

## بررسی مقایسه‌ای جاذب‌های زیستی و معدنی در کاهش شوری آب

فاطمه شکریان<sup>۱\*</sup>

[f.shokrian@sanru.ac.ir](mailto:f.shokrian@sanru.ac.ir)

کریم سلیمانی<sup>۲</sup>

قربانعلی نعمت زاده<sup>۳</sup>

پوریا بی پروا<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۹/۲۹

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۱۳

### چکیده

زمینه و هدف: با توجه به محدود بودن منابع آب در دسترس، استفاده از آب‌های شور می‌تواند ضمن حفاظت از منابع آبی، بخشی از کمبود آب را نیز جبران نماید. از آنجایی که آب‌های شور نمی‌توانند مستقیماً مورد مصرف واقع شوند به همین دلیل در تحقیق حاضر، ظرفیت جذب نمک جاذب‌های معدنی ژئولیت و پرلیت، و زیستی پوسته برنج و پوسته صدف در محلول‌های آبی مورد بررسی قرار گرفت. روش بررسی: ذرات در ۵ اندازه ۸۴۱، ۴۰۰، ۱۷۷، ۱۲۵ و ۷۴ میکرومتر، با الک‌های استاندارد ASTM دانه بندی شدند. محلول‌های آب نمک با غلظت‌های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۳۰۰۰، ۴۵۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰۰، ۷۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر تهیه گردیدند. تاثیر پارامترهای اندازه و مقدار ذرات جاذب، زمان تماس و سرعت بهم خوردن محلول بر حذف نمک سدیم کلراید طبق آزمایش ناپیوسته در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد مورد بررسی قرار گرفتند. در این روش محلول سدیم کلراید با مقادیر مشخصی از جاذب‌ها روی دستگاه شیکر با سرعت ثابت ۲۰۰ rpm و در فواصل زمانی ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵، ۶۰ و ۱۲۰ دقیقه مخلوط شدند. نمونه‌ها در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۱۰۰۰۰ rpm به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ شده و برای تیتراسیون کلرسنجی مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: تاثیر مقادیر مختلف جاذب‌ها بر میزان جذب نمک نشان داد که برای تمامی نمونه‌ها در مقدار ۲ گرم بیش‌ترین جذب صورت گرفته است. بررسی اثر اندازه ذرات جاذب بر میزان جذب نمک جذب شده، نشان داد اندازه ۷۴ میکرون بیش‌ترین کارایی را در جذب نمک دارد. زمان تماس برای ژئولیت در ۲۵، پرلیت ۱۵، پوسته برنج ۲۵ و صدف ۱۵ دقیقه اول به طور تقریبی ثابت و به تعادل رسیده است. طبق مدل‌های ایزوترمی، پرلیت و پوسته برنج از مدل لانگمویر و ژئولیت و پوسته صدف از مدل فروندلیچ تبعیت کردند.

بحث و نتیجه گیری: جاذب‌های زیستی و معدنی در اندازه‌های مختلف قابلیت جذب یون‌های نمکی را دارا می‌باشند. از بین جاذب‌های مورد استفاده برای جذب نمک ژئولیت بیش‌ترین کارایی جذب را به خود اختصاص داد.

واژه‌های کلیدی: جاذب، آب شور، مدل لانگمویر و فروندلیچ، مواد زیستی و معدنی

۱- استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران. \*(مسئول مکاتبات)

۲- استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۳- استادیار پژوهشکده ژنتیک و زیست فناوری طبرستان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

۴- استادیار گروه علوم پایه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

## **Comparative Investigation of Bio and Mineral Absorbents on Water Salinity Reduction**

**F. Shokrian<sup>1\*</sup>**

[f.shokrian@sanru.ac.ir](mailto:f.shokrian@sanru.ac.ir)

**K. Solaimani<sup>2</sup>**

**Gh. Nematzadeh<sup>3</sup>**

**P. Biparva<sup>4</sup>**

Accepted: 2017.12.20

Received: 2017.02.01

### **Abstract**

**Background and Objective:** Available water resources are limited, thus use of saline water can protect water resources and compensated water scarcity. Since saline water cannot be used directly, this study investigated the adsorption capacity of Zeolite, Perlite as minerals and rice husk and seashell as bio compounds in water solution.

**Methods:** Particles were classified in five different sizes of 841, 400, 177, 125 and 74  $\mu\text{m}$  which based on ASTM sieves. Sodium chloride solution was prepared in different concentration of 25, 50, 100, 200, 300, 500, 750, 1000, 3000, 5000, 7000 and 10000 ppm. The effects of the sizes, dosage, contact time, rate of mixing with duration of 10, 15, 25, 35, 45, 60 and 120 minutes for the salt removal done with batch experiments in 25°C. In this method the sodium chloride solution with certain amounts of adsorbent put on a shaker device with constant speed of 200 rpm and were mixed at intervals of 10, 15, 25, 35, 45, 60 and 120 minutes. Then the samples in centrifuged with 10000 rpm in 10 minute and the upper solution used for chloride titration.

**Findings:** The effects of different amount of absorbent on salt absorbance showed that for all samples the highest absorbance is related to the range of 2 grams. Among the used sizes of particles, the most efficiency was related to the size of 74  $\mu\text{m}$  in salt absorption. The optimum time of used samples was identified as 25, 15, 25 and 15 min for zeolite, perlite, rice husk and sea shell respectively. Based on isotherm model, perlite and rice husk followed Langmuir model, while zeolite and seashell followed Freundlich.

**Conclusion:** Mineral and bio sorbents in different micron sizes have able to absorb salt ions. Among the use of different adsorbents, zeolite showed highest efficiency to salt adsorption.

**Keywords:** Absorbent, Salt Water, Freundlich and Langmuir model, Biological and Inorganic materials.

---

1- Assistant Professor, Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran\* (Corresponding Author)

2- Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

3- Professor, Sari University of Genetic & Agricultural Biotechnology Research Institute, Sari, Iran.

