

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و یکم، شماره پنج، مردادماه ۹۸

بررسی آزمایشگاهی کارایی جاذب‌های زیستی بر جذب نیترات از محلول‌های آبی

کرامت اخوان گیگلو^{*۱}

Akhavan120@yahoo.com

علی شاهنظری^۲

بهمن یار قلی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۵/۵/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: امروزه توسعه کشت آبی با محدودیت منابع آب کشاورزی مواجه می‌باشد. با شدت یافتن مشکل کمبود آب، اهمیت استفاده از پساب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی روزبه‌روز بیش‌تر می‌گردد. این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی به‌منظور مطالعه کارایی جاذب‌های زیستی در جذب نیترات در محیط‌های آبی برای استفاده به‌عنوان فیلتر زیستی به‌منظور تصفیه زه آب کشاورزی با استفاده از سبوس برنج، کاه و کلش گندم، خاکاره و ساقه پنبه انجام گرفت.

روش بررسی: جاذب‌ها ابتدا با آب مقطر به‌خوبی شست‌وشو، سپس خشک‌شده، به‌وسیله آسیاب خرد و از الک استاندارد با مش ۳۰ عبور داده شد و پودری یکنواخت از نمونه‌های جاذب به دست آمد. جهت تهیه غلظت‌های موردنیاز، محلول نیترات با اضافه کردن مقدار معینی از نیترات پتاسیم به آب مقطر تهیه گردید. برای هر یک از جاذب‌های زیستی، میزان جذب نیترات در زمان‌های مختلف برای تعیین زمان تعادل، تعیین PH بهینه جذب و وزن‌های مختلف جاذب به‌منظور تعیین مقدار مناسب جاذب با دستگاه اسپکتروفتومتر مورداندازه‌گیری قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بین جاذب‌های زیستی در جذب نیترات اختلاف معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۹٪ وجود داشت و این جاذب‌ها به‌طور معنی‌داری میزان نیترات محلول‌های آبی را کاهش دادند. در هر چهار جاذب میزان جذب نیترات در زمان‌های مورد مطالعه (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار بود. نتایج حاصل از تعیین میزان جاذب مناسب برای داشتن حداکثر کارایی نشان داد که مناسب‌ترین میزان جاذب، برای هر چهار جاذب مورد مطالعه، ۱ گرم در ۴۰ میلی‌لیتر محلول به دست آمد و با کاهش مقدار جاذب کارایی جاذب‌ها نیز کاهش می‌یابد. بررسی مدل‌های ایزوترم نیز نشان داد ضرایب همبستگی مدل ایزوترم لانگمویر در همه جاذب‌ها بیش‌تر از مدل ایزوترم فرنلیچ می‌باشد بنابراین مدل ایزوترم لانگمویر برای پیش‌بینی جذب نیترات از محیط آبی توسط جاذب‌های مورد مطالعه مناسب‌تر می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری: جاذب‌های گیاهی به‌طور معنی‌داری میزان نیترات محلول آبی را کاهش می‌دهند. برای جذب جاذب‌های زیستی مورد مطالعه می‌توان از مدل لانگمویر به‌عنوان ایزوترم جذب استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: ایزوترم، جاذب زیستی، محلول آبی، نیترات.

۱- دکتری گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری* (مسوول مکاتبات)

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

۳- استادیار پژوهشی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

Laboratory Study on Efficiency of Bioadsorbents for the Removal of Nitrate from Aqueous Solutions

Karamat Akhavan Giglou^{1*}

Akhavan120@yahoo.com

Ali Shahnazari²

Bahman Yargholi³

Admission Date: January 4, 2017

Date Received: August 7, 2016

Abstract

Background and Objective: Today, development of irrigated lands is faced with limited resources. With the increased water scarcity, the importance of using municipal, industrial and agricultural wastewater is increasing. This study was conducted on laboratory scale to investigate the efficiency of some bioadsorbents (rice husks, wheat straw, woodchips and cotton stalks) in removing nitrate from aqueous solutions and their application as bio filters in agricultural wastewater treatment.

Method: First, adsorbents were well-washed with distilled water, dried and crushed by the mill, and percolated through a standard sieve mesh 30 to obtain uniform powder from the adsorbent samples. In order to prepare the required concentrations, nitrate solution was added to the distilled water with certain amount of potassium nitrate. For each bioadsorbent, a spectrophotometer was used to measure the extent of nitrate removal at contact periods in order to determine the periods required to reach equilibrium, the optimum pH values of adsorbents, and the suitable concentrations of adsorbents.

Findings: Results indicated the significant differences at the confidence level of 99% among the adsorbents in removing nitrate and these adsorbents significantly reduced the nitrate in aqueous solutions. In the four adsorbents, the nitrate removal rates at the studied contact periods (5, 10, 20, 30, 60 and 90 minute) were statistically significant at the confidence level of 99%. Results from determining the suitable concentrations of the four studied adsorbents to reach the maximum efficiency showed that 1 g in 40 ml solution was the most suitable concentration. Moreover, reduction in the adsorbents amounts reduced their efficiencies. Study of isotherm models indicated that for all the studied adsorbents correlation coefficients in Langmuir's isotherm model were higher compared to Friedrich isotherm model. Therefore, Langmuir isotherm model was more suitable for predicting nitrate removal from aqueous solutions by bioadsorbents.

Discussion and Conclusion: Plant adsorbents significantly reduce the amount of nitrate in aqueous solution. In this study, Langmuir model can be used as an adsorption isotherm for adsorption of the bioadsorbents.

Keywords: Adsorbent, Aqueous solution, Bioadsorbent, Nitrate.

1-Ph.D Student., Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
* (Corresponding Author)

2-Associate Prof., Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3-Associate Prof., Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

مقدمه

اتمها و یا مولکولهای موجود در یک مایع یا گاز در تمامی یا یک سطح جامد است. در عملیات جذب سطحی انتقال یک جز از فاز گاز یا مایع به سطح جامد صورت می گیرد (۱۶). در عمل جذب سطحی نیروهای مختلفی اعم از فیزیکی و شیمیایی موثرند و مقدار آن بستگی به طبیعت ماده جذب شونده و جسم جاذب دارد (۱۷ و ۱۸).

