

دارای رتبه علمی - پژوهشی از کمیسیون
نشریات علوم پزشکی کشور

حذف فتوکاتالیستی اشريشیاکلی با استفاده از نانو ذرات اکسید روی فعال شده با اشعه UV-C از محیط های آبی

چکیده

زمینه و هدف: فرآیندهای فتوکاتالیستی یک تکنولوژی جدید با کاربردهای فراوان می باشند. امروزه این فرآیندها به خصوص در بخش تصفیه آب، در حال تحقیق و توسعه هستند. هدف از انجام این تحقیق تعیین حذف فتوکاتالیستی اشريشیاکلی از آب با استفاده از اشعه UV-C در حضور نانو ذرات اکسید روی (ZnO) سنتز شده می باشد.

روش بررسی: پس از سنتز نانو ذرات اکسید روی ویژگیهای نانو ذرات با استفاده از میکروسکوپ الکترونی SEM و روش تفرق اشعه X تعیین گردید. نمونه آب آلوده به 10^2 تا 10^3 عدد باکتری در میلی لیتر تهیه گردید. آب آلوده به اشريشیاکلی وارد رآکتور فتوکاتالیستی شد و کارایی حذف باکتری در شرایط مختلف pH (5/5، 7، 9)، زمان ماند (10، 20، 30، 40، 50 و 60 دقیقه)، غلظت نانو ذرات اکسید روی (0/2، 0/4، 0/8 و 1 گرم بر لیتر)، تعداد باکتری (10^2 و 10^3 عدد در میلی لیتر) و ولتاژ 27 ولت لامپ UV-C مورد بررسی قرار گرفت.

یافته ها: کارایی رآکتور با افزایش زمان ماند و غلظت نانوذرات اکسید روی در حضور نور UV افزایش یافت. نتایج نشان داد که بهترین شرایط حذف باکتری با تعداد یکصد و هزار عدد در میلی لیتر، در $pH = 7$ ، مدت زمان 30 دقیقه و غلظت 0/8 گرم بر لیتر نانو ذرات اکسید روی در حضور نور UV با ولتاژ 27 ولت بوده و کارایی روش به ترتیب حدود 99% و 100% به دست آمد.

نتیجه گیری: تحقیق نشان داد که زمان ماند و افزایش غلظت نانو ذرات اکسید روی در حضور نور UV بیشترین تاثیر را در عملکرد فرآیند فتوکاتالیست داشته است. یافته های تحقیق نشان می دهد که فرآیند فتوکاتالیست روشی امید بخش در حذف اشريشیاکلی از آب آشامیدنی است.

واژه های کلیدی: فتوکاتالیست، اشريشیاکلی، اشعه ماورای بنفش، نانو ذره اکسید روی محیط

های آبی

رقبه نوروزی

کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گلستان

محمد هادی مهدی نژاد

دکتری مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گلستان

علی ظفر زاده

دکتری مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی گلستان

نویسنده مسئول: رقبه نوروزی

تلفن: 0171-4423630

پست الکترونیک: dr.norози@yahoo.com

آدرس: گرگان، مرکز تحقیقات بهداشت محیط

دانشگاه علوم پزشکی گلستان

وصول مقاله: 90/8/7

اصلاح نهایی: 90/11/30

آدرس مقاله:

نوروزی ر، مهدی نژاد م ه ظفرزاده ع " حذف فتوکاتالیستی باکتری اشريشیاکلی از آب با استفاده از اشعه فرابنفش و نانو ذرات اکسید روی ". مجله علوم آزمایشگاهی پاییز و زمستان، 1390 دوره پنجم (شماره 2): 61-52

مطلوب بوده و به طور همزمان ترکیبات آلی و فلزات سنگین را احیا و ترکیبات غیر قابل تجزیه بیولوژیکی را به ترکیبات قابل تجزیه بیولوژیکی تبدیل می کند (8و7).

