

## Removal of Total Dissolved Solids from Contaminated Water Using Conocarpus Adsorbent

Masumeh Farasati\* and Ali Heshmatpour  
Assistant Professor, Agricultural Faculty, Gonbad University, Gonbad Kavoods, Iran.  
\* Corresponding Author, Email: farasati2760@gmail.com

Received: 17/10/2018  
Revised: 17/12/2018  
Accepted: 17/12/2018

### Abstract

High TDS and TSS in water is usually important causes of clogging emitters. Irrigation with high EC and TDS has an adverse effect on drip irrigation. In this study, the effect of Conocarpus on removal of dissolved solids from aqueous solution was investigated. Batch tests were conducted to verify the removal of dissolved solids from the aqueous solution and the efficiency of the sorbent was determined. Various parameters such as pH, contact time and initial concentration of adsorbent was tested on the absorption of dissolved solids. The optimum pH for both adsorbents were 3 and for adsorbent straw the equilibrium time of 10 minutes was obtained. Adsorption efficiency for 0.1 g of adsorbent was recorded as %93.55, respectively. With increasing the concentration of dissolved solids (83-960 mg/l), the efficiency of adsorption for straw was decreased from 88.9 percent to 42.5 percent. Between the isotherms which were studied, the adsorption process followed the Langmuir isotherm model. Among the kinetic models Lagergren kinetics model had a better match to the experimental data.

**Keywords:** Adsorption, Isotherm model, Kinetic model, TDS removal.

## بررسی حذف جامدات محلول از آبهای آلوده با استفاده از جاذب کنوکارپوس

معصومه فراساتی\* و علی حشمت پور  
استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه گنبدکاووس، گنبد، ایران.  
\* نویسنده مسئول، ایمیل: farasati2760@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۵  
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۷/۰۹/۲۶  
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۲۶

### چکیده

بالا بودن میزان جامدات محلول (TDS) و جامدات معلق (TSS) در آب معمول‌ترین عوامل گرفتگی قطره‌چکان‌ها هستند. آبیاری با آب حاوی EC و TDS بالا نتایج سوئی روی کارایی سیستمهای آبیاری قطره‌ای دارد، به‌خصوص در مناطقی که تخیر و تعرق سالانه از میزان بارندگی بیشتر است. بالا بودن شوری آب به‌علاوه pH بیشتر از ۷ سبب رسوب املاح به‌ویژه کربنات کلسیم در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای می‌شود. در این تحقیق اثر گیاه کنوکارپوس بر حذف جامدات محلول از محلول آبی مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور بررسی حذف جامدات محلول آزمایش‌های ناپیوسته انجام و بازدهی جاذب‌ها در حذف جامدات محلول از محلول آبی تعیین شد. پارامترهای مختلفی از جمله pH، زمان تماس، جرم جاذب و غلظت اولیه جامدات محلول روی جذب جامدات محلول مورد آزمایش قرار گرفت. pH بهینه برای هر دو جاذب برابر ۳ و زمان تعادل برای جاذب نی برابر ۱۰ دقیقه به‌دست آمد. بازدهی جذب جاذب با جرم ۰/۱ گرم ۹۳/۵۵ درصد به‌دست آمد. با افزایش غلظت جامدات محلول (۸۳-۹۶۰ میلی‌گرم بر لیتر)، بازدهی جذب نی از ۸۸/۹ درصد به ۴۲/۵ درصد کاهش یافت. در بین ایزوترم‌های مورد مطالعه، فرآیند جذب از مدل ایزوترم لانگمویر تبعیت کرد. از بین مدل‌های سینتیک داده‌های آزمایشگاهی با مدل سینتیک لاگرگن مطابقت بیشتری داشتند.

**واژه‌های کلیدی:** حذف جامدات محلول، سینتیک جذب، مدل ایزوترم، جذب

یکی از گزینه‌های کاربردی است. محمدی و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی کیفیت فیزیکی و شیمیایی آب‌های زیرزمینی قابل شرب بندر ترکمن در طی سال‌های ۱۳۸۴-۱۳۸۹ پرداختند. نتایج نشان داد کمترین مقدار ۰/۲۶ میلی‌گرم در لیتر مربوط به چاه شماره ۵ و بیشترین مقدار ۰/۴۶ میلی‌گرم در لیتر مربوط به چاه‌های شماره ۱، ۲، ۳ که در تمامی نمونه‌ها غلظت فلئوئور زیر حد استاندارد بوده است، همچنین نتایج نشان داد که بیشترین مقدار نیترات مربوط به چاه‌های شماره ۲ و ۳ با مقدار ۹/۱ میلی‌گرم و کمترین در چاه شماره ۵ با مقدار ۶/۱ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شده است. در بقیه موارد پارامترهای اندازه‌گیری شده در حد استاندارد هستند. پارامترهای سولفات، کلراید و بیکربنات در همه چاه‌های نمونه‌برداری شده محدوده مطلوب قرار دارند. هم‌چنین کاتیون‌های منیزیم و سدیم آهن و منگنز در محدوده مطلوب قرار دارند به‌جز کلسیم که در چاه‌های شماره ۲ و ۳ کمی از حداکثر مطلوب بیشتر است.

