

## بررسی کارایی حذف نیترات با استفاده از پودر آهن صفر ظرفیتی در حضور پراکسید هیدروژن

تاریخ دریافت مقاله: ۹۲/۴/۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۲۱

### چکیده

محمد رضا سمیرقندی<sup>۱</sup>، سید مهران طباطبائی<sup>۲</sup>، محمد نوری سپهر<sup>۳</sup>، ابراهیم محمدی کلهری<sup>۴</sup> و منصور ضرابی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران  
<sup>۲</sup>دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران  
<sup>۳</sup>کارشناس بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران  
<sup>۴</sup>دانشیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران  
<sup>۴</sup>کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

\*نویسنده مسئول: کارشناس ارشد مهندسی بهداشت محیط، عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی البرز، کرج، ایران

۰۹۱۲-۶۹۵۲۳۰۲  
E-mail: mansor62@gmail.com

زمینه و هدف: نیترات حالت اکسید شده ترکیبات ازته می باشد که در منابع آب آلوده به فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی یافت می شود. این ترکیب در صورت ورود به منابع آب زیرزمینی می تواند اثرات سوء بهداشتی در مصرف کنندگان بوجود آورد.

روش بررسی: در این تحقیق امکان حذف نیترات با استفاده از پودر آهن صفر ظرفیتی در حضور پراکسید هیدروژن مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات بطور مجزا با در تماس قرار دادن ۲۵۰ میلی لیتر از نمونه آب حاوی ۱۰۰ mg/L نیترات در ۴ دامنه غلظت پودر آهن (۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۳۰ گرم در لیتر)، ۴ دامنه pH (۳، ۵، ۷، ۹)، ۴ دامنه غلظت پراکسید هیدروژن (۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی لیتر در لیتر) و در سیستم ناپیوسته با زمان تماس ۱۰-۱۲۰ دقیقه انجام پذیرفته است.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این تحقیق مشخص ساخت که در سیستم ناپیوسته با کاهش pH افزایش غلظت پودر آهن و افزایش زمان ماند کارایی حذف نیترات افزایش می‌یابد. همچنین مشخص گردید که با افزایش غلظت اولیه پراکسید هیدروژن تا ۱۵ ml/L کارایی حذف افزایش می‌یابد. بالاترین کارایی حذف نیترات در pH=۳، زمان تماس ۱۲۰ دقیقه، غلظت پودر آهن ۳۰ g/L و پراکسید هیدروژن ۱۵ ml/L بدست آمد. تحت این شرایط بیش از ۹۸ درصد نیترات حذف گردید.

نتیجه‌گیری: در مجموع با توجه به سهولت روش و هزینه های نسبتا پایین و کارایی مناسب این سیستم استفاده از این روش جهت رفع آلودگی نیترات از منابع آب زیرزمینی جهت مصارف آشامیدن و صنعتی پیشنهاد می گردد.

کلمات کلیدی: نیترات، آب شرب، آهن صفر ظرفیتی، pH

### مقدمه

نیز گزارش گردیده است.<sup>۶</sup> نیتروژن آمین ها نیز ترکیباتی هستند که در محیط‌های حاوی نیترات بالا تشکیل شده و به عنوان مواد سرطان زا شناخته شده اند. همچنین نیترات در حیوانات آزمایشگاهی هم می تواند باعث بروز عوارض قلبی و رفتاری گردد.<sup>۷، ۸</sup> ویژگی‌هایی از قبیل حلالیت بالا و امکان جذب و ترسیب اندک نیترات باعث شده است تا حذف آن از منابع آب آشامیدنی به دشواری صورت گیرد.<sup>۹</sup> با توجه به مخاطرات بهداشتی نیترات حداکثر مجاز آن در آب های آشامیدنی ۵۰ میلی گرم در لیتر بر حسب نیترات در نظر گرفته شده است.<sup>۱۰</sup> از فرآیندهای مختلفی از جمله تبادل یونی، اسمز معکوس، نیتریفیکاسیون / دنیتریفیکاسیون بیولوژیکی و احیای شیمیائی برای حذف نیترات از منابع آب آشامیدنی استفاده گردیده است.

آب‌های زیرزمینی که عمده ترین منبع تامین آب آشامیدنی در سراسر جهان محسوب می گردند، بطور وسیعی بوسیله ترکیبات ازته و از جمله نیترات آلوده می‌شوند.<sup>۱۱</sup> منابع مختلفی از جمله پساب‌های کشاورزی، پساب تصفیه خانه‌های فاضلاب، مصرف کودهای ازته، فاضلاب صنایع غذایی، مواد زائد صنعتی و دفع فاضلاب در چاه های جذبی باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات می‌گردند.<sup>۱۲</sup> مصرف آب‌های آلوده به نیترات می تواند باعث به خطر افتادن سلامتی انسان ها شود. عارضه متهموگلوبینمی یا سندرم کودکان آبی در اثر مصرف آب‌های آلوده به نیترات ایجاد می‌شود. علاوه بر آن احتمال سرطانزا بودن آب‌های آلوده به نیترات

