Technical Strategies in Water Systems
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
ISSN (Online): 2981-1449
Winter 2024: Vol 1, Issue 3, 244-254
https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.783452

Research Article

Feasibility study of nitrate surface adsorption by mineral pumice from nitrate solution on a laboratory scale

Parisa Hosseini, Farzad Bakhsangdan Moghadam*

Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Zanjan University, Zanjan, Iran.

* *Corresponding author* email: farzadbakhshandeghan@yahoo.com
© The Author(s) 2024

Received: 03 Nov 2023 Accepted: 10 Jan 2024 Published: 10 Mar 2024

Abstract

The surge in population and imprudent consumption of water resources have created many challenges in securing sufficient water for sustaining human life. To supply part of the water demand for agriculture, the reuse of gray water is recommended. However, many decontamination methods are cost-prohibitive and pose challenges in sludge disposal after purification. The purpose of this research is to evaluate the feasibility of nitrate absorption by a mineral pumice adsorbent from nitrate solutions. The present study was conducted as a two-factor factorial experiment and complete randomized design with three replications. The study involved sampling mineral pumice with diameters of 1 cm, and 5 cm and gradation ranging from 1 to 5 cm over 45 days. The samples were calibrated by spectrophotometric method at a wavelength of 470 nm. Results showed that mineral pumice influenced nitrate absorption from the solution. The amount of nitrate in the control treatment was 0.88 grams per liter on the first day. The highest absorption occurred on the 20th day for the 1 cm soil gradation, resulting in a decrease to 0.62 grams per liter, which indicated 0.36 grams per liter of nitrate absorption. Larger gradations, however, showed the highest absorption on the 30th day. The 5 cm treatments and 1-5 cm gradation showed a reduction (absorption) of 0.19 and 0.27 grams per liter of nitrate, respectively, compared to the control treatment. According to the results, mineral pumice, an economical resource, can be used to absorb nitrate from nitrate solutions. Moreover, the used mineral pumice could find applications as a soil texture modifier or fertilizer in various fields beyond nitrate absorption.

Keywords: Surface absorption, Water pollution, Pumice, Nitrate solution

مجله راهبردهای فنی در سامانه‌های آبی
https://sanad.iau.ir/journal/tsws
شاپا الکترونیکی: ۱۴۴۹-۲۹۸۱
زمستان۱۴۰۲، دوره یک، شماره۳، ۲۴۴-۲۵۴
https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.783452

مقاله پژوهشی

امکان سنجی جذب سطحی نیترات توسط پوکه معدنی از محلول نیتراته در مقیاس آزمایشگاهی

پریسا حسینی، فرزاد بخشندگان مقدم*

گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

ایمیل نویسنده مسئول:* farzadbakhshandeghan@yahoo.com

© The Author(s) 2024

دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۲ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰ چاپ: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

چکیده

افزایش جمعیت و افـزایش مصرف غیر اصولی از منابع آبی، مشکلات بسیاری را در راستای تامین آب لازم جهت ادامه حیات بشری ایجاد نموده است. لذا جهت تامین بخشی از آب مورد نیاز کشاورزی، استفاده مجدد از آب‌های خاکستری توصیه می‌شود. اغلب روش‌های رفع آلودگی به دلیل هزینه بالا و مشکلات دفع لجن‌های تجمع یافته بعد از فرایند تصفیه سازی مقرون به صرفه نیستند. هدف از این پژوهش امکان سنجی جذب سطحی نیترات توسط جاذب پوکه معدنی از محلول نیتراته است. پژوهش حاضر به صورت آزمایش فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کامل تصادفی و در سه تکرار با نمونه‌برداری از پوکه معدنی با قطرهای ۱ سانتی‌متر، ۵ سانتی‌متر و دانه بندی ۱ تا ۵ سانتی‌متر در ۴۵ روز انجام شد. نمونه‌ها با روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۴۷۰ نانومتر واسنجی شدند. نتایج به دست آمده نشان داد که پوکه معدنی در جذب نیترات از محلول تاثیر داشته است. میزان نیترات تیمار شاهد ۰/۸۸ گرم در لیتر در روز اول بود. بیشترین جذب در روز بیستم برای دانه‌بندی ۱ سانتی‌متر مشاهده شد. بدین گونه که در پایان روز بیستم میزان نیترات به ۰/۶۲ گرم در لیتر کاهش یافت که این میزان بیانگر ۰/۳۶ گرم در لیتر جذب نیترات بود. ولی برای دانه‌بندی‌های بزرگتر روز سی‌ام بیشترین جذب را نشان داد. تیمارهای ۵ سانتی‌متر و دانه‌بندی ۱- ۵ سانتی متر به ترتیب کاهش (جذب) ۰/۱۹ و ۰/۲۷ گرم در لیتر نیترات را نسبت به تیمار شاهد نشان دادند. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان از این منبع ارزان قیمت برای جذب نیترات از محلول نیتراته استفاده کرد. پوکه معدنی مصرف شده، بعنوان اصلاح کننده بافت خاک یا کود، می‌تواند در سایر مزارع مورد استفاده قرار گیرد.

کلمات کلیدی: جذب سطحی، آلودگی آب، پومیس، محلول نیتراته

۱- مقدمه

آب یکی از ضروری‌ترین منابع برای ادامه حیات بشری محسوب می‌شود. با توجه به بحران‌های آبی به وجود آمده در سال‌های اخیر و برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب سطحی و زیرزمینی، بایستی آب را یک منبع گران‌بها به حساب آورده و در حفظ هر چه بیشتر آن کوشید (Hooshmand & Khorrampanah 2021). یکی از منابع مهم تامین آب شیرین، آب‌های زیرزمینی می‌باشند. آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند ایران، اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند زیرا که ایران کشوری خشک با نزولات جوی بسیار کم است، به طوری که اگر میانگین بارندگی سالانه در سطح کره زمین (حدود ۸۶۰ میلی‌متر) با متوسط بارندگی سالانه ایران که تقریبا رقمی معادل ۲۴۰ میلی‌متر است مقایسه شود، ملاحظه خواهد شد که بارندگی در ایران کمتر از یک سوم متوسط جهانی است و همچنین این بارندگی‌ها توزیع مکانی و زمانی متغیری را دارا هستند.

