

بررسی کارایی نانو ذرات آهن صفر(nZVI) در حذف سفالکسین از پساب دارویی

امیرحسام حسنی^۱

علی ترابیان^۲

خدیجه رحیمی^۳

(دریافت ۹۱/۴/۵ پذیرش ۹۱/۱۱/۲)

چکیده

ورود آنتی بیوتیک‌ها به فاضلاب، تصفیه آن را مشکل تر می‌سازد. میزان استفاده آنتی بیوتیک‌ها بهخصوص سفالکسین به صورت معمول بالا است و مقدار آن در پسابهای دارویی بیشتر است. لذا در این تحقیق میزان حذف شیمیایی آنتی بیوتیک سفالکسین توسط نانو ذرات آهن صفر، همچنین تأثیر پارامترهای از جمله غلظت‌های اولیه محلول آنتی بیوتیک، pH، مقادیر مختلف نانو ذرات آهن و زمان بر روی میزان حذف مورد بررسی قرار گرفت. سنتز نانو ذرات آهن به صورت روزانه صورت گرفت. محلول مادر با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر از سفالکسین ساخته شد. سپس از محلول مادر، محلول‌های آنتی بیوتیک با غلظت‌های متفاوت تهیه شد و با مقادیر مختلف نانو ذره آهن تماس داده شد و سپس غلظت نهایی آنتی بیوتیک‌ها در هر نمونه توسط دستگاه HPLC اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج با افزایش غلظت سفالکسین به ۱۰۰ ppm، با زمان تعادل ۱۰ دقیقه، در حضور ۰/۸ pH گرم نانو ذره آهن و ۵ میلی‌گرم نانو ذره آهن درصد حذف اتفاق افتاد.

واژه‌های کلیدی: نانو ذرات آهن، جذب، اکسیداسیون شیمیایی، سفالکسین

Performance of Iron-Zero (nZVI) Nanno Particles in Removal of Cephalexin from Synthetic Wastewater

A. H. Hassani¹

A. Torabian²

Kh. Rahimi³

(Received June 25, 2012 Accepted Jan. 21, 2013)

Abstract

Existence of antibiotic in wastewater causes wastewater treatment more difficult. The amount of antibiotic consumption, especially Cephalexin, is considerable so that its concentration in pharmaceutical wastewater is usually high. This study attempts to determine the efficiency removal of Cephalexin by iron nanoparticles from synthetic wastewater. Moreover, the effect of operating parameters such as initial concentrations of Cephalexin, pH, amount of iron nanoparticles and detention time on removal efficiency are investigated and the optimum operating range for each of these operating variables is experimentally determined. The preparation of iron nanoparticles were carried out daily. Samples were prepared with different concentration from a stock solution with 100 mg/L Cephalexin concentration. Cephalexin concentration in each experiment was determined by HPLC method. The results showed that the removal efficiency of Cephalexin in the optimal condition (initial Cephalexin concentration, of 100 ppm; detention time, of 10 min; iron nanoparticles amount, of 0.8 gr; pH, of 5) about 52%.

Keywords: Iron Nanoparticles, Adsorption, Chemical Oxidation, Cephalexin.

1. Assist Prof., Dept. of Environmental and Power, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran
2. Prof. of Environmental Eng., Dept. of Environment, Tehran University, Tehran
3. M.Sc. Student of Environmental Eng., Water and Wastewater, Dept. of Environmental and Power, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran (Corresponding Author) (+98 21) 76324101 mahdieh.raими@yahoo.com

- ۱- استادیار، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات تهران
- ۲- استاد گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست- آب و فاضلاب، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران (نوبنده مسئول) mahdieh.raими@yahoo.com

۱- مقدمه

منابع آب سطحی و زیرزمینی راه می‌یابند؛ مانند استفاده از کودهای کشاورزی تهیه شده از فضولات حیوانات و آبیاری با فاضلاب تصفیه شده [۷]. مشکلات محیط‌زیستی ناشی از رها سازی آنتی بیوتیک‌ها در منابع آبی تهدیدی جدی به شمار می‌رود که تعطیلی بسیاری از واحدهای تولیدی را حتی در کشورهای پیشرفته موجب شده است. نتایج نشان می‌دهد که آنتی بیوتیک‌ها در فرایندهای تصفیه بیولوژیکی به صورت کامل حذف نمی‌شوند و به آب پذیرنده می‌رسند. بیشترین اثر آنها، اثر سمیت در میکروارگانیسم‌های موجود در محیط زیست است که تعادل اکولوژی را بهم می‌زنند. به علاوه، وجود این مواد در محیط زیست باعث مقاومت میکروارگانیسم‌ها در برابر آنها می‌شود [۸]. همچنین اگر چه غلظت این مواد در آب شرب در حد نانوگرم و میکروگرم است ولی با ذخیره شدن این مواد در بدن طیور و دام امکان ایجاد بیماری برای انسان و حیوان را دارند. بیشتر از ۸۰ نوع مختلف مواد دارویی فعال در محیط زیست در غلظتهاز تا حد میکروگرم در خروجی واحدهای تصفیه فاضلاب، آبهای سطحی، آبهای زیرزمینی و آب شرب پیدا شده است [۹].