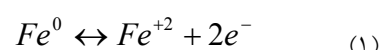
احیا گردیده و مورد استفاده قرار می‌گیرد.<sup>۱۵،۱۴</sup> برخی دیگر از محققین نیز از فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته در حضور آهن عنصری استفاده می‌کنند تا یون‌های  $Fe(OH)_3$  را دوباره به یون فرو تبدیل کنند. در این تحقیق هدف اصلی بررسی کارائی حذف نیترات با استفاده از آهن فلزی در حضور پراکسید هیدروژن از محیط‌های آبی و بررسی تأثیر تغییرات pH، غلظت اولیه پراکسید هیدروژن، غلظت اولیه پودر آهن و زمان تماس بر کارائی حذف آن به عنوان یک روش ارزان قیمت و موثر در حذف آلاینده‌های آب می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

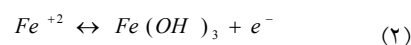
### آزمایش سیستم ناپیوسته

این مطالعه یک نوع مطالعه بنیادی-کاربردی می‌باشد که در سیستم ناپیوسته جهت بررسی پتانسیل پودر آهن صفر ظرفیتی در حضور پراکسید هیدروژن برای حذف نیترات انجام گردیده است. پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش شامل pH (۳-۹)، زمان تماس (۱۰-۱۲۰)، غلظت اولیه پراکسید هیدروژن (۵-۲۰ ml/L) و غلظت اولیه پودر آهن (۳۰-۲۰۰-۱۵-۱۰) می‌باشد. نمونه آب خام حاوی نیترات با غلظت ۱۰۰ mg/l، با اضافه نمودن ۰/۱۶۳ گرم از نیترات پتاسیم (ساخت کارخانه Merck) در یک لیتر آب مقطر تهیه گردید. از پودر آهن (Merck) با مش ۱۵۰ با درجه خلوص ۹۹/۹ درصد نیز به عنوان عامل احیا کننده جهت حذف نیترات استفاده شد. پودر آهن قبل از مصرف به منظور فعال کردن سطح آن و زدایش آلودگی‌های احتمالی توسط اسید کلریدریک ۱ N مورد پیش تصفیه قرار گرفت. جهت تنظیم pH از اسید سولفوریک و سود یک نرمال استفاده گردید. جهت انجام آزمایشات ۲۵۰ میلی لیتر از نمونه آب شبیه سازی شده در مراحل جداگانه در ارلن یک لیتری در تماس با غلظت‌های مختلف پودر آهن، پراکسید هیدروژن و pH های مختلف قرار گرفت. در پایان واکنش، نمونه مورد نظر برداشت گردیده و غلظت باقی مانده نیترات آن به روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۲۰۰-۲۳۰ نانومتر تعیین گردید.

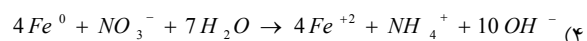
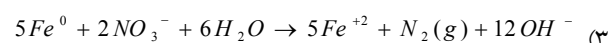
فرآیندهای اسمز معکوس و تبادل یونی بدلیل عدم حذف کامل نیترات و همچنین تولید فاضلاب حاوی غلظت بالایی از نیترات کاربرد وسیعی پیدا ننموده است. در فرآیندهای نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون نیز ایراد اصلی سیستم، زمان ماند طولانی فرآیند و نیاز به اضافه کردن مواد آلی می‌باشد.<sup>۱۱</sup> فرآیندهای احیای شیمیائی با استفاده از آهن عنصری جهت حذف نیترات در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است.<sup>۱۱،۱۲</sup> در سیستم‌های آبی آهن عنصری ( $Fe^0$ ) بدلیل داشتن پتانسیل احیای بالا به سرعت به  $Fe^{+2}$  اکسید می‌شود:<sup>۱۳</sup>



این واکنش که به واکنش خوردگی معروف است یک نیمه واکنش آندی است که طی آن الکترون آزاد می‌شود. در این سیستم پذیرنده الکترون اکسیژن محلول و یا  $H^+$  بوده که واکنش مربوط به آن در نیمه واکنش کاتدی قرار خواهد گرفت. به همین دلیل آهن عنصری می‌تواند در احیای ترکیباتی مانند کربنات، سولفات و نیترات بکار گرفته شود. در مرحله بعد برطبق واکنش زیر یون فرو ( $Fe^{+2}$ ) با دادن یک الکترون به یون فروس تبدیل خواهد شد:



نتایج حاصل از مطالعات مختلف مشخص ساخته که در حذف نیترات توسط آهن عنصری با توجه به شرایط آزمایش، محصولات نهائی احیای شیمیائی  $N_2$  و یا  $NH_3$  خواهد بود:



در محیط‌های آبی یون  $Fe(OH)_3$  نامحلول بوده و رسوب خواهد کرد. در این صورت عملاً واکنش حذف نیترات توسط آهن عنصری به پایان خواهد رسید. لازمه حذف نیترات توسط فرآیندهای اکسیداسیون-احیاء، حضور مداوم آهن صفر ظرفیتی در محیط و یا به عبارت دیگر تمیز نگه داشتن سطح آهن عنصری می‌باشد تا آهن عنصری مجدداً به فعالیت خود ادامه دهد. برای این کار معمولاً چندین روش به کار می‌رود. برخی از محققان، حذف نیترات با استفاده از آهن عنصری را در pH اسیدی انجام می‌دهند. در محیط‌های اسیدی رسوبات  $Fe(OH)_3$  از سطح آهن فلزی حذف می‌گردند به این ترتیب آهن عنصری دوباره

## بررسی سینتیک واکنش

جهت بررسی سینتیک واکنش حذف از معادلات سینتیکی درجه اول و درجه دوم استفاده گردید. معادله درجه اول بصورت زیر بیان می‌شود:

$$C_e = C_0 e^{-kt} \quad (6)$$

در این رابطه،  $C_e$  نشان دهنده میزان باقی مانده آلاینده (mg/L) در زمان تماس  $t$ ،  $C_0$  نشان دهنده میزان آلاینده در لحظه صفر و  $k$  نشان دهنده ثابت سرعت واکنش برحسب (زمان<sup>-۱</sup>) می‌باشد.

معادله درجه دوم بصورت زیر می‌باشد:

$$1/C_e - 1/C_0 = kt \quad (7)$$

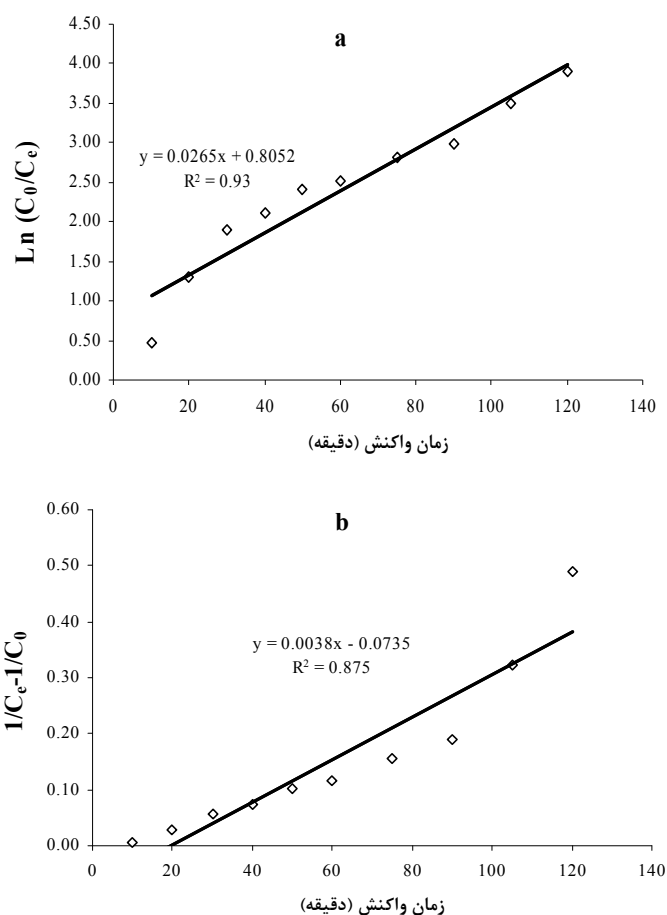
پارامترهای معادله درجه دوم نیز همانند پارامترهای معادله اول

تعریف می‌گردد.

## یافته‌ها

## تعیین سینتیک واکنش

از آنجایی که استفاده از نتایج آزمایشگاهی در مقیاس عملی، نیازمند تعیین سینتیک واکنش می‌باشد در این مطالعه در مرحله اول سینتیک واکنش تعیین گردید. نتایج حاصل از برازش معادلات سینتیک بروی داده‌های حاصل از واکنش حذف نیترات با پودر آهن در حضور پراکسید هیدروژن در شکل ۱a (معادله سینتیکی درجه اول) و ۱b (معادله سینتیکی درجه دوم) نشان داده شده است. همانطوری که در این شکل نشان داده شده است، ضریب همبستگی ( $r^2$ ) معادله سینتیکی درجه اول درجه اطمینان بالاتری را نسبت به معادله سینتیکی درجه دوم از خود نشان می‌دهد.