به دلیل افزایش بهره‌برداری از حجم محدود منابع آبی، هر روزه دسترسی به آب مرغوب و با کیفیت مناسب برای کشاورزی رو به کاهش است (Eslamian & Okhravi 2015). روند برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی از طریق چاه‌های عمیق و نیمه عمیق موجب پیشروی آب شور در سفره‌های آب شیرین شده است (Rezaei 2022). با توجه به موارد فوق می‌توان به اهمیت زهاب‌های خروجی از زهکش‌های سطحی و زیرزمینی پی برد.

فعالیت‌های کشاورزی به طور عمده با مصرف آب توأم می‌باشد. این فعالیت‌ها باعث تولید پساب‌ها، زه‌آب‌ها، پسماندها و گازهای آلاینده می‌شوند(Noorisepehr et al., 2014; Arrigo et al., 2023). در صورتی که اکوسیستم با مقدار آلاینده بیش از توان پالایش طبیعی خود روبرو گردد، تعادل زیست محیطی دچار بحران می‌گردد (Damavandi et al., 2023). امروزه در اکثر زراعت‌ها ازکودهای شیمیایی جهت افزایش تولید محصول استفاده می‌شود و استفاده بیش از حد و غیر علمی از این کودها سبب آبشویی مواد شیمیایی موجود در کودها شده که این امر یکی از عوامل اصلی آلوده شدن آب‌های زیرزمینی به شمار می‌رود (Mahdavi mazdeh et al., 2011).

زمانی که غلظت نیترات درآب آشامیدنی بیش از حد مجاز گردد این آب مهم‌ترین منشا ورود نیترات به بدن می‌شود و سلامتی انسان را به خطر می‌اندازد(Dindarlou et al., 2021). البته به گفته پزشکان نیترات برای انسان سمی نیست و به آسانی در بدن جذب و از آن دفع می‌شود اما عوارض سوء نیترات در انسان در نتیجه احیای آن به وسیله باکتری‌های دستگاه گوارش و تبدیل آن به نیتریت روی می‌دهد (Shahveh et al., 2020). پیدایش نیتریت به دو دلیل اهمیت دارد اول آنکه می تواند هموگلوبین خون را اکسیده کرده و به متهموگلوبین تبدیل کند که این ماده عمل اکسیژن رسانی به بدن را مختل می کند و دوم اینکه نیتریت با بعضی آمین‌ها و آمیدهای بدن آمیخته شده و باعث پیدایش نیتروزامین که ماده‌ای سرطانزاست می‌شود (Deganello et al., 2000; Sedghi et al., 2023). از دیگر بیماری‌هایی که در اثر غلظت‌های بالای نیترات وارده به بدن به وجود می‌آیند می‌توان به دیابت کودکان، سرطان‌های دستگاه گوارش و مثانه، سقط جنین ناگهانی خانم‌های باردار و عدم تکامل جنین اشاره کرد (Turan et al., 2014; Tabandeh & Zaarei 2018). بررسی و مطالعه‌ی گزارش‌های موجود در مورد وضعیت غلظت یون نیترات در آب بعضی از شهرهای ایران (تهران، مشهد، رشت، ساری، همدان، اراک و اصفهان) نشان می‌دهد که غلظت نیترات در بیشتر موارد بسیار بالاتر از حد استاندارد است (Solgi & Arouji 2017).

از روش‌های کاهش غلظت نیترات در پساب می‌توان به گیاه پالایی(Avatefinejat & Asrari 2017)، رقیق سازی و هدایت الکتریکی (Shirdel et al., 2017)، تبادل یونی (Kaboodvand et al., 2014)، اسمز معکوس و حذف نیترات توسط جاذب‌ها (Azizkhani et al., 2023)، تقطیرو الکترودیالیز (Ganjizadeh & Ashrafizadeh 2017)، دنیتریفیکیشن (Neshatn et al., 2016) اشاره کرد. اغلب روش‌های ذکر شده به دلیل هزینه بالا، ناتوانی در حذف غلظت‌های کم یون‌های فلزی، مشکلات دفع لجن‌های تجمع یافته بعد از فرآیند تصفیه سازی در مقیاس وسیع، مقرون به صرفه نیستند (Kalaruban et al., 2018). طبق مطالعات انجام شده فرایند جذب سطحی یکی از محبوب‌ترین روش‌ها جهت کاهش غلظت آلاینده‌های سمی از پساب‌های صنعتی محسوب

می‌شود (Bakhshandegan Moghaddam & Hoseini 2022). به ویژه اگر جاذب مورد استفاده، یک جاذب ارزان قیمت و کم هزینه باشد و نیازی به مرحله پیش تصفیه نداشته باشد. فرایند جذب سطحی به دلیل هزینه اولیه کم، انعطاف پذیری، راحتی در طراحی عملیات، سهولت عمل، عدم واکنش‌پذیری با آلاینده‌های سمی و عدم تشکیل مواد خطرناک حین فرآیند جذب، نسبت به سایر روش‌های تصفیه آب، یک روش مناسب ارزیابی شده است. از جمله مهم‌ترین جاذب‌های کم هزینه و ارزان قیمت می‌توان به پوکه معدنی (پومیس) اشاره کرد (Kalantaryan & Arzumanyan 2021).

