بررسی عملکرد نانوذرات آهن در کاهش بار آلی فاضلاب

امیرحسام حسنی[1]، علی ترابیان[2]، سید مصطفی خضری[3]، مریم محمدی‌نیا[4]، رضا سرهادی[5]

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
۲- استاد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران
۳- استادیار، دانشکده مهندسی محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات تهران
(نویسنده مسئول) maryammohamadiniya@gmail.com
۵- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم وتحقیقات همدان

(دریافت ۹۳/۹/۲۴ پذیرش ۹٤/٤/۱٤)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام شود:

Hassani, A. H., Torabian, A., Khezri, S.M., Mohammadi Nia, M. & Sarhadi, R., 2017, "Performance of Iron nanoparticles in removing BOD from wastewater", *Jourral of Water and Wastewater*, Vol. 28 No. 2 (108), 22-28. (In Persian)

چکیده

امروزه فناوری‌های نانو در علوم مختلف کاربرد پیدا کرده و به‌ویژه برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی به‌کار می‌رود. در این تحقیق نانوذرات آهن به‌روش احیای کلرید فریک توسط بوروهیدرید سدیم سنتز شد و تأثیر تغییرات زمان ماند، غلظت نانوذره، غلظت BOD و pH بر راندمان حذف BOD از فاضلاب بررسی شد. برای تعیین زمان تماس بهینه، در دو غلظت فاضلاب با BOD_5های مشخص، مقدار معینی از نانوذره آهن در زمان‌های ۱۵ تا ۱۸۰ دقیقه اضافه شد و زمان تماس بهینه تعیین شد. پس از آن در زمان تماس بهینه، مقادیر متفاوتی از نانوذره آهن در دو مرحله به فاضلاب با BODهای ثابت اضافه شد و راندمان حذف BOD فاضلاب بررسی شد. سپس در زمان تماس بهینه، مقادیر ثابت نانوذره آهن به فاضلاب با BODهای مختلف اضافه شد و راندمان حذف BOD فاضلاب بررسی شد. در آخر نیز در زمان تماس بهینه، مقادیر متفاوت نانوذره به فاضلاب با BODهای مختلف اضافه شد و اثر تغییرات pH در هر مرحله بر راندمان حذف BOD از فاضلاب مشخص و pH بهینه تعیین شد. زمان تماس بهینه ٤٥ دقیقه، میزان نانوذره بهینه در نمونه‌های با BOD_5 معادل ۱۱٦و ۳۵ میلی‌گرم در لیتر، ۳ گرم و در نمونه‌های با BOD_5 معادل ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر، ۵ گرم، غلظت BOD بهینه ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر و میزان pH بهینه ۳ تعیین شد. در زمان تماس بهینه هرچه بار آلودگی بالاتر باشد و میزان نانوذرات نیز بالاتر رود، در pH اسیدی بهترین میزان حذف آلودگی را می‌توان داشت.

واژه‌های کلیدی: نانوذرات آهن صفر، BOD، فاضلاب

۱- مقدمه

با توجه به واقع شدن ایران در ناحیه بیابانی و نیمه بیابانی، استفاده مجدد از آب و تصفیه فاضلاب به‌صورت هدفمند حائز اهمیت است. تاکنون در کشور کارهای پژوهشی خوبی در مورد روش‌های تصفیه فاضلاب انجام شده است (Leyli et al. 2010)

نانوفناوری کمک شایانی به حذف بسیار مؤثر و ارزان آلودگی‌های آبی مانند فلزات، مواد شیمیایی آلی هالوژنه، ذرات معلق و میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا می‌کند (Salavati Nyiasary & Sabet 2010). نانوذرات به‌دلیل سطح مؤثر بالا قادر به جذب آلاینده‌ها و حذف آنها می‌باشند(Sayiad Jahromi 2010). چالش‌های فراوری این فناوری شامل تحقیقات بیشتر برای تعیین روش‌هایی است که پایداری نانوذرات را برای استفاده در حذف آلودگی‌ها افزایش می‌دهد. همچنین نیاز به توسعه روش‌های تولید برای تهیه این گونه مواد وجود دارد (Salavati Nyiasary & Sabet 2010)