از مطالعات مهم فرآیند جذب، مطالعه سینتیک^۲ جذب است که از طریق سازوکار جذب با زمان نشان داده می شود (۱۹ و ۲۰). نتایج حاصل از بررسی کارایی خاکستر هسته خرما در حذف نیترات از محلول های آبی نشان داد خاکستر هسته خرما جاذب طبیعی و ارزان قیمتی است که می توان از آن برای حذف آلاینده های محیط زیستی استفاده کرد (۲۱). جذب سطحی یکی از فرآیندهای مهم حذف آلودگی های محیط زیستی است (۲۲). انواع جذب سطحی را می توان در دو دسته جذب سطحی فیزیکی و جذب سطحی شیمیایی تقسیم نمود. که در شرایط مختلف این سازوکارها و یا ترکیبی از این دو با درصد های مختلف بر میزان جذب تأثیر دارند (۲۳).

به طور کلی، دو نوع ایزوترم مهم جذب سطحی وجود دارد:

الف- ایزوترم جذب سطحی لانگمویر^۳

ایزوترم جذب لانگمویر توسط ایروین لانگمویر در سال ۱۹۱۶ ارائه گردیده است. لانگمویر این مدل را برای پدیده جذب سطحی و به خصوص پدیده جذب سطحی شیمیایی ارائه کرد و توانست به توضیح نظری ساده ولی مهمی درباره ی منحنی همدمای جذب سطحی دست یابد. وی فرض کرد هیچ برهم کنشی بین مولکول های جذب شده وجود ندارد و جاذب نیز سطحی یکنواخت دارد. او همچنین فرض کرد مولکول ها در مکان های خود ثابت هستند و تنها یک لایه از مولکول ها در جذب شرکت می کنند. (این دو فرض از خواص جذب سطحی شیمیایی هستند) ایزوترم جذب سطحی لانگمویر کاربردی تر و رایج تر از ایزوترم فروندلیش است. زیرا هم امکان بهینه کردن

امروزه توسعه کشت آبی با محدودیت منابع آب کشاورزی مواجه می باشد. با حادث شدن روزافزون مشکل کمبود آب، اهمیت استفاده مجدد از پساب های شهری، صنعتی و کشاورزی روز به روز بیشتر می گردد. تا جایی که در بعضی از کشورها به دلیل محدود بودن منابع، استفاده از پساب ها به اندازه تأمین آب از منابع آب های سطحی و زیرزمینی اهمیت یافته است (۱). به علت حلالیت بالای نیترات در آب و بار منفی آن، امکان گسترش آلودگی ناشی از نیترات در آب های زیرزمینی در سرتاسر جهان وجود دارد که این مسئله باعث ایجاد اختلال و مشکلات محیط زیستی می گردد (۲ و ۳). نیترات یکی از مهم ترین آلاینده ها بوده که با توجه به حلالیت بالای آن خارج کردن آن از آب به عنوان فرآیند بسیار پرهزینه محسوب می شود (۴). در طبقه بندی های انجام شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست، نیترات در ردیف آلاینده هایی قرار دارد که به سختی تصفیه می شود (۵). در اثر استفاده زیاد از کودهای ازته در بخش کشاورزی، مقدار نیترات در آب های سطحی و زیرزمینی در حال افزایش است (۶). یون نیترات حلالیت بالایی در آب دارد و به راحتی به درون خاک و آب های زیرزمینی نفوذ می کند (۷). سازمان جهانی بهداشت^۱ حداکثر مجاز نیترات در آب شرب را ۵۰ میلی گرم در لیتر برحسب نیترات در نظر گرفته است (۸ و ۹). سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده (EPA) حداکثر سطح آلاینده نیترات را در آب آشامیدنی ۱۰ میلی گرم در لیتر اعلام کرده است (۱۰). روش های حذف نیترات شامل تبادل یونی، اسمز معکوس (۱۱)، الکترو دیالیز (۱۲)، انعقاد الکتریکی، فاز فیلتراسیون و کاهش شیمیایی می باشد (۱۳). باین حال هر یک از روش ها به دلیل ویژگی های خاص خود دارای محدودیت هایی هستند. امروزه استفاده از فرآیند جذب سطحی و فناوری نانو به دلیل ویژگی های منحصر به فرد نانو ذرات در مقایسه با جاذب های متداول برای حذف برخی از آلاینده ها از جمله یون نیترات از منابع آبی رو به افزایش است (۱۴ و ۱۵). فرآیند جذب سطحی، فرآیند جذب

2- Kinetics
3- Langmuir

1- World Health Organization(WHO)

منظور جاذب‌ها ابتدا با آب مقطر به‌خوبی شست‌وشو شده و به‌منظور خشک‌کردن، به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شد سپس نمونه‌های خشک‌شده به‌وسیله آسیاب خرد و از الک استاندارد با مش ۳۰ عبور داده شد و پودری یکنواخت از نمونه‌های جاذب به دست آمد (شکل‌های ۱ و ۲). تهیه غلظت‌های موردنیاز، محلول نیترات با اضافه کردن مقدار معینی از نیترات پتاسیم تهیه‌شده از شرکت مرک آلمان به آب مقطر انجام گرفت.

تعیین شرایط بهینه (pH، زمان تعادل و غلظت جاذب):

الف) زمان تعادل: برای تعیین زمان تعادل، ۴۰ میلی‌لیتر از محلول نیترات با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر را در ظرف بشو ۳۰۰ میلی‌لیتری ریخته، سپس نیم گرم جاذب به محلول اضافه کردیم و نمونه‌ها در مدت‌زمان‌های متفاوت (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) در دمای محیط به‌وسیله شیکر تکان داده شدند و پس از آن به‌وسیله کاغذ صافی واتمن ۴۲، جاذب جداشده سپس با قرائت میزان جذب نوری محلول صاف‌شده در دستگاه اسپکتروفتومتر^۲ میزان غلظت نیترات محلول تعیین گردید.

ب) تعیین pH بهینه: ۴۰ میلی‌لیتر از محلول نیترا ته با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر با pH های ۳، ۴، ۶، ۷ و ۸ را در ظرفی ریخته، سپس نیم گرم از جاذب را به محلول اضافه کرده و در زمان تعادل و دمای محیط تکان داده شدند و پس از آن به‌وسیله کاغذ صافی واتمن ۴۲، جاذب جداشده و سپس با قرائت میزان جذب نوری محلول صاف‌شده در دستگاه اسپکتروفتومتر، میزان غلظت نیترات محلول تعیین گردید.