پوکه معدنی(پومیس) از ترکیبات سنگ‌های آتش فشانی است که غالبا از ترکیبات سیلیسی به مقدار زیاد و سایر مواد معدنی به مقدار کمتری تشکیل شده است و نقطه ذوب آن ۱۳٤۲ درجه سانتی‌گراد می باشد. حرارت شدید گرانیت در خلال فعالیت‌های آتشفشانی و متعاقبا به سرعت سرد شدن آن سبب به دام افتادن لایه نازکی از هوا درون گرانیت شده و منجر به پدید آمدن شبکه‌ای که پومیس نامیده می‌شود، می‌گردد. پومیس به لحاظ ساختاری، از یکسری حفرات نامنظم تشکیل شده است که برخی از آن‌ها بهم متصل و برخی نیز کاملا از هم جدا می‌باشند. چگالی پوکه معدنی ۵۰۰ الی ٦۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. ساختار اسکلتی پومیس اجازه حرکت و ساکن شدن یون‌ها و مولکول‌های مختلف به سطح را می‌دهد (Rashad 2019). مطالعات انجام شده نشان داده است که ساختار سیلیسی سطح پومیس با کاتیون‌های فلزی پیوند ایجاد می‌کند و قدرت این پیوند به حدی است که با آبکشی نمودن جاذب، فلزات از سطح آن جدا نمی‌شوند. این ترکیب در بهبود خصوصیات فیزیکی بتون و همچنین حذف آلاینده‌های محیطی استفاده می‌شود (Hadadi et al., 2013). افزودن پومیس به خاک باعث بهبود شرایط فیزیکی خاک (افزایش تخلخل کل، ظرفیت نگهداشت آب در خاک و جلوگیری از تشکیل سله در سطح خاک) می‌شود که این امر منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاه می‌گردد (Zare haghi et al., 2015). در ایران در اغلب نقاط کوهستانی همانند شمال غرب، غرب، مرکز و جنوب لایه‌های پوکه معدنی وجود داشته و از قیمت فوق العاده پایینی برخوردار است. شکل ۱ نمونه‌ای از پومیس را نشان می‌دهد.

شکل ۱. پوکه معدنی (پومیس)

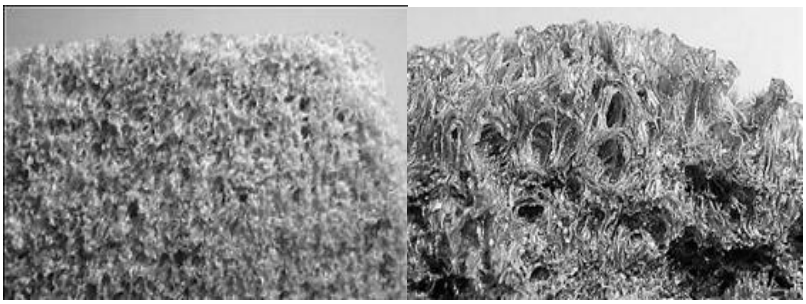

Fig 1. Pumice

هدف از این پژوهش بررسی تاثیر کارآمدی پوکه معدنی در جذب نیترات از محلول نیتراته در مقیاس آزمایشگاهی می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات طرح آزمایشی و تیمارهای آزمایش

جهت بررسی تاثیر پوکه معدنی در جذب نیترات از زهاب‌های کشاورزی آزمایش فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. عامل‌های پژوهش شامل محلول نیترات و پوکه معدنی به عنوان جاذب نیترات با اندازه دانه‌های متفاوت پومیس (دانه‌های ۱ سانتی‌متر، ۵ سانتی‌متر و لایه‌بندی پومیس با اندازه دانه‌های بین ۱ تا ۵ سانتی‌متر) بودند. مدت زمان نمونه برداری از تیمارهای مورد آزمایش٤۵ روز به طول انجامید.

۲-۲- آماده سازی پومیس

پوکه معدنی مورد استفاده در این پژوهش از معدن حسن‌آباد شهرستان ماهنشان واقع در ۱۸۲ کیلومتری شهر زنجان تهیه شد. جدول ۱ تجزیه کانی‌شناسی سنگ پومیس مورد استفاده در آزمایش را نشان می‌دهد. پس از انتقال پوکه‌های معدنی تهیه شده به آزمایشگاه، با استفاده از چکش، به آرامی پوکه‌ها خرد شدند. سپس با استفاده از الک‌های استاندارد، پومیس‌های خرد شده سرند گردید و دانه‌های پومیس با اندازه ۱، ۲، ۳، ٤ و ۵ سانتی‌متر از بقیه جدا شدند(شکل ۲). به منظور حذف مواد احتمالی موجود در حفرات و تخلخل پوکه‌های پومیس دانه‌بندی شده، پس از سرند کردن و دانه‌بندی، کلیه پومیس‌های دانه‌بندی شده با استفاده از آب مقطر شسته شده و به مدت ٢٤ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند.

جدول ۱. تجزیه کانی‌شناسی سنگ پومیس مورد استفاده در آزمایش (درصد وزنی)

Table 1. Mineralogical analysis of pumice stone used in the experiment (weight percentage)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	So_3	Na_2O	K_2O	Cl	LOI
۶۴/۹۲	۱۵/۹۲	۲/۸۰	۴/۱۰	۰/۸۳	۰/۱۷	۳/۷۲	۲/۴۰	۰/۰۰۸	۳/۳۴

LOI: درصد وزنی از دست رفته در اثر احتراق، چگالی پومیس ٦۰۰-۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد.

