بررسی اثر نانونقره بر حذف باکتری‌های کلیفرم از آب آلوده

محمدباقرمیران زاده [۱]، داورخواه ربانی [۲]، سیمین ناصری [۳]، رامین نبی‌زاده [٤]، سید غلامعباس موسوی [٥]، فائزه قدمی [٦*]

خلاصه:

سابقه و هدف: اگرچه نقره در گندزدایی آب موثر است، ولی از معایب آن می‌توان به تیره‌کردن پوست و غشا مخاطی در نتیجه تماس طولانی با غلظت‌های زیاد و نیز هزینه بالای آن نام برد. انتظار می‌رود با کاربرد مقادیر کمتر این فلز در نتیجه استفاده از نانوفناوری معایب مذکور برطرف شود. هدف از این تحقیق ارزیابی اثر نانونقره بر حذف باکتری‌های کلیفرم از آب آلوده است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه تجربی در سیستم بسته و در مقیاس آزمایشگاهی بر روی آب آلوده دست‌سازی که با اضافه کردن ۵ میلی لیتر پساب به ٦۰ لیتر آب شبکه شهری ساخته شده بود، انجام گرفت. هربار، به ٦ ظرف (۵۰۰ میلی لیتری) از آب آلوده، نانونقره خالص با مقادیر μgL^{-1} ۱۸۰-۳۰ افزوده شد و در طول ۱۰۰ دقیقه هر ۲۰ دقیقه یک‌بار یک نمونه برداشت شده و مطابق کتاب استاندارد متود، آزمایش شد.

نتایج: نتایج نشان داد افزایش زمان تماس با نانونقره، باعث حذف بیشتر کلیفرم‌ها است (P=۰/۰۰۱)، اما رابطه معنی‌داری بین مقدار نانونقره و حذف کلیفرم‌ها دیده نشد (P=۰/٦). حداکثر حذف (۹۲/٤۱ درصد) در زمان تماس ۱۰۰ دقیقه و برای μgL^{-1} ٦۰ نانونقره به‌دست آمد.

نتیجه گیری: بر اساس نتایج این تحقیق، می‌توان نتیجه گرفت که نانونقره برای حذف کلیفرم‌ها از آب آلوده موثر است، اما برای گندزدایی آب آشامیدنی نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه است.

واژگان کلیدی: آب، گندزدایی، نانونقره، باکتری‌های کلیفرم

دو ماه‌نامه علمی– پژوهشی فیض، دوره شانزدهم، شماره ۱، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۱، صفحات ۳۵-۳۱

مقدمه

براساس گزارش سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۰٤، حداقل یک ششم از جمعیت جهان که برابر با ۱/۱ میلیارد نفر می‌باشد، به آب آشامیدنی سالم دسترسی ندارند. اسهال هر ساله ۲/۲ میلیون نفر که اغلب آنها بچه‌های زیر پنج سال هستند را به کام مرگ می‌کشد [۱]. امروزه به‌دست آوردن منابع آب کافی و حذف موثر و کم‌هزینه عوامل بیماری‌زا، مواد شیمیایی و دیگر آلودگی‌های آب یک چالش جهانی در حال رشد است [۲].

اگرچه فرآیندهای معمول تصفیه آب که شامل انعقاد، لخته سازی، ته نشینی و صاف سازی است، اغلب میکروارگانیسم‌ها را از بین می‌برد اما به‌دلیل باقی ماندن برخی میکروارگانیسم‌ها و یا ورود آنها بعد از این مراحل، لازم است آب گندزدایی شود. گندزدایی عبارت از تخریب میکروارگانیسم‌هایی است که قادر به ایجاد بیماری در انسان هستند [٤،۳]. رایج‌ترین روش‌ها برای گندزدایی آب استفاده از کلر، کلرآمین و دی اکسید کلر است. سایر گندزداها هم شامل اشعه ماورا بنفش، آهک کلرینه شده، برم، ید، و نقره می‌باشند [۵]. اگرچه روش‌های رایج در تصفیه آب آشامیدنی می‌توانند به‌نحو موثری عوامل میکروبی را کنترل نمایند، اما تحقیقات انجام شده طی چند دهه اخیر بین گندزدایی آب و تشکیل محصولات جانبی گندزدایی (Disinfection By DBPs Products;) ارتباط نشان می‌دهند [۲]. برخی روش‌های فیزیکی تصفیه، مانند اشعه ماورا بنفش، امواج مافوق صوت و غشاها اگرچه بسیاری از معیارهای یک گندزدای خوب را دارند، اما نمی‌توانند باقی‌مانده کافی را برای سیستم‌هایی با شبکه توزیع گسترده و یا زمان‌های ماند طولانی فراهم کنند. گندزداهای شیمیایی جایگزین شامل کلرآمین، دی اکسید کلر، برم، دی اکسید تیتانیوم و پرمنگنات پتاسیم نیز به‌دلیل کارایی کم، قیمت بالا و تولید DBPs سمی، محدود شده است [٦]. بنابراین لازم است تکنولوژی‌های جدید برای گندزدایی موثر آب جستجو و شناسایی