در محدوده نانو (ابعادی بین ۱ تا ۱۰۰ نانومتر) برخی از خواص ذرات دچار تغییرات عمده‌ای می‌شود. از این جمله می‌توان به افزایش نسبت سطح به حجم، واکنش پذیری، خواص الکتریکی، مغناطیسی نوری و غیره اشاره کرد. روش ساخت، نقش بسیار اساسی در خواص، ساختار و ترکیب شیمیایی نانوذرات دارد. مهم‌ترین هدف در این راستا تولید نانوذرات با کیفیت و خلوص بالا و یافتن روشی ساده و قابل کنترل با قابلیت‌های یک محصول تجاری است (Habashi 2010).

BOD مشخص کننده نرخ مصرف اکسیژن توسط ارگانیسم‌های

Archive of SID
www.SID.ir

داخل آب بوده و اندازه‌گیری آن می‌تواند کیفیت آب را مشخص نماید (Abaspour 1997). در این تحقیق از نانوذرات آهن برای کاهش بار آلی فاضلاب استفاده شد به این ترتیب که با اعمال تغییرات معین در پارامترهای تعریف شده و سپس با اندازه‌گیری BOD در هر مرحله، راندمان کاهش بار آلی فاضلاب بررسی شد.

Rahmani et al. در سال ۱۳۸۹ در مورد سنتز نانوذرات آهن صفر و بررسی کارایی آن در حذف آرسنیک از محیط‌های آبی تحقیق نمودند. نتایج نشان داد که در pH حدود ۷ و با غلظت ۱ گرم در لیتر نانوذرات آهن، می‌توان در زمان ماند ۱۰ دقیقه بیش از ۹۹ درصد آرسنیت و آرسنات را از محیط آبی حذف نمود. همچنین کارایی حذف با افزایش غلظت نانوذرات آهن و زمان تماس، افزایش و با افزایش غلظت آرسنیک و pH کاهش یافت (Rahmani et al. 2011).

تحقیق دیگر در مورد بررسی عملکرد نانوذرات آهن در حذف سرب از محیط‌های آبی توسط معزی در دانشگاه علوم تحقیقات تهران در سال ۱۳۹۰ انجام شد. در این پژوهش مشخص شد که زمان ماند بهینه ۱۰ دقیقه، میزان نانوذره بهینه تا غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر ۰/۱ گرم و در غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر ۰/۲ گرم می‌باشد. همچنین میزان غلظت سرب بهینه ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و میزان pH بهینه ۱۱ گزارش شد (Moezi 2011).

از دیگر تحقیقات صورت گرفته تأثیر نانوذرات آهن صفر ظرفیتی بر جمعیت باکتریایی آب رودخانه در سال ۲۰۱۰ توسط بارنز و همکاران است. در این تحقیق اثر ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر نانو ذرات آهن بر تنوع و ساختار جمعیت باکتریایی بومی رودخانه بررسی شده است. نانوذرات آهن باعث ایجاد تغییرات ژنتیکی باکتری‌ها و تغییرات شیمیایی مثل کاهش در پتانسیل اکسیداسیون و احیا (۱۹۶ تا ۲۸۱ میلی‌ولت) و اکسیژن محلول (۰/۶ تا ۸/۲ میلی‌گرم در لیتر) می‌شوند که هر دو در طول آزمایش تثبیت شد. نتایج نشان داد که رابطه بین کاهش pH و افزایش ماندگاری سلول باکتری از ویژگی‌های یک جامعه میکربی فعال شده است و علی‌رغم رشد باکتریایی، اضافه کردن نانوذرات آهن صفر روی ساختار جامعه باکتریایی تأثیر نمی‌گذارد (Barnes et al. 2010).