شکل ۲. نمونه‌هایی از پوکه معدنی با لایه‌بندی ۱ و ۵ سانتی‌متر

Fig 2. Samples of pumice stone with 1 and 5 cm layering

۲-۳- آماده سازی ظروف آزمایش

به منظور انجام آزمایش از ۹ ظرف پلاستیکی شفاف با حجم ۳ لیتر استفاده گردید. پیش از آزمایش و قبل از افزودن پوکه‌های دانه‌بندی شده و محلول نیترات به درون ظروف، به منظور نمونه‌برداری آسان، با ایجاد یک سوراخ در قسمت پایین هر ظرف، یک عدد شیر تخلیه در هر کدام از ظرف‌های مذکور تعبیه شد و به منظور آب‌بندی کامل محل نصب شیرها از چسب آکواریوم استفاده گردید(شکل ۳). پس از نصب شیر و آماده‌سازی ظروف، در ۳ ظرف تا نزدیکی درب ذرات پوکه معدنی خشک شده با دانه‌بندی ۱ سانتی‌متر، در ۳ ظرف دیگر ذرات پوکه معدنی خشک شده با دانه‌بندی ۵ سانتی‌متر ریخته شد و در ۳ ظرف بعدی دانه‌بندی ۱ تا ۵ سانتی‌متر قرار گرفت. به این صورت که، در قسمت پائین ظرف پوکه با قطر ۵ سانتی‌متر و در بالای آن پوکه با قطر ٤ سانتی‌متر ریخته شد و همین طور تا لایه آخر که پوکه با قطر ۱ سانتی‌متر اضافه گردید. همچنین در هیچ یک از ظروف، ذرات پس از افزودن محلول نیتراته شناور نبوده و در حالت کاملا متعادل در دمای نرمال ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روی یکدیگر قرار داشتند.

شکل ۳. نمونه‌هایی از ظروف آزمایش

Fig 3. Examples of test containers

۲-۴- تهیه محلول نیترات

با توجه به اینکه هدف پژوهش حاضر، امکان سنجی توان جذب نیترات توسط پوکه معدنی بود و به دلیل عدم دسترسی به حجم و غلظت مورد نظر از محلول نیتراته و همچنین با توجه به اینکه زهاب‌ها بجز نیترات دارای املاح دیگری نیز می‌باشند، جهت سهولت و دقت آزمایش، محلول نیتراته با غلظت یک گرم در لیتر تهیه گردید. محلول استوک نیترات مورد نیاز از نیترات آمونیوم و براساس دستورالعمل‌های استاندارد آزمایشگاهی آب و فاضلاب تهیه گردید(Rice et al., 2012). به منظور حذف اثر احتمالی اسیدیته محلول بر نتایج، pH درمحدوده ۷ تنظیم گردید.

۲-۵- آماده سازی تیمارها

پس از آماده‌سازی محلول نیتراته، به ظرف‌های حاوی پوکه معدنی محلول نیتراته اضافه گردید. جهت ممانعت از ورود ناخالصی‌های احتمالی، محلول از کاغذ صافی عبور داده شد. سپس ظروف در دمای نرمال ۲۵ درجه سانتی‌گراد به طور مرتب در کنار هم در قفسه‌های آزمایشگاه به دور از تابش خورشید چیده شدند. به منظور ممانعت از تبخیر آب محلول، درب کلیه ظروف محکم بسته شد.

۲-۶- نمونه‌برداری از تیمارها

پس از آماده‌سازی تیمارها، در ۹ نوبت، در روزهای ۱، ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ٤٥ روز پس از شروع آزمایش، از کلیه ظروف مورد آزمایش، نمونه‌ی۱۰ میلی‌لیتری، از طریق شیرهای تعبیه شده بر روی هر ظرف، تهیه شد و با ثبت روز و نیز شماره تیمار، تا زمان اندازه‌گیری میزان نیترات آن، در داخل ظرف کوچک پلاستیکی ضخیم با درب محکم نگه‌داری شد(شکل ٤). در ابتدای آزمایش و پس از گذراندن محلول نیترات از کاغذ صافی، نمونه‌ای نیز به عنوان تیمار شاهد تهیه شد.

شکل ۴. نمونه‌هایی از ظروف نگهداری محلول نمونه برداری شده

Fig 4. Examples of solution storage containers after sampling

۲-۷- اندازه‌گیری میزان نیترات

جهت اندازه‌گیری میزان نیترات نمونه‌ها از روش اسپکترومتری استفاده شد. بدین منظور ابتدا ۱۰ میلی‌لیتر از نمونه برداشت شده، در بشر ریخته شد. سپس ۰/۰۵ گرم کلسیم کربنات با غلظت ۱ گرم در لیتر به آن اضافه شد. افزودن کربنات کلسیم به مایع از تبخیر نیترات محلول همراه با آب در مرحله بعدی ممانعت می‌کرد. در مرحله بعدی بشر حاوی نمونه روی هیتر قرار داده شد تا آب آن به صورت کامل تبخیر شود. نکته حائز اهمیت در این مرحله جلوگیری از سوختن مواد داخل بشر بود. پس از تبخیر کامل آب محلول، ماده‌ای سفید رنگ در ته بشر باقی ماند. ۲ میلی‌لیتر اسید سولفوریک به بشر افزوده شد تا رسوب داخل آن به صورت کامل در اسید حل شود. در گام بعدی ۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر به ترکیب اسیدی مرحله قبل افزوده شد و به تدریج هیدروکسید آمونیوم به آن اضافه گردید تا رنگ لیمویی ثابت در محلول حاصل ظاهر شود. مقدار هیدروکسید آمونیوم لازم جهت دستیابی به رنگ لیمویی ثابت، کاملا با مقدار نیترات موجود در محلول رابطه مستقیم داشت. محتویات بشر به یک بالن ۱۰۰ میلی‌لیتری منتقل شد و با آب مقطر حجم آن به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. سپس نمونه کوچکی از محلول جهت قرائت با دستگاه اسپکتروفومتر آماده گردید. پس از آماده‌سازی کلیه نمونه‌های تیمارها و تکرارهای آزمایش، دستگاه اسپکتروفوتومتر با نمونه‌های شاهد و در طول موج ٤٧٠ نانومتر واسنجی شد. در نهایت مقدار نیترات محلول‌ها توسط دستگاه قرائت و مقدار دقیق نیترات آن تعیین شد. میزان نیترات اندازه‌گیری شده در هر تیمار با استفاده از روش اسپکترومتری، در طی روزهای مختلف آزمایش از طریق نرم‌افزار SAS، مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت.

