

# بهینه‌سازی حذف نیترات از منابع آب آشامیدنی توسط پامیس اصلاح شده با کلرید منیزیم با به کارگیری روش طراحی باکس بنکن

کاووس دیندارلو<sup>۱</sup>

حمیده شیخ‌محمدی<sup>۲</sup>

حمزه‌علی جمالی<sup>۳\*</sup>

- دکترای تخصصی، مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات سلامت مواد غذایی، دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، بندرعباس، ایران.
- کارشناسی، مهندسی بهداشت محیط، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.
- دکترای تخصصی، گروه مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات عوامل اجتماعی مؤثر بر سلامت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.

## چکیده

**هدف:** نیترات به دلیل حلالیت بالا در آب، باعث آلودگی منابع آب زیرزمینی و تهدیدی جدی برای سلامتی انسان‌ها شده و موجب اوتروفیکاسیون در منابع آب می‌گردد. این مطالعه با هدف بهینه‌سازی استفاده از پامیس اصلاح شده در حذف نیترات از آب انجام شد.

**روش‌ها:** این مطالعه تجربی در سال ۱۳۹۸ در مقیاس آزمایشگاهی و با طراحی آزمایشات به روش باکس بنکن انجام شد. متغیرهای مورد مطالعه شامل (۲-۴) pH، غلظت اولیه نیترات (۱۰۰-۵۰ mg/L)، زمان تماس (۱-۴ min) و دوز پامیس (۰/۵-۱/۵ g/L) اصلاح شده در سه سطح بود. در مجموع تعداد ۲۹ آزمایش طراحی و اجرا شد. طراحی آزمایشات و آنالیز نتایج با استفاده از نرم‌افزار Design Expert انجام شد. کلیه آزمایش‌ها در آزمایشگاه دانشکده بهداشت قزوین طبق دستورالعمل آخرین ویرایش کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب انجام شدند.

**نتایج:** نتایج نشان داد که معادله چند جمله‌ای درجه دوم بر داده‌های آزمایشی برازش خوبی دارد. اثرات درجه اول هر چهار متغیر شامل pH، غلظت اولیه نیترات، زمان تماس و پامیس اصلاح شده و همچنین اثرات متقابل و اثرات درجه دوم هر یک از آن‌ها بر کارایی حذف نیترات از آب معنی‌دار بود ( $P\text{-Value} < 0.05$ ). نتایج بهینه‌سازی عددی نشان داد که شرایط بهینه شامل pH برابر ۲/۰۱، غلظت اولیه نیترات ۷۰/۴۵ میلی‌گرم در لیتر، زمان واکنش ۴۴/۹۸ دقیقه و دوز پامیس اصلاح شده ۱/۲۱ گرم در لیتر بود. در این شرایط راندمان حذف نیترات، میزان مطلوبیت مدل و  $R^2$  پیش‌بینی شده به ترتیب برابر با ۸۹/۶۶ درصد، ۱۰۰ درصد و ۰/۸۲ بود.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج می‌توان از پامیس اصلاح شده با منیزیم برای حذف نیترات از آب استفاده نمود. اما بایستی توجه نمود که پس از تصفیه بایستی با یک ماده قلیاء مناسب pH آب حاصل اصلاح شود.

**کلیدواژه‌ها:** تصفیه آب، آب‌های زیرزمینی، حذف نیترات، پامیس اصلاح شده.

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۱ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۲۹

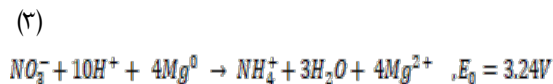
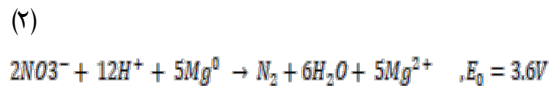
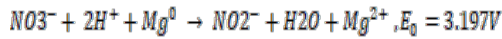
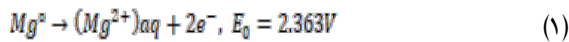
**ارجاع:** دیندارلو کاووس، شیخ محمدی حمیده، جمالی حمزه‌علی. بهینه‌سازی حذف نیترات از منابع آب آشامیدنی توسط پامیس اصلاح شده با کلرید منیزیم با بکارگیری روش طراحی باکس بنکن. طب پیشگیری. ۱۴۰۰؛ ۸(۴): ۵۶-۶۸.

## مقدمه

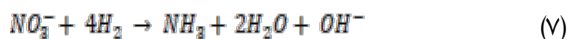
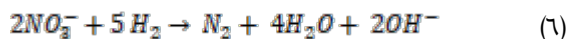
مصرف آب‌های حاوی غلظت بالای نیترات به دلیل نقش آن در ایجاد متهموگلوبینمیا در کودکان شیرخوار و خطر سرطان در بزرگسالان، برای سلامتی انسان خطرناک است (۱،۲).

مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی نیتروژن‌دار در زمین‌های کشاورزی، آبیاری مزارع با فاضلاب شهری و تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی از منابع عمده آلودگی منابع آب به نیترات است (۳،۴).

دو الکترون آزاد می‌گردد که یون نیترات را به نیتريت، گاز نیتروژن و یا آمونیاک احیاء می‌نماید (معادلات ۴-۱).



همچنین در محیط اسیدی ممکن است دو الکترون آزاد شده از اکسیداسیون منیزیم، توسط  $H^+$  جذب شده و به گاز هیدروژن احیا گردد که می‌تواند یون نیترات را به آمونیاک یا گاز نیتروژن احیاء نماید (معادلات ۷-۵).



از لحاظ استوکیومتری به ازای هر یک مول نیترات احیا شده به ۴-۲/۵ مول منیزیم نیاز است. اما از لحاظ عملی به مقادیر بیشتری نیاز است (۱۲).

پامیس (Pamice) یا پوکه معدنی از گازه‌های آتشفشانی تشکیل شده که پس از رسیدن به سطح زمین سرد شده و به صورت دانه‌های ریز و درشت در آمده که سطح آن حبابی و دارای سوراخ‌هایی است. این نوع سنگ آتشفشانی زمانی ساخته می‌شود که گاز گازه‌های شیشه‌ای که در حال سرد شدن هستند، به سرعت خارج شوند. محل استخراج آن در مناطق آتشفشانی است. از بارزترین ویژگی‌های آن، استحکام و درجه تخلخل بالا و وزن مخصوص پایین است. با توجه به این خصوصیات، از آن در صنعت ساختمان‌سازی، تولید ساینده‌ها، سیقل‌دهنده‌ها و پاک‌کن‌ها، مداد، بتن سبک، در کرم‌ها و لوسیون‌ها استفاده شود (۱۳، ۱۴).

سازمان جهانی بهداشت مقدار راهنمای نیترات در آب آشامیدنی را  $50 \text{ mg/L}$  بر حسب نیترات اعلام کرده است (۵).