هنگامی که نانو ذرات اکسید روی تحت تابش پرتو فرابنفش در محیط های مرئی قرار می گیرند سبب تحریک و برانگیختگی و فعال شدن الکترون باند ظرفیت و رفتن الکترون به باند هدایت می شوند. با این کار حفره ای در باند ظرفیت ایجاد می شود که بسیار فعال بوده و می تواند مستقیماً با آلاینده های آلی جذب شده روی سطوح کاتالیست مثل باکتریهای آلوده کننده آب وارد واکنش شود و یا غیر مستقیم از طریق تشکیل رادیکال هیدروکسیل این کار را انجام دهد (9). جدار سلولی باکتری ها محتوی انواع ملکولهای آلی است که در این فرآیند پراکسیداسیون فسفولیپیدهای غیر اشباع باعث آسیب در غشای سلولی، نفوذپذیری غشاء و در نتیجه مرگ سلول باکتری می شود. میزان تخریب ایجاد شده توسط سیستم UV/ZnO به شدت نور و مدت زمان مجاورت باکتری با تابش و غلظت ZnO بستگی دارد (10). پیشرفت در علم نانوتکنولوژی و مهندسی فرصت های خیلی خوبی را جهت توسعه فرآیندهای تصفیه در راستای کاهش هزینه ها و افزایش اثر بخشی و دوستاندار محیط زیست بودن فرآیندهای تصفیه آب فراهم نموده است استفاده از نانو کاتالیست ها مانند نانو ذرات اکسید فلزی به عنوان کاتالیست در فرآیندهای فتوکاتالیتیکی جهت کاربردهای محیطی مثل تصفیه آب به عنوان یک ترکیب مناسب و مفید از جایگاه مهمی برخوردار می باشد (11). هدف از انجام این تحقیق حذف فتوکاتالیستی باکتری اشیریشیاکلی به عنوان یک مدل آلودگی باکتریایی از آب با استفاده از اشعه UV-C در حضور نانو ذرات ZnO سنتز شده می باشد. به طور کلی واکنش اشیریشیاکلی با پرتو فرابنفش در حضور ZnO و تجزیه آن به آب و دی اکسید کربن بر طبق واکنش 1-1 صورت می گیرد. در این واکنش ZnO با جذب انرژی (hv) تولید یک جفت الکترون-حفره می نماید. الکترون و حفره تولید شده با انتقال به سطح مشترک می تواند باعث انجام واکنش های اکسیداسیون-احیا

میکربها از طریق نفوذ فاضلاب انسانی در آب آشامیدنی به انسان منتقل می شوند امراض مختلفی بوسیله آب به انسان منتقل می شوند. از جمله این امراض می توان وبا، حصبه، اسهال میکروبی و خونی، هپاتیت، سل، دیفتری، انگلهای خونی و کبدی را نام برد. عوامل بروز این بیماریها که شامل تک یاخته ها، ویروس ها، باکتری ها، کرم ها و انگلها می باشند، از طریق نفوذ فاضلاب در آب آشامیدنی به انسان منتقل می شود. بیماری های ناشی از آب آلوده سالانه نزدیک به یک میلیارد انسان را در روی کره زمین مبتلا می کند و باعث مرگ حدود 10 میلیون نفر می شود (2و1). مطابق گزارش سازمان جهانی بهداشت هر 8 ثانیه یک کودک و سالانه پنج میلیون نفر بویژه کودکان در اثر مصرف آب های آلوده به عوامل بیماریزا می میرند. در سیستم تصفیه آب آشامیدنی استفاده از یک سیستم باکتریایی شاخص، به نحوی که راندمان فرآیند گندزدایی آب را به خوبی بررسی نماید رایج است. اشیریشیاکلی در حال حاضر، در بررسی راندمان تصفیه به عنوان شاخص استفاده می شود و اگر این باکتری در آب تصفیه شده یافت نشود نشان دهنده پاک بودن آب از آلودگی های مدفوعی است (3و4). اشیریشیاکلی از باکتریهای شاخص آلودگی آب با منشاء مدفوعی، گرم منفی، از خانواده انتروباکتریاسه است که در سال 1855 کشف شد. این باکتری بیهوازی اختیاری و بدون اسپور، اغلب متحرک می باشد. این باکتری قادر به تخمیر گلوکز و تولید گاز است و همچنین لاکتوز را تخمیر می کند و اوره آز منفی است (5).

متداولترین روش های گندزدایی آلودگی های باکتریایی در آب استفاده از روشهای شیمیایی، ازن زنی، اشعه UV و فرآیندهای غشایی می باشد (6). مطالعات حذف فتوکاتالیتیکی (اکسایش پیشرفته) عوامل بیماریزا از آب یکی از همین پیشرفت ها در دهه اخیر است. فرآیند اکسایش پیشرفته با استفاده از تولید رادیکال هیدروکسیل (OH) می باشد. رادیکال هیدروکسید در محیط های آبی با استفاده از UV/H_2O_2 ، H_2O_2 ، UV/TiO_2 ، UV/ZnO و سایر روشها تولید می شود. هزینه کاتالیست و سمیت از جمله محدودیت های استفاده از برخی مواد در تصفیه آب است. نانو ذرات اکسید روی از این نظر

¹ . *High Voltage uv*

کلرور باریوم بودند. در این روش کدورت ایجاد شده در لوله های مختلف با کدورت ایجاد شونده توسط تعداد معینی از باکتری متناسب است. سوسپانسیون باکتری تا حدی به آب اضافه گردید تا کدورت ایجاد شده توسط باکتریها معادل با کدورت اندازه گیری شده در لوله استاندارد 0/5 مک فارلند که دارای $10^8 \times 1/5$ باکتری در میلی لیتر می باشد. سپس با انجام رقیق سازی (با نسبت 1 به 1000 و 100) تعداد باکتری اشیریشیاکلی دارای 10^3 و 10^2 CPU/ml آب آلوده حاصل شد (13 و 14).

