



تهیه چندسازه نانوذرات نقره/پلی‌آمید (نایلون ۶) به روش کاهش شیمیایی برای گندزدایی آب

محمد بنی مهد کیوانی^{۱*}، محمدحسین فکری^۲

۱- گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
۲- گروه شیمی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آیت الله بروجردی، بروجرد، ایران

چکیده: نانوذرات نقره مورد توجه تعداد زیادی از پژوهشگران قرار گرفته است. ویژگی این نانوذرات، به دلیل نسبت سطح به حجم بسیار بالای آنها است. هر چند روش‌های متفاوتی برای سنتز نانوذرات نقره ارائه شده است، اما روش کاهش شیمیایی به دلیل سادگی و توانایی کنترل شکل و اندازه ذرات متداول‌ترین روش تولید نانوذرات به شمار می‌رود. در این پژوهش، اثر گندزدایی ذرات نقره در آب بررسی شده است. با استفاده از نقره نیترات و سدیم سیترات، نانوذرات نقره تهیه شده و سپس، بر بسپار پلی‌آمید (نایلون ۶) پوشش داده و از آن به عنوان گندزدای آب، استفاده شد. ریخت‌شناسی سطح جاذب، شکل و اندازه نانوذرات با میکروسکوب الکترونی (SEM) و وجود نقره در بسپار پس از پوشش دهی با دستگاه پراش پرتو ایکس (EDAX) تعیین شدند. برای بررسی اثر گندزدایی نانونقره در آب حاوی باکتری شاخص آلودگی آب (اشریشیاکلی) از محیط کشت عمومی نوترینت آگار استفاده شد. همچنین، اثرات تغییر غلظت پیش‌ماده، تغییرات pH، دما و مدت زمان تماس لازم برای گندزدایی مورد بررسی قرار گرفتند.

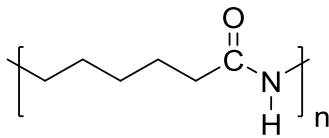
واژگان کلیدی: نانوذرات نقره، ضدباکتری، گندزدایی، نانو نقره، نایلون ۶

* mbk_ir@yahoo.com

ساختار سلولی اولیه به دو نوع قابل تقسیم‌بندی هستند. نوع نخست، شامل میکروارگانیسم‌های یوکاریوت که دارای غشاء هسته‌ای هستند و از نظر ساختمان سلولی پیشرفته‌ترند که معمولاً برای یوکاریوت از اصطلاح پروتئین استفاده می‌شود. نوع دوم میکروارگانیسم‌های پروکاریوت نام دارند که فاقد غشاء هسته‌ای بوده و از نظر ساختمان سلولی ضعیف‌ترند. پروکاریوت‌ها شامل باکتری‌ها و سیانوباکتری‌ها (جلبک‌های آبی سبز) هستند [۱]. باکتری ایشریشیاکلی (*Escherichia coli*) از شاخص‌ترین باکتری‌های آلاینده آب است. بیشتر سویه‌های این باکتری بی‌ضرر بوده ولی برخی از سروتیپ‌ها مانند O157:HV موجب مسمومیت غذایی و اسهال می‌شوند [۲].

۱- مقدمه

یکی از آلودگی‌های بسیار خطرناک منابع آب، آلودگی‌های زیستی است. آب می‌تواند به انواع میکروارگانیسم‌ها از انواع باکتری‌ها، قارچ‌ها، انگل‌ها و ویروس‌ها آلوده شود. در سال ۱۸۸۶، هکل میکروارگانیسم‌های جدید را در یک دسته مستقلی به نام پروتئست‌ها قرا داد که براساس این پیشنهاد، پروتئست‌ها شامل جلبک‌ها یا خزه‌های دریایی، مخمرها، قارچ‌ها و باکتری‌ها، پروتوزوئرها و جلبک‌های سبز و نوع کپک هستند. با ساخت و راه‌یابی دستگاه‌های به محیط پژوهش‌های علمی و بررسی بیشتر این موجودات زنده و ریز مشخص شد که پروتئست‌ها با توجه به



شکل ۱: ساختار نایلون ۶

برای سنتز نانوذرات، روش‌های شیمیایی متفاوتی وجود دارد که به مواردی چون روش میکروامولسیون [۱۳]، سنتز به کمک امواج میکروویو [۱۴]، کاهش شیمیایی [۱۵]، کاهش الکتروشیمیایی [۱۶]، روش بیوسنتز [۱۷] و ... اشاره کرد.

در این پژوهش، تهیه نانوذرات نقره به روش کاهش شیمیایی بر پایه بسپار نایلون ۶ تهیه و از آن برای حذف باکتری ایشریشیاکلی مورد استفاده قرار گرفت و عوامل موثر بر عملکرد نانوذره مانند مقدار جاذب، زمان ماند، pH و فاکتور CT مورد بررسی قرار گرفت. از موارد نوآوری در این پژوهش استفاده از نایلون ۶ است. نایلون‌ها از خانواده پلی آمیدها هستند که مزیت عمده آن نامحلول بودن آنها در آب است. بنابراین، با پوشش نانوذرات نقره بر نایلون ۶ از حل شدن نانوذرات در آب جلوگیری به عمل آمده و حذف باکتریها و ویروسها از آب به نوعی خروج هم زمان آنها را از آب نیز به همراه دارد. بنابراین، چند عمل مفید هم زمان انجام می شود.

۲- بخش تجربی

۲-۱- مواد و تجهیزات

در این پژوهش، از نقره نیترات، سدیم سیترات، نایلون ۶، سدیم تترا هیدروبورات و نوترینت آگار استفاده شد. از کاغذ صافی با تخلخل ۲ تا ۳ میکرون، ترازوی دیجیتال (ADAM)، دستگاه pH متر (EC 108)، دستگاه پراش پرتو ایکس (STADIP)، دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی (VEGA3 TESCAN)، دستگاه اتوکلاو (Euronda) و هیتر برقی (C-MAG HP) نیز استفاده شد.