[۱] دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

[۲] استادیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

[۳] استاد، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انیستیتو تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران

[٤] دانشیار، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و انیستیتو تحقیقات بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی تهران

[۵] مربی، مرکز تحقیقات تروما، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

[٦] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی کاشان

***نشانی نویسنده مسئول:**

کاشان، کیلومتر ۵ بلوار قطب راوندی، دانشگاه علوم پزشکی، دانشکده بهداشت، گروه بهداشت محیط

تلفن: ۰۹۱۲ ٦۹۹۳٤۰۲ **دورنویس:** ۰۳٦۱ ۵۵۵۰۱۱۱

پست الکترونیک: ghadamyfaezeh87@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۰/۵/۱٦ **تاریخ پذیرش نهایی:** ۹۰/٦/۲۸

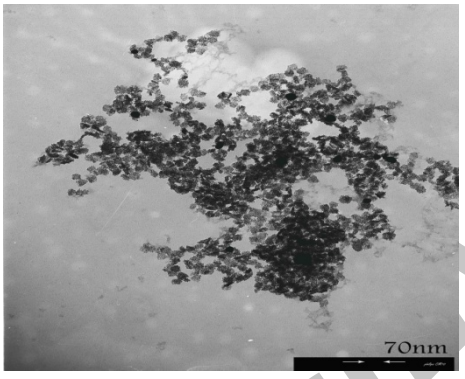
Archive of SID

www.SID.ir

شوند [۲]. نقره از زمان های قدیم به‌طـور گـسترده بـرای سـاخت وسایل غذاخوری به‌کار رفته است [۷]. امروزه هم یون نقره بـرای گندزدایی به‌کار می رود. فلزاتی مانند نقره، مس، جیوه، منگنـز، و آهن پتانسیل گندزدایی آب را دارند، ولی از میان آنها فقـط نقـره برای گندزدایی آب مصرفی انسان به‌کار می‌رود؛ اما که محلول‌های نقره درمقایسه با محلول‌های کلـر بـسیار گـران هـستند [۸]. از آن جایی که یکی از عوامل مهم محـدود کننـده در کـاربرد نقـره در گندزدایی آب، عامل اقتصادی است، لذا در صورتی‌که بتوان ضمن حفظ خاصیت گندزدایی و سـایر امتیـازات آن، از طریـق کـاهش مقدار موثر، مشکل اقتصادی یاد شده را برطرف نمود، گام مـوثری در رابطه بـا گنـدزدایی آب محـسوب مـی‌شـود. ظهـور علـم و تکنولوژی نانو در دهه اخیر فرصت‌هایی را برای کـشف خاصـیت باکتری کشی نانوذرات فلزی ایجاد کرده اسـت. خـواص بـاکتری کشی نانوذرات فلزی مربوط به اندازه کوچک و نسبت سـطح بـه حجم بالای آن است که به آنها اجازه می‌دهد از نزدیک بـا غـشاء میکروبی واکنش بدهند [۹]. چندین نانو مواد طبیعی و مصنوعی از جمله کینوزان، فتوکاتالیت‌های اکسید تیتانیوم، نانولوله‌های کربنـی و نانوذرات نقره خواص ضد میکروبی قوی‌ای از خود نـشان داده-اند [۲]. در میان تمام نانو مـواد ضـد میکروبـی نـانو ذرات نقـره بیشترین کاربرد را دارند. مطالعه ظرفیت گندزدایی محصولات نانو نقره نشان می‌دهد که محلول گندزدا با غلظت ۱۰ppm قادر اسـت از رشد اشرشیاکلی و کلیفرم‌ها به‌طور کامـل جلـوگیری کنـد [۷]. تحقیق دیگری نشان می‌دهد حداقل غلظت بازدارنده نانوذرات نقره برای استافیلوک اورئوس و اشرشیا کلی بـه‌ترتیـب ۵ و ۱۰ ppm بوده است [۱۰]. هم‌چنین، حداقل غلظت ضـد میکروبـی نـانونقره برای باکتری‌های بیوفیلم ۱۰ میلی‌گرم در لیتر است [۱۱]. تنها اثر بد نقره، تیره کردن پوست و غشا مخاطی در نتیجـه تمـاس طـولانی مدت با مقادیر زیاد نقره است و بر این اساس با کاهش مقـدار در اثر استفاده از نانوفناوری، سندی مبنی بر سـمیت نـانوذرات نقـره برای انسان وجود ندارد [۲]. با توجه به نکات یاد شده این تحقیـق در نظر دارد اثر بخشی یک محلول نانو نقره تولید ایران را بر روی محتمل‌ترین تعداد کلیفرم‌ها در آب آلوده مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق یک مطالعه تجربی در مقیاس آزمایـشگاهی است که در سیستم بسته بر روی نمونه‌های آب آلوده دسـت‌سـاز صورت گرفته اسـت. نـانونقره بـه‌صـورت سوسپانـسیون حـاوی نانوذرات نقره بـا انـدازه ۱۰ نـانومتر از شـرکت نانوپـاک پرشـیا خریداری شد (شکل شماره ۱). در آزمایشگاه تحقیقاتی بهداشـت محیط دانشگاه علوم پزشکی کاشان ابتدا آب آلوده دسـت‌سـاز بـا اضافه کردن ۵ میلی لیتر پسآب تصفیه خانه فاضلاب لجن فعال به ۶۰ لیتر آب شبکه شهری فاقد کلر باقیمانده ساخته شد. سپس، هم-زمان به ٦ ظرف حاوی ۰/۵ لیتر از آب آلوده دست سـاز مقـادیر مختلف نانونقره شـامل ۳۰، ٦۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ میکروگـرم در لیتر افزوده شد و از هریک از ظروف در زمان‌هـای صـفر، ۲۰، ٤۰، ٦۰، ۸۰ و ۱۰۰ دقیقه نمونه برداری انجام گرفت و کلیه مراحل مذکور سه بار تکرار شد. باتوجه به مقادیر و زمـان‌هـای مختلـف نمونه برداری و با احتساب ۳ بـار تکـرار در مجمـوع ۱۰۸ نمونـه میکروبی آماده شد. نمونه‌های برداشتی به‌روش ۱۵ لولـه‌ای مطـابق دستور العمل شماره B- ۹۲۲۱ چاپ بیست و یکـم کتـاب روش-های استاندارد برای آزمایشات آب و فاضلاب آزمایش شد [۱۲]. نتایج حاصله با آزمون‌هـای آمـاری mixed design ANOVA model و Kolmogorova - Smirov و به‌کمـک نـرم افـزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.



شکل شماره ۱- عکس میکروسکوپ الکترونی گذاره مربوط به نانو ذرات نقره شرکت نانو پاک پرشیا

نتایج

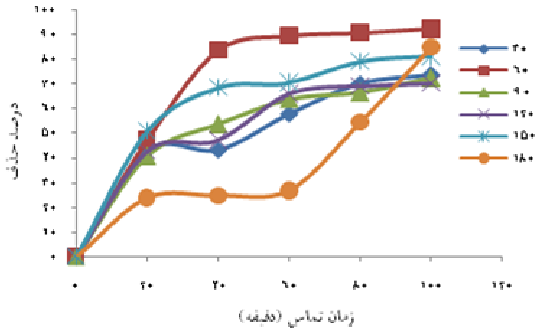
نتایج بررسی اثر مقادیر متفاوت سوسپانسیون نـانونقره در زمان‌های واکنش مختلف بر تعداد کلیفـرم احتمـالی باقیمانـده در ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه‌های آب آلوده دست ساز در جدول شـماره ۱ ارائه شده است. همان‌گونـه کـه مـشاهده مـی‌شـود میـزان ۳۰ میکروگرم در لیتر سوسپانسیون نانونقره توانسته است تعداد کلیفرم-های احتمالی را از ۱۰٤/٦٦ عدد در یک‌صد میلی لیتر از نمونه‌های خام پس از ۱۰۰ دقیقه زمان تماس به ۲۷/٦٦ عدد در صد میلی‌لیتر (۷۳/۵ درصد) کاهش دهـد. در نمـودار شـماره ۱ رونـد حـذف کلیفرم‌های احتمالی در مقادیر مختلف بـا یکـدیگر مقایـسه شـده است. همان‌گونه که از این نمودار بر می‌آید با افزایش زمان تماس در کلیه مقادیر، حذف کلیفرم‌های احتمالی سیر صـعودی داشـته و