Crane et al. در سال ۲۰۱۱ در مورد تأثیر نانوذرات آهن صفرظرفیتی در بازسازی آب آلوده به اورانیوم تحقیق نمودند. در این پژوهش یک مطالعه مقایسه‌ای در مورد استفاده از نانوذرات آهن صفرظرفیتی، نانوذرات مگنتیت و اشعه X انجام شده است. نتایج نشان داد که اورانیوم به وسیله نانوذرات آهن صفر به میزان ۱۰ میکروگرم در لیتر (بیشتر از ۹۸ درصد) در عرض ۲ ساعت کاهش یافت و به استاندارد سازمان جهانی بهداشت[1] و آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا[2] در مورد آبهای آشامیدنی رسید. اشعه X هم همین نتیجه را تأیید نمود. در مقابل نانوذرات Fe_3O_4 موفق به حذف بیشتر از ۲۰ درصد اورانیوم از آب شدند. بنابراین نانوذرات آهن صفر نتایج بهتری را دربر داشت.

این تحقیق با هدف کاهش بار آلی فاضلاب به‌وسیله نانوذرات آهن انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق تأثیر نانوذرات آهن در کاهش بار آلی فاضلاب مورد بررسی قرار گرفت.

مواد مورد استفاده در سنتز نانو ذرات آهن شامل کلرید آهن سه ظرفیتی ۶ آبه، سدیم برو هیدراید، هیدروکسیدسدیم، اسیدکلریدریک و متانول بود.

محلول اسید هیدرکلریدریک و محلول سود برای تنظیم pH نمونه‌ها، متانول به‌منظور شستشوی نانوذرات آهن و جلوگیری از اکسید شدن آنها، شیرخشک و شکر برای تهیه فاضلاب استفاده شد.

دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل موارد زیر بود:

برای اندازه گیری BOD از دستگاه اندازه‌گیری BOD مدل هچ[3] محصول آمریکا، برای مخلوط کردن مواد با یکدیگر از شیکر با مدل yellow line، برای وزن کردن مواد از ترازو با مدل کرن[4] آلمان و برای اندازه‌گیری pH از دستگاه اندازه‌گیری pH با مدل متراهم 744 محصول کشور سوئیس استفاده شد.

۲-۱- روش سنتز نانوذرات آهن

در این پژوهش نانوذرات آهن با ظرفیت صفر از طریق احیاء آهن سه ظرفیتی به آهن صفر ظرفیتی به‌وسیله واکنش احیایی کلریدفریک ۰/۱ مولار با بوروهیدرید سدیم ۰/۱۶ مولار به‌صورت رابطه ۱ تولید شد (Abaspoor 1997).

(۱)

$$2FeCl_3 + 6NaBH_4 + 18H_2O \rightarrow 2Fe_{(s)} + 613(OH)_3 + 21H_2 + 6NaCl$$

بعد از این واکنش نانوذرات آهن با ظرفیت صفر به‌صورت ذرات سیاه رنگ بسیار ریز ته‌نشین شدند.

پس از آماده‌سازی محلول‌ها با افزودن قطره قطره از محلول بوروهیدریدسدیم به داخل محلول درحضور شیکر، سنتز نانوذرات

[1] World Health Organization (WHO)
[2] U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)
[3] Hach
[4] Kern

Archive of SID
www.SID.ir

آهن تحت شرایط اتمسفر صورت گرفت.

سپس مدتی زمان داده شد تا نانوذرات آهن تولید شده در محلول ته‌نشین شوند و بعد، محلول روی نانوذرات تخلیه شد و ۲ تا ۳ بار با متانول شسته شد و در آخر در داخل شیشه درب دار ریخته شد و روی نانوذرات متانول ریخته شد تا اکسید نشوند.