استواری و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی، بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی برخی از شاخص‌های کیفی آب برای کاربرد در طراحی آبیاری قطره‌ای در دشت لردگان پرداختند. (Broseus et al., 2009) به حذف جامدات محلول، نیترات و آمونیوم با استفاده از دی‌یونیزه کردن پرداختند. نتایج نشان داد که تکنولوژی پیشنهادی یک جایگزین مناسب برای تصفیه آب است. با این‌وجود برای تأیید نتایج به‌دست آمده سنجش باید در آب طبیعی در مدت‌زمان طولانی انجام شود. Das et al. (2015) حذف جامدات محلول را با استفاده از ممبرین‌های سولفات شده و آمینه شده بررسی کردند. نتایج نشان داد که جاذب سولفات شده بیشترین راندمان حذف جامدات محلول را دارا بود. در این تحقیق سعی شد که چشم‌انداز آینده جاذب‌های کم‌هزینه در تصفیه آب بحث و بررسی شود. محققان به این نتیجه رسیدند که جاذب کنوکارپوس سازگار با محیط‌زیست، در دسترس، ارزان و تجدیدپذیر بوده که قادر به حذف خیلی از فلزات هستند. با توجه به این‌که تاکنون در زمینه حذف جامدات محلول توسط جاذب کنوکارپوس تحقیقی صورت نگرفته است، در پژوهش حاضر اثر جاذب کنوکارپوس بر حذف جامدات محلول از محلول آبی مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش‌ها

برای رسیدن به اهداف این تحقیق، آزمایش‌ها در دانشکده

منابع آب زیرزمینی در کشور ایران از مهم‌ترین منابع آب مورد استفاده در کشاورزی و شرب به‌شمار می‌آیند. تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و شور شدن منابع آب هم‌اکنون خطری بزرگ در راه توسعه کشاورزی کشور به‌ویژه در اراضی خشک است. کیفیت آب زیرزمینی هم‌چون آب سطحی همواره در حال تغییر است، اما این تغییرات نسبت به آب‌های سطحی بسیار کندتر صورت می‌گیرد.

تهیه نقشه‌های تغییرات شوری و املاح می‌تواند گامی مهم در بهره‌برداری صحیح از منابع آب باشد. افزون بر آن نقشه‌های تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آب‌های زیرزمینی، نقشی ارزنده ای را در فرایند تصمیم‌گیری و مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند. فراهم نمودن آب شرب یک نگرانی مهم در کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه است. در طول ۲۵ سال آینده، تعداد افرادی که تحت تأثیر کمبود شدید آب قرار می‌گیرند چهار برابر می‌شود (Miller et al., 2003). شوری‌زدایی آب دریا یک تکنیک برای تهیه آب شیرین است اما به فناوری کم‌هزینه‌ای با بازیابی آب زیاد نیاز است. غلظت نمک‌ها در آب دریا و آب لب‌شور به ترتیب ۳۵-۵۰ گرم در لیتر و ۸۰۰-۳۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. اما کاهش جامدات محلول به ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برای دستیابی به آب خوش‌طعم نیاز است (Ryoo et al., 2003).

بالا بودن میزان جامدات محلول (TDS) و جامدات معلق (TSS) در آب معمول‌ترین عوامل گرفتگی قطره‌چکان‌ها هستند (Hasanlee et al., 2001). اثرات EC و TDS در آبیاری از هر عامل دیگر مهم‌تر هستند. آبیاری با آب حاوی EC و TDS بالا نتایج سوئی روی کارایی سیستم‌های آبیاری قطره‌ای دارد، به‌خصوص در مناطقی که تبخیر و تعرق سالانه از میزان بارندگی بیشتر است. بالا بودن شوری آب به‌علاوه pH بیشتر از ۷ سبب رسوب املاح به‌ویژه کربنات کلسیم در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای می‌شود (Ribeiro et al., 2004).

فتاوری‌های زیادی برای حذف جامدات محلول از دریا و لب‌شور وجود دارد. روش اسمز معکوس یکی از روش‌ها است که با توجه به گران بودن آن، محققین جایگزین‌های متعدد دیگری را مطالعه کرده، استفاده از آن‌ها را پیشنهاد نموده‌اند. علاوه‌بر آن حذف جامدات محلول توسط جاذب‌های کم‌هزینه و مطلوب

تبادل،  $m$ : مقدار جاذب (g) و  $V$ : حجم محلول (L) هستند.