سنتز ZnO

ابتدا مقدار 0/304 گرم از نترات روی [Zn $(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$] را به حجم 20 میلی لیتر رسانده سپس مقدار 2/8 گرم از KOH را در 100 میلی لیتر آب دیونیز حل کرده تا به ازای هر 0/5 مول Zn^{+2} ، یک مول OH^- به دست آید. محلول را تا 50 درجه سلسیوس حرارت داده و سپس قطره قطره به محلول نترات نقره اضافه کرده تا ذرات ZnO تشکیل شود. برای جلوگیری از تجمع ذرات تشکیل شده مقداری پلی وینیل پیرولیدون به آن اضافه کرده و ذرات جمع شده در کف ظرف را جمع آوری و بعد از شستشو به مدت 30 ساعت در دمای اتاق قرار داده تا خشک شود (11). برای تایید ذرات ZnO تشکیل شده از طیف سنج پراش اشعه X (XRD) استفاده گردید و از میکروسکوپ الکترونی روبشی برای تعیین قطر منافذ و شکل و اندازه نانو ذرات اکسید روی استفاده گردید.

منبع UV و شدت اشعه

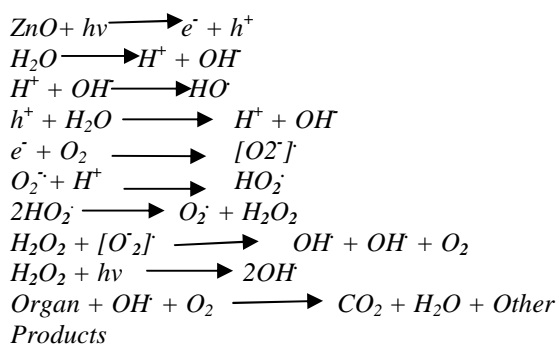
همانطور که در شکل (2) نشان داده شده است.. در این تحقیق از تابش لامپ فرابنفش (27 W/M2، UVC) ساخت شرکت تروجان با حداکثر طول موج 280 نانومتر به طول 25 سانتی متر استفاده شد.

مشخصات رآکتور و نحوه انجام آزمایشات

راکتور مورد استفاده که در شکل 1 نشان داده شده است به حجم 500 میلی لیتر، عمق 40 و قطر 10 سانتی متر تهیه گردید. لامپ UV که در داخل غلاف کوارتز به ارتفاع 30 سانتی متر و قطر 5 سانتی متر محافظت می شد. برای اینکه نمونه بهتر مورد تابش قرار گیرد، لامپ در مرکز ظرف در محلول غوطه ور گردید.

تحت شرایط محیطی گردد. حفره تولید شده (h^+) با H_2O روی سطح سریعاً واکنش داده و تولید رادیکال هیدروکسی را می نماید همچنین e^- توسط اکسیژن گرفته شده، تا آنیون رادیکال های سوپراکسید O_2^- را ایجاد کند. الکترون تولید شده باعث احیای O_2 به آب می شود، در احیای اکسیژن توسط الکترون های تولید شده ابتدا سوپراکسید O_2^- به عنوان اولین محصول احیایی تولید می شود که به هیدروژن پراکسید و در نهایت به آب تبدیل می شود. حفره ی ایجاد شده باعث تخریب سلول باکتریها می شود (10 و 12).

واکنش (1-1)



روش بررسی

محیط کشت باکتری

در این تحقیق تاثیر فرآیند فتوکاتالست بر روی گندزدایی باکتری اشیریشیاکلی در یک سیستم Bacth مورد بررسی قرار گرفت. برای تهیه باکتری کلیفرم نمونه آب آلوده را در محیط کشت لاکتوز براث (مرک) بر روی شیکر اوریتال در دمای $0^\circ C$ به مدت 24 ساعت کشت داده تا محیط کشت تیره شود سپس نمونه های آلوده را بر روی محیط کشت EC (مرک) انتقال داده و پلیت را به مدت 24 ساعت در دمای 37 درجه سلسیوس قرار داده تا باکتریها در محیط کشت رشد نمایند. سوسپانسیون باکتری جهت تهیه کشت تازه در محیط کشت آگار مغذی تلقیح و کلنی های باکتری پس از رشد جداسازی شده و در یخچال نگهداری گردیدند. جهت بررسی راندمان حذف باکتری توسط سیستم، غلظت باکتری اشیریشیاکلی دارای 10^3 و 10^2 CPU/ml تهیه گردید. به منظور دستیابی به تعداد باکتریهای مورد نظر از لوله های استاندارد مک فارلند استفاده شد که دارای نسبت های مختلف دو ترکیب اسید سولفوریک و

محلول به طور مداوم توسط همزن مغناطیسی هم زده می شد. آزمایشها با ثابت نگه داشتن سه متغیر و تغییر یک متغیر انجام گردید. برای محاسبه کارایی روش مذکور از معادله ذیل استفاده گردید(15).

$$E = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

رابطه (1)

$C_i = \text{CFU}/100\text{ml}$ اولیه

$C_f = \text{CFU}/100\text{ml}$ ثانویه

کل راکتور جهت جلوگیری از تابش نور در داخل فویل آلومینیومی پیچیده شده بود. راکتور قبل از استفاده کاملاً استریل گردید و حجم آب آلوده ورودی 250 میلی لیتر در نظر گرفته شد. سپس نمونه آب آلوده را که از قبل تعداد سلولها CFU/ml محاسبه شده بود به راکتور اضافه گردید. جهت تنظیم pH از اسید نیتریک و سود یک نرمال استفاده می گردد. عوامل مورد پژوهش در این بررسی، زمان واکنش (10، 20، 30، 40، 50، 60 دقیقه) pH اولیه (5/5، 7 و 9) و غلظت نانو ذرات ZnO (0/2، 0/4، 0/8 و 1 گرم بر لیتر). لامپ $27 \text{ W/m}^2 \text{ Uv}$ می باشد.