غلظت بالای نیترات در منابع آب باعث افزایش رشد جلبک‌ها و در نتیجه، وقوع پدیده ائوتروفیکاسیون در آب‌های سطحی می‌شود. نیترات برای حیوانات نیز سمی است. به طوری که گاوها پس از خوردن آب یا علوفه‌های حاوی نیترات بالا دچار مسمومیت حاد می‌گردند. بنابراین حذف نیترات از منابع آب آشامیدنی اهمیت پیدا می‌کند. در بین روش‌های تصفیه فیزیکی و شیمیایی، جذب سطحی، تبادل یونی، اسمز معکوس و الکترودیالیز به طور گسترده‌ای برای حذف نیترات از منابع آب به کار رفته است (۹-۶).

در این فرآیندها، نیترات از فاز مایع (آب) به فاز دیگری مانند فاز جامد منتقل می‌گردد. بنابراین برای دفع بی‌خطر آن در محیط زیست بایستی تصفیه بیشتری روی لجن و زایدات تولیدی صورت پذیرد. به این دلیل، هزینه‌های احداث و نگهداری روش‌های تصفیه مورد اشاره بالا است (۹، ۱۰).

دی نیتروفیکاسیون شیمیایی با استفاده از عناصر فلزی صفر ظرفیتی مثل  $Al^0$ ،  $Fe^0$  و  $Mg^0$  به عنوان عوامل احیاءکننده قادر به تصفیه نیترات از آب و تبدیل آن یون به آمونیوم، آمونیاک و یا گاز ازت است. منیزیم به دلیل دارا بودن پتانسیل الکتروشیمیایی بالا نسبت به سایر کاتالیست‌های فلزی همانند آهن، روی و آلومینیم، همچنین بی‌خطر بودن محصول جانبی تولیدی برای محیط زیست و فراوانی آن در پوسته زمین، گزینه خوبی برای حذف نیترات از آب است (۱۰، ۱۱).

علی‌رغم واکنش‌پذیری کاتالیستی بالای منیزیم، سطح آن سریعاً اکسید گردیده و لایه‌ای از اکسید منیزیم سطح منیزیم فلزی را می‌پوشاند (۱۲). در صورت اضافه کردن منیزیم به محیط آبی، در شرایط قلبایی و خنثی روی سطح منیزیم لایه نازکی از اکسید منیزیم به وجود می‌آید. در حالی که در شرایط اسیدی این لایه پوششی اکسید منیزیم حل شده و مجدداً شرایط واکنش فراهم می‌گردد. سطح فعال منیزیم به  $Mg^{2+}$  اکسید شده و

متغیرهای مورد مطالعه شامل (۴-۲) pH غلظت اولیه نیترات (۱۰۰-۵۰ mg/L)، زمان تماس (۱۵-۴۰ min) و دوز پامیس (۱/۵-۰/۵ g/L) اصلاح شده هر کدام در سه سطح بود. بدین ترتیب در مجموع تعداد ۲۹ آزمایش طراحی شد.

مواد شیمیایی شامل نیترات پتاسیم با درجه خلوص بالا (۹۹/۹ درصد)، کلرید منیزیم، استون، هیدروکسید سدیم (درجه خلوص ۹۹/۵ درصد) اسید کلریدریک (۳۵ درصد) از شرکت مرک (Merck Millipore Co., Germany) تهیه شد و بدون هیچ گونه پیش تصفیه مورد استفاده قرار گرفت.

پامیس مورد نیاز از معادن شهرستان دماوند تهیه شد. جهت اصلاح پامیس به صورت زیر عمل گردید: ابتدا پامیس خرد گردید و مش‌بندی آن (انتخاب مش شماره ۴۰ به عنوان مش سائز مورد مطالعه) انجام شد. سپس پامیس با مش شماره ۴۰ به مدت ۴۸ ساعت در اسید کلریدریک غلیظ و در ارلنی با حجم ۱۰۰۰ میلی‌لیتر نگهداری گردید. پس از آن شستشوی پامیس به ترتیب در آب مقطر، استون و مجدداً آب مقطر انجام شد. در مرحله بعد پامیس در آون با درجه حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت نگهداری گردید. سپس مقدار ۱۰ گرم نمک کلرید منیزیم در ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد حل گردید. پس از آن محلول حاصل از مرحله قبل به پامیس احیاء شده اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت در آون ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پامیس اصلاح شده در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در روش باکس بنکن برای هر فاکتور سه سطح تعریف می‌گردد. بنابراین تعداد آزمایشات کاهش می‌یابد. این روش طراحی قادر است با تعداد آزمایشات کمتری نتایج ارزشمندی در مورد عملکرد فرآیند ارائه نماید (۱۵،۱۷).

در این مطالعه، اثرات متغیرهای pH مقدار واکنش‌گر، زمان واکنش و غلظت اولیه نیترات بر روی راندمان حذف نیترات با به کارگیری روش سطح پاسخ، همچنین مدل‌سازی حذف و تعیین شرایط بهینه فرآیند حذف نیترات منیزیم مورد بررسی قرار

جهت بررسی اثرات متغیرهای مستقل مؤثر در فرآیند، در روش "هر بار یک عامل" در یک زمان یک متغیر تغییر می‌کند در حالی که سایر متغیرها در مقادیر معینی ثابت نگه داشته می‌شوند که با توجه نیاز به انجام تعداد زیادی آزمایش، وقت‌گیر و پرهزینه بوده و میزان خطای بالایی دارد. همچنین در این روش امکان بررسی اثرات متقابل متغیرها و پاسخ‌ها وجود ندارد (۱۵،۱۶).

روش سطح پاسخ از تکنیک‌های آماری و ریاضی مشتق شده است که می‌توان از آن برای مطالعه اثر فاکتورهای گوناگون در سطوح مختلف و اثرات متقابل آن‌ها بر متغیر وابسته (پاسخ) استفاده نمود. طرح باکس - بنکن یکی از زیرمجموعه‌های روش سطح پاسخ که برای طراحی مطالعات تجربی به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. با طراحی و تحلیل صحیح آزمایشات، طراحی باکس بنکن به متغیرهای مستقل تأثیرگذار در فرآیند، پاسخ‌های مناسبی می‌دهد. در این روش امکان نشان دادن تغییرات پاسخ با تغییر دادن متغیرهای مستقل وجود دارد. بهینه‌سازی فرآیند شامل مطالعه پاسخ‌های به دست آمده از ترکیبی از متغیرهای مستقل مؤثر در فرآیند که مطابق تکنیک‌های آماری طراحی شده‌اند، تخمین ضرایب با برازش آن‌ها در یک مدل ریاضی که بهترین برازش را بر داده‌های به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی داشته باشد و پیش‌بینی نتایج مدل برازش یافته با کنترل صحت و دقت مدل است. روش باکس بنکن تعداد آزمایشات مورد نیاز برای یافتن رابطه متقابل متغیرها و اثرات آن‌ها روی فرآیند را بهینه می‌نماید (۱۷).

هدف از این تحقیق، بهینه‌سازی متغیرهای مؤثر در حذف نیترات از آب با استفاده از پامیس اصلاح شده با به کارگیری روش سطح پاسخ بود.