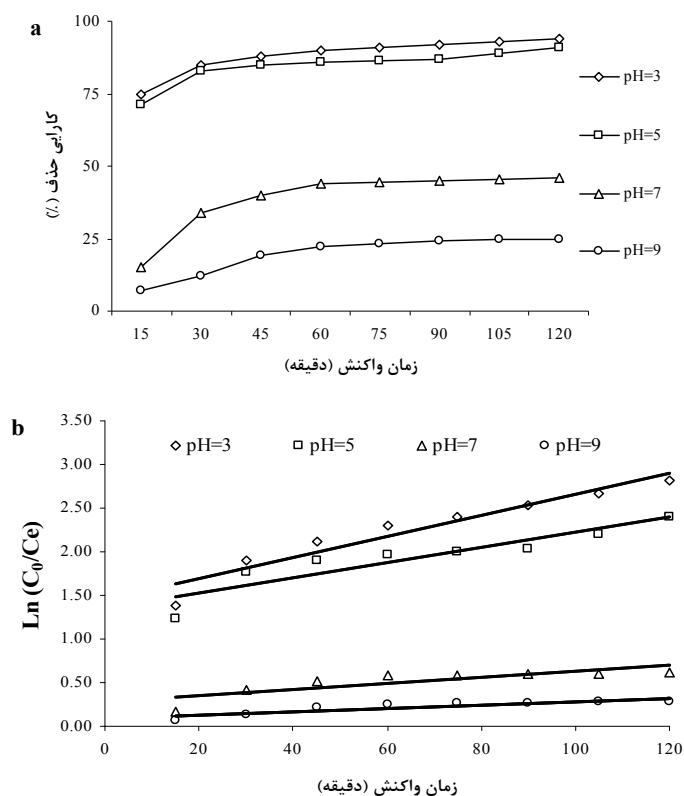
شکل ۱. نمودار حاصل از برازش داده‌های آزمایشگاهی بروی معادله‌های سینتیکی نوع اول (شکل ۱a) و معادله سینتیکی نوع دوم (شکل ۱b)

مختلف نیز نتایج متفاوتی را نشان داد بطوری که نمودار حذف نیترات در pHهای اسیدی (3-5) بصورت تقریباً L شکل می‌باشد که این امر نشان دهنده حذف سریع نیترات در محیط‌های اسیدی بوده و واکنش از لحاظ استوکیومتری زودتر به حالت تعادل می‌رسد. با این وجود به نظر می‌رسد که در محیط‌های قلیایی (9-7) نمودار کارایی حذف بیشتر به حالت مسطح بوده و زمان لازم برای رسیدن به راندمان حذف مشابه با محیط‌های اسیدی، زیاد می‌باشد. بنابراین می‌توان این طور نتیجه گیری کرد که زمان واکنش مورد نیاز برای رسیدن به یک راندمان مشخص در محیط‌های اسیدی نسبت به محیط‌های قلیایی کمتر می‌باشد. نتایج حاصل از مطالعه سینتیک نوع اول نیز گویای همین مطلب می‌باشد (شکل b2) بطوری که ثابت سرعت واکنش با افزایش pH کاهش یافت. با افزایش pH از 3 تا 9 ثابت سرعت واکنش از 0/012 به 0/0026 ( $\text{min}^{-1}$ ) کاهش یافت که این امر نشان دهنده کارایی بالای پودر آهن در جهت حذف نیترات در pHهای اسیدی می‌باشد

بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که حذف نیترات با استفاده از پودر آهن در حضور پراکسید هیدروژن از معادله درجه اول پیروی می‌کند. بر این اساس و در ادامه کار، سینتیک حذف نیترات در شرایط آزمایشی مختلف توسط معادله سینتیک درجه اول مورد بررسی قرار گرفت.

### بررسی تأثیر زمان واکنش و pH اولیه محلول

تأثیر زمان واکنش بر روی کارایی فرآیند حذف نیترات در فاصله زمانی 10 تا 120 دقیقه و در pHهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این قسمت در شکل a2 نشان داده شده است. با توجه به شکل a2، کارایی حذف نیترات با افزایش زمان واکنش تا 40 دقیقه افزایش قابل توجهی را نشان داد و پس از آن کارایی حذف بتدریج کاهش یافت. برای مثال در pH=3 با افزایش زمان تماس از 15 به 45 دقیقه میزان حذف نیترات از 75٪ به 88٪ افزایش یافت و در زمان تماس 120 دقیقه این میزان به 94٪ رسید. تغییرات حذف نیترات در زمان‌های تماس مختلف و pH های