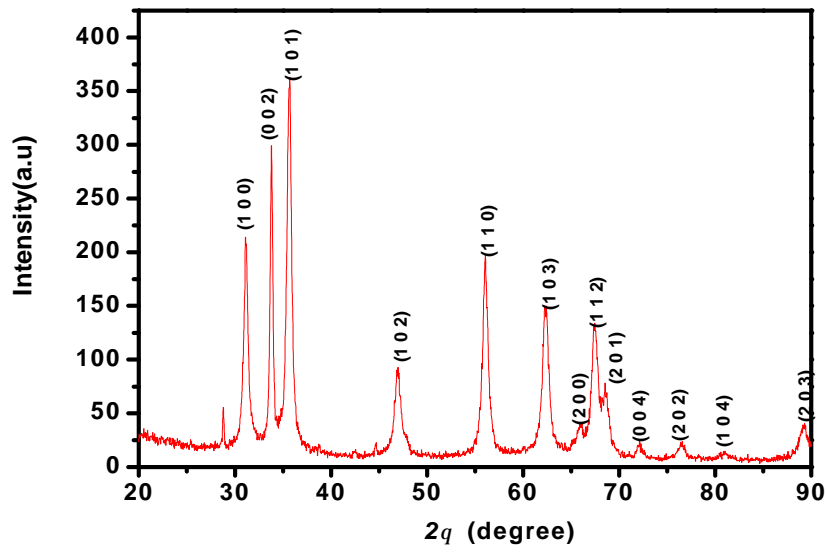


شکل (1): تصویر راکتور مورد استفاده در تحقیق

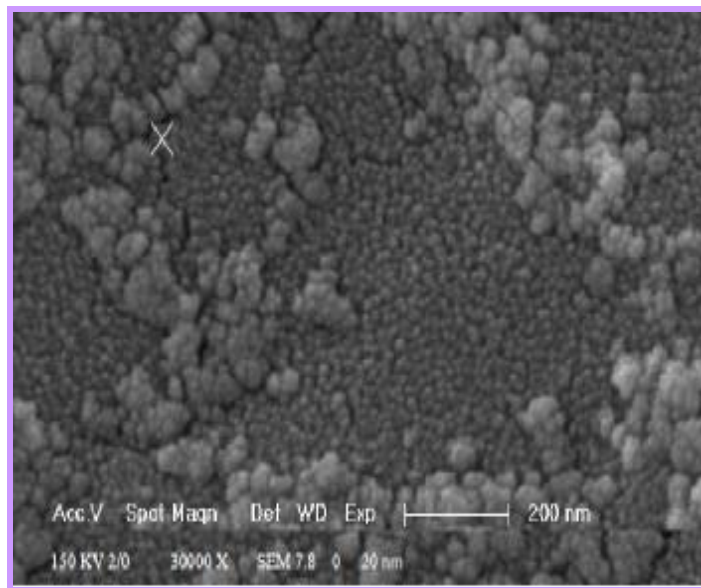
تصویر SEM در شکل (3) نشان داده شده است ذره مشخص شده بر روی تصویر با بزرگنمایی 30000 دارای اندازه 20 نانومتر می باشد.

یافته ها

تصویر XRD از نانو ذرات ZnO در شکل 2 نشان داده شده است که بر اساس (JCPDS Card NO. 80-0075) در زاویه 2θ : 100، 101، 002، و 110 پیکهای مربوط به ZnO مشخص می باشد.



شکل (2): تصویر XRD از نانو ذرات ZnO: (مشخصات دستگاه XRD: Philips مدل RertX با تیوپ مس $\text{CuK}\alpha$) برای تولید اشعه (X) پیکهای مربوط به ZnO در زاویه 100، 101، 002 و 110 قابل مشاهده می باشد.