۲-۲- تهیه نانوذرات نقره به روش کاهش

شیمیایی

برای جلوگیری و مبارزه با میکروارگانیسم‌ها از دو روش فیزیکی شامل: استفاده از فیلترها، آلیاژهای مقاوم در برابر خوردگی و پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی حذف این آلاینده‌ها از آب و روش شیمیایی مانند استفاده از انواع مواد ضدعفونی کننده مانند فنول‌های کتون‌دار، ترکیبات گوگردی (متیلن بیس-تیوسیانات)، سدیم هیپوکلریت و کلر اشاره کرد. امروزه استفاده از نانوذرات برای حذف آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۹-۳]. در بین فلزات یون‌های نقره دارای ویژگی ضد میکروبی شدیدی علیه بسیاری از گونه‌های باکتریایی هستند [۱۰]. تبدیل نقره به ابعاد نانو باعث افزایش ویژگی ضد میکروبی آن تا ۹۹ درصد می‌شود. در حدی که می‌توان از آن برای بهبود جراحات و عفونت‌ها استفاده کرد. نقره در ابعاد نانو بر متابولیسم، تنفس و تولید مثل میکروارگانیسم‌ها تاثیر دارد و آنتی‌بیوتیک قوی محسوب می‌شود. به دلیل ویژگی ضد میکروبی فوق‌العاده نقره و مقدار سمیت اندک یون‌های آزاد آن برای سلول‌های پستانداران، تمایل و علاقه برای استفاده از این نانوذرات مورد استفاده قرار گرفته است [۱۱].

جهت بهبود عملکرد نانوذرات از برخی ترکیبات که باعث پراکندگی، پایداری و جلوگیری از توده‌ای شدن نانوذرات می‌شوند، استفاده می‌گردد. یکی از روش‌های جلوگیری از توده‌ای شدن نانوذرات استفاده از ماکرومولکول‌ها است. به این شکل که ماکرومولکول‌ها به نانوذرات می‌چسبند و فضایی را در اطراف نانوذره ایجاد می‌کنند که با نزدیک شدن آنها به هم در هم تنیده شده و مانع از چسبیدن و توده‌ای شدن نانوذرات می‌شوند. با توجه به شرایط تولید، محیط واکنش و کاربرد نهایی نانوذرات از پایدارکننده‌های متفاوتی استفاده می‌شود. براساس مطالعات تولایمت و همکارانش [۱۲]، سیترات سدیم، پلی‌وینیل پروپیلن و آمین‌ها بیشترین کاربرد را به عنوان پایدارکننده برای نانوذرات نقره دارند. یکی دیگر از مواد پایدار کننده، پلی آمیدها هستند و از مهمترین گروه‌های پلی آمیدی که از طریق بسپارش مرحله‌ای (تراکمی) تهیه می‌شوند، خانواده نایلون‌ها هستند. نایلون ۶، در این پژوهش، به عنوان پایدارکننده نانوذرات نقره استفاده شده است. نایلون ۶ از حرارت دادن کاپرولاکتام تا دمای ۲۵۰ درجه سلسیوس به همراه وارد کردن ۵ تا ۱۰ درصد آب طی یک مکانیسم پیچیده تهیه می‌شود. (شکل ۱).

۲-۴- تهیه محیط کشت (نوترینت آگار)

نوترینت آگار به مقدار مورد نیاز وزن شد و به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شد و به مدت ۱۰ دقیقه بر هیتر استیرر قرار داده شد تا به حالت ژله‌ای درآید. سپس، مقداری پنبه فشرده در دهانه ارلن قرار داده و برای استریلیزاسیون به مدت ۲ ساعت در دستگاه اتوکلاو در دمای ۱۲۰ درجه سلسیوس قرار گرفت. بعد از خنک شدن ارلن در دمای محیط، پنبه از دهانه ارلن خارج و چند ثانیه دهانه ارلن در معرض شعله قرار گرفت. محتویات ارلن به شیشه ساعت منتقل و با پارافیلیم پوشانده شد (شکل ۳). سپس، به مدت ۲۴ ساعت در محیط خنک (یخچال) قرار داده شد.



شکل ۳: محیط کشت نوترینت آگار

۲-۵- بهینه‌سازی پارامترهای جذب

در تمام آزمایش‌ها از نانوقره پوشش داده شده بر روی نایلون ۶ استفاده شد. برای به دست آوردن پارامترهای بهینه در حذف باکتری، می‌توان از دو روش ساکن و پیوسته استفاده کرد که در این کار از روش پیوسته استفاده شد. در این روش حجم ثابتی از آب (۵۰۰ میلی لیتر) با مقادیر متفاوتی از نانوقره/نایلون ۶ با درصد‌های متفاوت از نانوقره/نایلون ۶ در شرایط آزمایشگاهی انتخاب شد. پارامترهای آب که در فرایند تصفیه موثرند در محدوده‌ای مشخص در نظر گرفته شد و مقادیر بهینه آنها به دست آمد. مقادیر جاذب (نانوقره/نایلون ۶) ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ گرم و زمان ماندگاری (زمان تماس) ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ دقیقه و دما ۱۵، ۲۵ و ۳۵ درجه سلسیوس و pH برابر ۶، ۷ و ۸ در نظر گرفته شد.

پس از به دست آمدن شرایط بهینه، مقادیر MPN (شمارش باکتری) در پیش و پس از تصفیه با فیلتر نانوقره/نایلون ۶ و

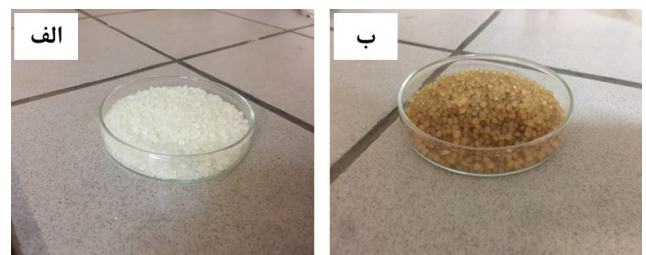
در این روش یک محلول یونی از فلز مورد نظر را تهیه و با کاهش یون فلزی به کمک یک کاهش دهنده، اتم‌های فلزی شکل می‌گیرند.