## ۲-۱- معادلات تعادلی یا ایزوترمهای جذب

روش مناسب برای تعیین قابلیت‌های جاذب‌ها در حذف آلاینده، به دست آوردن ایزوترم جذب است. مدل‌های ایزوترم جذب فروندلیچ، لانگمویر، تمکین، هالسی و هارکینز به منظور بررسی جذب جامدات محلول به کار برده شدند که معادله آن‌ها در ادامه آمده است:

$$\text{Freundlich equation: } \log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (۴)$$

$$\text{Langmuir equation: } \frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{\max} b} + \frac{C_e}{q_{\max}} \quad (۵)$$

$$\text{Temkin equation: } q_e = b_T \ln K_T + b_T \ln C_e \quad (۶)$$

$$\text{Halsey equation: } \ln q_e = \left[ \left( \frac{1}{n_H} \right) \ln K_H \right] - \left( \frac{1}{n_H} \right) \ln \left( \frac{1}{C_e} \right) \quad (۷)$$

$$\text{Harkins-Jura model: } \frac{1}{q_e^2} = \left[ \frac{B}{A} \right] - \left[ \frac{1}{A} \right] \log C_e \quad (۸)$$

که  $q_e$ : ظرفیت جذب تعادلی ( $\text{mg g}^{-1}$ )،  $C_e$ : غلظت ماده جذب‌شونده در حالت تعادل در فاز مایع ( $\text{mg L}^{-1}$ )،  $a$  و  $b$ : ثابت‌های ایزوترم،  $n$ : شاخص ناهمگنی (مقدار  $1/n$  در محدوده صفر و یک است)،  $b$ : ثابت تعادلی ایزوترم فروندلیچ ( $\text{L mg}^{-1}$ )،  $K_f$ : ثابت ایزوترم فروندلیچ،  $K_T$  و  $b_T$ : ثابت ایزوترم تمکین،  $K_H$  و  $n_H$ : ثابت ایزوترم هالسی،  $A$  و  $B$ : ثابت ایزوترم هارکینز هستند. برای بررسی قابلیت استفاده از معادله لانگمویر از ضریب لانگمویر ( $R_L$ ) استفاده می‌شود رابطه (۹).

$$R_L = \frac{1}{(1 + bC_0)} \quad (۹)$$

که  $C_0$ : غلظت اولیه محلول است. اگر مقدار  $R_L > 1$  باشد استفاده از مدل نامناسب، اگر  $R_L = 1$  باشد استفاده از حالت خطی مدل مناسب بوده، اگر  $0 < R_L < 1$  باشد مدل مناسب و اگر  $R_L = 0$  باشد مدل ناکارآمد است.

## ۲-۲- معادلات غیر تعادلی یا سینتیک:

به منظور مطالعه مکانیزم‌های کنترل‌کننده فرآیند جذب، مدل‌های سینتیک لاگ‌گرن، مدل هوو، مدل الویچ، مدل انتشار درون‌ذره‌ای و مدل توانی به شرح زیر به کار برده شد.

Pseudofirst-order equation:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1}{2.303} t \quad (۹)$$

کشاورزی دانشگاه گنبدکاووس انجام شد. گیاه کنوکارپوس از درختان اهواز تهیه شد. این مواد پس از شستشو و خشک شدن توسط آسیاب گلوله‌ای (لوس‌آنجلس) به اندازه‌های در حد میکرو خرد شده و سپس از الک شماره ۲۰۰ (۷۵ میکرون) عبور داده شدند. تمام محلول‌های آزمایش به‌طور مصنوعی با استفاده از نمک کلرید سدیم و آب دی‌یونیزه تهیه شدند. pH اولیه محلول‌های مصنوعی با استفاده از HCl و NaOH ۰/۱ مولار و به‌وسیله یک pH متر در مقادیر ۲ تا ۸ تنظیم شد. آزمایش‌های جذب ناپیوسته، در دمای  $20 \pm 2$  درجه سلسیوس و در ظروف پلی پروپیلن ۱۰۰ میلی‌لیتری به‌عنوان ظرف واکنش و اضافه کردن ۴۰ میلی‌لیتر از محلول یون فلزی انجام شد. جذب جامدات محلول از محلول آبی توسط جاذب کنوکارپوس با جرم ۰/۱ تا ۲ گرم، غلظت اولیه مس از ۸۳ تا ۹۶۰ میلی‌گرم بر لیتر، pH و زمان تعادل مورد بررسی قرار گرفت. در طول زمان واکنش، محلول روی دستگاه لرزاننده با سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه قرار گرفت و پس از اتمام زمان واکنش از کاغذ صافی عبور داده شد. نمونه را با همزن مخلوط کرده و یک حجم مشخصی از آن را برداشته و فیلتر شد. بعد با آب مقطر در حجم‌های ۱۰ میلی‌لیتری شستشو داده، قسمت فیلتر شده با آب مقطر شستشو داده شده به یک کپسول چینی منتقل نموده و روی حمام بخار خشک شد. سپس به مدت یک ساعت در حرارت  $180 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد قرار داده سپس در دسیکاتور خنک نموده و بعد وزن شد و از روی فرمول (۱) کل جامدات محلول اندازه‌گیری شد.