۳- نتایج و بحث

جدول ۲ نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات تأثیر صفات مورد بررسی بر جذب نیترات از محلول را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول ۲ ملاحظه می‌شود که تأثیر تیمارهای اندازه پوکه معدنی و روز اندازه‌گیری در جذب نیترات از محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است.

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس میانگین مربعات تأثیر صفات مورد ارزیابی بر جذب نیترات از محلول

Table 2. The results of mean square variance analysis of the effect of evaluated traits on nitrate absorption from solution

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین نیترات
اندازه پومیس	۲	**۰/۳۷۹۹
روز اندازه‌گیری	۸	**۰/۶۰۷۸

نتایج مقایسه میانگین‌های اندازه ذرات معدنی پومیس بر جذب نیترات از محلول که بر اساس آزمون دانکن با سطح احتمال ۵ درصد صورت گرفت در شکل ۵ نشان داده شده است. همچنین میانگین مقادیر نیترات محلول در ابتدای آزمایش (مقادیر شاهد) و کاهش مقادیر نیترات در طول ٤٥ روز آزمایش به دلیل جذب توسط ذرات پومیس در شکل ۵ آورده شده است.

شکل ۵. اثر تیمار دانه‌بندی پومیس بر میزان جذب نیترات

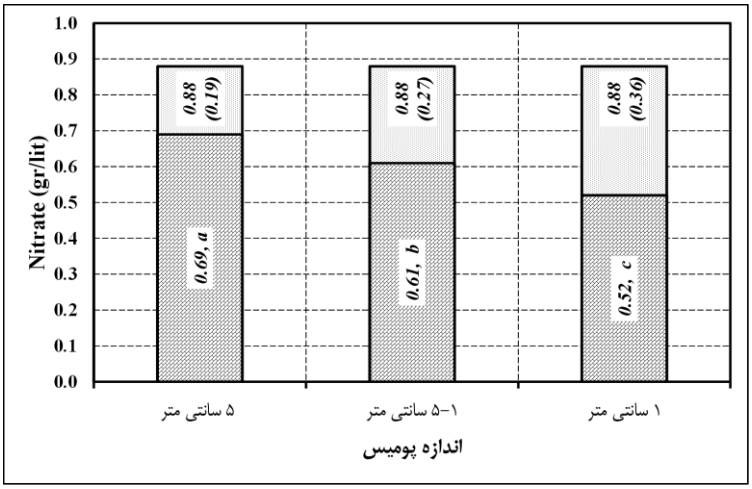

Fig 5. The effect of pumice granulation treatment on nitrate absorption

با توجه به شکل ۵، مشاهده می‌شود که مقدار نیترات در تیمار شاهد ۰/۸۸ گرم در لیتر بوده که تأثیر اندازه ذرات پوکه معدنی بر جذب نیترات باعث ایجاد سه رده آماری متفاوت a، b و c شد به طوری که پوکه معدنی با اندازه دانه‌بندی ۵ سانتی‌متر در رده آماری a (کم‌ترین جذب نیترات از محلول)، ترکیب پوکه معدنی با اندازه بین ۱ تا ۵ سانتی‌متر به صورت لایه به لایه در رده آماری b و پوکه معدنی با دانه‌بندی ۱ سانتی‌متر در رده آماری c (بیش‌ترین جذب نیترات از محلول) قرار گرفتند. با توجه شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت که ذرات معدنی پومیس با توجه به ساختار داخلی خویش، قدرت جذب و تصفیه نیترات از آب‌های آلوده به آن را داشته‌اند.

باقیمانده نیترات جذب شده توسط پومیس با دانه‌بندی ۱ سانتی‌متر در طول ٤٥ روز مدت آزمایش، ۰/۵۲ گرم در لیتر بود که نسبت به میانگین نیترات افزوده شده به آب مقطر در ابتدای آزمایش (۰/۸۸ گرم در لیتر)، ۰/۳٦ گرم در لیتر جذب صورت گرفته است (٤١ درصد کاهش). در طول کل مدت زمان آزمایش، میزان جذب نیترات توسط پوکه معدنی با ترکیب ۱ تا ۵ سانتی‌متر و ۵ سانتی‌متر نسبت به میانگین نیترات محلول اولیه به ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۱۹ گرم در لیتر (۳۱ و ۲۲ درصد کاهش) داشت.

با توجه به شکل ۵، می‌توان چنین نتیجه گرفت که اندازه ذرات و به تبع آن سطح تماس، یکی از عوامل تأثیرگذار بر میزان جذب نیترات از محلول توسط پومیس می‌باشد. با کاهش اندازه ذرات جاذب نیترات، سطح ویژه آن افزایش یافته و به تبع آن میزان جذب نیترات و کاهش آن از محلول نیز افزایش یافت. علاوه بر افزایش سطح ویژه ذرات پومیس با کاهش اندازه آن‌ها، افزایش ظرفیت جذب نیترات با کاهش اندازه ذرات پوکه معدنی را می‌توان به ساختار متخلخل این پوکه نیز مرتبط دانست. همان طور که بیان شد، پوکه پومیس به لحاظ ساختاری، از یک سری حفرات نامنظم تشکیل شده است که برخی از آن‌ها به هم متصل بوده و برخی نیز کاملا از هم جدا می‌باشند (Naseri et al., 2013).