اغلب داروها بعد از استعمال تا بخشی به صورت متابولیزه نشده دفع شده و به فاضلاب شهری و تصفیه‌خانه فاضلاب وارد می‌شوند. سفالکسین یک آنتی بیوتیک سفالوسپورین است که در درمان گروه زیادی از بیماری‌های عفونی مثل عفونت‌های تنفسی، عفونت‌های گوش میانی، عفونت پوست و بافت نرم، عفونت‌های استخوانی یا مفصلی و عفونت‌های ادراری و تناسلی مؤثر است. همچنین برای افرادی که تحت عمل جراحی قرار گرفته‌اند و افراد دیگری که به هر علت مستعد عفونت هستند، استفاده می‌شود. از این رو میزان حضور آن در پساهای خانگی، بیمارستان‌ها و صنایع داروسازی بالا است. لذا در این تحقیق میزان حذف سفالکسین به‌کمک نانوذرات آهن در پساب دارویی بررسی شد. غلظت مواد دارویی در پساب دارویی بسیار بالا است و بهمین دلیل میزان ۱۰۰ ppm از سفالکسین برای این تحقیق استفاده شد.

هاشمی و صرافزاده در سال ۱۳۸۷ به منظور بازیابی آموکسی‌سیلین استفاده از سیستم‌های غشایی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در تحقیق مذکور امکان جداسازی آموکسی‌سیلین از پساب دارویی کارخانه داروسازی ذکریای تبریز به‌کمک سیستم غشایی از جمله نانو فیلترها بررسی شده و غشاهای مناسب برای انجام این جداسازی معروفی شده‌اند [۱۰].

شاه طالبی و همکاران در سال ۱۳۸۸ تصفیه پساب صنایع داروسازی و جداسازی آنتی بیوتیک (آموکسی‌سیلین) را توسط فرایند غشایی RO و NF مورد بررسی قرار داده‌اند [۱۱]. بازیافت آموکسی‌سیلین توسط غشاء نانو فیلتر بیشتر از ۹۸

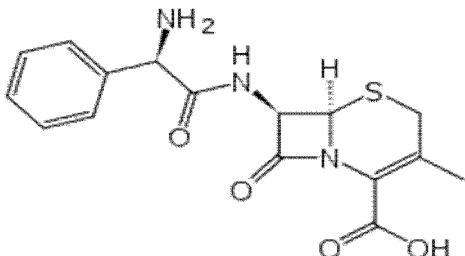
با رشد فراینده جمعیت و گسترش صنعت و کشاورزی در سالهای اخیر و کمبود آب سالم در جهان، ضرورت تصفیه و بازیابی مجدد آبهای مصرفی اهمیت خاصی پیدا کرده است [۱]. در گذشته نه چندان دور اهداف تصفیه‌خانه‌های آب آشامیدنی، کاهش مواد معلق و زدودن عوامل زنده بیماری‌زا در آب بود که با روش‌های متداول فیلتراسیون و گندزدایی قابل حصول بودند. لیکن با افزایش ترکیبات ازته، مواد آلی معدنی، مواد آلی محلول و فلزات سنگین به منابع آب، روش‌های متعارف جوابگوی نیازهای تصفیه‌خانه‌ها نبوده و لازم است از فرایندهای جدیدی در تصفیه‌خانه‌ها استفاده شود. اخیراً با ورود فناوری‌های نوین از قبیل زیست فناوری و فناوری نانو، مواد و راهکارهای جدید برای تصفیه آب و فاضلاب معرفی شده یا می‌شوند. امروزه عمدتاً فناوری نانو در تصفیه آب و فاضلاب با استفاده از مواد و فرایندهای زیر توسعه یافته است: نانوذرات آهن صفر ظرفیتی، زئولیت‌ها، نانوفیلتراسیون، نانو فتوکاتالیست‌ها، نانو مواد مغناطیسی، نانو سنسورها.

فلزات با ظرفیت صفر مانند Fe(0) و Al(0)، Sn(0)، Zn(0) و عوامل مؤثری برای تصفیه آبهای آلوده هستند و می‌توانند اکسید شده و با دادن الکترون باعث احیای آلانددها و تبدیل آنها به محصولات کم خطرتر یا حذف آنها شوند. در بین این فلزات استفاده از آهن با ظرفیت صفر (ZVI) بدليل فراوانی، ارزانی و غیر سمی بودن، واکنش سریع و توانایی و بازده بالا در تجزیه آلانددها در اولویت قرار دارد [۲]. ساز و کار حذف آلانددها توسط آهن صفر به‌وسیله واکنش‌های کاهشی انجام می‌شود. اندازه ذره یک ویژگی نسبتاً مهم در جذب واکنش با آلانددهاست [۳-۴].

