



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Efficiency Investigating of Biochar for Desalination in the Presence of Copper Ions

Mohammadmehdi Hasan-Abadi¹, Somayeh Soltani-Gerdefaramarzi^{2*}, Mohsen Ghasemi³ and Abolfazl Azizian⁴

¹M.Sc. Alumnus, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

²Assoc. Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

³PhD of Water Sciences and Engineering, Planning, Yazd Regional Water Company, Yazd, Iran

⁴Assist. Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Collage of Agriculture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

Article information

Received: February 05, 2024

Revised: April 29, 2024

Accepted: April 30, 2024

Keywords:

Adsorption

Biochar

Copper

Saline Wastewater

Sesame Residue

*Corresponding author:

ssoltani@ardakan.ac.ir



Abstract

With the aim of investigating the efficiency of biochar for desalination, experiments with adsorbent treatment at four levels including sesame flour, biochar at temperatures of 400, 500 and 600 °C and salt water treatment at four levels including 5, 10, 20 and 35 dS/m were conducted in three replications as a factorial experiment in the form of a completely randomized design in a discontinuous environment. The adsorption of the salinity factor ions was studied in the presence and absence of copper ions. The results showed that the desalination capacity without the presence of copper ions in the best adsorbent (Biochar 600) was obtained at the studied salinities of 411.6 mg/g. While the desalination capacity in the presence of copper ions using the same adsorbent at the studied salinities was 382.2 mg/g, indicating competition between ions and 8.0% decrease in adsorption capacity for salinity 35 dS/m. In both the presence and absence of copper, the highest adsorption was assigned to chlorine and sodium ions and the lowest to potassium ion. In summary, sesame flour biochar, owing to its high active surface area, porous structure, and suitable functional groups on the surface, effectively adsorbs salt ions in the presence of copper ions during the adsorption process.

How to cite this paper: Hasan-Abadi, M., Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M., & Azizian, A. (2024). Investigating the efficiency of biochar for desalination in the presence of copper ions. *Environ. Water Eng.*, 10(4), 438-451. <https://doi.org/10.22034/ewe.2024.441749.1913>



© Authors, Published by **Environment and Water Engineering Journal**. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The role and importance of brackish and saline water in Iran's agriculture in the future as a suitable and cheap source of water should be studied and paid attention to so that it can be used for the development of the cultivated area through special management. On the other hand, the contamination of various ecosystems with potentially toxic elements is one of the most important environmental problems threatening the life of plants, animals and especially humans. Industrial effluents are a major source of various types of metal pollution in natural waters. Irrigation of agricultural land with wastewater causes many environmental problems and, due to the non-degradable nature and also the cumulative property of metals, they cause many risks to human health. Various adsorbents are used to remove pollutants from aqueous solutions, including zeolite, plant residues, clay, activated carbon, etc. Today, surface absorption is recognized as an effective and economical method of purifying saltwater and wastewater. In recent years, the use of biochar as a carbon sequestrate to remove various pollutants has been welcomed. In general, biochar is used to mitigate the harmful effects of climate change, to produce energy, to improve the condition of soil and land management, to manage agricultural waste and to reduce the risks posed by the spread of pollution in nature. It is believed that very little research has been carried out, or that different levels of salinity in the presence of potentially toxic elements have not been studied. This research has attempted to investigate this issue using carbon adsorbents made from sesame flour.

Material and Methods

In this research, the possibility of removing salt ions in the presence and absence of copper ions in saline water environments by sesame flour (B0) and biochar produced from it at temperatures 400 (B1), 500 (B2), and 600 (B3) was tested. First, sesame flour was converted to biochar. Experiments with adsorbent treatment at four levels (sesame flour, biochar at temperatures of 400, 500, and 600 degrees Celsius), salt water treatment at four levels (5, 10, 20, and 35 dS/m) in three replications. It was conducted as a factorial experiment in the form of a completely randomized design in a discontinuous environment. Data analysis and comparison of

means were performed using SPSS version 22 software and LSD test at 5% level. To adapt the test conditions to natural conditions, a sample of drainage water from the Chah-Afzal Ardakan well area with a salinity of 35 dS/m was used, and other salinity concentrations were prepared by adding distilled water. CuSO₄ with a concentration of 100 mg/liter was used to prepare the saline solution containing copper ions. 100 ml of salt water was added to each conical flask and the lid was closed. The samples were then placed on a shaker at a temperature of 25 °C for 120 min at 180 rpm. The resulting solution was left to stand for 48 hr to separate the solid and liquid components. It was then passed through filter paper and the concentration of dissolved ions including sodium, potassium, calcium, magnesium, chlorine and bicarbonate was measured. The adsorption capacity and percentage of water salinity factor ions and copper ions by the adsorbents were also calculated.

Results

According to the obtained results, at a salinity of 35 dS/m, the highest and lowest amount of adsorbed ions were related to chlorine and potassium ions, respectively, with values of 184.9 and 10.1 mg/g, and the salinity of the solution after Adsorption for all four levels of salinity reached 3.9, 7.5, 14.4 and 24.5 dS/m. The salt absorption capacity of the prepared adsorbents ranged from 7.9 to 411.6 mg/g. Also, the desalination capacity of the best adsorbent for absorption (600 biochar) in electrical conductivity of 5, 10, 20 and 35 dS/m is 43.7, 80.9, 188.9 and 411.6 mg/g respectively. According to the results of these absorption values, it reduces the total ions of water salinity by 22.7, 24.6 and 8. 27 and 1.30 percent. The highest and lowest percentages of absorption by adsorbents in water with a salinity of 35 dS/m are related to sesame flour and Biochar 600 with values of 9.6 and 30.1%. Table (1) shows adsorption rate of soluble ions without the presence of copper by the prepared adsorbents. The different concentration of different ions in the initial solution affects the amount of adsorption. According to the obtained results, the amount of adsorption of different salinity ions from the wastewater was also higher for chlorine and sodium than for other salinity ions, as well as the adsorption of salinity without the presence of copper. According to the results obtained, at a salinity of 35 dS/m, the highest and lowest amounts of adsorbed ions were related to chlorine

and potassium ions, with values of 176.3 and 9.7 mg/g, respectively. Potassium with the lowest amount of adsorption had the least significant

difference, and chlorine and sodium also had the most significant difference at the 5% level.

Table 1 Absorption rate of soluble ions without the presence of copper by the prepared adsorbents.

Adsorbent	EC1 (dS/m)	Absorption rate of soluble ions (mg/g)						EC2 (dS/m)
		K	Na	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	
B0	5	0.1h	3.6m	-0.3h	-0.1i	4.8k	-0.2i	4.8
B0	10	0.3gh	12.2k	-1.1i	-0.9ij	12.5j	-1.0ij	9.3
B0	20	0.5gh	28.7g	-2.1j	-1.1ij	35.4g	-1.8ij	18.2
B0	35	0.9g	63.4e	-6.1k	-2.4j	78.9e	-2.9j	31.6
B1	5	0.6gh	7.8l	0.7g	0.8h	11.1f	1.2h	4.4
B1	10	1.3f	18.8i	1.7f	1.4fh	21.5i	3.1f	8.5
B1	20	2.1e	45.9f	3.4d	3.1f	64.3f	4.2ef	16.4
B1	35	4.1c	118.3c	5.2c	4.8d	128.1c	5.3e	28.2
B2	5	1.0g	8.6i	1.1fg	1.2fh	15.8ij	2.1g	4.2
B2	10	2.1e	21.6h	2.3e	2.5g	27.4h	4.3ef	8.2
B2	20	3.4ce	52.4ef	4.7cd	4.5d	79.1e	6.7d	15.6
B2	35	7.6b	133.5b	8.9b	8.6b	149.8b	10.4b	26.8
B3	5	1.5f	13.8j	2.2e	1.8fh	20.6i	3.8f	3.9
B3	10	3.1ce	27.7g	4.1cd	3.7e	35.8g	6.5d	7.5
B3	20	4.9d	68.9d	7.3b	5.7c	92.3d	9.8c	14.4
B3	35	10.1a	167.6a	15.8a	14.9a	184.9a	18.3a	24.5

The numbers that have a common letter in each column have no significant difference at the 5% probability level.