4- Assistant professor, Department of Basic Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

## مقدمه

۹۰ دقیقه بدست آمد و ایزوترم لانگمویر نوع ۲ بیشترین تطابق را با داده‌های این مطالعه نشان داد (۴). عابدی و اصفهانی (۲۰۱۲) از نانو ذرات خاکستر پوسته برنج و بادام برای نمک زدایی آب استفاده کردند، نتایج نشان داد که بیشترین کاهش مقدار EC تا ۹۴ درصد مربوط به نانوذرات خاکستر پوسته برنج بود (۵). ون کیتی (۲۰۱۲) عملکرد ژئولیت را در شوری زدایی از آب دریا مورد بررسی قرار داد. یافته‌ها نشان داد که ژئولیت نوع X و Y بیشترین دفع را در ارتباط با یون‌های کلسیم، منیزیم، پتاسیم و سدیم داشته‌اند (۶). وجیما (۲۰۱۳) در تحقیقاتش به بررسی خصوصیات تبادل یونی ۵ نوع ژئولیت طبیعی به منظور نمک زدایی از آب دریا پرداخت. یافته‌ها حاکی از آن بود موردنیت با داشتن ظرفیت تبادل یون کلسیم بیشتر منجر به دفع سدیم بیشتری گردید (۷). بررسی پیشینه پژوهش در ارتباط با بکارگیری مواد زیستی و معدنی، به کارایی نسبتاً بالای ماده معدنی ژئولیت در کاهش شوری آب دریا اشاره داشتند. همچنین در تحقیق حاضر جاذب ژئولیت مناسب‌تر از سایر جاذب‌ها بوده است. با توجه به رشد جمعیت جهان که منجر به رشد بسیار سریع صنایع مختلف گردیده و هر یک به نحوی مصرف کننده منابع آب هستند، موجب کاهش شدید منابع آب سطحی و زیرزمینی شده و ضرورت برنامه ریزی دقیق جهت دستیابی به منابع جدید آبی را ایجاد می‌کند.

## روش بررسی

## تهیه جاذب‌ها

نمونه معدنی ژئولیت از معادن سمنان و پرلیت از فیروزکوه تهیه گردید. پوسته صدف مورد استفاده در این تحقیق (*Cerastoderma lamarica*) از ساحل دریای مازندران جمع آوری و پوسته برنج، از شالیزارهای حومه شهر ساری در استان مازندران تهیه گردید. قبل از استفاده از تمامی جاذب‌ها، چندین بار با آب مقطر به منظور حذف گرد و غبار آبکشی شده و در آون با دمای  $100^{\circ}\text{C}$  به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند

کاهش میزان منابع آب قابل استفاده، افزایش آلودگی منابع آب قابل دسترس و رقابت تقاضای آب برای بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و توسعه شهری، گسترش آبیاری را محدود و انسان را مجبور به استفاده از آب با کیفیت نامطلوب مانند آب شور، آب زهکش‌ها و پساب‌های تصفیه شده برای بخش کشاورزی می‌کند. نقش و اهمیتی که آب‌های لب شور و شور در آینده در کشاورزی ایران به‌عنوان منابع آب مناسب و ارزان قیمت خواهند داشت باید مورد بررسی و توجه قرار گیرد. امروزه روش‌های اسمز معکوس و الکترودیالیز به‌طور گسترده برای شیرین کردن آب‌های شور استفاده می‌شوند که به دلیل مصرف زیاد انرژی، در همه موارد اقتصادی نیستند. استفاده از روش‌های پیش تصفیه قبل از استفاده از این تکنولوژی‌ها، کاهش هزینه و صرفه جویی در مصرف انرژی را به دنبال خواهد داشت. بنابراین استفاده از روش‌های کم هزینه در پیش تصفیه آب شور مانند استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۱). در سال‌های اخیر مواد مختلفی از قبیل کیتوسان، کربن فعال، زائدات کشاورزی و سایر مواد طبیعی و ارزان قیمت به‌عنوان جاذب‌های طبیعی برای حذف مواد مغذی و سایر آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۲). ارزان و دسترس، تجدید پذیر و متناسب با محیط زیست، باعث می‌شود که تمایل بیشتری به جاذب‌های زیستی و طبیعی وجود داشته باشد. تحقیقات زیادی برای کاربرد و استفاده از مواد معدنی و زیستی در کم کردن املاح و آلاینده‌ها از آب صورت گرفته که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره شده است. نتایج تحقیق اصفهانی و شامحمدی حیدری (۱۳۹۰) نشان داد که ژئولیت سمنان نسبت به جاذب‌های مختلف از جمله ژئولیت-های ترکیه و شیلی از ظرفیت بهتری در حذف منگنز از محیط آبی دارد (۳). ملکوتیان و همکاران (۲۰۱۰) در مدل‌سازی ایزوترم و سینتیک جذب فسفات از محلول‌های آبی از کلینوپتیولیت اصلاح شده استفاده نمودند و بیان نمودند که حداکثر جذب فسفات به ترتیب در pH و زمان تماس برابر ۷ و

می‌باشد (۱۱). معادلات ایزوترم در تحقیق حاضر بر مبنای ایزوترم های فروندلیچ و لانگمویر تشریح شده است. فرایند جذب توسط مدل فروندلیچ به صورت زیر تعریف می شود:

$$q_e = k_f c_e^{1/n}$$

زیر است:

$$\log(qe) = \log(kf) + \frac{1}{n} \log(ce)$$

$q_e$ : غلظت تعادلی نمک روی جاذب (mg/g)  $k_f$ : ثابت فروندلیچ که نشان دهنده ی ظرفیت جذب جاذب است  $C_e$ : غلظت تعادلی نمک در محلول (mg/g)(L/mg)<sup>1/n</sup>.

$n$ : شدت جذب سطحی (mg/l)

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} + \left( \frac{1}{klq_{max}} \right) \left( \frac{1}{C_e} \right)$$

$C_e$ : غلظت تعادلی (mg/l)

$q_e$ : میزان ماده جذب شده (mg/g)

$q_{max}$ : بیشترین میزان ظرفیت جذب که مطابق با پوشش تک

لایه کامل سطح جاذب است (mg/l)

$K_L$ : ثابت لانگمویر یا ثابت تعادلی (L/mg) که به انرژی

جذب سطحی مربوط است.