ج) تعیین دوز جاذب: پس از تعیین pH بهینه و زمان تعادل، مقادیر مختلفی از جاذب (۰/۰۵، ۰/۰۸، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ گرم) به ۴۰ میلی‌لیتر محلول نیترا ته با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر اضافه نموده و در شرایط بهینه به‌دست‌آمده، در دمای محیط تکان داده شدند و پس از آن به‌وسیله کاغذ صافی واتمن ۴۲، جاذب جداشده و سپس با قرائت میزان جذب نوری محلول

آن با معادلات ریاضی برای تعمیم به دو لایه بودن امکان‌پذیر است و هم‌نیازی به غلظت جذب‌کننده در معادلات (برعکس معادلات فرندلیچ) نمی‌باشد (۲۴).

این معادله بر پایه فرضیات مدل جذب لانگمویر به‌دست‌آمده و به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\text{Langmuir: } q = Q_{\max} b C_e / (1 + b C_e) \quad (1)$$

که در آن:

C_e : غلظت محلول در حالت تعادل (میلی‌گرم بر لیتر)

Q_{\max} : حداکثر ظرفیت جذب (میلی‌گرم بر گرم)

b : ثابت تعادل واکنش جذب

ب- ایزوترم جذب سطحی فرندلیچ^۱

ایزوترم فرندلیچ با فرض یک سطح ناهمگن با توزیع غیریکنواختی از گرمای جذب در روی سطح به دست می‌آید. طبق مدل فرندلیچ فرایند جذب توسط معادله زیر تعریف می‌شود (۲۵).

$$\text{Ferendlich: } q = K C_e^{1/n} \quad (2)$$

که در آن:

q : مقدار ماده جذب‌شده در حالت تعادل (میلی‌گرم بر گرم)

C_e : غلظت محلول در حالت تعادل (میلی‌گرم بر لیتر)

K : ظرفیت جذب در غلظت واحد

n : ضریب ثابت

در این تحقیق میزان کارایی جاذب‌های سبوس برنج، کاه و کلش گندم، خاکاره و ساقه پنبه در جذب نیترات از محلول‌های آبی و نیز ایزوترم‌ها و تأثیر پارامترهای مختلف از جمله وزن جاذب، PH بهینه و زمان تعادل بر روی فرایند جذب نیترات مورد بررسی قرار گرفت.

روش تحقیق

تهیه جاذب و محلول

این تحقیق آزمایشگاهی با جاذب‌های بقایای کشاورزی شامل سبوس برنج، کاه و کلش گندم و ساقه پنبه و جاذب خاکاره چوب جهت بررسی جذب میزان نیترات برای استفاده به‌عنوان فیلتر زیستی در تصفیه زه آب کشاورزی انجام گرفت. بدین

2- Merck
3- Spectrophotometer

1- Freundlich

و در دمای محیط تکان داده شدند و پس از آن به وسیله کاغذ صافی واتمن ۴۲، جاذب جدا شده و سپس با قرائت میزان جذب نوری محلول صاف شده در دستگاه اسپکتروفوتومتر، میزان غلظت نیترات محلول تعیین گردید. همچنین بررسی و مقایسه ظرفیت جاذب های مختلف در جذب نیترات با معادله های لانگمویر و فرندلیچ انجام گرفت.



شکل ۲- نمونه کاه و کلش رد شده از الک با مش ۳۰
Figure 2. Sample wheat straw percolated through sieve mesh30

صاف شده در دستگاه اسپکتروفوتومتر، میزان غلظت نیترات محلول تعیین گردید. به منظور افزایش دقت و تعمیم آماری کلیه آزمایش ها در ۳ تکرار انجام گرفت.

ایزوترم های جذب: ۴۰ میلی لیتر از محلول نیترا ته را با غلظت های ۱۰-۱۵۰ میلی گرم بر لیتر تهیه کرده و سپس به اندازه میزان جاذب بهینه به دست آمده از آزمایش ها قبل، به محلول اضافه گردید و محلول به دست آمده در pH بهینه و زمان تعادل



شکل ۱- نمونه فیلتر کاه و کلش گندم
Figure 1. Sample wheat straw filter

یافته ها

کرد جاذب ساقه پنبه میزان نیترات آب را از ۵۰ میلی گرم در لیتر به ۴۱/۶ میلی گرم در لیتر کاهش داد و به عنوان مناسب ترین جاذب زیستی در این مطالعه شناخته شد. به طوری که جاذب ساقه پنبه نیترات آب را به میزان ۱۶/۷۶ درصد کاهش داد. جاذب خاکاره نیز با کاهش نیترات آب ورودی به میزان ۸/۳ درصد حداقل تأثیر را در میان جاذب های مورد مطالعه داشت و جاذب های کاه و کلش گندم و سبوس برنج به ترتیب با کاهش ۹۴/۱۰ و ۱۸/۹ درصدی نیترات بین این دو جاذب قرار گرفتند (جدول ۳).

در این مطالعه تأثیر چهار فیلتر زیستی کاه و کلش گندم، ساقه پنبه، سبوس برنج و خاکاره به عنوان جاذب در جذب نیترات آب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد بین جاذب های زیستی در جذب نیترات اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۹٪ وجود داشت (جدول ۱). همچنین به منظور تعیین این که آیا جاذب های زیستی مورد بررسی میزان نیترات محلول های آبی را کاهش داده است یا خیر، از آزمون t استفاده گردید و نتایج نشان داد فیلترهای زیستی به طور معنی داری میزان نیترات را کاهش داده است (جدول ۲). مقایسه میانگین مقادیر کاهش نیترات توسط انواع جاذب های زیستی مشخص

جدول ۱- تجزیه واریانس برای چهار جاذب زیستی از نظر میزان نیترات خروجی از جاذب ها

Table 1. Variance analysis of four biosorbents in terms of the amount of nitrate output from the adsorbents

میانگین مربعات	درجه آزادی	منابع تغییرات
۱۰/۸۴۴**	۳	تیمارها
۰/۱۲۹	۸	خطا

** : معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

جدول ۲- بررسی تأثیر معنی داری جاذب‌های زیستی مورد مطالعه بر میزان نیترات آب
Table 2. Significancy Evaluation of the effect of biosorbents on nitrate in water

