

## بررسی عملکرد نانوذرات آهن در کاهش بار آلی فاضلاب

امیر حسام حسنی<sup>۱</sup>، علی ترابیان<sup>۲</sup>، سید مصطفی خضری<sup>۳</sup>، مریم محمدی نیا<sup>۴</sup>، رضا سرهادی<sup>۵</sup>

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 BOD<sub>5</sub>های 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 BOD<sub>5</sub>های ثابت اضافه شد و راندمان حذف BOD فاضلاب بررسی شد. سپس در زمان تماس بهینه، مقادیر ثابت نانوذره آهن به فاضلاب با BOD<sub>5</sub>های مختلف اضافه شد و راندمان حذف BOD فاضلاب بررسی شد. در آخر نیز در زمان تماس بهینه، مقادیر متفاوت نانوذره به فاضلاب با BOD<sub>5</sub>های 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 BOD<sub>5</sub> معادل ۱۶ و ۳۵ میلی‌گرم در لیتر، ۳ گرم و در نمونه‌های با BOD<sub>5</sub> 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 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

ساعت کاهش یافت و به استاندارد سازمان جهانی بهداشت<sup>۱</sup> و آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا<sup>۲</sup> در مورد آبهای آشامیدنی رسید. اشعه X هم همین نتیجه را تأیید نمود. در مقابل نانوذرات Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> 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 روش ها

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 نمونه ها، متانول به منظور شستشوی نانوذرات آهن و جلوگیری از اکسید شدن آنها، شیر خشک و شکر برای تهیه فاضلاب استفاده شد.

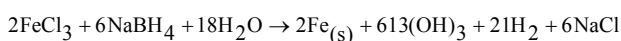
دستگاه های مورد استفاده در این تحقیق شامل موارد زیر بود:

برای اندازه گیری BOD از دستگاه اندازه گیری BOD مدل هج<sup>۳</sup> محصول آمریکا، برای مخلوط کردن مواد با یکدیگر از شیکر با مدل yellow line. برای وزن کردن مواد از ترازو با مدل کرن<sup>۴</sup> 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 محلول ها با افزودن قطره قطره از محلول بورهیدرید سدیم به داخل محلول در حضور شیکر، سنتز نانوذرات

داخل آب بوده و اندازه گیری آن می تواند 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 محیط های آبی تحقیق نمودند. نتایج نشان داد که در pH حدود ۷ و با غلظت ۱ گرم در لیتر نانوذرات آهن، می توان 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).

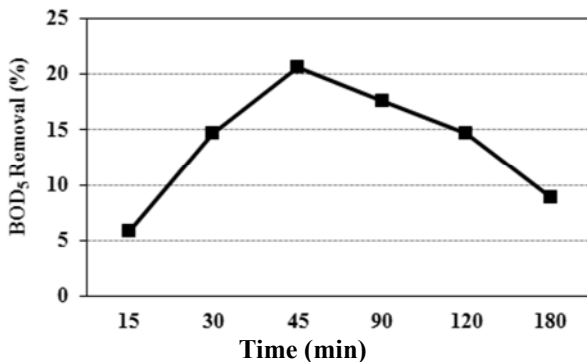
تحقیق دیگر در مورد بررسی عملکرد نانوذرات آهن در حذف سرب از محیط های آبی توسط معزی در دانشگاه علوم تحقیقات تهران در سال ۱۳۹۰ انجام شد. در این پژوهش مشخص شد که زمان ماند بهینه ۱۰ دقیقه، میزان نانوذره بهینه تا غلظت ۲۰ میلی گرم در لیتر ۰/۱ گرم و در غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر ۰/۲ گرم می باشد. همچنین میزان غلظت سرب بهینه ۱۰ میلی گرم 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 میلی گرم در لیتر نانو ذرات آهن بر تنوع و ساختار جمعیت باکتریایی بومی رودخانه بررسی شده است. نانوذرات آهن باعث ایجاد تغییرات ژنتیکی باکتری ها و تغییرات شیمیایی مثل کاهش در پتانسیل اکسیداسیون و احیا (۱۹۶ تا ۲۸۱ میلی ولت) و اکسیژن محلول (۰/۶ تا ۰/۲ میلی گرم در لیتر) می شوند که هر دو در طول آزمایش تثبیت شد. نتایج نشان داد که رابطه بین کاهش pH و افزایش ماندگاری سلول باکتری از ویژگی های یک جامعه میکروبی فعال شده است و علی رغم رشد باکتریایی، اضافه کردن نانوذرات آهن صفر روی ساختار جامعه باکتریایی تأثیر نمی گذارد (Barnes et al. 2010).