### نتایج

#### تاثیر مقدار جاذب در کاهش نمک با روش نا پیوسته

شکل (۱) تاثیر مقادیر مختلفی از جاذبها را بر میزان جذب نمک نشان می دهند و نتایج حاکی از آن است که برای تمامی نمونه ها در مقدار ۲ گرم، بیشترین جذب صورت گرفته است، یعنی در این نقطه به تعادل می رسند. افزایش مقدار جاذب زئولیت از ۰/۵ گرم به ۲ گرم، درصد جذب از ۶۳ درصد به ۶۹ درصد افزایش یافت. در ارتباط با جاذبهای پرلیت، پوسته برنج و پوسته صدف افزایش مقدار جاذب از ۰/۵ گرم به ۲ گرم، درصد جذب بترتیب از ۵۴ به ۵۶، ۵۱ به ۵۸ و ۲۷ به ۴۲ افزایش داشتند. از آن جایی که اختلاف معنی داری بین این مقادیر مشاهده نگردید از ۰/۵ گرم جاذب برای تمامی جاذبها به جز صدف (۱ گرم) استفاده گردید.

(به جز پوسته برنج دمای ۸۰°C). (۸) نمونه های خشک شده توسط دستگاه آسیاب خرد و به صورت پودر در آمدند. سپس برای بدست آوردن اندازه های مختلف از الک های استاندارد ASTM با قطر منافذ ۲۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۲۰۰ برای دانه بندی استفاده گردید (۹).

#### تهیه محلول های نمک کلرید سدیم

در این پژوهش حذف نمک سدیم کلراید مورد مطالعه قرار گرفت. محلول های آب نمک با غلظت های ۲۵، ۵۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۷۰۰۰ میلی گرم بر لیتر تهیه شدند. قابل ذکر است که دلیل انتخاب غلظت های مختلف آب نمک بدست آوردن حداکثر ظرفیت جذب جاذبها بوده است.

#### روش آزمایشگاهی ناپیوسته (Batch)

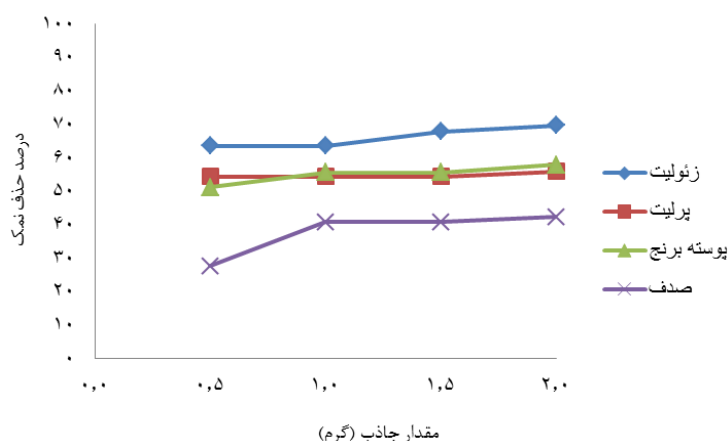
در این روش، ۵۰ میلی لیتر از محلول سدیم کلراید با غلظت ۵۰ میلی گرم بر لیتر و pH خنثی با مقادیر مشخصی از جاذبها مخلوط و روی دستگاه تکاننده با سرعت ثابت rpm ۲۰۰ و در فواصل زمانی ۱۰-۱۲۰ دقیقه مخلوط شدند. سپس نمونه ها در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت rpm ۱۰۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ و محلول صاف شده درون ظرف برای تیتراسیون کلرسنجی مورد استفاده قرار گرفتند (۱۰). لازم به ذکر است تمامی آزمایشها با ۳ تکرار انجام شد.

#### تیتراسیون کلر سنجی

برای تعیین میزان کلر موجود در نمونه ها از نیترات نقره ساخت شرکت مرک (Merck) با غلظت ۰/۰۲ مولار و کرومات پتاسیم به عنوان معرف و حجم ۵۰ میلی لیتر محلول آب نمک جهت تیتراسیون استفاده گردید.

#### ایزوترم های جذب

ایزوترم های جذب معادلاتی برای تشریح حالت تعادل جز جذب شونده بین فاز جامد و سیال می باشد. معادله فروندلیچ یک معادله تجربی برای جاذب های با سطح ناصاف و برای سیستم های که دارای یک ماده حل شده می باشد، قابل کاربرد است. مدل لانگمویر برای جذب فیزیکی و تک لایه ای قابل کاربرد

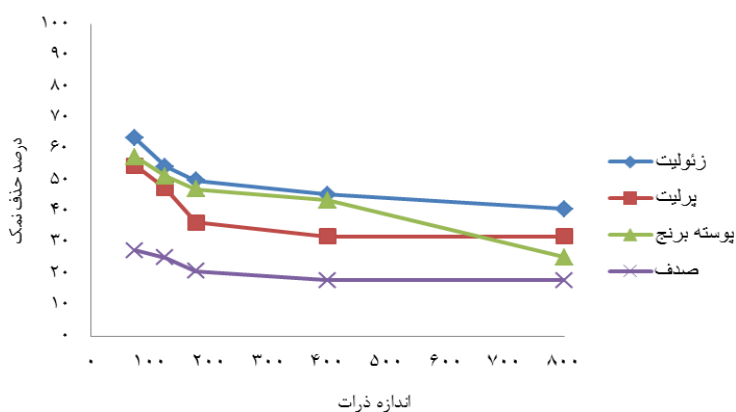


شکل ۱- تاثیر مقادیر مختلف جاذب‌های زیستی و معدنی بر میزان جذب نمک

Fig.1- The effect of different amount of biological and mineral adsorbents on salt sorption

زیستی پوسته برنج جذب نمک از ۲۵ درصد به ۵۷ درصد و پوسته صدف، جذب نمک از ۱۸ درصد به ۲۷ درصد رسید شکل (۲). از بین جاذب‌های مورد استفاده زئولیت با کوچک-ترین اندازه بیش‌ترین کارایی را در حذف دارا است.

