

## Investigation on Removal of Coliform from Groundwater Using Sandy Filters Modified with Nanoscale Zerovalent Iron (Case Study: Ilam City)

Noori M<sup>1</sup>, Mehdizadeh S.S.\*<sup>2</sup>, Partani S<sup>3</sup>

1. Water Resource Engineering M.Sc., Civil Engineering Department, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran,

2. Assistant Professor, Civil Engineering Department, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3. Assistant Professor, Civil Engineering Department, University of Bojnord, Iran

\* *Corresponding author.* Tel: +982144600134, E-mail: Saj.Mehdizadeh@iauctb.ac.ir

Received: Mar 10, 2019

Accepted: Oct 10, 2019

### ABSTRACT

**Background & objectives:** In recent years, iron nanoparticles have been successfully used to remove water pollutants. Fecal coliform is one of the parameters that reduces water quality and its removal is essential. The aim of the present study is using nanoscale zerovalent iron particles to enhance the usual sand filters in removal of fecal coliform of groundwater in Ilam city.

**Methods:** Water samples were collected from several active wells in Ilam city. The parameters of hardness, probable and fecal coliforms were measured. Afterward, samples of fecal coliform contaminated-water were passed through filters with different values of zerovalent iron nanoparticles (0.5-3 gr) and parameters were remeasured.

**Results:** The results of this study showed that by increase of iron nanoparticles, the removal efficiency of coliform was increased, so that, in most samples, by increasing the iron nanoparticles to 3 gr, the coliform content reached to zero. The degree of hardness was initially reduced when the amount of iron nanoparticles increased, but over time, the reduction trend was halted.

**Conclusion:** In general, the results indicate that not only zero-valent iron nanoparticles are capable enough to remove microbial contamination from water, but also they can be used to completely purify the groundwater and also to reduce other contaminants including chemical pollutants to a permissible threshold, especially in small regions where complex water treatment plants may not be available.

**Keyword:** Coliform; Hardness; Iron Nanoparticles; Removal Efficiency

## بررسی حذف کلیفرم آب زیرزمینی با استفاده از فیلتر شنی اصلاح شده با نانو ذرات آهن (مطالعه موردی: آب‌های زیرزمینی شهر ایلام)

مریم نوری<sup>۱</sup>، سید سجاد مهدی زاده<sup>۲\*</sup>، صادق پرتانی<sup>۳</sup>

۱. دانش آموخته مقطع کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی عمران، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد، ایران

\* نویسنده مسئول. تلفن: ۰۲۱۴۴۶۰۰۱۳۴ ایمیل: Saj.Mehdizadeh@iauctb.ac.ir

### چکیده

**زمینه و هدف:** در سال‌های اخیر از نانو ذرات آهن به صورت موفقیت آمیزی در جهت حذف آلاینده‌های آب استفاده شده است. کلیفرم مدفوعی یکی از پارامترهایی است که وجود آن در آب سبب کاهش کیفیت شده و حذف آن امری ضروری است. هدف از مطالعه حاضر، استفاده از نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی به منظور ارتقاء فیلترهای شنی معمول، در حذف کلیفرم از آب‌های زیرزمینی شهر ایلام است.

**روش کار:** در این مطالعه از چند حلقه چاه فعال آب در شهر ایلام نمونه آب برداشت شده و پارامترهای سختی، کلیفرم احتمالی و مدفوعی در آن‌ها اندازه‌گیری گردید. سپس نمونه‌های آب آلوده به کلیفرم مدفوعی از فیلترهایی با مقادیر مختلف نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی (۰/۵-۳ gT) عبور داده شده و مجدداً پارامترهای مورد بررسی اندازه‌گیری شد. **یافته‌ها:** نتایج نشان داد با افزایش میزان نانو ذرات آهن، راندمان حذف کلیفرم افزایش یافت به طوری که با افزایش نانو ذرات به ۳ گرم در اکثر نمونه‌ها میزان کلیفرم به صفر رسید. میزان سختی در ابتدا با افزایش مقدار نانو ذرات آهن کاهش یافت اما با گذشت زمان روند کاهشی متوقف گردید.

**نتیجه‌گیری:** به طور کلی نتایج بیانگر آن است نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی نه تنها قدرت بالا و توانایی ویژه‌ای در حذف آلودگی میکروبی آب دارند بلکه می‌توانند برای تصفیه کامل آب‌های زیرزمینی و کاهش سایر آلاینده‌ها از جمله آلاینده‌های شیمیایی تا حد مجاز بخصوص در مناطق کوچک که فاقد تاسیسات پیچیده تصفیه آب هستند، مورد استفاده قرار گیرند.

**واژه‌های کلیدی:** کلیفرم، سختی، نانو ذرات آهن، راندمان حذف

پذیرش: ۹۸/۷/۱۸

دریافت: ۹۷/۱۲/۱۹

### مقدمه

مناطق مختلف جهان تفاوت زیادی را نشان می‌دهد، به طوری که بیش از یک میلیارد نفر از جمعیت جهان به آب سالم دسترسی ندارند. این در حالی است که درصد بالایی از کل بیماری‌ها در کشورهای در حال توسعه دارای منشأ آب ناسالم هستند. بر اساس گزارش ارائه شده توسط برنامه محیط زیست

طی سال‌های اخیر یکی از چالش‌های بزرگی که بسیاری از نقاط دنیا با آن مواجه بوده و به موضوعی نگران کننده تبدیل شده است، تقاضا برای آب است که در اثر رشد سریع جمعیت و همچنین رشد اقتصادی در کشورهای در حال توسعه ایجاد شده است. مقایسه سرانه کل منابع آب شیرین قابل دسترسی در میان