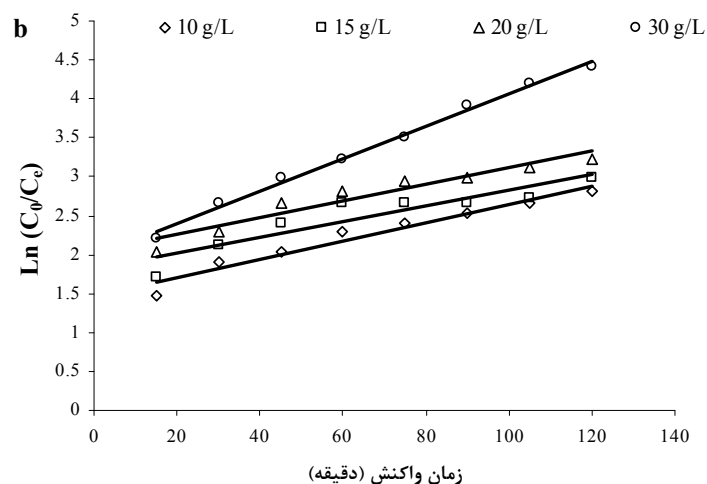
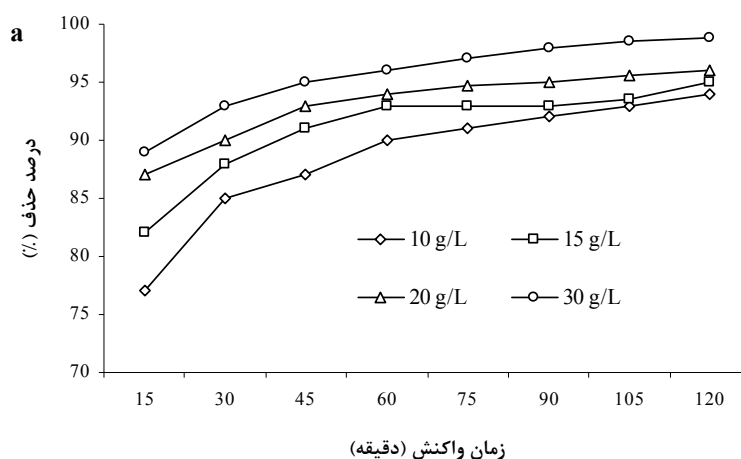


شکل ۲. تأثیر زمان واکنش و pH محلول بروی کارایی حذف نیترات (غلظت نیترات = 100 mg/L، پودر آهن = 15 g/L، پراکسید هیدروژن = 10 ml/L)

## بررسی تأثیر زمان واکنش و پودر آهن

نتایج حاصل از تأثیر پودر آهن در زمان‌های تماس مختلف در شکل ۲a و ۲b نشان داده شده است. همانطوری که در شکل ۲a نشان داده شده است با افزایش پودر آهن و زمان تماس کارایی حذف نیترات افزایش می‌یابد. در مقدار ۱۰ g/L از پودر آهن با افزایش زمان تماس از ۱۵ دقیقه به ۱۲۰ دقیقه کارایی حذف نیترات از ۷۷٪ به ۹۴٪ افزایش یافت. همچنین در زمان تماس ثابت ۱۲۰ دقیقه، کارایی حذف نیترات با افزایش پودر آهن از ۱۰ g/L به ۳۰ g/L از ۹۴٪ به ۹۹٪ رسید. همچنین سیستیک حذف نیترات در

غلظت‌های مختلف پودر آهن با استفاده از معادله درجه اول مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲b). ثابت سرعت واکنش با افزایش غلظت اولیه پودر آهن افزایش یافت بطوری که با افزایش غلظت اولیه پودر آهن از ۱۰ g/L به ۳۰ g/L، ثابت سرعت واکنش از ۰/۰۱۲ (1/min) به ۰/۰۲۱ (1/min) افزایش یافت که این امر نشان می‌دهد که افزایش غلظت اولیه پودر آهن باعث افزایش سرعت فرآیند اکسیداسیون-احیا در سطح پودر آهن خواهد شد که متعاقب آن سرعت دنیتریفیکاسیون فرآیند افزایش خواهد یافت.

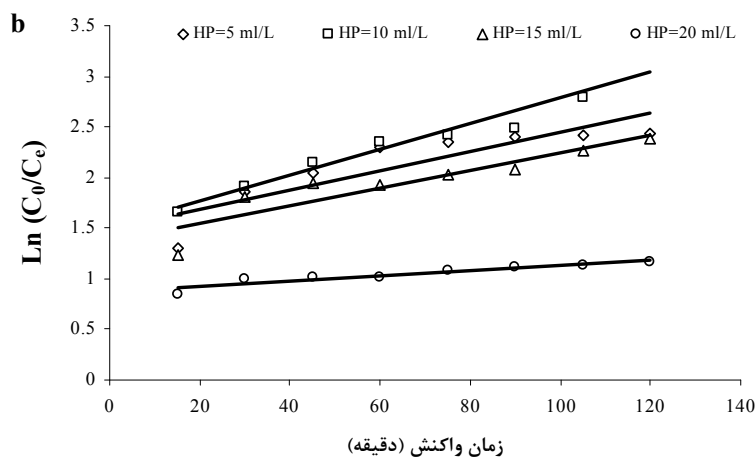
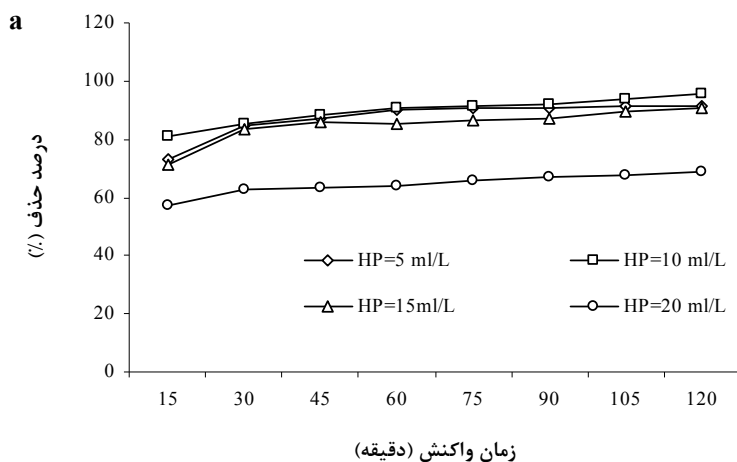