تاثیر اندازه ذرات جاذب با روش نا پیوسته با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات از ۸۴۱ میکرون به ۷۴ میکرون درصد جذب نمک توسط مواد معدنی زئولیت و پرلیت به ترتیب از ۴۰ به ۶۳ و ۳۲ به ۵۴ افزایش یافت. در ارتباط با جاذب‌های



شکل ۲- تاثیر اندازه ذرات جاذب‌های معدنی و زیستی بر میزان جذب نمک

Fig.2- The effect of biological and mineral adsorbents sizes on salt sorption

آن را زمان تعادل ( $t_e$ ) گویند. در زمان تعادل مقدار نمک جذب شده برابر با حداکثر ظرفیت جذب جاذب محسوب می شود.

#### بررسی ایزوترم‌های جذب تعادلی

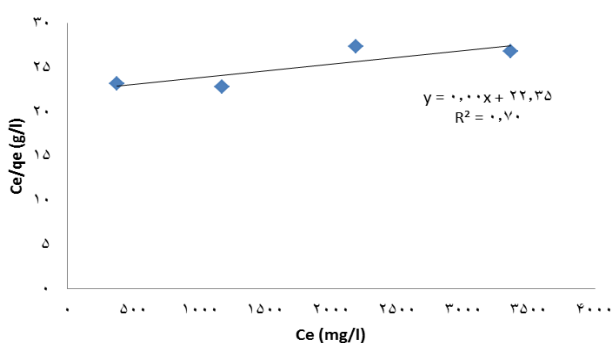
مقادیر ضرایب حداکثر ظرفیت جذب ( $Q_{max}$ ) و ثابت لانگمویر ( $K_L$ ) در ایزوترم جذب لانگمویر توسط رگرسیون خطی برای

#### اثر زمان تماس و غلظت اولیه نمک با روش نا پیوسته

زمان تماس در فواصل زمانی ۱۰-۱۲۰ دقیقه با غلظت اولیه ۵۰ میلی گرم بر لیتر، pH خنثی و مقادیر مشخصی از جاذب‌ها بررسی شد. در ارتباط با تمامی جاذب‌ها، ظرفیت جذب در هر زمان ( $q_t$ ) افزایش می یابد و سپس به یک مقدار ثابت می رسد و نمک بیش‌تری از محلول حذف نمی گردد؛ زمان مربوط به

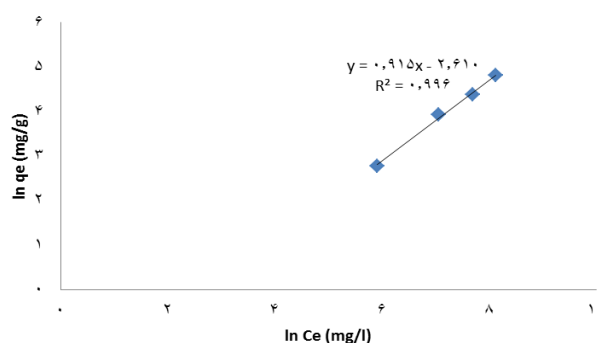
با اختصاص ضریب جذب حداکثر ۰/۸۰۲، ۵۰۹ و ۱۰۷ میلی گرم بر گرم بعد از زئولیت از جذب بالایی برخوردار بودند. نتایج حاصل مبین آن است که مقدار ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای جذب نمک سدیم کلراید توسط جاذب پرلیت و پوسته برنج به ترتیب برابر ۰/۹۶ و ۰/۹۶۵ است. یعنی نشان دهنده تناسب خوب مدل تک لایه‌ای لانگمویر می باشد. جاذب‌های زئولیت و پوسته صدف از مدل ایزوترمی فروندلیچ تبعیت می کنند و  $R^2$  منتج از آن‌ها به ترتیب ۰/۹۹ و ۰/۸۹ می باشد.

جاذب‌ها در جدول (۱) زئولیت، (۲) پرلیت، (۳) پوسته برنج و (۴) پوسته صدف بدست آمده است. همچنین مدل جذب چند لایه‌ای فروندلیچ نیز برای ارزیابی داده‌های حاصل مورد بررسی قرار گرفت و مقادیر ضرایب ثابت فروندلیچ ( $K_f$ ) و شدت جذب سطحی ( $n_f$ ) نیز برای جاذب‌ها محاسبه گردید جدول (۱-۴). اختصاص مقدار بزرگ  $q_{max}$  در زئولیت نشان از جذب بسیار بالای این جاذب معدنی در جذب نمک می باشد. همچنین ماده معدنی پرلیت، ماده زیستی پوسته برنج و پوسته صدف به ترتیب



شکل ۳- ایزوترم جذب سطحی لانگمویر برای زئولیت

Fig.3- Langmuir adsorption isotherm for zeolite



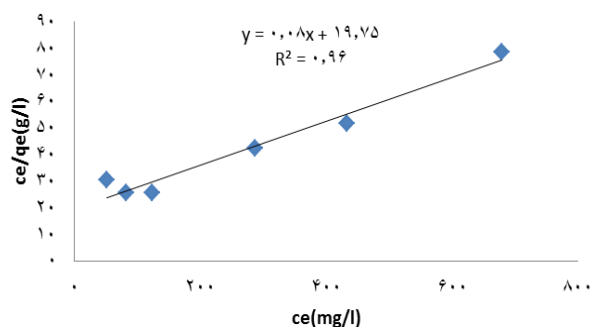
شکل ۴- ایزوترم جذب سطحی فروندلیچ برای زئولیت

Fig.4- Freundlich adsorption isotherm for zeolite

جدول ۱- پارامترهای لانگمویر و فروندلیچ برای جذب سطحی نمک بر روی زئولیت

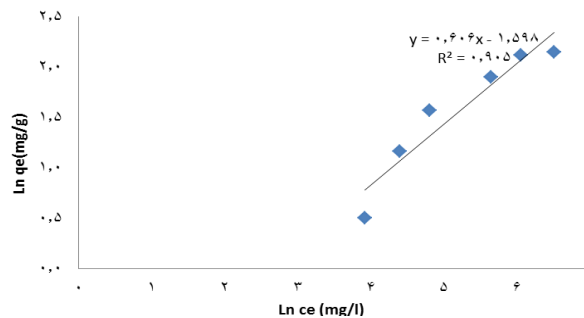
Table 1- Langmuir and Freundlich parameters for salt adsorption onto zeolite