نتیجه سلامت عمومی و زیست محیطی را به خطر انداخته است. پورنل و همکاران در مطالعه خود نشان داده‌اند که میکروب‌ها می‌توانند فاصله زیادی را در خاک طی نموده و سبب آلودگی منابع آب شوند (۱۶). آنالیز آب برای بررسی عوامل پاتوژن زمان بر و پرهزینه است. با این وجود در بعضی از مطالعات به آن پرداخته شده است. به طور مثال دی و همکاران در مطالعه‌ای که بر روی جمعیت میکروبی آب آشامیدنی نواحی‌ای از بنگلادش انجام دادند، مشخص کردند آب این مناطق، حاوی آلودگی بالای میکروبی می‌باشد (۱۷). از میان انواع آلودگی‌ها، آلودگی منابع آب به باکتری‌های کلیفرم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا هم به عنوان شاخص سایر میکروب‌ها بوده و هم نوع بیماری زای آن می‌تواند سبب بروز مشکلات بهداشتی و بروز بیماری در سطح وسیعی گردد. روش‌های متعارف حذف باکتری‌های کلیفرم از آب شامل انعقاد، ته‌نشینی و صافی شنی تند می‌باشد که در مقیاس کوچک مقرون به صرفه نیستند. استفاده از صافی شنی یکی از روش‌های معمول فیلتراسیون آب است که به تنهایی جوابگوی کاهش و یا حذف باکتری‌های کلیفرم در آب آشامیدنی نیست. همچنین روش معمول گندزدایی آب استفاده از کلر است که می‌تواند عوامل میکروبی را بطور موثر کنترل کند. تحقیقات دهه اخیر رابطه بین گندزدایی آب با کلر و محصولات گندزدایی جانبی را نشان داده است. تکنولوژی نانو در دهه‌های اخیر فرصتی را برای کشف قدرت باکتری کشی نانوذرات فلزی فراهم کرده است. شهر ایلام به عنوان مرکز استان ایلام، دارای سفره آب زیرزمینی غنی است که استفاده از آنها به علت آلودگی بالای میکروبی برای مصارف شرب ممنوع شده است. با توجه به بحران آب و حیره بندی آن در فصول گرم در چند سال اخیر، سالم سازی منابع آب در دسترس به منظور استفاده بهینه از آنها با استفاده از روش‌های کارآمد و کم هزینه امری غیرقابل اجتناب است. بنابراین هدف

سازمان ملل متحد<sup>۱</sup> یک سوم مردم جهان در کشورهای که با بحران آب مواجه هستند، زندگی می‌کنند. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۵ این رقم به دو سوم افزایش یابد، که این امر ضرورت تصفیه آب‌های آلوده را اجتناب ناپذیر می‌کند (۲،۱). تاکنون روش‌های متفاوتی برای حذف آلودگی از منابع آب ارائه شده است. هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی هستند. به همین دلیل محققین به دنبال فناوری‌هایی مانند کریستال سازی، غشای یکپارچه یا پلیمر هستند که مشکلات روش‌های گذشته را نداشته و طیف وسیعی از آلاینده‌ها را در برگیرند (۳،۴). فناوری نانو یکی از این فناوری‌های نوین و کارآمد است و تاریخچه استفاده از آن به دهه هفتاد میلادی برمی‌گردد (۵،۶). از جمله نانو ذرات مورد استفاده در این تکنولوژی، آهن صفر ظرفیتی است که در دو دهه اخیر توجه محققان را به خود جلب کرده و به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفته است (۷-۹). این ذرات که بر پایه آهن فلزی بوده نسبت به نانوذرات بر پایه اکسید آهن دارای سمیت کمتری هستند و به دلیل سطح ویژه و واکنش پذیری بالا برای پالایش انواع آلاینده‌ها از آب‌های سطحی و همچنین آب‌های زیرزمینی تاکنون مورد استفاده قرار گرفته اند.

در مطالعات پیشین صورت گرفته نشان داده شده است که نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی می‌توانند نیترات، کروم و مس را به ترتیب تا ۱۰۰، ۷۶ و ۹۶ درصد حذف کند (۱۰-۱۲). همچنین در بعضی از مطالعات کارایی نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی در تصفیه آب‌های زیرزمینی به اثبات رسیده است (۱۳-۱۵). اگر چه آب‌های زیرزمینی به عنوان منبعی مناسب از نظر کم بودن میزان آلودگی نسبت به آب‌های سطحی برای تامین آب شرب است اما یکی از مشکلات مهم در رابطه با آن، وجود آلاینده‌های میکروبی است که عامل کاهش کیفیت آب شده و در

<sup>1</sup> UNEP: United Nations Environment Program

به منظور حذف باکتری‌های کلیفرم از آب با استفاده از فیلتر شنی اصلاح شده، ابتدا نانوذرات آهن صفر ظرفیتی و سیلیس تهیه شد. بررسی آب آشامیدنی از نظر باکتری‌های کلیفرم طبق دستور العمل ۹۲۲۱ کتاب روش‌های استاندارد (۱۹) و طی دو مرحله ی احتمالی و تاییدی صورت گرفت. کلیه آزمایش‌ها در آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب استان ایلام انجام شد. پژوهش حاضر یک مطالعه توصیفی - مقطعی بوده و طی دو مرحله و با استفاده از پایلوت در مقیاس آزمایشگاهی انجام شد. در مرحله اول به منظور انجام این پژوهش از میان چاه‌های آب موجود در شهر ایلام تعداد ۷ حلقه چاه با میزان آب دهی مناسب که به منظور تامین آب فضای سبز از آنها استفاده می‌شود، انتخاب شدند. پس از تعیین موقعیت مکانی و ثبت مختصات جغرافیایی، نقشه پراکنش چاه‌ها مطابق شکل ۱ تهیه گردید. در ادامه هماهنگی لازم برای نمونه برداری با شهرداری شهر ایلام صورت پذیرفت. نمونه برداری برای متغیرهای مورد نظر با در نظر گرفتن استانداردهای نمونه برداری به تعداد ۵ نمونه از هر کدام از چاه‌های مذکور از طریق شیر برداشت انجام شد (روش نمونه برداری مطابق با شماره استاندارد ۲۳۴۷ و ۲۳۴۸ موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران). سپس نمونه‌ها به منظور انجام آزمایش‌ها، به آزمایشگاه آب و فاضلاب استان ایلام منتقل شدند.

در این پژوهش کل کلیفرم‌ها و کلیفرم‌های مدفوعی در جهت تعیین کیفیت آب چاه‌های مذکور و طراحی آزمایش‌های حذف کلیفرم در مراحل بعد مورد آزمایش قرار گرفتند. همچنین پارامترهای pH و سختی نیز به منظور بررسی میزان تداخل آن‌ها در حذف یا کاهش کلیفرم قبل و بعد از عبور از فیلتر اندازه گیری شدند. مرحله دوم با طراحی و ساخت پایلوت به روش فیلتر تحت فشار عادی که معمولاً با جریان بالا به پایین کار می‌کنند، به صورت موازی انجام شد. برای ساخت فیلترها از لوله‌های شیشه ای

از این پژوهش بررسی کارایی نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی به منظور ارتقاء فیلترهای شنی معمول در حذف یا کاهش باکتری‌های کلیفرم از آب زیرزمینی شهر ایلام می‌باشد.