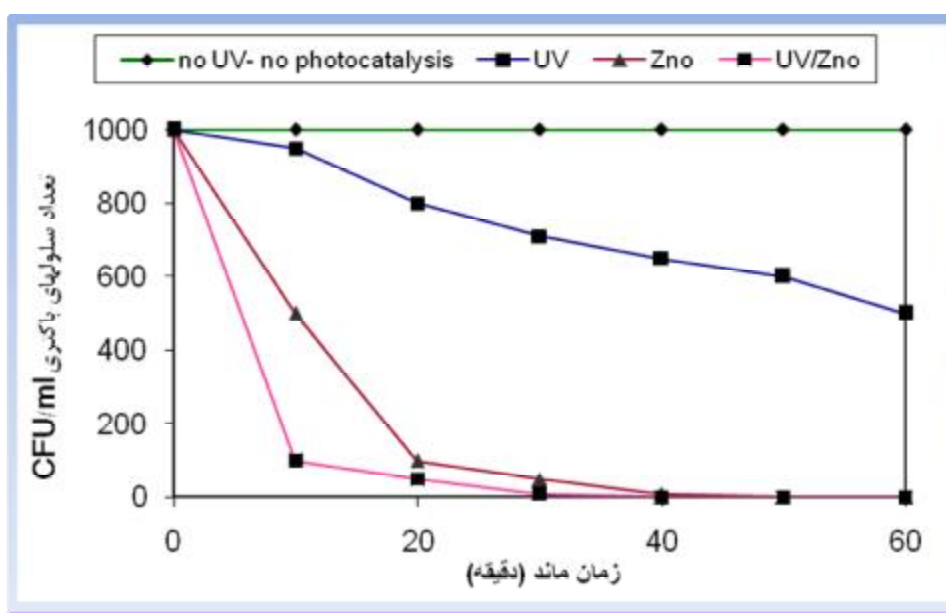
شکل (3): تصویر SEM از نانو ذرات ZnO (با بزرگنمایی برابر 30000 مشخصات دستگاه SEM: philips XL30) اندازه ذرات: 20 نانومتر

2- تاثیر تعداد باکتری بر کارایی حذف باکتری

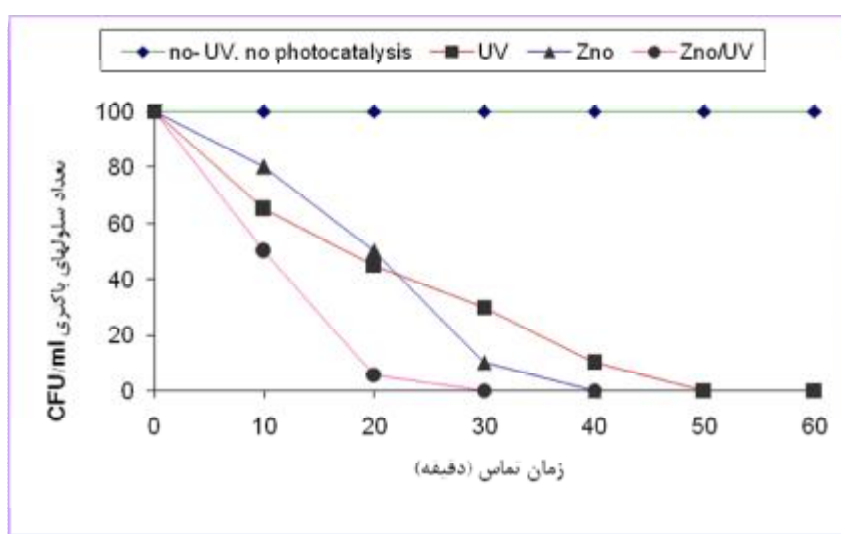
اشريشياکلی

است. در شکل (4) الف در شرایط $pH=7$ ، ولتاژ 27 ولت لامپ UV، در زمان ماند 60 دقیقه و تعداد باکتری 10^3 عدد در میلی در حضور UV/ZnO کارایی حذف 99٪ حاصل گردیده است. شکل (4) ب حاکی از آن است که با تعداد 10^2 عدد باکتری در میلی لیتر با حفظ شرایط یکسان کارایی حذف 100٪ حاصل گردید.

نتایج نشان دادند که کارایی گندزدایی با افزایش تعداد باکتری اشريشياکلی از 10^2 به 10^3 عدد در میلی لیتر کاهش می یابد. شکل 4 نشان می دهد که با افزایش تعداد باکتری اشريشياکلی از 10^2 به 10^3 عدد کارایی حذف کاهش یافته



شکل (4) الف: تاثیر تعداد سلولهای باکتری بر کارایی حذف فرآیند UV/ZnO: تعداد سلولهای باکتری 10^3 cfu/ml، $pH=7$ ، ولتاژ 27 ولت لامپ UV، زمان ماند: 60 دقیقه