$K_L$	$q_{max}$	$R^2$
۰/۰۰۰۰۴	۱۰۰۰	۰/۷۰
$K_f$	$n_f$	$R^2$
۰/۰۷	۱/۰۹	۰/۹۹



شکل ۵- ایزوترم جذب سطحی لانگمویر برای پرلیت

Fig.5- Langmuir adsorption isotherm for perlite



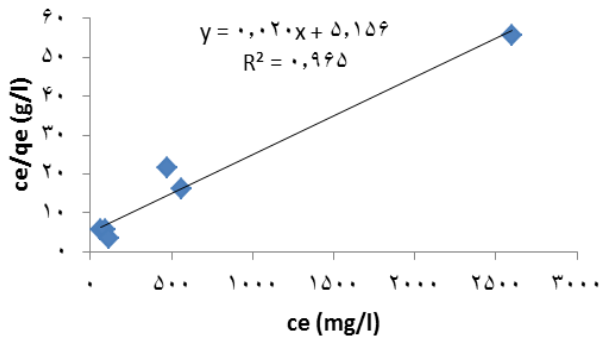
شکل ۶- ایزوترم جذب سطحی فروندلیچ برای پرلیت

Fig.6- Freundlich adsorption isotherm for perlite

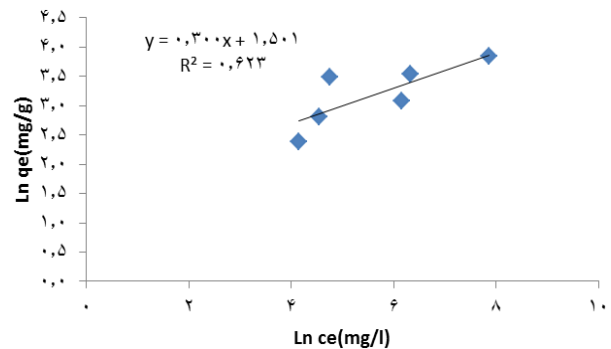
جدول ۲- پارامترهای لانگمویر و فروندلیچ برای جذب سطحی نمک بر روی پرلیت

Table 2- Langmuir and Freundlich parameters for salt adsorption onto perlite

$K_L$	$q_{max}$	$R^2$
۰/۰۰۰۰۶	۸۰۲	۰/۹۶
$K_f$	$n_f$	$R^2$
۰/۲	۱/۶۵	۰/۹



شکل (۷): ایزوترم جذب سطحی لانگمویر برای پوسته برنج  
Fig.7.Langmuir adsorption isotherm for rice husk

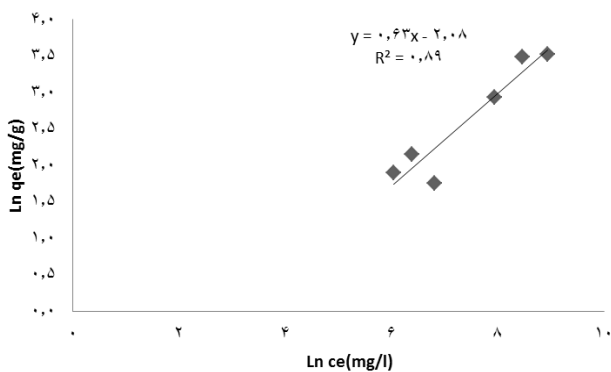


شکل (۸): ایزوترم جذب سطحی فروندلیچ برای پوسته برنج  
Fig.8.Freundlich adsorption isotherm for rice husk

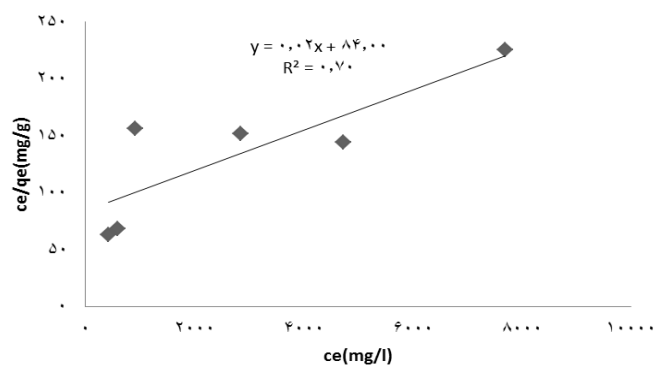
جدول ۳- پارامترهای لانگمویر و فروندلیچ برای جذب سطحی نمک بر روی پوسته برنج

Table 3- Langmuir and Freundlich parameters for salt adsorption onto rice husk

$K_L$	$q_{max}$	$R^2$
۰/۰۰۰۰۱	۵۰۹	۰/۹۶
$K_f$	$n_f$	$R^2$
۱/۴۹	۳/۳۳	۰/۶۲



شکل ۱۰- ایزوترم جذب سطحی فروندلیچ برای پوسته صدف  
Fig.10-Freundlich adsorption isotherm for seashell



شکل ۹- ایزوترم جذب سطحی لانگمویر برای پوسته صدف  
Fig.9-Langmuir adsorption isotherm for seashell