## روش کار

### منطقه مورد مطالعه

استان ایلام در غرب کشور واقع شده و از شمال به استان کرمانشاه، از جنوب به استان خوزستان، از شرق به استان لرستان و از غرب به کشور عراق با طول ۴۲۵ کیلومتر مرز مشترک همسایه است. شهر ایلام، مرکز استان ایلام و بزرگترین منطقه شهری در استان با جمعیتی بالغ بر ۲۳۰۰۰۰ نفر بر اساس نتایج آخرین سرشماری منتشره و مساحت حدود ۲/۲۶۴۴ هکتار است (۱۸). میزان بارندگی در ایلام طی فصل‌های مختلف متفاوت است. بیشترین مقدار بارندگی سالانه در فصل‌های زمستان و بهار اتفاق می‌افتد. اما به طور کلی متوسط بارندگی سالانه در این شهر ۵۹۵ میلی متر است.

آب مورد نیاز شهر ایلام از سه منبع سد چم گردلان (حدود ۶۰٪)، چشمه گل گل و سه حلقه چاه قوچ علی واقع در نزدیکی شهر ایلام (حدود ۴۰٪) تامین می‌شود که پس از انجام مراحل تصفیه و کلرزنی وارد شبکه توزیع آب شهری می‌گردد. یکی از منابع اصلی تامین آب شرب، آب‌های زیرزمینی هستند. شهر ایلام با توجه به موقعیت جغرافیایی، از سفره آب زیرزمینی مناسبی برخوردار است اما به دلیل عدم وجود شبکه جمع آوری بهداشتی فاضلاب در گذشته و به تبع آن آلودگی منابع آب زیرزمینی، استفاده از آن برای مصارف شرب ممنوع شده است. با توجه به بحران آب در چند سال اخیر، استفاده بهینه از تمامی منابع آب در دسترس بسیار ضروری بوده لذا می‌توان از این منابع پس از انجام مراحل تصفیه مناسب به منظور تامین آب شرب استفاده نمود.

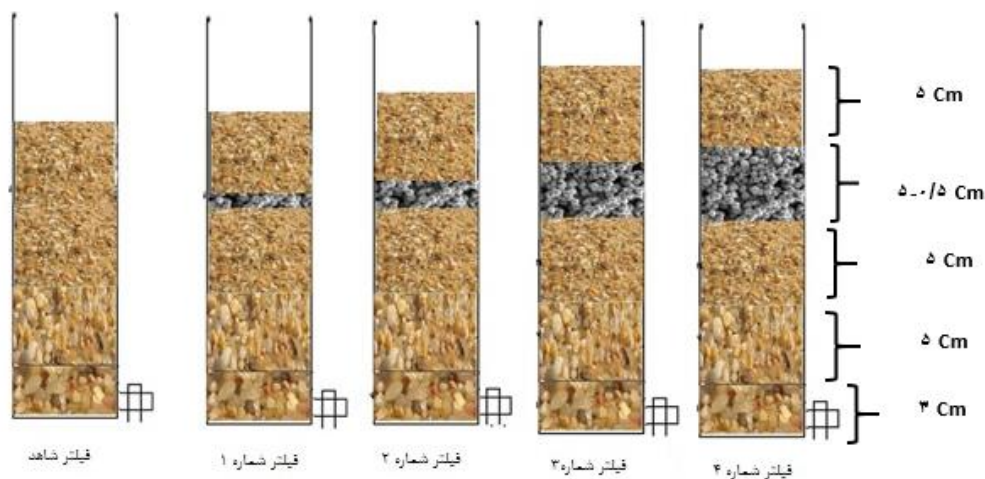
### مواد و روش بررسی

ظرفیتی مطابق شکل ۲ پر شدند. همچنین برای جلوگیری از تلاطم، یک تور سیمی استیل با مش کمتر از ۴ میلی‌متر قرار داده شد. تفاوت نانو فیلترهای تهیه شده در مقدار نانو ذرات استفاده شده (۳-۵/۰ گرم) بود.

به قطر ۵ سانتی متر استفاده گردید. به منظور برداشت نمونه در انتهای لوله یک شیر تعبیه شده و داخل لوله‌ها با حجم‌های مختلفی از سیلیس با قطر ذرات متفاوت (درشت دانه، میان دانه و ریز دانه) از پایین به بالای لوله و همچنین نانو ذرات آهن صفر



شکل ۱. موقعیت چاه‌های مورد بررسی در شهر ایلام



شکل ۲. شمای نانوفیلتر تهیه شده

با استفاده از شیر تعبیه شده مجدداً نمونه‌برداری و آزمایش‌های مورد نظر انجام شد. در هر نمونه آزمون شمارش کلی فرم به طور جداگانه انجام

پس از ساخت پایلوت، نمونه آب چاه‌ها که در بررسی اولیه دارای آلودگی میکروبی بودند، از فیلترها عبور داده شد. به منظور تعیین کارایی نانو فیلترها در حذف باکتری‌ها پس از عبور جریان از انتهای هر فیلتر



نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی مورد استفاده دارای درصد خلوص ۹۹/۵ درصد می‌باشند.

جدول ۱. نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی نانو ذرات آهن

Elements/Properties	%
Fe	≥ 99.5
Cu	≤ 0.005
Si	≤ 0.02
Ni	≤ 0.12
Cr	≤ 0.015
Mg	≤ 0.004
Al	≤ 0.091
Ti	≤ 0.005
Mo	≤ 0.024
Ca	≤ 0.044
Sn	≤ 0.008
Other	
APS	35-45nm
SSA	8-14 m <sup>2</sup> /g
Bulk Density	0.45 g/cm <sup>3</sup>
True Density	7.90 g/cm <sup>3</sup>

### نتایج آزمون‌ها

بعد از نمونه برداری و انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه پارامترهای مورد نظر اندازه‌گیری شد که نتایج حاصل از آن قبل از فیلتراسیون در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. نتایج حاصل از اندازه‌گیری پارامترهای مورد بررسی در آب چاه‌ها قبل از فیلتراسیون