شکل ۳. نتایج حاصل از تأثیر پودر آهن صفر ظرفیتی و زمان تماس بر روی کارایی حذف نیترات (غلظت اولیه نیترات= ۱۰۰ mg/L، pH=۳، پراکسید هیدروژن= ۱۰ ml/L)

درحالی است که با افزایش غلظت اولیه پراکسید هیدروژن از ۱۵ به ۲۰ ml/L کارایی فرآیند کاهش یافت. همانطور که در شکل ۴a دیده می شود بالاترین مقدار حذف نیترات در پراکسید هیدروژن با غلظت برابر ۱۰ ml/L اتفاق افتاد و در مقدار ۲۰ ml/L کمترین کارایی حذف مشاهده می گردد. همچنین با افزایش غلظت اولیه پراکسید هیدروژن از ۵ به ۲۰ ml/L، ثابت سرعت واکنش بترتیب برابر ۰/۰۰۹، ۰/۰۱۳، ۰/۰۸۶، و ۰/۰۲۷ (1/min) محاسبه گردید. بنابراین مشاهده می گردد که بالاترین ثابت سرعت واکنش در غلظت ۱۰ ml/L از پراکسید هیدروژن اتفاق می افتد.

**بررسی تأثیر غلظت اولیه پراکسید هیدروژن و زمان واکنش**

در این مطالعه پراکسید هیدروژن با غلظت های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ ml/L جهت بررسی تأثیر آن بروی کارایی فرآیند مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاصل از این قسمت در شکل ۴a و ۴b نشان داده شده است. نتایج حاصل از این قسمت مشخص ساخت که افزایش غلظت اولیه پراکسید هیدروژن تنها در غلظت های مشخص باعث افزایش کارایی فرآیند می گردد. به عبارت دیگر در بعضی موارد مشاهده گردید که با افزایش غلظت اولیه پراکسید هیدروژن کارایی فرآیند کاهش می یابد. برای مثال با افزایش غلظت اولیه پراکسید هیدروژن از ۵ به ۱۰ ml/L کارایی فرآیند افزایش یافت این



شکل ۴. تأثیر غلظت اولیه پراکسید هیدروژن و زمان تماس بروی کارایی فرآیند (pH=۳، غلظت اولیه نیترات ۱۰۰ mg/L، پودر آهن برابر ۱۰ g/L)

## بحث

در این تحقیق کارایی حذف نیترات با استفاده از پودر آهن صفر ظرفیتی در حضور پراکسید هیدروژن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت اولیه پودر آهن، زمان تماس و پراکسید هیدروژن تا میزان مشخصی، کارایی حذف نیترات افزایش می‌یابد. همچنین مشخص گردید که کارایی حذف نیترات در  $pH$  اسیدی افزایش قابل ملاحظه ای را نشان می‌دهد. از آنجا که احیای نیترات در سطح فلز اتفاق می‌افتد بنابراین هر چقدر سطح آهن فلزی تمیز نگه داشته شود متعاقب آن حذف نیترات نیز بطور مداوم اتفاق خواهد افتاد. لازم به ذکر است که در محیط‌های قلیائی با تشکیل ژل‌های  $Fe(OH)_3$  و رسوب آن در سطح فلز عملاً فرآیند اکسیداسیون-احیا متوقف می‌شود. این در حالی است که عملاً در محیط‌های اسید لخته‌هایی تشکیل خواهد شد. این پدیده نه تنها در مورد آهن فلزی بلکه در مورد سایر فلزات از قبیل مس و منیزیم نیز اتفاق می‌افتد. مشاهدات حاصل از این مطالعه نیز مشخص ساخت که کارایی حذف نیترات در محیط‌های اسیدی ( $pH=3$ ) بسیار بیشتر از محیط‌های قلیائی ( $pH=9$ ) می‌باشد. در مطالعه ای که توسط کومار و همکاران بر روی حذف نیترات با استفاده از پودر منیزیم انجام گرفته است عملاً حذف نیترات در  $pH=2$  اتفاق افتاده است.<sup>۱۶</sup> همچنین در مطالعه دیگری، هوآنگ و همکاران نیز نشان داده اند که حذف نیترات با استفاده از پودر آهن صفر ظرفیتی در  $pH=3/5$  اتفاق می‌افتد.<sup>۱۷</sup> در بخش دیگری از آزمایشات مشخص گردید که افزایش غلظت اولیه پودر آهن تأثیر قابل توجهی بر روی کارایی حذف نیترات دارد. در سیستم پودر آهن صفر ظرفیتی، آنجایی که دینتریفیکاسیون در سطح پودر آهن اتفاق می‌افتد با افزایش پودر آهن کارایی حذف افزایش خواهد یافت. دلیل عمده این امر افزایش سطح آهن فلزی و متعاقب آن افزایش تولید الکترون‌های آزاد است. مارت و همکاران نیز نشان داده اند که کارایی حذف نیترات با افزایش غلظت اولیه پودر آهن افزایش می‌یابد. این محققین دلیل این امر را افزایش سطح آهن فلزی و بدنبال آن افزایش میزان حذف نیترات با افزایش آهن عنصری بیان کرده اند.<sup>۱۸</sup> همچنین مشخص گردید که افزایش غلظت اولیه پراکسید هیدروژن تا میزان مشخصی می‌تواند باعث افزایش کارایی

فرآیند گردد ولی چنانچه میزان پراکسید هیدروژن از مقدار مشخص فراتر رود علاوه بر اینکه اثر مثبتی بر روی کارایی فرآیند نخواهد داشت بلکه باعث کاهش کارایی فرآیند نیز خواهد شد. در سیستم‌هایی که از پراکسید هیدروژن استفاده می‌شود اغلب بیان می‌گردد که عامل اصلی اکسید کننده، وجود رادیکال‌های قوی هیدروکسیل می‌باشد پس بنابراین طبیعی به نظر می‌رسد که با افزایش غلظت اولیه پراکسید هیدروژن میزان تولید رادیکال‌های هیدروکسیل نیز افزایش یافته و بدنبال آن کارایی فرآیند افزایش یابد. ولی این اواخر ثابت شده است که این فرضیه در سیستم‌هایی که از پراکسید هیدروژن استفاده می‌شود صادق نمی‌باشد. دلیل این امر را تولید رادیکال‌های  $OH_2^0$  ذکر کرده اند. این نوع رادیکال‌ها گذشته از این که قابلیت اکسیداسیون آلاینده‌ها را ندارند بلکه به عنوان چاهکی برای رادیکال‌های قدرتمند هیدروکسیل نیز می‌باشند. در سیستم‌هایی که از پراکسید هیدروژن به عنوان اکسید کننده استفاده می‌شود، در ابتدای امر در اثر تجزیه پراکسید هیدروژن رادیکال‌های هیدروکسیل تولید می‌گردند ولی چنانچه غلظت پراکسید هیدروژن بیش از حد مورد استفاده قرار گیرد رادیکال  $OH_2^0$  تولید خواهد شد که نه تنها توانایی زیادی در اکسیداسیون آلاینده‌ها ندارد بلکه از طرف دیگر باعث از بین بردن رادیکال‌های هیدروکسیل می‌شود. بنابراین در صورت استفاده از پراکسید هیدروژن باید به این نکته دقت گردد که غلظت بهینه پراکسید هیدروژن تعیین شود. این امر از دو جهت اهمیت دارد: اولاً کارایی فرآیند کنترل می‌گردد و ثانیاً جنبه اقتصادی سیستم در نظر گرفته می‌شود چون پراکسید هیدروژن ماده گران قیمتی می‌باشد. لازم به ذکر است که دلیل افزایش COD پساب خروجی از سیستم‌هایی که بنحوی از پراکسید هیدروژن استفاده می‌کنند تولید رادیکال‌های  $OH_2^0$  نمی‌باشد بلکه افزایش COD پساب خروجی در اثر مصرف خود پراکسید هیدروژن بروز می‌کند حتی اگر مقادیر ناچیزی از پراکسید هیدروژن استفاده گردد.<sup>۲۰،۱۹</sup> در مطالعه ای که چانگ و همکاران بر روی حذف رنگ‌های آزو با استفاده از فرآیند نور UV-پراکسید هیدروژن انجام داده اند، ثابت شده است که افزایش غلظت اولیه پراکسید هیدروژن تا مقدار مشخصی باعث افزایش کارایی فرآیند حذف می‌گردد و چنانچه غلظت اولیه پراکسید هیدروژن

صفر ظرفیتی مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که سیستم مورد مطالعه در محیط‌های اسیدی و همچنین در حضور پراکسید هیدروژن کارایی بسیار بالایی برای حذف نیترات دارد. همچنین مطالعه سینتیک واکنش‌ها نشان داد که روند حذف نیترات از معادله درجه اول پیروی می‌کند که این امر نشان دهنده میزان حذف نیترات بدون تحت تأثیر مواد اولیه و یا محصولات می‌باشد.

فراتر از این حد مشخص استفاده گردد کارایی فرآیند کاهش خواهد یافت. ایشان نیز در این مطالعه دلیل اصلی کاهش کارایی فرآیند با افزایش بیش از غلظت پراکسید هیدروژن را تشکیل رادیکال‌های هیدروپراکسیل ( $\text{OH}_2^0$ ) بیان کرده‌اند.<sup>۲۱</sup>

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه کارایی حذف نیترات با استفاده از پودر آهن

## References

- Pudukadu MA, Kuppusamy S, Perumalsamy L, Soon-Jae L, Nag-Choul C, Dong-Ju K. Two-stage removal of nitrate from groundwater using biological and chemical treatments. *J. Bioscie. Bioeng.* 2007; 104: 129-134.
- Amit B, Eva K, Mika S. Nitrate removal from water by nano-alumina: Characterization and sorption studies. *Chem. Eng. J.* 2010; 163: 317-323.
- Ying-Feng L, Shuh-Ren J, Der-Yuan L, Yih-Feng C, Kai-Chung S. Nitrate removal from groundwater using constructed wetlands under various hydraulic loading rates. *Bioresour. Technol.* 2008; 99: 7504-13.
- Amit B., Mika S.. a review of emerging adsorbents for nitrate removal from water. *Chem Eng J* 2011;168:493-504.
- Anna R, Seung-Woo J, Am J, Heechul C. Reduction of highly concentrated nitrate using nano scale zero-valent iron: Effects of aggregation and catalyst on reactivity. *App. Cat. B: Environ.* 2011; 105: 128-135.
- Véronique M, Anne-Claude C, Eric D, Aurèle P. Effectiveness of groundwater nitrate removal in a river riparian area: the importance of hydrogeological conditions. *J. Hydrology* 2003; 278: 76-93.
- Yue W, Yi C, Nan Z, Dianhai Y, Qi Z. Effects of plant biomass on nitrate removal and transformation of carbon sources in subsurface-flow constructed wetlands. *Bioresour. Technol.* 2010; 101: 7286-7292.
- Cai J, Zheng P, Qaisar M. Simultaneous sulfide and nitrate removal in anaerobic reactor under shock loading. *Bioresour. Technol.* 2009; 100: 3010-3014.
- Joachim S, Philippe C, Jean-Louis P, Joel P, Claire MC. Batch-wise nitrate removal from water on a surfactant-modified zeolite *Microspor. Mesopor. Mater* 2010;132: 395-400.
- Jianfa L, Yimin L, Qingling M. Removal of nitrate by zero-valent iron and pillared bentonite. *J Hazard Mater* 2010; 174: 188-193.
- Chalermchai R, Chih-Hsiang L, Jin A, Ming-Tang L. Characteristics of nitrate reduction by zero-valent iron powder in the recirculated and  $\text{CO}_2$ -bubbled system. *Water Res.* 2006; 40: 195-204.
- Chih-Hsiang L, Shyh-Fang K, Yu-Wei H. Zero-valent iron reduction of nitrate in the presence of ultraviolet light, organic matter and hydrogen peroxide. *Water Res.* 2003; 37: 4109-4118.
- Yu-Hoon H, Do-Gun K, Hang-Sik S. Mechanism study of nitrate reduction by nano zero valent iron. *J. Hazard. Mater.* 2011; 185: 1513-1521.
- Xinsheng Z, Kwang-Ho C, Jung-Moon P. Nitrate removal from contaminated water using polyelectrolyte-enhanced ultra filtration, *Desalination* 2006;193:350-60.
- Byung-Hyun M, Young-Bae P, Kyung-Hun P. Fenton oxidation of Orange II by pre-reduction using nano scale zero-valent iron. *Desalination* 2011; 268: 249-252.
- Manish K, Saswati C. Chemical denitrification of water by zero-valent magnesium powder. *J. Hazard. Mater.* 2006; 135:112-121.
- Yong HH, Tian CZ. Effects of dissolved oxygen on formation of corrosion products and concomitant oxygen and nitrate reduction in zero-valent iron systems with or without aqueous  $\text{Fe}^{2+}$ . *Water Res.* 2005; 39: 1751-1760.
- Rodriguez-Maroto JM, Garcia-Herruzo F, Garcia-Rubio A, Gmez-Lahoz C, Vereda-Alonso C. Kinetics of the chemical reduction of nitrate by zero-valent iron. *Chemosphere* 2009; 74: 804-809.
- Marcio BR, Flavio TS, Teresa CBP. Combined zero-valent iron and fenton processes for the treatment of Brazilian TNT industry wastewater. *J. Hazard. Mater.* 2009; 165:1224-1228.
- Hung-Yee S, Ming-Chin C, Chi-Chen C. Integration of nanosized zero-valent iron particles addition with  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$  process for purification of azo dye Acid Black 24 solution. *J. Hazard. Mater.* 2009; 167: 1178-1184.
- Meng-Wen C, Chia-Chun C, Jia-Ming C, Tai-Shang C. Dye decomposition kinetics by  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$ : Initial rate analysis by effective kinetic modeling methodology, *Chem. Eng. Sci.* 2010; 65: 135-140.