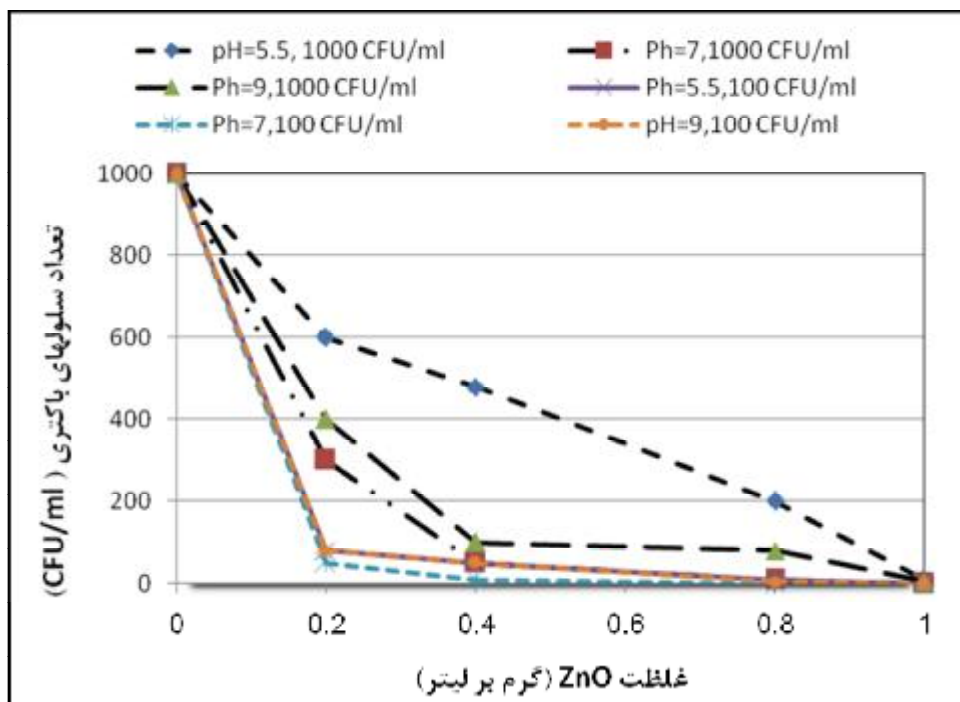
ب: تاثیر تعداد سلولهای باکتری بر کارایی حذف فرآیند UV/ZnO: تعداد سلولهای باکتری 102 cfu/ml، $pH=7$ ، ولتاژ 27 ولت لامپ UV، زمان ماند: 60 دقیقه

3-تاثیر فرآیند مورد استفاده بر کارایی حذف باکتری اشریشیاکلی

در شکل (4) الف و ب تاثیر فرآیند مورد استفاده (uv, Zno,) بر کارایی حذف باکتری اشریشیاکلی نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد که در شرایط یکسان متغیرهایی مانند pH، زمان ماند برای هر 3 فرآیند مورد استفاده بیشترین کارایی حذف مربوط به فرآیند UV/Zno می باشد به طوری که در شرایط pH=7، زمان ماند 30 دقیقه و ولتاژ 27 ولت لامپ UV و غلظت 0/8 گرم برلیتر نانو ذرات ZnO تعداد باکتری در میلی لیتر کارایی حذف برای باکتری اشریشیاکلی در فرآیند UV، ZnO، UV/Zno به ترتیب 29٪، 95٪ و 99٪ بوده است و در همان شرایط با تعداد 100 عدد باکتری در میلی لیتر در فرآیند UV، ZnO، UV/Zno به ترتیب 70٪، 90٪ و 100٪ بوده است.

4-تاثیر pH بر کارایی حذف باکتری اشریشیاکلی

کارایی فرآیند حذف باکتری اشریشیاکلی با افزایش pH از 7 به 9 در هر دو تعداد 100 و 1000 عدد در میلی لیتر کاهش یافته است. همانطور که در شکل (5) نشان داده شده است در شرایط غلظت 0/8 گرم بر لیتر نانو ذرات ZnO، ولتاژ 27 ولت لامپ UV، زمان تماس 30 دقیقه برای فرآیند UV/ZnO در pH= 5/5، 7، 9، برای 1000 عدد باکتری در میلی لیتر به ترتیب 95٪، 99٪، و 92٪ (50، 10 و 80 عدد باکتری باقی مانده در میلی لیتر) می باشد. و در همان شرایط برای 100 عدد باکتری در میلی لیتر به ترتیب تعداد مرگ باکتریها 99/5٪، 99٪ و 100٪ بوده است.



شکل (5): تاثیر pH بر کارایی حذف تعداد سلولهای باکتری در فرآیند UV/ZnO:

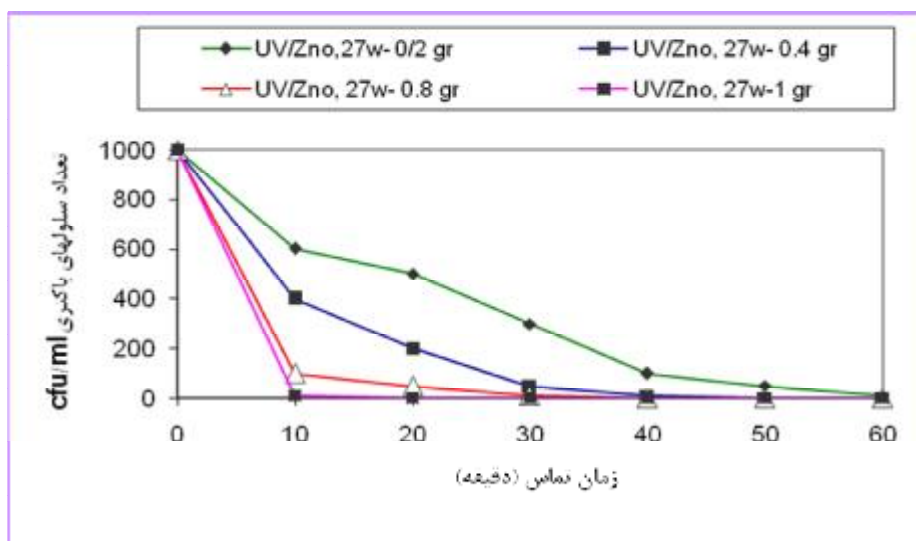
غلظت 0/8 گرم بر لیتر ZnO، ولتاژ 27 ولت لامپ UV، زمان تماس: 30 دقیقه