جدول ۴- پارامترهای لانگمویر و فروندلیچ برای جذب سطحی نمک بر روی صدف

Table 4- Langmuir and Freundlich parameters for salt adsorption onto seashell

$K_L$	$q_{max}$	$R^2$
۰/۰۰۰۱	۱۰۷	۰/۷۰
$K_f$	$n_f$	$R^2$
۰/۱۲	۱/۵۷	۰/۸۹

### بحث و نتیجه گیری

#### بررسی تاثیر مقدار جاذب در کاهش نمک

در ارتباط با تاثیر مقدار جاذب در کاهش نمک می توان ادعانمود که با افزایش مقدار جاذب مصرفی، میزان حذف افزایش یافته است. یعنی به دلیل افزایش تعداد جایگاه های جذبی موجود و به دنبال آن افزایش دسترسی مولکول های ماده جذب شونده به مکان های جذب روی انواع جاذب های مورد مطالعه در مقابل مقدار ثابتی از غلظت آب نمک می باشد (۱۲، ۱۳، ۱۴). با افزایش مقدار جاذب، احتمال ایجاد برهم کنش بین ذرات جاذب افزایش می یابد که منجر به کاهش میزان جذب می شود (۱۵). کاهش ظرفیت جذب با افزایش مقدار جاذب ممکن است ناشی از اشباع نشدن جایگاه های فعال روی سطح جاذب در طول فرایند جذب باشد، دلیل دیگر این امر می تواند واکنش های ذره ای نظیر تراکم و یا تجمع ناشی از غلظت های بالای جاذب باشد، زیرا تراکم منجر به کاهش سطح فعال جاذب می شود (۱۶). همچنین از مقایسه میزان جذب جاذب ها با زئولیت این مطلب قابل درک می باشد که درصد جذب در این جاذب بیش تر از سایر جاذب ها است. پدیده تبادل یونی یکی از ویژگی های زئولیت ها است بدون تغییر ساختاری صورت می گیرد، زیرا اسکلت ساختاری زئولیت ها شامل کانال ها و حفره های است که کاتیون ها و مولکول های آب در آن ها جای می گیرند و تحرک این کاتیون ها هیچ گونه تغییری را در شبکه ساختاری آن به وجود نمی آورد (۱۷، ۱۸، ۱۹). طبق یافته های چن و همکاران (۲۰۱۰) افزایش مقدار جاذب کارایی حذف نمک را کاهش می دهد. این امر به دلیل سطح فعال جاذب و عوامل دینامیکی مانند افزایش باندهای آزاد بر روی جاذب

است. افزایش مقدار جاذب و تجمع آن ها باعث افزایش مسیر انتشار در طی مراحل انتشار آلاینده در سطح قابل جذب جاذب شده، نتیجه آن کاهش میزان جذب خواهد بود (۲۰). از طرفی در چنین شرایطی به دلیل رقابت ایجاد شده میان مولکول های آلاینده در اشغال سطوح خالی جاذب، سطوح جاذب به صورت غیر اشباع استفاده شده و تمام ظرفیت های آن به طور بهینه استفاده نمی گردد، که نتیجه آن کاهش میزان آلاینده جذب شده است. از طرفی با افزایش مقدار جاذب درصد جذب نمک زیاد می شود. علت این افزایش به این دلیل است که با افزایش مقدار جاذب، تعداد سایت های فعال جذب که بر روی جاذب می تواند در اختیار یون های سدیم کلراید قرار گیرد، افزایش می یابد. با این حال مقدار نمک جذب شده در واحد جرم جاذب یک روند کاهشی را نشان می دهد. این روند کاهشی در روند جذب با افزایش مقدار جاذب به خاطر تعداد زیاد سایت های غیر اشباع جذب است. در واقع با افزایش مقدار جاذب تعداد زیادی از سایت های جذبی که می تواند در عمل جذب شرکت نماید به دلیل محدود بودن تعداد یون های سدیم کلراید به صورت آزاد باقی خواهد ماند (۲۱، ۱۳).

#### بررسی تاثیر اندازه ذرات جاذب بر جذب نمک

درصد حذف نمک به اندازه ذرات جاذب سطحی بستگی دارد. ساختمان و توزیع اندازه حفره ها تا حد زیادی وابسته به نوع ماده اولیه می باشد و بر سرعت جذب اثر می گذارد (۲۲). با کوچک شدن اندازه ذرات جاذب به دلیل افزایش نسبت سطح به حجم و در نهایت افزایش مساحت سطح، تعداد سایت های تعویض یون افزایش یافته و راندمان جذب افزایش می یابد (۲۳).



تئوری لانگمویر بدین صورت است که جذب به‌صورت هموزن است. به نظر می‌رسد که ماده جذب شونده یک منطقه را اشغال می‌کند و جذب دیگری در آن منطقه رخ نمی‌دهد. به-عبارتی دیگر جذب فقط در مکان‌های خاص و همگن و بدون هیچ واکنشی بین ملکول‌های ماده جذب شونده و جاذب اتفاق می‌افتد (۳۲). معادله فروندلیچ مدلی تجربی است که بر اساس جذب سطحی فیزیکی بین عنصر جذب شونده و ماده جاذب بیان شده است. در این مدل فرض بر این است که جذب به-صورت چند لایه‌ای صورت می‌پذیرد و با اضافه شدن مقدار ماده محلول جذب شده، انرژی جذب سطحی بصورت نمایی کاهش می‌یابد (۳۳، ۳۴). در مدل لانگمویر هر چه  $q_{max}$  بیش‌تر باشد، جذب فلز به جاذب نیز بیشتر است. این پارامترها معیارهای خوبی برای مقایسه جذب‌های متفاوت می‌باشد (۳۵). همچنین اختصاص مقدار بزرگ  $q_{max}$  در زئولیت نشان از جذب بسیار بالای این جاذب معدنی در جذب نمک می‌باشد. مقدار  $(R^2)$  برای جذب نمک توسط جاذب پرلیت و پوسته برنج به‌ترتیب برابر  $0/96$  و  $0/965$  است که نشان دهنده تناسب خوب مدل تک‌لایه‌ای لانگمویر می‌باشد. عبارتی نماینده انطباق ریاضی خیلی خوب بوده و این انطباق ممکن است به‌دلیل توزیع همگون سایت‌های جذب بر روی سطوح این جاذب‌ها باشد چون ایزوترم لانگمویر سطح را همگن فرض می‌کند. بنابراین نتایج مذکور بیان می‌کند که توزیع جایگاه‌های فعال روی سطوح جاذب‌های پرلیت و پوسته برنج یکنواخت بوده و متعاقب آن جذب در مکان‌های همگن رخ داده است (۳۶، ۳۷). ضریب فروندلیچ ( $n$ ) نشان دهنده مطلوبیت جذب است که اگر در محدوده ۱ تا ۱۰ قرار گیرد جذب مطلوب شناخته می‌شود. در این حالت هر چه مقدار  $n$  به یک نزدیک‌تر باشد قدرت جذب کنندگی جاذب بیشتر است. توجه به  $n$  بدست آمده از برازش مدل فروندلیچ بر داده‌های جذب می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که جذب یون‌های سدیم کلراید روی جاذب-های مورد مطالعه از مطلوبیت خوبی برخوردار است (۳۸، ۳۹، ۴۰).