این اتم‌ها به دلیل انرژی سطحی بالا و نیروی کششی واندروالسی با انباشت در کنار هم رشد می‌کنند که با افزایش یک پایدار کننده از کلوخه شدن آنها جلوگیری می‌شود. در این کار، ابتدا ۳۰ میلی لیتر آب مقطر دیونیزه را درون ارلن استریل که داخل یک بشر حاوی یخ بود ریخته و سپس، ۱۰۰ میلی لیتر نیترات نقره با غلظت ۰/۰۰۱ مولار به آن افزوده، سپس ۵ میلی لیتر سدیم تتراهیدرو بورات ۰/۰۰۲ مولار به عنوان کاهش دهنده کم کم به محلول نیترات نقره افزوده شد. با افزایش کاهش دهنده رنگ محلول از بی‌رنگ به زرد متمایل شد. سپس، ارلن را از روی یخ برداشته و محتویات آن به صورت قطره قطره به ارلنی محتوی ۲۰ میلی لیتر سیترات سدیم با غلظت ۲ میلی مولار که بر روی شیکر با دور RPM ۱۰۰ قرار داشت، اضافه شد. برای جداسازی نانوذرات تهیه شده از گریزانه با دور ۱۴۰۰۰ G استفاده شد. برای حذف آلودگی-ها، نانوذرات دوبار توسط آب مقطر شستشو داده شد [۱۷]. واکنش نقره نیترات با سدیم تتراهیدرو بورات به صورت زیر است.

$$\text{AgNO}_3 + \text{NaBH}_4 \rightarrow \text{Ag} + \text{H}_2 + \text{B}_2\text{H}_6 + \text{NaNO}_3$$

۲-۳- تهیه چندسازه نانوقره/نایلون ۶

نایلون ۶ تهیه شده به شکل گرانول‌های سفید رنگ است که برای از بین بردن ناخالصی‌ها و آلودگی‌های سطحی با آب مقطر استریل سه بار شستشو داده شد. سپس، در هوای آزاد خشک شد. سپس، به مقدار مورد نیاز وزن شد و به بشر حاوی ذرات نانوقره که بر هم‌زن با دور RPM ۱۵۰ قرار داشت، منتقل شد. پس از زمان ۱۵ دقیقه با بارگذاری شدن نانو نقره بر نایلون ۶ رنگ آن به زرد مایل به قهوه‌ای در آمد (شکل ۲).



شکل ۲: الف) نایلون ۶ و ب) نانوقره/نایلون ۶

درصد حذف آلودگی از قانون چیک-واتسون بررسی شد. بر اساس این قانون مقادیر میکروارگانیسم‌ها در پیش و پس از مجاورت با چندسازه در رابطه زیر قرار می‌گیرد.

$$\log \frac{N}{N_0} = -KCT \quad (1)$$

در رابطه ۱، N_0 تعداد میکروارگانیسم‌ها در ابتدا، N تعداد میکروارگانیسم‌ها در هر زمان، C غلظت گذزدا برحسب میلی‌گرم بر لیتر، T زمان تماس و K ضریب چیک-واتسون است. برای محاسبه درصد جذب (یا حذف) از رابطه زیر استفاده می‌شود.

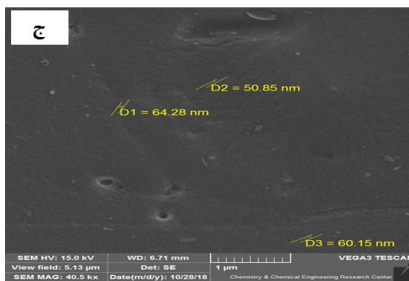
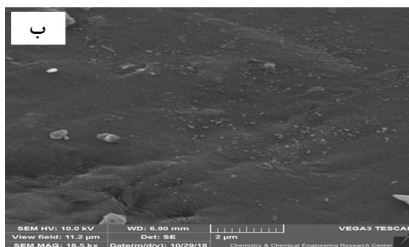
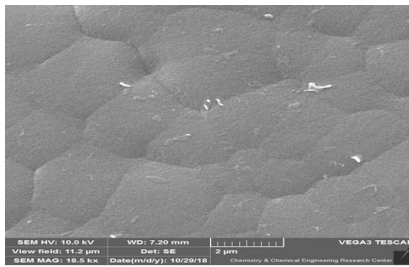
$$(2)$$

$$\text{درصد جذب} = \frac{N_0 - N}{N_0} \times 100$$

۳- بحث و نتایج

۳-۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی (SEM)

تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی SEM نشان می‌دهد اندازه نانوذرات نقره حدود ۶۰ نانومتر است (شکل ۴). مورفولوژی و ویژگی‌های سطحی چندسازه نیز با استفاده از تصویربرداری SEM مورد بررسی قرار گرفت. تصویر SEM از سطح جاذب با بزرگنمایی‌های متفاوت (شکل ۴) وجود دو فاز نانوذرات نقره و نایلون ۶ را نشان می‌دهد. در شکل ۴-ج سه عدد از نانوذرات مشخص شده‌اند که دارای قطر ۵۰/۸۵، ۶۰/۱۵ و ۶۴/۲۸ نانومتر هستند که نشان‌دهنده نتایج مطلوب از آزمایش است. همچنین، مشاهده می‌شود که شکل ظاهری نانونقره کروی است.



شکل ۴: تصاویر SEM نمونه الف) نایلون ۶ خالص، ب) و ج) نانوذرات نقره/نایلون ۶ با بزرگنمایی متفاوت

۳-۲ آنالیز EDAX

همچنین، با استفاده از آنالیز EDAX، شناسایی عناصر و درصد آنها (شکل ۵) انجام شد. شکل ۵-الف که مربوط به نمودار EDAX نایلون ۶ است، نشان می‌دهد که اتم‌های تشکیل‌دهنده آن کربن، اکسیژن و نیتروژن است که با فرمول ساختاری نایلون ۶ همخوانی دارد. همچنین، شکل ۵-ب حضور نقره را اثبات می‌کند که با ضرایب مولر (آلفا و بتا) نشان داده شده است. همچنین، درصد عناصر تشکیل‌دهنده جاذب نانوذره نقره/نایلون ۶ نیز مشخص است.