۲-۲- روش انجام آزمایش‌ها

فاضلاب مورد بررسی در این تحقیق ساخته شده از شیر خشک و شکر بود. نسبت‌های ترکیب شیر خشک و شکر طبق رابطه استاندارد موجود در روش کار آزمایشگاه می‌باشد. برای تعیین زمان تماس بهینه، مقدار ۰/۵ و ۱ گرم نانوذره آهن به‌ترتیب به فاضلاب با BOD معادل ۳۴ و ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و در زمان‌های تماس ۱۵ تا ۱۸۰ دقیقه اثر تغییر زمان تماس بر راندمان حذف BOD فاضلاب بررسی شد. در مرحله بعد در زمان تماس بهینه به‌دست آمده، مقدار ۰/۵،۱،۱.۵،۲و۳گرم نانوذره آهن در دو مرحله جداگانه، به دو غلظت فاضلاب خام با BOD معادل ۳۵ و ۱۱۶ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و مقدار ۱،۲،۳،۴و۵گرم نانوذره به فاضلاب با غلظت ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و اثر تغییرات غلظت نانوذرات آهن بر راندمان حذف BOD فاضلاب بررسی شد. در مرحله بعد در زمان تماس بهینه به‌دست آمده، مقدار ثابت ۱ گرم نانوذره آهن به فاضلاب با مقادیر مختلف BOD معادل ۱۲۴،۱۱۶،۱۱۰،۱۰۴،۹۰،۶۷،۴۲،۳۵،۲۲و۲۸۹میلی‌گرم در لیتر و ۳گرم نانوذره آهن به نمونه‌های با BOD معادل ۱۱۶،۱۰۴،۳۵و۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و اثر تغییرات BOD بر عملکرد نانوذرات آهن در حذف BOD از فاضلاب مورد نظر بررسی شد. در مرحله آخر نیز در زمان تماس بهینه، مقدار ۰/۵،۱،۲ و۴گرم نانوذره به‌ترتیب به سه غلظت فاضلاب خام با BOD معادل ۱۱۶،۴۲و۲۸۹میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و اثر تغییرات pH (۷،۹،۳.۵ و ۱۱) در هر مرحله بر راندمان حذف BOD از فاضلاب مشخص و pH بهینه تعیین شد (Clesceri et al. 1998).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- زمان تماس بهینه

به‌منظور تعیین زمان تماس بهینه ابتدا مقدار ۰/۵ و ۱ گرم نانوذره آهن به‌ترتیب به دو غلظت فاضلاب خام با BOD_5 معادل ۳۴ و ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر، اضافه شد و در زمان‌های تماس ۱۵ تا ۱۸۰ دقیقه، اثر تغییر زمان تماس بر راندمان حذف BOD فاضلاب بررسی شد. با توجه به اینکه در غلظت‌های ۳۴ و ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین میزان حذف BOD در زمان ۴۵ دقیقه صورت گرفت، بنابراین زمان ۴۵ دقیقه به‌عنوان زمان بهینه تعیین شد. شکل‌های ۱ و ۲ و جدول‌های ۱و ۲ اثر تغییرات زمان تماس بر عملکرد نانوذرات آهن در حذف BOD_5 نمونه خام را نشان می‌دهند.

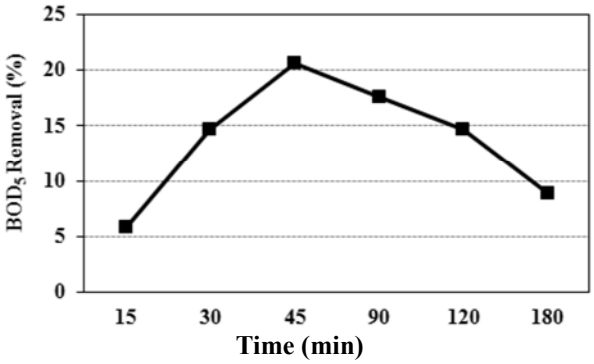

Fig. 1. Contact time effect on performance of iron nano-particles in removing BOD_5 from raw sample (The concentration of BOD_5 in raw sample is 34 mg\L and the nano-particle concentration is 0.5 g/l)

شکل ۱- اثر تغییرات زمان تماس بر عملکرد نانوذرات آهن در حذف BOD_5 نمونه خام

(غلظت BOD_5 نمونه خام ۳۴ میلی‌گرم در لیتر و غلظت نانوذره۰/۵ گرم در لیتر)

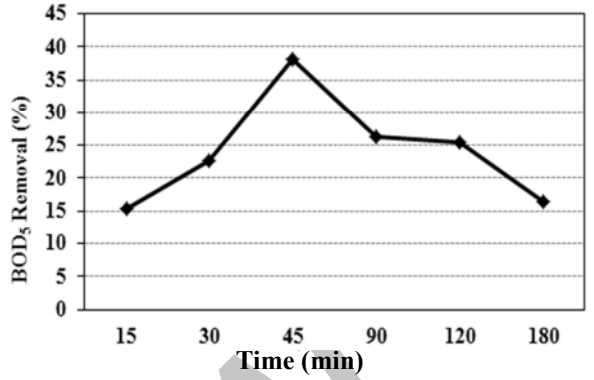

Fig. 2. Contact time effect on performance of iron nano-particles in removing BOD_5 from raw sample (The concentration of BOD_5 in raw sample is 110 mg\L and the nano-particle concentration is 1 g/l)