(۲۴). بنابراین از جاذب‌هایی با اندازه ذرات ۷۴ میکرومتر بدلیل درصد جذب بیش‌تری از نمک استفاده گردید.

### بررسی اثر زمان تماس و غلظت اولیه نمک

زمان تماس پارامتر مهمی برای استفاده مناسب از یک جاذب در زمینه‌های کاربردی بوده و بیان‌گر سرعت جذب در بین پارامترهای مناسب است (۲۵، ۲۶). راندمان حذف و ظرفیت جذب با زمان تماس رابطه مستقیم دارد. در زمان ۱۰ دقیقه ابتدایی منحنی تمامی جاذب‌ها شیب تندی داشته و ظرفیت جذب به سرعت افزایش یافته است. این حالت ممکن است به دلیل وجود مکان‌های فعال زیاد و اشباع نشده در سطوح خارجی جاذب باشد (۲۷). اما در ادامه با افزایش زمان شیب به تدریج کند شده و در نهایت این زمان برای زئولیت در ۲۵ دقیقه اول، پرلیت ۱۵ دقیقه، پوسته برنج ۲۵ دقیقه و صدف ۱۵ دقیقه به طور تقریبی ثابت و به تعادل رسیده است. یزدانبخش و همکاران (۲۰۱۱) ثابت شدن ظرفیت جذب و یا دستیابی به نقطه تعادل برای جاذب‌ها را ناشی از پر شدن مکان‌های فعال روی سطح جاذب و یا کامل شدن ظرفیت جاذب دانستند (۲۸).

### تفسیر ایزوترم‌های جذب تعادلی

مدل‌های ایزوترم به منظور ارایه دیدگاهی راجع به سازو کار جذب، خواص سطحی، تمایل جاذب و توصیف داده‌های تجربی جذب به کار می‌روند. در واقع ایزوترم جذب چگونگی فعل و انفعال بین جاذب و جسم جذب شونده را تشریح می‌کند. لذا همواره به‌عنوان یک فاکتور اساسی جهت تعیین ظرفیت یک جاذب و بهینه نمودن مصرف جاذب مد نظر می‌باشد. دو رابطه‌ای که کاربرد زیادی برای توصیف ایزوترم‌های جذب در سیستم‌های جامد-مایع دارند معادلات لانگمویر و فروندلیچ هستند که در این تحقیق بکار گرفته شدند (۲۹، ۳۰، ۳۱). مدل لانگمویر بیان می‌دارد که سطح ماده از یک-سری مکان‌های با قدرت جذبی مشخص تشکیل شده است که گونه‌های عنصری موجود در محلول از طریق پیوندهای کووالانسی یا واندروالسی به آن متصل می‌شود. یک فرض پایه از

7. Wajima T. 2013. Ion Exchange Properties of Japanese Natural Zeolites in seawater. *Analytical Sciences* 29: 139-141.
8. Abdel-Ghni N.T. Hefni M. and El-Chaghaby G.A. F. 2007. Removal of lead from aqueous solution using low cost abundantly available adsorbents. *International Journal of Environmental. Sciences and Technology* 4(1):67-73.
9. Leyva-Ramos R. Jacobo-Azuara A. Diaz-Flores P.E. Guerrero-Coronado R.M. Mendoza-Barron J. and Berber-Mendoza M.S. 2008. Adsorption of chromium(VI) from an aqueous solution on a surfactant-modified zeolite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 330(1): 35-41.
10. Wan Ngah WS. Hanafiah M.A.K.M. 2008. Adsorption of copper on rubber (*Hevea brasiliensis*) leaf powder: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. *Biochemical Engineering Journal* 39(3):521-30.
11. Dogan M, Alkan M, Demirbas O, Ozdemir Y, Ozmetin C, Adsorption kinetics of maxilon blue GRL onto sepiolite from aqueous solutions, *Chemical Engineering Journal* 2006;124(1-3):89-101.
12. Erdem E. Colgecen G. and Donat R. 2005. The removal of textile dyes by diatomite earth. *Journal of Colloid and Interface Science* 282: 314-319.
13. Wang X. Zhu N. and Yin B. 2008. Preparation of sludge-based activated carbon and its application in dye wastewater treatment. *Journal of Hazardous Materials* 153: 22-27.
14. Xiao H. Peng H. Deng S. Yang X. and Zhang Y. 2012. Preparation of
- منابع
1. Heidarpour M. Mousavi S.F. and Afyuni M. 2015. application of rice husk biochar to desalinate irrigation water. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 19(71): 21-30. (Persian).
2. Takdastan A. Azimi A. and Salari Z. 2011. The Use of Electrocoagulation Process for Removal of Turbidity, CO D, Detergent and Phosphorus from Carwash Effluent. *Journal of Water and WasteWater*, 22(3): 19-25. (Persian).
3. Esfehiani A. and Shamohammadi Heidari Z. 2011. Manganese Removal from Aqueous Solution by Natural and Sodium-Modified Zeolite. *Journal of Environmental Studies* 58: 97-104. (Persian).
4. Malakootian M. Yousefi N. and Jaafarzadeh Haghighifard N. 2011. Kinetics modeling and isotherms for adsorption of phosphate from aqueous solution by modified clinoptilolit. *Journal of water and wastewater* 4:21-29. (Persian).
5. Abedi-Koupaia J. and Mohri-Esfahani E. 2012. Desalination of Water Using Nanoparticles of Husk Ashes in Sand Filter. *Proceedings of the 4th International Conference on Nanostructures (ICNS4)* 1150-1152.
6. Von-kiti E. 2012. Synthesis of zeolites and their application to the desalination of seawater. MSc Thesis, Kwame Nkrumah University of Science and Technology Kumasi, college of science department of physics 102 pp.