Conclusions

The results of this section showed that:

1. By increasing the pyrolysis temperature, biochar production efficiency decreased and biochar's specific surface area, cross-sectional area and volume of pores, electrical conductivity, pH and its ash increased.
2. Chlorine and sodium ions had the highest concentration in the analysis of drain water with different electrical conductivities. Meanwhile, the amount of adsorption of different ions of salinity from drainage water with and without the presence of copper ions for chlorine and sodium was higher than other ions of salinity, and the highest adsorption capacity was obtained for biochar 600.
3. The adsorption capacity for this adsorbent in reducing salinity without the presence of copper ions was 411.6 mg/g, and also for removing salinity from drainage water with the presence of copper ions, 382.2 mg/g was obtained, which

shows the presence of copper ion caused more competition between ions and in general caused a reduction of about 8% of salt adsorption at a salinity of 35 dS/m, and the salinity of the solution after adsorption for all four adsorbents was 3.9, 7.7, 14.8, and 2.25 dS /m.

4. In both the presence and absence of copper, the highest adsorption was assigned to chlorine and sodium ions and the lowest to potassium ion. The amount of sodium adsorption by biochar 600 adsorbent in the presence of copper ion with a concentration of 100 mg/l was obtained between 20.8 and 154.3 mg/g.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

بررسی کارایی زغال زیستی برای شوری زدایی در حضور یون مس

محمد مهدی حسن آبادی^۱، سمیه سلطانی گردفرامری^{۲*}، محسن قاسمی^۳ و ابوالفضل عزیزیان^۴^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران^۲دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران^۳دکتری علوم و مهندسی آب، شرکت آب منطقه‌ای یزد، یزد، ایران^۴استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۲/۱۱/۱۶]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۳/۰۲/۱۰]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۲/۰۲/۱۱]

واژه‌های کلیدی:

پساب شور

زغال زیستی

کنجاله کنجد

جذب

مس

*نویسنده مسئول:

ssoltani@ardakan.ac.ir

با هدف بررسی کارایی زغال زیستی برای شوری زدایی، آزمایش‌ها با استفاده از تیمار جاذب در چهار سطح شامل کنجاله کنجد، زغال زیستی در دماهای ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ °C و تیمار آب شور در چهار سطح شامل ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۵ dS/m در سه تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در محیط ناپیوسته انجام شد. جذب یون‌های عامل شوری آب در حضور یون مس و بدون حضور آن بررسی شد. نتایج نشان داد که ظرفیت شوری زدایی بدون حضور مس در بهترین جاذب (زغال زیستی ۶۰۰) در شوری مورد مطالعه ۴۱۱/۶ mg/g بود. در صورتی که ظرفیت شوری زدایی در حضور یون مس با همین جاذب در شوری مورد نظر ۳۸۲/۲ mg/g به دست آمد که نشان دهنده ایجاد رقابت بین یون‌ها و در نتیجه کاهش ۸/۰٪ میزان ظرفیت جذب است. همچنین بیشترین جذب مربوط به یون‌های کلر و سدیم و کمترین آن به یون پتاسیم اختصاص یافت. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت زغال-زیستی تهیه شده از کنجاله کنجد، به دلیل داشتن سطح فعال بالا، ساختار متخلخل و گروه-های عاملی مناسب در سطح، در شوری زدایی از پساب حاوی یون مس در فرآیند جذب سطحی عملکرد مطلوبی دارد.

نحوه استناد به این مقاله:

حسن آبادی، محمد مهدی، سلطانی گردفرامری، قاسمی، محسن، & عزیزیان، ابوالفضل. (۱۴۰۳). بررسی کارایی زغال زیستی برای شوری-زدایی در حضور یون مس. محیط زیست و مهندسی آب. 10(4) 438-451

<https://doi.org/10.22034/ewe.2024.441749.1913>

۱- مقدمه

کاهش مقدار منابع آب قابل استفاده، افزایش آلودگی منابع آب موجود و رقابت تقاضای آب برای بخش‌های مختلف کشاورزی، صنعت و توسعه شهری، گسترش آبیاری را محدود کرده است. بنابراین تأمین تقاضا نیازمند مدیریت بهتر منابع آب و استفاده از منابع آب با کیفیت نامطلوب، از جمله منابع آب شور است (Chen et al., 2023). نقش و اهمیتی که آب‌های لب‌شور و شور در آینده در کشاورزی ایران به عنوان منابع آب مناسب و ارزان قیمت خواهند داشت، باید مورد بررسی و توجه قرار گیرد. بدین گونه می‌توان با اعمال مدیریت ویژه از آن‌ها، برای توسعه سطح زیر کشت استفاده بهینه به عمل آورد. استفاده از آب شور نه تنها تولیدات کشاورزی را کاهش می‌دهد، بلکه باعث تخریب خاک در طولانی مدت می‌شود. پیش‌بینی می‌شود که نمک‌زدایی و استفاده مجدد از آب روز به روز در صنعت آب اهمیت بیشتری پیدا کند (Aghakhani et al., 2011; Ghasemi et al., 2018b). از طرف دیگر آلودگی بوم سازگان‌های مختلف به عناصر بالقوه سمی یکی از مهم‌ترین مسائل محیط زیستی است که زندگی گیاهان، جانوران و مخصوصاً انسان‌ها را مورد تهدید قرار داده است (Alazaiza et al., 2022).

برای شوری‌زدایی از آب‌های شور روش‌های مختلفی ابداع شده است، که می‌توان به اسمز معکوس، الکترودیالیز، روش بیولوژیکی و روش جذب سطحی با استفاده از جاذب اشاره کرد. با توجه به هزینه‌های به نسبت زیاد این روش‌ها و برخی معایب آن‌ها استفاده از جاذب‌های ارزان قیمت در کاهش شوری آب امری اجتناب‌ناپذیر است. در روش اسمز معکوس و الکترودیالیز اگر چه بازده بالا و عدم اهمیت تأثیر pH و دما بر راندمان حذف آلاینده جزو مزایای این روش است ولی هزینه زیاد و عدم انعطاف پذیری با تغییرات فشار از معایب این روش‌ها است. روش بیولوژیکی نیز اگر چه بازدهی بیش از ۹۹٪ و سازگاری با محیط زیست دارد، ولی نیاز به دفع ضایعات و تأثیر دما را می‌توان از معایب آن دانست (Ghanbari Adivi et al., 2020). به‌منظور حذف آلاینده‌ها از محلول‌های آبی، جاذب‌های مختلفی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به زئولیت، بقایای گیاهی، رس، کربن فعال و غیره اشاره نمود (Priya et al., 2020; Li et al., 2022). امروزه جذب