نتیجه آزمون	P-VALUE	آماره t	میانگین نیترات (میلی گرم در لیتر) در آب خروجی	تیمار (جاذب)
معنی دار در سطح اطمینان ۹۹٪	۰/۰۰۰	-۸/۱۰۲	۴۴/۵۳	گندم
معنی دار در سطح اطمینان ۹۹٪	۰/۰۰۰	-۲۴/۰۱	۴۱/۶۲	پنبه
معنی دار در سطح اطمینان ۹۹٪	۰/۰۰۰	-۱۰/۲۸	۴۵/۴۱	برنج
معنی دار در سطح اطمینان ۹۹٪	۰/۰۰۰	-۱۰/۸۵۸	۴۵/۸۵	خاکاره

جدول ۳- میانگین میزان نیترات در آب خروجی و درصد جذب نیترات توسط جاذب‌ها
نسبت به آب ورودی با ۵۰ میلی گرم در لیتر نیترات

Table 3. Average amount of nitrate in output water and nitrate absorption percent by absorbents compared to input water with 50 mg nitrate per liter

درصد تغییر در میزان جذب نیترات توسط جاذب‌ها نسبت به آب ورودی	میزان نیترات (میلی گرم در لیتر) در آب خروجی از جاذب‌ها	جاذب‌ها
-۱۰/۹۴	۴۴/۵۳b	گندم
-۱۶/۷۶	۴۱/۶۲c	پنبه
-۹/۱۸	۴۵/۴۱ab	برنج
-۸/۳	۴۵/۸۵a	خاکاره

اختلاف میانگین‌ها با حروف مشابه از نظر آماری معنی دار نیست.

علامت منفی نشان‌دهنده کاهش در میزان نیترات توسط فیلترها می‌باشد.

شد و بعدازآن تأثیر چندانی در جذب وجود نداشت. بنابراین زمان تعادل یا حداقل زمان برای بالاترین کارایی جاذب کاه و کلش گندم در جذب نیترات ۶۰ دقیقه به دست آمد. به عبارتی با ۶۰ دقیقه انجام عملیات پالایش میزان نیترات ۸/۴ درصد کاهش نشان داد. در جاذب ساقه پنبه نیز پالایش تا ۱۰ دقیقه با کاهش نیترات به میزان ۱۶/۷۶ درصد تأثیر مثبت در کاهش نیترات داشته و بعدازآن تأثیر چندانی در جذب نداشت. همچنین در جاذب سبوس برنج و جاذب خاکاره پالایش تا ۳۰ دقیقه تأثیر مثبت در کاهش نیترات داشته است و بعدازآن تأثیر چندانی در جذب نداشت. به عبارتی پالایش تا ۳۰ دقیقه به ترتیب برای دو جاذب فوق میزان غلظت نیترات محلول آبی را ۹/۱۸ و ۸/۳ درصد کاهش داد و به‌عنوان زمان تعادل برای دو جاذب فوق تعیین شد (جدول ۵).

علی‌رغم اینکه جاذب زیستی پنبه نسبت به سایر جاذب‌های مورد بررسی برتری داشت با این حال از یک طرف با توجه به اینکه همه جاذب‌های زیستی مورد مطالعه تأثیر مثبت در جذب نیترات آب داشتند و از طرف دیگر تفاوت در فراوانی و دسترسی به این جاذب‌های زیستی در نقاط مختلف کشور، برای هر یک از جاذب‌های زیستی فوق زمان تعادل برای جذب تعیین گردید به‌عبارت‌دیگر نقطه زمانی که بعدازآن تغییر محسوس در میزان جذب نیترات ایجاد نمی‌گردد تعیین شد. بدین ترتیب میزان جذب نیترات در زمان‌های ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه اندازه‌گیری گردید که نشان داد میزان جذب نیترات در زمان‌های مورد مطالعه در هر چهار جاذب از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی دار بود (جدول ۴). در جاذب کاه و کلش گندم تا زمان ۶۰ دقیقه تأثیر مثبت در کاهش نیترات مشاهده

جدول ۴- تجزیه واریانس میزان نیترات موجود در آب خروجی در زمان های مختلف برای هریک از جاذب ها

Table 4. Variance Analysis of the amount of nitrate in the output water at different times for each of the biosorbents

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
خاکاره	ساقه پنبه	سبوس برنج	کاه و کلش گندم		
۸/۶۰**	۷/۰۹**	۱۰/۴۵**	۲۶/۷۷**	۵	تیمارها
۰/۱۳۸	۰/۱۵۰	۰/۷۳	۰/۴۵۵	۱۲	خطا

** : معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

جدول ۵- میانگین میزان نیترات موجود در آب خروجی در زمان های مختلف برای هریک از جاذب ها

Table 5. Average amount of nitrate in the output water at different times for each of the biosorbents

گندم	پنبه	برنج	گندم	زمان (دقیقه)
۴۸/۵۰a	۴۴/۶۷a	۴۷/۶۰a	۴۸/۶۷a	۵
۴۷/۱۰b	۴۱/۵۵b	۴۷/۱۱ab	۴۶/۸۵b	۱۰
۴۶/۰۷c	۴۱/۳۷bc	۴۶/۱۰۷ab	۴۵/۵۹b	۲۰
۴۴/۶۹d	۴۱/۰۸bc	۴۵/۰۸۷bc	۴۳/۲۲c	۳۰
۴۴/۴۹d	۴۰/۹۱bc	۴۳/۴۲c	۴۱/۶۰cd	۶۰
۴۴/۴۶d	۴۰/۳۹c	۴۳/۱۳c	۴۱/۲۷d	۹۰

اختلاف میانگین های با حروف مشابه از نظر آماری معنی دار نیست.

لیتر در آب ورودی به ۳۲/۱ میلی گرم در لیتر کاهش داد به عبارت دیگر باعث کاهش آن به میزان ۱۷/۹ میلی گرم در لیتر گردید. در این جاذب pH های ۳، ۵ و ۶ در رتبه های بعدی قرار گرفتند. همچنین جاذب سبوس برنج بالاترین کارایی را در $\text{PH}=3$ داشت. به طوری که در این PH ، جاذب فوق نیترات آب را از ۵۰ میلی گرم در لیتر در آب ورودی به ۴۰/۰ میلی گرم در لیتر کاهش داد و به عبارت دیگر باعث کاهش ۱۰/۰ میلی گرم در لیتر گردید. در این جاذب نیز pH های ۴، ۵ و ۶ در رتبه های بعدی قرار گرفتند. نهایتاً در جاذب خاکاره بالاترین کارایی در $\text{PH}=3$ داشت. به طوری که در این PH ، فیلتر فوق نیترات آب را از ۵۰ میلی گرم در لیتر در آب ورودی به ۳۱/۸ میلی گرم در لیتر کاهش داد به عبارت دیگر باعث کاهش ۱۸/۲ میلی گرم در لیتر گردید. در این فیلتر نیز pH های ۴، ۵ و ۶ در رتبه های بعدی قرار گرفتند (جدول ۷). این نتایج نشان می دهد جاذب های زیستی مورد مطالعه، در آب هایی که دارای خاصیت اسیدی هستند کارایی بالاتری دارند.

