

## The effect of the magnetic field on the adsorption of nitrate from a nitrate laboratory solution by pumice

Parisa Hoseini<sup>1</sup>, Farzad Bakhshandegan Moghaddam<sup>2\*</sup>

### Abstract

Today, the use of chemical fertilizers is prevalent in modern agriculture, but excessive and unscientific application of these fertilizers leads to the leaching of chemical substances, resulting in the pollution of surface and groundwater. This study aimed to investigate the effect of a magnetic field on nitrate adsorption by a pumice adsorbent from nitrate solutions. The research was conducted as a factorial experiment with two factors, using a completely randomized design and three replications. A nitrate solution with a concentration of 1 gram per liter was passed through a magnetic field five times. Two fixed magnets with a magnetic field intensity of approximately 0.1 tesla were employed, arranged around a 16 mm polyethylene tube. Sampling was performed nine times over a 45-day period, and samples were analyzed using spectrophotometry at a wavelength of 470 nm. The results indicated that the average nitrate adsorbed by pumice particles in the magnetic solution was 0.3 grams per liter (12%) higher than that in the non-magnetic solution. These findings demonstrate a positive and significant effect of the magnetic field on nitrate adsorption from the solution.

**Keywords:** *Magnetic field, Surface adsorption, Pumice, Nitrate solution*

---

<sup>1</sup> MS in Hydraulic Structures, water engineering department of university of Zanjan.

<sup>2</sup> Adjunct professor at water engineering department of university of Zanjan.

(\* Corresponding author: farzadbakhshandeghan@yahoo.com)

## تأثیر میدان مغناطیسی بر جذب نیترات از محلول نیترا ته آزمایشگاهی توسط پومیس

پریسا حسینی<sup>۱</sup>، فرزاد بخشندگان مقدم<sup>۲\*</sup>

### چکیده

استفاده غیر علمی و بیش از حد از کودهای شیمیایی در زراعت‌های نوین به آشوبی مواد شیمیایی و آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی منجر می‌شود. هدف این پژوهش بررسی تأثیر میدان مغناطیسی بر جذب نیترات توسط جاذب پومیس (پوکه معدنی) از محلول نیترا ته است. این پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کامل تصادفی و با سه تکرار انجام شد. محلول نیترا ته با غلظت ۱ گرم بر لیتر در پنج نوبت از میدان مغناطیسی عبور داده شد. نمونه‌برداری در ۹ نوبت طی ۴۵ روز انجام و نمونه‌ها با روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۴۷۰ نانومتر مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که میانگین نیترات جذب‌شده توسط ذرات پوکه معدنی در محلول مغناطیسی نسبت به محلول غیرمغناطیسی به طور میانگین ۰/۳ گرم در لیتر (۱۲ درصد) بیشتر بود. این نتایج حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار میدان مغناطیسی بر جذب نیترات از محلول است.

کلمات کلیدی: میدان مغناطیسی، جذب سطحی، پومیس، محلول نیترا ته

### ۱. مقدمه

فعالیت‌های کشاورزی به طور عمده با مصرف آب توأم می‌باشد. این فعالیت‌ها باعث تولید پساب‌ها، زه آب‌ها، پسماندها و گازهای آلاینده می‌شوند [۱ و ۲]. در صورتی که اکوسیستم با مقدار آلاینده بیش از توان پالایش طبیعی خود روبرو گردد، تعادل زیست محیطی دچار بحران می‌گردد [۳]. امروزه در اکثر زراعت‌ها از کودهای شیمیایی جهت افزایش تولید محصول استفاده می‌شود و استفاده بیش از حد و غیر علمی از این کودها سبب آشوبی مواد شیمیایی موجود در کودها شده که این امر یکی از عوامل اصلی آلوده شدن آب‌های زیرزمینی به شمار می‌رود [۴]. زمانی که غلظت نیترات در آب آشامیدنی بیش از حد مجاز گردد این آب مهم‌ترین منشا ورود نیترات به بدن می‌شود و سلامتی انسان را به خطر می‌اندازد [۵]. پیدایش نیتريت به دو دلیل اهمیت دارد اول آنکه می‌تواند هموگلوبین خون را اکسیده کرده و به متهموگلوبین تبدیل کند که این ماده عمل اکسیژن رسانی به بدن را مختل می‌کند و دوم اینکه نیتريت با

۱- کارشناس ارشد سازه‌های آبی گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه زنجان.