یکی دیگر از دلایلی که باعث افزایش جذب نیترات در تیمار پوکه معدنی با اندازه کوچک‌تر شد، افزایش تعداد جاذب نیترات (پومیس) بود. همان طور که در بخش مواد و روش‌ها بیان شد، ظروف آزمایش برای کلیه تیمارها و تکرار یکسان بود. هم چنین

حجمی از ظروف که با پومیس پر شد نیز برابر بود. بنابراین با کاهش اندازه ذرات پومیس، تعداد آن در واحد حجم افـزایش یافـت. شرایط اخیر به همراه افزایش سطح ویژه ذرات توأمان باعث افزایش جذب نیترات از محلول شد (شکل ۵). نتایج مطالعه حاضـر بـا نتـایج مطالعـات ;et al., 2013; Malakootian et al., 2010; Hadadi et al., 2013; Avishan et al., 2020; Mahviet al., 2012 Ehsangar Alemayehu et al., 2009 همخوانی دارد.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر روز اندازه‌گیری دارای اختلاف معنی‌دار در سطح یک درصد می‌باشد. با توجـه بـه شکل ٦ مشاهده می‌شود که از روز اول شروع آزمایش تا روز بیستم برای دانه بندی ۱ سانتی‌متر جذب نیتـرات صـورت گرفتـه و از روز بیستم به بعد تخریب این دانه‌بندی آغاز گردیده و دوباره نیترات جذب شده را تا روز چهل و پنجم به محلول باز گردانده است ولی جذب نیترات در سایر تیمارها تا روز سی‌ام ادامه داشته و روز سی‌ام زمان آغاز تخریب می‌باشد. در ذرات درشت‌تر از روز سی ام تا روز چهل و پنجم به دلیل تخریب تدریجی ذرات پوکه معدنی، مقداری از نیترات جذب شده توسط ذرات مجـددا بـه محلـول بازگشته است.

شکل ۶. تغییرات میزان نیترات در روزهای مختلف در تیمارهای مختلف اندازه پومیس

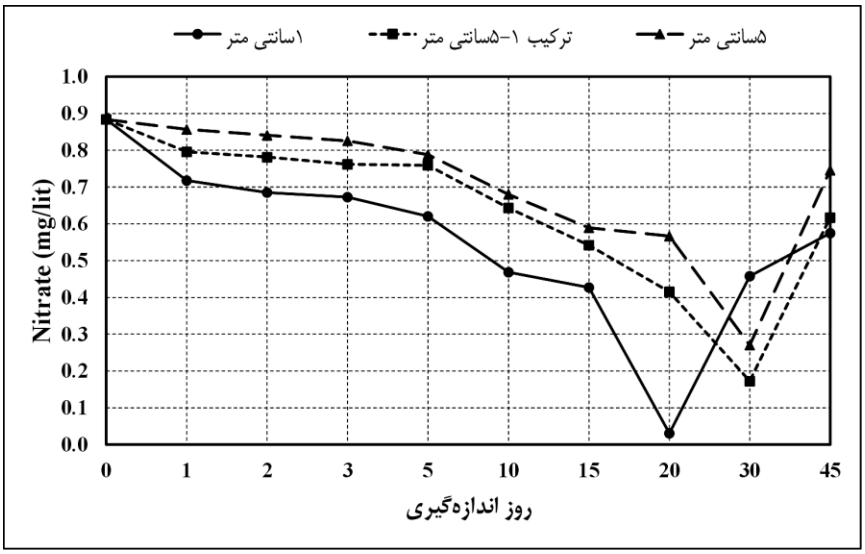

Fig 6. Changes in nitrate content on different days in different pumice size treatments

علت جهش ناگهانی در میزان جذب نیترات در تیمارهای مختلف مورد بررسی را می‌توان این گونه توجیه کرد که تـا روز ۱۵ بـرای تیمار ۱ سانتی‌متر و روز۲۰ برای سایر تیمارها، کلیه محل‌های جایگزینی نیترات در سطح خارجی پوکه معدنی بـه شـرایط اشـباع از نظر جذب نیترات نزدیک می‌شود. بنابراین از زمان فوق به بعد، برای جذب بیش‌تر نیترات، باید محلول به سایر محل‌های جایگزینی پوکه معدنی که در درون ساختمان آن قرار دارد، نفوذ کند. با تأمین فرصت لازم برای رخداد این شرایط در روزهـای بعـدی، میـزان جذب نیترات از محلول افزایش یافته و جهش ناگهانی در جذب مشاهده شد.

۴- نتیجه‌گیری

افزایش جمعیت و افـزایش مصرف غیر اصولی از منابع آبی موجود، مشکلات بسیاری را در راسـتای تـامین آب لازم جهـت ادامـه حیات بشری ایجاد نموده است. این امر ایجـاب می‌نماید جهت تامین بخشی از آب مورد نیاز کشاورزی، اسـتفاده مجـدد از زهـاب کشاورزی و آب‌های خاکستری برنامه‌ریزی شود. اغلب روش‌های رفع آلودگی به دلیل هزینه بـالا، نـاتوانی در حـذف غلظـت‌هـای پایین یون‌های فلزی و مشکلات دفع لجن‌های تجمع یافته بعد از فرایند تصفیه‌سازی در مقیاس وسیع مقرون بـه صـرفه نیسـتند. بـا

توجه به نتایج به دست آمده فرایند جذب سطحی و پوکه معدنی را می‌توان منبع ارزان قیمت و کارآمد برای جذب نیترات از محلول نیتراته معرفی کرد. نتایج این مطالعه نشان داد که با کاهش اندازه جاذب پوکه معدنی، میزان جذب نیترات و تصفیه آب از این ماده بیشتر می‌گردد ولی زمان تخریب نسبت به اندازه‌های بزرگ‌تر زودتر اتفاق می‌افتد. بنابراین جهت ممانعت از آزادسازی نیترات جذب شده به سطح ذرات و افزایش سطح نیترات محلول در اثر رخداد این شرایط، باید قبل از تخریب ساختمان پومیس، آب تصفیه شده به منابع آب تخلیه گردد. همچنین از پوکه معدنی مصرف شده نیز می‌توان بعنوان اصلاح کننده بافت خاک و همچنین بعنوان کود در سایر خاک‌ها و مزارع استفاده کرد.