www.SID.ir
Archive of SID

هیچ ترتیبی بین مقدار و درصد حذف مشاهده نمی‌شود. آزمون آماری نیز رابطه معنی‌داری بین مقدار نانونقره و حذف کلیفرم احتمالی نشان نداد (P=۰/٦). در نمودار شماره ۲ میانگین درصد حذف کلیفرم‌های احتمالی در ۱۰۰ میلی لیتر برای مقادیر مختلف نانونقره پس از زمان تماس ۱۰۰ دقیقه نشان داده شده است.

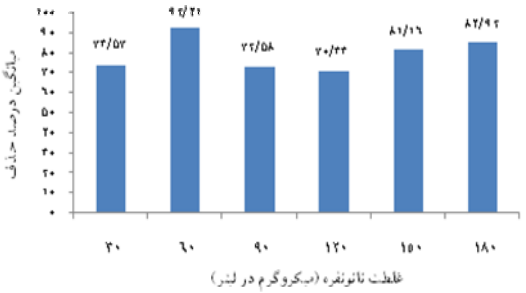
جدول شماره ۱- تاثیر مقدار و زمان تماس نانونقره بر تعداد کلیفرم باقیمانده در ۱۰۰ میلی لیتر از نمونه‌های آب آلوده دست ساز

زمان واکنش (دقیقه)	نانونقره (میکروگرم در لیتر)					
	۳۰	٦۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰	۱۸۰
۰	۱۰٤/٦٦±۱۱۷/٥٤	۱٥۸±۱۰۱/۱۲	٦۲±٤۷/٦۲	۳۰/۳۳±۳۳/۰۸	۲٥۳±۲۳۷/٦۳	۱۰۸/۳۳±۱٤۸/۷٦
۲۰	٥۹/٦٦±٦۹/۸۷	۸۳/٦٦±٤۰/۰۷	۳٦/٦٦±۳۹/۱۰	۱۷/۳۳±۱۳/۰٥	۱۲٤±۱٥۳/۰٦	۸۲/٦٦±۱۱۸/۹۷
٤۰	٥۹/۳۳±۷۰/۱۱	۲٥/٦٦±۱۲/٥۰	۲۸/٦٦±۲۹/۲۸	۱٦±۱۲	۷۹/۳۳±۸۰/۱۳	۸۱/٦٦±۱۱۹/۸۰
٦۰	٤٤±٤۸/٥۹	۱٦/۳۳±۱۱/۹۳	۲۲/۳۳±۲۱/٥۹	۱۰/۳۳±۹/۰۷	۷٤/٦٦±۸٤/٥۰	۷۹/۳۳±۱۲۱/۳۳
۸۰	۳۱±۳٤/٥۹	۱٤/۳۳±۱۳/٦٥	۲۰/٦٦±۱۸/۰۳	۹/۳۳±۸/۰۸	٥۲/٦٦±٦۷/۱٥	٤۹/۳۳±٦۹/۸٥
۱۰۰	۲۷/٦٦±۲۸/۹۸	۱۲±۱۳	۱۷±۱۳/۷٤	۹±۷/۸۱	٤۷/٦٦±۷۱/۳٤	۱٦/۳۳±۱٤/٤٦



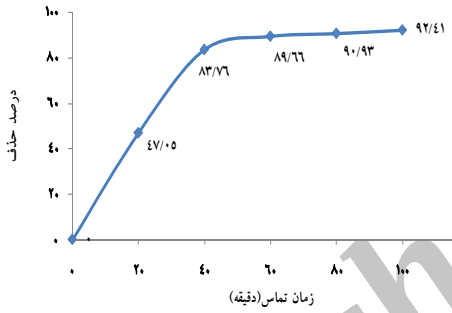
نمودار شماره ۱- روند حذف کلیفرم‌های احتمالی در مقادیر مختلف محلول نانو نقره

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود زمان تماس ۱۰۰ دقیقه، و µ gr/L ٦۰ نانونقره حداکثر بازده حذف را نشان می‌دهد.