پس از تعیین زمان تعادل یا حداقل زمان لازم برای رسیدن به ثبات نسبی در کاهش میزان نیترات محلول های آبی برای جاذب ها، به منظور معین نمودن pH مناسب برای داشتن حداکثر کارایی جاذب ها، میزان نیترات در زمان تعادل تعیین شده برای هریک از جاذب ها در pH های مختلف مورد اندازه گیری قرار گرفت. بدین ترتیب میزان جذب نیترات در مقادیر PH های ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ اندازه گیری شد و نتایج نشان داد میزان جذب نیترات در pH های مورد مطالعه در هر چهار جاذب از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی دار بود (جدول ۶). جاذب کاه و کلش گندم بالاترین کارایی را در $\text{PH}=3$ داشت. به طوری که در این PH ، جاذب فوق نیترات آب را از ۵۰ در آب ورودی به ۳۶/۹ میلی گرم در لیتر کاهش داد به عبارت دیگر باعث کاهش آن به میزان ۱۳/۱ میلی گرم در لیتر گردید. در این جاذب pH های ۴، ۵ و ۶ در رتبه های بعدی قرار گرفتند. جاذب زیستی ساقه پنبه نیز بالاترین کارایی را در $\text{PH}=4$ داشت. به طوری که در این PH ، جاذب فوق نیترات آب را از ۵۰ میلی گرم در

جدول ۶- تجزیه واریانس میزان نیترات موجود در آب خروجی در pH های مختلف برای هریک از جاذبها در زمان تعادل

Table 6. Variance Analysis of the amount of nitrate in the output water with different pH for each of the biosorbents at the time of balance

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
خاکاره	ساقه پنبه	سبوس برنج	کاه و کلش گندم		
۱۱۰/۴۶**	۵۱/۰۷**	۲۱/۶۵**	۱۴/۶۴**	۵	تیمارها
۱/۸۸	۰/۳۰۲	۱/۱۷۶	۰/۱۵۳	۱۲	خطا

** : معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

جدول ۷- میانگین میزان نیترات موجود در آب خروجی در pH های مختلف برای هریک از جاذبها در زمان تعادل بهینه آن جاذب

Table 7. Average amount of nitrate in the output water with different pH at the time of optimum balance for each of the biosorbents

خاکاره	پنبه	برنج	گندم	pH
۳۱/۸d	۳۴/۹e	۳۹/۹۸d	۳۶/۹e	۳
۳۹/۳c	۳۲/۱f	۴۱/۹cd	۳۹/۰d	۴
۴۰/۳c	۳۷/۳d	۴۲/۴cd	۴۰/۰c	۵
۴۴/۰b	۳۹/۰c	۴۳/۴bc	۴۰/۵c	۶
۴۵/۵b	۴۱/۰b	۴۵/۵ab	۴۱/۷b	۷
۴۹/۴a	۴۳/۵a	۴۷/۵a	۴۳/۳a	۸

اختلاف میانگینهای با حروف مشابه از نظر آماری معنی دار نیست.

پنبه، سبوس برنج و خاکاره نیترات آب را از ۵۰ میلی گرم در لیتر در آب ورودی به ترتیب به ۳۴/۹۳، ۳۰/۹۳ و ۳۶/۳ و ۲۸/۲۱ میلی گرم در لیتر در میزان جاذب ۱ گرم کاهش دادند. رتبه بعدی کارایی در این جاذبها مربوط به جاذب ۰/۷ گرم بود. همچنین نتایج نشان داد با کاهش مقدار جاذب، کارایی این جاذبها نیز کاهش می یابد (جدول ۹). این امر نشان می دهد جاذبهای زیستی مورد مطالعه، در مقادیر بالاتر جاذب در کاهش میزان نیترات آب، دارای کارایی بالاتری می باشند.

برای مشخص نمودن میزان جاذب مناسب برای داشتن حداکثر کارایی فیلترها، میزان نیترات در pH بهینه برای هریک از جاذبها مورد اندازه گیری قرار گرفت. بدین منظور میزان جذب نیترات در مقدار جاذبهای ۰/۰۵، ۰/۰۸، ۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷ و ۱ گرم اندازه گیری شد و نتایج نشان داد میزان جذب نیترات در مقادیر جاذب مورد مطالعه در هر چهار جاذب از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی دار بود (جدول ۸). در تمامی جاذبها بالاترین کارایی در میزان جاذب ۱ گرم در ۴۰ میلی لیتر محلول مشاهده شد. به طوری که جاذبهای کاه و کلش گندم، ساقه

جدول ۸- تجزیه واریانس میزان نیترات موجود در آب خروجی در pH بهینه برای هریک از جاذبها در مقادیر مختلف جاذب

Table 8. Variance Analysis of the amount of nitrate in the output water at optimum pH values for each of the biosorbents

میانگین مربعات				درجه آزادی	منابع تغییرات
خاکاره	ساقه پنبه	سبوس برنج	کاه و کلش گندم		
۱۸۱/۶۲۹**	۱۸۸/۳۱۷**	۷۷/۷۶۰**	۹۱/۳۰۴**	۶	تیمارها
۰/۶۹۷	۰/۵۲۷	۰/۵۴۴	۰/۳۳۱	۱۴	خطا

** معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد

جدول ۹- میانگین میزان نیترات موجود در آب خروجی در pH بهینه برای هریک از جاذبها در مقادیر مختلف جاذب
Table 9. Average amount of nitrate in the output water at optimum pH values for each of the biosorbents in the adsorbent