شکل ۲- اثر تغییرات زمان تماس بر عملکرد نانو ذرات آهن در حذف BOD_5 نمونه خام

(غلظت BOD_5 نمونه خام ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر و غلظت نانوذره ۱گرم در لیتر)

۳-۲- میزان نانوذره بهینه

در این مرحله در زمان تماس بهینه به‌دست آمده، مقدار ۰/۵ تا ۳ گرم نانوذره آهن در دو مرحله، به دو غلظت فاضلاب خام با BOD معادل ۳۵ و ۱۱۶ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و سپس مقدار ۱ تا ۵

Archive of SID

www.SID.ir

Table 1. Optimum balance time test results (at a raw sample BOD_5 concentration of 34 mg/L and a nano-particle concentration of 0.5 g/l) (Mohammadiyan 2012)

جدول ۱- نتایج آزمایش‌های مربوط به تعیین زمان تعادل بهینه

(در غلظت BOD_5 نمونه خام = ۳۴ میلی‌گرم در لیتر با غلظت نانوذره = ۰/۵ گرم در لیتر) (Mohamadiyan 2012)

Sample number	BOD_5 concentration of the raw sample (mg/L)	Nanoparticle concentration (gr)	Contact time (min)	BOD_5 Concentration in the sample refined with nanoparticles(mg/L)	BOD_5 removal rate
1	34	0.5	15	32	5.88
2	34	0.5	30	29	14.70
3	34	0.5	45	27	20.58
4	34	0.5	90	28	17.64
5	34	0.5	120	29	14.70
6	34	0.5	180	31	8.82

Table 2. Optimum balance time test results at a raw sample BOD_5 concentration of 110 mg/L and a nano-particle concentration of 1 g/l) (Mohammadiyan 2012)

جدول۲- نتایج آزمایش‌های مربوط به تعیین زمان تعادل بهینه در غلظت BOD_5 نمونه خام ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر و غلظت نانوذره ۱ گرم در لیتر (Mohamadiyan 2012)

Sample number	BOD_5 concentration of the raw sample (mg/L)	Nanoparticle concentration (gr)	Contact time (min)	BOD_5 concentration in the sample refined with nanoparticles(mg/L)	BOD_5 Removal rate
1	110	1	15	93	15.45
2	110	1	30	85	22.72
3	110	1	45	68	38.18
4	110	1	90	81	26.36
5	110	1	120	82	25.45
6	110	1	180	92	16.36

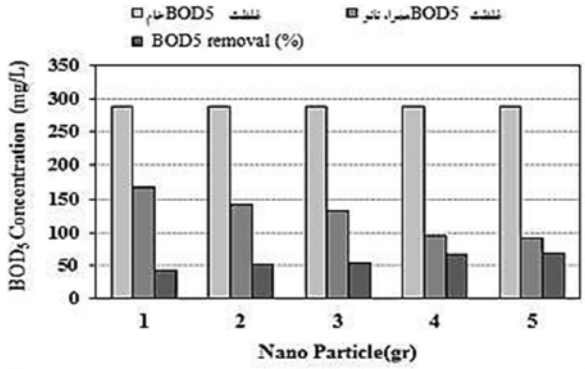

Fig. 3. Impact of variations in Fe concentration on the performance of iron nano-particles(for a BOD_5 concentration of 289 g\l and a contact time of 45 min)

شکل ۳- اثر تغییرات غلظت نانوذرات آهن بر عملکرد نانوذرات آهن (غلظت BOD_5 ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر و زمان تماس ۴۵ دقیقه)

گرم نانوذره به فاضلاب با BOD معادل ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و اثر تغییرات غلظت نانوذره آهن بر راندمان حذف بهترین نتیجه را داشت. شکل ۳ و جدول ۳ اثر تغییرات غلظت BOD فاضلاب بررسی شد. در نمونه‌های با غلظت BOD_5 معادل ۳۵ و ۱۱۶ میلی‌گرم در لیتر میزان ۳ گرم نانوذره و در نمونه‌های با غلظت BOD_5 معادل ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر میزان ۵ گرم نانوذره نانوذرات آهن بر عملکرد نانوذرات آهن را نشان می‌دهد.