$$\frac{(A - B)}{\text{ml sample}} * 100 = TDS \quad (۱)$$

که  $TDS$ : جامدات محلول،  $A$ : وزن باقیمانده خشک+کپسول چینی و  $B$ : وزن کپسول چینی هستند. درصد بازدهی حذف و میزان جذب جامدات محلول به ترتیب از روابط (۲) و (۳) محاسبه شد.

$$\%R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \quad (۲)$$

$$q_e = \frac{C_i - C_f}{m} \times V \quad (۳)$$

که  $q_e$ : میزان جذب ماده حل‌شده در واحد جرم جاذب ( $\text{mg g}^{-1}$ )،  $C_i$ : غلظت اولیه ماده حل‌شونده ( $\text{mg L}^{-1}$ )،  $C_f$ : غلظت باقی‌مانده ماده حل‌شونده ( $\text{mg L}^{-1}$ ) پس از سپری شدن زمان

ساعت با غلظت اولیه ۱۲۸۰ میلی‌گرم بر لیتر و ۰/۵ گرم جاذب کنوکارپوس را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش pH محلول از ۲ تا ۳، بازدهی حذف از ۸۴ تا ۹۰ درصد شده و با افزایش pH، تغییرات ناچیزی در بازدهی جذب ایجاد شده است. بنابراین بیشترین بازدهی جذب در pH برابر ۳ است. در pH‌های بیشتر از ۳، جذب جامدات محلول تقریباً ثابت شده است. نتایج مشابهی توسط Samia et al. (2012) در حذف کادمیم، مس و سرب با استفاده از نانولوله های کربنی به دست آمده است.

### ۳-۲- اثر زمان تماس

شکل ۲ تغییرات بازدهی جذب جامدات محلول را با زمان در pH بهینه ۳ با غلظت اولیه ۱۲۸۰ میلی‌گرم بر لیتر جامدات محلول و ۰/۵ گرم جاذب نشان می‌دهد. به منظور تعیین زمان تعادل، آزمایشها برای زمان تماسهای مختلف ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۹۰، ۱۸۰، ۲۴۰ و ۳۶۰ دقیقه انجام شد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده میشود، برای جاذب نی، با افزایش زمان تماس از ۱۰ تا ۳۶۰ دقیقه شدت جذب تقریباً ثابت مانده و بازدهی جذب از ۸۹ تا ۸۹/۶ تغییر کرده است. با قرار دادن جامدات محلول در تماس با جاذب پس از زمان تعادل، تأثیر چندانی بر مقدار جذب نخواهد داشت. نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققان همخوانی داشته است (Wang et al., 2010).

### ۳-۳- اثر میزان جاذب بر حذف

جامدات محلول: یکی دیگر از عوامل مؤثر در میزان جذب، مقدار جاذب است. در این مرحله از آزمایشها، مقادیر مختلف از جاذب (۰/۱، ۰/۳، ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۱/۵ و ۲ گرم در ۴۰ میلی‌لیتر محلول) با غلظت اولیه ۱۲۸۰ میلی‌گرم بر لیتر جامدات محلول، زمان تعادل ۱۰ دقیقه، pH برابر ۳ به بررسی راندمان جذب پرداخته شد. اثر جرم جاذب بر حذف جامدات محلول در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود جاذب کنوکارپوس با جرم ۰/۱ گرم، بیشترین درصد جذب (۸۵ درصد) را داشته و افزایش جرم جاذب از ۰/۱ به ۲ گرم تأثیر چندانی بر بازدهی حذف جامدات محلول نداشته است. دلیل آن ناشی از اشباع شدن جایگاههای جذب نی توسط جامدات محلول با بازدهی حذف ۸۵ درصد بوده است. افزایش جرم جاذب درصد حذف جامدات محلول را افزایش

$$\text{Pseudo second\_order equation: } \frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (11)$$

$$\text{Pore diffusion, intra-particle diffusion model: } q_t = k_1 t^{0.5} + C \quad (12)$$

$$\text{Power equation: } q_t = at^b \quad (13)$$

$$\text{Elovich equation: } qt = \left( \frac{1}{\beta} \right) \ln(\alpha\beta) + \left( \frac{1}{\beta} \right) \ln t \quad (14)$$

که  $q_e$ : ظرفیت جذب تعادلی ( $\text{mg g}^{-1}$ )،  $q_t$ : مقدار مس جذب شده در زمان  $t$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) و  $k_1$ : ثابت جذب مدل لاگرگرن ( $\text{min}^{-1}$ )،  $k_2$ : ثابت معادله هوو ( $\text{g mg}^{-1} \text{min}^{-1}$ )،  $k_1$ : ثابت معادله انتشار درون ذره‌ای،  $C$ : عرض از مبدأ معادله انتشار درون ذره‌ای،  $\alpha$ : سرعت جذب اولیه ( $\text{mg g}^{-1} \text{min}^{-1}$ )،  $\beta$ : ثابت واجذب ( $\text{g mg}^{-1}$ )،  $q_t$ : مقدار جامدات محلول جذب شده در زمان  $t$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) و  $a$  و  $b$ : ثابتهای معادله توانی هستند. در مدل الوویچ،  $\alpha$ : نشان دهنده سرعت جذب اولیه است.