چون واکنش‌های آهن صفر فرایندهایی هستند که به میزان سطح بستگی دارند، بنابراین هر چه اندازه ذره کوچک‌تر و سطح مقطع ذره بزرگ‌تر می‌شود، میزان واکنش پذیری این ذرات نیز افزایش می‌یابد [۵]. چگونگی تولید و استفاده از نانو ذرات آهن صفر در چند سال اخیر موضوع تعداد زیادی از تحقیقات بوده و به عنوان یکی از جدیدترین روشها در تصفیه و حذف آلانددها از آب و فاضلاب مقبولیت‌هایی پیدا کرده است [۲]. نانو ذرات آهن در تصفیه تعداد زیادی از آلانددهای موجود در آب شامل آنتی بیوتیک‌ها، ترکیبات کلردار نظیر آترازین، کلورو اتن، نیترات‌ها، آروماتیک، فلزات سنگین کروم، کیالت و آرسنیک به‌کار رفته است [۶].

بسیاری از ترکیبات آنتی بیوتیک مورد مصرف انسان و دام و همچنین آبزیان دارای درصد های بالا دفع به صورت تغییر نیافه و یا به صورت متابولیت‌های دارویی هستند. درصد قابل توجهی از داروهای مصرف نشده و یا تاریخ گذشته نیز از طرق مختلف به

حداکثر طول موج جذب λ_{abs} و $\text{pKa} = 5/2 - 7/3$ بود. سفالکسین، یک آنتی بیوتیک از نسل سفالوسپورین است. فرمول شیمیایی این دارو $\text{C}_{16}\text{H}_{17}\text{N}_3\text{O}_4\text{S}\cdot\text{H}_2\text{O}$ است و با توجه به حلال پذیر بودن این دارو در آب و عدم تخریب پذیری و تجزیه این آنتی بیوتیک توسط روشاهای متداول، شاهد انباسته شدن این ماده در پساب کارخانجات سازنده هستیم. شکل ۱ ساختار مولکولی سفالکسین را نشان می‌دهد. سایر مشخصات آن در جدول ۱ آمده است.



شکل ۱- ساختار مولکولی سفالکسین

مشخصات فاز متحرک به منظور اندازه‌گیری سفالکسین به شرح ذیل بود: آب (HPLC grade) ۲۵ میلی لیتر، استونیتریل (HPLC grade) ۲۴/۶ میلی لیتر، متانول (HPLC grade) ۱۲/۳ میلی لیتر، تری اتیل آمین (HPLC grade) ۳/۷ میلی لیتر و نانوذرات آهن صفر.

نتایج حاصل از SEM ذرات، اندازه ذرات تولید شده را در محدوده نانو نشان می‌دهد که در شکل ۲ نشان داده شده است. آنالیز XRD بر روی نمونه‌های تولیدی نیز در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج آنالیز نشان می‌دهد که در زاویه‌های $2\theta = 20^\circ, 31^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ و 75° منحنی دارای بالاترین پیک می‌باشد و طبق استاندارد نشان دهنده وجود آهن در نمونه است.

آزمایش‌های مربوط به XRD و SEM در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل LEO 1400 Sاخت شرکت LEO در کشور انگلستان و دستگاه XRD متعلق به شرکت بروکر آلمان بود.

نمونه‌های حاوی آنتی بیوتیک، در مجتمع آزمایشگاهی دانشگاه علوم و تحقیقات به دستگاه HPLC تزریق شد.

۳- روش کار

نانو ذرات به صورت روزانه و با افزودن قطره قطره محلول بوروهیدرید سدیم (NaBH_4) ۱/۶ مولار به محلول کلرید فریک (FeCl₃) ۱/۰ مولار در دمای محیط ستز شد.

درصد و کاهش COD حدود ۴۰ درصد بود. در حالی که توسط غشاء RO حذف آموکسی سیلین و کاهش COD حدود ۹۸ درصد بود.

آدامز در سال ۲۰۰۲ روشاهای انعقاد به کمک نمکهای فلزی، نرم سازی با آهک، جذب به وسیله کربن فعال پودری، کلرزنی، ازن زنی و استفاده از اشعه ماوراء بنفش را برای حذف آنتی بیوتیک‌های مختلف از آب آشامیدنی مورد استفاده قرار داده است [۱۲].

هافل در سال ۱۹۹۷ سه روش اکسیداسیون پیشتر فته (UV, Fe^{2+}/S) را برای حذف هالوژن آلی قابل جذب و COD فاضلابهای دارویی مورد استفاده قرار داد. نتایج نشان داد که در شرایط آزمایش، فرایند فنتون نیاز به کوتاه‌ترین زمان واکنش داشته و مناسب‌ترین روش برای تجزیه مقدار COD بوده است. وی تفاوت زیادی بین دو روش استفاده از آب اکسیژنه همراه با اشعه ماوراء بنفش و استفاده از ازن همراه اشعه ماوراء بنفش مشاهده ننمود. در حالی که استفاده از ازن به تنها بی‌سیار کنترل موجب تجزیه ترکیبات مورد نظر شد.