۳-۳- میزان غلظت BOD بهینه

در این مرحله در زمان تماس بهینه به‌دست آمده مقدار ثابت ۱ گرم نانوذره آهن به فاضلاب با مقادیر مختلف BOD معادل ۲۲ تا ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و سپس مقدار ۳ گرم نانوذره آهن به فاضلاب‌های با BOD معادل ۳۵ تا ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و اثر تغییرات BOD بر عملکرد نانوذرات آهن در حذف BOD از فاضلاب مورد نظر بررسی شد. با افزایش BOD نمونه، میزان درصد حذف نیز بیشتر می‌شود، به‌طوری که در این تحقیق در غلظت BOD معادل ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین میزان حذف حاصل شد و این غلظت بهترین نتیجه را دربر داشت. شکل ۴ و جدول ۴ اثر تغییرات غلظت BOD_5 برعملکرد نانوذرات آهن را نشان می‌دهد.

Archive of SID

www.SID.ir

Table 3. Optimum nano-particle test results at a raw sample BOD_5 concentration of 289 mg/l and a contact time of 45 minutes (Mohamadiyan 2012)

جدول۳- آزمایش‌های مربوط به تعیین نانوذره بهینه در غلظت BOD_5 نمونه خام ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر و زمان تماس ۴۵ دقیقه(Mohamadiyan 2012)

Sample number	BOD_5 concentration of raw sample (mg/L)	Nanoparticle concentration (gr)	Contact time (min)	BOD_5 concentration sample refined with nanoparticles(mg/L)	BOD_5 removal rate
11	289	1	45	168	41.86
12	289	2	45	142	50.86
13	289	3	45	132	54.32
14	289	4	45	95	67.12

Table 4. Estimation of BOD_5 concentrations in the raw sample (for a nano-particle concentration of 3 g and a contact time of 45 min) (Mohamadiyan 2012)

جدول۴- آزمایش‌های مربوط به تعیین غلظتBOD_5 نمونه خام با غلظت نانوذره ۳ گرم و زمان تماس ۴۵ دقیقه(Mohamadiyan 2012)

Sample number	BOD_5 Concentration of the raw sample (mg/L)	Nanoparticle concentration (gr)	Contact time (min)	BOD_5 concentration in the sample refined with nanoparticles(mg/L)	BOD_5 Removal rate
1	35	3	45	24	31.42
2	104	3	45	56	46.15
3	116	3	45	54	53.44
4	289	3	45	130	55.02

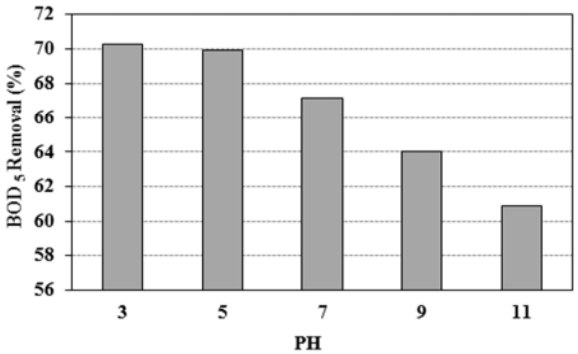

Fig. 5. Optimum pH levels (at a raw sample BOD_5 concentration of 289 mg/l and a nano-particle concentration of 4 g/min)

شکل ۵- نمودار تعیین pH بهینه(غلظت BOD_5 نمونه خام ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر، غلظت نانوذره ۴ گرم در دقیقه و زمان تماس ۴۵ دقیقه)