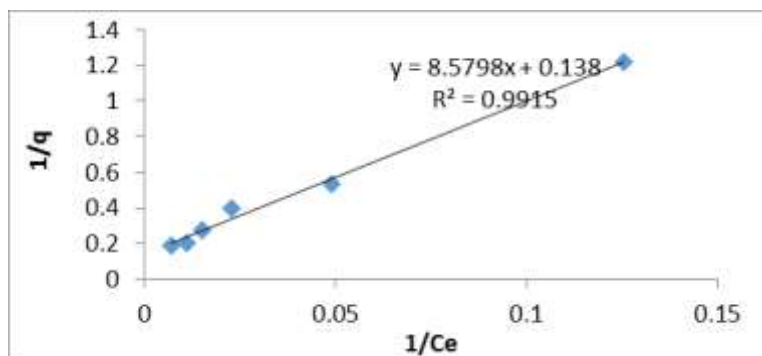
خاکاره	پنبه	برنج	گندم	گرم جاذب
a ۴۸/۲۳	a ۴۸/۶۴	a ۴۹/۲۸	a ۴۸/۵۱	۰/۰۵
b ۴۴/۲۴	ab ۴۶/۸۸	a ۴۸/۰۲	b ۴۶/۷۴	۰/۰۸
c ۴۱/۴۸	b ۴۵/۴۸	b ۴۵/۳۷	c ۴۳/۴۲	۰/۱
d ۳۶/۶۱	c ۳۴/۹۰	c ۴۳/۱۷	d ۴۰/۴۱	۰/۳
e ۳۱/۳۴	d ۳۲/۵۸	d ۴۰/۰۷	e ۳۷/۳۰	۰/۵
ef ۲۹/۵۴	d ۳۱/۴۴	e ۳۷/۳۸	f ۳۵/۲۸	۰/۷
f ۲۸/۲۱	d ۳۰/۹۳	e ۳۶/۲۷	f ۳۴/۶۱	۱

اختلاف میانگین های با حروف مشابه از نظر آماری معنی دار نیست.

پردازش داده شدند. شکل های ۳ تا ۱۰ به ترتیب رسم خطی مدل ایزوترم لانگمویر و فرندلیج را برای جاذب های سبوس برنج، خاکاره، کاه و کلش گندم و ساقه پنبه نشان می دهند.

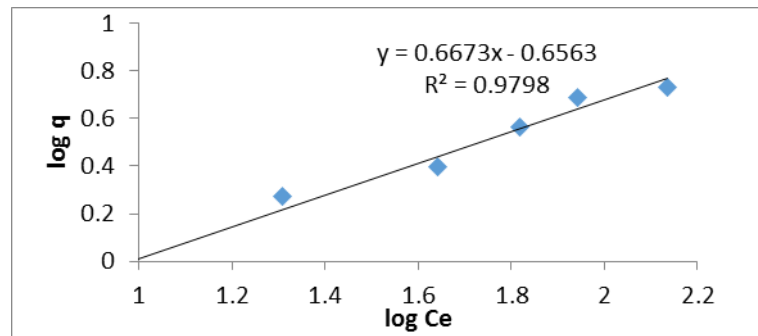
نتایج آزمایش ایزوترم های جذب

ایزوترم جذب یکی از فاکتورهای مهم در طراحی سیستم های جذب، تعیین ظرفیت جذب و بهینه کردن مصرف جاذب می باشد (۲۶). در این مطالعه مدل های ایزوترم لانگمویر و فرندلیج بر داده های حاصل از آزمایش های جذب ایزوترم



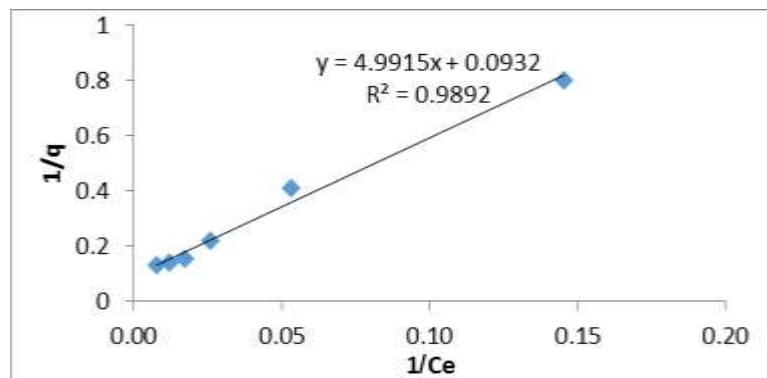
شکل ۳- بررسی ایزوترم جذب نیترات با جاذب زیستی سبوس برنج بر اساس مدل لانگمویر

Figure 3. Evaluation of the nitrate adsorption with rice bran biosorbent based on Langmuir model isotherm



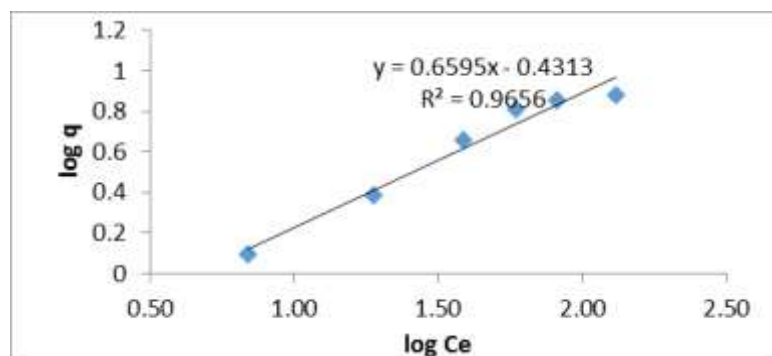
شکل ۴- بررسی ایزوترم جذب نیترات با جاذب زیستی سبوس برنج بر اساس مدل فرندلیچ

Figure 4. Evaluation of the nitrate absorption isotherm with rice bran biosorbent based on Freundlich model



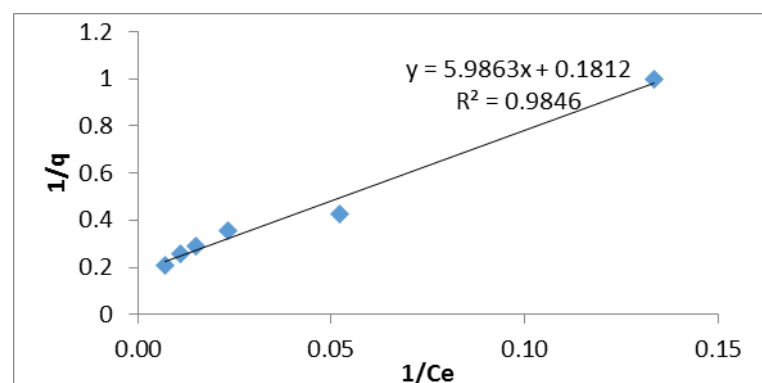
شکل ۵- بررسی ایزوترم جذب نیترات با جاذب زیستی خاکاره بر اساس مدل لانگمویر