### ۳-۲- معیار ارزیابی مدل‌ها

برای ارزیابی مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق، از معیارهای  $X^2$  و RMSE استفاده شد. هر چه مقدار  $X^2$  و RMSE کمتر باشد نشان می‌دهد که برازش صورت گرفته توسط مدل با دقت بهتری انجام شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_e - q_c)^2}{n}} \quad (15)$$

$$\chi^2 = \sum \frac{(q_{\text{exp}} - q_m)^2}{q_m} \quad (16)$$

که  $q_c$ : مقدار به دست آمده از برازش مدل،  $q_e$ : مقدار به دست آمده از آزمایش،  $n$ : تعداد مؤلفه‌های آزمایش،  $q_m$ : مقدار به دست آمده از برازش مدل و  $q_{\text{exp}}$ : مقدار به دست آمده از آزمایش هستند.

### ۳- نتایج و بحث

اثر عواملی مانند pH، زمان تعادل، جرم جاذب، غلظت اولیه بر جذب جامدات محلول مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آن به صورت زیر است.

#### ۳-۱- نتایج آزمایش تأثیر pH اولیه

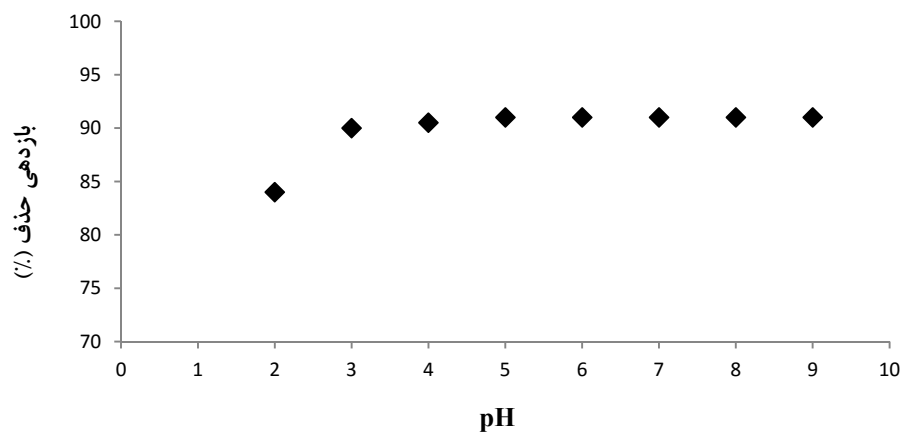
pH اولیه محلول فلزی یکی از برگ خریدهای مهم برای جذب توسط جاذب‌های مختلف است. شکل ۱ تغییرات بازدهی جذب جامدات محلول را به عنوان تابعی از pH در زمان تماس ۳

افزایش غلظت اولیه جامدات محلول از ۵ به ۴۰ میلی گرم بر لیتر، بازدهی جذب از ۹۶/۴۳ درصد به ۸۹/۲ درصد کاهش یافته است. در غلظت‌های پایین جامدات محلول سطح ویژه و مکان‌های جذب بالا بوده و یون‌های جامدات محلول قادرند با موقعیت‌های جذب موجود بر سطح جذب برهمکنش داشته باشند، لذا بازدهی جذب بیشتر بوده است. با افزایش غلظت اولیه، هرچند مقدار وزنی جذب بالا رفته، اما چون نسبت جذبی به محلول ثابت است به دلیل اشباع بودن مکان‌های جذبی توسط ماده جذب شونده، در غلظت‌های بالا، بازدهی جذب کاهش یافته است. بنابراین به دلیل ثابت بودن مقدار جذب (۰/۱ گرم)، درصد جذب با افزایش غلظت جامدات محلول، کاهش یافته است. نتایج این تحقیق با نتایج سایر محققان

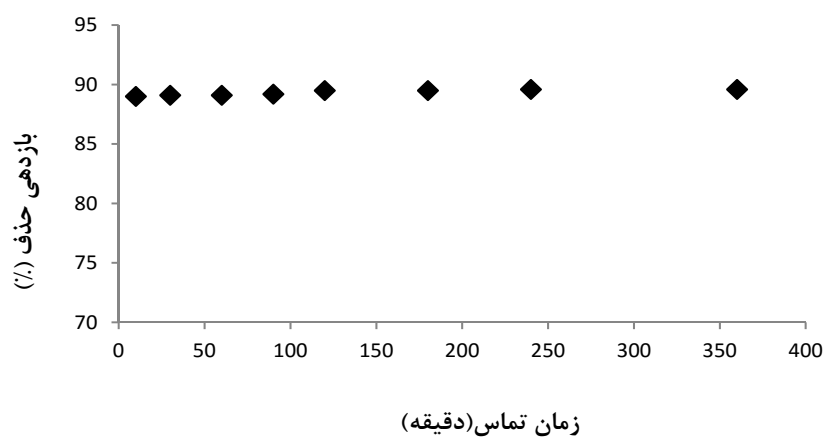
نداده است، زیرا غلظت جامدات محلول در جذب کنوکارپوس با غلظت آن در محلول به تعادل رسیده است. نتایج این تحقیق با تحقیقات (Bhattacharyya and Gupta, 2008) همخوانی داشته است. کاهش جذب به ازای واحد جرم جذب با گذشت زمان رفتاری است که در تحقیقات دیگران نیز مشاهده شده است (Bhattacharyya and Gupta, 2008).