5- تاثیر غلظت نانو ذرات ZnO بر کارایی حذف

باکتری اشیشاکلی

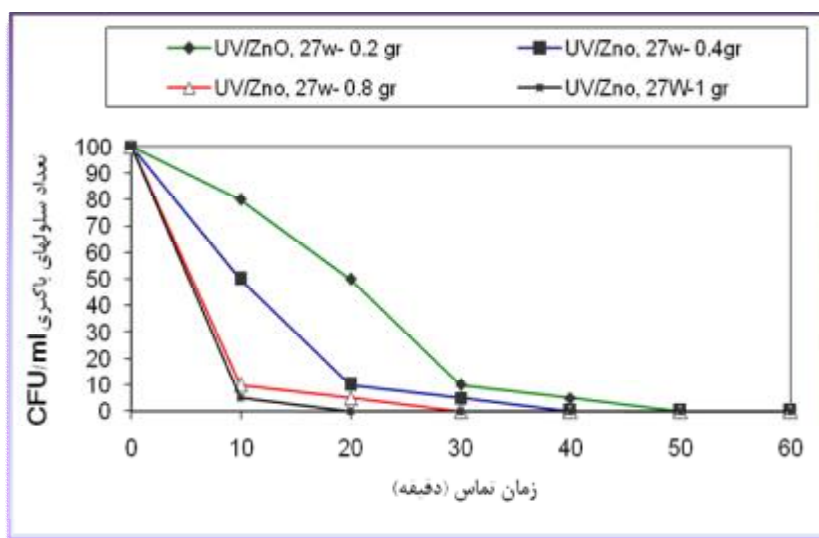
UV برای تعداد 1000 عدد باکتری در میلی لیتر با افزایش غلظت ZnO از 0/2 به 1 گرم بر لیتر به ترتیب مرگ باکتریها از 70٪ به 100 افزایش یافته است و در همان شرایط برای تعداد 100 عدد باکتری در میلی لیتر در شکل 7، مرگ باکتریها از 98٪ به 100٪ افزایش یافته است.

شکل 6 نشان می دهد که با افزایش غلظت نانو ذرات ZnO مرگ باکتریهای اشیشاکلی افزایش می یابد. به طوریکه در شرایط pH=7، زمان ماند 30 دقیقه، ولتاژ 27 ولت لامپ



شکل (6): بررسی تاثیر غلظت نانو ذرات ZnO در حضور نور UV بر کارایی حذف تعداد سلولهای باکتری:

تعداد سلولهای باکتری 10^3 cfu/ml ، pH=7، ولتاژ 27 ولت لامپ UV



شکل (7): بررسی تاثیر غلظت نانو ذرات ZnO در حضور نور UV بر کارایی حذف تعداد سلولهای باکتری:

تعداد سلولهای باکتری 10^2 cfu/ml ، pH=7، ولتاژ 27 ولت لامپ UV

بحث

همچنین تولید الکترونهاى آزاد با افزایش مقدار نانو ذرات ZnO و زمان واکنش افزایش می یابد (16). کارایی حذف در pH بالا به علت تشکیل رسوب هیدروکسید روی سطح ZnO باعث جلوگیری از تابیدن نور UV به سطح ZnO شده و تشکیل رادیکال OH کاهش می یابد (17). در تحقیقی که رحمانی و همکاران انجام دادند نتایج حاکی از آن است که در فرآیند فتوکاتالیست UV/TiO₂ با افزایش pH کارایی تعداد مرگ باکتریها کاهش یافته است و بیشترین تعداد مرگ باکتریها در pH=7 اتفاق افتاده است (17). همچنین با افزایش تعداد باکتریها درصد مرگ آنها کاهش می یابد زیرا با افزایش تعداد باکتریها روی سطح ZnO واکنش باکتریها با حفره های فوتونی تولید شده و رادیکال هیدروکسید به علت عدم واکنش مستقیم بین آنها جلوگیری می کند. بنابراین حذف فتوکاتالیستی باکتری اشریشیاکلی با افزایش زمان ماند و غلظت نانو ذرات ZnO در حضور لامپ UV افزایش می یابد (17). در نتیجه فرآیندهای فتوکاتالیستی می تواند به عنوان روش مطلوب و بدون وجود مشکلات ناشی از کاربرد نانو ذرات بصورت سوسپانسیون و یا تولید محصولات جانبی ناشی از گندزدهای متداول، مورد توجه قرار گیرد.