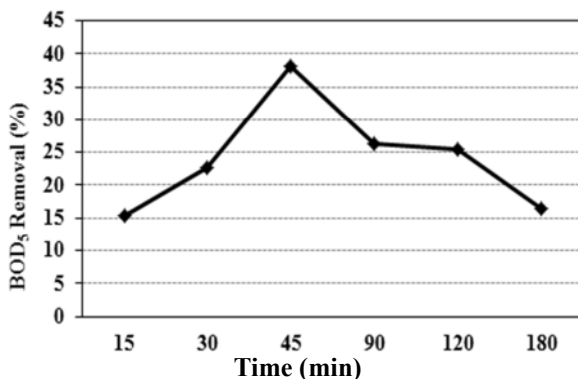
Crane et al. در سال ۲۰۱۱ در مورد تأثیر نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در بازسازی آب آلوده به اورانیوم تحقیق نمودند. در این پژوهش یک مطالعه مقایسه ای در مورد استفاده از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی، نانوذرات مگنتیت و اشعه X انجام شده است. نتایج نشان داد که اورانیوم به وسیله نانوذرات آهن صفر به میزان ۱۰ میکروگرم در لیتر (بیشتر از ۹۸ درصد) در عرض ۲

<sup>1</sup> World Health Organization (WHO)  
<sup>2</sup> U.S. Environmental Protection Agency (USEPA)  
<sup>3</sup> Hach  
<sup>4</sup> 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 BOD<sub>5</sub> نمونه خام را نشان می دهند.



**Fig. 1.** Contact time effect on performance of iron nanoparticles in removing BOD<sub>5</sub> from raw sample (The concentration of BOD<sub>5</sub> 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<sub>5</sub> نمونه خام (غلظت BOD<sub>5</sub> 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 BOD<sub>5</sub> from raw sample (The concentration of BOD<sub>5</sub> 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 BOD<sub>5</sub> نمونه خام (غلظت BOD<sub>5</sub> 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، ۱۱۶ و ۴۲ 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 BOD<sub>5</sub> 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 BOD<sub>5</sub> 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<sub>5</sub> نمونه خام = ۳۴ میلی‌گرم در لیتر با غلظت نانوذره = ۰/۵ گرم در لیتر) (Mohammadiyan 2012)

Sample number	BOD <sub>5</sub> concentration of the raw sample (mg/L)	Nanoparticle concentration (gr)	Contact time (min)	BOD <sub>5</sub> Concentration in the sample refined with nanoparticles(mg/L)	BOD <sub>5</sub> 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<sub>5</sub> 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 BOD<sub>5</sub> نمونه خام ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر

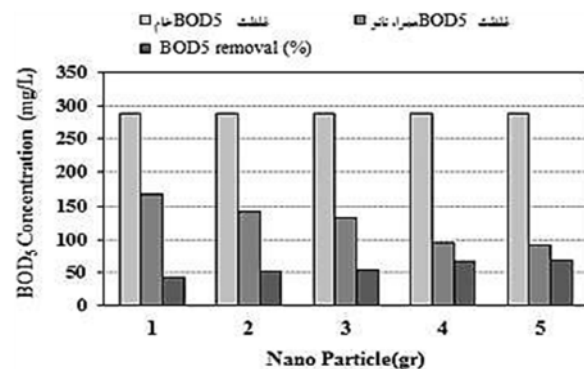
و غلظت نانوذره ۱ گرم در لیتر (Mohammadiyan 2012)

Sample number	BOD <sub>5</sub> concentration of the raw sample (mg/L)	Nanoparticle concentration (gr)	Contact time (min)	BOD <sub>5</sub> concentration in the sample refined with nanoparticles(mg/L)	BOD <sub>5</sub> 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 BOD<sub>5</sub> 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 BOD<sub>5</sub> 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<sub>5</sub> ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر و زمان تماس ۴۵ دقیقه)