سطحی به‌عنوان یک روش مؤثر و اقتصادی برای تصفیه آب شور و فاضلاب از شناخته می‌شود. فرایند جذب سطحی دارای انعطاف‌پذیری در طراحی و بهره‌برداری بوده و در بسیاری از حالات، یک جریان خروجی تصفیه شده با کیفیت بالا تولید می‌کند. همچنین این روش ضایعات چندانی را تولید نمی‌کند. زغال زیستی باقی‌مانده جامد حاصل از سوختن مواد کربنی مانند بقایای گیاهی، ضایعات چوب و کود حیوانی است که در درجه حرارت پایین (کمتر از ۷۰۰ °C) تولید می‌شود (Yang et al., 2020; Jellali et al., 2021). از خصوصیات زغال زیستی می‌توان به سطح ویژه زیاد، ساختار میکروپوری و گروه‌های عاملی فعال اشاره کرد. ظرفیت جذب زغال زیستی به خصوصیات فیزیکی-شیمیایی آن بستگی دارد که خود تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله نوع ماده خام، اندازه ذرات، دمای پیرولیز، نرخ تغییرات دمایی و زمان نگهداشت دما قرار دارد (Qiu et al., 2022). در سال‌های اخیر استفاده از زغال زیستی به عنوان جاذب کربنی برای حذف آلاینده‌های مختلف مورد استقبال قرار گرفته است (Younis et al., 2020; Luo et al., 2022). Shokrian et al., (2020) جذب‌های زیستی و معدنی در کاهش شوری آب را بررسی و گزارش کردند که جاذب‌های زیستی و معدنی در اندازه‌های مختلف قابلیت جذب یون‌های نمکی را دارا بودند. از بین جاذب‌های مورد استفاده برای جذب نمک زئولیت بیش‌ترین کارایی جذب را به خود اختصاص داد. (Sahraei et al., 2022) استفاده از زئولیت و بنتونیت ایرانی به عنوان جاذب‌های معدنی در نمک‌زدایی را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که این دو جاذب کارایی لازم برای کاهش شوری را نداشته و سبب افزایش هدایت الکتریکی و مقدار سدیم آب می‌شوند اما با اصلاح آن‌ها با اسید، مقدار هدایت الکتریکی در هر افزایش یافت. (Younis et al., 2020)

از بیوچار شلتوک برنج برای حذف باریوم و استرانسیوم از آب شور استفاده کردند. در مطالعه آن‌ها هرچند حذف یون‌های شوری بررسی نشد، تجزیه و تحلیل نتایج، توانایی جاذب بیوچار در حذف یون‌های باریوم و استرانسیوم با نمک‌زدایی اولیه ۲۵/۷٪ پس از ۴۸ hr را تایید کرد. (Sadeghi et al., 2022) اثر استفاده از زئولیت طبیعی کلینوپتیلولیت اصلاح شده در حذف نیترات، فسفات و شوری از زهاب کشاورزی در

از تیمار جاذب در چهار سطح شامل کنجاله کنجد، زغال زیستی در دماهای ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰°C، تیمار آب شور در چهار سطح شامل ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۵ در سه تکرار به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در محیط ناپیوسته انجام شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ و با آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ انجام شد.

۲-۲- تهیه جاذب‌ها و محلول آب شور

کنجاله کنجد از کارخانه‌ها و مراکز فراورده‌های کنجدی دایر در شهرستان اردکان، تهیه شد. به‌منظور تهیه جاذب‌ها، در ابتدا ماده خام (کنجاله کنجد) مورد استفاده جمع‌آوری شد. سپس با آب مقطر شست و شو داده شد تا ناخالصی‌ها از آن جدا شود. بعد از آن در دمای اتاق به حدی که رطوبت آن‌ها گرفته شده و به مدت چند روز خشک شد. سپس به مدت ۲۴ hr در آن با دمای ۱۰۵ °C خشک شد. سپس این مواد آسیاب شده و به منظور حفظ یکنواختی ذرات بین ۰/۵ تا ۰/۷ مورد استفاده قرار گرفت. برای تهیه زغال زیستی، مواد خام آماده شده درون ظروف سرامیکی و داخل کوره الکتریکی با قابلیت برنامه‌ریزی تغییرات دما تحت گاز بی اثر نیتروژن با دبی ۱۰۰ ml/min پیرولیز شدند. دمای کوره از دمای محیط تا دماهای ۴۰۰، ۵۰۰ یا ۶۰۰ °C با آهنگ ۱۰ °C/min افزایش یافت و سپس به مدت ۲ hr در آن دما نگه داشته شد تا فرآیند پیرولیز انجام شود. دمای کوره تا رسیدن به دمای محیط در شرایط اعمال گاز بی‌اثر کاهش یافت (Mohanty et al., 2013). برای تطبیق شرایط آزمایش با شرایط طبیعی از نمونه آب زهکش از منطقه چاه افضل اردکان با شوری ۳۵ dS/m استفاده شد و سایر غلظت‌های شوری با اضافه کردن آب مقطر تهیه شد. برای تهیه محلول آب شور حاوی یون مس، از مس دو ظرفیتی سولفات پنتا هیدرات با غلظت ۱۰۰ mg/l استفاده شد. آنالیز شیمیایی آب در سطوح مختلف شوری در جدول (۱) نشان داده شده است.

مدل زهکشی آزمایشگاهی را بررسی کردند. نتایج نشان داد در حالتی که جاذب کلینوپتیلولیت در اطراف محیط زهکش قرار بگیرد، کارایی حذف نیترات، فسفات و شوری افزایش می‌یابد. (Moayed et al., 2022) نمک‌زدایی زیستی آب شور دریا با استفاده از جلبک‌های دونالیلاسالینا و کلرولولگاریس را مورد آزمایش قرار دادند. بر اساس نتایج تحقیق آن‌ها به نظر می‌رسد که کاهش جذب نمک در جلبک‌ها با استفاده از نمک در سوخت و ساز جلبک و رشد و تکثیر آن‌ها است و در حقیقت، یک روش مؤثر برای از بین بردن شوری است. جاذب‌های ارزان قیمت که از ضایعات بخش کشاورزی بدست می‌آیند، هر چند قابلیت جذب شوری یا حذف آلودگی از محیط‌های آبی را دارند، اما محدودیت‌هایی نیز در مورد آن‌ها وجود دارد.

در پژوهش حاضر جاذب‌های کربنی تولید شده از کنجاله کنجد به عنوان یکی از پسماندهای صنایع تولیدی روغن کنجد شهرستان اردکان به دلیل فراوانی این ماده و در دسترس بودن بکار رفت. طبق بررسی‌های انجام شده تحقیقات گذشته بیشتر بر حذف نیترات و برخی عناصر بالقوه سمی به خصوص کادمیوم از محلول‌های آبی یا در خاک تمرکز دارد در حالی که در پساب‌های شور جذب رقابتی اتفاق افتاده و جذب این عناصر تحت تاثیر قرار می‌گیرد. این پژوهش با هدف بررسی جذب یون‌های شوری تحت تاثیر حضور یون مس در پساب‌های شور با استفاده از جاذب خام کنجاله کنجد و زغال زیستی تهیه شده از آن، انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات کلی آزمایش

در این پژوهش، امکان حذف یون‌های شوری در حضور و عدم حضور یون مس در محیط‌های آبی شور به‌وسیله کنجاله کنجد (B0) و زغال‌زیستی تولید شده از آن در دماهای (B1) ۴۰۰، ۵۰۰ (B2) و ۶۰۰ (B3) مورد آزمایش قرار گرفت. در ابتدا کنجاله کنجد به زغال زیستی تبدیل شد. آزمایش‌ها با استفاده

جدول ۱- آنالیز شیمیایی آب‌های شور مورد استفاده

Table 1 Chemical analysis of used salt water

EC (dS/m)	TDS	K	Na	Ca	Mg	Cl	HCO ₃
				mg/l			
5	3071.8	48.2	814.3	53.3	134.1	1240	299.5
10	6118.3	75.1	1654.4	125.9	255.2	2589.9	448.3
20	12213	131.8	3526.2	257.1	388.6	5318.1	622.8
35	21338.3	171.3	6356.8	488.2	577.2	9407.9	944.1