جدول ۲: گندزایی آب آلوده با زمان ماند ۳۰ دقیقه (pH=۷ و T=۲۵ °C)

مقدار جاذب	گندزای ۵ درصد			گندزای ۱۰ درصد			گندزای ۱۵ درصد		
	درصد جذب	$\log \frac{N}{N_0}$	CT	درصد جذب	$\log \frac{N}{N_0}$	CT	درصد جذب	$\log \frac{N}{N_0}$	CT
۵	۷۰/۲	-۰/۵۳	۱/۵	۷۷/۸	-۰/۶۵	۳/۰	۸۱/۵	-۰/۷۳	۴/۵
۱۰	۸۳/۹	-۰/۷۹	۳/۰	۸۷/۰	-۰/۸۹	۶/۰	۹۰/۴	-۱/۰۱	۹/۰
۱۵	۸۶/۷	-۰/۸۸	۴/۵	۹۰/۰	-۱/۰۰	۹/۰	۹۲/۹	-۱/۱۵	۱۳/۵
۲۰	۸۷/۴	-۰/۹۰	۶/۰	۹۰/۹	-۱/۰۴	۱۲/۰	۹۴/۰	-۱/۲۲	۱۸/۰
۲۵	۹۰/۰	-۱/۰۰	۷/۵	۹۲/۸	-۱/۱۴	۱۵/۰	۹۶/۰	-۱/۴۰	۲۲/۵

جدول ۳: گندزایی آب آلوده با زمان ماند ۴۵ دقیقه (pH=۷ و T=۲۵ °C)

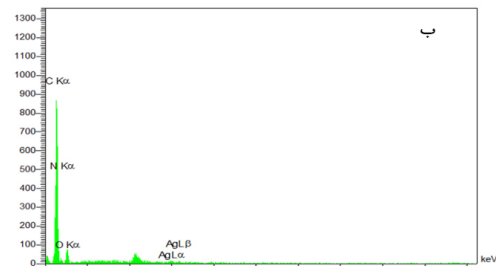
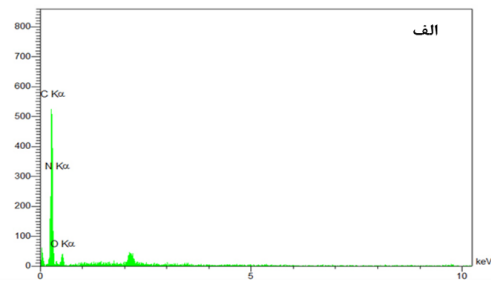
مقدار جاذب	گندزای ۵ درصد			گندزای ۱۰ درصد			گندزای ۱۵ درصد		
	درصد جذب	$\log \frac{N}{N_0}$	CT	درصد جذب	$\log \frac{N}{N_0}$	CT	درصد جذب	$\log \frac{N}{N_0}$	CT
۵	۷۷/۴	-۰/۶۵	۲/۲	۸۴/۹	-۰/۸۲	۴/۵	۸۷/۸	-۰/۹۱	۶/۷
۱۰	۹۰/۰	-۱/۰۰	۴/۵	۹۲/۶	-۱/۱۳	۹/۰	۹۴/۷	-۱/۲۸	۱۳/۵
۱۵	۹۲/۰	-۱/۱۰	۶/۷	۹۴/۲	-۱/۲۴	۱۳/۵	۹۷/۰	-۱/۵۲	۲۰/۲
۲۰	۹۴/۲	-۱/۲۴	۹/۰	۹۵/۶	-۱/۳۶	۱۸/۰	۹۸/۲	-۱/۷۴	۲۴/۰
۲۵	۹۶/۱	-۱/۴۱	۱۱/۲	۹۷/۰	-۱/۵۲	۲۲/۵	۹۹/۱	-۲/۰۵	۳۳/۷

جدول ۴: گندزایی آب آلوده با زمان ماند ۶۰ دقیقه (pH=۷ و T=۲۵ °C)

مقدار بستر	گندزای ۵ درصد			گندزای ۱۰ درصد			گندزای ۱۵ درصد		
	درصد بستر	$\log \frac{N}{N_0}$	CT	درصد بستر	$\log \frac{N}{N_0}$	CT	درصد بستر	$\log \frac{N}{N_0}$	CT
۵	۸۳/۰	-۰/۷۷	۳/۰	۸۹/۳	-۰/۹۷	۶/۰	۹۱/۳	-۱/۰۶	۹/۰
۱۰	۹۲/۰	-۱/۱۰	۶/۰	۹۴/۵	-۱/۲۶	۱۲/۰	۹۶/۲	-۱/۴۲	۱۸/۰
۱۵	۹۳/۸	-۱/۲۱	۹/۰	۹۷/۰	-۱/۵۲	۱۸/۰	۹۸/۸	-۱/۹۲	۲۷/۰
۲۰	۹۶/۱	-۱/۴۱	۱۲/۰	۹۸/۰	-۱/۷۰	۲۴/۰	۹۹/۸	-۲/۰۷	۳۶/۰
۲۵	۹۷/۸	-۱/۶۶	۱۵/۰	۹۹/۱	-۲/۰۵	۳۰/۰	۹۹/۹	-۳/۰۰	۴۵/۰

جدول ۵: گندزایی آب آلوده با زمان ماند ۹۰ دقیقه (pH=۷ و T=۲۵ °C)

مقدار بستر	گندزای ۵ درصد			گندزای ۱۰ درصد			گندزای ۱۵ درصد		
	درصد بستر	$\log \frac{N}{N_0}$	CT	درصد بستر	$\log \frac{N}{N_0}$	CT	درصد بستر	$\log \frac{N}{N_0}$	CT
۵	۸۵/۳	-۰/۸۳	۴/۵	۹۳/۰	-۱/۱۵	۹/۰	۹۶/۷	-۱/۴۸	۱۳/۵
۱۰	۹۴/۱	-۱/۲۳	۹/۰	۹۶/۱	-۱/۴۰	۱۸/۰	۹۸/۵	-۱/۸۲	۲۷/۰
۱۵	۹۵/۹	-۱/۳۹	۱۳/۵	۹۷/۹	-۱/۶۸	۲۷/۰	۹۹/۵	-۲/۳۰	۴۰/۵
۲۰	۹۷/۱	-۱/۵۴	۱۸/۰	۹۸/۶	-۱/۸۵	۳۶/۰	۹۹/۷	-۲/۵۲	۵۴/۰
۲۵	۹۸/۲	-۱/۷۴	۲۲/۵	۹۹/۱	-۲/۰۵	۴۵/۰	۹۹/۹	-۳/۰۰	۶۷/۵