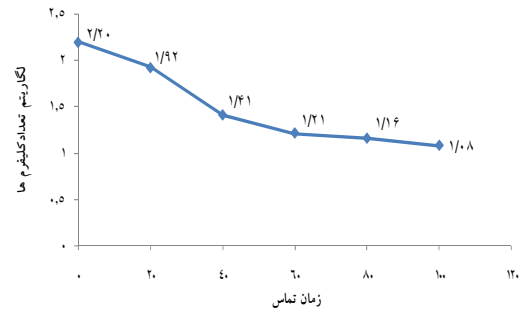
نمودار شماره ۲- میانگین درصد حذف کلیفرم‌های احتمالی در ۱۰۰ میلی لیتر برای مقادیر مختلف نانونقره پس از زمان تماس ۱۰۰ دقیقه

نمودار شماره ۳ درصد حذف کلیفرم‌های احتمالی نسبت به زمان، در µ gr/L ٦۰ نانونقره را نشان می‌دهد. این نمودار بیانگر آن است که در مقدار یاد شده با افزایش زمان تماس تا ۱۰۰ دقیقه بازده حذف به ۹۲/٤۱ درصد افزایش یافته است. آزمون آماری دقیق فیشر اختلاف معنی‌داری بین زمان تماس کمتر از ٦۰ و بیشتر مساوی ٦۰ دقیقه برای دست‌یابی به ۵۰ درصد حذف را نشان داد (P=۰/۰۰۱). همچنین، آزمون آماری mixed design ANOVA model نیز رابطه معنی‌داری بین زمان تماس و حذف باکتری‌های کلیفرم را نشان داد (P=۰/۰۰۱).



نمودار شماره ۳- روند کاهشی تعداد کلیفرم‌های احتمالی در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه در µ gr/L ٦۰ نانونقره

به‌علاوه، نمودار شماره ٤ روند تغییرات لگاریتم تعداد کلیفرم‌های احتمالی باقی‌مانده در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه در µ gr/L ٦۰ نانونقره را نشان می‌دهد.



نمودار شماره ٤- روند تغییرات لگاریتم تعداد کلیفرم‌های احتمالی باقی مانده در ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه در ٦۰ میکروگرم در لیتر نانونقره

Archive of SID

www.SID.ir

بحث

نتایج این تحقیق نشان داد که ٦٠μgr/L نـانونقره مناسـب-ترین مقدار برای حذف کلیفرم‌های احتمالی از آب آلوده است. ایـن میزان در مقایسه با نقره معمولی ١٥٠ برابر صرفه جـویی در مـصرف نقره را به‌همراه دارد [١٣]. هم‌چنین، نتایج نشان داد که درصد حـذف کلیفرم‌های احتمالی با افزایش زمان تماس افـزایش یافتـه اسـت. در زمان واکنش ١٠٠ دقیقه بالاترین درصد حذف مربوط به ٦٠ μ gr/L بود که در این مقدار میانگین تعداد باکتری‌های باقی مانده از ١٥٨ به ١٢ عدد در صد میلی‌لیتر کاهش یافته است. باتوجه به نمودار شماره ٤ چنین استنباط می‌شود که در ٦٠ μ gr/L لگاریتم تعـداد بـاکتری-های باقی مانده نسبت به زمان تماس به‌صورت یـک خـط مـستقیم است (R^2=٠/٨٨٨ و F= ٣١/٦٥٠ و P=٠/٠٠٥) که نشان مـی‌دهـد حذف باکتری‌های کلیفرم به‌وسیله سوسپانسیون نـانونقره از سـرعت واکنش‌های درجه اول پیروی می‌کنـد. لـذا، بـه‌کمـک بـرون یـابی (Extrapolation) می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد کـه در مقـدار یاد شده برای کاهش تعداد باکتری‌هـا بـه کمتـر از ٣ عـدد در ١٠٠ میلی‌لیتر که در استاندارد ٣-١١٦ ایران [١٤] آمده اسـت، بـه حـدود ١٣٥ دقیقه زمان تماس نیاز می‌باشـد. زمـان واکـنش ١٣٥ دقیقـه در مقایسه با حداقل زمـان تمـاس لازم بـرای مخلـوط نـانونقره و آب اکسیژنه که در تحقیق نبی زاده و همکاران [١٥] برابر ٣٠ دقیقه اعلام شده، بیشتر است. هم‌چنین، از زمان تماس آب و کلر که حـدود ٣٠ دقیقه در مراجع ذکر شده است [٥] نیز زیادتر می‌باشـد کـه مـستلزم بزرگ‌تر شدن سازه‌های مربوط به حوض تماس مـی‌شـود. غلظـت ٦٠μ gr/L نانونقره در مقایسه با ٣٠٠٠٠ میلی‌گرم در لیتر نقره اعـلام شده توسط نبی زاده و همکاران [١٥] به‌مراتب کمتر اسـت. و نیـز از مقدار لازم کلر جهت گندزدایی آب که حدود ٣ میلی‌گرم در لیتـردر دمای٢٠°C [٥] کمتر می‌باشد.