- methylene blue adsorption on wheat shells. *Desalination* 194: 259-67.
22. Asfaram A. and Fathi M. R. 2013. Removal of Direct Red 12B Dye from Aqueous Solutions by Wheat Straw: Isotherms, Kinetics and Thermodynamic Studies. *Journal of Color Science and Technology* 7:223-235. (Persian).
  23. Ok Y.S. Yang J.E. Zhang Y.S. Kim S.J. and Chung D.Y. 2007. Heavy metal adsorption by a formulated Zeolite-Portland cement mixture. *Journal of Hazardous Materials* 147(1-2): 91-96.
  24. Shim J. Park S. and Ryu S. 2001. Effect of modification with HNO<sub>3</sub> and NaOH by pitch-based activated carbon fibers. *Journal of Carbon* 39:1635-1642.
  25. Ozer A. and Ozer D. 2003. Comparative study of the biosorption of Pb(II), Ni(II) and Cr(VI) ions onto *S. cerevisiae*: Determination of biosorption heats. *Journal of Hazardous Materials* 100(1-3):219-229.
  26. Sar I.A. and Tuzen M. 2009. Kinetic and equilibrium studies of biosorption of Pb (II) and Cd(II) from aqueous solution by macrofungus (*Amanita rubescens*) biomass. *Journal of Hazardous Materials* 164(2-3):1004-1011.
  27. Amin N.K. 2009. Removal of direct blue-106 dye from aqueous solution using new activated carbons developed from pomegranate peel: Adsorption equilibrium and kinetics. *Journal of Hazardous Material* 165:52-62.
  28. Yazdanbakhsh M.H. Tavakkoli S. and Hosseini M. 2011. Characterization activated carbon from edible fungi residue by microwave assisted K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> activation Application in Reactive Black 5 adsorption from aqueous solution. *Bioresource Technology* 111:127-133.
  15. Kang E.T. Neoh K.G. and Tan K.L. 1998. Polyaniline: A polymer with many interesting intrinsic redox states. *Journal of Progress in Polymer Science* 23: 277-324.
  16. Rao M.M. Ramana D.K. Seshaiyah K. Wang M.C. and Chang Chien S.W. 2009. Removal of some metal ions by activated carbon prepared from *Phaseolus aureus* hulls. *Journal of Hazardous Materials* 166 (2-3): 1006-1013.
  17. Soleimani M. Ansarie A. Haj Abassie M. and Abedie J. 2008. Investigation of Nitrate and Ammonium Removal from Groundwater by Mineral Filters. *Journal of Water and Wastewater* 67:18-26. (Persian).
  18. Benkli Y.E. Can M.F. Turan M. and Celik M.S. 2005. Modification of organo-zeolite surface for the removal of reactive azo dyes in fixed-bed reactors. *Water Resource* 39(2-3): 487-93.
  19. Coruh S. 2008. The removal of zinc ions by natural and conditioned clinoptilolites. *Desalination* 225(1-3): 41-57.
  20. Chen S. Yue Q. Gao B. and Xu X. 2010. Equilibrium and kinetic adsorption study of the adsorptive removal of Cr (VI) using modified wheat residue. *Journal of Colloid and Interface Science* 349(1):256-64.
  21. Bulut Y. and Aydın H. 2006. A kinetics and thermodynamics study of

36. Talip Z., Eral M., Hicsonmez U., (2009) Adsorption of thorium from aqueous solutions by perlite. *Journal of Environmental Radioactivity* 100:139-143.
37. Tarley C.R. Costa Ferreira S.L. and Zezzi Arrud M.R. 2004. Use of modified rice husks as a natural solid adsorbent of trace metals: characterization and development of an on-line preconcentration system for cadmium and lead determination by FASS. *Microchemical Journal* 77: 163-175.
38. Fabrianto J. Natasia Kosasih A. Sunarso J. and Ju Y.H. 2009. Equilibrium and kinetic studies in adsorption of heavy metals using biosorbent: A summary of recent studies. *Journal of Hazardous Materials* 162:616-645.
39. Raji C. Manju G.N. and Anirudhan T.S. 1997. Removal of heavy metal ions from water using sawdust-based activated carbon. *Indian Journal of Engineer Mater Science* 4:254-260.
40. Rao M. and Bhole A.G. 2001. Chromium removal by adsorption using fly ash bagasse. *Journal of Indian Water Works Association* 1:97-100.
- and evaluation catalytic efficiency of  $\text{La}_{0.5}\text{Ca}_{0.5}\text{NiO}_3$  nano powders in removal of reactive blue 5 from aqueous solution. *Desalination* 281:388-395.
29. Freundlich H. 1906. Over the adsorption in solution. *The Journal of Physical Chemistry*. 57(4):385-470.
30. Kholghi S. Badii Kh. and Ahmadi S.H. 2013. Bio-Sorption Isotherm and Kinetic Study of Acid Red 14 from Aqueous Solution By Using Azolla A. Filiculodes. *Journal of Color Science and Technology* 6: 337-346. (Persian).
31. Langmuir I. 1916. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. *Journal of the American Chemical Society* 38:2221-2295.
32. Kakavandi B. Rezaei Kalantary R. Esrafiy A. Jonidi Jafari A. and Azari. A. 2013. Isotherm, Kinetic and Thermodynamic of Reactive Blue 5 (RB5) Dye Adsorption Using  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  Nanoparticles and Activated Carbon Magnetic Composite. *Journal of Color Science and Technology* 7:237-248. (Persian).
33. Akyil S.G. Aslan A.I. and Eral M. 2003. Sorption characteristics of uranium onto composite ion exchangers. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 256: 45-51.
34. Aytas S. Akyil S. and Eral M. 2004. Adsorption and thermodynamic behavior of uranium on natural zeolite. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 260: 119-125.
35. Naghizade S. and Esmaili A. 2014. Biosorption of lead from milk by NaOH treated orange peel Iranian journal of food science and technology 43:79-89. (Persian).