۵- تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

۶- مراجع

Alemayehu, E., & Lennartz, B. (2009). Virgin volcanic rocks: kinetics and equilibrium studies for the adsorption of cadmium from water. *Journal of Hazardous Materials, 169, 395–401*. https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2010.08.009

Arrigo, I., Catalfamo, P., Cavallari, L & Di Pasquale, S. (2007). Use of zeolitized pumice waste as a water softening agent. *Journal of Hazardous Materials, 147, 513–517*. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.061

Avatefinejat, G., & Asrari, E. (2017). Investigating the removal of nitrate from the water environment in the process of phytoremediation by Eichhornia crassipes. *Iranian Water Resources Research Quarterly, 12*(2). https://doi.org/10.3233/AJW-170008. (In Persian)

Avishan, M., Nazari Kudahi, S., & Noorpoor, A. (2020). Determining CO2 absorption efficiency of different process industries on pumice adsorbent modified with TEPA. *Environmental Quarterly, 46(2)*. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.521. (In Persian)

Azizkhani, V., Soltani, M., & Samipourgiri, M. (2023). Nitrate removal study from urban raw sewage (Tehran) by walnut tree sawdust using surface absorption method. *Water and Wastewater Science and Engineering Quarterly, 8*(2). https://doi.org/10.22112/jwwse.2022.348421.1318. (In Persian)

Bakhshandegan Moghaddam, F., & Hoseini, P. (2022). The quality standard of water pollution and the permissible limit of pollutants and treated effluents. *The 3rd International Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Development, Environment and Horizons of Islamic Art in the Second Step Statement of the Revolution.* (In Persian)

Damavandi, A., Sadi, H., Naderi mahdiei, K., & Malekian., A. (2023). Evaluation of agricultural water poverty index of Hamadan province and identification of critical components. *Two quarterly water and Sustainable Development*, 1(10). https://doi.org/10.22067/jwsd.v10i1.2207-1165. (In Persian)

Deganello, F., Liotta, L., Macaluso, A., Venezia, A., & Deganello, G. (2000). Catalytic reduction of nitrates and nitrites in water solution on pumice-supported Pd–Cu catalysts. *Applied Catalysis B: Environmental, 24(3-4)*, 265-273. https://doi.org/10.1016/S0926-3373(99)00109-5

Dindarlou, K., Sheikh mohammadi., & Jamali, H. (2021). Optimization of nitrate removal from drinking water sources by pumice modified with magnesium chloride by applying Benken's box design method. *Preventive Medicine Quarterly, 8*(4). (In Persian)

Ehsangar, M., Charm, M., & Farokhian, A. (2013). Investigating the possibility of absorbing Nitrate from Ahvaz urban wastewater by means of zeolite columns, activated carbon and sand. *Iran's National Environmental Research Conference, Shahid Muftah College, Hamedan.* (In Persian)

Eslamian, S S., & Okhravi, S S. (2015). A quantitative look at the phenomenon of climate change and solutions to compromise with it. *Scientific Journal of Rain Catchment Surface Systems, 3.* (In Persian)

Ganjizadeh, A., & Ashrafizadeh, N. (2017). Determining the optimal conditions for water desalination with the electrodialysis process. *Oil Research Journal, 26*(4). (In Persian)

Hadadi, S., Eslamkish, T., Dolati, F., Rezapoor, M., Heidartaymeh, M., & Sadeghzadeh, M. (2013). Adsorption of heavy metal cadmium from aqueous solution by natural pumice. *The first national conference of new technologies in chemistry and chemical engineering.* (In Persian)

Houshmand, M., & Khorrampanah, M. (2021). Smart city solutions to deal with water shortage crisis based on KNX protocol. *Quarterly Journal of Water and Wastewater Science and Engineering*, *2*(6). https://doi.org/10.22112/jwwse.2021.238848.1215. (In Persian)

Kaboodvand, F., Rezaei, H., & Javadpoor, J. (2014). Synthesis of zeolite LTA and absorption of calcium ion from water by it. *Ceramic Science and Engineering Quarterly*, *3*(4). (In Persian)

Kalantaryan, M., & Arzumanyan, A. (2021). Water absorption capacity of irind mine pumice. *Journal of Architectural and Engineering Research* 1(1). https://doi.org/10.54338/27382656-2021.1-6

Kalaruban, M., Loganathan, P., Shim, W., Kandasamy, J., & Vigneswaran, S. (2018). Mathematical modelling of nitrate removal from water using a submerged membrane adsorption hybrid system with four adsorbents. *Applied Sciences*, *8*(2), 194. https://doi.org/10.3390/app8020194

Mahdavi mazdeh, A., Liaghat, A., & Sheikhmohammadi, Y. (2011). Nitrate removal from agricultural runoff using modified zeolite. *Iranian Water Research Journal*, *5*(1). (In Persian)

Mahvi, A., Heibati, B., Mesdaghinia, A., & Yari, A. (2012). Fluoride adsorption by pumice from aqueous solutions. *E-Journal of Chemistry*, 9(4), 1843-1853.