۲-۳- تجهیزات مورد استفاده

غلظت یون‌های سدیم و پتاسیم به روش اسپکتومتری نشر شعله، کلسیم، منیزیم، کربنات و بی‌کربنات به روش تیتراسیون، کلر به روش رنگ سنجی با استفاده از روش‌های استاندارد ملی ایران در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. مساحت سطح، توزیع اندازه و حجم منافذ ذرات جاذب، برای هر جاذب تعیین شد. سطح ویژه هر جاذب با استفاده از نظریه Brunauer-Emmett-Teller (BET) اندازه‌گیری شد. به منظور بررسی و شناسایی گروه‌های عاملی جاذب‌های گیاهی

در حالت‌های خام و زغال زیستی تهیه شده از آن، طیف سنجی مادون قرمز نمونه‌های خام و زغال زیستی در دماهای مختلف با استفاده از دستگاه FTIR مدل Shimadzu IRPrestige-21 کشور ژاپن در محدوده طول موج 4000 تا 400 cm^{-1} انجام شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جاذب‌ها که pH و هدایت الکتریکی در نسبت بیوپار به آب ۱ به ۱۰ به دست آمد، در جدول (۲) ارائه شده است. همانطور که این جدول نشان می‌دهد، دمای پیرولیز سبب تغییر در خصوصیات جذبی زغال زیستی می‌شود به طوری که با افزایش دما میزان سطح ویژه و اندازه خلل و فرج در ساختار آن افزایش می‌یابد.

جدول ۲- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جاذب‌های مورد مطالعه

Table 2 Some physical and chemical properties of the adsorbents studied

Parameter	Unit	Sesame residues	Biochar 400	Biochar 500	Biochar 600
Bulk density	g/cm^3	0.187	0.387	0.417	0.478
Specific area	m^2/g	73.21	198.43	238.17	317.21
Average pore diameter	nm	3.18	2.53	2.24	1.87
Pore volume	cm^3/g	0.043	0.101	0.123	0.168
Yield efficiency	%	-	48.19	41.98	37.85
Ash	%	-	18.46	20.21	23.13
pH	-	7.35	8.01	8.22	8.3
EC	dS/m	0.24	0.17	0.16	0.16

۲-۴- آزمایش‌های جذب در محیط ناپیوسته

برای انجام آزمایش‌های ناپیوسته در چهار سطح شوری و در سه تکرار، مقدار ۱ g جاذب درون ارلن‌های ۲۵۰ ml ریخته شد. به هر ارلن ۱۰۰ ml آب شور اضافه و درب آن‌ها بسته شد. پس از آن نمونه‌ها در دمای 25°C به مدت ۱۲۰ min در ۱۸۰ rpm بر روی شیکر قرار گرفت. محلول به دست آمده به مدت ۴۸ hr به حال خود رها شد تا قسمت جامد و مایع از آن جدا شود. سپس از کاغذ صافی عبور داده شد و غلظت یون‌های محلول شامل سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر و بیکربنات اندازه‌گیری شد. ظرفیت و درصد جذب یون‌های عامل شوری آب هم چنین یون مس توسط جاذب‌ها نیز با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد:

$$q_t = \frac{(c_0 - c_t) V}{w} \quad (1)$$

$$E = \frac{(c_0 - c_t)}{c_0} * 100 \quad (2)$$

که، q_t ظرفیت جذب (mg/g)، C_0 غلظت اولیه یون شوری (mg/l)، C_t غلظت نهایی یون شوری (mg/l)، w جرم جاذب (g)، V حجم محلول (l) و E راندمان جذب (%) می‌باشد (Ghasemi et al., 2018a).

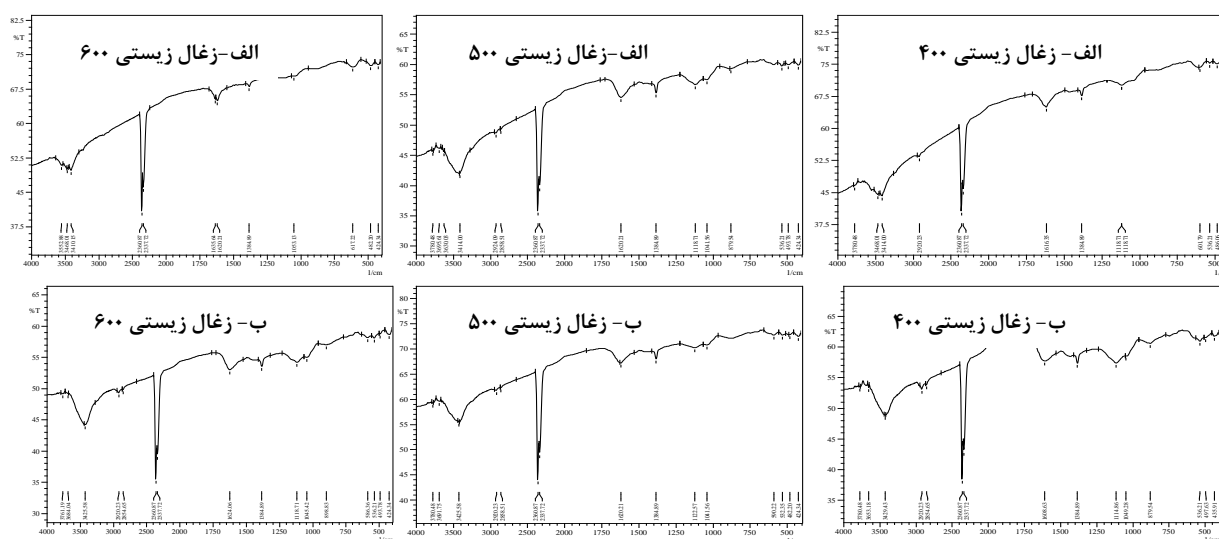
۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- آنالیز FTIR

طیف FTIR گرفته شده از جاذب نشان دهنده‌ی گروه‌های عاملی موجود در آن‌ها می‌باشد. این طیف‌ها تأییدی بر وجود گروه‌های عاملی است که در جاذب‌های زیستی مورد مطالعه موجود می‌باشند و می‌توانند در فرآیند جذب یون‌های فلزی دخیل باشند. طیف FTIR کنجاله کنجد و زغال زیستی تهیه شده از کنجاله کنجد در دماهای مختلف کربن‌سازی قبل و بعد از عمل جذب در شکل (۱) آورده شده است. نقطه اوج مشاهده شده در 3429 cm^{-1} در طیف FTIR مربوط به حضور یون هیدروژن آزاد یا O-H موجود در الکل‌ها، فنول‌ها

آروماتیک است و 1049 cm^{-1} و 1114 cm^{-1} مربوط به پیوند C-O است (Altintig et al., 2016). از مقایسه شکل‌ها مشخص می‌شود که بعد از جذب مقدار هر کدام از این پیک‌ها حتی به اندازه چند واحد افزایش یافته است که نشان‌دهنده نقش گروه‌های کربوکسیل و هیدروکسیل در این جذب در فرایند جذب یون‌های شوری است.