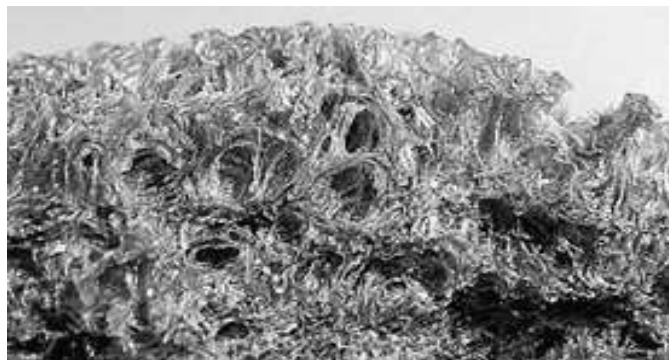
۲- استاد مدعو گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه زنجان (\* نویسنده مسئول: farzadbakhshandeghan@yahoo.com)

بعضی آمین‌ها و آمیدهای بدن آمیخته شده و باعث پیدایش نیتروزامین که ماده‌ای سرطانزاست می‌شود [۶] و [۷]. از دیگر بیماری‌هایی که در اثر غلظت‌های بالای نترات وارد 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 [۸ و ۹]. بررسی و مطالعه‌ی گزارش‌های موجود در مورد وضعیت غلظت یون نترات در آب بعضی از شهرهای ایران (تهران، مشهد، رشت، ساری، همدان، اراک و اصفهان) نشان می‌دهد که غلظت نترات در بیشتر موارد بسیار بالاتر از حد استاندارد است [۱۰].

از روش‌های کاهش غلظت نترات در پساب می‌توان به گیاه پالایی [۱۱]، رقیق‌سازی و هدایت الکتریکی [۱۲]، تبادل یونی [۱۳]، اسمز معکوس و حذف نترات توسط جاذب‌ها [۱۴]، تقطیر و الکترودیالیز [۱۵] دینتریفیکیشن [۱۶] 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 تصفیه‌سازی در مقیاس وسیع، مقرون به صرفه نیستند [۱۷]. طبق مطالعات انجام شده فرآیند جذب سطحی یکی از محبوب‌ترین روش‌ها جهت کاهش غلظت آلاینده‌های سمی از پساب‌های صنعتی محسوب می‌شود [۱۸]. به ویژه اگر جاذب مورد استفاده، یک جاذب ارزان قیمت و کم هزینه باشد و نیازی به مرحله پیش تصفیه نداشته باشد. فرآیند جذب سطحی به دلیل هزینه اولیه کم، انعطاف پذیری، راحتی در طراحی عملیات، سهولت عمل، عدم واکنش پذیری 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 [۱۹].

پوکه معدنی (پومیس) از ترکیبات سنگ‌های آتش‌فشانی است که غالباً از ترکیبات سیلیسی به مقدار زیاد و سایر مواد معدنی به مقدار کمتری تشکیل شده است و نقطه ذوب آن ۱۳۴۲ درجه سانتیگراد می‌باشد. حرارت شدید گرانیت در خلال فعالیت‌های آتشفشانی و متعاقباً 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 کاملاً از هم جدا می‌باشند. چگالی پوکه معدنی ۵۰۰ الی ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. ساختار اسکلتی پومیس اجازه حرکت و ساکن شدن یون‌ها و مولکول‌های مختلف به سطح را می‌دهد [۲۰]. 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 [۲۱]. 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) می شود که این امر منجر به افزایش رشد و عملکرد گیاه می گردد [۲۲]. در ایران در اغلب نقاط کوهستانی همانند شمال غرب، غرب، مرکز و جنوب لایه های پوکه معدنی وجود داشته و از قیمت فوق العاده پایینی برخوردار است. شکل ۱ نمونه ای از پومیس را نشان می دهد.



شکل ۱- پوکه معدنی (پومیس)

هدف از این پژوهش تاثیر کارآمدی میدان مغناطیسی بر جذب نیترات از محلول نیترا ته آزمایشگاهی توسط پوکه معدنی در مقیاس آزمایشگاهی می باشد. ژائو و همکاران (۲۰۱۸) جهت دستیابی به حذف همزمان نیترات و آمونیاک از آب به طور کامل توسط فوتوکاتالیز به دلیل بارهای مخالف و پتانسیل نامناسب، یک میدان مغناطیسی سیستم فوتوکاتالیستی برای نیترات زدایی از آب آلوده تحت نور مرئی ایجاد کردند. راندمان حذف بالای ۹۴/۵ درصد و ۹۷/۴ درصدی پس از اعمال میدان مغناطیسی به دست آمد. به طور چشمگیری، میدان مغناطیسی نیروی محرکه برای نزدیک شدن به سطح کاتالیزور و همچنین تسهیل جداسازی حامل های بار ناشی از ناهمگونی را یکپارچه کرد [۲۳]. لی و همکاران (۲۰۲۰) به حذف نیترات از محلول های آبی توسط هیدروژل کاتیونی پرداختند. مطالعه آنان نشان داد نیترات بیش از حد یکی از مشکل سازترین آلاینده های آب های سطحی و زیرزمینی است. در این مطالعه، یک نوع هیدروژل کاتیونی مغناطیسی برای جذب استفاده شد. نتیجه حاکی از آن بود که برای تصفیه آب های سطحی که حاوی ۱۰ میلی گرم در لیتر نیترات است، جداسازی مغناطیسی بهینه ۱/۶ دقیقه است. همچنین راندمان بالا و جداسازی مغناطیسی در طول فرآیند جذب-بازسازی، کاربرد آن را در تصفیه آب های سطحی مطلوب می کند [۲۴]. علی محمدی و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی کاربرد نانولوله های کربنی چند جداره مغناطیسی برای حذف نیترات از محلول های آبی مورد پرداختند. نتایج تأیید کرد که نانو کامپوزیت ها با موفقیت با روش هیدروترمال آسان سنتز شدند. آن ها را می توان به راحتی در یک میدان مغناطیسی برای جداسازی مورد نظر دستکاری کرد که منجر به حذف نیترات از محلول آبی شوند. در این مطالعه، کاربرد روش سطح پاسخ برای بهینه سازی حذف نیترات از محلول های آبی با استفاده از کاربرد نانولوله های کربنی چند جداره