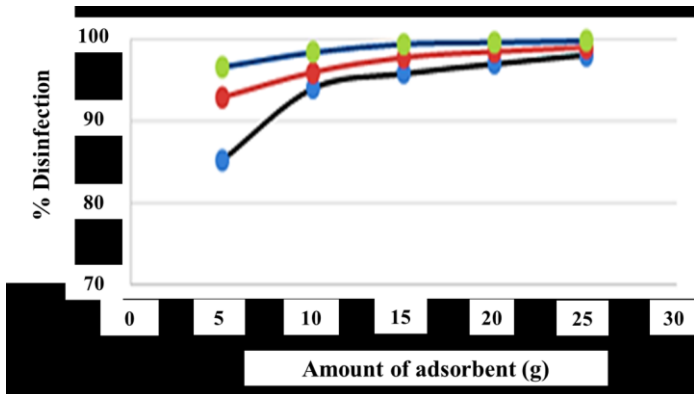
شکل ۵: آنالیز EDAX مربوط به الف (نایلون ۶) و ب (نانوذره نقره/نایلون ۶)

۳-۳ بهینه سازی پارامترهای موثر

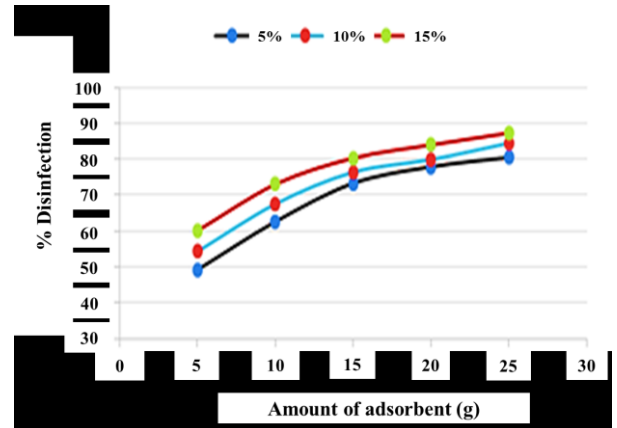
برای بهینه‌سازی عوامل موثر بر حذف باکتری، ابتدا همه عواملی که به نظر می‌رسید، موثر باشند (pH، مقدار جاذب، غلظت اولیه جذب شونده، دما و زمان تماس)، در نظر گرفته شد. نتایج مربوط به تاثیر پارامترهای مهم و موثر بر حذف باکتری به روش پیوسته در ادامه آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد (جدول ۱ تا ۵ و شکل‌های ۶ تا ۱۰) با افزایش مقدار جاذب درصد جذب (حذف) باکتری افزایش می‌یابد. این امر مربوط به افزایش سطح جاذب است. همچنین، با افزایش مقدار گندزدا (از ۵ تا ۱۵ درصد) درصد جذب نیز افزایش می‌یابد. این امر مربوط به افزایش مقدار نانوقره است. با افزایش زمان ماندن نیز مقدار جذب افزایش می‌یابد که به دلیل فرصت کافی برای گندزایی است. البته در این دسته از آزمایش‌ها مقدار جاذب، درصد گندزدا و زمان ماند متغیر بودند ولی دما و pH ثابت و به ترتیب ۲۵ و ۷ درجه سلسیوس در نظر گرفته شد.

جدول ۱: گندزایی آب آلوده با زمان ماند ۱۵ دقیقه (pH=۷ و T=۲۵ °C)

مقدار بستر	گندزای ۵ درصد			گندزای ۱۰ درصد			گندزای ۱۵ درصد		
	درصد بستر	$\log \frac{N}{N_0}$	CT	درصد بستر	$\log \frac{N}{N_0}$	CT	درصد بستر	$\log \frac{N}{N_0}$	CT
۵	۴۹/۲	-۰/۲۹	۰/۷	۵۴/۳	-۰/۳۴	۱/۵	۶۰/۱	-۰/۴۰	۲/۲
۱۰	۶۲/۶	-۰/۴۳	۱/۵	۸۷/۵	-۰/۴۹	۳/۰	۷۳/۰	-۰/۵۷	۴/۵
۱۵	۷۲/۳	-۰/۵۷	۲/۲	۷۶/۴	-۰/۶۳	۴/۵	۸۰/۳	-۰/۷۱	۶/۷
۲۰	۷۷/۹	-۰/۶۶	۳/۰	۷۹/۹	-۰/۷۰	۶/۰	۸۴/۰	-۰/۸۰	۹/۰
۲۵	۸۰/۵	-۰/۷۱	۳/۷	۸۴/۵	-۰/۸۱	۷/۵	۸۷/۳	-۰/۹۰	۱۱/۲

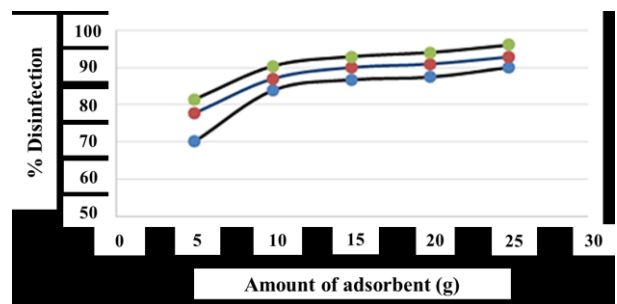


شکل ۱۰: گندزدایی آب آلوده با زمان ماند ۹۰ دقیقه (T= ۲۵ °C و pH= ۷)