P-A	تایید ۴۴ (ای سی)	تایید ۳۷ (برلیان گرین)	کلیفرم احتمالی (MPN/100 ml)	pH	سختی	نام چاه	ردیف
مثبت	۴۳	۲۲۰	۱۱۰۰	۷/۵۱	۳۱۰	سلمان فارسی	۱
منفی	۰	۰	۲۴۰	۷/۳۲	۳۴۰	پارک کودک	۲
مثبت	۹	۲۱۰	۱۱۰۰	۷/۳۴	۳۸۵	چشمه قنداقه	۳
مثبت	۴۶۰	۱۱۰۰	۱۱۰۰	۷/۴۶	۳۹۰	نامدنانان ۲	۴
مثبت	۰	۰	۴۶۰	۷/۶۱	۲۹۰	بلوار آزادی	۵
مثبت	۴	۷۵	۲۱۰	۷/۵۴	۳۹۵	نامدنانان ۱	۶
مثبت	۳	۲۸	۲۲۰	۷/۶۸	۳۴۵	پارک سراب	۷

عمل فیلتراسیون با استفاده از فیلتر شنی حاوی نانو ذرات آهن در شکل ۳ و نتایج مربوط به راندمان حذف کلیفرم با استفاده از این فیلتر در شکل ۴ نشان داده شده است.

گرفت. سپس به منظور محاسبه راندمان حذف کلی فرم توسط فیلتر از رابطه زیر استفاده گردید.

$$\text{راندمان حذف} = \frac{MPN_0 - MPN_t}{MPN_0} \times 100 \quad (1)$$

که در این رابطه  $MPN_t$  برابر با محتمل ترین تعداد باکتری در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه در زمان  $t$  و  $MPN_0$  محتمل ترین تعداد باکتری در ۱۰۰ میلی لیتر نمونه در زمان صفر می‌باشد.

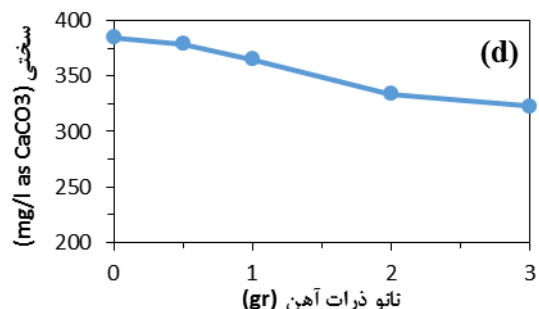
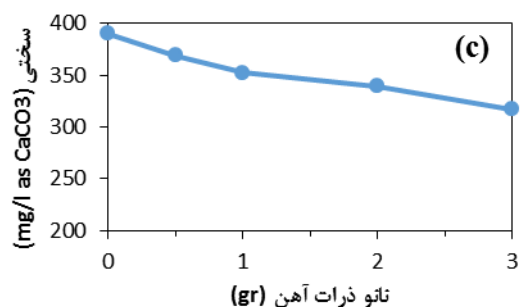
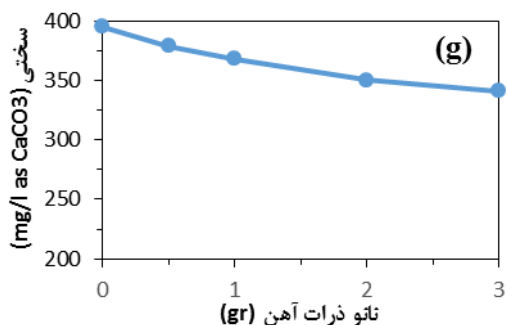
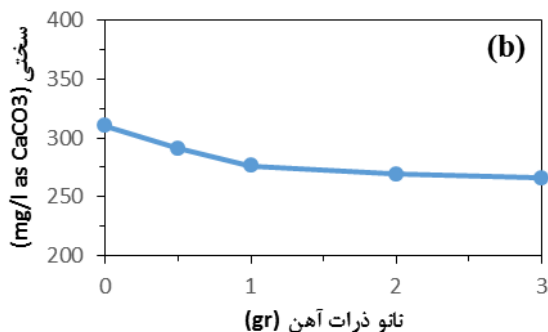
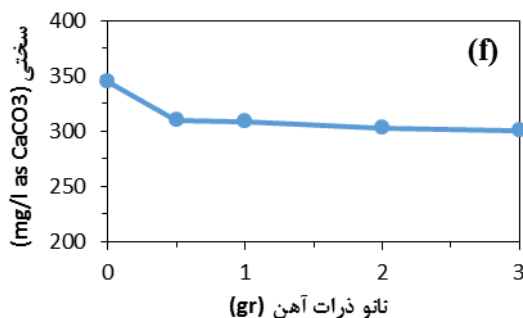
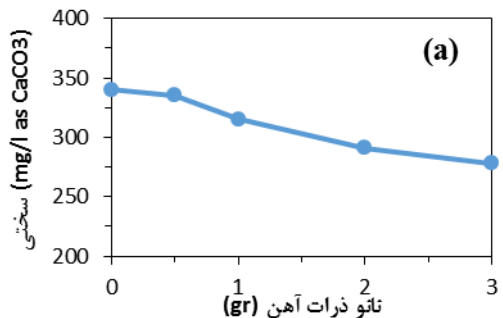
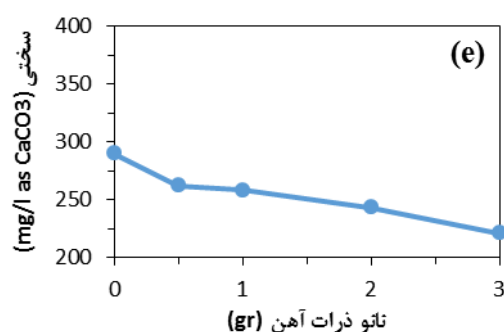
در نهایت تحلیل آماری داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار SPSS، جهت بررسی ارتباط بین میزان نانو ذرات آهن و راندمان حذف کلیفرم و همچنین میزان کلیفرم احتمالی و همچنین میزان سختی و pH در هر یک از آب چاه‌های مورد بررسی توسط ضریب همبستگی و رگرسیون صورت پذیرفت. مقدار P-value کمتر از ۰/۰۵ به عنوان سطح معنی‌دار یعنی با ۹۵ درصد اطمینان در نظر گرفته شد.

