

حذف همزمان نیترات و آلودگی میکروبی آب با استفاده از فعالیت الکتروکاتالیستی الکترود فوم نیکل پوشیده شده با نانوذرات آهن و مگنتیک

زهره اکبری جونوش ، عباس رضایی ^{، *}، علی غفاری نژاد ^۲

۱- گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران ۲- گروه شیمی تجزیه، دانشکده شیمی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

| چکـــــیده | اطــــــــــــــــــــــــــــــــــــ |
|---|---|
| زمينه و هدف: مط العه حاضر با هدف ارائه سيستم الكتروكاتاليستى مؤثر بر پايه كات Ni-Fe/Fe ₃ O ₄ جهت كاهش نيترات و گندزدايى آب آلوده بهطور همزمان انجام شده است. روش بررسى: در ابتدا الكترود Ni-Fe بهوسيله فرايند رسوب الكتروشيميايى سنتز و سپس خصوصيات فيزيكى آن توسط آناليزهاى ميكروسكوپ الكترونى روبشى انتشار ميدان (FESEM) پراش اشعه ايكس (XRD)، آناليز BET) و طيفسنج | تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۸ تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۶/۲۱ |
| فوتوالکترون اشعه ایکس (XPS) مورد بررسی قرار گرفت. ازمایش گندزدایی و احیای نیتران به صورت همزمان تحت شرایط: ۱۵ mg نانو ذرات pH ،Fe ₃ O ₄ برابر با NaCl ،۶/۵ برابر ب ۱۰۰ CFU/mL نیترات، Mg/L ،۱۰ mM ایکتری اشرشیاکلی و دانسیته جریان MA/cm ² انجام گرفت. انجام گرفت. | واژگان. کلید م ر: احیام رالکتر و کاتالیسته زنیترات، |
| یافته ها: براساس نتایج بدست آمده در شرایط عدم حضور نیترات، ۱۰۰ درصد باکتری های اشرشیاکلی بعد از ۱۲ min گندزدایی شدند. در حضور نیترات، زمان گندزدایی کامل افزایش یافن و به ۲۱۰ min رسید. در شرایط عدم حضور باکتری، ۸۲ درصد نیترات در ۲۴۰ min حذف گردی که در حضور باکتری راندمان احیای نیترات اندکی افزایش و به ۸۸ درصد رسید. نیترات احیا شد در حالت اول منجر به تولید مقادیر ناچیز نیتریت با غلطت ۲۲/۲ mg/L و ۴۲/۶ mg/L آمونیو شد که در حضور باکتری مقادیر نیتریت و آمونیوم تولیدی به ترتیب به ۲/۴ mg/L و ۳mg/L | گندزدایی، اشرشــیاکلی، فوم نیــکل، نانو ذرات مگنتیک |
| افزایـش یافت. نتیجه گیری: نـتـایج نـشـاندهـنــده تـوانـایی بسـیار مـنـاسـب الکتـرود Ni-Fe/Fe ₃ O ₄ در کاهـش الکتروکاتالیسـتی نیتـرات و گندزدایـی آب آلـوده بهصـورت مجـزا و همزمـان بـا راندمـان بـالا و انتخـار پذیـری بالا نسـبت بـه نیتروژن اسـت. | پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rezaee@modares.ac.ir |

Please cite this article as: Akbari Jonoush Z, Rezaee A, Ghaffarinejad A. Simultaneous removal of nitrate and microbial pollution from water by the electro-catalytic activity of iron and magnetic nanoparticles supported on nickel foam. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(2):331-44.

Copyright © 2022 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://

مقدمه

غلظت بالای نیترات (⁻NO₃) و آلودگی میکروبی از رایجترین معضلات منابع آب سطحی و بهویژه زیرزمینی محسوب میشوند. وجود نیترات در آب آشامیدنی میتواند سبب بروز انواع مشکلات بهداشتی مانند متهمو گلوبین در نوزادان، سقط جنین و نقص مادرزادی در زنان باردار و همچنین سرطان دستگاه گوارش (GI) در بزرگسالان شود (۱). از اینرو سازمان بهداشت جهانی (WHO) حداکثر سطح آلاینده (MCL) در آب آشامیدنی را برحسب نیتروژن آنیون نیترات به MgN-NO₃/L محدود کرده است (۲). از سویی دیگر وجود میکروارگانیسمهای بیماریزا در آب سبب بروز طیف وسیعی از بیماریهای منتقله از راه آب مانند اسهال، آمیبیازیس، وبا و ... می شوند که نه تنها منجر به ایجاد بیماری و افزایش میزان مرگومیر در انسان می شود، بلکه اقتصاد جوامع، بهویژه در کشورهای در حال توسعه را نیز به خطر میاندازد (۳، ۴). تاکنون روشهای متفاوتی جهت حذف نیترات و گندزدایی آب پیشنهاد شده است. برای مثال فرایندهای تبادل یون، اسمز معکوس، نیتروژن زدایی بیولوژیک و کاهش شیمیایی از جمله روشهای مطرح حذف نیترات از آب است (۵). در این راستا، فرایندهای تبادل یونی و اسمز معکوس از کارایی بالا جهت حذف نیترات برخوردار هستند. با این حال، این دو فرایند به دلیل عدم تجزیه نیترات، دارای ضایعات ثانویه حاوی غلظت بالای نیترات هستند که تصفیه آن امری ضروری است (۶). اگرچه نیترات بهوسیله نیتروژن زدایی بیولوژیکی به گاز بیخطر نيتروژن تبديل مي شود، اما به دليل سرعت يايين واكنش، وابسته بودن به مواد آلی طبیعی، pH و اکسیژن محلول با محدودیتهایی روبهرو است (۷). فرایند کاهش شیمیایی نیز بهطور مشابه دارای محدودیتهایی مانند وابستگی شدید به pH و توليد محصولات جانبي نظير آمونيوم است (۵). كلرزني یکی از متداول ترین روشهای گندزدایی آب آشامیدنی است که علیرغم کارایی بالا، با مشکلاتی در زمینه ایمنی حملونقل و ذخیرهسازی، تولید محصولات جانبی خطرناک مانند تری هالومتان (THMs)، اسیدهای هالواستیک (HAAs) و ان-نيتروزو دى متيل امين (NDMA) و

همچنین بیاثر بودن در برابر برخی میکروارگانیسمهای مقاوم مواجه است (۸). علاوه بر مشکلات ذکر شده، امروزه یافتن روشی کارآمد و مقرون به صرفه جهت حذف آلاینده ها از آب به دلیل بروز مشکلات اقتصادی در سراسر جهان از اهمیت بالایی برخوردار شده است. استفاده از فرایند همزمان حذف آلایندهها یکی از راههای مقابله با مشکلات اقتصادی پیش روی بازار تصفیه آب و فاضلاب است. در میان تمام فناوریهای موجود، الكتروشيمي تنها فرايندي است كه علاوه بر مقرون به صرفه و سازگار بودن با محیطزیست، دارای ویژگیهای خاص مانند نصب و راهاندازی آسان و همچنین راندمان بالا جهت حذف نیترات و گندزدایی است. اخیرا محققان جهت افزایش کارایی فرایند الکتروشیمیایی در احیای نیترات از فرایندهای الكتروكاتاليستي استفاده كردهاند. تاكنون مطالعات فراواني در زمينه استفاده از فلزات نجيب (مانند پالاديم، پلاتين و روديوم) (۱۱-۹) و کاتدهای دوفلزی (مانند مس/روی، پالادیم/قلع و پالادیم/آهن) جهت احیای الکتروکاتالیستی نیترات انجام گرفته است (۶، ۷، ۱۲). به دلیل کمیاب و گران بودن فلزات نجیب، ساخت كاتدهاى جديد و ارزان قيمت با كارايي بالا جهت احياى الكتروكاتاليستى نيترات از اهميت بالايي برخوردار است. در سالهای اخیر، مطالعات مختلفی در زمینه احیای نیترات با استفاده از الكتروكاتاليستهايي بر پايه فلزات غير نجيب انجام گرفته است. این مطالعات را می توان به دو دسته کلی تقسیم نمود. دسته اول شامل استفاده از نانو ذرات آهن همراه با کربن است؛ مانند مطالعه Su و همکاران در سال ۲۰۱۹ (۱۳) و Duan و همکاران (۱۴). این تحقیقات، همراه با مطالعات متعدد دیگر در زمینه احیای نیترات بهوسیله نانو ذرات آهن صفر (۱۵) نشان دهنده و تایید کننده قابلیت بالای نانو ذرات آهن در احیای الکتروکاتالیستی نیترات است که متأسفانه به دلیل تشکیل لایه هیدروکسید در طول زمان عملکرد خود را از دست میدهند (۱۲). دسته دوم مطالعات براساس استفاده از اکسید کبالت بهعنوان یک فلز مقرون به صرفه با فعالیت کاتالیزوری است. Gao و همکاران در سال ۲۰۱۹ از کاتد در سال ۲۰۲۰ از فوم نیکل (۱۲) و در سال ۲۰۲۰ از فوم نیکل بهعنوان پوششی جهت نشاندن فسفر (P) و اکسید کبالت

Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-01-24

ملام ، ومحط _____ دوره پائزدهم/ شماره دوم فصلنامه علمى پژوهشى انَجَمَن علمى بهداشت محيط اير ان ijhe.tums.ac.ir

(Co₃O₄) در فرایند احیای الکتروکاتالیستی نیترات استفاده کردند (۱۶). فوم نیکل دارای ساختار سه بعدی و متخلخل با رسانایی الکترونیکی بالا و سطح وسیعی است که توانایی بالایی در جذب نیترات و هیدروژن اتمی دارد که همین عامل سبب احیای الکتروکاتالیستی نیترات بیشتری می گردد (۱۶). علاوه بر این، آلیاژهای مبتنی بر نیکل بهعنوان الکتروکاتالیستهای مناسبی جهت واکنش تکاملی هیدروژن (HER) شناسایی شدهاند (۱۸، ۱۸).

از آنجایی که واکنش های شبه فنتون به طور گسترده جهت غیرفعالسازی میکروارگانیسمهای بیماریزا (مانند باکتریها و ویروسها) و تجزیه آلایندههای آلی مورد استفاده قرار می گیرند و همچنین از پتانسیل کمتری جهت تولید محصولات جانبی گندزدایی برخوردار هستند لذا بهعنوان جایگزینی مناسب جهت گندزدایی فاضلاب و غیرفعال سازی بیوفیلم مطرح شدهاند (۱۹، ۲۰). این فرایند با تولید رادیکالهای هیدروکسیل (°OH) از طريق واكنش آهن با هيدروژن پراكسيد، بهعنوان اكسيدان قوى با پتانسيل اكسيداسيون بالاترى نسبت به هيپوكلريت (ClO⁻)، پرمنگنات (MnO⁻⁴) و پراکسید هیدروژن است (۲۰). رادیکال هیدروکسیل تولیدی، با تخریب (H_2O_2) ليپيدهاى سلولى، شكستن رشته دئوكسى ريبونوكلئيك اسید (DNA)، اکسیداسیون پروتئین و همچنین بیان ژن از طريق اكسيداسيون غيرانتخابي سبب غيرفعال سازى میکروارگانیسمها می گردد (۲۱). یکی از راههای تولید پراکسید هیدروژن خوردگی نانو ذرات آهن صفر در محیط هوازی است که اصلاح نانو ذرات آهن صفر توسط فلزات نجیب (به عنوان مثال طلا، نقره، یالادیم و یلاتینیوم) یا فلزات دیگر (به عنوان مثال مس، آلومینیوم، بیسموت و نیکل) سبب افزایش واکنش پذیری سیستم می گردد (۲۲). Shen و همکاران اعلام نمودند که تخریب ۴-کلروفنول توسط نانو ذرات Fe-Ni در محيط هوازى پنج برابر بيشتر از نانو ذرات آهن صفر به تنهايي بوده است (۲۳). براساس موارد ذکر شده انتظار می رود فرایند الكتروكاتاليستى الكترود Ni-Fe/Fe₃O₄ كارايى بالايى در حذف نیترات و آلودگی باکتریایی داشته باشد. تنها مطالعه حاضر در زمینه احیای همزمان نیترات و گندزدایی فاضلاب

بهوسیله فرایند الکتروشیمیایی توسط Ding و همکاران انجام شده است (۲۴).

این مطالعه با هدف ارزیابی حذف همزمان نیترات و آلودگی باکتری E. coli بهوسیله فرایند الکتروشیمیایی در راستای راهبرد حذف همزمان چند آلاینده جهت کاهش هزینههای تصفیه با استفاده از کاتدی بر پایه فلزات غیر نجیب ارزان قیمت (Ni-Fe/Fe₃O₄) انجام شده است.

مواد و روشها

تمام مواد شیمیایی مورد استفاده در این مطالعه با درجه خلوص بالا از شرکت مرک آلمان خریداری شد. باکتری اشرشیاکلی (ATCC 25922) از موسسه پاستور تهیه شد. جهت سنتز الكترود Ni-Fe، پس از تميز سازى سطح فوم نيكل بهوسيله استن، الکل و اسید هیدروکلریدریک، نانو ذرات آهن به روش رسوبدهی الکتروشیمیایی بر روی سطح فوم نیکل سنتز شدند. براساس مطالعه قبلي محققين محلولي شامل آمونيوم سولفات، بوریک اسید، سولفات آهن، گلوکز، آسکوربیک اسید و سدیم دو دسیل سولفات تهیه و دانسیته جریان ۱۵ mA/cm² در مدت زمان min ۲۰۰ سرقرار شد (۱). نانو ذرات Fe₃O₄ نیز بهوسیله فرايند همرسوبي سنتز گرديد (٢۵). مشخصات الكترود پس از سنتز توسط آنالیزهای XPS ،XRD ،FESEM/EDX و BET مورد بررسی قرار گرفت. جهت آمادهسازی باکتری اشرشیاکلی، ابتدا تک کلنی از باکتری وارد محیط کشت استریل لیزوژنی براث (LB) شد و به مدت h ۸ در C^o ۳۷ با دور ۱۸۰ انکوبه شد. در ادامه جهت جداسازی باکتری از سانتریفیوژ با دور ۵۰۰۰ به مدت min استفاده گردید. دو بار تحت شستشو قرار گرفت که در هر بار شستشو مجدد سانتریفیوژ گردید. غلظت باکتری اشرشیاکلی براساس استاندارد مک فارلند بهوسیله دانسیته نوری ۳m ۶۰۰ تنظیم شد. فرایند گندزدایی و احیای نیترات بهوسیله فرایند الکتروکاتالیستی در ظرف شیشهای به حجم ۳۰۰ mL انجام گرفت. بدین منظور ۱۵۰ mL محلول حاوى ۵۰ mg/L نيترات، CFU/mL باکتری اشرشیاکلی و M ۱۰ کلرید سدیم با pH برابر با ۶/۵ تهیه گردید. الکترود Ni-Fe (۱×۵۲۳) بهعنوان کاتد و

تابستان ١٠٠١ ملام ، ولحظ صلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایر آن ijhe.tums.ac.ir

ورقه پلاتین (۲/۵ cm/×۱/۵) بهعنوان آند با فاصله ۱ cm از هم استفاده شد. سیس بلافاصله بعد از اضافه نمودن ng ۱۵ mg نانو ذرات Fe₃O₄ به راكتور آزمايش، الكترودها به منبع تغذيه جریان مستقیم (DC) با دانسیته جریان ۳A/cm² متصل شدند. جهت انتقال مؤثر جرم، محلول واكنش در طول فرايند تحت استیرر قرار گرفت. پس از نمونهبرداری غلظت نیترات باقيمانده توسط يون كروماتو گراف، غلظت آمونيوم و نيتريت با استفاده از دستگاه اسیکتروفتومتر و براساس استاندارد متد مورد اندازه گیری قرار گرفت. غلظت ترکیبات کلراین تولیدی بهوسیله روش رنگ سنجی با استفاده از DPD در طول موج ۵۱۲ nm مورد سنجش قرار گرفت (استاندارد مـتد Cl-Cl). غلظت هيدروژن پراکسيد توليدی نيز با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۴۵۴ nm سنجش شد (۲۶). در انجام آنالیزهای میکروبی بلافاصله بعد از نمونه گیری جهت از بین بردن اکسیدانهای باقیمانده تیوسولفات سدیم ۱۰ mM اضافه گردید. همچنین کشت میکروبی به روش یوریلیت و با استفاده از محیط کشت نوترینت اگار انجام شد و به مدت h h در دمای °C ۳۷ انکوبه شد. سیس کلنیهای

رشد یافته بر روی محیط کشت مورد شمارش قرار گرفت. لازم به ذکر است کلیه تستها با سه بار تکرار انجام شد.

يافتهها

$Ni-Fe/Fe_3O_4$ _ خصوصيات الكترود_



 $Ni-Fe/Fe_{3}O_{4}$ (د) الكترود (د) MRJ (ب) شكل ۱- آناليز (الف) (باف) ، FESEM (ب) هكل ۱- آناليز (الف)

م من و محمل مدار. این دوره پانزدهم/ شدار. فصلنامه علمى پژوهشى انَجَمَن علمى بهداشت محيط اير ان ijhe.tums.ac.ir





ادامه شكل ۱- آناليز (الف) FESEM، (ب) XRD، (ج) BET و (د) XPS الكترود Ni-Fe/Fe₃O₄ الكترود

بوده است. این در حالی است که استفاده از الکترود Ni-Fe/Fe₃O₄ در فرایند الکتروشیمیایی در همان مدت زمان سبب گندزدایی کامل شده است. براساس نمودار ۱-ج که ارائهدهنده غلظت تركيبات كلراين و هيدروژن پراكسيد توليدي در فرایند الکتروکاتالیستی الکترود Ni-Fe/Fe₃O₄ در گندزدایی CFU/mL اشرشیاکلی بهتنهایی و در حضور ۵۰ mg/L نیترات است، ترکیبات کلراین در شرایطی که فقط باکتری اشرشیاکلی در محلول واکنش موجود بود (عدم حضور نیترات) در مدت زمان ۹۰۰ s به میزان ۱/۳۵ mg/L تولید شدهاند. همچنین در همان شرایط، هیدروژن پراکسید از ثانیههای ابتدایی تولید و در ۲۰ ۳ به بیشترین مقدار خود (۲۵ μΜ) رسیده و سپس روند نزولی داشته است. براساس نتایج در محلول حاوی CFU/mL ۱۰^۵ CFU/mL باکتری اشرشیاکلی و mg/L نیترات، هیدروژن پراکسید تولید نشده است و غلظت تركيبات كلراين نيز كاهش چشمگيرى داشته است به گونهای که در ۹۰۰ s تنها ۰/۴۱ mg/L ترکیبات کلراین سنجش شده است.

_ گندزدایی باکتری اشرشیاکلی همان گونه که در نمودار ۱-الف مشخص است در حضور تنها ۱۰^۵ CFU/mL باکتری اشرشیاکلی، ۱/۸ لوگ باکتری در مدت زمان min ۱ کاهش یافته است. با افزایش زمان فرایند، لوگ حذف باکتری افزایش یافته و نهایتا در دقیقه ۱۲ گندزدایی کامل شده است. در شرایط حضور همزمان Mg/L نیترات و CFU/mL ۱۰^۵ CFU/mL باکتری اشرشیاکلی، راندمان گندزدایی به شدت افت کرده است به گونهای که در یک دقیقه ابتدایی تنها ۰/۱۸ لوگ و در دقیقه ۱۲ حدود ۲/۹۲ لوگ کاهش باکتری مشاهده شده است. درنهایت فرایند گندزدایی در حضور نیترات در دقیقه ۱۲۰ تکمیل شده است. براساس نتایج بدست آمده در نمودار ۱-ب نانو ذرات Fe₃O₄ و Ni-Fe به تنهایی بدون اعمال جریان به ترتیب سبب کاهش کمتر از ۵ درصد (۲۵/۰ لوگ) باکتری اشرشیاکلی و ۱/۶۵ لوگ باکتری (معادل ۳۳ درصد راندمان حذف) در مدت زمان ۶ ۹۰۰ شده است. به عبارتی ديگر اجزا تشكيل دهنده الكترود Ni-Fe/Fe₃O₄ بهتنهايي در مجموع قابلیت حذف ۳۸ درصد آلودگی باکتریایی را دارا

Downloaded from ijhe.tums.ac.ir on 2025-01-24]

دوره پانزدهم/ شعاره دوم/ تابستان ۱۴۰۱ فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایر اُن ijhe.tums.ac.ir







<u>– احیای الکتروکاتالیستی نیترات</u> نمودار ۲-الف نشاندهنده راندمان حذف نیترات در محلول حاوی ۵۰ mg/L نیترات به تنهایی و در محلول حاوی ۵۰ mg/L نیترات در حضور ۲۰ساهده است، راندمان اشرشیاکلی است. همان گونه که قابل مشاهده است، راندمان حذف نیترات در هر دو حالت در ۳۰ دقیقه ابتدایی بسیار

بالا و حدود ۵۰ درصد بوده است. از دقیقه ۳۰ تا ۲۴۰، شیب نمودار کاهش یافته است و راندمان حذف نیترات در عدم حضور باکتری به ۸۳ درصد و در حضور باکتری اشرشیاکلی به ۸۸ درصد رسیده است. براساس نمودار ۲-ب که نشاندهنده سهم اجزای تشکیل دهنده الکترود در احیای نیترات است، Mag ۱۵ نانو ذرات Fe₃O₄ و Ni-Fe بدون اتصال به جریان

> کر کی کر کی استان ۱۴۰۱ معلم دوم/ تابستان ۱۴۰۱ فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایر ان ijhe.tums.ac.ir

به ترتیب توانایی حذف تنها ۳۰ درصد و ۲۰ درصد نیترات را بعد از ۲۴۰ min دارا بودهاند. این در حالی است که الکترود Ni-Fe/Fe₃O₄ در فرایند الکتروکاتالیستی سبب حذف ۸۳ درصد نیترات در ۲۴۰ min شده است.

نمودار ۲-ج، نشاندهنده غلظت نیتریت و آمونیوم تولیدی حین فرایند احیای نیترات به عنوان محصول جانبی واکنش در محلول حاوی تنها ۵۰ mg/L نیترات و حضور همزمان ۵۰ mg/L نیترات و ۱۰^۵ CFU/mL باکتری اشرشیاکلی است. همان گونه که قابل مشاهده است غلظت نیتریت تولیدی

در فرایند دنیتریفیکاسیون در عدم حضور باکتری، پس از ۲۴۰ دقیقه //۲۲ mg/L بوده است که بسیار کمتر از غلظت استاندارد نیتریت در آب آشامیدنی است. در شرایط احیای نیترات در حضور باکتری، غلظت نیتریت افزایش قابل توجهی داشته است ولی درنهایت در دقیقه ۲۴۰ به /۴۲ mg/L رسیده است. غلظت آمونیوم تولیدی نیز در فرایند احیای نیترات به تنهایی به ۳/۶ mg/L در دقیقه ۲۴۰ رسیده است که در حضور باکتری، غلظت آمونیوم تولیدی نیز افزایش



نمودار ۲- (الف) اثر حضور باکتری اشرشیاکلی بر راندمان حذف نیترات، (ب) سهم اجزای الکترود بر راندمان حذف نیترات و (ج) غلظت نیتریت و آمونیوم تولیدی در فرایند احیای نیترات

دوره پانزدهم/ شعاره دوم/ تابستان ۱۴۰۱ فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایر آن ijhe.tums.ac.ir

بحث

 $Ni-Fe/Fe_3O_4$ خصوصيات الكترود_

براساس نتایج بدست آمده از آنالیز FESEM (شکل ۱-الف)، در الكترود Ni-Fe سطح فوم نيكل بهطور كامل توسط نانو ذرات چندوجهی و یا نانوپلیتهای آهن پوشیده شده است. سطح الكترود Ni-Fe/Fe₃O₄ نيز توسط نانو ذرات كروى با اندازه کوچکتر از نانو ذرات آهن پوشیده شده است. همچنین در برخی از سطوح الکترود Ni-Fe/Fe₃O₄ نانوپلیتهای آهن بهوضوح مشخص است. شکل ۱-ب ارائهدهنده آنالیز XRD بدست آمده از الکترود Ni-Fe/Fe₃O₄ است. سه پیک بزرگ در زاویههای ۴۴/۵۰، ۵۱/۸۰ و ۷۶/۲۷ مربوط به نیکل است (۲۷، ۲۷). پیکهای ایجاد شده در ۴۴/۷°، ۶۵° و ۸۲/۳۷ نشان دهنده حضور آهن در سطح الکترود است (۲۹). همچنین پیکهای موجود در ۳۰/۵۶۰، ۳۵/۸۶۰، ۴۳/۴۶۰، ۵۴/۰۱۰، ۵۴/۰۱۰، و ۶۳° کاملا با الگوی استاندارد ${\rm Fe_3O_4}$ مطابقت دارد ${\rm O}_4$ که تایید کننده حضور این نانو ذرات در سطح الکترود است (۳۰). یکی از ویژگیهای مهم در فعالیت الکتروکاتالیستی سطح ويژه خاص الكترود است كه بهوسيله فرايند جذب و واجذب نيتروژن براساس روش BET بدست آمده است (شكل ۰/۱۴۸۴ g/m^2 بود فوم نیکل برابر -1که با نشاندن نانو ذرات آهن و ${\rm Fe_3O_4}$ بر سطح فوم نیکل، ۱۹/۸۸ ${
m g/m^2}$ به Ni-Fe/Fe $_{
m 3}{
m O}_4$ میزان سطح ویژه در الکترود افزایش یافت. ایزوترم بدست آمده از الکترود Ni-Fe/Fe₃O₄ نشاندهنده ایزوترم نوع IV با حلقههای هیسترزیس نوع H3 است که تاییدکننده حضور مزوپورها در سطح الکترود است. جهت مشخص نمودن ظرفیت آهن سنتز شده بر روی الکترود ، آنالیز XPS انجام شد. همان طور که در شکل Ni-Fe/Fe $_3O_4$ ۱-د مشخص است، پیک ایجادشده در انرژی بستگی ۷۰۶ eV در سطح الكترود نشان دهنده حضور آهن صفر ظرفیتی با ۹/۵۳ درصد (۲۳)، پیک در انرژی بستگی ۷۱۵/۲ و ۷۳ ۷۲۸/۴۳ به ترتیب بیانگر حضور ۳۹/۷۳ درصد آهن دو ظرفیتی و ۵۰/۷۳ درصد آهن سه ظرفیتی است (۳۱، ۳۲). _ گندزدایی باکتری اشرشیاکلی جهت یافتن مکانیسم گندزدایی، فرایند گندزدایی در شرایط

یکسان توسط ۱۵ mg نانو ذرات Ni-Fe ،Fe₃O₄ بدون اتصال به جریان و کاتد Ni-Fe/Fe₃O₄ در فرایند الکتروکاتالیستی مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج بدست آمده (نمودار ا-ب) نانو ذرات $Fe_{3}O_{4}$ کمتر از ۵ درصد (۲۵/۰ لوگ) باکتری اشر شیاکلی را در مدت زمان ۹۰۰ حذف کرده است که علت آن تجزیه پروتئین و DNA سلولهای باکتری بهوسیله آزادسازی گونههای فعال اکسیژن است (۳۳، ۳۴). استفاده از Ni-Fe بدون اعمال جریان سبب کاهش ۱/۶۵ لوگ باکتری (معادل ۳۳ درصد راندمان حذف) در همان مدت زمان گردید. یکی از دلایل حذف توسط Ni-Fe بدون اتصال به جریان، ساختار و مورفولوژی نانو ذرات آهن سنتز شده بر روی فوم نیکل است. براساس آناليز XPS، سطح الكترود Ni-Fe بهوسيله نانو ذرات آهن صفر، دو و سه ظرفیتی پوشیده شده است که حضور هر یک از آنها احتمال غیرفعال سازی باکتری را افزایش میدهد. نانو ذرات دو ظرفیتی آهن جهت تولید گونههای فعال اکسیژن مانند هیدروژن پراکسید با اکسیژن واکنش داده که سبب تولید رادیکالهای هیدروکسیل با توانایی بالای تخریب ماکرو مولکولهای باکتری می گردد (۳۴). همچنین نانو ذرات آهن صفر سبب استرس اکسیداتیو و اختلال در غشا سلول باکتری خواهند شد (۳۴). در نتیجه می توان اظهار داشت که حدود ۳۸ درصد از غیرفعال سازی باکتریها در روش پیشنهادی مطالعه $Ni-Fe/Fe_{3}O_{4}$ حاضر به دليل خصوصيات خاص الكترود بوده است. در زمان استفاده از Ni-Fe/Fe₃O₄ بهعنوان کاتد و برقراری فرایند الکتروکاتالیست گندزدایی به شدت افزایش یافته است به گونهای که طیs ۷۲۰ راندمان گندزدایی تکمیل شده است که علت این امر را می توان مر تبط با تولید گونههای گندزدایی در آند مانند کلر فعال و تولید گونههای گندزدایی در کاتد مانند هیدروژن پراکسید دانست (۸). علاوه بر موارد ذکر شده در حضور نانو ذرات Fe_3O_4 و هیدروژن پراکسید فرایند شبه فنتون رخ داده که منجر به تولید رادیکالهای هیدروکسیل (°OH) با خاصیت اکسیداسیون بالا شده و در نتیجه گندزدایی قابل توجهی رخ داده است (۲۰). براساس نمودار ۱-ج، تولید غلظت بالایی از ترکیبات گندزدای کلراین در عدم حضور نیترات و همچنین تولید هیدروژن پراکسید

> می و می از می ایستان ۱۶۰۱ فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایر ان ijhe.tums.ac.ir

قابل مشاهده است. در حضور نیترات اما هیدروژن پراکسیدی سنجش نشده و غلظت ترکیبات کلراین نیز کاهش چشمگیری داشته است که همین امر سبب کاهش چشمگیر راندمان گندزدایی در حضور نیترات بوده است. _احیای الکتروکاتالیستی نیترات

براساس نتایج بدست آمده در نمودار ۲، mg ۱۵ نانو ذرات P_3O_4 بعد از min ترانی حذف تنها ۳۰ درصد نیترات را دارا بوده است. تاکنون مطالعات فراوانی در زمینه اصلاح سطح این نانو ذرات جهت افزایش راندمان جذب نیترات انجام گرفته است که این امر تایید کننده جذب شدن ۳۰ درصد نیترات بیترات بر روی نانو ذرات P_3O_4 است (۵۳، ۳۶). Ni-Fe نیترات به است (۵۳، ۳۵). مدت زمان مال به جریان، قادر به حذف تنها ۲۰ درصد نیترات در مدت زمان مال به مریان، قادر به حذف تنها ۲۵ درصد نیترات در میترات بر روی نانو ذرات P_3O_4 است (۵۳، ۳۵). معترات در مدت زمان مال به جریان، قادر به حذف تنها ۲۰ درصد نیترات در مدت زمان مال به مریان، قادر به حذف تنها ۲۰ درصد نیترات در مدت زمان است (۵۳، ۳۵). میترات در نیترات در میترات در مدت زمان است (۵۵ مال به میترات ای مال را میتوان معتروژن، آمونیوم و نیتریت را دارا است (۵۵).

$$5Fe^{0}+2NO_{3}+12H^{+}\rightarrow 5Fe^{2+}+N_{2}+6H_{2}O$$
 (1)

$$4Fe^{0}+2NO_{3}^{-}+10H^{+} \rightarrow 4Fe^{2+}+NH_{4}^{+}+3H_{2}O$$
 (7)

$$Fe^{0}+2NO_{3}^{-}+4H^{+} \rightarrow Fe^{2+}+2NO_{2}^{-}+2H_{2}O$$
 (7)

$$6Fe^{2+}+NO_{2}^{-}+8H^{+}\rightarrow 6Fe^{3+}+NH_{4}^{+}+2H_{2}O$$
 (*)

$$2Fe^{0}+O_{2}+2H_{2}O \rightarrow 2Fe^{2+}+4OH^{-}$$
 (a)

$$3Fe^{0}+NO_{2}^{-}+8H^{+}\rightarrow 3Fe^{2+}+NH_{4}^{+}+2H_{2}O$$
 (9)

$$3Fe^{0}+2NO_{2}^{-}+8H^{+}\rightarrow 3Fe^{2+}+N_{2}+4H_{2}O$$
 (Y)

با نـشـانـدن نـانـو ذرات Fe₃O₄ و اسـتـفاده از الـكـتـرود Ni-Fe/Fe₃O₄ در حذف نيترات، راندمان احياى نيترات به شدت افزايش يافته است. براساس مطالعات انجام شده الكترود

Ni-Fe دارای توانایی تولید هیدروژن است (۲۰، ۳۷). هیدروژن یکی از عوامل احیاگر نیترات است که براساس معادلات ۱۱-۸ نیترات و نیتریت را احیا میکند (۳۸).

$$2\mathrm{NO}_{3}^{-}+5\mathrm{H}_{2} \rightarrow \mathrm{N}_{2}+2\mathrm{OH}^{-}+4\mathrm{H}_{2}\mathrm{O} \tag{A}$$

$$NO_3^{-}+H_2 \rightarrow NO_2^{-}+H_2 \tag{9}$$

$$2NO_{2}^{-}+3H_{2}+2H^{+} \rightarrow 3N_{2}+4H_{2}O$$
 (1.)

$$2NO_3^++8H_2 \rightarrow 2NH_4^++4OH^-+2H_2O \tag{11}$$

یکی دیگر از دلایل افزایش عملکرد الکترود O_4 Ni-Fe/Fe در جلوگیری از احیای نیترات احتمالا با نقش نانو ذرات O_4 در جلوگیری از تشکیل اکسیدهای آهن بر روی سطح الکترود Ni-Fe مرتبط است. همان گونه که ذکر گردید نانو ذرات آهن صفر توانایی احیای نیترات را دارا هستند اما این توانایی به مرور زمان به دلیل تشکیل لایه هیدروکسید آهن کاهش مییابد. براساس مطالعات صورت گرفته توسط محققان، در صورت در کنار هم قرار گرفتن نانو ذرات آهن صفر و نانو ذرات Fe_3O_4 ، آهن دو ظرفیتی سطحی تولید می گردد (معادله ۱۲) (۲۱).

$$2Fe_{sur}^{3+} + Fe^0 \rightarrow 3Fe_{sur}^{2+}$$
(17)

آهن دو ظرفیتی سطحی تولید شده در مجاورت این دو نانو ذره، سبب تبدیل لایههای اکسید آهن به Fe_3O_4 میشود، لذا عملکرد نانو ذرات آهن صفر با گذشت زمان دچار کاهش نمیشود. از سویی دیگر پس از واکنش نانو ذرات آهن صفر با نیترات، آهن دو ظرفیتی و سه ظرفیتی ایجاد شده بلافاصله به آهن صفر و آهن دو ظرفیتی احیا میشوند (معادله ۱۳ و ۱۴) و بدین ترتیب چرخه احیای نیترات ادامه مییابد (۲۳).

$$Fe^{3+} + e^{-} \leftrightarrow Fe^{2+} \tag{17}$$

 $NO_2^-+HClO \rightarrow NO_3^-+H_2O+Cl^-$

براساس بررسیهای صورت گرفته تنها Ding و همکاران به مطالعه حذف همزمان نيترات و آلودگي ميكروبي بهوسيله فرايند الکتروشیمیایی پرداختهاند (۲۴). در این مطالعه از آند پایدار با یوشش دIrO و RuO و کاتد گرافیت استفاده شده است. در شرایط بهینه عملیاتی شامل دانسیته جریان ۱۰ mA/cm² و اضافه نمودن mg/L كلرايد به محلول واكنش گندزدايي كامل حاصل شده است اما تنها ۳۶ درصد نيترات كاهش يافته است. این در صورتی است که فرایند الکتروکاتالیستی الکترود قابلیت بالایی در گندزدایی کامل و کاهش Ni-Fe/Fe $_{3}O_{4}$ ۸۸ درصد نیترات طی مدت زمان min ۱۲۰ و با استفاده از دانسیته جریان ۴ mA/cm² را داشته است. غلظت محصولات جانبی تولیدی حین فرایند احیای نیترات مانند نیتریت درنهایت بسیار کمتر از غلظت استاندارد در آب آشامیدنی بوده است اما غلظت آمونيوم پس از اتمام فرايند بالاتر از حد مجاز و استاندارد آب آشامیدنی است که نیازمند انجام مطالعات بیشتر در زمینه کاهـش آمـونـیوم تولیـدی حـین این فرايند است.

نتيجهگيرى

(۲۳)

براساس مطالعه صورت گرفته، فرایند الکتروکاتالیستی بهوسیله الکترود ${\rm Ni-Fe/Fe}_{3}O_{4}$ دارای توانایی بالایی در احیای نیترات و گندزدایی بهصورت مجزا و همزمان هستند. از دلایل گندزدایی میتوان به تولید ترکیبات کلراین و هیدروژن پراکسید اشاره نمود. حضور همزمان نانو ذرات ${}_{3}O_{4}$ و هیدروژن پراکسید تولیدی، سبب فرایند شبه فنتون و تولید رادیکال هیدروکسیل بهعنوان یک عامل گندزدای قوی می گردد. علاوه بر موارد ذکر شده خاصیت آنتی باکتریال نانو ذرات ${}_{3}O_{4}$ و ${}_{3}O_{4}$ تیز سبب بالاتر رفتن راندمان گندزدای می شود. فرایند احیای نیترات نیز به دلیل حضور نانو ذرات آهن صفر بر روی الکترود، تولید احیاگری قوی ماند هیدروژن توسط الکترو و حضور نانو ذرات ${}_{4}O_{4}$ بهعنوان عامل جلوگیری کننده در اکسید شدن نانو ذرات صفر روی الکترود، بهخوبی انجام می گیرد.

$$Fe^{2+} + 2e^{-} \leftrightarrow Fe^{0} \tag{14}$$

علاوه بر کلیه واکنشهای ذکر شده جهت احیای نیترات، واکنشهای محتمل دیگر احیای نیترات در الکترود Ni-Fe و Ni-Fe/Fe₃O₄ بهصورت زیر است (معادله ۱۵ الی ۲۰):

$$NO_{3}^{-}+2H^{+}+2e^{-} \rightarrow NO_{2}^{-}+H_{2}O \qquad (1\Delta)$$

$$NO_3^++9H^++8e^- \rightarrow NH_3+H_2O$$
 (rq) (19) c, are (19)

$$\mathrm{NO}_{3}^{-}+6\mathrm{H}^{+}+5\mathrm{e}^{-}\rightarrow0.5\mathrm{N}_{2}+3\mathrm{H}_{2}\mathrm{O} \tag{19}$$

$$NO_3^+H_2O^+2e^- \rightarrow NO_2^+2OH^-$$
 (1Å)

$$NO_2^-+H_2O+e^- \rightarrow NO+2OH^-$$
 (19) c, are used to be a constrained of the set of the set

$$NO_3^+6H_2O^+8e^- \rightarrow NH_3^+9OH^-$$
 ($\Upsilon \cdot$)

نمودار ۲-ج، نشاندهنده غلظت نیتریت و آمونیوم تولیدی حین فرایند احیای نیترات در حضور و عدم حضور باکتری اشرشیاکلی است. همان گونه که قابل مشاهده است غلظت نیتریت و آمونیوم تولیدی در فرایند دنیتریفیکاسیون در عدم حضور باکتری، بسیار کمتر از غلظت آن در حضور باکتری است. علت این امر درگیر شدن سیستم به صورت همزمان در جهت گندزدایی و احیای نیترات است. در این شرایط بخشی از ترکیبات کلر تولیدی که براساس معادلات ۲۳-۲۱ با آمونیوم تولیدی واکنش داده، در گیر گندزدایی شده لذا غلظت کمتری از کلراین جهت واکنش با آمونیوم در حضور همزمان باکتری موجود است و درنتیجه غلظت آمونیوم تولیدی در سیستم افزایش یافته است.

$$Cl_2+H_2O \rightarrow HClO + H^++Cl^-$$
 (71)

$$NH_4^+ + HClO \rightarrow N_2 + H_2O + H^+ + Cl^-$$
 (YY)

الم من و کی دوره پانزدهم/ شماره فصلنامه علمى پژوهشى انُجَمن علمى بهداشت محيط اير ان ijhe.tums.ac.ir

تشكر و قدرداني

این مقاله حاصل بخشی از پایاننامه با عنوان "احیای نیترات و گندزدایی آب آلوده با استفاده از فعالیت الکتروکاتالیتیکی الکترود سهبعدی فوم نیکل واجد نانو ذرات آهن" در مقطع دکتری در سال ۱۳۹۹ با کد ۹۸۰۱۵۰۱۹ است که با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور اجرا شده است.

References

- Jonoush ZA, Rezaee A, Ghaffarinejad A. Electrocatalytic nitrate reduction using Fe0/ Fe3O4 nanoparticles immobilized on nickel foam: Selectivity and energy consumption studies. Journal of Cleaner Production. 2020;242:118569.
- Zhang X, Wang Y, Liu C, Yu Y, Lu S, Zhang B. Recent Advances in Non-Noble Metal Electrocatalysts for Nitrate Reduction. Chemical Engineering Journal. 2020;403:126269.
- Ma Q, Liu T, Tang T, Yin H, Ai S. Drinking water disinfection by hemin-modified graphite felt and electrogenerated reactive oxygen species. Electrochimica Acta. 2011;56(24):8278-84.
- 4. Kourdali S, Badis A, Boucherit A, Boudjema K, Saiba A. Electrochemical disinfection of bacterial contamination: effectiveness and modeling study of E. coli inactivation by electro-Fenton, electroperoxi-coagulation and electrocoagulation. Journal of Environmental Management. 2018;226:106-19.
- 5. Zhang Z, Xu Y, Shi W, Wang W, Zhang R, Bao X, et al. Electrochemical-catalytic reduction of nitrate over Pd–Cu/γAl2O3 catalyst in cathode chamber: enhanced removal efficiency and N2 selectivity. Chemical Engineering Journal. 2016;290:201-08.
- 6. Yang S, Wang L, Jiao X, Li P. Electrochemical reduction of nitrate on different Cu-Zn oxide composite cathodes. International Journal of

ملاحظات اخلاقی نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف دادهها و دادهسازی را در این مقاله رعایت کردهاند. کد اخلاق این پرژوهش IR.MODARES.REC.1397.155 است.

Electrochemical Science. 2017;12:4370-83.

- Wang Y, Qu J, Wu R, Lei P. The electrocatalytic reduction of nitrate in water on Pd/Sn-modified activated carbon fiber electrode. Water Research. 2006;40(6):1224-32.
- Shasemian S, Asadishad B, Omanovic S, Tufenkji N. Electrochemical disinfection of bacteria-laden water using antimony-doped tin-tungsten-oxide electrodes. Water Research. 2017;126:299-307.
- Brylev O, Sarrazin M, Roué L, Bélanger D. Nitrate and nitrite electrocatalytic reduction on Rh-modified pyrolytic graphite electrodes. Electrochimica Acta. 2007;52(21):6237-47.
- 10. De Groot M, Koper M. The influence of nitrate concentration and acidity on the electrocatalytic reduction of nitrate on platinum. Journal of Electroanalytical Chemistry. 2004;562(1):81-94.
- Badea GE. Electrocatalytic reduction of nitrate on copper electrode in alkaline solution. Electrochimica Acta. 2009;54(3):996-1001.
- Gao J, Jiang B, Ni C, Qi Y, Zhang Y, Oturan N, et al. Non-precious Co3O4-TiO2/Ti cathode based electrocatalytic nitrate reduction: Preparation, performance and mechanism. Applied Catalysis B: Environmental. 2019;254:391-402.
- 13. Su L, Han D, Zhu G, Xu H, Luo W, Wang L, et al. Tailoring the Assembly of iron nanoparticles in carbon microspheres toward high-performance electrocatalytic denitrification. Nano Letters.

DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.2.12.3

دوره پانزدهم/ شماره دوم/ تابستان ۱۴۰۱ صلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایر آن ijhe.tums.ac.ir

2019;19(8):5423-30.

- 14. Duan W, Li G, Lei Z, Zhu T, Xue Y, Wei C, et al. Highly active and durable carbon electrocatalyst for nitrate reduction reaction. Water Research. 2019;161:126-35.
- 15. Liu Y, Wang J. Reduction of nitrate by zero valent iron (ZVI)-based materials: a review. Science of The Total Environment. 2019;671:388-403.
- 16. Gao J, Jiang B, Ni C, Qi Y, Bi X. Enhanced reduction of nitrate by noble metal-free electrocatalysis on P doped three-dimensional Co3O4 cathode: Mechanism exploration from both experimental and DFT studies. Chemical Engineering Journal. 2020;382:123034.
- 17. Hu C-C, Bai A. Optimization of hydrogen evolving activity on nickel–phosphorus deposits using experimental strategies. Journal of Applied Electrochemistry. 2001;31(5):565-72.
- Hu C-C, Weng C-Y. Hydrogen evolving activity on nickel-molybdenum deposits using experimental strategies. Journal of Applied Electrochemistry. 2000;30(4):499-506.
- 19. Tong M, Liu F, Dong Q, Ma Z, Liu W. Magnetic Fe3O4-deposited flower-like MoS2 nanocomposites for the Fenton-like Escherichia coli disinfection and diclofenac degradation. Journal of Hazardous Materials. 2020;385:121604.
- Gosselin F, Madeira LM, Juhna T, Block JC. Drinking water and biofilm disinfection by Fentonlike reaction. Water Research. 2013;47(15):5631-38.
- Huang T, Sui M, Li J. Inactivation of E. coli by nano-Cu/MWCNTs combined with hydrogen peroxide. Science of The Total Environment. 2017;574:818-28.
- Pi L, Cai J, Xiong L, Cui J, Hua H, Tang D, et al. Generation of H2O2 by on-site activation of molecular dioxygen for environmental remediation

applications: A review. Chemical Engineering Journal. 2020;389:123420.

- 23. Shen W, Mu Y, Wang B, Ai Z, Zhang L. Enhanced aerobic degradation of 4-chlorophenol with ironnickel nanoparticles. Applied Surface Science. 2017;393:316-24.
- 24. Ding J, Zhao Q, Zhang Y, Wei L, Li W, Wang K. The eAND process: Enabling simultaneous nitrogen-removal and disinfection for WWTP effluent. Water Research. 2015;74:122-31.
- 25. Akbari-Jonoush Z, Naseri S, Farzadkia M, Mohajerani H-R, Shirzad-Siboni M, Yang J-K. Application of C14/SiO2–Fe3O4 and AC–Fe3O4 nanocomposite for U (VI) removal. Desalination and Water Treatment. 2016;57(47):22519-32.
- 26. Kosaka K, Yamada H, Matsui S, Echigo S, Shishida K. Comparison among the methods for hydrogen peroxide measurements to evaluate advanced oxidation processes: application of a spectrophotometric method using copper (II) ion and 2, 9-dimethyl-1, 10-phenanthroline. Environmental Science & Technology. 1998;32(23):3821-24.
- 27. Zhu K, Sun C, Chen H, Baig SA, Sheng T, Xu X. Enhanced catalytic hydrodechlorination of 2,
 4-dichlorophenoxyacetic acid by nanoscale zero valent iron with electrochemical technique using a palladium/nickel foam electrode. Chemical Engineering Journal. 2013;223:192-99.
- 28. Shang X, Qin J-F, Lin J-H, Dong B, Chi J-Q, Liu Z-Z, et al. Tuning the morphology and Fe/ Ni ratio of a bimetallic Fe-Ni-S film supported on nickel foam for optimized electrolytic water splitting. Journal of Colloid and Interface Science. 2018;523:121-32.
- 29. He Y, Sahoo Y, Wang S, Luo H, Prasad PN, Swihart MT. Laser-driven synthesis and magnetic properties of iron nanoparticles. Journal of

DOR: 20.1001.1.20082029.1401.15.2.12.3

الاست و محط زر دوره پانزدهم/ شعاره دوم/ تابستان ۱۴۰۱ فصلنامه علمى پژوهشى انَجَمَن علمى بهداشت محيط اير ان ijhe.tums.ac.ir

Nanoparticle Research. 2006;8(3-4):335-42.

- 30. Loh K-S, Lee YH, Musa A, Salmah AA, Zamri I. Use of Fe3O4 nanoparticles for enhancement of biosensor response to the herbicide 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid. Sensors. 2008;8(9):5775-91.
- 31. Su L, Liu C, Liang K, Chen Y, Zhang L, Li X, et al. Performance evaluation of zero-valent iron nanoparticles (NZVI) for high-concentration H2S removal from biogas at different temperatures. RSC Advances. 2018;8(25):13798-805.
- 32. Nandan R, Gautam A, Nanda KK. Anthocephalus cadamba shaped FeNi encapsulated carbon nanostructures for metal–air batteries as a resilient bifunctional oxygen electrocatalyst. Journal of Materials Chemistry A. 2018;6(41):20411-20.
- 33. Najafpoor A, Norouzian-Ostad R, Alidadi H, Rohani-Bastami T, Davoudi M, Barjasteh-Askari F, et al. Effect of magnetic nanoparticles and silver-loaded magnetic nanoparticles on advanced wastewater treatment and disinfection. Journal of Molecular Liquids. 2020;303:112640.
- 34. Tran N, Mir A, Mallik D, Sinha A, Nayar S, Webster TJ. Bactericidal effect of iron oxide nanoparticles on Staphylococcus aureus. International Journal of Nanomedicine. 2010;5:277.
- 35. Bombuwala Dewage N, Liyanage AS, Pittman CU, Mohan D, Mlsna T. Fast nitrate and fluoride adsorption and magnetic separation from water on α-Fe2O3 and Fe3O4 dispersed on Douglas fir biochar. Bioresource Technology. 2018;263:258-65.
- 36. Jiang H, Chen P, Luo S, Tu X, Cao Q, Shu M. Synthesis of novel nanocomposite Fe3O4/ ZrO2/chitosan and its application for removal of nitrate and phosphate. Applied Surface Science. 2013;284:942-49.

37. Kumar A, Bhattacharyya S. Porous NiFe-oxide

دوره پانزدهم/ شماره دوم/ تابستان ۱۴۰۱ ا صلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایر اُن ijhe.tums.ac.ir

nanocubes as bifunctional electrocatalysts for efficient water-splitting. ACS Applied Materials & Interfaces. 2017;9(48):41906-15.

38. Daub K, Emig G, Chollier MJ, Callant M, Dittmeyer R. Studies on the use of catalytic membranes for reduction of nitrate in drinking water. Chemical Engineering Science. 1999;54(10):1577-82. Iran. J. Health & Environ., 2022, Vol. 15, No.2



Simultaneous removal of nitrate and microbial pollution from water by the electrocatalytic activity of iron and magnetic nanoparticles supported on nickel foam

Zohreh Akbari Jonoush¹, Abbas Rezaee^{1,*}, Ali Ghaffarinejad²

Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
 Electroanalytical Chemistry Research Center, Faculty of Chemistry, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

| ARTICLE INFORMATION: | | ABSTRACT | |
|--|--|--|--|
| Received: | 22 June 2022 | Background and Objective: This study aimed to provide an effective electro-catalytic | |
| Revised: | 27 August 2022 | system for the simultaneous reduction of nitrate and disinfection of contaminated water by | |
| Accepted: | 30 August 2022 | the electro-catalytic performance of Ni-Fe/Fe $_{3}O_{4}$ cathode. | |
| Published: 12 September 2022 | | Materials and Methods: At first, the Ni-Fe electrode was synthesized by the electro- deposition process. Then its physical properties were analyzed by scanning electron microscopy (FESEM). X-ray diffraction (XRD). Brunauer-Emmett-Teller (BET) analysis. | |
| Keywords: trate redu E. Coli, Ni nanoparticle | Electro-catalytic ni- action, Disinfection, ackel foam, Magnetic | and photoelectron X-ray spectroscopy (XPS). Simultaneous disinfection and reduction of nitrate were performed under the following conditions: 15 mg Fe ₃ O ₄ nanoparticles, pH 6.5, NaCl 10 mM, 50 mg/L nitrate, 10 ⁵ CFU/mL and current density 4 mA/cm ² . Results: According to the results obtained in the absence of nitrate, 100 % of Escherichia coli bacteria were disinfected after 12 minutes. In the presence of nitrate, the time of complete disinfection increased to 120 minutes. In the absence of bacteria, 83% of nitrate was removed in 240 minutes, and in the presence of bacteria, the nitrate reduction efficiency increased slightly to 88%. In the nitrate reduction process, nitrite (0.22 mg/L) and ammonium (3.6 mg/L) were produced. In the presence of bacteria, the amounts of nitrite and ammonium produced increased to 0.42 mg/L and 7.3 mg/L. Conclusion: The results show the outstanding ability of Ni-Fe/Fe ₃ O ₄ electrode in electro- catalytic reduction of nitrate and disinfection of contaminated water separately and simultaneously with high efficiency and high selectivity to nitrogen. | |
| *Correspon | ding Author: | | |
| rezaee@mo | dares.ac.ir | | |

Please cite this article as: Akbari Jonoush Z, Rezaee A, Ghaffarinejad A. Simultaneous removal of nitrate and microbial pollution from water by the electro-catalytic activity of iron and magnetic nanoparticles supported on nickel foam. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(2):331-44.

Copyright © 2022 Iranian Association of Environmental Health, and Tehran University of Medical Sciences. Published by Tehran University of Medical Sciences. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (https://