کومر در سال ۱۹۹۷ تصفیه فاضلاب‌های بیمارستانی و دارویی را در واحدهای متعدد تصفیه خانه‌های آلمان مورد مطالعه قرار داد. این تحقیق نشان داد که بسیاری از داروهای طی فرایندهای بیولوژیکی متداول قابل تجزیه نیستند و همچنین به وسیله لجن فاضلاب جذب نمی‌شوند. البته برخی فرایندهای تصفیه شیمیایی / بیولوژیکی بیشتر مؤثر به نظر می‌رسند [۱۳].

گارسیا در سال ۱۹۹۵ از روش هضم هوایی به همراه فیلتراسیون کربن فعال و اسمز معکوس برای کاهش COD و TSS فاضلابهای آلوده به مواد دارویی تا حدود ۸۰ درصد استفاده نمود [۱۴].

در مطالعه دیگری در سال ۲۰۰۸ که بر روی حذف آموکسی سیلین و آمپی سیلین به کمک میکرو و نانو ذرات آهن تحقیقاتی انجام شد، طی ۳ ساعت تماس با ZVI آموکسی سیلین به طور کامل ناپدید شد. آمپی سیلین نسبت به آموکسی سیلین در برابر حذف توسط ZVI مقاوم تر بود [۱۵].

هدف اصلی از این تحقیق بررسی عملکرد نانو ذرات آهن در حذف آنتی بیوتیک‌ها از فاضلابهای صنعت دارویی بود.

۲- مواد و روشها

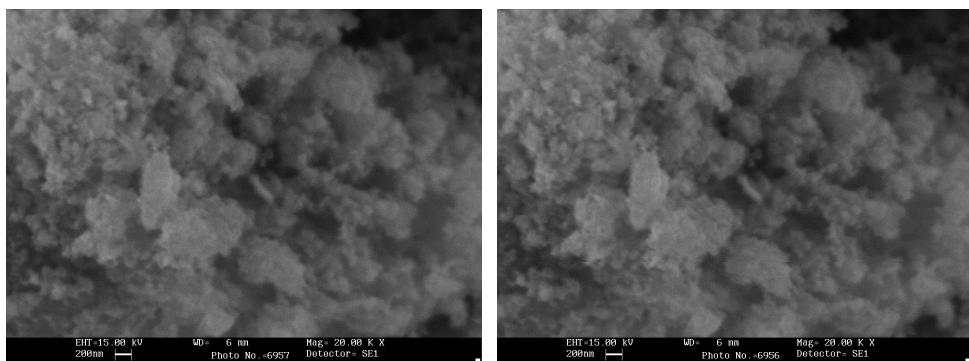
مواد اصلی در این تحقیق شامل کلرید آهن، بوروهیدرید سدیم و هیدروکسید سدیم بود که کلیه مواد مورد استفاده از محصولات شرکت Merck¹ است.

پودر سفالکسین یک آبه از شرکت داروسازی لقمان تهیه شد.