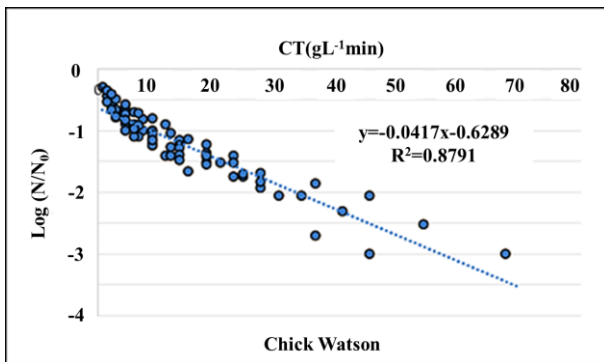


شکل ۶: گندزدایی آب آلوده با زمان ماند ۱۵ دقیقه (T= ۲۵ °C و pH= ۷)

در شکل ۱۱، نمودار CT بر اساس قانون چیک واتسون نشان داده شده است. همانطوری که مشاهده می‌شود، با افزایش CT مقدار $\log \frac{N}{N_0}$ کاهش می‌یابد. رگرسیون نمودار ۰/۸۷۹۱ است. نمودار نشان می‌دهد که به ازای مقادیر کوچک CT رگرسیون به عدد ۱ نزدیکتر است و با زیاد شدن مقدار آن خطا زیاد می‌شود.

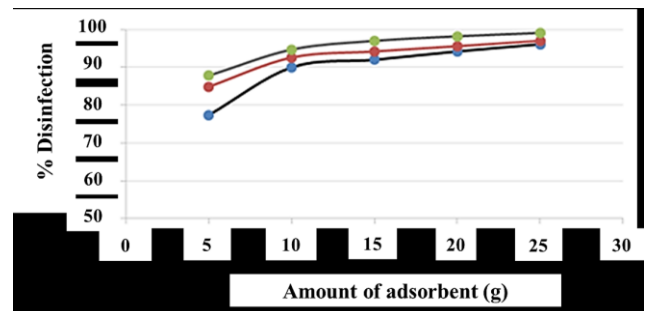


شکل ۷: گندزدایی آب آلوده با زمان ماند ۳۰ دقیقه (T= ۲۵ °C و pH= ۷)

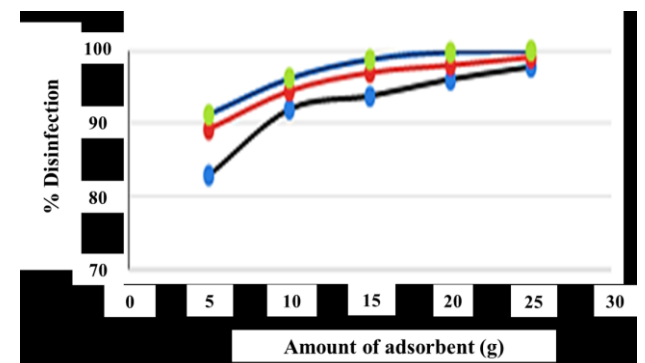


شکل ۱۱: نمودار مقادیر CT در مدل چیک-واتسون در روش پیوسته

عامل pH هم در اندازه و شکل نانوذرات تاثیر می‌گذارد و هم باعث تغییر در مقدار حذف باکتری می‌شود. pH محلول واکنش باعث تغییر در سرعت احیای مواد اولیه می‌شود و در نتیجه باعث تغییر در اندازه و ریخت ذرات می‌شود [۱۰]. افزایش pH باعث افزایش قدرت کاهش و افزایش هسته‌زایی شده و به همین دلیل باعث کاهش اندازه ذرات می‌شود. همچنین، در pH بالا ذرات تولیدی بیشتر کروی هستند در حالی که در pH پایین عمده ذرات حالت چند وجهی دارند [۱۹]. نتایج نشان می‌دهد (جدول ۶ و شکل ۱۲) که با افزایش pH مقدار $\log \frac{N}{N_0}$ کاهش یافته است که با توجه به اینکه مقدار $\log \frac{N}{N_0}$ با مقدار جذب باکتری با جاذب نسبت عکس دارد، در نتیجه در محیط‌های بازی مقدار بیشتری از



شکل ۸: گندزدایی آب آلوده با زمان ماند ۴۵ دقیقه (T= ۲۵ °C و pH= ۷)



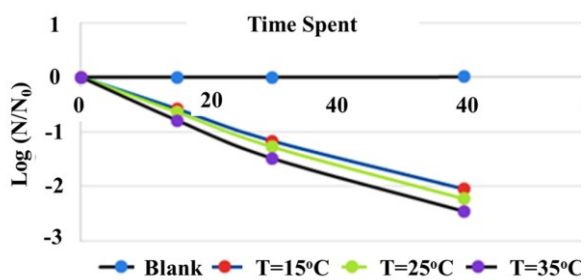
شکل ۹: گندزدایی آب آلوده با زمان ماند ۶۰ دقیقه (T= ۲۵ °C و pH= ۷)

جدول ۸: اثر دما در pH=۷

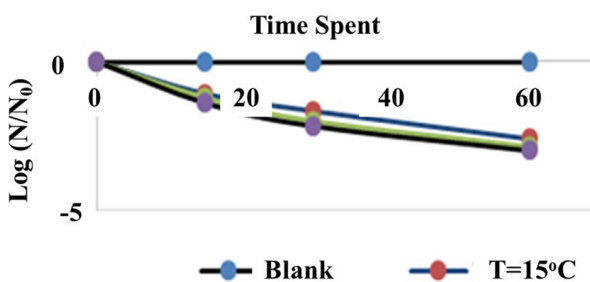
زمان (دقیقه)	$\log \frac{N}{N_0}$			
	شاهد	T=۱۵°C	T=۲۵°C	T=۳۵°C
۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	-۰/۰۰۴۵۰	-۱/۰۸	-۱/۲۱	-۱/۳۹
۳۰	۰/۰۰۸۸۰	-۱/۶۶	-۲/۰۰	-۲/۱۷
۶۰	۰/۰۱۰۵۰	-۲/۶۰	-۲/۸۷	-۲/۸۲
زمان (دقیقه)	% $\frac{N}{N_0}$			
	شاهد	T=۱۵°C	T=۲۵°C	T=۳۵°C
۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۵	۹۸/۹	۸/۳۱	۶/۲۲	۴/۰۰
۳۰	۹۸/۰	۲/۲۲	۰/۹۹	-۱/۶۷
۶۰	۹۷/۶	-۰/۲۵	۰/۱۳	-۰/۱۵