### یافته‌ها

#### خصوصیات نانو ذرات آهن

نتایج حاصل از آزمایش‌های صورت گرفته توسط شرکت تولید کننده در جدول ۱ نشان داده است که

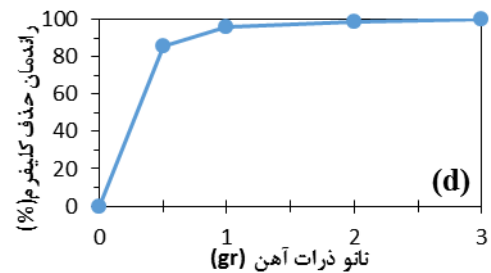
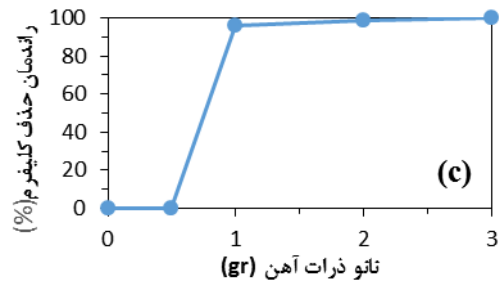
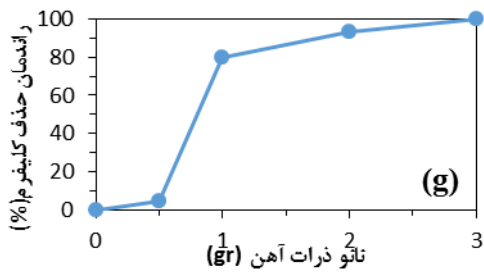
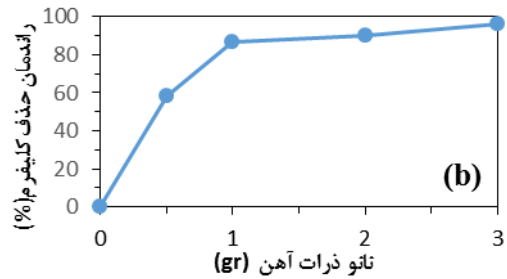
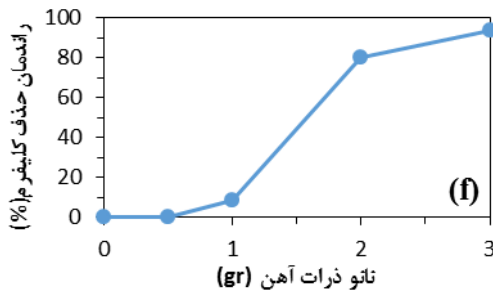
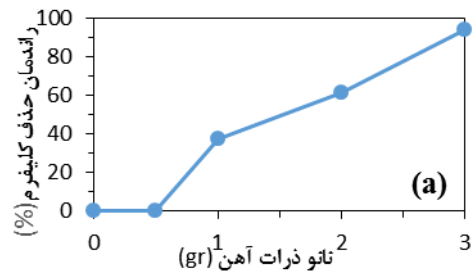
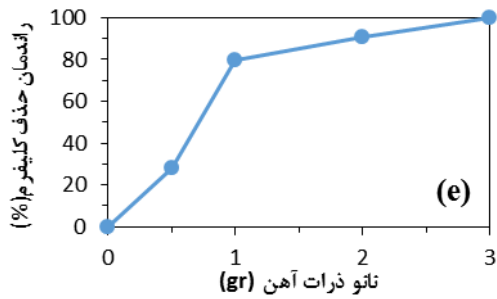
همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود آب کلیه چاه‌های مورد بررسی دارای آلودگی میکروبی بودند. چاه‌های سلمان فارسی، چشمه قنداقه و نامدنانان ۲ دارای بالاترین میزان کلیفرم مدفوعی بودند. آب چاه بلوار آزادی کمترین و چاه نامدنانان ۱ بالاترین مقدار سختی را داشته‌اند. نتایج حاصل از کاهش سختی بعد از



شکل ۳. میزان سختی آب چاه‌های مورد بررسی (mg/l as CaCO<sub>3</sub>) بعد از انجام فیلتراسیون، (a) چاه پارک کودک (b) چاه سلمان فارسی (c) چاه نامدنان ۲ (d) چاه قنداقه (e) چاه بلوار آزادی (f) چاه نامدنان ۱ (g) چاه پارک سراب

راندمان حذف کلیفرم افزایش یافته است. راندمان حذف در همه چاه‌ها به جز چاه نامدنان ۱، ۱۰۰ درصد بوده و این بدان معنی است که میزان کلیفرم در آب آنها پس از انجام فیلتراسیون به صفر رسیده است.

نمودارهای شکل ۳ نشان می‌دهد در ابتدا با افزایش مقدار نانو ذرات آهن مقدار سختی در آب خروجی فیلتر کاهش یافته اما با گذشت زمان روند کاهشی متوقف شده است. همچنین همانطور که در نمودارهای شکل ۴ مشخص است، با افزایش میزان نانو ذرات آهن در فیلتر



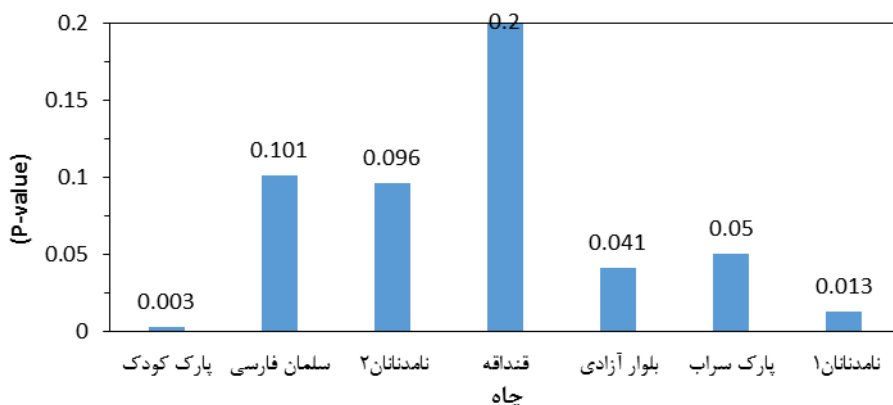
شکل ۴. راندمان حذف کلیفرم آب چاه‌های مورد بررسی بر حسب درصد بعد از فیلتراسیون: (a) چاه پارک کودک (b) چاه سلمان فارسی (c) چاه نامدانان ۲ (d) چاه قنذاقه (e) چاه بلوار آزادی (f) چاه نامدانان ۱ (g) چاه پارک سراب

جدول ۳) انجام شد. شکل ۶ و ۷ نمودار پراکنش راندمان حذف کلیفرم و سختی را در رابطه با نانو ذرات آهن به ترتیب نشان می‌دهد.