نتیجه گیری

بر اساس نتایج این تحقیق، می‌توان گفت که نانونقره بـرای حذف کلیفرم‌ها از آب آلوده موثر اسـت، امـا بـرای گنـدزدایی آب آشامیدنی نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه است.

تشکر و قدردانی

این پژوهش طرح تحقیقاتی مربوط به پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی بهداشت محیط و مصوب دانشگاه علوم پزشکی کاشان به شماره ٨٩٣٨ بوده است. نویسندگان بدین وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کاشان که هزینه‌هـای ایـن طـرح را تقبل نموده و نیز از همکاری شرکت نانوپـاک پرشـیا، بـه‌خـصوص آقایان دکتر حاتمی و دکتر باطنی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References:

[1] Water_sanitation_health.2004; Guidelines for Drinking Water Quality.
Available at: http://www.who.int//en/factsfigures04.pdf.
[2] Li Q, Mahendra S, Lyon DY, Brunet L, Liga MV, Li D, et al. Antimicrobial nanomaterials for water disinfection and microbial control: Potential applications and implications. ***Water Res*** 2008; 42 (18): 4591-602.
[3] Mc Ghee TJ. Water supply and sewerage. 6th ed. McGraw-Hill publication; 1991. p. 229.
[4] Bitton G. Wastewater microbiology. 3th ed. John Wiley & Sonse publication; 2005.
[5] Salvato J, Nemerow N, Agardy FJ. Environmental engineering. 5th ed. John Wiley & Sons Inc; 2003. p. 375.
[6] Niven R. Investigation of silver electrochemistry water disinfection applications. McGill Environmental Engineering Masters Candidate; 2005. p.10
[7] Chau NH, BangLA, BuuNQ, Dung, TTN, Ha HT, Quang DV. Manufacture of nanosilver and investigation of its application for disinfection. ***Adv Nat Sci*** 2008; 9(2): 241-8.
[8] Solsona F, mendez JP. Water disinfection. Regional Office of the World Health Organization. 2003.
[9] Ruparelia JP, Chatterjee AK, Duttagupta SP, Mukherji S. Strain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles. ***Acta Biomater*** 2008; 4(3): 707-16.
[10] Cho KH, Park JE, Osaka T, Park SG. The study of antimicrobial activity and preservative effects of nanosilver ingredient. ***Elecrtochemica Acta*** 2005; 51(5): 956-60.
[11] Choi O, Yu CP, Esteban Fernández G, Hu Z. Interactions of nanosilver with Escherichia coli cells in planktonic and biofilm cultures. ***Water Res*** 2010; 44(20): 6095-103.
[12] Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD. Standard method for examination of water and wastewater. 20th ed. American public health publication; 1999. p. 1786.
[13] Hendricks D. water treatment unit processes. 1st ed. CRC Press; 2006. p. 1006.
[14] Iran Water Resources' Management Co Drinking Water Quality Standard. Publication Number 116-3. 1992
[15] Nabizadeh R, Samadi N, Sadeghpour Z, Beikzadeh M. Feasibility study of using complex of hydrogen peroxide and silver for disinfecting swimming pool water and its environment. ***Iran J Environ Health Sci Eng*** 2008; 5(4): 235-42.

Archive of SID

www.SID.ir