## مواد و روش‌ها

این مطالعه تجربی در سال ۱۳۹۸ در مقیاس آزمایشگاهی و با طراحی آزمایشات به روش باکس بنکن انجام شد. با دامنه

T80<sup>+</sup> (انگلستان) در طول موج ۲۲۰ nm تعیین شد. pH محیط واکنش توسط pH متر مدل Consort C863T کنترل شد. با انجام آنالیز واریانس و رگرسیون بر روی نتایج به دست آمده از آزمایشات، مدل حذف نیترات توسط پامیس اصلاح شده تهیه گردید. سپس نمودارهای دو بعدی اثرات متقابل فاکتورهای مؤثر در حذف نیترات توسط پامیس اصلاح شده رسم شد. پس از این مرحله با انتخاب مقادیر فاکتورها در حالت "In Range" و انتخاب متغیر پاسخ در حالت "Maximize" شرایط بهینه فاکتورهای مؤثر در حذف نیترات به دست آمد. برای راستی‌آزمایی نتایج مدل، تعداد سه آزمایش در نقطه بهینه در آزمایشگاه انجام و با نتایج حاصل از مدل مقایسه گردید.

### یافته‌ها

جدول ۱ سطح هر یک از متغیرهای مورد مطالعه به همراه سطوح واقعی و کدگذاری شده آن‌ها را نشان می‌دهد.

جدول ۱ - متغیرهای مستقل مورد مطالعه و سطوح آن‌ها

متغیرهای مستقل	واحد	نماد	کد سطوح
pH	-	A	۱ - ۰ - ۱
غلظت اولیه یون نیترات	میلی گرم در لیتر	B	۱۰۰ ۷۵ ۵۰
زمان تماس	دقیقه	C	۴۵ ۳۰ ۱۵
پامیس اصلاح شده	گرم در لیتر	D	۲/۵ ۱/۵ ۰/۵

ماتریس طراحی آزمایشات همراه با نتایج آزمایشگاهی و نتایج پیش‌بینی شده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲ - ماتریس طراحی آزمایشات و نتایج آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده توسط مدل

شماره تصادفی	شماره آزمایش	pH	غلظت اولیه نیترات (mg/L)	زمان واکنش (دقیقه)	غلظت اولیه پامیس اصلاح شده (gr/L)	غلظت اولیه یون نیترات (%)
۱۷	۱	۲	۷۵	۱۵	۱	۵۹/۵
۵	۲	۳	۷۵	۱۵	۰/۵	۲۸/۲۹
۲	۳	۴	۵۰	۳۰	۱	۴۰/۱۳
۲۰	۴	۴	۷۵	۴۵	۱	۵۰/۵

گرفت. برای تعیین دامنه محدودتری از هر یک از متغیرها، ابتدا یک سری آزمایشات مقدماتی انجام شد. معادله مدل درجه دوم برای پیش‌بینی شرایط بهینه را می‌توان به صورت معادله (۸) بیان نمود.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \dots + e \quad (8)$$

که متغیر Y پاسخ، i ثابت خطی، j ثابت درجه دوم،  $\beta$  ثابت رگرسیون، k تعداد فاکتورهای مورد مطالعه و بهینه شده در آزمایش‌ها و e خطای تصادفی هستند (۲۱).

طراحی آزمایش‌ها به روش باکس - بنکن، بر پایه طراحی فاکتوریال کامل بود که با استفاده از نرم‌افزار Design Expert 7 انجام شد. تعداد کل آزمایش‌ها (N) طبق معادله (۹) محاسبه گردید (۱۸)

$$N = 2k(k-1) + N_c \quad (9)$$

که در این معادله k تعداد فاکتورهای مورد مطالعه و  $N_c$  تعداد تکرارها در نقطه مرکزی است و برای ارزیابی خطای خالص انجام می‌شود (۱۹،۲۰).

سطح‌بندی فاکتورهای مورد مطالعه در این تحقیق مطابق معادله (۱۰) بود

$$X = \frac{X - ((X_{max} + X_{min}) / (2))}{(X_{max} - X_{min}) / (2)} \quad (10)$$

در مجموع با ۵ تکرار در نقطه مرکزی، تعداد ۲۹ آزمایش انجام شد. این مطالعه تجربی در یک راکتور ناپیوسته استوانه‌ای از جنس پلکسی گلاس با حجم مفید یک لیتر انجام شد. جهت اختلاط نمونه از هم‌زن مغناطیسی استفاده شد. غلظت نیترات نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفوتومتری مدل P.G. Instrument

۴۹/۳۳	۴۸	۱/۵	۳۰	۱۰۰	۳	۵	۲۴
۵۱/۴۶	۵۰	۱/۵	۴۵	۷۵	۳	۶	۸
۹۱/۵	۸۹	۱	۴۵	۷۵	۲	۷	۱۹
۳۶/۶	۴۱	۱	۳۰	۷۵	۳	۸	۲۵
۵۲/۶۳	۵۳	۱	۳۰	۵۰	۲	۹	۱
۴۶/۰۴	۴۲	-/۵	۳۰	۷۵	۲	۱۰	۹
۴۵/۱۳	۴۵	۱	۳۰	۱۰۰	۴	۱۱	۴
۵۷/۸۸	۶۰	۱	۱۵	۱۰۰	۳	۱۲	۱۴
۳۰/۳۳	۳۲	۱/۵	۳۰	۵۰	۳	۱۳	۲۳
۵۲/۷۹	۶۰	-/۵	۴۵	۷۵	۳	۱۴	۶
۳۱/۲۱	۳۶	۱/۵	۳۰	۷۵	۴	۱۵	۱۲
۲۴/۶۷	۲۵	-/۵	۳۰	۵۰	۳	۱۶	۲۱
۷۹/۶۳	۸۲	۱	۳۰	۱۰۰	۲	۱۷	۳
۳۸/۸۸	۴۰	۱	۱۵	۵۰	۳	۱۸	۱۳
۴۶/۹۶	۴۰	۱/۵	۱۵	۷۵	۳	۱۹	۷
۵۶/۳۸	۵۵	۱	۴۵	۵۰	۳	۲۰	۱۵
۳۷/۶۷	۳۵	-/۵	۳۰	۱۰۰	۳	۲۱	۲۲
۳۲/۵۴	۳۰	-/۵	۳۰	۷۵	۴	۲۲	۱۰
۵۳/۵	۵۵	۱	۱۵	۷۵	۴	۲۳	۱۸
۳۶/۶	۳۵	۱	۳۰	۷۵	۳	۲۴	۲۶
۳۶/۶	۳۱	۱	۳۰	۷۵	۳	۲۵	۲۹
۶۹/۳۸	۶۹	۱	۴۵	۱۰۰	۳	۲۶	۱۶
۶۴/۷۱	۶۸	۱/۵	۳۰	۷۵	۲	۲۷	۱۱
۳۶/۶	۳۶	۱	۳۰	۷۵	۳	۲۸	۲۷
۳۶/۶	۴۰	۱	۳۰	۷۵	۳	۲۹	۲۸

نتایج آزمون تحلیل واریانس داده‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به سطح اطمینان ۹۵ درصد، به غیر از اثرات متقابل BC و BD سایر واژه‌ها معنی‌دار هستند.

