

بررسی عملکرد نانوذرات آهن در کاهش بار آلی فاضلاب

امیر حسام حسنی^۱، علی ترابیان^۲، سید مصطفی خضری^۳، مریم محمدی نیا^۴، رضا سرهادی^۵

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 و تحقیقات تهران

(نویسنده مسئول) maryammohamadiniya@gmail.com

۵- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات همدان

(دریافت ۹۳/۹/۲۴ پذیرش ۹۴/۴/۱۴)

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", *Journal 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 BOD₅های 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 BOD₅های ثابت اضافه شد و راندمان حذف BOD فاضلاب بررسی شد. سپس در زمان تماس بهینه، مقادیر ثابت نانوذره آهن به فاضلاب با BOD₅های مختلف اضافه شد و راندمان حذف BOD فاضلاب بررسی شد. در آخر نیز در زمان تماس بهینه، مقادیر متفاوت نانوذره به فاضلاب با BOD₅های 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 ۴۵ دقیقه، میزان نانوذره بهینه در نمونه‌های با BOD₅ معادل ۱۶ و ۳۵ میلی‌گرم در لیتر، ۳ گرم و در نمونه‌های با BOD₅ 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

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 ارگانسیم‌های

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 میکروارگانسیم‌های 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

ساعت کاهش یافت و به استاندارد سازمان جهانی بهداشت^۱ و آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا^۲ در مورد آبهای آشامیدنی رسید. اشعه X هم همین نتیجه را تأیید نمود. در مقابل نانوذرات Fe₃O₄ موفق به حذف بیشتر از ۲۰ درصد اورانیوم از آب شدند. بنابراین نانوذرات آهن صفر نتایج بهتری را در بر داشت. این تحقیق با هدف کاهش بار آلی فاضلاب به وسیله 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 نانوذرات آهن شامل کلرید آهن سه ظرفیتی ۶ آبه، سدیم برو هیدراید، هیدروکسید سدیم، اسید کلریدریک و متانول بود.

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

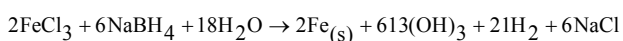
دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل موارد زیر بود:

برای اندازه گیری BOD از دستگاه اندازه گیری BOD مدل هج^۳ محصول آمریکا، برای مخلوط کردن مواد با یکدیگر از شیکر با مدل yellow line. برای وزن کردن مواد از ترازو با مدل کرن^۴ آلمان و برای اندازه گیری pH از دستگاه اندازه گیری 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 به وسیله واکنش احیایی کلریدفریک ۰/۱ مولار با بورهیدرید سدیم ۰/۱۶ مولار به صورت رابطه ۱ تولید شد (Abaspoor 1997).

(۱)



بعد از این واکنش نانوذرات آهن با ظرفیت صفر به صورت ذرات سیاه رنگ بسیار ریز ته نشین شدند.

پس از آماده سازی محلول‌ها با افزودن قطره قطره از محلول بورهیدرید سدیم به داخل محلول در حضور شیکر، سنتز نانوذرات

داخل آب بوده و اندازه گیری آن می‌تواند کیفیت آب را مشخص نماید (Abaspoor 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 اندازه گیری 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 ۰/۲ 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 میکروبی 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 صفر ظرفیتی در بازسازی آب آلوده به اورانیوم تحقیق نمودند. در این پژوهش یک مطالعه مقایسه‌ای در مورد استفاده از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی، 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

¹ World Health Organization (WHO)

² U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)

³ Hach

⁴ Kern

لیتر، بیشترین میزان حذف BOD در زمان ۴۵ دقیقه صورت گرفت، بنابراین زمان ۴۵ دقیقه به عنوان زمان بهینه تعیین شد. شکل های ۱ و ۲ و جدول های ۱ و ۲ اثر تغییرات زمان تماس بر عملکرد نانوذرات آهن در حذف BOD₅ نمونه خام را نشان می دهند.

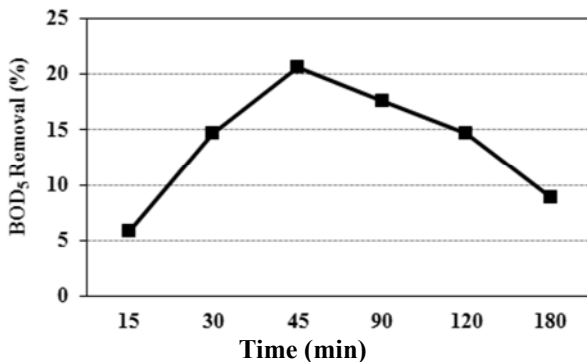


Fig. 1. Contact time effect on performance of iron nanoparticles in removing BOD₅ from raw sample (The concentration of BOD₅ in raw sample is 34 mg/L and the nano-particle concentration is 0.5 g/l)
شکل ۱- اثر تغییرات زمان تماس بر عملکرد نانوذرات آهن در حذف BOD₅ نمونه خام
(غلظت BOD₅ نمونه خام ۳۴ میلی گرم در لیتر و غلظت نانوذره ۰/۵ گرم در لیتر)

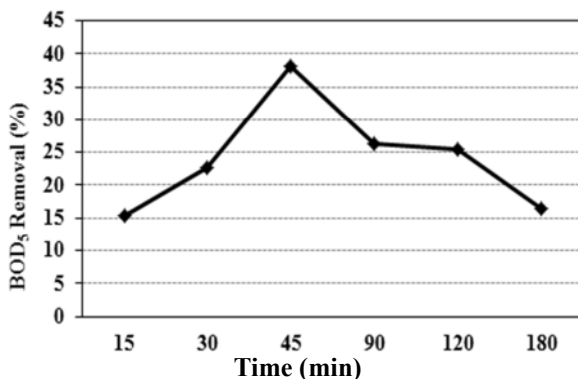


Fig. 2. Contact time effect on performance of iron nanoparticles in removing BOD₅ from raw sample (The concentration of BOD₅ in raw sample is 110 mg/L and the nano-particle concentration is 1 g/l)
شکل ۲- اثر تغییرات زمان تماس بر عملکرد نانوذرات آهن در حذف BOD₅ نمونه خام
(غلظت BOD₅ نمونه خام ۱۱۰ میلی گرم در لیتر و غلظت نانوذره ۱ گرم در لیتر)

۲-۳- میزان نانوذره بهینه

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

آهن تحت شرایط اتمسفر صورت گرفت.

سپس مدتی زمان داده شد تا نانوذرات آهن تولید شده در محلول ته نشین 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 آزمایش ها

فاضلاب مورد بررسی در این تحقیق ساخته شده از شیر خشک و شکر بود. نسبت های ترکیب شیر خشک و شکر طبق رابطه استاندارد موجود در روش کار آزمایشگاه می باشد. برای تعیین زمان تماس بهینه، مقدار ۰/۵ و ۱ گرم نانوذره آهن به ترتیب به فاضلاب با BOD معادل ۳۴ و ۱۱۰ میلی گرم در لیتر اضافه شد و در زمان های تماس ۱۵ تا ۱۸۰ دقیقه اثر تغییر زمان تماس بر راندمان حذف BOD فاضلاب بررسی شد. در مرحله بعد در زمان تماس بهینه به دست آمده، مقدار ۰/۵، ۱، ۲، ۳ و ۴ گرم نانوذره آهن در دو مرحله جداگانه، به دو غلظت فاضلاب خام با BOD معادل ۳۵ و ۱۱۶ میلی گرم در لیتر اضافه شد و مقدار ۰/۵، ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ گرم نانوذره آهن به فاضلاب با غلظت ۲۸۹ میلی گرم در لیتر اضافه شد و اثر تغییرات غلظت نانوذرات آهن بر راندمان حذف BOD فاضلاب بررسی شد. در مرحله بعد در زمان تماس بهینه به دست آمده، مقدار ثابت ۱ گرم نانوذره آهن به فاضلاب با مقادیر مختلف BOD معادل ۲۸۹، ۱۱۶، ۱۱۰، ۱۰۴، ۹۰، ۶۷، ۴۲، ۳۵، ۲۲ و ۱۱ میلی گرم در لیتر و ۳ گرم نانوذره آهن به نمونه های با BOD معادل ۲۸۹، ۱۱۶، ۱۰۴، ۹۰، ۶۷، ۴۲، ۳۵ و ۲۲ میلی گرم 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 و ۱، ۲، ۳ و ۴ گرم نانوذره آهن به ترتیب به سه غلظت فاضلاب خام با BOD معادل ۲۸۹ و ۴۲، ۱۱۶ و ۳۵ میلی گرم در لیتر اضافه شد و اثر تغییرات pH (۳، ۵، ۷، ۹ 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

به منظور تعیین زمان تماس بهینه ابتدا مقدار ۰/۵ و ۱ گرم نانوذره آهن به ترتیب به دو غلظت فاضلاب خام با BOD₅ معادل ۳۴ و ۱۱۰ میلی گرم در لیتر، اضافه شد و در زمان های تماس ۱۵ تا ۱۸۰ دقیقه، اثر تغییر زمان تماس بر راندمان حذف BOD فاضلاب بررسی شد. با توجه به اینکه در غلظت های ۳۴ و ۱۱۰ میلی گرم در

Table 1. Optimum balance time test results (at a raw sample BOD₅ 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 BOD₅ نمونه خام = ۳۴ میلی‌گرم در لیتر با غلظت نانوذره = ۰/۵ گرم در لیتر) (Mohammadiyan 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 BOD₅ concentration of 110 mg/L and a nano-particle concentration of 1 g/l) (Mohammadiyan 2012)جدول ۲- نتایج آزمایش‌های مربوط به تعیین زمان تعادل بهینه در غلظت BOD₅ نمونه خام ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر

و غلظت نانوذره ۱ گرم در لیتر (Mohammadiyan 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

معادل ۳۵ و ۱۱۶ میلی‌گرم در لیتر میزان ۳ گرم نانوذره و در نمونه‌های با غلظت BOD₅ 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 به دست 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، به طوری 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 بر عملکرد نانوذرات آهن را نشان می‌دهد.

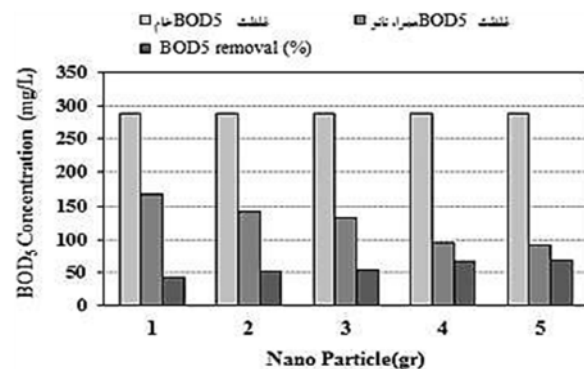


Fig. 3. Impact of variations in Fe concentration on the performance of iron nano-particles for a BOD₅ concentration of 289 g/l and a contact time of 45 min) شکل ۳- اثر تغییرات غلظت نانوذرات آهن بر عملکرد نانوذرات آهن (غلظت BOD₅ ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر و زمان تماس ۴۵ دقیقه)

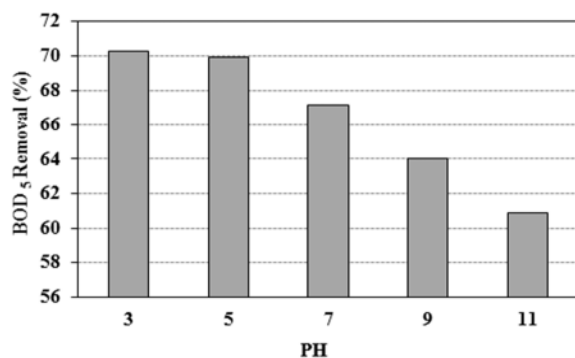
گرم نانوذره به فاضلاب با BOD معادل ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و اثر تغییرات غلظت نانوذره آهن بر راندمان حذف بهترین نتیجه را داشت. شکل ۳ و جدول ۳ اثر تغییرات غلظت BOD فاضلاب بررسی شد. در نمونه‌های با غلظت BOD₅

Table 3. Optimum nano-particle test results at a raw sample BOD₅ concentration of 289 mg/l and a contact time of 45 minutes (Mohamadiyan 2012)جدول ۳- آزمایش‌های مربوط به تعیین نانوذره بهینه در غلظت BOD₅ نمونه خام ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر و زمان تماس ۴۵ دقیقه (Mohamadiyan 2012)

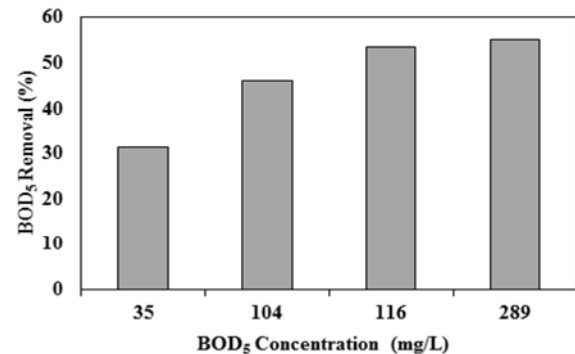
Sample number	BOD ₅ concentration of raw sample (mg/L)	Nanoparticle concentration (gr)	Contact time (min)	BOD ₅ concentration sample refined with nanoparticles(mg/L)	BOD ₅ removal rate
11	289	1	45	168	41.86
12	289	2	45	142	50.86
13	289	3	45	132	54.32
14	289	4	45	95	67.12

Table 4. Estimation of BOD₅ concentrations in the raw sample (for a nano-particle concentration of 3 g and a contact time of 45 min) (Mohamadiyan 2012)جدول ۴- آزمایش‌های مربوط به تعیین غلظت BOD₅ 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 BOD₅ concentration of 289 mg/l and a nano-particle concentration of 4 g/min)

شکل ۵- نمودار تعیین pH بهینه (غلظت BOD₅ نمونه خام ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر، غلظت نانوذره ۴ گرم در دقیقه و زمان تماس ۴۵ دقیقه)

**Fig. 4.** Effects of BOD₅ concentration on the performance of iron nano-particles (at a raw sample BOD₅ concentration of 3 mg/l and a contact time of 45 min)

شکل ۴- اثر تغییرات غلظت BOD₅ 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 BOD₅ concentration of 289 mg/L, a nano-particle concentration of 4 g/l, and a contact time of 45 minutes) (Mohamadiyan 2012)جدول ۵- آزمایش‌های مربوط به تعیین pH بهینه (غلظت BOD₅ 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

۳-۴- میزان pH بهینه

در مرحله آخر نیز در زمان تماس بهینه مقدار ۰/۲، ۱/۲ و ۴ گرم نانوذره به سه غلظت فاضلاب خام با BOD معادل ۲۸۹، ۱۱۶، ۴۲ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و اثر تغییرات pH (۳ تا ۱۱) در هر مرحله بر اندامان 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 به وسیله 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. به طوری 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 به دست آمد.

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)

- Moezi, A., 2011, "Evaluation of lead removal from aquatic environment 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, Sciences 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 Persian)
- 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)