و اسیدهای کربوکسیلیک می‌باشد (Liu et al., 2013). این اوج بعد از جذب به میزان ۱۵ واحد تغییر داشته و به عدد 3444 cm^{-1} رسیده است که نشان‌دهنده تأثیر این گروه عاملی در جذب می‌باشد. باندهای جذبی در 2920 cm^{-1} و 2854 cm^{-1} مربوط به ارتعاش کششی پیوند C-H می‌باشد (Altintig et al., 2016) که بعد از جذب چند واحد افزایش نشان می‌دهد. نقطه اوج مربوط به عدد 1608 cm^{-1} مربوط به پیوند C=C



شکل ۱- طیف مادون قرمز زغال زیستی ساخته شده از کنجاله کنجد در دماهای ۴۰۰، ۵۰۰ و ۶۰۰ °C الف- قبل از جذب و ب- بعد از جذب

Fig. 1 Infrared spectrum of biochar made from sesame flour at temperatures of 400, 500 and 600 a) before absorption and b) after absorption

غلظت اولیه یون سدیم در آب زهکش با شوری ۳۵ dS/m حدود، ۶۵، ۲۴ و ۱۹ برابر بیشتر از غلظت اولیه کاتیون‌های پتاسیم، کلسیم و منیزیم و غلظت یون کلر حدود ۱۴ برابر بیشتر از غلظت اولیه آنیون‌های بی‌کربنات است. بر این اساس، پتاسیم با کمترین جذب در بین یون‌های شوری دارای کمترین اختلاف معنی‌دار می‌باشد و نیز کلر و سدیم دارای اختلاف معنی‌داری در سطوح مختلف جذب هستند. با توجه به نتایج اعداد منفی نشان‌دهنده افزایش شوری می‌باشند که مقدار یون کلسیم، منیزیم و بی‌کربنات در جذب توسط جاذب کنجاله کنجد کمی افزایش پیدا کرده است. این نتیجه به دلیل کمی شور بودن کنجاله خام و عدم توانایی جذب این یون‌ها به‌وسیله کنجاله بوده است. همچنین طبق نتایج بدست آمده با افزایش دمای تهیه زغال زیستی، مقدار جذب توسط جاذب افزایش پیدا کرده است. (Rostamian et al., 2015) در بررسی کاربرد زغال زیستی به منظور شوری‌زدایی آب گزارش کردند

۳-۲- ظرفیت شوری‌زدایی به‌وسیله جاذب‌ها

سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر و بی‌کربنات یون‌های اصلی ایجاد کننده شوری آب می‌باشند. جدول (۳) میزان جذب یون‌های مختلف عامل شوری از آب زهکش به‌وسیله کنجاله کنجد و زغال زیستی تهیه شده از آن را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، در شوری ۳۵ dS/m بیشترین و کمترین مقدار یون جذب شده به‌ترتیب مربوط به یون‌های کلر و پتاسیم با مقادیر $184/9\text{ mg/g}$ و $10/1\text{ mg/g}$ بود و شوری محلول پس از جذب برای هر چهار سطح شوری به $3/9$ ، $7/5$ ، $14/4\text{ dS/m}$ و $24/5\text{ dS/m}$ رسید. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۳) میزان جذب کلر و سدیم نسبت به سایر یون‌های عامل شوری برای همه جاذب‌ها بیش‌تر بود. دلیل آن افزایش جذب در شوری‌های بیشتر به علت گرادیان بیشتر و دسترسی بیشتر جاذب به یون‌های جذب شونده به‌علت وجود بیشتر این یون‌ها در محلول بوده است (Ghasemi et al., 2018b).

که بیشترین جذب را یون‌های کلر و سدیم داشته‌اند. Aghkhani et al., (2011) با کاربرد جاذب کربن فعال صنعتی در جذب یون‌های عامل شوری آب اولویت جذب به ترتیب با بی‌کربنات، کلسیم، سولفات، سدیم، کلر و منیزیم نشان داد و نتایج مشابهی در بخش اولویت جذب ارائه نمود.

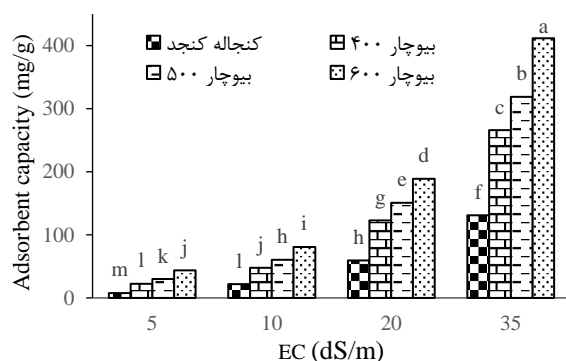
جدول ۳- میزان جذب یون‌های محلول بدون حضور مس توسط جاذب‌های تهیه شده

Table 3 Absorption rate of soluble ions without the presence of copper by the prepared adsorbents

Adsorbent	EC1 (dS/m)	Adsorption rate of soluble ions (mg/g)						EC2 (dS/m)
		K	Na	Ca	Mg	Cl	HCO ₃	
B0	5	0.1h	3.6m	-0.3h	-0.1i	4.8k	-0.2i	4.8
B0	10	0.3gh	12.2k	-1.1i	-0.9ij	12.5j	-1.0ij	9.3
B0	20	0.5gh	28.7g	-2.1j	-1.1ij	35.4g	-1.8ij	18.2
B0	35	0.9g	63.4e	-6.1k	-2.4j	78.9e	-2.9j	31.6
B1	5	0.6gh	7.8l	0.7g	0.8h	11.1f	1.2h	4.4
B1	10	1.3f	18.8i	1.7f	1.4fh	21.5i	3.1f	8.5
B1	20	2.1e	45.9f	3.4d	3.1f	64.3f	4.2ef	16.4
B1	35	4.1c	118.3c	5.2c	4.8d	128.1c	5.3e	28.2
B2	5	1.0g	8.6i	1.1fg	1.2fh	15.8ij	2.1g	4.2
B2	10	2.1e	21.6h	2.3e	2.5g	27.4h	4.3ef	8.2
B2	20	3.4ce	52.4ef	4.7cd	4.5d	79.1e	6.7d	15.6
B2	35	7.6b	133.5b	8.9b	8.6b	149.8b	10.4b	26.8
B3	5	1.5f	13.8j	2.2e	1.8fh	20.6i	3.8f	3.9
B3	10	3.1ce	27.7g	4.1cd	3.7e	35.8g	6.5d	7.5
B3	20	4.9d	68.9d	7.3b	5.7c	92.3d	9.8c	14.4
B3	35	10.1a	167.6a	15.8a	14.9a	184.9a	18.3a	24.5

اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

The numbers that have a common letter in each column have no significant difference at the 5% probability level



شکل ۲- مقایسه میانگین میزان شوری‌زدایی توسط جاذب‌های مورد مطالعه

Fig. 2 Comparison of the average amount of desalination by the adsorbents under study

جاذب زغال زیستی ۶۰۰ با سطح ویژه $317/21 \text{ m}^2/\text{g}$ ، حجم حفره‌ها $0/168 \text{ cm}^2/\text{g}$ و متوسط قطر حفره‌ها $1/87 \text{ nm}$ مؤثرترین و بالاترین جذب را در بین جاذب‌ها در جذب شوری از آب زهکش با هدایت‌های الکتریکی متفاوت دارد. نتایج این بخش با نتایج سایر پژوهش‌ها همخوانی دارد (Shokrian et