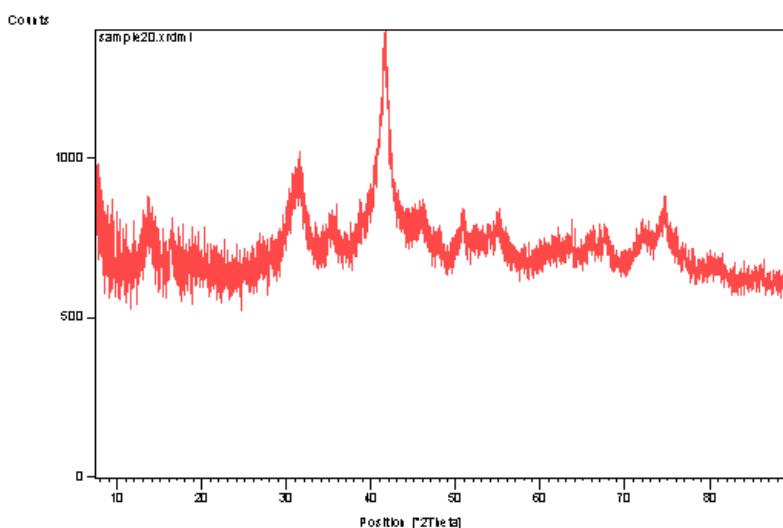
¹ Merck

جدول ۱- نتیجه آزمایش سفالکسین ارائه شده از شرکت آنتی بیوتیک سازی ایران

مشخصات	نتایج	محدوده	مرجع
شرح	+	سفید به خارج از پودر بلوری سفید.	USP ₃₀
حلالیت	+	کمی در آب محلول است. عملاً نامحلول در الکل	USP ₃₀
مشخصات	+	+	USP ₃₀
درصد آب	%۶/۳	%۴-۸	USP ₃₀
pH	۴/۵۹	%۳-۵/۵	USP ₃₀
مشخصات نوری	+۱۵۲°	+۱۴۹° الی +۱۵۸°	USP ₃₀
قابلیت کریستال شدن	+	متناوب با نیاز	USP ₃₀
توان	۹۹.۰	۹۵۰-۱۰۳۰ µg/mg	USP ₃₀
(اساس بدون آب)			
مواد وابسته (R.S)	بله	$\leq ۰.۰\%$	USP ₃₀
R.S کل	بله	$\leq ۱\%$	
R.S هر یک از			
مواد آلی فوار	بله	۶۰۰ ppm	USP ₃₀
متینن کلراید	بله	۵۰۰ ppm	
استن			بر طبق USP ₃₀
سایر ناخالصی ها			



شکل ۲- تصاویر SEM از نانوذرات آهن سنتز شده



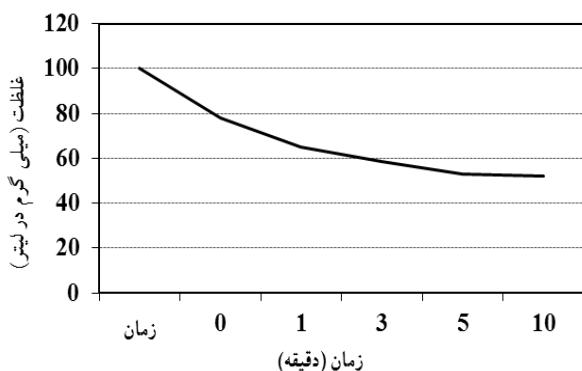
شکل ۳- تصویر XRD از نانوذرات آهن سنتز شده

کروماتوگرافی مایع (HPLC) تعیین شد. آزمایش‌ها دو بار تکرار شدند و نتایج مشابهی به دست آمد که صحت انجام آزمایش را نشان می‌دهد. با توجه به این که غلظت مواد دارویی در پساب دارویی بسیار بالا است، بهمین دلیل میزان ۱۰۰ ppm از سفالکسین برای این تحقیق استفاده شد.

۴-نتایج

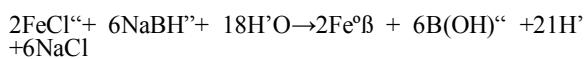
۴-۱-اثر زمان تماس

با افزایش زمان تماس کارایی حذف سفالکسین افزایش می‌یابد. همان‌طور که گفته شد غلظت اولیه سفالکسین ۱۰۰ ppm است که بعد از تماس با نانوذرات آهن میزان آن کاهش یافت و در زمان ۱۰ دقیقه به کمترین میزان خود یعنی به $52/85$ میلی‌گرم رسید. بعد از این زمان میزان سفالکسین تغییر محسوسی نداشت. این افزایش کارایی حذف با گذشت زمان، به این دلیل است که با گذشت زمان ایجاد حفره و خورددگی در سطح آهن بیشتر شده در نتیجه سطح مقطع جذب و کارایی حذف نیز افزایش می‌یابد [۱۸]. شکل ۴ تغییرات غلظت سفالکسین با غلظت ۱۰۰ ppm با زمان تماس (۱، ۵، ۲۰، ۱۰۰ و ۳۰۰ دقیقه با $8/0$ گرم نانوذره آهن را نشان می‌دهد.



شکل ۴- زمان تعادل سفالکسین (۱۰۰ ppm)
در تماس با نانوذرات آهن صفر

برای ساخت محلول کلرید فریک از آب مقطر استفاده شد. محلول بوروهیدرید سدیم می‌تواند به وسیله آب یا محلول سود ساخته شود. چون بوروهیدرید سدیم در آب ناپایدار بوده و قدرت احیاکنندگی خود را سریعاً از دست می‌دهد، بنابراین در این تحقیق از محلول سود ۱/۰ مولار برای ساخت محلول مورد نیاز بوروهیدرید سدیم استفاده شد. پس از آماده‌سازی، محلول بوروهیدرید سدیم به صورت قطره قطره و در شرایط اختلاط شدید در مدت زمان ۳۰ دقیقه به محلول کلرید فریک افزوده شد. در زمان واکنش درب ظرف واکنش کاملاً بسته شده تا سنتز نانوذرات در شرایط خلاص گیرد. بوروهیدرید سدیم طبق رابطه زیر با کلرید فریک واکنش داده و سبب احیاء Fe° به Fe° می‌شود.



پس از وقوع این واکنش، نانوذرات آهن به صورت ذرات سیاه رنگ بسیار ریزی تنهیش می‌شود [۱۶ و ۱۷]. این واکنش در زیر هود انجام شد، زیرا در اثر واکنش‌های شیمیایی، گاز هیدروژن به عنوان محصول جانبی تولید می‌شود. علاوه بر این باید به منظور اختلاط ظرف واکنش از یک همزن مقاوم به انفجار استفاده نمود تا امکان جرقه کاهش یابد.

پس از تهیه پودر خالص سفالکسین، محلول سفالکسین با غلظت اولیه ۲۰۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه شد. سپس از این محلول مادر، محلول‌هایی با غلظت ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۴۰، ۳۰، ۲۰، ۱۰ میلی‌گرم در یک ظرف پارامترهایی از جمله غلظت اولیه محلول (۱۰-۱۰۰، ۴۰-۳۰، ۵۰-۲۰، ۳۰-۱۰)، pH (۱۱، ۹.۶، ۷.۵، ۳.۰، ۱.۰)، مقادیر مختلف جاذب (۰/۱، ۰/۵، ۰/۸، ۰/۲۰، ۰.۵، ۰.۳، ۰.۱)، زمان (۳۰۰، ۲۰۰، ۱۰۰، ۵۰، ۳۰، ۲۰ دقیقه در دمای ثابت ۱۵۰ rpm) قرار گرفت و شرایط بهینه به دست آمد. در هر مرحله با تغییر دادن یک پارامتر و ثابت نگهداشتن سایر پارامترها میزان جذب آنتی‌بیوتیک توسط نانوذرات آهن مورد بررسی قرار گرفت و غلظت آنتی‌بیوتیک موجود در هر نمونه توسط دستگاه

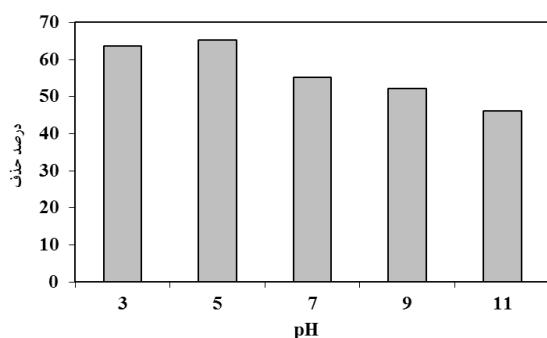
جدول ۲- مقادیر ایزوترم فرونولیچ- جذب بیولوژیکی سفالکسین توسط نانوذرات آهن صفر

۱/Ce	۱/X/M	logCe	logX/M	X/M	X	Ce	C1
۰/۱۶۶۶۶۷	۰/۲	۰/۷۷۸۱۵۱	۰/۶۹۸۹۷	۵	۴	۶	۱۰
۰/۰۵۲۶۳۲	۰/۰۷۲۷۷۲۷	۱/۲۷۸۷۵۴	۱/۱۳۸۳۰۲۷	۱۳/۷۵	۱۱	۱۹	۳۰
۰/۰۵۰۰۲۵	۰/۰۳۹۹۸	۱/۳۰۰۸۱۳	۱/۳۹۸۱۵۷۱	۲۵/۰۱۲۵	۲۰/۰۱	۱۹/۹۹	۴۰
۰/۰۴۱۹۹۹	۰/۰۳۰۵۴۶	۱/۳۷۶۷۵۹	۱/۵۱۵۰۴۵۵	۳۲/۷۳۷۵	۲۶/۱۹	۲۳/۸۱	۵۰
۰/۰۳۶۲۹۸	۰/۰۲۴۶۵۳	۱/۴۴۰۱۲۲	۱/۶۰۸۱۲۴۷	۴۰/۵۶۲۵	۳۲/۴۵	۲۷/۵۵	۶۰
۰/۰۲۲۷۷۷	۰/۰۱۴۲۸۶	۱/۶۴۳۴۵۳	۱/۸۴۰۹۸	۷۰	۵۶	۴۴	۱۰۰

۴-۲- غلظت نانو ذره

این آزمایش در سه غلظت نانو ذره بررسی شد که در غلظت ۱/۰ گرم نانو ذرات آهن درصد حذف ۹/۰۶، غلظت ۵/۰ گرم نانو ذرات آهن درصد حذف ۱۷/۶۶ و در غلظت ۸/۰ گرم نانو ذره درصد حذف به ۴۵/۲۹ رسید. یعنی با افزایش غلظت نانو ذرات آهن درصد حذف سفالکسین افزایش یافت.

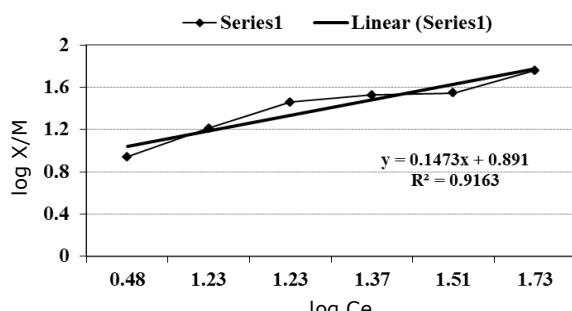
شکل ۵ درصد حذف سفالکسین با غلظت ۱۰۰ ppm در مدت زمان تماس ۱۰ دقیقه توسط نانو ذرات آهن را نشان می‌دهد.



