۰(۲): ۴۴-۳۵.
۳. کیانی، ه.، شامحمدی، ش.، سلیمیان، ن.، سیدین بروجنی، س. س.، انصاری، ف. ۱۳۹۰. مدلسازی و جذب ستونی منگنز از محلول آبی با استفاده از ماسه بادی دشت سیستان. یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان.
4. Bhatnagar A. and Sillanpää M. (2011). A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water. Chem. Eng. J. 168:493-504.
5. Kapoor, A. & Viraraghavan, T. (1997). "Nitrate removal from drinking water-review", Journal Environmental Engineering, 123(4), 371-380.
6. Khan A.M., Ahn Y., Kumar M., Lee W., Min B., Kim G., Cho D., Park W.B. and Jeon B. (2011). Adsorption studies for the removal of nitrate using modified lignite granular activated carbon. Sep. Sci. Technol 46:2575-2584.
۷. پهلوان زاده ح. و زارع نژاداشکذری ح. ر. ۱۳۹۲. فلوراید زدایی از آب آشامیدنی با ستون جذب بستر ثابت با استفاده از جاذب ارزان قیمت بوکسیت. نشریه شیمی و مهندسی شیمی ایران، ۳۲(۱): ۲۴-۱۷.
8. Thomas, H. C. (1994). "Heterogeneous ion exchange in following system." J. Am. Chem. Sec., 66, 1646-1664.
9. Thomas, H. C. (1948). Chromatography: a problem in kinetics. Annals of the New York Academy of Sciences, 49(1), 161-182.
10. Bohart, G. S., & Adams, E. Q. (1920). Some aspects of the behavior of charcoal with respect to chlorine. Journal of the Franklin Institute, 189(5).
11. Hutchins, R. A. (1973). New method simplifies design of activated-carbon systems. Chemical Engineering, 80(19), 133-138.



شرکت آب و فاضلاب کور، پدین فن و مهندسی شهید باهنر

اولین همایش ملی مدیریت مصرف و هدررفت آب

1st National Conference on
Water Loss & Consumption Management

۲۸ و ۲۹ آذرماه ۱۳۹۶



12. Yoon, Y. H., & Nelson, J. H. (1984). Application of gas adsorption kinetics I. A theoretical model for respirator cartridge service life. The American Industrial Hygiene Association Journal, 45(8), 509-516.

13. Yan, G., Viraraghavan, T., & Chen, M. (2001). A new model for heavy metal removal in a biosorption column. Adsorption Science & Technology, 19(1), 25-43.

۱۴. شمس‌الدین، م، نصیری زرنندی، م، فضلی، م، حقیقین، ک. ۱۳۹۳. حذف استرانسیم (II) از محلول آبی به روش جذب سطحی توسط آگروژل حاصل از TEOS: بررسی سیستم ناپیوسته و ستون با بستر ثابت. مجله علمی-پژوهشی شیمی کاربردی، ۹(۳۳):

15. Simha, P., Zabaniotou, A., & Ganesapillai, M. (2017). Continuous urea–nitrogen recycling from human urine: A step towards creating a human excreta based bio–economy. Journal of Cleaner Production, 1-10.

۱۶. مسلمی کوچصفهانی، م، نوابیان، م، و اسمعیلی ورکی، م. ۱۳۹۱. مقایسه کارایی زئولیت طبیعی و زئولیت اصلاح شده در کاهش نترات از آب های آلوده، ششمین همایش ملی مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران، آبان ماه.

17. Guan, H., Bestland, E., Zhu, C., Zhu, H., Albertsdottir, D., Hutson, J., Simmons, C.T., Ginic-Markovic, M., Tao, X., & Ellis, A. V. (2010). Variation in performance of surfactant loading and resulting nitrate removal among four selected natural zeolites. *Journal of hazardous materials*, 183(1), 616-621.

18. Rangel-Mendez, J. R., Barrios, V. A. E., & Davila-Rodriguez, J. L. 2010. Chitin based biocomposites for removal of contaminants from water: A case study of fluoride adsorption. In Biopolymers. InTech.

19. Ho YS. 2006. Second-order kinetic model for the sorption of cadmium onto tree fern: a comparison of linear and non-linear methods. *Water Res*;40:119–25 .

۲۰. باقری خلیلی، ز، غلامی سفیدکوهی، م. ع، خوش‌روش، م، عباس پلنگی، ج. ۱۳۹۶. ارزیابی کارایی مدل توماس برای مدل سازی اثر pH و نرخ جریان بر حذف نترات از ستون با بستر ثابت. دومین همایش ملی مدیریت منابع آب نواحی ساحلی، ساری.

21. Masukume M., Eskandarpour A., Maurice S.O., Ochieng A., and Otieno F. (2011). Treating high nitrate groundwater using Surfactant modified zeolite in fixed bed column. *Separation Science and Technology* 46(7):1131-1137.

22. Golie, W. M., & Upadhyayula, S. 2016. Continuous fixed-bed column study for the removal of nitrate from water using chitosan/alumina composite. *Journal of Water Process Engineering*. 12: 58-65.