Figure 5. Evaluation of the nitrate absorption isotherm with woodchips biosorbent based on Langmuir model



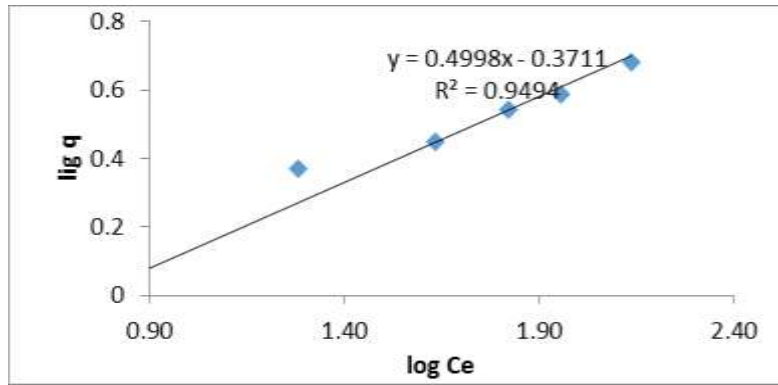
شکل ۶- بررسی ایزوترم جذب نیترات با جاذب زیستی خاکاره بر اساس مدل فرندلیچ

Figure 6. Evaluation of the nitrate absorption isotherm with woodchips biosorbent based on Freundlich model



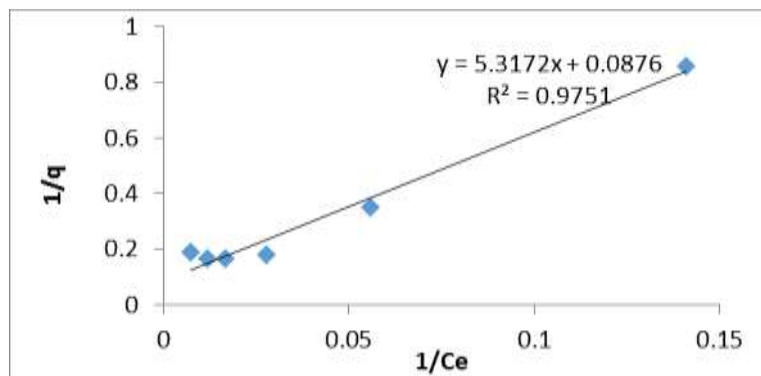
شکل ۷- بررسی ایزوترم جذب نیترات با جاذب زیستی کاه و کلش گندم بر اساس مدل لانگمویر

Figure 7. Evaluation of the nitrate absorption isotherm with wheat straw biosorbent based on Langmuir model



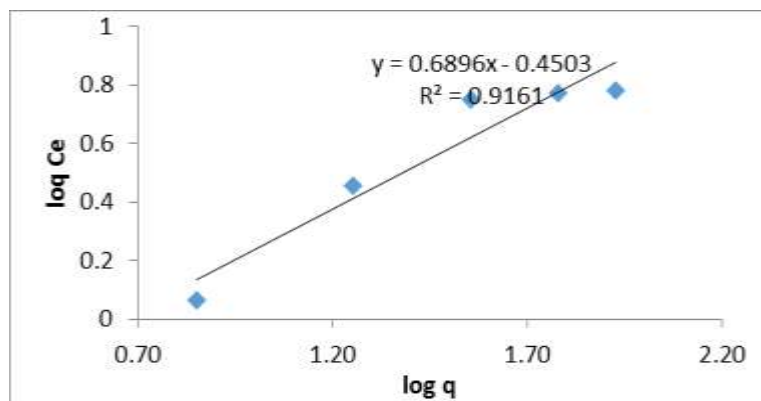
شکل ۸- بررسی ایزوترم جذب نیترات با جاذب زیستی کاه و کلش گندم بر اساس مدل فرندلیچ

Figure 8. Evaluation of the nitrate absorption isotherm with wheat straw biosorbent based on Freundlich model



شکل ۹- بررسی ایزوترم جذب نیترات با جاذب زیستی ساقه پنبه بر اساس مدل لانگمویر

Figure 9. Evaluation of the nitrate absorption isotherm with cotton stalks biosorbent based on Langmuir model



شکل ۱۰- بررسی ایزوترم جذب نیترات با جاذب زیستی ساقه پنبه بر اساس مدل فرندلیچ

Figure 10. Evaluation of the nitrate absorption isotherm with cotton stalks biosorbent based on Freundlich model

محیط آبی توسط جاذب های سبوس برنج، خاکاره، کاه و کلش گندم و ساقه پنبه مناسب تر است.

نتیجه گیری

بین جاذب های زیستی در جذب نیترات اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۹٪ وجود داشت و این جاذب ها به طور

بررسی روابط فوق نشان می دهد که ضرایب همبستگی مدل های ایزوترم لانگمویر و فرندلیچ قابل قبول بوده و به غیر از جاذب ساقه پنبه، در بقیه موارد نزدیک به هم می باشند و در کل، ضرایب همبستگی مدل ایزوترم لانگمویر در همه جاذب های مورد مطالعه بیشتر از مدل ایزوترم فرندلیچ می باشد. بنابراین مدل ایزوترم لانگمویر برای پیش بینی جذب نیترات از

۶. محسنی، انوشیروان، «مشکلات بهداشتی نیترات در آب‌های آشامیدنی (خطرات بهداشتی وجود نیترات در آب‌های آشامیدنی)»، مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران شماره ۱۵، تابستان ۱۳۷۶، ص ۴۵-۵۱.
7. Srivastav, A. L., Singh, P. K., Weng, C. H., & Sharma, Y. C. 2014. Novel adsorbent hydrous bismuth oxide for the removal of nitrate from aqueous solutions. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 19(2).
8. Ghanbari, F., Moradi, M., Mohseni-Bandpei, A., Gohari, F., Abkenar, T. M., & Aghayani, E. 2014. Simultaneous application of iron and aluminum anodes for nitrate removal: a comprehensive parametric study. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(6), 1653-1660.
9. Malakootain, M., Yaghmaeian, K., TahreGoorabi, M. 2012. Evaluation of removal efficiency of nitrate in drinking water using iron nano-particles and determine the optimal conditions. *J School Health, Yazd*. 2(1): 35-44.
10. Dore, M., Simon, P., Deguin, A., & Victot, J. 1986. Removal of Nitrate in Drinking Water by Ion Exchange- Impact on the Chemical Quality of Treated Water. *Water Research WATRAG*, 20(2): 221-232.
11. Schoeman, J. J., & Steyn, A. 2003. Nitrate removal with reverse osmosis in a rural area in South Africa. *Desalination*, 155(1), 15-26.
12. Hell, F., Lahnsteiner, J., Frischherz, H., & Baumgartner, G. 1998. Experience with full-scale electro dialysis for nitrate and hardness removal. *Desalination*, 117(1-3), 173-180.
13. Ensie, B., & Samad, S. 2014. Removal of nitrate from drinking water using nano