شکل ۶- درصد حذف سفالکسین (۱۰۰ ppm)، زمان ۱۰ دقیقه، توسط ۰/۰ گرم نانو ذرات آهن صفر بر حسب pH

۴-۳- بررسی ایزوترم جذب- فروندلیچ

نتایج بررسی ایزوترم فروندلیچ جذب بیولوژیکی سفالکسین توسط نانو ذرات آهن صفر، در شکل ۷ و جدول ۲ نشان داده شده است.

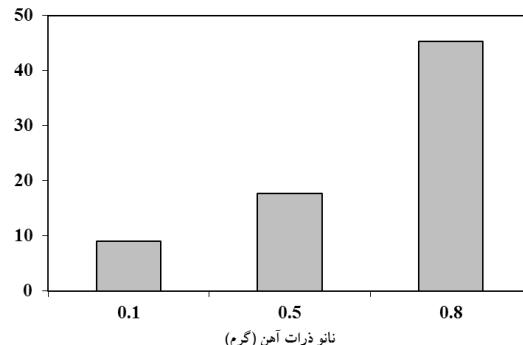


شکل ۷- ایزوترم فروندلیچ- جذب بیولوژیکی سفالکسین توسط نانو ذرات آهن صفر

نانو ذرات به دلیل اندازه کوچک و ساختار مولکولی و یا اتمی منحصر به فرد خود از ویژگی‌های مکانیکی، مغناطیسی، نوری، الکترونیکی، کاتالیتیکی و شیمیایی ویژه و مشخصی برخوردار هستند. این خصوصیات سبب کاربرد روزافزون آنها در تصفیه آلاینده‌های زیست محیطی شده است. اندازه کوچک نانو ذرات آهن، موجب توزیع زیر سطحی مؤثر و آسان آنها می‌شود. در حالی که سطح مقطع بزرگ آنها سبب واکنش پذیری بالای آنها و تخریب سریع آلاینده‌ها می‌شود. مکانیسم حذف آلاینده‌ها توسط نانو ذرات آهن به این صورت است که این نانو ذرات، آلاینده‌ها را به محصولات کم خطرتر احیا نموده و سپس آنها را بر روی خود جذب می‌کنند [۱۷].

۵- نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان می‌دهد نانو ذرات آهن، سفالکسین را در مدت زمان کوتاهی از آب حذف می‌کنند و این



شکل ۵- درصد حذف سفالکسین (۱۰۰ ppm)، زمان ۱۰ دقیقه و غلظت‌های متفاوت نانو ذرات آهن

۴-۳- اثر pH

همانطور که از نتایج به دست می‌آید، بیشترین جذب در pH اسیدی صورت گرفت. در pH اسیدی درصد حذف افزایش یافت و به ۳/۰۳ درصد رسید در صورتی که با افزایش pH در حدود ۱۱ درصد حذف به ۴۳/۳ درصد رسید.

شکل ۶ درصد حذف سفالکسین با pH های متفاوت توسط نانو ذرات آهن را نشان می‌دهد.

با توجه به ساختار مولکولی سفالکسین و دارا بودن پیوند هیدروکسید و آمین، سفالکسین تمایل به جذب بار مثبت دارد به همین دلیل وقتی pH کم می‌شود و میزان بار مثبت محیط افزایش می‌یابد، سفالکسین با جذب بار مثبت تغییر ساختار داده و حذف می‌شود. با توجه به ضریب حلایلت سفالکسین، با کاهش pH حلایلت سفالکسین افزایش می‌یابد. در pH های اسیدی سطح آهن فلزی به طور دائم تمیز نگه داشته می‌شود به طوری که آهن دائم احیا شده و بنابراین تولید الکترون آزاد ادامه خواهد داشت. در تحقیق بهروزی نوید و همکاران بر روی حذف آنتی بیوتیک مترونیدازول از پساب کارخانه‌های داروسازی به روش اکسیداسیون پیشرفت UV/H₂O₂ در pH برابر ۴ بیشترین سرعت حذف آنتی بیوتیک مترونیدازول صورت گرفت [۱۹].

با وجود مزایای زیاد نانو ذرات، به خصوص نانو ذرات آهن، به مشکلاتی از قبیل هزینه عملیاتی تولید انبوه این ذرات برای تصفیه، حجم زیادی از آب و نیز اثرات مضر احتمالی آن بر محیط زیست و انسان می‌توان اشاره کرد.

۶- قدردانی

این تحقیق در قالب پایان‌نامه در واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی تهران انجام شده است و بدینوسیله از مسئولین محترم آن دانشگاه و آزمایشگاه‌های مربوطه تشکر و قدردانی می‌شود.