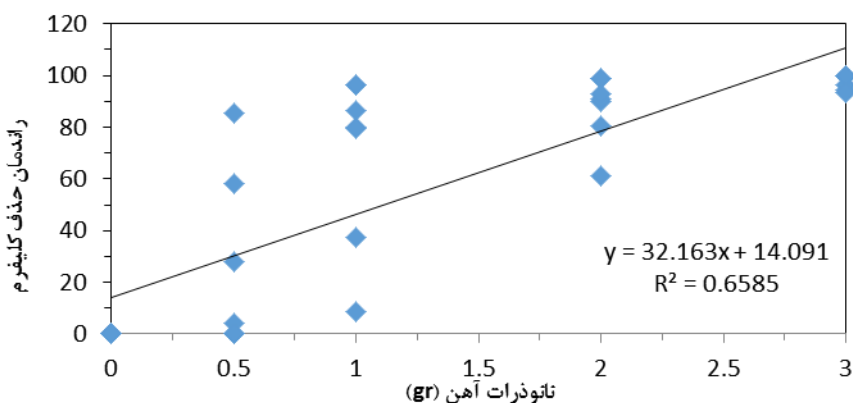
### تحلیل آماری

به منظور بررسی ارتباط بین میزان نانو ذرات آهن و راندمان حذف کلیفرم تحلیل آماری با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (شکل ۵) و رگرسیون خطی

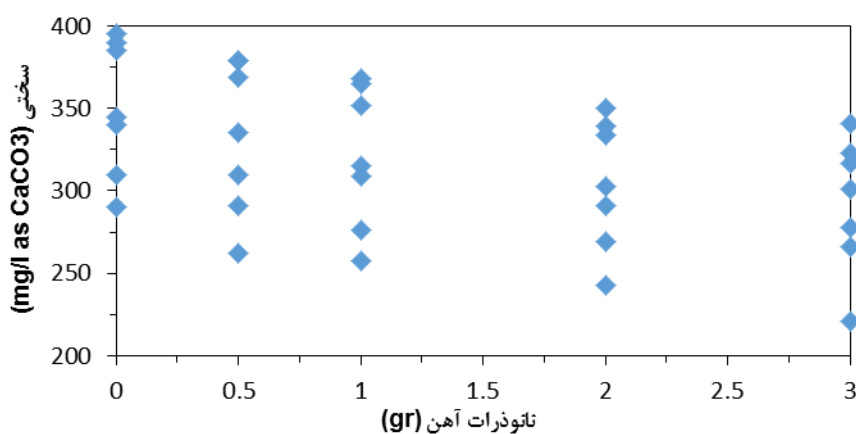




شکل ۵. میزان همبستگی بین راندمان حذف کلیفرم و نانو ذرات آهن



شکل ۶. نمودار پراکنش راندمان حذف کلیفرم آب کلیه چاهها بر حسب درصد بعد از فیلتراسیون



شکل ۷. نمودار پراکنش سختی آب کلیه چاهها بعد از فیلتراسیون (mg/l as CaCO3)

آهن مستقیم و معنادار است یعنی با افزایش مقدار نانو ذرات آهن، راندمان حذف کلیفرم افزایش یافته است.

نمودارهای پراکنش نشان می دهند که ارتباط بین میزان نانو ذرات آهن و سختی در کلیه نمونه های آب جمع آوری شده بعد از فیلتراسیون معکوس و معنادار بوده و ارتباط بین راندمان حذف کلیفرم و نانو ذرات

جدول ۳. ارتباط بین پارامترهای مورد بررسی و نانو ذرات آهن بر اساس رگرسیون خطی

نام چاه	پارامتر	*Sig.	**B
پارک کودک	راندمان حذف کلیفرم	۰/۰۰۳	۳۳/۰۵
	کلیفرم احتمالی	۰/۰۰۳	-۷۹/۳۲
	سختی	۰/۰۰۲	-۲۲/۱۰
سلمان فارسی	راندمان حذف کلیفرم	۰/۱۰۱	۲۶/۵۳
	کلیفرم احتمالی	۰/۱۰۱	-۲۹۱/۸۸
	سختی	۰/۰۴۳	-۱۳/۴۷
نامدنانان ۲	راندمان حذف کلیفرم	۰/۰۹۶	۳۶/۲۶
	کلیفرم احتمالی	۰/۰۹۶	-۳۹۸/۸۱
	سختی	۰/۰۰۴	-۲۲/۶۹
چشمه قنداقه	راندمان حذف کلیفرم	۰/۲۰۰	۲۴/۴۷
	کلیفرم احتمالی	۰/۲۰۰	-۲۶۹/۱۶
	سختی	۰/۰۰۲	-۲۲/۴۷
بلوار آزادی	راندمان حذف کلیفرم	۰/۰۴۱	۳۲/۲۹
	کلیفرم احتمالی	۰/۰۴۱	-۱۴۸/۵۲
	سختی	۰/۰۰۸	-۲۰/۳۸
پارک سراب	راندمان حذف کلیفرم	۰/۰۵۰	۳۵/۸۳
	کلیفرم احتمالی	۰/۰۵۲	-۹۶/۳۵
	سختی	۰/۱۳۹	-۱۱/۲۸
نامدنانان ۱	راندمان حذف کلیفرم	۰/۰۱۳	۳۶/۷۱
	کلیفرم احتمالی	۰/۰۵۱	-۷۵/۳۳
	سختی	۰/۰۰۴	-۱۷/۶۶
کل چاه‌ها	راندمان حذف کلیفرم	۰/۰۰۰	-۱۹۴/۲۰
	کلیفرم احتمالی	۰/۰۰۰	۳۲/۱۶
	سختی	۰/۰۰۶	-۱۸/۵۸

\* سطح معنی داری  $P \leq 0.05$ 

\*\* در معادله رگرسیون، B نشان دهنده شیب خط است و مقدار تغییرات Y به ازای یک واحد افزایش در X را نشان می‌دهد.

شد. همچنین با افزایش هر گرم نانو ذرات آهن، ۱۸/۵۸ درجه از سختی کاهش داشته است. از لحاظ آماری ارتباط معنا داری بین سختی با نانو ذرات آهن مشاهده شده است.