### ۳-۴- اثر غلظت اولیه جامدات محلول

اثر غلظت اولیه جامدات محلول توسط جذب کنوکارپوس با غلظت‌های اولیه مختلف ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۶ میلی گرم بر لیتر با استفاده از ۰/۱ گرم جذب در pH برابر ۳، در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۴، در جذب نی، با



شکل ۱- اثر pH بر جذب جامدات محلول توسط جذب کنوکارپوس



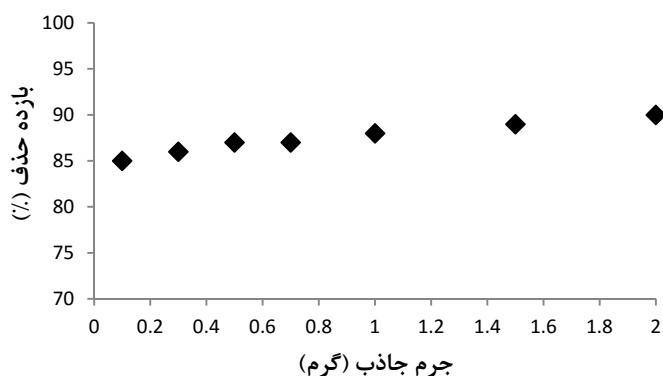
شکل ۲- تغییرات بازدهی حذف با زمان

شد که مدل لانگمویر نسبت به مدل‌های مورد مطالعه، دارای  $R^2$  بالا و RMSE پایین‌تری بود. در ایزوترم لانگمویر، حداکثر ظرفیت تبدیلی جاذب کنوکارپوس به ترتیب ۹/۹ میلی‌گرم بر گرم به دست آمده است. مقدار  $b$  در ایزوترم لانگمویر برابر با ۶/۷۹ لیتر بر میلی‌گرم به دست آمد. تغییرات ضریب  $R_L$  با تغییر در غلظت‌های اولیه جامدات محلول در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به منحنی‌های به دست آمده پارامتر  $R_L$  بین صفر و یک بوده که نشان می‌دهد جاذب کنوکارپوس دارای قابلیت حذف جامدات محلول از محلول آبی با استفاده از جذب سطحی بوده است. با توجه به این که معیار بررسی کارآمد بودن یا نبودن مدل لانگمویر، استفاده از ضریب  $R_L$  است و با توجه به مثبت بودن پارامتر  $b$  در تمامی نتایج، این ضریب همواره بین صفر و یک بوده، در نتیجه استفاده از مدل لانگمویر برای برازش داده‌ها مناسب بوده است. با توجه به شکل ۵، با افزایش غلظت اولیه مس، مقادیر  $R_L$  به سمت صفر میل پیدا کرده که

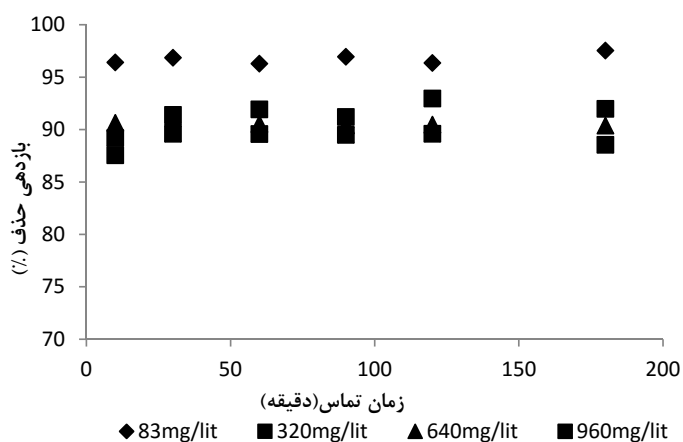
مطابقت داشته است (Ding et al., 2014). در جاذب پوشال نیشکر با افزایش غلظت اولیه جامدات محلول از ۸۳ به ۹۶۰ میلی‌گرم بر لیتر، بازدهی حذف از ۹۶/۴۳ درصد به ۸۹/۲ درصد کاهش یافته است. با توجه به شکل ۴، با افزایش غلظت اولیه، کاهش شدت بازدهی حذف در جاذب بیشتر بوده و با شیب تندتری کاهش یافته که به دلیل کمتر بودن ظرفیت این جاذب در جذب جامدات محلول بوده است.