روش می‌تواند به عنوان روش جدید برای تصفیه در منبع و در محل تصفیه خانه آب مورد استفاده قرار گیرد. همان‌طور که از نتایج مشخص است با افزایش زمان تماس و غلظت نانو ذرات کارایی حذف افزایش می‌یابد به طوری که در زمان تماس ۱۰ دقیقه به تعادل می‌رسد. علت آن افزایش محل‌های فعال سطحی جذب و امکان برخورد بیشتر بین سفالکسین با نانو ذرات آهن و افزایش واکنش‌های اکسیداسیون و احیا است.

با افزایش میزان غلظت نانو ذرات آهن میزان جذب نیز افزایش یافت. همچنین بیشترین جذب سفالکسین در pH اسیدی صورت گرفت.

۷- مراجع

1. Tebbutt, T.H.Y. (2005). *Principles of water quality control.*, Nezameddine Daneshvar, Tabriz University Press, Tabriz.
2. Sung, H., and Francis, I. (2006) "Nanotechnology for environmental remediation." *J. Springer Science*, 3, 5-17.
3. U.S. EPA.(2005). *Workshop on nanotechnology for remediation*, U.S. Department of Commerce Washington, DC., 20-21.
4. Sherman, M.P., Johng, D., and Thomas, M. (2000). "Remediation of Cr(6+) and Pb(2+) aqueous solutions using supported nanoscale zero valent iron." *Environmental Science and Technology*, 34, 2564-2569.
5. Zhong, X., Dongye, Z., and Gang, P. (2007). "Rapid and complete destruction of perchlorate in water and ion exchange brine using stabilized zero valent iron nanoparticles." *Research*, 41, 3497-3505.
6. Antoine, G., Almuthanna, T., and Hala, A. (2009). "Antibiotic removal from water: Elimination of amoxicillin and ampicillin by micro scale and nanoscale iron particles." *Environmental Pollution*, 157, 1626-1635.
7. Shooshtari, A., and Amin, M.M. (2006). "Evaluate and compare the effectiveness of different methods of waste removal treatment (antibiotics and hormones) of drinking water." *Environmental Engineering Conference*, Tehran, 2-3. (In Persian)
8. Mohebrad, B., Ghaneeyan, M.T., and Afsharkohan, N. (2010). "To determine the effect of antibiotics on plants in the pharmaceutical industry in the use of water for agriculture." *Second National Seminar on Role of Recycled Water and Wastewater Management*, Mashhad, 2. (In Persian)
9. Nabi Bidhendi, Gh., Torabian, A., and Janghorban, M. (2009). "Evaluation and measurement of drug in pharmaceutical wastewater treatment plants and methods of their elimination." *Third Conference and Exhibition of Environmental Engineering*, Tehran. (In Persian)
10. Hashemi, S.H., and Sarrafzadeh, H. (2008). "The use of member systems of retireve amoxicillin and remove harmful organic material from wastewater treatment plant." *2nd Environmental Engineering Conf. and Exhibition*, Tehran University, Tehran. (In Persian)
11. Shahtalebi, A., Sarrafzadeh, H., and Rahmani, M.M. (2009). "The effect of operating conditions on the performance of membrane separation of cephalexin pharmaceutical wastewater by nano-filtration process." *The 5th Congress of Nanotechnology*, Tehran University of Medical Sciences, Tehran. (In Persian)

12. Adams, C., Wang, Y., Lftin, K., and Mayer, M. (2002). "Removal of antibiotics from surface and distilled water in conventional water treatment process." *J. of Environmental Engineering*, 128 (3), 253-260.
13. Kummerer, K., Al-Ahmad, A., and Daschnr, F. D. (1997). "Biodegradability of the anti-tumour agents 5-fluorouracil, cytarabine and gemcitabine : Impact of the chemical structure and synergistic toxicity with hospital effluents." *Acta Hydrobiol.*, 25, 166-172.
14. Grassian, H., Sany, W., Li, C., Wicki, S., and Larsen, C. (2005b). "Development of improved materials for environmental applications : Nanocrystallizing Nay zeolites." *Enviornmental Scinecs and Tech.*, 39 (5), 1214-1220.
- 15- Antoine, G., Almuthanna, T., and Hala, A. (2009). "Antibiotics removal from water: Elimination fo amoxicillin and ampicillin by microscale and nanoscale iron particles." *Environmental*, 157, 1626-1635.
16. Joo, S.H., and Cheng, I.F. (2006). *Nanotechnology for environmental remediation*, Springer Science-Business Media, NY, USA.
17. Lia, X.-Q., and Elliotta, D. W. (2006). "Zero-valent iron nanoparticles for abatement of environmental pollutants: Materials and engineering aspects." *Critical Reviews in Solid State and Materials Science*, 31, 111-122.
18. Konstantina, T., and Elpida, P. (2007). "Modeling of arsenic immobilization by zero valent iron." *Soil Biology*, 43, 356-367
19. Behrozinavid, M. (2011). "Removal of antibiotic metronidazole pharmaceutical plant effluent by advanced oxidation UV/H₂O₂." Islamic Azad University, Tehran North Branch.(In Persian)