حذف فتوکاتالیستی باکتریهای اشریشیاکلی توسط نانو ذرات ZnO در حضور نور UV افزایش می یابد. زیرا در شرایط استفاده از لامپ UV، ZnO برای تولید یک الکترون و حفره فعال می شود و به عنوان یک عامل اکسید کننده عمل می کند ($ZnO - h^+$). تولید جفت الکترون برای فرآیند اکسیداسیون مهم است. در این فرآیند ملکولهای آب به H^+ ، OH با یک حفره تقسیم می شوند در نتیجه ملکولهای اکسیژن حل شده در آب با H^+ تولید شده در شروع واکنش تشکیل یک رادیکال پراکسید هیدروژن می نماید (HO^{\cdot}). رادیکال هیدروکسیل مستقیماً با باکتریهای آلوده کننده آب وارد واکنش فتوکاتالیستی می شود. همچنین ذرات در مقیاس نانو باعث افزایش سطح تماس باکتریها با سطح ذراتی مانند ZnO شده و کارایی فرآیند اکسیداسیون افزایش می یابد. در تحقیقی که Hsuan-Liang و Liu و همکاران انجام دادند نتایج حاکی از آن است که استفاده از فرآیند UV/TiO₂ سبب افزایش تعداد مرگ باکتریها می گردد (7). بطوریکه تعداد باکتریها از 10^8 عدد در میلی لیتر به 10^3 عدد در میلی لیتر کاهش یافته است. حذف فتوکاتالیستی باکتریهای اشریشیاکلی با افزایش مقدار نانو ذرات ZnO و زمان واکنش افزایش می یابد به دلیل اینکه محل های جذب و

References

1. McCullagh C , Robertson J , Bahnemann D W. and Robertson P . The application of TiO₂ photocatalysis for disinfection of water contaminated with pathogenic micro-organisms: a review. *Chemistry and Materials Science*. 2010; 33: 359-375.
2. Nadtochenko V, Rincon A, Stanca S and Kiwi J. Dynamics of E. coli membrane cell peroxidation during TiO₂ photocatalysis studied by ATR-FTIR spectroscopy and AFM microscopy. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 2007; 169: 131–137.
- 3-Kosa SAM, Tinlin JR, Photoelectrocatalytic and photocatalytic disinfection of E. coli suspensions by titanium dioxide. *Appl Catal B: Environ*. 2003; 41: 371–386. 3.
- 4-Belapurkar1 A. D, Sherkhane P. and Kale S. P. Disinfection of drinking water using photocatalytic technique . *Current Science*, 2006; 91(1).
- 5-Maier M. Pepper Ian . *Environmental Microbiology*. 2000, Arizona State: Academic Press. Second Edition. Pp:491-493.
- 6-Bitton G . *Wastewater Microbiology*. 2005, New York, Wiley-Liss Pub, Third Edition. Pp:76-89.
- 7-Emami-Karvani Z, Chehrazi P. Antibacterial activity of ZnO nanoparticle on grampositive and gram-negative bacteria. *African Journal of Microbiology Research*. 2011; 5(12): 1368-1373.
- 8-Liu HL, Yang TCK. Photocatalytic inactivation of Escherichia coli and Lactobacillus helveticus by ZnO and TiO₂ ac tivated with ultraviolet light. *J Process Biochemistry*. 2003; 39: 475-481.
- 9-Zhou H. and Smith D.W. Advanced technologies in water and wastewater Treatment. *J. Environ. Eng. Sci*. 2002; 1: 247–264.
- 10-Ireland JC, Klostermann P, Rice EW, Clark RM. Inactivation of Escherichia coli by titanium dioxide photocatalytic oxidation. *Appl Environ Microbiol* 1999;59:1668-/70.

11-Benabbou A.K., Derriche Z, Felix C, Lejeune P, Guillard C. Photocatalytic inactivation of *Escherichia coli* Effect of concentration of TiO₂ and microorganism, nature, and intensity of UV irradiation. *Applied Catalysis*. 2007 ; 76: 257263.

12-C.S. Rajan. Nanotechnology in Groundwater Remediation. *International Journal of Environmental Science and Development*. 2011; 2(3). 100-101.

13-Kumar S, Gabriel O, Hung YC, Michael P. Efficacy of electrolyzed oxidizing water for inactivation *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes*. *Appl Environ Microbiol* 1999;65(9):4276-79.

14-YoonKY,ByeonJH,ParkJH,HwangJ.Susceptibility constants of *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* to silver and copper nanoparticles. *Sci Total Environ*. 2007;373:572-/75.

15-Bansal P,Dhir A, Prakash N, Tejo Sud. Environmental remediation of wastewater containing azo dyes with a heterostructured nanophotocatalyst . *Indian Journal of Chemistry*, 2011; 50: 991-995.

16-Masoumbeigi H, Rezaee A, Khataee A. Hashemian S. J. Effect of UV radiation intensity on photocatalytic removal of *E. coli* using immobilized ZnO nanoparticles. *Kowsar Medical Journal*, 2009; 14: 25.

17-R.AR, S. MR., Samadi. MT., N.F .Photocatalytic Disinfection of *Coliform* Bacteria Using UV/TiO₂ *J Res Health Sci*, 2009 ; 9 (1) :1-6 .