مغناطیسی ارائه شد. اثرات دوز جاذب در غلظت اولیه آلاینده و pH اولیه بر حذف نیترات (%) ارزیابی شدند. شرایط بهینه برای حداکثر حذف نیترات از محلول آبی در غلظت ۴۰ میلی گرم در لیتر و در pH اولیه ۴ بود. تحت مقدار بهینه پارامترهای فرآیند، حداکثر حذف (۹۷/۱۵٪) بدست آمد. لذا مشخص شد که نانولوله‌های کربنی را می‌توان به عنوان یک جاذب امیدوارکننده برای حذف نیترات از محلول آبی در نظر گرفت [۲۵]. عبدالعتی و همکاران (۲۰۲۴) نیز به مطالعه‌ای با هدف بررسی اثربخشی ترکیب آهن صفر ظرفیتی (Fe<sub>0</sub>) با یک میدان الکتریکی مغناطیسی (EMF) با شدت ۴۸ mT تولید شده توسط جریان متناوب ۶ ولت و ۵۰ هرتز اعمال شده در عمق یک راکتور با استفاده از فاضلاب پرداختند. آزمایش در مقیاس آزمایشگاهی با استفاده از راکتور UMSR، با حفظ دمای کنترل شده ۲۵±۲ درجه سانتی‌گراد و زمان ماند هیدرولیکی ۵ ساعت، با سطح اکسیژن محلول (DO) زیر ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر انجام شد. نتایج عملکرد سیستم EMF-Fe<sub>0</sub> را از نظر راندمان حذف نیترات و غنی‌سازی باکتری‌های نیترات زدایی مورد بررسی قرار دادند و به نرخ حذف نیترات ۶۷٪ با غلظت پساب ۱۰ میلی‌گرم در لیتر رسیدند [۲۶].

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱ مشخصات طرح آزمایشی و تیمارهای آزمایش

جهت بررسی تاثیر میدان مغناطیسی در جذب نیترات از محلول نیترا ته توسط پوک معدنی، آزمایش فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کامل تصادفی و در سه تکرار انجام شد. عامل‌های پژوهش شامل محلول نیترا ته مغناطیسی شده با غلظت ۱ گرم بر لیتر، محلول نیترا ته غیر مغناطیسی با غلظت ۱ گرم بر لیتر و پوک معدنی به عنوان جاذب نیترات با اندازه دانه‌های متفاوت (دانه‌های ۱ سانتی‌متر، ۵ سانتی‌متر و لایه‌بندی پومیس با اندازه دانه‌های بین ۱ تا ۵ سانتی‌متر) بودند. مدت زمان نمونه برداری از تیمارهای مورد آزمایش ۴۵ روز به طول انجامید.

### ۲-۲ آماده سازی پومیس

پوک معدنی مورد استفاده در این پژوهش از معدن حسن‌آباد شهرستان ماهشان واقع در ۱۸۲ کیلومتری شهر زنجان تهیه شد. جدول ۱ تجزیه کانی‌شناسی سنگ پومیس مورد استفاده در آزمایش را نشان می‌دهد. پس از انتقال پوک‌های معدنی تهیه شده به آزمایشگاه، با استفاده از چکش، به آرامی پوک‌ها خرد شدند. سپس با استفاده از الک‌های استاندارد، پومیس‌های خرد شده سرنده گردید و دانه‌های پومیس با اندازه ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ سانتی‌متر از بقیه جدا شدند (شکل ۲). به منظور حذف مواد احتمالی موجود در حفرات و تخلخل پوک‌های پومیس دانه‌بندی شده، پس از سرنده کردن و دانه‌بندی، کلیه پومیس‌های دانه‌بندی شده با استفاده از آب مقطر شسته شده و به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک گردیدند.

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

L	C	K	N	S	M	C	F	A	S
O	l	2	a	o	g	a	e	l	i
۳	۰	۴	۷	۱	۸	۱	۸	۹	۹
۴			۲	۷	۳			۲	۲

چگالی (دانسیته) پومیس ۶۰۰-۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. درصد وزنی از دست رفته در اثر احتراق LOI



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

### ۳-۲ آماده سازی ظروف آزمایش

از ۱۸ ظرف پلاستیکی شفاف با حجم ۳ لیتر استفاده گردید. جهت نمونه‌برداری، 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 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 گرفتند. به این صورت که، در قسمت پائین ظرف پوکه با قطر ۵ سانتی‌متر ریخته شد، در بالای آن پوکه با قطر ۴ سانتی‌متر ریخته شد و همین‌طور تا لایه آخر که پوکه با قطر ۱ سانتی‌متر اضافه گردید. همچنین در هیچ یک از ظروف، ذرات پس از افزودن محلول نیتراژ شاور نبوده و در حالت کاملاً متعادل در دمای نرمال ۲۵ درجه سانتی‌گراد در روی یکدیگر قرار داشتند.



شکل ۳- نمونه‌هایی از ظروف آزمایش

## 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 نیترا ته و همچنین با توجه به اینکه زهاب‌ها بجز نیترات دارای املاح دیگری نیز می‌باشند، جهت سهولت و دقت آزمایش، محلول نیترا ته با غلظت یک گرم در لیتر به صورت آزمایشگاهی تهیه گردید. نیترات مورد نیاز، از منبع کود نیترات آمونیم ( $NH_4NO_3$ ) به دست آمد. به منظور تهیه محلول مورد نیاز، ۶۰ گرم نیترات آمونیم به ۶۰ لیتر آب مقطر اضافه شد و محلول به مدت ۱۰ دقیقه هم زده شد تا نیترات آمونیم کاملاً در آب مقطر حل شود. به منظور حذف اثر احتمالی اسیدیته محلول بر نتایج، PH روی ۷ که محدوده متعارف برای منابع آب است تنظیم گردید.

## ۲-۵ مغناطیسی کردن محلول نیترات

۳۰ لیتر از محلول نیترا ته آماده شده در مرحله قبل، پنج نوبت از میدان مغناطیسی ثابت عبور داده شد [۲۷]. به این منظور، از دو عدد آهنربای ثابت با شدت میدان مغناطیسی حدود ۰/۱ تسلا (در مرکز میدان) که به دور لوله پلی اتیلن ۱۶ میلی متری متصل شده بود استفاده شد (شکل ۴).

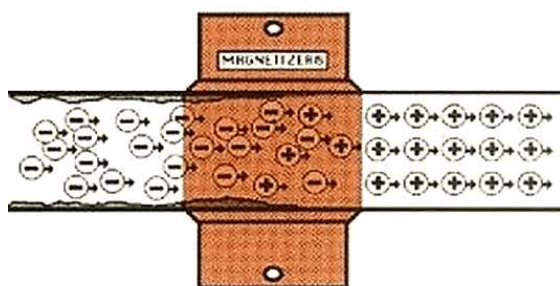


شکل ۴- آهنرباهای ثابت نصب شده به دور لوله پلی اتیلن ۱۶ میلی متری

## ۲-۶ تأثیر میدان مغناطیسی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب

آب مغناطیسی آبی است که از یک میدان مغناطیسی ثابت عبور داده شود. با توجه به دو قطبی بودن مولکول‌های آب، هنگام عبور آب از یک میدان مغناطیسی، با اعمال نیروی القایی ناشی از میدان، بخش‌های غیر همنام مولکول و میدان در یک راستا قرار می‌گیرند در نتیجه مولکول‌های نامنظم آب، شکل منظمی به خود گرفته و فضای کمتری را اشغال می‌کنند. در واقع مغناطیس شدن آب موجب تغییر در نحوه آرایش بارهای الکتریکی مولکول‌های آب می‌شود [۲۷]. به طور طبیعی مولکول‌های آب به صورت کاملاً تصادفی قرار دارند. در آب‌های موجود در دمای محیط، بیش از ۷۰ درصد مولکول‌های آب به صورت نامنظم قرار دارند و بارهای مثبت و منفی آن‌ها در جایگاه طبیعی خود قرار ندارد. در صورتی که یک جسم دارای قدرت مغناطیسی با یکی از قطب‌های خود به آب نزدیک شود، مولکول‌های آب با قطب مخالف به آن نزدیک

شده و مولکول‌های آب با قطب موافق از آن دور می‌شوند. همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، این روند باعث می‌شود که مولکول‌های آب از حالت بی‌نظمی به صورت مرتب شده در آیند [۲۸]. بنابراین در اثر مغناطیس شدن آب، تعداد مولکول‌های آب در واحد حجم افزایش یافته و توانایی آب برای جذب کاتیون‌ها و آنیون‌ها افزایش می‌یابد [۲۹]. هم‌چنین در نتیجه تأثیر میدان مغناطیسی بر روی آب، خواص فیزیکی و شیمیایی آب مانند سختی آب، وزن مخصوص، گرانشی، شوری، هدایت الکتریکی، کشش سطحی، زاویه تماس آب با دیواره، درجه ترکندگی و قدرت حل‌کنندگی آب تغییر می‌کند [۲۸ و ۳۰]. ایجاد شرایط اخیر سبب تغییر در میزان انحلال جسم حل‌شونده در آب می‌شود [۳۱ و ۳۲].



شکل ۵- نحوه آرایش مولکول‌های آب پس از عبور از میدان مغناطیسی

## ۲-۷ آماده‌سازی تیمارها

پس از آماده‌سازی محلول نیتراته، به ۹ عدد از ظرف‌های حاوی پوکه معدنی محلول نیتراته معمولی (غیر مغناطیس) و به ۹ ظرف دیگر محلول مغناطیسی شده اضافه گردید. جهت ممانعت از ورود ناخالصی‌های احتمالی موجود در محلول (به دلیل عدم خلوص ۱۰۰ درصد کود) به درون ظروف، محلول قبل از اضافه شدن به ظروف 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.



شکل ۶- کاغذ صافی مورد استفاده



## ۲-۸ نمونه برداری از تیمارها

پس از آماده‌سازی تیمارها، در ۹ نوبت، در روزهای ۱، ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ روز پس از شروع آزمایش، از کلیه ظروف مورد آزمایش، نمونه‌ی ۱۰ 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 ۷). در ابتدای آزمایش و پس از گذراندن محلول نیترات از کاغذ صافی، نمونه‌ای نیز به عنوان تیمار شاهد تهیه شد.



شکل ۷- نمونه‌هایی از ظروف نگهداری محلول نمونه برداری شده

## ۲-۹ 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 کلسیم‌کربنات با غلظت ۱ گرم در لیتر به آن افزوده 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، کاملاً 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 اسپکترومتر (شکل ۸) آماده گردید. پس از آماده‌سازی کلیه نمونه‌های تیمارها و تکرارهای آزمایش،

دستگاه اسپکتروفوتومتر با نمونه‌های شاهد و در طول موج ۴۷۰ نانومتر واسنجی شد. در نهایت مقدار نیترات محلول‌ها توسط دستگاه قرائت و مقدار دقیق نیترات آن تعیین شد.



شکل ۸- دستگاه اسپکتروفوتومتر مورد استفاده

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.

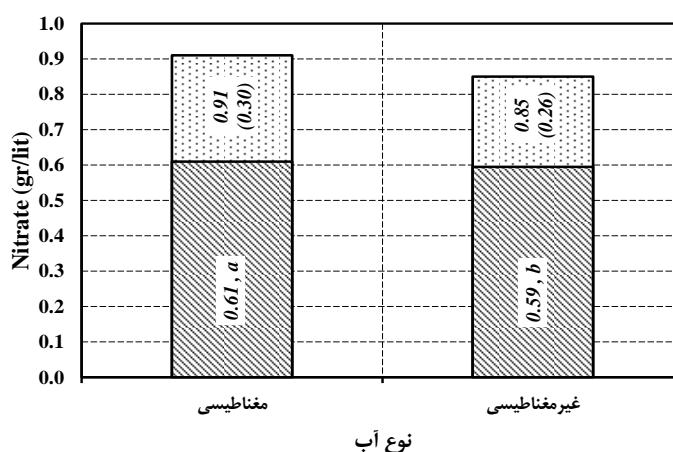
### ۳. نتایج و بحث

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 تأثیر تیمارهای اندازه پومیس، عبور و عدم عبور از میدان مغناطیسی (نوع آب) و روز اندازه‌گیری و هم چنین تأثیر متقابل روز اندازه‌گیری در اندازه پومیس و نوع آب در روز اندازه‌گیری، در جذب نیترات از محلول در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اما تأثیر متقابل نوع آب در اندازه پومیس و نوع آب در روز اندازه‌گیری در اندازه پومیس اثر معنی‌داری بر جذب نیترات از محلول نداشت.

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

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین نیترات
اندازه پومیس	۲	۰/۳۷۹۹**
نوع آب	۱	۰/۰۱۳۵**
اندازه پومیس × نوع آب	۲	۰/۰۰۰۱۸ ns
خطا	۱۲	۰/۰۰۰۰۷۸ ns
روز اندازه‌گیری	۸	۰/۶۰۷۸**
اندازه پومیس × روز اندازه‌گیری	۱۶	۰/۰۶۴۸۴**
نوع آب × روز اندازه‌گیری	۸	۰/۰۰۰۲۶**
اندازه پومیس × نوع آب × روز	۱۶	۰/۰۰۰۰۴۱ ns
اندازه‌گیری	۹۶	۰/۰۰۰۰۶۶ ns
خطا		

پس از انحلال مقدار یک گرم نترات آمونیم در آب مقطر و عبور دادن محلول حاصل، از میدان مغناطیسی و نیز گرفتن ناخالصی‌ها از طریق عبور دادن محلول از کاغذ صافی، ملاحظه شد که میزان نترات حل شده در آب مقطر افزایش یافت به طوری که در محلول عبور یافته از میدان مغناطیسی میزان نترات ۰/۹۱ گرم در لیتر اندازه‌گیری شد. این مقدار برای محلول با آب مقطر معمولی ۰/۸۵ گرم در لیتر به دست آمد. با توجه به اعداد فوق ملاحظه می‌شود که عبور دادن محلول از میدان مغناطیسی، سبب افزایش حلالیت آب مقطر برای نترات به میزان ۰/۰۵۳ گرم در لیتر شد. همان‌طور که نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نیز نشان داد، تأثیر عبور و عدم عبور آب از میدان مغناطیسی بر جذب نترات از محلول توسط ذرات معدنی پومیس، در طول مدت ۴۵ روزه آزمایش اثر معنی‌دار در سطح یک درصد داشت. شکل ۹ نتایج مقایسه میانگین مقادیر نترات جذب شده توسط پومیس از محلول مغناطیس شده و معمولی (غیر مغناطیس) را نشان می‌دهد. هم‌چنین مقدار نترات محلول مغناطیسی و غیرمغناطیسی در زمان شروع آزمایش (مقادیر شاهد) و مقدار کاهش نترات در اثر جذب توسط ذرات پومیس در انتهای زمان آزمایش در شکل (۹) نشان داده شده است. با توجه به شکل، اثر عبور و عدم عبور از میدان مغناطیسی بر میزان نترات محلول بعد از ۴۵ روز اندازه‌گیری، معنی‌دار بود. محلول مغناطیسی با میانگین نترات ۰/۶۱ گرم در لیتر در سطح a و محلول غیرمغناطیسی با میانگین ۰/۵۹ گرم در لیتر در رده b قرار گرفت.



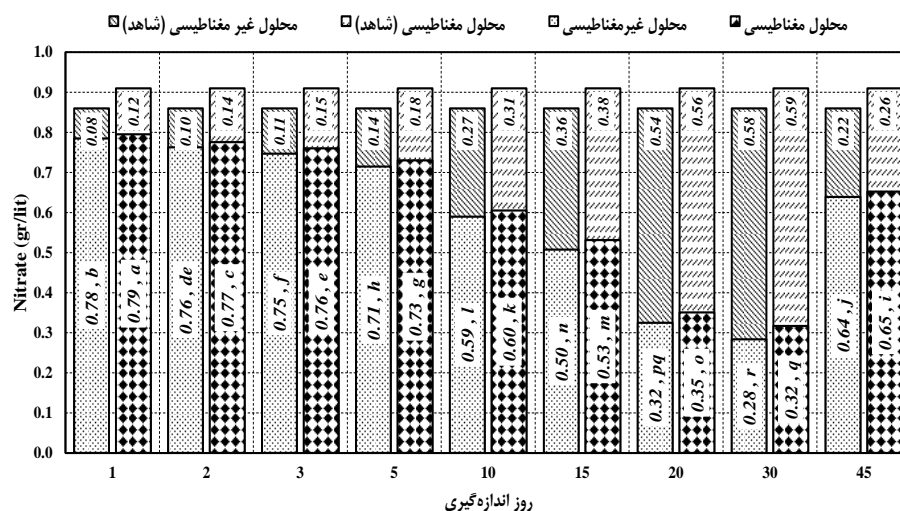
شکل ۹- اثر تیمار نوع آب بر میزان جذب نترات

با توجه به شکل (۹)، در عین حالی که میانگین مقدار نترات محلول تیمار غیرمغناطیسی در انتهای مدت زمان آزمایش کمتر از تیمار مغناطیسی بود ولی باید توجه داشت که اولاً مقدار میانگین نترات اولیه محلول مغناطیسی حدود ۰/۰۶ گرم در لیتر از محلول غیرمغناطیسی بیش‌تر بود. ثانیاً با توجه به شکل ۹، میزان کاهش نترات توسط ذرات پومیس در تیمار مغناطیسی (۰/۳ گرم در لیتر) نسبت به تیمار غیرمغناطیسی

(۰/۲۶ گرم در لیتر) به طور میانگین حدود ۰/۰۴ گرم در لیتر بیش تر بود. بنابراین عبور دادن محلول از میدان مغناطیسی سبب افزایش جذب و کاهش نیترات از محلول شد. با توجه به نتایج این بخش می توان چنین استنباط نمود که برای محلول های حاوی نیترات با مقدار اولیه معین، عبور دادن آن از میدان مغناطیسی سبب جذب و کاهش بیش تر نیترات از محلول توسط پوکه معدنی (جاذب) خواهد شد. عبور مولکول های قطبی آب از میدان مغناطیسی باعث می شود که مولکول های آب از حالت بی نظمی به صورت مرتب شده در آیند [۲۸]. بنابراین در اثر مغناطیس شدن آب، توانایی آن برای جذب کاتیون ها و آنیون ها افزایش می یابد [۲۹]. با توجه به ساختار مولکولی نیترات ( $No_3^-$ ) و قطبی بودن آن همانند مولکول های آب، می توان نتیجه گرفت که پس از عبور مولکول های نیترات و آب از میدان مغناطیسی، میزان نیترات پیوند یافته با مولکول های آب (پیوند هیدروژنی و واندروالسی) بیش تر شده است. این مسئله را می توان از افزایش مقدار نیترات حل شده در آب نتیجه گرفت. هم چنین در نتیجه تأثیر میدان مغناطیسی بر روی آب، گر انرژی آن کاهش یافته و درجه ترکندگی آن افزایش می یابد [۳۰ و ۳۳]. می توان بیان داشت که کاهش گر انرژی آب (محلول) موجب نفوذ بیش تر محلول در منافذ پومیس گردیده است. این شرایط موجب افزایش تماس محلول با پومیس گردیده و نیترات بیش تری توسط آن جذب شد.

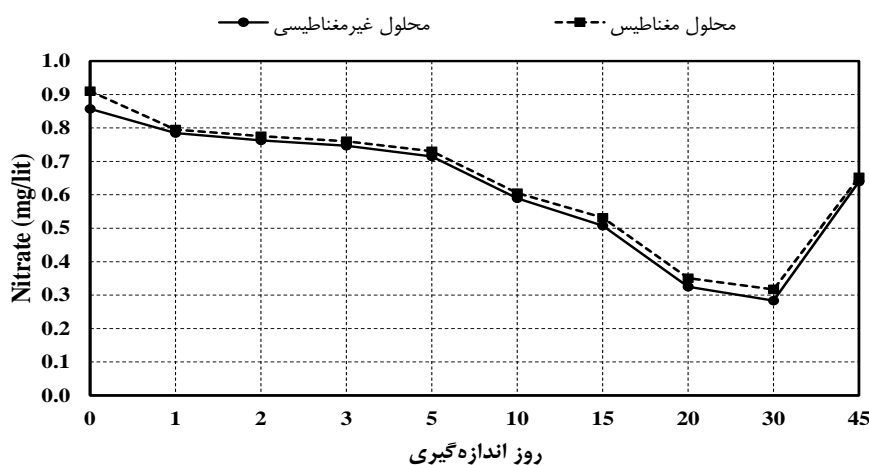
نتایج جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) گویای وجود اختلاف معنی دار اثر متقابل میدان مغناطیس و روز بر میزان جذب نیترات توسط پومیس در سطح یک درصد می باشد. مقایسه میانگین اثر متقابل عبور و عدم عبور محلول از میدان مغناطیسی و روز بر میزان جذب نیترات و هم چنین میزان اختلاف بین مقادیر جذب شده در هر روز نسبت به مقدار شاهد در شکل (۱۰) نشان داده شده است. روند تغییرات میزان نیترات محلول نیترات مغناطیسی و غیرمغناطیسی در روزهای مختلف پس از جذب توسط پومیس در شکل (۱۱) آورده شده است. با توجه به شکل (۱۰)، بر اساس آزمون چند متغیره دانکن، میزان نیترات محلول مغناطیسی و غیرمغناطیسی در روزهای مختلف با یکدیگر اختلاف معنی دار در سطح ۵ درصد داشت (عدم داشتن حروف مشترک). در تمام روزهای نمونه برداری، میزان نیترات محلول غیرمغناطیسی نسبت به مغناطیسی کمتر بود که این مسئله مربوط به جذب بیش تر در محلول غیرمغناطیسی نمی باشد بلکه دلیل آن همان طور که بیان شد، کمتر بودن میزان نیترات در محلول شاهد تیمار غیرمغناطیسی (۰/۸۵ گرم در لیتر) نسبت به محلول شاهد تیمار مغناطیسی (۰/۹۱ گرم در لیتر) بود. مسئله اخیر به وضوح از مقادیر اختلاف های درج شده در شکل ۱۰ قابل استنتاج می باشد. بیش ترین کاهش مقدار نیترات رخ داده در این دو تیمار در روز ۳۰ بود که به ترتیب در تیمار مغناطیسی این کاهش ۰/۵۹ گرم در لیتر و در تیمار غیرمغناطیسی ۰/۵۸ گرم در لیتر اندازه گیری شد. بعد از جذب نیترات و اشباع شدن ذرات پوکه معدنی از نظر مقدار این ماده، ساختمان آن ها از بین رفته که این مسئله موجب برگشت مجدد نیترات از ذرات پوکه معدنی به محلول و افزایش

مقدار آن در محلول گردید. مسئله اخیر به وضوح از شکل ۱۰ مشاهده می شود به گونه ای که در روز ۴۵ به اندازه ۰/۳۳ گرم در لیتر در تیمار مغناطیسی و ۰/۳۶ گرم در لیتر در تیمار غیر مغناطیسی افزایش نیترات مشاهده شد.



شکل ۱۰- مقایسه میانگین اثر متقابل عبور و عدم عبور محلول از میدان مغناطیسی و روز بر میزان جذب نیترات

به طور متوسط اختلاف بین مقادیر نیترات جذب شده توسط ذرات پومیس در محلول مغناطیسی نسبت به محلول غیر مغناطیسی در تمام روزهای اندازه گیری ۰/۰۳ گرم در لیتر (۱۲ درصد) حاصل شد که تأثیر مثبت و معنی دار عبور دادن محلول با غلظت معین نیترات از میدان مغناطیس را نشان می دهد. با توجه به شکل (۱۱)، روند جذب میزان نیترات در هر دو محلول مغناطیسی و غیر مغناطیسی در طول مدت آزمایش یکنواخت (افزایشی تا روز ۳۰ و کاهششی در روز ۴۵) بود.



شکل ۱۱- تغییرات میزان نیترات عبور یافته و عدم عبور یافته از میدان مغناطیسی در روزهای مختلف

#### ۴. نتیجه گیری

در عصر حاضر با توجه به رشد روز افزون جمعیت و همچنین نیاز هر چه بیشتر به آب، استفاده مجدد از آب‌های خاکستری مورد توجه قرار گرفته است. اغلب روش‌های رفع آلودگی به دلیل هزینه بالا، ناتوانی در حذف غلظت‌های پایین یون‌های فلزی و مشکلات دفع لجن‌های تجمع یافته بعد از فرایند تصفیه سازی در مقیاس وسیع مقرون به صرفه نیستند. با توجه به نتایج به دست آمده از مطالعات قبلی، فرایند جذب سطحی و پوکه معدنی را می‌توان منبع ارزان قیمت و کارآمد برای جذب نترات از محلول نیترا ته معرفی کرد. هدف این پژوهش بررسی تاثیر میدان مغناطیسی بر میزان جذب سطحی نترات از محلول نیترا ته در مقیاس آزمایشگاهی بود. نتایج این مطالعه نشان داد که به طور متوسط اختلاف بین مقادیر نترات جذب شده توسط ذرات پوکه معدنی در محلول مغناطیسی نسبت به محلول غیرمغناطیسی در تمام روزهای اندازه گیری ۰/۰۳ گرم در لیتر (۱۲ درصد) بیشتر بوده که بیانگر تأثیر مثبت و معنی دار عبور دادن محلول با غلظت معین نترات از میدان مغناطیس می‌باشد.

#### ۵. تضاد منافع نویسندگان

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

#### ۶. مراجع

1. Abdulatti, A., Zhao, B., Xie, F., Chi, Y., & Yue, X. (2024). Approach enhancing nitrate removal from actual municipal wastewater by integrating electric-magnetic field with Fe0 in UMSR reactor. *Separation and Purification Technology*.
2. Ahmadi, P. (2010). Effect of magnetic field on water and agricultural applications of magnetic water. *The first international conference on plant, soil, weather and climate modeling, International Center for Advanced Science and Technology and Environmental Sciences*. (In Persian).
3. Alimohammadi, V., Sedighi, M., & Jabbari, E. (2016). Response surface modeling and optimization of nitrate removal from aqueous solutions using magnetic multi-walled carbon nanotubes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Volume 4, Issue 4(4525-4535).
4. 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. 10.1016/j.jhazmat.2007.01.061.
5. 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). (In Persian).
6. 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). (In Persian).

7. 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)
8. 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). (In Persian). .
9. 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*, Volume: 24, Number: 3-4, 265-.
10. 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).
11. Feng, B., & Nawrocki, J. (2008). Nitrosodimethylamine (NDMA) formation during ozonation of dimethylamine containing waters. *International Journal of Chemical and Biological Sciences*, 42: 863-870. doi.org/10.1016/j.watres.2007.08.032.
12. Ganjizadeh, A., & Ashrafizadeh, N. (2017). Determining the optimal conditions for water desalination with the electrodialysis process. *Oil Research Journal*, 26(4). (In Persian)
13. 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)
14. Huilong, SH., Chunhu, L., Rui, Z., Liang, W., Wentai, W., & Junjie, B. (2023). Synergistic effect of oxygen vacancies and built-in electric field in GdCrO<sub>3</sub>/BiVO<sub>4</sub> composites for boosted photocatalytic reduction of nitrate in water. *Journal of Cleaner Production*. Doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137088.
15. 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)
16. Kalantaryan, M., & Arzumanyan, A. (2021). Water absorption capacity of irind mine pumice. *Journal of Architectural and Engineering Research* 1(1). 10.54338/27382656-2021.1-6.
17. 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. 10.3390/app8020194.
18. Kiani, A., Khoshravesh, M., Mostafazadeh, B., & Mousavi, F. (2008). Using magnetic irrigation method to improve water and soil and reduce water crisis. *The first international conference on water crisis*. (In Persian)
19. Li, J., Dong, SH., Wang, Y., Dou, X., & Hao, H. (2020). Nitrate removal from aqueous solutions by magnetic cationic hydrogel: Effect of electrostatic adsorption and mechanism. *Journal of Environmental Sciences*. Volume 91, (177-188). doi.org/10.1016/j.jes.2020.01.029.
20. Mahdavi mazdeh, A., Liaghat, A., & Sheikhmohammadi, Y. (2011). Nitrate removal from agricultural runoff using modified zeolite. *Iranian Water Research Journal*, 5(1). (In Persian)

21. 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)
22. Nikbakht, J., Najib, Z., & Hasanpour, M. (2012). The effect of converting traditional to pressurized irrigation systems on increasing underground water storage and level (case study: Ajabshir Plain, East Azerbaijan). *The first national conference on strategies to achieve sustainable development*. (In Persian)
23. 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.
24. Raeisi, A., Mehrfar, H., & Torabi azad, M. (2021). The effect of magnetic field on the physical properties of water and its application in industry, agriculture and water resources management. *Journal of Human and Environment*, No. 59, 61-71. (In Persian).
25. Ran, C., Hongwei, Y., Jinson, H. & Wangpen, Z. (2009). The effect of magnetic fields on water molecular hydrogen bonds. *Jurnal of Molecular Structure*, 938: 15-19.
26. Rashad, A. (2019). A short manual on natural pumice as a lightweight aggregate. *Journal of Building Engineering*, Volume: 25. 10.1016/j.job.2019.100802
27. 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). (In Persian).
28. 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)
29. 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)
30. 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). (In Persian).10.22092/ijsr.2018.117826.
31. 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*, Volume: 225.
32. Zare haggi, 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)
33. Zhao, L., Li, N., Yu, R., Zhao, Z., & Nan, J. (2018). Magnetic field enhanced denitrification in nitrate and ammonia contaminated water under 3D/2D Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> photocatalysis. *Chemical Engineering Journal*. Volume 349, (530-538). doi.org/10.1016/j.cej.2018.05.124.