شکل (۲) نشانگر قابلیت شوری‌زدایی جاذب‌های مورد مطالعه می‌باشد. ظرفیت جذب شوری توسط جاذب‌های تهیه شده بین $7/9$ تا $411/6 \text{ mg/g}$ به‌دست آمد. هم‌چنین ظرفیت شوری-زدایی در بهترین جاذب برای جذب (زغال زیستی ۶۰۰) در هدایت الکتریکی‌های ۵، ۱۰، ۲۰ و 35 dS/m به ترتیب $43/7$ ، $80/9$ ، $188/9$ و $411/6 \text{ mg/g}$ می‌باشد که دارای اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ با یکدیگر می‌باشد. با توجه به نتایج، این مقادیر جذب موجب کاهش مجموع یون‌های عامل شوری آب به میزان $22/7$ ، $24/6$ ، $27/8$ و $30/1$ ٪ شد. بیش‌ترین و کم‌ترین درصد جذب توسط جاذب‌ها در آب با شوری dS/m ۳۵ مربوط به کنجاله کنجد و زغال زیستی ۶۰۰ با مقادیر $9/6$ و $30/1$ ٪ اختصاص دارد. (Aghkhani et al., (2011 نیز ظرفیت شوری‌زدایی کربن فعال تجاری را حدود $245/7 \text{ mg/g}$ گزارش نمود. ساختار فیزیکی جاذب‌های کربنی تأثیر زیادی در جذب شوری دارد. عوامل متعددی، از جمله خصوصیات جاذب و یون‌های جذب شونده، ظرفیت جذب را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

حفره‌هایی با اندازه‌های بالاتری هستند، دارای جذب بیشتری می‌باشند (Jeon et al., 2020). درصد شوری‌زدایی توسط جاذب‌ها در سطوح مختلف شوری آب زهکش در شکل (۳) ارائه شده است. با افزایش شوری، درصد جذب هم افزایش یافته است.

۳-۳- ظرفیت شوری‌زدایی جاذب‌های کربنی

میزان جذب یون‌های مختلف عامل شوری از آب زهکش در حضور یون مس با جاذب‌ها در جدول (۴) ارائه شده است. فرایند جذب در آب‌های بدون یون مس و یا پساب‌های دارای یون مس به خاطر ترکیبات شیمیایی پیچیده و حضور همزمان یون‌های مختلف شوری و یون مس می‌تواند در نتایج بدست آمده به صورت معنی‌داری متفاوت از هم باشند. غلظت متفاوت یون‌های مختلف در محلول اولیه میزان جذب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مطابق با نتایج بدست آمده، میزان جذب یون‌های مختلف عامل شوری از آب زهکش نیز همانند جذب شوری بدون حضور مس برای کلر و سدیم نسبت به سایر یون‌های عامل شوری بیشتر بود. با توجه به نتایج بدست آمده، در شوری ۳۵ dS/m بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار یون جذب شده به ترتیب مربوط به یون‌های کلر و پتاسیم با مقادیر ۱۷۶/۳ و ۹/۷ mg/g بود. پتاسیم با کم‌ترین میزان جذب دارای کم‌ترین اختلاف معنی‌داری بوده و کلر و سدیم نیز دارای بیش‌ترین اختلاف معنی‌داری در سطح ۵٪ بودند.

جدول ۴- میزان جذب یون‌های شوری در حضور یون مس توسط جاذب‌های تهیه شده

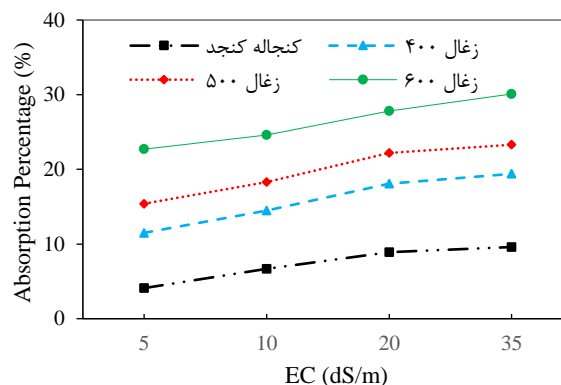
Table 4 Adsorption rate of salinity ions in the presence of copper ion by prepared adsorbents

Adsorption	EC (dS/m)	Adsorption rate of salinity ions (mg/g)					
		K	Na	Ca	Mg	Cl	HCO ₃
B0	5	0.1i	3.5k	-0.4i	-0.2h	4.6i	-0.3i
B0	10	0.2i	11.8i	-1.2j	-1.0hi	11.4h	-1.1j
B0	20	0.4hi	26.9g	-2.3k	-1.3hi	32.7g	-1.7jk
B0	35	0.7h	60.2d	-7.1i	-2.5i	71.6e	-3.2k
B1	5	0.5hi	7.3j	0.6h	0.6g	10.3h	1.0h
B1	10	1.1g	17.2h	1.5fh	1.3eg	19.6eg	2.8f
B1	20	1.9f	40.8f	3.1f	2.8e	87.7f	3.9e
B1	35	3.7d	109.7c	4.7d	4.4d	118.4c	4.9d
B2	5	0.9g	7.9j	0.9h	1.1eg	14.6h	1.8g
B2	10	1.7f	19.9h	2.1g	2.3f	24.3g	4.0e
B2	20	3.1e	47.2e	4.1e	4.3d	73.8e	6.2c
B2	35	7.1b	121.6b	7.9b	8.1b	139.7b	9.8b
B3	5	1.3g	12.8jh	1.9g	1.4eg	18.9eg	3.6df
B3	10	2.7ef	25.3g	4.0e	3.3df	32.2g	6.3c
B3	20	4.6c	62.7d	6.4c	5.4c	86.9d	9.4b
B3	35	9.7a	152.7a	13.4a	12.7a	176.3a	17.4a

اعدادی که در هر ستون دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشند.

al., 2017 and 2020; Yang et al., 2020; Qiu et al., 2022; Priya et al., 2022; Liang et al., 2021

در مجموع، جاذبی که از سطح ویژه و حجم حفره‌های بیش‌تری تشکیل شده باشد از پتانسیل شوری‌زدایی بیش‌تری نسبت به سایر جاذب‌ها برخوردار خواهد بود. سطح ویژه بزرگ‌تر امکان دسترسی میزان بیش‌تری از یون‌ها به سطح جاذب فراهم می‌نماید.



شکل ۳- مقایسه درصد شوری‌زدایی توسط جاذب‌ها در سطوح مختلف شوری آب زهکش

Fig. 3 Comparison of desalination percentage by adsorbents at different salinity levels of drainage water

میزان جذب تا حدود زیادی به میزان دسترسی مولکول جذب شونده به سطوح داخلی حفره‌ها بستگی دارد که آن نیز متأثر از اندازه مولکول جذب شونده و توزیع اندازه حفره‌ها است. در نتیجه جاذب‌های متخلخل کربنی که دارای توزیع وسیعی از

معنی داری در سطح پنج % است. میزان ظرفیت جذب با توجه به جدول (۳) نسبت به جذب شوری بدون حضور مس به مقدار حدود ۸ % کاهش داده است. همان طور که ملاحظه می گردد، در آب شور بدون حضور یون مس ظرفیت جاذبها برای جذب شوری بیشتر از حالت ترکیبی است که علت این اتفاق را می توان وجود عنصر مس در محلول و جذب رقابتی و کاهش توانایی جذب شوری دانست (Jamoussi et al., 2020; Aghkhani et al., 2011; Gholami et al., 2024).

با توجه به جدول (۵) جذب یون مس، موجب کاهش مجموع یون های عامل شوری آب به میزان ۲۰/۷، ۲۲/۵، ۲۵/۹ و ۲۸ % شده است که درصد شوری زدایی را حدوداً ۲ % کاهش داده است. بیشترین و کمترین درصد جذب توسط جاذبها در آب زهکش ۳۵ dS/m به ترتیب مربوط به کنجاله کنجد و زغال زیستی ۶۰۰ با مقادیر ۸/۷ و ۲۸ % می باشد.