جدول ۹: اثر دما در pH=۸

زمان (دقیقه)	$\log \frac{N}{N_0}$			
	شاهد	T=۱۵°C	T=۲۵°C	T=۳۵°C
۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	-۰/۰۰۱۱۰	-۰/۸۷	-۰/۹۵	-۱/۱۱
۳۰	-۰/۰۰۱۷۰	-۱/۴۶	-۱/۵۵	-۱/۹۰
۶۰	-۰/۰۰۵۲۰	-۲/۴۰	-۲/۵۱	-۲/۶۹
زمان (دقیقه)	% $\frac{N}{N_0}$			
	شاهد	T=۱۵°C	T=۲۵°C	T=۳۵°C
۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۵	۹۹/۷	۱۳/۵۵	۱۱/۲۱	۷/۸۵
۳۰	۱۰۰/۴	۳/۴۶	۲/۸۵	۱/۲۵
۶۰	۱۰۱/۲	۰/۴۰	۰/۳۱	۰/۲۰



شکل ۱۳: اثر دما در pH=۶

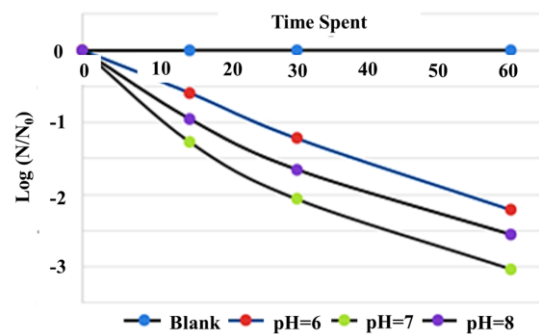


شکل ۱۴: اثر دما در pH=۷

باکتری‌ها جذب خواهند شد. کمترین حذف باکتری مربوط به حالت خنثی است.

جدول ۶: اثر pH در دمای ۲۵ درجه سلسیوس

زمان (دقیقه)	$\log \frac{N}{N_0}$			
	شاهد	pH=۶	pH=۷	pH=۸
۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	۰/۰۰۰۴۳	-۰/۵۹	-۱/۲۷	-۱/۹۵
۳۰	۰/۰۰۰۸۶	-۱/۲۲	-۲/۰۶	-۱/۶۵
۶۰	۰/۰۰۲۰۰	-۲/۲۱	-۳/۰۳	-۲/۵۵
زمان (دقیقه)	% $\frac{N}{N_0}$			
	شاهد	pH=۶	pH=۷	pH=۸
۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۵	۱۰۰/۱	۲۵/۳۰	۵/۳۱	۱۱/۳۲
۳۰	۱۰۰/۲	۵/۹۳	۰/۸۶	۲/۲۴
۶۰	۱۰۰/۴	۰/۶۱	۰/۰۹	۰/۲۸



شکل ۱۲: اثر pH در دمای ۲۵ درجه سلسیوس

جداول ۷ تا ۹ و شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ نشان می‌دهند که در pHهای متفاوت افزایش دما باعث کاهش عامل $\log \frac{N}{N_0}$ می‌شود در نتیجه مقدار جذب افزایش می‌یابد که به دلیل تحرک بیشتر باکتری‌ها در دماهای بالاتر و احتمال برخورد بیشتر با جاذب است.

جدول ۷: اثر دما در pH=۶

زمان (دقیقه)	$\log \frac{N}{N_0}$			
	شاهد	T=۱۵°C	T=۲۵°C	T=۳۵°C
۰	۰	۰	۰	۰
۱۵	-۰/۰۰۰۸۶	-۰/۵۸	-۰/۶۴	-۰/۷۹
۳۰	۰/۰۰۱۳۰	-۱/۱۷	-۱/۲۸	-۱/۴۹
۶۰	۰/۰۰۳۰۰	-۲/۰۵	-۲/۳۳	-۲/۴۶
زمان (دقیقه)	% $\frac{N}{N_0}$			
	شاهد	T=۱۵°C	T=۲۵°C	T=۳۵°C
۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
۱۵	۹۹/۸	۲۶/۵۰	۲۲/۸۳	۱۶/۴۰
۳۰	۱۰۰/۳	۶/۸۰	۵/۲۵	۳/۲۱
۶۰	۱۰۰/۷	۰/۸۸	۰/۵۹	۰/۳۴

from textile wastewaters,” *Journal of Physical & Theoretical Chemistry*, 9(2), 95-102, 2012.

[4] H. Dashti Khavidaki, M. H. Fekri, “Removing thallium (I) ion from aqueous solutions using modified ZnO nanopowder,” *Journal of Advances in Chemistry*, 11(7), 3777-3788, 2015.

[5] M.H. Fekri, M. Banimahd Keivani, M. Razavi Mehr, B. Akbari-adergani, “Effective parameters on removal of rhodamine b from colored wastewater by nano polyaniline/sawdust composite,” *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 29(177), 166-179, 2019.

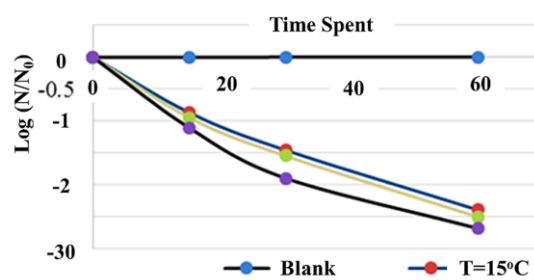
[6] M. H. Fekri, M. Razavi Mehr, S. Isanejad Mohamareh, M. Yari, “Synthesis of magnetic activated nanocarbons (Fe₃O₄/AC) using flaxseed waste as the green antibiotic adsorbent of cefixime and optimization of effective parameters by taguchi and bax-beckman methods,” *Nanomeghyas*, 7(4), 110-121, 2021.

[7] A. Shokri, “Using Mn based on lightweight expanded clay aggregate as an original catalyst for the removal of NO₂ pollutant in aqueous environment,” *Surfaces and Interfaces*, 21, 100705.

[8] A. Shokri, “Using ZnO based on Bentonite as a nano photo catalyst for degradation of Acid Red 114 in synthetic wastewater,” 2020, DOI: 10.22034/jna.2020.1898029.1205

[9] A. Bayat, A. Shokri, “Degradation of p-Nitrotoluene in aqueous environment by Fe (II)/Peroxy monosulfate using full factorial experimental design,” *Separation Science and Technology*, 2021.