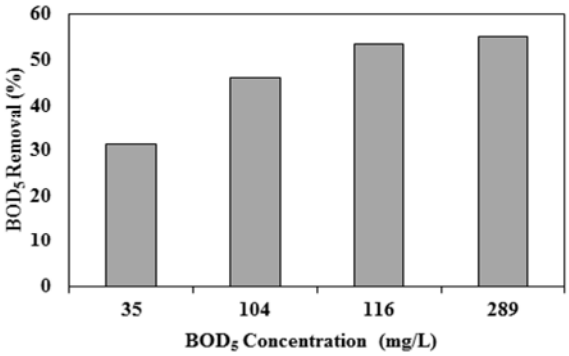

Fig. 4. Effects of BOD_5 concentration on the performance of iron nano-particles (at a raw sample BOD_5 concentration of 3 mg/l and a contact time of 45 min)

شکل ۴- اثر تغییرات غلظت BOD_5 بر عملکرد نانوذرات آهن (غلظت نانوذرات آهن ۳ گرم در لیتر و زمان تماس ۴۵ دقیقه)

Table 5. Optimum pH test results (at a raw sample BOD_5 concentration of 289 mg/L, a nano-particle concentration of 4 g/l, and a contact time of 45 minutes) (Mohamadiyan 2012)

جدول۵- آزمایش‌های مربوط به تعیین pH بهینه(غلظتBOD_5 نمونه خام ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر، غلظت نانوذره ۴ گرم در لیتر و زمان تماس ۴۵ دقیقه (Mohamadiyan 2012)

Sample number	BOD_5 concentration of raw sample (mg/L)	Nanoparticles concentration (gr)	Contact time (min)	BOD_5 concentration sample refined with nanoparticles(mg/L)	BOD_5 Removal rate	Removal (%)
1	289	4	45	3	86	70.24
2	289	4	45	5	87	69.89
3	289	4	45	7	95	67.12
4	289	4	45	9	104	64.04
5	289	4	45	11	113	60.89

www.SID.ir

۳-۴- میزان pH بهینه

در مرحله آخر نیز در زمان تماس بهینه مقدار ۱،۲/۵ و ۴ گرم نانوذره به سه غلظت فاضلاب خام با BOD معادل ۴۲،۱۱۶،۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و اثر تغییرات pH (۳ تا ۱۱) در هر مرحله بر راندمان حذف BOD از فاضلاب مشخص و pH بهینه تعیین شد. در این تحقیق بالاترین درصد حذف در pH برابر ۳ ملاحظه شد. شکل ۵ و جدول ۵ تعیین pH بهینه را نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شد تا BOD فاضلاب به‌وسیله نانوذرات آهن به میزان قابل قبولی کاهش داده شود. البته این میزان حذف به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که به تحلیل هر یک پرداخته شد. همانطور که در قسمت نتایج نیز ملاحظه می‌شود این نتیجه حاصل شد که زمان تماس بهینه، ۴۵ دقیقه است. به‌طوری که از زمان ۱۵ دقیقه تا زمان ۴۵ دقیقه این درصد حذف افزایش می‌یابد و از آن به بعد این روند، سیر نزولی می‌یابد. در واقع می‌توان گفت با افزودن نانوذره به فاضلاب از لحظه صفر، کمپلکسی بین نانوذره و ذرات فاضلاب -که در این تحقیق شیر خشک و شکر بود- ایجاد می‌شود. این کمپلکس در زمان ۴۵ دقیقه بهترین حالت ممکن را دارد و تقریباً رنگ روشنی در این لحظه در نمونه مشاهده می‌شود. اما بعد از این زمان، نیروی جاذبه بین نانوذره و ذرات فاضلاب کاهش و آلودگی مجدداً به نمونه بازگشت پیدا می‌کند. به همین دلیل میزان درصد حذف نیز مجدداً کاهش می‌یابد.

پارامتر دوم مورد بحث در این تحقیق، میزان نانوذره بهینه است که در این تحقیق ۵ گرم به‌دست آمد.