در این تحقیق داده‌های آزمایشگاهی با ایزوترم‌های مختلف برازش داده شدند. مقادیر ضریب تبیین ( $R^2$ )، کای اسکوئر ( $\chi^2$ ) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای مدل‌های مختلف در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به ضریب همبستگی مدل‌های ایزوترم ارائه شده در جداول ۱ و ۲، داده‌های فرآیند جذب از مدل لانگمویر و هارکینز تبعیت کرده است. مدل هالسی به دلیل RMSE و  $\chi^2$  بالا با هیچ‌کدام از داده‌ها همخوانی نداشت. همچنین مشاهده



شکل ۳- اثر میزان جاذب بر حذف جامدات محلول توسط جاذب کنوکارپوس



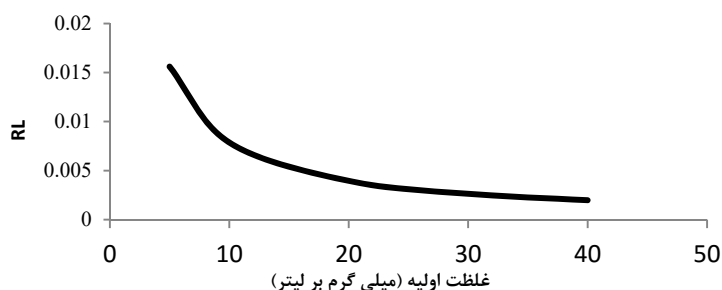
شکل ۴- اثر غلظت اولیه بر حذف جامدات محلول از محلول توسط جاذب کنوکارپوس

جدول ۱- نتایج حاصل از برازش مدل‌های ایزوترم بر جذب جامدات محلول (pH=۳، زمان تعادل برابر ۱۰ دقیقه).

مدل	معادله	RMSE	X <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
فروندلیچ	$\log q_e = 0.86 + 0.14 \log Ce$	۲/۷۸	۶/۸۷	۰/۱۳۱
لانگمویر	$\frac{Ce}{q_e} = 0.024 + 0.16 Ce$	۰/۳۲	۴/۱۶	۰/۹۵
تمکین	$q_e = 0.554 \ln 1.28 + 0.554 \ln Ce$	۰/۹۹۷	۵/۱۵	۰/۱۷۴
هالسی	$\ln q_e = 3.2 \ln 2.01 - 3.2 \ln \left(\frac{1}{Ce}\right)$	۳/۹۰	۷/۵	۰/۸۴
هارکینز	$\frac{1}{q_e^2} = 0.19 - 0.13 \log Ce$	۲/۴۰	۴/۴۱	۰/۹۲

نشان می‌دهد در غلظت‌های بالای جامدات محلول، جذب یون جامدات محلول روی جاذب به‌طور مطلوبی صورت نگرفته است. در مدل فروندلیچ، با افزایش  $k_f$ ، ظرفیت جذب افزایش یافته است. در این مطالعه ضرایب  $1/n$  (ثابت فروندلیچ) در محدوده ۰/۳۸ به‌دست آمده که چون در محدوده صفر و یک است، بنابراین شرایط جذب مطلوب بوده است. همچنین مقادیر ضریب همبستگی نسبتاً پایین ایزوترم فروندلیچ نشان داد که فرآیند جذب غیر همگن نبوده است. جدول ۲ نتایج حاصل از آزمایش‌های جذب سینتیک جامدات محلول توسط جاذب

کنوکارپوس را نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۲، مدل لاگ‌گرن و الویج با RMSE و  $x^2$  کوچک‌تر و  $R^2$  بزرگ‌تر، برازش بهتری بر داده‌های آزمایشگاهی داشته است. در جاذب نی، مقدار ظرفیت جذب محاسبه شده مدل لاگ‌گرن (۵/۳۷ میلی‌گرم بر گرم) با ظرفیت جذب داده‌های به‌دست آمده از آزمایش (۶/۷۳ میلی‌گرم بر گرم) تطابق داشته و مدل هوو، مقدار ظرفیت جذب محاسبه شده (۳/۱۴ میلی‌گرم بر گرم) را کمتر از ظرفیت جذب داده‌های به‌دست آمده از آزمایش (۶/۷۳ میلی‌گرم بر گرم) برآورد کرده است. با توجه به



شکل ۵- تغییرات در ضریب  $R_L$  با تغییر در غلظت اولیه جامدات محلول برای جاذب کنوکارپوس

جدول ۲- پارامترهای مدل‌های سینتیک برازش داده شده بر جذب جامدات محلول

مدل	معادله	RMSE	X <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
هوو	$\frac{t}{q_t} = 21.62 + 7.14t$	۰/۳۹	۴/۰۵	۰/۳۰
لاگ‌گرن	$\log(5.37 - q_t) = \log 5.37 - 0.002t$	۰/۲۷	۳/۱۸	۰/۹۲
درون ذره ای	$q = 0.25t^{1/2} + 2.53$	۲/۵۳	۶/۱۰	۰/۲۷
توانی	$q = 1.36t^{0.291}$	۲/۲۶	۶/۱۴	۰/۳۰
الویج	$q_t = 1.22 \ln 0.85 + 1.22 \ln t$	۲/۲۵	۶/۰۹	۰/۳۲