۴- نتیجه گیری

این مطالعه با هدف تبدیل بقایای محصولات کشاورزی به جاذب زغال زیستی در دماهای متفاوت، به بررسی کاربرد این جاذبها در کاهش و جذب یون های شوری در حضور و عدم حضور یون مس پرداخته است. در این مطالعه، خصوصیات زغال زیستی تهیه شده از کنجاله کنجد و میزان جذب آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این بخش نشان داد که:

۱- با افزایش دمای پیرولیز، بازده تولید زغال زیستی کاهش و میزان سطح ویژه زغال زیستی، سطح مقطع و حجم حفره ها، هدایت الکتریکی، pH و خاکستر آن افزایش یافت.

۲- میزان جذب یون های مختلف عامل شوری از آب زهکش با حضور و بدون حضور یون مس برای کلر و سدیم نسبت به سایر یون های عامل شوری بیش تر بود و بیش ترین ظرفیت جذب برای جاذب زغال زیستی ۶۰۰ به دست آمد.

۳- ظرفیت جذب برای این جاذب در کاهش شوری بدون حضور یون مس ۴۱۱/۶ mg/g به دست آمد و همچنین برای حذف شوری از آب زهکش با حضور یون مس ۳۸۲/۲ mg/g به دست آمد و در کل باعث کاهش حدود ۸ % جذب شوری در شوری ۳۵ dS/m شد.

با توجه به جدول (۴) اعداد منفی نشان دهنده افزایش شوری است. نشان می دهد مقدار یون کلسیم، منیزیم و بی کربنات در جذب نیز توسط جاذب کنجاله کنجد افزایش پیدا کرده است. طبق جدول (۴) با افزایش دمای زغال زیستی مقدار جذب توسط جاذب افزایش پیدا کرده است. به طور کلی به دلیل حضور یون مس و ایجاد رقابت بین یون ها، جذب شوری با کاهش همراه بوده است. این کاهش جذب در تمام یون های ایجاد کننده شوری با کاهش جزئی جذب همراه شدند که با نتایج سایر محققین همخوانی دارد (Jamoussi et al., 2020; Aghkhani et al., 2011; Gholami et al., 2024).

جدول ۵- میزان شوری زدایی در حضور یون مس توسط

جاذب های مورد مطالعه

Table 5 Desalination rate in the presence of copper ions by the studied adsorbents

Adsorbent	ds/m) (EC1	EC2 (dS/ m)	Desalination capacity (mg/g)	Desalination percentage
B0	5	4.8	7.3i	3.8
B0	10	9.4	20.1k	6.1
B0	20	18.4	54.7g	8.1
B0	35	31.9	119.7d	8.7
B1	5	4.5	20.3k	10.5
B1	10	8.7	43.5i	13.2
B1	20	16.7	111.2d	16.4
B1	35	28.7	245.8c	18.0
B2	5	4.3	27.2j	14.1
B2	10	8.3	54.3g	16.5
B2	20	15.9	138.7f	20.4
B2	35	27.5	294.2b	21.5
B3	5	3.9	39.9i	20.7
B3	10	7.7	73.8h	22.5
B3	20	14.8	175.4e	25.9
B3	35	25.2	382.2a	28.0

اعدادی که دارای یک حرف مشترک هستند، فاقد تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ % می باشند.

ظرفیت جذب یون های عامل شوری از آب زهکش در هدایت های الکتریکی متفاوت با غلظت اولیه مس ۱۰۰ mg/l بین ۷/۳ تا ۳۸۲/۲ mg/g به دست آمد. با توجه به نتایج به نظر می رسد حضور یون مس در محلول اولیه میزان ظرفیت جذب شوری را تحت تأثیر قرار داده است. ظرفیت شوری زدایی در بهترین جاذب برای جذب (زغال زیستی ۶۰۰) در هدایت الکتریکی های ۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۵ dS/m به ترتیب ۳۹/۹، ۷۳/۸، ۱۷۵/۴ و ۳۸۲/۲ mg/g بوده است که دارای اختلاف

باشد. پژوهش‌هایی در مورد تعیین بهترین جاذب، روش اصلاح آنها، مکانیسم کارکرد آنها، پایداری جاذب و ظرفیت جذب محدود انجام شده است ولی به هر حال استفاده از جاذب نمی‌تواند همیشگی و پایدار باشد. اما با توجه به لزوم شوری‌زدایی آب، امروزه روش‌های جدید یا جاذب‌های جدید همچنان در حال بررسی است که پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی این مهم و همچنین اثر پارامترهای دیگری مانند pH محلول، زمان تماس و غلظت‌های مختلف یون مس مورد بررسی و تحقیق قرار گیرد.

دست‌رسی به داده‌ها

داده‌های تولید شده در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Aghakhani, A., Mousavi, S. F., Mostafazadeh-Fard, B., Rostamian, R., & Seraji, M. (2011). Application of some combined adsorbents to remove salinity parameters from drainage water. *Desal.*, 275(1-3), 217-223. DOI: [10.1016/j.desal.2011.03.003](https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.03.003).
- Alazaiza, M. Y., Albahnasawi, A., Coptly, N. K., Bashir, M. J., Nassani, D. E., Al Maskari, T., & Abujazar, M. S. S. (2022). Nanoscale zero-valent iron application for the treatment of soil, wastewater and groundwater contaminated with heavy metals: a review. *Desalin. Water Treat.*, 253, 194-210. DOI: [10.5004/dwt.2022.28302](https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28302).
- Altintig, E., Arabaci, G., & Altundag, H. (2016). Preparation and characterization of the antibacterial efficiency of silver loaded activated carbon from corncobs. *Surf. Coat. Tech.*, 304, 63-67. DOI: [10.1016/j.surfcoat.2016.06.077](https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2016.06.077).
- Chen, S., Sun, L., Huang, Y., Yang, D., Zhou, M., & Zheng, D. (2023). Biochar-based interfacial evaporation materials derived from lignosulfonate for efficient desalination. *Carbon Neut.* 2(4), 494-509. DOI: [10.1002/cnl2.79](https://doi.org/10.1002/cnl2.79).

۴- میزان جذب سدیم توسط جاذب زغال زیستی ۶۰۰ در حضور یون مس با غلظت ۱۰۰ mg/l بین ۲۰/۸ تا ۱۵۴/۳ به دست آمد.

به طور کلی می‌توان گفت زغال زیستی تهیه شده از کنجاله کنجد، به دلیل داشتن سطح فعال بالا، ساختار متخلخل و گروه‌های عاملی مناسب در سطح، در جذب یون‌های شوری در حضور یون مس در فرآیند جذب سطحی به صورت ناپیوسته عملکرد مطلوبی دارد. البته لازم به ذکر است که ویژگی‌های بیوچار به نوع زیست توده، آهنگ حرارت‌دهی مواد خام، دمای نهایی در فرایند پیرولیز، زمان نگهداری آن در این دما، فشار و مقدار هوا و بخار اضافه شده به کوره، بستگی دارد و نتایج مختلفی ممکن است به دست آید. از طرف دیگر جاذب‌های ارزان قیمت که از ضایعات بخش کشاورزی بدست می‌آیند، هر چند قابلیت جذب شوری یا حذف آلودگی از محیط‌های آبی را دارند، اما محدودیت‌هایی نیز در مورد آن‌ها وجود دارد که باعث شده است پژوهش‌ها همچنان در مورد آنها ادامه داشته