Malakootian, M., Jaefarzadeh, N., Hoseini, H., & Mousavi, S G. (2010). Ammonium removal from aqueous solution using pumice adsorbent in static and dynamic conditions. *The 13th Environmental Health Conference*. (In Persian)

Naseri, S., Heibati, B., Asadi, A., & Golestani, A. (2013). Investigating the effectiveness of modified pumice in removing nitrate from aqueous solutions: Isotherm and adsorption kinetics study. *The Journal of Tolo Health Bimonthly*, *12*(1). (In Persian)

Neshat, A., Rashidi meherabadi, A., Aligardashi, A., & Tajrobekar, O. (2016). Investigating the process of autotrophic denitrification with different sulfur sources in removing nitrate from water. *Environmental Quarterly*, *42*(2). (In Persian)

Noorisepehr, M., Amranen, A., KArimian, K., Zarrabian, M., & Ghaffari, H. (2014). Potential of waste pumice and surface modified pumice for hexavalent chromium removal: Characterization, equilibrium, thermodynamic and kinetic study. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, *45(2)*. 635-645. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2013.07.005

Rashad, A. (2019). A short manual on natural pumice as a lightweight aggregate. *Journal of Building Engineering*, 25. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100802

Rezaei, M. (2022). Water crisis: social dilemma. *Water and Wastewater Science and Engineering Quarterly*, *4*(7). https://doi.org/10.22112/jwwse.2022.330611.1311. (In Persian)

Sedghi, Z., Nadiri, A., Sadegfam, S., Asadi, S., & Say, F. (2023). Non-carcinogenic risk assessment of nitrogen compounds in drinking water supply sources of Mako-Bazargan-Poldasht area. *The Journal of Hydrogeomorphology*, *34*(10). https://doi.org/10.22034/hyd.2023.54394.1668. (In Persian)

Shahveh, S., Sedighi, M., & Mohammadi,M. (2020). New use of combining biological and physical methods to remove nitrate and nitrite from water. *Environmental Science and Technology Quarterly*, *3*(22). (In Persian)

Shirdel, E., Abdollahnejat, A., Raisivand, Sh., Ebrahimi, A., & Jaefari, N. (2017). Investigating the performance of the dilution method to reduce water nitrate in Faridan city. *Health System Research Quarterly*, *13*(4). (In Persian)

Solgi, I., & Orouji, B. (2017). Investigation of nitrate and nitrite concentration in underground water of urban and agricultural areas in Asadabad plain. *Iranian Water Resources Research Quarterly*, *4*(13). (In Persian)

Rice, E. W., Bridgewater, L., & American Public Health Association (Eds.). (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater* (Vol. 10). Washington, DC: American public health association.

Tabandeh, L., & Zarei, M. (2018). An overview of nitrate concentration in some vegetables and summer production in Zanjan province. *Journal of Soil Research*, *3*(32). https://doi.org/10.22092/ijsr.2018.117826. (In Persian)

Turan, D., Kocahakimoğlu, C., Boyacı, E., Sofuoglu, S., & Eroğlu, A. (2014). Chitosan-Immobilized Pumice for the Removal of As(V) from Waters. *Journal of Water, Air, & Soil Pollution*, 225.

Zare haghi, D., Neishabouri, M., Sadeghzadeh, M., & Hasanpour, R. (2015). Effect of pumice on soil water holding capacity, growth and yield of spring safflower in rainy conditions. *Quarterly Journal of Soil Management and Sustainable Production*, *5*(3). (In Persian)

Extended abstract

Introduction
The increasing global population and unsustainable water consumption have exacerbated water scarcity, necessitating innovative solutions for water reuse in agriculture. Greywater reuse is one such strategy, but conventional treatment methods are often costly and generate sludge, making them less feasible. This study explores the feasibility of using pumice, a low-cost and abundant mineral, as an adsorbent for nitrate removal from aqueous solutions. The research aims to evaluate the efficiency of pumice in adsorbing nitrate under varying conditions, including particle size and contact time, to provide a cost-effective solution for water treatment.

Materials and Method
The study employed a factorial experimental design with two factors: nitrate solution and pumice particle size (1 cm, 5 cm, and a layered mixture of 1–5 cm). The experiment was conducted over 45 days, with nitrate concentrations measured using spectrophotometry at a wavelength of 470 nm. Pumice samples were prepared by crushing, sieving, and washing to remove impurities. The adsorption capacity of pumice was evaluated by measuring nitrate removal efficiency at different time intervals. Statistical analysis was performed using SAS software to assess the impact of particle size and contact time on nitrate adsorption.

Results and Discussion
The results demonstrated that pumice effectively adsorbed nitrate from the solution, with the highest removal efficiency observed for 1 cm particles. On the 20th day, the nitrate concentration decreased from 0.88 g/L to 0.62 g/L, indicating a removal of 0.36 g/L. Larger particle sizes (5 cm and layered 1–5 cm) showed maximum adsorption on the 30th day, with reductions of 0.19 g/L and 0.27 g/L, respectively. The smaller particle size (1 cm) achieved a 41% reduction in nitrate concentration, while the layered and 5 cm particles achieved 31% and 22% reductions, respectively. The study highlighted that smaller particle sizes and increased surface area enhanced adsorption efficiency. However, degradation of the pumice structure over time led to the release of adsorbed nitrate back into the solution, particularly after the 20th day for 1 cm particles and after the 30th day for larger particles.

Conclusion
This study confirms that pumice is a cost-effective and efficient adsorbent for nitrate removal from aqueous solutions. Smaller particle sizes (1 cm) exhibited the highest adsorption capacity, but degradation occurred earlier compared to larger particles. To prevent nitrate release, treated water should be discharged before pumice degradation begins. Additionally, spent pumice can be repurposed as a soil amendment or fertilizer, further enhancing its sustainability. These findings suggest that pumice is a viable option for nitrate removal in agricultural wastewater treatment, offering a low-cost and environmentally friendly solution to water scarcity challenges.