معنی‌داری میزان نیترات محلول‌های آبی را کاهش دادند. در هر چهار جاذب میزان جذب نیترات در زمان‌های مورد مطالعه (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ دقیقه) از نظر آماری در سطح اطمینان ۹۹٪ معنی‌دار بود. جاذب ساقه پنبه مناسب‌ترین جاذب از بین جاذب‌های مورد مطالعه برای جذب نیترات با زمان تعادل ۱۰ دقیقه از محلول‌های آبی تشخیص داده شد. نتایج حاصل از تعیین میزان جاذب مناسب برای داشتن حداکثر کارایی نشان داد که مناسب‌ترین میزان جاذب، برای هر چهار جاذب مورد مطالعه، ۱ گرم در ۴۰ میلی‌لیتر محلول به دست آمد و با کاهش مقدار جاذب کارایی جاذب‌ها نیز کاهش می‌یابد. پردازش مدل‌های جذب سینتیک بر روی داده‌های آزمایش نشان داد در همه جاذب‌ها مدل لانگمویر بهتر از مدل فرندلیچ عمل می‌کند و می‌توان برای جذب جاذب‌های زیستی مورد مطالعه از مدل لانگمویر به‌عنوان ایزوترم جذب استفاده نمود.

Reference

۱. جبلی، سید جلال، «راهکارهای کاهش اثرات سوی پساب‌های کشاورزی»، مجموعه مقالات همایش اثرات زیست‌محیطی پساب‌های کشاورزی بر آب‌های سطحی و زیرزمینی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۱۳۸۰، ص: ۱۲-۲۴.
2. Kapoor, A., Viraraghavan, T. 1997. Nitrate removal from drinking water review. *Journal of environmental engineering*, 123(4), 371-380.
3. Liu, A., Ming, J., Ankumah, R. O. 2005. Nitrate contamination in private wells in rural Alabama, United States. *Science of the total environment*, 346(1), 112-120.
4. Jennings, G. D., Sneed, R. E. 1996. Nitrate in drinking water. North Carolina Cooperative Extension Service.
۵. کرد، ایرج، «بررسی میزان نیترات و نیتريت در منابع آب‌های زیرزمینی شهرستان نهاوند»، کتاب مقالات هشتمین همایش ملی بهداشت محیط، آبان ۱۳۸۴، ص: ۲۰.

۲۱. صفدری، مهدی. قانعیان، محمد تقی. احرام پوش، محمد حسن، بابائی، علیرضا. امام جمعه، محمد مهدی. زراعی، سلمان، «بررسی کار آبی خاکستر هسته خرما در حذف نیترات از محلول های آبی (مطالعه موردی ایزوترمی و سینتیکی)»، ماهنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، ۱۳۹۳، دوره ۱۶، شماره ۶، ص. ۵۶-۴۸.
22. Banat, F., Al-Asheh, S., & Al-Makhadmeh, L. 2003. Evaluation of the use of raw and activated date pits as potential adsorbents for dye containing waters. *Process Biochemistry*, 39(2), 193-202.
23. Han, R., Zhang, J., Zou, W., Shi, J. and Liu, H. 2005. Equilibrium biosorption isotherm for lead ion on chaff of hazardous material. *B. 125*: 266- 271.
24. Langmuir, I., 1918, Adsorption of materials on biosorption, *J. Am. Chem. Soc.* 40 (9): 1361-1404.
25. Freundlich, H. M. 1906. Uber die adsorption in lasungen. *Z. Phys. Chem.* 57: 385- 470.
26. اربابی، محسن. همتی، سارا. رایگان، شهرام. سدهی، مرتضی. خدابخشی، عباس. فدایی، عبالمجید، «بررسی استفاده از پوست بادام مغناطیسی شده با نانو ذرات آهن در حذف نیترات از محیط آبی: مطالعه موردی ایزوترم جذب»، مجله دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد، ۱۳۹۳، دوره ۱۷ شماره ۶۵۹، ص: ۹۲-۱۰۲.
- SiO₂-FeOOH-Fe core-shell. *Desalination*, 347, 1-9.
14. Nasiri, J., Gholami, A., Panahpoure, E. 2013. The application of iron nano particles for cadmium elimination or water resources. *Anthesis J*; 1(13): 98-102.
15. Raftari, H., Moazami, H., Ganjidost, H., Ayati, B. 2011. Effects of natural absorbents on copper and land removal. *J Environ Sci Technol*; 8(3): 97-108.
16. Azizi, J., Yazdani, S. 2007. Investigation stability income of export date of Iran. *J AgricSci.* 2007; 13(1): 1-19.
17. Alsewailem, F. D., Binkhder, Y. A. 2010. Preparation and characterization of polymer/date pits composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 29(11), 1743-1749.
18. Mishra, S., Bhattacharya, J. 2007. Batch studies on phenol removal using leaf activated carbon. *Malaysian Journal of Chemistry*, 5(2), 1-9.
19. Lima, B., et al. 2008. Application of Brazilian-pine fruit coat as abiosorbent to removal of reactive red 194 taxtil dye from aqueous soluatin. *Kinetics and equilibrium study, j. Hazard. Mater.iss*, pp.536-550.
20. Royer, B., Cardoso, N. F., Lima, E. C., Vaghetti, J. C., Simon, N. M., Calvete, T., & Veses, R. C. 2009. Applications of Brazilian pine-fruit shell in natural and carbonized forms as adsorbents to removal of methylene blue from aqueous solutions—Kinetic and equilibrium study. *Journal of Hazardous Materials*, 164(2), 1213-1222.