- Farmani, B., Bodbodak, S., & Dadashi, S. (2021). Investigation of sorption isotherm models on remove ability sugar beet dilute molasses impurities using powdered activated carbon. *J. Food Sci. Technol.*, 17(107), 107-118. (In Persian). DOI: [10.52547/fsct.17.107.107](https://doi.org/10.52547/fsct.17.107.107).
- Ghasemi, M., Abedi koopahi, J., Heidarpour, M., & Dinari, M. (2018a). Effect of activated carbon produced from pine cones in reducing of irrigation water salinity parameters. *Iran. J. Soil Water Res.*, 48(5), 1097-1107. (In Persian). DOI: [10.22059/ijswr.2017.223400.667599](https://doi.org/10.22059/ijswr.2017.223400.667599).
- Ghasemi, M., Abedi Koupai, J., & Heidarpour, M. (2018b). Application of modified zeolite and modified peat in removing salinity ions from irrigation saline waters. *J. Environ. Eng.*, 144(8), 04018066. DOI: [10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001409](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001409).
- Ghanbari Adivi, E., Mehrabinia, P., & Kermannezhad, J. (2020). Investigation of nitrate absorption methods from contaminated waters using biochar. *J. Sustain. Dev.*, 7(1), 79-90. (In Persian). DOI: [10.22067/jwsd.v7i1.81367](https://doi.org/10.22067/jwsd.v7i1.81367).
- Gholami, S., Shakuri, A., & Raisi, J. (2024). Evaluation of the bioadsorption process of lead heavy metal from aqueous media using two

- species of *Nizimuddinina zanardini* brown algae and *Ulva rigida* green algae. *Environ. Water Eng.*, 10(1), 1-17. (In Persian). DOI: [10.22034/ewe.2023.381628.1838](https://doi.org/10.22034/ewe.2023.381628.1838).
- Jamoussi, B., Jamoussi, R., Jablaoui, C., & Rhazi, L. (2020). Efficiency of *Acacia Gummifera* powder as biosorbent for simultaneous decontamination of water polluted with metals. *Arab. J. Chem.*, 13(10), 7459-7481. DOI: [10.1016/j.arabj.2020.08.022](https://doi.org/10.1016/j.arabj.2020.08.022).
- Jellali, S., Khiari, B., Usman, M., Hamdi, H., Charabi, Y., & Jeguirim, M. (2021). Sludge-derived biochars: A review on the influence of synthesis conditions on pollutants removal efficiency from wastewaters. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 144, 111068. DOI: [10.1016/j.rser.2021.111068](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111068).
- Jeon, C., Solis, K. L., An, H. R., Hong, Y., Igalavithana, A. D., & Ok, Y. S. (2020). Sustainable removal of Hg (II) by sulfur-modified pine-needle biochar. *J. Hazard. Mater.*, 388, 122048. DOI: [10.1016/j.jhazmat.2020.122048](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122048).
- Khajavi-Shojaei, S., Moezzi, A., Norouzi Masir, M., & Taghavi, M. (2020). Investigation of modified biochar performance on nitrate removal from aqueous solution: kinetic and isotherm study. *Appl. Soil Res.*, 8(2), 1-14. (In Persian).
- Li, W. B., Deng, H. Y., Ye, Y., Zhou, S. N., Abbas, T., Ouyang, J. M., & Liu, W. (2022). Effect of pH on the adsorptive and cycling performance of amphoteric clay-loaded biochar. *Desalin. Water Treat.*, 264, 111-120. DOI: [10.5004/dwt.2022.28559](https://doi.org/10.5004/dwt.2022.28559).
- Liang, L., Xi, F., Tan, W., Meng, X., Hu, B., & Wang, X. (2021). Review of organic and inorganic pollutants removal by biochar and biochar-based composites. *Biochar*, 3, 255-281. DOI: [10.1007/s42773-021-00101-6](https://doi.org/10.1007/s42773-021-00101-6).
- Liu, Z., Quek, A., Hoekman, S. K., & Balasubramanian, R. (2013). Production of solid biochar fuel from waste biomass by hydrothermal carbonization. *Fuel*, 103, 943-949. DOI: [10.1016/j.fuel.2012.07.069](https://doi.org/10.1016/j.fuel.2012.07.069).
- Luo, Z., Yao, B., Yang, X., Wang, L., Xu, Z., Yan, X., & Zhou, Y. (2022). Novel insights into the adsorption of organic contaminants by biochar: a review. *Chemosphere*, 287, 132113. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2021.132113](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132113).
- Moayed, A., Yargholi, B., Pazira, E., & Babazadeh, H. (2022). Biological desalination of saline and seawater using *Dunaliella salina* and *Chlorella vulgaris* algae. *Agric. Water Manag.*, 9(1), 45-56. (In Persian). DOI: [20.1001.1.24764531.1401.9.1.4.5](https://doi.org/20.1001.1.24764531.1401.9.1.4.5).
- Mohanty, P., Nanda, S., Pant, K. K., Naik, S., Kozinski, J. A., & Dalai, A. K. (2013). Evaluation of the physiochemical development of biochars obtained from pyrolysis of wheat straw, timothy grass and pinewood: effects of heating rate. *J. Anal. Appl. Pyrolysis.*, 104, 485-493. DOI: [10.1016/j.jaap.2013.05.022](https://doi.org/10.1016/j.jaap.2013.05.022).
- Priya, A. K., Gokulan, R., Vijayakumar, A., & Praveen, S. (2020). Biodecolorization of Remazol dyes using biochar derived from *Ulva reticulata*: isotherm, kinetics, desorption, and thermodynamic studies. *Desalin. Water Treat.*, 200, 286-295. DOI: [10.5004/dwt.2020.26098](https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26098).
- Qiu, B., Shao, Q., Shi, J., Yang, C., & Chu, H. (2022). Application of biochar for the adsorption of organic pollutants from wastewater: Modification strategies, mechanisms and challenges. *Sep. Purif. Technol.*, 121925. DOI: [10.1016/j.seppur.2022.121925](https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.121925).
- Rostamian, R., Heidarpour, M., Mousavi, S. F., & Afyuni, M. (2015). Preparation, characterization and sodium sorption capability of rice husk carbonaceous adsorbents. *Fresenius Environ. Bull.*, 24(5), 1649-1658.
- Sadeghi, S., Albaji, M., Golabi, M., & BoroomandNasab, S. (2022). Using modified natural zeolite clinoptilolite to remove nitrate, phosphate and salt from agricultural drainage water in a drainage system model. *Irrig. Sci. Eng.*, 45(1), 131-152. (In Persian). DOI: [10.22055/jise.2021.35721.1935](https://doi.org/10.22055/jise.2021.35721.1935).
- Sahraei, M., Liaghat, A., & Nazi Ghameshlou, A. (2022). Investigating the Effect of Using Iranian Zeolite and Bentonite in Desalination. *J. Water Wastewater: Ab va Fazilab*, 32(6), 58-66. (In Persian). DOI: [10.22093/wwj.2021.273711.3117](https://doi.org/10.22093/wwj.2021.273711.3117).

- Shokrian, F., Solaimani, K., Nematzadeh, G., & Biparva, P. (2020). Comparative Investigation of Bio and Mineral Absorbents on Water Salinity Reduction. *J. Environ. Sci. Tech.*, 22(4), 55-66. (In Persian). DOI: [10.22034/jest.2018.24400.3353](https://doi.org/10.22034/jest.2018.24400.3353).
- Yang, H., Ye, S., Zeng, Z., Zeng, G., Tan, X., Xiao, R., & Xu, F. (2020). Utilization of biochar for resource recovery from water: A review. *J. Chem. Eng.*, 397, 125502. DOI: [10.1016/j.cej.2020.125502](https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125502).
- Younis, S. A., El-Salamony, R. A., Tsang, Y. F., & Kim, K. H. (2020). Use of rice straw-based biochar for batch sorption of barium/strontium from saline water: Protection against scale formation in petroleum/desalination industries. *J. Clean. Prod.*, 250, 119442. DOI: [10.1016/j.jclepro.2019.119442](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119442).