[10] C. Costa, A. Conte, G. G. Buonocore, M. A. Del Nobile, “Antimicrobial silver-montmorillonite nanoparticles to prolong the shelf life of fresh fruit



شکل ۱۵: اثر دما در pH=۸

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش، ذرات نانونقره حاصله به شکل کروی و به صورت میانگین در اندازه ۶۰ نانومتر به دست آمد. به دلیل استفاده از کاهنده قوی سدیم هیدرو بورات ذرات حاصله نانونقره در یک سطح یکنواخت تهیه شد. بهترین نتایج در شرایط خنثی (pH=۷) حاصل شد و همچنین، با افزایش دما حذف باکتری توسط جاذب نانو نقره افزایش یافت. هر چه مقدار جاذب نانونقره افزایش یابد به دلیل افزایش سطح تماس بیشتر میان جاذب و باکتری، باعث افزایش حذف باکتری می شود و هر چه زمان توقف میان جاذب نانونقره و باکتری (اشریشیا کلی) افزایش یابد، مقدار حذف باکتری افزایش می یابد زیرا که جاذب زمان بیشتری برای مبارزه و نابودی باکتری دارد. در نهایت اینکه جاذب نانونقره در بستر پلی آمید (نایلون ۶) تحت شرایطی حدود ۱۰۰ درصد باعث از بین رفتن و حذف باکتری اشیریشیا کلی شد. استفاده از بستر نایلون ۶ در تهیه فیلترهای نانویی پیشنهاد این پژوهش است.

مراجع

- [1] H. Copeland, “The kingdoms of organisms,” *Quarterly Review of Biology*, 13, 383-420, 1938.
- [2] K. Todar, “Pathogenic e. coli,” *Online Textbook of Bacteriology*. University of Wisconsin–Madison Department of Bacteriology. Retrieved 2007.
- [3] M. H. Fekri, M. Banimahd Keivani, M. Darvishpour, H. Banimahd Keivani, “Application of electroactive nano composite coated onto wood sawdust for the removal of malachite green dye

Gamma Aluminum Oxide Nanocomposite via Electrochemical Method for Antibacterial Activity,” *Nano Biomedicine and Engineering*, 13(1), 1-5, 2020.

[17]. Sh. Emrani, R. Zhiani, M. Dafe Jafari, “The biosynthesis of silver nanoparticles using plants of *glycyrrhiza glabra* and *mentha piperata* and its antimicrobial effect on some bacterias that cause tooth decay,” *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 16(10), 953-968, 2018.

[18]. M. Mohtashami, S. Sephehriseresht, E. Asli, M. A. Boroumand, M. Ghasemi, “Synthesis of silver nanoparticles through chemical reduction and biosynthesis methods and evaluation of their antibacterial effects,” *Razi Journal of Medical Sciences*, 19(103), 65-74, 2012.

[19]. K. S. Chou, C. Y. Ren, “Synthesis of nanosized silver particles by chemical reduction method,” *Materials Chemistry and Physics*, 3, 109-119, 2009.

salad,” *Int. J. Food Microbiol.*, 183(3), 164-167, 2011.

[11] M. Bosetti, A. Masse, E. Tobin, M. Cannas, “Silver coated materials for external fixation devices: in vitro biocompatibility and genotoxicity,” *Water research*, 23(3), 887-892, 2002.

[12]. T. M. Tolaymat, A. M. El Badawy, A. Genaidy, K. G. Scheckel, T. P. Luxton, M. Suidan, “An evidence-based environmental perspective of manufactured silver nanoparticle in syntheses and applications: a systematic review and critical appraisal of peer-reviewed scientific papers,” *Science of the Total Environment*, 408, 999-1006, 2010.

[13] M.C. McLeod, R.S. McHenry, E. J. Beckman, C. B. Roberts, “Synthesis and stabilization of silver metallic nanoparticles and premetallic intermediates in perfluoropolyether/ CO_2 reverse micelle systems,” *J. Phys. Chem. B.*, 107, 2693-2700, 2003.

[14] M. Nozaei, M. Molaei, F. Farahmandzadeh, B. Ramazanlo, “Synthesis and improvement of the optical peroperties of CdTe/CdSe core-shell QDs by using microwave approach,” *Nanomeghyas*, 7(3), 61-67, 2020.

[15]. M. Hosseinkhani, M. Montazer, S. Eskandarnejad, M. K. Rahimi, “Simultaneous in situ synthesis of nano silver and wool fiber fineness enhancement using sulphur based reducing agents,” *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 415, 431-438, 2012.

[16]. A. Rheima, A. Abed Anber, H. Ismael Abdullah, A. Hussein Ismail, “Synthesis of Alpha-



Preparation of silver nanoparticle/polyamide (nylon 6) composite by chemical reduction method for water disinfection

M. Banimahd Keivani^{a,*}, M. H. Fekri^b

^aDepartment of Chemistry, Payame Noor University (PNU), Tehran, Iran.

^bDepartment of Chemistry, Faculty of Basic Sciences, Ayatollah Borujerdi University, Borujerd, Iran

Abstract: The nano silver particles has been attractive the large number of researchers. These properties are due to the very high volume ratio of these particles. Although there are different methods have been offered for the synthesis of nano particles of silver but the chemical recovery method because of the simplicity and ability to control and particle's size is the most common methods to product nano particles. In this research the effect of silver disinfection in water has been investigated. The silver particles are produced with using silver nitrate and sodium citrate and then the polyamide is coated on the polymer and used as absorbent filter. Morphology was determined by absorbing the surface and the shape and size of nano particles with an electron microscope and also it the same about the present of silver in the polymer after coating with an X-ray diffraction device (EDAX). The nutrient agar is used for investigate of the effect of nano silver disinfection in water pollution (*Escherichia coli*) from the general culture medium and also the effects of changing of power hydrogen (pH) temperatures and duration of contact required for disinfection water studied.

Keywords: Nano silver particles, Antibacterial, Disinfection, Nano Silver, Nylon 6