- modynamics, Desalination*, 272, 66-75.
- Broseus, R., Cigana, J., Barbeau, B., Daines-Martinez, D., and Suty, H., (2009), "Removal of total dissolved solids, nitrates and ammonium ions from drinking water using charge-barrier capacitive deionization", *Desalination*, 249, 217-223.
- Das, D., Rose, V.L., Das, N., (2015), "Enhanced TDS removal using cyclodextrinated, sulfonated and aminated forms of bead-membrane due nanobiocomposite via sophorolipid mediated complexation", *Desalination*, 360, 35-44.
- Ding, S., Lei, Z., Yang, Y., Feng, C., and Zhang, Z., (2014), "Selective removal of cesium from aqueous solutions with nickel (II) hexacyanoferrate (III) functionalized agricultural residue-walnut", *Journal of Hazardous Materials*, 270, 187-195.
- Hassanlee, A.S., (2001), "Dripper clogging in trickle irrigation (case study) and its control strategy", *Journal of Agricultural Science*, 10(3), 49-59.
- Miller, J.E., (2003), *Review of water resources and desalination technologies*, SAND, 2003-0800.
- Ribeiro, T., Paterniani, J., Airolidi, R., and Silva, M., (2004), "Performance of non-woven synthetic fabric and disc filters for fertirrigation water treatment", *Science of Agriculture (Piracicaba, Braz.)*, p: 127-133.
- Ryoo, M.W., Kim, J.H., and Seo, G., (2003), "Role of titania incorporated on activated carbon cloth for capacitive deionization of NaCl solution", *Journal of Colloid Interface Science*, 264, 414-419.
- Samia, A.K., Ghalia, A., and Mohamed Abdel, S., (2012), "Removal of heavy metals from aqueous solutions by multi-walled carbon nanotubes modified with 8-hydroxyquinoline", *Chemical Engineering Journal*, 181, 159-168.
- Wang, F.Y., Wang, H., and Wei Ma, J., (2010), "Adsorption of cadmium (II) ions from aqueous solution by a new low-cost adsorbent-Bamboo charcoal", *Journal of Hazardous Materials*, 177, 300-306.

جدول ۲، معادله رگرسیونی به دست آمده از مدل انتشار درون ذره ای، دارای عرض از مبدا غیر صفر بوده (نمودار q در مقابل  $t^{0.5}$  خطی نبوده)، بنابراین مدل انتشار درون ذره ای به تنهایی کنترل کننده مکانیزم سرعت اولیه جذب نبوده و مکانیزم جذب و انتشار درون ذره ای هم زمان صورت گرفته است. مقایسه مقادیر  $R^2$  و RMSE مدل ها نشان داد که فرایند جذب از مدل لاگرگرن ( $R^2$ ) بالاتر و RMSE و  $x^2$  کمتر) تبعیت نموده است.

#### ۴- نتیجه گیری

در این مطالعه غلظت اولیه و میزان جاذب بهینه تاثیر زیادی بر حذف جامدات محلول در pH و زمان تماس بهینه داشتند. بیشترین جذب جامدات محلول در pH ۳ صورت گرفت. بازدهی جذب در زمان تماس ۱۰ دقیقه و ۰/۱ گرم جاذب ثابت شد و برعکس با افزایش غلظت اولیه جامدات محلول، بازدهی جذب کاهش یافت. فرایند جذب از ایزوترم لانگمویر تبعیت می کرد. نتایج به دست آمده از آزمایش های جذب با مدل سینتیک لاگرگرن مطابقت کامل داشت. با توجه به نتایج به دست آمده، استفاده از جاذب کنوکارپوس برای حذف جامدات محلول از محلول آبی یک تکنولوژی کم هزینه بوده و استفاده مجدد از ضایعات محصولات برای تصفیه فاضلاب امیدوار کننده است.

#### ۵- تقدیر و تشکر

این پژوهش به شماره ۶/۶۶۴ با حمایت مالی دانشگاه گنبد کاووس اجرا شده است. در این جا از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه که شرایط مناسب برای انجام این تحقیق را فراهم نمودند تشکر و قدردانی می شود.

#### ۶- مراجع

- استواری، ی، بیگی هرچگانی، ح.ا، و داودپان، ع.ر. (۱۳۹۰)، «ارزیابی، بررسی تغییرات مکانی و پهنبندی برخی از شاخص های کیفی آب برای کاربرد در طراحی آبیاری قطره ای در دشت لردگان»، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۲(۵)، ۲۴۲-۲۵۴.
- Bhattacharyya, K.G., and Gupta, S.S., (2011), "Removal of Cu(II) by natural and acid-activated clays: An insight of adsorption isotherm", *Kinetic and Ther-*