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس داده‌های تحقیق

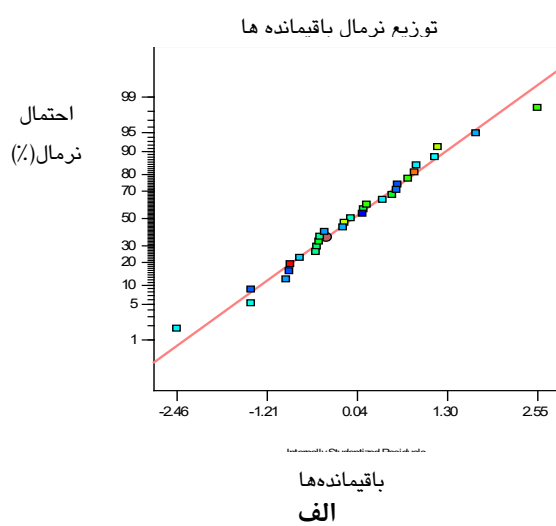
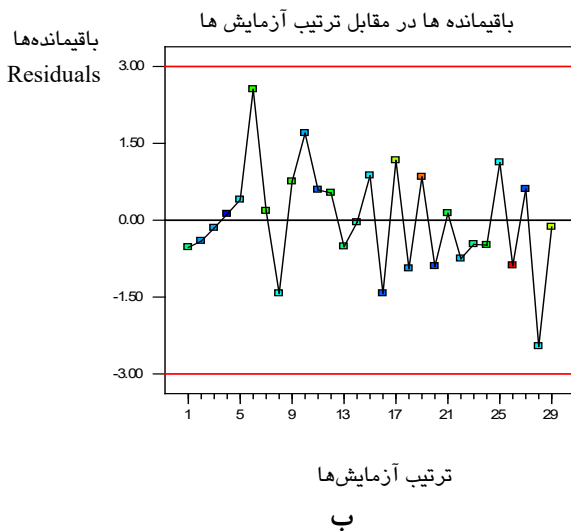
P-Value	F-Value	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییرات
<math>P < 0.0001</math>	۲۴/۹۶	۴۷۸/۰۵	۱۴	۶۶۹۲/۷۱	مدل
<math>P < 0.0001</math>	۸۶/۵۱	۱۶۵۶/۷۵	۱	۱۶۵۶/۷۵	pH (A)
<math>P < 0.0001</math>	۴۰/۱۰	۷۶۸	۱	۷۶۸	غلظت اولیه نیترات (B)
<math>P < 0.0001</math>	۳۲/۹۴	۶۳۰/۷۵	۱	۶۳۰/۷۵	زمان (C)
<math>P < 0.0041</math>	۱۱/۷۷	۲۲۵/۳۳	۱	۲۲۵/۳۳	مقدار پامیس اصلاح شده (D)
<math>P < 0.0248</math>	۶/۳۲	۱۲۱	۱	۱۲۱	اثرات متقابل A.B
<math>P < 0.0013</math>	۱۵/۹۹	۳۰۶/۲۵	۱	۳۰۶/۲۵	اثرات متقابل A.C
<math>P < 0.0384</math>	۵/۲۲	۱۰۰	۱	۱۰۰	اثرات متقابل A.D
<math>P < 0.0042</math>	-/۴۷	۹	۱	۹	اثرات متقابل B.C
<math>P < 0.0042</math>	-/۴۷	۹	۱	۹	اثر متقابل B.D
<math>P < 0.0384</math>	۵/۲۲	۱۰۰	۱	۱۰۰	اثر متقابل C.D
<math>P < 0.0001</math>	۵۶/۸	۱۰۸۷/۸	۱	۱۰۸۷/۸	اثر درجه دوم $A^2$
<math>P < 0.0140</math>	۷/۸۹	۱۵۱/۰۱	۱	۱۵۱/۰۱	اثر درجه دوم $B^2$
<math>P < 0.0001</math>	۶۸/۳	۱۳۰۷/۹۴	۱	۱۳۰۷/۹۴	اثر درجه دوم $C^2$

۰/۰۰۳۹	۱۱/۸۹	۲۲۷/۷۱	۱	۲۲۷/۷۱	اثر درجه دوم $D^2$
		۱۹/۱۵	۱۴	۳۶/۱۲	باقیمانده
۰/۴۴۹۸	۱/۲۴	۲۰/۲۹	۱۰	۲۰۲/۹۲	نقص برازش
		۱۶/۳۰	۴	۶۵/۲۰	خطای خالص
			۲۸	۶۹۶/۸۳	کل
سایر پارامترهای آماری					
SD=۱/۳۸	Mean=۴۷/۳۸	C.V=۹/۲۴	$R^2=۰/۹۶$	Adj.R $^2=۰/۹۱$	Pred.R $^2=۰/۸۲$
					A.P=۲۱/۳۳

$$Y = 36.60 - 11.75A + 8B + 7.25C + 4.33D - 5.5 A.B - 8.75A.C - 5AD - 5C.D + 12.96A^2 + 4.83 B^2 + 14.20 C^2 - 5.92D^2 \quad (11)$$

شکل (۱-الف) پراکنش باقیمانده‌ها نسبت به مقادیر برازش داده شده برای میزان حذف نیترات و شکل (۱-ب) توزیع باقیمانده‌ها در مقابل ترتیب آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

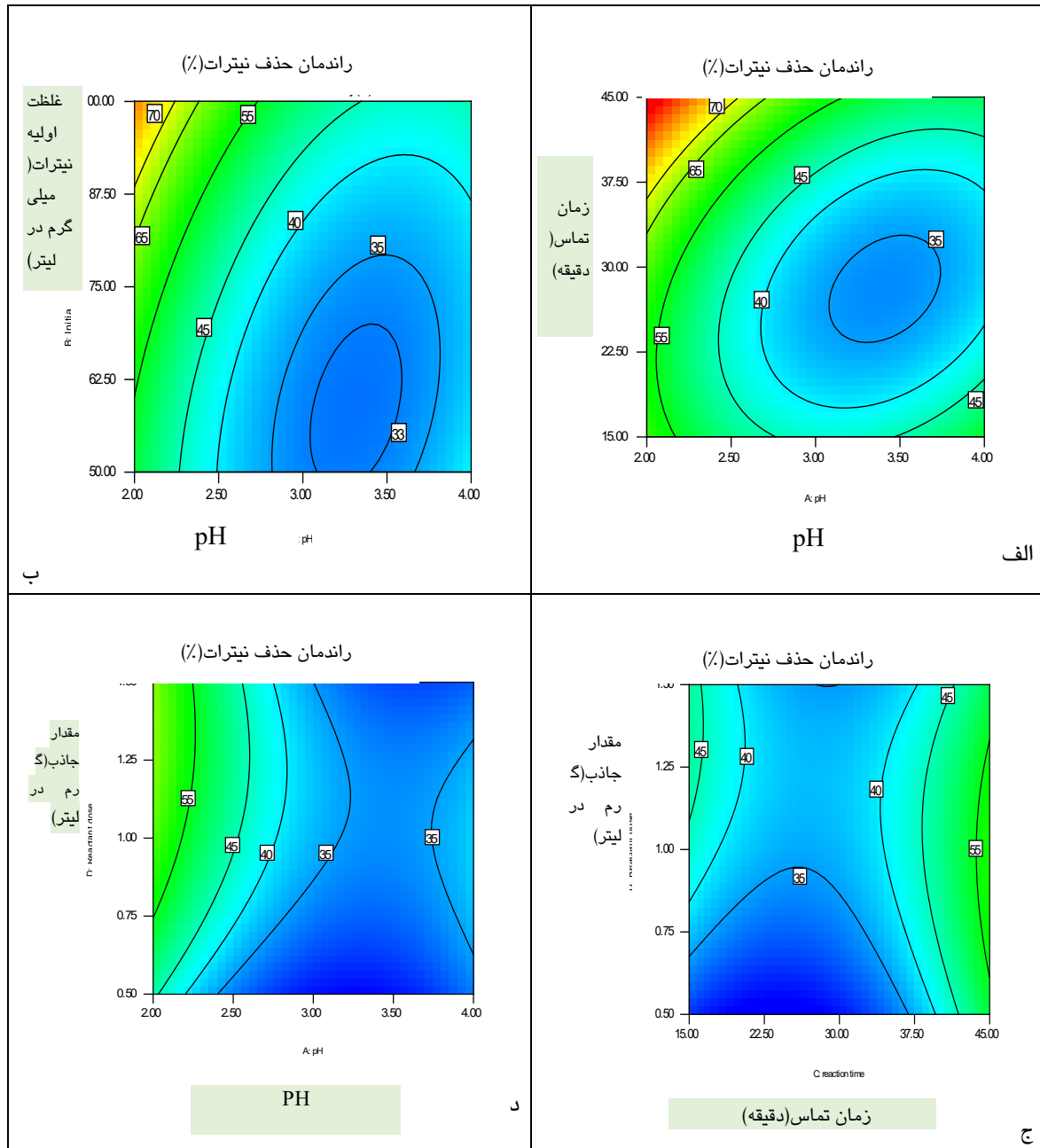
مدل درجه دوم آماری توسعه یافته اصلاحی جهت حذف نیترات توسط پامیس اصلاح شده به صورت معادله (۱۱) است که در آن راندمان حذف نیترات (Y) به عنوان تابعی از pH محیط (A)، غلظت اولیه نیترات (B)، زمان واکنش (C)، مقدار پامیس اصلاح شده (D)، اثرات متقابل معنی‌دار متغیرهای مستقل و اثرات درجه دوم هر یک از متغیرهای مستقل است:



شکل ۱- (الف) پراکنش باقیمانده‌ها نسبت به مقادیر برازش داده شده، (ب) پراکنش باقیمانده‌ها نسبت به ترتیب انجام آزمایش‌ها

متغیرهای مستقل در حد میانی، اثرات متقابل متغیرهای مورد مطالعه به صورت نمودارهای هم تراز رسم گردید. شکل (۲) اثرات متغیرهای مستقل بر یکدیگر و بر راندمان حذف نیترات را نشان می‌دهد.

همان گونه که در نمودار (۱-الف) مشاهده می‌گردد، نقاط تقریباً روی یک خط نسبتاً مستقیم قرار دارند که حاکی از وجود توزیع نرمال در بین باقیمانده‌ها است. همچنین با توجه به شکل (۱-ب) می‌توان استنباط کرد که خطای ناشی از ترتیب انجام آزمایشات در نتایج به حداقل رسیده است. با نگرانی سایر



شکل ۲- نمودارهای هم تراز اثرات متقابل متغیرهای مؤثر در فرآیند

پیش‌بینی شده توسط مدل برای حذف نیترات توافق نزدیکی با هم دارند که تأییدکننده صحت نتایج مدل است.

مقادیر بهینه متغیرهای مستقل و میزان مطلوبیت مدل درجه دوم اصلاحی و نتایج راستی‌آزمایی آن در جدول (۴) ارائه شده است. مطابق این نتایج، درصدهای حذف واقعی آزمایش‌ها و

جدول ۴- راستی‌آزمایی مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل در شرایط بهینه

شرایط بهینه	راندمان حذف نیترات (%)		خطا	S.D.	میزان مطلوبیت
	واقعی	پیش‌بینی شده			
$2/09 \text{ pH} =$ غلظت اولیه نیترات = $78/17 \text{ mg/L}$ زمان واکنش = $10/02 \text{ min}$ مقدار پامیس اصلاح شده = $1/26 \text{ g/L}$	۹۵/۲	۹۳/۶۶	۱/۵۴	$\pm 1/034$	۱۰۰ درصد

## بحث و نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بهینه‌سازی حذف نیترات توسط پامیس اصلاح شده با به کارگیری روش سطح پاسخ و توسعه مدلی برای پیش‌بینی نتایج حذف بود. نتایج تحلیل واریانس نشان داد که مدل درجه دوم آماری به دست آمده برای حذف نیترات از آب توسط پامیس اصلاح شده با قدرت بالایی توانایی پیش‌بینی نتایج را دارد. همچنین اثرات تمام متغیرهای خطی و درجه دوم و اثرات متقابل AB، AC، AD و CD در مدل حذف نیترات توسط پامیس اصلاح شده معنی‌دار هستند. دقت کافی (AP) که در جدول (۳) نشان داده شده است، شاخص سنجش "نسبت سیگنال به نویز" است. نسبت‌های بالاتر از ۴ نشان‌دهنده کفایت سیگنال برای مدل‌ها جهت تعیین فضای طراحی است (۲۱-۱۹).

در این مطالعه مقدار AP برای حذف نیترات به حدی بالا است که مؤید وجود سیگنال کافی و توان بالای مدل به دست آمده در پیش‌بینی نتایج است. آزمون ضعف برازش، تغییرات داده‌ها را حول مدل برازش داده شده توصیف می‌نماید. اگر مدل به خوبی برازش شده باشد، این آزمون معنی‌دار نیست (۲۲).

مقادیر آزمون ضعف برازش مربوط به مدل مرتبه دوم برازش یافته برای حذف نیترات معنی‌دار نبود که تأییدکننده برازش خوب داده‌ها بر مدل به دست آمده است. ضریب تبیین ( $R^2$ ) نسبت کل تغییرات پاسخ پیش‌بینی شده توسط مدل را نشان می‌دهد (۲۲،۲۳). بزرگ بودن  $R^2$  و نزدیک بودن آن به ۱ مطلوب بوده و یک توافق مطلوب با  $R^2$  تعدیل یافته ( $\text{Adj. } R^2$ ) ضروری

است. در این مطالعه، ضریب  $R^2$  و ضریب  $\text{Adj. } R^2$  نزدیک به ۱ هستند (۲۳،۱۹).

برای یک برازش خوب مدل، بایستی ضریب تبیین حداقل ۰/۸ باشد (۲۴). بنابراین مقادیر بالای  $R^2$  و توافق خوب آن با  $\text{Adj. } R^2$  در این مطالعه، نشان‌دهنده کفایت مدل در پیش‌بینی نتایج است (۲۲،۲۵). همچنین کفایت مدل را می‌توان با استفاده از نمودارهای تشخیصی همانند نمودار توزیع احتمال نرمال باقیمانده‌ها، نمودار مقادیر پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر واقعی نیز مورد ارزیابی قرار داد (۲۵،۲۴،۱۸).