#### بحث

پس از بررسی صورت گرفته بر روی نمونه‌های گردآوری شده از آب چاه‌های مورد نظر در شهر ایلام مشخص شد که بیشترین میزان آلودگی مربوط به چاه نامدنانان ۲، چشمه قنداقه و سلمان فارسی بود. علت این امر می‌تواند وجود چاه‌های فاضلابی باشد که

بر اساس داده‌های جدول ۳ بالاترین راندمان حذف در ازای افزایش نانو ذرات آهن بر حسب گرم، متعلق به آب چاه نامدنانان ۲ بوده و کمترین میزان راندمان حذف مربوط به آب چاه چشمه قنداقه است. همچنین بالاترین میزان حذف سختی مربوط به آب چاه نامدنانان ۲ و کمترین میزان حذف سختی به ازای افزایش نانو ذرات آهن بر حسب گرم را آب چاه پارک سراب داشته است. اما به طور کلی با افزایش هر گرم نانو ذرات آهن، ۳۲/۱۶ درصد راندمان حذف کلیفرم افزایش یافت. از نظر آماری ارتباط معنا داری بین راندمان حذف کلیفرم با نانو ذرات آهن مشاهده

نشود. اما به طور کلی می‌توان بیان نمود که با افزایش میزان نانوذررات آهن، راندمان حذف کلیفرم افزایش یافت که با نتایج مطالعه حبیبی پور همکاران در حذف باکتری کلیسیلا پنومونه با استفاده از نانو ذرات نقره، واتس و همکاران در حذف کروم و شوبایر و همکاران در حذف نیترات با استفاده از نانو ذرات آهن مطابقت داشت (۲۱،۱۱،۱۰)، در حالی که با نتایج میرانزاده و همکاران در حذف باکتری کلیفرم و علی‌دادی و همکاران در حذف باکتری‌های هتروترف با استفاده از نانو ذرات نقره تطابق نداشت که این امر می‌تواند به دلیل نوع نانو ذرات مورد استفاده، باشد (۲۳،۲۲). همچنین مشاهده شد که غلظت کم نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی نیز قادر است حجم بالایی از آلایندگی را از بین ببرد. این موضوع با تحقیقات لیو و همکاران کاملاً مطابقت دارد (۱۵).

به منظور انجام فیلتراسیون نمونه‌های آب برداشت شده، به ترتیب ابتدا آب چاه پارک کودک، سپس سلمان فارسی، نامدنانان ۲، قن‌دازه، بلوار آزادی، پارک سراب و نامدنانان ۱ از فیلتر عبور داده شدند که این امر می‌تواند در معنادار بودن یا نبودن ارتباط بین راندمان حذف کلیفرم و میزان کلیفرم احتمالی با نانوذررات آهن به دلیل اشباع شدن نانو ذرات آهن موثر بوده باشد. نتایج حاصل از هم رگرسیون خطی و هم ضریب همبستگی پیرسون نشان داد که ارتباط معنی‌دار و معکوس بین میزان سختی و میزان نانو ذرات آهن وجود دارد که نشان دهنده کاهش میزان سختی با افزایش میزان نانوذررات آهن است.

### نتیجه گیری

آلاینده‌های میکروبی بخصوص باکتری کلیفرم مدفوعی یکی از آلاینده‌های رایج در آب هستند که عمدتاً در اثر ورود فاضلاب‌های انسانی به آب‌های سطحی و زیر زمینی رخ می‌دهند. کلیفرم مدفوعی به عنوان شاخص آلودگی میکروبی بوده و مقدار آن در آب شرب باید به صفر برسد. بنابراین استفاده از

هنوز به شبکه جمع آوری فاضلاب متصل نشده‌اند. همچنین آبرفتی بودن بافت زمین‌های اطراف محدوده چاه نامدنانان ۲ و شیب سفره آب زیرزمینی مایل به سمت آن‌ها علاوه بر همجواری با گلخانه و مرکز تولید نهال و گل شهرداری ایلام (بخصوص چاه نامدنانان ۲) که از انواع کودهای طبیعی استفاده می‌کنند، می‌تواند در آلودگی این چاه‌ها موثر باشد. با توجه به اینکه چاه‌های فوق متصل به فئات با ۳۲ حلقه چاه با فاصله متوسط ۵۰ متر بوده که اتصال آنها از طریق نقب‌های زیر زمینی به صورت گالری به هم صورت گرفته است و نیز وجود دو حلقه چاه فاضلاب سرویس بهداشتی تاسیسات فوق که به هر علتی به فاضلاب شهری متصل نشده اند، باعث تشدید آلودگی فاضلابی آنها شده است.

بر اساس ضریب همبستگی پیرسون بین مقدار نانو ذرات آهن و راندمان حذف کلیفرم آب چاه‌های پارک کودک، بلوار آزادی، پارک سراب و نامدنانان ۱ ارتباطی قوی و مستقیم مشاهده شد. همچنین نمودار پراکنش به طور کلی نشان دهنده ارتباط مستقیم و معنادار بین راندمان حذف کلیفرم و نانو ذرات آهن بود که با نتایج مطالعه جانباز فوتمی و همکاران در حذف آرسنیک با استفاده از نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی مطابقت داشت (۲۰). بر اساس داده‌های حاصل از رگرسیون خطی بین مقدار نانو ذرات آهن و میزان کلیفرم احتمالی آب چاه‌های پارک کودک و بلوار آزادی ارتباط معکوس و معناداری وجود داشت یعنی با افزایش میزان نانو ذرات آهن میزان کلیفرم احتمالی کاهش یافت در حالیکه این ارتباط برای سایر چاه‌ها مشاهده نشد. بین مقدار نانو ذرات آهن و راندمان حذف کلیفرم آب چاه‌های پارک کودک، بلوار آزادی، نامدنانان ۱ و پارک سراب بر اساس داده‌های حاصل از رگرسیون خطی، ارتباط مستقیم و معناداری مشاهده شد که نشان می‌دهد با افزایش میزان نانو ذرات آهن راندمان حذف کلیفرم افزایش یافت. اما در سایر چاه‌ها ارتباط معناداری بین این دو مشاهده

در این پژوهش با استفاده از رگرسیون خطی و ضریب همبستگی پیرسون نشان داده شده که ارتباط بین میزان سختی و میزان نانو ذرات آهن یک ارتباط معکوس می‌باشد که بادقت قابل قبولی میتوان برآزش خطی نمود.

### تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر مستخرج از پایان‌نامه دانشجویی نویسنده اول با کد شناسه ۱۰۱۴۰۴۰۱۹۵۱۰۶۸ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی می‌باشد. نویسندگان این تحقیق مراتب تشکر و قدردانی خود را از اداره آب و فاضلاب شهر ایلام به جهت در اختیار گذاشتن داده‌ها و امکانات آزمایشگاهی بعمل می‌آورند.