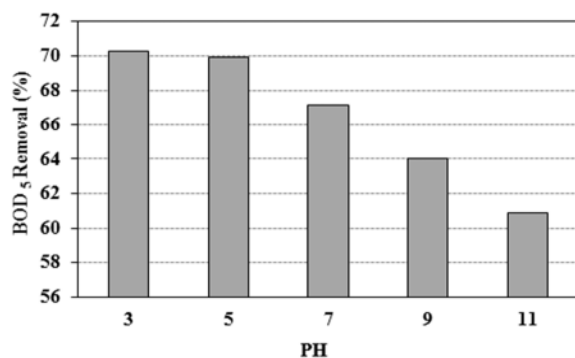
گرم نانوذره به فاضلاب با BOD معادل ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر اضافه شد و اثر تغییرات غلظت نانوذره آهن بر راندمان حذف بهترین نتیجه را داشت. شکل ۳ و جدول ۳ اثر تغییرات غلظت BOD فاضلاب بررسی شد. در نمونه‌های با غلظت BOD<sub>5</sub>

**Table 3.** Optimum nano-particle test results at a raw sample BOD<sub>5</sub> concentration of 289 mg/l and a contact time of 45 minutes (Mohamadiyan 2012)جدول ۳- آزمایش‌های مربوط به تعیین نانوذره بهینه در غلظت BOD<sub>5</sub> نمونه خام ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر و زمان تماس ۴۵ دقیقه (Mohamadiyan 2012)

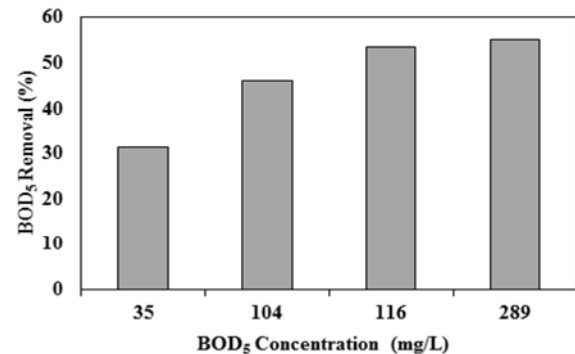
Sample number	BOD <sub>5</sub> concentration of raw sample (mg/L)	Nanoparticle concentration (gr)	Contact time (min)	BOD <sub>5</sub> concentration sample refined with nanoparticles(mg/L)	BOD <sub>5</sub> removal rate
11	289	1	45	168	41.86
12	289	2	45	142	50.86
13	289	3	45	132	54.32
14	289	4	45	95	67.12

**Table 4.** Estimation of BOD<sub>5</sub> 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 BOD<sub>5</sub> نمونه خام با غلظت نانوذره ۳ گرم و زمان تماس ۴۵ دقیقه (Mohamadiyan 2012)

Sample number	BOD <sub>5</sub> Concentration of the raw sample (mg/L)	Nanoparticle concentration (gr)	Contact time (min)	BOD <sub>5</sub> concentration in the sample refined with nanoparticles(mg/L)	BOD <sub>5</sub> 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<sub>5</sub> concentration of 289 mg/l and a nano-particle concentration of 4 g/min)

شکل ۵- نمودار تعیین pH بهینه (غلظت BOD<sub>5</sub> نمونه خام ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر، غلظت نانوذره ۴ گرم در دقیقه و زمان تماس ۴۵ دقیقه)

**Fig. 4.** Effects of BOD<sub>5</sub> concentration on the performance of iron nano-particles (at a raw sample BOD<sub>5</sub> concentration of 3 mg/l and a contact time of 45 min)

شکل ۴- اثر تغییرات غلظت BOD<sub>5</sub> 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<sub>5</sub> 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 BOD<sub>5</sub> نمونه خام ۲۸۹ میلی‌گرم در لیتر، غلظت نانوذره ۴ گرم در لیتر و زمان تماس ۴۵ دقیقه (Mohamadiyan 2012))

Sample number	BOD <sub>5</sub> concentration of raw sample (mg/L)	Nanoparticles concentration (gr)	Contact time (min)	BOD <sub>5</sub> concentration sample refined with nanoparticles(mg/L)	BOD <sub>5</sub> 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 میلی گرم 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 می دهد.

## ۴- نتیجه گیری

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 می شود 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 می یابد و از آن به بعد این روند، سیر نزولی می یابد. در واقع می توان 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 می شود. این کمپلکس در زمان ۴۵ دقیقه بهترین حالت ممکن را دارد و تقریباً رنگ روشنی در این لحظه در نمونه مشاهده می شود. اما بعد از این زمان، نیروی جاذبه بین نانوذره و ذرات فاضلاب کاهش و آلودگی مجدداً به نمونه بازگشت پیدا می کند. به همین دلیل میزان درصد حذف نیز مجدداً کاهش می یابد.

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*, 1<sup>st</sup> 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*, 20<sup>th</sup> 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*, 1<sup>st</sup> 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*, 1<sup>st</sup> 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)