در نمودار توزیع احتمال نرمال باقیمانده‌ها، نقاط در راستای یک خط نسبتاً مستقیم قرار می‌گیرند. مطابق شکل (۱- الف)، داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار هستند. بعضی از نقاط پراکنده‌اند که حتی در توزیع نرمال نیز این پراکندگی داده‌ها انتظار می‌رود (۲۲). بنابراین، نتایج به دست آمده تأییدکننده کفایت مدل پیشنهادی در پیش‌بینی حذف نیترات توسط پامیس اصلاح شده با کلرید منیزیم از آب است.

مطابق شکل (۲- الف)، زمان واکنش و pH دو فاکتور مهم در حذف نیترات از محلول آبی توسط فرآیند حذف توسط پامیس اصلاح شده هستند. در یک pH معین، با افزایش زمان واکنش، حذف نیترات روند افزایشی دارد به طوری که در pH برابر ۲ و زمان واکنش ۳۵ دقیقه راندمان حذف به ۷۰ درصد می‌رسد. بهترین راندمان حذف نیترات در زمان تماس‌های بالا و pH اسیدی به دست آمد. با افزایش pH روند حذف نیترات



کاهش می‌شد، به طوری که در pH حدود ۳-۳/۵ و زمان تماس ۲۰-۳۰ دقیقه راندمان حذف به ۳۵ درصد رسید.

Kumar و Chakraborty نیز گزارش نمودند که pH نقش مهمی در حذف نیترات توسط کلرور منیزیم در آب دارد به طوری که در pH بین ۲-۳ و زمان واکنش ۶۵ دقیقه راندمان حذف بسیار بالایی به دست آمد. این مشاهدات را می‌توان به مصرف یون‌های پروتون ( $H^+$ ) در طی واکنش حذف نیترات از طریق احیاء توصیف نمود (۱۱،۲۶).

معادلات ۳-۴ واکنش‌های احیاء نیترات توسط منیزیم را نشان می‌دهد. طبق معادلات ۳-۴، در شرایط اسیدی یون نیترات توسط منیزیم احیاء می‌گردد. در طی این واکنش‌ها گاز  $N_2$  و یون آمونیم ( $NH_4^+$ ) تولید می‌شود. بنابراین با کاهش پروتون‌ها در محلول، pH محیط افزایش می‌یابد. در این مطالعه برای ثابت نگه داشتن pH محیط واکنش از اسید کلریدریک استفاده شد.

مطابق شکل (۲-ب) هر دو فاکتور pH و غلظت اولیه نیترات در حذف نیترات مؤثرند، اما طبق نمودار، اثر pH قوی‌تر از غلظت اولیه نیترات است. طبق نتایج تحلیل واریانس نیز مقدار F-Value غلظت اولیه نیترات تقریباً نصف این مقدار در مورد pH است که نشان‌دهنده تأثیر بیشتر pH بر واکنش است. همچنین در یک pH ثابت، با افزایش غلظت اولیه نیترات، راندمان حذف افزایش می‌یابد که احتمالاً به خاطر تماس بهتر یون‌های نیترات با پامیس اصلاح شده با منیزیم و انجام سریع‌تر واکنش‌های احیاء نیترات است. معمولاً در شرایط خنثی و قلیایی یک لایه از اکسید منیزیم در سطح لایه منیزیم واقع در سطح پامیس اصلاح شده شکل گرفته که امکان واکنش منیزیم را محدود می‌کند (۱۱،۲۶). در شرایط اسیدی این لایه از سطح پامیس اصلاح شده حاوی منیزیم، جدا شده و امکان شکل‌گیری  $Mg^{2+}$  و واکنش‌های بعدی که منجر به احیاء نیترات به آمونیاک یا گاز نیتروژن است، فراهم می‌گردد (۹). لذا حذف نیترات در pH پایین‌تر افزایش می‌یابد، اما در pH بالاتر به دلیل وجود رسوب اکسید منیزیم در سطح پامیس اصلاح شده، امکان انجام واکنش احیاء نیترات کاهش می‌یابد.

بنابراین، در اثر ادامه واکنش‌ها طبق معادلات ۱-۵، pH محلول با سرعت معنی‌داری افزایش می‌یابد (۱۱). در چنین شرایط قلیایی، ممکن است یون‌های  $OH^-$  با یون‌های  $Mg^{2+}$  واکنش داده و رسوب  $Mg(OH)_2$  تولید شود و در سطح پامیس اصلاح شده رسوب نماید. این لایه رسوبی از اکسیداسیون باقیمانده منیزیم جلوگیری می‌نماید و در نتیجه از احیاء نیترات جلوگیری می‌گردد (۱۱،۲۶). بنابراین، در صورت عدم کنترل و تثبیت pH محیط، پس از چند دقیقه از شروع واکنش، فرآیند احیاء نیترات متوقف می‌شود. بدیهی است، با اضافه کردن یون‌های  $H^+$  جهت ثابت نگه داشتن pH لایه رسوبات  $Mg(OH)_2$  واقع در سطح پامیس در محلول حل شده و منیزیم برای استمرار فرآیند حذف نیترات در دسترس قرار می‌گیرد.

مطابق شکل (۲-ج) با افزایش زمان واکنش راندمان حذف ابتدا روند کاهشی و در زمان ماندن‌های بالاتر روند افزایشی داشت. همچنین در زمان تماس‌های کوتاه با افزایش مقدار واکنش‌گر منیزیم، راندمان حذف نیترات روند افزایشی داشت اما در زمان‌های تماس بیشتر افزایش مقدار واکنش‌گر تأثیر زیادی در حذف نیترات نداشته که شاید به این دلیل باشد که در این شرایط pH محیط در حد میانه (۳) قرار داشته و احتمال ایجاد لایه اکسید منیزیم در سطح پامیس وجود دارد. طبق شکل (۲-د) در شرایط اسیدی، با افزایش مقدار واکنش‌گر راندمان حذف نیترات افزایش می‌یابد، اما با افزایش pH راندمان حذف کاهش می‌یابد که ممکن است ناشی از واکنش یون‌های  $OH^-$  با یون‌های  $Mg^{2+}$  و تشکیل رسوب  $Mg(OH)_2$  در سطح پامیس اصلاح شده باشد (۲۶).

برای رسیدن به حداکثر درصد حذف، متغیرهای مستقل بهره‌برداری بهینه‌سازی شدند. برای انجام این کار، بهینه‌سازی عددی انجام شد. مطابق نتایج راستی‌آزمایی مدل، درصد‌های واقعی حذف با درصد‌های حذف پیش‌بینی شده توسط مدل توافق نزدیکی با هم دارند که تأییدکننده صحت نتایج مدل است.

اولیه نیترات، زمان ماند و دوز پامیس اصلاح شده در پیشرفت واکنش نقش داشتند. با توجه به نقش حیاتی pH در فرآیند احیاء نیترات و نامناسب بودن آب تصفیه شده برای کاربری‌های مختلف، بایستی pH آن اصلاح گردیده تا برای کاربری‌های آتی مناسب گردد. این فرآیند به دلیل زمان واکنش نسبتاً کوتاه و در نتیجه عدم نیاز به تأسیسات تصفیه حجیم و پرهزینه می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب برای حذف نیترات از منابع آب آلوده مورد استفاده طراحان قرار گیرد.

از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به هزینه‌بر بودن آماده‌سازی و اصلاح پامیس و مقیاس آزمایشگاهی بودن آن اشاره کرد که برای اطمینان از امکان اجرای آن در مقیاس واقعی، نیاز به یک مطالعه پایلوتی دارد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از خانم کریمی، کارشناس آزمایشگاه شیمی محیط دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین به دلیل همکاری‌های بی‌دریغ ایشان تشکر می‌نمایند.

### تأییدیه اخلاقی

این مقاله نتیجه یک طرح تحقیقاتی است که با کد اخلاقی طرح شماره ۲۸/۴۴/۱۵۴۱۵ در تاریخ ۱۳۹۸/۵/۷ در دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی قزوین به ثبت رسیده است.

### تعارض منافع

نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی ندارند.

### سهم نویسندگان

کاوس دیندارلو (نویسنده اول) مشاوره در زمینه طراحی تحقیق ۱۵ درصد؛ حمیده شیخ‌محمدی (نویسنده دوم) انجام آزمایشات و نوشتن پروپوزال و گزارش اولیه ۳۵ درصد؛ حمزه‌علی جمالی (نویسنده سوم و مسئول) طراحی تحقیق،

Kumar و Chakraborty گزارش نمودند که مقدار ۰/۷ گرم در لیتر از  $Mg^0$  دارای راندمان حذف ۸۳ درصد نیترات در مدت زمان واکنش ۲۰ دقیقه بود. همچنین با افزایش pH راندمان حذف نیترات کاهش می‌یافت که با نتایج این تحقیق همخوانی دارد. در ضمن آن‌ها گزارش نمودند که راندمان حذف نیترات در مقدار ۲ گرم در لیتر از  $Mg^0$  در pH کنترل شده ۵ و ۷ به ترتیب ۷۲ درصد و ۵۱ درصد بود. در این مطالعه نیز میزان بهینه مصرف ۱/۲۶ گرم در لیتر بود که در مقایسه با مطالعات سایر محققین مقدار کمتری است (۱۱،۲۶).

در مطالعه ما در شرایط بهینه نسبت جرمی  $Mg/NO_3-N$  برابر با ۱۶ به دست آمد. در حالی که در مطالعه Kumar و Chakraborty این نسبت بین ۱/۷۵-۲۲/۳ بود (۲۶).

نتایج تحقیق Choe و همکاران که در غلظت‌های مختلف نیترات از ۳۰ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر با نسبت مولی ثابت  $Mg^0/NO_3-N$  برابر با ۵ انجام شد، نشان داد که در غلظت اولیه ۳۰ میلی‌گرم در لیتر، ۵۲ درصد از نیترات توسط فرآیند دینتریفیکاسیون حذف شد (۲۷). با افزایش مقدار پامیس اصلاح شده، میزان حذف نیترات و نیتريت افزایش می‌یافت که به خاطر افزایش غلظت "دهنده الکترون" در محیط واکنش است. در دوزهای پایین‌تر پامیس اصلاح شده غلظت نیتريت بالاتر است که در نتیجه احیاء ناقص نیترات به حالت اکسیداسیون +۳ است. نتایج مطالعات نشان داده است که با افزایش دوز منیزیم غلظت آمونیاک در پساب افزایش می‌یابد. افزایش غلظت "دهنده الکترون"، برای احیاء نیترات به پایین‌ترین ظرفیت اکسیداسیون مطلوب‌تر است (۹،۱۰).

در مطالعه Bose و Biswas نیز نتایج مشابهی به دست آمد، به طوری که با افزایش غلظت آهن فلزی به صورت  $Fe^0$  در سیستم زیستی دینتریفیکاسیون اتوتروفیک تقویت شده با آهن، تولید آمونیاک افزایش یافت (۲۸). در این تحقیق از یک احیاءکننده شیمیایی برای حذف نیترات استفاده شد و نتایج نشان داد که pH در پیشرفت فرآیند نقش کلیدی دارد. پس از آن به ترتیب غلظت

اصلاح پروپوزال و گزارش نهایی و بازنگری مقاله و اصلاحات و ویراستاری مقاله ۵۰ درصد.

پژوهش حاضر از حمایت‌های مادی معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی قزوین بهره‌مند شده است.

## حمایت مالی

## References

- Golaki M, Azhdarpoor A, Mohamadpour A, Derakhshan Z, Oliveri Conti G. Health risk assessment and spatial distribution of nitrate, nitrite, fluoride, and coliform contaminants in drinking water resources of Kazerun, Iran. *Environ Res.* 2022; 203:111850. DOI: 10.1016/j.envres.2021.111850
- Stayner LT, Schullehner J, DigeSemark B, SøndergaardJensen A, Trabjerg BB, Pedersen M. et al, Exposure to nitrate from drinking water and the risk of childhood cancer in Denmark. *Environ Int.* 2021; 155:106613. DOI: 10.1016/j.envint.2021.106613
- Li R, Feng C, Hu W, Xi B, Chen N, Zhao B, et al. Woodchip-sulfur based heterotrophic and autotrophic denitrification (WSHAD) process for nitrate contaminated water remediation. *Water Res.* 2016; 89:171-9. DOI: 10.1016/j.watres.2015.11.044
- Zhao Y, Zhang B, Feng C, Huang F, Zhang P, Zhang Z, et al. Behavior of autotrophic denitrification and heterotrophic denitrification in an intensified biofilm-electrode reactor for nitrate-contaminated drinking water treatment. *Bioresour Technol.* 2012; 107:159-65 DOI: 10.1016/j.biortech.2011.12.118
- World Health Organization. Nitrate and nitrite in drinking-water. Background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality. Geneva: World Health Organization; 2016.
- Hrbacova P, Heviankova S, Chromikova J, Thomas J. Electrodialysis process to reduce the concentration of nitrates in waters. *Inz Miner.* 2017; 18(1):125-30.
- Bergquist AM, Bertoch M, Gildert G, Strathmann TJ, Werth CJ. Catalytic denitrification in a trickle bed reactor: Ion exchange waste brine treatment. *J Am Water Works Assoc.* 2017; 109(5):E129-51. DOI: 10.5942/jawwa.2017.109.0055
- Kim H, Kaown D, Mayer B, Lee JY, Hyun Y, Lee KK. Identifying the sources of nitrate contamination of groundwater in an agricultural area (Haean basin, Korea) using isotope and microbial community analyses. *Sci Total Environ.* 2015; 533:566-75. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2015.06.080
- Naseri S, Heibati B, Asadi A, Gholestani Far H, Dargahi A. Performance evaluation of modified pumice on Removal Nitrate From Aqueous Solution: Kinetic studies and adsorption isotherm. *Toloo e Behdasht.* 2013; 12(1):143-54. [Peasian]
- Araujo R, Castro ACM, Baptista JS, Fiuza A. Nanosized iron based permeable reactive barriers for nitrate removal-Systematic review. *Phys Chem Earth.* 2016; 94:29-34. DOI: 10.1016/j.pce.2015.11.007
- Chen H, Chen QQ, Shi ZJ, Xu JJ, He MM, Shi ML, et al. Insight into the influence of magnesium on the properties of heterotrophic denitrifying granules. *Ecol Eng.* 2016; 92:62-6. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.03.038
- Mirabi M, Ghaderi E, Sadabad HR. Nitrate reduction using hybrid system consisting of zero valent magnesium powder/activated carbon (Mg 0/AC) from water. *Process Saf Environ Prot.* 2017; 111:627-34. DOI: 10.1016/j.psep.2017.08.035
- Soleimani H, Mahvi AM, Yaghmaeian K, Abbasnia A, Sharafi K, Alimohammadi M, et al. Effect of modification by five different acids on pumice stone as natural and low-cost adsorbent for removal of humic acid from aqueous solutions- Application of response

- surface methodology. *J Mol Liq.* 2019; 290:111181. DOI: 10.1016/j.molliq.2019.111181
14. Pirsahab M, Mohammadi H, Sharafi K, Asadi A. Fluoride and nitrate adsorption from water by Fe (III)-doped scoria: optimizing using response surface modeling, kinetic and equilibrium study. *Water Sci Technol Water Supply.* 2018; 18(3):1117-32. DOI: 10.2166/ws.2017.185
  15. Jamali H, Dindarloo K, Nikpey A. Optimization of metal working fluids treatment using Ferric chloride by application of response surface methodology (RSM). *J Prevent Med.* 2015; 2(1):10-20. [Peasian]
  16. Kundu P, Mishra IM. Removal of emulsified oil from oily wastewater (oil-in-water emulsion) using packed bed of polymeric resin beads. *Sep Purif Technol.* 2013; 118:519-29. DOI: 10.1016/j.seppur.2013.07.041
  17. Maher A, Sadeghi M, Moheb A. Heavy metal elimination from drinking water using nanofiltration membrane technology and process optimization using response surface methodology. *Desalination.* 2014; 352:166-73. DOI: 10.1016/j.desal.2014.08.023
  18. Jamali H, Dindarloo K, Jabbari R. Optimization of fluoride in water using alum with response surface methodology. *Hormozgan Med J.* 2015; 19(5):355-64.
  19. Dindarloo K., Arezoumand A., Jamali H.A., Application of response surface methodology (RSM) to optimize coagulation - flocculation for treatment of metalforming fluids using calcium cheloride and ferric sulfate. *JSUMS.* 2017; 23(6):866-75. [Peasian] DOI: 10.21859/sums-2306866
  20. Jamali H, Moradnia M, Emamjomeh M, Panahifard M. Optimization of nitrate removal from aqueous solution by electrocoagulation using response surface methodology method. *J Shahrekord Univ Med Sci.* 2016; 18(4):135-46. [Peasian]
  21. Jamali H, Dindarloo K, PanahiFard M, Moradnia M. Response surface methodology to optimize wastewater treatment in carpet industries by potassium ferrate. *WWJ.* 2018; 29(2):38-47. [Peasian] DOI: 10.22093/wwj.2017.44343.2078
  22. Moradnia M, Panahifard M, Dindarlo K, Jamali HA. Optimizing potassium ferrate for textile wastewater treatment by RSM. *Environ Health Eng Manage.* 2016; 3(3):137-42. DOI: 10.15171/EHEM.2016.12
  23. Jamali HA, Moradnia M. Optimizing functions of coagulants in treatment of wastewater from metalworking fluids: Prediction by RSM method. *Environ Health Eng Manage.* 2018; 5(1):15-21. DOI: 10.15171/EHEM.2018.03
  24. Jamali H, Dindarloo K, Nikpey A. Optimization of metal working fluids treatment using calcium chloride by response surface methodology. *J Inflamm Dis.* 2015; 19(2):46-54. [Peasian]
  25. Teymoori M, Ghanbari R, Jamali HA. Applying the response surface method to optimize the removal of lead and cobalt from aquatic environment using electrocoagulation. *Fresenius Environ. Bull.* 2018; 27(10):6711-21.
  26. Kumar M, Chakraborty S. Chemical denitrification of water by zero-valent magnesium powder. *J Hazard Mater.* 2006; 135(1-3):112-21. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2005.11.031
  27. Choe S, Liljestrand HM, Khim J. Nitrate reduction by zero-valent iron under different pH regimes. *Appl Geochem.* 2004; 19(3):335-42. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2003.08.001
  28. Biswas S, Bose P. Zero-valent iron-assisted autotrophic denitrification. *J Environ Eng.* 2005; 131(8):1212-20. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2005)131:8(1212)

## Optimization of nitrate removal from drinking water by modified Pumice with magnesium chloride using Box Benken design method

Kavoos Dindarloo<sup>1</sup> Hamideh Sheikh Mohammadi<sup>2</sup> Hamzeh Ali Jamali<sup>3\*</sup>

1. PhD, Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health, Social Determinants on Health Promotion Research Center, Hormozgan University of Medical Sciences, Bandar Abbas, Iran.
2. BSc, Environmental Health Engineering, Student Research Committee, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.
3. PhD, Environmental Health Engineering, Department of Health Education and Health Promotion, Social Factors in Health Promotion Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.

### Abstract

**Introduction:** Nitrate, due to its high solubility in water, causes pollution of groundwater resources, poses a serious threat to human health and causes eutrophication of water resources. The aim of this study was to optimize the use of modified pumice in the removal of nitrate from water.

**Methods:** This experimental study was performed in 2020 on laboratory scale. The experiments were designed using the Box-Benken method. The studied variables included pH (2-4), initial nitrate concentration (50-100 mg/L), contact time (15-45 min) and pumice dose (0.5 - 1.5 gr/L) at three levels. Thus, a total of 29 experiments were designed and performed. Experimental design and statistical analysis were performed using Design Expert 7.0 software. All examinations were performed according to the instructions provided in the latest edition of the Standard Methods for the Examinations of Water and Wastewater.

**Results:** The results showed that the quadratic polynomial equation fitted well with the experimental data. Also, the liner effects of all four variables (including pH, initial nitrate concentration, contact time and modified pumice dose), as well as interactions effects and quadratic effects of each variable on the nitrate removal efficiency from water were significant (P-Value <0.05). The results of numerical optimization showed that the optimal conditions included pH of 2.01, initial nitrate concentration of 70.45 mg/L, reaction time of 44.98 min, and modified pumice dose of 1.21 gr/L. Under these conditions, nitrate removal efficiency, model desirability, and predicted R<sup>2</sup> were 89.66%, 100% and 0.82, respectively.

**Conclusion:** According to the results, magnesium-modified pumice can be applied to remove nitrate from water. However, it should be mentioned that the pH of the water, after purification, must be modified with a suitable alkaline substance.

**KeyWords:** Water Treatment, Groundwaters, Nitrate Removal, Modified Pumice.

Original Article

Received: 21Apr 2021

Accepted: 24 Jul 2021

**How to cite this article:** Dindarloo K, Sheikh Mohammadi H, Ali Jamali H. Optimization of nitrate removal from drinking water by modified Pumice with magnesium chloride using Box Benken design method. *Journal of Preventive Medicine*. 2021; 8(4):56-68.

**Correspondence:** Hamzeh Ali Jamali, Department of Environmental Health, Social Determinants on Health Promotion Research Center, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.

Tel: +982833336001

Email: jamalisadraei@yahoo.com

ORCID: 0000-0001-9928-0011