روش‌های مناسب و کارآمد در حذف آن‌ها از آب آشامیدنی امری ضروری است. در این پژوهش از هفت حلقه چاه با پراکندگی مناسب در سطح شهر ایلام، نمونه‌برداری صورت پذیرفته و با عبور نمونه آب از فیلتر شنی به همراه نانو ذرات آهن میزان کاهش آلایندگی میکروبی آن مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که با افزایش میزان نانو ذرات آهن راندمان حذف کلیفرم افزایش خواهد یافت. به طوری که با افزایش میزان نانو ذرات آهن به ۳ گرم، راندمان حذف کلیفرم تقریباً در همه نمونه‌ها به ۱۰۰ درصد رسید. همچنین نانو ذرات آهن در کاهش سختی نمونه‌های آب موثر بودند به طوری که در حالت بیشینه این درصد کاهش به ۲۴ نیز رسیده‌است. با توجه به نتایج بدست آمده

### References

- 1-Zhang Y, Sivakumar M, Yang S, Enevera K, Ramezani-pour M. Application of solar energy in water treatment processes: A review. *Desalination*, 2018; 428: 116–145.
- 2-Shatat M, Worall M, Riffat S. Opportunities for solar water desalination world wide: Review. *Journal of Sustainable Cities Society*. 2013;9: 67–80.
- 3-Paixão MVG, Balaban RC. Application of guar gum in brine clarification and oily water treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018; 108: 119–126.
- 4-Ali A, Quist-Jencen CA, Drioli E, Macedonio F. Evaluation of integrated microfiltration and membrane distillation/crystallization processes for produced water treatment. *Desalination*. 2017; 434: 161-168.
- 5-Xi Y, Megharaj M, Naidu R. Dispersion of zerovalent iron nanoparticles onto bentonites and use of these catalysts for orange II decolourisation. *Applied Clay Science*. 2011; 53(4): 716–722.
- 6-Karn B, Kuiken T, Otto M. Nanotechnology and in situ remediation: a review of the benefits and potential risks. *Environmental health perspectives*. 2009; 117(2): 1813-1831.
- 7-Li Z, Dong H, Zhang Y, Li J, Li Y. Enhanced removal of Ni(II) by nanoscale zero valent iron supported on Na-saturated bentonite. *Journal of Colloid Interface Science*. 2017; 020-58.
- 8-Qiu X, Fang Z, Yan X, Gu F, Jiang F. Emergency remediation of simulated chromium (VI)-polluted river by nanoscale zero-valent iron: laboratory study and numerical simulation. *Chemistry Engineering Journal*. 2012; 193-194: 358–365.
- 9-Eslami S, Ebrahimzadeh MA, Biparva P, Abedi Rad SM. Zero valent iron-based nanoparticles: synthesis, characterization and their application in biology and medicine. *Journal of Mazandaran University Medical Sciences*. 2016; 26 (142): 285-310 (In Persian).
- 10-Shubair T, Eljamal O, Khalil AME, Matsunaga N. Multilayer system of nanoscale zero valent iron and Nano-Fe/Cu particles for nitrate removal in porous media. *Separation and Purification Technology*. 2018; 193: 242–254.
- 11-Watts MP, Coker VS, Parry SA, Patrick RAD, Thomas RAP, Kalin R, Lloyd JR. Biogenic nano-magnetite and nano-zero valent iron treatment of alkaline Cr(VI) leachate and chromite ore processing residue. *Applied Geochemistry*. 2015; 54: 27–42.

- 12-Salehnia S, Barikbin B, Dorry H. The efficiency of magnetic carbon activated by iron oxide nanoparticles in removing of Cu (II) from aqueous solutions. *Journal of Birjand University Medical Sciences*. 2016; 23 (1): 44-55 (In Persian).
- 13-Velimiric M, Schmid D, Wagner S, Micić V, Von Der Kammer F, Hofmann T. Agar agar-stabilized milled zero valent iron particles for in situ groundwater remediation. *Scientific Total Environment*. 2016; 564: 713–723.
- 14-Mackenzie K, Bleyl S, Georgi A, Kopinke FD. Carbo-Iron - An Fe/AC composite- as alternative to nano-iron for groundwater treatment. *Water Research Journal*. 2012; 46(12): 3817 -3826.
- 15-Liu H, Wang Q, Wang C, Li XZ. Electron efficiency of zero valent iron for groundwater remediation and wastewater treatment. *Chemistry Engineering Journal*. 2013; 215-216: 90–95.
- 16-Purnell S, Ebdon J, Buck A, Tupper M, Taylor H. Removal of phages and viral pathogens in a full-scale MBR: implications for wastewater reuse and potable water. *Water Research Journal*. 2016; 20-27.
- 17-Dey NC, Parvez M, Dey D, Saha R, Ghose, L, Barua MK, Islam A, Chowdhury MR. Microbial contamination of drinking water from risky tube wells situated in different hydrological regions of Bangladesh, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2017; 220(3): 621–636.
- 18-Pirbavepour M, Karimi H. Investigation of the effect of drought on the chemical parameters of groundwater resources in Ilam city during the years 74-88. *Proceeding of First National Conference on Sustainable Agricultural Sustainability Strategies*. 2011, Ahvaz, Iran, (In Persian).
- 19-Standard methods for the examination of water and wastewater, American Public Health Association (APHA) publication, 23<sup>rd</sup> Edition, 2017: 1545 pages.
- 20-Janbaz Fotemi M, Kholghi M, Hourfar A, Haghshenas D. Experimental investigation of arsenic removal by using Fe nano particles in batch experiment. *Journal of Environment Studies*. 2014; 68(4): 149-156 (In Persian).
- 21-Habibipour R, Sadeghian M, Seif A, Bayat S. The effect of silver nanoparticles on removing *Klebsiella pneumoniae* from industrial residues. *Scientific Journal of Hamadan University of Medical Sciences*. 2016; 82(23): 1-8.
- 22-Miranzadeh MB, Rabbani D, Naseri S, Nabizadeh R, Mousavi GH, Ghadami F. Coliform bacteria removal from contaminated water using nanosilver. *Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences*. 2012; 16(1): 31-35.
- 23-Alidadi H, Norouzian ostad R, Esmaeili H. Effect of silver nanoparticles on the inactivation of heterotrophic bacteria in water contaminated. *Journal of Sabzevar University of Medical Sciences*. 2016; 23(1): 40-47.