نتایج نشان داد که با وجود ثابت بودن غلظت BOD_5 نمونه خام، میزان نانوذره افزایش می‌یابد. با این افزایش، درصد حذف BOD_5 نیز بیشتر می‌شود. اما این میزان رشد در غلظت‌های BOD_5 پایین بسیار ناچیز است. در حالی که در غلظت‌های BOD_5 بالا این روند رشد در درصد حذف چشمگیر است. می‌توان گفت که نانوذرات آهن توانایی بالایی در تصفیه فاضلاب‌های با بار آلودگی سنگین دارند و هر چه میزان نانوذره بیشتر شود، آلودگی بهتر حذف می‌شود. بنابراین در فاضلاب‌هایی که بار آلودگی پایینی دارند، با وجود بالا رفتن میزان نانوذره، روند چشمگیری در افزایش درصد حذف وجود نخواهد داشت و کمپلکس ایده‌آلی بین نانوذره و ذرات فاضلاب ایجاد نمی‌شود و بنابراین حذف بخوبی انجام نمی‌گیرد. این مسئله در مورد غلظت BOD_5 بهینه نیز قابل تعمیم است.

در این تحقیق pH به نحو بسیار مطلوب و چشمگیری عمل کرد، به‌طوری که با ایجاد pH اسیدی درصد حذف بسیار خوبی به‌دست آمد. چون در pH اسیدی نانوذرات آهن دارای بارمثبت می‌شوند و ذرات فاضلاب که احتمالاً منفی است را جذب می‌کنند، اما در pH قلیایی نانوذرات آهن دارای بار منفی می‌شوند و ذرات فاضلاب را دفع می‌کنند و در نتیجه آلودگی افزایش می‌یابد.

نتایج نشان داد که نانوذرات آهن توانایی تصفیه پساب‌های آلوده با BOD بالا مثل فاضلاب‌های شهری و به‌خصوص صنعتی را دارا هستند و اگر نکاتی مانند تازه بودن نانوذرات تولیدی (به‌دلیل قدرت اکسندگی) و جلوگیری از اکسید شدن این نانوذرات رعایت شود، می‌توان مطمئن بود که در مقیاس وسیعی با هزینه بسیار به صرفه از نظر اقتصادی می‌توان فاضلاب‌های با آلودگی بالا را تصفیه نمود.

۵- مراجع

Abaspoor, M., 1997, *Environmental engineering*, 1st Ed., Tehran. (In Persian)

Barnes, R. J., Vandergast, Ch. J., Riba, O., Lentovirta, L.E., Prosser, J.I., Dobson, P. J. & Thompson, I. P., 2010, "The impact of zero-valent iron nanoparticles on a river water bacterial community original research Article", *Journal of Hazardous Materials*, 184, 73-80.

Clesceri, L.S., Greenberg, A. E. and Eaton, A. D., 1998, *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th Ed., USA.

Crane, R.A., Dickinson., M., Popescu, I.C. & Scott, T.B., 2011, "Magnetite and zero-valent iron nanoparticles for the remediation of uranium contaminated environmental water", *Original Research Article Water Research*, 45, 2931-2942.

Habashi, N., 2010, "Evaluation of nitrat removal from water by iron nanoparticles", MSc Thesis, Tehran University, Tehran. (In Persian)

Leyli, M., and Samaee, M. & Dehestani, S., 2010, *Municiple wastewater management in developing countries: Principles and Engineering*,1st Ed., Andisheh Rafi Pub., Tehran. (In Persian)

Archive of SID
www.SID.ir

Moezi, A., 2011, "Evaluation of lead removal from aquatic environmenty by Iron nanoparticles", MSc Thesis, Islamic Azad University, Sciences and Research Branch, Tehran. (In Persian)

Mohamadiyan, M., 2012, "Evaluation of BOD removal from wastewater by Iron nanoparticles", MSc Thesis, Islamic Azad University, Scicneces and Research Branch, Tehran. (In Persian)

Rahmani, A., Ghafari, H., Samadi, M. & Zarabi, M., 2011, "Synthesis of zero valent Iron Nanoparticles (nZVI) and its efficiency in arsenic removal from aqueous solutions", *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 22 No. 1 (77), 35-41. (In Persnan)

Salavati Nyiasary, M. & Sabet, M., 2010, *Nanotechnology and water treatment*, 1st Ed., Sokhanvaran Pub., Tehran. (In Persian)

Sayiad Jahromy, Sh., 2010, "Evaluation of nitrat removal from water by Zero Iron Nanoparticles", MSc. Thesis, Shahid Beheshty University, Tehran. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir